

Testfacilitet til afprøvning af bygningssintegreret solenergi m.m.

Detailudvikling



Testfacilitet til afprøvning af byggningsintegreret solenergi m.m.

Detailudvikling

Søren Østergaard Jensen (ed)

**SolEnergiCentret
Teknologisk Institut**

Juni 2001

Forord

Denne rapport sammenfatter arbejdet udført vedr. udvikling af en testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi samt andre facade- og energiteknologier til bygninger. Beskrivelser af de enkelte detailundersøgelser er medtaget i rapporten som appendiks. Arbejdet er finansieret gennem Teknologisk Institut Energis resultatkontrakt med Erhvervsfremmestyrelsen og af Energistyrelsen gennem et UVE-projekt: "Testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi", journal nummer 51181/98-0013.

Deltagere i projektet:

Søren Østergaard Jensen, civ.ing., SolEnergiCentret, Teknologisk Institut Energi
Trine Dalsgaard Jacobsen, civ.ing., SolEnergiCentret, Teknologisk Institut Energi
Jens Rabeck, civ.ing., SolEnergiCentret, Danmarks Tekniske Universitet (nu COWI)
Mark Dyson, arkitekt, Energi Vision, Teknologisk Institut Energi
William Otto, laboratorietekniker, SolEnergiCentret, Teknologisk Institut Energi
Ulrik Mehr, civ.ing., SolEnergiCentret, Teknologisk Institut Energi (nu Oticon)
Morten Jeppesen, scenograf, Energi Vision, Teknologisk Institut Energi (nu Tegnestuen)
Niels Radisch, teknikumingeniør, Energi Center Danmark, Teknologisk Institut Energi
Hans Olsen, teknikumingeniør, Ventilation og Miljø, Teknologisk Institut Energi
Betel Jensen, teknikumingeniør, SolEnergiCentret, Teknologisk Institut Energi
Line Overgaard, civ.ing., SolEnergiCentret, Teknologisk Institut Energi
Erik Steen Pedersen, akademiingeniør, Betonteknologi og konstruktion, Teknologisk Institut Byggeri

Følgegruppe:

Jørgen Schultz, Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet
Carl Erik Hyldgaard, Indeklima og Energi, Aalborg Universitet
Lars Olsen, Teknologisk Institut Byggeri
Kirsten Engelund Thomsen, Statens Byggeforskningsinstitut
Ulla Falck, Ulla Falck's Tegnestue
Olaf Bruun Jørgensen, Esbensen Consulting Engineers
Ove Mørck, Cenergia Energy Consultants
Reto Hummelshøj, COWI Rådgivende Ingeniører AS
Kaj Isaksen, VELUX Support Systems

Tak til følgende personer for konstruktive diskussioner, prissætning og materialer:

Mogens Andersen, Hercules A/S
Ole Rafn Nielsen, Kanthal Norden AB
Jesper Simonsen, Promatic A/S
Palle Willams, B. Nygaard Sørensen A/S

Testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi - detailudvikling
1. udgave, 1. oplag
© Teknologisk Institut
Energidivisionen

ISBN: 87-7756-597-5
ISSN: 1600-3780

Indholdsfortegnelse

Summary	5
1. Indledning	6
1.1. Nyt koncept	7
1.2. Formålet med projektet	12
1.3. Følgegruppe	12
2. Detailundersøgelser	14
2.1. Statikberegninger for den bærende konstruktion	14
2.2. Testfacilitetens bærende konstruktion	17
2.3. De adiabatisk paneler	19
2.3.1. Termiske beregninger	21
2.3.2. Varmefolier	25
2.3.3. Opbygning af luftspalte og ventilation af luftspalte	30
2.3.4. Montage af de adiabatisk paneler	32
2.3.5. Hjørner	34
2.3.6. Adgangsvej	36
2.3.7. Produktion af de adiabatisk paneler	37
2.3.8. Opbevaring af de adiabatisk paneler	37
2.4. Termisk funktion af betonhuldækkene	37
3. Visualisering af testfaciliteten	40
4. Måle/styresystem	45
4.1. Styring af de adiabatisk flader	45
4.2. Målesystem	47
4.3. Måleudstyr – basissensorsæt	47
4.3.1. Måling af eksterne påvirkninger	47
4.3.2. Måling af interne forhold	48
4.3. Kalibrering	50
5. Beliggenhed	51
6. Prissætning af testfaciliteten	53
6.1. Grund	53
6.2. Terræn-, grund-, bygnings- og installationsarbejde	53
6.3. Adiabatisk paneler	54
6.4. Testvæg til indkøring af testfaciliteten	54
6.5. Måle/styresystem	55
6.6. Måleudstyr	55
6.7. Lift	56
6.8. Projekt samt tilsyn ved opførelsen af testfaciliteten	57
6.9. Installation af paneler, måleudstyr samt indkøring af testfaciliteten	57
6.10. Samlet udgift for opførelsen af testfaciliteten	57
7. Anvendelse og brugere af testfaciliteten	58
7.1. Brugere af testfaciliteten	58
7.1.1. Ind- og udenlandske forskere	58

7.1.2.	Rådgivere/entreprenører og bygherrer	58
7.1.3.	Producenter	59
7.1.4.	SolEnergiCentret og Teknologisk Institut	59
8.	Konklusion	60
9.	Referencer	62
Appendiks A	Statik-beregninger	
Appendiks B	Arbejdstegninger for den bærende konstruktion	
Appendiks C	Forslag til udformning af de adiabatiskke flader - I	
Appendiks D	Forslag til udformning af de adiabatiskke flader - II	
Appendiks E	Stationære termiske beregninger for de adiabatiskke paneler med HEAT II	
Appendiks F	Afprøvning af panelsamling	
Appendiks G	Opbygning af luftspalten og ventilation i de adiabatiskke paneler	
Appendiks H	Dynamiske termiske beregninger for betondækkene med HEAT II	
Appendiks I	Paper til EuroSun 2000	
Appendiks J	Interbus Inline	
Appendiks K	Prissætning af terræn-, grund-, bygnings- og installationsarbejde	
Appendiks L	Prissætning af de adiabatiskke paneler	
Appendiks M	Prissætning af måle/styresystem	

Summary

Building integrated solar energy is characterised by a high degree of interplay with the building it is installed in and often also a high degree of interaction between different kinds of building integrated solar energy features. The high degree of interplay often creates major difficulties when trying to determine the performance of these solar energy components.

Today, building integrated solar energy is either tested in real buildings or in test cells. Real buildings give problems because they normally are not well defined – e.g. cold bridges, uncontrollable thermal processes, people, etc. Test cells are normally much more well defined but often far away from reality – i.e. small, heavily insulated (2 and 3 dimensional heat flows and long time constants) – which increases the uncertainty when scaling to real buildings.

Therefore, a new concept for a test facility for testing building integrated solar energy has been developed by the Energy Division of the Danish Technological Institute. The concept is well defined as test cells but instead of heavy insulated exterior surfaces it is based on adiabatic surfaces – i.e. no cold bridges and 2 and 3 dimensional heat flows. The test facility has a realistic size – three story building with a floor area of 80 m². It is possible to test components not only in the south wall but also in the east, west and north wall as well as in the roof. The test facility both allows test of single components and test of the interplay between different components under well defined conditions. It is, however, also possible to introduce the interaction with other thermal processes normally taking place in a real building, by e.g. introducing a heat loss through the “adiabatic” surfaces.

A more detailed description of the concept may be found in Appendix I, which contains a paper to EuroSun2000 on the test facility. The basis idea behind the concept is described in (Jensen, 1997b)

The present report deals with the dimensioning of the carrying skeleton of the test facility, investigation of the adiabatic panels and the hollow core floor slabs including 2D simulations, control of the adiabatic surfaces, the measuring system, visualisation of the test facility, prices of the different components of the test facility, etc. The aim of the report is that it may form the basis for the actual realisation of a test facility for testing building integrated solar energy systems.

1. Indledning

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

I Solenergiudvalgets handlingsplan: "Handlingsplan for solenergi - 1998-2000", er bygningsintegreret solenergi defineret som et nyt, tværgående og helhedsorienteret indsatsområde

Udover at bygningsintegrerede solenergiformer integreres i bygninger, bliver de også kombineret/integreret med hinanden. PV og luftsolvarme kan f.eks. kombineres, så luftsolfangerens "dæklag" består af PV-paneler. 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 PV-elementer 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 solenergianlæggenes har direkte indflydelse på de termiske forhold og specielt på komforten i bygningen. Det betyder, at det ikke er nok at teste/afprøve disse solenergiformer løsrevet fra bygningen, og 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 reproducere, 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 opnås tilstrækkelig præcise og reproducerbare 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.

Det er vigtigt, at der skabes mulighed for at kunne måle præcist på disse solenergisystemer for at muliggøre en optimering af systemerne med hensyn til komfort i bygningen og energibesparelse. Da bygningsintegreret solenergi har en høj grad af samspil med bygningen, ligesom en kombination af flere solenergisystemer yderligere har en høj grad af samspil med hinanden, betyder det, at det ofte er meget komplicerede termiske processer, der foregår. Her er høj målenøjagtighed og vel designede testprocedurer essentielle for at kunne opnå brugbar viden om systemernes funktion - viden der kan videregives til fabrikanter, rådgivere og bygherrer for at sikre høj ydelse og komfort ved anvendelse af bygningsintegreret solenergi i danske bygninger.

Gennem de sidste mere end tyve år er der rundt i verden blevet opført et utal af udendørs 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. Et eksempel på denne teknologi er PASSYS testcellen. Der er placeret i PASSYS testcentre i 10 EU-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 under et EU forskningsprogram i perioden 1986-94.

PASSYS testcellerne består af et testrum og et servicerum. Testrummet har et grundareal på 13,8 m² og et volumen på ca. 38 m³. Testrummets sydvæg med en dimension på 2,75 x 2,75 m² kan relativt let udskiftes, da den sidder i en aftagelig stålramme. Test-rummet 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.

Det er 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, hvor flere facader 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 således 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. Det lille volumen medfører desuden urealistiske luftstrømme og opvarmningsbehov.

Et sidste problem med PASSYS testcellen 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.

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

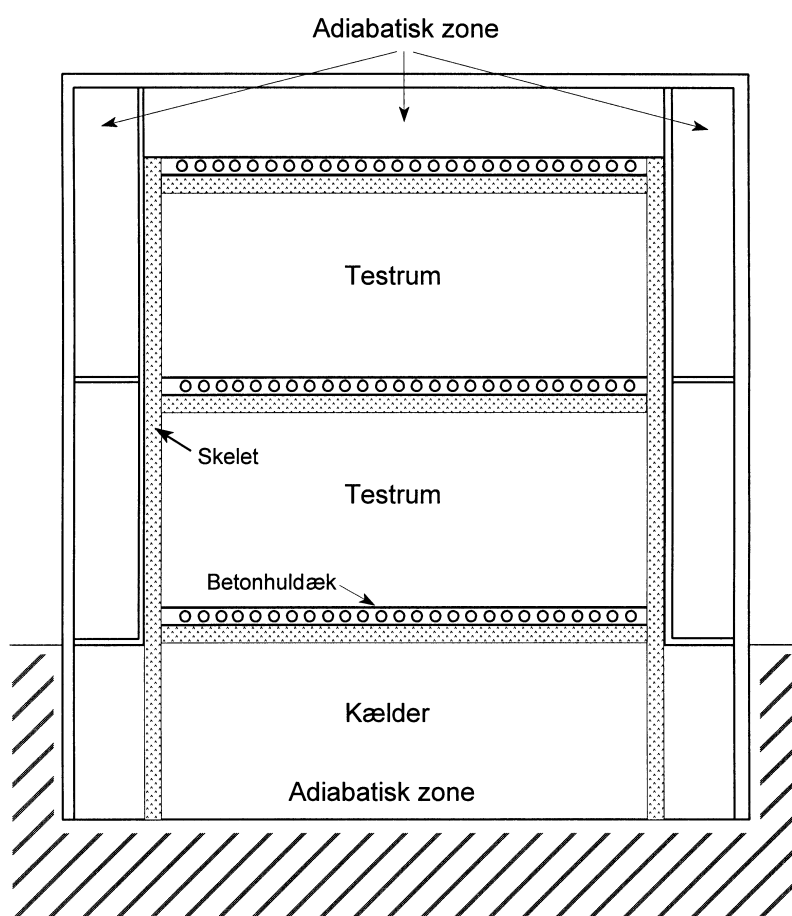
- kuldebroer
- ukontrollable 2- og 3-dimensionale varmestrømme
- lange tidskonstanter
- stor infiltration
- lille facadeareal
- lille grundareal
- ingen/ringe mulighed for varmeakkumulation i indvendige konstruktioner

1.1. Nyt koncept

I erkendelse af vigtigheden af at kunne teste bygningsintegreret solenergi i fuld skala under veldefinerede og veldokumenterede forhold har SolEnergiCentret, Teknologisk Institut - på baggrund af erfaringerne fra tidligere og eksisterende testfaciliteter - udviklet et koncept for en testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi (Jensen, 1997a).

De ovenstående ofte forekommende problemer i tidligere og eksisterende testfaciliteter er løst på følgende måde og illustreret i figur 1.1:

- | | |
|--|---|
| • kuldebroer | |
| • 2- og 3-dimensionale varmestrømme | ⇒ adiabatisk flader |
| • lange tidskonstanter | |
| • infiltration | ⇒ tætning |
| • lille facadeareal | ⇒ mindst to etager – op til fire etager |
| • lille grundareal | ⇒ 80 m ² |
| • ingen/ringe mulighed for varmeakkumulation i indvendige konstruktioner | ⇒ betonhuldæk som etageadskillelser |



Figur 1.1. Principskitse af princippet i testfaciliteten udviklet i (Jensen, 1997a).

Desuden opfylder konceptet følgende krav:

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

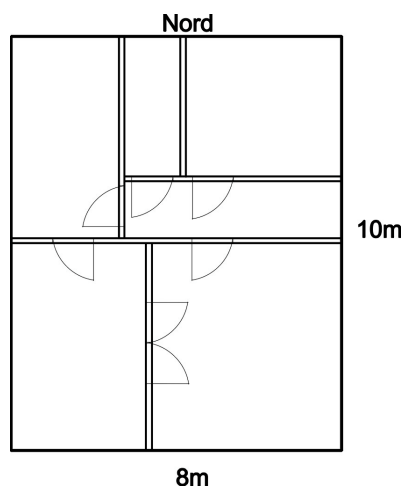
Det grundlæggende princip i det udviklede koncept er vist i figur 1.1. De to testrum (stuen og 1. sal) kan omgives af adiabatisk flader (flader uden varmestrømme igennem) på alle "ikke betydende flader". "Ikke betydende flader" betyder her de flader, der ikke bliver målt på. Dvs. det er muligt at skabe adiabatisk flader på alle vægge (øst, vest, syd og nord) samt for gulvet i stuen og loftet på 1. sal.

De adiabatisk flader i figur 1.1. var oprindeligt tænkt skabt ved hjælp af zoner med en bredde på mindst 1 m placeret uden på test-rummenes vægge samt en loftzone og en kælderzone – i det videre arbejde er de lodrette zoner udskiftet med "adiabatisk paneler" med samme funktion som zonerne – se afsnit 2.3. I figur 1.1. skal zonerne 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 fuldstændig 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, dels for at hindre kuldebroer ved testrummenes bærende konstruktion. På grund af betonehuldækkende er det nødvendigt med et kraftigt bærende skellet. 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.

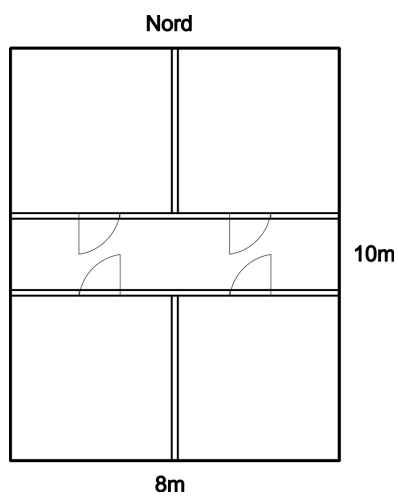
En detaljeret beskrivelse af det udviklede koncept kan findes i (Jensen, 1997a). (Jensen, 1997a) beskriver forudsætningerne for de valgte løsninger i konceptet. Læseren anbefales derfor at læse (Jensen, 1997a) før nærværende rapport, idet flere af forudsætningerne for de konkrete valg ikke vil blive gentaget i nærværende rapport.

Hver etage i testfaciliteten har et areal på 80 m², da det er den gennemsnitlige størrelse af danske lejligheder, samtidig med at dette areal også muliggør test af andre 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 1.2 viser en typisk indretning af en 80 m² lejlighed. I figur 1.3 er vist, hvordan samme etageareal kan indrettes som et dobbeltsidig kontormiljø med midtergang og fire kontorer. Uden ruminddeling kan testes åbne kontorlandskaber.

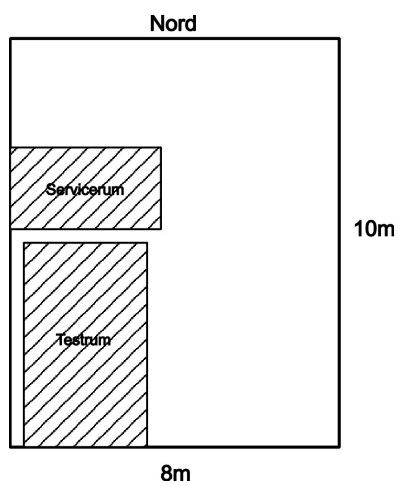
I figur 1.4 er grundarealet af PASSYS testcellen inkl. servicerum vist i forhold til det her beskrevne koncept. Henholdsvis med og uden servicerum udgør PASSYS testcellens grundareal 28 og 17 % af testfacilitetens grundareal. Figur 1.5 viser arealet af sydfacaden sammenlignet med sydfacaden af PASSYS testcellen. For testfaciliteten er der vist to facadearealer. Et med to etager - 8 x 6 m² og et, hvor facaden er forhøjet med ekstra to etager - 8 x 12 m². 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 1.6.



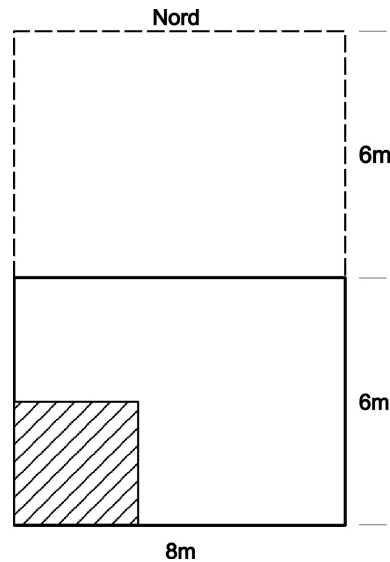
Figur 1.2. Testfaciliteten indrettet som en typisk dansk lejlighed.



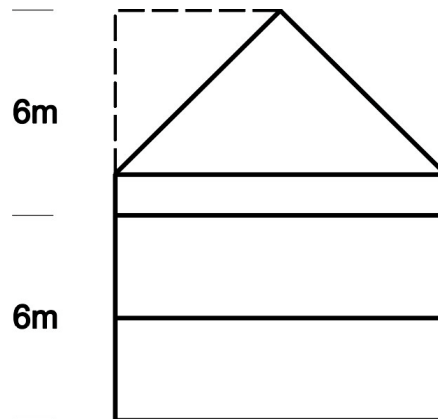
Figur 1.3. Testfaciliteten indrettet som en typisk kontorbygning med midtergang.



Figur 1.4. Grundarealet sammenlignet med grundarealet af PASSYS testcellen inkl. service rum.



Figur 1.5. Arealet af sydfacaden med to og fire etager sammenlignet med PASSYS testcel-
lens sydfacade.



Figur 1.6. Principskitse af hvordan sydfacaden relativt let kan forhøjes med to etager.

I det udviklede koncept er det muligt at måle på energikomponenterne isoleret under helt kontrollerede forhold ved at etablere adiabatisk flader på alle overflader med undtagelse af den flade, hvor energikomponenterne er installeret. Herved kan de termiske processer i komponenten bestemmes meget præcist. Dette er nødvendigt for at opnå vigtige informationer om de interne fysiske forhold i komponenten. Samspillet med den øvrige bygning kan fastlægges ved i mere eller mindre grad at introducere de andre termiske processer, der normalt optræder i en bygningen - f.eks. ved at introducere en syd/nord-opdeling af bygningen som vist i figur 1.2-1.3, eller ved at introducere varmetab fra andre flader ved at ændre en eller flere af de adiabatisk flader til en flade med et varmetab til omgivelser.

På denne måde muliggøres ikke blot en fastlæggelse af de fysiske processer internt i bygningsintegrerede solenergikomponenter med også en fastlæggelse at samspillet mellem energikomponenterne og bygningen.

1.2. Formålet med projektet

Formålet med nærværende projekt er at videreudvikle det ovenfor beskrevne koncept for at skabe mulighed for en egentlig opføring af testfaciliteten.

Dette er i projektet gjort på følgende måde:

Ved hjælp af termiske beregninger er konceptet fastlagt mere præcist – dvs. udformning, materialer, dimensioner, m.m. Der er foretaget parameteranalyser med simuleringsprogrammer for at fastlægge essentielle parameter som f.eks. de adiabatisk fladers udformning. I kombination med dette er der foretaget specialundersøgelser af hjørner og samlinger for at eliminere kuldebroer og 2- og 3-dimensionale varmestrømme.

I sammenhæng med de termiske beregninger er der foretaget statistisk-beregninger for den bærende konstruktion og betonhuldækkene.

Der er udarbejdet detaljerede tegninger for den bærende konstruktion og de adiabatisk falder.

Måle/styresystem samt det nødvendige måleudstyr er fastlagt.

Følgegruppen samt andre nationale og internationale eksperter på området har haft mulighed for at kommentere resultaterne af arbejdet.

Placeringen af testfaciliteten er blevet fastlagt.

Opførelse af testfaciliteten inkl. måleudstyr og byggegrund er blevet prissat.

Præsentationsmateriale til brug ved kontakt til potentielle sponsorer vil desuden blive udarbejdet og potentielle sponsorer vil blive kontaktet for at rejse midler til bygning af testfaciliteten.

1.3. Følgegruppe

En testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi er en kompleks konstruktion, hvor mange forskellige forhold skal bringes til at harmoniseres for at tilvejebringe den ønskede høje nøjagtighed i måleresultaterne samtidigt med at testfaciliteten er meget fleksibel.

Derfor var der nedsat en følgegruppe, der kunne støtte projektgruppen med ideer til løsningsmodeller og kritisk gennemgå af de valgte løsninger. Følgegruppen bestod alle af folk med praktisk erfaring fra målinger på energikomponenter – enten i laboratorier/testceller eller i rigtige bygninger.

Følgegruppen bestod af to grupper: Den ene gruppe var personer fra forskningsinstitutioner, mens den anden gruppe var private rådgivere eller repræsenterede en fremstillingsvirksomhed. Ud over følgegruppens faglige ekspertise skulle specielt den sidste gruppe sikre, at testfaciliteten ikke blot vil få forskningsmæssige relevans, men også kommerciel relevans.

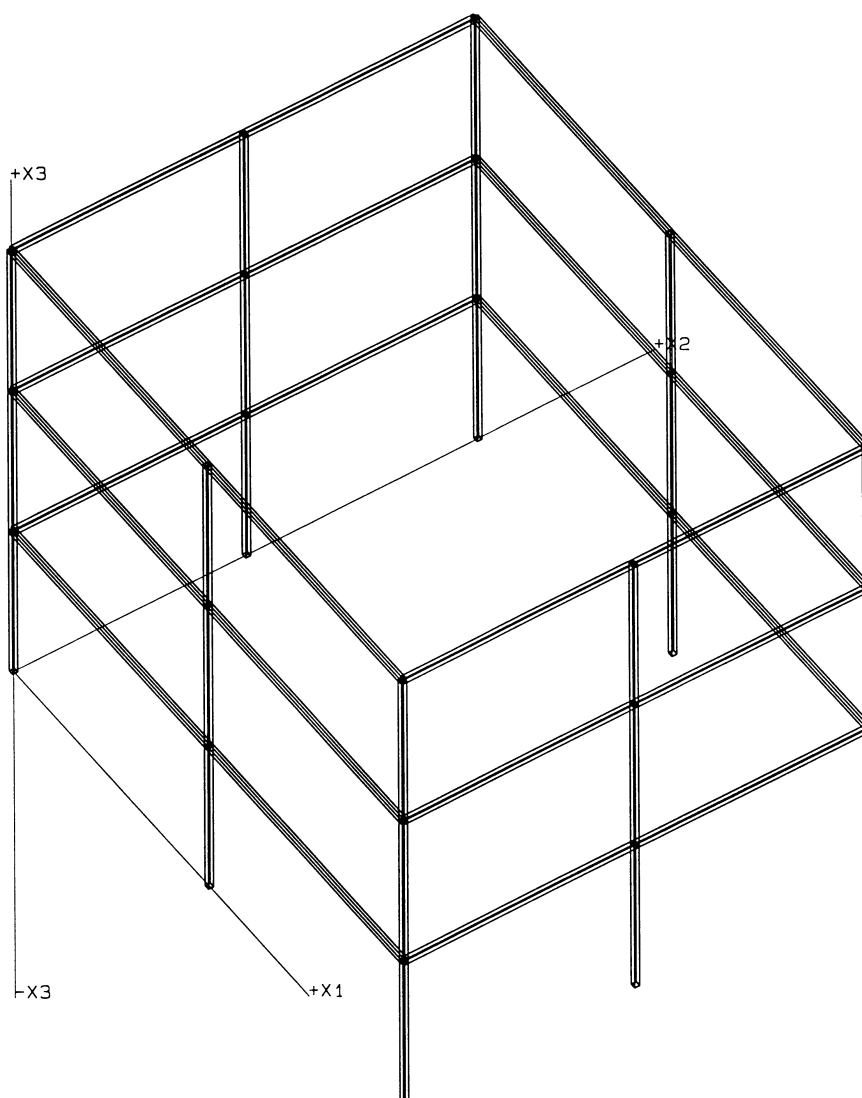
Udover følgegruppe har flere udenlandske forskere fået lejlighed til at læse og kommenterer rapporten, der beskriver konceptudviklingen (Jensen, 1997a), idet denne er blevet oversat til engelsk (Jensen, 1997b).

2. Detailundersøgelser

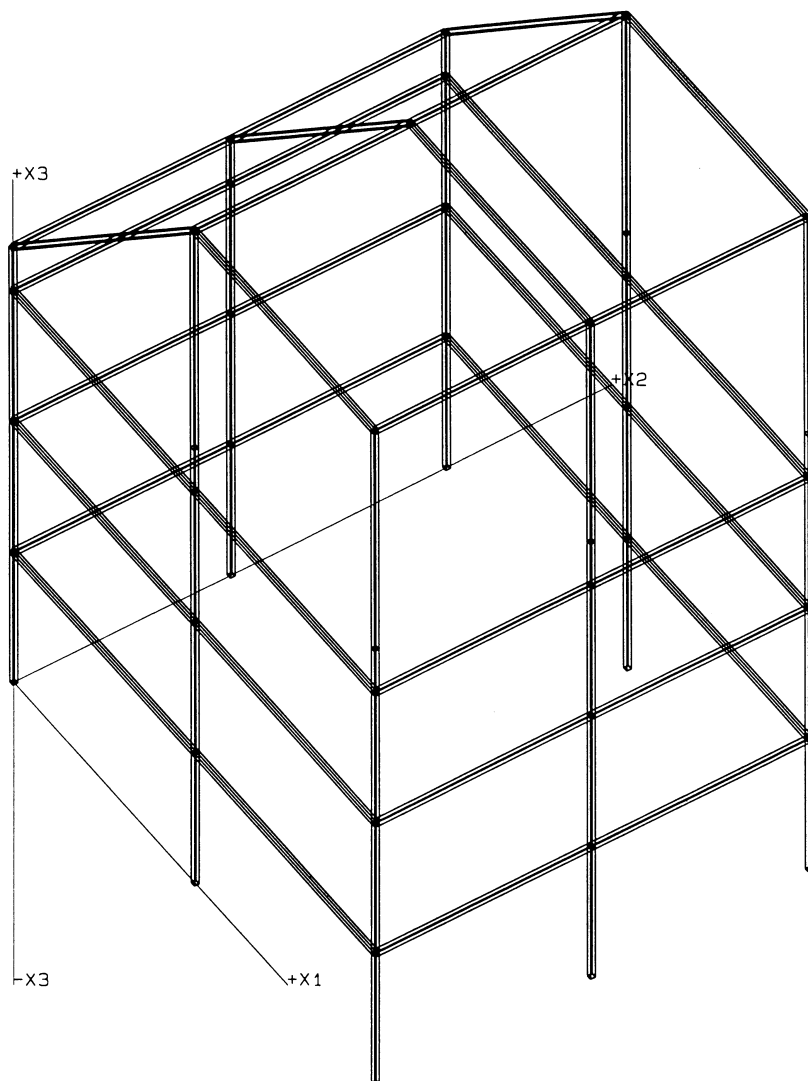
I det følgende beskrives kort de detailundersøgelser, der er gennemført for at fastlægge udformningen af testfaciliteten. De detaljerede beskrivelser findes som appendiks bagerst i rapporten.

2.1. Statik-beregninger for den bærende konstruktion

I appendiks A findes den detaljerede beskrivelse af de statik-beregninger, der er gennemført for testfacilitetens bærende konstruktion. Der er regnet på to situationer: 1) basis-konfiguration af testcellen – testfaciliteten består her (som vist i figur 2.1) kun af en kælder-etage (målerum) og stuen + 1. sal (testrum) og herover et flat tag og 2) maximum-konfiguration, hvor der oven på basis-konfigurationen er placeret en konstruktion, der fordobler højden af testfeltet på sydfacaden - se figur 2.2.



Figur 2.1. Basis-konfigurationen af testfacilitetens bærende konstruktion. Grundareal: 80 m², etagehøjde: 3 m.



Figur 2.2. Maximum-konfiguration af testfacilitetens bærende konstruktion. Højde af testfeltet på sydfacaden: 12 m.

Der er foretaget beregninger for forskellige dimensioner af stålprofiler: RHS220, RHS250 og RHS300, dvs. firkantprofiler med kantlængder på henholdsvis 220, 250 og 300 mm. I appendiks A er angivet de lastkombinationer, der er beregnet udbøjninger for. Tabel 2.1 viser de maksimale udbøjninger.

Konfiguration af bærende konstruktion	Maksimal udbøjning [mm]		
	RHS220	RHS250	RHS300
Basis	22	13	-
Maksimum	-	46	25

Tabel 2.1. Maksimale udbøjninger fundet i statik-beregningerne.

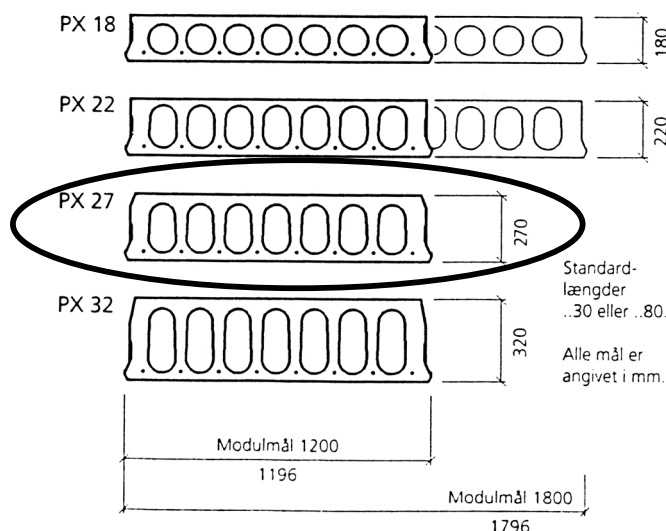
På baggrund af ovenstående beregninger vælges at anvende RHS300 til opbygning af testfacilitetens bærende konstruktion. Træ har også været overvejet, men her vil dimensionerne af

søjler og bjælker blive så store, at det markant vil influere på indretningen af testrummene, og hvordan der kan testes i testfaciliteten. Derfor blev træ bortvalgt på et tidligt tidspunkt. En profildimension på 300 mm muliggør, at betonhuldækkene kan hvile på de inderste 100 mm, mens der kan etableres en manifold mellem kanalerne i betonhuldækkene og kanalerne i f.eks. et luftsolvarmeanlæg i de yderste 200 mm mellem facaden og betonhuldækkene. Et eksempel på en sådan manifold er vist i figur 2.3 nedenfor.

Det er intentionen, at det skal være muligt at opbygge termisk tunge vægge i testrummene. For at kunne optage denne nyttelast over et spænd på 10 m er der valgt et relativt kraftigt betonhuldæk – PX 27 i figur 2.4. Lysningsarealet i kanalerne er ca. 0,02 m², og der er 7 kanaler pr. 1,2 m. PX 27 er et normalt anvendt betonhuldæk. Det er f.eks. anvendt i det nye pædagogiske seminarium i Ikast, hvor betonhuldækket anvendes til transport og konditionering af luft til klasselokalerne i et solassisteret naturligt ventilationssystem. Figur 2.3 viser et billede af overgangen fra betonhuldækket til indblæsningsskakt under en radiator i Ikast.



Figur 2.3. Overgangen fra betonhuldæk til indblæsningsskakt i det nye pædagogiske seminarium i Ikast (Lehrskov,1999).

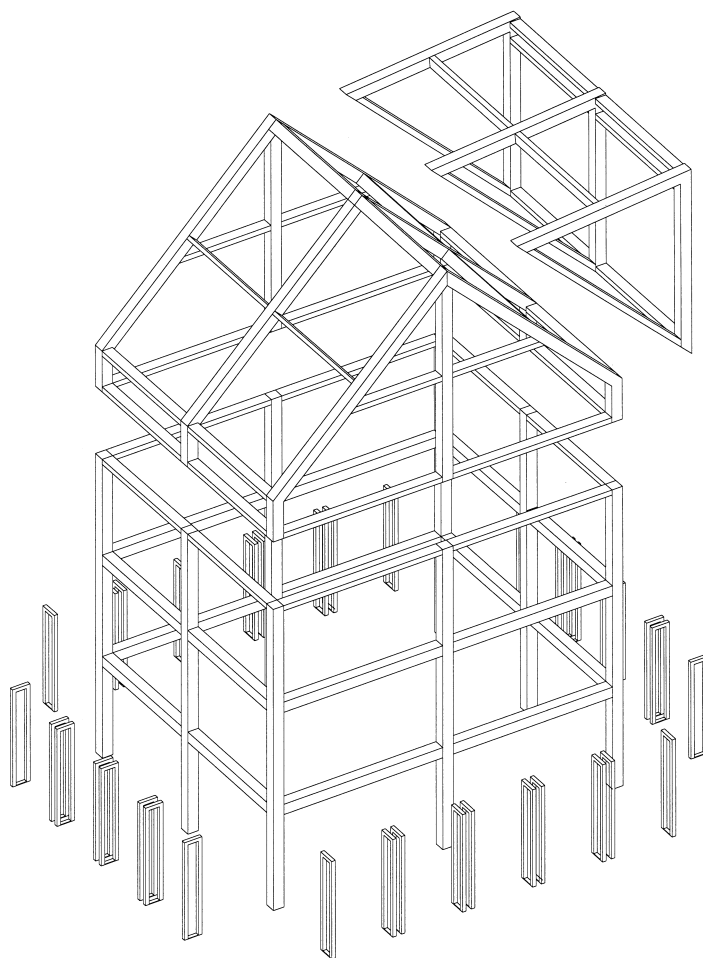


Figur 2.4. Snit i betonhuldæk med angivelse af det valgte profil.

2.2. Testfacilitetens bærende konstruktion

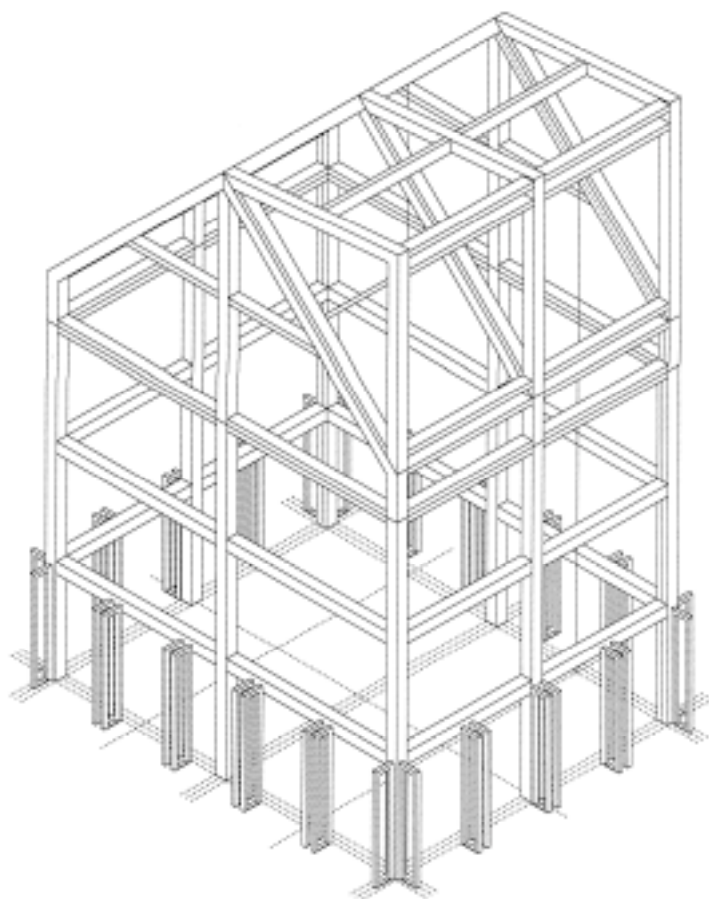
På baggrund af statik-beregningerne og dimensionerne for testfaciliteten: Grundplan: 80 m², etagehøjde: 3 m og max. højde af sydfacades testareal: 12 m er der blevet udarbejdet CAD-tegninger af testfacilitetens bærende konstruktion. Disse tegninger findes i appendiks B. Tegningerne i appendiks B kan direkte anvendes til opbygning af testfacilitetens bærende konstruktion.

Figur 2.5 viser delelementerne i den bærende konstruktion med en basis-konstruktion og to mindre konstruktioner, der dels kan give testfaciliteten et 45° sadeltag dels fordoble højden af sydfacaden. Figur 2.5 viser desuden de stålbojler, der skal bære facaderne. Figur 2.6 viser testfaciliteten, hvor alle delene fra figur 2.5 er samlet.

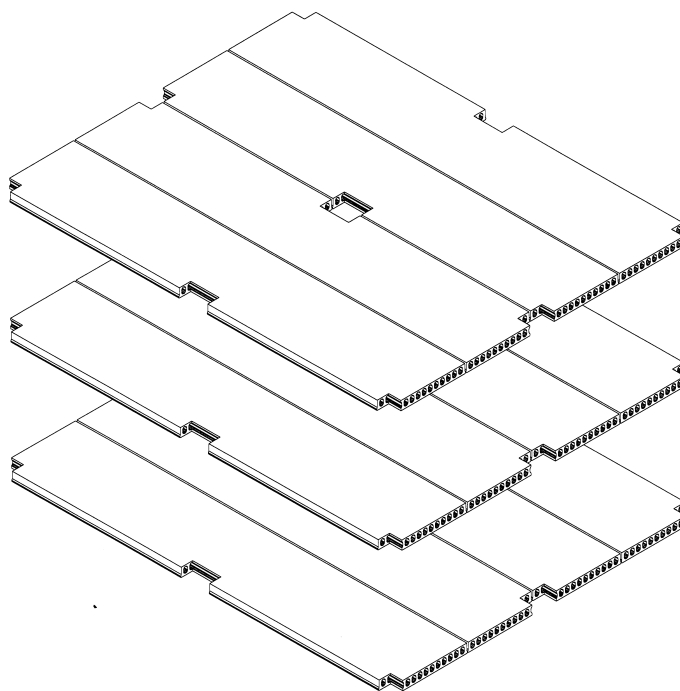


Figur 2.5. Delelementerne i den bærende konstruktion.

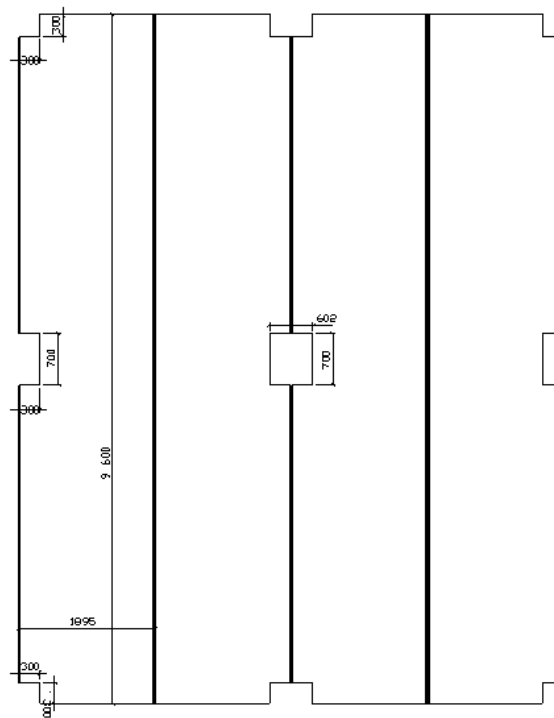
Figur 2.7-8 viser betonhuldækkene i testfaciliteten. Der er udspæringer i huldækkene omkring søjlerne og midt i dækkene. Udspæringerne omkring midtersøjlerne er lidt større end søjlerne. Dette er beregnet til føringsveje for bl.a. ledningerne til måleudstyret. Gennem hullet i midten kan der bl.a. føres ventilationskanaler. Det endelige antal, placering og størrelse af udspæringerne vil blive fastlagt under detailprojekteringen i forbindelse med opførelsen af testfaciliteten.



Figur 2.6. Maksimum-konfigurationen af den bærende konstruktion fremkommet ved anvendelse af alle delelementerne fra figur 2.5.



Figur 2.7. Testfacilitetens tre betonhuldæk.

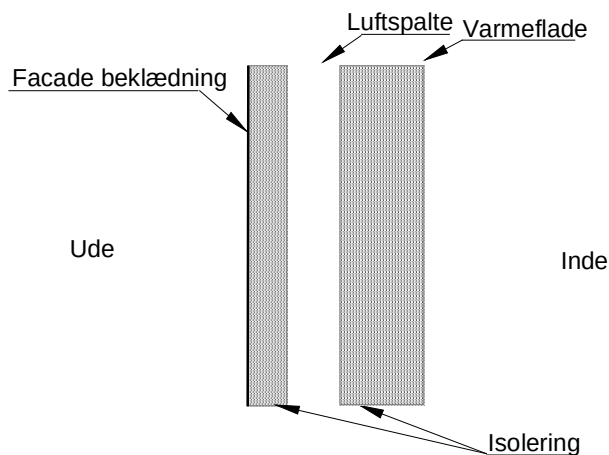


Figur 2.8. Plan over betonhuldækkene med forslag til udsparringer.

2.3. De adiabatisk paneler

I det oprindelige koncept (Jensen, 1997a) vist i figur 1.1, er de adiabatisk flader tænkt etableret ved hjælp af udvendige zoner, hvor luften holdes på samme temperatur som inde i testrummet. Dette kan let lade sig gøre for zonen under testrummet i stuen og zonen over testrummet på 1. sal, men de lodrette zoner er vanskeligere at etablere, og det er vanskeligt at sikre, at de har samme temperatur som i testrummet – specielt hvis der optræder temperaturlagdeling i testrummet.

I stedet blev det besluttet at arbejde med adiabatisk paneler, hvor den indvendige overfladetemperatur holdes på samme niveau som indelufttemperaturen ved hjælp af varmemfolier bag den indvendige overflade som vist i figur 2.9.



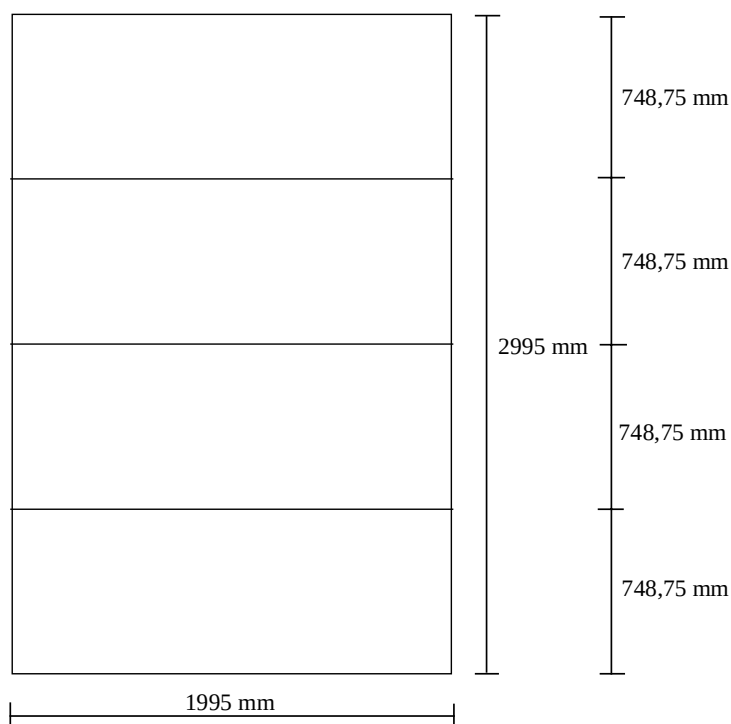
Figur 2.9. Princippet i de adiabatisk paneler.

De adiabatisk paneler er opbygget som sandwich-konstruktioner bestående af to isoleringsskiver med en luftspalte imellem – se også appendiks C. Isoleringsskiverne har en metal-liner på begge sider og holdes adskilte ved hjælp af metalprofiler (regler). På den indvendige aluminiumsplade (0,5-1 mm) er der mellem isolering og alu-plade pålimet en varmemefolie. Varmefolien skal tilføre alu-pladen netop så meget varme, at varmetabet til udeluften elimineres.

Ved stærkt solindfald kan den udvendige overflade af de adiabatisk paneler opnå en højere temperatur end indelufttemperaturen, hvilket bevirker, at temperaturen af den indvendige overflade kan blive højere end indelufttemperaturen. Panelerne vil da ikke længere være adiabatisk. For at hindre dette, er der som vist i figur 2.9 en luftspalte mellem de to isoleringsskiver. Dette hulrum skal kunne ventileres aktivt ved hjælp af ventilatorer, så varmen fra solindfaldet på panelernes udvendige overflade kan fjernes. Dermed tilvejebringes et varmetab fra testrummet til udeluften, således at varmemefolien kan styre den indvendige overfladetemperatur. Appendiks D beskriver kort nogle løsningsmodeller til ventilation af luftspalten i de adiabatisk paneler, mens udformningen af ventilationen af panelerne fastlægges i afsnit 2.3.3.

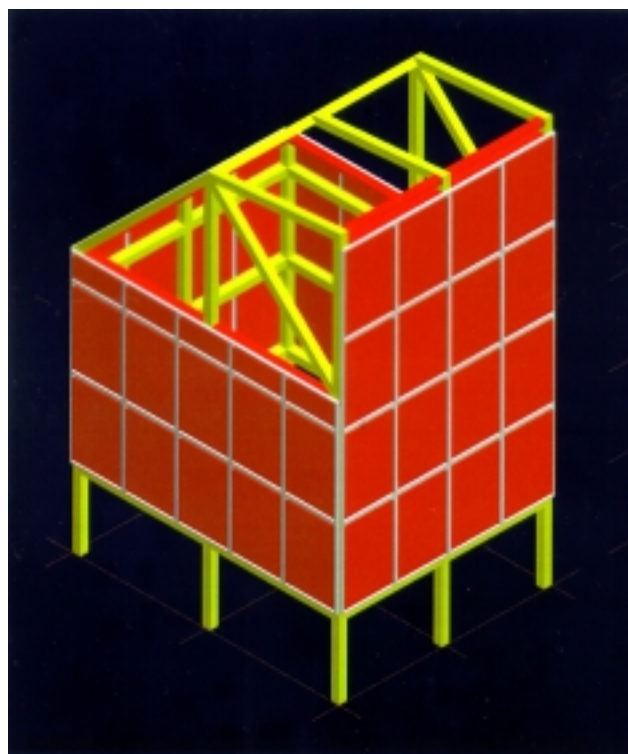
Da det er meningen, at de adiabatisk flader skal kunne monteres og afmonteres afhængig af den aktuelle test, er det nødvendig, at fladerne deles op i håndterbare enheder. Ligeledes er det nødvendigt at kunne styre varmemefolierne på en sådan måde, at overfladetemperaturen matcher den temperaturlagdeling, der ofte vil være tilstede i i testrummene.

Derfor er de adiabatisk flader opdelt i ens 3 m høje og 2 m brede paneler som vist på figur 2.10. De 3 og 2 m er brutto dimensioner inkl. tætningsbånd hele vejen rundt om panelerne. Uden tætningsbånd er dimensionerne 2995 mm høj og 1995 mm bred. Varmefolien er opdelt i fire ens vandrette bånd – også vist på figur 2.10. Ved at opdele varmemefolierne i fire vandrette bånd er det muligt at lade overfladetemperaturen variere stepvis op ad fladen og dermed - om ikke perfekt så dog tæt på - matche temperaturlagdelingen i rummet. Styringen af varmemefolierne behandles i afsnit 2.3.2.



Figur 2.10. Dimension af de adiabatisk paneler og varmemefolier.

Figur 2.11 viser, hvordan det ved hjælp af de valgte dimensioner for de adiabatisk paneler er muligt at dække alle flader, der ikke benyttes i en test – en del af gavltrekanterne (og øst/vestfladerne op mod den forøgede sydfacade) kan også dækkes med adiabatisk flader. Dette er også vist på tegning 99 03 i appendiks B. Det vandrette bånd langs den adiabatisk zone over testrummet på 1. sal (ved basis-konfigurationen) skal opbygges af et mindre panel – 1 m høj og 2 m bred. Dette panel behøver ikke at have en regulerbar indvendig overfladetemperatur. I denne zone kan f.eks. varmeblæsere i selve zonen sørge for det ønskede temperaturniveau.



Figur 2.11. Alle testfacilitetens facader dækket med adiabatisk paneler.

Ved at opdele de adiabatisk flader i paneler opnås større fleksibilitet, men prisen er flere samlinger med deraf følgende potentiel risiko for generende 2- og 3-dimensionelle varme-strømme. Samlingerne mellem panelerne er undersøgt ved hjælp af stationære 2D simuleringer af varmestrømmen gennem paneler og samlinger, for forskellige samlinger og udformninger af samlingerne. En detaljeret beskrivelse af de udførte simuleringer findes i appendiks E.

2.3.1. Termiske beregninger

I appendiks E er der gennemført beregninger vedr. den nødvendige effekt fra varmefolierne, om varmeafgivelsen er jævn over hele fladen, volumenstrømmen af luft gennem elementet for at køle dette ved solindfald, men først og fremmest undersøgelser af kuldebroer i forbindelse med samling af panelerne: Betydningen af metalprofilerne mellem isoleringsskiverne, forskellige udformninger af samlingen mellem panelerne – både lodrette og vandrette samlinger, kuldebroer ved de lodrette hjørner samt overgangen mellem panelerne udfor testrummet i stuen og inddækningen over kælderen.

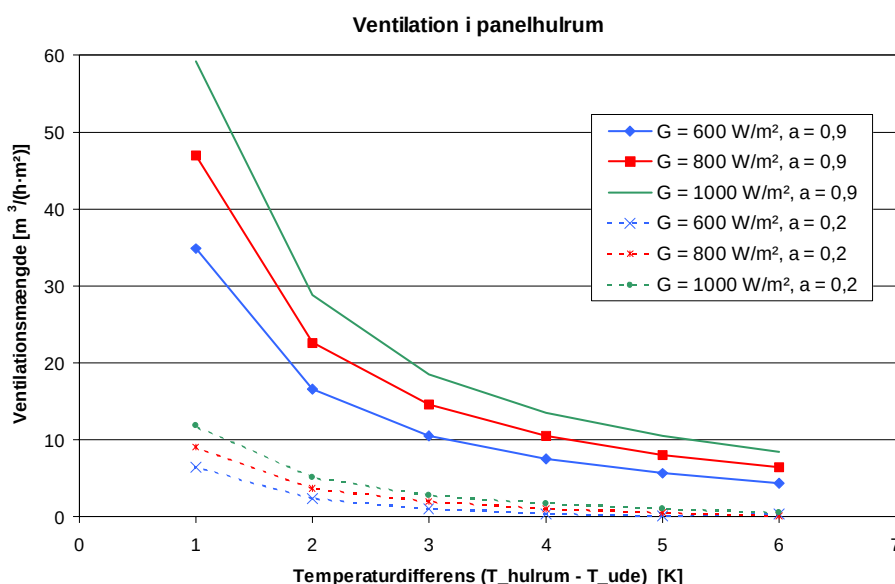
Effekt fra varmefolierne

Under forudsætning af minimal ventilation af panelernes luftspalte og minimale kuldebroer i samlingerne mellem panelerne vil den nødvendige effekt afsat i varmefolierne ved en udelufttemperatur på -12°C og en indetemperatur på 20°C være ca. 10 W/m^2 for en sandwich-konstruktion med en U-værdi på $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Beregningerne i appendiks E viser desuden, at den indvendige overfladetemperatur af panelerne vil være jævn, selv med en afstand på 5-10 mm mellem foliernes varmetråde, idet den indvendige alu-plade vil udjævne eventuelle temperaturforskelle. Beregningerne viser en temperaturvariation på omkring $0,01 \text{ K}$.

