Testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi

Konceptudvikling



Søren Østergaard Jensen

Prøvestationen for Solenergi DTI Energi

Testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi

Konceptudvikling

Søren Østergaard Jensen

Prøvestationen for Solenergi

DTI Energi, December 1997

Forord

Nærværende rapport afslutter en del af DTI 1997 basisprojekter "Udvikling af SOSY". Rapporten afslutter den del, der omhandlede indledende undersøgelser af grundlaget for etablering af en testfacilitet til afprøvning af komponenter og systemer til bygningsintegreret solenergi.

I forbindelse med projektet er der udover nærværende rapport blevet opbygget en funktionsmodel (i 1:20) af en testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi.

Nærværende rapport beskriver det udviklede koncept og kommer kun perifert ind på, hvordan testfaciliteten skal realiseres, samt hvordan målesystemet skal udformes.

Testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi 1. udgave, 1. oplag 1997 © Dansk Teknologisk Institut 1997 DTI Energi

ISBN 87-7756-481-2

Indholdsfortegnelse

1.	Indledning	5
2.	Eksisterende testfaciliteter	7
2.1.	Testceller	7
2.2.	Andre testfaciliteter	10
2.2.1.	Test Room 3000	10
2.2.2.	Fleretages testfaciliteter	
2.3.	Problemer med eksisterende testfaciliteter	15
3:	Udvikling af koncept for testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret	
	solenergi	16
3.1.	Koncept	16
3.1.1.	Dimensioner	16
3.1.2.	Opbygning	19
3.2.	Fra kontrollerede forhold til virkelighed	31
3.3.	Sammenfatning	32
4.	Realisering	
4.1.	Kvalitetssikring	
5.	Målesystem	34
5.1.	Målepunkter	34
5.1.1.	Vejrforhold	34
5.1.2.	Testrum	
5.2.	Sammenfatning	
6.	Sammenfatning	37
7.	Referencer	39

1. Indledning

Gennem de senere år er der sket en øget fokusering på bygningsintegreret solenergi. I bygningsintegreret solenergi anvendes selve bygningen som solfanger og lager, eller solenergianlæggenes komponenter indgår som en naturlig del af bygningens konstruktion. Bygningsintegreret solenergi omfatter således ikke kun passiv solvarme, men også aktiv solvarme og PV, hvor disse er en del af bygningen.

Den mest simple form for bygningsintegreret solenergi er vinduer. Solindfaldet gennem vinduer dækker i alle bygninger en del af bygningens varmetab. Hvor stor en del af varmetabet, der kan dækkes, afhænger af vinduerne og bygningernes udformning og anvendelse. En anden populær form for bygningsintegreret solenergi er glasinddækninger f.eks. af altaner og atrier, men også dobbeltfacader. Solvægge er en tredje form for bygningsintegreret solenergi, hvor væggen udvendigt beklædes med et transparent dæklag. Varmen fra solen fanges bag dæklaget og ledes derefter til rummet via en luftstrøm og/eller ved ledning gennem væggen.

Luftsolvarmeanlæg vil ofte også have en høj grad af bygningsintegration - enten fordi solfangeren er integreret i væggen eller taget, eller fordi varmen fra solfangeren lagres i selve bygningskroppen - i vægge eller etageadskillelser.

Væskesolvarmeanlæg er i dag typisk ikke bygningsintegrerede, idet solfangeren ofte består af elementer lagt uden på taget, og lageret er en vandbeholder placeret i et afsides beliggende rum, hvor varmetabet fra lageret kun har en lille indflydelse på bygningens energiforbrug. Væskesolvarmeanlæg kan dog også have en høj grad af bygningsintegration. Solfangeren kan integreres i taget eller væggen og varmen fra anlægget kan f.eks. afgives som gulvvarme.

PV kan som væskesolvarmeanlæg være separate tilføjelser til bygningen eller kan være integreret i facaden eller taget.

Udover at de ovenstående solenergiformer kan integreres i bygninger, kan de også kombineres/integreres med hinanden. PV og luftsolvarme kan f.eks. kombineres, så luftsolfangerens "dæklag" består af PV-paneler. Overskudsvarmen fra PV-elementerne bruges her til at opvarme luften i luftsolfangeren. Luftsolfangeren køler dermed PV-elementerne, så effektiviteten af disse holdes oppe. Luft- og væskesolvarme kan kombineres, så en solfanger både kan opvarme luft og væske. Passiv solvarme og dagslys kan kombineres med PV, ved at integrerer PVelementer i vinduer. Osv., osv.

Fælles for de ovenstående facade- og tagintegrerede solenergiformer er, at de har et tæt samspil med den bygning, de er placeret i. Bygningens udformning og anvendelse influerer direkte på ydelsen af solenergi, og solenergianlæggene har direkte indflydelse på de termiske forhold og specielt på komforten i bygningen. Det betyder, at det ikke er nok at afprøve disse solenergiformer løsrevet fra bygningen, og det er heller ikke muligt udelukkende at teste anlæggenes delkomponenter, som det f.eks. gøres i dag med væskesolfangere og lagertanke til solvarmeanlæg.

Bygningintegreret solenergi kan afprøves i rigtige bygninger, hvor det jo alligevel i sidste ende skal anvendes. Men da der er brug for kontrollerbare målebetingelser, der kan reproduceres, vil rigtige bygninger skabe problemer - specielt hvis der opholder sig personer i bygningerne. Rigtige bygninger er som regel ikke veldefinerede nok til, at der kan opnå tilstrækkelig præcise måleresultater. Der foregår desuden mange andre termiske processer, der ikke direkte har noget med den komponent at gøre, som ønskes testet. Personer er endnu dårligere definerede, hvilket gør det stort set umuligt at tage højde for dem i et måleprogram.

Gennem de sidste mere end tyve år er der derfor blevet opført et utal af testfaciliteter til afprøvning af forskellige bygningsintegrerede solenergiformer - oftest i form af passiv solvarme. Intentionen bag anvendelse af udendørs testfaciliteter er at danne bro mellem laboratorieundersøgelser og rigtige bygninger.

En kritisk gennemgang af flere udendørs testfaciliteter er foretaget i IEA BCS Annex 21 (International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems) (Lomas et al, 1997 og Lomas, 1993). Denne kritiske gennemgang af testfaciliteter samt forfatterens egne erfaringer med PASSYS testcellerne (Wouters og Vandaele, 1994 og Jensen, 1994) og informationer om testcellen hos Energy Monitoring Company (UK), testbygningerne hos Gaz de France (F) og Conpoebus (I) ligger til grund for nærværende undersøgelse og konceptudvikling.

2. Eksisterende testfaciliteter

For at fastlægge kriterierne for en testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi er erfaringerne fra eksisterende udendørs testfaciliteter blevet undersøgt.

2.1. Testceller

PASSYS testcellen er i dag det mest udbredte koncept indefor dette område. Problemerne ved den eksisterende testcelle-teknologi eksemplificeres derfor ved hjælp af PASSYS testcellerne.

