

By og Byg Dokumentation 048

# Klimasimulatorer

Teknisk dokumentation for accelereret ældning,  
perioden 1994–2002

# Klimasimulatorer

Teknisk dokumentation for accelereret ældning, perioden 1994–2002

Hans Kaaris

Titel	Klimasimulatorer
Undertitel	Teknisk dokumentation for accelereret ældning, perioden 1994-2002
Serietitel	By og Byg Dokumentation 048
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2003
Forfatter	Hans Kaaris
Sprog	Dansk
Sidetæl	42
Litteratur-henvisninger	Side 37-38
Emneord	Klimasimulatorer, byggematerialer, bygningskomponenter, holdbarhed, levetid, accelereret, ældning
ISBN	87-563-1184-2
ISSN	1600-8022
Pris	Kr. 95,00 inkl. 25 pct. moms
Tekstbehandling	Solveig Johansen
Fotos	Jan Carl Westphall
Udgiver	By og Byg Statens Byggeforskningsinstitut, P.O. Box 119, DK-2970 Hørsholm E-post <a href="mailto:by-og-byg@by-og-byg.dk">by-og-byg@by-og-byg.dk</a> <a href="http://www.by-og-byg.dk">www.by-og-byg.dk</a>

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *By og Byg Dokumentation 048: Klimasimulatorer. Teknisk dokumentation for accelereret ældning, perioden 1994-2002. (2003)*

# Indhold

Forord .....	4
Sammenfatning .....	5
Indledning .....	6
Projekteringsgrundlaget for klimasimulatorerne .....	7
Standardens krav til "De fire årstider" .....	7
Krav til Apparatur .....	7
Standardens krav til procedure .....	8
Driften af "De fire årstider" .....	9
Stor klimasimulator med lodret, stationært prøvefelt .....	9
Valget af påvirkninger i de fire påvirkningsfaser .....	10
Begrundelse for valg af ændret bestråling i solfasen med UV- og varmestråling .....	11
Sammenligning med andre standarders bestrålingsstyrke .....	12
Sammenligning med største UV-irradians i Norden .....	12
Bestrålingsacceleration .....	12
Sortpladetemperaturen .....	13
Udformning af Klimasimulatoren .....	14
Lampearrangement .....	15
Irradiansmåling .....	15
Irradiansfordeling over prøvefeltet .....	18
Halogenlamper .....	21
Vandpåsprøjtning .....	21
Luftkøleanlæg .....	22
Styringen af faser, sekvens og cykler .....	22
Udstyrenes ydeevne .....	23
Bestrålingsfasen med UV og varme .....	23
Udstyr til irradiansmålinger .....	23
Målinger af irradians i "De fire årstider" .....	24
Målinger af irradians i stor klimasimulator .....	26
Fald i lampernes irradians i den store klimasimulator .....	27
Filterglassets trasmittansændring .....	27
Accelerationsfaktorer for strålingsfasen i klimasimulatorerne .....	28
Valg af globalstrålingsdata fra Norden .....	28
Accelerationsfaktorer for stråling i "De fire årstider" .....	30
Accelerationsfaktorer for stråling i den store klimasimulator .....	30
Måleusikkerhed for radiometermåling .....	31
Ydeevne for regn-/befugtningsfasen .....	32
Kølefasen .....	32
Erfaringerne fra driften af den store klimasimulator .....	33
Lampernes levetid under drift .....	33
Lampefatninger og ledninger .....	34
Eksempler på udførte ældningsforsøg .....	35
Revision af standard .....	36
Litteratur .....	37
Standarder .....	37
Publikationer .....	37
Bilag A NT BUILD 495 .....	39

# Forord

Viden om byggematerialers og byggekomponenters levetid og holdbarhed er efterspurgt i byggeindustrien.

By og Byg har to klimasimulatorer, hvori byggematerialer og byggekomponenter kan udsættes for en accelereret ældningsproces. De to klimasimulatorer har været anvendt ved en række forskellige afprøvninger og i de tilhørende rapporter er der en kort beskrivelse af dem og de valgte påvirkninger.

By og Byg har fundet det vigtigt at have en bedre dokumentation af de to klimasimulatorer, herunder for valg af påvirkninger. Denne dokumentation er vigtig i forbindelse med samarbejde på holdbarhedsområdet, såvel med andre forskere som med byggeindustrien.

By og Byg, Statens Byggeforskningsinstitut  
Afdelingen for Byggeteknik og Produktivitet  
September 2003

*Jørgen Nielsen*  
Forskningschef

# Sammenfatning

I denne By og Byg Dokumentation dokumenteres instituttets to prøvestande til accelereret ældning af byggematerialer og bygningskomponenter i klimaskærmen. De to prøvestande, "De fire årstider" og den store klimasimulator, er dokumenteret frem til 2002, hvor de skal bygges om jf. den nedenfor nævnte revision af standarden.

Prøvninger i prøvestanden "De fire årstider" er begrænset – dog med mulighed for visse modifikationer – til at udføres efter DS 1127: "Metode til at udsætte bygningskomponenter og byggematerialer for accelereret klimapåvirkning i vertikal stilling" (Dansk Standard, 1985). I "De fire årstider" monteres prøveemnerne på en firkantet karrusel med lodrette prøvefelter på hver 1,6x1,6 m.

Den store klimasimulator, der har et stationært prøvefelt på 3,2x3 m, er primært konstrueret som et fleksibelt redskab til forskningsformål. Den kan dog også benyttes til prøvning efter DS 1127 med den afvigelse, at UV-bestrålingens spektralfordeling og irradians er valgt anderledes for at opnå en bestråling, der svarer bedre til globalstrålingen på horisontalt plan ved ækvator.

Dokumentationen behandler:

- projekteringsgrundlaget
- valget af påvirkninger i de fire påvirkningsfaser
- udformningen og de anvendte tekniske løsninger
- udstyrets ydeevne i solfasen med UV- og varmestråling
- den programmerbare styring af faseforløbene og
- erfaringerne fra driften.

Specielt ydeevnen i strålingsfasen, der er forskellig for de to klimasimulato-  
rer, dokumenteres både med hensyn til spektralfordeling og bestrålingsstyr-  
ke.

Desuden omtales nogle af de væsentligste ældningsforsøg med både små og store prøveemner gennemført siden 1994.

Til slut omtales den nye standard for påvirkninger NT BUILD 495 (Nordtest, 2000) (Bilag A), som er en revision af DS 1127 og som de to prøvestande skal ombygges til at kunne følge.

# Indledning

Klimasimulatorer til accelereret ældning er en nødvendig type prøvnings- og forsøgsudstyr i forbindelse med By og Bygs forskning i materialers og konstruktioners levetid.

Siden 1985 har By og Byg benyttet prøvestanden "De fire årstider" til accelereret ældning.

I "De fire årstider" monteres prøveemnerne på en firkantet karrusel. Prøvestanden er her beskrevet med hovedvægt på dokumentation af ydeevnen i bestrålingsfasen. Denne prøvestand har uændret været i brug fra 1985 til 2002, men står nu, efter en validering, over for en ombygning af bestrålingsdelen, så den opfylder kravene i standarden NT BUILD 495 (Nordtest, 2000).

I 1994 ombyggede laboratoriet en ældre lodret varm-kold prøvestand med et stationært prøvefelt på 3,2 x 3,0 m, så den også kunne fungere som klimasimulator til accelereret ældning af prøveemner helt op til bygningsdelstørrelse.

Denne store klimasimulator tilgodeser et forskningsbehov for forsøg med ældning af facadestore prøveemner, hvor materialer og sammenbygningsdetaljer kan studeres i fuld skala under indflydelse af forskellige faseforløb i valgfri rækkefølge. Ved konstruktionen i 1994 af den store klimasimulator blev globalstrålingen ved ækvator i UV-området fastlagt som mål for ydeevnen i bestrålingsfasen.

Det er normalt at standardiserede metoder og det tilsvarende udstyr er valideret og fundet egnet til sit formål før metoden bliver godkendt, og at der kan forventes en passende veliabilitet med metoden.

DS 1127 ses ikke at have været valideret før end i forbindelse med en undersøgelse på By og Byg i 1995. Her blev der foretaget en undersøgelse af lette træfacaders levetider (Woetmann Nielsen, 1995) ved afprøvning i begge klimasimulatorer. Ved sammenligning med in-situ træfacader er metodens egnethed og omtrentlige accelerationsfaktorer dokumenteret for disse træfacader. Denne dokumentation giver et yderligere bidrag til validering af bestrålingsfasen.

Norges Byggeforskningsinstitut (NBI) og By og Byg har i et fælles Nordtestprojekt udarbejdet en prøvningsmetode til benyttelse i udstyr af karruseltypen. Metoden er en revision af standarden DS 1127 (Dansk Standard, 1985). Metoden er nu godkendt som NT BUILD 495 (Nordtest, 2000) (Bilag A), og vil blive forsøgt anerkendt internationalt gennem det arbejde der pågår inden for CIB, RILEM og ISO.

# Projekteringsgrundlaget for klimasimulatorerne

Prøvestanden "De fire årstider" er konstrueret og benyttet til prøvninger der, på nær mindre afvigelser, følger standarden DS1127 (Dansk Standard, 1985).

Eksponeringen består af et antal cykler, hver bestående af skiftevis påvirkning af:

- A. UV-lys og varme
- B. Vand
- C. Frost
- D. Laboratorieklima.

Hver påvirkningsfase varer lige længe, nemlig den tid der går mellem hver drejning af karrusellen.

Den store klimasimulator er projekteret med samme påvirkningsmuligheder som efter DS1127, med undtagelse af en anden og kraftigere påvirkning i bestrålingsfasen og en fleksibel styring af cyklus, så påvirkningsfaserne ikke behøver at være lige længe.

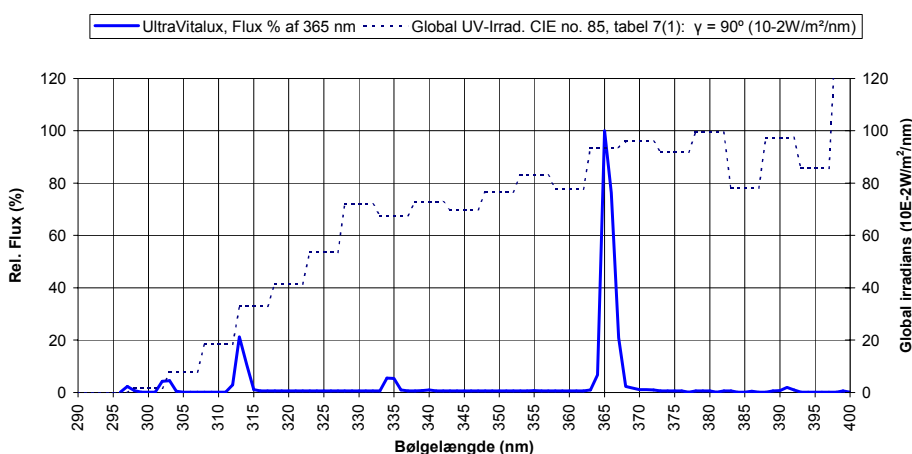
## Standardens krav til "De fire årstider"

### Krav til apparatur

Apparaturet skal bestå af tre klimakamre og laboratoriemiljøet, hvor de fire prøvefelter på karrusellen med prøveemner efter tur udsættes for følgende påvirkninger:

A Lys- og varmestråling, vinkelret på prøvelegemerne, med en intensitet på  $1900 \pm 50 \text{ W/m}^2$  nominel tilført effekt. Hver lampe skal have en nominel effekt på 300 W og en relativ spektralfordeling i UV-området, som vist i

figur 1.



Figur 1. Standardens strålefase forudsætter anvendelse af OSRAM's lampe ULTRAVITALUX 300 W. Det er en kviksløvhøjtrykslampe med Wolfram glødetråd, der udsender liniestråling både i UV-området og i det synlige og infrarøde område. Lampens relative spektralfordeling passer dårligt til globalstrålingen i UV-området, der her er vist til sammenligning.

Lampernes indbyrdes afstand skal være ca. 0,4 m, og afstanden fra lamperne til prøvelegemerne skal være 0,5 til 0,6 m. Lamperne skal udskiftes efter 56 døgn brændetid. De skal udskiftes efter tur for at be-

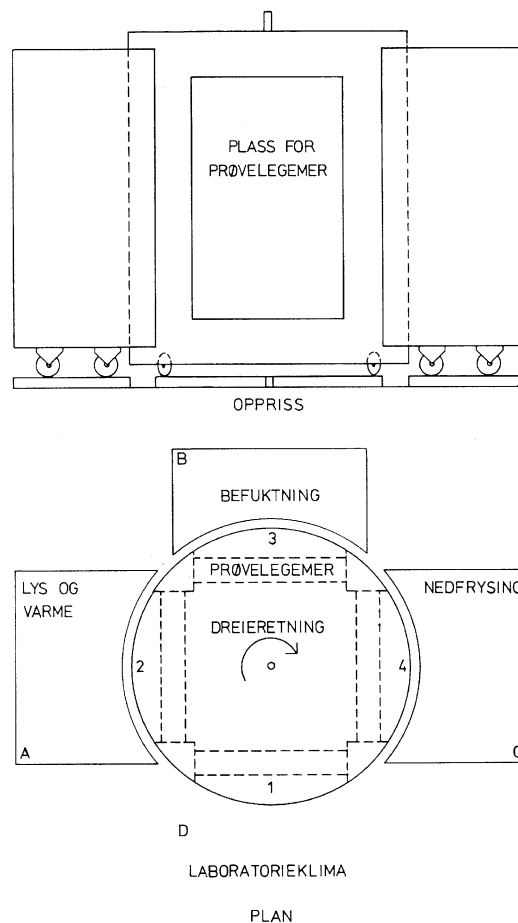


strålingsstyrken/irradiansen på prøvelegemerne skal variere mindst muligt med tiden <sup>1</sup>.

Sortpladetemperaturen i prøveplanet skal stige til  $75 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  i løbet af  $\frac{3}{4}$  time, fra prøvelegemet er kommet ind i strålekammeret, og holdes der ved hjælp af ventilation med luften i laboratoriet. Sortpladetemperaturen måles på en matsort kalibreringsplade af 10 mm cementbundet fiberplade med bagvedliggende varmeisolerende af 50 mm mineraluld med varmeledningsevnen  $\lambda = 0,035 \text{ W/(m K)}$ .

- B Befugtning med finfordelt afioniseret vand,  $15 \pm 2 \text{ l/(m}^2 \text{ h)}$ .
- C Nedkøling til en lufttemperatur på  $-20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- D Optøning ved almindeligt laboratorieklima med mulighed for inspektion, udskiftning og omplacering af prøveemner.

Et eksempel på et egnet prøvningsapparat er vist i figur 2, og "De fire årstider" er vist i figur 3



Figur 2. Principiel opbygning af apparatur.

### Standardens krav til procedure

Prøvelegemerne udsættes for klimapåvirkningerne A, B, C og D i den nævnte rækkefølge. Tiden i hver af påvirkningspositionerne fra A til D skal være en time, og apparaturet skal gå kontinuert.

For at udjævne forskelle i temperatur og stråling bør prøvelegemerne bytte plads indbyrdes under eksponeringen.

