

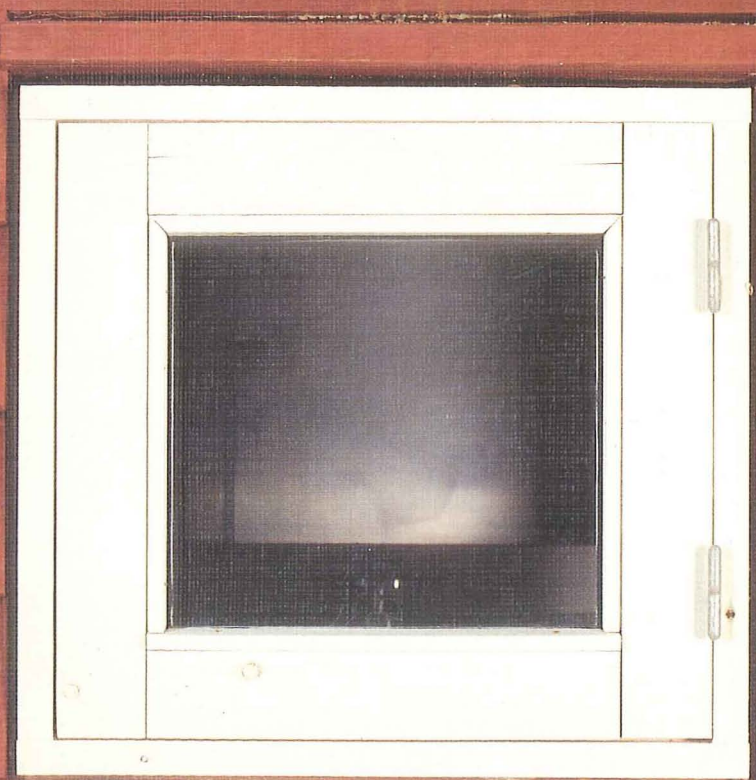
SBI - rapport

# Lette ydervægges levetider



Forsøg med accelereret ældning

SBI-RAPPORT 255 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1995



# Lette ydervægges levetider

Forsøg med accelereret ældning

CHRISTIAN WOETMANN NIELSEN

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

ex-3

24 NOV. 1995

00512 P



**SBI-rapporter** er beretninger om afsluttede forskningsprojekter.

**SBI-publikationer** udgives i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning og Beton. Publikationerne fås gennem boghandelen eller ved at tegne et SBI-abonnement. Instituttets årsberetning, publikationskatalog og publiceringsdiskette er gratis og kan rekvireres fra SBI.

**SBI-abonnement** er en rabatordning med mange fordele for dem, der vil sikre sig løbende orientering om væsentlige udgivelser inden for byggeforskningsområdet. Ring til SBI og hør nærmere.

ISBN 87-563-0902-3.

ISSN 0573-9985.

Pris: Kr. 165,00 inkl. 25 pct. moms.

Oplag: 1000.

Tekstbehandling: Gunilla Salstrup og Tove Ambjørn Knudsen.

Fotos: Jan Carl Westphall.

Omslagsfotos viser prøveemnerne efter ni måneders ældning i den nyudviklede klimasimulator.

Fugtmålinger: Ole Hommel-Hansen.

Tegninger: Annette Juul Muusfeldt.

Tryk: Bjørvig Offset, Hillerød.

Statens Byggeforskningsinstitut,

Postboks 119, 2970 Hørsholm.

Telefon 42 86 55 33.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:  
*SBI-rapport 255: Lette ydervægges levetider. Forsøg med accelereret ældning. 1995.*

# Indhold

Forord .....	4
Sammenfatning .....	5
Tilstandsregistreringen .....	9
Udvælgelse og opbygning af forsøgsemner .....	11
Udvælgelseskriterier .....	11
Registrering af fugtindhold .....	12
Fotoregrering .....	13
Beskrivelse af klimasimulatoren "De fire årstider" .....	16
Beskrivelse af den ny klimasimulator .....	18
Ældning af prøveemner i "De fire årstider" .....	21
Lette ydervægge .....	21
Regnskærmen .....	22
Nedbrydning af regnskærm .....	22
Fotoregrering af nedbrydningsforløbet .....	23
Fugtniveau og fugtvariationer .....	29
Ældning af prøveemner i den ny klimasimulator .....	32
Sammenligningsgrundlag .....	32
Fotoregrering af nedbrydningsforløbet .....	32
Fugtniveau og fugtvariationer .....	42
Konklusion .....	46
Afsluttende betragtninger .....	50
Erfaringsindsamling .....	50
Den ny klimasimulator .....	51
Prøvningsforløb .....	51
Summary .....	53
Litteratur .....	57



# Forord

Dette projekts formål er at undersøge, om det i laboratoriet er muligt at forudsige levetider for materialer og konstruktioner i klimaskærmen ved - gennem accelererede klimapåvirkninger - at eftergøre et nedbrydningsforløb, der svarer til det forløb, der er registreret i 10 år gamle klimaskærme.

Projektet har været inddelt i følgende faser:

- Tilstandsregistrering af forskellige 10 år gamle lette ydervægge
- Udvælgelse og opbygning af forsøgsemner
- Accelereret ældning af forsøgsemner i klimasimulator: "De fire årstider"
- Konstruktion af en ny klimasimulator
- Accelereret ældning af forsøgsemner i den nyudviklede klimasimulator.

Projektet er gennemført med støtte fra Byggeriets Udviklingsråd, BUR, og det har været fulgt af en følgegruppe med følgende medlemmer:

Driftschef Jens-Jørgen Albertsen, Dansk Almennyttigt Boligbyggeri, Arkitekt MAA Jørn Hovind, Tegnestuen Vandkunsten, Arkitekt MAA Jan Hjort Nielsen, Dansk Teknologisk Institut, Civilingeniør Erik Præstegaard, Kooperativ Byggeindustri, Arkitekt MAA Bente Hammer, Byggeriets Udviklingsråd, Civilingeniør Poul Nerenst, Civilingeniør Hans Kaaris, Statens Byggeforskningsinstitut.

For projektets gennemførelse har tegnings- og beskrivelsesmateriale samt materialet om byggeriets vedligeholdelse velvilligt været stillet til rådighed af Tegnestuen Vandkunsten og Dansk Almennyttigt Boligselskab.

SBI takker ovenstående for et godt samarbejde.

Statens Byggeforskningsinstitut  
Afdelingen for Materialer og Konstruktioner, oktober 1995  
*Georg Christensen*, forskningschef

# Sammenfatning

## Konklusion

Forsøgene med accelereret ældning af lette ydervægge viser, at det i høj grad har været muligt at eftergøre nedbrydningsforløbene i de udvalgte klimaskærme både i prøvestanden "De fire årstider" og den nyudviklede klimasimulator.

## Facadestore prøveemner

Sidstnævnte gør det muligt at udsætte facadestore ydervægselementer for accelereret ældning. Sammenligning af prøvningsforløbene i de to prøvestande sandsynliggør, at det med den ny prøvestand er muligt at øge ældningsaccelerationen i forhold til den 10 år gamle prøvestand "De fire årstider".

## Fleksibelt styringssystem

Den øgede ældningsacceleration opnås ved, at det med den nye klimasimulator er muligt at styre længden af de enkelte klimapåvirkninger under hensyn til, hvad der er kritisk for de materialer, der indgår i ydervægen. Herved kan fordelene ved "De fire årstider" kombineres med de fordele, der kendes fra mere simple bestandighedsprøvninger.

## Udvikling af prøvningsmetoder

Forsøgsresultaterne viser, at der med prøvningerne i den nye klimasimulator er udviklet så væsentlige elementer til prøvningsmetoder, at lette ydervægges levetid i betydende omfang vil kunne forudsiges.

## Produktudvikling, driftsplanlægning

Anvendt, dels ved produktudvikling af nye klimaskærme, dels ved driftsplanlægning for nyt byggeri, vil det gennem accelereret ældning af nye facadeelementer være muligt at reducere risikoen for, at materialevalget og facadedetaljernes udformning medfører så kort levetid for konstruktionerne, at de fremtidige driftsomkostninger bliver væsentligt højere end forudset ved projekteringen.

## Problem: at forudsige holdbarhed Materialeegenskaber

Klimaets påvirkninger med vekslende sol- og nedbørperioder, frost og tøj, er ofte årsag til, at bygningers ydre overflader nedbrydes.

Selvom det til en vis grad er muligt gennem kendskab til materialernes egenskaber og deres reaktion på vejrligets påvirkninger at forudsige deres holdbarhed - så er der andre parametre, der kan give stor usikkerhed ved forudsigelse af den samlede klimaskærms holdbarhed.

## Konstruktiv udformning

Den konstruktive udformning af samlings-, indbygnings- og knudepunktsdetaljer skal forhindre, at nedbør trænger ind i konstruktionerne. Samtidig skal der i samlingsdetaljerne tages hensyn til materialebevægelser. Spændinger i samlinger må ikke føre til hurtigere nedbrydning af samlingen. Ligeledes må nedbrydning for eksempel af overfladebehandlingen eller en fuger i samlingen ikke føre til en uforudsigelig hurtig nedbrydning af de omkring- eller underliggende materialer.

## Simuleret klimapåvirkning

Det er formålet med de gennemførte forsøg at undersøge, om det er muligt ved accelereret ældning med simulerede klimapåvirkninger at øge sikkerheden ved forudsigelse af lette ydervægges holdbarhed.



Bygningsundersøgelser

For at kunne eftergøre og sammenligne med nedbrydningsforløbene i 5-10 år gamle lette ydervægskonstruktioner blev der foretaget undersøgelser og tilstandsregistreringer i en række nyere bebyggelser. Herved registreredes en række symptomer på nedbrydning ved ovennævnte detaljer.

Udvælgelse af forsøgsemner

På baggrund af bygningsundersøgelserne blev der udvalgt to facadeudsnit fra bebyggelsen Tinggården 1, Herfølge. Bebyggelsen er godt ti år gammel, og de valgte facader er beklædt med brædder på klink. Det ene udsnit omfatter detaljerne ved et lille vindue, det andet gavlspids og knudepunkt ved hjørne.

Opbygning af prøveemner

Disse facadeudsnit blev udvalgt, dels fordi der kunne ses tydelige symptomer på nedbrydning, dels fordi det var det muligt at udføre prøveemner så små, at de kunne rummes inden for de rammer, der er givet af de små indbygningsmål i den i Dansk Standard, DS 1127, beskrevne klimasimulator: "De fire årstider".

Hypotese, fugtmåledyvler

Prøveemnerne blev udført af nye materialer efter den oprindelige tegnings- og materialebeskrivelse. Af hensyn til indbygning i prøvestanden "De fire årstider" var det dog nødvendigt at afkorte brædderne i forhold til de virkelige længdemål.

Accelereret ældning i "De fire årstider"

Ud fra den hypotese, at det for træ er fugtvariationerne, der i det væsentligste bestemmer nedbrydningshastigheder, blev der indlagt fugtmåledyvler i prøveemnerne for at måle variationerne i fugtindhold under ældningsforsøgene.

Klimapåvirkningerne veksler efter standarden for "De fire årstider" hver anden time mellem lys/varme, fugt, frost og laboratorieklima med en samlet cyklus på 8 timer.

Under ældningsforsøget nåede fugtindholdet i de indlagte fugtmålepunkter et forholdsvis højt niveau efter 1½-3 måneders forløb, afhængig af målepunkt. Variationerne inden for den enkelte cyklus var forholdsvis små.

Efter ca. et halvt års eksponeringsforløb var der opnået en nedbrydningstilstand, der i vid udstrækning modsvarer tilstanden i bebyggelsen. Nedbrydningsforløbet er fotoregistreret for at kunne sammenligne med forholdene i bebyggelsen.

Udvikling af en ny klimasimulator

Der er to grunde til, at "De fire årstider" ikke er optimal til accelereret ældning af detaljerne i den samlede klimaskærm. For det første er indbygningsmålene for prøveemnerne små. Det betyder at de faktiske materialebevægelser i samlinger ikke opnås ved prøvningen. Mange af de undersøgte ydervægsdetaljer kan ikke være inden for prøvestandens rammer, og randfænomenerne ved indbygning får uforholdsmæssig stor vægt. For det andet giver prøvestanden ikke mulighed for individuelt at vælge varigheden af de enkelte klimafaser uafhængigt af hinanden.

Facadestore prøveemner, fleksibel styring

Der blev derfor bygget en ny klimasimulator, der kan rumme facadestore ydervægge. Styringen af klimapåvirkningerne er udformet, så det er muligt at sammensætte eksponeringstiderne for de enkelte påvirkningsfaser i en eksponeringscyklus under hensyn til, hvad der antages at ville fremme nedbrydningen af de givne konstruktioner og materialesammensætninger i den ydervæg, der undersøges.