Der findes PASSYS testcentre i 10 Europæiske lande (Belgien, Danmark, Finland, Frankrig, Grækenland, Holland, Italien, Portugal, Spanien, Storbritannien og Tyskland). Det danske PASSYS testcenter findes på Danmarks Tekniske Universitet i Lyngby. PASSYS testcentre blev etableret i et storstilet EU forskningsprogram i perioden 1986-94.

Figur 2.1 viser et billede af de to danske PASSYS testceller, mens figur 2.2 viser opbygningen af PASSYS testcellerne. Figur 2.3 viser grundplanet af PASSYS testcellerne. PASSYS testcellerne består af et testrum og et servicerum. Testrummet, der er det vigtigste, har et grundareal på 13,8 m² og et volumen på ca. 38 m³. Testrummets sydvæg kan relativt let udskiftes, da den sidder i en aftagelig stålramme. Testrummet er karakteriseret ved store isoleringstykkelser - 400 mm isolering - i øst-, vest- og nordvæg samt i loft og gulv. På begge sider af isoleringen er der spånplader med en liner af stålplader udenpå. Meningen med den store isoleringstykkelse er at reducere varmetabet gennem disse flader for at øge betydningen af varmetabet gennem sydvæggen, hvor den komponent, der skal afprøves, anbringes.



Figur 2.1. De to danske PASSYS testceller på Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet, Lyngby (Wouters and Vandaele, 1994). To andre sydvægge står lænet op af bygningen i baggrunden.



Figur 2.2. Opbygningen af PASSYS testcellerne (Wouters and Vandaele, 1994).



Figur 2.3. PASSYS testcellernes grundplan (Wouters and Vandaele, 1994).

Erfaringerne fra PASSYS testcellerne og fra de fleste andre udendørs testfaciliteter er, at det er meget svært at opnå høj nøjagtighed på målingerne. De store isoleringstykkelse i PASSYS testcellernes flader, der skulle sikre en høj målenøjagtighed for de termiske processer i sydvæggen, er i stedet blevet PASSYS testcellernes akilleshæl. Den store isoleringstykkelse introducerer relativt store ukontrollable 2- og 3-dimensionale varmestrømme i testcellernes hjørner. Disse 2- og 3-dimensionale varmestrømme kan udgøre op til 15% af det samlede varmetab fra testrummet (Jensen, 1994). Desuden introducerer den store isoleringstykkelse lange tidskonstanter. Disse problemer er i flere af testcellerne forsøgt afhjulpet ved at introducere adiabatiske flader ved hjælp af et ekstra indvendigt isoleringslag med en kontrollerbar elvarmedug mellem den oprindelige og den nye isolering.

Et andet medfødt problem ved PASSYS testcellerne var kuldebroer. Stållineren på inder- og ydersiden af isoleringen var forbundet i åbningen ved sydvæggen og i døren mellem service- og testrum. Dette er nu ændret ved fysisk at afbryde lineren ved døren mellem service- og testrum samt ved at isætte en ekstra isolerende dør og ved at isolere den ramme sydvæggen er monteret i.

Et tredje medfødt problem ved PASSYS testcellerne var manglende kvalitetskontrol ved produktionen af det første hold testceller. Dette viste sig, da loftet i en af de danske testceller faldt ned. At loftet faldt ned var ikke det væsentligste problem, episoden afslørede nemlig, at der var store kuldebroer i loftkonstruktionen, idet der var store revner mellem de skumisoleringspladerne, loftet var opbygget af. Tegningerne siger 400 mm homogen isolering, men i hvor høj grad kan man stole på det? Der burde have været en kontrollant fra projektet tilstede ved bygningen af alle testceller - kvalitetssikringen blev bedre ved produktionen af det andet hold testceller. De danske PASSYS testceller er blandt det først hold. Desuden skulle der også med det første hold have været prøver af alle indgående materialer, således at det senere er muligt at måle de termofysiske værdier for materialerne, hvis dette viser sig at være vigtigt for målenøjagtigheden.

Fra starten var der en for stor ukontrollabel infiltration i PASSYS testcellerne. Dette var dog nemt at rette ved hjælp af tape. Store ikke målte infiltrationstab har gjort mange af målingerne fra tidligere testfaciliteter ubrugelige, idet små ændringer i det antagede infiltrationstab totalt kan forrykke resultaterne af målingerne. Lufttæthed er derfor af stor betydning.

Den udskiftelige sydvæg har en dimension på 2,75 x 2,75 m. Det er altså relativt små komponenter, der kan afprøves i PASSYS testcellerne. Dette kan i en del tilfælde være tilstrækkeligt, men i forbindelse med facader, hvor f.eks. den termiske opdrift af luft har en dominerende betydning for facadens funktion f.eks. dobbeltfacader, curtain walls og solskorstene, vil en mulig højde på 2,75 m være for lille. Der er også brug for store facader, hvis samspillet mellem flere solenergiformer skal undersøges f.eks. solvægge i kombination med glasinddækning af altaner eller kombinationen luftsolvarme og direkte solindfald. Systemer som vist på figur 2.4, hvor både syd- og nordfacaden deltager i solenergianlæggene kan heller ikke testes i PASSYS testcellen.

Det lille areal for sydfacaden sammen med PASSYS testcellens lille grundareal 2,75 x 5 m, lægger desuden afgørende restriktioner på muligheden for at teste komponenter beregnet til større bygningsvolumener. Her er det nødvendigt beregningsmæssigt at skalere testresultaterne fra PASSYS testcellen til den rigtige bygning med de usikkerheder, det medfører. F.eks. er rand-effekter mere dominerende i et lille modul end i et stort.

Et sidste problem med PASSYS testcellen, set i lyset af kravene ved afprøvning af bygningsintegreret solenergi, er de manglende muligheder for lagring af varme i testcellens konstruktioner og dermed muligheden for at teste f.eks. luftsolvarme, hvor varmen lagres i etagehuldæk.



Figur 2.4. "Double envelope" system hvor den solopvarmede luft skaber et mildere klima omkring bygningen (Hastings, 1998).

2.2. Andre testfaciliteter

PASSYS testcellerne kan karakteriseres som den klassiske form for testcelleteknologi, hvor man prøver at isolerer sig ud af problemerne og mere eller mindre eliminere en bærende konstruktion (som rummer risikoen for potentielle kuldebroer) ved at operere med en begrænset størrelse. Dette giver som nævnt ovenfor hver for sig problemer for afprøvning af bygningsintegreret solenergi. I det følgende gives eksempler på, hvordan disse problemer isoleret set er løst i andre testfaciliteter.

2.2.1. Test Room 3000

Et af målene med IEA Annex 21 var at udvikle en metode til empirisk validering af termiske bygningssimuleringsprogrammer (Lomas et al, 1997). I en sådan metode er der brug for veldokumenterede målinger med stor nøjagtighed. Da der blev sigtet på en metode til validering af hele programmer og ikke kun subrutiner af programmerne, er der brug for måledata fra hele bygninger. Her er målinger fra testceller som regel bedre end fra virkelige bygninger, da der som allerede nævnt er store usikkerheder forbundet med målinger på virkelige bygninger.

