

HOLDBARHEDSPRØVE AF SOLFANGERE MED FUNKTIONSKONTROL VED CYKLISKE PÅVIRKNINGER

Ole Holck



RAPPORT
R-012
1997

ISSN 1396-4011
ISBN 87-7877-011-4

INSTITUT FOR BYGNINGER OG ENERGI
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET



Forord

Arbejdet, som er beskrevet i denne rapport, koncentrerer sig om udvikling af en holdbarhedsprøve af solfangere ved cykliske påvirkninger. Dette indebærer dimensionering og opbygning af prøvestand til samme formål.

Projektet er støttet af Energistyrelsen med 70 % af projektets budgetterede omkostninger. IBE's egenfinansiering er væsentlig større end budgetteret, dette skyldes at der ved opbygningen af prøvestand ikke er bygget videre på det eksisterende udstyr som forudsat i budgettet.

Projektets journal nr. er 51181/94-0078.

Projektet har til formål at udvikle en hurtig holdbarhedsprøvning til brug ved udviklingsarbejde. Specielt lægges der vægt på, at materialernes indbyrdes påvirkninger bliver afprøvet. Hensigten er, at erfaringer med prøvning ved cykliske påvirkninger kan benyttes ved udarbejdelse af rekommanderede testprocedurer for holdbarheds prøver, men også i væsentlig grad til gavn ved udviklingsarbejdet med solfangere.

Omfattende arbejde med opbygning og implementering af prøvestand for cykliske påvirkninger er udført. Prøvningsmetoden er prøvekørt på et eksperimentelt plan, hvorfor inddragelse af fabrikanten med henblik på deres kommende produkters tekniske forhold af solfangere, ikke har været aktuel. Inddragelsen af fabrikanten forventes i kommende projektsammenhæng og i forbindelse med assistance direkte til de enkelte fabrikanten. Projektet er indledningsvis koordineret med det beslægtede projekt hos Prøvestationen for Solenergi på DTI (51181/94-0083), og en fortsat dialog med Prøvestationen forventes ved de fremtidige test med cykliske prøvninger på hele solfangere.

Sammenfatning.

Rapporten lægger op til, at der indgås aftaler om samarbejde imellem fabrikanten og Institut for Bygninger og Energi med henblik på udnyttelse af klimasimulatorens muligheder inden for udviklingsarbejde. Ligeledes lægges der op til samarbejde med Prøvestationen for Solenergi om udvikling af prøvningsmetoder.

Klimasimulatorens specifikationer er opstillet, og der er gjort rede for de overvejelser, som ligger til grund for opbygningen af prøvestanden.

Der er i rapporten en detaljeret gennemgang af klimasimulatorens opbygning og tekniske data.

Endeligt er der beskrevet de indledende prøvninger, som er foretaget med en solfanger fra Fyens Solvarme, og til sidst procedureforslag til en prøvning af solfangerens kondensrisiko og til en prøvning af solfangeren ved cykliske påvirkninger.

Indholdsfortegnelse.

Forord	1
Sammenfatning.	1
Indholdsfortegnelse.	2
Indledning.	4
Formål.	5
1. Holdbarhedstest.	6
1.1 CEN/ISO standardtestprocedurer for solfangeres holdbarhed.	6
1.2 Fornyelser af standardtestprocedure for solfangeres holdbarhed.	6
2. Indledende betragtninger.	7
2.1 Forslag til prøve opstilling.	7
2.2 Forundersøgelser.	9
3. Beskrivelse af klimasimulatoren. CLISIM	10
3.1 Regnsimulering.	13
3.2 Simulering af solbestråling	16
3.3 Simulering af himmeludstråling.	19
3.4 Mekanisk påvirkning af dæklaget	20
3.5 Simulering af vindpåvirkning og luftfugtighed.	22
4. Specifikationer af simulerede klimapåvirkninger.	24
4.1 Regnpåvirkning.	24
4.2 Befugtning af luft.	24
4.3 Solbestråling inkl. UV stråling.	25
4.4 Varmeudstråling.	25
4.5 Vindpåvirkning.	25
4.6 Temperatur	25
5. Funktionskontrol af solfangeren.	26
6. Indjustering.	27
7. Prøvning.	29
7.1 Prøvning af solfanger fra fyens solvarme	29
7.2 Procedure for prøvning af solfangerens kondensrisiko	33
7.3 Procedure ved prøvning af solfangeren ved cykliske påvirkninger	35
8. Afsluttende betragtninger.	37

App 1. Tekniske data for prøvestand.	
App 2. Oversigt over standarder og relevant literatur	
App 3. EuroSun'96 paper	
App 4. Tegning af lampepositioner	

Indledning.

Kvalitetssikring er en af indsatsområderne i solenergiudvalgets handlingsplan. For at sikre den høje standard inden for dansk solvarme er det vigtigt, at vi har et stærkt forskningsmiljø inden for feltet, som kan supplere udviklingen og sikre den høje kvalitet.

Inden for den nu-værende godkendelsesordning indgår standardiserede materiale- og holdbarhedsprøvninger. Solfangeres driftssikkerhed er deres evne til at kunne fungere og modstå ekstreme belastninger. Solfangeres holdbarhed er deres evne til at kunne bevare deres egenskaber, herunder driftssikkerhed. Driftssikkerhedsproblemer er f.eks. dækklag, der blæser af i stormvejr. Holdbarhedsproblemer er f.eks. svigtende vedhæftning af fuger, der gør solfangerkassen utæt og fører til korrosionsskader. I forbindelse med udvikling af solfangere er holdbarheden den vanskeligste egenskab at bestemme.

For ikke at gro fast i eksisterende og måske mangelfulde standardiserede prøvninger er det vigtigt, at der inden for forskningsmiljøet foregår undersøgelser af eventuelle forbedringer eller fornyelser af prøverne, som kan føre til fornyelser inden for de standardiserede prøvninger. Derfor er der på Institut for Bygninger og Energi gjort fremskridt i form af udviklingen af en klimasimulator, hvori en hel solfanger kan udsættes for cykliske påvirkninger.

Holdbarheden af en solfanger kan kun vurderes på grundlag af egenskaberne af de materialer, der indgår i solfangeren. Selv om materialerne hver for sig har gode holdbarhedsmæssige egenskaber, er der mange usikkerheder m.h.t., hvordan materialerne virker sammen og hvilke forhold, der opstår i solfangerkonstruktionen.

Prøvninger i klimasimulatoren vil kunne supplere de tiltag, der på prøvestationen for solenergi er gjort med hensyn til accelererede ældningsforsøg for enkelte materialeprøver fra solfangere.

Klimasimulatoren er velegnet til kondensundersøgelser, og ved at benytte sig af cykliske påvirkninger af prøveemnet vil vi kunne få elimineret risikoen for uheldig sammensætning af materialer, som med tiden kan nedsætte solfangerens anvendelighed. Klimasimulatoren kan tillige udføre holdbarhedsprøvninger efter de gældende CEN-standarder.

Det relaterede projekt vedrørende mikroklima i solfangere "Deltagelse i IEA arbejdsgruppe vedr. solfangeres holdbarhed 51 181/97-0015" supplerer til en succesfuld udvikling inden for holdbarhedsprøvninger af solfangere. Klimasimulatoren vil kunne skabe opmærksomhed i udlandet og gavne fortsat samarbejde på internationalt niveau inden for området.

Udeklimasimulatoren vil også mere generelt kunne benyttes ved undersøgelser af bygningsdele m.h.t. holdbarhed, kondensproblemer, varme- og fugtforhold.

Formål.

Formålet er at supplere de eksisterende driftssikkerhedsprøvninger med en holdbarhedsprøvning i form af en accelereret ældning af hele solfangeren med samtidig løbende funktionskontrol.

Målet er at udvikle en indendørs prøvemethode, hvor solfangeren skiftevis udsættes for solstråling inklusive UV-bestråling, regn, vind og varmeudstråling. Samtidig foretages der ved måling af temperaturer og inspektion en løbende kontrol af solfangerens funktion. Eksempelvis vil nedbrydning af fugens vedhæftning p.g.a. UV-stråling, termiske bevægelser og mekaniske belastninger, blive set i form af manglende regntæthed.

Det, at solfangeren skiftevis udsættes for solbestråling, vindpåvirkning og varmeudstråling, vil afsløre en eventuel kondensfælde, hvor der sker en ophobning af fugt i solfangeren. Prøvningen vil derfor i tillæg give vigtig viden om solfangerens kondensforhold.

Prøvningen skal kunne udføres på 30 dage, og vil p.g.a. de ensartede forhold kunne sammenlignes med efterfølgende prøvninger af forbedrede prototyper. Herved vil solfangerfabrikanterne få en mulighed for at kontrollere solfangernes holdbarhed, før de markedsføres.

Holdbarhedsprøvningen vil kunne kombineres med driftssikkerhedsprøvningen, og derved vil merudgiften for holdbarhedsprøvningen være beskedent.

Projektet har til formål at udvikle en hurtig holdbarhedsprøvning til brug ved udviklingsarbejde, og vil dermed kunne supplere de eksisterende driftssikkerhedsprøvninger og holdbarhedsprøvninger. Projektet er koordineret med det af PST planlagte arbejde på området.

Projektet indebærer opbygning af en prøvestand, der kan simulere udeklimaets påvirkninger på bygningsdele og dermed muliggør undersøgelser af påvirkningernes indflydelse på bygningsdelene.

Af bygningsdele, som kan komme på tale som prøvningsemne, kan nævnes solfangere, solvægge, glastage, glasvægge, vinduer, mur og tagkonstruktioner inkl. efterisoleringssystemer.

1. Holdbarhedstest.

1.1 CEN/ISO standardtestprocedurer for solfangeres holdbarhed.

De gældende normer på områdets holdbarhedstest af solfanger, er dækket af draft udgaver af dels ISO standarder og dels CEN standarder. Prøvningsprocedurer, som er medtaget, dækker over følgende tests:

- Trykprøvning,
- Bestemmelse af stagnationstemperatur,
- Stagnationstest,
- Udvendig termisk chok
- Indvendig termisk chok
- Regntæthed
- Frysetest
- Vandaltest

For nærmere beskrivelse af procedurerne henvises til de originale standarder eller til rapporten fra Prøvestationen for Solenergi "Solfangeres holdbarhed - metoder og anvendelighed."

Formålet med at udsætte en solfanger for alle disse test er at undersøge solfangeren for dens evne til at modstå det vejrlig, den udsættes for efter installation. Efter en årrække vil der derimod kunne opstå en forringelse af solfangerens modstandsevne, som ikke har kunnet ses ud fra prøvningsresultaterne.

1.2 Fornyelser af standardtestprocedure for solfangeres holdbarhed.

Som supplement til de eksisterende holdbarhedstest, kan det være nyttigt at udvide med test, som indeholder en ældning af solfangeren.

Ved samtidig at føre funktionskontrol er det hermed muligt at karakterisere solfangerens evne til at modstå vejrliget på længere sigt, og give viden om solfangerens levetid.

For at kunne udføre sådanne prøver er der på Institut for Bygninger og Energi opbygget en prøvestand, som foruden udførelse af de gængse testprocedure kan udsætte solfangeren for cykliske påvirkninger med mulighed for jævnlig funktionskontrol. Disse prøver vil være til gavn ikke blot for den videre forskning men også til stor hjælp, når instituttet skal bistå fabrikanterne i deres udviklingsarbejde.

2. Indledende betragtninger.

2.1 Forslag til prøve opstilling.

Som udgangspunkt ved projektets start, var der forventninger til, at den eksisterende prøvestand for driftssikkerhed kunne benyttes til videre udbygning og fornyelse, således at prøveemnerne tillige her kunne udsættes for solstråling inkl. UV-bestråling og varmeudstråling.

Ved den nærmere gennemgang af mulighederne for benyttelse af den eksisterende prøvestand konkluderedes endeligt, at ønskede specifikationer ikke kunne tilgodeses, og at det derfor ville kunne betale sig at starte forfra med en ny prøveopstilling.

Indbygning i eksisterende udstyr.

Ideen var at bevare den oprindelige konstruktion med regnsimuleringsanlæg og lufttryks cylindre til mekanisk belastning af dæklaget. Plastsiderne skulle erstattes med glas, som her er belagt med hård lavemmissionsbelægning, og lyskilder og køleflade anbringes hensigtsmæssigt.

De løsninger, som blev bragt på bane, indeholdt forslag med køleflader imellem lamper eller køleflader ned langs væggene i klimakammeret, men løsningerne blev enten meget komplicerede eller utilstrækkelige. Et gennemgående problem ved benyttelsen af eksisterende udstyr, er, at de nye faciliteter kræver et tæt klimakammer for at kunne styre luftens fugtighed. Lamperne derimod ønskes anbragt uden for klimakammeret for at undgå tilstedeværelsen af fugt.

Design af ny prøvestand.

Efter at have forkastet mulighederne for at udbygge den eksisterende prøvestand, er mulighederne for nyt design utallige. Der skal tages hensyn til prøvestandens funktioner, men også til mulighederne for en fornuftig anbringelse på instituttets areal. Desuden er det vigtigt, at projektet ikke fordyres yderligere, end der allerede var udsigt til på grund af forkastelsen af ideen om benyttelse af den eksisterende prøvestand. Det blev endeligt besluttet at den nye prøvestand skulde være at finde i instituttets prøvehal og at størrelsen af prøveemnet begrænses til dimensioner på maksimalt 3000mm x 1300mm x 300mm.

Ud fra de overvejelser, der var gjort med hensyn til udbygning af den gamle prøvestand, var det klart, at det nye design skulle indebære, at ikke alle klimapåvirknings funktioner samtidig installationsmæssigt skulle være til stede i klimakammeret.

Statens Byggeforskningsinstitut benytter sig af to systemer. En kaldet "De fire årstider" hvor prøveemnet drejer i en karrusel imellem fire sider. Tre af siderne vender ud mod tre bokse med hver sin klimafunktion, den fjerde side er åben ud mod laboratorie-klimaet. Den nye klimasimulator på SBI består af en indeklimakasse og en udeklimakasse. Udeklimakassen har klimafunktioner som lys, varme, regn og nedkøling. Systemet virker som rullefogne som sammenkobles.