Accelereret ældning i den nye klimasimulator

For at kunne sammenligne nedbrydningsforløbene ved prøvningen i den ny klimasimulator med forløbene i "De fire årstider" anvendtes ens prøveemner. Det samlede eksponeringsforløb i den ny simulator blev delt op i fire delforløb. I de første tre delforløb var frostekspone-

ringsfasen helt udeladt. I det første delforløb var cyklustiden 6 timer, ligeligt fordelt med 2 timers lys/varme, befugtning og laboratorieklima. I andet forløb blev cyklustiden øget til 12 timer, fordelt med 5 timers lys/varme, 5 timers befugtning og 2 timers laboratorieklima. I tredje forløb var cyklustiden 24 timer fordelt med 15 timers lys/varme, 7 timers befugtning og 2 timers laboratorieklima. I det afsluttende delforløb valgtes cyklustiden som i "De fire årstider" til 8 timer, ligeligt fordelt med 2 timers lys/varme, befugtning, frost og laboratorieklima.

Variationer i fugtindhold

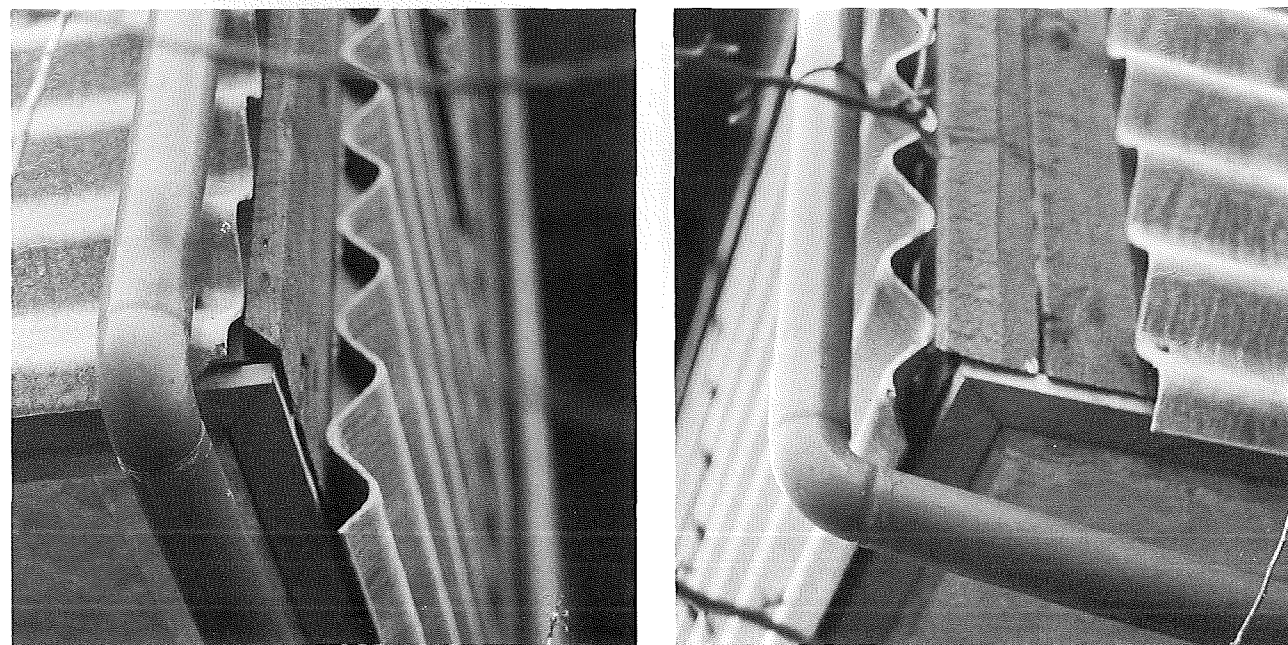
Det blev ved planlægningen af forsøgene tilstræbt, at variationerne i fugtindhold inden for den enkelte eksponeringscyklus skulle være større ved ældningsforsøgene i den ny klimasimulator. I forhold til variationerne i fugtindhold ved ældning i "De fire årstider" blev der i andet og tredje delforløb af den accelererede ældning i den ny klimasimulator da også konstateret betydeligt større fugtvariation inden for den enkelte cyklus. Efter ca. et halvt års samlet eksponeringsforløb var der opnået en nedbrydningstilstand, der i vid udstrækning modsvarerede eller overgik den nedbrydningstilstand, der kan iagttages i bebyggelsen. Ældningshastigheden var størst i 2. og 3. delforløb. Nedbrydningsforløbet er fotoregistreret for sammenligning dels med forholdene i bebyggelsen og dels med ældningsforløbet i "De fire årstider".

Konklusion

Ældningsforsøgene viser, at det i laboratoriet i vid udstrækning har været muligt at eftergøre nedbrydningsforløbet for de udvalgte lette ydervægge. Sammenligning af ældningsforløbene i de to prøvestande sandsynliggør, at der med den ny klimasimulator (specielt 2. og 3. delforløb) er muligt at øge ældningsaccelerationen i forhold til den standardiserede prøvning i "De fire årstider".

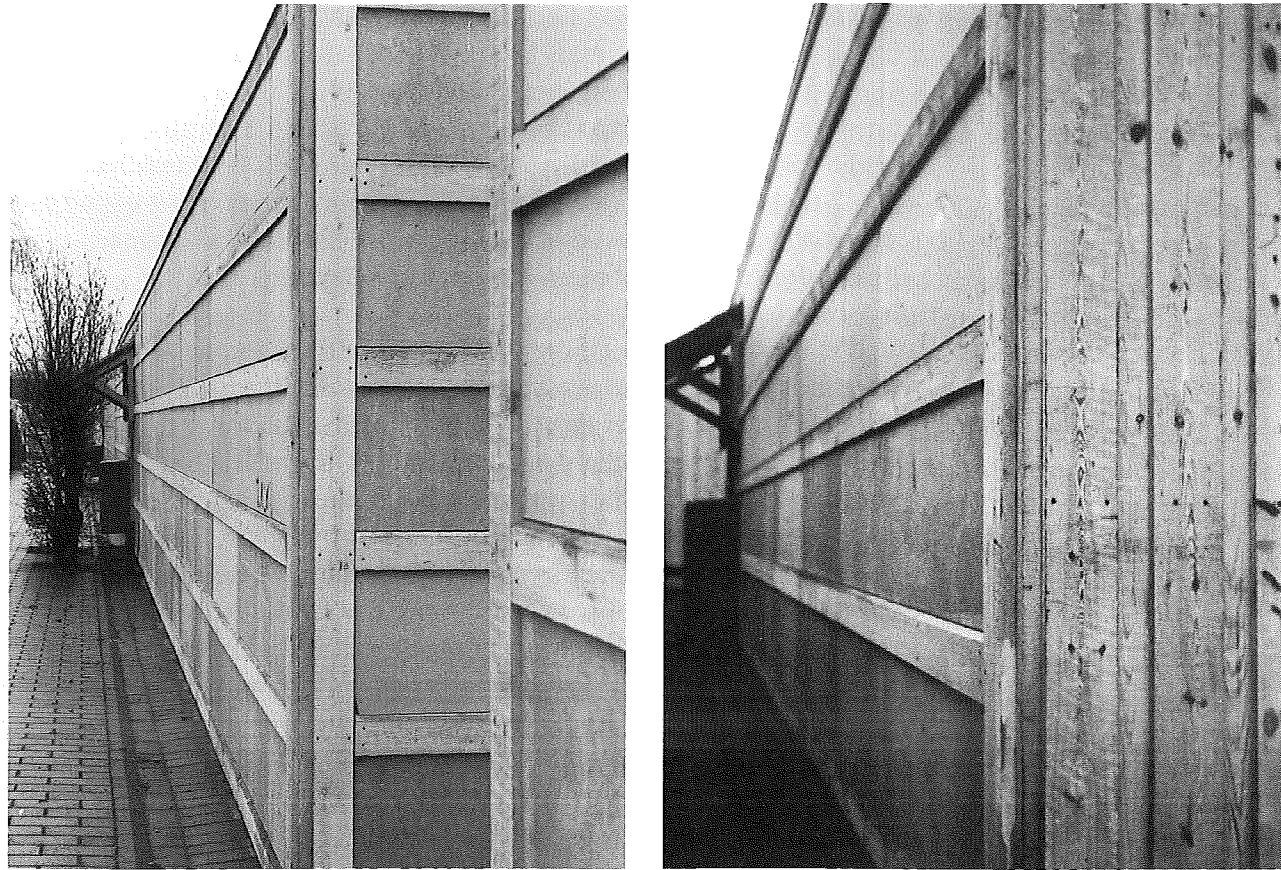
Forudsigelse af holdbarhed

Erfaringerne fra forsøgene peger på, at der er udviklet en prøvestand og så væsentlige elementer til prøvningsmetoder, at der ved accelereret ældning af facadestore lette ydervægge kan opnås en værdifuld viden om deres holdbarhed.



Figur 1 og 2. Tilstandsregistrering: Hjørnesamling på let facade beklædt med bølgeplader og udført på udkraget dæk på 1. sal.

# Tilstandsregistreringen



Figur 3 og 4. Tilstandsregistrering: Hjørnesamling af plane plader i kombination med træ.



Figur 5 og 6. Tilstandsregistrering: Stålpladebeklædning på træskelet, og indbygning af snedkerparti. Stålpladerne op til 10 m lange, hvilket kan give en temperaturbetiget længdeændring på godt 1 cm.

## Sammenligningsgrundlag

For at have det sammenligningsgrundlag, der er nødvendigt ved vurdering af nedbrydningsforløbene ved accelereret ældning i laboratoriet, blev der foretaget systematisk tilstandsregistrering af en række forskellige ydervægsdetaljer i følgende byggerier:

## Byggerierne

- Solbjerghave, Frederiksberg
- Albertslund syd - gårdhavehuse, rækkehuse samt etagehuse.
- Albertslund nord
- Lundegården, Ballerup
- Farum Midtpunkt
- Niverød 3, Nivå
- Tinggården 1 og Tinggården 2, Herfølge.

## Forskellige materialer og konstruktioner

I registreringen indgik klimaskærme med meget forskellige materialesammensætning og forskelligartet detailudformning af samlinger og knudepunkter. Eksempelvis:

- Eternitbeklædninger med både bølgeplader og plane plader på træskelet. Disse var udført med forskellig udformning ved ud- og indadgående hjørner, med forskellige sammenbygningsdetaljer lodret og vandret til tunge bygningskonstruktioner samt med forskellige former for indbygninger af døre og vinduer.
- Stålpladebeklædninger med henholdsvis let og tung bagvæg og med op til 10 m pladelængde sammenbygget vandret og lodret til tunge konstruktioner samt til snedkerpartier ved døre og vinduer.
- Bræddebeklædninger med tilsvarende forskelligartede detailudformninger.

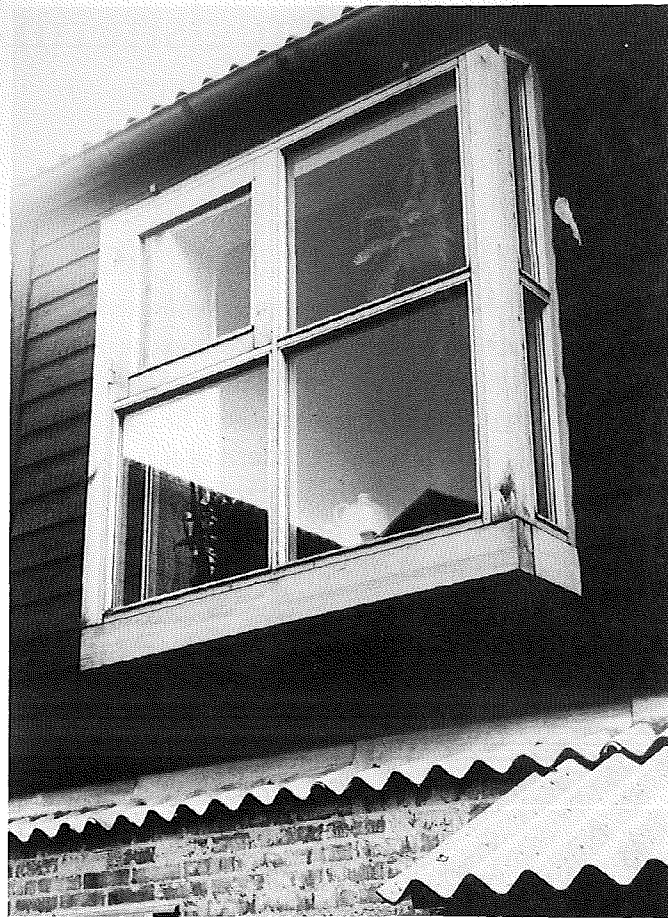
Ydervægsdetaljerne blev registreret og fotograferet for at kunne danne baggrund for udvælgelse af forsøgsemner.