<sup>1</sup> OSRAM opgiver i brochure fra 1980 at 16 lamper pr.  $\text{m}^2$  på 50 cm afstand giver en total irradiation for området 280-2700 nm på  $1000 \text{ W/m}^2$ . Med 16 lamper pr.  $2,56 \text{ m}^2$ , som i "De fire årstider", må man forvente en total irradiation på  $390 \text{ W/m}^2$ . CIE anbefaler til kunstig ældning (CIE, 1972) en irradiation på  $1000 \text{ W/m}^2$ , med samme relative spektralfordeling i UV-området som i globalstrålingen.



Figur 3. Foto af "De fire årstider" der fra venstre viser vandtank med 280 l demineraliseret vand til regnfasen, klimakassen med 16 ULTRAVITALUX lamper, karruselsiden med prøveemner (her et undertagsmateriale) der befinder sig i optøningsfasen ved almindeligt laboratorieklima og den fritstående kølemaskine. Når der skal ske drejning ved faseskift trækkes og vippes de tre klimakasser ud fra karrusellen, der så kan dreje en kvart omgang omkring sin midtersøjle.

### Driften af "De fire årstider"

Prøvningerne på By og Byg er udført uden væsentlige afvigelser fra standarden DS 1127 (Dansk Standard, 1985).

By og Byg har dog afviget fra kravene på følgende punkter:

- Lampeudskiftning er ikke udført efter tur når lamperne har brændt i 56 døgn/1344 h. Normalt er alle lamperne blevet skiftet ud samtidigt når de var udbrændt efter ca. 5000 h. Osram angiver middelbenyttelsestiden til 1000 h, svarende til et fald i bestrålingsstyrken på 50 %. Det betyder at bestrålingen hidtil er påført med en stor og ukendt usikkerhed. For strålingsfølsomme prøveemner er det uacceptabelt.
- Fasetiden på en time er ikke benyttet, fordi de fleste prøvninger kræver to eller fire timer for at opnå en stationær temperatur- eller fugttilstand i prøveemnerne.
- I påsprøjtningssfasen er der i nogle tilfælde benyttet delvis recirkulation af vand når afløbsvandet så rent ud og ikke gav misfarvning af prøveemnerne.
- Lufttemperaturen i kølefasen har normalt ikke været  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  som foreskrevet, men indstillet til en temperatur i området  $-5\text{ til }-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , afhængig af bl.a. ønsket om at regulere frostindtrængningsdybden i prøveemnerne.
- Kravet om ombytning af prøveemnernes placering i prøveperioden har ikke været opfyldt, heller ikke for prøvninger med små flytbare emner.

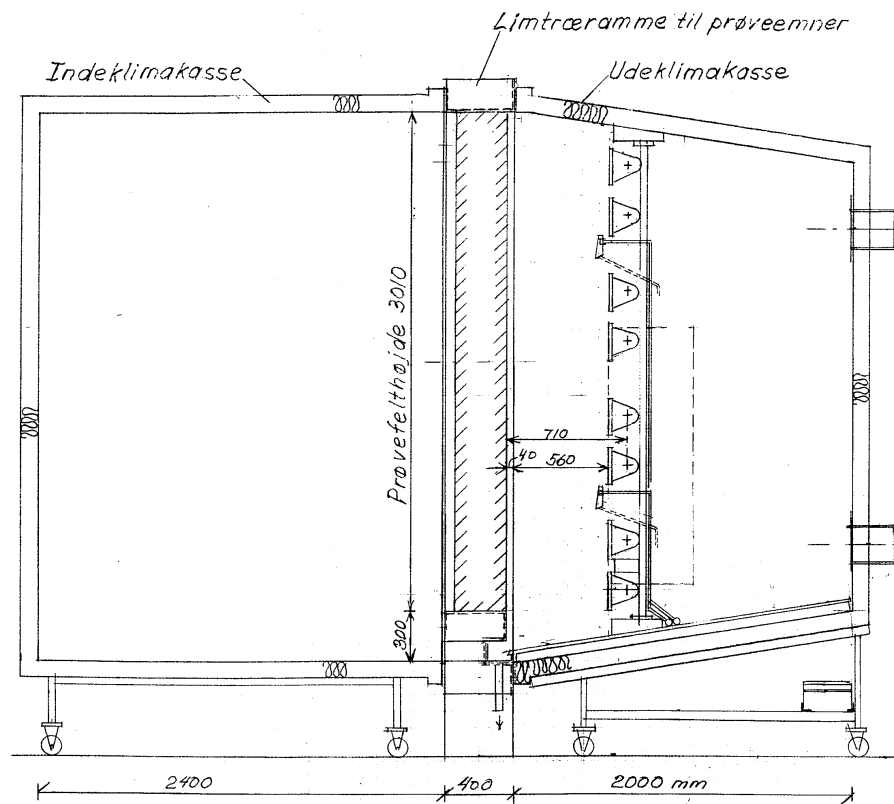
### Stor klimasimulator med lodret, stationært prøvelfelt

I hovedtræk består prøvestanden af en stor lodret ramme af lamineret træ, en udeklimakasse og en indeklimakasse (figur 4). I rammen, der er fast monteret på laboratoriegulvet, kan der i prøvelfeltet på  $3,2 \times 3,0\text{ m}$  monteres prøveemner, fra store facade- og tagelementer til alle størrelser af mindre prøveemner, med eller uden blindvæg mod indeklimakassen. De to flytbare klimakasser låses fast til rammen af pneumatiske knæled.

I udeklimakassen er der monteret 12 stk. 750 W halogenglødelamper og 12 stk. 400 W UV-metalhalogenlamper i lukkede lyskasterarmaturer samt seks vanddyser. Herudover er der på bagsiden af kassen monteret køle-

slanger til kølemaskine og motorstyrede spjæld, der kan skifte stilling, så kassen kan ventileres med laboratorieluft i sol- og ventilationsfasen.

I indeklimakassen kan lufttemperatur, luftfugtighed og overtryk reguleres med supplerende udstyr, hvis et forsøg kræver andre klimaværdier end i prøvningshallen.



Figur 4. Tværsnit af stor klimasimulator med lodret stationært prøvefelt. Prøvefeltets bredde er 3200 mm.

## Valget af påvirkninger i de fire påvirkningsfaser

Formålet har været at konstruere en prøvestand for rumstore prøveemner, der både kunne prøves efter den faste procedure i DS 1127 (Dansk Standard, 1985) og efter mere fleksible procedurer - betinget af formålet i de konkrete ældningsforsøg. Der skulle derfor frit kunne vælges/indstilles rækkefølge og længde af hver påvirkningsfase, sortpladetemperatur, køletemperatur og besprøjtningstid i regnfasen.

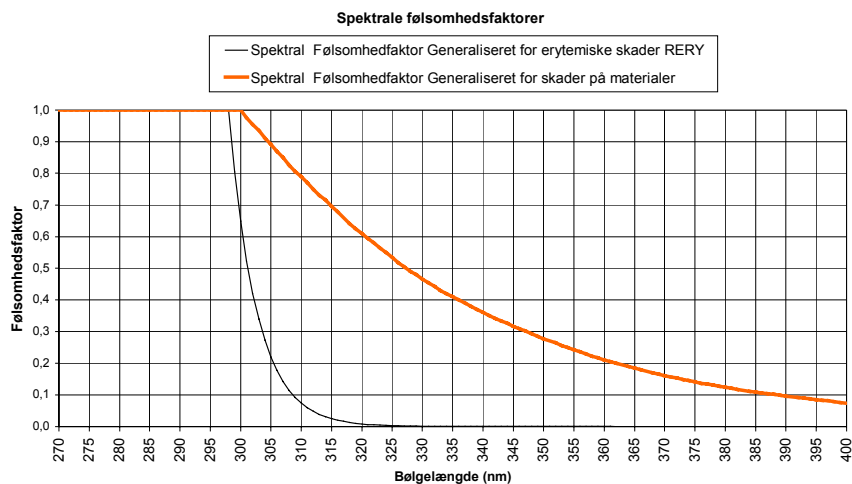
Da den prøvestand, der skulle ombygges, havde stationær prøveramme med tilkøbet udeklimakasse, skulle lamper og dyser placeres tæt på hinanden i samme lodrette plan. Den kombinerede UV- og varmestrålingslampe, ULTRAVITALUX 300, hvis spektralfordeling er foreskrevet i DS 1127, har ingen armatur til beskyttelse mod fugt og kunne derfor ikke benyttes. Det var derfor nødvendigt at finde en anden lampetype og helst en type med en spektralfordeling der matchede globalstrålingen bedre end krævet i DS 1127.

Heller ikke lange fluorescerede UV-rør, som NBI anvender i deres karrusel, kunne anvendes, dels på grund af det fugtige miljø og dels fordi den nødvendige "rørvæg" ville blokere for inspektion af prøveemnerne under drift.

Det betød at der skulle anvendes separate UV-lamper, samt separate varmestrålingslamper til at opnå den ønskede sortpladetemperatur foran prøveemnerne, med begge typer lamper indbygget i strålekastere med hver sin type forsatsglas.

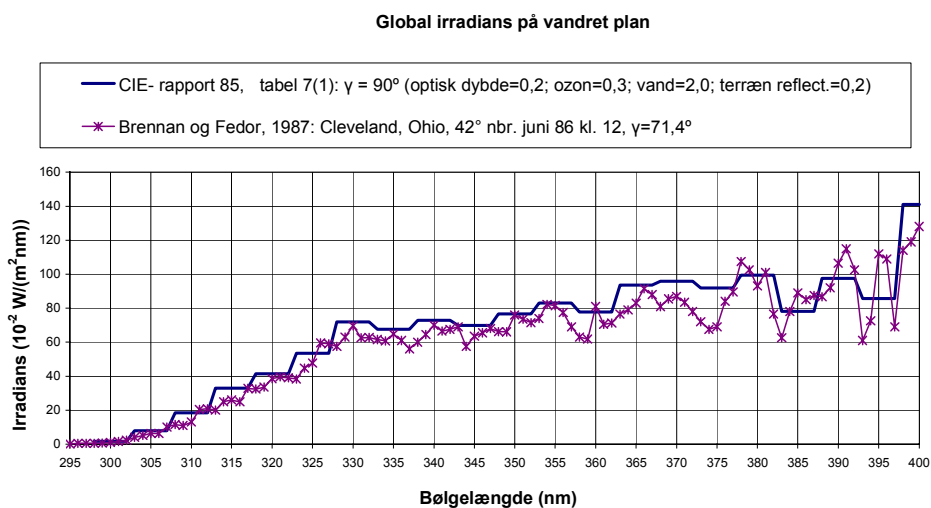
## Begrundelse for valg af ændret bestråling i solfasen med UV- og varmestråling

I forhold til bestrålingen i "De fire årstider" skal UV-bestrålingen gives en højere irradians over hele prøvefeltet. Den spektrale irradians fra lamperne skal svare bedst muligt til UV-indstrålingen i globalstråling på vandret plan ved havoverfladen når solhøjden er 90° (Ækvator), som foreslået af CIE, og beregnet af Justus og Paris og angivet i tabel 7(1) i (CIE, 1989). Det er specielt UVB-bestrålingen der skal bringes på niveau med globalstrålingen, fordi denne indvirker mest på organiske byggematerialers nedbrydning, som nævnt af W. Josefsson (Josefsson, 1987) og vist i figur 5.



Figur 5. Vægtfunktionerne for UV-strålings spektrale skadevirkning på huden (IARC, 1992) og generaliseret for skader på byggematerialer (Josefsson, 1987).

Ved konstruktionen af den store klimasimulators bestrålingsudstyr er der tilstræbt et samlet UV-irradiansniveau på ca. 69 W/m<sup>2</sup>, se figur 6. Dette UV-niveau vil medføre en acceleration i forhold til størst forekommende danske / nordiske irradiansværdier for den globale UV-indstråling.



Figur 6. Den valgte kurve for UV-irradians der tilstræbes i solfasen er foreslået af Justus og Paris, 1987, som største globalstråling pr. 5 nm på vandret plan for 90° solhøjde og en atmosfære som angivet i CIE-rapport 85, tabel 7 (1) (CIE, 1989). Til sammenligning er vist måling i Cleveland (Brennan & Fedors, 1987) for hver nm af globalstrålingen vinkelret på solretningen ved solhøjden 71,4°.

For kurven fra CIE-rapporten er den samlede irradians beregnet til ca. 69 W/m<sup>2</sup> for hele UV-området (280-400 nm), heraf 2,2 W/m<sup>2</sup> fra UVB (280-315 nm). For Cleveland-kurven er globalstrålingen 63,5 W/m<sup>2</sup> for hele UV-området, heraf 1,7 W/m<sup>2</sup> fra UVB.

## Sammenligning med andre standarders bestrålingsstyrke

En sammenligning med tre almindeligt anvendte standarder for prøvning af mindre prøveemner, med skiftevis UV-bestråling og vandpåvirkning, viser at det tilstræbte irradiansniveau for den store klimasimulator, på ca.  $69 \text{ W/m}^2$  for bølgeområdet 280-400 nm, ligger noget over irradiansniveauet i disse standarder.

Prøvningsstandarden ASTM G26-96 (ASTM, 1996b), foreslår et minimum irradiansniveau, der svarer til den daglige middelværdi af solirradiansen fra 280-400 nm under ideelle betingelser, hvilket er ca. det halve af maksimumværdien  $69 \text{ W/m}^2$  på vandret plan når solhøjden er  $90^\circ$ , jf. CIE-rapport 85 (CIE, 1989).

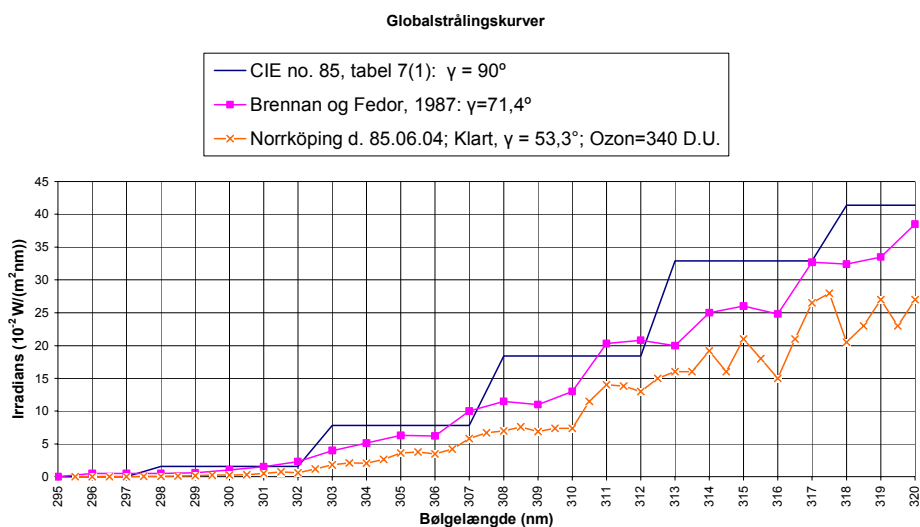
I standarden ASTM G53-96 (ASTM, 1996a) foreskrives en lampeløsning der medfører et samlet irradiansniveau på kun  $20 \text{ W/m}^2$  for området 270-700 nm.

Standarden DS/ISO 4892-3 (ISO & CEN, 1999b), omtaler i annekset A.3.2.1 en irradians på prøveemnerne, fra fluorescerede rør med 340 nm peak, på cirka  $40 \text{ W/m}^2$  for området 300-400 nm.

## Sammenligning med største UV-irradians i Norden

Der findes kun få publicerede nordiske målinger med spektroradiometer af spektral fordelingen af den største globale UV-irradians på vandret plan, men en hel del målinger af globalstrålingen i UVA- og UVB-områderne pr. måned og år.