En løsning med en form for karrusel blev forkastet, da der specielt for solfangere er brug for at have prøveemnet anbragt i forskellige vinkler - for eksempel med den korte side vandret og den lange side i en vinkel på 30° fra vandret.

Her på stedet blev der set på løsningsforslag, hvor kunstig-sol og nathimmel blev holdt adskilt. Dette kan gøres, ved at sol og nathimmel er i hvert sit rum og selve klimakammeret med vind- og vandinstallationer flyttes fra ét rum til et andet rum. En anden løsning er at lysarrangementet flyttes til en side eller deles på midten, så halvdelene går til vær sin side.

IBE's endelige koncept blev en "alt i en" løsning med nathimmel-kølefladen på et forskydeligt plan, således at sol og nathimmel ikke samtidig danner omgivende flader for klimakammeret.

Solfangeren skubbes ind fra den ene ende, bund og sider er vandtætte, og låget i klimakammeret er af teflon. Køleflade og lysarrangement er monteret i et separat bæresystem.

2.2 Forundersøgelser.

Af hensyn til udførelsen af den kunstige sol var det nødvendigt at undersøge den valgte lyskilde nærmere. Den valgte lyskilde er en ULTRA-VITALUX, som er egnet på grund af strålingssammensætningen og let installation. Strålingsstyrken fra en lyskilde blev målt op i et plan i en afstand fra frontglaset på 70 cm. Det opmålte areal var på 2mx2m, med målepunkter fordelt i et net med maskestørrelse 10 cm, ialt 21x21 målepunkter. Igennem det punkt med størst strålingsstyrke (sigtepunktet) blev der udvalgt 8 linier. Herudfra bestemtes strålingsstyrkens aftagelse som funktion af afstand fra sigtepunkt. Resultatet ses som kurver på fig 3.2.1, og kan udtrykkes matematisk som:

$$G=84 \cdot e^{-0,02102 \cdot x}$$

hvor G er strålingsstyrken [W/m^2], og x er afstand fra sigtepunkt i cm.

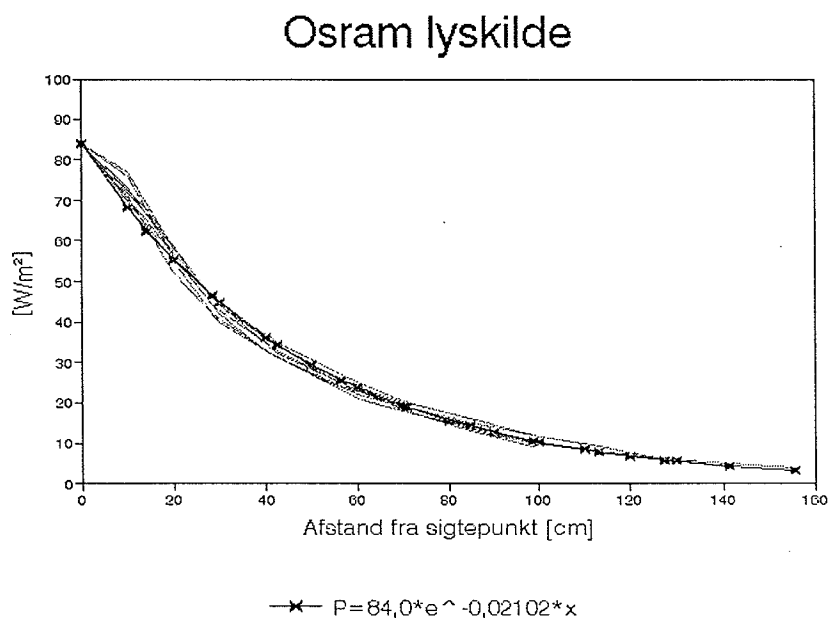


Fig 3.2.1 Bestrålingsstyrke fra en lyskilde som funktion af afstand fra sigtepunktet.

En anden eksperimentel undersøgelse, som blev udført på forhånd, havde med den kunstige nathimmel at gøre, da nathimlen gerne skulle kunne ses igennem to lag af folie. En solfanger, med dæklaget udskiftet med to lag folie, blev vendt på hovedet og tilsluttet et væskesystem, således at indløbstemperaturen kunne styres. Absorberen virker nu som en køleflade. I denne opstilling kunne vi få kølefladetemperaturen ned i nærheden af 0°C . Med et strålingstermometer blev der målt for tre temperaturniveauer. Ud fra disse målinger blev der ekstrapoleret for at finde strålingstemperaturen ved lavere temperaturer for kølefladen. Eksperimentet gav os forventninger til en strålingstemperatur på omkring 0°C ved en kølefladetemperatur nær -20°C , hvilket retfærdiggjorde opbygningen af en nathimmel med to lag folie. Efter opbygning af klimasimulatoren er der målt på den endelige nathimmel. Med en kølefladetemperatur på -14°C er der opnået en nathimmeltemperatur på nær 0°C .

3. Beskrivelse af klimasimulatoren. CLISIM

Klimasimulatoren er bygget op omkring et skelet af firkant-rør. En indvendig gitterkonstruktion af ligeflignede vinkeljern og fladjern giver understøtning til prøveemnet og diverse installationer. Omkring dette gitter er klimakammeret begrænset af en boks af rustfri stålplade med aftagelige rudeelementer.

Rudeelementerne har indvendigt en hård lav-emissionsbelægning og kan forskydes til siden for at lette adgang til prøveemnet ved kontrol og tilsyn.

Selve prøveemnet indføres igennem en lem i kammerets ene ende. Prøveemnet ligger på en bære med tværgående lægter pr. 400 mm. De indvendige rumlige mål i klimakammeret er 3180mm x 1300mm x 300mm. Selve monteringen og instrumentering kan foretages inden baren skydes ind i klimakammeret.

Skelettet af firkant-rør afsluttes nedadtil med fire vinkelbevægelige ben fastmonterede til gulv. Ved frigørelse fra ben eller udskiftning til længere ben kan hele klimasimulatoren tildes både på den lange led og på den korte led. I opret stilling kan klimakammeret benyttes til test af f.eks. murelementer, og endestykket som nu vender ned mod gulvet, er styrket med tværgående profiler og kan derfor klare belastninger fra tunge murelementer. Ændring af stilling af klimasimulatoren foretages med prøvehallens kran.

Klimakammerets top er dækket af et teflonfolie. Oven over teflonfoliet kan en kunstig himmel skydes ind. Med den kunstige himmel i udskudt stilling er der fra teflonfoliet frit op til et tæppe af Ultra-vitalux lyskilder, som udgør den kunstige sol. Over lyskilderne fordeler en hulplade luftstrøm til køling af lyskilderne. Luftstrømmen føres op i et ventilationsrum over hulpladen, hvorfra den overskydende varme fra lyskilderne fjernes ved hjælp af ventilatorer.

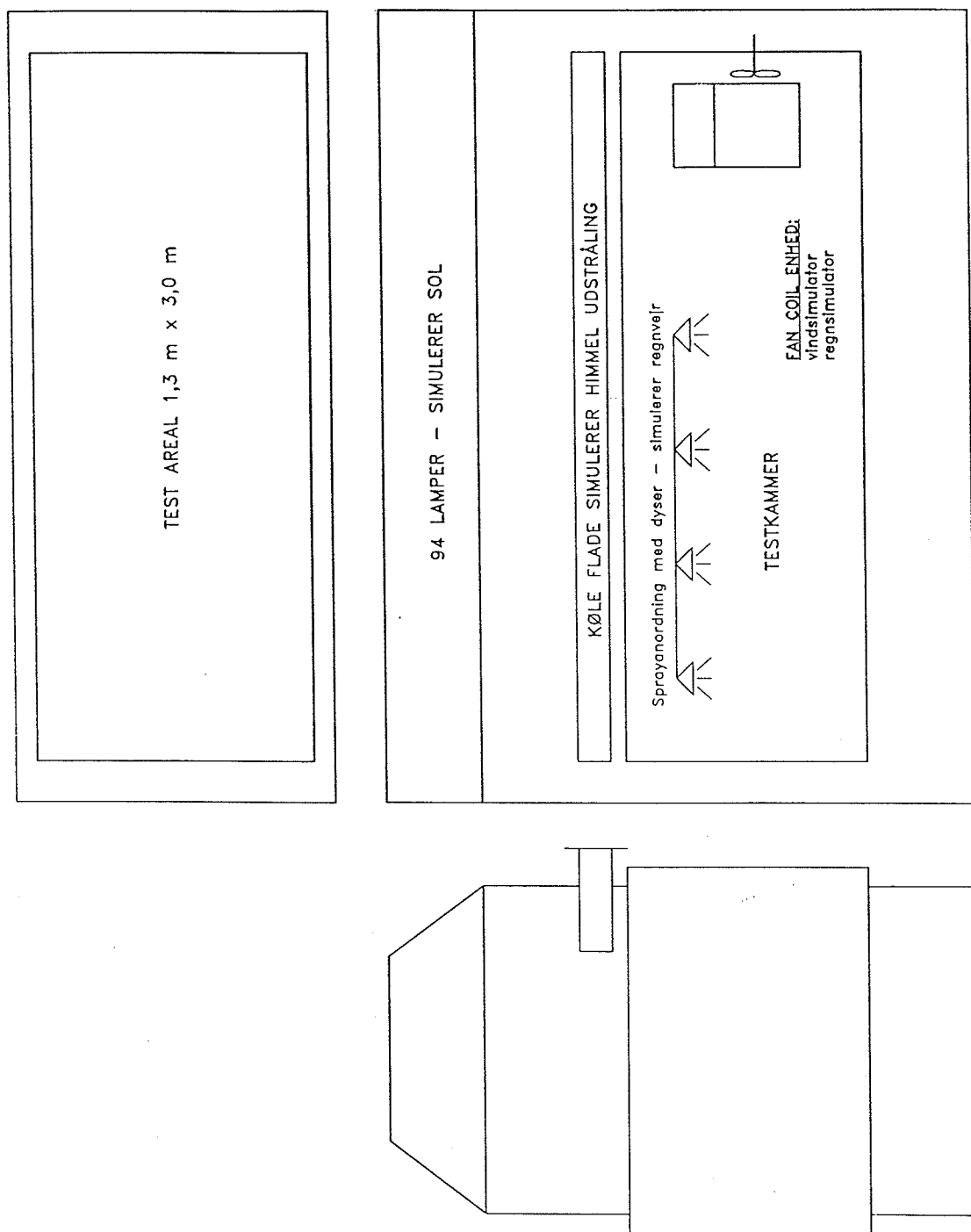


fig. 4.1 SNIT AF UDENDØRSKLIMASIMULATOR - CLISIM ANLÆGGET

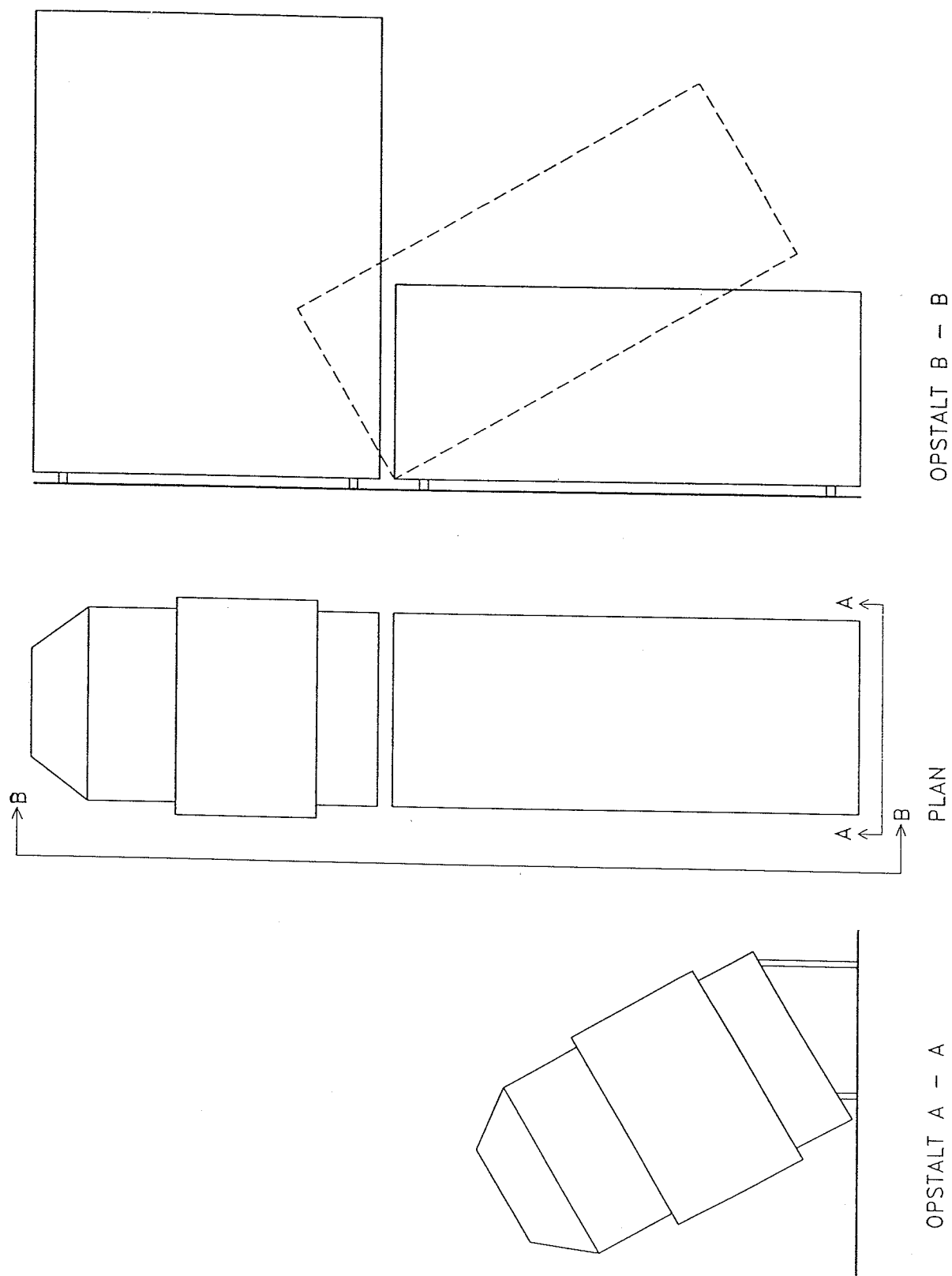


Fig. 4.2 TRE TYPISKE TEST POSITIONER FOR ANLÆGGET CLISIM

I klimasimulatoren kan prøveemnet udsættes for forskellige klimapåvirkninger nemlig:

1. Regn
2. Luftfugtighed
3. Solstråling inkl. UV-stråling
4. Varmeudstråling
5. Vind - mekanisk
6. Vind - påvirkning iøvrigt (blæsere) strømning
7. Temperatur (i luft)

Ved hjælp af et styreprogram kan prøvningsforløbet sammensættes således, at en ønsket kombination og rækkefølge af de forskellige klimapåvirkninger (klimasimulatorens funktioner) følges og gentages et givet antal gange.