## Vedligeholdelsesforløb

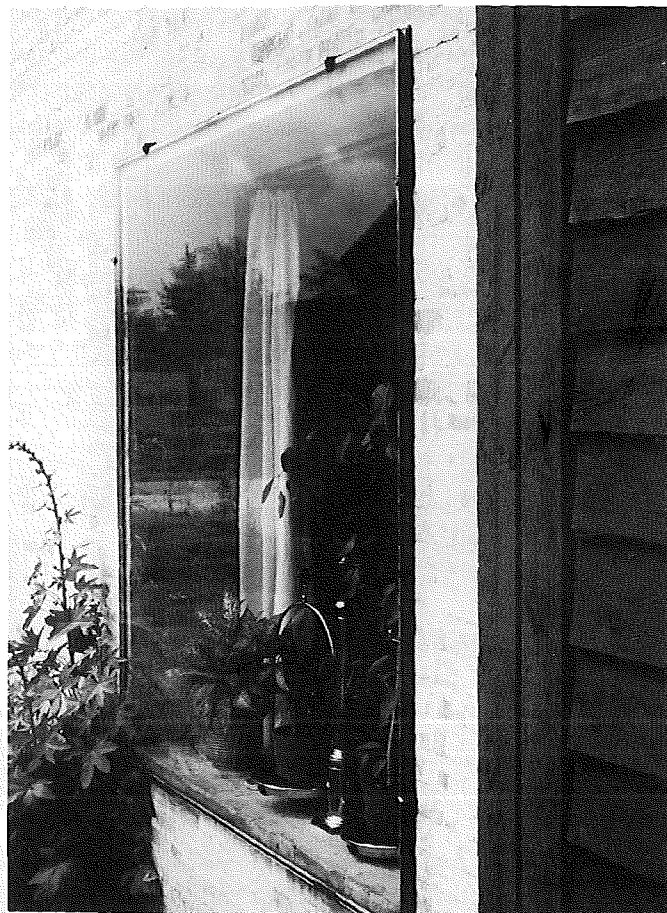
Til videre forsøg i laboratoriet valgtes facadepartier af træ fra Tinggården 1. Gennem interview af byggeriets driftspersonale blev der skabt et overblik over det vedligeholdelsesforløb, bebyggelsen har haft siden opførelsen.



Figur 7.  
Tilstandsregistrering:  
Karnapvindue i facade af  
træ.



Figur 8.  
Tilstandsregistrering:  
Sammenbygningsdetalje  
mellem træ og tegl.



## Udvælgelse og opbygning af forsøgsemner

Facader med  
træbeklædning,  
Tinggården 1

Som forsøgsemner valgtes detailudsnit fra bebyggelsen Tinggården 1, Herfølge. Der udvalgte to udsnit fra ydervæggene - et udsnit med skrå bræddebeklædning på klink fra gavltrekan, figur 11, og et udsnit med vandret bræddebeklædning på klink og med indbygning af lille vindue til trapperum, figur 12.

### Udvælgelseskriterier

Små prøveemner

Allerede ved tilstandsundersøgelserne i forbindelse med udvælgelsen af forsøgsemnerne blev det klart, at det var et problem, at indbygningsmålene i klimasimulatoren "De fire årstider" er forholdsvis små: 160 × 160 cm. Som følge heraf lå der en stor begrænsning i hvilke detailudsnit, der kunne vælges - og hvilke af de faktiske forekommende materialebevægelser, der i klimasimulatoren ville kunne få indflydelse på nedbrydningen af knudepunkter og samlinger.

Så lille skalering som muligt

De små indbygningsmål gjorde det nødvendigt at skalere prøveemnerne: Længdemålene på den skrå bræddebeklædning ved gavltrekan er således reducerede, så prøveemnet både kan indeholde knudepunkterne ved hjørnet og ved gavlspiden. Tilsvarende måtte længdemålene på den vandrette bræddebeklædning ved vinduesindbygningen reduceres. Vinduet har derimod samme mål som de små vinduer i trapperummene.

Randfænomener ved indbygning

For begge prøveemner gælder, at randfænomenerne i forbindelse med indbygning af prøveemnerne i prøvestanden har en uforholdsmæssig stor vægt i forhold til de detaljer, der ønskes undersøgt.

Mulighed for facadestore prøveemner

Størrelsen af materialebevægelserne er en meget betydende faktor ved vurdering af den konstruktive udformnings indflydelse på nedbrydningsprocessen i praksis og bør derfor også indgå ved accelereret ældning i laboratoriet. Da dette ikke er tilfældet for små prøveemner, blev det besluttet at udvikle en ny klimasimulator for ældning af facadestore elementer.

Mulighed for individuel styring af klimapåvirkningerne

Det var også medvirkende til beslutningen, at det ved en del af de øvrige ydervægskonstruktioner ville være endnu vanskeligere at skalere til små prøveemner i forbindelse med en afprøvning.

For at skabe mulighed for at accelerere nedbrydningsforløbet mere end det er muligt i "De fire årstider", blev der yderligere stillet det krav til den nye klimasimulator, at klimapåvirkningerne skulle kunne styres individuelt under hensyn til de påvirkninger, der er af størst betydning for en given klimaskærmskonstruktion.

Ens prøveemner til de to forsøg

Det blev besluttet ikke at afprøve et facadestort prøveemne i dette projekt. Dette blev anset for forsvarligt, da prøveemnerne netop var udvalgt under hensyn til, at det skulle være muligt at afprøve små prøveemner. Derimod blev der udført to ens sæt prøveemner for at



Sammenligning af nedbrydningsforløb

kunne sammenligne ældningsforløbene i den nye klimasimulator med forløbene i "De fire årstider".

Sammenligning af nedbrydningsforløbene i ens prøveemner var vigtig, da det blev antaget, at accelerationsfaktoren for nedbrydningen er afhængig af antallet af passager mellem bestemte kritiske yderpunkter.

Materialeegenskaber

Hvilke passager og hvilke yderpunkter, der er kritiske, er materialeafhængigt. Er ydervæggen sammensat af forskellige materialer og med forskellige beskyttende overfladebehandlinger, vil der for hvert af disse ofte være forskellige passager og yderpunkter, der er kritiske.

Konstruktiv udformning

Nedbrydningen i knudepunkter og samlinger afhænger yderligere af materialernes udformning - ofte en udformning, der kan tillade materialebevægelser - så levetiden her ikke bliver kortere end det mindst holdbare materiale under de givne klimaforhold.

### Registrering af fugtindhold

Variationer i fugtindhold

For træfacaderne blev det antaget, at det er de gentagne opfugtninger og udtørninger i kombination med påvirkning af UV-lys, der er de væsentligste nedbrydningsfaktorer.

Fugtmåledyvler

Derfor blev alle fire prøveemner udstyret med indborede dyvler for fugtmåling ved elektrisk modstandsmåling. Dyvlerne blev indborede fra bagsiden således, at dyvelenden ligger i en afstand 5 mm fra den ydre overflade. Fugtmåledyvlerne er placeret som vist på figur 11 og 12. Det er med denne placering tilstræbt at kunne måle fugtforløbet inden for samme stykke træ, dels i midten, dels 2 cm fra knudepunkt/endetræ.

Sammenligne fugtvariationer i de to forsøg, styre ny klimasimulator

Ideen hermed var at kunne følge ændringerne i fugtfordelingen under nedbrydningsforløbet og at kunne planlægge de enkelte eksponeringsfaser i den ny klimasimulator under hensyn til de ønskede opfugtning- og udtørningsforløb, dvs. fugtvariationerne inden for den enkelte eksponeringscyklus.

Idet det blev antaget, at der for ens prøveemner ville være muligt at sammenholde nedbrydningsforløb og tid i de to klimasimulatore, var der derfor ikke samtidig mulighed for også at variere størrelsen af prøveemnerne.

Opbygning af prøveemner

Prøveemnerne blev opbygget efter de oprindelige tegninger og materialebeskrivelser fra Tinggården 1, stillet til rådighed af Dansk Almennyttigt Boligselskab, DAB og Tegnestuen Vandkunsten. Den indvendige beklædning og dampspærre blev udeladt, da de accelererede klimapåvirkninger ellers ville føre til fugtophobning i den indre del af konstruktionen på grund af kondens på den udvendige side af dampspærren.

### Fotoregistrering

Visuel registrering

Ved fotoregistrering er det tilsigtet at sammenholde de visuelle registreringer af prøveemnerne i klimasimulatorene, dels med hinanden og dels med bestående forhold i bebyggelsen. Prøveemnerne blev fototeknisk opdelt i et net af 5 x 4 felter for fotografering med angivne tidsintervaller og præcist angivne data for filtype, afstande, optik, blænde samt lysniveau.

Figur 9. Prøveemne: Indboring af fugtmåledyvel.

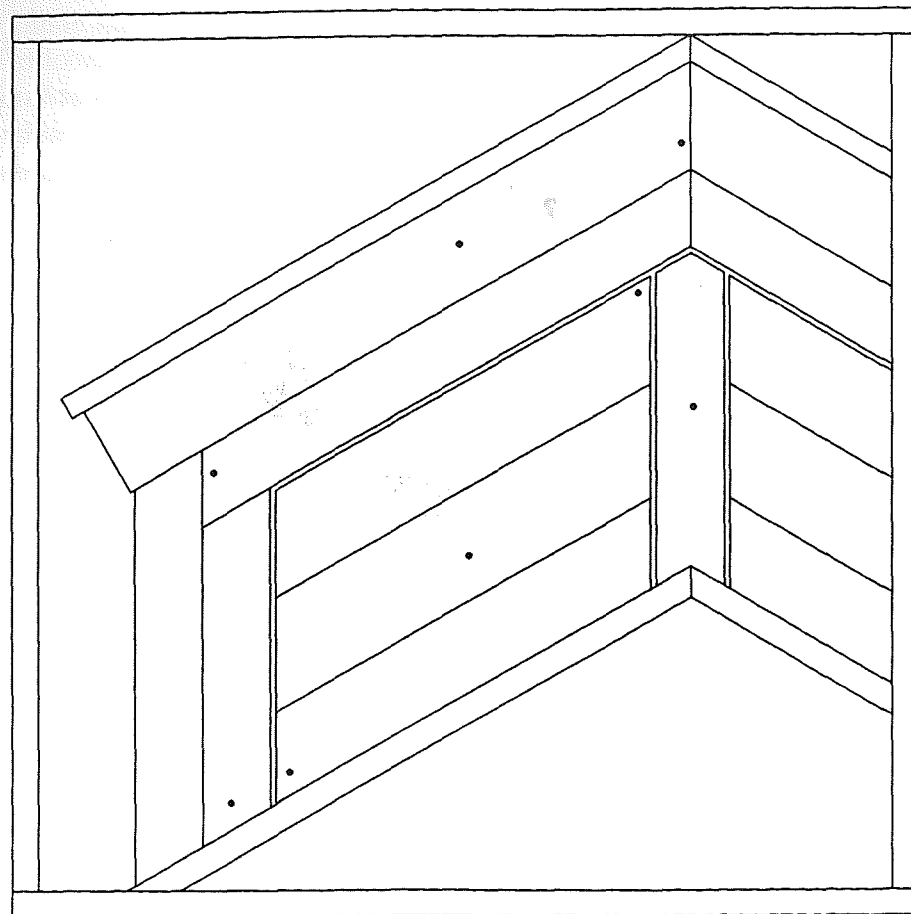


Figur 10. Prøveemne: Forsegling af fugtmåledyvel.