Detaljerede undersøgelser viste, at kun måledata fra én testfacilitet opfyldte de opstillede krav. Disse målinger stammer fra ETSU (Energy Technology Support Unit (UK)) testcellerne, der blev administreret af EMC (Energy Monitoring Company). ETSU testcellerne er af samme type som PASSYS testcellerne - se figur 2.5, men har væsentlig mindre isolering i vægge, gulv og loft. Målingerne foretaget af EMC viste sig at være af bedre kvalitet end dataene fra PASSYS testcellerne. Dette antages ikke (primært) at skyldes, at disse testceller er anderledes konstrueret end PASSYS testcellerne. Derimod formodes det, at det hovedsagelig skyldes, at EMC har væsentlig større erfaring i at måle på testceller. EMC har således bestyret flere hold af testceller, som de har modificeret hen ad vejen. De startede med Polytechnic of Central London's "direct gain" testceller først i firserne. I anden halvdel af firsene bestyrede de British Gas's testceller som efterhånden blev forbedret og udvidet til den ovenfornævnte ETSU testfacilitet, som var i operation til midt i halvfemserne, hvor EMC udviklede og byggede Test Room 3000.



Figur 2.5. Tegning af ETSU testcellerne (Lomas, 1993).

Test Room 3000 er bygget på baggrund af erfaringerne fra de testceller, EMC har målt på gennem tiden. Et af problemerne med de foregående testceller var varmetabet gennem de flader, som ikke direkte indgik i målingerne - øst-, vest- og nordvæg samt loft og gulv. EMC var klar over, at øget isolering som i PASSYS test cellerne ville medføre nye problemer i form af ukontrollerbare 2- og 3-dimensionale varmestrømme samt lange tidskonstanter (Martin, 1994 og Martin, 1995).

I stedet for store isoleringstykkelser valgtes et koncept med adiabatiske flader - flader hvor der ingen varmestrøm er igennem, fordi temperaturen på begge sider af fladen er identiske. Disse

flader blev placeret på øst-, vest- og nordvæg samt loft og gulv og konstrueret efter princippet vist i figur 2.6.



Figur 2.6. Principskitse af de adiabatiske falder i Test Room 3000 (Martin, 1994).

De adiabatiske flader er skabt ved at have et smalt hulrum uden på testcellens vægge, gulv og loft. Dette hulrum er delt i to spalter ved hjælp af en plade. En ventilator cirkulerer luft mellem de to spalter, hvor den yderste spalte opvarmes af elvarmelegemer, således at den inderste spalte holdes på en temperatur identisk med temperaturen på indersiden af fladen i testrummet. Temperaturen styres ved hjælp af dataloggersystemet og temperaturfølere i den inderste spalte. Temperaturen i den inderste spalte kan holdes indenfor $\pm 0,25$ K i forhold til temperaturen på testrumsiden af fladen.

Testrummets flader er produceret og samlet under skrap kontrol af brugerne af testcellen (Martin, 1995). Det er desuden lykkedes at gøre testcellen næsten fuldstændig tæt - 0,0015 luftskifter pr. time.

Et billede af Test Room 3000 er vist i figur 2.7. Test Room 3000 byder på så mange nyskabende ideer af betydning for afprøvning af bygningsintegreret solenergi, at forfatteren af nærværende rapport aflagde Chris Martin (en af de to partnere bag Energy Monitoring Company) et besøg i august 1997. Dette besøg har haft stor betydning på udviklingen af det senere beskrevne koncept af en testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi.

Set i lyset af afprøvning af bygningsintegreret solenergi har Test Room 3000 ikke løst alle problemerne diskuteret under PASSYS testcellerne (hvilket heller ikke har været meningen, da det primært er vinduessystemer, Test Room 3000 er beregnet til at afprøve). Testcellen har et lille grundareal - 3,7 x 3,1 m - og lille sydfacade - en højde på 2,4 m. Desuden er der ingen tunge indvendige flader til akkumulering af varme.

EMC har med Test Room 3000 opnået målenøjagtigheder sammenlignelige med målinger i hot box i laboratorier, når det gælder måling af vinduers U-værdi.



Figur 2.7. Foto af Test Room 3000.

2.2.2. Fleretagers testfaciliteter

Størrelsen af facaden er ikke problemet i Gaz de France's testbygning, idet denne består af en syv etages bygning, hvor de øverste fem etager indeholder testlejligheder. Figur 2.8 viser et billede af denne bygning, mens figur 2.9 viser en typisk etagegrundplan.

Bygningen er bygget for at kunne teste opvarmningssystemer og ikke til at teste bygningsintegreret solenergi. Det er således kun dele af facaden, der kan udskiftes, det er ikke muligt at lagre varme i etageadskillelserne ved at blæse varm luft igennem, og der er ikke gjort nok ud af kuldebroerne.

En anden bygning, hvor hele sydfacaden kan udskiftes, er Conphoebus' kontorbygningen på Sicilien (Licata, 1990). Her er der gjort en indsats mod kuldebroer - dog ikke ved hjælp af adiabatiske flader, men det er heller ikke her mulighed for lagring i etageadskillelser ved hjælp af varm luft blæst igennem disse og bygningen bliver anvendt som kontorbygning.

Udgangspunktet for ovennævnte to bygninger er i højere grad traditionelt byggeri end de specielle krav prøvning af bygningsintegreret solenergi kræver.



Figur 2.8. Foto af Gaz de France's testbygning (Gaz de Fance, 1997).



Figur 2.9. Typisk etagegrundplan i Gaz de France's testbygning (Gaz de Fance, 1997).

2.3. Problemer med eksisterende testfaciliteter

Set i lyset af de specifikke krav til prøvning af bygningsintegreret solenergi, indeholder de eksisterende testfaciliteter en eller flere af problemerne listet herunder:

- kuldebroer
- 2-og 3-dimensionale varmestrømme
- lange tidskonstanter
- stor infiltration
- lille facadeareal
- lille grundareal
- ingen/ringe mulighed for varmeakkumulation i indvendige konstruktioner

3. Udvikling af koncept for testfacilitet til afprøvning af bygnings-integreret solenergi

I afsnit 2.3 er vist en liste af problemer ved eksisterende testfaciliteter i forbindelse med afprøvning af bygningsintegreret solenergi. I det følgende løses disse samtidig med, at nedenstående yderligere krav opfyldes:

- let at udskifte facaden
- mulighed for at afprøve komponenter også på øst-, vest- og nordfacaden
- mulighed for test af tagintegrerede komponenter

Problemerne fra afsnit 2.3 løses på følgende måde:

•	• kuldebroer		
•	2- og 3-dimensionale varmestrømme	=	\Rightarrow adiabatiske flader
•	lange tidskonstanter		
•	infiltration	=	\Rightarrow tætning
•	lille facadeareal	:	\Rightarrow mindst to etager
•	lille grundareal	:	$\Rightarrow 80 \text{ m}^2$

• ingen/ringe mulighed for varmeakkumulation i indvendige konstruktioner

 \Rightarrow betonhuldæk som etageadskillelser

Flere af kravene/løsningerne kan umiddelbart virke modstridende - f.eks. tunge indvendige konstruktioner og korte tidskonstanter, tunge indvendige konstruktioner og ingen kuldebroer samt store volumener og lufttæthed. Disse modstridende forhold kan dog løses, som det vises i det følgende.