Hermed kan prøveemnet udsættes for cykliske påvirkninger, eller der kan fremprovokeres et forløb med særlig risiko for kondensdannelse.

3.1 Regnsimulering.

Opbygningen af sprayanordningen er baseret på en recirkulation af regnvandet . Tre rørkredse med dyser danner regnsimuleringen omkring prøveemnet, se fig 4.1.1.

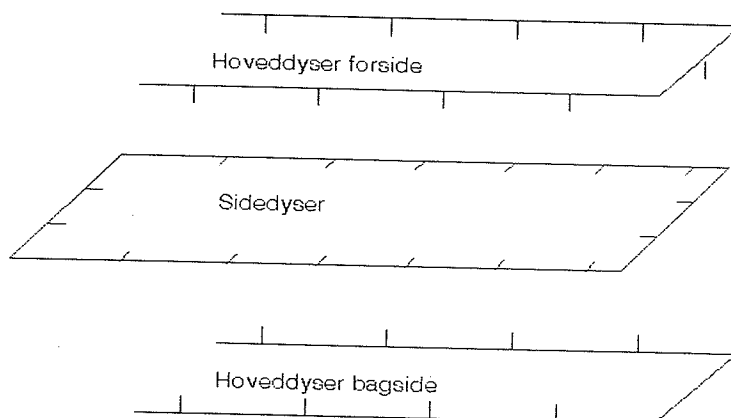


Fig 4.1.1 Tre rørkredse til Sprayanordning med dyseplacering.

Regnen opsamles i et kar i bunden af klimasimulatoren, hvorfra vandet suges op med en 1-faset jetpumpe. Trykket reguleres med en reguleringsventil, og før regnvandet når rørkredsen med dyser, passerer et fin-filter. Systemet er uden kontraventiler, og de enkelte dyser tømmer sig selv, når vandet trækker sig tilbage.

Opbygning af sprayanordning:

Hoveddyser (Cirkulær konisk 120°), vandtryk 0,5 bar, eller 2 bar.

2 rør med 4 dyser pr. 750 mm forside af prøveelement.

2 rør med 4 dyser pr. 750 mm bagside af prøveelement.

1/8" gevind ind til hovedrøret for montage af dyser.

Hovedrør : 12 mm kobber rør.

Sidedyser (Cirkulær konisk 120°), vandtryk 0,5 bar, eller 2 bar.

Kort side 2 dyser pr. 650 mm , lang side 6 dyser pr. 500 mm.

Hovedrør : 12 mm kobber rør.

Sidedyse (vid-vinkel flad 120°), vandtryk 0,5 bar.

Kort side øverst 1 dyse i midt, som dækker 1200 mm

Hovedrør : 12 mm kobber rør.

Materiale: PVDF, kunststof som forhindrer kalkbelægninger og derfor velegnet, når der benyttes vandværksvand.

Regn: Af hensyn til små dysestørrelser benyttes demineraliseret vand.

Hoveddyser forside :

Dimensionering: Af hensyn til solfangerprøvning skal der sprøjtes med 3 l/min/m², hvilket sker ved 2 bar's tryk. Af hensyn til prøvning af vægge sprøjtes der også med 1,5 l/min/m², og dette sker ved ca. 0,5 bars tryk

Type: 460.528.5E.CA

Vandmængde pr. dyse: 2,0 l/min (ved 2 bar.)

Vandmængde pr. dyse: 1,15 l/min (ved 0,5 bar.)

Hoveddyser bagside :

Dimensionering: Af hensyn til solfangeren skal der sprøjtes med 0,5 l/min/m².

Type: 460.408.5E.CA

Vandmængde pr. dyse: 1 l/min (ved 2 bar)

Sidedyser "solfanger" :

Dimensionering: Af hensyn til solfanger skal der sprøjtes med 0,5 l/min/m.

Type: 460.408.5E.CA

Vandmængde pr. dyse: 1 l/min (ved 2 bar)

Sidedyser "væg elementer" :

Dimensionering: Af hensyn til Vægelementer (run off rain) skal der sprøjtes med 0,5 l/min/m. Det forventes, at bidraget fra hoveddyserne til løbende vand er 0,7 l/m/min.

Type: 632.607.5E.CA

Vandmængde pr. dyse: 1,250 l/min ved 0,5 bar.

Der er taget hensyn til 2 prøvningsprocedurer for regnpåvirkning. Den ene gælder for udvendige væg-elementer, som testes for slagregn, den anden gælder for solfangere.

For vægelementer skelnes der imellem løbende vand ned langs væggen og slagregn. For sol-

fangere regnes der med en ligeligt fordelt regnmængde på 3 l/min/m² på forsiden og noget mindre på bagsiden.

For prøvning af solfangere kan den ekstra vidvinkel-dyse udskiftes med en blind prop, således at solfangeren påvirkes ligeligt fra alle sider.

Ved prøvning af vægelementer ønskes derimod vidvinkel-dysen virksom for at give ekstra rindende vand langs væggen, derimod er det her meningen at afbryde for den rørkreds, der hører til sidedyser, og den rørkreds som hører til dyserne, der virker bagfra.

Vandmængder ved et tryk på 2 bar:

Hoveddyser forside:	8 stk.	2.0	l/min	=	16	l/min
Hoveddyser bagside:	8 stk.	1.0	l/min	=	8	l/min
Sidedyser kort :	4 stk.	1.0	l/min	=	4	l/min
Sidedyser lang :	12 stk.	1.0	l/min	=	12	l/min
Samlet :					40	l/min

Vandmængder ved et tryk på 0,5 bar:

Hoveddyser forside:	8 stk.	1.15	l/min	=	9,2	l/min
Sidedyse flad :	1 stk.	1.58	l/min	=	1,58	l/min
Samlet :					10,78	l/min

3.2 Simulering af solbestråling

I klimasimulatoren er der indbygget en kunstig sol, som består af 94 lyskilder af typen ULTRA-VITALUX fra Osram.

Lyskilderne er afskærmet til siderne, således at der ikke slipper ultraviolet lys ud i hallen. Over lamperne er der et ventilationsrum, hvorfra den overskydende varme fra lamperne suges ud. For at fordele luftstrømningerne omkring lyskilderne er der over disse anbragt et hulplade af galvaniseret-stål med et hulareal på 10 % og en huldiameter på 5mm.

Strålernes sammensætning fra disse lyskilder er meget nær den naturlige sols, og kommer dels fra en kviksølvs højtryksudladningsbrænder (ultraviolet) og dels fra en wolfram gløde tråd (infrarød). ULTRA-VITALUX er med integreret reflektor og er monteret uden videre i en almindelig fatning.

Af hensyn til startstrømmen er de 94 lyskilder opdelt i grupper, som tændes med en forsinkelse imellem hver gruppe.

Lamperne er fordelt over et areal under hensyntagen til jævn fordeling af bestrålingen på prøveemnet.

Fordelingen af bestrålings styrken er dels bestemt ved positionen af lampefatninger, og dels ved at retningsorientere lyskilderne, således at de sigtepunkter, der vil være i det plan, hvor prøveemnet befinder sig, er optimalt for en jævn fordeling af bestrålingsstyrken. Lampepositionerne kan ses på fig 4.2.1, og består af rækker på den korte led med enten 6 eller 5 lyskilder. I appendiks 4 findes en målkorrekt tegning af lampepositionerne tilsvarende fig. 4.2.1.

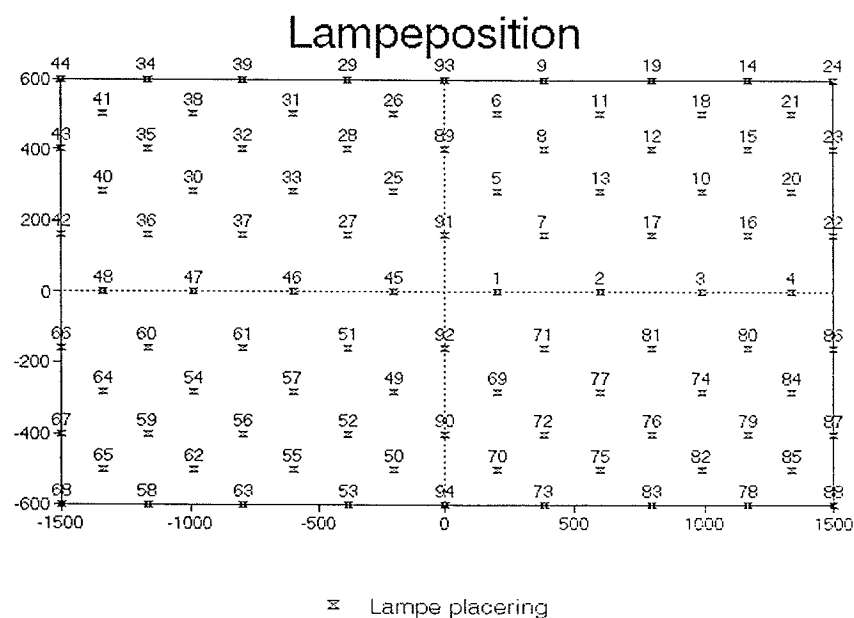


fig 4.2.1 Lampeplacering med lyskilderne nummereret fra 1 - 94.

Grupperne fordeler sig således, at 2 rækker tænder samtidig med en slukket imellem sig. Lyskilderne er retningsorienteret ved hjælp af indsatte skråskiver.

Skråskiverne har forskellige vinkler - 8% eller 14%. Herudover er de drejet i det vandrette plan ind efter nogle lampepositioner langs renden af lampetæppet fig 4.2.2 og fig 4.2.3.

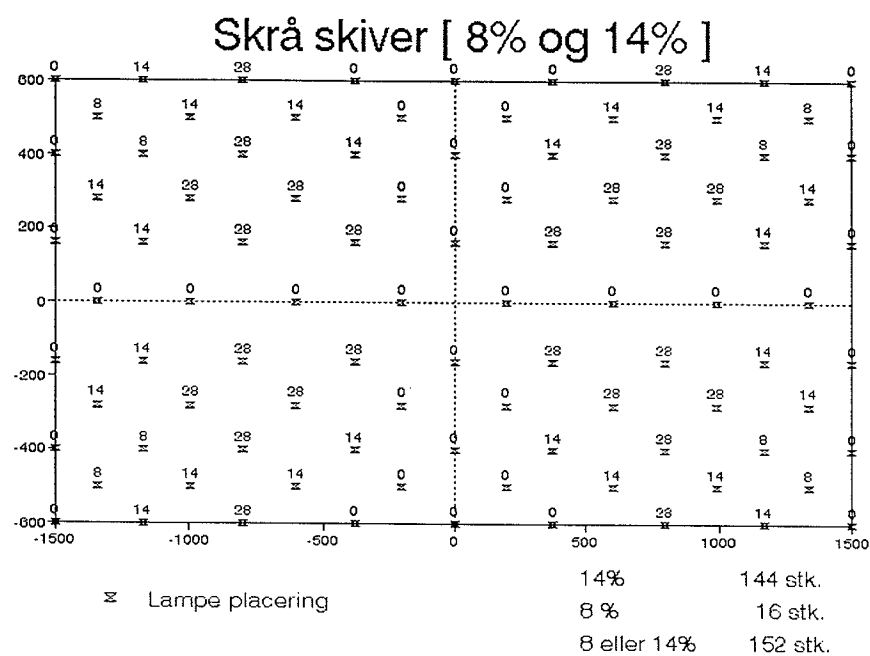


Fig 4.2.2 Valg af små skråvinkler ved lampefatningerne.

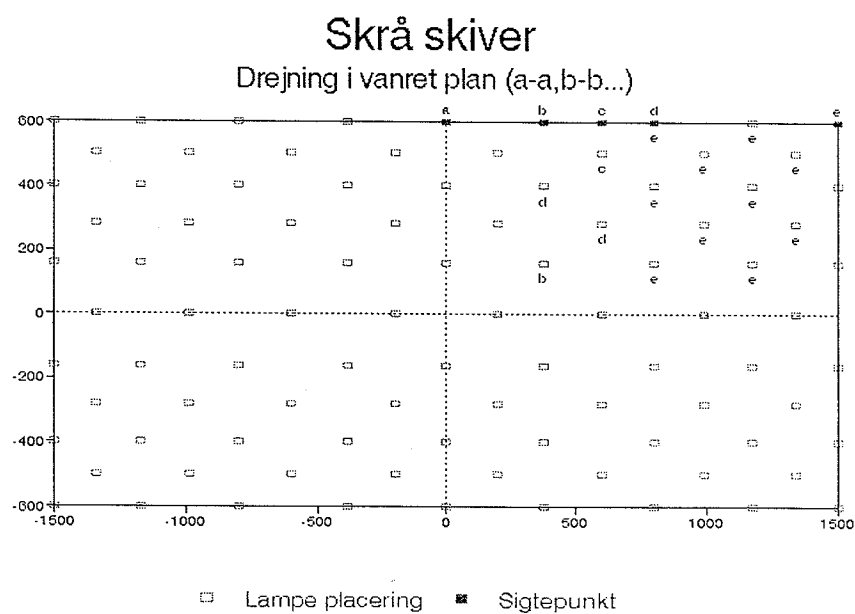


Fig 4.2.3 Lyskildernes drejning i vandret plan efter punkter på renden.