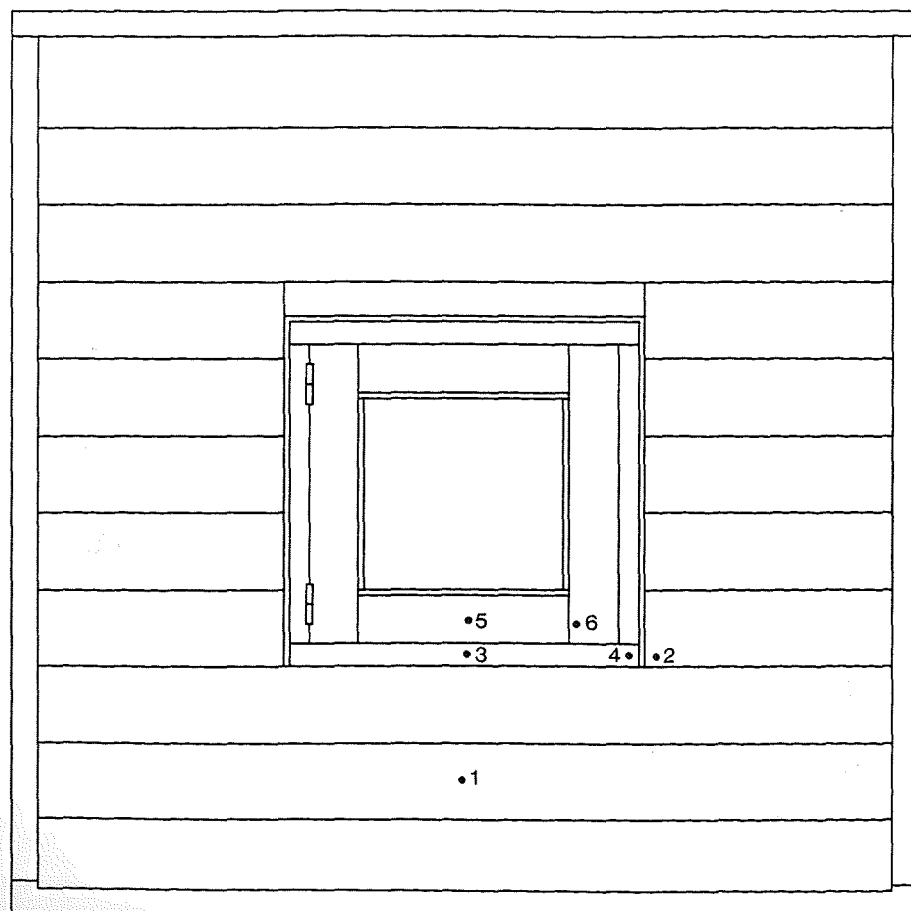




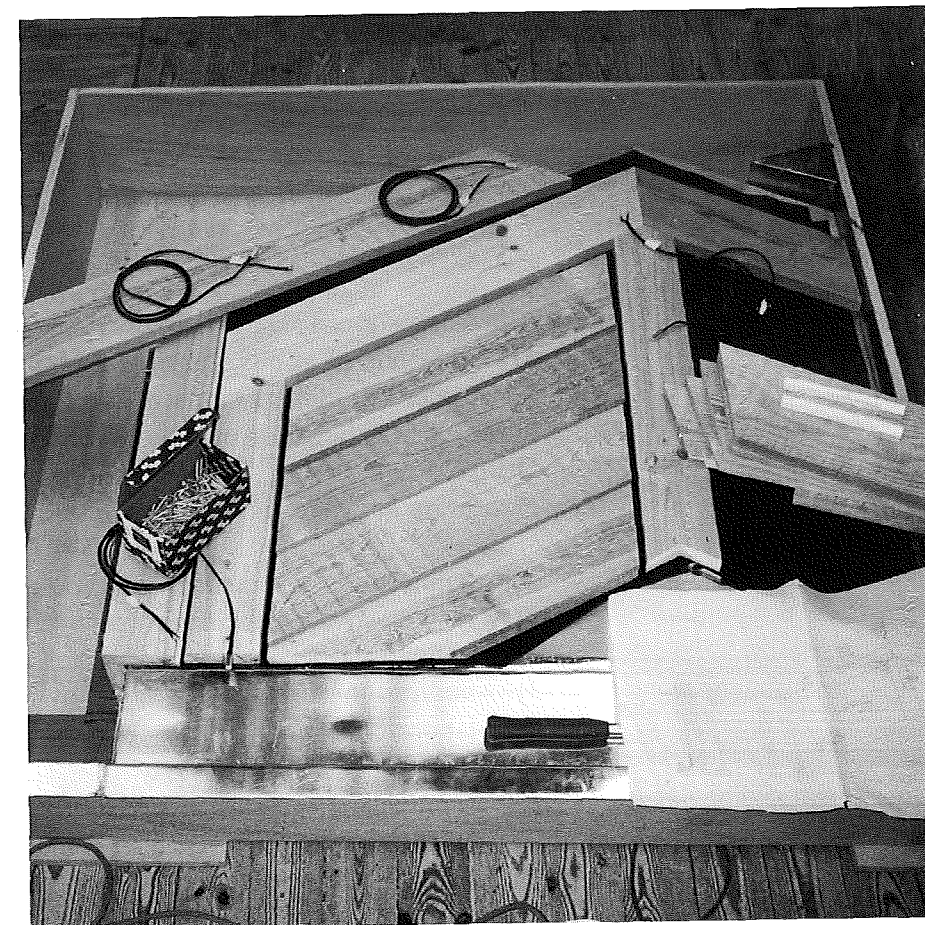
Figur 11. Prøveemne:  
Gavludsnit med skrå  
bræddebeklædning på  
klink. Punkterne angiver,  
hvor der er placeret  
fugtmålepunkter.



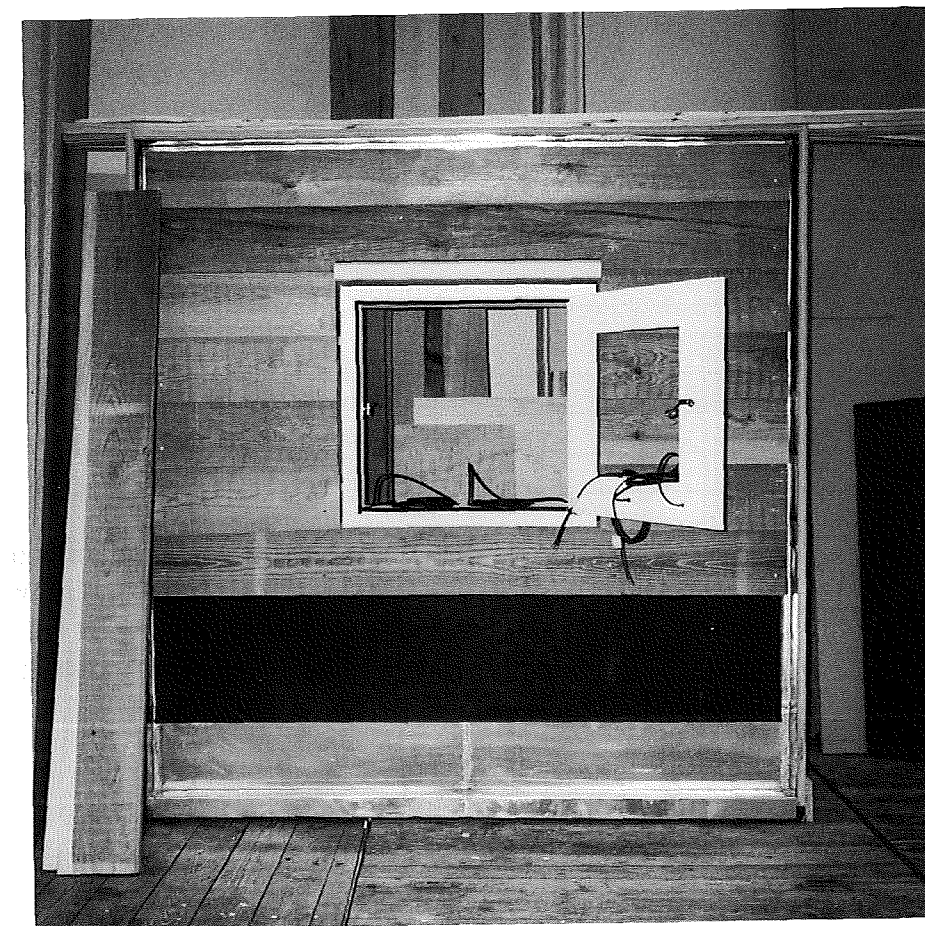
Figur 12. Prøveemne:  
Facadeudsnit med vindue.  
Tallene refererer til de  
fugtmålepunkter, hvor  
fugtvariationen er omtalt  
for de to forsøg.



Figur 13. Prøveemne:  
Gavludsnit med skrå  
bræddebeklædning på  
klink.



Figur 14. Prøveemne:  
Facadeudsnit med vindue.



# Beskrivelse af klimasimulatoren "De fire årstider"

Dansk Standard DS 1127

Klimasimulatoren "De fire årstider" er beskrevet i Dansk Standard DS 1127: Metode til at udsætte bygningskomponenter og byggematerialer for accelereret klimapåvirkning i vertikal stilling, 1. udg. juli 1985. Standarden er identisk med Norsk Standard NS 8/40, 1. udg. 1985. Udstyret er bygget op omkring en drejelig kerne med 4 rammer for montering af prøveemner af størrelsen 160 × 160 cm.

Fast cyklus

Prøveemnerne drejer mellem følgende faser:

- 1) lys- og varmepåvirkning,
- 2) befugtningsdel,
- 3) nedfrysningssdel og
- 4) laboratorieklima.

Der er en valgfri eksponeringscyklus, typisk på to timer pr. fase for lette bygningsmaterialer og 4 eller 6 timer for tunge materialer uden mulighed for at forcere én af faserne. Anvendelse af fast cyklus gør materialeprøvning i denne klimasimulator alment reproducerbare, ligesom det gør det muligt at rangordne forskellige materialer og overfladebehandlinger i forhold til den nedbrydningsgrad, påvirkningerne i denne prøvestand giver.

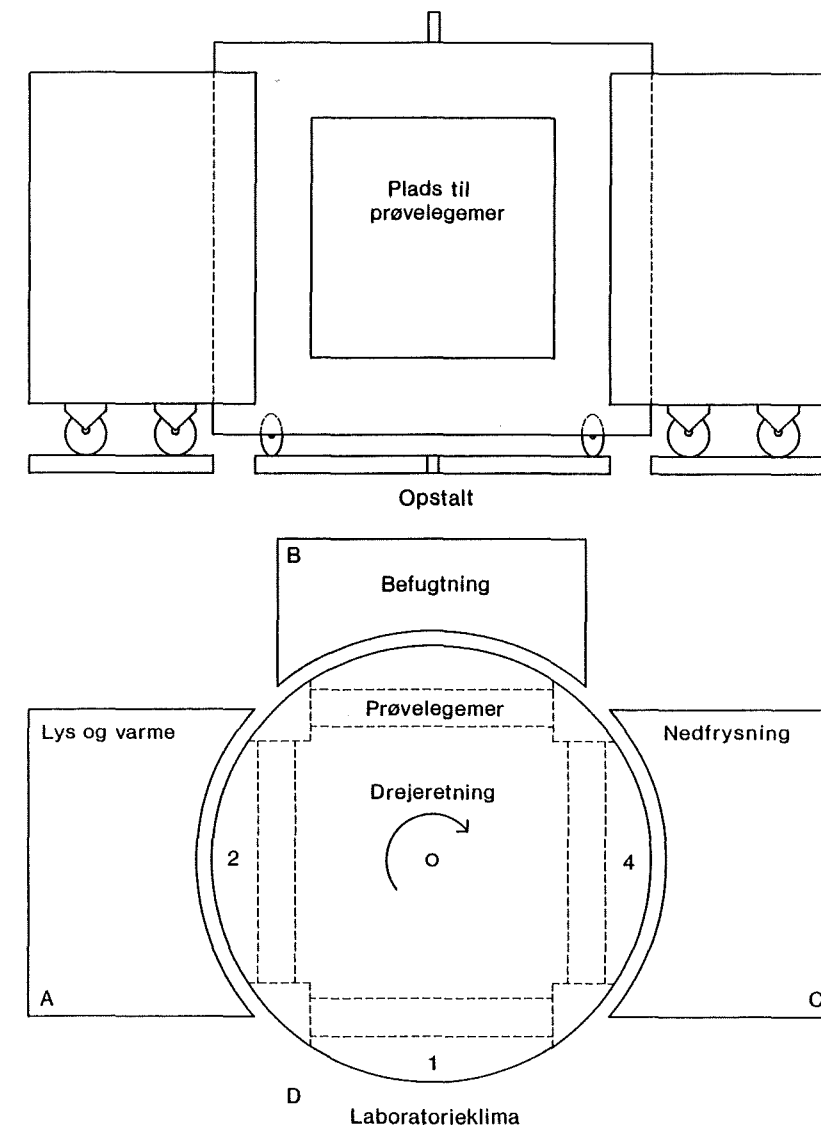
Påvirkningerne

- 1) Lys- og varmepåvirkning sker ved 4 rækker med 4 lyskilder à 300 W nominel effekt og med en relativ spektral fordeling som vist i figur 16. Lamperne lyser vinkelret mod prøveemnet med intensitet  $1900 \pm 50 \text{ W/m}^2$  nominelt tilført effekt, hvilket opnås med indbyrdes afstand på ca. 0,4 m og en afstand til prøveemnet mellem 0,5 og 0,6 m. Der kompenseres for nedslidning af lamperne ved, at disse efter tur udskiftes hvert 56. driftdøgn. Sortpladetemperaturen skal stige til  $75 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  i løbet af 3/4 t og holdes på dette niveau ved hjælp af ventilation.
- 2) Befugtning foretages ved, at demineraliseret vand påsprøjtes gennem to dyser, der har en sådan spredning, at vandet fordeles forholdsvis jævnt med en mængde på  $15 \pm 2 \text{ l/(m}^2 \times \text{t)}$ .
- 3) Nedkøling sker ved indblæsning med luft nedkølet til  $+20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- 4) Ved den 4. fase er der laborietemperatur og mulighed for undersøgelse- og udskiftning af prøveemnerne.