I figur 7 er til sammenligning medtaget en kurve for den globale UVB-stråling målt i Norrköping i Sverige den 4.6.85 kl. 12.29, jf. W. Josefsson (Josefsson, 1986). De to vigtigste årsager til regionale forskelle i største globale UV-irradians er solhøjden ( $\gamma$ ) ved sommarsolhverv og atmosfærens ozonindhold på måletidspunktet.



Figur 7. Diagrammet viser spektral irradians fra globalstrålingen i UVB-området (280-315 nm) fra CIE-modelberegning tabel 7(1) (CIE, 1989), Brennan og Fedors' måling i Cleveland (Brennan & Fedors, 1987) (ingen oplysning om atmosfærens ozonindhold) og Weine Josefsson's målinger ved solhøjden  $53,3^\circ$  i Norrköping (Josefsson, 1986). UVB-irradiansen i de tre tilfælde er henholdsvis 2,21, 1,73 og  $1,16 \text{ W/m}^2$ .

## Bestrålingsacceleration

Generelt gælder det at accelerationsfaktorer for klimasimulatorer ikke uden erfaring fra langtidsforsøg i et veldokumenteret naturligt klima kan benyttes til at forudsige et afprøvet materiales eller et sammensat produkts levetid. De kan heller ikke benyttes til at beregne hvor mange prøvningscykler med et bestemt faseforløb der svarer til et års eksponering i et bestemt naturligt klima. Denne advarsel går igen i samtlige standarder om accelereret ældning (ASTM, 1996b), (ASTM, 1996a), (Dansk Standard, 1985)(ISO & CEN, 1999a) og (ISO & CEN, 1999b).

Til at karakterisere og sammenligne forskellige klimasimulators påvirkning i solfasen kan man dog definere en klimasimulators bestrålingsacceleration over en cyklus for et bestemt bølgelængdeområde som:

- Forholdet mellem den strålingsenergi prøvemetet modtager pr. m<sup>2</sup> og år ved den givne eksponering og den totale årlige strålingsenergi der modtages fra globalstrålingen i samme bølgelængdeområde på vandret plan på en specifik referencemålestation.

Det vil sige, at en klimasimulator med fx en "accelerationsfaktor" på 8 relateret til "6 timers UVB-bestråling om dagen" kan levere et defineret middelårs indstrålende globale UVB-energi på  $365/8 = 45,6$  dage.

En oplysning om accelerationsfaktor for bestrålingsfasen forudsætter selvfølgelig at klimasimulatoren spektrale UVA- og UVB-irradians er målt og kan dokumenteres, da det er disse to bølgeområder der, i samspil med sortpladetemperaturen jf. ASTM 653-96 pkt. 9.3.4 (ASTM, 1996a), har størst indflydelse på materialenedbrydningen i bestrålingsfasen. Yderligere må forudsættes at der til sammenligning foreligger troværdige målinger af årsmiddelværdier for globalstrålingen på vandret plan for både UVB- og UVA-området fra en relevant referencemålestation for prøveemnernes tiltænkte anvendelsen.

### **Sortpladetemperaturen**

En beregnet accelerationsfaktor for UV-stråling tager ikke hensyn til, at nedbrydningen af forskellige materialer i bestrålingsfasen kan være mere eller mindre følsom for varmestrålingen/sortpladetemperaturen.

Sortpladetemperaturen skal derfor ikke kun som i DS 1127 (Dansk Standard, 1985) reguleres til  $70 \pm 5$  °C, men skal frit kunne indstilles til en temperatur i intervallet 40 – 70 °C, der fastholdes indenfor  $\pm 5$  °C ved at regulere spændingen til varmestrålingslamperne.

## Udformning af Klimasimulatoren

De anvendte tekniske løsninger i den store klimasimulator skyldes hovedsagelig valget af metalhalogenlamper til UV-bestråling, halogenglødelamper til varmebestråling og det forhold at de fire påvirkninger skal kunne påføres i valgfri rækkefølge fra den samme ude-klimakasse.



Figur 8. Foto af udeklimakassen set fra prøvefeltet. Lamperne er monteret på tre stålsøjler med en indbyrdes afstand på 1 m. På hver søjle er monteret fire sæt lamper, hver bestående af en metalhalogenlampe til UV-bestråling og en halogenglødelampe til varmebestråling, med en indbyrdes lodret afstand på 0,75 m mellem sættene. På hver søjle er yderligere monteret to vanddyser med skærm og drypfang til beskyttelse af lampeglassene mod vandstænk. Af bagvæggens fire ventilationsåbninger benyttes de tre til cirkulation af kold luft eller luft fra forsøgshallen. Den øverste åbning til venstre er forsynet med irisblænde til regulering af luftmængde og -tryk og preplade til dirigering af indblæsningsluften.

## Lampearrangement

Metalhalogenlamper findes på markedet både som Osrams ULTRATECH 400 og Philips HPA 400/30S med forskellige typer sokler.

Projektører med filterglas er nødvendige for at filtrere UVC-strålingen fra og dæmpe UVB-strålingen passende for at tilnærme den relative spektralfordeling til globalstrålingens spektralfordeling i UV-området.

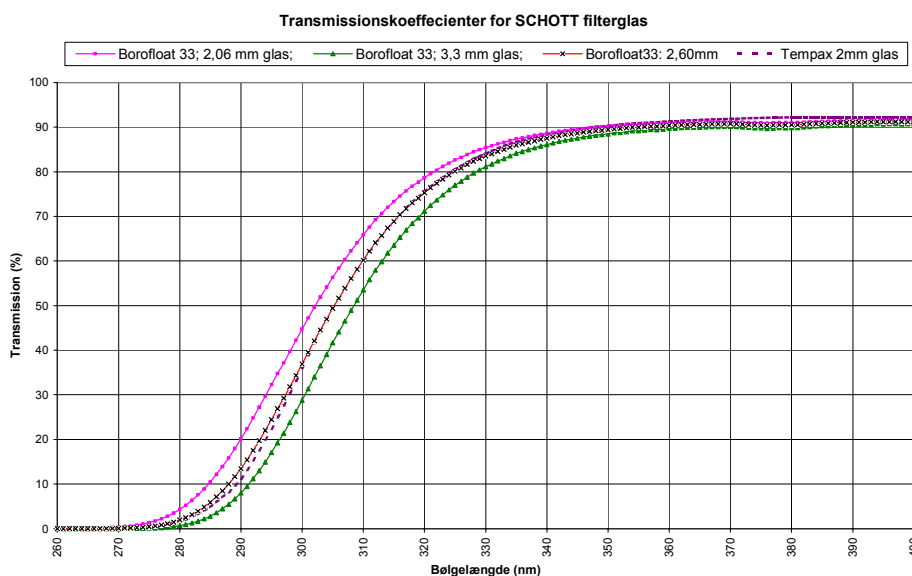
Antallet af UV-lamper, deres afstand til prøveplanet og lampernes indbyrdes placering i lampernes plan er fundet ved at sammenligne det ønskede mål for klimasimulatorens UV-irradians - ca.  $69 \text{ W/m}^2$  - med en laboratoriemåling af irradiansen i UVA- og UVB-områderne fra en enkelt lampe af typen TECH 400.

### Irradiansmåling

Irradiansmålingen foretages med et IL1400A-radiometer med peak-kalibrerede UVA- og UVB-detektorer.

Med kendskab til:

- lampens spektralfordeling
- glasfilterets spektrale transmissionskurve ( figur 9 og figur 11)
- detektorernes typiske relative spektrale responskurve i % af den enkelte detektors kalibrerede peakværdi (figur 10), kan man beregne korrektionsfaktoren på radiometerets visning for at finde den absolutte irradians

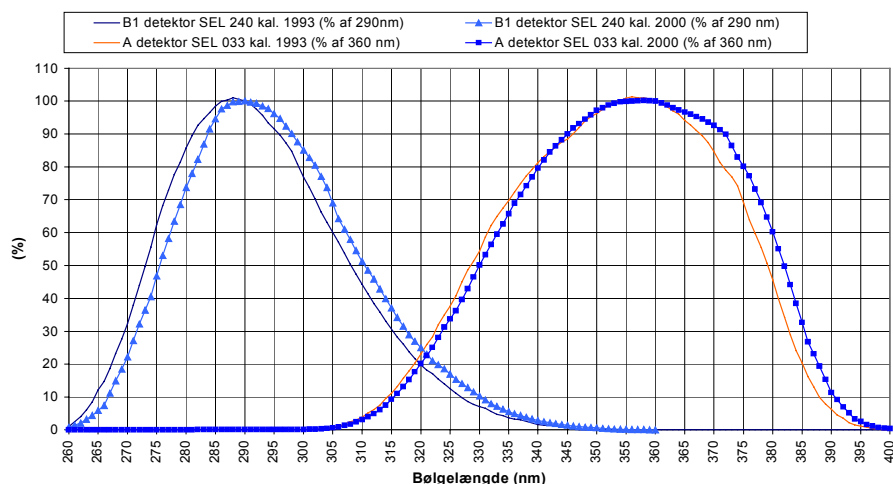


for den specifikke kombination af lampetype, glasfilter og detektor.

Figur 9. Kurver til sammenligning af spektral transmission for SCHOTT filterglas af den hidtil anvendte (nu udgåede) type Tempax i 2 mm tykkelse med den nye type Borofloat 33 med 2,06 - 2,6 og 3,3 mm tykkelse. Tempax 2 mm har næsten samme spektrale transmission som Borofloat 33 med 2,6 mm tykkelse, men udskiftningen skal ske med 3,3 mm for at udelukke mere UVB-stråling.



Sammenligning af relative responskurver i 1993 og 2000 for B1- og A-detektor

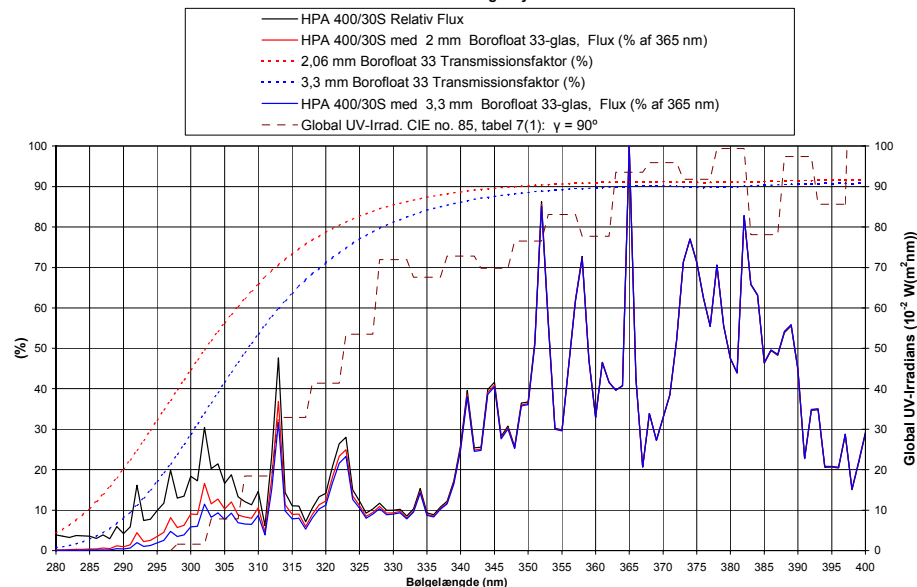


Figur 10. Relativ spektral responskurve for radiometerets UVA- og UVB-detektorer blev ved første kalibrering i 1993 kun oplyst som "typiske" for detektortypen. Måleusikkerheden på disse kurver kan ikke oplyses.

Ved den anden kalibrering i nov. 2000 blev der foretaget kalibrering for hver nm over hele responsområdet for hver detektor.

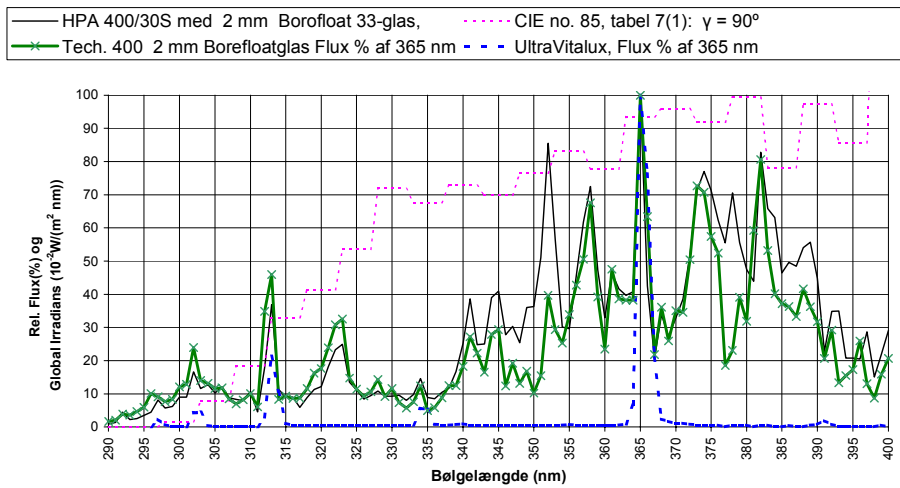
De responskurver der kan beregnes ud fra kalibreringerne i 2000 er valgt som det bedste grundlag for alle beregninger af korrektionsfaktorer for målinger udført under den gamle kalibrering fra 1993.

Effekt af Borofloat 33 glastykkelse



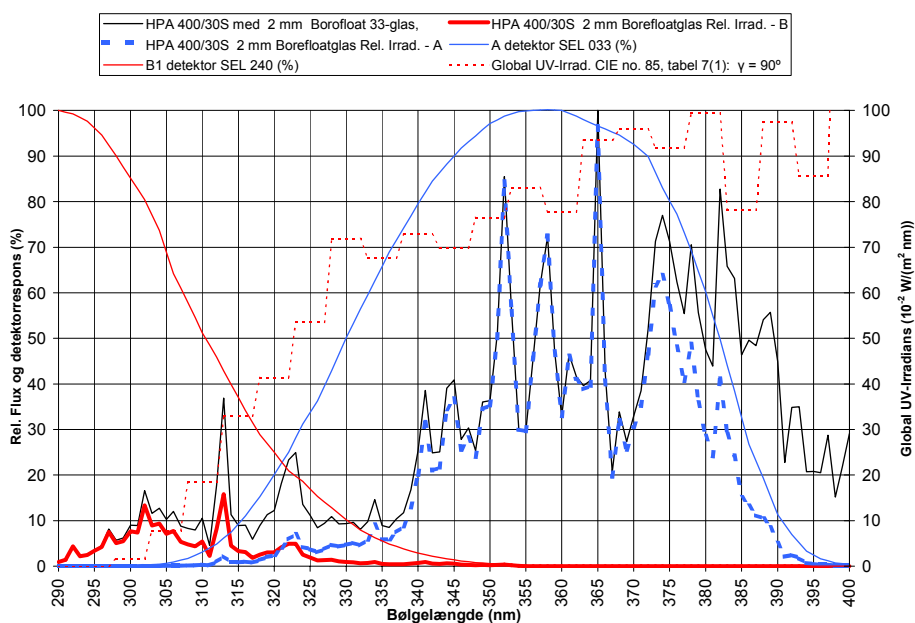
Figur 11. Relativ spektral irradians fra en HPA 400/30S-lampe vist uden og med filterglas på henholdsvis 2 mm eller 3,3 mm af Borofloat 33. Glassenes spektrale transmissionskurver og målkurven for globalstråling er medtaget på diagrammet.