Sigtepunkter fordelt over arealet

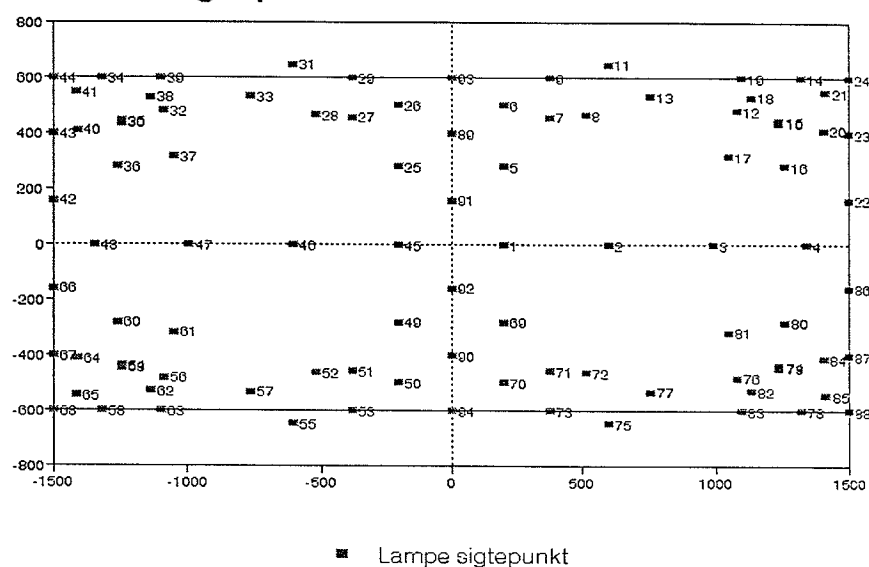


Fig 4.2.4 Sigtepunkter i prøveplanet.

Den endelige fordeling af sigtepunkter i prøveplanet, som ligger 850 mm under lampeglas, ses på fig 4.2.4.

Endelig ses de beregnede værdier af bestrålingsstyrken i sigtepunkterne på fig 4.2.5. Vi kan se, at hele arealet har en bestrålingsstyrke over 1000 W.

Bestrålingsstyrke fordelt over arealet

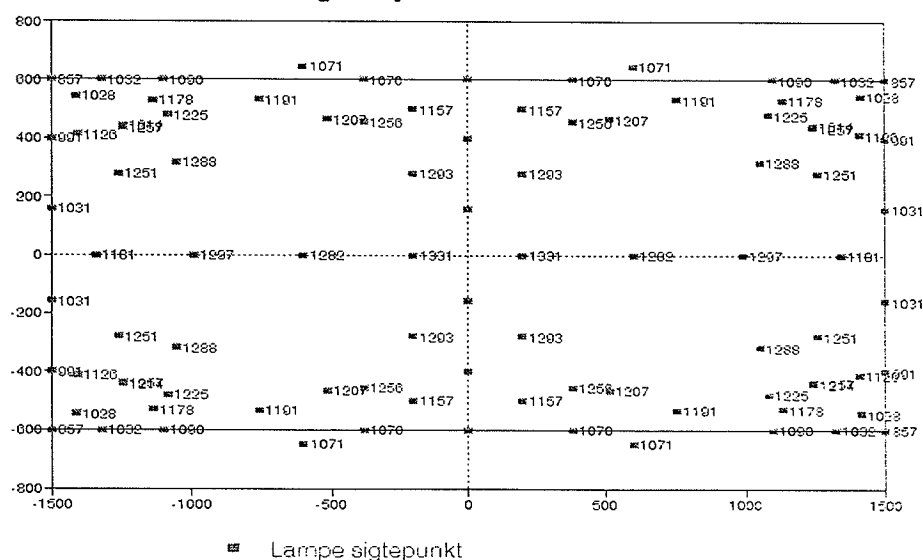


Fig 4.2.5 Bestrålingsstyrken over prøveplanet.

3.3 Simulering af himmeludstråling.

Klimasimulatoren indeholder en kunstig nathimmel, som er anbragt således, at den kan indskydes over klimakammeret i mellemrummet imellem dette og den kunstige sol.

Ind- og udføring af nathimlen foregår ved to spindelmotorer, og der er endestop med signal til styringen om, at nathimlen er helt udtrukket. Signalet skal afgøre, om solen må tændes, idet dette ikke må ske med himmel inde. En fjederbelastning sørger for lempelige stop af ind- og udføring.

Selve nathimlen består af en solfanger, som er vendt på hovedet, og dæklaget erstattet af et folie af polyethylen. Absorberen er sortmalet med høj emittans i varmestrålingsområdet. Absorberen er tilsluttet et lokalt køleanlæg, idet glykol går direkte i absorberfladen. Tilgangstemperaturen, som det lokale køleanlæg kan levere, er ca. -20°C .

Imellem nathimlens polyethylenfolie og klimakammerets top af teflonfolie sender en tværstrømsventilator en luftstrøm, som skal holde folierne fri for rim og dugdannelse. Absorberen i nathimlen er adskilt fra halluften for at forhindre tilrimning. Varmestrålingen fra prøveemnet til nathimlens absorberflade skal passere først et lag af teflonfolie og dernæst et lag af polyethylenfolie. Den himmeltemperatur, der herved kan føles fra prøveemnet, er derfor højere end absorbertemperaturen i himlen. Forundersøgelser i en prøveopstilling og af målinger i den færdige klimasimulator har vist, at himmeltemperaturen er ca. 0°C ved en absorbertemperatur i himlen på ca. -17°C .

I klimakammeret er inspektionsruderne belagt med en hård lavemissions belægning indvendigt, hvorved netto udstrålingen fra prøveemnet øges, idet varmeudstrålingen fra prøveemnet spejles op i kølefladen. Lambert-grå strålingsberegninger for klimakammeret med stort set ligevægt for prøveemnet og med emmittanser for glasfladerne på 0,2 viser en afkøling af prøveemnet til 10°C . På fig 4.3.1 ses opbygningen af den kunstige nathimmel.

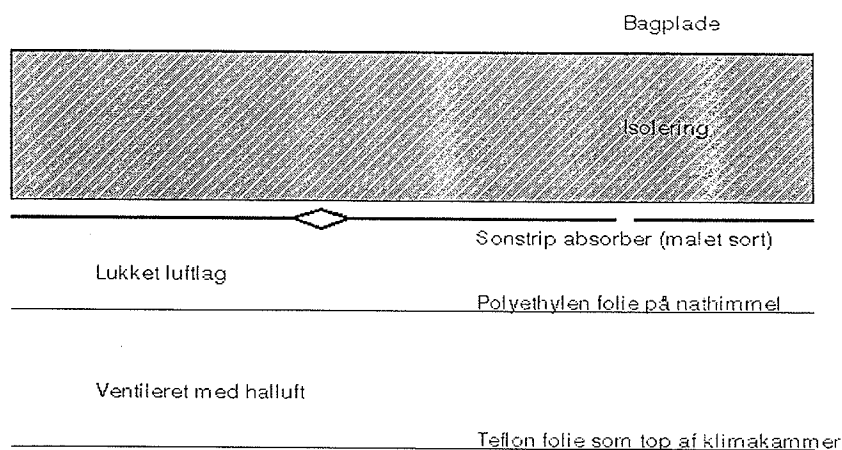


Fig 4.3.1 Opbygningen af den kunstige nathimmel.

3.4 Mekanisk påvirkning af dæklaget

Systemet for mekanisk bevægelse af dæklaget på solfangeren er baseret på sugekopper og tovejs-aktivering af pneumatiske cylindre. Hermed kan både vind tryk og vind sug simuleres.

Styring gør det yderligere muligt at foretage cykliske belastninger imellem tryk og sug, svarende til simulering af vindstød.

Idet, der er varierende fastgørelsesmuligheder, kan sugekopperne fordeles over dæklagets areal. Der er 10 sugekopper til rådighed. På den lange led er cylindrene fikserede, idet de er anbragt på tværrammer, som indbyrdes har en afstand på 600 mm. På tværs kan cylindrene flyttes i trin på 50 mm, se figur 4.4.1.

Trykluftcylindrene er af fabrikat Mannesmann Rexroth, type Euromec $\varnothing 25/100$, og er aksel-forlænget således, at øvre stilling svarer til højeste anbringelse af dæklaget. Sugekopperne er af samme fabrikat, og det er bælgsugekopper med 1 1/2 bælge og en ydre diameter på 110 mm. Materialet er silikone, som kan modstå et temperaturområde fra -30°C til 200°C .

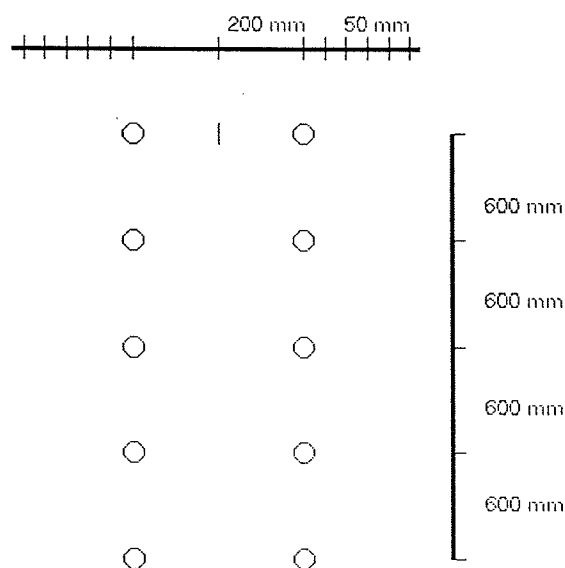


Fig 4.4.1 Placering af sugekopper. Forskydelsesmulighed på den korte led.

Det tilhørende trykluftsystem består af rør i 8 og 5 mm nylon i tre kredse, én for vakuum i sugekopperne, én for tryk i cylindrene og én for sug i cylindrene, se fig 4.4.2. Desuden er der i systemet en vakuumpumpe til 0,87 bar, magnetventil, vakuum-meter, manometer og regulatorer. På figur 4.4.3 ses diagrammer for trykluftsystemet. Systemet er tilsluttet det lokale 6 bars trykluftsystem.

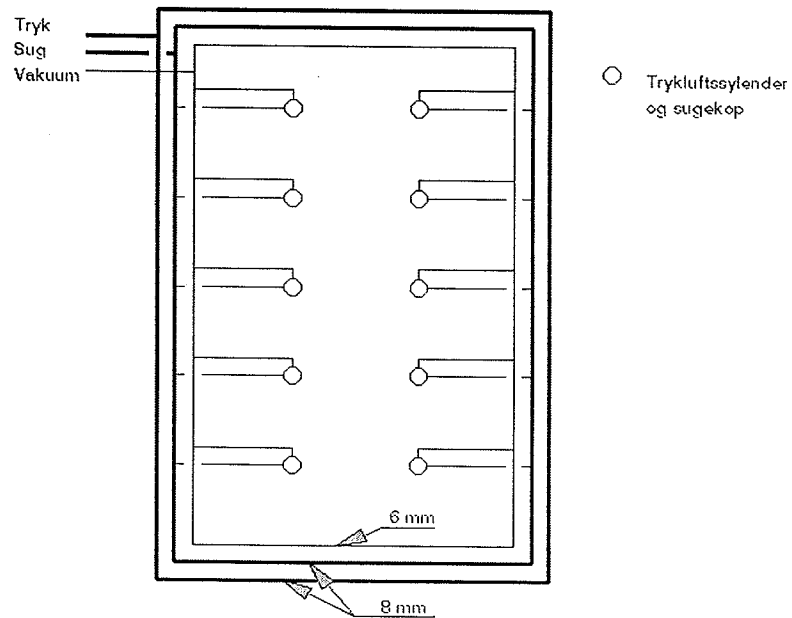


Fig 4.4.2 Trykluftsystem, tilslutning til cylindre og sugekopper.

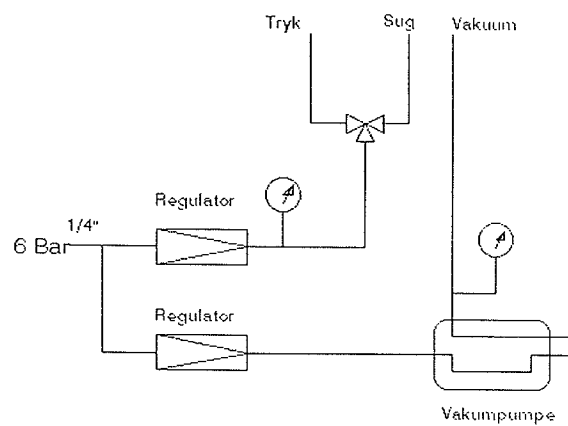


Fig 4.4.3 Trykluftsystemtilslutning til det lokale anlæg.

3.5 Simulering af vindpåvirkning og luftfugtighed.

Luftkonditionering i selve klimakammeret opretholdes ved hjælp af et arrangement, bestående af en køleflade og 3 aksialventilatorer, og i sin helhed kan dette benævnes en fancoil enhed. Befugtning foregår, ved at luften strømmer hen over en fri væskeoverflade fra det opsamlede regnvand eller ved at køre en periode med regnsimulering.

Kølefladen er af fabrikat Novenco type CW, og består af kobber-rørelementer med aluminiumslameller, og rammen er af varm-forzinket stålplade. Der er kun én rørkreds, hvorved en samlestok undgås. Kølefladen har tæt-siddende lameller 2,5 mm og kan derfor let medføre is-bloking. Perioder med køling skal der-for tilpasses dette, eller afbrydes med kortvarig opvarmning af kølefladen. Et regneeksempel for kølefladen viser følgende: En lufthastighed gennem kølefladen på 3,5 m/sek ($1,9 \text{ m}^3/\text{sek}$) og på væskesiden et flow på 1,1 m/sek, en indløbstemperatur på -20°C og en udløbstemperatur på $-16,5^\circ\text{C}$ bevirker en køle effekt på 2,59kW.

Aksialventilatorerne er af fabrikat Parlock type SV-354, og der benyttes ialt 3 stk. Med et tryktab over kølefladen ifølge kølefladens beregningseksempel på 47.1 Pa yder hver ventilator $0,63 \text{ m}^3/\text{sek}$, altså den ønskede luftmængde på $1,9 \text{ m}^3/\text{sek}$.