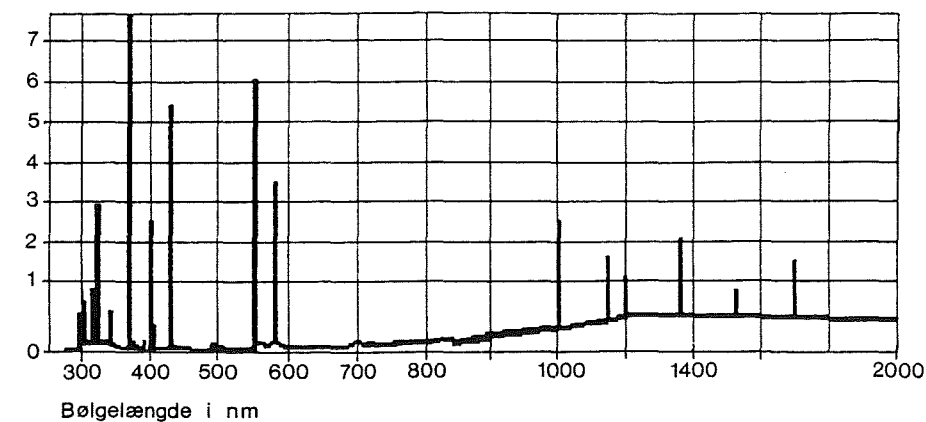
Den valgte eksponeringscyklus var her to timer pr. fase, dvs. en samlet cyklostid på 8 timer i kontinuerlig døgndrift.

Cyklostid: 8 timer

Figur 15. "De fire årstider":  
Princip for opbygning af  
prøvestanden.



Figur 16. "De fire årstider":  
Relativ spektralfordeling.





# Beskrivelse af den ny klimasimulator

Ide	Som nævnt opstod ideen til udvikling af en klimasimulator, der bedre end "De fire årstider" kan anvendes til accelereret ældning af detaljer i lette ydervægge, allerede ved tilstandsregistreringen af de nyere bebyggelser, der var nødvendig for at have et sammenligningsgrundlag ved laboratorieforsøgene.
Behov	Skalering af prøveemnerne til de små indbygningsmål i "De fire årstider" viste sig at være meget vanskelig for mange af de undersøgte konstruktioner, idet vinduer, plademål samt andre ydervægsdetaljer ikke kunne rummes inden for de givne rammer. Samtidig var materialesammensætningerne i de undersøgte bebyggelser så forskelligartede, at det for nogle pladematerialer var passer mellem frost og tøj, der kan anses for at være holdbarhedsbestemende, mens det for andre var temperaturbevægelserne, der påvirkede samlingerne på uheldig måde. For træmaterialerne i de udvalgte forsøgsemner blev der opstillet den hypotese, at det var de gentagne variationer i træets fugtindhold, der var mest afgørende for holdbarheden.
Styringsparameter: fugtvariationer	Klimasimulatoren <sup>1</sup> blev udviklet og bygget samtidig med at forsøgene i "De fire årstider" fandt sted. Resultatet af målingerne af fugtvariationerne ved ældning i "De fire årstider" kunne således danne grundlag for styring af længden af de enkelte eksponeringsfaser ved ældningsforsøgene i den nye klimasimulator. Det blev tilstræbt at kunne opnå større fugtvariationer inden for den enkelte eksponeringscyklus og var forventet, at det var muligt at fremme nedbrydningsforløbet for de pågældende bræddebelagte ydervægge.
Indbygningsmål: 3,2 m × 2,9 m	Klimasimulatoren blev bygget op om en ramme til indbygning af prøveemner af størrelsen op til 3,2 m × 2,9 m.
Indendørsklima	Til den indvendige side kan rammen tilkobles en indendørs klimakasse.
Udendørsklima	Til den udvendige side af rammen tilkobles klimasimulatoren med trinløs styring af hhv. 1) lys og varmepåvirkning, 2) befugtningspåvirkning, 3) nedkølingspåvirkning, 4) laboratorieklima.
Supplerende prøvning med slagregn	Indbygningsmålere er valgt, så facadeelementerne også kan afprøves i SBI's regnprøvestand med indbygningsmålene 3,1 × 3,3 m.
Påvirkningerne	1) Lys- og varmepåvirkninger sker gennem 4 rækker med 6 lyskilder, henholdsvis 3 halogenlamper og 3 UV-lamper i hver række. UV-lamperne har en spektralfordeling som vist på figur 19. Lamperne lyser vinkelret på prøveemnet med en intensitet på $1900 \pm 50 \text{ W/m}^2$ nominal tilført effekt.

1. Klimasimulatoren er beskrevet i SBI-udstyrsjournal 3857 med det elektroniske styringssystem beskrevet i udstyrsjournal 4118.

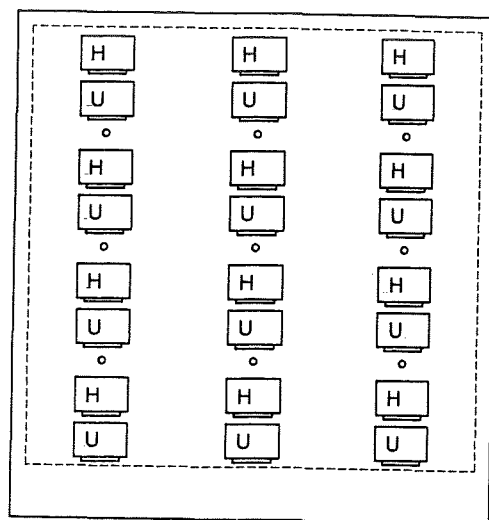
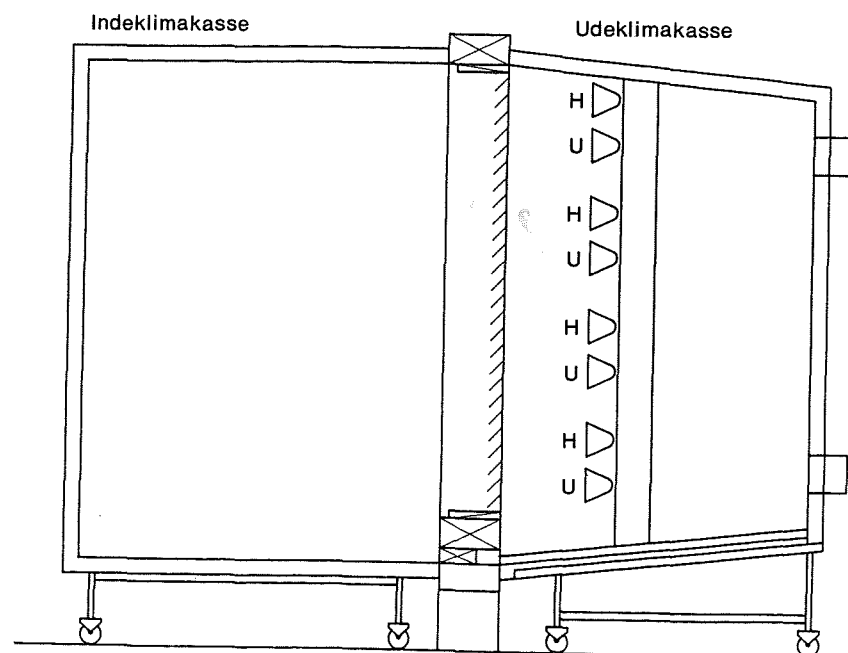
- Sortpladetemperaturen skal stige indtil  $75 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  i løbet af 45 minutter fra starten af lysfasen. Temperaturen holdes derefter konstant ved hjælp af ventilation og spændingsregulering af halogenlamperne.
- 2) Befugtningspåvirkning sker ved, at finfordelt demineraliseret vand påsprøjtes gennem 6 dyser med en mængde på  $15 \pm 2 \text{ l/(m}^2 \cdot \text{t)}$ .
  - 3) Nedkøling sker ved indblæsning af luft nedkølet til en lufttemperatur på  $-20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .
  - 4) Efterfølgende sker der optøning ved laboratorietemperaturer, idet der ventileres med laboratorieluft. Under denne fase er der mulighed for adgang til klimakassen for inspektion af prøveemnet.

Disse 4 forskellige påvirkningsfaser kan hver vare fra nogle minutter til mange timer. Variationen af hver enkelt påvirkningsfase styres af en logisk styreenhed, PLC, der kan programmeres til den ønskede eksponeringscyklus. Det fleksible styringssystem gør, at de for prøveemnet relevante yderpunkter for udtørring, opfugtning og nedfrysningstemperaturer kan opnås.

Der blev ved afprøvningen valgt følgende 4 eksponeringscykler, der alle blev udført i kontinuerlig døgndrift:

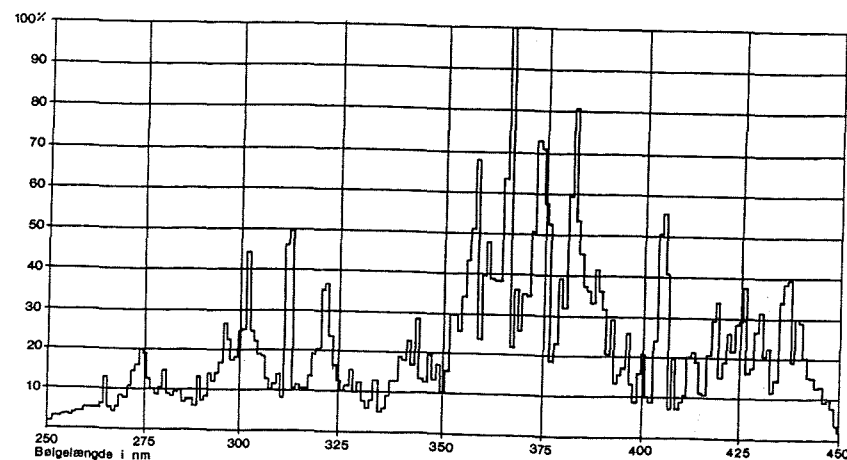
- |   |  |
|---|--|
| A | 1. Opvarmningsfase 2 t.<br>2. Befugtningsfase 2 t.<br>3. Ingen nedkølingsfase<br>4. Laboratorieklima 2 t.<br>Cyklustid 6 t.  |
| B | 1. Opvarmningsfase 4 t. 50 min + 10 min afbrydelse<br>2. Befugtningsfase 4 t. 59 min + 1 min afbrydelse<br>3. Ingen nedkølingsfase<br>4. Laboratorieklima 1 t. 59 min + 1 min hvile<br>Cyklustid 12 t.                         |
| C | 1. Opvarmningstid 14 t. 45 min + 15 min afbrydelse<br>2. Befugtningsfase 6 t. 59 min + 1 min afbrydelse<br>3. Ingen nedkølingsfase<br>4. Laboratorieklima 1 t. 59 min + 1 min hvile<br>Cyklustid 24 t.                         |
| D | 1. Opvarmningsfase 1 t. 50 min + 10 min afbrydelse<br>2. Befugtningsfase 1 t. 59 min + 1 min afbrydelse<br>3. Nedkølingsfase 1 t. 59 min + 1 min afbrydelse<br>4. Laboratorieklima 1 t. 59 min + 1 min hvile<br>Cyklustid 8 t. |

Den sidste prøvningscyklus er identisk med den valgte eksponeringscyklus i "De fire årstider".



Opstalt af bestrålingsarrangement i udeklimakasse

Figur 17 og 18. Den nye klimasimulator: Princip for opbygning.



Figur 19. Den nye klimasimulator: Relativ spektralfordeling for Ultratech.

## Ældning af prøveemner i "De fire årstider"

Klimapåvirkninger med vekslende sol, regn, frost og tøj fører først og fremmest til nedbrydning af bygnings ydre overflader. For klimaskærme udført af lette materialer sker nedbrydningen således primært i regnskærmen, dens overfladebehandling samt i de samlings-, indbygnings- og knudepunktsdetaljer, der indgår i regnskærmen. Inden omtalen af ældningsforløbene for forsøgene i den standardiserede klimasimulator "De fire årstider" gennemgås funktionen af lette ydervægge og deres regnskærm kort.

### Lette ydervægge

#### Opbygning

Lette ydervægge består af en regnskærm, et vindtætnende lag, et varmeisolerende lag samt et dampstandsende lag, som regel udført i en skeletkonstruktion med en indvendig beklædning eller på indvendige elementer af letbeton. Afhængig af bygningens konstruktion har disse klimaskærme en bærende eller en ikke-bærende funktion og de kan fabriksfremstilles eller udføres helt eller delvist på byggepladsen.