På baggrund af ovenstående krav og løsningsforslag er der udviklet et koncept for en testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi. Konceptet vil i det følgende blive beskrevet ved hjælp af billeder og tegninger af en funktionsmodel i 1:20, der er opbygget for at udvikle og illustrere konceptet. Funktionsmodel betyder her, at intentionen med modellen ikke er at vise, hvordan den endelige testfacilitet kommer til at se ud, men for at vise funktionerne i testfaciliteten.

3.1. Koncept

3.1.1. Dimensioner

Hver etage i testfaciliteten har et areal 80 m², da det er den gennemsnitlige størrelse af danske lejligheder, samtidig med at dette areal også muliggør test af forskellige bygningsindretninger. Det valgte areal vil samtidig lede til realistiske luftstrømme og varmebehov for typiske bygningsindretninger. De 80 m² fremkommer ved en facadelængde mod syd på 8 m og en dybde på 10 m. Figur 3.1 viser en typisk indretning af en 80 m² lejlighed. I figur 3.2 er vist, hvordan samme etageareal kan indrettes som et dobbeltsidig kontormiljø med midtergang og fire kontorer. Uden ruminddeling kan testes åbne kontorlandskaber. Desuden er det muligt at indrette to PASSYS testceller (med adiabatiske flader) på hver etage som vist på figur 3.3. Der er i funktionsmodellen valgt en typisk etagehøjde på 3 m.



Figur 3.1. Testfaciliteten indrettet som en typisk dansk lejlighed.



Figur 3.2. Testfaciliteten indrettet som en typisk kontorbygning med midtergang.

I figur 3.4 er grundarealet af PASSYS testcellen inkl. servicerum vist i forhold til det her beskrevne koncept. Henholdsvis med og uden servicerum udgør PASSYS testcellens grundareal 28 og 17 % af testfacilitetens grundareal. Figur 3.5 viser arealet af sydfacaden sammenlignet med sydfacaden af PASSYS testcellen. For testfaciliteten er der vist to facadearealer. Et med to etager - 8 x 6 m og et, hvor facaden er forhøjet med ekstra to etager - 8 x 12 m. Facadearealet af PASSYS testcellen udgør her henholdsvis 16 og 8 % af testfacilitetens facadeareal. Forhøjelsen af facaden kan relativt let lade sig gøre som vist på figur 3.6.



Figur 3.3. Testfaciliteten indrettet med to PASSYS testceller med adiabatiske flader på hver etage.



Figur 3.4. Grundarealet sammenlignet med grundarealet af PASSYS testcellen inkl. service rum.



Figur 3.5. Arealet af sydfacaden med to og fire etager sammenlignet med PASSYS testcellens sydfacade.



Figur 3.6. Principskitse af hvordan sydfacaden relativt let kan forhøjes med to etager.

3.1.2. Opbygning

Det grundlæggende princip i det udviklede koncept er vist i figur 3.7. De to testrum (stuen og 1. sal) kan omgives af adiabatiske flader på alle "ikke betydende flader". "Ikke betydende flader" betyder her de flader, der ikke bliver målt på. Dvs. det er muligt at skabe adiabatiske flader på alle vægge (øst, vest, syd og nord) samt for gulvet i stuen og loftet på 1. sal.

De adiabatiske flader skabes ved hjælp af zoner med en bredde på mindst 1 m placeret uden på test-rummenes vægge samt en loftzone og en kælderzone. Disse zoner skal holdes på samme temperatur som temperaturen af luften på indersiden af testrummenes flader. Dette kan gøres ved at installere varmelegemer og ventilatorer i zonerne. Ventilatorerne skal sørge for fuld-

stændig opblanding af luften i kælder og loftzonerne. I øst- og vestzonerne er der brug for en mere præcis styring af ventilatorerne for at kunne matche en eventuel temperaturlagdeling i testrummene. Kælderzonen er speciel, dels fordi den har normal rumhøjde, så en evt. lagertank til et aktivt solvarmeanlæg kan placeres her, dels fordi den har et grundplan, der på alle sider er mindst 1 m større end grundplanet af testrummene. Dette gøres dels for at hindre kuldebroer og 2-dimensionelle varmestrømme i testvæggene som beskrevet senere, dels for at hindre kuldebroer ved testrummenes bærende konstruktion. På grund af betonhuldækkende er det nødvendigt med et kraftigt bærende skelet. Ved at lade dette skelet stå i en kælder med samme temperatur som luften over gulvet i det nederste testrum, vil gennembrydningen være adiabatisk og dermed ikke lede til måleusikkerheder. Tilsvarende er gennembrydningen af den bærende konstruktion ved loftet også adiabatisk på grund af loftzonen, som kan holdes på samme temperatur som luften under loftet i det øverste test-rum.



Figur 3.7. Princippet i testfaciliteten.

De adiabatiske zoner kan ikke blot anvendes til at skabe adiabatiske flader, men også som føringsvej og placering af ledninger til måleudstyr, rør til varmeanlæg og ventilationskanaler. I kælderen kan placeres en solvarmebeholder eller et stenlager, men også dataopsamlingsudstyr. Testfaciliteten består som nævnt af to testrum med loft og gulv i betonhuldæk. Dette kræver en kraftig bærende konstruktion - f.eks. et stålskelet. Figur 3.8 viser, hvordan et sådant stålskelet kunne bygges op. Det består som vist af 6 bærende søjler - en i hvert hjørne og en midt på syd- og nordvæggen (de to sidste søjler kan måske undværes). På syd- og nordvæggen er der monteret tre vandrette bjælker på indersiden af søjlerne til at bære de tre betonhuldæk. Disse bjæl-ker kan desuden benyttes til fastgørelse af syd- og nordfacaderne. Tilsvarende er der monteret vandrette bjælker på øst- og vestsiden, dels for at stabilisere konstruktionen dels for at kunne fastgøre øst- og vestvæggen. Figur 3.8 viser desuden, at kælderen har et større grundplan end testrummene.



Figur 3.8. Den bærende konstruktion for betonhuldækkene.

Figur 3.9 giver mulighed for at se ind i testfacilitetens kælder. De mørke "søjler" rundt langs kanten af kælderen er beregnet til at bære testfacilitetens facader. Søjlerne er ikke i kontakt med kældervæggene. Ved at cirkulere luft rundt om søjlerne, kan disse holdes på samme temperatur som luften i kælderen og derved medvirke til at hindre kuldebroer og 2-dimensionelle varmestrømme i bunden af facaderne. Søjlerne er her vist massive, men bør ideelt set være som vist på figur 3.10 for derved at lette cirkulationen af luft rundt om søjlerne.