Med et lysningsareal over solfangeren på $1,75\text{m} \times 0,45\text{m} = 0,79 \text{ m}^2$ vil ventilatorerne simulere en vind over solfangeren med en hastighed på 2,4 m/sek, men da der ikke er tæt omkring solfangeren, men mulighed for luften til at passere både før, den når solfangeren og langs solfangerens sider, er den reelle hastighed målt til bare 0.8 m/sek.

På fig 4.5 ses et snit af den ene ende af klimakammeret med placering af prøveemne og køleflade og med pile til at vise strømningsretning for luften. For at styre luftvejene bedre, kan en EPDM-dug lukke passagen imellem køleflade og prøveemne.

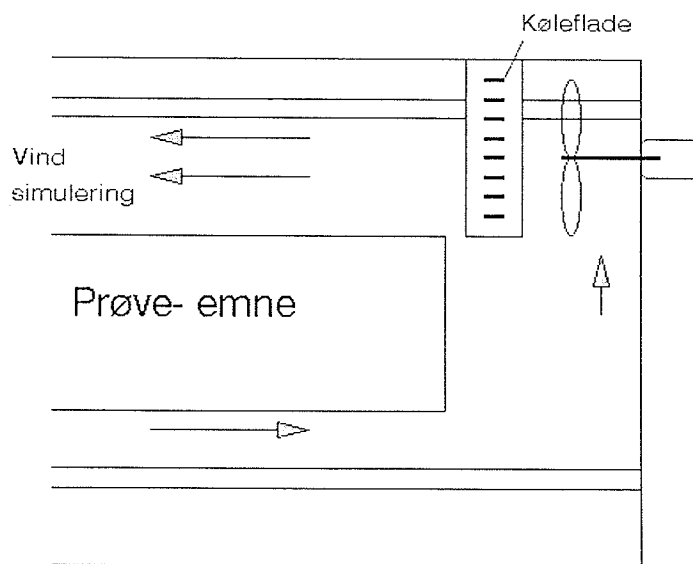


Fig 4.5 Luftbevægelse omkring prøveemnerne.

4. Specifikationer af simulerede klimapåvirkninger.

I klimasimulatoren udsættes prøveemnet for simulerede klimapåvirkninger. Det har været nærliggende, at opbygning af en prøvestand i IBE's forsøgshal skulle favne så bredt som muligt med hensyn til dens anvendelighed, hvorfor der er lagt vægt på, at kandidater til prøveemner foruden solfangere tillige indbefatter øvrige former for bygningsdele såsom solvægge, glasvægge, mur og tagkonstruktioner.

Ved fastlæggelsen af specifikationer for klimasimulatoren, er der taget hensyn til, hvilke påvirkninger som kan have betydning for en ældning af solfangere, og hvilke sammensætninger af påvirkninger der har betydning for materialernes sammenføjninger og indbyrdes påvirkninger.

Herudover er der lagt vægt på, at holdbarhedsprøver af solfangere kan udføres efter de gældende CEN-standarder, men der er tillige taget hensyn til tilsvarende standarder for andre bygningsdele.

4.1 Regnpåvirkning.

Prøveemnet udsættes for simuleret regn. For solfangere er hensigten med dette at se, hvorvidt solfangeren kan modstå regnvejr, uden at der trænger vand ind i de indre og fugtsårbare dele af solfangeren. Der kan ikke tillades indtrængning af vand fra hverken frit faldende regn eller fra slagregn.

Prøveemnet kan udsættes for regn fra alle sider. Intensiteten kan reguleres imellem 1,5 l/min pr m². til 3 l/min pr m². Dyser er anbragt på rør (langsgående) foran, ved siderne og bag ved prøven, og regnvandet opsamles i et bundkar i klimakammeret, men bemærk at solfangeren kan anbringes med en hældning således at både den korte og den lange side kan være nederst.

4.2 Befugtning af luft.

Luftfugtigheden holdes i natsituationen på 100% v.h.a. intervaller med regnpåvirkning. Iøvrigt styres luftfugtigheden v.a. kølefladerne, som kan nedsætte dugpunkt, eller simpelt ved at ventilere med halluft.

Opfugtning af luften i klimakammeret sker ved påsætning af regn eventuelt samtidig med opvarmning, og det kan give en relativ fugtighed på tæt ved 100%. Opfugtningen kan også ske ved, at luft cirkulerer i klimakammeret, og derved passerer bundkarret med opsamlet regnvand. Regnvandet står med fri væskeoverflade.

For at reducere luftfugtigheden i klimakammeret, udveksles luften med den omkringliggende halluft. Luftfugtigheden i klimakammeret kan ved hjælp af disse muligheder varieres imellem ca 50% og op til tæt ved 100% relativ fugtighed.

4.3 Solbestråling inkl. UV stråling.

Som maksimal solbestrålingsstyrke er der for klimasimulatoren dimensioneret med 1000 W/m², og denne bestråling er dels som varmestråling og dels som UV-stråling. Det er ikke fundet nødvendigt at afskærme for varmestråling, da de tests, som udføres i klimasimulatoren, ikke er kritiske overfor, at en del af bestrålingen er som varme, - det væsentlige er selve opvarmningen af solfangeren.

Det er væsentligt for undersøgelse af materialernes holdbarhed, at en del af bestrålingen er som UV-bestråling. Den samlede UV-bestråling er på 10%.

4.4 Varmedudstråling.

Udstrålingen til rummet simulerer en natsituation, og er ikke uden betydning for kondensdannelse i solfangeren. I klimasimulatoren er der derfor indsat en kunstig nathimmel.

Nathimlen kan opnå en temperatur på ca 0°C, og i forhold til omgivelserne på ca 20°C er disse forhold i overensstemmelse med realistiske forhold. Ydergrænserne for realistiske forskelle imellem sky og luft temperaturer er nemlig fra 5°C i et varmt og fugtigt klima til 30°C i et koldt og tørt klima.

Den kunstige nathimmel er opbygget som en bevægelig flade, som kan skydes ind over prøveemnet.

4.5 Vindpåvirkning.

Simulering af vindbelastning foregår med trykluftscylindre, som, fastgjort til dæklaget ved hjælp af sugekopper, belaster dæklaget enten med tryk eller træk. Belastningen kan indstilles med tryk op til 600 Pa.

Bygningsdele uden på klimaskærm (solfangere m.m.) kan testes for vindlaster, såfremt sugekopper kan monteres på fladen.

Ved hjælp af et styreprogram kan der foretages cykliske bevægelser imellem tryk og træk, og perioderne kan variere typisk imellem 6 og 20 sek. Disse cykliske bevægelser simulerer vindstød. Foruden simulering af vind ved hjælp af mekanisk belastning, kan en luftstrøm på omkring 1 m/sek dannes omkring prøveemnet.

4.6 Temperatur

Lufttemperatur holdes på ca. 25°C, og ved solpåvirkning skal der fjernes ca 3 kW. Dette kan ske enten ved ventilation med halluften med plastfolien fjernet, eller med køleanlægget koblet til en køleflade i klimakassen. Til udjævning af temperaturen benyttes ventilatorer, der sidder øverst (a.h.t. regn) og blæser nedad.

Temperaturen i klimasimulatoren kan opvarmes ved hjælp af bestråling fra den kunstige sol. Hvis ikke lufttemperaturen holdes kunstigt nede, opnås lufttemperaturer på ca. 60°C. For køling af temperaturen i klimakammeret cirkuleres luft gennem en køleflade, køleeffekten er på ca. 2,6 kW, og der vil kunne opnås temperaturer ned til -2°C

5. Funktionskontrol af solfangeren.

Resultater fra prøvning af solfangere ved cykliske påvirkninger ses ved den løbende funktionskontrol og inspektion.

Funktionskontrol består i en regntæthedsprøve med mekanisk belastning af dæklaget, som skal afgøre, om solfangeren stadigvæk er tæt.

Ved visuel inspektion skal der holdes øje med alle detaljer ved solfangeren, og eventuelle ændringer skal noteres.

Efter regntæthedsprøven testes for vandindtrængning ved at holde dæklaget som solfangerens koldeste flade. Er der kommet vand ind, vil det ses som kondens på dæklagets inderside.

Ses der tegn på vandindtrængning, skal det nåede antal af cykluser og arealet af kondens noteres sammen med eventuelle observationer fra den visuelle inspektion. Ud fra omfanget af kondens skal det afgøres, om prøverne skal fortsættes.

6. Indjustering.

I klimasimulatoren kan prøveemnet udsættes for en række simulerede vejr situationer. Ved sammensætning af en prøvningsprocedure er det vigtigt at gøre sig klart, hvilke forhold undersøgelsen skal fremprovokere, og hvilke effekter på emnet det forventes, prøvningerne har.

I skemaet 6.1 nedenfor viser vi muligheder for at kombinere vejrpåvirkninger i klimasimulatoren.

Vejrpåvirkninger	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Regn									
2 Befugtning af luft									
3 Solbestråling inkl. UV stråling									
4 Varmedstråling									
5 Vind mekanisk									
6 Vindpåvirkning									
7 Indvendig køleflade									
8 Køling af udeluft									
9 Opvarmning af udeluft									

Skema 6.1 kombination af vejrpåvirkninger i klimasimulatoren.

Skemaet lister klimasimulatoren funktioner nummereret fra 1 til 9, og viser hvilke funktionskombinationer, der kan sammensættes svarende til de hvide felter i skemaet. Det ses, at det kun er solbestråling og varmedstråling, som ikke kan være virksom samtidig. Nogle af vejrpåvirkningerne er dannet ved kombinationer af klimasimulatoren funktioner, hvilket gælder befugtning af luft, køling af udeluft og opvarmning af udeluft. Befugtning af luften sker ved at kombinere regnpåvirkning med solbestråling og vindpåvirkning. Køling af udeluft foregår med indvendig køleflade kombineret med vindpåvirkning og opvarmning af udeluft foregår ved hjælp af solbestråling.

Ved sammensætning af styreprogrammet for klimasimulatoren er der yderligere nogle funktioner, som skal medtages. Disse har ikke direkte tilknytning til vejrpåvirkningerne, men er nødvendige for den næste påvirkning. Det drejer sig om en blæser, som skal holde nathimlen fri for kondens og rimafsætning samt ud- og indførelse af nathimlen. Klimapåvirkningerne er undersøgt enkeltvis for at karakterisere ydelser og fange eventuelle fejl.

For regnsimuleringen er fordelingen af vandmængde over arealet undersøgt med klimasimulatoren i oprejst stilling, således at den lange led er lodret. Dette er gjort ved opsamling af vand i overskårne mælkekartoner. Mælkekartonerne er placeret ved siden af hinanden med åbninger på 100mm x 100mm i hver karton. Mælkekartonerne er efter ca. 30 min kontrolleret for vandfyldning. Forsøget er gentaget i step, efter at kartonerne er sænket 100 mm. Op-

målingen er foretaget mellem de to øverste rækker dyser. Forsøget viste en uens fordeling, hvorfor alle dyser blev set efter og renset. En ny opmåling viste ensartet fordeling fra dyserne.

Der er ved vandpåsprøjtning opnået relative fugtigheder i klimasimulatoren på ca. 100% relativ fugtighed, og ved udveksling med omgivelserne kan denne reduceres til 50 % relativ fugtighed.

Himmeltemperaturen for den kunstige nathimmel er målt til ca. 0°C ved en temperatur for omgivelserne på ca. 20°C.

Trykluftscylindre indgår i den mekanisk simulerede vind. Til styring af disse er der i klimasimulatoren en trykregulator, hvorved trykket til stemplerne kan varieres. Belastningen af sugekopper er målt med en vægt, både med og uden egenvægten af cylindre og kopper inkluderet. Der er målt ved 3, 4 og 5 bars tryk. I skemaet 6.2 neden for ses resultatet.

Tryk fra trykluftsanlæg	Ekskl. egenvægt	Inkl. egenvægt
Bar	Kg	Kg
3	13	14,5
4	18	19,5
5	23	24,5

Skema 6.2 Belastning fra en enkel sugekop som funktion af påsat tryk.

Det ses af målingerne, at cylindre og koppers egenvægt er 1,5 kg, men dette kan der eventuelt kompenseres for ved en kontravægt, som har fat i koppen, eller en udbygning af trykluftssystemet således at trykket kan indstilles forskelligt for bevægelser op og ned med sugekopperne.

Der er desuden målt lufbevægelser omkring prøveemnet med de indvendige ventilatorer kørende. 20 cm over prøveplanet blev der målt lufthastigheder varierende fra 0,5 m/s til 0,8 m/s. Hastigheden forbi de indvendige køleflader er naturligvis større på grund af det indsnævrede areal.

Klimasimulatorens temperaturforhold blev undersøgt med en omgivelsestemperatur fra hallen på ca. 20°C.

Temperaturen i klimasimulatoren viste sig ved fuld solindstråling og køling at stabiliserer sig på 25°C. Med køling med både nathimmel og indvendig køleflade fås en temperatur i klimasimulatoren på 2°C. Kun med den indvendige køleflade kunne temperaturen sænkes til lige under frysepunktet. Dette skyldtes, at returtemperaturen til det lokale køleanlæg faldt fra -6 til -8°C.

7. Prøvning.

7.1 Prøvning af solfanger fra fyens solvarme

Der blev udført to prøvninger på en solfanger fra Fyens Solvarme. Ved udvælgelsen af solfanger til de indledende afprøvninger er det vigtigt, at den har gennemgået en regntæthedsprøve, uden at der har vist sig tegn på indtrængning af vand. Dette er første betingelse for en solfanger med gode holdbarhedsmæssige egenskaber.

En anden vigtig karakteristika, som er af betydning, er tætheden af solfangerkassen og dermed dens evne til at ventilere luftspalten imellem absorber og dæklag. Her adskiller Fyens Solvarme sig ikke væsentligt fra øvrige solfanger på det danske marked.

Solfangerkonstruktionen er interessant, idet stivhed af dæklag og bagbeklædning, og materiale-mæssige sammensætninger og samplingsdetaljer har betydning for solfangerens holdbarhed.

Her har Fyens Solvarme en svaghed, idet en limfuge danner tætning imellem dæklag og kassens aluminiumsprofil.