#### Materialevalg og konstruktiv udformning

Ved projektering af klimaskærmen skal der sørges for at den nødvendige ydeevne, kaldet forudsat eller forventet ydeevne, opnås. Ligeledes skal opfyldes en forventet levetid, der kan være afhængig af en bestemt vedligeholdelse. Opfyldelse heraf sker dels gennem materialevalget og dels gennem den konstruktive udformning - ikke mindst af detaljerne.

Sammen med proportioneringen af bygningskroppen er facadeudformningen, dvs. materialevalget og dets konstruktive udformning, afgørende for en bygnings arkitektoniske udtryk. God arkitektur kan ofte karakteriseres ved, at løsningerne er optimerede inden for de begrænsninger, der gives af materiale- og konstruktionsvalget.

#### Definition: levetid

Ved en klimaskærms levetid forstås den tid, der går før den forudsatte ydeevne, med periodisk vedligeholdelse og opretning, er reduceret så meget, at restydeevnen ikke længere er tilstrækkelig, altså uacceptabel.

#### Ældningsparametre

Det er ikke blot klimapåvirkninger, som de er simulerede og accelererede i dette projekt, der nedbryder klimaskærmen med tiden.

Ud over påvirkningerne med sol, regn, blæst og frost i varierende omfang kan en bygning også ved sin geografiske placering være udsat for stor luftforurening og i kystnære omgivelser for havgus. Yderligere udsættes ydervæggene for mekaniske påvirkninger og slid og måske for angreb af insekter og lignende. Også indvendige påvirkninger fx store fugtpåvirkninger fra dårligt udførte vådrum kan fremme nedbrydningen.

Ligeledes kan der naturligvis forekomme andre faktorer, der er levetidsbestemmende. En facade kan have et sådant udseende eller være udformet så ufunktionelt, at den er uacceptabel for brugerne og derfor ønskes udskiftet eller renoveret. Ydeevnen kan også være så

lav, at det kan betale sig at øge den. Det har eksempelvis tidligere været tilfældet med varmeisoleringen, hvor den forudsatte ydeevne er blevet uacceptabel med tiden på grund af energiknaphed/stigende energipriser.

Definition: ældning

Nedbrydningsprocessen kan ved ældning beskrives som fald i ydeevne over tiden, dvs. som funktionstab. I lette ydervægge kan disse funktionstab fordeles på tab af funktion i regnskærmen, det vindtætnende lag, det varmeisolerende lag, det dampstandsede lag, den indvendige beklædning, befæstelsen til skeletkonstruktionen og en eventuel reduktion af dets bæreevne.

Knudepunkter i lette ydervægge

Indbygnings-, samlings- og knudepunktsdetaljer er alle karakteristiske ved, at de nævnte lag begynder, afbrydes eller afsluttes her. Det er derfor væsentligt at disse udformes og beskyttes konstruktivt, så nedbrydningen ikke sker hurtigere her end på fladerne.

### Regnskærmen

Ved en bygningsbesigtigelse er det regnskærmens tilstand, der umiddelbart kan vurderes og registreres.

Funktion: at vise vand væk

Regnskærmens funktion er at vise vand væk, dvs. forhindre nedbør som regn og sne i at trænge ind i de bagvedliggende konstruktioner. Da tilstedeværelse af fugt fremmer korrosion og biologiske nedbrydningsprocesser og mindsker varmeisoleringssevnen, er evnen til at holde vandet ude af største betydning for levetiden af resten af væggen.

Ophobning af fugt

Ophobning af fugt i klimaskærmen kan dog også forekomme af en række andre årsager.

I vort klima, hvor husene må opvarmes en stor del af året, kan utætheder eller mangler i dampspærren føre til kondensation af luftfugt i klimaskærmen. Ligeledes vil en eventuel sommerkondens kunne føre til ophobning af fugt i konstruktionerne ved kondensation på den udvendige side af dampspærren, når temperaturen i klimaskærmen er højere her end på indvendige side. Fugt fra fugtigt fundament eller en fugtig beklædning kan diffundere eller kapillarsuges op eller ind i væggen i et sådant omfang, at det kan føre til fugtophobning i dele af vægkonstruktionerne, hvis der ikke i tilstrækkelig grad er forebygget mod det.

### Nedbrydning af regnskærm

En forringelse af regnskærmens ydeevne kan ske forskellig vis:

Årsager

- Regnskærmens udformning - ofte ved samlings-, indbygnings- og knudepunktsdetaljerne - afviser ikke i tilstrækkeligt omfang nedbøren, således at vand trænger ind. Såfremt der ikke uddrænes i tilstrækkeligt omfang, eller hvis konstruktionen er for tæt eller utilstrækkeligt ventileret til, at de bagvedliggende konstruktioner kan nå at udtørre tilstrækkeligt, sker der en fugtophobning. Den ved projekteringen forudsatte eller forventede ydeevne for regnskærmen er således ikke opfyldt på grund af uhensigtsmæssig udformning eller forkert materialevalg i forbindelse med detaljøsningerne.

Konsekvenser af funktionstab

- Ved ældning kan der ske et uforudset stort tab af regnskærmens funktion, fordi funktionstab ikke har kunnet imødegås gennem den planlagte vedligeholdelse. Dette kan skyldes, at samlings-, indbygnings- og knudepunktsdetaljerne ikke har været udformet, så de kan vedligeholdes i nødvendigt omfang, eller at de ikke konstruktivt er beskyttet mod vejrliget.

Mens man ved bestående konstruktioner kan iagttage konsekvenserne af svigt i klimaskærmen i form af fugtophobning med følgeskader som råd og svampeangreb i konstruktionerne, eller nedsat varmeisolering, vil de samme konsekvenser ikke nødvendigvis forekomme ved accelereret ældning i laboratoriet. Den intensive temperaturpåvirkning og det korte tidsforløb ved accelereret ældning kan begrænse eller forhindre den biologiske nedbrydning. Ved accelereret ældning er det derfor væsentligt at holde sig for øje, om nedbrydningsforløbet fører til tilstande, der erfaringsmæssigt vil give gode vækstbetingelser for eksempelvis et svampeangreb.

### Fotoregistrering af nedbrydningsforløbet

Prøveemner

De valgte prøveemner er facadeudsnit udført i konstruktioner af træ som beskrevet og udført i boligbebyggelsen Tinggården 1.

Nedbrydningsforløb

For overfladebehandlingen blev nedbrydningsforløbet iagttaget som:

- farveændringer, udtørring, afskalning og udblomstringer fordelt over flader, samlinger og endetræ.

For træmaterialerne generelt blev nedbrydningsforløbet iagttaget som:

- fremkomst af vindridser/revner, ændringer i disses længde, bredde og dybde, samt mørnethed fordelt over flader, samlinger og endetræ.

For bræddebeklædningerne blev nedbrydningsforløbet endvidere iagttaget som:

- krumninger og vridninger, dels over længden og dels over bredden.

For snedkersamlinger i vinduet blev nedbrydningsforløbet iagttaget som:

- fremkomst og udvikling af forskydninger, vrid, revner og åbninger.

For befæstelserne blev nedbrydningsforløbet primært iagttaget som:

- udtræk af søm og forøgelse af huldiameter omkring søm.

Afprøvningsperiode

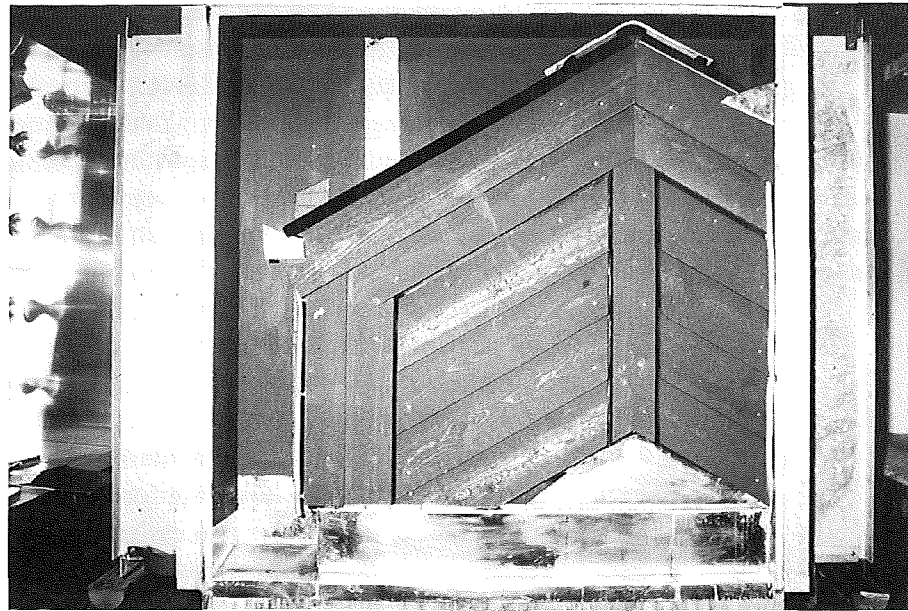
De to prøveemner blev indbygget i "De fire årstider" i december 1992, og ældningsforløbet strakte sig fra januar 1993 til august 1993 med afbrydelser af en samlet længde på 3 uger. Afbrydelserne skyldes periodevis måling af lysintensitet for sammenligning med målinger foretaget under indkøring af den ny klimasimulator. Den samlede eksponeringstid i "De fire årstider" har været knap 7 måneder.

Nedbrydningsforløbet er fotoregistreret efter henholdsvis 1 måneds, 2½ måneds, 5½ måneds og knap 7 måneders eksponeringstid med i alt 300 fotos. I de 14 fugtmålepunkter er der foretaget en manuel måling af fugtindholdet vekslende mellem fire og en enkelt aflæsning af fugtindholdet i hvert målepunkt hver til hver tredje dag.

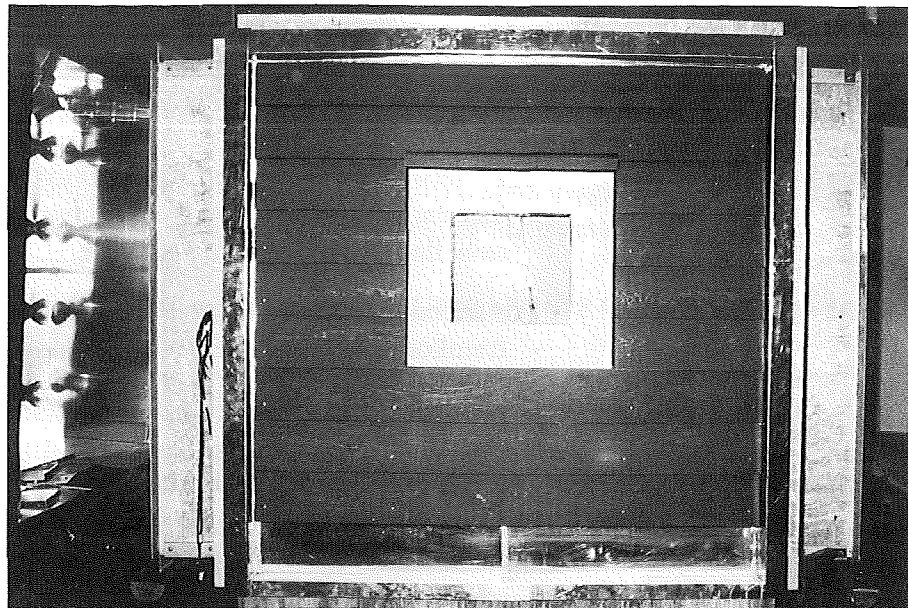
Fra fotoserien er følgende udvalgt fra "De fire årstider":



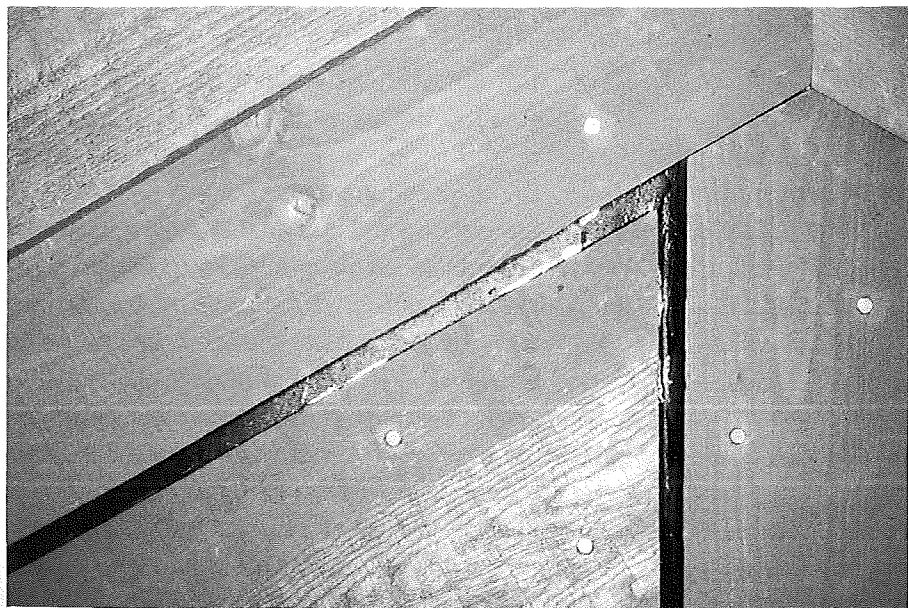
Figur 20. "De fire årstider":  
Indbygning af prøveemnet  
med gavl i prøvningsud-  
styret inden ældning.