I figur 12 er de to anvendte metlhalogenlampers relative spektralfordeling, begge med 2 mm filterglas af SCHOTT Borofloat-33, sammenlignet indbyrdes og med ULTRAVITALUX-lampen. Det ses at deres relative spektralfordeling (incl. filterglas) er næsten ens, men med den forskel at ULTRATECH 400 har lidt højere værdier i UVB- og lidt lavere i UVA-området end HPA 400/30S. Ved en sammenligning med målkurven for globalstråling ses det yderligere, at de to lampetyper udsender relativt mere stråling fra 290-315 nm end globalstrålingen og ULTRAVITALUX-lampen (fra "De fire årstider").



Figur 12. Relativ spektralfordeling for de anvendte metalhalogenlamper med filterglas af 2 mm hærdet Borofloat-33 glas og ULTRAVITALUX-lampen. En sammenligning med globalstrålingskurven viser en meget bedre spektral overensstemmelse end for lampen ULTRAVITALUX, der anvendes i "De fire årstider".

Når der skal måles absolut irradians fra en lampe - med en kendt spektral fordeling - skal UVA- og UVB detektorernes spektrale responskurver benyttes i beregningerne af korrektionsfaktoren på radiometerets visning, som vist i princippet i figur 13. Her viser diagrammet hvor stor en del af irradiansen der måles for hver nm med A-detektoren og B1-detektoren.



Figur 13. Diagrammet viser princippet i beregning af korrektionsfaktorerne for UVA- og UVB-måling med en HPA400/30S-lampe med 2mm filterglas som eksempel.

Korrektionsfaktoren,  $K_B$  for en måling af UVB (280-315 nm), beregnes som forholdet mellem summen af den relative flux fra lampen ( $I_n$ ), inklusiv eventuelt forsatsglas (med transmissionskoefficienten  $T_n$ ), i UVB-området fra 280-315 nm og den del af den relative flux der registreres af B1-detektoren (med detektorresponsen  $D_n^B$ ) i hele dens responsområde fra 260-400 nm:

$$K_B = \frac{\sum_{280}^{315} I_n \times T_n}{\sum_{260}^{400} I_n \times T_n \times D_n^B}$$

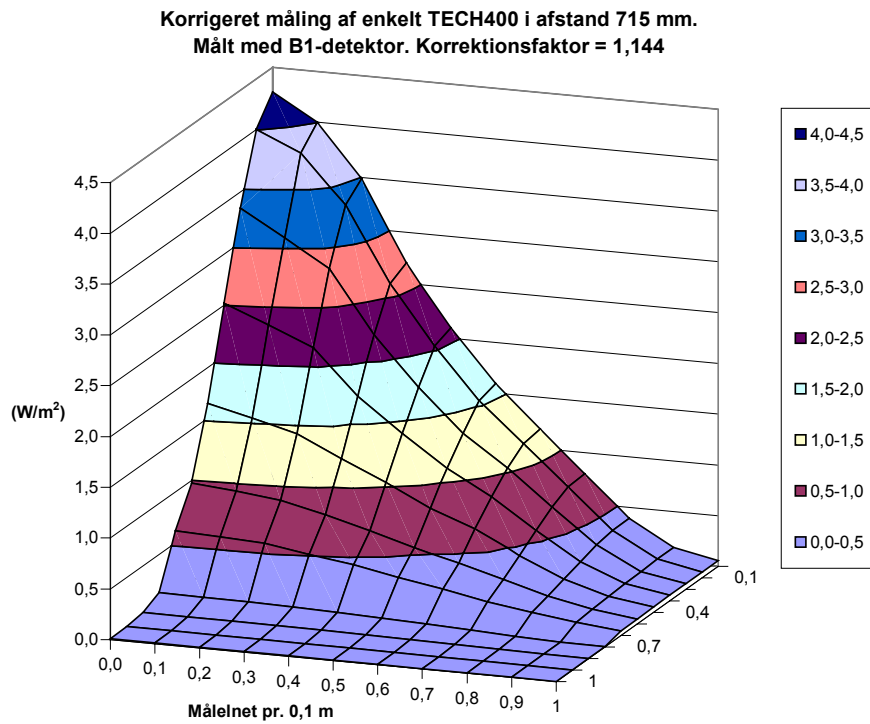
Korrektionsfaktorer for benyttede lamper med kendt spektralfordeling, kombineret med forskellige filterglaser beregnet ud fra denne formel og vist i tabel 1.

Tabel 1. Korrektionsfaktorer for benyttede lamper.

Lampekombination	Korrektionsfaktorer for:	
	B1 (280-315)	A (315-400)
HPA 400/30S uden glas	1,128	1,476
HPA 400/30S med 2 mm gl. Tempex-glas	1,127	1,471
HPA 400/30S med 2 mm Borofloat33-glas	1,142	1,472
HPA 400/30S med 3,3 mm Borofloat33-glas	1,107	1,470
ULTRATECH 400 uden glas	1,033	1,484
ULTRATECH 400 med 2 mm gl. Tempex-glas	1,144	1,474
ULTRAVITALUX	1,693	1,110
Philips Cleo (100 h ældet) Natural TL62W/609R	0,593	1,329

### Irradiansfordeling over prøvefeltet

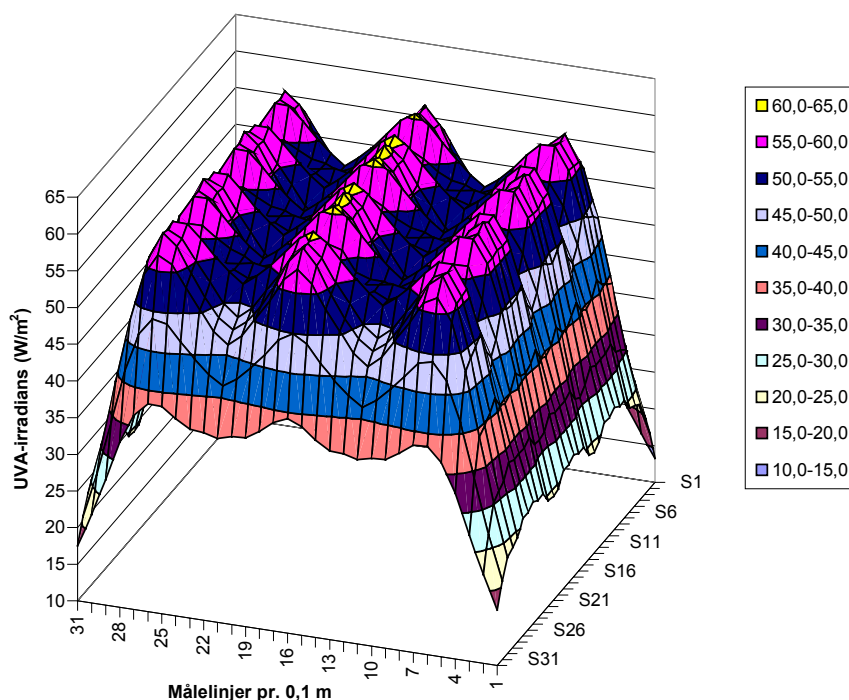
Antallet af UV-lamper, deres afstand til prøveplanet og lampernes indbyrdes placering i lampernes plan er fundet ved at sammenligne det ønskede mål for klimasimulatorens UV-irradians - ca.  $69 \text{ W/m}^2$  - med en laboratiormåling af irradiansen i både UVA- og UVB-områderne fra en enkelt lampe af typen ULTRATECH 400. Der er målt i et plan parallelt med filterglasset i en afstand af 0,6 m fra filterglasset og 0,715 m fra lampen (figur 14 viser UVB-målingen).



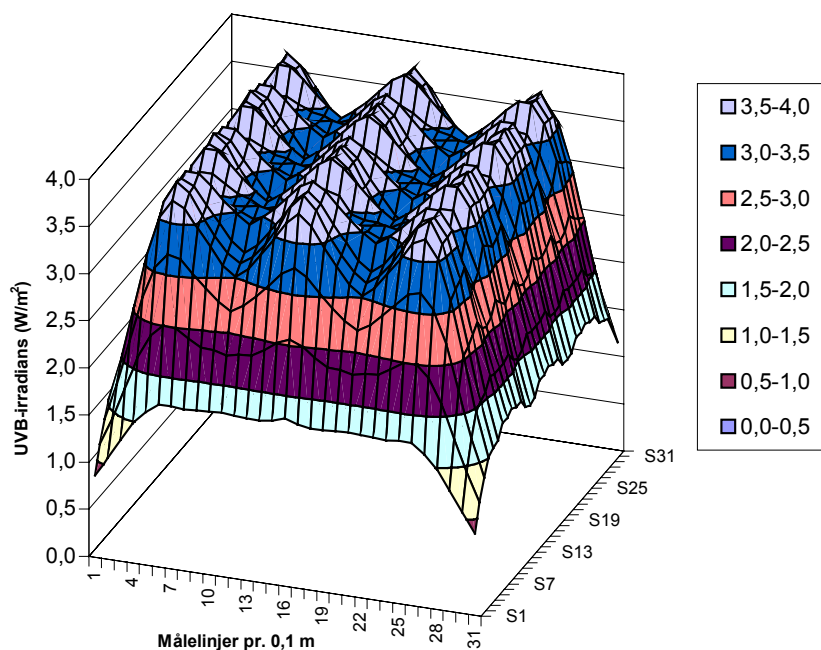
Figur 14. UVB-irradiansen fra TECH 400-lampe på plan i afstand 0,715 m fra lampen. Største absolutte værdi er 4,3 W/m<sup>2</sup>. Den tilsvarende måling af UVA-irradiansen har næsten samme form, men med største absolutte værdi 62,6 W/m<sup>2</sup>.

Irradiansfordelingen på prøveplanet er derefter beregnet ved superposition af måleværdierne for én lampe under forudsætning af en vandret afstand på 1,0 m og en lodret afstand på 0,8 m mellem lamperne, se figur 15.

### Beregning af UVA-irradians i hele prøvelfeltet ud fra måling af en enkelt TECH 400



### Beregning af UVB-irradians i hele prøvelfeltet ud fra måling af en enkelt TECH 400



Figur 15. Hele prøvelfeltets absolutte UVA- og UVB-irradians er fundet ved superposition af værdierne fra en TECH 400-lampe, placeret med indbyrdes afstand på 1,0 m vandret og 0,8 m lodret. Inden for det rektangel på 2 m i bredden og 2,4 m i højden, der ligger inden for de yderste lampecentre, er for UVA (henholdsvis UVB): maks. værdien 61,1 (4,0) W/m<sup>2</sup>, middelværdien 53,6 (3,5) W/m<sup>2</sup>, og den største afvigelse herfra ± 6-7 %.

Som tidligere nævnt, er der valgt den nærmeste indbyrdes afstand mellem UV-lamperne, der passer til udeklimakassens geometri: 1,0 m vandret og 0,75 m lodret. Med denne placering får man tre lampesøjler med fire UV-lamper i hver. Fordelen er en god afstand på 0,65 m mellem søjlerne til passage, men ulempen er en forventet variation i irradians på ± 10-12 % i det indre prøvelfelt og et randfelt på ca. 0,4 m i siderne og foroven der forøger variationen over hele prøvelfeltet til ca. 23 %.

Alternativt kunne der have været valgt 20 stk. UV-lamper fordelt på fire søjler, med indbyrdes lampeafstand 0,8 m vandret og 0,64 m lodret. Herved kunne variationen komme under  $\pm 10\%$  som foreskrevet i (ISO & CEN, 1996b), men bredden af passagen ville blive indskrænket til 0,45 m.

## Halogenlamper

De separate halogen-varmestrålingslamper - 12 stk. Haloline 750 W - er monteret i projektører med forsatsglas af almindeligt hærdet glas, der næsten totalt filtrerer UV-strålingen fra. Halogenlamperne er monteret lige over UV-lamperne. Den samlede installerede nominelle effekt fra UV- og Halogenlamper er  $1440 \text{ W/m}^2$  prøveareal.

Varmestrålingen på prøvefeltets midte måles med en sortpladeføler uden isolering på bagsiden. Sortpladen er en  $1,5 \times 60 \times 92$  mm messingplade med en påloddet  $12 \times 15$  mm udboret messingklods på bagsiden. I udboringen er anbragt et kobber/konstantan termoelement til temperaturregistrering samt en NTC100 modstandsføler. Ved hjælp af modstandsføleren, en potentiometerindstilling for den ønskede temperatur og to effektereguleringsenheder reguleres Halogenlampernes spænding i solfasen via PLC-styringen.

Der er desuden monteret et termostatrelæ under loftet i klimakassen. Dette relæ afbryder styrestrømmen til varmelampenes kontaktor. Termostaten har til opgave at sikre, at rumtemperaturen under loftet ikke bliver så høj at kassens Flamingoisolering ødelægges. Termostaten er sat til ca.  $55^\circ\text{C}$ .

## Vandpåsprøjtning

Påsprøjtningens anlæggets tilgangsside forsynes med demineraliseret vand fra en 400 l vandtank i kælderen under klimasimulatoren. Herfra pumpes vandet i regnfasen, under et indreguleret tryk på 2 bar, frem til seks afspærlige dysere med drypfangere til beskyttelse af projektørerne mod vandstænk.

Afløbssiden af anlægget består af en tværgående opsamlingsrende, indbygget i den stationære limtræskonstruktion. Herfra ledes vandet i plastrør tilbage til en pungvandlås over vandtanken og derfra enten til afløb eller tilbage til vandtanken gennem en trykluftstyret sammenklemningsventil (der benyttes til at regulere recirkulationsgraden af vandet). Returvandet til vandtanken passerer en 40 l sedimenteringstank med skilleplade, før det løber ud i vandtanken.

Pumpetiden (der regulerer påsprøjtningens mængde) og lukketiden for afløbsventilen (der bestemmer hvor meget vand der recirkuleres) indstilles ved programmering af PLC-styringsenheden.

Et omvendt osmoseanlæg leverer vand med en ledningsevne på ca.  $7 \mu\text{S/cm}$ . Under indkøring af et forsøg, og derefter hyppigt under forsøget, observeres returvandets renhed, for at kunne afgøre hvilken recirkulationsgrad det er forsvarligt at indstille afløbsventilen til, jf. (ASTM, 1996b) hvor der står:

*"Vandet til påsprøjtning skal behandles så kationer, anioner, organisk stof (max. 1 ppm) og silikat (max. 0,2 ppm) fjernes. Recirkulation frarådes uden kontrol af renhed og ledningsevne".*

- Dyserne er af fabrikat Spraying Systems Co., type Fulljet med  $120^\circ$  spredningsvinkel,  $1/8''$  GG - SS 4.3 W.
- Pumpen af rustfrit stål er af fabrikat Grundfos, type Fulljet JP5 B-A-CVBP.
- Afløbsventilen er af fabrikat PREMA, type Premaflex Quetschungsventil.

## Luftkøleanlæg

En mobil kølemaskine forsyner udeklimakassen med recirkuleret afkølet luft i frost-/kølefasen og ventilerer kassen med laboratorieluft i solfasen og ventilationsfasen.

På bagsiden af udeklimakassen findes fire studse med en diameter på 240 mm, hvoraf kun de tre benyttes. To diagonalt placerede studse benyttes til tilkobling af de fleksible isolerede luftslanger (200 mm indvendig diameter) fra kølemaskinens indblæsnings og udsugningsside.