Volumenstrøm af luft i de adiabatisk paneler

Den nødvendige volumenstrøm af udeluft for at køle panelerne ved solindfald afhænger af den afsatte effekt - dvs. af niveauet af solindfaldet samt overfladens absorptionsevne som vist på figur 2.12. Figuren er principielt identisk med figur 3.6 i appendiks E, blot er massestrømmene her omregnet til volumenstrømme ved hjælp af $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$. Figur 2.12 viser resultatet af en simpel beregning af den maksimale volumenstrøm afhængig af solindfald, absorptionssevne og temperaturdifferens over panelet. Maksimal volumenstrøm betyder her den volumenstrøm, der kan holde lufttemperaturen i hulrummet lig udelufttemperaturen. I de fleste tilfælde er den nødvendige volumenstrøm væsentlig mindre end vist i figuren, idet det kun er nødvendigt at ventilere til en lufttemperatur i spalten lige under rumtemperaturen – dog må der ikke opstå en for stor temperaturstratifikation, så temperaturen vil variere for meget op langs den indvendige flade. Ved en udelufttemperatur tæt på rumtemperaturen, vil de beregnede volumenstrømme dog være gældende. Det er derfor nødvendigt, at den udvendige overflade af de adiabatisk paneler har en lav absorptionsevne for sollys, for at mindske den nødvendige volumenstrøm af udeluft gennem panelet. Panelerne bør derfor være hvide, idet det er muligt med en hvid overflade at nå ned på en absorptionsevne på 0,2. Det skal samtidigt sikres, at overfladen er smudsafvisende og let at rengøre, så absorptionsevnen ikke stiger over tid.



Figur 2.12. Den maksimale volumenstrøm ved solindfald, der er nødvendig gennem panelet for at holde en temperatur i panelernes luftspalte lig udelufttemperaturen afhængig af solindfald og absorptionsevne for panelernes yderside.

Ideelt set burde der være fire lufttemperatursensorer i panelernes luftspalte – en sensor ud for hver af de fire varmefolier. Når en af differencerne mellem indelufttemperaturen og lufttemperaturen i luftspalten i samme niveau når under et givent niveau, skal ventilatorerne starte. Dette kræver mange sensorer og mange beregninger. I stedet kan der være en sensor i toppen af luftspalten, som sammenlignes med rumtemperaturen lige over gulvet. Denne temperatureddifferens vil altid være mindre end de ovenfor nævnte. Ventilatorerne vil da starte lidt tidligere og slukke lidt senere, men styresystemet vil være meget enklere. For at sikre længere levetid for panelerne, bør der installeres 2 PT100-følere i luftrummet, således at en føler kan falde ud, uden at der af den grund skal foretages indgreb på panelet. De to PT100-følere kan kobles på samme måde som følerne på folierne – se figur 2.16.

Den maksimale volumenstrøm gennem et panel vil være i størrelsesordenen $150 \text{ m}^3/\text{h}$.

Metalregler

Beregninger i appendiks E viser, at metalreglerne, der skaber luftspalten mellem de to isoleringsskiver i panelerne ikke giver anledning til kuldebroer af betydning.

Kuldebroer

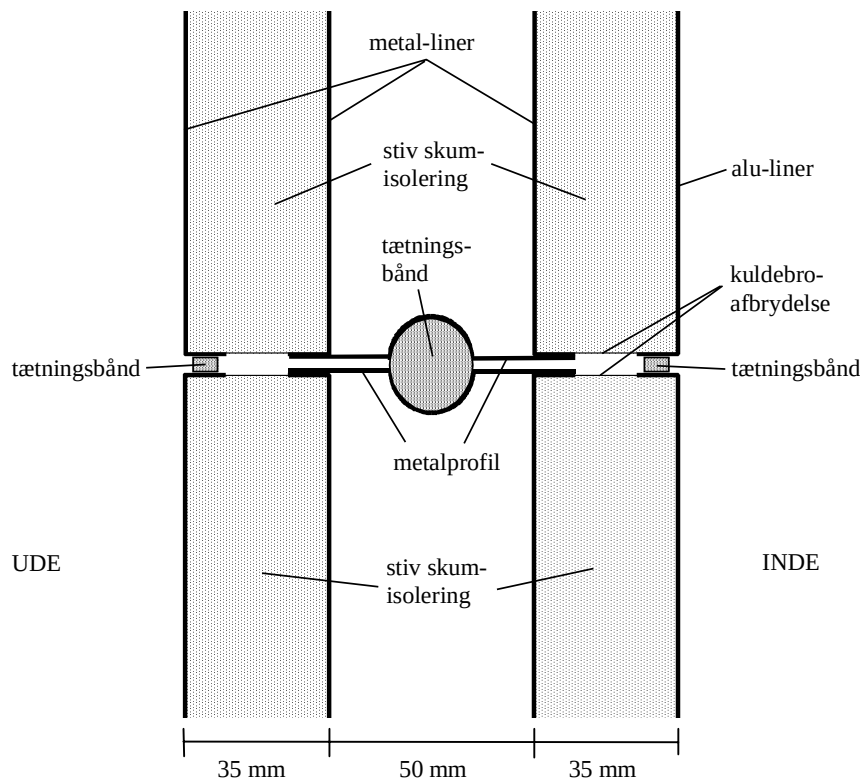
Der er gennemført simuleringer af de termiske forhold for flere forskellige samlinger mellem panelerne. Simuleringerne viser, at metal-linjerne som ventet ikke må gå ubrudt igennem fra for- til bagside på den inderste isoleringsskive. Desuden skal samlingerne være lufttætte og konstrueret på en sådan måde, at panelerne kan skilles uden at det medføre skader på panelerne – dette er specielt et problem ved samlinger med not og fjer.

Figur 2.13 viser den valgte opbygning af kanten af de adiabatisk flader. Metal-linjerne på begge sider af isoleringsskiverne er ikke i termisk kontakt med hinanden – der er en kuldebroafbrydelse på 15 mm. Der er et tætningsbånd på kanten ind mod rummet og ud mod omgivelserne. Der kan også placeres et tætningsbånd på den inderste isoleringsskive ind mod luftspalten, for at hindre konvektion i samlingen. Metalprofilen, der forbinder de to isoleringsskiver, har en indadgående vulst, som dels giver konstruktionen styrke og dels giver plads til endnu en tætning. Denne tætning vil desuden virke som styr, når panelerne kobles sammen, således at panelerne automatisk kommer til at sidde i samme plan. Den indadgående vulst og tætningsbåndet giver mulighed for at panelernes kantprofil kan være ens hele vejen rundt, hvilket ikke er muligt med en traditionel not og fjersamling.

Figur 2.14 viser resultatet af de termiske simuleringer fra appendiks E for samlingen i figur 2.13. Det er kun de yderste 10 mm af panelerne mod samlingen, der influeres af den kuldebro, som samlingen trods alt giver anledning til. Isotermene viser, at mens overfladetemperaturen midt på panelerne er 20°C , vil den laveste temperatur på samlingen være lige under $19,8^\circ\text{C}$. Dette er en meget lille forskel. $0,2 \text{ K}$ er i samme størrelsesorden som usikkerheden på temperaturmålingerne, hvilket betyder, at der ikke er nogen grund til at reducere kuldebroen yderligere. På grund af den meget lille udstrækning, repræsenterer varmetabet gennem kuldebroen kun ca. 4% af den samlede effekt, det er nødvendigt at tilføre folien i panelerne for at holde overfladetemperaturen på 20°C .

Udover at reducere kuldebroen over samlingen er den valgte kantløsning meget robust, idet der ikke indgår en skrøbelig ”fjer”, der meget forsigtigt skal føres ind i en not. Det forventes derfor, at panelernes kanter kan holde til mange samlinger og adskillelser af panelerne uden at

lide overlast. Tætningsbåndene skal dog checkes for skader (og udskiftes hvis det er nødvendigt), hver gang panelerne skal samles.



Figur 2.13. Den valgte kantløsning for de adiatiske paneler.

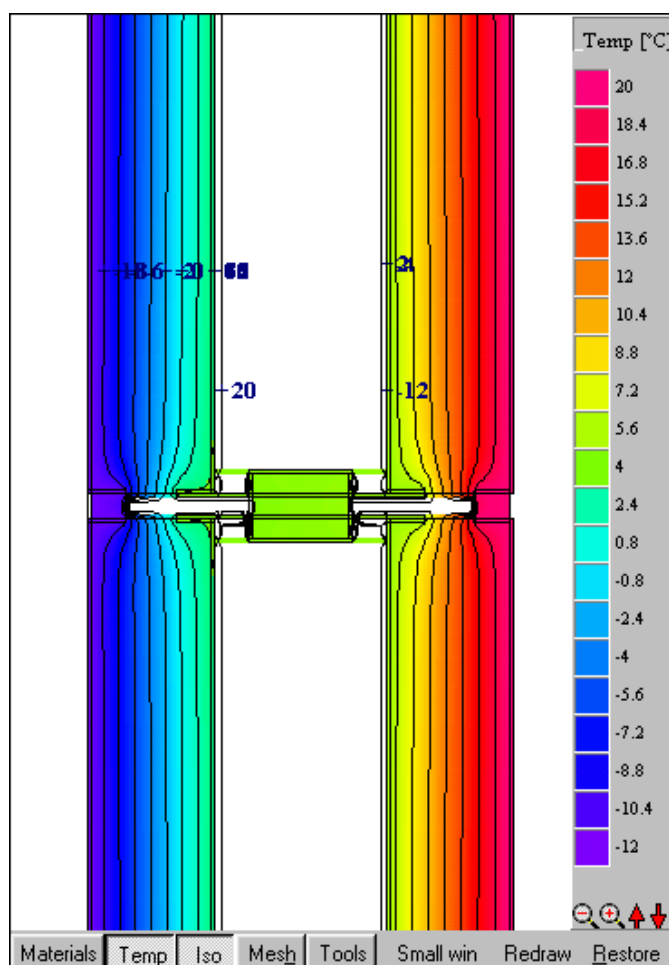
Beregningerne i appendiks E viser, at randeffekten som følge af kuldebroerne langs kanten kan reduceres ved at øge varmeafgivelsen på de yderste ca. 10 mm af folierne langs kanten af panelerne. Dette komplicerer dog opbygningen af panelerne, idet folierne da ikke længere kan være ens, med deraf risiko for fejlmontage. Da den valgte kantløsning samtidigt har en meget lille kuldebro langs kanten, vælges det at have en ens varmeafgivelse over hele fladen af folierne.

Beregningerne i appendiks E viser, at der teoretisk set ikke skulle være termiske problemer med den valgte kantløsning. For at undersøge om dette også holder i virkeligheden, er der opbygget en 1:1 af samlingen vist i figur 2.13.

Appendiks F beskriver opbygningen af testsamlingen og den afprøvningen testsamlingen blev udsat for. Testsamlingen bestod af to paneldele med kantlængderne 0,8 og 1 m, hvor kanterne på 0,8 m var stødt sammen for at illudere samlingen vist i figur 2.13. Målene på de to panelstumper var bestemt af de varmemfolier, som Kanthal Norden AB havde stillet til rådighed. Varmefolierne anvendes normalt til montering i campingvogne og har en max effektafgivelse på 75-83 W/m² ved en spænding på 40-43 V.

Panelsamlingen blev bygget op af materialer stillet til rådighed af Hercules A/S. De to panelstumper samt samlingen var meget lig 2.13. Dog var tykkelsen af isoleringsskiverne 30 mm mod 35 mm i 2.13 og vulsten i endeprofilerne, var skarpkantet i stedet for rundt. Appendiks F

beskriver i detaljer opbygningen af panelsamlingen, placeringen af temperaturfølere samt resultatet af termografering af panelsamlingen under forskellige forhold.



Figur 2.14. Isothermer for den valgte kantløsning – se beregningsforudsætningerne i appendiks E. Det er ikke muligt at have runde flader i Heat II, derfor er vulsterne i beregningerne firkantede, hvilket dog ikke ændre den termiske egenskab af kantløsningen.

Appendix F viser, at varmetabet gennem testsamlingen er højere end vist i figur 2.14. En forskel på 1 K mellem samling og panel, mod 0.2 K i appendiks E. For et panel betyder 1 K kun en forøgelse af varmetabet på omkring 1%. Det forventes dog med en mere præcis samleteknik samt to tætningsbånd på en indvendige isoleringsskive i stedet for som vist i figur 2.13 kun én, at varmetabet kan nedbringes til nær det beregnede.

2.3.2. Varmefolier

Hvert panel vil blive udstyret med fire ens ca. 0,75 m høje og ca. 2 m brede varmemfolier. Folierne kan leveres af firmaet Kanthal Norden AB. Det er muligt at få fremstillet en folie med en jævn varmeafgivelse over hele folien kombineret med den ønskede effekt pr. m². Det er desuden muligt at få påloddet temperaturfølere f.eks. PT100-følere på folien med ledere ud til f.eks. kanten af folien, hvor et kabel kan påloddet. Ved PT100-følerne, lederne og pålodnin-

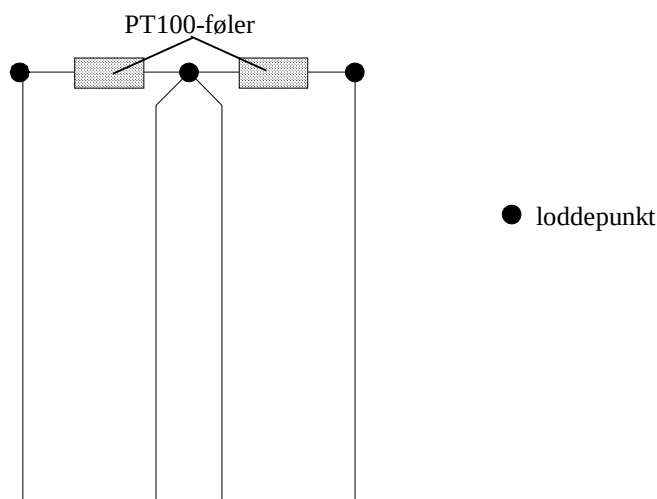
gerne kan der ikke være varmeafgivelse, men da folien limes på en alu-plade, vil denne udjævne temperaturen på indersiden af panelet, som det er vist i appendiks E.

For at sikre en god termisk kontakt med den indvendige alu-plade, kan der i stedet være udstandsninger i varmemfolien, således at PT-100-følerne kan monteres direkte på bagsiden af den indvendige alu-plade. Ved udstandsningerne skal der være en afstand mellem varmetrådene i folien på op mod 10 mm, hvor der derfor ikke er varmeafgivelse fra folien. Beregninger i appendiks E viser, at den indvendige alu-plade vil virke udjævnende, således at den indvendige overfladetemperatur ud for PT-100-følerne vil have samme temperatur som den øvrige del af alu-pladen, som folien dækker. Forskellige placeringer af PT-100-følerne er undersøgt i appendiks F. På baggrund af denne undersøgelse er det besluttet at montere PT-100-følerne i en udsparring på 10 mm mellem varmetrådene, hvor PT-100-følerne placeres i direkte termisk kontakt med aluminiumspladerne – dvs. plastfolien fjernes på dette sted..

Lederne til folierne bør ikke placeres langs kanten af folien, hvor der i forvejen er kantproblemer. Lederne bør i stedet placeres inde på folien, hvor alu-pladen vil kompensere for den manglende varmeafgivelse ved PT-100-følerne. Ledningerne skal derefter føres bagud gennem isoleringen.

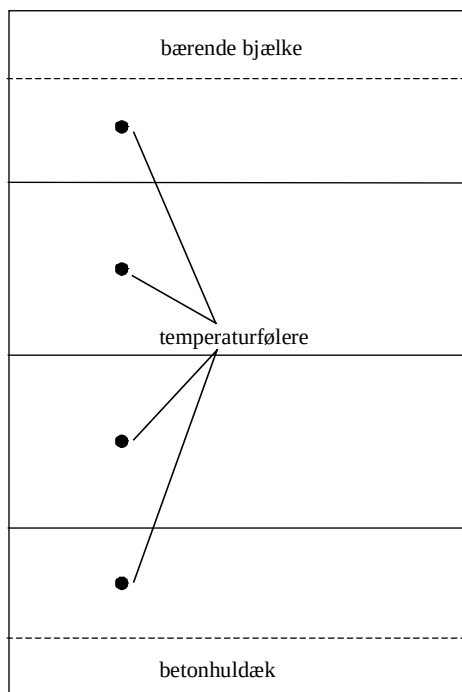
For at sikre lang levetid for elementerne, skal der monteres to temperaturfølere på hver folie, således at der er en reserve, hvis den ene føler skulle gå i stykker. Temperaturføleren(e) har to funktioner: a) De skal bruges til styring af temperaturen af den indvendige overflade af de adiabatisk paneler, idet PT100-følerne vil være i tæt kontakt med alu-pladen og dermed måle dennes temperatur. b) Følerne skal desuden anvendes til registrering af den indvendige overfladetemperatur ved afprøvninger, hvor dette er nødvendigt.

Da varmemfolierne har en jævn varmeafgivelse, vil alu-pladen som varmemfolien dækker i princippet have samme temperatur, dog med mindre randeffekter som beskrevet i bilag E og F. PT100-følerne kan derfor placeres arbitrært på folien – dog mindst 100 mm fra kanten af folien. Der er brug for tre ledere til hver PT100-føler for at kunne kompensere for modstanden i lederne. Figur 2.16 viser en principskitse af montagen af PT100-følerne, hvor de to følere deler to ledere.



Figur 2.16. Principskitse af montage af PT100-følere med mulighed for kompensering for modstanden i lederne på varmemfolierne.

Placeringen af PT100-følerne på den øverste fjerdedel og nederste fjerdedel af panelerne giver problemer, idet de øverste 300 mm af panelet er skjult bag den bærende ståldrager, mens de nederste 270 mm er under niveauet af gulvets overside. Det er valgt at placere overfladetemperaturfølerne lodret midt på de eksponerede flader som vist på figur 2.17. De tilsvarende lufttemperatursensorer i testrummene foran de adiabatisk flader skal principielt placeres ud for overfladetemperatursensorene. Dvs. nederste lufttemperatursensor skal placeres relativt tæt over gulvet, mens den øverste lufttemperatursensor skal placeres relativt langt under loftet. Det kan derfor blive nødvendigt at placere en eller flere lufttemperatur sensorer lige under loftet (se figur 2.18) for at måle denne temperatur bl.a. til brug for styring af den adiabatisk zone over testrummet på 1. sal. Figur 2.18 viser en placering af lufttemperatursensorerne i samme højde som temperatursensorerne på varmemfolierne. Lufttemperaturfølerne kan f.eks. monteres på en hårdt udspændt wire mellem gulv og loft.

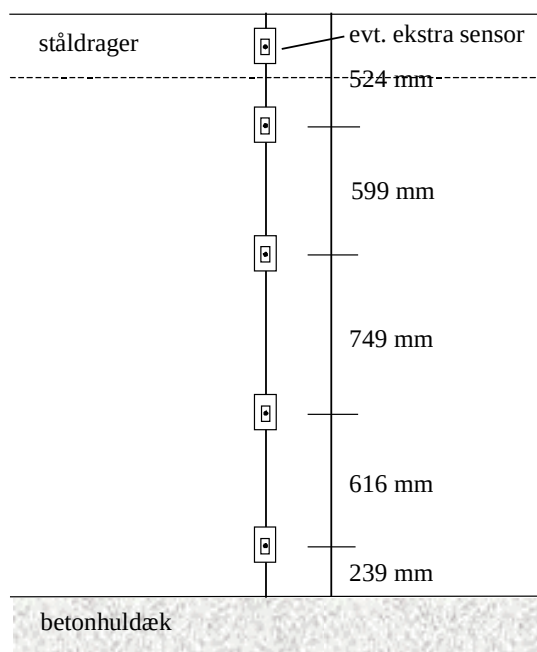


Figur 2.17. Eksempel på placering af overfladetemperaturfølerne horisontalt midt på den del af varmemfolierne, hvor alu-pladen er frit eksponeret.

En ydervæg består af 4 (syd- og nordvæg) eller 5 (øst- og vestvæg) adiabatisk paneler, der hver indeholder 4 varmemfolier. Det bliver i alt 16 og 20 varmemfolier pr. væg, der principielt kan styres individuelt. Det kræver et stort styresystem, men det kan lade sig gøre, som det er beskrevet i kapitel 4.

Det vil dog ofte ikke være nødvendigt at styre hver varmemfolie individuelt. Varmefolierne kan grupperes med andre varmemfolier, hvis termiske forhold antages at være identiske. F.eks. kan en væg styres ved, at alle folier ved gulvet styres sammen, alle folier over disse styres sammen, alle folier under disse igen styres sammen og alle folier under loftet styres sammen. Eller alle de to nederste rækker folier styres sammen, og alle de to øverste rækker folier styres sammen. Eller det mest simple: alle folierne på en væg styres sammen – dette kan lade sig gøre, hvis der stort set ingen temperaturlagdeling er i testrummet.

Ved at gennemføre ovenstående forenkjede styring af de adiabatisk folier, kan omfanget af styresystemet reduceres, hvis det ikke lykkes at skaffe tilstrækkelige midler til den individuelle styring af hver enkelt varmemefolie.



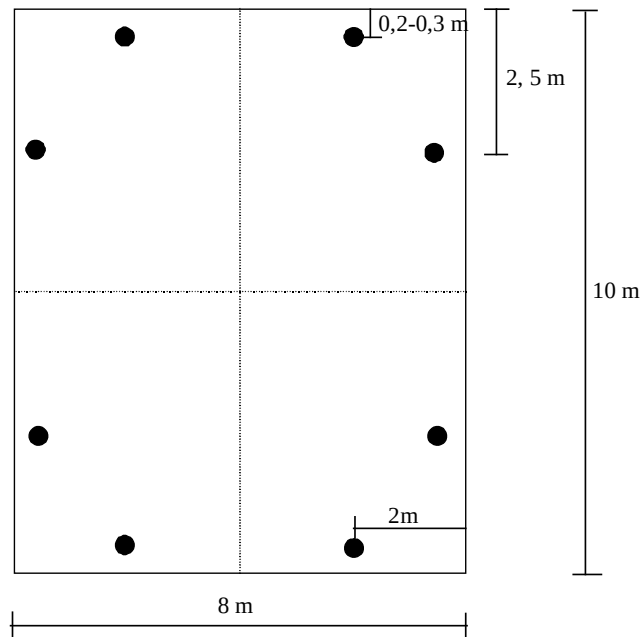
Figur 2.18. Placering af lufttemperatursensorer der matcher overfladetemperatursensorene på varmemefolierne.

For at kunne styre væggene individuelt er der behov for flere array af lufttemperatursensorer som vist på figur 2.18. Figur 2.19 viser en grundkonfiguration af sådanne lufttemperatur-sensor-array. Der er to sensor-array 0,2-0,3 m ud for hver væg, placeret midt ud for hver væg-halvdel. Dette tillader således ikke blot hensyntagen til lodret temperaturstratifikation, men også vandret temperaturstratifikation.

Hvis der ved en afprøvning er brug for en finere styring af varmemefolierne, kan der installeres yderligere lufttemperatur-sensor-arrays ud for de paneler, hvor der ønskes en individuel styring af varmemefolierne. Dette vil dog næppe blive tilfældet i særlig mange afprøvninger.

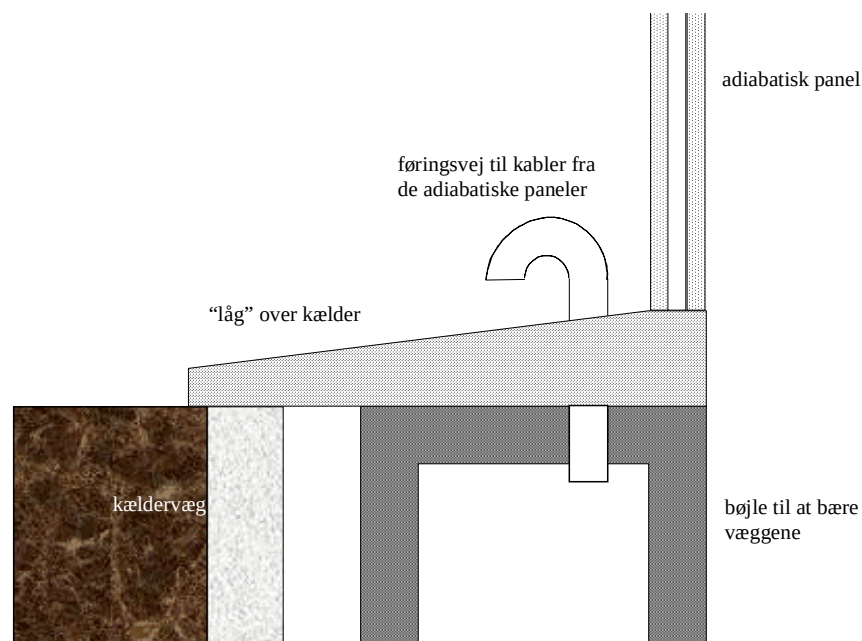
Hver varmemefolie skal forbindes med 2 ledere til selve folien og 4 ledere til PT100-følerne. Da der er fire folier pr. panel giver det i alt 24 ledere. Hertil kommer 2 ledere til ventilatorerne samt 4 ledere til PT100-følerne i luftspalten. Hvert panel skal således have 30 ledere.

De 30 ledere skal føres til ydersiden af de adiabatisk paneler, idet de ikke kan undgå at afgive lidt varme, hvilket er uønsket i testrummene. Ledningerne føres til en vandtæt samleboks på ydersiden af panelerne, hvor styringen af panelerne placeres. Ved individuel styring af varmemefolierne er der i samleboksen placeret moduler til måling af de fem PT100-følere, fem moduler til styring af varmemefolier og ventilatorer. Der er desuden placeret fire boostermoduler til omformning af styresignalet til en trinløs reguleret effekt til varmemefolierne. Styresystemet er nærmere beskrevet i kapitel 4. På grund af det valgte styresystem skal der kun føres et to-leder til datakommunikation til hver panel samt et kabel med 230 V. Datakablet udføres som en ringledning, der går fra et panel til det næste. 230 V kablet kan kobles på samme måde, da den maksimale effekt til panelere er $50 \times 40 = 2000 \text{ W}$, eller ved f.eks. et kabel for hver væg.



Figur 2.19. Plan af testrum set oppefra. Forslag til grundkonfiguration af lufttemperatursensor-array'ene til styring af varmemembraner i de adiabatiske paneler.

Kælderen er hele vejen rundt 1 m bredere end den udvendige omkreds af testfacilitetens bærende stålskelet (se appendiks B), for at kunne sikre overgang mellem kælder og testvægge med kun et minimum af 2D varmestrømme – se appendiks E. For at forhindre vandindtrængen i kælderen, skal nogle af lågene over kælderen ved de adiabatiske flader være udformet med en føringsvej til kablerne fra de adiabatiske paneler – f.eks. et rør med en 180° bøjning på toppen som vist i figur 2.20, hvor kabler fra sensorer placeret udenfor testfaciliteten også kan føres til dataloggersystemet i kælderen.

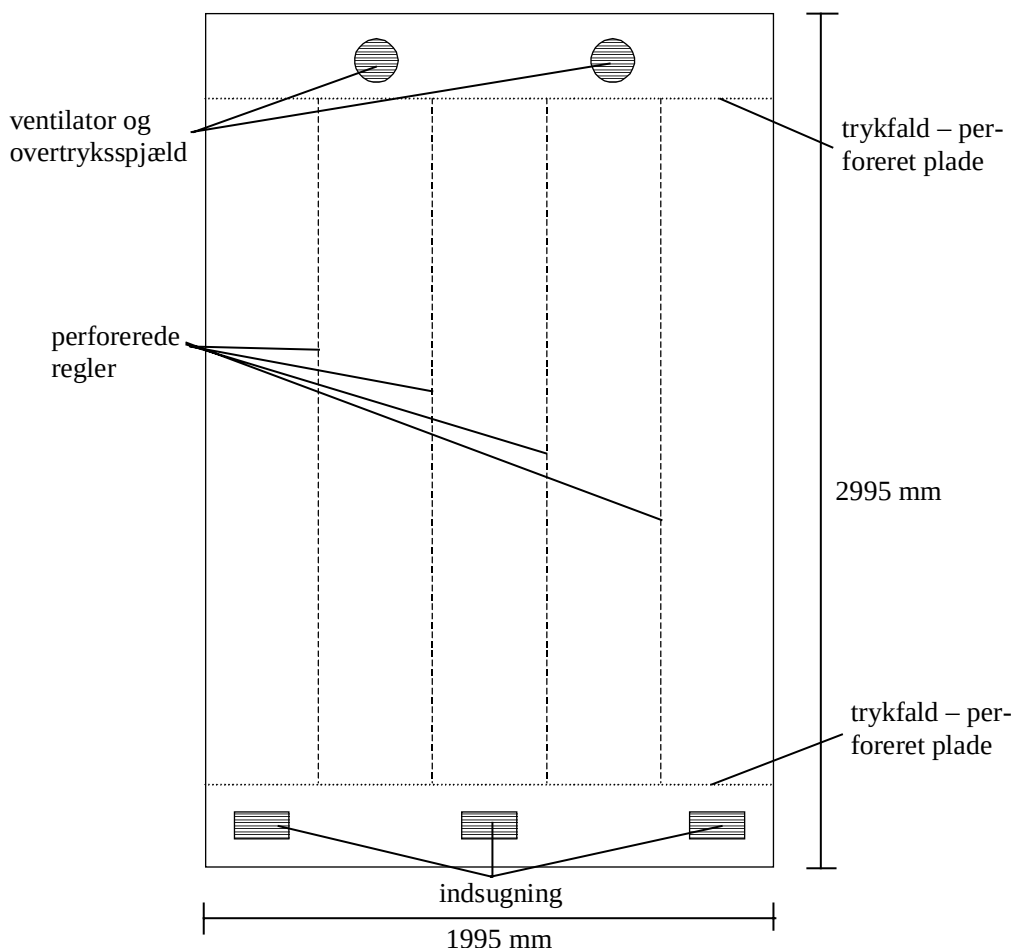


Figur 2.20. Eksempel på føringsvej til kælderen for de adiabatiske panelers styre- og spændingsledninger samt ledninger til eksterne følere.

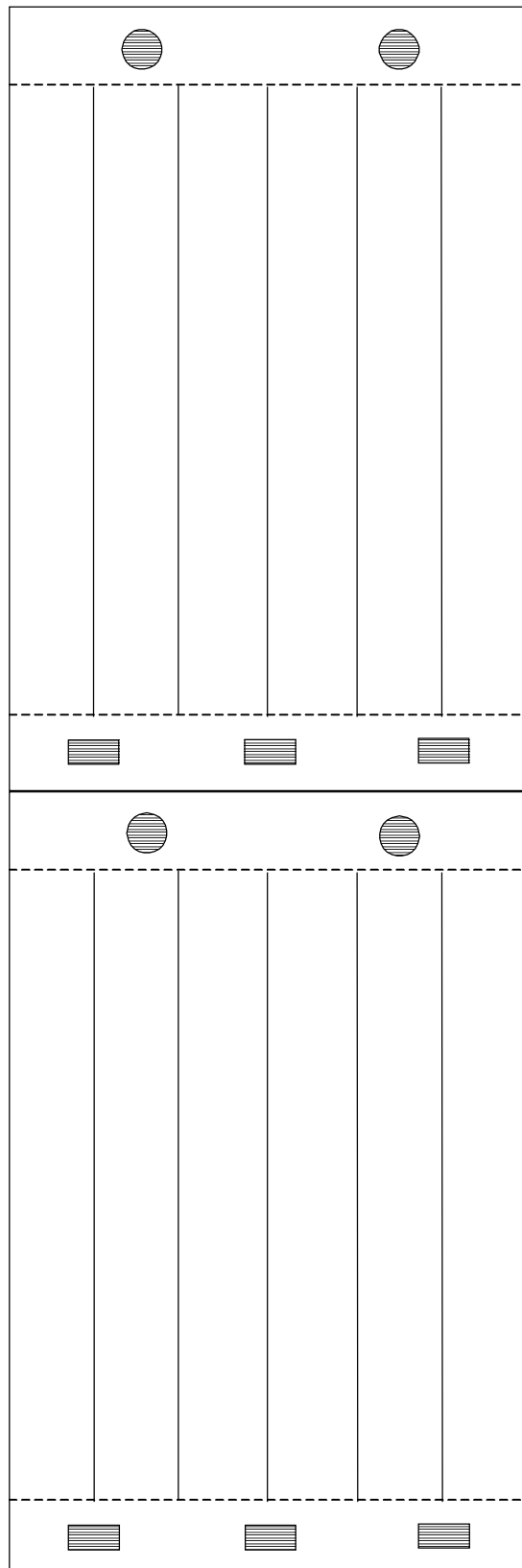
2.3.3. Opbygning af luftspalte og ventilation af luftspalte

For at stabilisere panelerne og skabe luftspalten mellem de isolerende skiver, er det nødvendigt at have metalregler med jævne mellemrum mellem de isolerende skiver som vist i figur 2.21.

Der er brug for en ensartet lufthastighed over hele panelet for at sikre et ensartet varmetab gennem den indvendige isoleringsskive. Metalreglerne kan virke forstyrrende på ventilationen af panelerne. I første omgang blev det antaget, at der skulle være 4 regler – se figur 2.21, samt at de skulle være perforeret med et meget lille trykfald henover dem for at sikre at luften kunne strømme uhindret på tværs af reglerne. Denne konfiguration er der blevet givet tilbud på i appendiks L. Ved en nærmere analyse (appendiks G) blev det fastslået, at reglerne ikke skal være perforeret, og der skal være 5 regler som vist i figur 2.22. For at sikre en jævn strømning over panelet skal der placeres vandrette perforerede plader lige over indsugningsspjældene og lige under ventilatorerne. Perforeringen af de vandrette plader skal skabe et trykfald på 10 Pa for at sikre en jævn strømning af luft gennem hele panelet. Ventilatorerne skal placeres således, at de suger luft ud af panelerne, idet de ved indblæsning til panelerne vil give luften en lille temperaturstigning.



Figur 2.21. Oprindelig foreslået placering af regler, ventilatorer og indsugningsspjæld i de adiabatiske paneler.



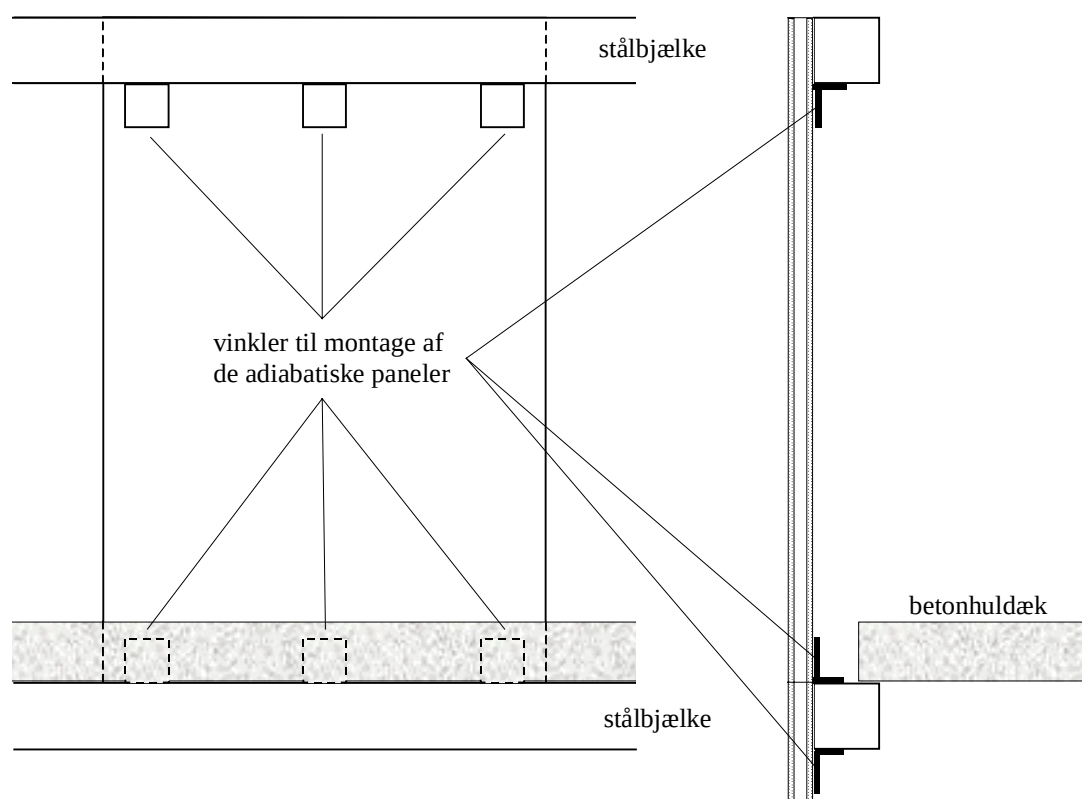
Figur 2.22. Afkast, indløb og regler for to paneler over hinanden er placeret således, at der skabes en jævn strømning gennem de adiabatisk paneler.

Som det ses af figur 2.22, kan den ”brugte” luft fra det nederste panel let suges ind i det øverste panel. For at undgå dette skal ventilatorerne som vist i appendiks G kaste luften skråt nedad. I forbindelse med appendiks G er der gennemført beregninger til dimensionering af regler og vandrette plader i panelerne. Samtidigt er der forslag til udformning af ventilatorhus med overtrykspjælp.

Overtrykspjældene er nødvendige for at sikre, at der kun er et beskedent luftskifte i panelerne, når ventilatorerne ikke er i drift. Spjældene skal samtidigt sikre, at der ikke kan trænge regn og sne ind i panelernes luftspalte.

2.3.4. Montage af de adiabatisk paneler

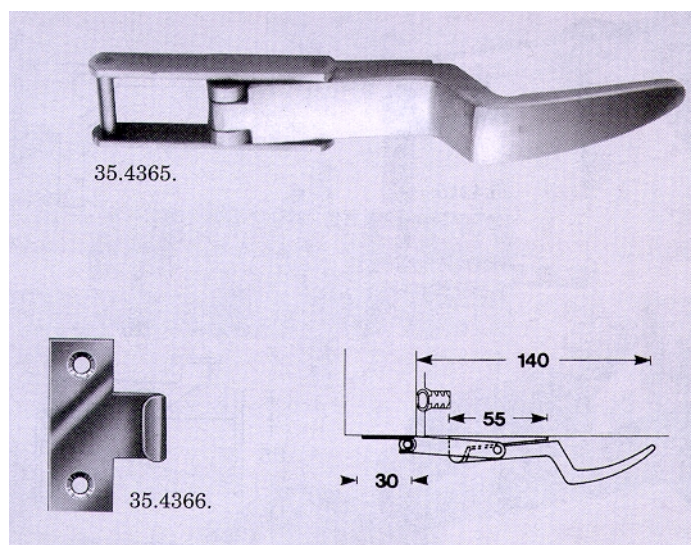
De adiabatisk paneler skal monteres uden at skabe kuldebroer. Dette gøres ved at pålime panelerne indvendige vinkler som vist på figur 2.23. Vinklerne limes på panelerne, da det er den enkleste og samtidig stærkeste måde at montere vinklerne på. Vedhæftningen ved limning kan gøres stærkere end en svejsning.



Figur 2.23. Montage af de adiabatisk paneler ved hjælp af pålimede vinkler.

Afstanden mellem undersiden af de nederste vinkler og oversiden af de øverste vinkler skal være lidt mindre end afstanden mellem oversiden af den underste stålbjælke og undersiden af den øverste stålbjælke for at sikre, at paneler over hinanden kan forskydes lidt vertikalt i forhold til det bærende skellet og dermed presses tæt sammen. Mellemrummet mellem vinkler og stålbjælker kan udfyldes med metalplader i den rigtige højde. Ligeledes skal der være ovale huller i vinklerne for at sikre en så stor horisontal bevægelighed, at de lodrette samlinger kan gøres tætte ved sammenpresning.

For at sikre at samlingerne mellem panelerne er tætte, skal panelerne kunne presses sammen ved hjælp af spændebeslag som vist på figur 2.24. Udvendig skal der være spændebeslag langs både lodrette og vandrette kanter, mens der indvendig kun skal være spændebeslag langs de lodrette kanter.



Figur 2.24. Eksempel på spændebeslag til sikring af lufttætte samlinger mellem de adiabatiske paneler.

De lodrette hjørner mellem to adiabatisk vægge (figur 2.26) kan ligeledes fastholdes med spændebeslag langs de lodrette udvendige kanter, der matcher spændebeslagene på de adiabatisk paneler. De lodrette hjørne mod en testvæg kan dels fastholdes med spændebeslag langs den kant, der støder op mod et adiabatisk panel og pålimede vinkler, der skrues fast til søjlerne i testfacilitetens skelet som vist i figur 2.28.

Figur 2.20 viser et eksempel på en overgang mellem de nederste adiabatisk paneler og "låg-ene" over kælderen udenfor det bærende skelet. De nederste adiabatisk paneler skal stå på lågene for at skabe en vandtæt samling på dette sted. Lågene skal skråne ned mod terræn, så vand kan løbe uhindret af. Det betyder, at kældervæggen skal slutte lavere end den nederste stålbjælke i det bærende skelet. Stålbøjlerne, der skal bære væggene, skal slutte i samme højde som kældervæggene, således at undersiden af lågene støtter på kældervægge og stålbøjler. Lågene skal gå længere ud end kældervæggene, så vandet løber udenfor kælderen. Udvendig langs kældervæggene skal der derfor være et dræn til at lede nedbør til kloak.

Da kælderen holdes på samme temperaturniveau som luften lige over gulvet i stuen, vil denne samling kun give anledning til en minimal kuldebro som vist i appendiks E.

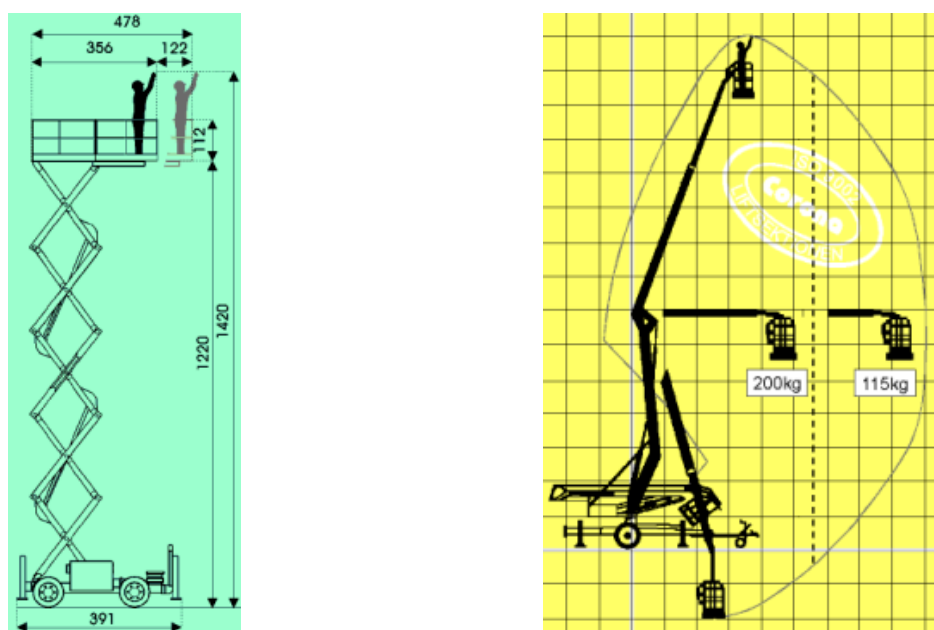
Det forventes, at de facader og tage, der skal afprøves, bliver monteret af klienten, eller at tilbudene vedr. afprøvning af de aktuelle komponenter indeholder den nødvendige udgift til kranleje.

Men testfaciliteten skal råde over mulighed for opsætning og nedtagning af de adiabatisk paneler i form af en lift eller kran. Vægten af et panel vil overslagsmæssigt udgøre 100 kg. Hvis liftløsningen vælges skal liften kunne bære vægten af panelet plus to mand. Hvis kranløsnin-

gen vælges er der stadig brug for en mindre lift for at muliggøre lukning af panelernes spændebeslag samt montage og inspektion af måleudstyr.

Liftløsningen anses for at være billigst. Ved opsætning af panelerne virker en sakselift (se figur 2.25) umiddelbart som mest velegnet, men dette skaber problemer med åbningen over kælderen langs stålskelettets perimeter. Her skal der i givet fald udlægges køreplader eller andet underlag, når liften skal anvendes.

Knæarmslifte (se figur 2.25), teleskoplifte, edderkoplifte, m.m. har den fordel, at de ikke skal stå klods op af væggen, men kan række ind til væggen et stykke udefra. Problemet er dog, at lasteevnen reduceres, når de skal række ud.



Figur 2.25. To forskellige former for lifte – til højre en sakselift og til venstre en knæarmslift.

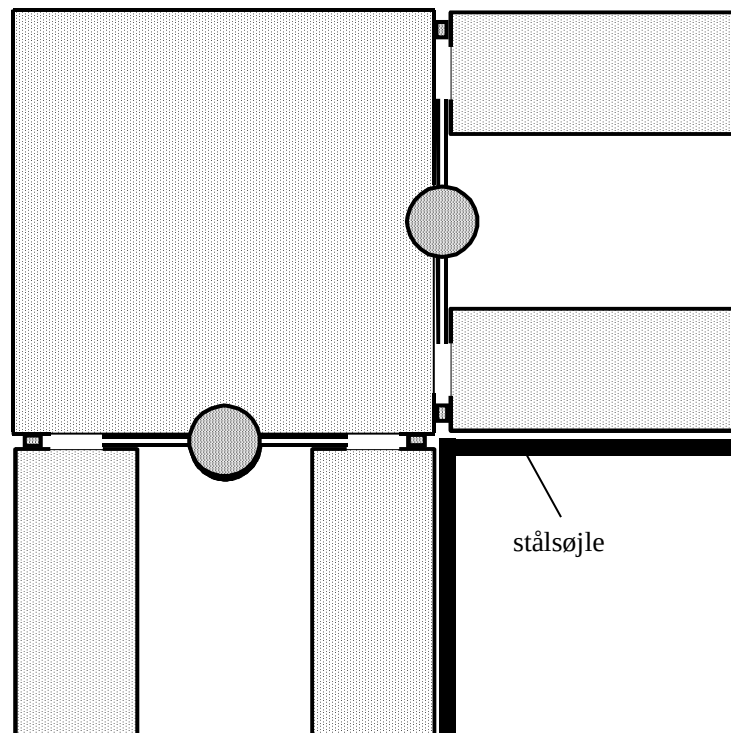
En scanning af markedet viser, at det for en fornuftig pris er muligt at erhverve en brugt lift (af begge typer) med en lasteevne på mellem 200 og 400 kg.

2.3.5. Hjørner

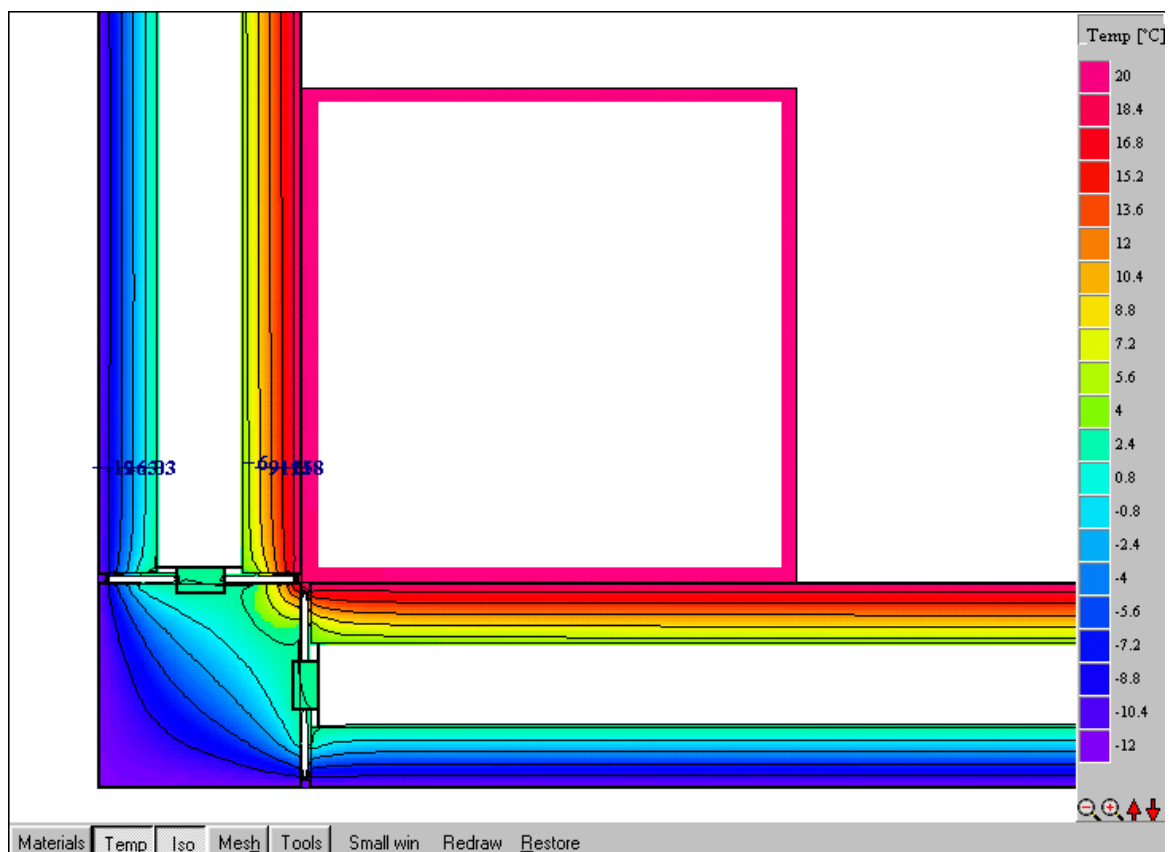
I hjørnet mellem to adiabatisk vægge er der behov for et isoleret hjørne som vist i figur 2.26, idet de adiabatisk paneler ikke overlapper hinanden. Figur 2.26 viser en hjørneløsning, der kun give anledning til en minimal kuldebro som vist i figur 2.27. Temperaturen varierer i figur 2.27 mellem 20°C for panelerne og 19,8°C på stålsøjlen. Varmestrømmen gennem hjørnet giver kun anledning til en forøgelse af varmetabet med 1 W/m hjørne eller 3 W for et hjørne, hvilket er en ubetydelig varmemstrøm.

Ved at isolere stålsøjlerne med 10 mm isolering, kan varmemstrømmen gennem hjørnet reduceres til 0,4 W/m.

I hjørneelementet gentages samleprofilen og spændebeslagene fra de adiabatisk paneler, således at hjørneelementerne direkte kan kobles sammen med de adiabatisk paneler.

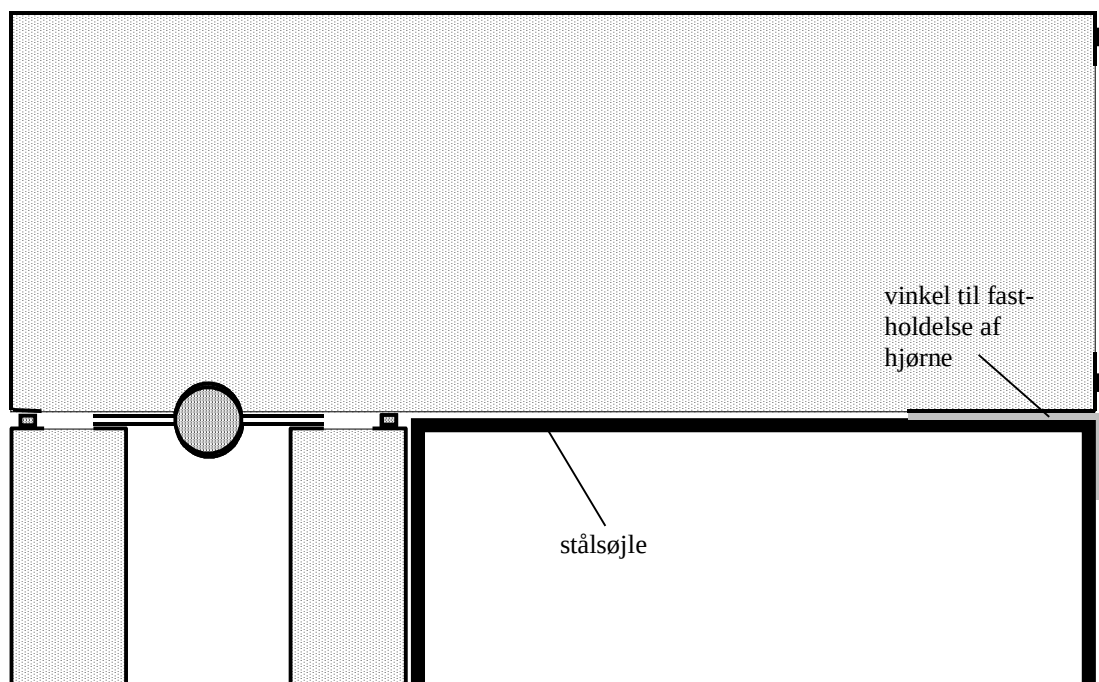


Figur 2.26. Hjørneelement til at danne overgang mellem to adiabatisk vægge.



Figur 2.27. Isothermer i adiabatisk paneler og hjørneelement under der samme forudsætninger som i figur 2.14.

Ved overgang mellem testvæg og adiabatiskpanel, vil der ofte være brug for et til lejligheden konstrueret hjørneelement, idet afslutningen af testvæggene vil variere fra gang til gang. F.eks. noget i retning af figur 2.28. Da der ikke er varmemefolie i denne løsning, vil der være et varmetab gennem hjørnesamlingen, som der ved beregning må kompenseres for. En mere sofistikeret og dyrere løsning vil være at integrerer varmemefolie i denne hjørnesamling. Dette vil dog give anledning til randeffekter i testvæggen, som det også vil være nødvendigt at kompensere for. U-værdien for hjørnesamlingen bør ligge tæt på U-værdien for testvæggen.