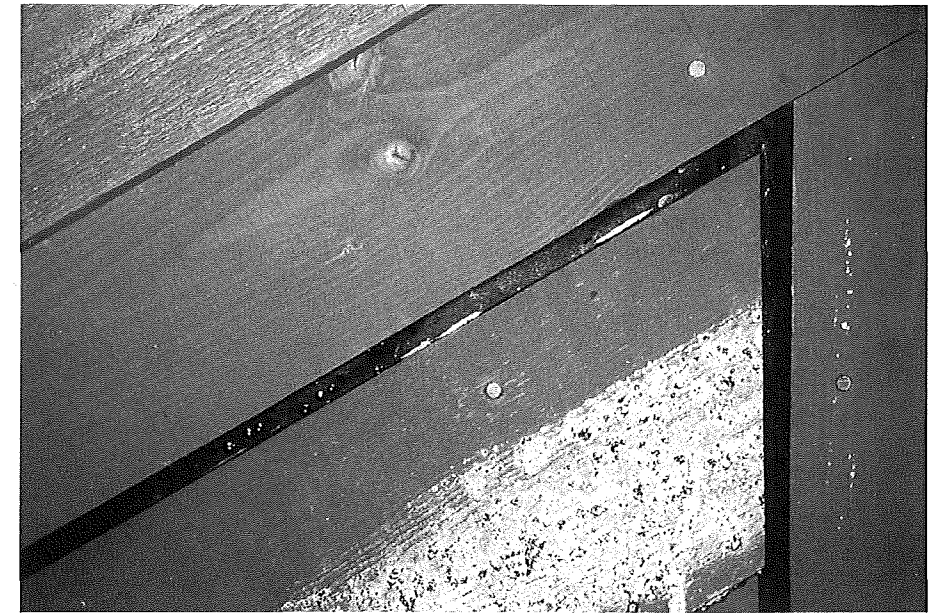
Figur 21: "De fire årstider":  
Indbygning af prøveemnet  
med vindue i prøvningsud-  
styret inden ældning.



Figur 22. "De fire årstider":  
Spidsafslutning af brædde-  
beklædning inden ældning.



Figur 23. "De fire årstider":  
Spidsafslutning af brædde-  
beklædning efter 1 måneds  
ældning.



Figur 24. "De fire årstider":  
Spidsafslutning af brædde-  
beklædning efter 2½ må-  
neds ældning.

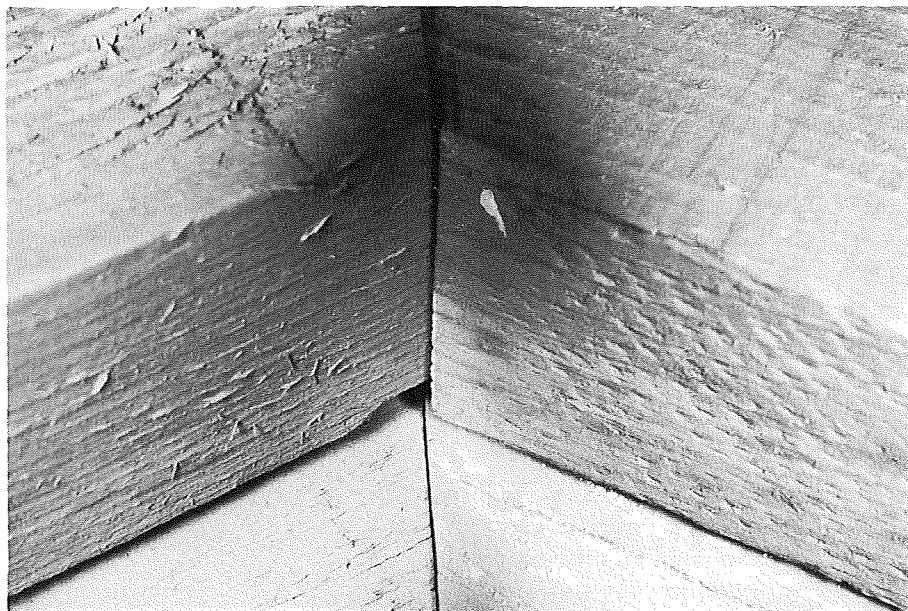


Figur 25. "De fire årstider":  
Spidsafslutning af brædde-  
beklædning efter 5½ må-  
neds ældning.

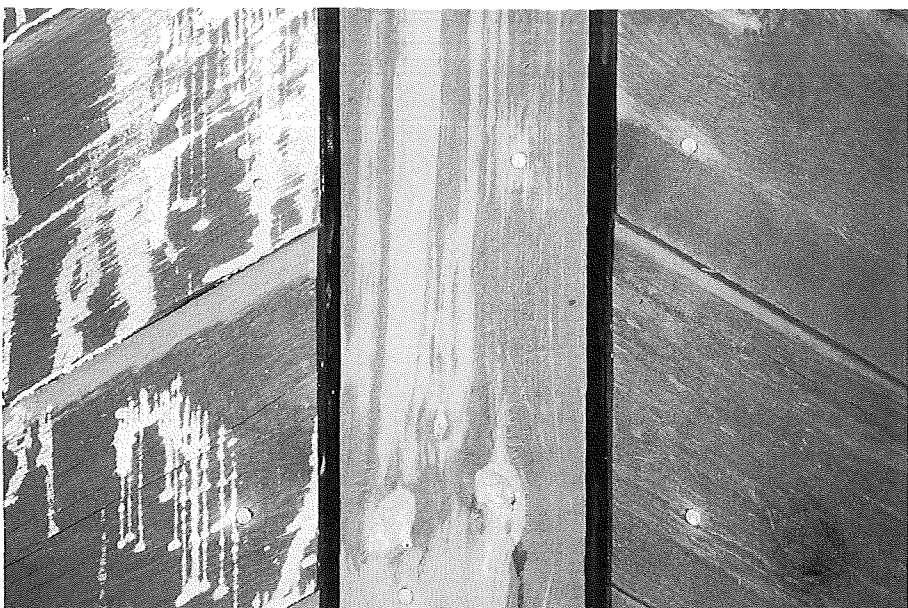




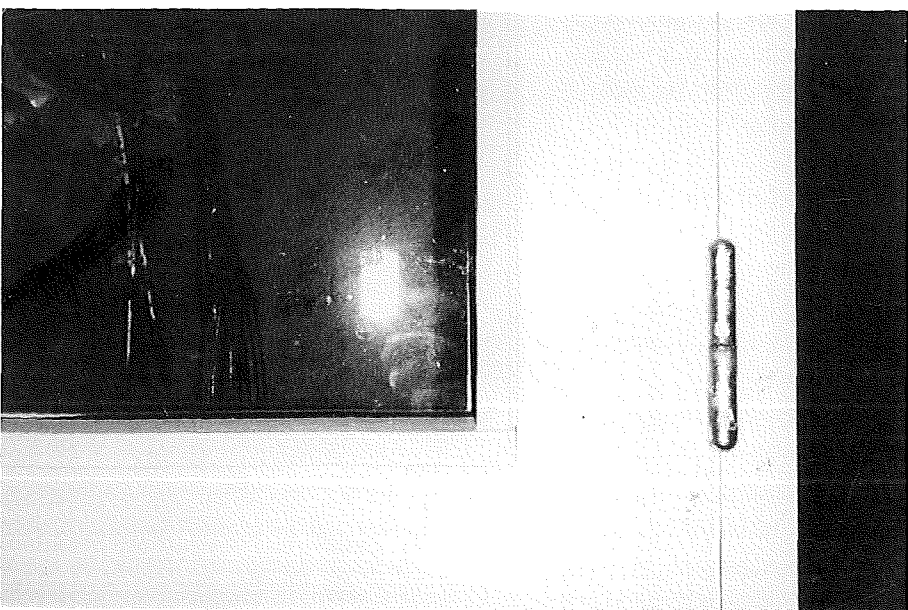
Figur 26. "De fire årstide Samling i sternbræt efter 5½ måneds ældning.



Figur 27. "De fire årstider": Midtersamlingerne efter 5½ måneds ældning.



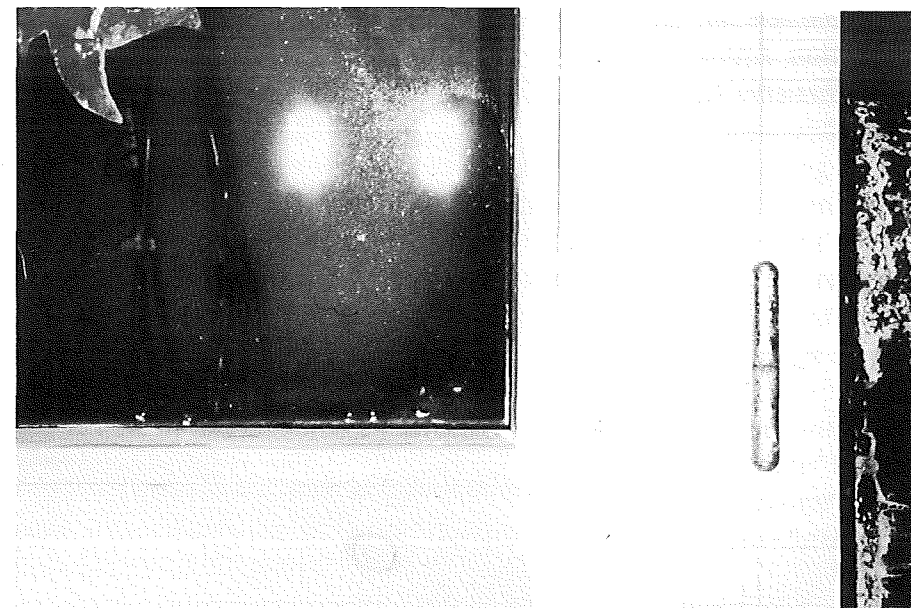
Figur 28. "De fire årstider": Hjørnesamling af vindue før ældning.



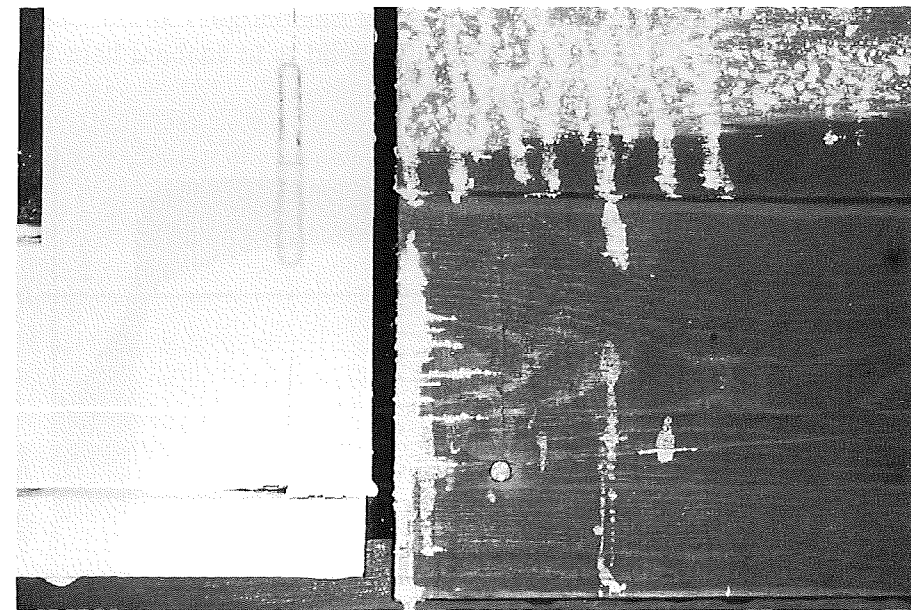
Figur 29. "De fire årstider": Hjørnesamling af vindue efter 1 måneds ældning.