Figur 3.11 viser betonhuldækkene i testfaciliteten. Betonhuldækkene muliggør, at der kan blæses luft gennem etageadskillelserne fra syd til nord eller omvendt. Dette muliggør udnyttelse af etageadskillelserne som lager for enten varme eller kulde. Syd- og nordfacaden monteres på ydersiden af søjlerne i den bærende konstruktion, mens betonhuldækket kun går til indersiden af disse søjler. Dvs. der fremkommer en afstand mellem betonhuldækkene og syd- og nordfacaderne. Dette er tilsigtet, idet det muliggør placering af manifold mellem en eventuel luftsolfanger eller solvæg og betonhuldækket, så luften kan cirkuleres mellem etageadskillelsen og solfangeren - figur 3.12 viser et eksempel på dette. Hvis der ikke er behov for spalterne, kan de lukkes og tætnes f.eks. med isoleringsplader.



Figur 3.9. Testfacilitetens kælder.



Figur 3.10. Facadernes bærende konstruktioner vist dels som massive bjælker dels som bøjler.



Figur 3.11. Betonhuldækkene i testfaciliteten.



Figur 3.12. Eksempel på forbindelsen mellem en luftsolfanger og betonhuldækket via en manifold placeret i spalten mellem betonhuldækket og sydfacaden. Snit AA og BB er vist i figur 3.13, mens placeringen på bygningen er vist i figur 3.14.



Figur 13.13. Snit AA og BB i figur 3.12.



Figur 13.14. Placeringen af solvæggene på testfacilitetens skelet.

Figur 3.15 og 3.16 viser eksempler på luftsolvarmeanlæg, hvor etageadskillelsen benyttes som varmelager. Figur 3.15 viser et lukket system, mens figur 3.16 viser et åbent system, hvor rumluften cirkuleres i solvarmeanlægget. I figur 3.15 er der også lagring i interne vægge. Testfaciliteten muliggør opstilling af interne tunge vægge til lagring af varme. Konstruktionen skal dimensioneres til at kunne bære denne ekstra vægt. Betonhuldækket kan også anvendes til undersøgelse af natkøling, hvor etageadskillelsen køles med udeluft om natten for at modvirke for høje temperaturer om dagen.



Figur 3.15. Eksempel på et luftsolvarmeanlæg, hvor etageadskillelsen og interne vægge anvendes som varmelager. Systemer er et lukket system, hvor luften i systemet ikke kommer i kontakt med rumluften (Hastings, 1998).



Figur 3.16. Eksempel på et luftsolvarmeanlæg, hvor etageadskillelsen anvendes som varmelager (Hastings, 1998). Systemer er et åbent system, hvor rumluften cirkuleres i solvarmeanlægget - samme type anlæg som er vist i figur 3.12. Betonhuldækkene introducerer nogle problemer. Da kanalerne i betonhuldækkene er nordsydgående, er det ikke muligt direkte at koble en øst- eller vestvendt luftsolfanger til betonhuldækkene. Enten kan luften fra sådanne solfangere kanalføres til syd- eller nordsiden og derefter kobles til etageadskillelsen og igen evt. kanalføres tilbage til solfangeren. Hvis det er essentielt, at luftens strømningsretning er øst-vest, kan der eventuelt lægges en ekstra tung gulvflade med kanaler oven på det eksisterende betonhuldæk.

I starten af kapitlet blev det påpeget, at lange tidskonstanter skulle undgås. Dette gælder dog kun "ikke betydende flader". I luftsolvarmeanlæg med varmelagring i etageadskillelsen udnyttes denne tidskonstant i forbindelse med lagringen af varmen. Da danske bygninger traditionelt har indtil flere tunge indvendige overfalder, vil dette ofte ikke skabe problemer. Men hvis en afprøvning kræver et let rum, kan dette opnås ved at lægge et lag hårde isoleringsplader (50 mm) ud på gulvet og tilsvarende hænge isolering op under loftet. Det samme gælder - dog i mindre grad - for det bærende skelet, hvis dette består af stål eller beton.

Etageadskillelsen mellem stuen og 1. sal rummer dog stadig en potentiel usikkerhed. Denne flade er ikke nødvendigvis adiabatisk. Hvis der f.eks. køres en afprøvning med naturlig køling på den ene etage, mens overophedningsproblemer studeres på den anden etage, vil dette skabe varmestrømme over denne flade. Dette problem kan reduceres ved at måle varmestrømmene over fladen enten ved hjælp af temperaturfølere på begge sider af betonhuldækket eller ved hjælp af varmestrømsmålere. Herefter kan målingerne korrigeres for varmestrømmene over denne flade.

Figur 3.17 viser den vestlige skillevæg mellem testrum og den adiabatisk zone. Da fladen er adiabatisk er isoleringsevnen af denne flade egentlig underordnet. Dog skal det sikres, at den ikke har for lange tidskonstanter - dvs. være termisk let og ikke for tyk. Det foreslås, at U-værdierne for denne type vægge vælges at have samme U-værdi som typiske danske ydervæg-ge - dvs. omkring 0,4 W/m²K. Det skal være muligt at ventilere de adiabatiske zoner med udeluft, så temperaturen af disse om nødvendigt kan holdes tæt på udelufttemperaturen - dvs. de er da ikke adiabatiske. På den måde kan man introducere et større varmetab end blot syd-og evt. nordvæggens varmetab, hvis det er ønskeligt, f.eks. for at simulere en gavllejlighed.

Et af kravene til testfaciliteten er, at det skal være muligt at teste tagintegrerede systemer. Det skal således være muligt at montere forskellige former for tagkonstruktioner på testfaciliteten. Hvis taget skulle bæres af den samme konstruktion, som bærer etageadskillelserne, vil dette lede til potentielle kuldebroer. Derfor skal taget, som vist på figur 3.18 og 3.19, bæres af en selvstændig konstruktion uden for testfacilitetens adiabatiske zoner. Denne konstruktion kan kaste skygger på testfacader placeret på øst- eller vestvæggen, men da det er en simpel geometrisk konstruktion, vil det være muligt beregningsmæssigt at tage højde for denne lille unøjagtighed. På figur 3.18 er samtidigt vist sydvæggen i den østlig og vestlig adiabatisk zone samt i loftzonen.

På figur 3.19 er den adiabatiske loftzone vist som en 1 m høj zone. Denne zone kan i princippet udføres i hvilken som helst højde evt. som hele rummet under tagkonstruktionen.

Figur 3.20 viser et nærbillede at de to østlige adiabatiske zoner og den bærende konstruktion for taget. Der er to adiabatiske zoner mod øst og vest, da de to testrum som før nævnt ikke nødvendigvis vil have samme temperatur.



Figur 3.17. Testfaciliteten hvor den vestlige adiabatiske væg er monteret.



Figur 3.18. Den bærende konstruktion for taget.



Figur 3.19. Den adiabatisk loftzone uden tagkonstruktionen, den bærende konstruktion for taget samt de østlige og vestlige adiabatisk zoner.



Figur 3.20. De to østlige adiabatiske zoner.

Figur 3.21 viser testfaciliteten med alle de udvendige flader inkl. tagkonstruktionen. Modellen viser nogle af de solenergiformer, der kan testes i faciliteten. På taget er i midten tagvinduer med PV-elementer over og under. På hver side er placeret aktive solfangere enten i form af luft- eller væskesolfangere. På sydvæggen er til højre glasinddækkede altaner med luftsolfangere i brystningerne til forvarmning af ventilationsluft. Til venstre er en kombination af direkte solindfald gennem vinduer (dvs. også dagslys) og luftsolfangere med lagring af varmen i etage-adskillelserne.