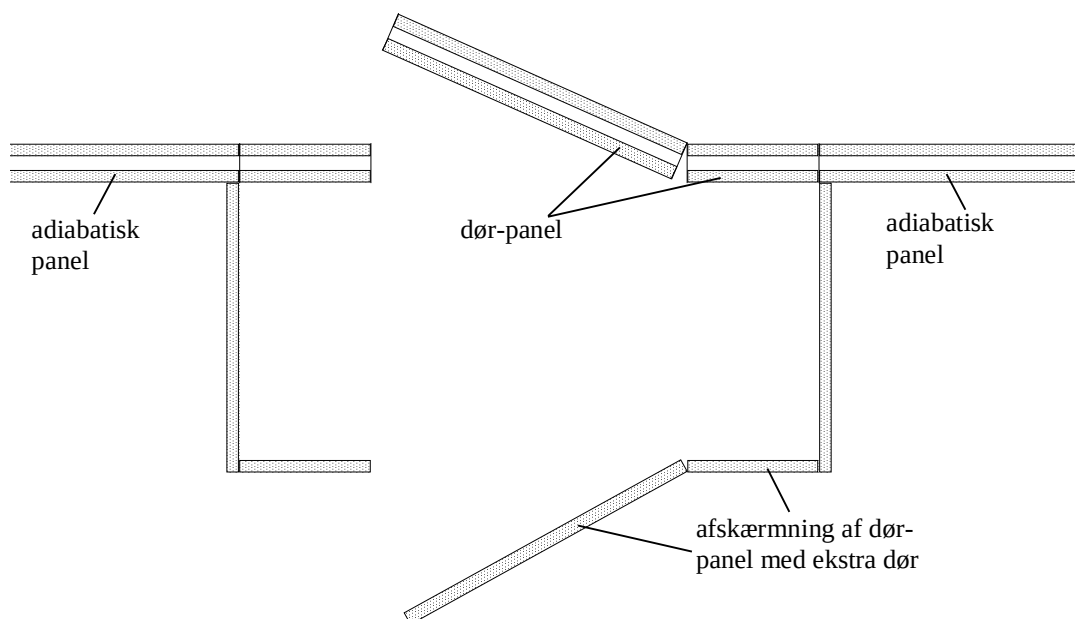


Figur 2.28. Eksempel på hjørneelement ved overgang mellem testvæg og adiabatisk panel.

2.3.6. Adgangsvej

Adgangsvejen til testrummene rummer potentielt problemer. I en afprøvning, hvor der anvendes adiabatisk paneler på tre vægge, skal adgangsvejen til testrummet også være adiabatisk. Der kan her ikke anvendes varmemefolier, der er identiske med de adiabatisk paneler, idet en del af panelet skal kunne åbnes. Desuden vil dørkarmen give anledning til problemer med kuldebroer. Rent teknisk kan dette løses, men en bedre og mere simpel løsning vil være ikke at gøre dette dør-panel adiabatisk, men i stedet opbygge en skærmvæg omkring panelet inde i testrummet som vist på figur 2.29. Ved hjælp af varmeblæsere kan lufttemperaturen i hulrummet bag skærmvæggen holdes på samme niveau som i testrummet. Skærmvæggen og døren i skærmvæggen skal være lufttætte.

Panelerne med adgangsvej til testrummene kan med fordel indeholde en gennembrydning med en kanal, der kan anvendes i forbindelse med trykprøvning af testrummene for at bestemme, hvor tætte rummene er. På den måde kan der gennemføres trykprøvninger uden at gribe ind i de adiabatisk paneler eller den aktuelle testfacade.



Figur 2.29. Adgangsvej til testrummene via et dør-panel, hvor der opsættes en adiabatisk skærmvæg ind mod testrummet.

2.3.7. Produktion af de adiabatiske paneler

De adiabatiske paneler kan produceres af firmaet Hercules i Kolding. Hercules har deltaget i mange udviklingsprojekter med forskellige udformninger af sandwich-konstruktioner bestående af metalplader og skumisolering. Hercules ser ingen problemer i at producere de adiabatiske paneler, som de er beskrevet i de foregående afsnit.

Panelerne vil blive limet op i alu-plader, isoleringsplader og alu-profiler. Limning er valgt, fordi det er en gennemprøvet teknik og - gjort rigtigt - stærkere end en svejsning.

2.3.8. Opbevaring af de adiabatiske paneler

De adiabatiske paneler, der ikke er i brug, skal opbevares, så de ikke tager skade af f.eks. vejrlig. Principielt kunne de opbevares i kælderen, men da de er relativt store (2 x 3 m²), vil det blive vanskeligt at få dem op og ned i kælderen. I afsnit 6.2 er terræn-, grund-, bygnings- og installationsarbejde prissat inkl. et skur til opbevaring af de adiabatiske paneler. Alternativt kan de adiabatiske paneler evt. opbevares i en af Teknologisk Instituts eksisterende haller.

2.4. Termisk funktion af betonhuldækkene

Intentionen med betonhuldækkene er at skabe mulighed for lagring af varme – enten aktivt via en luftstrøm inde i betonhuldækkene eller passivt via solindfald på oversiden af betonhuldækkene og konvektion mellem rumluft og betonhuldækkene.

Men der kan være forsøg, hvor det er ønskeligt, at der ikke sker akkumulation i betonhuldækkene, eller hvor lagringen/afgivelsen af varmen skal kunne bestemmes. Appendiks H beskri-

ver dynamiske simuleringer af lagring/afgivelse af varme i betonhuldækkene med og uden isolering over og under betonhuldækkene.

Simuleringerne i appendiks H er gennemført under den forudsætning, at varmemfolierne i de adiabatiskke flader ikke er tændte. Dvs. de er her ikke adiabatiskke, idet der sker varmelagring/varmeafgivelse fra disse flader. I appendiks H er beregningen af varmelagring/varmeafgivelsen gennemført som 2 beregninger: Én beregning for de ”adiabatiskke” flader inkl. den yderste meter af betonhuldækkene og én beregning for midterfeltet af betonhuldækkene (6 x 8 m²). Beregningerne er påtrykt en sinusformet temperaturvariation over døgnet af indelufttemperaturen mellem 20 og 26°C, mens temperaturen i luftspalten er holdt konstant på 10°C.

Beregningerne uden isolering viser, at der kun vil ske en lille varmestrøm mellem de adiabatiskke paneler (uden effektafgivelse fra folierne) og indeluften – max. 1-2 W/m². Beregningerne i appendiks H viser en passiv varmelagring på ca. 52 kWh pr. dag.

Under test med de adiabatiskke flader slået til, viser beregningerne i appendiks E (figur 6.2), at temperaturfordelingen i den yderste del af betonhuldækkene ikke vil være væsentlig forskellig fra temperaturfordelingen i midterfeltet af betonhuldækkene. Derfor kan der regnes med, at de fundne varmestømme for midterfeltet gælder hele betonhuldækket. Uden isolering på og under betonhuldækkene vil varmestrømmen ind og ud af betonhuldækket for de givne forhold være op til 50 W/m² = 8 kW for et testrum det første døgn og derefter ca. 38 W/m² = 6,08 kW for et testrum. Den passive varmelagring i betonhuldækket for et test-rum bliver derfor (fra side 3 i appendiks H): $2 \cdot 80 \text{ m}^2 \cdot 38 \text{ W/m}^2 \cdot 12 \text{ h} \cdot 2/\pi = 46 \text{ kWh}$ pr. dag.

Dvs. 52 – 46 = 6 kWh pr. dag skyldes de adiabatiskke paneler (uden effektafgivelse fra varmemfolierne) og ståldragerne.

Med 50 mm Roofmate isolering ($\lambda = 0,03 \text{ W/mK}$) på og under betonhuldækkene – ikke på ståldragerne – beregnes i appendiks H en daglig passiv varmelagring på ca. 11 kWh.

Hvis der igen ses udelukkende på midterfeltet – dvs. de adiabatiskke paneler er adiabatiskke, og ståldragerne er isolerede, vil varmestrømmen ind og ud af betonhuldækket for de givne forhold være op til ca. 3,6 W/m² = 576 W for et testrum. Den passive varmelagring i betonhuldækket for et testrum bliver derfor (fra side 6 i appendiks H): $2 \cdot 80 \text{ m}^2 \cdot 3,6 \text{ W/m}^2 \cdot 12 \text{ h} \cdot 2/\pi = 4,4 \text{ kWh}$ pr. dag.

Varmelagringen i ståldragerne og de ikke adiabatiskke flader er som i tilfældet uden isolering på betonhuldækkene 5-6 kWh pr. dag (ca. 11 – 4,4 kWh pr. dag). Dvs. varmelagringen i ståldragerne og de ikke adiabatiskke flader er i dette tilfælde lige så stor som i det isolerede betonhuldæk. Denne effekt er i virkeligheden større, idet stålsøjlerne ikke indgår i beregningerne. Dette understreger nødvendigheden af også at isolere ståldragerne og stålsøjler, hvis man vil undgå for stor passiv varmelagring i testfacilitetens konstruktioner.

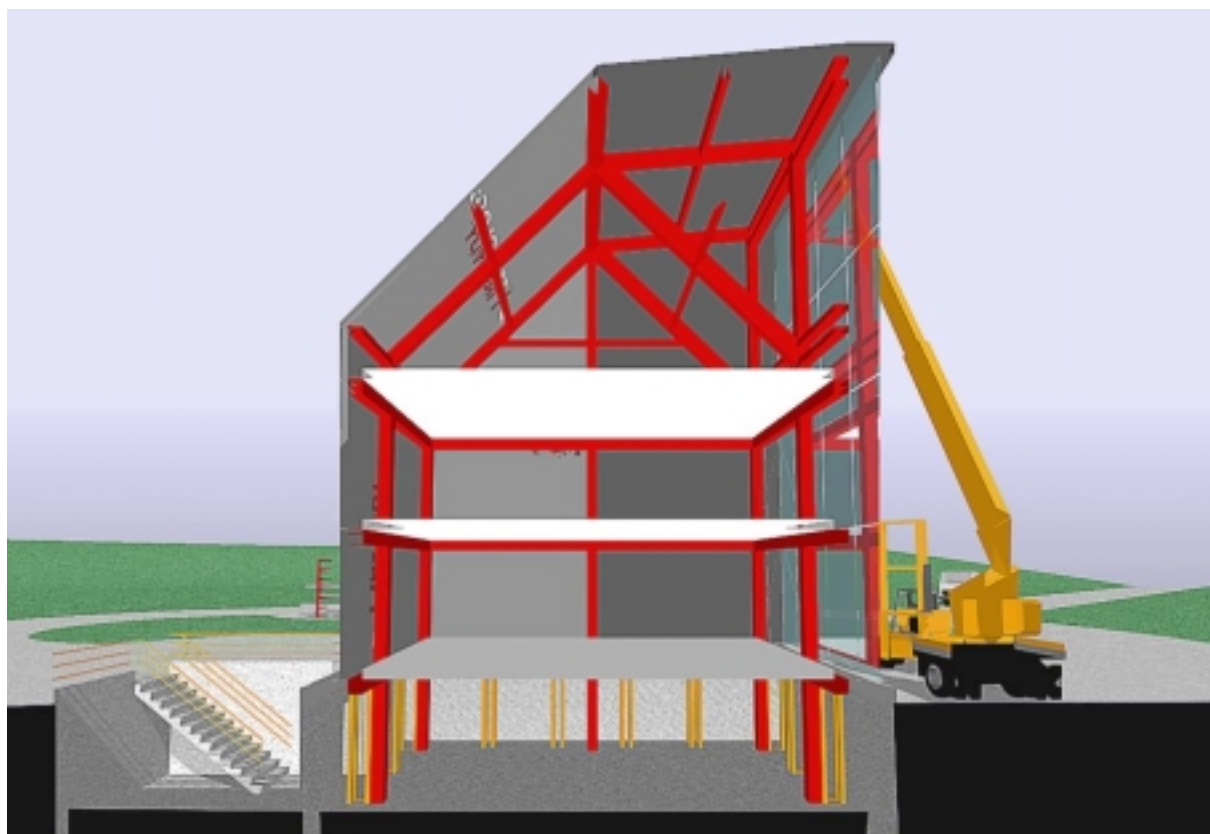
Ved at isolere betonhuldækkene og ståldragerne med 50 mm formstabilt isoleringsmateriale kan varmestømmene ind og ud af betonhuldækkene reduceres med en faktor 10. Med isolering er varmestømmene meget små, men kan stadig være signifikante i nogle afprøvninger. Varmestømmene kan reduceres yderligere ved at forøge tykkelsen af isoleringen, eller varmestømmene kan måles ved hjælp af varmestømsmålere indlagt i nogle af isoleringsplader-

ne, så der kan tages højde for varmestrømmene i bestemmelsen af den termiske funktion af facaden i testfeltet.

3. Visualisering af testfaciliteten

I dette kapitel forsøges det ved hjælp af AutoCad-tegninger at illustrere, hvordan testfaciliteten kan se ud – dels under opbygning, men specielt ved afprøvning af forskellige facadesystemer.

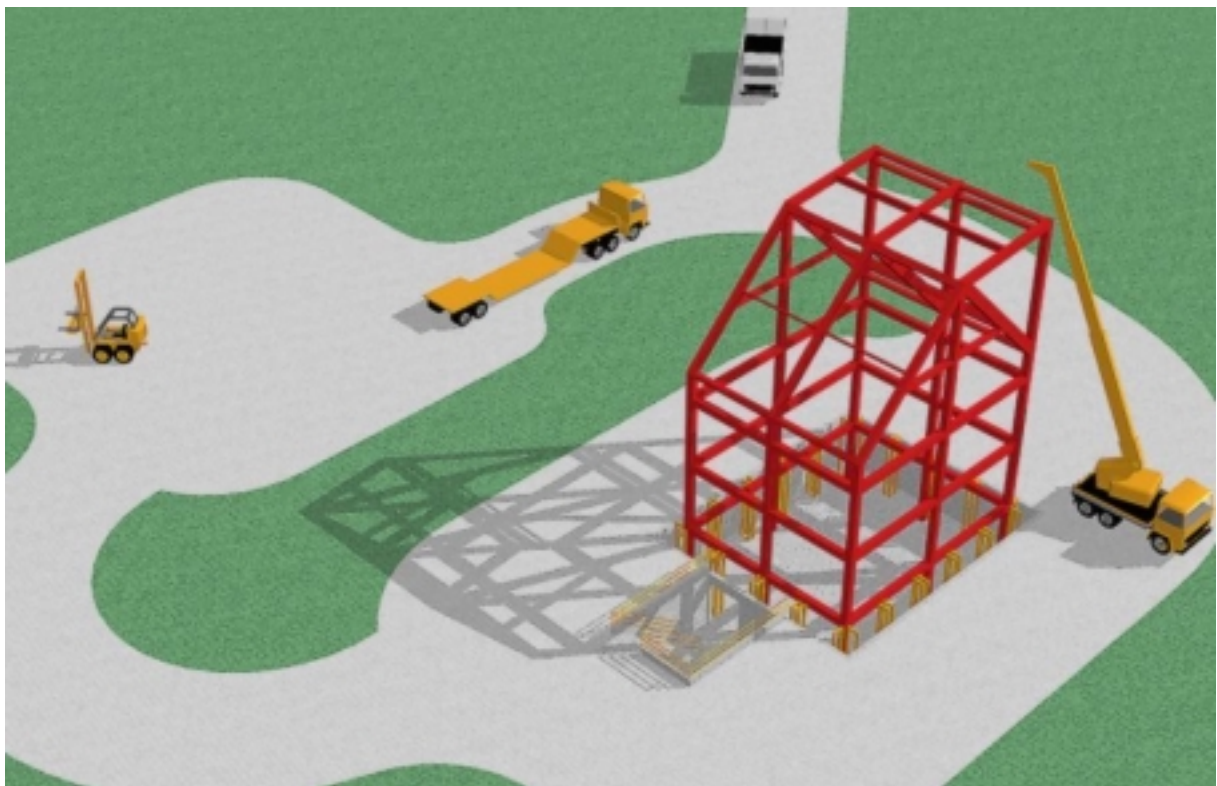
Flere af de følgende tegninger er også blevet anvendt i et paper til EuroSun2000-konferencen, København, juni 19-22. Paperet, der kan findes i appendiks I, beskriver kortfattet baggrund, intentioner og opbygning af testfaciliteten.



Figur 3.1. Tegningen illustrerer opbygningen af testfaciliteten i maximum-konfigurationen, der tillader afprøvninger af 12 m høje facader. Tegningen viser opbygningen af kælderen og det bærende skelet med de to forhøjningsmoduler.



Figur 3.2. Testfacilitetens kælder med nedgang.



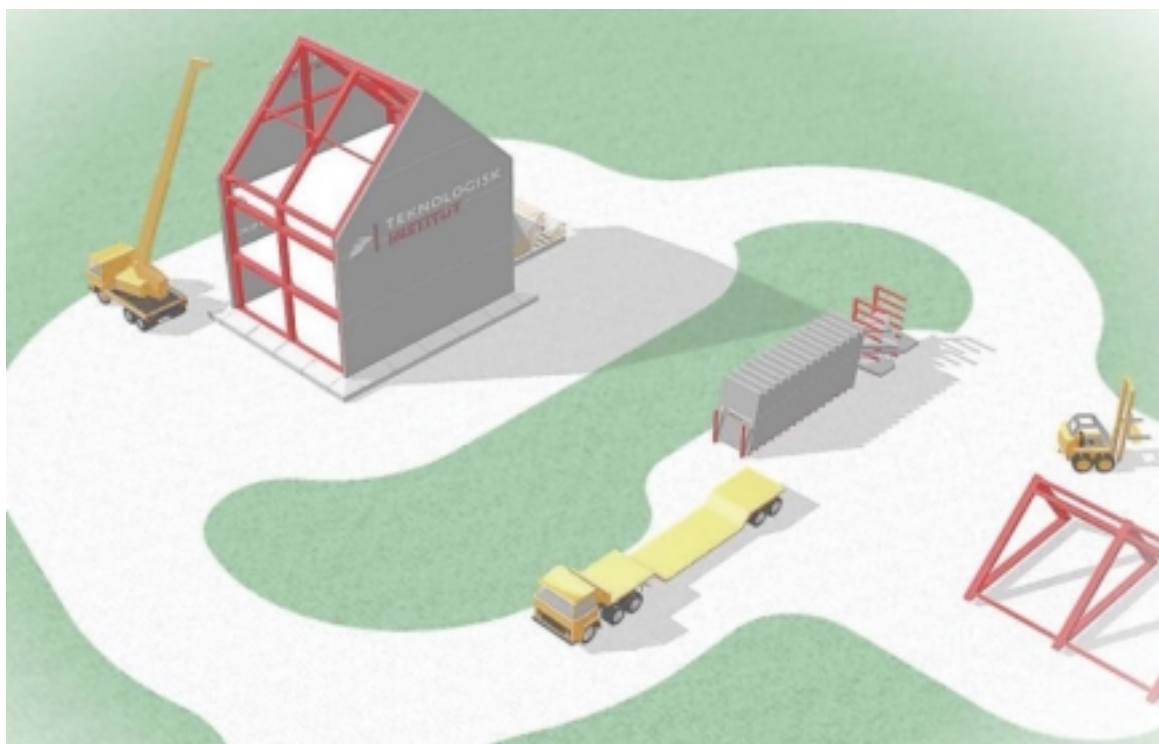
Figur 3.3. Testfacilitetens bærende skelet i maximum-konfigurationen.



Figur 3.4. Testfacilitetens bærende skelet i maximum-konfigurationen med etageadskillelser.



Figur 3.5. Testfaciliteten med adiabatisk paneler på alle flader (her også på taget).



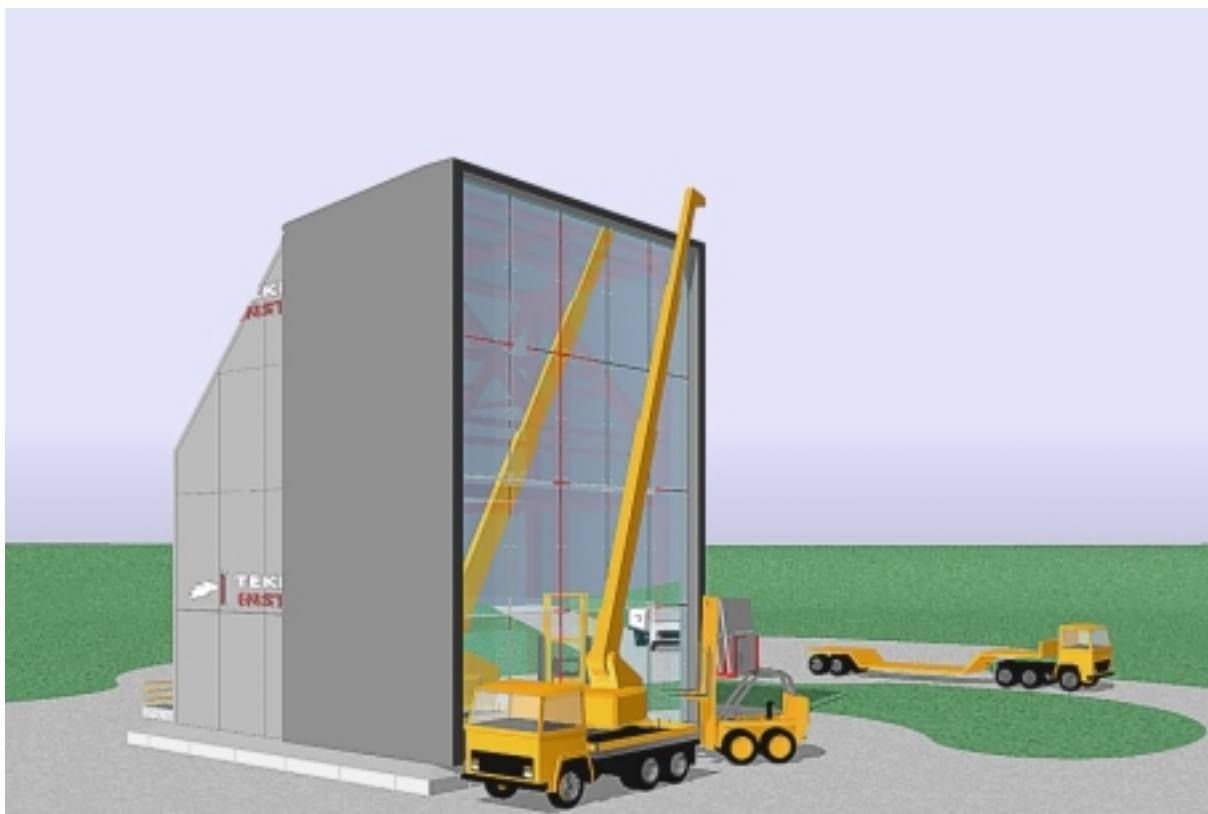
Figur 3.6. Testfaciliteten med sadeltag parat til installation af testfacade og –tag.



Figur 3.7. Installering af sydfacade og sydvendt tag.



Figur 3.8. Afprøvning hvor også halvdelen af øst- og vestfacaden indgår i målingerne.



Figur 3.9. Installation af en 12 m høj glasfacade.

4. Måle/styresystem

Oprindeligt var det tænkt at måle/styresystemet skulle opbygges af moduler fra Analog Devices styret af programmet Labview, som SolEnergiCentret på Teknologisk Institut normalt anvender i forbindelse med akkrediterede målinger. Men hastigheden i dette system er begrænset – 9600 baud, hvilket gør, at der eksempelvis kun kan aflæses 12 temperaturpunkter pr. sekund. Dette er for langsomt til at gennemføre en præcis styring af de adiabatisk paneler. Desuden er dette målesystem relativt dyrt at opbygge.

Der blev derfor gennemført en undersøgelse af mulige måle/styresystemer, der kan håndtere det meget store antal in- og output tilstrækkeligt hurtigt og med lille usikkerhed. Flere systemløsninger blev undersøgt, men kun et af de undersøgte systemer har indtil videre kunnet opfylde kravene. Systemet hedder Interbus og fremstilles af Phoenix Contact. Firmaet Pro-matic A/S har været behjælpelig med forslag til opbygningen af et måle/styresystem med Inline moduler fra Interbus. Interbus Inline er nærmere beskrevet i appendiks J.

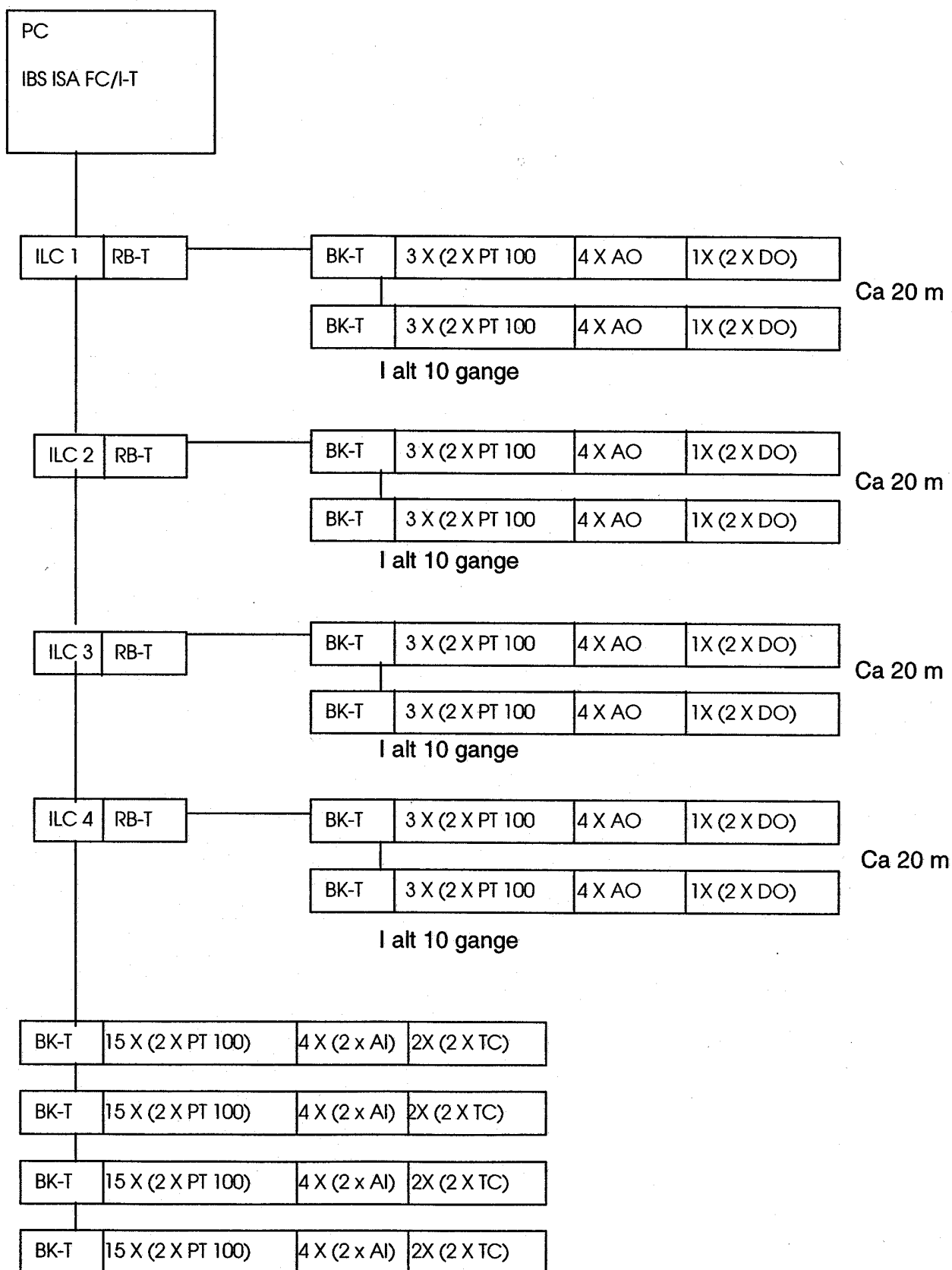
4.1. Styring af de adiabatisk flader

Styresystemet til de adiabatisk paneler foreslås opbygget i Inline moduler fra Interbus. Figur 4.1 viser opbygningen af styre(og måle)systemet.

Styresystemet består af en PC med et indstikskort (IBS ISA FC/I-T), hvorpå der er koblet 4 stk. decentrale styringer (ILC200). De decentrale styringer er nødvendige, fordi det er mange målepunkter og analoge udgange, der skal behandles pr. sekund. Hver analoge udgang repræsenterer desuden en PID-regulering til styring af den enkelte varmemefolie. PID-reguleringen (eller en anden form for regulering) er nødvendig for at opnå en jævn og præcis regulering af varmemefolierne. PID-reguleringen af så mange analoge udgangen kræver mere regnekapacitet end indstikskortet i PC'en kan klare – derfor fire decentrale styringer. Der er en decentral styring pr. 10 paneler.

Inline moduler er via connector'er (RB-T og BK-T) forbundet med de decentrale styringer. Hvert panel har sin egen styring, som består af 3 moduler (IBILtemp2) til måling af hver 2 PT100-følere (hvilket er en mere indgang end nødvendig, da der kun er 5 PT100-følere pr. panel, men PT100-moduler findes kun i en version med 2 indgange), 4 analoge output moduler (IBIL ao 1/SF) til styring af 4 boostermoduler med en trinløs reguleret effekt på op til 50 W. Desuden er der et modul med to digitale udgange (IBIL 24do2-2A) til on/off-styring af ventilatoren i panelet (dette modul findes ligesom PT100-modulet kun med 2 udgange – den anden udgang kan benyttes, hvis der er behov for styring af andre ting).

Al behandling af måledata samt styring af varmemefolierne sker i de decentrale styringer samt i indstikskortet i PC'en. Det betyder, at PC'en kan gå ned, uden det får indflydelse på styringen af de adiabatisk paneler. Det er vigtigt, fordi et nedbrud af PC'en under et opvarmningsforløb for de adiabatisk paneler kan få fatale konsekvenser i og med, at temperaturen bliver ved med at stige ukontrolleret. Parallelt med styre-softwaret kan der desuden køre et alarmprogram (Winpager i appendiks M), som via SMS eller OPS kan alarmerer den ansvarshavende person, hvis visse sætpunkter overskrides. Det betyder, at der hurtigere kan gribes ind, hvis noget går galt under en afprøvning og dermed forhåbentlig sikre, at en afprøvning ikke resulterer i spildt tid.



Figur 4.1. Forslag til opbygning af måle/styresystem i Interbus.

4.2. Målesystem

Målesystemet, der består af lufttemperatrefølerne i testrum, kælder og loft, basissensorsættet (se næste afsnit) samt mulighed for tilslutning af sensorer betinget af den aktuelle afprøvning, er koblet til en af de decentrale styringen og består i figur 4.1 af 4 krydsfelter med hver 30 PT100-indgange og 4 mA-, mV- og V-indgange eller i alt mulighed for tilkobling af 120 PT100-følere og 16 sensorer med mA-signal, 16 sensorer med mV-signal og 16 sensorer med V-signal.

Da der for hvert adiabatisk panel er en ekstra indgang for en PT100-føler, kan udvendige temperatursensorer kobles til de adiabatiske paneler i stedet for at føres til kælderen og her optage en plads på krydsfelterne.

Da de enkelte moduler i krydsfelterne enkelt kobles sammen på en DIN-skinne, er det let senere at udvide med flere moduler i målesystemet.

4.3. Måleudstyr – basis-sensorsæt

Testfaciliteten udstyres med et basis-sensorsæt som kan suppleres med andre sensorer afhængig af de aktuelle afprøvninger. Basis-sensorsættet består af sensorer til registrering af omgivelsernes påvirkning af testfaciliteten – primært vejret, og et sensorsæt inde i testrummene.

4.3.1. Måling af eksterne påvirkninger

Vejrstation

Den stationære vejrstation skal kontinuert måle:

- global og diffus solindfald på vandret
- vindhastighed og vindretning i 10 m's højde
- skærmet og ventileret udelufttemperatur - nordsidetemperatur
- langbølget udstråling til himmelrummet
- luftfugtighed

Den stationære vejrstation kan evt. etableres med netadgang således at det også for andre vil være muligt at koble op til den f.eks. via SolEnergiCentrets hjemmeside.

Andre eksterne påvirkninger

Det skal desuden være muligt at måle følgende parametre, hvor sensorerne dog ikke har samme stationære karakter som for vejrstationen:

- totalt solindfald på interessante overflader
- skærmet og ventileret udelufttemperatur på syd-, øst- og vestsiden af testfaciliteten
- lokal vindhastighed
- lokal albedo
- overfladetemperatur af omgivende terræn

4.3.2. Måling af interne forhold

Krydsfelter

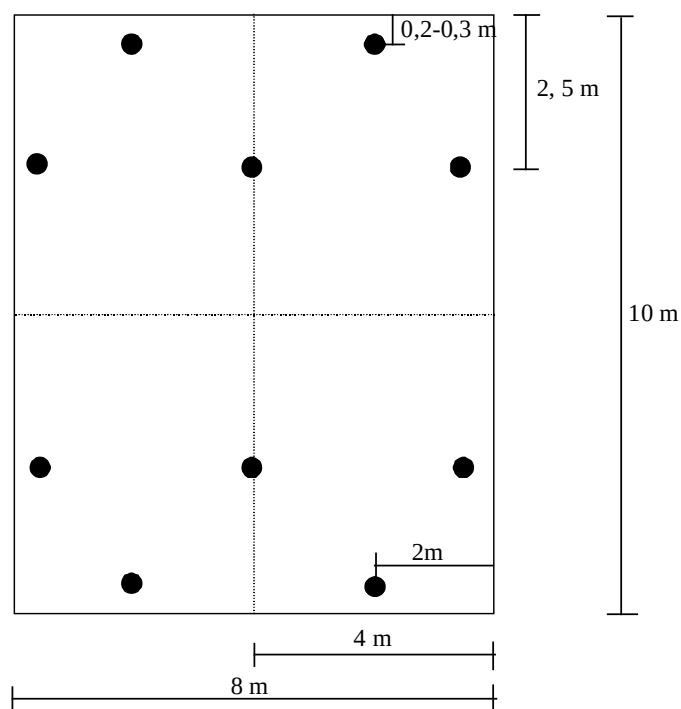
For at gøre det let at koble de mange lufttemperaturfølere i testrummene samt andet måleudstyr til målesystemet, der skal placeres i kælderen, skal der opbygges et sæt af krydsfelter med permanente ledninger fra testrum og loft til kælderen.

Krydsfelternes ledninger kan med fordel føres i udsparingerne i etageadskillelserne vist i figur 2.7-8. Ledningerne skal være permanente, idet det da er muligt at tætte fuldstændigt omkring dem. Krydsfelterne kan monteres på søjlerne i testrummene på en sådan måde, at de relativt let kan afmonteres, hvis det af hensyn til en afprøvning er nødvendigt at isolere søjlerne.

Der bør etableres mulighed for at koble 10 følere på et krydsfelt ved hver af de 8 bærende søjler eller 20 følere ved 4 af søjlerne i begge testrum og på loftet – tilsvarende krydsfelter etableres i kælderen ved måleudstyret. Hver følertilslutning skal bestå af 3 ledere, så det er muligt at kompensere for modstanden i ledningerne ved PT100-følere og muligt at måle samt tilføre effekt til følere med mA-signaler. Der skal således trækkes 240 ledere fra hvert testrum samt loft – dette kan enten gøres med 80 3-ledere, 24 10-ledere eller 8 30-ledere.

Luft- og overfladetemperaturer

I afsnit 2.3.2. beskrives sensorsættet til styring af de adiabatisk paneler – se figur 2.17-19. Disse luft- og overfladetemperaturer vil ofte også være nyttige at opsamle i forbindelse med afprøvninger. Ud over lufttemperatur-sensor-array'ene i figur 2.19 skal der være et array midt i den sydlige og den nordlige del af testrummene som vist i figur 4.1, for at give lufttemperaturen uforstyrret af eventuelle randeffekter. I mange tilfælde vil måling af disse temperaturer desuden være tilstrækkelig.



Figur 4.1. Placering af lufttemperatur-sensor-array.

Lufttemperatursensorerne i de to midter-array kan placeres som vist i figur 2.18, men ikke nødvendigvis. Den vertikale placeringen af temperaturfølerne i figur 2.18 er for at matche placeringen af overfladesensorerne på de adiabatisk vægge. Lufttemperatursensorerne skal kunne placeres i overensstemmelse med behovene ved de aktuelle afprøvninger. Der bør som vist i figur 2.18 også være en sensor lige under loftet på 1. sal til styring af temperaturen over det øverste betonhuldæk.

Varmestrømsmålere

Til afprøvninger, hvor varmemstrømmen ind i etageadskillelserne skal kendes, er det nødvendigt at anvende varmemstrømsmålere f.eks. indlagt i isoleringspladerne til begrænsning af effekten af betonhuldækkene.

Det er nødvendigt at kalibrere varmemstrømsmålerne for den aktuelle anvendelsessituation. Indlagt i isoleringsplader kan varmemstrømsmålerne kalibreres i Teknologisk Institut Energi's λ -apparat, eller der kan anvendes selvkalibrerende varmemstrømsmålere, hvor der er monteret en varmefolie med kendt varmeafgivelse på den ene side af varmemstrømsmåleren (Hukseflux, 2000). Dette øger anvendelsesområdet for varmemstrømsmålerne, idet de da også kan anvendes på steder, hvor en traditionel kalibrering ikke kan lade sig gøre.

Lufthastighedsmålere

Lufthastigheder (f.eks. i testrummene, i ventilationskanaler, m.m.) vil ofte kunne måles med hotwire-anemometre med et måleområde, der matcher de lufthastigheder, der ønskes målt. Men hotwire-anemometre vil specielt ved konvektionsdrevne luftstrømme forstyrre strømningsprofilen. Det kan i nogle tilfælde blive nødvendigt at anvende et doubleranemometer – hvilket dog er et dyrt instrument, som det nok ikke vil være muligt at anskaffe i første omgang.

Teknologisk Institut Energi råder allerede over et mobilt måleudstyr til måling af lufthastigheder bestående af et array af 17 DISA lufthastigheds- og temperaturfølere.

Lufttæthed og -skifte

Testfaciliteten – her de adiabatisk flader – skal være så tætte som muligt for at undgå, at infiltration gennem disse flader influerer på afprøvningerne. Derimod kan det ikke forventes, at de vægge, der skal afprøves, er tætte. Samlingen mellem adiabatisk flader og testflader skal gøres tætte, men testfladerne skal have den utæthed, de nu engang vil have i en rigtig bygning.

Derfor er det nødvendigt at kunne måle det luftskifte, der sker i testrummet under en afprøvning. Dette kan gøres på to måder: Den simple som medføre stor usikkerhed og den mere avancerede med større nøjagtighed.

Den simple metode består i at måle luftskiftet ved et kendt over- og undertryk – sædvanligvis ± 50 Pa. På baggrund af de målte værdier kan et gennemsnitligt luftskifte anslås. Men da luftskiftet ved infiltration/exfiltration er afhængig af vejrforhold og rumtemperatur, vil luftskiftet varierer over tid. Metoden er derfor kun god ved afprøvninger med et yderst beskedent luftskifte. Metoden er dog god til at skabe et overblik over, hvor utæt en konstruktion er, og kan som sådan bruges i forbindelse med design af afprøvningsbetingelser – f.eks. om der er behov

for kontinuerlig måling af luftskiftet i testrummet. Testfaciliteten skal derfor råde over udstyr til en sådan trykprøvning af testrummene.

Den avancerede metode består i at gennemføre kontinuerlige sporgasmålinger af luftskiftet i testrummene ved enten at måle henfaldet af en sporgas eller ved at dosere sporgas, så en konstant koncentration af sporgas opretholdes. Teknologisk Institut Energi råder allerede over Brüel & Kjør's sporgasudstyr.

I forbindelse med afprøvninger, hvor der indgår ventilation i form af naturlig eller mekanisk ventilation, skal denne ventilation kunne kvantificere. Hvordan afhænger i høj grad af den valgte ventilationsform og opbygning. Luftmængderne kan bestemmes ved sporgas, måling af lufthastigheder eller kalibrerede trykforskelle. Teknologisk Institut Energi råder allerede over det nødvendige udstyr på dette felt.

Komfort

Det skal være muligt at måle alle relevante komfortparametre i forbindelse med en afprøvning. Teknologisk Institut Energi råder allerede over Brüel & Kjør's komfortmåleudstyr.

4.3. Kalibrering

For at kunne opnå gode og præcise måleresultater er det nødvendigt, at måleudstyret bliver kalibreret med jævne mellemrum. Teknologisk Institut Energi, herunder SolEnergiCentret, har flere DANAK-akkrediterede afprøvningsfaciliteter, hvor der rutinemæssigt gennemføres kalibrering af måleinstrumenterne. Kalibreringen af måleudstyret i testfaciliteten til afprøvning af bygningsintegreret solenergi vil blive foretaget på linie med kalibreringen af akkrediterede måleinstrumenter.

Dette betyder, at stationært måleudstyr skal kalibreres en gang om året. Pyranometre og vindhastighedsmåler kan kalibreres sammen med SolEnergiCentrets akkrediterede instrumenter. Udstyr til måling af lufthastigheder og trykforskelle kan kalibreres sammen med Ventilations og Miljø-afdelingens akkrediterede måleudstyr.

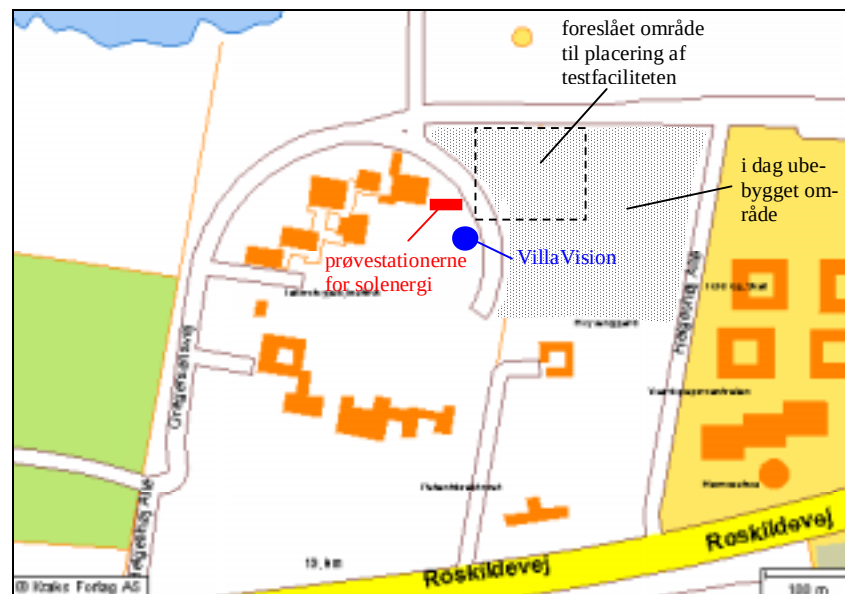
For ikke stationært måleudstyr, hvor omplaceringen af udstyret kan formodes at ændre kalibreringen, bør en kalibrering foretages før hver ny afprøvning.

Da der i testfaciliteten indgår mange luft- og overfladetempertursensorer, skal der udvikles metoder og rutiner til kalibrering af disse, som reducerer tidsforbruget til kalibreringen. Kalibreringen af overfaldetemperturfølerne i de adiatiske paneler kan baseres på et (kalibreret) infrarødt referencetermometer med høj præcision, hvis panelerne produceres med en overflade med en kendt, konstant emissivitet – appendiks F viser, at emissiviteten for selv malede metalplader kan være vanskelig at håndtere. Kalibreringen af lufttemperturfølerne kan baseres på et (kalibreret) referencetermometer monteret i f.eks. en kanal med forceret luftstrømning og varme/køling, hvor flere tempertursensorer let kan monteres og dermed kalibreres samtidigt.

5. Beliggenhed

Testfaciliteten til afprøvning af bygningsintegreret solenergi skal placeres et sted, hvor der ikke er skyggegivere i nærheden. Da solen om vinteren har en højde over horisonten på ca. 11° kl. 12, skal nærmeste skygge giver mindst ligge 35 m væk, hvis skygge giveren er 6 m høj. Helst skal der være frit mod øst, syd og vest i en radius på 50-100 m.

Figur 5.1 viser en placering tæt ved SolEnergiCentrets eksisterende prøvningsfaciliteter (betegnet prøvestationerne for solenergi) på Teknologisk Institut i Taastrup, hvor det er muligt at etablere det fornødne friareal rundt om testfaciliteten. Figur 5.2 viser et billede af arealet, hvor testfaciliteten kan placeres



Figur 5.1. Forslag til placering af testfaciliteten til afprøvning af bygningsintegreret solenergi. Den markerede placering giver et friafstand til skyggegivere på mindst 50 m mod øst, syd og vest.

Den foreslåede placering har den fordel, at det er et relativt stort ubebygget område, som allerede ejes af Teknologisk Institut. Desuden ligger det tæt på SolEnergiCentrets allerede eksisterende faciliteter samt tæt på VillaVision. Det vil således være muligt at benytte allerede eksisterende faciliteter og trække på den måleekspertise, der også allerede forefindes på Teknologisk Institut.



Figur 5.2. Billede af det ubebyggede område tæt ved Prøvestationerne for solenergi's eksisterende testfaciliteter.

6. Prissætning af testfaciliteten

I dette kapitel vil testfaciliteten blive prissat på baggrund af beskrivelserne i de foregående kapitler, således at der kan opstilles et budget, som kan danne baggrund for ansøgninger om midler til realiseringen af testfaciliteten til afprøvning af bygningsintegreret solenergi. De følgende priser er 2000-priser.

6.1. Grund

Det foreslås som før nævnt at placere testfaciliteten på et fritliggende og ubebygget området tæt ved SolEnergiCentrets allerede eksisterende prøvningsfaciliteter. Da testfaciliteten kræver frit udsyn uden skyggegivere i en radius af mindst 50 m, kræves der en grund på minimum 12.000 og helst 44.000 m² ved en friradius på 100 m rundt om testfaciliteten.

Prisen for denne grund oplyses af Teknologisk Instituts Bygningsservice at koste 400 kr./m², hvilket giver en grundpris på mellem 4,8 og 17,6 mio. kr. afhængig af størrelse. Nu forholder det sig dog således, at Teknologisk Institut allerede ejer den nævnte grund. Det forventes derfor at grundprisen kan indgå som selvfinansiering i forbindelse med etableringen af testfaciliteten.

6.2. Terræn-, grund-, bygnings- og installationsarbejde

For at få et overslag over de forventede udgifter til terræn-, grund-, bygnings- og installationsarbejde blev et entreprenørfirma (B. Nygaard Sørensen A/S) bedt om at komme med et overslagstilbud. I appendiks K er der en beskrivelse af, hvad der er inderholdt i overslagstilbuddet samt entreprenørens tilbud. For detaljer henvises derfor til appendiks K. Overslagstilbuddet inkludere ikke opvarmningssystem i kælder og på loft. Opvarmningssystemet her foreslås opbygget af elpaneler og elvarmeblæsere for at opnå en hurtig responstid og mulighed for at få varme ud i alle kroge således at lufttemperaturen under den nederste og over den øverste etageadskillelse kan holdes på den ønskede temperatur over hele fladen

Tilbudet fra B. Nygaard Sørensen for det beskrevne arbejdet er:

Terrænarbejde	280.000,- kr.
Grundarbejde	640.000,- kr.
Bygningsarbejde	1.560.000,- kr.
Installationer	40.000,- kr.
I alt ekskl. moms	2.520.000,- kr.

Hertil kommer opvarmningssystemerne i kælder og på loftet som inkl. styring anslås at kost:

Opvarmnings- og ventilationssystemer	50.000,- kr.
I alt ekskl. moms	2.620.000,- kr.

6.3. Adiabatiske paneler

Firmaet Hercules A/S, der er specialist i opbygning af sandwich-konstruktioner i skumisole-ring med alu-linere, blev bedt om at give et overslagstilbud for opbygningen af de adiabatiske paneler. Beskrivelsen af arbejdet findes i appendiks L. Overslagsprisen indbefatter den fulde opbygning af panelerne inkl. de fleste materialer – bortset fra varmemefolier, PT100-følere, spændebeslag, ventilationssystem, løfteøjer, montagevinkler og styresystem. Overslagsprisen fra Hercules er ligeledes vedlagt i appendiks L.

I appendiks L findes også en overslagspris for varmemefolierne udarbejdet af Kanthal Norden AB. Overslagsprisen indbefatter ikke klæber, som af Kanthal anslås at koste 100,- kr. pr. folie, hvis de skal levere folierne som selvklæbende.

PT100-følerner leveres af SolEnergiCentret. Prisen for klasse A følere er ca. 350,- kr. stk.

Ventilationssystemet består af 2 ventilatorer i et hus med modtryksspjæld og 3 indløbsriste. Samlet pris pr. panel vil inkl. montage andrage 2.000 kr.

Styresystemet behandles i næste afsnit.

Samlet pris pr. stk. for de adiabatiske paneler:

Adiabatike paneler	11.600,- kr.
4 varmemefolier inkl. klæber	3.825,- kr.
5 x 2 PT100-følere (Jumo F17)	3.500,- kr.
Ventilationssystem	2.000,- kr.
I alt ekskl. moms	20.925,- kr.

Ved 40 paneler bliver den samlede udgift 837.000,- kr. ekskl. moms.

Til dette skal lægges udgiften til spændebeslag (det antages, at der skal bruges 10 spændebeslag på ydersiden af panelerne og 6 på indersiden – i alt 16 spændebeslag), løfteøjer (2 stk.) og monteringsvinkler (6 stk.) samt 2 paneler med adgangsvej og indvendig opvarmet vindfang, 20 1 m høje ikke adiabatisk paneler til afslutning over den øverste etageadskillelse, de nødvendige hjørnemoduler samt skillevægge. Dette forventes at bringe den samlede pris op på 1.1 mio. kr. ekskl. moms.

6.4. Testvæg til indkøring af testfaciliteten

Der er behov for en testvæg ved indkøringen af testfaciliteten. Dette kan enten være en væg, som en fabrikant stiller til rådighed mod at få testet væggen, eller i første omgang adiabatiske paneler på alle væggene (de 40 paneler kan dække alle vægge i de to testrum), og hvor nogle af de adiatiske paneler efterfølgende udskiftes med felter med mere traditionelle materialer og vinduer. Prisen for dette bliver da enten 0 kr. eller et meget beskedent beløb.

6.5. Måle/styresystem

Her prissættes udelukkende selve måle/styresystemet – ikke de nødvendige sensorer.

Firmaet Promatic A/S blev bedt om at give en overslagspris på et målesystem opbygget i Interbus Inline moduler styret af IGSS overvågningssystemet. Specifikationen for måle/styresystemet er givet i appendiks M, hvor overslagstilbudet fra Promatic også er vist. Tilbudet inkludere 280 timer support med opbygning af den software-baserede del af målesystemet.

Den nedenstående pris inkludere individuel styring af varmemodulerne i alle paneler samt moduler til logning af 120 PT100-følere (hovedsagelig lufttemperaturfølerne i testrummene). Desuden mulighed for logning af 16 mV-signaler, 16 mA-signaler og 16 V-signaler.

Hardware	916.666,20 kr.
Software	79.500,- kr.
Support	140.000,- kr.
I alt ekskl. moms	1.136.166,20 kr.

En billigere, men ikke så præcis styring af varmemodulerne, vil være at de fire lag af varmemoduler styres sammen pr. væg. Det betyder at de såkaldte boostermoduler i appendiks M skal kunne lever en større effekt - 250 W i stedet for 50 W (det antages 50% forøgelse af prisen for boostermodulerne), til gengæld spares der PT100-moduler og analoge udgangsmoduler for 30 paneler samt 2 decentrale styringer. Softwarebehovet er uændret, mens support antages at kunne reduceres til 150 timer.

Prisen for dette – med samme antal målemoduler – bliver da:

Hardware	400.000,- kr.
Software	79.500,- kr.
Support	100.000,- kr.
I alt ekskl. moms	579.500,- kr.

Altså en pæn absolut besparelse men en relativ besparelse set i forhold til den samlede pris for testfaciliteten. Den relative besparelse er så beskednen, at den ikke opvejer den forringelse i styringsmulighederne, som besparelsen introducerer.

6.6. Måleudstyr

Måleudstyret inkludere mange forskellige typer sensorer – nogle som indgår i et basis sensorsæt, mens andres benyttelse afhænger af de aktuelle afprøvninger.

Vejrstation

Globalt solindfald	37.000,- kr.	Kipp & Zonen CM 21
Diffust solindfald	30.000,- kr.	Kipp & Zonen CM 11 + skyggering
Udelufttemperatur + fugtighed	3.000,- kr.	Ahlborn

Vindhastighed	6.000,- kr.	Almeno FV A615
Vindretning	8.500,- kr.	Almeno FV A814
10 m høj mast til vindmåling	10.000,- kr.	gæt
Pyrgeometer	32.000,- kr.	Kipp & Zonen CG4

I alt ekskl. moms 126.500,- kr.

Andre eksterne følere

4 solindfald	60.000,- kr.	Kipp & Zonen CM 11
3 udelufttemperaturer	9.000,- kr.	Ahlborn
3 lokal vindhastighed	22.000,- kr.	Alemo
Albedo – 2 pyranometre	30.000,- kr.	Kipp & Zonen CM 11
10 overfladetemperature	3.500,- kr.	Jumo F17

I alt ekskl. moms 124.500,- kr.