På udsugningsstudsen er indskudt et motorstyret 3-vejs spjæld. Dette spjæld står i recirkulationsstilling i frostfasen og i stilling til indsugning fra forsøgshallen i sol- og ventilationsfasen. I sol- og ventilationsfasen åbner et motorstyret spjæld i den anden studs øverst på kassen for udblæsning til hallen.

Alle styresignaler til kølemaskinen og spjældene er en del af den permanente PLC-programmering.

I frostfasen skal der ske periodisk afrimning af kølefladen. Det sker normalt via en tidsindstilling på kølemaskinen, men kan også ske via PLC-styresignal så afrimningen udskydes til regnfasen.

Den ønskede køletemperatur på indblæsningsluften i frostfasen kan kun indstilles på kølemaskinens indbyggede termostat. Der kan altså ikke styres efter en ønsket temperatur i udsugningen eller en temperatur på en hvidpladeføler i et referencepunkt i klimakassen:

- Termostatens føler er en NTC 100 modstandsføler der sidder i udsugningen fra kølekammeret.
- Kølemaskinen er en separat enhed på hjul med en forhøjet kompressor-effekt på 8,8 kW
- 3-vejs spjæld er af fabrikat Lindab, type TUTBU 200
- Spjældmotorerne er af fabrikat Belimo, type KM 220.

## Styringen af faser, sekvens og cykler

I ”De fire årstider” er styringen baseret på kontaktur og relæer. Alle faserne i en sekvens er nødvendigvis lige lange og påvirkningerne kører kontinuert, med undtagelse af påsprøjtning og køling under rotation.

I den store klimasimulator benyttes en programmerbar PLC-styringsenhed til valgfri indstilling af længden af aktive påvirkningsfaser incl. fasehviletider, sekvensforløb, faserækkefølge i en cyklus og antal cykler i forsøget. Styresignalerne fra PLC'en styrer også regnfasens pumpe- og afløbsventilens lukke- og åbnetid samt kølefladens afrimningsstart.

# Udstyrenes ydeevne

## Bestrålingsfasen med UV og varme.

Specielt ydeevnen i bestrålingsfasen for de to klimasimulatorer, udtrykt ved lampetydens spektralfordeling og irradiansfordelingen over prøvefeltet er forskellig, og skal altid oplyses i forsøgs- og prøvningsrapporterne. Da lampernes flux falder med brændetiden, er det vigtigt at have målinger for udstyret både med nye lamper, og med lamper der har været anvendt i den forventede levetid og afpasse lampeudskiftningen derefter.

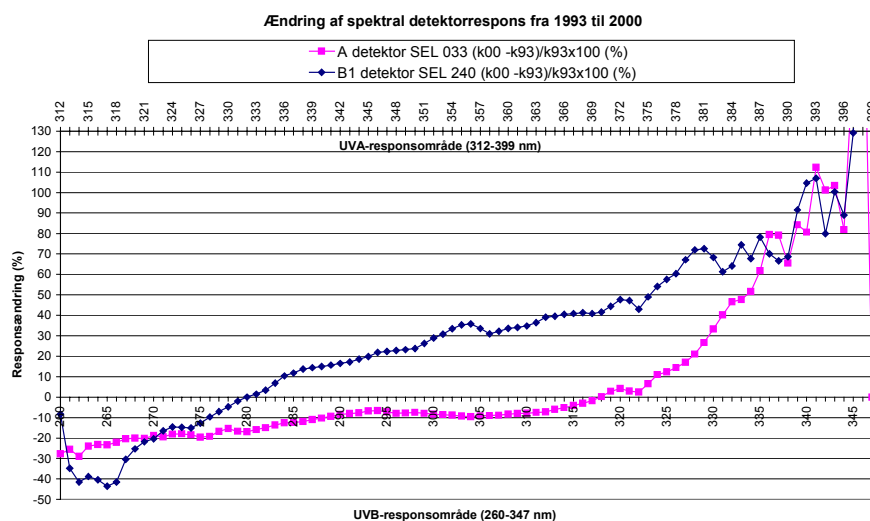
### Udstyr til irradiansmålinger

Til måling af UVA- og UVB-irradiansen på prøveplanet i begge klimasimulatorer er der som tidligere nævnt benyttet et radiometer. Radiometeret er af fabrikat International Light (IL) type IL 1400A med en UVA-detektor af typen SEL033 med UVA filter 12650 og diffusor W 6245 og en UVB-detektor af typen SEL240 med UVB1 filter 12571 og diffusor W 6235.

Detektorerne er leveret med en fabrikskalibrering fra 1993 (sporbar til NIST) af peakværdierne, men de medfølgende "typiske" relative spektrale responskurver vist sig desværre ubrugelige til nøjagtige beregninger af aflæsningskorrektioner, da måleusikkerheden ikke kunne oplyses.

I november 2000 blev begge detektorer fabrikskalibrerede med måling af responskurven for hele deres respektive responsområde. De målte responskurver fra 2000 er - i mangel af bedre - også benyttet til beregning af korrektioner på målinger foretaget før november, 2000-kalibreringen. Om responskurverne ændrer sig med brugen/tiden, vil først kunne ses ved næste kalibrering.

De tilsyneladende ændringer af den spektrale respons for detektorerne fra 1993 og til nov. 2000 er sammenlignet i figur 16.



Figur 16. Sammenligning af ændringer i den spektrale respons for UVB- og UVA-detektorerne fra kalibreringerne i 1993 til kalibrering i november, 2000.

Måleusikkerheden på de certificerede fabrikskalibreringer i november 2000 er udført med IL's arbejdsnormaler (primary transfer standards) og opgivet til  $\pm 4,5\%$  til kunden - plus måleusikkerheden på NIST-primærnormalen (primary standard) der opgives til  $\pm 1\%$  i området 250-400 nm. Den samlede måleusikkerhed hidhørende fra radiometermålingen er således  $\pm 4,61\%$ .



## Målinger af irradians i "De fire årstider"

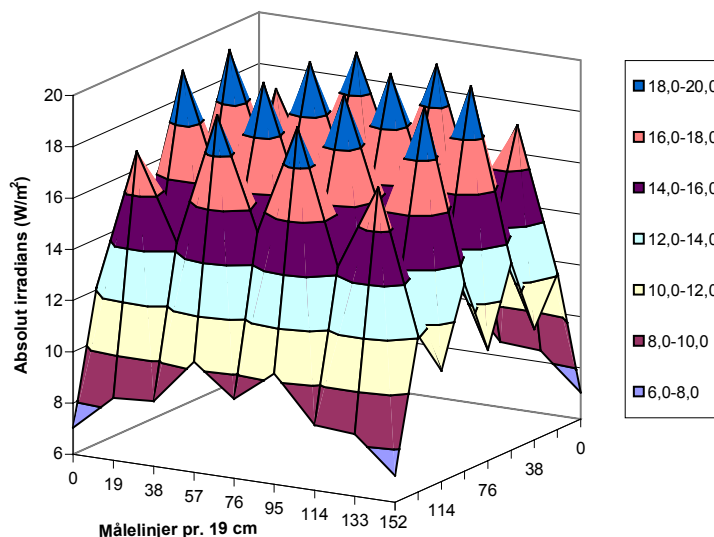
For at få mulighed for en sammenligning med den store klimasimulator er UVA-irradiansen i "De fire årstider" målt i et kvadratnet i prøveplanet pr. 0,19 m lige før og efter en total lampeudskiftning og igen 30.000 brændetimer senere.

Ved den første måling hvor der blev benyttet en blanding af lamper med forskellig brændetid, blev der også målt nogle få sammenhørende UVB- og UVA-irradianser. Disse UVB-irradianser udgjorde i middel  $27,4 \pm 8,5$  % af UVA-irradiansen i de samme punkter. Det kan sammenholdes med at man, ud fra beregningen af korrektionsfaktoren (1,693) for UVB-måling af ULTRA-VITALUX med UVB-detektoren, skulle forvente en UVB-andel af UVA-irradiansen på ca. 19 %.

I beregningerne indgår både lampetydens relative spektrale Flux og detektorens spektrale respons som faktorer, og dermed som kilder til den samlede måleusikkerhed.

Resultatet af målingerne af UVA-irradiansen i prøvefeltet, korrigeret med faktoren 1,11 for UVA-detektoren, er vist som 3-D diagram i figur 17.

### Største aksesymetriske UVA-irradianser fra Ultra Vitalux i "De fire årstider"



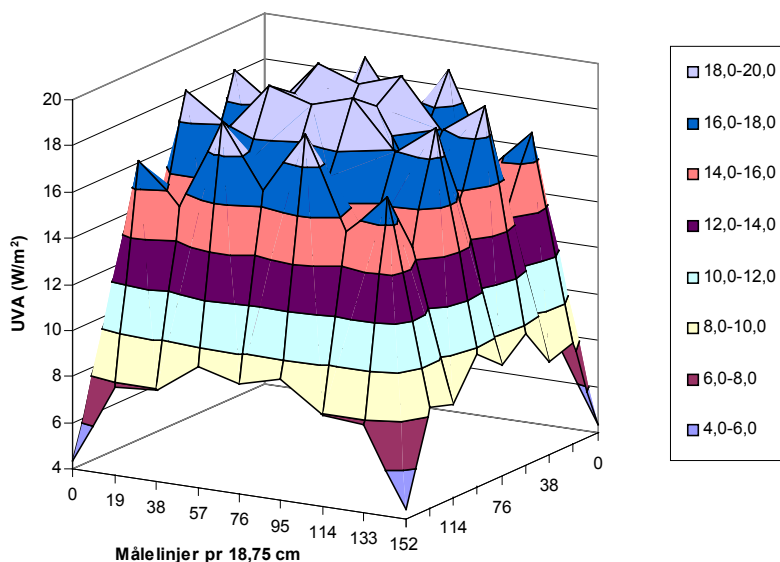
Figur 17. 3-D diagram af UVA-irradiansmåling i "De fire årstider" med de største aksesymetriske målinger. Middelværdien for alle målepunkterne er  $13,6 \text{ W/m}^2$  og  $16 \text{ W/m}^2$  uden randpunkterne.

En gentagelse af målinger i prøvefeltet i 2000 - med den mere relevante detektorresponskurve - viser at UVB-irradiansen udgør  $23,4 \pm 10$  % af UVA-irradiansen.

For at se nærmere på disse forskelle, er der yderligere i 2000 blevet målt både UVA- og UVB-irradians fra en enkelt let brugt lampe i samme afstand fra måleplanet som i "De fire årstider". Disse målinger er derefter benyttet til at beregne hele prøvefeltets UVA- og UVB-irradians ved superposition. 3-D diagrammerne er vist i figur 18 og figur 19.

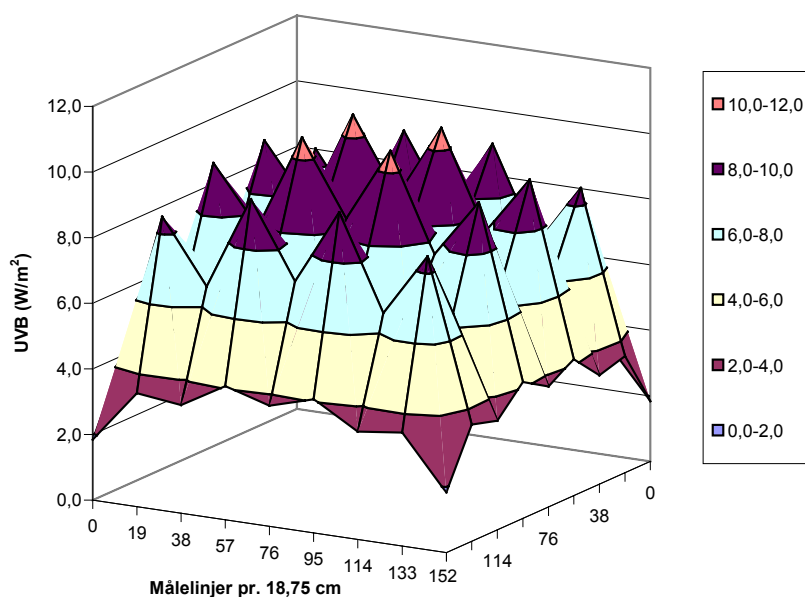
Middelværdien for korrigeret UVA-irradians er for hele prøvefeltet  $13,7 \text{ W/m}^2$ , hvilket er i god overensstemmelse med figur 17, men middelværdien for korrigeret UVB-irradians for hele feltet er  $6,1 \text{ W/m}^2$ . UVB-irradiansen for denne næsten nye lampe udgør således i middel hele 43 % af UVA-irradiansen, eller 2,3 gange mere end forventet ud fra beregningernes 19 %. Hvad der er årsagen til denne store forskel i UVB-andel af UVA er ikke afklaret.

Superposition af detektorkorrigeret UVA-måling i 2000 af en enkelt let brugt ULTRA VITALUX



Figur 18. 3-D diagram af UVA-irradians i "De fire årstider" beregnet ved superposition ud fra måling af en enkelt let brugt ULTRAVITALUX lampe. Middelværdien for alle målepunkterne er 13,7 W/m<sup>2</sup> og 17,4 W/m<sup>2</sup> uden randpunkterne.

Superposition af detektorkorrigeret UVB-måling i 1995 af en enkelt let brugt ULTRA VITALUX



Figur 19. 3-D diagram af UVB-irradians i "De fire årstider" beregnet ved superposition ud fra måling af en enkelt let brugt ULTRAVITALUX lampe. Middelværdien for alle målepunkterne er 6,1 W/m<sup>2</sup> og 7,8 W/m<sup>2</sup> uden randpunkterne.

Sammenlignet med det tilstræbte mål på 69 W/m<sup>2</sup> for UVA-irradians i den store klimasimulator (figur 6), er UVA-irradiansen i "De fire årstider" på 16-17 W/m<sup>2</sup> for prøvelfeltet uden randpunkterne kun en fjerdedel. De målte UVB-irradianser på ca. 3-4 W/m<sup>2</sup> i "De fire årstider" er derimod 1,6 gange større end det tilstræbte mål for UVB-irradians på 2,2 W/m<sup>2</sup>.

Den sidste måling i 2000 af UVA-irradians, efter 30.000 brændetimer, viser, at irradiansen er faldet til ca. 73 ± 16 % af startværdien. Det varer ca. 11.000 brændetimer før irradiansen (forudsat lineært fald) er faldet til 90 % af startværdien, på hvilket tidspunkt ULTRAVITALUX-lamperne burde have været udskiftet.