Solfangerens transparente areal er 2,01 m², og tykkelsen af luftspalten imellem dæklag og absorber er ca. 20 mm. Der er 50 mm bagsideisolering og 20 mm sideisolering.

Den første prøvning af Fyens Solvarmes solfanger havde til hensigt at afgøre solfangerens tilbøjelighed til at danne kondens.

Kondens indtræder om natten, når solfangeren ventileres med fugtig luft, og overfladen er underafkølet på grund af udstråling til nattehimmelen. For at opnå en opfugtning af luften i klimakammeret, begyndte prøvningen med vandpåsprøjtning i 15 min. Luften køles til nattemperatur ved hjælp af luftcirkulation i klimakammeret, og den interne køleflade tilsluttes. Vi ønsker i denne periode, at opfugtning af luften i klimakammeret er nær 100% relativ fugtighed.

For at undgå at kondensen samles på klimakammerets afgrænsende flader, køler vi luften, så de koldeste flader bliver de indvendige, desuden afkøles dæklaget ved hjælp af nat-himmel. Resultaterne i denne periode lever ikke helt op til forventningerne. Den opnåede relative fugtighed i klimakammeret er på ca. 85%. Temperaturerne i klimakammeret faldt til 14°C bag solfangeren, hvorimod den over solfangeren var uændret. Dette kunne forlede os til at tro, at der ikke er sket en opblanding af luften endnu. Fugtføleren til klimakammeret sidder højt i klimakammeret, og den høje temperatur kan være årsag til faldende fugtighed i perioden.

Næste periode har en varighed på to timer, og simulerer den egentlige natsituation med høj fugtighed og kondens, som samler sig på overfladerne væk fra kammerets afgrænsende flader. Vandpåsprøjtning er udskiftet med vindpåvirkning i form af pulserende dæklagsbevægelser. Der vil eventuelt ske ophobning af kondens i solfangeren. Fugtigheden opretholdes ved luftcirkulation, idet der i nederste del af klimakammeret er opsamlet regnvand med fri væskeoverflade. Temperaturer i klimakammeret faldt til ca. 2°C og fugtigheden til 80% relativ fugtighed. Efter en time var der klare tegn på kondens på solfangerens dæklag. Den relative fugtighed i klimakammeret og indvendigt i solfangeren blev ens.

Næste periode har en varighed på en time og skal simulere dagtimer. Nathimmelen fjernes, og solbestråling begynder. Solfangeren ventileres med termisk drivtryk fra opvarmning af absorber. Lufttemperaturen er ca. 25°C i klimakammeret, og indvendige temperaturer i solfangeren er høje. Den relative fugtighed omkring solfangeren er dalende.

Høj temperatur i luftspalten, kombineret med ventilation, fjerner fugt fra solfangeren.

Der er ikke i denne periode kondensdannelse i klimakammeret. Klimasimulatoren sænkes til vandret, og der foretages inspektion.

Den kunstige sol tændes, og luften i klimakammeret holdes på 25°C, og eventuel fugt i solfangeren vil vise sig som kondens på dæklagets inderside, som er den koldeste flade.

Solfangeren viste ikke tegn på kondens på dæklagets inderside.

Det ser ud til at opfugtningsperioden i de første 15 min. skal ændres således, at vi får en højere fugtighed. I starten af perioden kan det tænkes at undlade kølingen eller ligefrem tænde lamperne, således at der opstår et tordenvejrslignende klima.

Der er foretaget en prøve mere med solfangeren fra Fyens Solvarme. Hensigten med denne prøve er at gennemkøre perioderne for den cykliske afprøvning af solfangeren.

Første periode varer en time, og simulerer dag med høje temperaturer i solfangeren, lufttemperaturen er 25°C i klimakammeret. Startbetingelserne for denne periode har været høj fugtighed.

Den kunstige sol er tændt, og der er ventilation og køling af luften i klimakammeret.

I periode 2 simuleres klar nat. Nathimlen er trukket ind, og luften køles ned. Perioden varer en time. Temperaturen i klimakammeret falder til 7°C.

I periode 3 er den klare nathimmel trukket ud, og fortsat køling bringer temperaturen ned på 0°C i kammeret.

Den efterfølgende periode 4 varer en time, og indeholder vandpåsprøjtning og vindpåvirkning i form af træk/tryk fra sugekopper.

Hensigten med denne periode er at undersøge, om solfangeren stadigvæk er regntæt, altså en løbende funktionskontrol.

Perioden afsluttes derfor med en visuel inspektion, efterfulgt af en periode 5 med solbestråling og køling af luften. Periode 5 varer i 15 min. og viser, om der har været nogen fugtophobning. Har der været fugtophobning, vil det vise sig som kondens på dæklaget.

Prøvningen skal vise, om de valgte materialer er sammensat på en måde, så solfangeren ikke med tiden får skavanker. Solfangeren udsættes derfor for temperatursvingninger, skiftende fugtighed, påvirkning fra UV-stråling og mekanisk påvirkning.

Prøvningen opnåede følgende ændringer i temperaturer:

Absorber 100°C til 5°C

Luftspalte	118°C	til	1°C
Dæklag	90°C	til	2°C

Altså gennemsnitlig en temperaturgymnastik på 100°C.

Fugtigheden har varieret fra 10% til 93% relativ fugtighed inde i solfangeren og uden for solfangeren imellem 47% og 100%.

UV-bestrålingen har været i godt 25% af tiden, og mekanisk belastning af dæklaget har været i knap 25% af tiden.

Den mekaniske belastning af dæklaget vil få en meget mindre andel af den samlede tid, idet den kun vil finde sted ved funktionskontrol og altså ikke for hver cyklus.

De cykliske klimavariationer ses grafisk på fig 6.1 og fig 6.2, og prøvningsprocedurerne for kondensprøve og cykliskprøve er stillet op i næste afsnit.

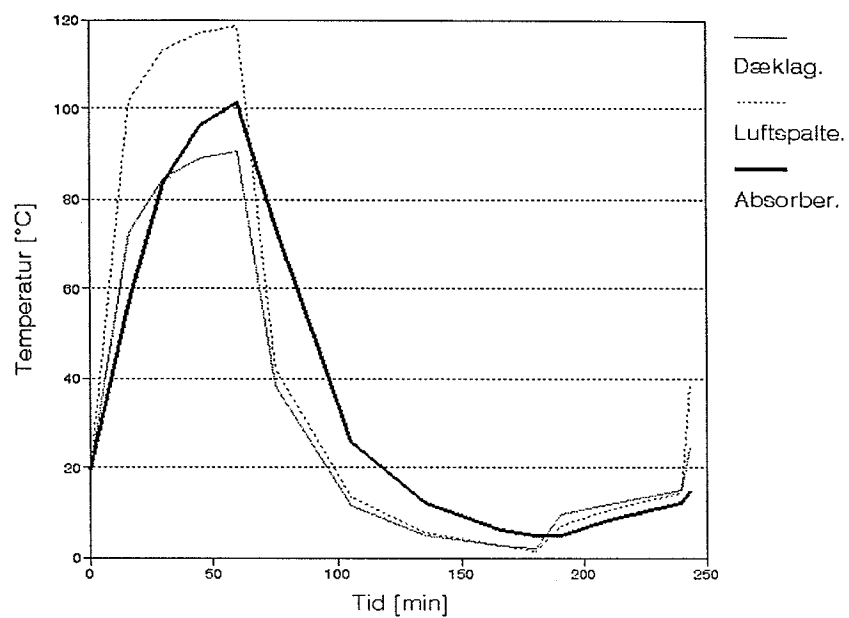


Fig. 6.1 Temperaturforløb i solfangeren, prøvning med cykliske påvirkninger.

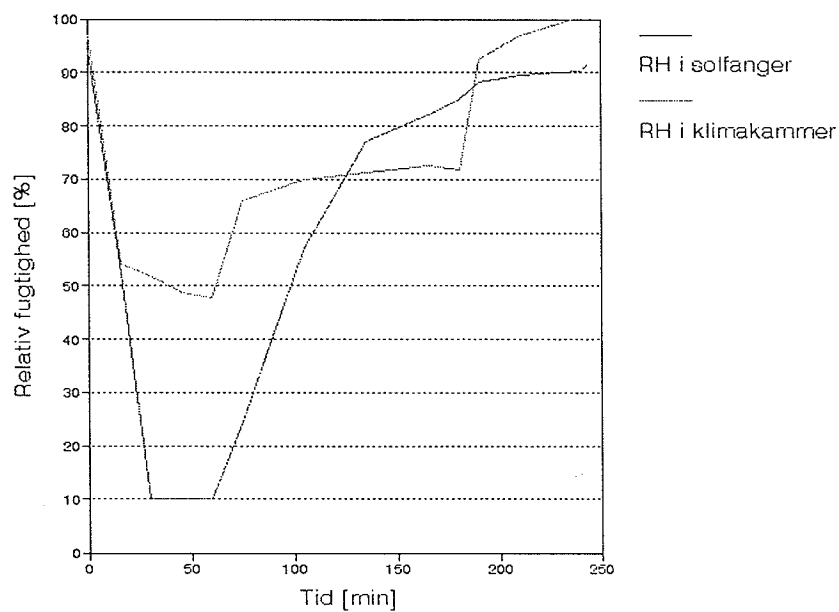


Fig. 6.2 Relativfugtighed i klimakammer og i solfanger.

7.2 Procedure for prøvning af solfangerens kondensrisiko

Prøvemetode, der kan afgøre, om en given solfanger har tilbøjelighed til at have kondens. Varighed 2-3 dage. Prøven skal vise, om solfangeren opsamler fugt ved den naturlige ventilation.

Klimasimulatoren opstilling:

Solfangeren skal befinde sig i en hældning med vandret på 45 grader.

Hastigheden af vind over solfangeren, stammende fra luftcirkulation, måles.

Proceduren er sammensat ved kombination af nedenstående perioder

Periode 1)

Påvirkninger: (varighed 5 min)

Solbestråling.

Vandpåsprøjtning.

Samtidigt med luftcirkulation i klimakammer.

Opnåelse af:

Opfugtning af luften.

100% relativ fugtighed omkring solfangeren.

Tordenvejr situation.

Er resultatet opnået:

Mål relativ fugtighed i klimakammeret og i solfangeren.

Periode 2)

Påvirkninger: (varighed 10 min)

Vandpåsprøjtning.

Samtidigt med luftcirkulation i klimakammer.

Luften køles ned.

Nathimmel i form af køleflade.

Opnåelse af:

Opfugtning af luften.

100% relativ fugtighed omkring solfangeren.

Kondens samles på overflader væk fra klimakammerets afgrænsende flader.

Underafkøling af dæklag på solfanger.

Natsituation.

Er resultatet opnået:

Mål relativ fugtighed i klimakammeret og i solfangeren.

Periode 3)

Påvirkninger: (varighed 1 time og 45 min.)

Vindsimulering træk/tryk fra sugekopper.

Fortsat luftcirkulation i klimakammer.

Luften køles ned.

Nathimmel (udvendig køleflade.)

Underafkøling af dæklag på solfanger og temperatur indvendigt i solfanger.

Opnåelse af:

100% relativ fugtighed omkring solfangeren

Kondens samles på overflader væk fra klimakammerets afgrænsende flader.

Natsituation.

Drivende kraft fra vindpåvirkninger til ventilation af solfangeren.

(Der bygges evt. kondens op indvendigt i solfangeren)

Fugtigheden opretholdes ved luftcirkulation i det, der i nederste del af

klimasimulatoren er det opsamlede regnvand med fri væske overflade.

Der ønskes en lavere temperatur i luften inden i klimasimulatoren end halluften for at undgå kondensdannelse på glassiderne og folien.

Er resultatet opnået:

Mål relativ fugtighed i klimakammeret og i solfangeren.

Temperaturer i hal, klimakammer og solfanger samt dæklagstemperatur.

Inspektion hvad angår kondens dannelse på dæklag.

Periode 4)

Påvirkninger: (varighed 1 time)

Nathimmel fjernes.

Solbestråling (ventilation af lamper).

Luftcirkulation i klimakammer.

Luften køles.

Udskiftning af luft med halluft.

Opnåelse af:

Simuleret dag med ventilering af solfangeren på grund af termisk drivtryk.
Lufttemperaturen er ca. 20°C i klimakammeret.

Luftspaltetemperaturen er høj og absorbertemperaturen er også høj.

Relativ fugtighed omkring solfangeren er dalende.

Dugpunkttemperaturen er den samme, som det opsamlede vands temperatur. Denne temperatur er lav, sammenlignet med de resterende komponenter og flader i klimasimulatoren. Dermed forekommer der ikke kondens i klimakammeret.

Høj temperatur i solfangeren, kombineret med ventilation, fjerner fugt fra solfangeren, så længe den absolutte fugtighed er lavere uden for end inden i solfangeren.

Er resultatet opnået:

Mål relativ fugtighed i klimakammeret og i solfangeren.

Mål temperaturer i luft spalte og klimakammer.

Mål temperatur af regnvand.

Periode 5) Inspektion.

Påvirkninger: (varighed 15 min)

Solbestråling (ventilation af lamper).

Luftcirkulation i klimakammer, luften køles.

Opnåelse af:

Inspektion, lav temperatur på solfangerens dæklag således at eventuel kondens viser sig her.

Er resultatet opnået:

Visuel inspektion.

Kombination af perioder (gentages 2 til 3 gange)

Påvirkninger: (varighed 3 time pr. cyklus)

1) til 4) gentages i cyklus 8 gange efterfulgt af periode 5 (inspektion).

Opnåelse af:

Undersøgelse af, om solfangeren kan virke som en fugtfælde, eller om alt fugt fra nat-situationen er ventileret ud om dagen.

Er resultatet opnået:

Mål relativ fugtighed i klimakammeret og i solfangeren.

Mål temperaturer i luft spalte og klimakammer.

Mål temperatur af regnvand.

7.3 Procedure ved prøvning af solfangeren ved cykliske påvirkninger

Indendørsprøvning, hvor der måles temperaturer og foretages løbende inspektion og kontrol af solfangerens funktion. Varighed 30 dage.

Prøvningen skal specielt vise, om de valgte materialer er sammensat på en måde, så solfangeren ikke med tiden får skavanker. Forhold, der specielt er afgørende, er temperatur-svingninger, skiftende fugtighed, påvirkning af UV-stråling og mekanisk påvirkning.