Interne forhold

Krydsfelter		
88 lufttemperaturer	31.000,- kr.	Jumo F17
88 dobbeltskærme	18.000,- kr.	gæt
Andre PT100-følere	8.000,- kr.	Jumo F17
Infrarødt termometer	9.000,- kr.	Raynger 370-MX-4P
4 varmestrømsmålere	20.000,- kr.	Hukseflux HFP01SC
Trykprøvningsudstyr	10.000,- kr.	gæt

I alt ekskl. moms 96.000,- kr.

Opsætning af sensorer

Beslag, wire, m.m.	5.000,- kr.
Kabler til sensorer	5.000,- kr.

I alt ekskl. moms 10.000,- kr.

Måleudstyr i alt

I alt ekskl. moms 357.000,- kr.

6.7. Lift

Prisen for brugte lifte, der kan løfte >200 kg til 12 m, ligger i området 100-200.000,- kr. ekskl. moms afhængig af alder og stand.

6.8. Projekt samt tilsyn ved opførelsen af testfaciliteten

Denne rapport beskriver detailudviklingen af flere af elementerne i testfaciliteten til et stade, hvor det næsten direkte kan produceres. Dog er der brug for at gennemføre et egentligt byggeprojekt, hvor de sidste ting samt sammenhængen mellem de enkelte komponenter bliver fastlagt. Desuden skal der føres tilsyn med byggeriet af en eller personer med detailkendskab til de specielle krav, som en testfacilitet af denne type kræver rent byggeteknisk.

Udgifterne til projekt og tilsyn anslås til 500.000 kr. ekskl. moms.

6.9. Installation af paneler, måleudstyr samt indkøring af testfaciliteten

Paneler, måle/styresystem og måleudstyr skal installeres og testfaciliteten skal indkøres. Dette forventes at kræve et halvt ingeniørår, et måleteknikerår samt et halvt teknikerår.

Ingeniør ½ år	600.000,- kr.
Måletekniker 1 år	1.000.000,- kr.
Tekniker ½ år	350.000,- kr.
I alt ekskl. moms	1.950.000,- kr.

6.10. Samlet udgift for opførelsen af testfaciliteten

Grund	10.000.000,- kr.
Terræn-, grund-, bygnings- og installationsarbejde	2.620.000,- kr.
Adiabatiske paneler	1.100.000,- kr.
Testvæg til indkøring	0,- kr. (måske 50.000,- kr.)
Måle/styresystem	1.140.000,- kr.
Måleudstyr	357.000,- kr.
Lift	200.000,- kr.
Projekt og tilsyn	500.000,- kr.
Installation og indkøring	1.950.000,- kr.
Diverse 10% af ovenstående minus grund	787.000,- kr.
Uforudsete udgifter 10% af ovenstående minus grund	866.000,- kr.
Markedsføring	300.000,- kr.
I alt ekskl. moms	19.819.000,- kr.
I alt ekskl. moms og grund	9.819.000,- kr.

Da Testfaciliteten ikke blev opført i 2000 eller når at blive opført i 2001, er ovenstående budget pristalsreguleres med Danmarks statistiks reguleringsindeks for boligbyggeri i Danmark. Den gennemsnitlige prisstigning var gennem de sidste 5 år ca. 3 %

2002:	10.417.000,- kr. ekskl. moms og grund
2003:	10.729.000,- kr. ekskl. moms og grund
2004:	11.051.000,- kr. ekskl. moms og grund
2005:	11.383.000,- kr. ekskl. moms og grund

7. Anvendelse og brugere af testfaciliteten

Testfaciliteten er blevet udviklet med udgangspunkt i behovene ved afprøvning af bygningsintegreret solenergi. Testfaciliteten kan dog anvendes indenfor mange andre områder indenfor facadeløsninger, termisk indeklima, ventilationsforhold, styringsstrategier mm. Følgende liste illustrere bredden af muligheder.

- luftsolvarmeanlæg integreret i tag eller facade
- dobbeltfacader
- naturlig ventilation
- luftkvalitet, luftskifte, CO₂-koncentrationer mv.
- bygningsintegrerede solcelle- eller PV-T anlæg
- solafskærmninger
- solindfald gennem glasfacader
- indretning/møblering
- varmeakkumulering og passiv køling
- friskluftindtag i facader
- luftstrømninger mellem rum
- interne varmelaster
- opvarmningsmuligheder
- styringsstrategier for varme, ventilation, solafskærmning mm.
- termisk indeklima
- trækforhold
- dagslysforhold, visuelt indeklima
- akustik
- m.m.

7.1. Brugere af testfaciliteten

7.1.1. Ind- og udlandskelandske forskere

Mange nationale forskningsprojekter indenfor bygningsintegreret solenergi, indeklima, naturlig ventilation, m.m. kan med fordel afvikles i testfaciliteten

Danmark kan med testfaciliteten desuden blive en naturlig partner for udenlandske forsker i internationale forskningsprojekter f.eks. EU-projekter indenfor bygningsintegreret solenergi og andre bygningsenergiformer.

7.1.2. Rådgivere/entreprenører og bygherrer

Flere danske rådgivere har udtrykt stor interesse for testfaciliteten (f.eks. COWI, Esbensen og Genergia). Rådgiverne kan her få testet nye koncepter, før de installeres i konkrete bygninger.

Testfaciliteten vil især være interessant i forbindelse med større byggeprojekter, hvor konceptafprøvning i stil med ”mock-ups” i forvejen benyttes til at teste nye koncepter. Større byggeprojekter udføres i stigende grad af totalentreprenører, der både er entreprenører og rådgivere.

Med den stigende fokusering på indeklima og komfort i bygninger kan testfacilitetens muligheder være interessante for bygherrer, der på denne måde kan sikre sig, at et givet bygningskoncept, f.eks. glasfacader, vil opfylde de ønskede krav til termisk indeklima.

7.1.3. Producenter

Producenter kan have brug for en uvildig funktionstest af deres produkter. Det kan f.eks. være angående ydelser for solenergisystemer, termisk og optiske egenskaber for glasfacader, osv.

Produktprøvning er dog kun relevant i forbindelse med store elementer, idet små elementer kan afprøves billigere i mindre testceller eller klimakamre. Dette kræver dog, at Teknologisk Institut med testfaciliteten får opbygget et kvalitetssystem, der kan anerkendes såvel nationalt som internationalt.

7.1.4. SolEnergiCentret og Teknologisk Institut

SolEnergiCentret og Teknologisk Institut kan selv anvende testfaciliteten til forsknings- og udviklingsprojekter indenfor f.eks. nye bygningsintegrerede solenergiløsninger, opvarmnings- eller ventilationskoncepter med naturlig ventilation, osv.

8. Konklusion

Konceptet for en testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi udviklet i (Jensen, 1997a) er yderligere blevet konkretiseret i nærværende projekt. Specielt har arbejdet ført til mere håndterlige adiabatisk flader, som er en af hovedhjørnestenene i konceptet.

I stedet for at arbejde med zoner ud for de flader, der ønskes adiabatisk, er der i stedet blevet udviklet mere håndterbare paneler, der ydermere gør det lettere at matche en evt. vertikal stratificering af lufttemperaturen i testrummene. 2D-simuleringer samt afprøvning af en test-samling mellem to paneler har vist, at det er muligt at fremstille panelerne, så der stort set ikke vil opstå kuldebroer i samlingerne mellem panelerne.

Alle flader i de to testrum kan dækkes med i alt 36 ($3 \times 2 \text{ m}^2$ ($h \times b$)) adiabatisk paneler. Panelerne gøres adiabatisk ved at have 4 regulerbare varmemfolier over hinanden på indersiden af panelerne. Temperaturen af disse varmemfolier skal styres meget præcist for at matche lufttemperaturen i testrummene og derved gøre panelerne adiabatisk. Det er således mange temperaturer (lufttemperaturer i testrummene og overfladetemperaturer på panelerne) der skal logges med et meget lille scaninterval samtidigt med, at varmemfolierne skal reguleres på baggrund af disse temperaturer. Det kræver meget af styresystemet. En af de store opgaver i projektet var derfor at finde et styresystem, der var tilstrækkelig hurtigt og tilstrækkelig præcist til at kunne styre de adiabatisk paneler samtidigt med, at det inkluderer stor sikkerhed for, at et opvarmningsforløb af de adiabatisk paneler ikke løber løbsk. Indtil videre har kun Interbus System Technology kunnet klare de skrappe krav. Ud over at styre de adiabatisk paneler er det også planen, at styresystemet skal fungere som datalogger-system for målingerne, der gennemføres i testfaciliteten, bl.a. fordi styresystemet allerede skal logge på lufttemperatur- og overfladetemperaturfølerne i testrummene.

Ud over udviklingen af de adiabatisk paneler, er også det bærende skelet til testfaciliteten blevet udviklet. På grund af den store højde (12 m) samt, at det ikke er muligt at arbejde med stråstag i konstruktionen, da disse vil reducere fleksibiliteten af testfaciliteten, må det bærende skelet nødvendigvis bestå af stålprofiler i en relativ svær dimension. Det bærende skelet er opbygget af et grundskelet indeholdende de to testrum samt kælderen. Ovenpå dette kan der placeres 2 forhøjningsmoduler: Et der giver testfaciliteten et 45° sadeltag og et der yderligere forøger højden af sydfacaden fra 6 til 12 m. Der er udarbejdet AutoCad-tegninger for det bærende skelet, der direkte kan anvendes som arbejdstegninger ved en senere opførelse af testfaciliteten.

Etageadskillelserne mellem testrummene og kælder/loft skal bestå af betonhuldæk, hvor der kan lagres varme dels passivt og dels aktivt ved at blæse luft gennem betonhuldækkene. Men ved nogle forsøg ønskes denne varmelagringskapaciteten for betonhuldækkene beregnet, ligesom det er undersøgt, hvordan varmelagringssevnen kan begrænses ved at montere isolering over og under betonhuldækkene samt på stålsøjler og stålbjælker. På denne måde er det muligt at reducere varmestrømmene ind og ud af de termisk tunge dele af testfaciliteten til en størrelsesorden, som ikke vil give problemer i de fleste afprøvninger.

Der er foreslået en beliggenhed for testfaciliteten tæt på SolEnergiCentrets eksisterende afprøvningsfaciliteter på Teknologisk Institut - på en grund som allerede ejes af Teknologisk Institut.

Ved hjælp af AutoCad er testfaciliteten blevet visualiseret, således at det er muligt at danne sig et billede af, hvordan testfaciliteten vil tage sig ud og fungere, når den forhåbentlig bliver realiseret.

Desuden er testfaciliteten blevet prissat. En entreprenør, et par fabrikanter og en styringsspecialist er blevet bedt om at komme med overslagstilbud på forskellige dele af testfaciliteten. Den absolut dyreste del er selve grunden, som dog forhåbentlig kan indgå som egenfinansiering, da Teknologisk Institut allerede ejer grunden. Herefter er den største udgift opførelsen af testfacilitetens skelet m.m. inkl. byggemodning af grunden på lidt over 2,5 mio. kr. De adiabatisk paneler samt styre/målesystemet koster hver mellem 1.1 og 1.2 mio. kr. Måleudstyr samt en lift til opsætning af de adiabatisk paneler og måleudstyr koster henholdsvis 0,35 og 0,2 mio. kr. Projekt og tilsyn forventes at koste omkring 0,5 mio. kr., mens installation af de adiabatisk paneler og måle/styresystemet samt indkøring af testfaciliteten forventes at koste omkring 2 mio. kr. Inkl. diverse men uden grund forventes testfaciliteten kan koste omkring 11 mio. kr. ved opførelsen inkl. opstart og markedsføring

11 mio. kr. kan Teknologisk Institut ikke løfte alene, det er derfor hensigten at søge forskellige fonde og ministerier om midler til opførelsen af testfaciliteten. Der vil blive udarbejdet ansøgningsmateriale, hvor specielt visualiseringen og prissætningen vil spille en fremtrædende rolle. Nærværende rapport samt (Jensen, 1997a) vil blive anvendt som bilag til ansøgningerne.

11 mio. kr. er et stor beløb, som dog forventes tjent hjem i og med, at danske fabrikanter, rådgivere, udviklere og forskere her får et værktøj til hurtigere udvikling af bedre façade- og energikomponenter – med og uden bygningsintegreret solenergi. Det forventes desuden, at afprøvningen af komponenter i testfaciliteten ofte vil lede til et bedre indeklima i de bygninger, hvor komponenterne senere bliver inkorporeret, da eventuelle fejl og mangler kan findes og rettes før, komponenterne indgår i rigtige bygninger.

8. Referencer

Hukseflux, 2000. www.hukseflux.com

Jensen, S.Ø., 1997a. Testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi - konceptudvikling. Prøvestationen for Solenergi, Teknologisk Institut Energi. ISBN 87-7756-481-2.

Jensen, S.Ø., 1997b. Test facility for test of building integrated solar energy - Development of the concept. Solar Energy Laboratory, DTI Energy.

Lehrskov, H., 1999. Ikast-seminariet. Arkitektfirma A/S Hune & Elkær.

Appendiks A

Appendikset er ikke tilgængelig elektronisk

Appendiks B

Appendikset er ikke tilgængelig elektronisk

Appendiks C

Forslag til udformning af de adiabatisk flader - I

Jens Rabeck

Institut for Bygninger og Energi

Danmarks Tekniske Universitet

Dimensionering af adiabatisk vægge

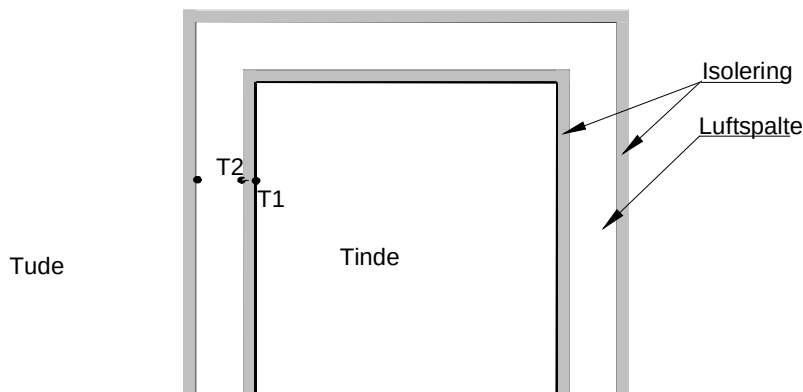
I forbindelse med opførsel af en testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi skal der etableres en række tilnærmelsesvis adiabatisk vægge (i alt ca. 250-400 m²).

I projektet vil der ikke blive anvendt køling til de adiabatisk vægge. Der vil derfor kun kunne opnås adiabatisk forhold, når temperaturen er højere i bygningen end udenfor. Dette vurderes dog også at være tilfældet i de fleste af de forsøg, der forventes foretaget - måske med undtagelse af forsøg med solkøling.

Adiabatisk vægge kan etableres på forskellig vis. I denne rapport vil adiabatisk vægge med varmefolie blive beskrevet.

Denne rapport er dog kun et arbejdsblad, der skal danne grundlag for en beslutning om den principielle udformning af de adiabatisk væggen. Den endelige udformning af de adiabatisk vægge kan først fastlægges gennem mere detaljerede undersøgelser og termiske simuleringer.

Opbygningen af konstruktionen foreslås udført som vist i nedenstående figurer.



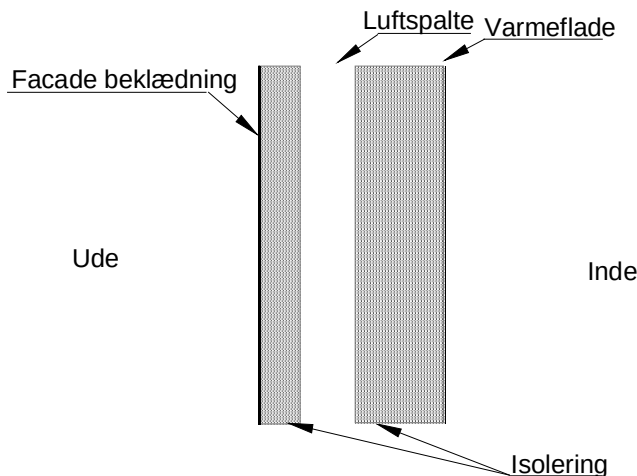
Figur 1. Principskitse af testfacilitet med adiabatisk vægge.

Virkemåde

Konstruktionen består af to kasser. Den inderste kasse er en målekasse, og det søges tilstræbt, at der ikke er nogen energistrøm gennem overfladen af denne kasse ind mod rummet - T1 skal være lig Tinde.

Den yderste kasse er en slags klimaskærm. Ud over at virke som regnskærm skal denne kasse også virke som solskærm. Solen vil kunne opvarme kassen i forskellig grad på de forskellige sider af kassen. Dette vil kunne give problemer med styringen af varmefloden i den inderste kasse.

Det foreslås derfor, at der mellem den inderste og den yderste kasse laves en ventileret luftspalte, der skal være med til at sikre ensartede temperatur (T_2) på den yderste side af den inderste kasse.



Figur 2. Snit i vægkonstruktion.

Opbygning

Ind mod rummet haves en varmekilde. Denne flade opbygges af 0.5-1.0 mm aluminiums plade, hvorpå der klæbes en varmemembran. Bag varmekilden haves et lag isolering. Der foreslås her at anvende 100 mm Roofmate isolering eller tilsvarende. Roofmate er et relativt hårdt og stabilt isoleringsmateriale. Dette er med til at sikre ensartet tykkelse af isoleringen på trods af de mekaniske påvirkninger, der vil kunne opstå gennem opstillingens levetid. Samtidig har materialet en høj isolans.

Det foreslås at de 100 mm isolering opbygges af to 50 mm tykke plader for at undgå kuldebroer ved samlinger. Fladerne ind mod luftspalten beklædes ikke. Luftspalten tænkes værende 50-200 mm. Den yderste kasse tænkes opbygget af 50 mm Roofmate eller tilsvarende, hvorpå der påklæbes en regnskærm af metal eller lignende.

Varmeflade og styring

Der vil ud gennem væggen være et varmetab, der skal dækkes ved effekttilførslen til varmekilden. Med den viste opbygning kan varmetabet ved 20 grader i rummet og -12 grader udenfor beregnes som:

$$q = \Delta T \cdot U = \Delta T \cdot \frac{1}{\frac{d}{\lambda} + R_u}$$

⇓

$$q = (20^{\circ}\text{C} - (-12^{\circ}\text{C})) \cdot \frac{1}{\frac{0.15}{0.03} + 0.04} = 6.35 \text{ W} / \text{m}^2$$

Isolansen af den yderste spalte er ikke medtaget.

Varmefladen opbygges af en aluminiumsplade påklæbet en varmemefolie. Varmefolien kan laves hos firmaet Kanthal efter mål.

Disse varmemefolier er lavet af varmetråde, der ligger relativt tæt, og der forventes derfor at der kan opnås en jævn temperatur over folien. Varmefolierne fra Kanthal kan levere ca. 60 W/m^2 . Det foreslås, at varmemefladerne opdeles i vandrette bånd med en højde på ca. 1 m og en bredde svarende til den halve bredde/dybde af bygningen (4-5m). Med denne opbygning vil det på trods af forskellige temperaturer forskellige steder i rummet være muligt at opretholde adiabatiske vægge.

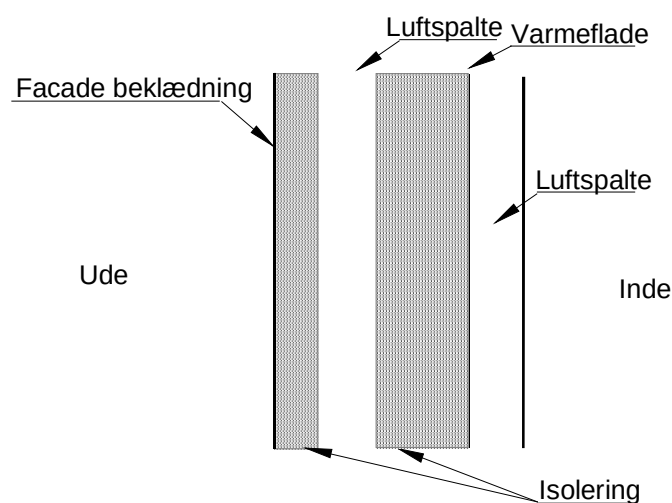
Temperaturen på varmemefladen skal holdes så tæt på rummets temperatur som muligt. Hvor godt væggen vil virke afhænger i høj grad af, hvor god en styring af varmemefladens temperatur, der kan opnås.

Ud fra måling af temperatur i rummet og temperatur på varmemefladen kan effekten til varmemefladerne styres med on/off-regulering. Det forventes, at der skal reguleres i intervaller fra 1-10 s for at opnå tilstrækkelig jævn effekttilførsel til varmemefladen. Evt. kan der anvendes SolarTron målekort til temperaturmålingerne og en PLC-styring af effekten.

Alternativ konstruktion

Alternativt kan konstruktionen udbygges med en ventileret luftspalte ind mod rummet som vist i figur 3.

I den inderste luftspalte søges der at få samme temperatur som inde i rummet. Temperaturen styres ved at tilføre effekt til varmemefladen. Fordelen ved denne konstruktion er, at evt. temperaturvariationer over varmemefladen ikke giver anledning til temperaturvariationer på den indvendige vægside. Til gengæld kan det være nødvendigt at etablere ventilation i spalten for at sikre ensartede temperaturer på den inderste plade.



Figur 3. Alternativ konstruktion med to luftspalter.

Appendiks D

Forslag til udformning af de adiabatisk flader - II

*Jens Rabeck
Institut for Bygninger og Energi
Danmarks Tekniske Universitet*

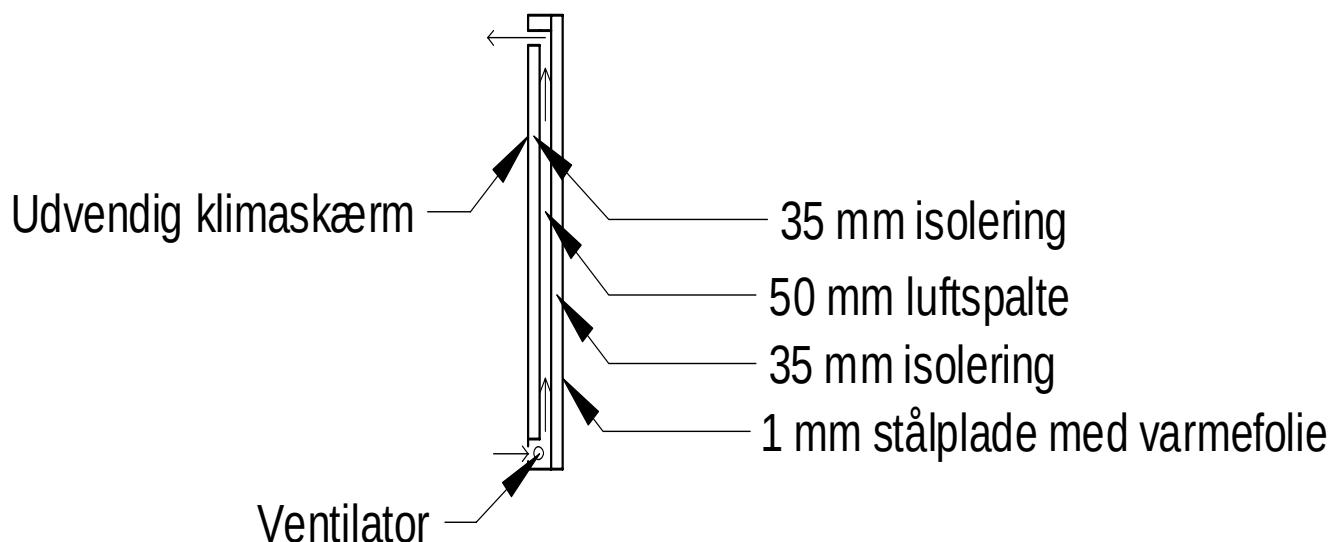
I forbindelse med opførelse af testfacilitet til afprøvning og undersøgelse af bygningsintegrerede solvarmeløsninger skal der laves en række adiabatisk vægelementer (se appendiks C).

På baggrund af en diskussion af kravene til vægelementerne, beregning af isolansen samt den termisk virkemåde foreslås følgende udformning af vægelementerne.

Efter samtale med firmaet Hercules, Kolding der producerer vægelementer til kølehuse har firmaet bekræftet, at det kan producere de ønskede elementer. Firmaets produkter er baseret på isoleringsmaterialet polyuretan, der har en varmeledningsevne på ca. $0,022 \text{ W/mK}$.

Idet det antages, at væggen ønskes at have en isolans svarende til en almindelig ydervæg ($0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$), kan dette opnås med en tykkelse af isoleringsmaterialet på 70 mm ($2 \times 35 \text{ mm}$).

Elementet foreslås derfor udført som vist i nedenstående skitser:



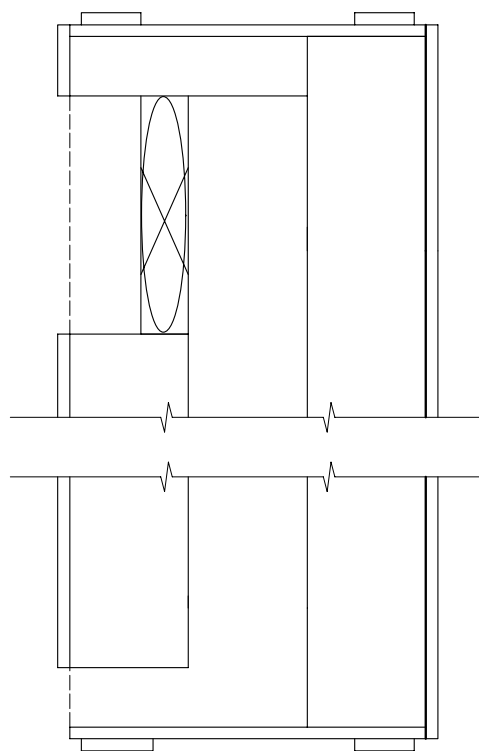
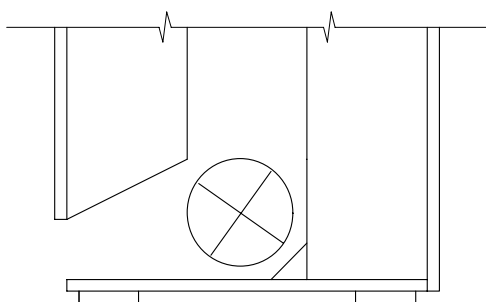
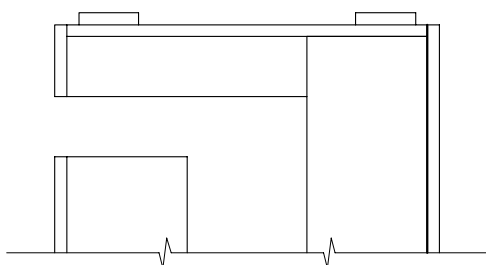
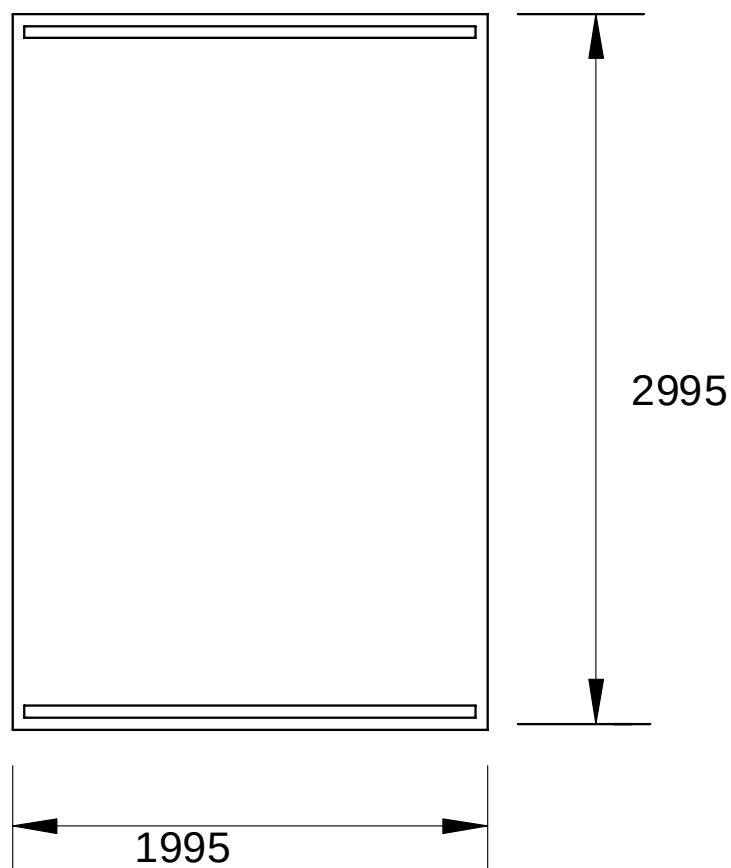
Ventilatoren er placeret i konstruktionen for at kunne fjerne evt. solvarme fra den udvendige side. Ventilatoren skal kunne give en luftmængde på ca. 90 l/s . Det foreslås, at der anvendes tangential eller aksial ventilatorer.

På næste side er vist nogle tegninger af elementet.

Til højre ses et element i frontperspektiv. Elementet har et modulmål på $2 \times 3 \text{ m}^2$, hvoraf der er afsat 5 mm til pakning i samlinger mellem elementerne. Et endeligt forslag til samlingsdetaljerne mellem elementerne må aftales med firmaet Hercules.

Firmaet mener i øvrigt ikke, at der er problemer med den statiske stabilitet af den viste elementudformning.

Nederst er vist lodret snit i elementet dels med en konstruktion med tangentialventilatorer og dels med aksialventilatorer.



Appendiks E

TESTFACILITET TIL BYGNINGSINTEGRERET SOLENERGI

Bilag E - Stationære termiske beregninger med HEAT2

Trine Dalsgaard Jacobsen

Februar 2000

Indholdsfortegnelse

1.	Indledning	3
1.1	Formål	3
1.2	Krav til testfacilitetens klimaskærm	3
1.3	Adiabatiske flader	3
2.	Termiske beregninger	5
2.1	Beregningsforudsætninger	5
2.1.1	Anvendt simuleringsprogram	5
2.1.2	Randbetingelser	5
2.2	Relevante snit i bygningens klimaskærm	5
3.	Adiabatiske facadeelementer	6
3.1	Beskrivelse af facadeelementer	6
3.2	Nødvendig afsat effekt i varmefolie (1-dim)	7
3.3	Varmefoliens effekt på den indvendige overfladetemperatur	7
3.4	Udsparinger i varmefolien f.eks. pga. temperatursensorer	8
3.5	Ventilation af facadeelement ved ydre solpåvirkning	9
3.5.1	Eksempel	10
3.6	Kuldebro forårsaget af stålbindere i facadeelement.	11
4.	Facadesamlinger	12
4.1	Kuldebro ved samling mellem facadeelementer	12
4.2	Simpel samling med to tætningslister	12
4.3	Samling med not og fjer	14
4.4	Samling med not og fjer med isolering på inderside af samling	16
4.5	Samling med dobbelt not og fjer	17
4.6	Samling med T-formede plastprofiler	18
4.7	Samling med tætningsbånd i midten	19
5.	Hjørne mellem facader	21
5.1	Uisolerede stålbjælker	22
5.2	Stålbjælker beklædt med isolering på indersiden af stålbjælken	25
6.	Snit i hjørne mellem facader og etagedæk	26
7.	Overgang fra stuefacade til kælderrum	29

8.	Konklusion	31
9.	Referencer	32

1. Indledning

1.1 Formål

Det overordnede formål med udvikling og opførelse af en testfacilitet til bygningsintegreret solenergi er beskrevet i hovedrapporten sammen med en generel beskrivelse af testbygningen.

Formålet med disse termiske beregninger er at analysere de termiske forhold i testfacilitetens konstruktioner. 1- og 2-dimensionale varmetab er undersøgt under stationære betingelser for relevante udsnit af bygningen. Analyserne skal anvendes til at dokumentere bygningens termiske virkemåde ved at undersøge, om de enkelte dele af bygningens klimaskærm opfylder de krav, der stilles til disse.

1.2 Krav til testfacilitetens klimaskærm

Ideelt set skal testbygningen konstrueres, så kuldebroer, 2- og 3-dimensionale varmestrømme samt lange tidskonstanter i bygningen helt undgås, og så hele klimaskærmen kan fungere som adiabatisk flader, set fra indeklimaet. Dette vil dog ikke være muligt i praksis, men der kan opbygges konstruktioner og samlinger, der med god tilnærmelse kan fungere som adiabater i praksis.

Ved at konstruere testfacilitetens klimaskærm som adiabatisk flader, kan der ses bort fra varmetabet gennem alle andre bygningsdele, end den bygningsdel, der skal testes. Det giver mulighed for at teste facadeelementer under meget kontrollerede forhold, og dermed med stor nøjagtighed. Samtidig har det været et ønske, at testfacilitetens klimaskærm også skal kunne fungere som en almindelig klimaskærm, så bygningsdele også kan testes under forhold, der er sammenlignelige med virkelige forhold. Det skal dermed være muligt at skifte mellem en adiabatisk og ikke-adiabatisk klimaskærm.

Samtidig er det et krav til udformningen, at det skal være let at skille bygningens facader ad og opsætte forskellige typer af facadeelementer på forskellige sider af bygningen.

1.3 Adiabatisk flader

Adiabatisk flader er flader, hvorigennem der ikke er nogen varme flux. En sådan flade kan konstrueres ved at opretholde ens temperaturer på begge sider af fladen, f.eks. ved at opbygge en dobbeltfacade, hvor der i mellemrummet mellem facaderne ventileres luft med samme temperatur som indeklimaets temperatur. Det væsentligste problem ved en sådan konstruktion er, at den er vanskelig at skille ad og bygge om.

En anden mulighed er at indføre et lag i konstruktionen, der holdes på samme temperatur som indeklimaets. Det kan lade sig gøre, hvis der kan tilføres en kontrollerbar mængde varme til laget. Dette kan f.eks. realiseres med en elektrisk varmemembran på indersiden af facaderne. Energiforsyningen til varmemembranen skal styres, således at temperaturen på varmemembranen kan holdes

på samme temperatur som indeklimaets. Der er gennemført en række simuleringer for at sandsynliggøre, at denne opbygning af adiabatisk flader termisk kan fungere tilfredsstillende – også ved samlinger, hjørner mm..

2. Termiske beregninger

2.1 Beregningsforudsætninger

2.1.1 Anvendt simuleringsprogram

Til de 2-dimensionale varmeberegninger er anvendt simuleringsprogrammet HEAT2, der kan anvendes til både stationære og transiente beregninger af 2-dimensionale varmemstrømme. For dokumentation af HEAT2 henvises til (Blomberg, 1997)

2.1.2 Randbetingelser

Ved alle beregninger er anvendt dimensionerende temperaturer på hhv. 20°C og -12°C inde og ude, og overgangsisolanser på hhv. 0,13 m²K/W og 0,04 m²K/W. Dette stemmer overens med retningslinier givet i (DS 418, 1986).

2.2 Relevante snit i bygningens klimaskærm

Der er foretaget en række beregninger af forskellige snit i testfacilitetens klimaskærm, således at den termiske virkemåde af alle relevante dele af bygningen belyses. De væsentlige fokuspunkter for beregningerne er dels det samlede varmetab fra indeklimaet gennem klimaskærmen, der skal minimeres for, at den pågældende del kan betragtes som adiabatisk, dels overfladetemperaturerne på den indvendige side af konstruktionerne, der skal være ensartede for at muliggøre en tilstrækkelig god styring af varmeafgivere (folie) og indeklima.

De termiske beregninger kan opdeles i analyser af selve det adiabatiske facadeelement, og analyser af samlinger i klimaskærmen.

Adiabatisk facadeelementer:

- nødvendig afsat effekt i varmemfolie
- overfladetemperaturens ensartethed
- udsparinger i varmemfolien
- effekt af stålbindere i elementet
- effekt af ventilation af hulrummet

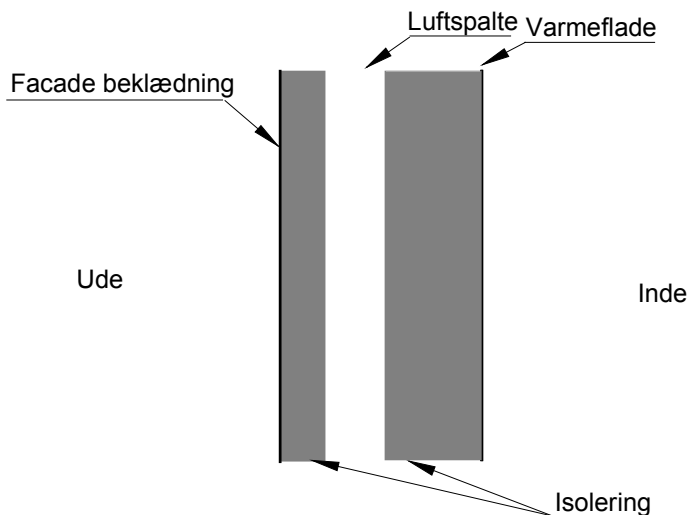
Samlinger i klimaskærmen:

- samling mellem facadeelementer
- hjørne mellem facader
- overgang mellem facader og etagedæk
- overgang fra stuefacade til kælderetage

3. Adiabatiske facadeelementer

3.1 Beskrivelse af facadeelementer

Testfaciliteten opbygges af et stålskelet med påsatte facadeelementer. Opbygningen af den bærende konstruktion og bygningen som helhed er beskrevet i hovedrapporten. Facaden består af elementer, hver på 2 x 3 m, der er opbygget som sandwichkonstruktioner som skitseret i figur 3.1.



Figur 3.1. Princippet i de adiabatiske facadeelementer

Det er ved beregningerne antaget, at isoleringen indbygges i plader af rustfrit stål med tykkelsen 1 mm. På overfladen ind på indeklimaet anvendes dog en aluminiumsplade også med godstykkelsen 1 mm. Denne metalkonstruktion skal sikre stabilitet og holdbarhed for elementet.

Facadeelementerne er opbygget som listet i figur 3.1.

	lagtykkelse [m]	varmeledningsevne [W/mK]	isolans [m ² K/W]
ydre beklædning, rustfri stål	0,001	60	1,67e-5
polyurethanskum	0,035	0,022	1,59
hulrumsbeklædning, rf. stål	0,001	60	1,67e-5
hulrum	0,050	-	ca. 0,2
hulrumsbeklædning, rf. stål	0,001	60	1,67e-5
polyurethanskum	0,035	0,022	1,59
varmefolie på aluminium	0,001	160	6,25e-6
total	0,122	-	3,35

Tabel 3.1 Facadeelements opbygning og materialeverdier

Hvis isolansen af hulrummet ikke medregnes opnås en samlet U-værdi på 0,30 W/m²K. Et ventileret hulrum kan ifølge (DS 418, 1986) antages at have en isolans på ca. 0,2 m²K/W, hvilket giver en samlet U-værdi på 0,28 W/m²K. Ved den dimensionerende udetemperatur på -12°C og en indetemperatur på 20°C vil det 1-dimensionale varmetab (dvs. uden randeffekter) gennem facaden blive 8,95 W/m².

3.2 Nødvendig afsat effekt i varmefolie (1-dim)

En 1-dimensionel model er opbygget i HEAT2 og giver uden afsat effekt i varmefolien:

Varmestrøm gennem indre overflade	:	8,97 W/m ²
U-værdi	:	0,28 W/m ² K
Indre overfladetemperatur	:	18,8 °C

Varmefolien sættes til at afgive effekten 8,97 W/m². En beregning med HEAT2 giver resultaterne:

Varmestrøm gennem indre overflade	:	0,34 W/m ²
Varmestrøm gennem ydre overflade	:	9,29 W/m ²
Indre overfladetemperatur	:	19,96 °C

Med en effekt fra varmefolien sættes på 9,25 W/m² fås:

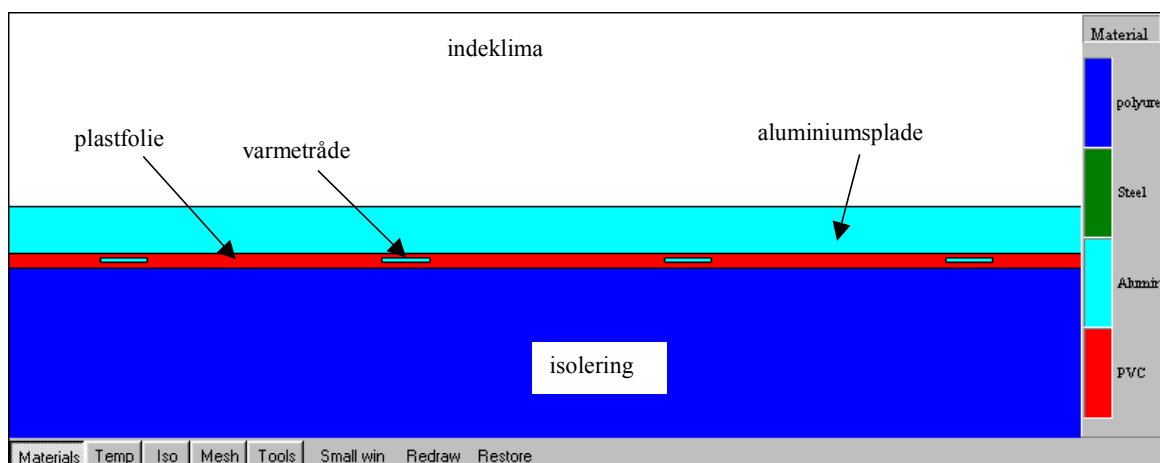
Varmestrøm gennem indre overflade	:	0,07 W/m ²
Varmestrøm gennem ydre overflade	:	9,30 W/m ²
Indre overfladetemperatur	:	19,99 °C

Varmedefgivelsen fra folien skal være lidt højere end det beregnede varmetab, fordi isolansen fra folien og ud til udeklimaet er mindre end fra indeklimaet og ud.

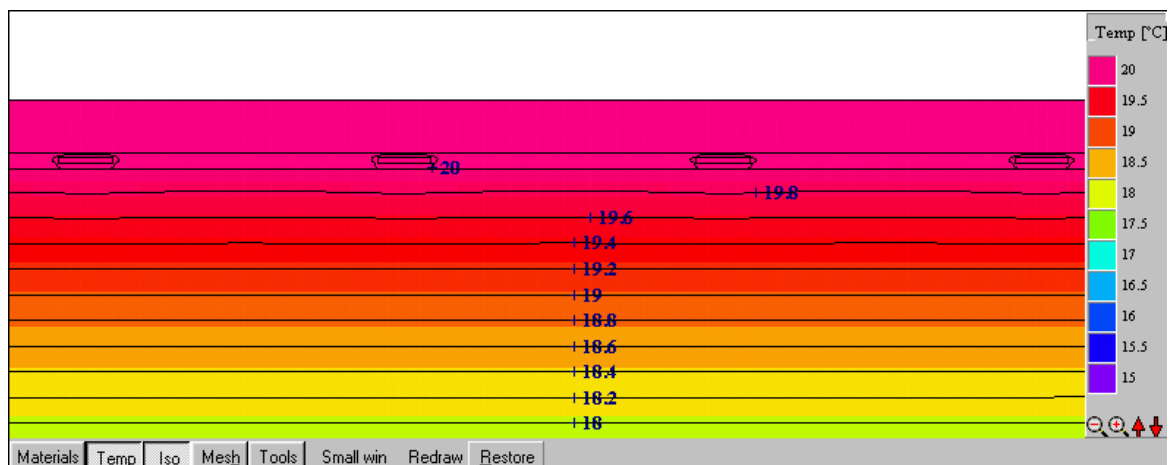
3.3 Varmefoliens effekt på den indvendige overfladetemperatur

Den elektriske varmefolie består af en række små metalbaner, hvori varmen afsættes. Varmen afsættes derfor ikke helt jævnt over fladen. Metalbanerne er lagt mellem to folier af plast, der f.eks. kan limes på de flader, der skal opvarmes. Folien klæbes her på en aluminiumsplade, der sættes på facadepanelerne, således, at folien ligger ind mod isoleringen – se figur 3.2. Aluminiumspladen vil derfor hjælpe med at udjævne overfladetemperaturen, så denne bliver ensartet over hele fladen. Aluminiumspladen vil også medvirke til at udjævne overfladetemperaturen i områder, hvor der ikke kan placeres varmetråde pga. f.eks. temperatursensorer.

Der er her foretaget beregninger af de indvendige overfladetemperaturer for et snit med varmetråde med tykkelsen 1 mm placeret med 5 mms mellemrum. Der afgives varme fra trådene, og det undersøges, hvorvidt dette giver anledning til uensartede temperaturforhold på den indvendige overflade.



Figur 3.2. Nærbillede af varmefolie på indvendig side af facadeelement



Figur 3.3. Temperaturer på den inderste del af facaden under påvirkning af varmefolien.

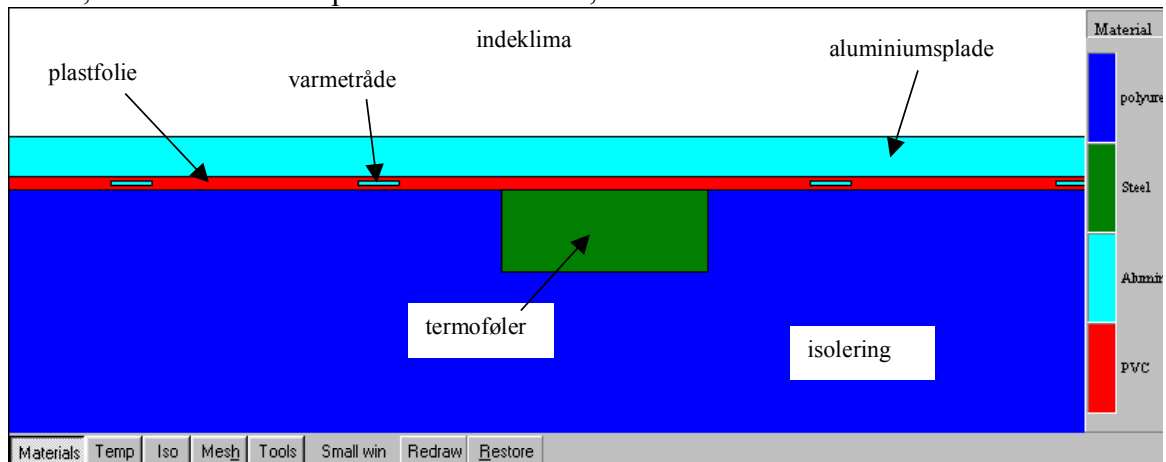
Det kan ses af figur 3.3. at den indvendige overfladetemperatur er ensartet, selvom varmefolien afgiver varmen i små adskilte områder/baner. Overfladetemperaturerne varierer mindre end ca. 0,01 K. Den indvendige aluminiumsplade har en god varmeledningsevne og kan dermed sørge for en tilfredsstillende temperaturudligning.

Det er sandsynligt, at varmetrådene vil blive placeret med et mindre interval end 5 mm. Varmefolien kan derfor uden væsentlige fejl betragtes som en ensartet varmeafgivelse fordelt over hele fladen.

3.4 Udsparinger i varmefolien f.eks. pga. temperatursensorer

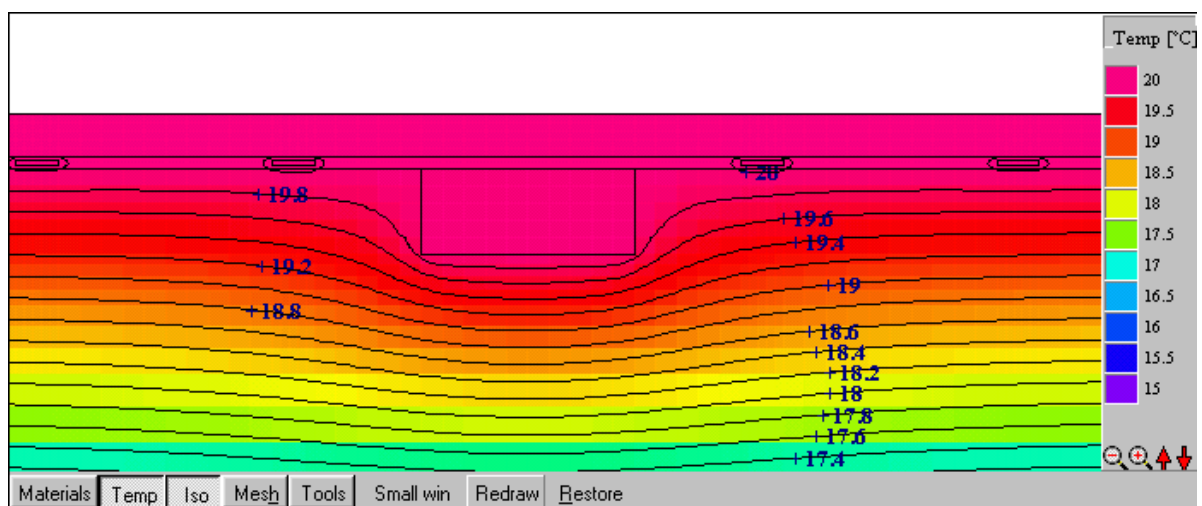
Der vil være områder på den indre overflade, hvor der ikke kan fordeles varmetråde. Det er f.eks. områder, hvor der skal placeres en temperatursensor til registrering af den indvendige overfladetemperatur. Denne sensor kan ikke placeres direkte i forbindelse med en varmetråd.

Der er her foretaget en beregning for et snit, hvor der er foretaget en udsparring af varmetråde til fordel for en temperatursensor. Sensoren er antaget at være 5 x 2 mm, og det område i folien, hvor der ikke kan placeres varmetråde, er 10 mm bredt.



Figur 3.4. Nærbillede af indvendig facadeoverflade med placering af temperatursensor.

Beregninger for et snit i facaden med udsparring af varmetråde pga. placering af en temperatursensor viser, at der ikke vil være problemer med uensartede temperaturer på den indvendige overflade ved udsparring af mindre områder i varmefolien f.eks. til sensorer. Et temperaturprofil for området omkring sensoren er optegnet i figur 3.5. Overfladetemperaturen varierer i størrelsesordenen 0,01 K, hvilket er mindre end de måleusikkerheder, der må forventes. Temperatursensorer bør dog placeres et stykke fra facadesamlingerne, så målingerne ikke påvirkes af eventuelle kuldebroer i forbindelse med disse.



Figur 3.5. Temperaturer i facadeelement nær en temperatursensor under den indvendige overflade

3.5 Ventilation af facadeelement ved ydre solpåvirkning

Facaderne kan ikke holdes adiabatisk, hvis temperaturen i facadeelementet eller udeklimaet bliver højere end temperaturen i indeklimaet, da der ikke er etableret køling i elementet. Hvis

temperaturen i elementet stiger på grund af solstråling, men udetemperaturen stadig er lavere end indetemperaturen, er der mulighed for køling af elementet ved ventilation med udeluft. Behovet for ventilation afhænger af den udvendige facadebeklædnings absorptions- og refleksionsforhold. Hvis beklædningen har et lavt absorptionstal vil der ikke være et så stort ventilationsbehov. Desuden afhænger ventilationsraten af den opnåelige temperaturdifferens mellem hhv. ind- og udløb af ventilationsluften. Hvis udeluften har samme temperatur som luften i hulrummet, kan der ikke opnås køling.

3.5.1 Eksempel

Solindfald: 800 W/m^2

Absorptans: $0,9$

Absorberet energi: 720 W/m^2 (energien absorberes i den ydre overflade)

Resistans til udeklima: $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

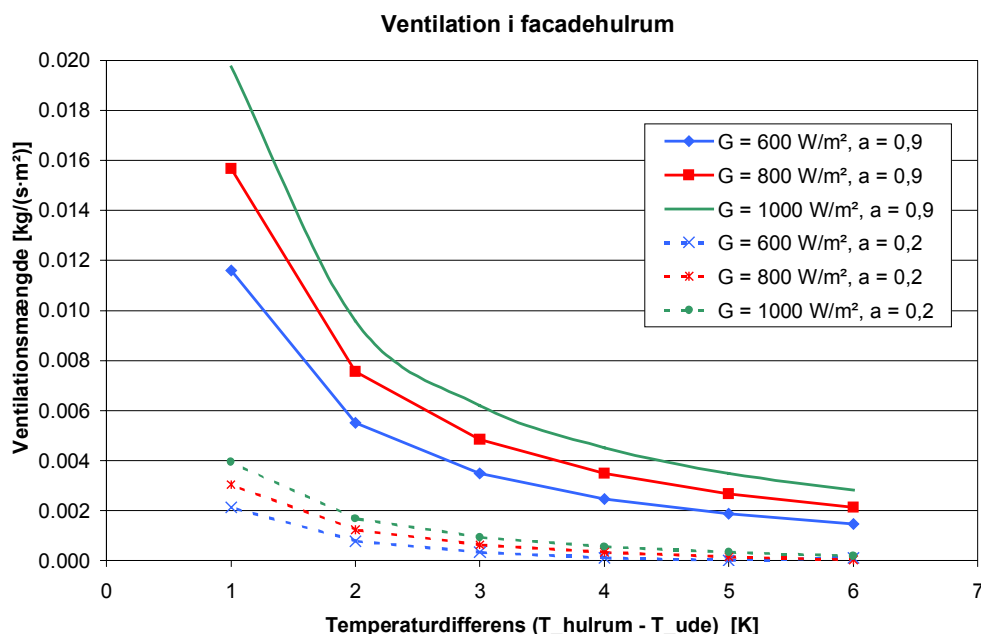
Resistans til hulrum: $1,72 \text{ m}^2\text{K/W}$ (med en overgangsresistans på $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$)

Varme transporteret ind til hulrum: $720 \cdot 0,04/1,72 = 16,7 \text{ W/m}^2$

Nødvendig ventilationsmængde ved $\Delta T=2\text{K}$:

$m = q/(c_p \cdot \Delta T) = 8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s pr. m}^2 \text{ facade svarende til } 24 \text{ m}^3/\text{hm}^2 \text{ ved } \rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$.