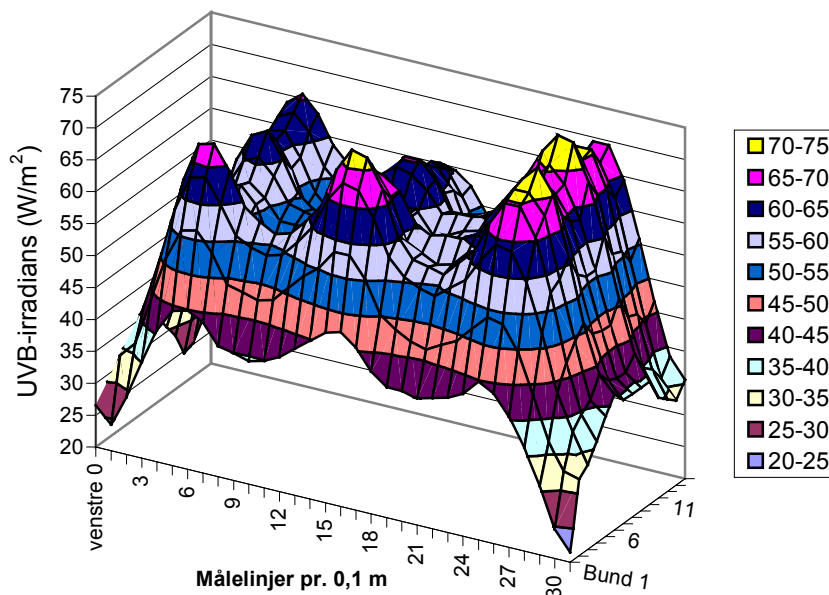
## Målinger af irradians i stor klimasimulator

Der er kun gennemført en stikprøvemåling i 1995 for at verificere ydeevnen mht. UVA- og UVB-irradians i prøvelfeltet fra ULTRATECH 400 lamper med 2 mm Tempax filterglas og med alle UV-lamperne tændt. UVA er målt i et 0,1 m kvadratnet i den underste halvdel af feltet.

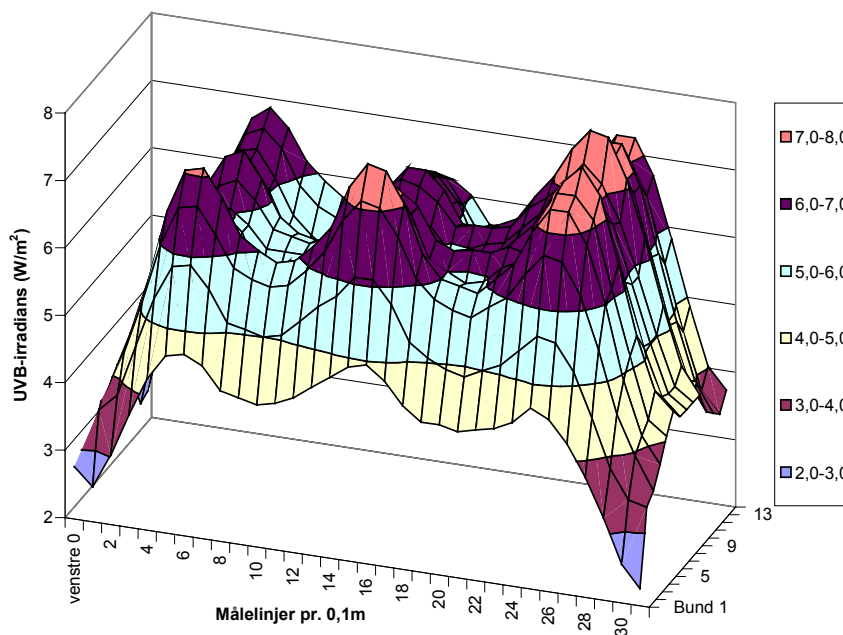
UVB er kun målt i to vandrette linjer. Ud fra de to linjemålinger af UVB-irradiansen er UVB-andelen i % af UVA-irradiansen generaliseret til middelværdien 6,75 %.

Målingerne er foretaget på et tidspunkt, hvor der var problemer med at få lamperne til at holde, i den forventede levetid på ca. 1000 brændetimer. De detektorkorrigerede målinger er vist i de to 3-D diagrammer i figur 20.

Måling af UVA-irradians for TECH 400 i underste halvdel af prøvelfelt



Måling af UVB-irradians for TECH 400 i underste halvdel af prøvelfeltet



Figur 20. Målinger af UVA- og UVB-irradians i underste halvdel af prøvelfeltet i den store klimasimulator. UVB er beregnet som 6,75 % af UVA, da den kun var målt i to vandrette linjer.

Målingerne viste at prøvefeltet, *inden for de yderste ULTRATECH 400 lamper*, modtager en:

- UVA-bestråling på  $59,7 \text{ W/m}^2 \pm 5,6 \text{ W/m}^2$  og en
- UVB-bestråling på  $6,2 \text{ W/m}^2 \pm 0,6 \text{ W/m}^2$ .

*Hele prøvefeltet* modtager i gennemsnit en:

- UVA-bestråling på  $53,7 \text{ W/m}^2 \pm 10,7 \text{ W/m}^2$  og en
- UVB-bestråling på  $5,6 \text{ W/m}^2 \pm 1,1 \text{ W/m}^2$ .

Det kan sammenlignes med det tilstræbte mål for UVA- og UVB-irradianser i største globalstråling efter (CIE, 1989), se figur 6:

- UVA-bestråling på  $69 \text{ W/m}^2$  og en
- UVB-bestråling på  $2,2 \text{ W/m}^2$ .

Af denne ene stikprøvemåling med ULTRATECH 400-lamper ses at:

- UVA-irradiansen var 87 % af målsætningen, når man så bort fra de yderste 30 cm af prøvefeltet
- UVB-irradiansen med denne lampetype som forventet var 2,5 gange så stor som i største globalstråling efter (CIE, 1989), og ca. 1,5 gange så stor som i de "De fire årstider".

Fra den tidligere omtalte beregning af de lampespecifikke korrektionsfaktorer på irradiansmåling af ULTRATECH 400 lamper måtte man forvente en UVB-andel af UVA-irradiansen på ca. 10,5 %. Der er derimod målt en UVB-andel på 6,75 %, hvilket kun er 65 % af det forventede.

### **Fald i lampernes irradians i den store klimasimulator**

Reproducerbare målinger forudsætter en irradians med en dokumenterbar ensartethed over hele prøvefeltet, med undtagelse af et 30 cm randfelt.

I den store klimasimulator vil der skulle afprøves emner af forskellig størrelse. Som følge heraf forekommer det at kun en del af prøvefeltet benyttes, med den konsekvens at lamperne efterhånden vil have brændt uensartet længe.

Det vil normalt ikke være muligt at kompensere for fald i irradiansen fra lamperne ved omplacering af prøveemner eller ved rullende udskiftning af lamperne. At lade alle lamperne være tændt ved alle forsøg med bestråling er dyrt både i forbrug af el og lamper. En fremgangsmåde er at kontrollere den akkumulerede brændetid for alle lamperne og så udskifte dem individuelt, når de har nået en maksimal brændetid (fastlagt efter indhøstet erfaring), der sikrer at UVB-irradiansen ud for lampen lokalt ikke kommer under et fastlagt niveau på 85 % af startværdien. Dette minimumsniveau kan kontrolleres under driften ved måling af irradiansen ud for lamperne, fx for hver 400 brændetimer for at få et erfaringsgrundlag.

Osram oplyser, at lampen ULTRATECH 400 har en forventet levetid på ca. 1000 timer med et fald i flux til 85 % og anbefaler en brændetid på 750 timer. Philips anbefaler ligeledes 750 timers brændetid for lampen Cleo HPA400/30S, men angiver ikke hvor stort et fald i flux det svarer til.

Hidtil er der ikke blevet udført en systematisk stikprøvekontrol og udskiftning efter en fastlagt maksimal brændetid, men det er nødvendigt for dokumentation af strålepåvirkningen, og det skal gøres som et led i forsøgsproceduren.

### **Filterglassets trasmittansændring**

Der skal tages hensyn til at filterglasset i UV-projektørerne udsættes for solarisation. Solarisation er defineret i standarden ASTM 6113-01 (ASTM, 2001) som "forandring af egenskaber som transmittans, reflektans, eller absorptans ved et materiale, fx glas, som følge af bestråling med sollys eller andre lyskilder". "For at forebygge tab i irradiansniveau og spændingsbrud i

glasset på grund af kraftig solbestråling kan det være at glasfiltrene skal udskiftes periodisk”, jf. (ASTM, 1996b).

Da der ikke foreligger oplysninger fra glasfabrikanten herom, er der udført målinger af to nye lamper (TECH 400 og HPA/30S) uden glas, med gammelt 2 mm Tempax filterglas (med en brændetid på 6.500 timer) samt måling af lamperne med nyt glas af samme levering. Resultatet for denne type glas (der ikke fås mere og vil blive afløst af typen Borofloat 33 i tykkelsen 3,3 mm) er vist i tabel 2. Der fandtes en væsentlig solariseringseffekt, stærkest i UVB-området med en nedsættelse til ca. 80 % af transmittansen for nyt glas. Det skal der tages højde for gennem udskiftning af glas efter en brændetid fastlagt efter yderligere målinger med Borofloatglas. Hvis målet er at UVB-irradiansen (fra en ny lampe) ikke må komme under 90 % på grund af glassets solarisering, tyder det første forsøg på, at glassene skal udskiftes efter ca. 3.000 brændetimer.

Transmissionskoefficienten er kun oplyst for strålingsgang vinkelret på filterglasset, hvilket bidrager ukendt til usikkerheden på de beregnede korrektionsfaktorer for radiometer aflæsningerne i prøveplanet.

Tabel 2. Solarisering af 2 mm Tempax filterglas efter 6.500 brændetimer.

Målestr.	687 mm					687 mm (678 mm)			
	Spænding	UVA	UVB	Beregning	UVA/UVB	UVA	UVB	Beregning	UVA/UVB
Enhed	V	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	%	%	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	%	%
Lampe	TECH 400					HPA 400/30S			
Afstend	687 mm					687 mm (678 mm)			
Uden glas	142	48,8	13,1	24,5	26,9	40,3	6,8	14,5	17,0
Uden glas	142		13,5			40,3	6,9		17,1
Gammelt glas	142	37,2	1,5	10,5	4,0	29,9	1,0	6,7	3,3
Gammeltglas	142					30,0			
Ubrugt glas	142	40,4	1,9	10,5	4,7	33,2	1,3	6,7	4,0
Ubrugt glas	142	39,7	1,8		4,5				
Glasreduktion til %		92,0	79,3			89,9	75,7		
Glasreduktion for UVA		91,2 %							
Glasreduktion for UVB		79,1 %							

## Accelerationsfaktorer for strålingsfasen i klimasimulatorerne

Beregnete accelerationsfaktorer for en klimasimulators UVA- og UVB-stråling i relation til målte middelværdier af årlig globalstrålingsenergi i en region er som tidligere bemærket for usikre til sammenligning af prøvningstid med naturlig eksponeringstid.

En beregning af accelerationsfaktorer for bestrålingsfasen forudsætter at klimasimulators spektrale UVA- og UVB-irradians er målt og dokumenteret, som det er beskrevet i det foregående.

Yderligere må forudsættes at der til sammenligning foreligger pålidelige målinger af årsmiddelværdier for globalstrålingen i både UVB- og UVA-området i et klimaområde der er repræsentativt for prøveemnernes tiltænkte anvendelse, som beskrevet nedenfor.

### Valg af globalstrålingsdata fra Norden

Til sammenligning med klimasimulatorernes ydeevne for indstrålet energi i UVB- og UVA-spektrret ønskedes meteorologiske referencedata fra en dansk eller sydsandinavisk målestation. Her er valget faldet på data fra Norrköbing (Josefsson, 1986) og (Josefsson, 1987) med månedsmiddelværdier fra årene 1983-85 for UVB- og UVA-indstråling samt globalstråling.

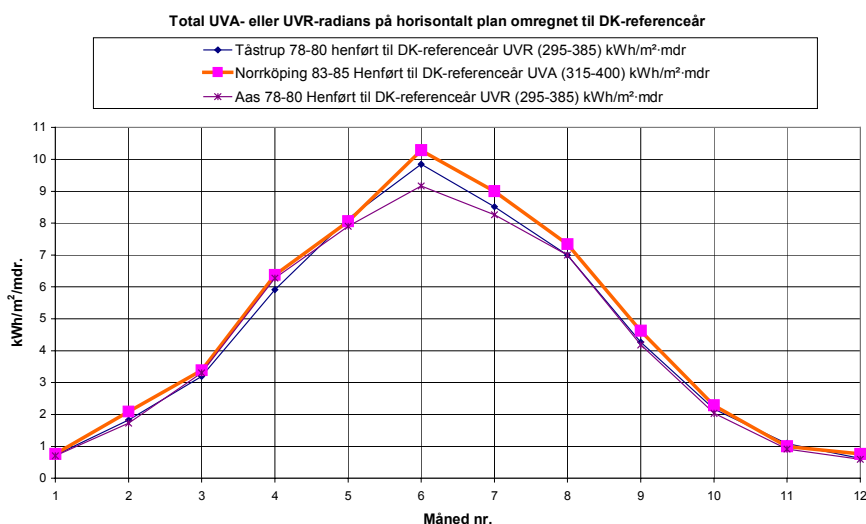
Målingerne er gengivet i tabel 3 sammen med globalstrålingen for det danske referenceår (Andersen et al., 1982).

Tabel 3. UVB- og UVA-indstråling samt globalstråling på horisontalt plan i Norrköping<sup>7</sup>. Samt globalstråling for det danske referenceår. Kilder: SHMI 53 (Josefsson, 1986), R112 (Josefsson, 1987), SBI 135 (Andersen et al., 1982).

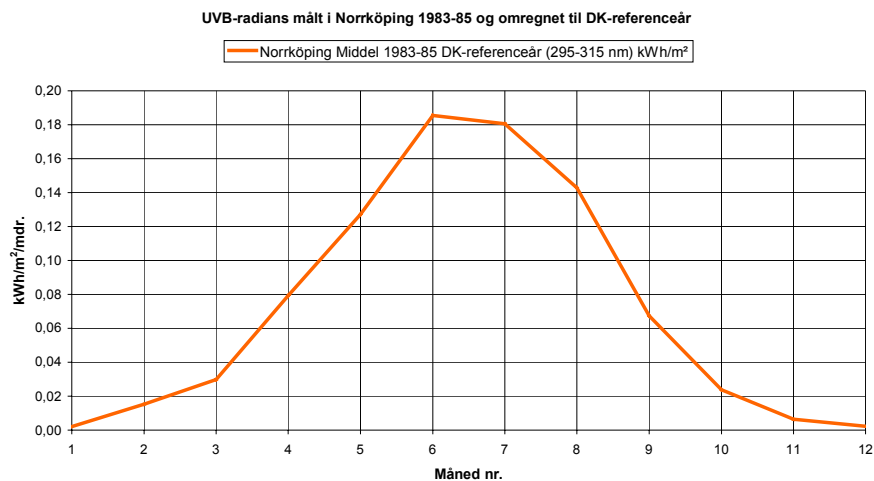
Måleår	1983	1984	1985	1983	1984	1985	1983	1984	1985	DK-referenceår
Kilde	SMHI 53			SMHI 53			R112			SBI135
Bølgeområde	(315-400)			(295-315)			Globalstråling			Globalstråling
Enhed	kWh/(m <sup>2</sup> mdr.)			kWh/(m <sup>2</sup> mdr.)			kWh/(m <sup>2</sup> mdr.)			kWh/(m <sup>2</sup> mdr.)
Januar		0,667			0,0018		10,9	11,0	12,3	12,59
Februar		1,380			0,0101		34,1	21,9	34,3	33,24
Marts		3,700	2,901	0,0250	0,0335	0,0268	52,7	69,1	47,1	58,75
April		5,823	5,005	0,0455	0,0761	0,0638	73,8	112,1	90,5	118,83
Maj		7,580	8,168	0,1040	0,1167	0,1309	126,1	142,3	162,5	155,53
Juni		8,911	7,670	0,1600	0,1557	0,1505	170	158,7	140,3	185,64
Juli		9,495	8,574	0,2197	0,1780	0,1712	182,7	168,7	154,1	160,80
August	8,136	6,730	5,967	0,1617	0,1284	0,1158	145,3	125,5	111,4	134,85
September	3,870	3,574	3,948	0,0559	0,0504	0,0605	68,0	61,7	76,3	83,19
Oktober	2,279	1,606	2,097	0,0224	0,0146	0,0161	41,8	29,9	43,9	43,87
November	0,910	0,680	0,758	0,0058	0,0042		17,2	12,8	14,9	19,17
December	0,406		0,412	0,0013			6,8	5,5	6,0	11,90
sum							929,4	919,2	893,6	1018,34

Der findes også publiceret en stor sammenlignende undersøgelse af Hegg (Hegg, 1983) af modtaget global indstråling i Aas i Norge opdelt i fem båndbredder, men i UV-området har man kun benyttet UVR-båndet fra 295-385 nm, og det vil være unøjagtigt som referencedata i denne forbindelse hvor der måles i UVA- og UVB-båndene.