Figur 3.21. Testfaciliteten med alle udvendige flader inkl. tagkonstruktion og forskellige solenergiformer.

Figur 3.22 viser et eksempel på en nordfacade, her i form af en traditionel facade med et typisk vindues- og dørareal. Nordfacaden kan bl.a. anvendes til at skabe realistiske varmetab for testrummene, direkte indgå i solenergianlæggene som vist i figur 2.4 eller anvendes til undersøgelse af dagslys.

Modellen viser ikke adgangsforholdene til testfaciliteten. Der skal være en trappe til kælderen på nordsiden. Kældertrappen skal placeres udenfor de viste kældervægge med en dør gennem kælderens nordvæg. Der skal også være en mulighed for en større åbning ned til kælderen, der gør det muligt at sænke f.eks. solbeholdere ned i kælderen.

Til testrummene skal der være en sliske og en trappe til henholdsvis stuen og 1. sal. Disse må ikke være i termiske kontakt med væggen og skal kunne fjernes helt ved udskiftning af væggen og flyttes, hvis adgangsdørene til testrummene flyttes f.eks. til en anden væg.



Figur 3.22. Nordsiden af testfaciliteten.

Figur 3.23 viser, hvordan sydfacaden hviler på søjlerne i kælderen. På figur 3.24 er afslutningen mellem kælder og væg placeret. Denne afslutning kan føres mere eller mindre op af væggen for at mindske kuldebroer og 2-dimensionelle varmestrømme i væggen, der bliver testet.



Figur 3.23. Testvæggen hviler på den bærende struktur i kælderen.



Figur 3.24. Afslutningen mellem kælder og testvæg.

3.2. Fra kontrollerede forhold til virkelighed

I det udviklede koncept er det muligt isolere de termiske processer, der sker i de bygningsintegrerede bygningskomponenter, der måles på. Det gøres ved at fjerne andre forstyrrende termiske processer, der normalt også foregår i en bygning. Det vil i betydelig omfang minimere måleusikkerheden ved fastlæggelsen af de termiske/fysiske forhold i energikomponenterne.

Men meningen med bygningsintegrerede solenergikomponenter er, at de skal installeres i rigtige bygninger, der har alle de forstyrrende termiske processer, der kan udelukkes i testfaciliteten. Det er derfor også vigtigt at kunne fastlægge indflydelsen af disse termiske processer på funktionen af energikomponenterne. En solenergikomponent kan fungere godt under kontrollerede forhold, men har mindre ydelse eller leder til komfortproblemer i rigtige bygninger, fordi komponenten har et dårligt samspil med resten af bygningen. At beregninger og virkelighed ofte ikke stemmer overens forklares ofte med måleusikkerhed, brugeradfærd, m.m. Men skyldes i virkeligheden ofte, at beregningerne bygger på idealiserede tilfælde, hvor alle de komplicerede processer i en bygning ikke er medtaget eller er for simplificeret. F.eks. antages der i beregninger ofte ingen temperaturlagdeling i bygningens rum, mens der måske i virkeligheden er fodkoldt på grund af kuldenedfald (f.eks. fra store vinduespartier), så brugerne af bygningen lukker mere op for radiatorerne end antaget i modellen, hvilket leder til et større energiforbrug end beregnet. En bedre forståelse af samspillet mellem energikomponenter og resten af bygningen gen kan derfor lede til bedre modeller af bygninger.

Det er derfor vigtigt ikke blot at kunne bestemme de termiske processer i bygningsintegreret solenergikomponenter, men også deres samspil med de termiske processer, der i forvejen er i virkelige bygninger. Det sidste er ofte umuligt ved hjælp af den traditionelle testcelle-teknologi, men er mulig ved hjælp af det her udviklede koncept.

I det udviklede koncept er det muligt at måle på energikomponenterne isoleret under helt kontrollerede forhold ved at etablere adiabatiske flader på alle overflader med undtagelse af den flade, hvor energikomponenterne er installeret (som f.eks. vist i figur 3.3). Herved kan de termiske processer i komponenterne bestemmes meget præcist. Dette er nødvendigt for at opnå vigtige informationer om de interne fysiske forhold i komponenterne. Samspillet med den øvrige bygning kan fastlægges ved at introducere de andre termiske processer i en bygning i mere eller mindre grad - f.eks. ved at introducere en syd/nord-opdeling af bygningen som vist i figur 3.1-2. eller ved at introducere varmetab fra andre flader ved at fjerne en eller flere af de adiabatiske flader (f.eks. ved at cirkulere udeluft gennem de adiabatiske zoner eller ved helt at fjerne disse zoner).

På denne måde muliggøres ikke blot en fastlæggelse af de fysiske processer internt i bygningsintegrerede solenergikomponenter med også en fastlæggelse af samspillet mellem energikomponenterne og bygningen. Det sidste er i virkeligheden den største nyskabelse ved det udviklede koncept.

Det her udviklede koncept vil derfor i højere grad end den traditionelle testcelle-teknologi være istand til at danne bro mellem laboratorieundersøgelser og virkelige bygninger.

3.3. Sammenfatning

Det udviklede koncept beskrevet i det foregående kan sammenfattes i følgende nøgleord:

- Stor målenøjagtighed ved eliminering/minimering af kuldebroer samt 2- og 3-dimensionale varmestrømme ved hjælp af adiabatiske flader.
- Fleksibilitet det er muligt at teste facader mod syd, øst, vest og nord samt teste tagkonstruktioner.
- Realisme etageareal og etagehøjde er typiske for danske bygninger, hvilket leder til realistiske luftstrømme og varmebehov. Det er muligt at bestemme samspillet mellem bygning og solenergikomponent.
- Det er muligt at teste store facader.
- Det er muligt at teste solenergianlæg med lagring af varme i bygningskroppen.

Konceptet er udviklet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi, men kan også anvendes til afprøvning af andre energikomponenter som f.eks. varmeanlæg og ventilationsanlæg (mekanisk og naturlig ventilation). Testfaciliteten kan desuden anvendes i forbindelse med undervisning af installatører af solenergianlæg under kvalitetssikringsordningerne for solvarmeanlæg og PV-anlæg. Testfaciliteten muliggør også afprøvning af udvendige overflader af bygningskomponenter under realistiske forhold - f.eks. på ydervæggen af de adiabatiske zoner, der alligevel ikke indgår ved afprøvning af bygningsintegrerede solenergikomponenter.

4. Realisering af testfaciliteten

I kapitel 3 blev et koncept for en testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi beskrevet og diskuteret. Konceptet er blevet eksemplificeret ved hjælp af en funktionsmodel. Intentionen med funktionsmodeller er ikke at vise, hvordan testfaciliteten skal se ud, når den er opført, men at vise de forskellige funktioner i konceptet.