Temperaturen i hulrummet ønskes holdt lig med eller lavere end temperaturen i indeklimaet. Hulrummet ventileres med udeluft. Hvis udetemperaturen er tæt på indetemperaturen kan der ikke opnås en stor temperaturdifferens for ventilationsluften ind og ud af facaden. Eksempler på ventilationsbehov under varierende forudsætninger kan ses i figur 3.6. Beregningerne her forudsætter, at hulrummet køles ned til omkring udetemperatur. Reelt er det kun nødvendigt at køle hulrummet til lidt under indetemperaturen.



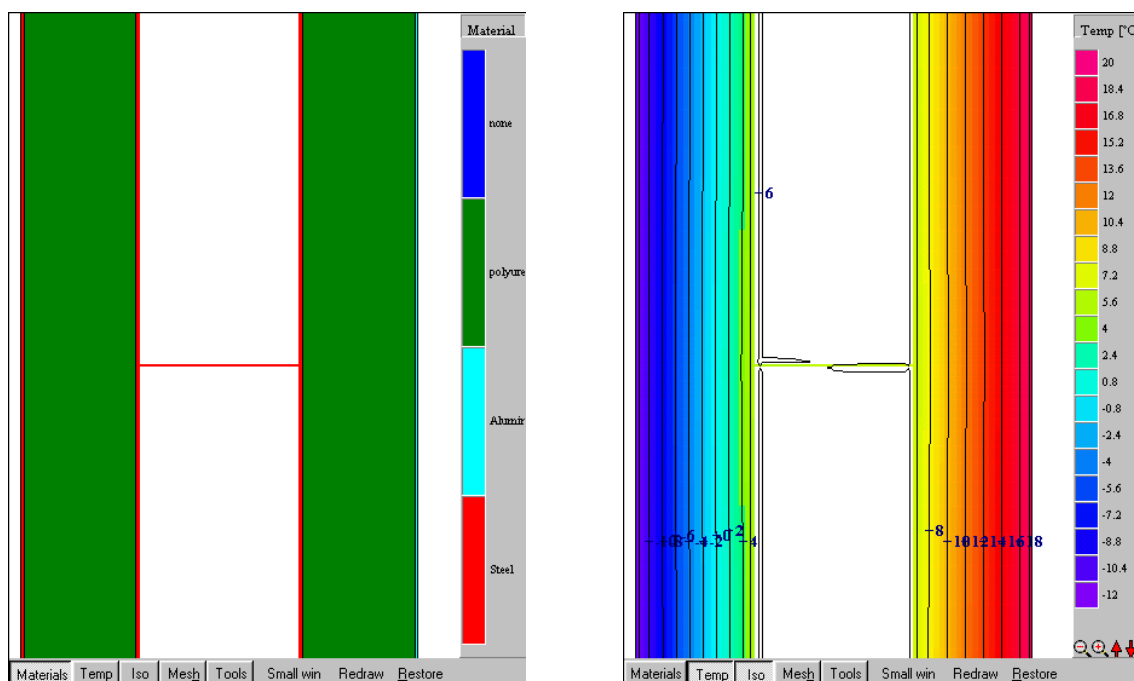
Figur 3.6. Eksempel på nødvendige ventilationsmængder ved forskellige temperaturdifferenser

3.6 Kuldebro forårsaget af stålbindere i facadeelement.

For at sikre stabilitet og holdbarhed af elementet kan det indre og ydre lag polyurethanskum samles med en række Z-formede eller U-formede stålbindere. Disse har i den følgende beregning en godstykkelse på 0,6 mm og er tænkt placeret med ca. 250 mm mellemrum.

Stålbinderne udgør en kuldebro, der dels kan forøge det samlede varmetab gennem facaden og dels kan medføre uens temperaturer på den indre overflade. Effekten af disse stålbindere undersøges, især med henblik på, om temperaturerne på den indre overflade varierer.

En beregning uden varmemefolien tilsluttet viser dog, at kuldebroen forårsaget af stålbinderne er lille. Stålbladen på indersiden af hulrummet udjævner forskelle i temperaturerne, så der ikke opstår problemer med varierende temperaturer på den indvendige overflade. Temperaturfordelingen gennem facadeelementet kan ses i figur 3.7. Hvis der er ventilation i hulrummet, vil dette yderligere bidrage til en udjævning af temperaturen.



Figur 3.7. Snit gennem facadeelement med stålbindere – opbygning og temperaturfordeling

4. Facadesamlinger

4.1 Kuldebro ved samling mellem facadeelementer

Hvert facadeelement skal fungere som en selvstændig enhed. Da elementerne skal kunne skilles fra hinanden, kan varmemefolien ikke overlapse flere elementer. Mellemrummet vil derfor ikke være dækket af varmemefolie og er derfor ikke adiabatisk. Dette skaber en kuldebro i samlingerne. Tilsvarende vil en metalliner mellem inderside og yderside bidrage til et øget varmetab ved samlingerne.

Facadeelementerne skal samles, så de tilsammen danner en lufttæt klimaskærm. Der skal derfor være et tætningsmateriale mellem elementerne. Samtidig skal kuldebroen i samlingen minimeres. Eventuelt kan elementerne udformes med not og fjer. Dette vil give en bedre lufttæthed og en mindre kuldebro, men til gengæld kan facadeelementerne så ikke adskilles enkeltvist, men må opsættes og nedtages for en hel facade af gangen.

Her er analyseret forskellige udformninger af samlingen mellem facadeelementerne:

- simpel samling, hvor elementerne klemmes sammen om 2 gummitætninger
- samling med enkelt not og fjer
- samling med dobbelt not og fjer
- samling med T-formede plastprofiler.
- samling med et tætningsbånd i midten og ikke-gennemgående metalprofiler

Gummitætninger hhv. inderst og yderst, og dermed hulrum mellem elementerne, har tykkelsen 5 mm i alle modellerne. Det er ved alle beregninger antaget, at varmemefolien kan føres ud til 2 mm fra kanten af elementet.

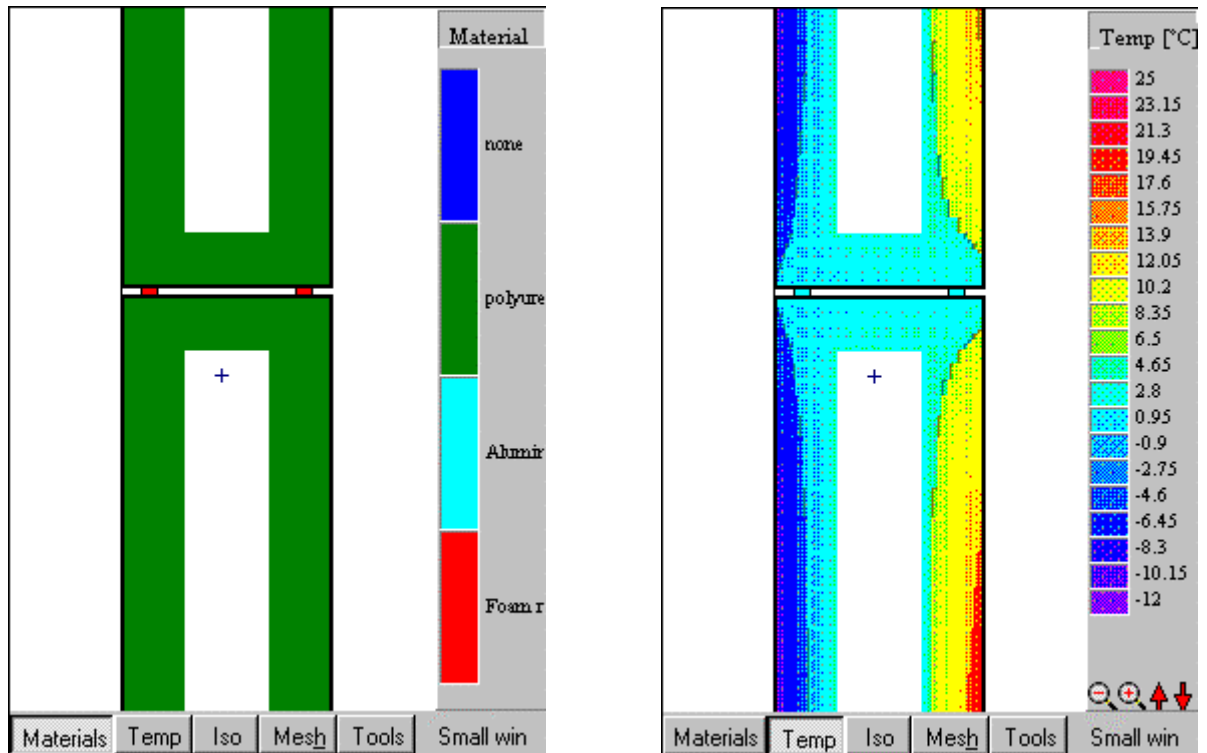
4.2 Simpel samling med to tætningslister

En simpel samling mellem to facadeelementer er skitseret i figur 4.1. Denne samling bygger på, at hvert element afsluttes med et gennemgående lag isolering og en stålplade, der ligeledes er gennemgående. Stålpladen har til formål at skabe en stærk overflade, så elementerne kan klemmes sammen om 2 gummitætninger af dimensionerne 5 x 10 mm.

Uden varmemefolien tilsluttet fås en total varmestrøm ind i modellen på 47,8 W/m (vinkelret på snittet). Den samlede længde af snittet er 2,0 m, hvilket giver et varmetab på 23,9 W/m², hvis det fordeles ligeligt over hele facaden. Det er mere end dobbelt så stort et varmetab som ved en 1-dimensionel beregning. Med denne samling bliver der altså en væsentlig kuldebro ved samlingen. Et temperaturprofil for området omkring samlingen er optegnet i figur 4.1. På den indre overflade varierer temperaturerne fra 18,8°C midt på facaden til 6,5°C ved samlingen. Det vil derfor blive svært at styre varmeafgivelsen på grundlag af måling af én overfladetemperatur og en ensartet varmemefolie.

Varmefolien sættes til at afsætte en effekt, så varmetabet gennem de store flader i facaden fra indeklimaet bliver 0. Derved fås et varmetab fra samlingen på 7,6 W/m svarende til 3,8 W/m²

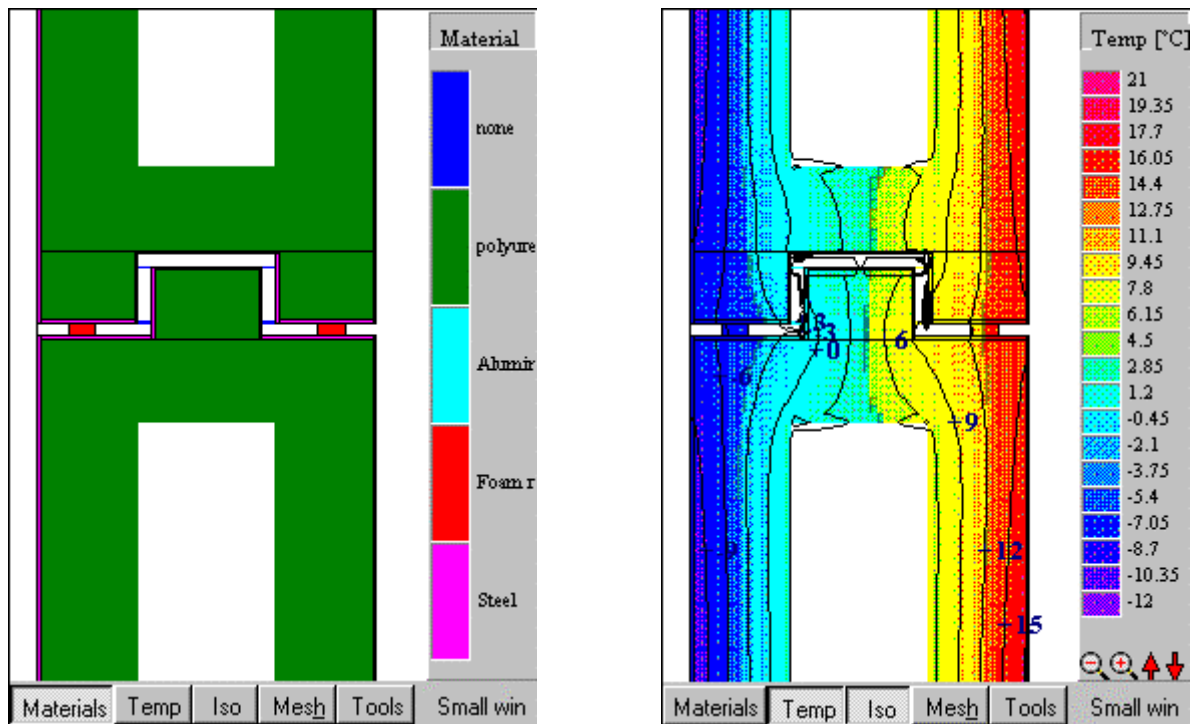
fordelt over facaden. Temperaturerne på indersiden varierer fra 8,0°C ved kanten af samlingen til 21,5°C midt på facadeelementet. Denne løsning er derfor problematisk, fordi der vil være meget varierende indre overfladetemperaturer. Varmefolien kan ikke styres, så der opnås en homogen adiabatisk flade.



Figur 4.1. Simpel facadesamling – opbygning og temperaturfordeling omkring samling (aktiv varmemefolie)

4.3 Samling med not og fjer

For at bryde kuldebroen ved samlingen, kan elementernes endeflader udformes med not og fjer. Stålbladen, der skal sørge for en tilstrækkelig stærk endeflade, er stadig gennemgående, men varmen skal transporteres en væsentlig længere vej gennem metallet. Varmefolien er her ligeledes antaget at dække ud til 2 mm fra kanten af facadeelementet. Udformning af samlingen er vist i figur 4.2.



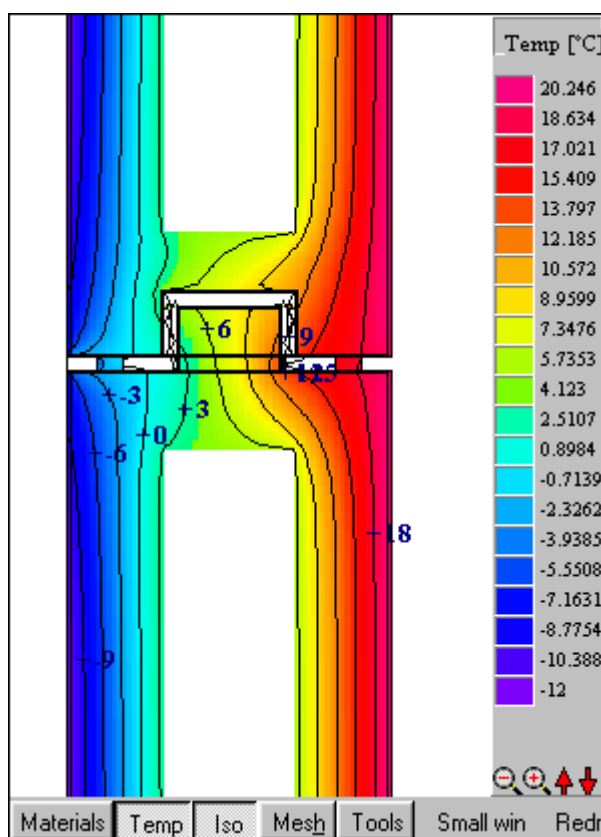
Figur 4.2. Snit i facadesamling med not og fjer – opbygning og temperaturfordeling

Det totale varmetab over snittet (uden tilsluttet varmemefolie) er beregnet til 31,9 W/m, hvilket giver 15,95 W/m² fordelt over facaden, da snittets samlede længde er 2,0 m. De indre overfladetemperaturer varierer fra 18,8°C midt på facadeelementet og 13,1°C på kanten ved samlingen. Med varmemefolien tilsluttet med 16 W/m² for hver del af facadeelementet fås en temperatur på 20,8°C midt på facaden, mens temperaturen er 14,6°C på kanten ved samlingen. Totalt set vil der stadig være et varmetab fra indeklimaet på ca. 0,9 W/m². Dette er en væsentlig forbedring i forhold til den helt simple samling, men der er stadig væsentlige temperaturforskelle over den indre overflade.

Hvis den tilførte effekt øges for at eliminere det samlede varmetab fra indeklimaet, vil temperaturen midt på facaden øges. Der vil derfor være en varmetilførsel fra facaden til indeklimaet fra midten af facaden og et varmetab ved samlingen. Selvom facaden totalt set vil være adiabatisk vil der være lokale varmestrømme og temperaturvariationer langs den indre overflade. Dette kan gøre det svært at styre den tilførte effekt fra varmemefolien efter temperaturer på overfladen.

Hvis folien inddeles i mange delområder med hver sin styring, vil det være muligt at tilføre en større mængde varme tæt ved facadesamlingen. Derved kan der i højere grad tages højde for kuldebroen i samlingen, uden at temperaturerne midt på facaderne bliver for høje. Til gengæld vil det samlede instrumenterings- og styringssystem blive meget stort.

Der er her foretaget en beregning, hvor der afsættes en større mængde varme nær samlingen. Et temperatur/isoterm billede er vist i figur 4.3, hvor 25 mm på hver side af samlingen tilføres ca. 350 W/m². Modellen kan laves, så der ingen varmestrøm er over de store flader, og kun ca. 0,3 W/m langs samlingen. På denne måde kan der skabes en samling, der er tættere på adiabatisk, men til gengæld vil det blive væsentligt vanskelige at styre varmeafgivelsen fra folien samtidigt med, at det er en meget stor effekt, der skal afsættes pr. m². De indvendige overfladetemperaturer varierer fra ca. 19,5°C ved kanten af samlingen til 20,1°C midt på facaden.

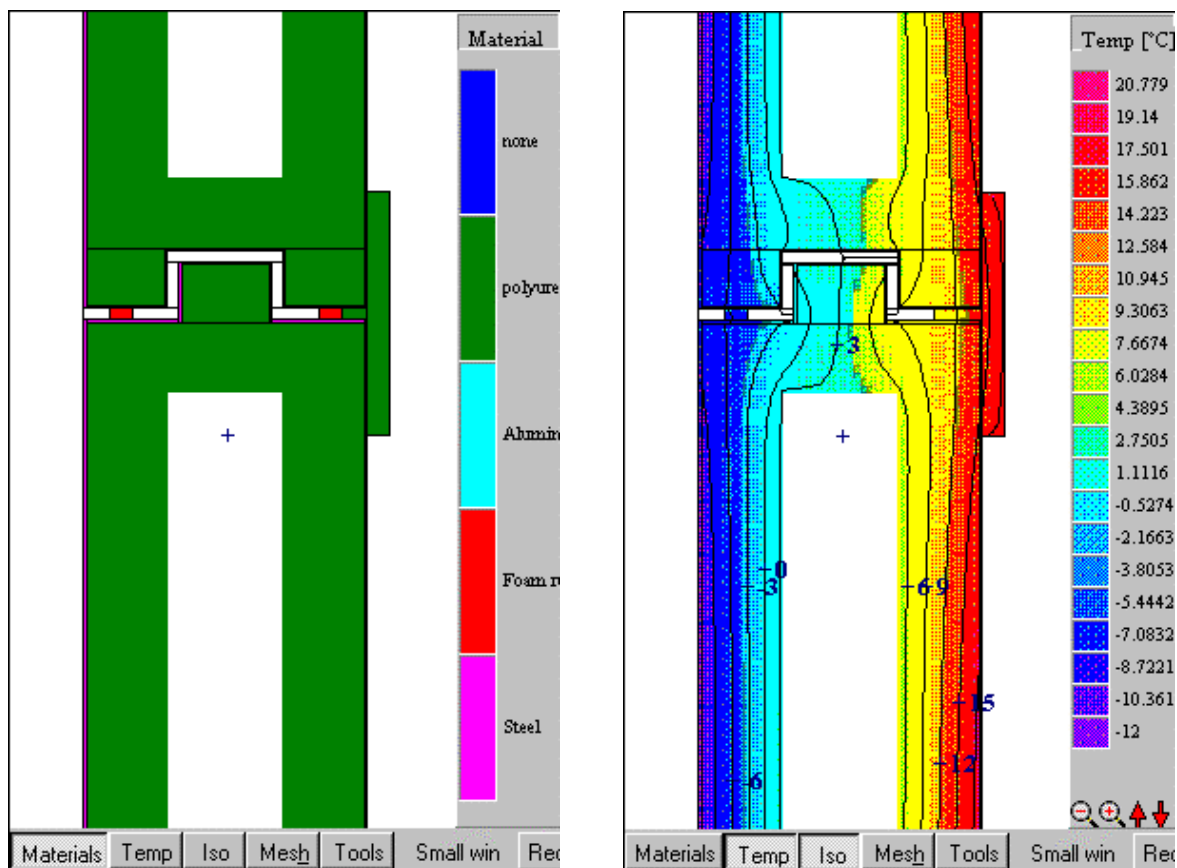


Figur 4.3. Facadesamling med not og fjer og ekstra varme nær samlingen

4.4 Samling med not og fjer med isolering på inderside af samling

Ved denne beregning anvendes samme samlingsmetode som i afsnit 4.3, men der tilføjes en plade af ekstra isolering på indersiden af samlingen for at modvirke, at samlingen giver et koldt punkt i facaden. Den ekstra isolering er 10 mm tyk og 105 mm bred, dvs. den dækker 50 mm på hver side af samlingen. Den ekstra isolering på indersiden vil gøre samling og adskillelse af facadeelementerne mere besværlig, og der kan være risiko for, at isoleringsstykket går i stykker ved hhv. opsætning eller nedtagning. Til gengæld forhindrer isoleringen, at der bliver et koldt punkt ved samlingen mellem elementerne og det samlede varmetab gennem facaden nedsættes.

Varmetabet uden effekt fra varmemolie bliver ca. 30,6 W/m svarende til 15,3 W/m². Med varmemolien tilsluttet, så varmestrømmen gennem de store flader bliver 0, fås et varmetab forårsaget af samlingen på 1,2 W/m svarende til 0,6 W/m² fordelt over fladen. De indre overfladetemperaturer varierer mellem 20,8°C midt på facaden, 15,4°C i hjørnet mellem facade og ekstra isolering og 19,7°C på kanterne af den ekstra isolering.

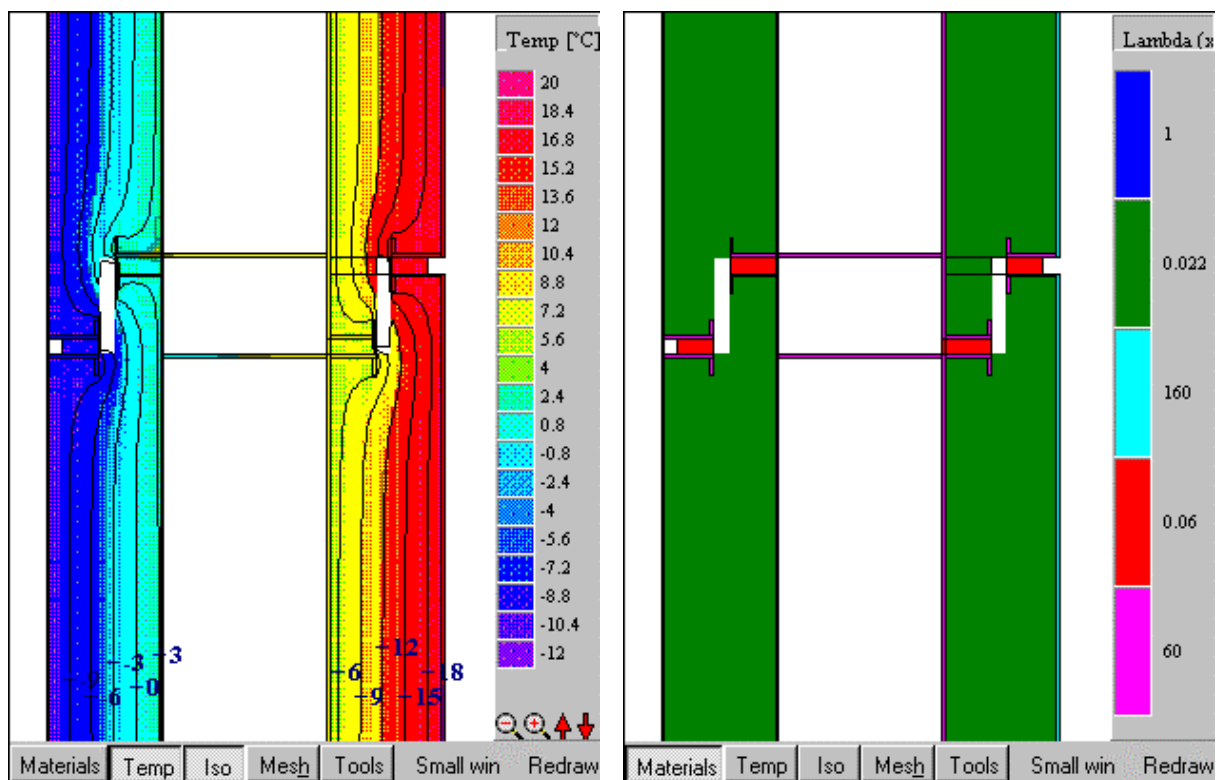


Figur 4.4. Samling med not og fjer med isolering på indersiden – opbygning og temperaturfordeling

4.5 Samling med dobbelt not og fjer

Ved at lave en samling, hvor varmemfolien og det inderste isolering føres ind over selve samlingen, kan kuldebroen over samlingen mindskes. Her er forsøgt med en samling, hvor både den indvendige og udvendige isolering for hvert facadeelement lapper ind over samlingen. Afslutningen af hulrummet udgøres af en 1 mm stålplade. Stålpladen er her ikke gennemgående fra inde- til udeklimaet. I denne løsning bliver der et lille uventileret hulrum ved samlingerne.

Med varmemfolien tilsluttet, så varmetabet gennem de store flader i facaden bliver nul, fås et totalt varmetab på 0,1 W/m svarende til 0,05 W/m² fordelt over hele facaden. Dette kan med god tilnærmelse siges at være adiabatisk. Temperaturerne varierer fra 20,1°C midt på facaden til 19,7°C på kanten af samlingen.



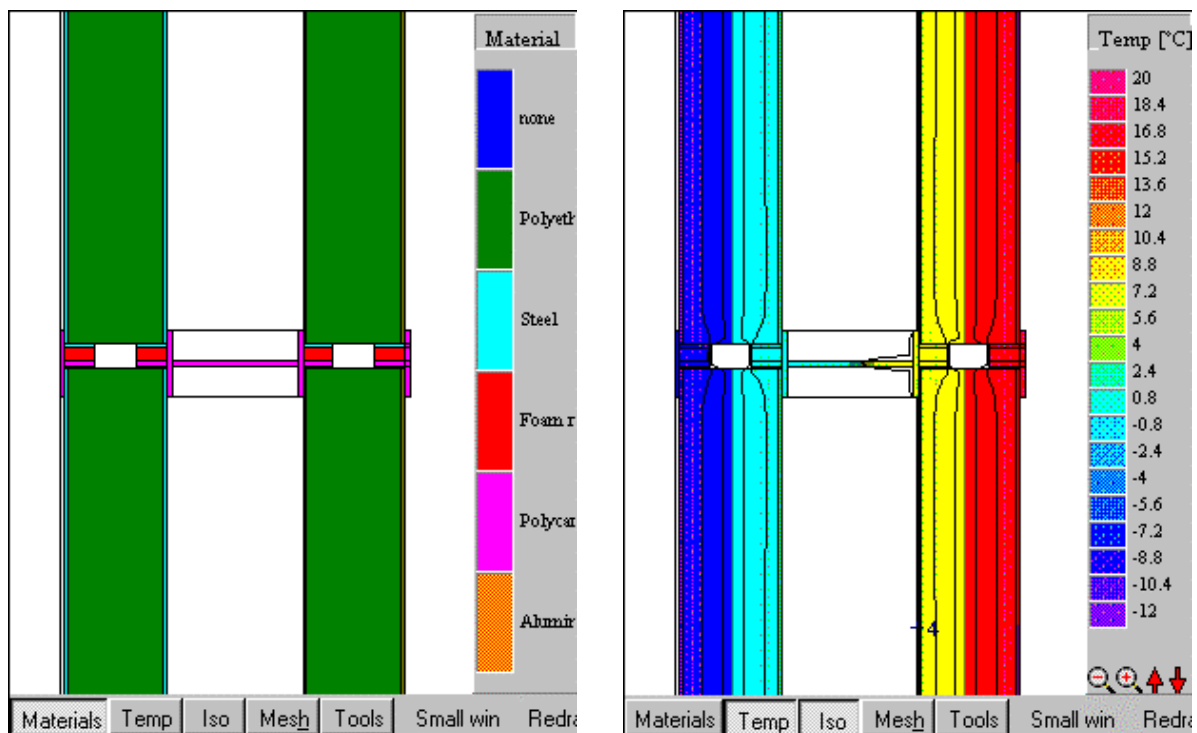
Figur 4.5. Samling med dobbelt not og fjer – opbygning og temperaturfordeling

Ulempen ved en sådan samlingsmetode er, at not/fjer enderne bliver meget smalle og dermed skrøbelige. Der vil være forøget risiko for, at de ødelægges ved gentagen op- og nedtagning af elementerne. Facadeelementer med en sådan udformning må derfor forventes at have en kortere levetid i forhold til de foregående mere robuste løsninger.

4.6 Samling med T-formede plastprofiler

Hvis samlingen kan fremstilles af plastprofiler, der ikke er gennemgående, kan kuldebroen i vid udstrækning minimeres. Til gengæld vil samlingen heller ikke være særlig stærk, og der kan blive problemer med stabiliteten af facaden især ved vindtryk.

Der kan tages højde for den svage samling, dels ved at have en kraftig fastgørelse af elementerne i etageadskillelserne, dvs. øverst og nederst på elementet, dels ved at samle elementerne yderligere ved hjælp af beslag uden på samlingerne. Disse beslag kan være nødvendige i alle tilfælde, da der af hensyn til lufttæthed er behov for, at noget kan klemme elementerne mod hinanden.



Figur 4.6. Samling med T-formede plastprofiler

Med denne udformning varierer overfladetemperaturen på indersiden af facaden mellem 19,8°C og 20°C, når varmemfolien er tilsluttet. Den samlede varmestrøm gennem facaden er beregnet til 0,05 W/m², hvilket betyder, at facaden med god tilnærmelse kan betragtes som adiabatisk.

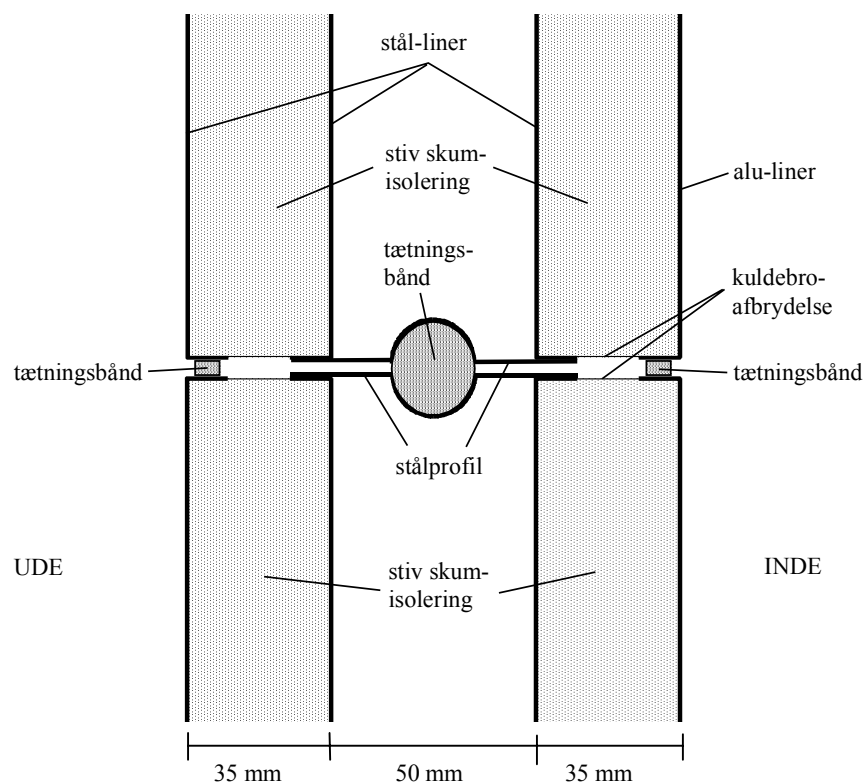
4.7 Samling med tætningsbånd i midten

De foregående beregninger har vist, at det er muligt at konstruere forskellige facadesamlinger, der med god tilnærmelse kan betragtes som adiabater. Der er dog varierende ulemper forbundet med de forskellige løsninger, fordi der stilles en række andre krav til samlingerne, udover de varmetekniske egenskaber.

De væsentligste resultater fra de foregående beregninger viser at

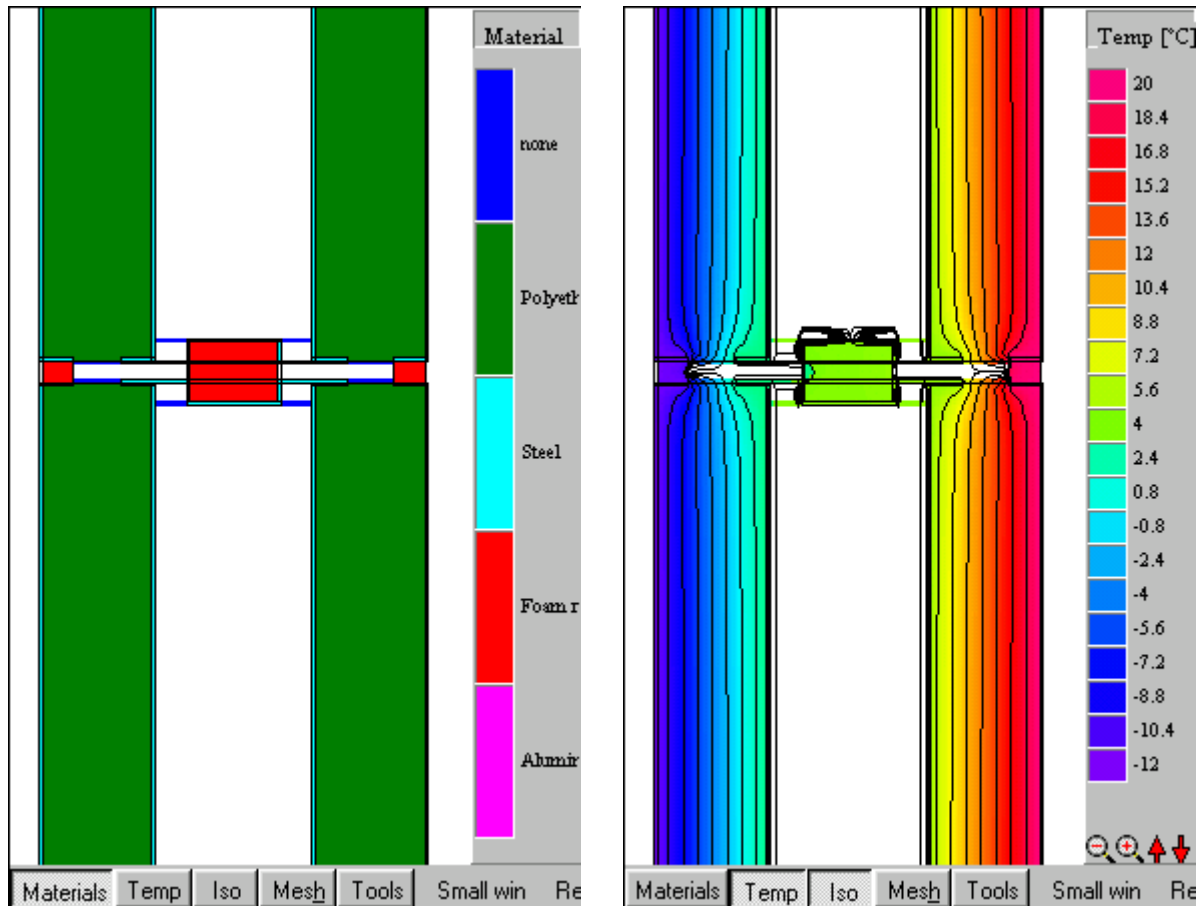
- nogle samlinger giver smalle og dermed skrøbelige ender, der kan blive ødelagt ved gentagen op- og nedtagning og derfor medfører væsentligt kortere levetid for elementerne
- nogle samlinger giver usymmetriske elementer, der besværliggør de gentagne ombygninger af testfaciliteten
- nogle samlinger kræver underopdeling af varmemfolierne med individuel styring for at blive adiabatisk, hvilket gør styresystemet uacceptabelt stort og uoverskueligt
- nogle samlinger kan være svære at koble sammen med testfacader, der typisk har en anden udformning på endefladerne.

Det er ønsket at opbygge facaden af symmetriske samlinger, der ikke har skrøbelige endeflader, og som indenfor en rimelig usikkerhed kan fungere som adiabater med en varme-effekt, der styres efter nogle få målepunkter. I 4.7. er vist en skitse af en facadesamling, der kan tænkes at opfylde ovennævnte krav.



Figur 4.7. Principskitse af samling mellem facader med ikke-gennemgående stålprofiler og tætningsbånd i midten

Udformningen må forenkles noget i forbindelse med beregningerne, idet der kun kan arbejdes med rektangler i modellerne. I figur 4.8 er vist opbygningen af samlingen i HEAT2, samt hvordan temperaturerne varierer over snittet. Ved de valgte inde- og udetemperaturer (hhv. -12°C og 20°C) og aktiv varmemefolie varierer de indvendige overfladetemperaturer ca. $0,2^{\circ}$ fra $19,8^{\circ}$ til $20,0^{\circ}$. Der skal afsættes ca. $9,4 \text{ W/m}^2$ i varmemefolien, og den resterende varmeflux fra indeklima til væg ligger på ca. $0,05 \text{ W/m}^2$. Samlingen kan derfor med god tilnærmelse betragtes som adiabatisk.



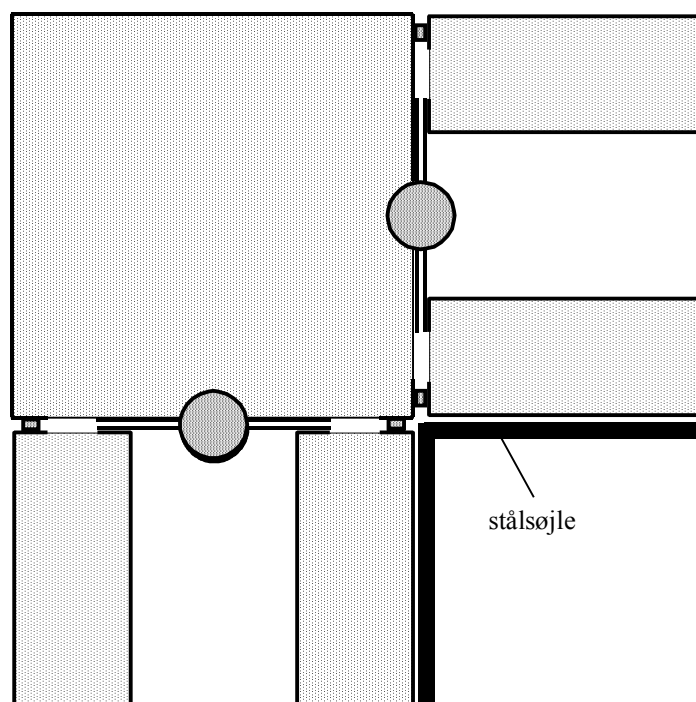
Figur 4.8. Opbygning og temperaturer for facadesamling med tætningsliste i midten

5. Hjørne mellem facader

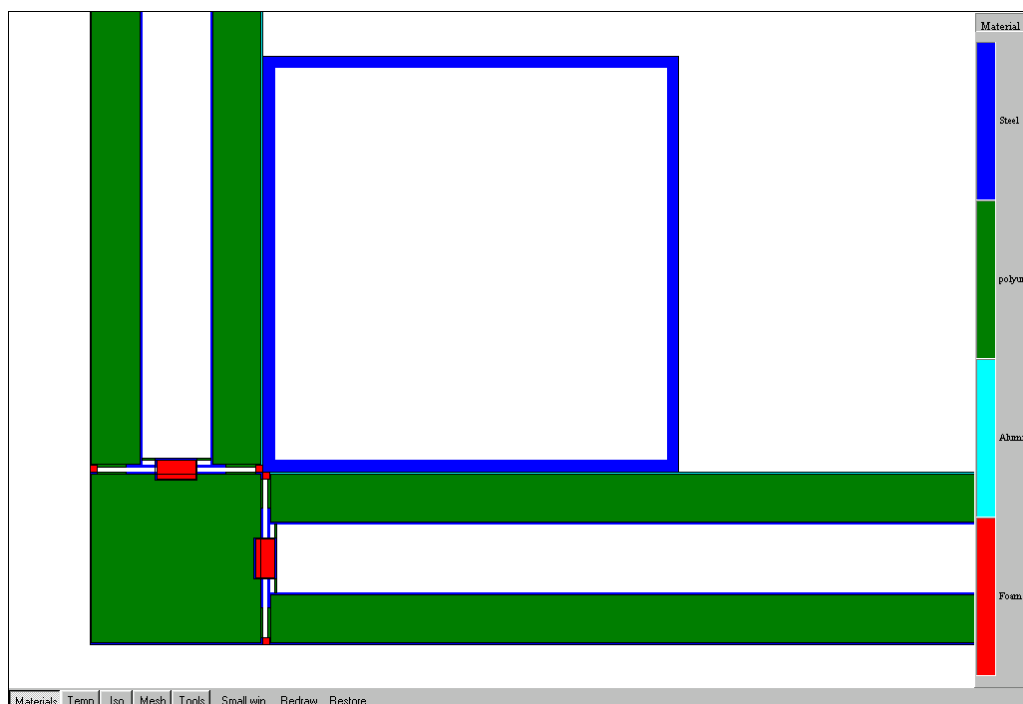
I hjørnet mellem to af de adiabatisk facader vil der dannes en kuldebro, fordi facadeelementerne med varmemfolien kun når ud til og med den bærende stålbjælke. I selve hjørnet indsættes en blok af isolering, der har til formål dels at fylde hjørnet ud og dels at bremse varmestrømmen ud gennem hjørnet.

Det antages her, at der i hjørnerne anvendes samme type facadeelementer som på resten af facaden. Det betyder bl.a. at varmemfolien dækker hele facadeelementet og derfor også når helt ind bag stålbjælkerne.

Den beskrevne facadesamling i afsnit 4.7 anvendes også til samling af hjørnet. Den ekstra blok isolering, der skal indsættes i hjørnes, skal derfor have egenskaber, der passer til denne facadesamling. En skitse af en hjørnesamling er vist i figur 4.7. Som beskrevet i afsnit 4.7 er det nødvendigt at forenkle denne samling i forbindelse med disse beregninger, da der i HEAT2 kun kan arbejdes med rektangler. I figur 5.1 ses den forenklede model i HEAT2.



Figur 5.1. Skitse af hjørnesamling



Figur 5.2. Model i HEAT2 af hjørnesamling

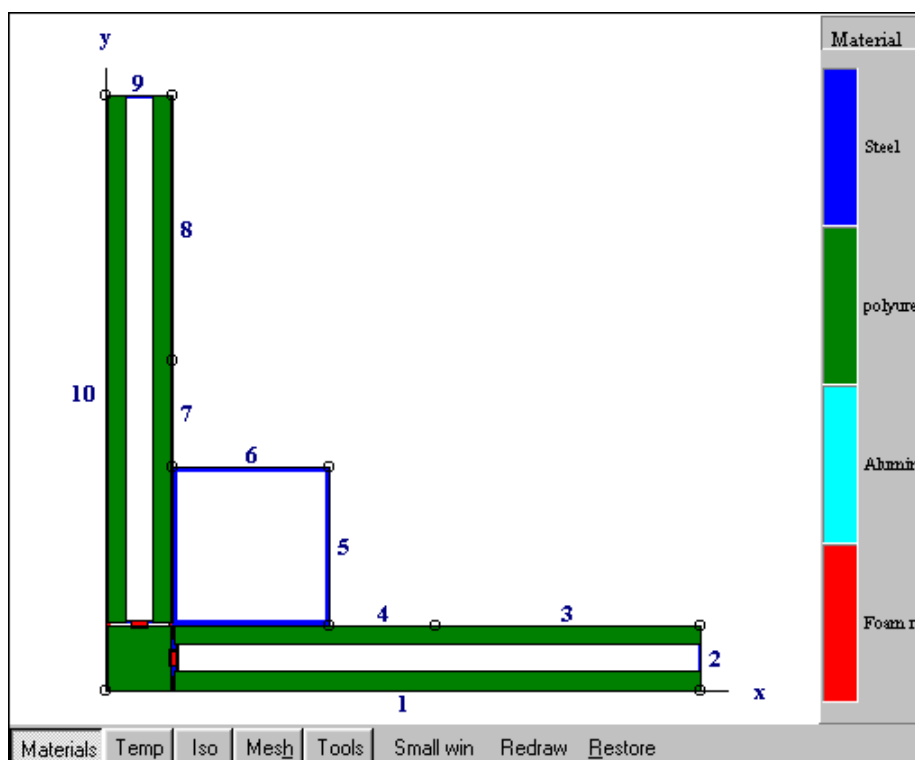
5.1 Uisolerede stålbjælker

Det kan i nogle tilfælde være ønskeligt at isolere stålbjælkerne på indersiden, så deres varmekapacitet ikke indvirker på målingerne. I første omgang undersøges det dog, om hjørnesamlingen kan fungere som adiabat uden ekstra isolering.

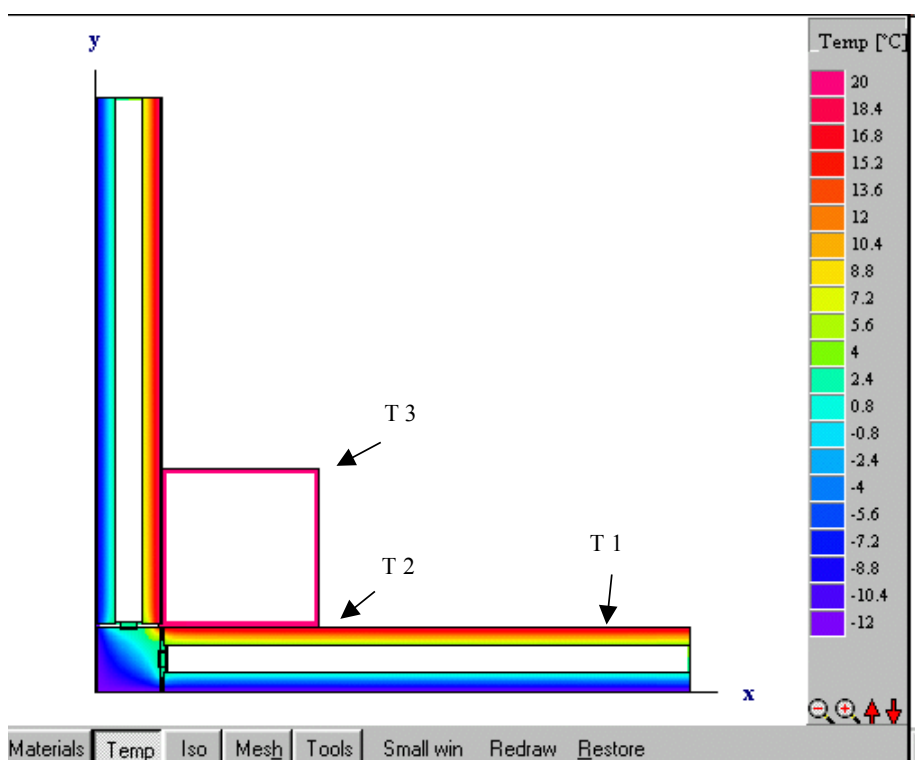
Modelgrænserne inddeles som vist i figur 5.3, og der vælges i første omgang en varmeafgivelse, som medfører at varmetransporten over grænserne 3 og 8 bliver elimineret. Dette opnås ved en varmeafgivelse på $9,6 \text{ W/m}^2$ for hver af facadeelementerne. Der vil så stadig være et lille varmetab gennem grænserne 4, 5, 6 og 7. Dette varmetab svarer til i alt $0,6 \text{ W/m}$ hjørne.

Temperaturfordelingen i området omkring hjørnet kan ses i figur 5.4. Der opnås indre overfladetemperaturer, der varierer mellem:

T1:	Overfladetemperatur facade langt fra hjørne	:	20,0°C
T2:	Overfladetemperatur facade tæt ved stålbjælke	:	19,9°C
T3:	Overfladetemperatur på hjørne af stålbjælke	:	19,9°C



Figur 5.3. Hjørne ved stålbjælke og facadeelementer

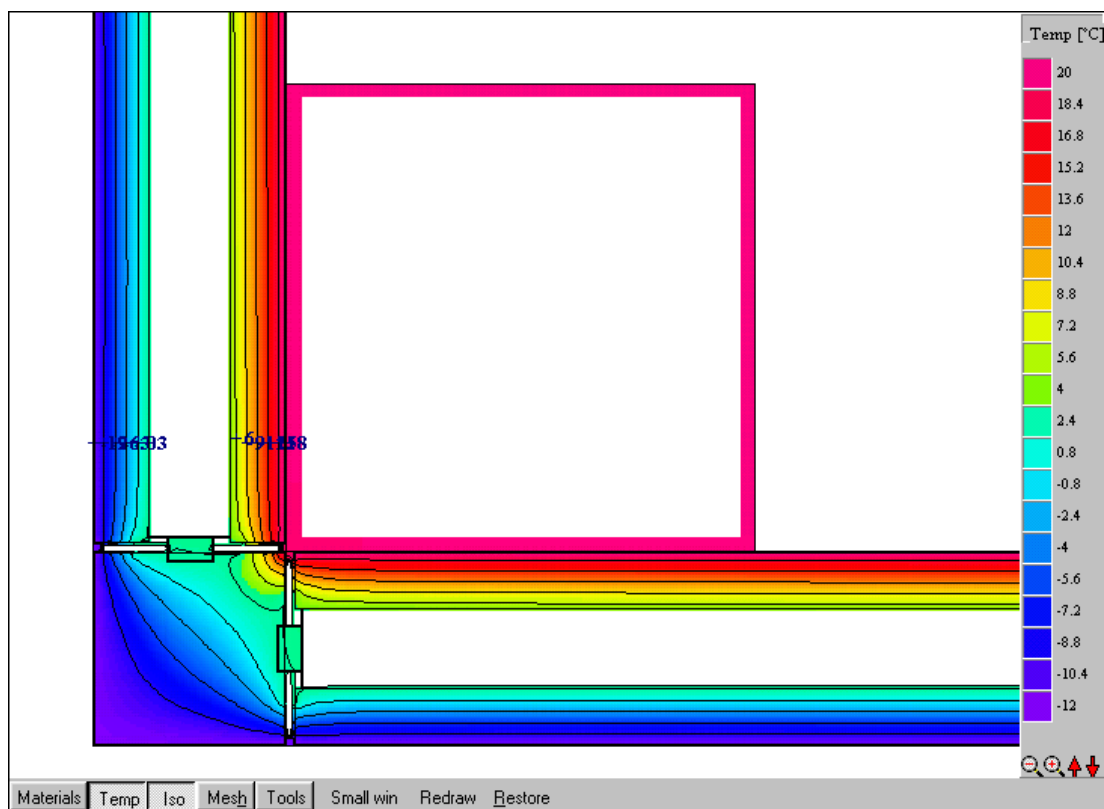


Figur 5.4. Temperaturprofil for hjørnesamling

Sammenlignes med resultaterne fra facadesamlingen – afsnit 4.7 – ses, at der skal afsættes en større mængde varme ved hjørnet i forhold til over resten af facaderne, hvor der skulle afsættes ca. $9,4 \text{ W/m}^2$. Det vil kræve selvstændig styring af varmemembranerne nær hjørnerne. I mange tilfælde vil dette være u hensigtsmæssigt, da det kræver et større antal sensorer og et større styringssystem.

I mange tilfælde vil det være ønskeligt at kunne styre varmeafgivelsen fra folien nær hjørnet ud fra de samme parametre som resten af facaden. Hvis der afsættes den samme effekt – $9,4 \text{ W/m}^2$ – som over resten af facaden, vil hjørnet ikke blive helt adiabatisk. Den samlede varmestrøm gennem det samlede snit bliver ca. $1,0 \text{ W/m}$.

De indre overfladetemperaturer varierer mellem $19,8^\circ$, hvor facaden og stålbjælken mødes (T2) og $20,0^\circ$ på facaden langt fra hjørnet (T1). Disse variationer ligger nær ved de forventede måleusikkerheder, og vil derfor i de fleste situationer være acceptable.