Klimasimulatoropstillingen er således, at solfangeren befinder sig i en hældning med vandret på 30 grader.

Proceduren er sammensat ved kombination af nedenstående perioder.

Periode 1)

Påvirkninger: (varighed 1 time)

Nathimmel fjernes.
Solbestråling.
Luftcirkulation i klimakammer.
Luften køles.

Opnåelse af:

Simuleret dag med høje temperaturer i solfangeren.
Lufttemperaturen er ca. 25°C i klimakammeret.
Luftspaltetemperaturen er høj, og absorbertemperaturen er høj.

Er resultatet opnået:

Mål temperaturer af luft i luft spalte og klimakammer.
Mål absorbertemperatur og dæklagstemperatur.

Periode 2)

Påvirkninger: (varighed 2 time)

Luftcirkulation i klimakammer.
Luften køles ned.
Nathimmel (udvendig køleflade).

Opnåelse af:

Simuleret nat.
Underafkøling af dæklag på solfanger og temperatur indvendigt i solfanger.

Er resultatet opnået:

Mål temperaturer af luft i luftspalte og klimakammer.
Mål absorbertemperatur og dæklagstemperatur.

Periode 3)

Påvirkninger: (varighed 3 time pr. cyklus)

1) og 2) gentages i cyklus 8 gange.

Opnåelse af:

Termisk cyklus af temperaturerne i solfangeren

Er resultatet opnået:

Inspektion af solfanger, om der er tegn på, at kombinationen af materialer ikke opfører sig efter hensigten.
(udkrypning af tætningslister, sprækker, udbuling.)

Periode 4)

Påvirkninger: (varighed 1 time)

Vandpåsprøjtning

Vindpåvirkning i form træk/tryk fra sugekopper

Opnåelse af:

Regntæthedprøve kombineret med mekanisk belastning

Er resultatet opnået:

Visuel inspektion af fuger.

Periode 5) Inspection.

Påvirkninger: (varighed 15 min)

Solbestråling.

Luftcirkulation i klimakammer.

Luften køles.

Opnåelse af:

Kondens på inderside af dæklag som tegn på vandindtrængning i solfanger

Lufttemperaturen er ca. 25°C i klimakammeret.

Luftspaltetemperaturen er høj, og absorbertemperaturen er høj.

Er resultatet opnået:

Mål temperaturer af luft i luft spalte og klimakammer.

Mål absorbertemperatur og dæklagstemperatur.

Visuel inspektion af tegn på vandindtrængning.

Opmåling af areal med kondens på dæklaget.

Kombination af perioder (gentages 4 gange)

Påvirkninger: (varighed 7 dage)

Periode 3) gentages 7 gange efterfulgt af periode 4) og 5) (inspektion).

Opnåelse af:

Simuleret langtidspåvirkning af solfanger ved cykliske påvirkninger.

Er resultatet opnået:

Visuel inspektion af solfanger i sin helhed.

8. Afsluttende betragtninger.

Som resultat af projektet er IBE nu i besiddelse af en klimasimulator, hvor solfangere kan blive testet under cykliske påvirkninger.

IBE har store forventninger til fremtidige samarbejder med såvel fabrikanter som Prøvestationen for Solenergi i forbindelse med udviklingsarbejder eller forbedringer i standardprøvningsprocedure for holdbarhedsprøvning af solfangere.

Resultater fra prøvning i klimasimulatoren kan blandt andet sammenlignes med resultater fra prøvning på DTI, hvor solfangere har gennemgået en udendørs eksponering i et år. Under den udendørs eksponering er solfangerne ude af drift og udsættes for udevejrforholdene. Den udendørs prøvningsform er vanskelig at benytte i forbindelse med udviklingsarbejder p.g.a. tidsforbruget. I forbindelse med nye godkendelser kan det også tænkes, at man ønsker resultater på et tidligere tidspunkt.

Der er udbygningsplaner for klimasimulatoren, som går ud på at supplere den med isolerede vægge, for bedre at kunne holde temperaturen under 0°C i klimakammeret. Inspektion skal stadig være mulig, så væggene skal indeholde aftagelige inspektionsporte.

App 1. Tekniske data for prøvestand.

Specifikationer:

Dimensioner på bygningsdele:

1200mm x 3000mm x 300mm.

Plads i apparat:

1300mm x 3180mm x 435mm.

Hældninger:

vandret(0°) til lodret (90°), kort side vandret

vandret(0°) til (45°), lang side vandret

Typiske prøveemner:

Solfanger 1,2m x 3m, vinduer 2 stk.

1,2m x 1,5m, tagflade 1,2m x 3,0m,

mur 1,2m x 3,0m

Prøveemner monteres via lem i klimasimulatorens gavl.

Inspektion via rudeelementer i klimakasse.

Nødvendig varme fjernet ved ventilation:

30 000 W = x kg/sek 1000J/kgK 30 K

Ventilations behov:

1 kg/sek. = 1 m³/sek = 3600 m³/h

Regnvandspumpe, Grundfos Jetpumpe JP 6:

1-faset motor uden hydrostat.

Sprinkler anlæg:

mb-TEKNIK

Vandmængde ved 2 bars tryk:

40 l/min.

Indvendig køleflade: Novenco.

Køleeffekt 2,6 kW

Indvendige ventilatorer:

Parlock SV 354.

Lufthastighed ca.:

1 m/sek.

Solbestråling mere end:

1000 W/m²

Nathimmeltemperatur:

0°C

Sugekopper med tryk/trækaktuatorer (trykluftcylindre) belastning pr sugekop/cylinder:
0,6mx0,6mx600Pa = 216Pa = 20 kg

App 2. Oversigt over standarder og relevant litteratur

Standarder:

Dansk Standard, DS 1094.4 2 udg. marts 1983. Beskriver en metode til accelereret ældning af termoruder.

Dansk Standard DS 1127 1 udg. juli 1985. Metode til at udsætte bygningskomponenter og byggematerialer for accelereret klimapåvirkning i vertikal stilling. (Denne standard er identisk med Norsk Standard NS 8140 1.udg. 1985).

Din 50010, august 1981, oktober 1977. Klimatiske definitioner.

CEN/TC 89 N 438 E. External walls - Driving rain tests.

Draft International Standard ISO/DIS 9806-2.2 Qualification test procedures.

CEN/TC 312. Test methods for solar collectors, part 2, reliability test, third draft, july 1996.

Relevant litteratur:

Lette ydervægges levetider, forsøg med accelereret ældning. SBI-RAPPORT 255, 1995

Solfangeres holdbarhedsmetoder og anvendelighed. Prøvestationen for solenergi, juli 1996.

App 3. EuroSun'96 paper

Accelerated Testing of Solar Collector Durability

*Svend Svendsen
Department of Buildings and Energy
Technical University of Denmark
Building 118
DK-2800 Lyngby
Phone: +45 45 25 18 54
Fax: +45 45 93 44 30*

Introduction

Solar collectors must have a long lifetime especially because of economical reasons. A collector can be divided into the exterior part - the collector box - and the interior part - the absorber and insulation. Furthermore the collector has a mounting system and a pipe work system that are also of importance with respect to lifetime of collectors.

Solar collectors are exposed to the climatic conditions in a similar way as building envelope constructions, but in addition the interior and the exterior part of collectors are also exposed to high temperatures. This leads to the need of work on the durability of collectors. To a large extent solar collectors are still being developed and therefore there is a need for methods and equipment for accelerated testing of new collectors before they are put on the market.

Methods and facilities for testing the reliability of collectors have been developed, [1,2]. These methods also include the rain tightness of the collector box, but the tests are only valid for new collectors and do not give information about the rain tightness after the collector has been exposed to a number of temperature cycles due to operation of the collector.

Methods of testing the durability of materials such as the selective absorber coating have been developed, but it is essential to characterize the microclimate inside the collector box to predict the durability, [3].

What is still needed is methods and facilities to expose collectors to extreme climatic conditions and temperature variations in an accelerated and cyclic way and during this process test the function of the collector and characterize the microclimate inside the collector box.

Description of climatic simulator - CliSim

In order to be able to work on developing accelerated methods to test the solar collector durability a climatic simulator - named CliSim - has been built. The facility has just been finished and has not yet undergone the commissioning test. Therefore the following description only includes the design and the expected performance data. No test results are available for the time being but will be reported at a later stage.

The CliSim facility that is shown on figure 1 can be used to test collectors with a maximum size of 1.3m x 3.0m and maximum thickness of 0.3m. The facility can be tilted around either the short or the long side as shown on figure 2. In this way both collectors designed to be mounted with the short side and the long side horizontally can be tested in the facility. Different tilt angles are possible, but a standard slope of 30° is foreseen. The collector can be mounted on a frame that can be moved into the test chamber of the facility. The collector can be mounted directly on the frame or on a roof cladding on the frame. The test chamber is equipped with windows above, below and at the long sides of the collector. The window above the collector is made of a thin Teflon film and is used for exposing the collector to solar and thermal radiation. The other windows are for inspection during the test.

In the CliSim facility the following climatic parameters can be simulated: variable air temperature including freezing, sky radiation, wind (air flow), wind and snow load (positive and negative mechanical force), driving rain at the front and back and perimeter of the collector, solar radiation including UV-radiation.

The air temperature in the climatic box is controlled by a fan coil unit connected to the central cooling system operating at -20°C. The wind is simulated by use of the fans in the fan coil unit blowing air along the surface of the collector cover. An air velocity up to 3 m/s is foreseen.

The mechanical effect of snow and the wind gusts are simulated by use of 10 suction cups fixed to the cover and connected to double acting pneumatic cylinders. The suction cups are distributed uniformly over the test area with a distance of 0.6m and can simulate positive or negative loads up to 600 Pa in a static or dynamic way (wind gusts).

The driven rain is simulated by spraying nozzles according to the requirements of the preliminary CEN standard on collector testing, [2]. 8 full cone nozzles (Lechler 460, 528. 5e. ca.) are spraying 2.4 liter/m² min on the cover. 8 Lechler 460. 408. 5e. ca. nozzles are spraying at the back and 16 Lechler 460.408. 5e.ca. nozzles are spraying at the frame of the collector. The water is re-used by use of a pump and the pressure can be adjusted to get the correct flow rate.

The sky radiation is simulated by use of a cold surface covered with a thin plastic film placed 2 cm from the surface. The cold surface is situated outside the test chamber and can be placed over the Teflon film window. The thermal radiation from the collector will pass the two plastic films and be absorbed in the cold surface. The glass in the windows at the sides of the test chamber has a low-e-coating and will reflect the thermal radiation from the collector cover to the cold surface. A ventilation of the open air gap between the two plastic films avoids the formation of condensation on the plastic films:

The solar radiation is simulated by use of 94 lamps (Osram Ultra-Vitalux) with a power of 300 W. The spectral distribution of the radiation from the lamps are shown on figure 3. In order to get a uniform irradiance over the test area the lamps are fixed

in such a way that they are aiming at certain points. The aiming points are shown on figure 4 together with the calculated irradiance. The average irradiance is 1150 W/m^2 without the Teflon film which is expected to reduce the irradiance by 5 %.

By the use of an automatic controlling system the solar collector can be exposed in a cyclic way to the different climatic parameters at an extreme or moderate level and one at a time or in combinations. During the exposure of the collector to the climatic parameters the function of the collector can be tested. The temperature of the fluid inside the absorber can also be controlled to simulate ordinary operation in order to characterize the microclimate in the collector box.

Further work

It is planned to start work on developing one or more test methods to characterize solar collectors with respect to

- microclimate in the collector box
- reliability under extreme climatic conditions
- accelerated or cyclic exposure of the collector

The test method is expected to be based on a period of up to 30 days. The usefulness of the test is expected to be the possibility of making quick and reproducible tests of new solar collectors being developed. This will hopefully lead to an improvement of the quality of new collectors put on the market.

References

- [1] STG-Report "Recommendations for Performance and Durability Tests of Solar Collectors and Water Heating Systems". May 1989.
- [2] ISES Congress 1989 "Testing of Rain Tightness and Mechanical Performance of Solar Collectors". S. Svendsen. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark.
- [3] IEA Task X. Accelerated Life Testing of Solar Energy Materials. February 1994.