Som referencegrundlag er benyttet årsmiddelværdierne for indstrålet energi på horisontalt plan i Norrköping for årene 1983-85, proportioneret op til niveauet for det danske referenceårs globalstråling.



Figur 21. Månedsfordelingen af UVR-radiansen for Tåstrup i DK og Aas i Norge samt UVA-radiansen for Norrköping i Sverige - alle proportioneret op til det danske referenceår. Som UVA-reference benyttes årssummen for Norrköping på 56 kWh/m<sup>2</sup> år).



Figur 22. Som UVB-reference benyttes årssummen for Norrköping, omregnet til DK-referenceår, som er 0,862 KWh/ (m<sup>2</sup> år).

Beregnings af accelerationsfaktorerne er foretaget for modtaget radians over et helt år. Der forudsættes at begge klimasimulatorer hver dag gennemløber tre cykler med en bestrålingstid på to timer, svarende til en årlig bestrålingstid på 2190 timer.

### Accelerationsfaktorer for stråling i "De fire årstider"

Med udgangspunkt i de målte værdier for UVA-irradians i figur 17 og en UVB-irradians der udgør 19 %, eller alternativt 27,4 % ved nogle få målinger, af UVA-irradiansen fås følgende beregning, se tabel 4:

Tabel 4. Beregning af accelerationsfaktorer under forudsætning af en brændetid på  $2 \cdot 3 \cdot 365 = 2190$  h/år

	DK-referenceår	Alle målinger				Uden randmålinger			
		Data fra	KWh/ (m <sup>2</sup> år)	W/ m <sup>2</sup>	KWh/ (m <sup>2</sup> år)	Accelerationsfaktor	W/ m <sup>2</sup>	KWh/ (m <sup>2</sup> år)	Accelerationsfaktor
UVA (315-400)	Norrköp. 83-85		55,95	13,63	29,85	0,53	16,02	35,08	0,63
UVB (280-315)	Norrköp. 83-85		0,862	2,57	5,63	6,54	3,02	6,62	7,68

Benyttes alternativt de få målinger af UVB fås en lidt større UVB-andel af UVA på 27,4 %

UVB (280-315)	Norrköp. 83-85	0,862	3,74	8,18	9,49	4,39	9,62	11,16
---------------	----------------	-------	------	------	------	------	------	-------

### Accelerationsfaktorer for stråling i den store klimasimulator

Med udgangspunkt i de målte værdier for UVA- irradians i figur 19 og en UVB-irradians der udgør 10,5 %, eller alternativt 27,4 % ved nogle få målinger, af UVA-irradiansen fås følgende beregning, se tabel 5:

Tabel 5. Beregning af accelerationsfaktorer under forudsætning af en brændetid på 2\*3\*365= 2190 h/år.

	DK-referencår		Alle målinger			Uden randmålinger		
	Data fra	kWh/ (m <sup>2</sup> år)	W/m <sup>2</sup>	kWh/ (m <sup>2</sup> år)	Accelerati- onsfaktor	W/m <sup>2</sup>	kWh/ (m <sup>2</sup> år)	Accelerati- onsfaktor
UVA (315-400)	Norrköp. 83-85	55,95	53,65	117,50	2,1	58,62	128,38	2,3
UVB (280-315)	Norrköp. 83-85	0,862	5,61	12,28	14,2	6,13	13,42	15,6
Benyttes alternativt de få målinger af UVB fås en lidt større UVB-andel af UVA på 6,75 %								
UVB (280-315)	Norrköp. 83-85	0,862	3,62	7,93	9,2	3,96	8,66	10,1

En sammenligning af de to klimasimulatorer, med samme brændetid pr. år, viser at accelerationsfaktorerne for UVB-radians er af samme størrelsesorden, men at den store klimasimulator har en ca. fire gange kraftigere UVA-radians.

## Måleusikkerhed for radiometermåling

Måleusikkerheder ved radiometermåling af irradians:

- Der savnes oplysninger fra lampefabrikanter om måleusikkerheden på de forskellige lampers spektralfordeling, målt af fabrikanten med spektroradiometer.
- Glasfiltrenes spektrale transmissionskoefficient, målt med spektroradiometer er oplyst af fabrikanten, men uden angivelse af måleusikkerheden.
- UV-måling med radiometer og UV-detektorernes spektrale respons og stabilitet. International Light dokumenterer en sporbar måleusikkerhed til NIST på 4,5% plus måleusikkerheden fra NIST primærstandard på 1% i området 250-400 nm. Fra to kalibreringer med syv års mellemrum kendes ændringen i peakværdi, men ikke ændringer i spektral respons.

Algoritmen for korrigeret måling af UVB-irradians fra en specifik lampe forsynet med et specifikt forsatsglas er:

Korrigeret irradiansmåling = radiometeraflysning x  $K_B$

Hvor:

$$K_B = \frac{\sum_{280}^{315} I_n \times T_n}{\sum_{260}^{400} I_n \times T_n \times D_n^B}$$

og hvor endvidere:

- $I_n$  er lampens flux eller irradians ved bølgelængden  $n$  (nm)
- $T_n$  er filterglassets transmissionskoefficient ved bølgelængden  $n$  (nm)
- $D_n^B$  er UVB-detektorens relative respons (100 % ved 290 nm) ved bølgelængden  $n$  (nm)
- $D_n^A$  er UVA-detektorens relative respons (100 % ved 360 nm) ved bølgelængden  $n$  (nm).

Beregning af den samlede måleusikkerhed er ikke udført fordi de partielle usikkerheder ikke kan oplyses, men en beregning kan gennemføres under den forudsætning, at lampernes relative spektralfordeling er konstant og at lampernes spektrale flux og filterglassenes spektrale transmissionskoefficienter er målt med kalibrerede spektroradiometre med samme måleusikkerhed på ca. 5% som detektorernes peakværdi.



## Ydeevne for regn-/befugtningsfasen

Indregulering til ydelsen på  $15 \text{ l}/(\text{m}^2 \text{ h})$ , der er foreskrevet i DS 1127 er sket ved måling af den maksimale vandmængde på  $556 \text{ l/h}$ , der rammer det  $10 \text{ m}^2$  store prøvefeltet ved kontinuert pumpning gennem alle seks dyser, og beregning af indstillet pumpetid og hviletid til henholdsvis  $56,6 \text{ sek.}$  og  $123,4 \text{ sek.}$  pr. pumpecyklus på  $3 \text{ min.}$

## Kølefasen

Mangler måling og styring af kuldetemperatur via hvidpladeføler. Registrering af temperaturen i prøveemnerne sker med indbyggede termoelementer.

# Erfaringerne fra driften af den store klimasimulator

## Lampernes levetid under drift

I perioden fra 1994 til 1998 har det ikke været muligt at opnå de forventede levetider på ca. 1000 timer for metalhalogenlamperne leverandørerne har oplyst. Det følgende skema for brændetider før udskiftning af lamper viser at mange af lamperne i de første fem år kun holdt ca. 400 timer, se tabel 6. Årsagerne er behandlet i det næste punkt.

Tabel 6. Konstateret levetid for Osram UV-lamper, type ULTRATECH 400 monteret i almindelige R7s fatninger. Lampefabrikanten oplyser en forventet levetid på 1000 h med et fald i radians til 85 % og anbefaler en brugstid på 750 h. Lamper med særlig kort levetid p.gr.af ødelagte lampefatninger er mærket med fed.

Udskiftning	UV-tid	Lampe nr.												Bemærkninger om udskiftning	
		1.1	1.3	1.5	1.7	2.1	2.3	2.5	2.7	3.1	3.3	3.5	3.7		
Sag nr. (dato)	(h)	Brændetimer før udskiftning (h)													
R45-04/	14.04.94	457			<b>457</b>			<b>457</b>	<b>457</b>				<b>457</b>		
DTU	28.04.94.	583		<b>583</b>		<b>583</b>	<b>583</b>			<b>583</b>			<b>583</b>	<b>583</b>	12 fatninger
	21.10.94	2006	2006						1549						
	02.11.94	2061	<b>55</b>	1478	1604	1478	1478	1604		1478	2061	1604	1478	1478	
15-828	21.09.95	2843/168	782	782											UV-ur udskiftet
15-848	01.02.96	846				973				973					
	20.02.96	1066								<b>220</b>		1185			
	18.03.96	1295								<b>229</b>					
	10.05.96	1780				934	<b>485</b>	<b>485</b>		<b>485</b>	1907	<b>485</b>			
	16.07.96	2417				637									
	29.07.96	2496				<b>79</b>									
	12.08.96	2649				<b>153</b>									
	09.09.96	2936				<b>287</b>						1156			
	26.09.96	3123				<b>127</b>	1156			1343					2 fatninger
	09.10.96	3265										<b>329</b>			1 fatning
	27.11.96	3795					861								1 fatning
	05.12.96	3886								763					
F5-127	10.07.97	3986													
	18.08.97	4293		<b>440</b>		1170									
	28.08.97	4378						808			1113				
	09.09.97	4412				1268		<b>94</b>	1268						defekt fatning
	07.10.97	4710			1506					824		1140	1506		
	20.10.97	4820				<b>348</b>							<b>110</b>		1 fatning
	07.11.97	4973	1120	680											
	13.11.97	5028				735						<b>318</b>			defekt fatning
	18.12.97	5320						1523							
	07.01.98	5490						1018		780					
	20.01.98	5592								<b>102</b>					
	23.01.98	5619	646	299	909	799	27	27	129	1147	27	1241	591	799	Lamper i brug
Sum til 23.01.98 (h)			4609	4609	4476	4476	7747	7805	5954	4476	7807	7807	5780	4476	
Middelværdi til 20.01.98			868 h												

## Lampefatninger og ledninger

Både lampefatninger og tilledninger har fra start været udført forkert på grund af manglende viden hos os selv, leverandøren af projektørerne og lampefabrikantens danske afdeling. De affødte problemer med lampernes, fatningernes og tilledningernes holdbarhed er endnu ikke endeligt løst.

Tilslutningsledningerne på den leverede lampefatning type R7s med silikoneisoleret forniklet kobberleder blev hurtigt nedbrudt og smuldrede bort, idet silikoneisoleringen fordampede over på lampen og filterglasset. Det var medvirkende årsag til at fatninger og lampesokler hurtigt blev ødelagt. En senere undersøgelse viste at ledninger af denne type kun kan tåle en temperatur på 180 °C. Samtlige fatninger og tilledninger blev derfor udskiftet med aluminiumfatninger type R7s, med tilledninger af 1,5 m<sup>2</sup> nikkel med isolering af Teflon PTFE, der skulle kunne tåle en ledningstemperatur på 250 °C. Men problemerne med afbrænding af kontaktpunkter i lampe og fatning fortsatte, resulterende i alt for korte levetider på lamperne.

Med en HPA 400/30S/30 S-lampe i projektør nr. 2.3 målte vi selv temperaturen under drift på fatningens kontaktpunkt med et jern-konstantan termoelement. Kontaktpunktets temperatur kom efter en times drift op på 296 °C. Da denne temperatur var klart lavere end de 350 °C lampefabrikanten oplyser som den højst tilladte temperatur på lampesoklen, skulle problemerne søges i valget af fatningstype. Først på dette tidspunkt kunne instituttet få oplyst fra fabrikanten hvilke fatninger der anbefales til formålet (OSRAM, 1994).

Planen er at udskifte de nuværende fatninger med hus af aluminium (type R7s) før næste forsøgsrække med bestrålingsfase. De nye anbefalede keramikfatninger er fx Bender & Wirth type RX7s nr. 939 med tilledninger af 1,5 mm<sup>2</sup> nikkel med isolering af Teflon PTFE. Viser det sig ikke at være tilstrækkeligt, kan der skiftes til lampetypen HPA 400/30S/30 SC (forsynet med faste tilledninger) anbragt i klipsfatninger.

## Eksempler på udførte ældningsforsøg

I nedenstående skema er prøveemnerne og forsøgsparametrene for de første forsøg fra 1994 til 1998 i den store klimasimulator vist.

Publikation	Prøveemner	Periode	Cykler	Fasetider (h)				Bemærkninger
				Sol	Regn	Frost	Lab	
Rap. 255 (Woetmann Nielsen, 1995)	Kopi af to træfacader fra Tinggården i det halve prøvefelt. Samtidig: Små træprøver med div. overfladebehandlinger i halvt felt	14.04.94- 02.12.94	120	2	2	0	2	Sammenligning af prøvning i "De fire årstider" med in situ ældning
			90	5	5	0	2	
			90	15	7	0	2	
			105	2	2	2	2	
Prøvnings rapport	Frostprøvning af betontagsten	21.09.95- 01.01.96	680	120	0.30	1.10	00	
Prøvnings rapport	Små serier af sandwichelementer til støjskærme på en del af feltet	01.02.96- 05.12.96	1800	2	0.30	1.30	0	
Rap 310 (Nicolajsen & Hjorslev Han- sen, 2000)	Helt facadeelem. med træbeklædninger i kombinationer af træarter, befæst., behandl., detaljer mv.	10.07.97- 23.01.98	552	3	1	2	2	

Sammenligning af træfacader ældet in situ med træfacader ældet i klimasimulatorerne viste, at det var muligt at påvirke en træfacade i en klimasimulator, således at den fik samme ældningsmønster som i naturen.

Vedrørende forsøgene med accelereret ældning "De fire årstider" henvises til rapporterne (Brandt & Hjorslev Hansen, 1998) og (Stoklund Larsen, 1992).

## Revision af standard

På baggrund af de erfaringer der er indsamlet af Norges Byggeforskningsinstitut (NBI) og By og Byg har de i et fælles Nordtestprojekt udarbejdet en prøvningsmetode til benyttelse i udstyr af karruseltypen.

Metoden er en revision af standarden DS 1127 (Dansk Standard, 1985) og er nu godkendt som NT BUILD 495 (Nordtest, 2000) (Bilag A), og vil blive forsøgt anerkendt internationalt gennem det arbejde der pågår inden for CIB, RILEM og ISO.

Den væsentligste ændring er valg af lamper, idet det i NT BUILD 495 (Nordtest, 2000) er foreskrevet lamper, hvis UVB-bestråling indvirker mest på organiske byggematerialers nedbrydning.

Jævnfør ISO 4892 (ISO & CEN, 199b) er sortpladetemperaturen valgt til 63 °C i stedet for 75 °C, den kan dog også vælges til 35, 50 eller 75 °C. Sortpladetemperaturen måles på en uisoleret sort plade, medens den i DS 1127 (Dansk Standard, 1985) blev målt på en sort plade med isolering bagved.