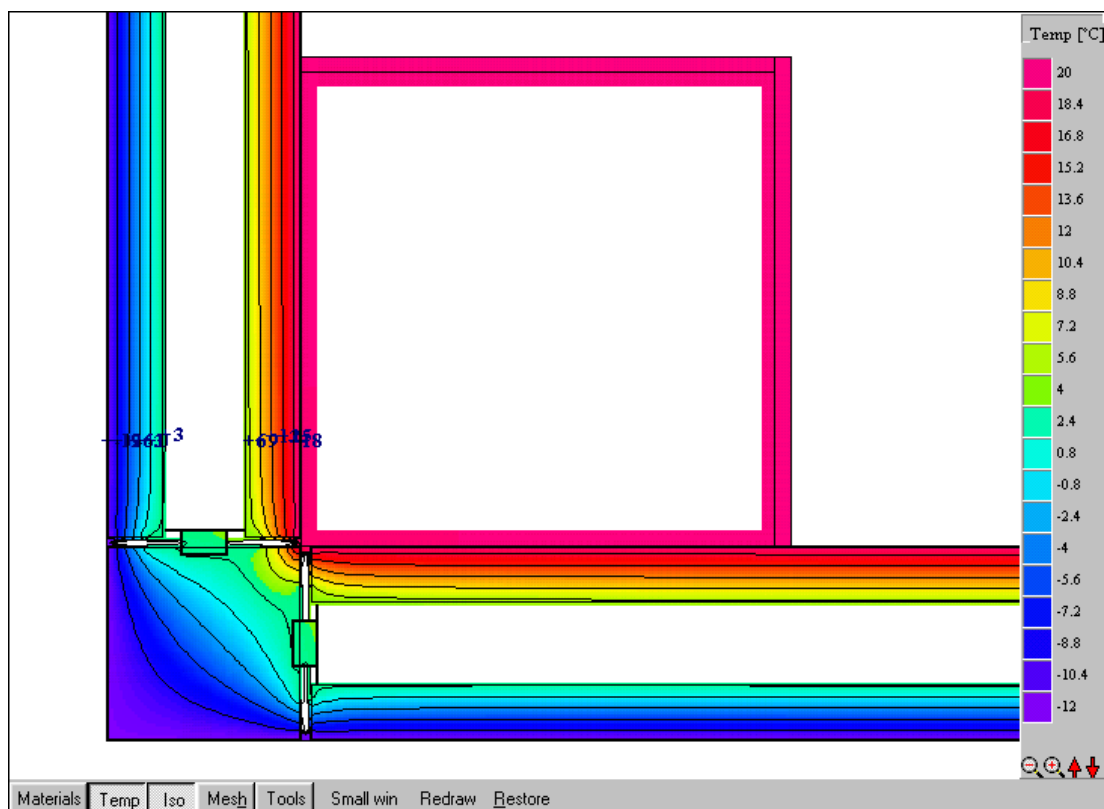
Figur 5.5. Temperaturprofil omkring hjørnesamling

5.2 Stålbjælker beklædt med isolering på indersiden af stålbjælken

Kuldebroen i hjørnet kan mindskes ved opsætning af isolering omkring stålbjælken. Derved vil fejlen ved at påtrykke den samme effekt på varmemfolien ved hjørnet som på de øvrige facader blive mindre. Samtidig mindskes også den dynamiske effekt af stålbjælkenes varmekapacitet.

I figur 5.6 nedenfor er vist temperaturfordelingen i området omkring hjørnet, i det tilfælde, hvor den bærende stålbjælke er beklædt med 10 mm isolering. Varmeafgivelsen fra folien er igen sat til $9,4 \text{ W/m}^2$, så det svarer til resten af facaden.

I dette tilfælde vil der være et lille varmetilskud til indeklimaet fra grænsefladerne 3 og 8 (se figur 5.3), og et lille varmetab fra indeklimaet over grænsefladerne 4, 5, 6 og 7. Samlet giver det et varmetab fra indeklimaet på $0,4 \text{ W/m}$. De indvendige overfladetemperaturer varierer mellem $20,0^\circ\text{C}$ langt fra hjørnet (T1) og $19,9^\circ\text{C}$ hvor facaden møder stålbjælken (T2).



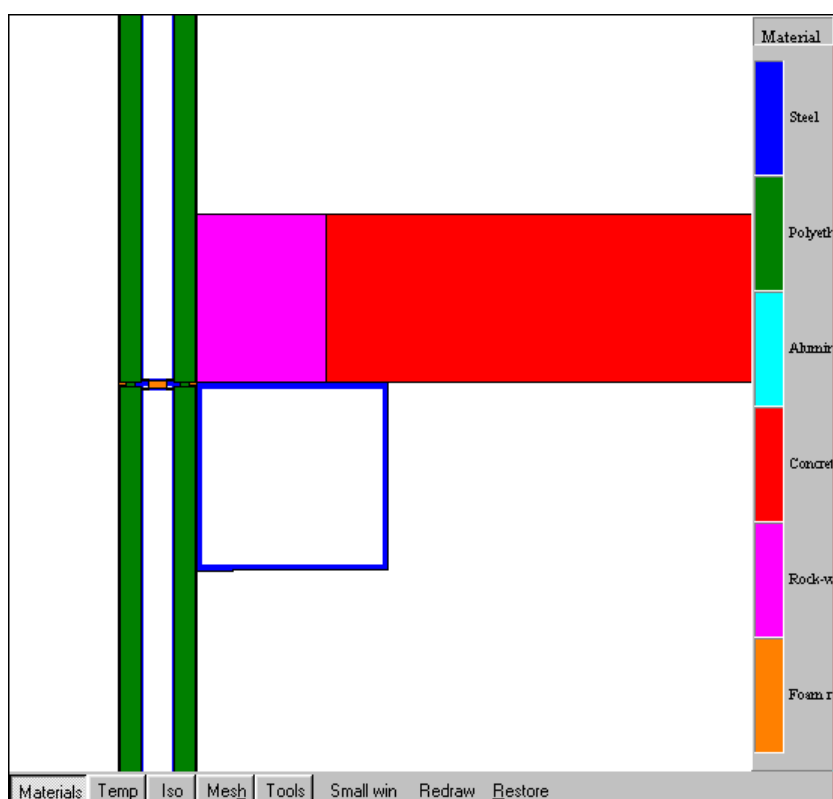
Figur 5.6. Hjørne med ekstra isolering på indersiden af stålbjælken

6. Snit i hjørne mellem facader og etagedæk

Facadeelementerne skal samles mellem etagerne, så det er muligt at adskille én etage ad gangen. Samtidig skal samlingen være lufttæt ligesom de øvrige facadesamlinger. Her undersøges, om den indre overfladetemperatur er ensartet over hele facaden, eller om facaden er væsentlig påvirket af etageadskillelsen. Effekter forårsaget af de store termiske masser i hhv. stålbjælke og betondæk er ikke undersøgt her. Der henvises til de transiente beregninger i appendiks G.

En mulighed er at opbygge en skinne eller lignende i etageskellet, hvor elementerne kan indsættes på hver sin etage uafhængigt af hinanden. Elementerne kan fastspændes i skinnen, så samlinger bliver klemte sammen og derved bliver lufttætte. Til gengæld vil en skinne udgøre en kuldebro i samlingen. Det er derfor valgt ikke at arbejde videre med denne løsning.

Det er vurderet, at de facadesamlinger, der er beskrevet i afsnit 4.7 også kan anvendes til samlinger mellem etagerne. Samlingerne gøres lufttætte ved hjælp af beslag på ydersiden af facaden. På indersiden fastgøres facadeelementerne til det bærende stålskelet ved hjælp af vinkelbeslag, der er limet på aluminiumspladen. Når beslagene limes på, undgås gennem-brydninger i sandwichkonstruktionen, og der opstår derfor ingen kuldebroer pga. beslagene. Betondækket hviler på den yderste del af de vandrette stålbjælker, idet der skal være plads til et manifoldsystem eller lignende, hvis betondækkene skal anvendes til aktiv varmelagring. Ved disse beregninger er det antaget, at mellemrummet mellem facade og betondæk fyldes med isolering. Figur 6.1 viser opbygningen af samlingen omkring etageadskillelsen.

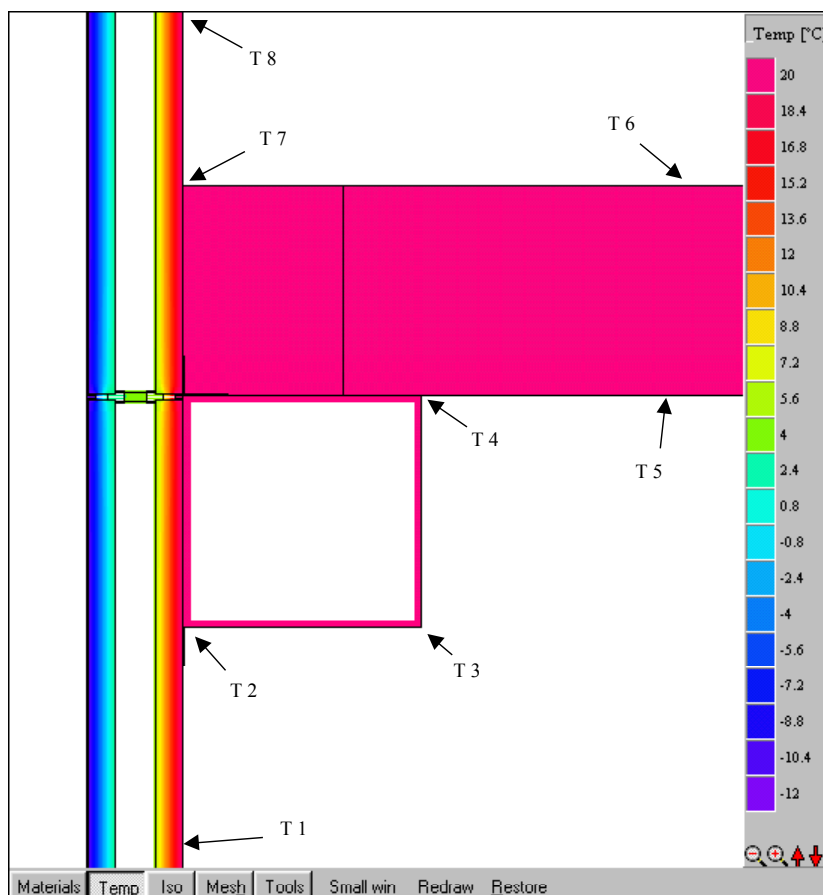


Figur 6.1. Snit af samling mellem facader og etagedæk

Varmefolien er tilsluttet med samme effekt som den resterende facade – nemlig $9,4 \text{ W/m}^2$. den samlede varmetransport fra indeklimaet ud gennem facaden bliver derved $0,25 \text{ W/m}$, og temperaturerne på den indre overflade bliver pænt ensartede. Temperaturerne er fundet i 8 punkter som vist på figur 6.2 og listet i tabel 6.1 nedenfor.

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
20,0°C	20,0°C	20,0°C	19,9°C	20,0°C	20,0°C	20,0°C	20,0°C

Tabel 6.1. Temperaturer på indre overflade med varmemefolie tilsluttet (se figur 6.2)



Figur 6.2. Snit i samling mellem facader og etagedæk, angivelse af temperaturpunkter

Ved ekstra isolering af stålbjælke og betondæk mindskes betydningen af de termiske masser i etageadskillelsen, som vist i de transiente beregninger. Dog vil det ikke altid være attraktivt at isolere betondækket, da det i nogle tilfælde ønskes anvendt som varmelager.

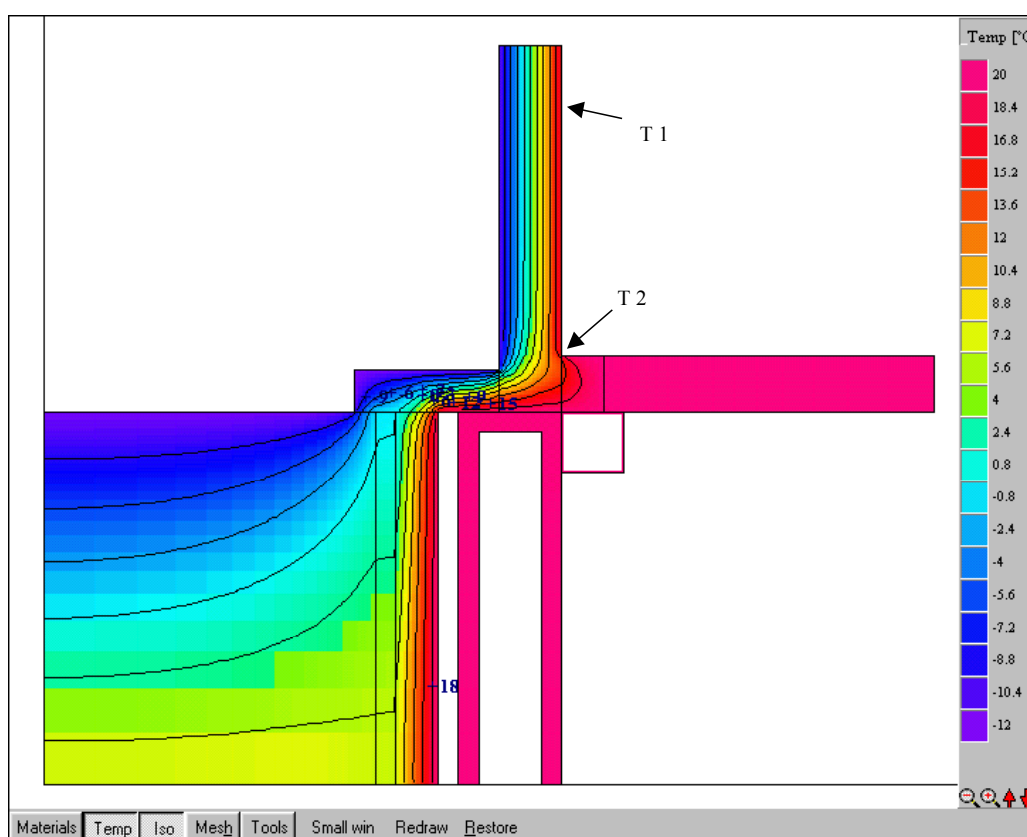
Overgangen til tagzonen er i princippet magen til overgangen fra stue til 1. sal, med den forskel, at der ikke i tagzonen er adiabatisk facadeelementer. I tagzonen er der lodret facade i en meters højde, og indetemperaturen holdes normalt på samme niveau som lufttemperaturen øverst i etagen nedenunder. Tagzonen opbygges af elementer ligesom resten af bygningen, fordi der også skal kunne opsættes forsøgselementer i tagzonen. Det er vurderet, at et

tagelement med sammenlignelig U-værdi som facadeelementerne, ikke vil give anledning til ændrede overfladetemperaturer på facaden nedenunder.

7. Overgang fra stuefacade til kælderrum

Facaderne hviler nederst på stålbøjler, der er placeret i kælderrummet. Kælderen har en større grundplan end resten af huset, så bygningens stålskelet og stålbøjlerne er placeret indenfor og uden termisk kontakt med kælderen ydervægge. Der er derfor samme temperatur rundt om stålbøjlerne og skelettet som i stueetagen. For at minimere effekten af kuldebroer mellem adiabatiske/testfacader og stålbøjler placeres der en isoleringsplade på ydersiden, der kan lukke hullet med til kælderen. Den kan eventuelt varieres i tykkelse og længde, alt efter typen af testfacade.

For både adiabatiske facader og testvægge er det væsentligt, at temperaturerne tæt ved stålskelettet ikke er ændret i forhold til temperaturerne midt på væggen. Det vil sige, at isotermerne skal være parallelle gennem hele væggen. Derved vil der være det samme varmetab gennem hele væggen. Der er her foretaget en beregning, hvor en tung testfacade er opsat i testfacilitetens stueetage. Et temperaturprofil for et snit i facade og kælder er vist i figur 7.1.



Figur 7.1. Temperaturer i snit mellem facade og kælder

Det kan ses af ovenstående figur, at isotermerne er stort set parallelle gennem hele vægelementet indtil det møder isoleringen ved betondækket. Forskellen mellem T1 og T2 (se figur 7.1) er ca. 1 K (hhv. 17,6°C og 16,4°C). Det betyder, at varmetabet gennem den nederste del af væggen vil være ca. 4% større end varmetabet gennem den del af væggen, der ikke er forstyrret af hjørnet. Denne usikkerhed vil sandsynligvis være acceptabel i de fleste tilfælde, men den kan mindskes ved at isolere hjørnet bedre.

I figur 7.1 antages det, at stålbjælkerne, der bærer facaden er i plan med undersiden af det nederste betonthuldæk. I virkeligheden vil anlægget på stålbjælken være 0,5 m under dette niveau, og da kælderen holdes på samme temperatur som lige over betonthuldækket, vil de todimensionale varmestrømmen i den nederste del af facaden ud for testrummet være minimale.

8. Konklusion

Beregningerne viser, at det er muligt at foretage samlingerne mellem facadeelementerne, så de med god tilnærmelse kan antages at være adiabatisk. Der kan tænkes en række forskellige løsninger, der hver især har fordele og ulemper mht. den række af ikke-varmetekniske krav, der stilles til samlingerne. Disse egenskaber skal tages med i vurderingen af de forskellige løsninger:

- Det er vigtigt at konstruere samlinger, så smalle og dermed skrøbelige endeflader undgås. Disse kan let blive ødelagt ved gentagen op- og nedtagning og medfører derfor væsentligt kortere levetid for elementerne.
- Facadeelementerne skal være så symmetriske som muligt, da det vil gøre de gentagne ombygninger af testfaciliteten lettere.
- Varmedistributionen fra folien bør være så ensartet som muligt, så den kan styres ud fra nogle få temperaturfølere. Styresystemet bliver under alle omstændigheder meget stort, og det er derfor vigtigt at forenkle dette mest muligt.
- Det skal være let at koble de adiabatisk facadeelementer sammen med testfacader, der typisk har en anden udformning på endefladerne. Den konkrete udformning af koblingen mellem testfacader og adiabatisk elementer skal fastlægges fra forsøg til forsøg.

Det er vurderet, at der med den samlingsmetode, der er beskrevet i afsnit 4.7, er opnået en løsning, der er acceptabel mht. ovenstående krav, samtidig med, at det er en meget god varmeteknisk løsning både for facadesamlinger, hjørne og etageadskillelser. Det er derfor muligt på denne måde at opbygge en testbygning, hvor der er gode muligheder for at styre samtlige varmetab fra bygningen.

9. Referencer

Blomberg, T., 1997

Thesis, HEAT2 – a two-dimensional heat transfer computer program. Manual for HEAT2.
Department of Building Physics, Lund University, Sweden

DS 418, 1986

Dansk Ingeniørforenings regler for beregning af bygningers varmetab, 5. udgave,
Teknisk forlag, Normstyrelsens publikationer, dec. 1986

Appendiks F

Afprøvning af panelsamling

Trine Dalsgaard Jacobsen

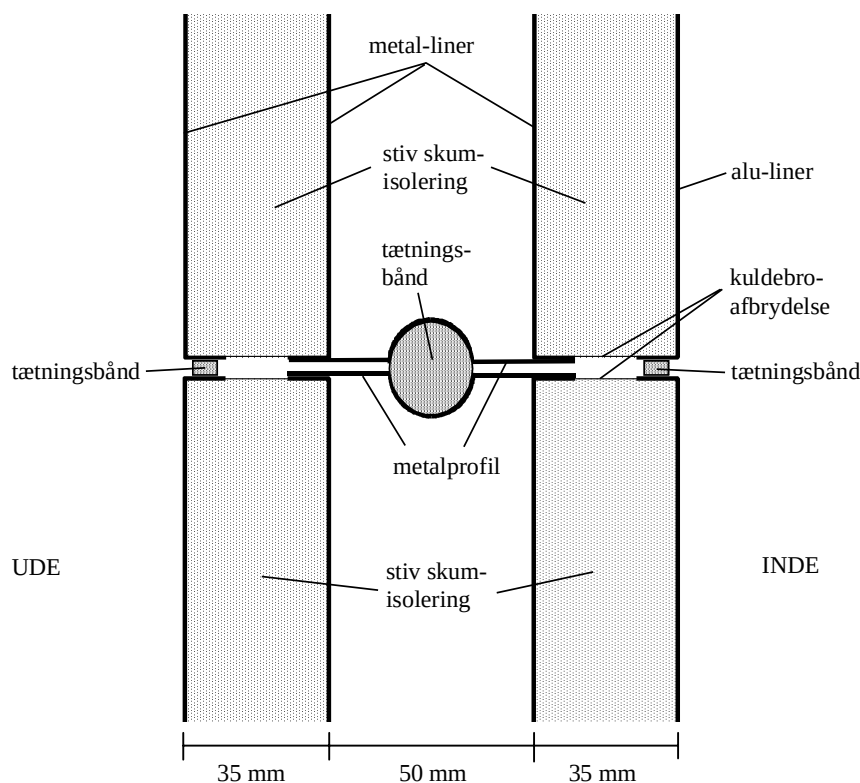
SolEnergiCentret

Teknologisk Institut

Dette appendiks beskriver opbygning og afprøvning af en samling mellem to adiabatisk paneler. Et stykke af en samling er udført i næsten størrelsesordenen 1:1 i forhold til det planlagte design. Formålet med opbygning og afprøvning af samlingen er at fastlægge, om det valgte design fungerer i virkeligheden – både samlingsteknisk og termisk.

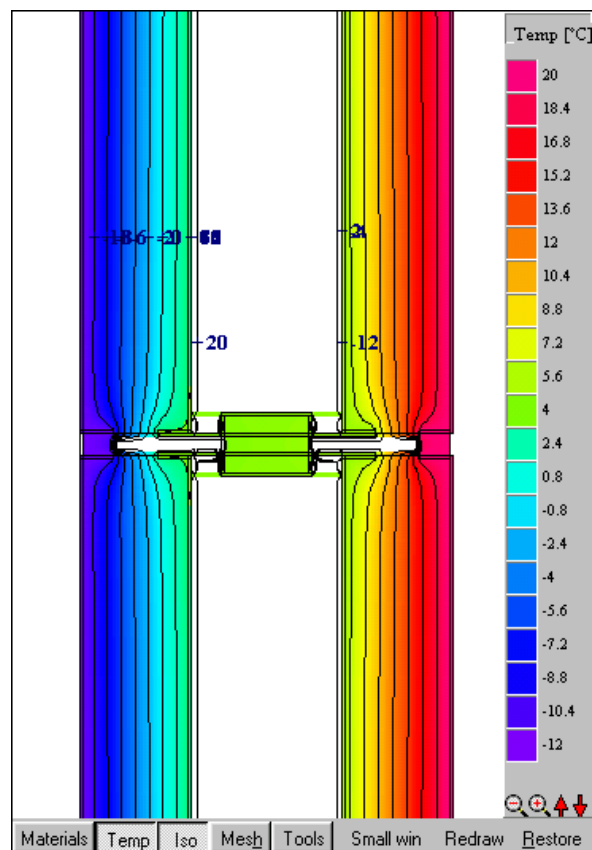
Teoretisk samling

Figur 1 viser den valgte opbygning af samlingen mellem de adiabatisk flader.



Figur 1 Den valgte kantløsning for de adiabatisk paneler.

Figur 2 viser et resultat fra de termiske simuleringer fra appendiks E for samlingen i figur 1. Kun de yderste 10 mm af panelerne mod samlingen influeres af kuldebroen i samlingen. Iso-thermerne viser, at mens overfladetemperaturen midt på panelerne er 20°C, vil den laveste temperatur på samlingen være lige under 19,8°C. Forskellen på ca. 0,2 K er i samme størrelsesorden som usikkerheden på temperaturmålingerne. Beregningerne i appendiks E viser, at der teoretisk set ikke skulle være termiske problemer med den valgte kantløsning.



Figur 2 Isothermer for den valgte kantløsning – se beregningsforudsætningerne i appendiks E.

Opbygning af testsamling

Testsamlingen består af to paneldele med kantlængderne 0,8 og 1 m, hvor kanterne på 0,8 m er stødt sammen for at illudere samlingen vist i figur 2.13. Målene på de to panelstumper er bestemt af de varmemfolier, som Kanthal Norden AB havde stillet til rådighed. Varmefolierne anvendes normalt til montering i campingvogne og har en max. effektafgivelse på 75-83 W/m² ved en spænding på 40-43 V. Varmetrådene er 3 mm brede og ligger med en afstand på 1 mm.

Panelsamlingen er bygget op af materialer stillet til rådighed af Hercules A/S. De to paneler samt samlingen er meget lig figur 1. Dog er tykkelsen af isoleringsskiverne 30 mm mod 35 mm i figur 1 og vulsten i endeprofilerne er skarpkantet med trekantprofil i stedet for rundt. Trekantprofilet er valgt af produktionstekniske årsager, idet dette er lettere og dermed billigere at producere.

Hvert panel er samlet som en sandwichkonstruktion med aluminiumsprofiler som afstandsstykker som vist på figur 3. Metalpladerne, der fungerer som beklædning på isoleringen, er i den ene ende bukket om, så de danner et fast underlag for tætningslisterne. På de øvrige sider er kanterne ikke bukket og hulrummet er lukket ved hjælp af skumisolering.



Figur 3 Testpanel set oppefra

Testsamlingen er på nogle områder ikke ideel. Bl.a. slutter isoleringen ikke helt op til metalpladernes ombuk, hvilket giver et lille hulrum. Dette kan ses på figur 4. Desuden er ombukkene ikke helt vinkelrette, hvilket betyder at samlingen ikke kan gøres helt lige. For at kompensere for de ikke helt lige ombuk var den nødvendigt at anvende en tykkere tætningsliste på ydersiden end på indersiden. Et billede af samlingen set fra siden kan ses i figur 5.



Figur 4 Del af testpanel set fra siden



Figur 5 Testsamling set fra siden

Testsamlingen er opsat i en yderdør, så der let kan etableres en temperaturdifferent over samlingen. Derved kan ydersiden let eksponeres for udeklimaet, mens der kan opretholdes en rimelig konstant indvendig temperatur.

Placering af termofølere

Der er tilsluttet et målesystem til testpanelerne primært med det formål at vurdere forskelle i overfladetemperaturer på den indvendige overflade. Da varmemefolierne har en jævn varmeafgivelse, vil alu-pladen i princippet have samme temperatur, dog med mindre randeffekter som beskrevet i bilag E. PT100-følernes kan derfor i teorien placeres arbitrært på folien – dog mindst 100 mm fra kanten af folien. Der hvor termofølernes placeres, vil der være et område på varmemefolien, hvor der ikke kan være varmetråde. Den indvendige alu-plade vil dog udjævne temperaturerne, så den målte temperatur ikke vil være forskellig fra temperaturerne på resten af pladen.

Seks forskellige placeringer af PT-100-følernes er undersøgt. Føler nr. 1-5 er placeret på den indvendige aluplade, og ind mod isoleringen, så de ligger skjult, mens føler nr. 6 er placeret på den indvendige side af pladen i en følerlomme, så den er frit tilgængelig fra indeklimaet. Placeringen af termofølernes på bagsiden af alu-pladen er vist i figur 7-10. Figur 11 viser den indvendige plade efter montering af termofølernes, mens figur 12 viser termoføler og lomme

på den indvendige side af panelet. Desuden er der en lufttemperaturføler på begge sider af testpanelerne til at måle henholdsvis rumtemperaturen og udelufttemperaturen.



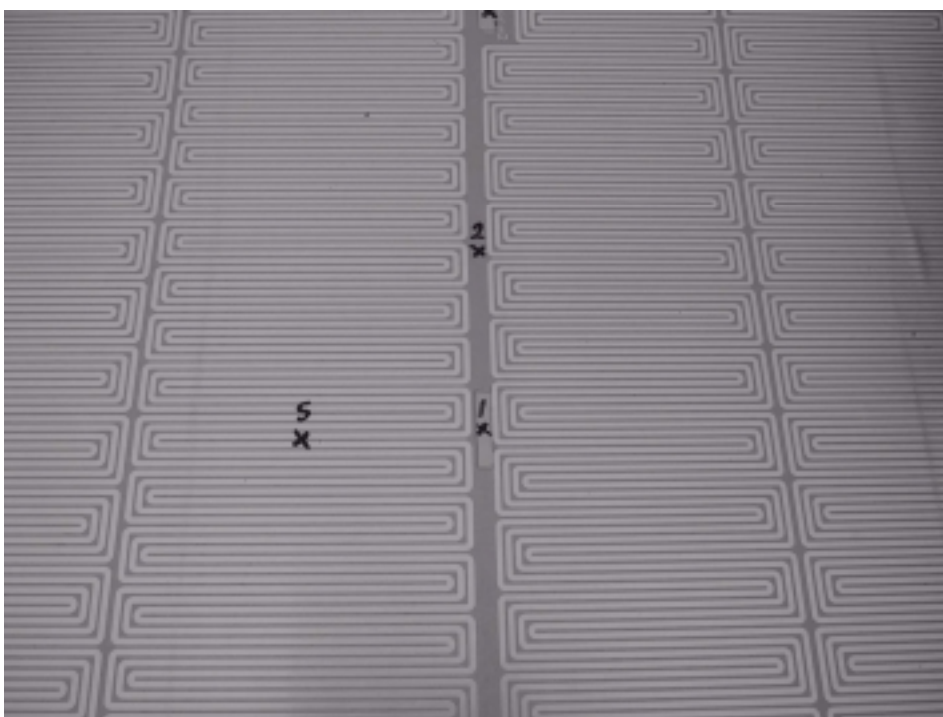
Figur 6 Testsamlingen indbygget i en dør

Føler nr.	Type	Placering
1	overflade	midt på pladen i en 10 mm udsparring mellem varmetrådene, plasticfolien mellem føler og alu-plade er fjernet
2	overflade	lidt over midt på pladen i en 10 mm udsparring mellem varmetrådene, plasticfolien mellem føler og alu-plade er ikke fjernet
3	overflade	ved kanten af pladen i en 30 mm udsparring mellem varmetrådene, plasticfolien mellem føler og alu-plade er fjernet
4	overflade	ved kanten af pladen i en 16 mm udsparring i varmetrådene, plasticfolien mellem føler og alu-plade er fjernet
5	overflade	midt på pladen på et område direkte ovenpå varmetrådene, plastfolien er ikke fjernet
6	overflade	udenpå alu-pladen ind mod indeklimaet i en lomme af samme materiale og overflade som resten af testpanelerne
7	luft	temperatur på indvendig side af testsamlingen
8	luft	temperatur på udvendig side af testsamlingen

Tabel 1. Beskrivelse af de otte temperaturfølere i målesystemet



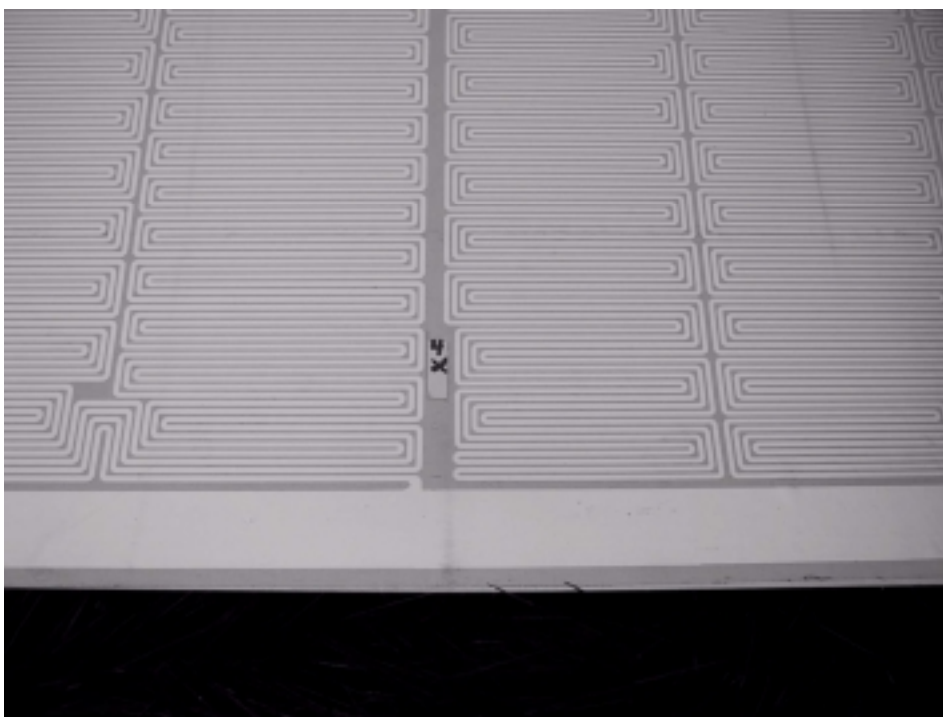
Figur 7 Varmefolie med markering af termofølernes placering



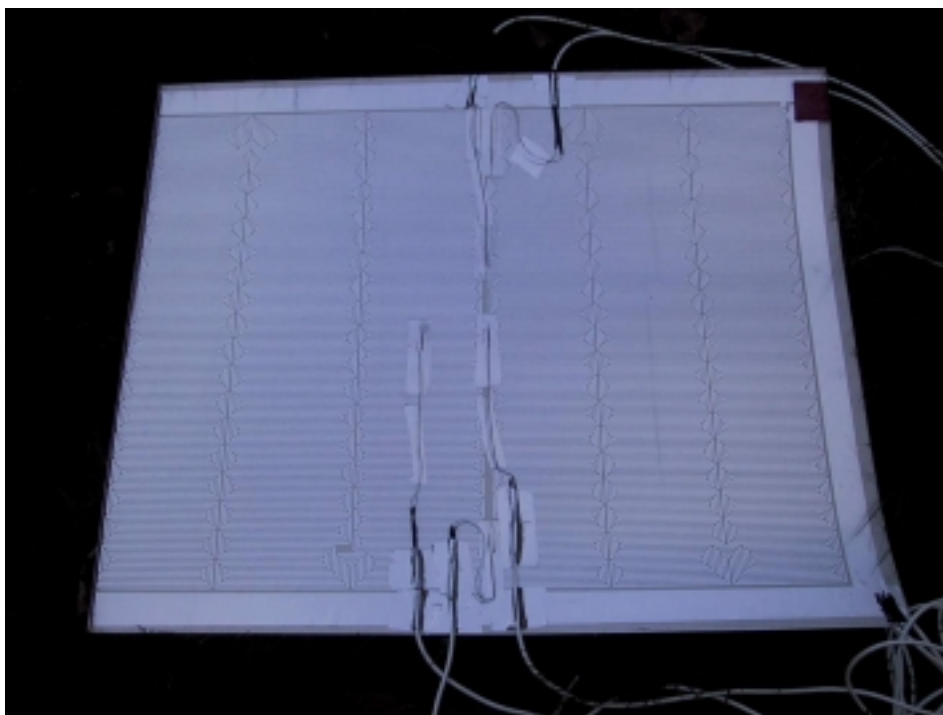
Figur 8 Varmefolie med markering af termofølernes placering - midterste del af folien



Figur 9 Varmefolie med markering af termofølernes placering - øverste del af folien



Figur 10 Varmefolie med markering af termofølernes placering - nederste del af folien



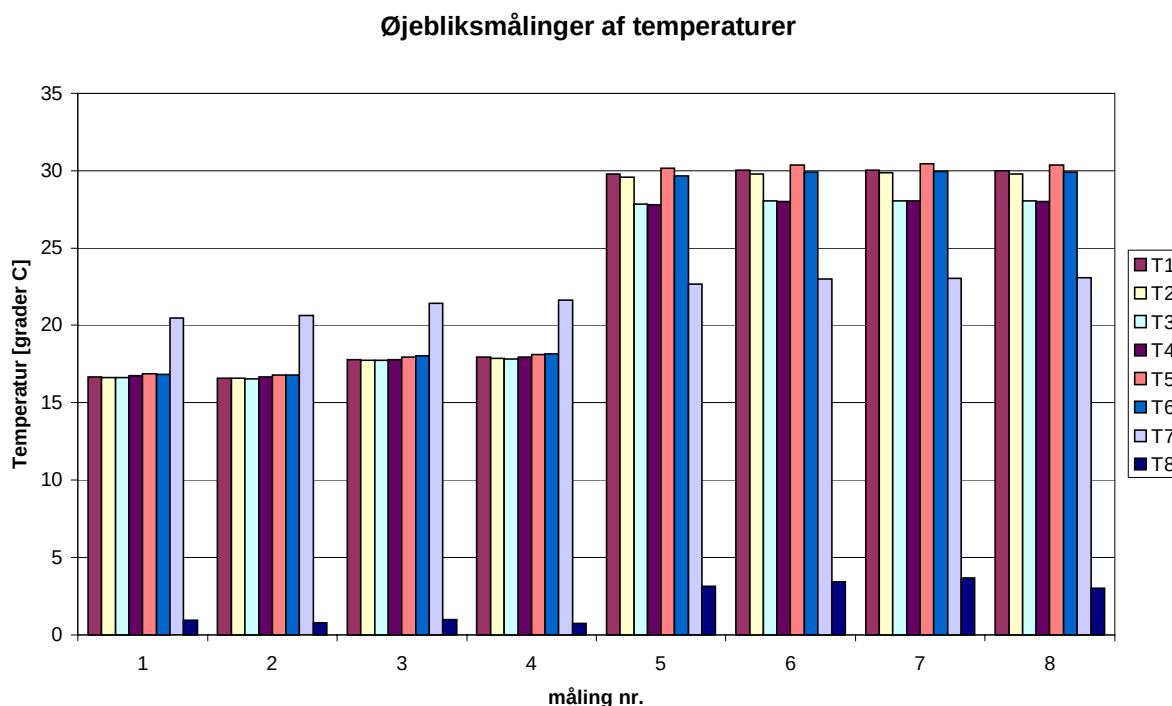
Figur 11 Varmefolie med opsatte termofølere



Figur 12. Lommen temperaturføleren på indersiden af testpanelerne var monteret i.

Temperaturmålinger

Ved hjælp af dataloggersystemet kan sammenhørende værdier af de 6 overfladetemperaturer sammenlignes. Nedenstående figur 13 viser i alt 8 målinger af sammenhørende øjebliksværdier, hvor de 4 første målinger er foretaget uden varmemfolien tilsluttet og de 4 næste målinger er med aktiv varmemfolie. Da hhv. ude- og indetemperatur varierede under de 8 målinger, er det kun indenfor hver enkelt måling, at overfladetemperaturerne kan sammenlignes.

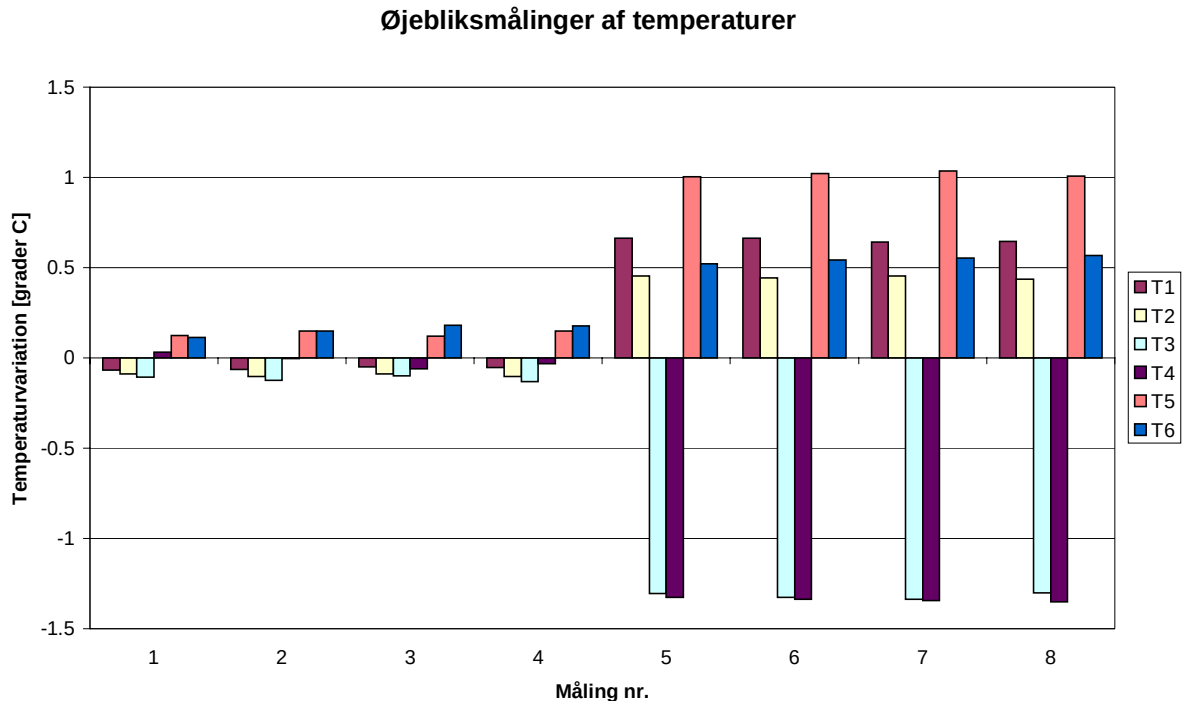


Figur 13 Øjebliksmålinger af temperaturer i testsamling

Figur 14 viser temperaturdifferens i forhold til middel af de 6 overfladetemperaturer. I de tilfælde, hvor varmemfolien ikke er aktiv, ligger overfladetemperaturerne meget ens med en variation på ca. $\pm 0,1 - 0,2$ °C. Temperaturerne T5 og T6 ligger generelt højest, mens T1-T4 er meget ens.

Med aktiv varmemfolie er der større variation omkring middel, idet afvigelserne fra middel er op til ca. $\pm 1,5$ °C. Temperaturerne T3 og T4 er placeret i udkanten af varmemfolien og ligger tydeligt lavere end de øvrige overfladetemperaturer. Den høje temperatur på varmemfolien bevirker, at kuldebroer får mere indflydelse, og der er ligeledes en større påvirkning fra indeklimaet, idet temperaturdifferencen mellem overflade og indeklima er større.

Generelt viser resultaterne, at den indvendige overfladetemperatur er meget jævn over det meste af fladen, især når varmemfolien ikke er aktiv. Det er ikke så kritisk, hvor på fladen en temperatursensor placeres. Med aktiv varmemfolie er der lidt større variation, og en temperatursensor bør ikke placeres i yderkanten af folien på grund af de randeffekter, der vil opstå her. En placering af sensoren som T1 eller T2 vil derfor være at foretrække – se senere, hvor termoføleren på indersiden evalueres.



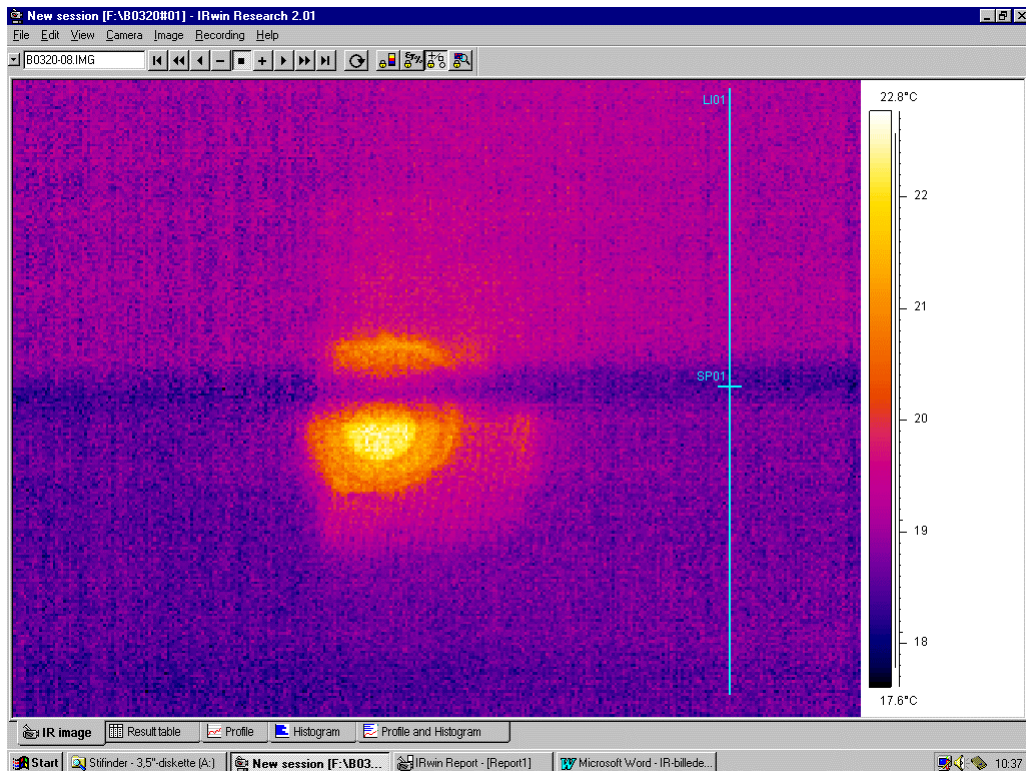
Figur 14 Øjebliksmålinger af temperaturer i testsamling - differens i f.t. middeltemperatur

Termografi-billeder

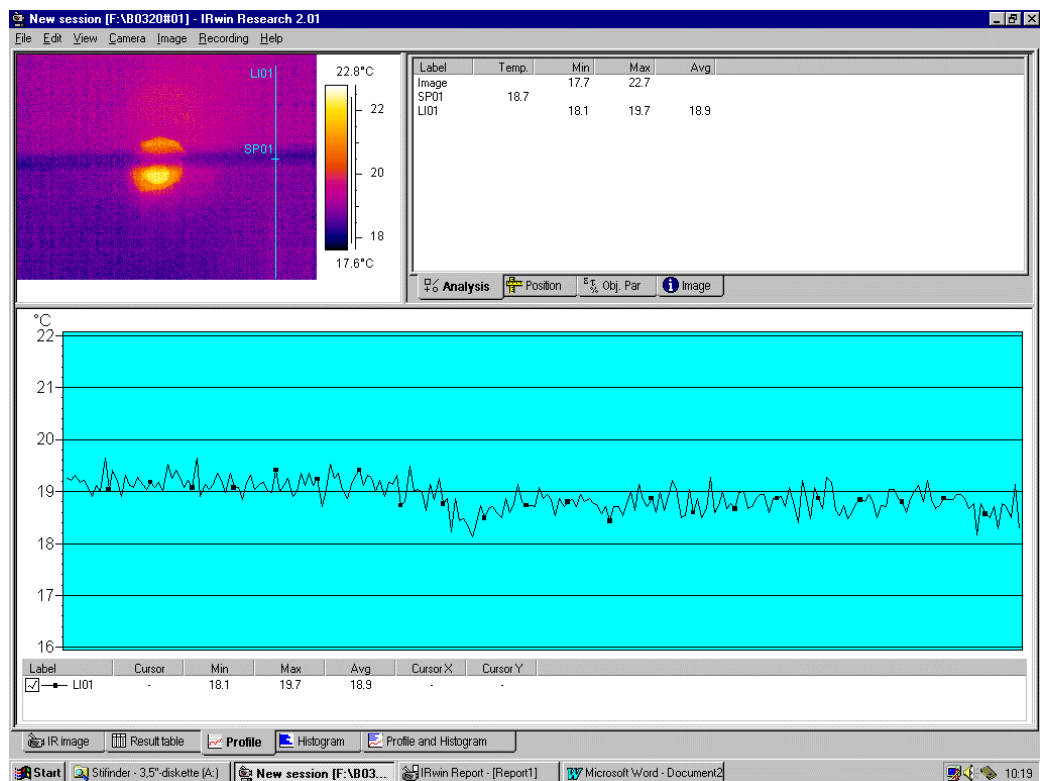
Der er taget termografibilleder af testsamlingen for at undersøge kuldebroen i samlingen samt forskelle i indvendige overfladetemperaturer. Der blev taget billeder med hhv. ikke-aktiv og aktiv varmemefolie.

Testvæggens metalliske overflader vakte dog en del problemer ved termograferingen. Den indvendige aluminiumsoverflade har en forholdsvis lav emittans på trods af overfladebehandlingen, hvorimod tætningslisten i samlingen har en høj emittans. Dette giver anledning til en temperaturfejlvisning på termografibilledet. Desuden bevirker den metalliske overflade, at varmestråling fra omgivelserne reflekteres i overfladen, hvilket giver genspejlinger af de termiske forhold i omgivelserne. Figur 15 viser et nærbillede af selve samlingen, der kan ses som et mørkt vandret område på billedet. Det store lyse/varme område er en refleksion af selve termografikameraet. Figur 16 viser temperaturfordelingen hen over samlingen langs strengen til højre i figur 15.

Ovenstående problemer blev forsøgt løst, dels ved at sætte en tape hen over de områder, der skulle termograferes, så området kunne opnå en ensartet overfladeemittans, og dels ved at afskærme hele området omkring testvæggen, så varmestråling fra personer og termografikamera i rummet så vidt muligt ikke kunne reflekteres i aluminiumsoverfladen. Reflektioner af varmestråling fra omgivelserne kunne dog ikke helt undgås.



Figur 15 Termografi-nærbillede af selve samlingen. Samlingen ses som en mørk vandret stribe på billedet. Den lyse plet er en varmestrålingsreflektion fra kameraet.



Figur 16 Temperaturkurve for lodret snit fra figur 15.

Figur 15 og 16 kan anvendes til at give et groft overslag over det forøgede varmetab gennem samlingen. Overslaget bygger på følgende antagelser: der ses bort fra den fejl der ligger i, at den målte overflade ikke har en ensartet emittans, og der ses bort fra temperaturvariationer over væggen som helhed (figur 15 og 16 viser bl.a. en lodret temperaturgradient over væggen som skyldes en lodret temperaturgradient i rumluften). Som repræsentativ overfladetemperatur i selve samlingen anvendes temperaturen i punktet SP01 (figur 15) = 18,7°C, og som repræsentativ overfladetemperatur for væggen som helhed anvendes max. temperaturen på snittet LI01 (figur 15) = 19,7°C. Af figur 13 ses, at indetemperaturen ved målingerne uden aktiv varmemefolie var ca. 21°C. Idet der regnes med en konstant indvendig overflade resistans på 0,13 m²K/W fås:

$$\begin{aligned} Q/A_{\text{væg}} &= 10,0 \text{ W/m}^2 \\ Q/A_{\text{samling}} &= 17,7 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

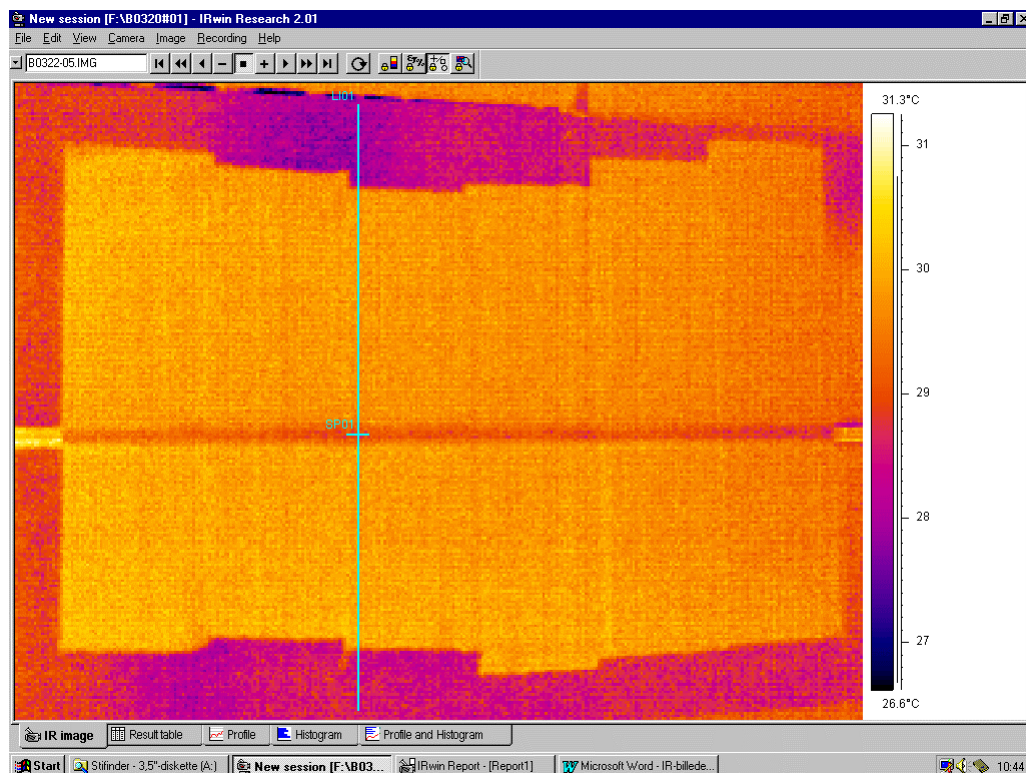
Kuldebroen har, som det ses i figur 15, en meget lille udbredelse (ca. 10 mm). På et vægelement på 2x3m vil kuldebroen udgøre ca. 0,1 m², mens resten af væggen udgør ca. 5,9 m². Ved at vægte varmetabene relativt med arealerne fås, at varmetabet gennem en væg med ovennævnte kuldebro bliver ca. 1% større, end hvis der ikke var kuldebroer (samlinger) i væggen.

Figur 17 viser et nærbillede, hvor samlingen plus omgivelserne omkring den er dækket af tape for at opnå en ensartet overfladeemittans. Billedet er taget med varmemefolien aktiv, hvilket i dette tilfælde giver en overfladetemperatur på 28-30°C. Så høj en temperatur var valgt for at mindske refleksioner fra omgivelserne.