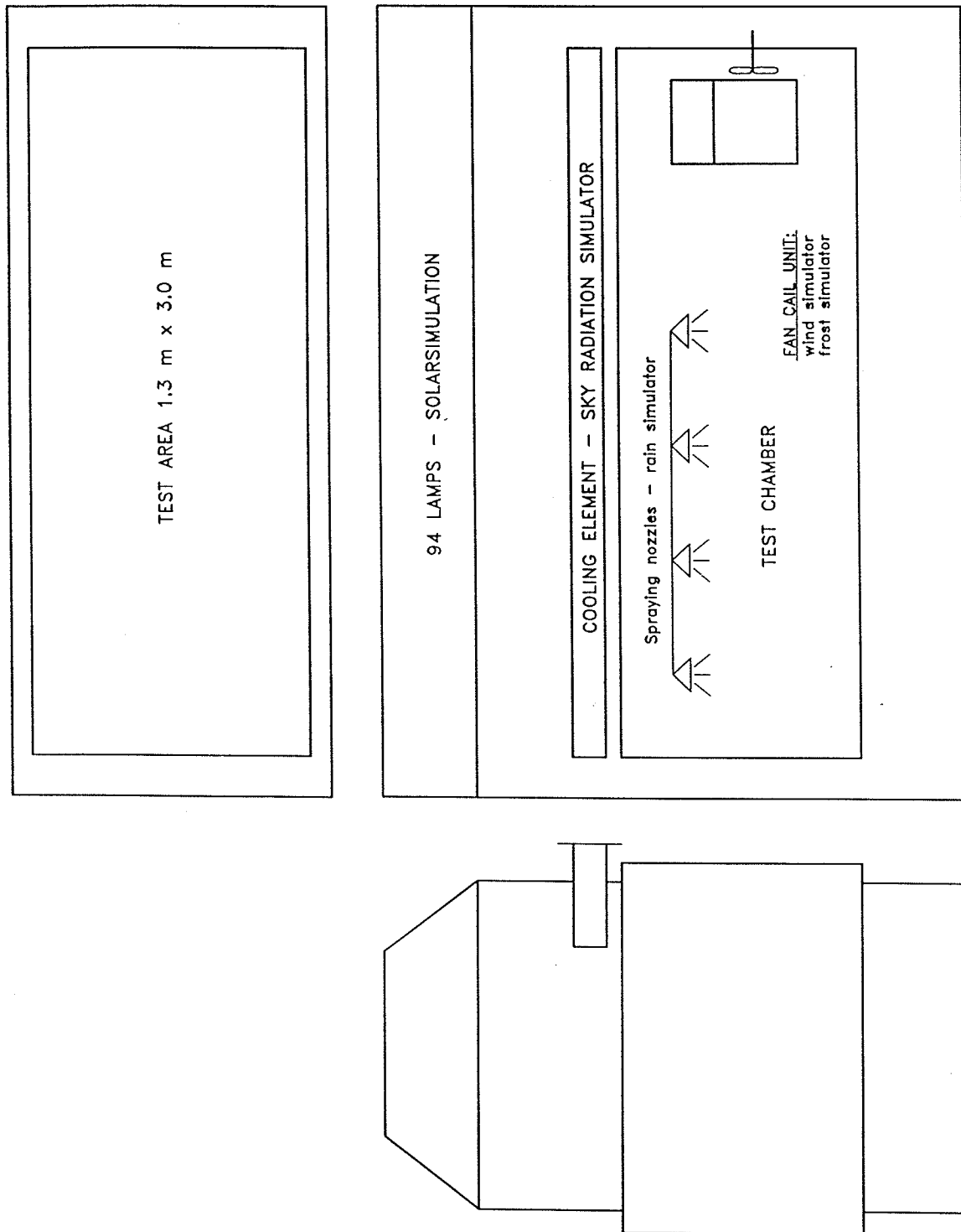


FIG. 1 SECTIONS OF OUT DOOR CLIMATE SIMULATOR - CLISIM FACILITY

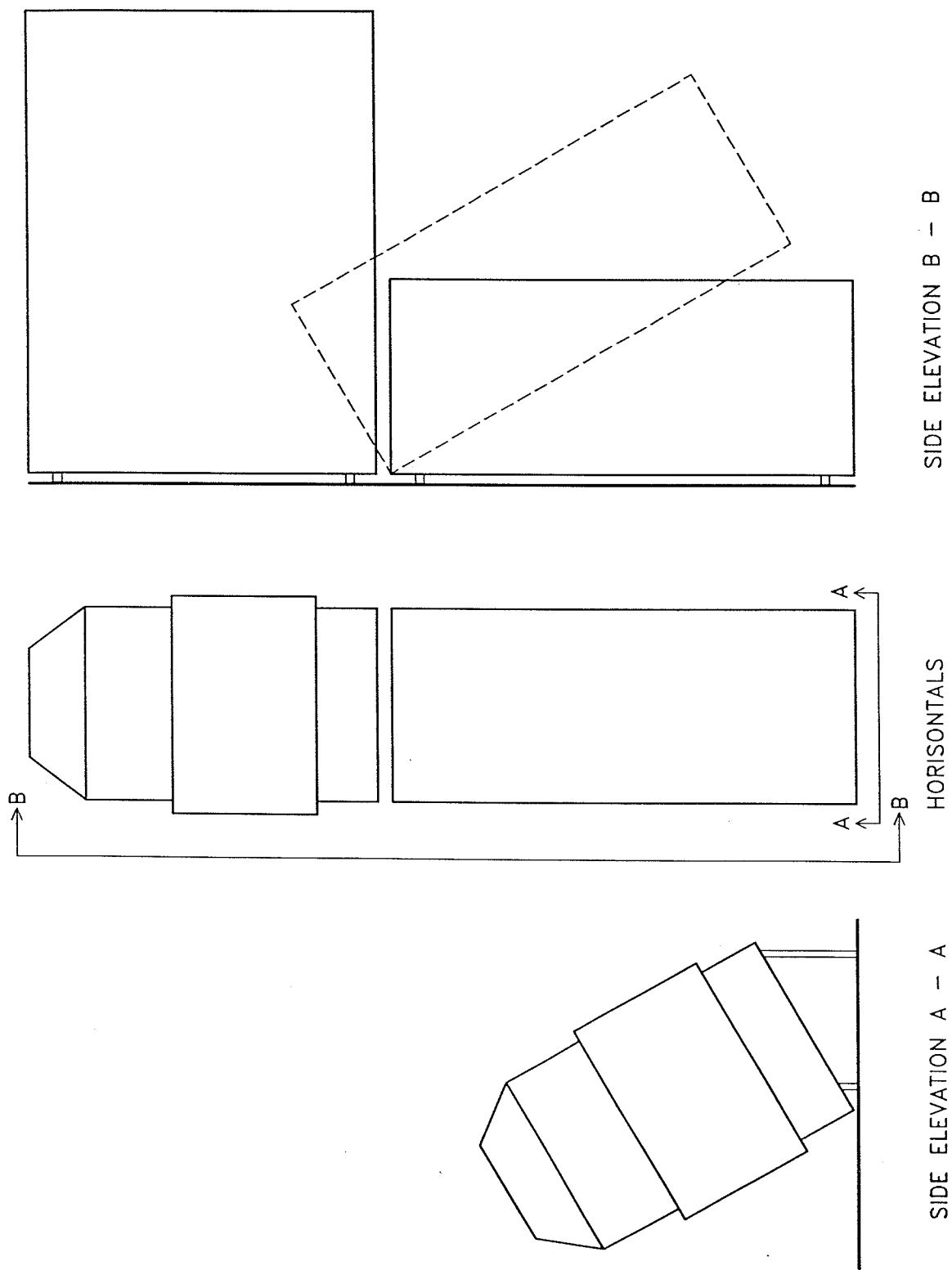


FIG. 2 THREE TYPICAL TEST POSITIONS OF THE CLISIM FACILITY

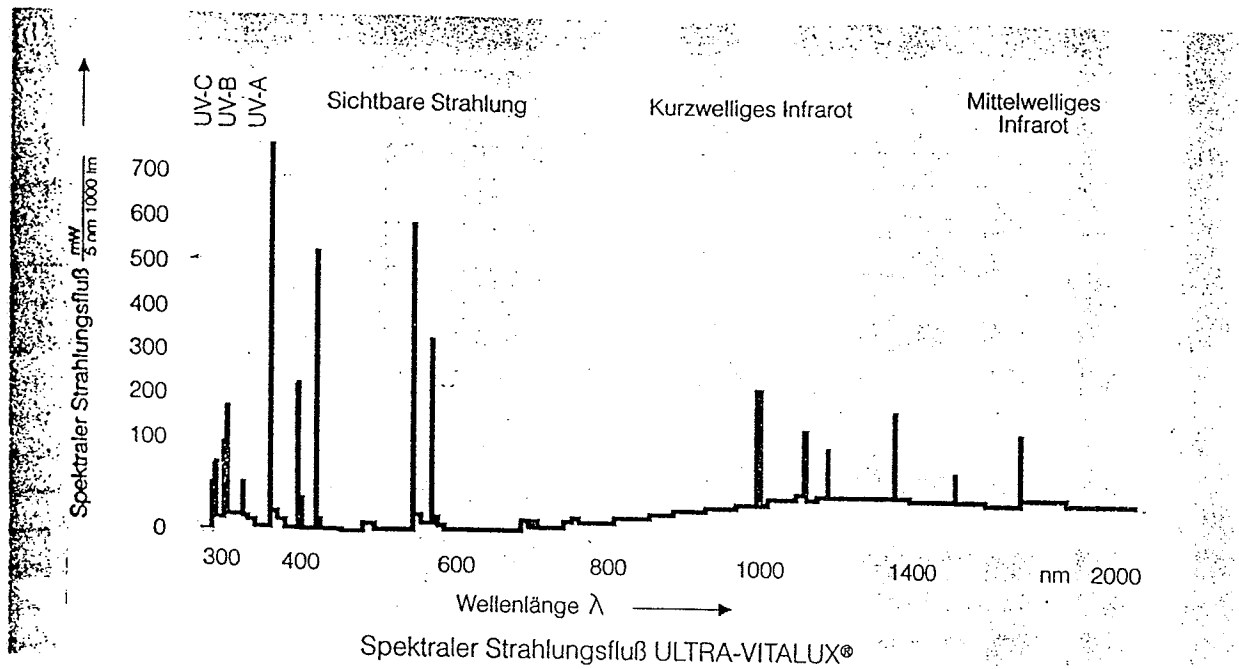


Figure 3. Spectral distribution of radiation from the lamp. From Osram.

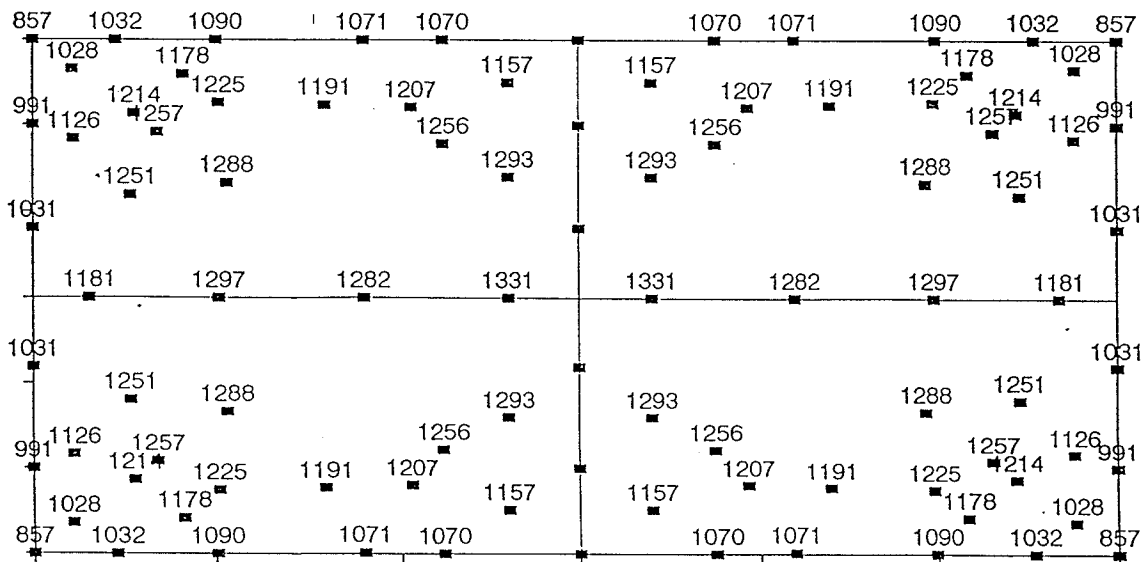
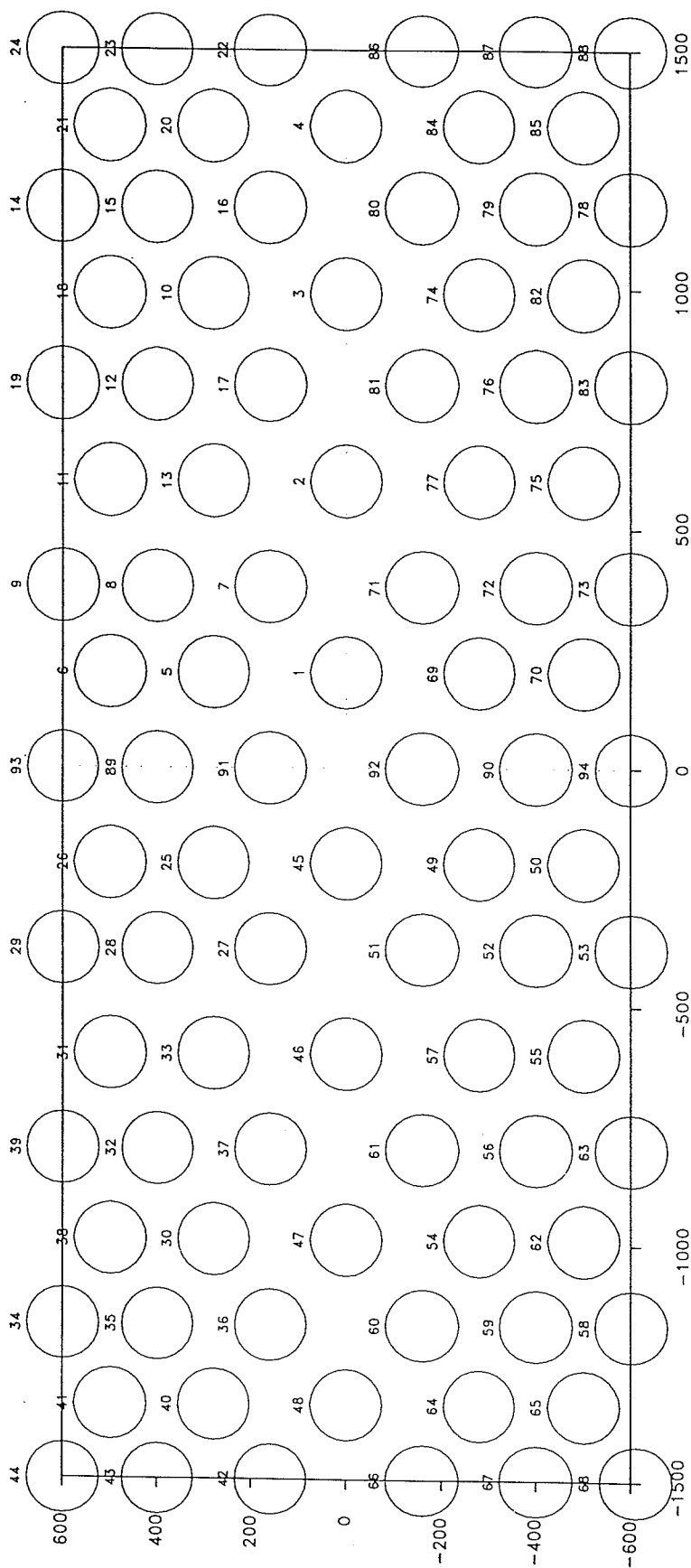


Figure 4. Aiming points of the lamps and the irradiance in these points in W/m^2 .

App 4. Tegning af lampepositioner

Lampeposition



○ Lampe placering