# Litteratur

## Standarder

ASTM. (1996a). *Practice for operating light- and water-exposure apparatus (Fluorescent UV-condensation type) for exposure of nonmetallic materials* (G53:96). Philadelphia, PA. (erstattet af G154-00ae1 i 2000).

ASTM. (1996b). *Practice for operating light exposure apparatus (Xenon-Arc type) with and without water for exposure of nonmetallic materials* (G26-96). Philadelphia, PA. (erstattet af G155-00ae1 i 2000).

ASTM. (2001). *Standard terminology relating to natural and artificial weathering tests of nonmetallic materials* (G113-01). Philadelphia, PA.

Dansk Standard. (1985). *Metode til at udsætte bygningskomponenter og byggematerialer for accelereret klimapåvirkning i vertikal stilling*. (DS 1127:1985 / NS 8140:1985). København

ISO, & CEN. (1999a). *Plastics: Methods of exposure to laboratory light sources. Part 1: General guidance* (DS/EN/ISO 4892-1:2000). International Organization for Standardization, & Comité Européen de Normalisation. Genève.

ISO, & CEN. (1999b). *Plastics: Methods of exposure to laboratory light sources. Part 3: Fluorescent UV lamps* (DS/EN/ISO 4892-3:1999). International Organization for Standardization, & Comité Européen de Normalisation. Genève.

Nordtest. (2000). *Building materials and components in vertical position: Exposure to accelerated climatic strains* (NT BUILD 495). Espoo. (findes som bilag A til denne By og Byg Dokumentation).

## Publikationer

Andersen, B., et al. (1982). *Vejrdata for VVS og energi: Dansk referenceår TRY* (SBI-rapport 135). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Brandt, E., & Hjorslev Hansen, M. (1998). *Undersøgelser af uventilerede undertage* (SBI-rapport 292). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Brennan, P., & Fedor, C. (1987). *Sunlight, UV and accelerated weathering: Report presented at the Society of Plastic Engineers Automotive RETEC, November 1987*. Uden sted.

CIE. (1972). *Recommendations for the integrated irradiance and the spectral distribution of simulated solar radiation for testing purposes* (Publication CIE no. 20). Paris: International Commission on Illumination.

CIE. (1989). *Solar spectral irradiance* (Publication CIE no. 85). Paris: Commission on Illumination.

Hegg, K. (1983). *Daily values of global radiation, totally and divided in 5 wavelength bands, from 7 stations in the Nordic countries* (Results from the NKJ-project no. 38). Ås: Agricultural University of Norway, Dept. of Physics and Meteorology.

IARC. (1992). *Solar and ultraviolet radiation* (IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 55). Lyon: International Agency for Research on Cancer.

Josefsson, W. (1986). *Solar ultraviolet radiation in Sweden* (SMHI-rapport nr. 53). Norrköping: Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut.

Josefsson, W. (1987). *Solstrålingen i Sverige: Tids- og rumsfördelning* (Rapport R112:1987). Stockholm: Byggeforskningsrådet.

Nicolajsen, A., & Hjorslev Hansen, M. (2000). *Fugtforhold i træbeklædninger: Laboratorieforsøg med accelereret ældning* (SBI-rapport 310). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

OSRAM. (1994). ULTRAMED/ULTRATECH 150, 400, 1000, 2000 W (Ausg. 2/94) (Technische Information MKAB/UV). München.

Stoklund Larsen, E. (1992). *Service life prediction and fibre reinforced cementitious composite: Ph.D thesis* (SBI-rapport 221 & 222). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Woetmann Nielsen, C. (1995). *Lette ydervægges levetider: Forsøg med accelereret ældning* (SBI-rapport 255). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

**BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS IN VERTICAL POSITION  
EXPOSURE TO ACCELERATED CLIMATIC STRAINS**

UDC 620.1:691

Key words: Building materials, climatic strain, accelerated, test, method

**1. SCOPE**

This NORDTEST-method is intended for exposing materials and components used in the building envelope to UV-light, heat, water and frost.

The method seeks to simulate the natural climatic strains. It is the objective to concentrate the individual climatic factors so that they in total produce a cycle of strains giving degradation results similar to natural exposure but in a much shorter period of time. Consequently, the method is a distinct short-term test (an accelerated ageing test) with its advantages and disadvantages.

Note: Accelerated ageing test in a laboratory always carries the risk that the material might undergo degradation by other mechanisms than those which will take place by natural ageing. Since this possibility does exist the results of the exposure according to this standard should as far as possible be compared with long-term tests performed with the same materials and similar constructions outdoors.

The method gives no guidance as to how the properties of the test specimens are to be measured or evaluated after exposure.

**2. FIELD OF APPLICATION**

The method has been specially designed to study the degradation of vertically positioned materials and components in the building envelope.

**3. REFERENCES**

DS/EN ISO 4892-3, 1999 "Plastics – Methods of exposure to laboratory light sources – Fluorescent UV-lamps"

ASTM G 53 – 96, "Standard Practice for Operating Light- and Water-Exposure Apparatus (Fluorescent UV-Condensation Type) for Exposure of Non-metallic Materials"

**4. DEFINITIONS****5. SAMPLING**

Samples should be randomly chosen. As far as possible a sufficient number of specimens should be exposed as to allow for statistical examination of the results.

**6. TEST METHOD****6.1 Principle**

Under the accelerated ageing test the specimens are exposed to a number of cycles each consisting of exposure to: 1. UV-light and heat radiation, 2. Water, 3. Frost and 4. Laboratory climate in turn.

**6.2 Apparatus**

The apparatus shall consist of climatic chambers, see figure 2, where the test specimens are exposed to the following successive strains:

A. UV radiation perpendicular to the test specimen from fluorescent UV tubes with a relative spectral distribution in the UV band close to that of global solar irradiance as shown in Fig. 1, cf. ASTM G 53 - 96.

Note. A suitable tube is Philips Cleo Natural 59 WR or similar.

The tubes are placed in pairs with 70 mm mutual distance (centre/centre) between the individual tubes and a distance between pairs of 130 mm (centre tube/centre tube), see figure 3. The distance from the lamps to the test specimens shall be  $500 \pm 50$  mm. The tubes are replaced by new tubes in turn so that the radiation on the test specimens varies as little as possible in the course of time.

The black panel temperature shall rise to its designated temperature in the course of 45 minutes from the beginning of the exposure to UV-light



and heat radiation. The black panel temperature is normally  $63 \pm 5$  °C but, if required, the temperature may be chosen to be  $35 \pm 5$ °C,  $50 \pm 5$ °C or  $75 \pm 5$  °C instead, cf. ISO 4892. The temperature is controlled by means of infrared halogen lamps. The black panel temperature is measured on a uninsulated, non-gloss black reference panel made from flat aluminium panel with nominal dimensions: 100 mm long, 75 mm wide, and  $2 \pm 0,5$  mm thickness. Other reference panels with 12 mm plywood insulation on the backside, and other metals, dimensions and thickness may be used if agreed upon between the parties concerned and specified in the report. The black panel is placed in the plane of the test specimen.

Note: A suitable black coating, with good resistance to weathering, that absorb more than 90% of all incident radiation up to 2500 nm is

- DuPont Super Dulux, Black Gloss Auto
- Rustoleum BBQ Black
- Black Anodized 6063 Aluminium

UV tubes as well as IR lamps may be regulated in order to control the UV irradians and the surface temperature of the test specimen if required.

B. Wetting with a spray of de-mineralised water. Various spraying conditions may be used if required. If no conditions are specified, the following strain is suggested:

$15 \pm 2$  l/(m<sup>2</sup> h).

The spraying is to be terminated 10 min prior to the exposure to frost, in order to allow water to drip of.

B. Cooling and freezing to an air temperature of  $-20 \pm 5$  °C.

Other specified air temperatures may be used, if registered and reported.

The air temperature is measured with a white panel sensor, of similar construction to the black panel, placed in proximity to the specimen centre

D. Thawing at ambient laboratory climate:

$23 \pm 5$ °C,  $50 \pm 10$  % RH.

During the thawing the specimen may be inspected, rearranged and changed.

An example of a suitable apparatus is shown on figure 2.

### 6.3 Preparation of test specimens

Prior to exposure, information about the test specimens is registered, e.g. manufacturer, identification (name and type), production method, date of sampling, observations and measurements.

The test specimens are kept in the conditions specified by the supplier and are conditioned accordingly, if so required.

### 6.4 Procedure

The test specimens are exposed to the climatic strains A, B, C and D in turn and in this order. The UV-light in climate A and the water in climate B shall always hit the same side of the test specimen. The time interval in each of the positions from A to D is chosen depending on the material/components under exposure and shall be at least one hour. The apparatus shall be running continuously day and night. The exposure period shall be registered.

The test specimens are mounted in a manner that best simulates the in use conditions and so that they are not exposed to other strains than those existing in practice. Test specimens exposed simultaneously must not be able to influence each other.

The mounting of the test specimens in the apparatus shall be described in the report.

Any signs of degradation e.g. cracks, loss of gloss, delamination etc. during exposure are noted.

Note: To compensate for differences in temperature and radiation across the exposed area, the test specimens ought to change places during exposure.

The assessment of the results depends on which products are tested and which properties are examined. The evaluation is not included in this test method.

### 6.5 Expression of results

The results of the test are given as any change in appearance of the specimens during the test, any signs of degradation e.g. cracks, loss of gloss, delamination etc. together with information on when the changes occurred, how big they are etc.

Note: The result of accelerated testing is often a change in performance properties. To detect such changes other test methods may be necessary/valuable. Those methods are not covered by this method as they are chosen dependent on the material under test.

## 6.6 Accuracy

Note: Accelerated ageing always has a degree of uncertainty and consequently the results have to be used with care.

## 6.7 Test Report

The test report shall at least include the following information:

- a. Name and address of the testing laboratory
- b. Identification number of the test report
- c. Name and address of the organisation or the persons who ordered the test
- d. Purpose of the test
- e. Name and address of manufacturer or supplier of the tested object
- f. Method of sampling and other circumstances (date and person responsible for the sampling)
- g. Name or other identification marks of the tested object
- h. Description of the tested object, the way in which they were mounted in the test apparatus and the scheme for exchanging positions of the test specimens
- i. Date of supply of the tested object
- j. Test period
- k. Duration of time cycle and total number of cycles
- l. Type and details of the lamps used and, if possible, the relative spectral distribution and the irradians in the UV-A and UV-B band at the surface of the test specimens
- m. Mean value and variation in black panel temperature during radiation

- n. Mean value and variation of white panel temperature during cooling and freezing
- o. Conditioning of the test specimens, environmental data before and during the test (temperature, RH, etc.)
- p. Identification of the test equipment and instruments used
- q. Any deviations from the test method
- r. Test results according to 6.5
- s. Inaccuracy or uncertainty of the test result
- t. Date and signature

Note: Any results from test methods performed on fresh and aged material/component may be included.

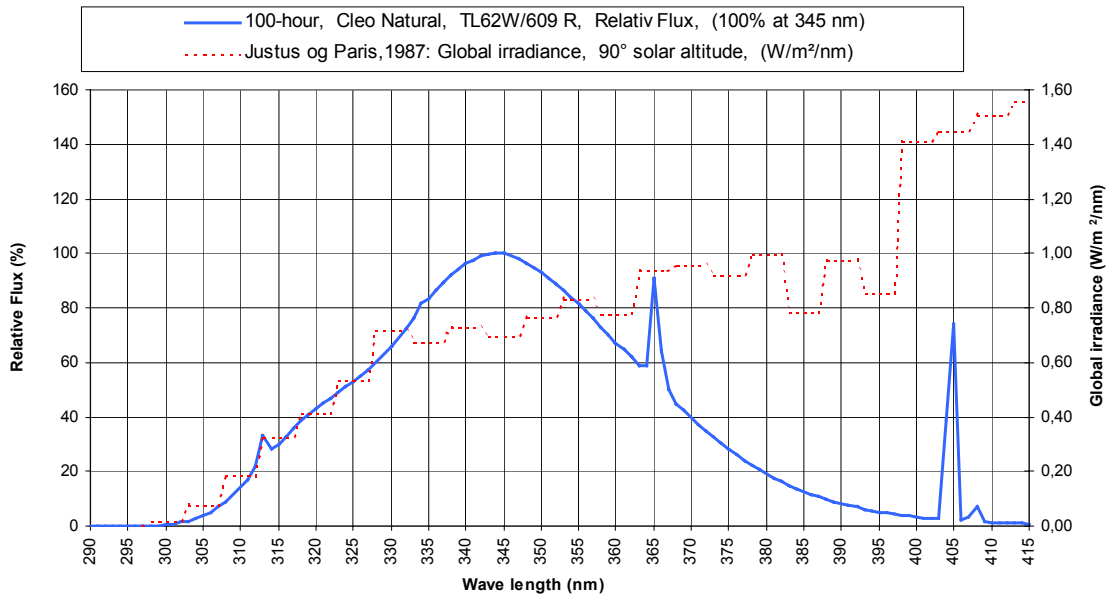


Figure 1. Comparison between spectral distribution of UV-tubes and maximum global irradiance .

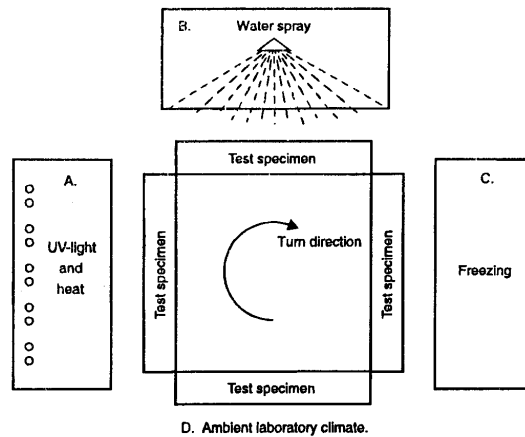


Figure 2. The test specimens are exposed to cycles of A. UV light and heat, B. water spray, C. freezing and D ambient laboratory climate.

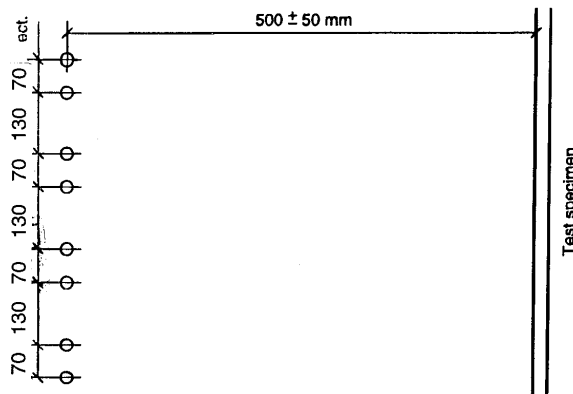


Figure 3. Example of arrangement of UV-tubes in pairs at distances of 70 and 130 mm respectively. The distance from the lamps to the test specimen is 500 + 50 mm.

I By og Bygs to klimasimulatorer kan byggematerialer og byggekomponenter i klimaskærme udsættes for en accelereret ældning.

De to klimasimulatorers opbygning er beskrevet i denne By og Byg Dokumentation. Der er angivet hvilke påvirkninger der kan vælges. Påvirkningerne og baggrunden for valg af dem er beskrevet.

Endelig omtales, ud fra erfaringer med ældningsforsøg, den revision af standarden for påvirkninger, der er gennemført og som skal implementeres.

1. udgave, 2003

ISBN 87-563-1184-2

ISSN 1600-8022