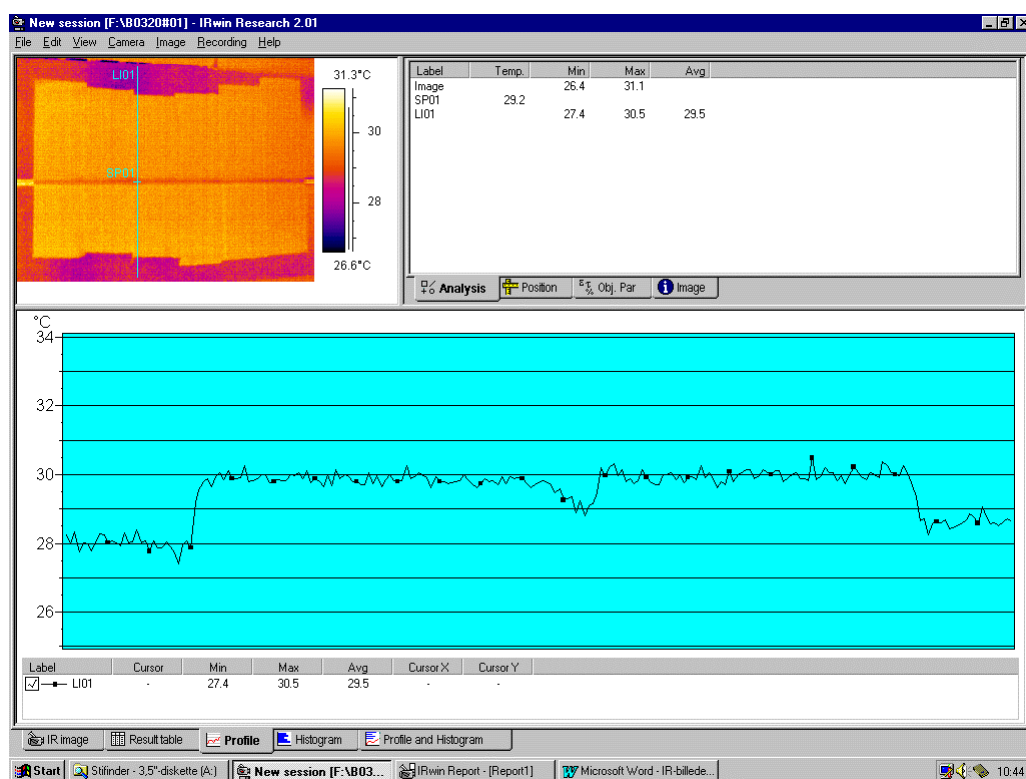
Samlingen ses som en mørk vandret stribe på billedet i figur 17. Foroven og forneden på billedet ses afslutningen på tapen som en tydelig ændring af overfladetemperaturen. Dette er ikke et reelt temperaturspring, men et spring i overfladeemittans.

I figur 18 er optegnet en temperaturkurve for et lodret snit i samlingen. Snittet er markeret med en lodret linie i figur 17. Temperaturkurven viser, at overfladetemperaturen ligger meget jævnt (med udsving på omkring 0,5°C) på hver side af samlingen, mens selve samlingen giver anledning til det fald i overfladetemperatur på ca. 1°C. Kuldebroens udbredelse er dog meget lille (ca. 10 mm), idet den stort set ikke påvirker et større område end dens fysiske udbredelse. På temperaturkurven kan det desuden ses, at forskelle i overfladeemittans for aluminiums-plade og tape giver anledning til en fejlmåling på ca. 2°C.

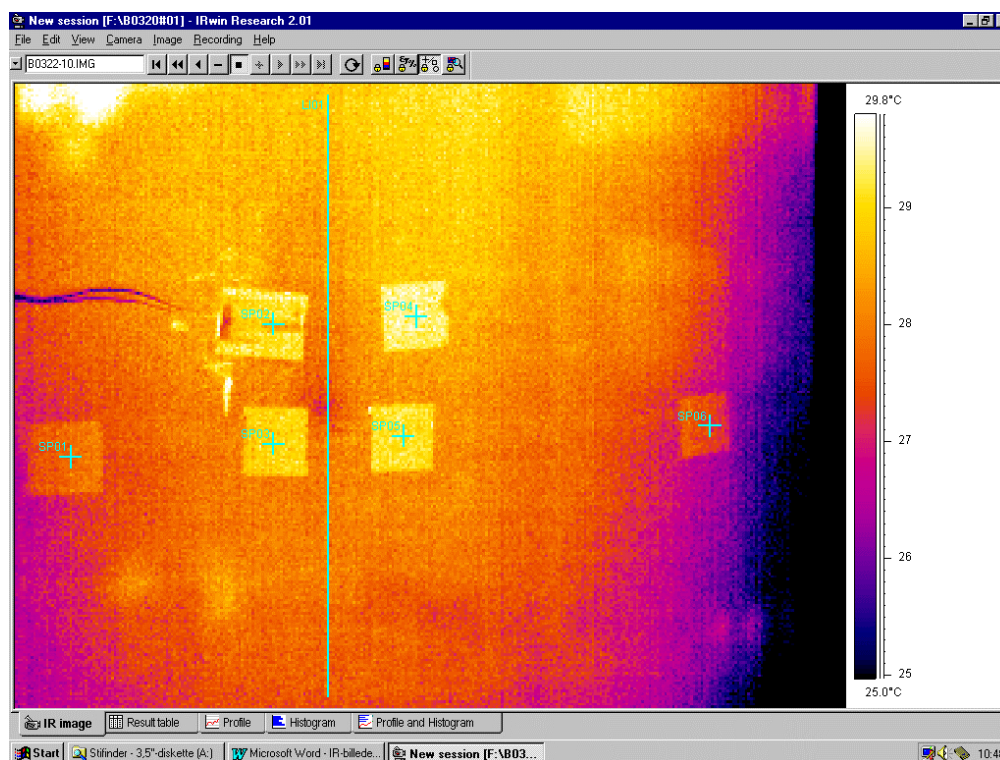
Figur 19 viser et billede af den indvendige overflade, hvor 6 områder af fladen med temperaturfølere er dækket med tape. I figur 20 ses temperaturen i hver af de markerede punkter. Billedet er taget med aktiv varmemefolie og en indvendig overfladetemperatur på ca. 28°C. Temperaturerne varierer ca. 1,5-2°C, hvilket stemmer godt overens med resultaterne fra øjebliksmålingerne af temperaturer (figur 12). I hver side af væggen er der et randfelt som giver lavere temperaturer end midt på fladen.



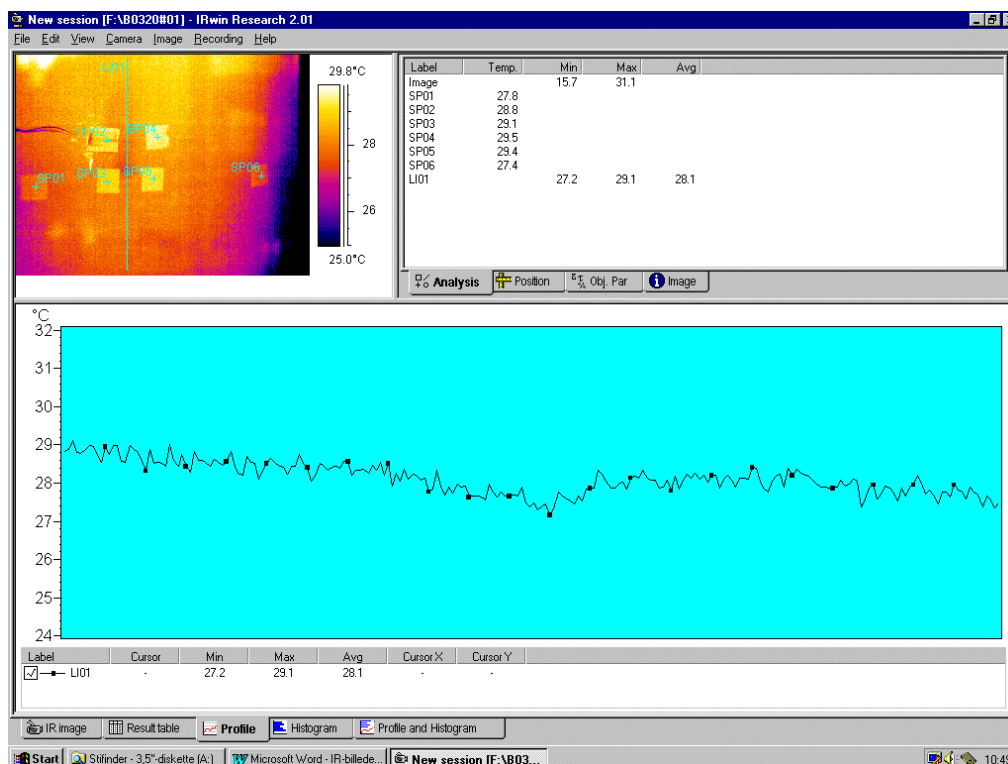
Figur 17 Termografi-nærbillede af samling, hvor det betragtede område er dækket af tape for at give en ensartet overfladeemittans.



Figur 18 Temperaturkurve for lodret snit i samlingen. Snittets placering er vist i figur 17.



Figur 19 Termografibillede af den indvendige overflade, hvor 6 forskellige temperaturfølere på overfladen er markeret. Områderne er dækket med tape for at opnå en ensartet overfladeemittans.



Figur 20 Temperaturkurve for lodret snit som angivet i figur 18. Temperaturer i punkter som markeret i figur 18 er listet i tabel øverst til højre i figuren.

På figur 19 og 20 er den indvendige overfladetemperatur (sensor nr. 6) markeret med "SP02". På termografibilledet kan den "metallomme", som føleren er placeret i, ses. Det skyldes, at den bliver påvirket af luften på den indvendige side af væggen. Generelt må det forventes, at overfladesensorer placeret på den indvendige side af væggen, vil være mere følsomme overfor lufttemperaturen i indeklimaet. Det må derfor foretrækkes at placere sensorerne på bagsiden af aluminiumspladen, så de ligger mere beskyttet.

Opnåede erfaringer

Målinger og termografibilleder af testsamlingen har vist, at det er muligt at samle to stykker væg på den ønskede måde uden samtidig at skabe betydelige kuldebroer i konstruktionen. Kuldebroen i samlingen har en meget lille udstrækning. Et groft overslag antyder, at varmetabet gennem væggen stiger med ca. 1% som følge af samlingerne i forhold til en væg uden samlinger. Termografibillederne viser, at samlingen giver anledning til en overfladetemperatur, der er ca. 1°C lavere end resten af væggen ved et temperaturniveau på ca. 30°C på den indvendige overflade.

De teoretiske beregninger viser en mindre effekt af samlingen, men også ved et lavere temperaturniveau på den indvendige overflade (ca. 20°C). Ved et højere temperaturniveau som ved termograferingen, bliver effekten af kuldebroen større. Det må forventes, at testfaciliteten i praksis vil anvende varmemefolien til at opretholde en overfladetemperatur tæt ved indeklimaets, hvorved kuldebroen bliver relativt mindre end vist ved termograferingen.

Samlingen var som tidligere nævnt ikke perfekt udført, hvilket bevirker, at kuldebroen bliver større. De konstruktive fejl i testsamlingen skyldes hovedsageligt, at den er opbygget i hånden. Det må forventes, at de endelige elementer til testfaciliteten vil kunne fremstilles uden sådanne fejl.

Desuden har målinger og termografibilleder vist, at en indvendige overfladetemperatur er meget ensartet, hvilket også var ønsket. Fladen er mest ensartet, når varmemefolien ikke er aktiv, mens en aktiv varmemefolie giver anledning til større variation. Dette gælder dog hovedsageligt i de tilfælde, hvor den indvendige overflade bliver højere end indeklimaets, hvilket ikke vil være den normale virkemåde af væggene i praksis.

Ved målingerne har der været et tydeligt randfelt i testsamlingens sider. Det skyldes, at der i siderne ikke er gjort noget for at undgå en kuldebro, som det er tilfældet i den betragtede samling. I den endelige konstruktion vil der være ensartede samlinger på alle sider af hvert vægelement, hvorfor randfelterne kun vil være af samme størrelsesorden som målt på den betragtede samling (figur 16 og 18).

Appendiks G

Opbygning af luftspalten og ventilation af de adiabatisk paneler

*Hans Olsen
Ventilation og Miljø
Teknologisk Institut Energi*

Opgave

Med baggrund i notat (kapitel 2.3.3) til løsningsforslag om funktionsbeskrivelse for ventilation af adiabatisk paneler ønsker fastlæggelse af følgende i forbindelse med udformning af paneler i hulrum:

1. Udformning og placering af regler
2. Udformning og placering af vandrette perforerede plader
3. Antal og udformning af indløb
4. Antal og type af ventilatorer og spjældtyper

Kommentarer/løsningsforslag

Udformning og placering af regler

Perforeret plade bør ikke anvendes af hensyn til at kunne opnå en konstant opadgående luftbevægelse.

Af hensyn til luftfordelingen, bør der placeres 5 stk. regler i et panel, så der fremkommer 6 kanaler, se nedenviste skitse.

Udformning og placering af vandrette perforerede plader

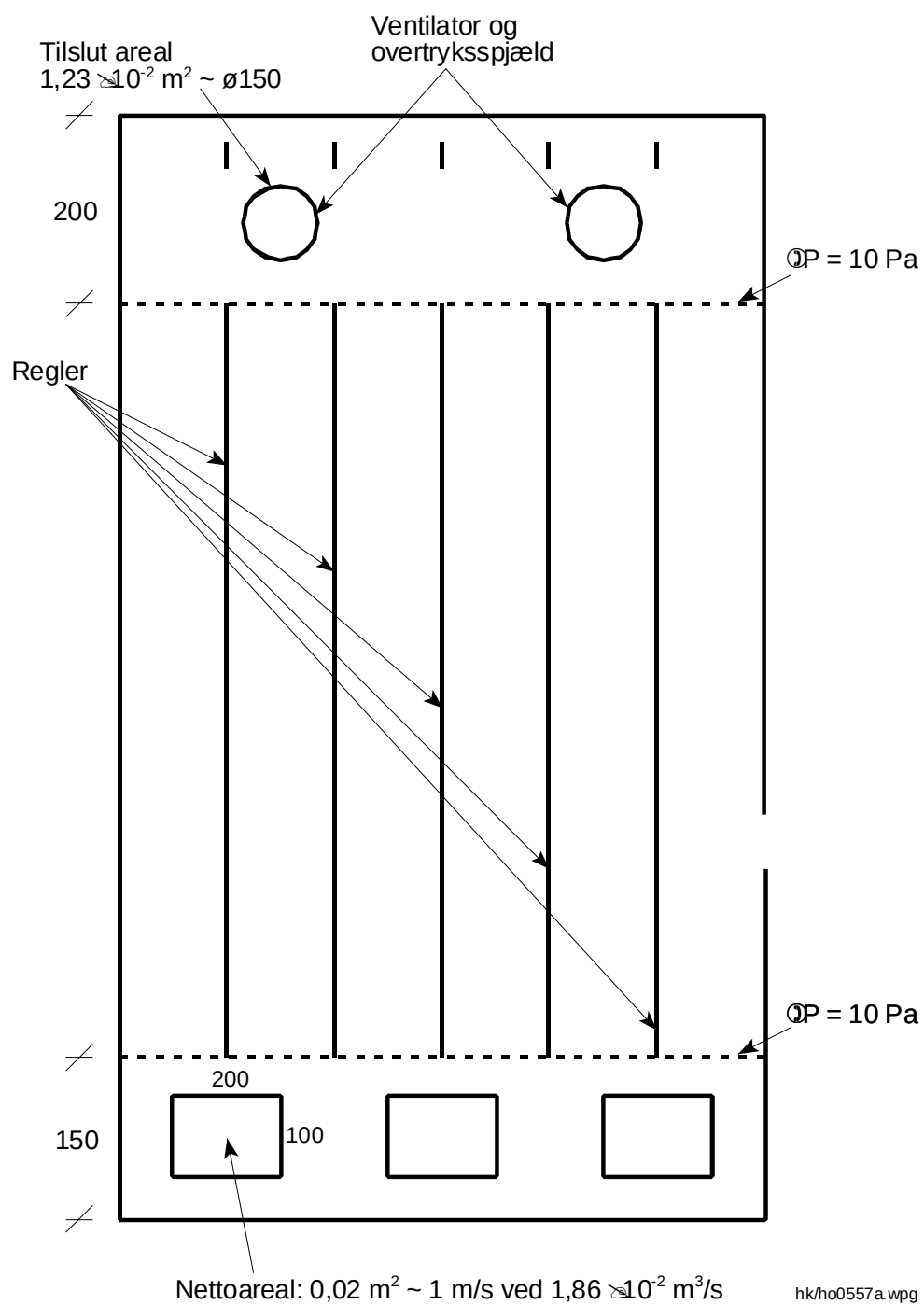
Det skal bemærkes, at den perforeret plade kan blive snavset og give problemer på længere sigt, derfor bør modstanden måske udformes som en dyseåbning.

Hvis der skal anvendes perforeret plade, bør der monteres et filter i indsuget.

Antal og udformning af indløb

De tre indsugningsriste skal vælges med et nettoareal på $0,02 \text{ m}^2$ svarende til en hastighed på 1 m/s .

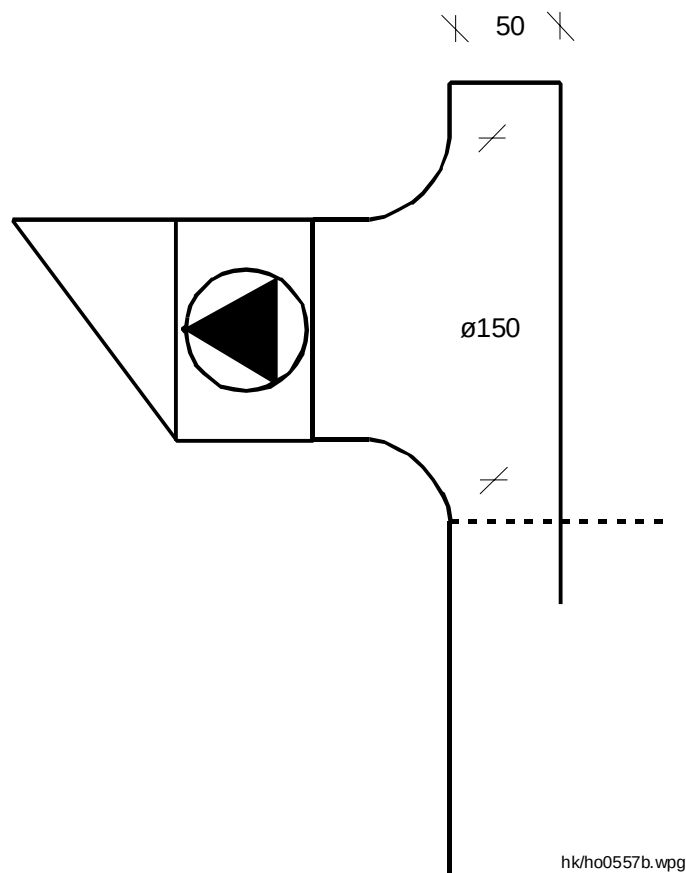
Opstaltning af panel



Skitse af opstaltning

Antal og typer af ventilatorer

Udsugningsventilatorerne bør suge med så lille en hastighed af hensyn til luftfordelingen. En åbning på ø150 vil være OK. For at sikre at afkastet fra ventilatoren ikke ledes ind i udsugningsristen, bør afkastet udformes med en skrå hætte, se nedenviste skitse.



Priser

Prisen pr. opstaltning:

3 stk.	riste	kr.	400,00
2 stk.	ventilatorer	kr.	1.000,00
I alt		kr.	1.400,00

Inkl. diverse og montage ca. kr. 2.000,00

Appendiks H

Dynamiske termiske beregninger for betonhuldækkene med HEAT II

Jens Rabeck

Institut for Bygninger og Energi
Danmarks Tekniske Universitet

For beregning af varmemstrømmene ind i vægelementerne (uden effektafgivelse fra varmemfolierne) samt ind i betondækkene er der gennemført simuleringer med programmet HEAT II. Der er benyttet to modeller: 1) Vægdel: et snit i det 3 meters højde element og med et betondæk på en meters bredde – vægdelen har i alt en længde på 72 m og 2) Midterfelt: de resterende $8 \times 6 = 48 \text{ m}^2$ af betonhuldækkene.

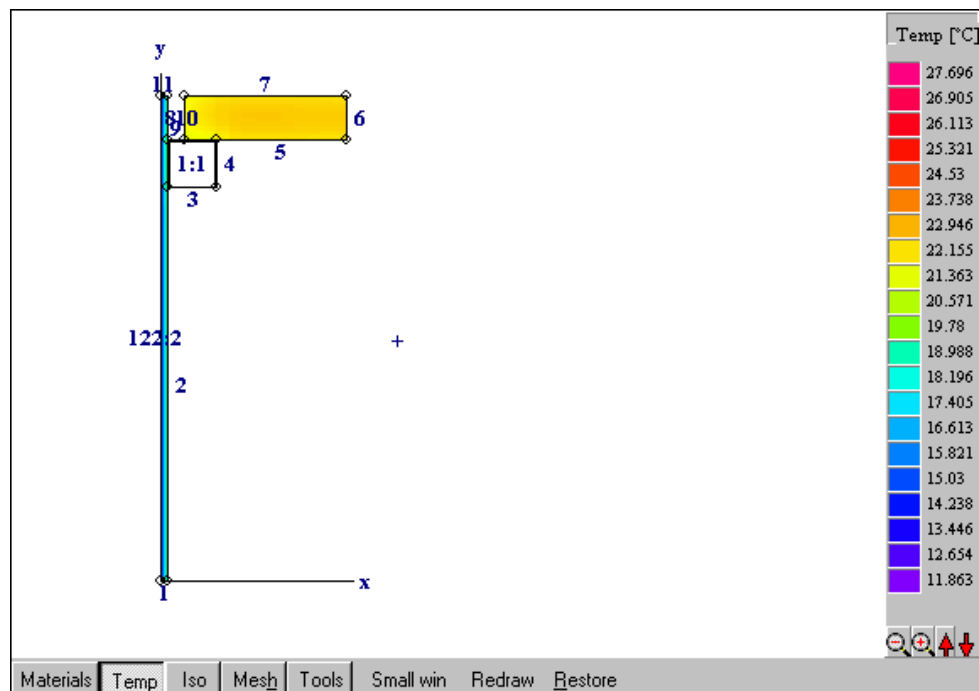
I simuleringerne er det antaget, at temperaturen i luftspalten i panelerne konstant holdes på 10°C , mens lufttemperaturen inde i bygningen varierer mellem $20\text{--}26^\circ\text{C}$. Indelufttemperaturen antages at være en sinussvingning med en svingningsperiode på 1 døgn.

Der er lavet simuleringer, hvor betondækkene ikke er isoleret, samt simuleringer hvor betondækkene er isoleret med 50 mm Roofmate isolering. For hver af simuleringerne er varmemstrømmene gennem alle de indvendig flader af panelerne samt varmemstrømmene gennem betondækkets og jernprofilets flader vist i en graf.

Simulering uden isolering af betonhuldæk

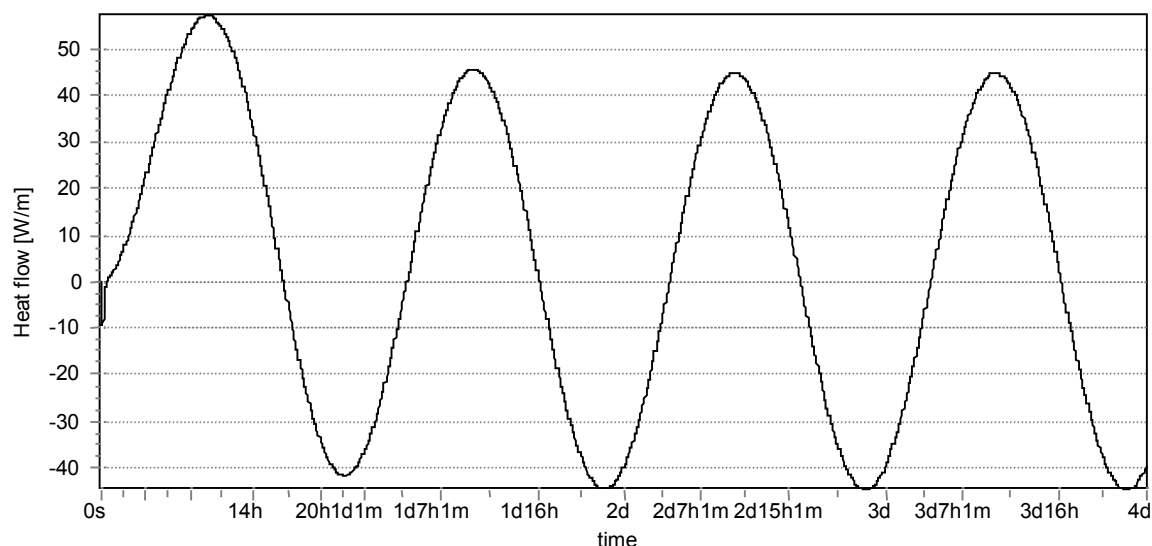
Vægdel

I figuren nedenfor viser den anvendte HEAT II for vægdelen.



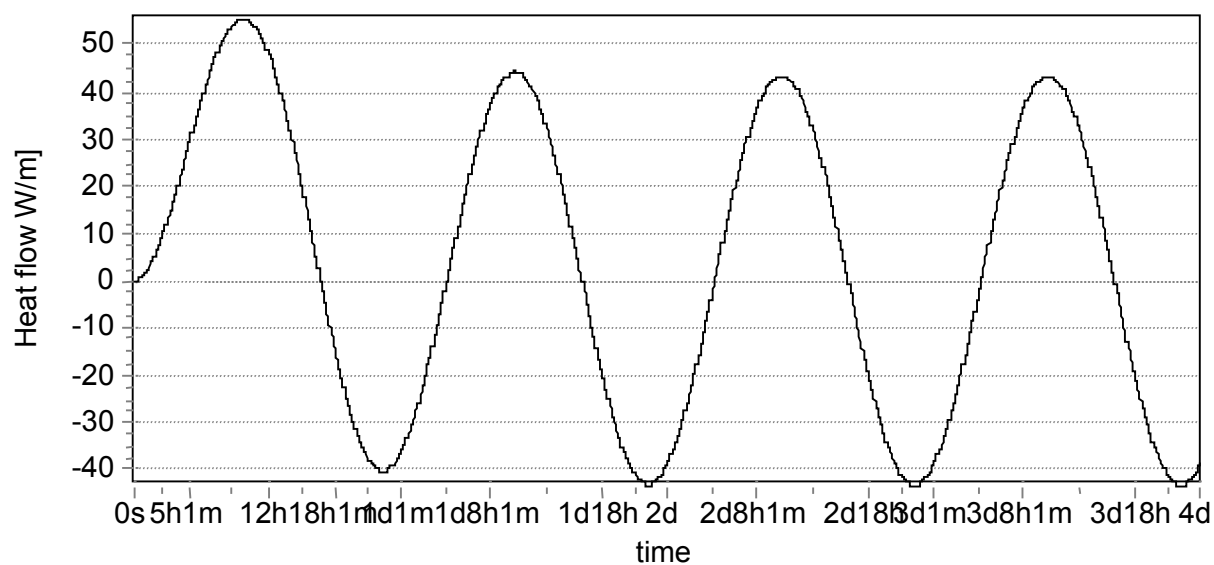
Figur 1. Model af vægsknit med yderste 1 m af betonhuldækket i Heat II.

Beregningerne af varmestrømmen gennem alle indvendige flader – dvs. indvendig falde af panelerne, ståldragere og den yderste 1 m af betonhuldækket - fra figur 1 er vist i figur 2.



Figur 2. Varmestrøm gennem alle indvendige overflader.

Beregning af varmestrømmene gennem ståldragere og betondækkets indvendige flader er vist i figur 3.



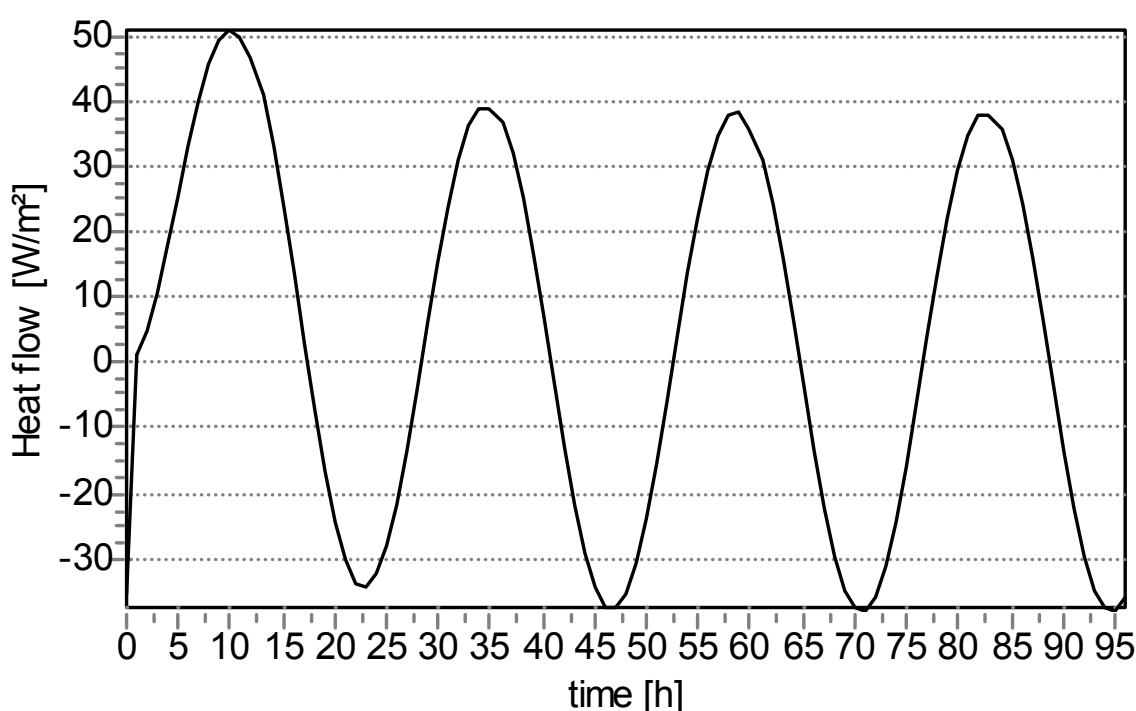
Figur 3. Varmestrøm gennem ståldrager og betonoverflader.

Som forventet er de to figurer stort set ens – kun en forskel på 1-2 W/m³ mellem bølgetoppe/bølgedalene, hvilket betyder at der kun foregår en meget lille varmetransport gennem de adiabatisk vægg. Derimod er der en betydelig varmestrøm til ståltragere og betonelementet, hvilket betyder, at der her akkumuleres en betydelig mængde varme. Det ses desuden af figur 3, at den maksimale varmestrøm efter 4 dage ca. er 43 W/m.

Midterfelt

For beregning af varmelagringen i midterfeltet er der lavet beregninger med Heat II, hvor der som for væggen er regnet med sinusformet temperatursvingning fra 20 °C til 26 °C. Det er desuden antaget at overgangsisolansen for både over- og underside af betonhuldækket er 0,13 m²K/W. I hvert testrum er der et loft og et gulv af betonhuldæk – dvs. i alt 96 m².

Resultatet af beregningerne er vist i figur 4.



Figur 4. Varmestrøm gennem overfladerne af den midterste del af betonhuldækket.

Det ses af figur 4, at den maksimale varmestrøm efter 4 dage er ca. 38 W/m.

Total

På baggrund af de beregnede maksimale varmestømme efter fire dage findes den dagligt passivt lagrede varmemængde som:

$$Q_{\text{væg}} = L_{\text{ængde}} \cdot q_{\text{max}} \cdot \text{tid} \cdot \frac{2}{\pi} = 72 \text{ m} \cdot 43 \text{ W/m} \cdot 12 \text{ h} \cdot \frac{2}{\pi} = 23,7 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{midte}} = A_{\text{real}} \cdot q_{\text{max}} \cdot \text{tid} \cdot \frac{2}{\pi} = 96 \text{ m}^2 \cdot 38 \text{ W/m}^2 \cdot 12 \text{ h} \cdot \frac{2}{\pi} = 27,9 \text{ kWh}$$

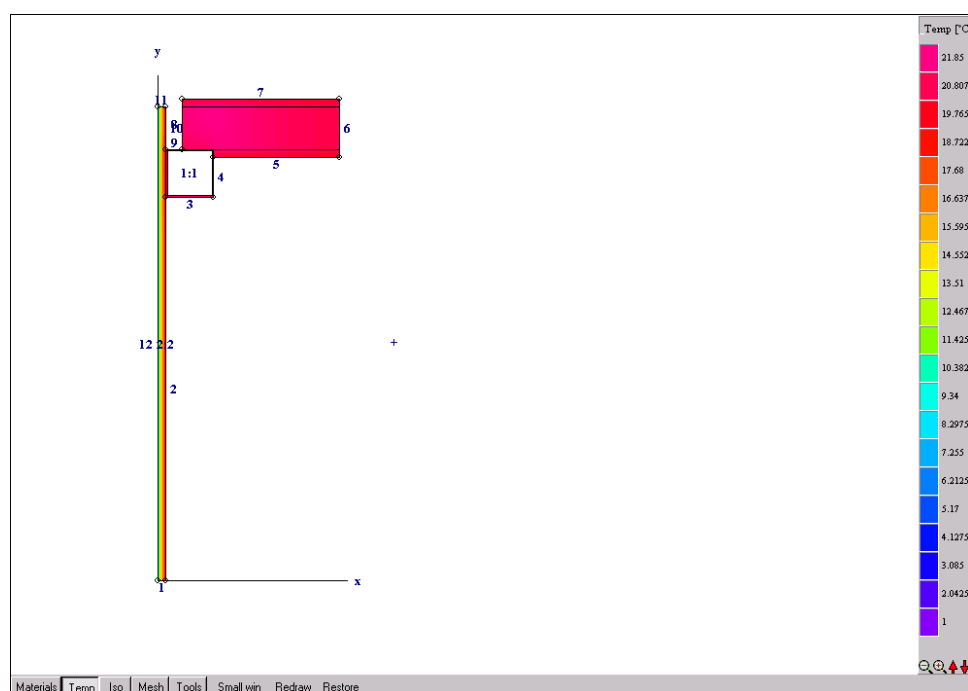
Den totale passive varmelagring i konstruktionerne bliver derfor ca. 52 kWh pr. dag.

Simulering med 50 mm isolering af betonhuldæk

For at mindske den passive varmelagring i betondækkene kan disse isoleres med 50 mm Roofmate isolering på over og underside af betonhuldækkene. For beregning af varmelagringen ved anvendelse af denne isolering er der lavet nye modeller med isolering i Heat II.

Vægdæl

I figuren 5 viser den anvendte HEAT II model for vægdelen. Det er kun betonhuldækket, der er isoleret med 50 mm Roofmate. Ståldragerne er ikke isoleret.



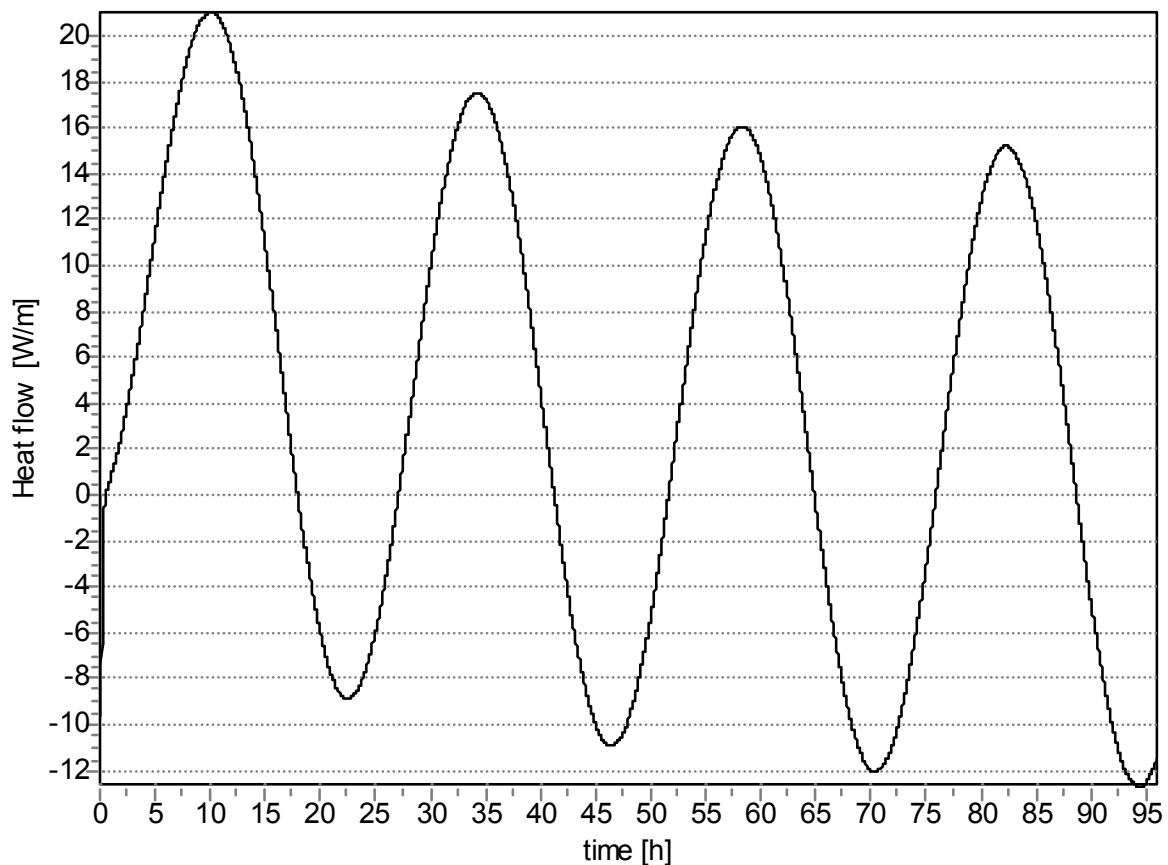
Figur 5. Heat II model af vægdelen med 50 mm isolering af betondæk.

Figur 6 viser resultatet af beregningen for vægdelen med isolering.

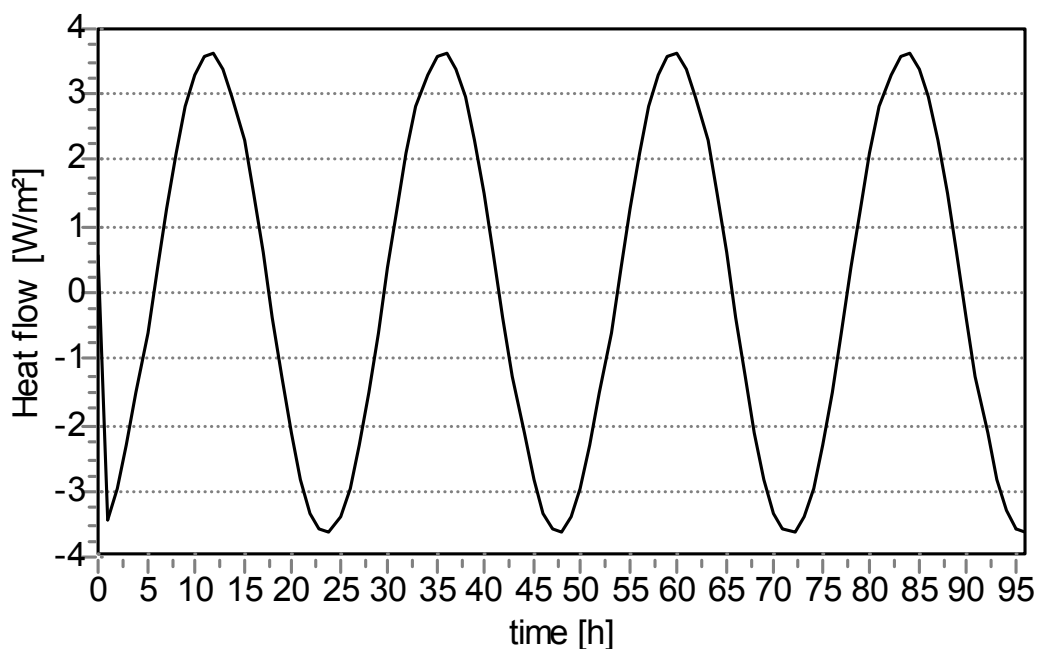
Ved sammenligning af figur 3 og 6 ses det, at varmestrømmene for vægdelen kan reduceres fra 43 W/m til 15 W/m ved at isolere betonen med 50 mm isolering. Ved også at isolere ståldrageren samt betonen bedre kan varmestrømmene reduceres yderligere.

Midterfelt

Tilsvarende er der gennemført beregninger for midterfeltet med 50 mm Roofmate på begge sider af betonhuldækkene. Som overgangsisolanser er anvendt henholdsvis 0,04 og 0,13 m²K/W på over og underside. Resultatet af beregningen er vist i figur 7.



Figur 6. Varmestrømme gennem alle indvendige flader ved væggene.



Figur 7. Varmestrøm gennem overflader af den midterste del af betondæk.

Det ses af figur 7, at den maksimale varmemstrøm efter 4 dage ca. er 3,5 W/m.

Total

På baggrund af de beregnede maksimale varmestrømme efter fire dage findes den dagligt passivt lagrede varmemængde som:

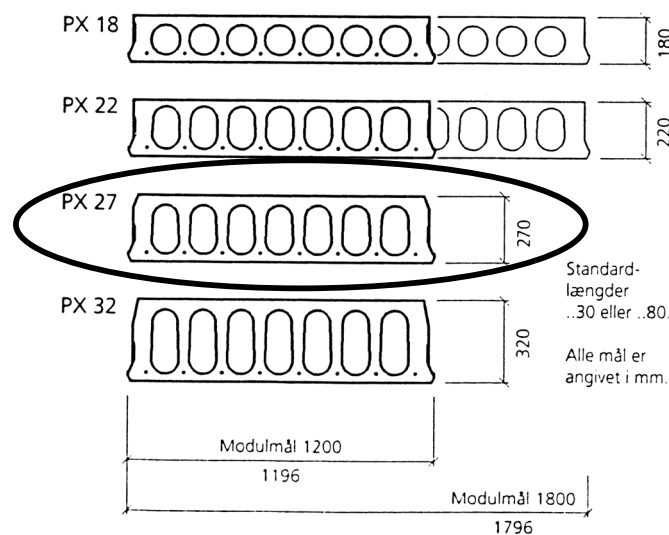
$$Q_{\text{veg}} = \text{Længde} \cdot q_{\text{max}} \cdot \text{tid} \cdot \frac{2}{\pi} = 72 \text{ m} \cdot 15 \text{ W/m} \cdot 12 \text{ h} \cdot \frac{2}{\pi} = 8,3 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{midt}} = \text{Areal} \cdot q_{\text{max}} \cdot \text{tid} \cdot \frac{2}{\pi} = 96 \text{ m}^2 \cdot 3,5 \text{ W/m}^2 \cdot 12 \text{ h} \cdot \frac{2}{\pi} = 2,6 \text{ kWh}$$

Den totale passive varmelagring i konstruktionerne bliver derfor ca. 11 kWh pr. dag. De 50 mm isolering af betonhuldækkene reducerer altså den passive varmelagring med en faktor 5.

Opbygning af betondækkene

I de ovenfor beskrevne beregninger er betonhuldækkene repræsenteret som massive – dvs. uden kanaler som vist i figur 8. Afstanden fra overfladen af betonhuldækkene til henholdsvis toppen og bunden af kanalerne er ved det valgte profil 35 mm. Størstedelen af varmelagringen i betonhuldækkene når ikke længere ind end 35 mm. For at undersøge effekten af den termiske tyngde i betonhuldækkene, blev de termofysiske parametre for betonhuldækkene ændret fra beton til letbeton i modellen for midterfeltet. Dette gav kun en relativt beskeden ændring i forhold til beregningerne beskrevet ovenfor. Derfor antages det, at de beskrevne beregninger på rimelig vis beskriver varmestrømmene i betonhuldækkene ved fluktuerende indelufttemperatur i testrummene.



Figur 8. Snit i betonhuldæk med angivelse af det valgte profil til testfaciliteten.

Sammenfatning

For at vurdere den passive varmelagring i betondækkene er der lavet beregninger, hvor temperaturen svinger fra 20 °C til 26°C i rummet. For uisolerede betondæk vil der blive lageret ca. 52 kWh i døgnet, mens der ved isolering af betondækkene med 50 mm Roofmate kun vil blive lagret ca. 11 kWh i døgnet. Den lagrede mængde kan reduceres yderligere ved isolering af ståldragerne.

TEST FACILITY FOR BUILDING INTEGRATED SOLAR ENERGY

Søren Østergaard Jensen

Solar Energy Centre, Danish Technological Institute, Gregersensvej, P.O. Box 141, Taastrup, DK 2630, Denmark,
phone: +45 72 20 24 88, fax: +45 72 20 25 00, e-mail: Soren.O.Jensen@teknologisk.dk

Abstract – Building integrated solar energy is characterised by a high degree of interplay with the building it is installed in and often also a high degree of interaction between different kinds of building integrated solar energy features. The high degree of interplay often creates major difficulties when trying to determine the performance of these solar energy components. Today, building integrated solar energy is either tested in real buildings or in test cells. Real buildings give problems because they normally are not well defined – e.g. cold bridges, uncontrollable thermal processes, people, etc. Test cells are normally much more well defined but often far away from reality – i.e. small, heavily insulated (2 and 3 dimensional heat flows and long time constants) – which increases the uncertainty when scaling to real buildings. A new concept for a test facility for testing building integrated solar energy has been developed. The concept is well defined as test cells but instead of heavy insulated exterior surfaces it is based on adiabatic surfaces – i.e. no cold bridges and 2 and 3 dimensional heat flows. The test facility has a realistic size – three story building with a floor area of 80 m². It is possible to test components not only in the south wall but also in the east, west and north wall as well as in the roof. The test facility both allows test of single components and test of the interplay between different components under well defined conditions. It is, however, also possible to introduce the interaction with other thermal processes normally taking place in a real building, by e.g. introducing a heat loss through the “adiabatic” surfaces.

1. INTRODUCTION

During recent years, there has been an increasing focus on building integrated solar energy. In building integrated solar energy, the actual building is used as a solar collector and/or storage, or the components of the solar energy systems constitute a natural part of the building's construction. Building integrated solar energy thus encompasses not only passive solar heating, but also active solar heating and PV where these are a part of the building.

The simplest form of building integrated solar energy is a window. The solar radiation through windows covers part of the building's heat loss in all buildings. To what extent the heat loss can be covered depends on the window type and the design and usage of the building. Other forms of building integrated solar energy are glazed spaces e.g. balconies and atria, but also double facades. Solar walls are a third form of building integrated solar energy where the external surface of the wall is covered with a transparent layer. The heat from the sun is trapped behind the cover and is then led to the building by a stream of air and/or by means of conduction through the wall.

Solar air heating systems will often also have a high degree of building integration - either because the solar collector is integrated into the wall or roof, or because the heat from the solar collector is stored in the constructions of the building - in walls or storey partitions.

Liquid solar heating systems may have a high degree of building integration. The solar collector can be integrated in the roof or the wall and the heat from the system can, for example, be given off as floor heating. PV can be integrated in facades/roofs or in windows.

In addition to the fact that the above-mentioned forms of solar energy can be integrated into buildings, they can also be combined/integrated with each other. PV and solar air heating can e.g. be combined so that the cover of solar air collectors consists of PV-panels. Here, the excess heat from the PV-elements is used to heat the air in the solar air collector. The solar air collector thus cools the PV-elements, so the efficiency of these is kept up. Air and liquid solar heating can be combined, so that a solar collector can heat both air and liquids. Passive solar heating can be combined with PV by integrating PV-elements in windows, etc.

Common for the above-mentioned building integrated solar energy features are that they often have a close interplay with the building in which they are located. The construction and usage of the building directly influence the output of solar energy, and the solar energy systems have direct influence on the thermal conditions - especially on the comfort level in the building. This means that it is not sufficient to test these forms of solar energy detached from the building, and nor is it possible to test exclusively the systems' sub-components as, for example, is

done at present with liquid solar collectors and storage tanks for solar heating systems.

2. TEST IN OUTDOOR FACILITIES

Building integrated solar energy can be tested in real buildings, where they anyway will find their final use. But, since there is a need for controllable measuring conditions, which can be reproduced, real buildings will create problems - especially if there are people present in the buildings. Real buildings are normally not sufficiently well defined in order to achieve sufficiently precise measuring results. Moreover, many other thermal processes are taking place, which do not directly have anything to do with the component, which is being tested. Persons are even more poorly defined which makes it virtually impossible to account for them in a measurement programme.

In order to bridge the gap between laboratory tests and real buildings different outdoor test technologies has, therefore, been developed – especially the test cell technology.

Test cells normally has one surface for testing components while the other surfaces are heavily insulated in order to increase the measurement accuracy on the test component as the heat losses through the other surfaces will be small. However, the large insulation thickness introduces relatively large and uncontrollable 2 and 3 dimensional heat flows in the corners of the test cell. These 2 and 3 dimensional heat flows can constitute up to 15% of the total heat losses from the test room (Jensen, 1994). Moreover, the large insulation thickness introduces long time constants. This increases the uncertainty when scaling to real buildings

Attempts have been made to solve these problems in several of the test cells by introducing adiabatic surfaces by means of: a) an extra internal insulation layer with a controllable, electrical heating foil between the original and the new insulation or b) less insulation but with a heated

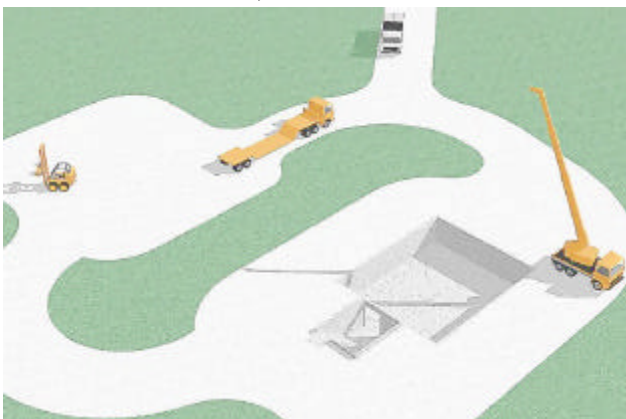
space on the outer side of the insulation where the air temperature is maintained at the same level as in the test room.

However, the test cell technology still suffers from the often small test area where only components of a limited size can be tested and where the conditions in the test room behind the test area often will be far away from reality with regards to e.g. air flow pattern.

As a reaction to this the Solar Energy Centre at the Danish Technological Institute has developed a new concept for a test facility with the aim of including the best parts from test cells and real buildings (Jensen, 1997 and Jensen, 2000).

3. NEW CONCEPT FOR A TEST FACILITY FOR TEST OF BUILDING INTEGRATED SOLAR ENERGY

The test facility is well defined as test cells but instead of heavy insulated exterior surfaces it is based on flexible adiabatic surfaces – i.e. limited cold bridges and 2 and 3 dimensional heat flows. The test facility has a realistic size – three story building with at floor area of 80 m². All adiabatic surfaces can be replaced with test components or traditional walls in order to facilitate tests of several solar energy components under real conditions. It is thus possible to test components not only in the south wall but also in the east, west and north wall as well as in the roof. In addition it is possible to store heat in the internal constructions, e.g. the floor. The test facility both allows tests of single components and tests of the interplay between different components under well defined conditions. It is, however, also possible to introduce the interaction with other thermal processes normally taking place in a real building, by e.g. replacing one or more of the adiabatic surfaces with traditional surfaces. The latter is very important when validating/developing simulation programs in order to obtain an understanding of the interaction of



the thermal processes in the components with the thermal processes normally occurring in a building.

4. DESCRIPTION OF THE TEST FACILITY

4.1. Supporting Structure

The supporting structure of the test facility is a steel skeleton divided in three separate parts as shown in figure 1. The main part of the steel skeleton - referred to as the basis configuration – gives the basement and the two test rooms with a foot print of 80 m² (10 x 8 m²). On top of this it is possible to locate a roof module with a roof tilt of 45° for tests of roof integrated components. If further an extension module is placed on the roof module the test facility will allow for test of facades with a height of up to 12 m as shown in figure 2 – referred to as the maximum configuration.

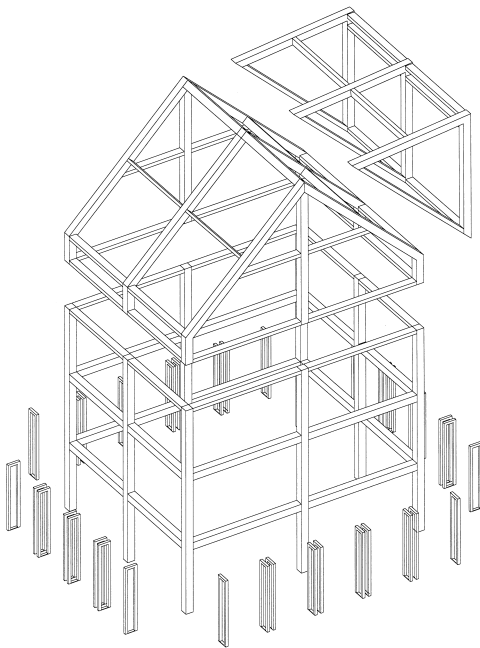


Figure 1. Components of the steel skeleton of the test facility.

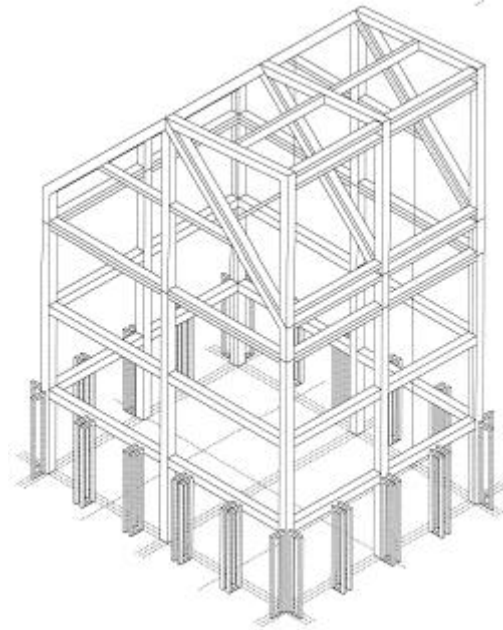


Figure 2. The components from figure 1 joint together to form the maximum configuration where it is possible to test facades with a height of up to 12 m.