Udviklingen og beskrivelsen af det udviklede koncept var hovedformålet med nærværende projekt. I det følgende vil det derfor kun kort blive berørt, hvordan testfaciliteten kan realiseres.

Før testfaciliteten kan opføres, er det nødvendigt med en optimering og detailprojektering af testfaciliteten. Materialer skal fastlægges, der skal regnes statik på de bærende konstruktioner, der skal ske en suboptimering af de forskellige konstruktionsdetaljer for at undgå kuldebroer og 2-dimensionale varmestrømme, testfaciliteten skal overholde arbejdstilsynets regler, m.m. Dette skal lede frem til den endelige projektering af testfaciliteten i form af byggetegninger og priser. Desuden skal der findes en byggegrund til testfaciliteten. Testfaciliteten skal placeret så langt fra skyggegivere, at der ikke falder slagskygger på syd-, øst- og vestvæggen fra omgivelserne.

Fastlæggelsen af den præcise udformning af testfaciliteten skal foregå i et samspil med kommende brugere af testfaciliteten, dvs. ud over DTI Energi, forskere (f.eks. fra Institut for Bygninger og Energi, DTU og Statens Byggeforskningsinstitut), rådgivere (arkitekter og ingeniører), fabrikanter (vinduesfabrikanter, solvarmefabrikanter, solcellefabrikanter, m.m.), entreprenører, bygherrer og styrelser (Energistyrelsen og Bygge- og Boligstyrelsen).

Fastlæggelse af testfacilitetens udformningen og den detaljerede projektering forventes gennemført af DTI Energi i 1998. Ligeledes vil de nødvendige midler til etableringen af testfaciliteten blive forsøgt rejst i 1998.

Målet er, at testfaciliteten står færdig i foråret 2000.

4.1. Kvalitetssikring

Testfaciliteten skal opføres under en meget stram kvalitetsstyring, således at byggetegninger og virkelighed stemmer overens, så problemerne fra PASSYS testcellerne undgås.

Der skal indsamles prøver af alle byggematerialer i relevante mængder, så de fysiske materialekonstanter kan bestemmes - det vil i første række sige ρ , c_p og λ samt absorptions- og emissionskoefficienter og for transparente materialer desuden transmittansen.

5. Målesystem

Måleresultater med stor målenøjagtighed kræver velvalgte og præcise måleinstrumenter. Dette er et område, der er gjort meget ud af i flere tidligere og nuværende testfaciliteter - f.eks. i forbindelse med PASSYS-projektet (BBRI, 1990, Wouters and Vandaele, 1989, Stanzel, 1992 og Fisch and Klöpfer, 1993).

Opbygningen af testfacilitetens målesystem - inkl. udvikling af kalibreringsrutiner - kan derfor baseres på eksisterende viden, herunder den viden der allerede eksisterer i forbindelse med DTI Energi's laboratorier specielt Solenergi Laboratoriet. Målesystemet og kalibreringsrutinerne skal udvikles i overensstemmelse med DTI Energi's kvalitetsstyringssystem og akkrediteres på linie med DTI Energi's andre testfaciliteter.

I det følgende vil målesystemet kort blive diskuteret. Fastlæggelse af instrumenteringen af testfaciliteten kræver en mere omfattende undersøgelse, hvilket ikke har været muligt i nærværende projekt.

5.1. Målepunkter

5.1.1. Vejrforhold

Målingerne fra tidligere testfaciliteter har vist sig ubrugelige, fordi vejrdata ikke var målt på stedet, eller fordi der f.eks. kun var målt det globale solindfald og ikke diffust solindfald, så solindfaldet ikke kunne splittes op i de to komponenter - direkte og diffust solindfald.

Vejrforholdene omkring testfaciliteten skal måles med følgende målepunkter:

- globalt solindfald
- diffust solindfald på vandret
- totalt solindfald på flader, der måles på
- (ventileret) udelufttemperatur på nordsiden plus foran flader, der måles på
- vindhastighed og vindretning i 10 meters højde
- vindhastighed langs flader, der måles på
- luftfugtighed
- mulighed for måling af langbølget udstråling

5.1.2. Testrum

Sensorsættet og den nødvendige målenøjagtighed i forbindelse med testrummene vil i høj grad afhænge af de aktuelle afprøvninger, der bliver gennemført. Det vil dog være relevant at have permanente sensorer til måling af lufttemperaturer og overfladetemperaturer i de to testrum. Lufttemperatursensorerne skal være afskærmede for stråling som vist på figur 5.1. Disse skal være spredt ud i rummet inkl. i flere højder for at kunne måle temperaturlagdelingen i rummet. Disse sensorer skal også bruges til at styre de adiabatiske zoner.



Figur 5.1. De afskærmede lufttemperaturfølere i PASSYS testcellerne.

Testfaciliteten skal være (næsten) fuldstændig tæt, så alle luftstrømme gennem test-rummene kan måles. Afhængig af den ønskede luftstrøm kan denne måles på forskellig måde - i form af lufthastighed eller trykfald over et pito-rør, måleblænde, målebøjning eller et til lejligheden kalibreret trykfald.

Den enkleste måde at introducere opvarmning på er ved hjælp af elvarme, da det er lettere og mere præcist at måle på elvarme end på vandbaserede opvarmningssystemer. Der skal i hvert testrum være et passende antal stikkontakter, der kan måles på, og som kan styres. Her kan evt. strømforbrugende måleudstyr også sluttes til, så dette bidrag til opvarmningen kan registreres.

Øvrige sensorer vil i høj grad være afhængig af den aktuelle afprøvning. Det kan dreje sig om overfladetemperatursensorer og temperatursensorer i den aktuelle væg, der afprøves. Temperaturer og lufthastigheder foran væggen. Varmestrømme i væggen. Solindfald gennem transparente felter, luftfugtighed, m.m.

For at sikre et fleksibelt målesystem bør sensorerne kunne sluttes til et permanent arrangement i testrummene. Der skal være en permanent ledningsføring mellem de to etager og kælderen, hvor måle-pc'eren f.eks. er placeret, så der ikke skal trækkes ny ledninger til kælderen, hver gang målesystemet udvides med nye instrumenter. Måleopsamlingsudstyret foreslås baseret på Analog Devises og Labtech, som DTI Energi har stor erfaring med. I det tilfælde kan den permanente tilslutningmulighed for måleinstrumenter bestå af back-plane på hver etage forbundet med måle-pc'en via en RS-485-forbindelse.

Der eksisterer i dag allerede stor erfaring og kontinuitet i DTI Energi's Solenergi Laboratorium med akkrediterede afprøvning af solenergikomponenter. Afprøvningerne i testfaciliteten til afprøvning af bygningsintegreret solenergi skal i høj grad bygge på dette. Erfaring og kontinuitet er vigtig for at opnå måleresultater af høj kvalitet, hvilket eksemplet fra Energy Monitoring Company (afsnit 2.2.1.) tydelig viser.