The foot print of the basement is on all sides 1 m wider than the foot print of the test rooms. Steel columns to support the facades are located in the basement in this 1 m wide gap. The aim of this is to reduce (eliminate) the 2 and 3D heat flows in the lower part of the facades as the temperature in the basement and around the steel columns can be maintained at the same temperature level as the air just above the floor of the lower test room.

4.2. Floor Slabs

Real buildings normally contain a significant amount of thermal mass and several solar energy features use this mass for storage of heat – e.g. passive solar energy through windows or solar air heating systems where the heat is stored in the storey partitions.



In order to be able to represent this in the test facility the storey partitions will be hollow core concrete floor slabs with the possibility to circulate air through.

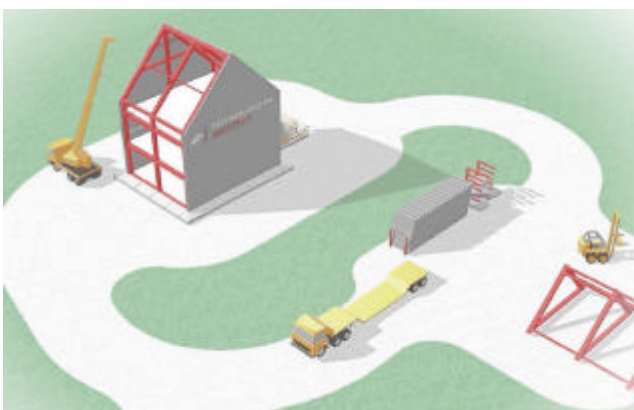
These hollow core concrete floor slabs will of course not act as adiabatic surfaces – which is nor the intention. However, in some tests it may be desirable to be able to operate with adiabatic surfaces also in the floor and ceiling. 2 dimensional dynamic calculations on the thermal behaviour of the storey partitions have shown that if 50-100 mm rigid foam insulation is placed on the floor and under the ceiling, the heat flow in and out of the concrete floor slabs can be reduced to a minimum which will not influence the test very much or which may be measured using heat flow meters and in that way be taken into account when evaluating the test results.

4.3. Adiabatic Surfaces

The concept of adiabatic surfaces is the main new feature of the test facility. The idea to use adiabatic surfaces was obtained from the Energy Monitoring Company's Test Room 3000 (Martin, 1994), which is a test cell with only a thin layer of insulation against the test room and a cavity on the outside of this insulation. The cavity can be maintained at the same temperature level as inside the test room.

The concept of the test facility was at first developed based on this idea of heated cavities in the exterior surfaces (Jensen, 1997). However, possible in a small one-room test cells this concept is very difficult to establish in a large multi floor test facility – especially if flexibility is the question.

Instead the concept of adiabatic panels was developed. The adiabatic surfaces will be build of easy removable adiabatic panels of an easy to handle size of 2 x 3 m² (width x height). Figure 3 shows an example of the test facilities in its maximum configuration covered with adiabatic panels on all facades.



The panels are mounted on the outside of the steel skeleton and secured to this and each other.

Figure 4 shows the principle of the adiabatic panels. The panels are sandwich constructions of two 35 mm plates of insulation foam with a thin liner of an aluminium sheet on each side. In the middle is a 50 mm air gap which may be ventilated by fans installed in the outer insulation plate in order to remove undesirable heat from the air gap. The panels is designed to have a heat loss coefficient close to the heat loss coefficient defined by the Danish building code: 0.3 W/m²K.

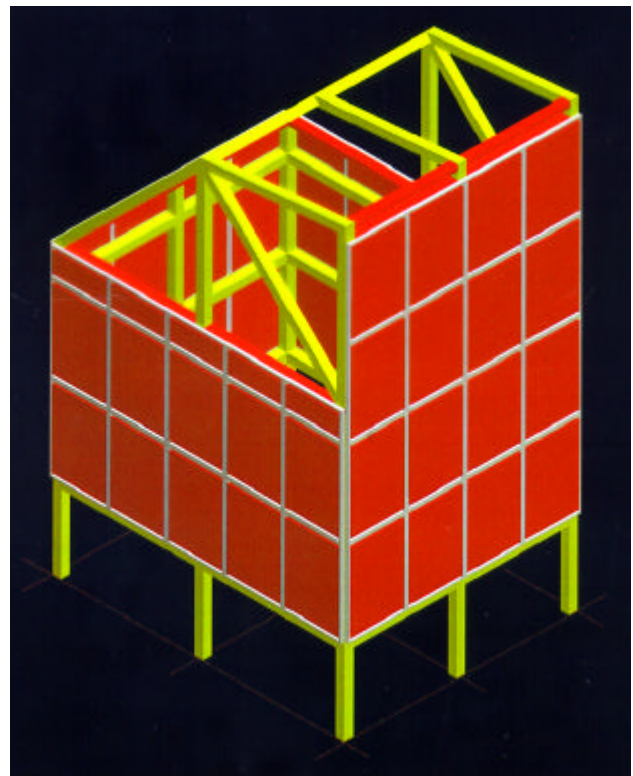


Figure 3. The test facility in its maximum configuration with adiabatic panels on all facades.



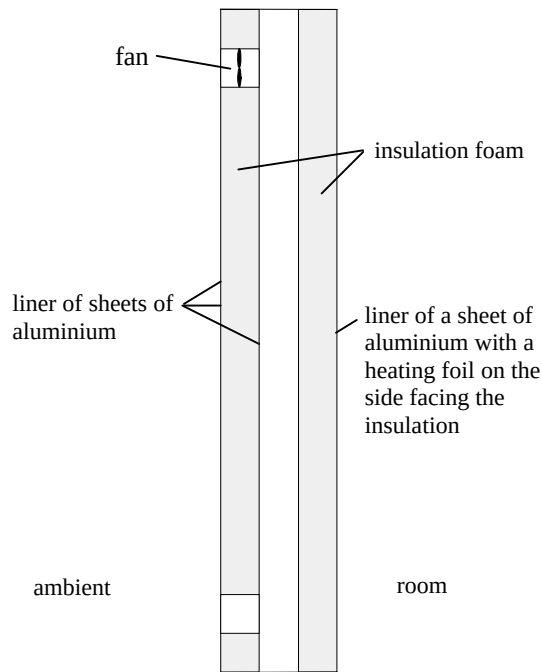


Figure 4. The principle of the adiabatic panels.

Heating foils are – in order to obtain the adiabatic feature of the panels – located on the back side of the aluminium liner facing the room. The temperature of the aluminium sheet facing the room may thus be controlled to a desired temperature as long as it is higher than the ambient temperature. To be able to match the temperature stratification, which may occur in the test room during a test, the four heating foils of the panel – see figure 5 – may be controlled individually.

The panels will act as adiabatic surfaces when the heating foils are controlled so that the surface temperature of the aluminium sheet facing the room is identical to the room temperature of the air just in front of the surface. When it is desirable to perform test with a heat loss through the “adiabatic” panels these can be controlled to create any

given heat loss between zero and the heat loss created with no heat from the heating foils and the air gap flushed with ambient air. The air gap of the panels will also be flushed in the case when solar radiation hits the outer surface of the panels and raises the temperature of the air gap to near room temperature. This will also make the control of the internal surface temperature difficult due to a too low heat loss through the panel.

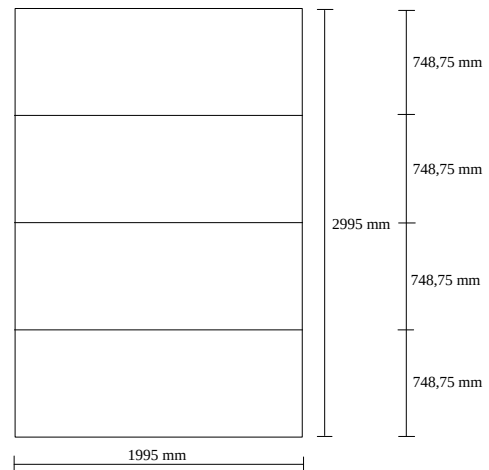


Figure 5. The location of the heating foils of the adiabatic panels. Dimensions without insulation strips.

However, the main problem when creating an adiabatic surface using limited sizes of panels is the cold bridges created by the connections between the panels. Major effort has, therefore, been devoted to develop connections, which will only create neglectable cold bridges. A connection which only create a very small cold bridge has been developed, where the temperature at the connections differs less than 0.2 K from the temperature at the middle of the panels with a identical heat supply at the edge of the panels compared to the middle of the panel. Figures 6-8 show isotherms for a vertical connection, a horizontal connection located in front of a floor partition and a verti-



cal corner under the following conditions: ambient temperature = -12°C , room temperature = 20°C . The 2D thermal calculations was performed using the simulation program HEAT2 (Blomberg, 1997).

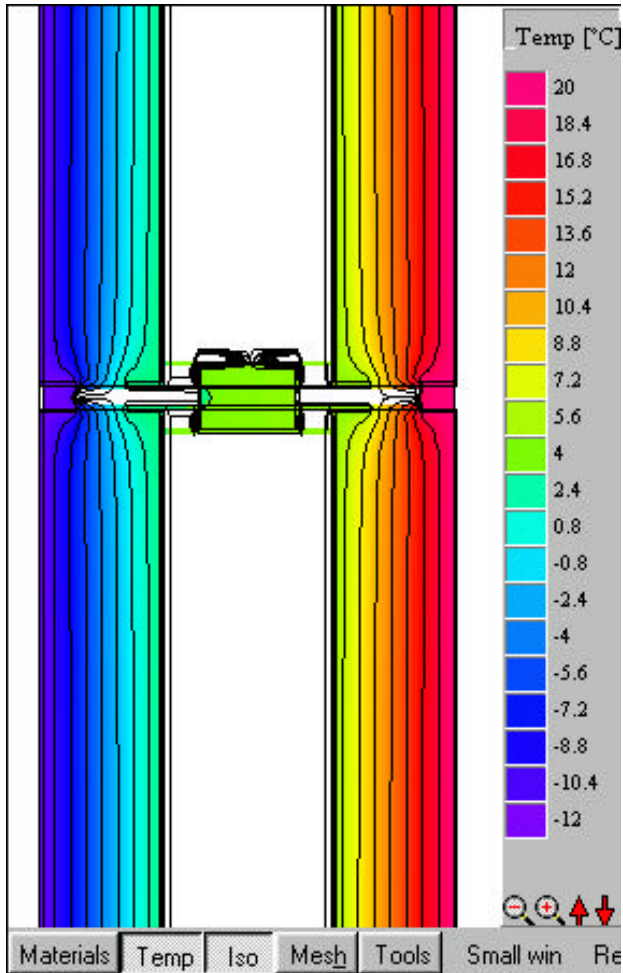


Figure 6. Isotherms for a vertical connection between two adiabatic panels.

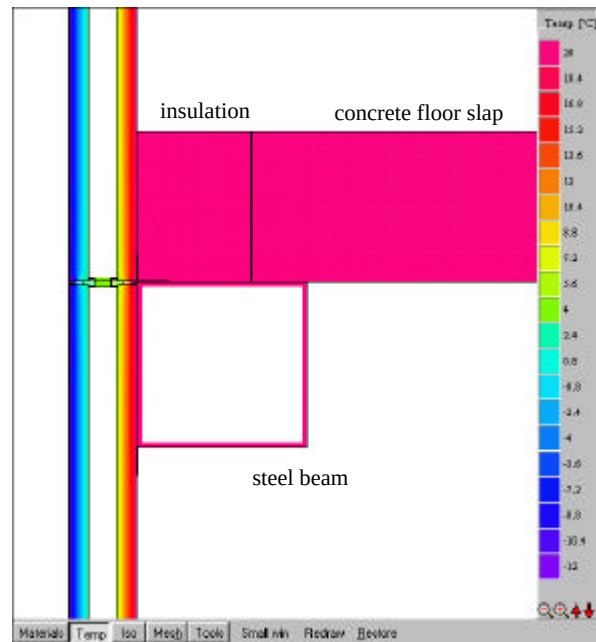
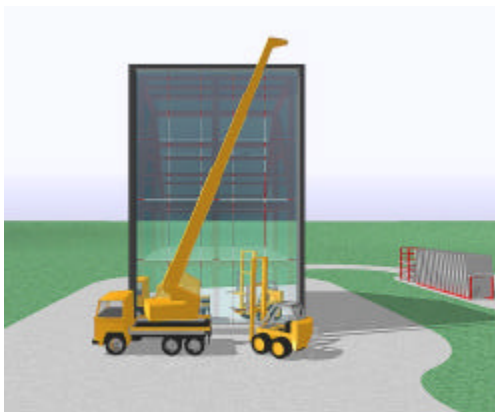


Figure 7. Isotherms for a horizontal connection between two adiabatic panels located in front of a floor partition.

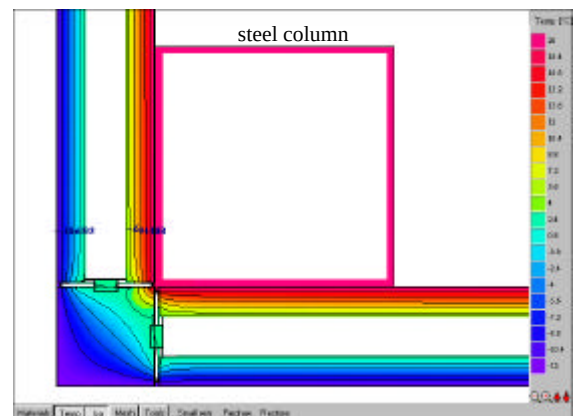


Figure 8. Isotherms for a vertical corner with a corner module and two adiabatic panels.



A more detailed description of the adiabatic panels may be found in (Jensen, 2000).

4.4. Future Work

When writing this paper the final work is being carried out. This involves: how to control the adiabatic panels, the necessary sensor set including measuring system and calculation of the price of the test facility.

After that the work of raising the necessary funding for the erection of the test facility will start.

5. KONKLUSION

It is believed that the developed concept for a test facility for test of building integrated solar energy will form a major breakthrough by really bridging the gap between laboratory tests and real buildings.

It will be possible not only to test the components in a controlled well defined environment where all other thermal processes occurring in a building may be eliminated it will also be possible to introduce these other thermal processes in a controlled way - e.g. gradually in order to gain important information on the interplay between the components and the building. This will lead to more valuable information than if only testing the component detached from the building.

It is believed that the manufacturer, the consultant, the architect, the researcher when using the test facility will be able to maximise the knowledge on building integrated solar energy to a larger extent than possible today. This will lead to better performing components both with regards to energy saving and thermal comfort in the building.

6. ACKNOWLEDGEMENT

The work behind the concept and design of the test facility for testing building integrated solar energy was financed by the Danish Agency for Trade and Industry.

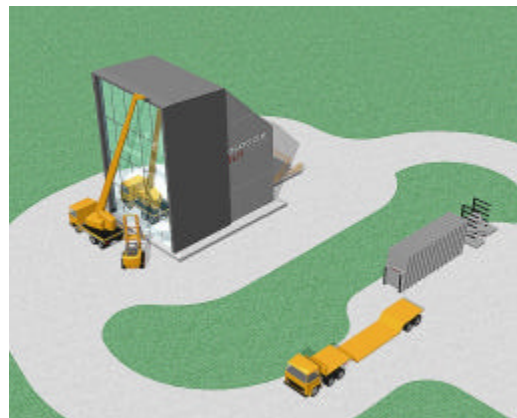
7. REFERENCES

Blomberg T (1997). Thesis, HEAT2 – a two-dimensional heat transfer computer program. Manual for HEAT2. Department of Building Physics, Lund University, Sweden.

Jensen S Ø (1997). Test Facility for Testing Building Integrated Solar Energy – Concept Development. The Solar Energy Centre, Danish Technological Institute Energy Division. ISBN 87-7756-481-2.

Jensen S Ø (2000). Test Facility for Testing Building Integrated Solar Energy – Pre-project (in Danish). The Solar Energy Centre, Danish Technological Institute Energy Division. ISBN 87-7756-577-0.

Martin C (1994). Test Room 3000. BEPAC Newsletter Supplement. Autumn 1994. pp. 9-11.



Appendiks J

Appendikset er ikke tilgængelig elektronisk

men kan rekvireres hos Henriksens Eftf. A/S

Hammerholmen 48

Postboks 1181

2650 Hvidovre

tlf. 36 77 44 11

publikation: TNR 5128835/30.09.00-6.1/HHE-NR: 1103DK 1000

Appendiks K

TESTFACILITET TIL AFPRØVNING AF BYGNINGSINTEGRERET SOLENERGI

Til afprøvning af bygningselementer m.m. opføres hos Teknologisk Institut i Tåstrup en bygning med et grundareal på ca. 80 m².

Selve råhusentreprisen er beskrevet i det efterfølgende og omfatter kort: terrænarbejder, kælder, tag, beklædning af gavltrekanter og stålkonstruktion uden facadebeklædning.

1 Arbejdspladsindretning

Der skal udføres nødvendig arbejdspladsindretning – toilet, skurvogne, lagerplads m.m.

2 Terrænarbejder

2.1 Grundrydning

Grunden ryddes

2.2 Kloakstik

2.2.1 Afløbsledning

Der udføres afløb fra og med gulvafløb i kælder – ø 100 PE til nærmeste afløbsledning (l=50 m / d = 2,5 m)

2.2.2 Regnvand

Der etableres 3 nedløbsbrønde (incl. 1 ved skur) samt afløb fra trappeskakt og herfra forbindes til nærmeste fælles regnvandsledning (ø100 l= 50 m / d=1,5 m)

2.3 Elstik

2.3.1 Stærkstrøm

Der fremføres forsyningskabel fra installation i bygning X til tavle i testhusets kælder (5x? mm (15 kW)/ l= 50 m)

2.3.2 Svagstrøm

Der fremføres svagstrøm (telefon + ca. 10 leder med skærm) fra installation i bygning X til tavle i testhusets kælder (50 m)

2.4 Vandstik

Der fremføres vand (ø 20 PEL) fra installation i bygning X til testhusets kælder (50 m).

2.5 Varme

Der påregnes ikke fremført varme.

2.6 Jordregulering

Muld lægges i depot før arbejdet starter

2.7 Belægninger

2.7.1 Kørevej

Der etableres kørevej til og rundt om testhuset med græsarmeringssten (SF-Promenade t=80 mm / l= 40 m/ b= 2 m)

2.7.2 Oplagsplads

Der etableres oplagsplads ved testhuset med græsarmeringssten (SF-Promenade t=80 mm / l= 10 m/ b= 12 m)

2.7.3 Belægning i skur

Der udlægges små betonfliser (t=50 mm / l= 10 m/ b= 3 m) som gulv i skur

2.7.4 Sti

Der etableres stiforbindelse til testhuset med små betonfliser (t=50 mm / l= 20 m/ b= 1 m)

2.7.5 Græs

Resten (200 m²) af det berørte område reetableres med græs

3 Grundarbejder

Kælderen er hele vejen rundt 1 m bredere end den udvendige omkreds af testfacilitetens bærende stålskelet (se tegning), for at kunne sikre overgang mellem kælder og testvægge.

3.1 Grundudgravning

Udgravning for bygværk og randfundamenter. Efterfølgende tilfyldning og komprimering.

3.2 Pilotering

Forventes ikke

3.3 Fundamenter

3.3.1 Fundamenter

Der etableres randfundamenter og punktfundamenter for bygningsværk incl. trapper m.m.

3.3.2 Terrændæk

Der udføres kapilarbrydende lag, 100 mm isolering med trykfast mineraluld, 100 mm armeret betonplade (skal kunne klare punktlast svarende til 1000 kg/100 cm²) med glattet overflade

3.3.3 Kældervægge

Lågene over den yderste del af kælderen skal skråne ned mod terræn, så vand kan løbe uhindret af. Det betyder, at kældervæggen skal slutte lavere end den nederste stålbjælke i det bærende skelet. Stålbøjlerne, der skal bære væggene, skal slutte i samme højde som kældervæggene, således at undersiden af lågene støtter på kældervægge og stålbøjler. Lågene skal gå længere ud end kældervæggene, så vandet løber udenfor kælderen.

Kældervæggene isoleres med trykfast 100 mm terrænbatts.

3.3.4 Udvendige kælderdek

For at forhindre vandindtrængen i kælderen, skal nogle af lågene (kileformede dæk med isoleret underside) over kælderen ved de adiabatisk flader være udformet med en føringsvej til multilederkablerne fra de adiabatisk paneler – f.eks. et rør med en 180° bøjning på toppen som vist i figur 2.20.

Figur 2.20 viser også et eksempel på en overgang mellem de nederste adiabatisk paneler og ”lågene” over kælderen udenfor det bærende skelet. De nederste adiabatisk paneler skal stå på lågene for at skabe en vandtæt samling på dette sted. Lågene skal skråne ned mod terræn, så vand kan løbe uhindret af. Det betyder, at kældervæggen skal slutte lavere end den nederste stålbjælke i det bærende skelet.

Stålbøjlerne (evt. betonsøjler), der skal bære væggene, skal slutte i samme højde som kældervæggene, således at undersiden af lågene støtter på kældervægge og stålbøjler. Lågene skal gå længere ud end kældervæggene, så vandet løber udenfor kælderen. Udvendig langs kældervæggene skal der derfor være et dræn til at lede nedbør til kloak.

3.3.5 Kældertrappe m.m.

Der udføres kældertrappe som vist på tegning incl. afskærmende rækværk.

3.4 Dræn

Udvendig langs kældervæggene skal der være et dræn til at lede nedbør til regnvandssystem. Drænene samles i en brønd og tilsluttes herfra regnvandssystemet forskriftsmæssigt.

4 Bygningsarbejder

4.1 Betonarbejde

4.1.1 Prefabrikerede betondæk

Huldæk PX 27. En RHS-profil dimension på 300 mm muliggør, at betonhuldækkene kan hvile på de inderste 100 mm, mens der kan etableres en manifold mellem kanalerne i betonhuldækkene og kanalerne i f.eks. et luftsolvarmeanlæg i de yderste 200 mm mellem facaden og betonhuldækkene. Der etableres låse mellem dækelementerne for stabilisering.

Udsparinger medtages – 6 stk. 200x200 mm placeres efter nærmere aftale.

4.2 Facadearbejder

4.2.1 Adiabatiske paneler, leveres og monteres af anden entreprenør

De adiabatisk flader er opdelt i ens 3 m høje og 2 m brede paneler som vist på figur 2.10. De 3 og 2 m er brutto dimensioner inkl. tætningsbånd hele vejen rundt om panelerne. Uden tætningsbånd er dimensionerne 2995 mm høj og 1995 mm bred.

De adiabatisk paneler er opbygget som sandwich-konstruktioner bestående af to isoleringsskiver med en luftspalte imellem – se også appendiks C. Isoleringsskiverne har en metal-liner på begge sider og holdes adskilte ved hjælp af metalprofiler.

4.2.2 Adgangsveje (døre m.m.)

Der leveres og isættes dør i kælder.

I øvrige etager leveres og monteres døre af anden entreprenør

4.3 Tømmerarbejde

Der opstilles lukket skur for opbevaring af facadeelementer (l= 10 m/ b=3 m/ h=3,5 m). Tag har ensidigt fald. Tag og facader beklædes med coatede stålplader (som på testbygning). Der isættes 2 porte.

4.4 Tagdækning m.m.

4.4.1 Tag

Der etableres saddeltag på stålkonstruktionen med eternit (evt. stål)plader på lægter på stålsparrene. Tagkonstruktionen isoleres med 150 mm mineraluld (som A-batts) og beklædes med vandfast krydsfiner.

4.4.2 Beklædning af gavltrekanter og trempel

Facader, der ikke dækkes af elementer beklædes med coatede stålplader. Der isoleres og beklædes indvendigt som ved tag.

4.5 Blikkenslagerarbejde

4.5.1 Tagrender og tagnedløb

Der medtages tagrender på 2 sider af huset samt et nedløbsrør pr tagrende.
På skur opsættes tagrende på en side incl. nedløbsrør

4.6 Smedearbejde

4.6.1 Slidske

Der leveres mobil slidske (l= 1,5 m / b=1 m) som adgangsvej til stuen.

4.6.2 Trapper

Der leveres mobil trappe (h= 3,5 m / b=1 m) som adgangsvej til 1. sal. Materiale alu (evt. galv. stål).

4.6.3 Stålkonstruktioner

Udføres i RHS 300 i h.t. tegninger. Der regnes med malerbehandling korr. klasse 2.
Der medleveres 2 løse tagdele. Vægt incl. samlinger m.m. er beregnet til ca. 30 t.

4.6.4 Stålbøjler til at bære facaderne

Der leveres og opstilles stålbøjler til at bære facaderne i h.t. tegninger. Der ønskes alternativ med betonsøjler.

4.7 Isolering

Der isoleres ikke udover beskrevet tidligere.

4.8 Gulvarbejde

Der udføres ikke gulvarbejde. Betongulve skal dog forsynes med et afretningslag (tyndpuds).

4.9 Malerarbejde

Udføres ikke udover angivet under stålkonstruktion.

5 Installationer

5.1 Sanitetsanlæg

Håndvask opsættes i kælder. Afløb føres til gulvafløb.

5.2 Vandanlæg

Der opsættes vandinstallation med blandingsbatteri for håndvask samt 5 l elvandvarmer. Der opsættes aftapningshane for BK over gulvafløb.

5.3 Varmeanlæg

Udføres ikke

5.4 Ventilationsanlæg

5.4.1 Ventilation i kælder

Der opsættes thyristorreguleret ventilator med modtryksspjæld (kapacitet op til 1000 m³ /h) i væg mod trappeskakt. Luftindtag sker gennem kabelgennemføringer.

5.5 Elinstallation i kælder

Der opsættes grundbelysning i kælder med lysstofarmaturer under loft.
Elvandvarmer og ventilator tilsluttes.

5.6 *Kraftinstallationer*

Der opstilles eltavle med 5 grupper med separate bimålere i kælder.

5.7 *Svagstrømsinstallationer*

Der opsættes 1 tlf. stik og 5 netværksstik i kælder

6 Maskinelt udstyr

Leveres af anden entreprenør

7 Inventar, udstyr

Leveres af anden entreprenør

8 Grundudgifter

Div. bidrag (el, kloak...) – betales af bygherre

9 Omkostninger

betales af bygherre

Teknologisk Institut - Niels Radisch 2000-04-05

I:\byg\87011 test\budget\bygningsdelsbegrivelse



Teknologisk Institut
Gregersensvej
P. O. Box 141
2630 Taastrup

17. april 2000

att.: Niels Radisch

Vedr.: Solenergi-testfacilitet.

Vi har hermed fornøjelsen at fremkomme med overslagstilbud på ovennævnte projekt i hovedentreprise for en samlet pris:

Kr. 2.520.000,- excl. moms

Prisen fremkommer på følgende måde:

1. Terrænarbejder	280.000 kr.
2. Grundarbejder	640.000 kr.
3. Bygningsarbejder	1.560.000 kr.
4. Installationer	40.000 kr.

Der er under prissætningen gjort følgende forudsætninger:

1. Der er under rydning ikke regnet med rydning af bygninger og belægninger.
2. Kloakledningen er regnet liggende i 3,50 m's dybde – under kældergulv.
3. Der er lagt 2 trækrør, et til svagstrømmen og et disponibelt.
4. Rand- og punktfundamenter samt terrændæk udføres støbt på stedet.
5. Kælderydervægge udføres af betonelementer, der afstives af/mod stålbøjler.
6. Kælderydervæggen isoleres og afsluttes med platonplade.
7. Udvendige kælderdæk udføres af betonelementer med skrå overside.
8. Det er forudsat at drænvand kan ledes væk uden pumpebrønd.
9. Tagflader, gavltrekanter og trempelarealer er udført på underlag af Z-profiler uden på stålkonstruktionen. Z-profilerne er udvendigt beklædt med stålplader og indvendigt beklædt med vandfast krydsfiner på membran. Hulrummet er fyldt ud med 150 mm mineraluld.
10. I forbindelse med det ene telefonstik og de 5 netværksstik er der medregnet 5 almindelige 230 V stikkontakter, 10 EDB-230 V stikkontakter, alt sammen placeret i installationskanal. Der er medregnet Rackskab og distributionspanel, HPFI-relæ og tavle.

Vi håber De kan bruge vort overslag og står naturligvis til rådighed med yderligere oplysninger såfremt De måtte ønske det.

Med venlig hilsen

B. Nygaard Sørensen A/S

Palle Willems

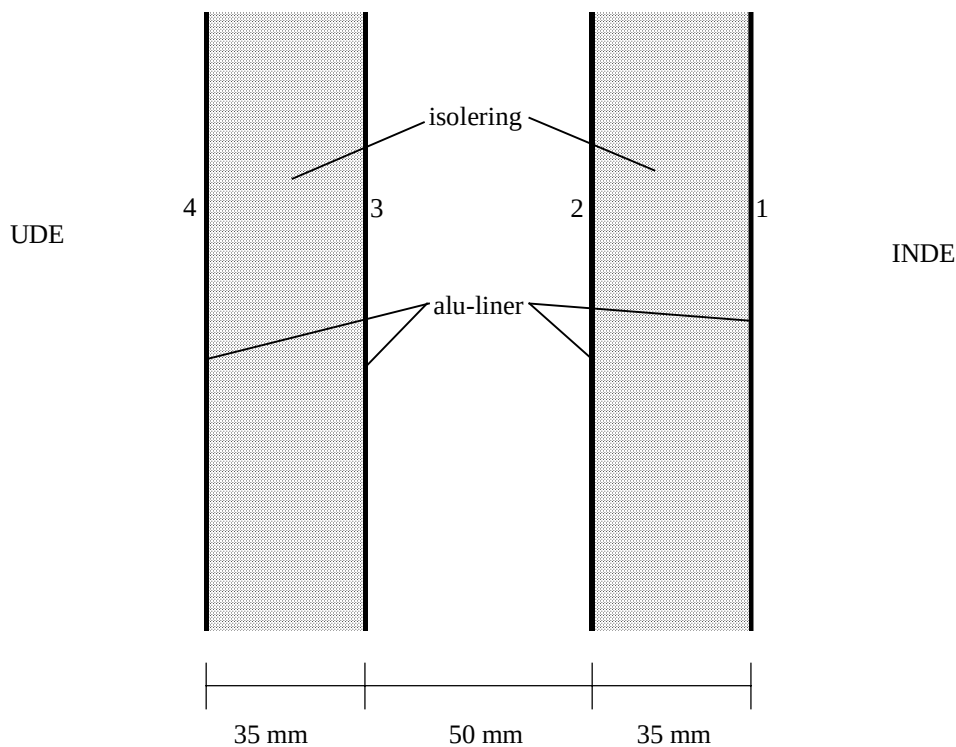
Appendiks L

Opbygning af adiabatisk paneler

Dette dokument beskriver opbygningen af de adiabatisk paneler, som det er tanken at anvende i forbindelse en testfacilitet til afprøvning af bygningsintegreret solenergi. Beskrivelsen skal muliggøre en prisfastsættelse af panelerne.

Der skal mindst produceres 40 paneler.

Panelerne består af to isoleringsskiver med et 50 mm hulrum imellem som vist på figur 1. På begge sider af isoleringsskiverne er der en aluminiumsplade – på tegningen nummereret 1-4.



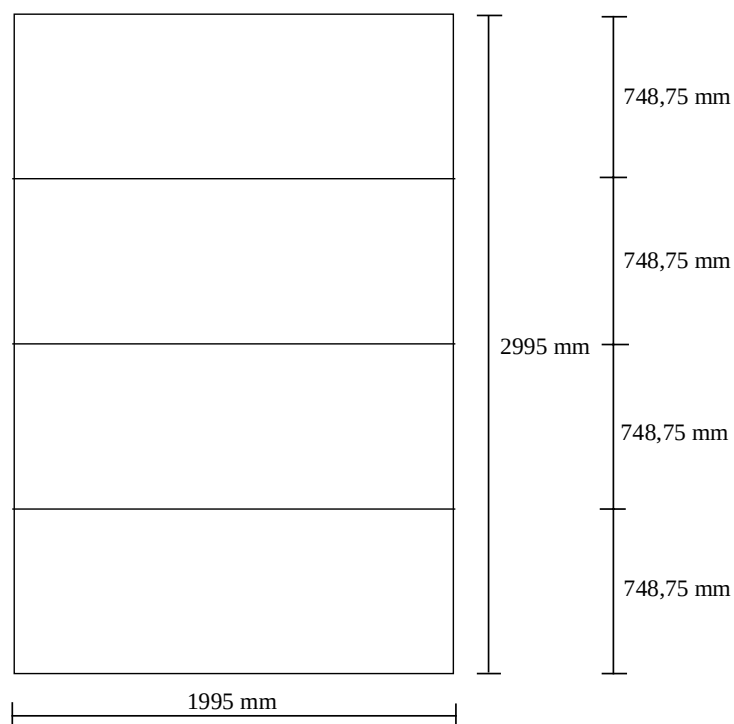
Figur 1. Princippet i opbygningen af de adiabatisk paneler.

Indvendigt består panelerne af en 0,8-1 mm alu-plade (1 i figur 2) med et ombuk på 10 mm hele vejen rundt. Dimensionen af pladen efter ombuk er 1995 x 2995 mm.

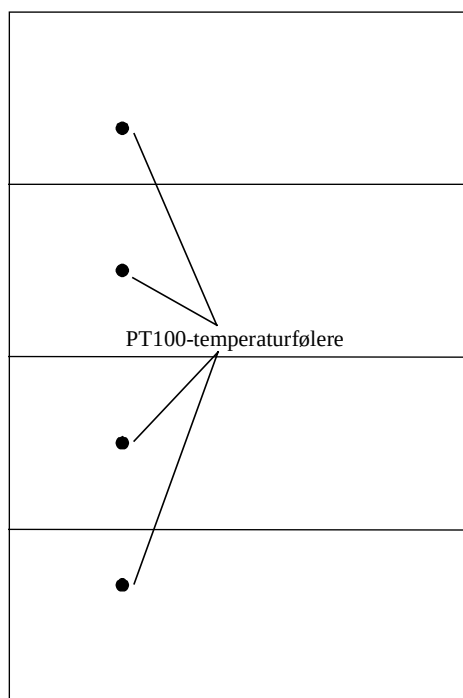
På indersiden af alu-pladen (dvs. mellem ombukkene) skal der limes fire varmemfolier – kun montagen af varmemfolierne skal indgå i priskalkulen ikke selve folien. Figur 2 viser placeringen af folierne. Folierne skal placeres præcist.

På hver folie skal der på udpegede steder pålimes 2 PT100-temperaturfølere med en dimension på 5 x 25 mm. Figur 3 viser den vertikale placering af PT100-følerne på de fire folier. Placeringen af PT100-følerne på folierne er ens for de to midterste folier og forskellige for den øverste og nederste.

De to PT100-temperaturfølere er på forhånd loddet sammen med et 4leder-kabel. Desuden er der for hver varmemfolie et 2leder-kabel.



Figur 2. Placeringen af de fire varmefolier på den indvendige alu-liner.

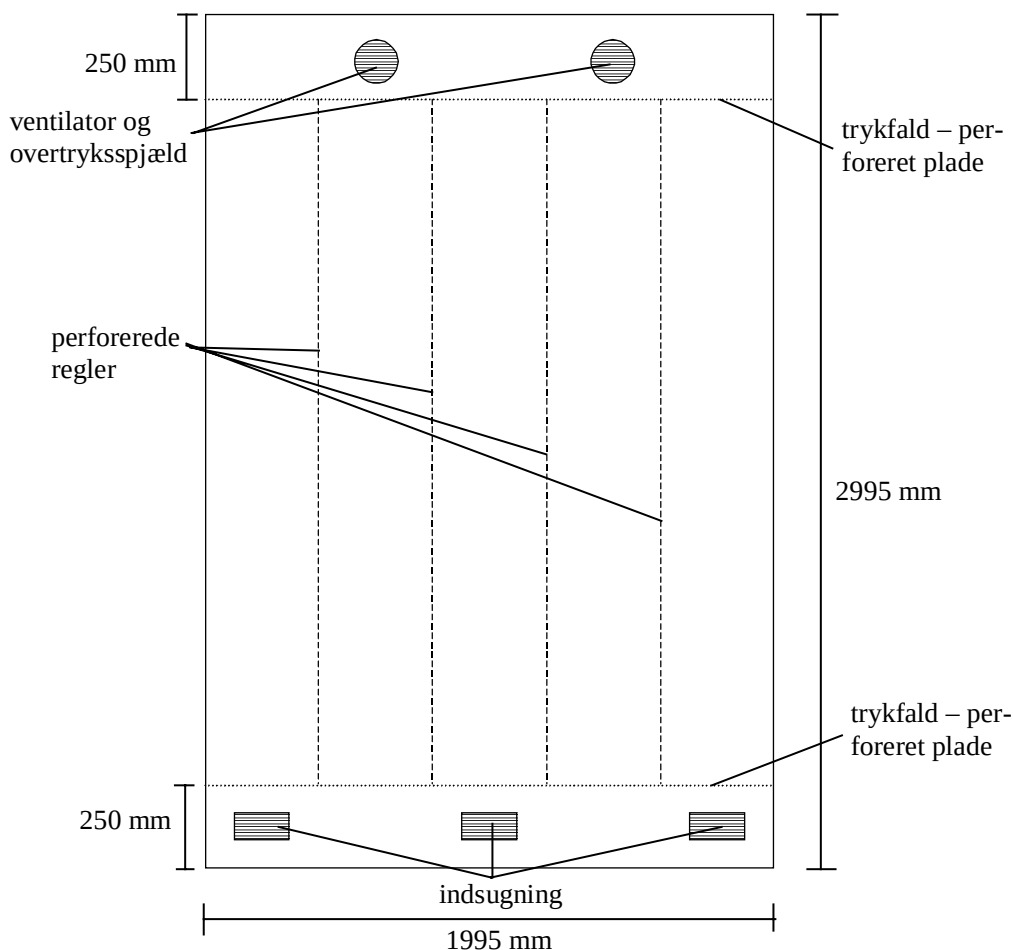


Figur 3. Den horisontale placering af PT100-temperaturfølerne på varmefolierne.

Oven på varmefolierne skal der limes 35 mm skumisolering med en varmeledningsevne på 0,022 W/mK (polyurethanskum). I tilfælde af en højere varmeledningsevne skal skumisoleringen tilsvarende være tykkere. Hvis isoleringen ikke kan opbygges som en ubrudt skive, skal isoleringen opbygges af flere lag med forskudte samlinger.

De ovenfornævnte fire 4leder-kabler og fire 2leder-kabler skal føres gennem skumisoleringen og den alu-plade, der skal limes ovenpå skumisoleringen (2 i figur 1). Denne alu-plade er identisk med alu-pladen på indersiden bortset fra hullerne til kabelgennemføringerne.

Mellem alu-plade 2 og 3 i figur 1 skal der være et hulrum på 50 mm. Hulrummet skal oprettholdes af perforerede regler af aluminium. Placeringen af alu-reglerne er vist i figur 4.

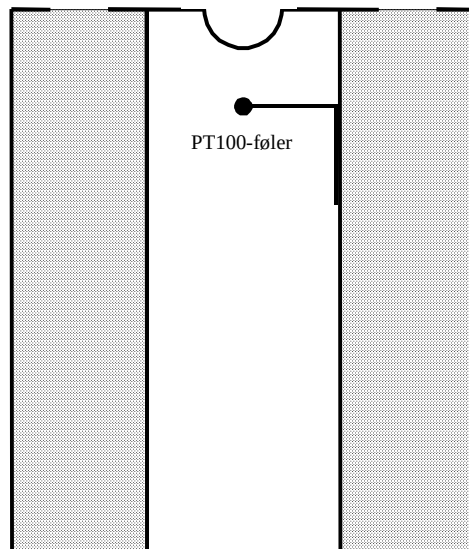


Figur 4. Alu-regler til opretholdelse af hulrummet mellem de to isoleringsskiver.

Antallet og den præcise udformning af alu-reglerne er endnu ikke endeligt fastlagt. Prissætningen kan tage udgangspunkt i 4 lodrette alu-regler med en stor grad af perforering, der starter og slutter 250 mm fra top og bund af panelerne. Reglerne skal være U-profiler for at danne anlæg til limningen mellem alu-reglerne og de to alu-plader. De tværgående regler skal have en mindre grad af perforering for at danne tryktab for luftstrømningen. Disse to regler skal slutte tæt til de to alu-plader samt til kantprofilerne.

I toppen af hulrummet skal der placeres 2 PT100-termofølere midt i hulrummet på en vinkel limet på den indvendige alu-plade som vist i figur 5. Fra disse to følere vil der som for følerne på varmefolierne være et 4leder-kabel. Desuden skal der være et 2leder-kabel til at forsyne ventilatorerne med el.

De fem 4lederkabler og fem 2lederkabler skal føres gennem den yderste isoleringsskive.

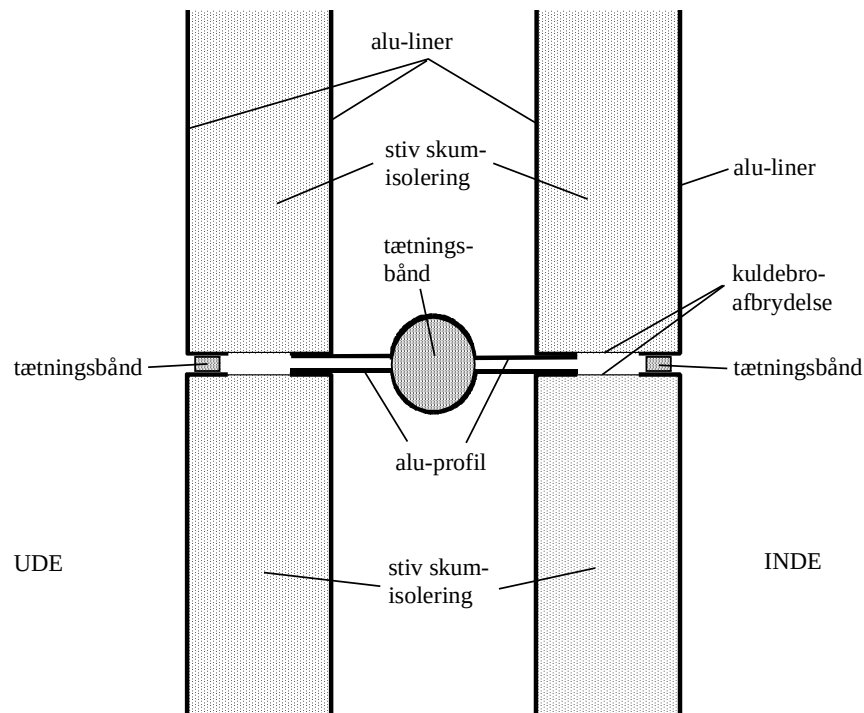


Figur 5. Placeringen af 2 PT100-følere i toppen af elementerne.

Den yderste isoleringsskive opbygges i princippet som den inderste isoleringsskive bortset fra, at der ikke er varmemolier, men i stedet et endnu ikke fastlagt antal udstandsninger til ventilatorer i toppen og indsugninger i bunden af panelerne.

På ydersiden af panelerne skal de 10 kabler munde ud i en samleboks, som er i direkte forbindelse med en kabelbakke, der går fra top til bund midt på ydersiden af panelerne.

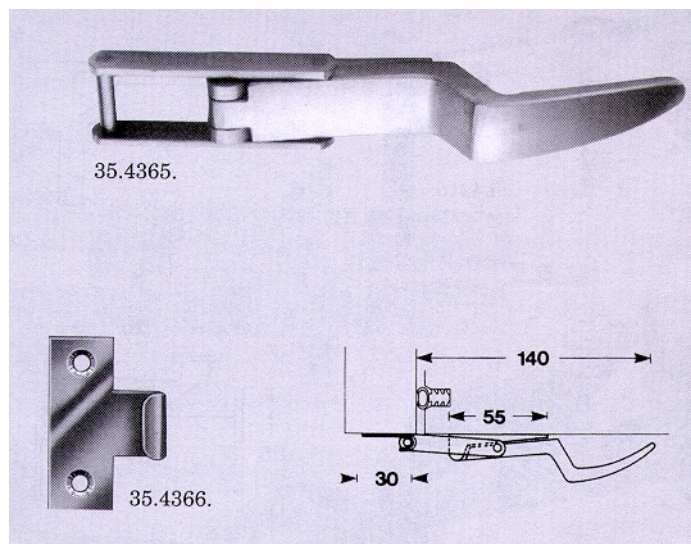
Langs kanten skal panelerne afsluttes med et kantprofil med en indadgående vulst. Hjørnerne, hvor kantprofilerne mødes, skal være tætte,. Kantprofilet er vist i figur 6. Desuden skal der monteres tætningsbånd – ligeledes vist i figur 6.



Figur 6. Kantprofil.

Panelerne skal på inder- og yderside være hvide. De hvide overflader skal helst være smuds-afvisende og lette at rengøre.

For at sikre at samlingerne mellem panelerne er tætte, skal panelerne kunne presses sammen ved hjælp af spændebeslag som vist på figur 7. Udvendig skal der være spændebeslag langs både lodrette og vandrette kanter, mens der indvendig kun skal være spændebeslag langs de lodrette kanter. Antal af spændebeslag skal fastlægges. Spændebeslagene skal limes på den indvendige og udvendige alu-liner



Figur 7. Eksempel på spændebeslag til sikring af lufttætte samlinger mellem de adiabatiske paneler.

Der skal desuden monteres øjer på ydersiden af panelerne, der muliggør løft med kran. Hvor øjerne placeres, skal den udvendige overflade forstærkes, så panelet ikke lider skade ved løft.

Sandwichpaneler til køle-, fryse- og industrihuse



SolEnergiCentret
Att.: Søren Østergaard Jensen
Gregersensvej
Post Boks 141
2630 Taastrup

Ambolten 33
DK 6000 Kolding
Tlf. 75 53 33 66
Fax 75 52 81 42

Deres ref.:

Vor ref.: MKA/km

Dato: 31.05.2000

TILBUD NR. 20156.

Vedr.: Adiabatisk paneler
Ref.: Dit brev af 08.05.2000.

Hermed fremsendes som lovet overslagspris på de beskrevne elementer. Jeg har prøvet at tage alt hvad du har nævnt i beskrivelsen med, undtagen spjældene (5 stk - vi laver huller) og lukkemekanismen, (spænde-beslagene, som jeg dog har regnet med at montere.

Dvs. jeg har medtaget det følgende, idet forudsætningen er 40 stk. dobbeltpaneler L x B = 2995 x 1995 mm.

- Vi leverer alle materialer (alu + PU) og fremstiller enkelt-kassetterne (LxBxt) 2995x1995x35 mm.
- Vi pålimer varmemefolie og monterer Pt100 følere (disse dele incl. kabler leveres af jer !).
- Vi fremstiller og leverer alu.regler - 4 lodrette og 2 vandrette.
- Vi samler to enkeltelementer med alu.regler, osv. som beskrevet.
- Vi leverer og monterer særlige sideprofiler med vulst.
- Vi lokker/udskærer de særlige huller for indsugning/overtryk.



- Vi monterer lukkemekanismerne osv.

Dvs. i vor kalkulation har vi søgt at tage alt det med, som vi umiddelbart kan se inklusiv en diversepost, idet det er lidt vanskeligt for os f.eks. at fastsætte den tid, det tager for at montere alt, hvad der har med EL at gøre. Hullerne, vi laver, for ledninger o.lign. regner vi f.eks. med skal monteres med bøsninger o.lign., så ledningerne ikke skades osv.

- Har du spørgsmål til mig desangående bedes du ringe.

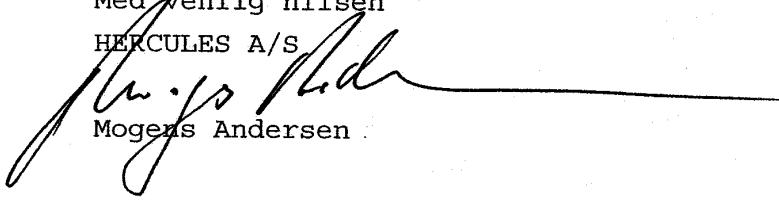
Prisen jeg har kalkuleret mig frem til er excl. moms 11.600,- kr pr. stk.

Leverings- og betalingsbetingelser.

Levering:	Ab fabrik, Kolding.
Leveringstid:	Ca. 6-8 uger.
Emballage:	Let standard incl.
Priser:	Gælder excl. moms.
Betaling:	30 dage netto.

Med venlig hilsen

HERCULES A/S


Mogens Andersen

KANTHAL

Tilbud

Til: Søren Østergård Larsen
Firma: Dansk Teknologisk Institut
Telefax: +45 43-587222

Fra: Ole Rafn Nielsen
Afd.: Kanthal Norden AB
Telefax: +45 87-360066

Dato: 15/12/99
Nr: orn11908
Side: 1

Ang.: "Klimavæg"

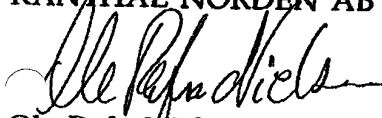
Herved har vi fornøjelsen i henhold til behagelig samtale med Dem at tilbyde følgende til ovennævnte:

Lin	Kvant	Tekst	Dimension	DKK/enhed	Tot. Pris
1	160 st	Folie elem. 45W 24V Opbygning 0,190 mm polyester/0,035 mm Cu/ 0,88 mm polyeten/polyester Incl. mont. 2 stk. PT 100, lev. af DTI 5 x 2000 mm PVC ledning. Prisen er uden selvklæber!	750 x 2000 mm Silikonelap o. terminal	856,25	137 000,00

Værdi, netto: DKK 137 000,00
Gyldig til: 14/03/2000
Lev. vilkår: Albif 83
Lev. betingelser: DDP Destinationsort, Incoterms 1990.
Bet. betingelser: 30 dage netto efter fakturadatum
Transp. måde: Bil/Dantranspo
Leveringstid: 7-8 arbejdsuger efter ordre.

Vi håber De finder vort tilbud attraktivt og ser gerne frem til Deres ordre. Er der behov for yderligere information, så tøv ikke med at kontakte os.

Med venlig hilsen
KANTHAL NORDEN AB


Ole Rafn Nielsen

KANTHAL Norden AB
Hammerholmen 48
2650 Hvidovre

Telefon
36-786600 (København)
86-290290 (Jylland)

E-mail/Internet
annie.laerke@kanthal.dk
ole.rafn.nielsen@kanthal.dk
info@kanthal.se
www.kanthal.dk



INDVIK company

Søren Østergaard Jensen

From: Ole Rafn Nielsen [ole.rafn.nielsen@kanthal.dk]
Sent: 10. januar 2000 15:49
To: Søren Østergaard Jensen
Subject: Re: Klimavæg

Godt Nytår!

Tak for din mail vedr. varmemfolien, jeg kan oplyse, at prisen for klæber vil være ca. + 100,00 kr. pr. element.

mvh

Ole

Appendiks M

15 NOV. 2000

PROMATIC

Farum d.13-11-2000

Teknologisk Institut Energi
Gregersensvej
P.O. Box 141
2630 Tåstrup
Søren Østergaard Jensen

Jeg har skruet nogle priser sammen der er baseret på følgende oplysninger:
Systemet består af:

Paneler:

120 x 2 PT100
160 x 1 Analog ud
40 x 2 digitale udgange

Dataopsamlingssystem

60 x 2 PT100
8 x 2 mV indgange
8 x 2 mA indgange
8 x 2 V indgange

Systemet forudsættes opbygget som inline system.

Følgende komponenter benyttes:

Interbus:

1 stk. isa-fc PC kort	6.258,00 kr.
1 stk. opc server licens	2.198,00 kr.
4 stk. ILC200 decentrale stylinger a' 4425,95	18.344,00 kr.
4 stk. interbus inline stiksæt a' 160,05	640,20 kr.
4 stk. strømforsyning a' 1747,00	6.988,00 kr.
4 stk. interbus inline busterminal a' 670,60	2.682,40 kr.
4 stk. interbus inline stiksæt a' 39,80	159,20 kr.
44 stk. interbus inline terminal med stik a' 1.072,95	47.209,80 kr.
160 stk IBIL ao1/SF m.stik 0-20 mA analoge a' 1157,45	185.192,00 kr.
40 stk. IBIL 24do2-2A m. stik a' 375,50	15.020,00 kr.
180 stk. IBILtemp2 m. stik Pt100 indgange a' 1506,20	271.116,00 kr.
16 stk. IBIL analog ind a' 1363,10	21.809,00 kr.
8 stk. IBIL analog ind mV a' 1506,20	12.049,60 kr.
Diverse afdækning og opmærkning	3.000,00
Samlet Interbus	592.666,20 kr.

Special moduler:

160 stk. Modul for varmetæpper 50 W a' 1100	176.000,00 kr.
---	----------------

PROMATIC

160 stk. strømforsyning for do. a' 350,00	56.000,00 kr.
160 stk. kasser for do. komplet monteret a' 375,00	60.000,00 kr.
40 stk. kasser for interbus moduler komplet monteret a' 400	16.000,00 kr.

Overvågning:

IGSS overvågningssystem 1000 elementer enkeltbruger	67.500,00 kr.
Winpacer for udsending af alarmer til SMS eller OPS e.l.	12.000,00 kr.
Samlet pris software	79.500,00 kr.

Computer for dataopsamling:

HP Pentium III	
Min 128 MB Ram 17" skærm komplet	16.000,00 kr.

Engineering:

280 timer a' 500 kr.	140.000,00 kr.
----------------------	----------------

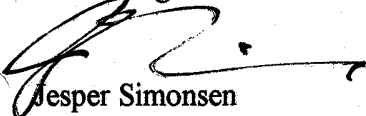
Montage:

Tilbud indhentes hos ekstern leverandør når sagen er yderligere specificeret.

Alle priser er ekskl. Moms

Levering efter aftale.

Med venlig hilsen



Jesper Simonsen

Promatic

Telefon 40795257 / 44959257