5.2. Sammenfatning

Måleopsamlingsudstyret skal sammenfattende baseres på følgende:

- Bygge på tidligere indhøstede erfaringer både på DTI Energi og andre testfaciliteter.
- Præcise måleinstrumenter.
- Regelmæssig sporbar kalibrering af sensorer.
- Kontinuitet udnyttelse af den store erfaring i DTI Energi's Solenergi Laboratorium for at sikre nøjagtige målinger.
- Akkrediterede målinger.
- Stor fleksibilitet mulighed for nemt at tilføje eller fjerne sensorer.

Basis måleudstyret forventes at blive fastlagt i 1998-99.

6. Sammenfatning

Interessen for bygningsintegreret solenergi har været stærkt stigende gennem de senere år. Bygningsintegreret solenergi er karakteriseret ved en høj grad af samspil med bygningen, det er installeret i. Dette samspil betyder, at udformningen af bygningen har stor betydning for ydelsen fra solenergianlæggene, og at solenergianlæggene har stor betydning for de termiske forhold - specielt komforten - i bygningen.

På grund af det store termiske samspil mellem solenergianlæg og bygning, er det ikke som ved solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning nok udelukkende at afprøve anlæggenes delkomponenter løsrevet fra bygningen. Dvs. bygningsintegreret solenergi skal testet installeret i en bygning.

Afprøvning i en "rigtig" bygning giver problemer, dels fordi bygningens udformning har stor betydning for ydelsen fra solenergianlæggene, dels fordi "rigtige" bygninger som regel ikke er så veldefinerede, at det er muligt at opnå præcise måleresultater. I en "rigtig" bygning vil der foregå andre termiske processer end de, der skal undersøges, samtidigt med at der ofte vil opholde sig personer i bygningen, med alle de måletekniske problemer det medfører.

For at skabe et bindeled mellem laboratorieundersøgelser og "rigtige" bygninger er der gennem de sidste 20-30 år blevet opført mange testfaciliteter - især testceller - hvor der kan måles på forskellige former for bygningsintegreret solvarme - ofte passiv solvarme.

Disse testfaciliteter har dog ofte haft en eller flere alvorlige problemer - ofte i form af kuldebroer eller ukontrollable 2- og 3-dimensionale varmestrømmen. Eller har været for store infiltrationstab. Ved bygningsintegreret solenergi er der ofte behov for afprøvning af større flader, end den traditionelle testcelleteknologi kan håndtere, idet komponenterne ofte er store eller fordi samspillet mellem flere former for bygningsintegreret solenergi er af interesse. Testceller har som regel ikke blot et lille testfelt, men også et beskedent bagvedliggende testrum, således at luftstrømme og varmebehov ikke er realistiske. Desuden er det ofte ikke muligt at undersøge bygningsintegreret varmelagring.

På baggrund af ovenstående er der på DTI Energi udviklet et koncept for en testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi. Konceptet opererer med testrum i to etager, hver med et areal på 80 m² og en etagehøjde på 3 m. Det er muligt at afprøve facade på alle testfacilitetens vægge - dvs. mod syd, nord, øst og vest, samt at afprøve tagløsninger. Præcisionen på målingerne af de fysiske processer relateret til den komponent, der afprøves, sikres ved at anvende adiabatiske flader på alle de flader, der ikke indgår i afprøvningen. Samtidigt muliggør testfaciliteten bestemmelse af samspillet mellem energikomponenten og bygningen, idet det er muligt realistisk at introducere de andre termiske processer, der også foregår i en virkelig bygning. Energikomponenterne kan derved både afprøves alene og som en del af virkeligheden, det senere skal indgå i. Det vil maksimere udbyttet af afprøvningerne.

Konceptet bygger således på realisme, stor målenøjagtighed og fleksibilitet.

Det her udviklede koncept vil derfor i højere grad end den traditionelle testcelle-tekonologi være istand til at danne bro mellem laboratorieundersøgelser og virkelige bygninger.

Testfaciliteten kan både anvendes til afprøvning af solenergikomponenter til opvarmning og til køling samt undersøgelse af natkøling. Det er ikke intentionen at installere køleanlæg i te-

strummene, idet dette ofte introducerer ringere målenøjagtighed. Det er derfor tanken, at komponenter til opvarmning testes i fyringssæsonen, mens komponenter til køling testes i sommermånederne.

Konceptet er udviklet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi, men kan også anvendes til afprøvning af andre energikomponenter som f.eks. varmeanlæg og ventilationsanlæg (mekanisk og naturlig ventilation). Testfaciliteten kan desuden anvendes i forbindelse med undervisning af installatører af solenergianlæg under kvalitetssikringsordningerne for solvarmeanlæg og PV-anlæg. Testfaciliteten muliggør også afprøvning at udvendige overflader af bygningskomponenter under realistiske forhold - f.eks. på ydervæggen af de adiabatiske zoner, der alligevel ikke indgår ved afprøvning af bygningsintegrerede solenergikomponenter.

En detailprojektering af en testfacilitet forventes gennemført i 1998, ligesom midlerne til opførelse af testfaciliteten vil blive forsøgt skaffet i 1998. Det er målet, at testfaciliteten kan indvies i foråret 2000.

7. Referencer

- BBRI, 1990. The Passys Test Cells a Common European Outdoor Test Facility for Thermal and Solar Building Research. Commission of the European Communities DGXII.
- Fish, N. and Klöpfer. S., 1993. Measurement Techniques Development Research and Development Report of the Subgroup Test Site Management. Commission of the European Communities - DGXII. EUR 15116 EN.
- Gaz de France, 1997. Le complexe expérimental de Gaz de France. CERUG Centre d'Essais et de Recherches sur les Utilisations de Gaz.
- Hastings, R. (Editor), 1998. IEA Task 19 Solar Air Systems, Case Study Book. James & James Publishers. Under publication.
- Jensen, S.Ø. (Editor), 1994. Validation of Building Energy Simulation Programs Part I and II, Research Report PASSYS Subgroup Model Validation and Development. Commission of the European Communities - DGXII. 1993. EUR 15115 EN.
- Licata, R. et al, 1990. A test building for perimetral enveloping components. In proceedings of "International conference on evolution of external perimetral components in bioclimatic architecture". Milano, Italy, 5.-6. April 1990. pp. 29-30.
- Lomas, K.J., 1993. Empirical validation of Thermal Building Simulation Programs using Test Room Data. Volume 3: Working Reports. IEA Annex 21.
- Lomas, K.J. et al, 1997. Empirical validation of building energy simulation programs. Energy and Buildings no. 26, pp. 253-275.
- Martin, C., 1994. Test Room 3000. BEPAC Newsletter Supplement. Autumn 1994. pp. 9-11.
- Martin, C., 1995. Test Room 3000. BEPAC Newsletter Supplement. Spring 1995. pp. 15-16.
- Stanzel, B., 1992. PASSYS Calibration Manual. Commission of the European Communities DGXII. EUR 15120 EN.
- Wouters, P. and Vandaele, L. (Editors), 1989. The PASSYS Project Phase 1 Subgroup Instrumentation, Final Report Part 2, 1986-1989. Commission of the European Communities - DGXII.
- Wouters, P. and Vandaele, L. (Editors), 1994. The PASSYS Services Summary Report of the PASSYS Project. Commission of the European Communities - DGXII. EUR 15113 EN.