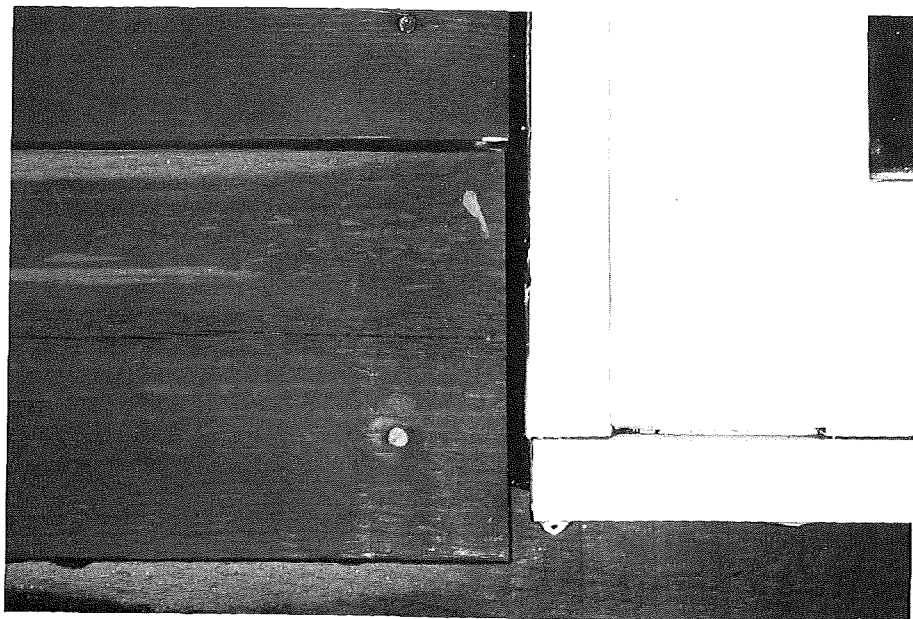
Figur 30. "De fire årstider": Hjørnesamling af vindue efter 2½ måneds ældning.



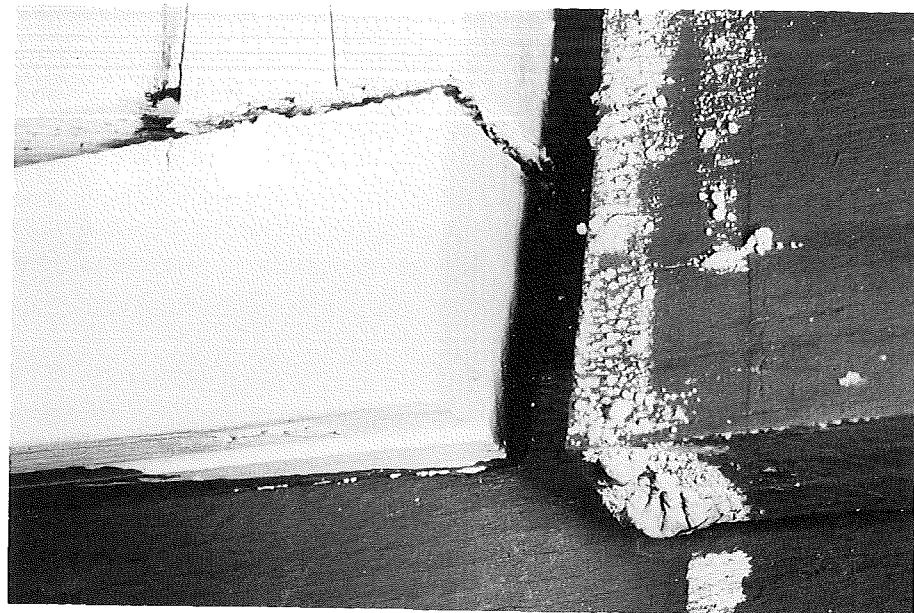
Figur 31. "De fire årstider": Definition. Hjørnesamling af vindue efter 5½ måneds ældning.



Figur 32. "De fire årstider":  
Definition. Modstående  
hjørnesamling efter 5½  
måneds ældning.



Figur 33. "De fire årstider":  
Definition. Hjørnesamling  
af vindue efter knap 7  
måneders ældning.



Generelt fugtforløb gen-  
nem prøvningsperioden

Optegning af fugtvariatio-  
ner

### Fugtniveau og fugtvariationer

Under nedbrydningsforløbet blev fugtindholdet i de indborede dyvler registreret.

Ses der på fugtforløbet i nogle af de indborede fugtmåledyvler er det karakteristisk, at fugtniveauet efter en indkøringsperiode af forskellig længde afhængig af målepunkt, stabiliseres til et bestemt niveau. I den efterfølgende periode er fugtniveauet forholdsvis stabilt eller kan have en svag tendens enten til yderligere opfugtning eller til en lidt mere tør tilstand. Variationerne, omkring det forholdsvis stabile niveau, i fugtindholdet i løbet af en eksponeringscyklus afhænger af målepunktets placering.

Fugtforløbet under ældningsforsøgene er for de udvalgte målepunkter optegnet, så forløbene kan sammenlignes indbyrdes og med de tilsvarende fugtregistreringer for ældningsforsøget i den nye klimasimulator. X-aksen angiver antal måneders eksponeringstid - fra 0-7 og Y-aksen vægtprocent fugtindhold - fra 0-30, hvor ca. 20 vægtprocent fugtindhold er aftegnet som den vandrette linie. Fugtvariationerne inden for den enkelte eksponeringscyklus er angivet ved bredden af båndet.

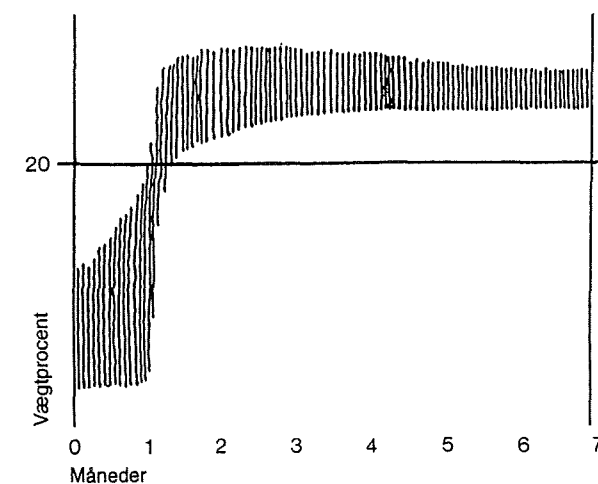
Ved sammenligning med ældningsforsøget i den ny klimasimulator har der været væsentlige pauser mellem de enkelte deleksponeringsforløb. Disse er angivet ved lodrette linier, se afsnittet: Ældning af prøveemner i den ny klimasimulator, fugtniveau og fugtvariation.

Fugtforløbene er optegnet for at undersøge om hypotesen, at det i det væsentligste er fugtvariationerne i træmaterialer der er bestemmende for ældningshastigheden - altså om det er sandsynligt, at det ved at øge variationerne i den ny klimasimulator også er muligt at fremme nedbrydningsforløbet.

For målepunkt 1, der er placeret i "centralzone" i facadeelementets bræddebeklædning, målepunkt 3, der er placeret i "centralzone" i vinduets underkarm, og målepunkt 5, der er placeret i "centralzone" i den underste del af vinduets gående ramme, gælder sammenfattende følgende:

I målepunkt 1 opnås et forholdsvis stabilt, men meget højt fugtniveau efter ca. 1½ måneders ældning; niveauet er herefter stabilt, og variationerne i fugtindhold inden for eksponeringscyklusen er herefter små med tendens til at blive aftagende.

Figur 34. "De fire årstider":  
Fugtvariationer i måle-  
punkt 1. Stregen angiver  
ca. 20 vægtprocent fugtind-  
hold.

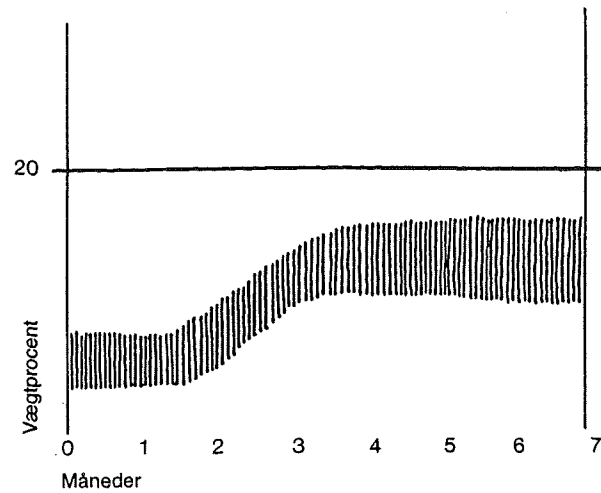




### Målepunkt 3

I målepunkt 3 sker stigningen i fugtniveau først efter 1½ måneds forløb, hvorefter der den følgende 1½ måneds tid sker en opfugtning til et forholdsvis stabilt og stadig lavt niveau. Variationerne omkring niveauet er herefter forholdsvis store med tendens til at øges.

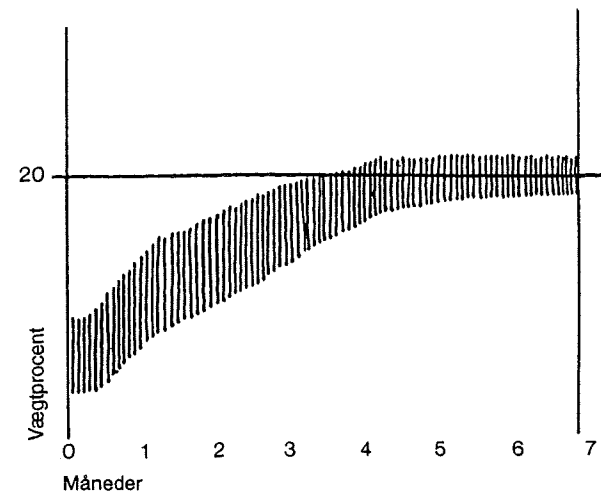
Figur 35. "De fire årstider": Fugtvariationer i målepunkt 3.



### Målepunkt 5

I målepunkt 5 er fugtniveauet forholdsvis stærkt stigende gennem de første 1½ måneds forløb. Herefter er niveauet svagt stigende til et fugtniveau, der efter 4 måneders forløb er forholdsvis stabilt og ligger mellem målepunkterne 1 og 3 med tendens til aftagende variationer.

Figur 36. "De fire årstider": Fugtvariationer i målepunkt 5.

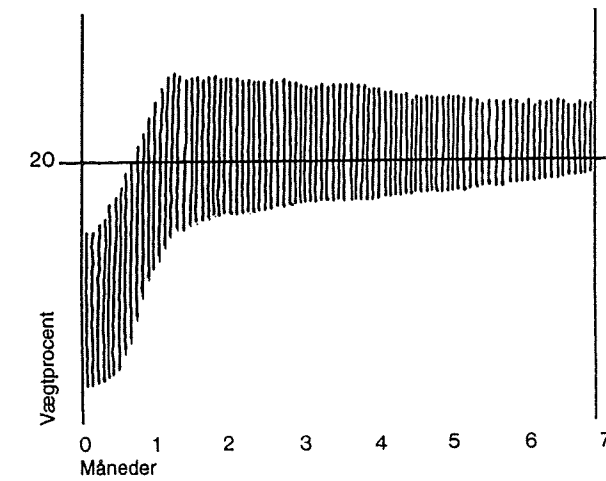


### Målepunkt 2

For målepunkt 2, der er placeret i "udsat zone" nær endetræ i facadeelementets bræddebeklædning, målepunkt 4, der er placeret i "udsat zone" nær endetræ i vinduets underkarm, og målepunkt 6, der er placeret i "udsat zone" i hjørnesamlingen på vinduets gående ramme, gælder sammenfattende følgende:

I målepunkt 2 opnås efter 1½ måneds ældning et forholdsvis stabilt og højt fugtniveau med store variationer i fugtindholdet inden for eksponeringscyklussen. Dette niveau opretholdes gennem perioden med tendens til aftagende variationerne.

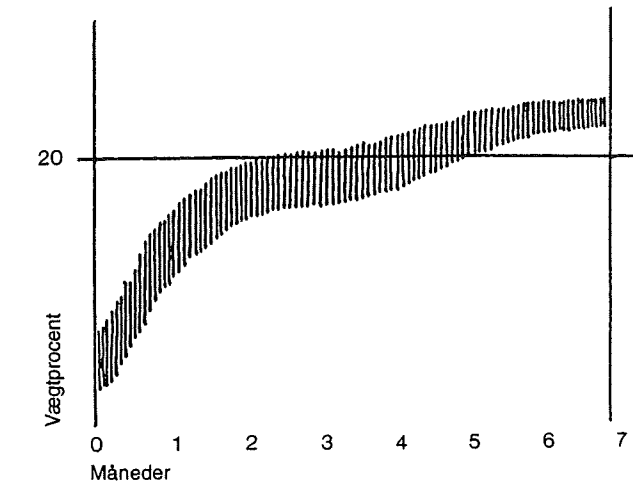
Figur 37. "De fire årstider": Fugtvariationer i målepunkt 2.



### Målepunkt 4

I målepunkt 4 opnås først et forholdsvis stabilt og noget lavere fugtniveau efter ca. 3 måneders ældning. Gennem resten af perioden er der en svag tendens til stigning i fugtniveauet; variationerne er forholdsvis små med tendens til at aftage.

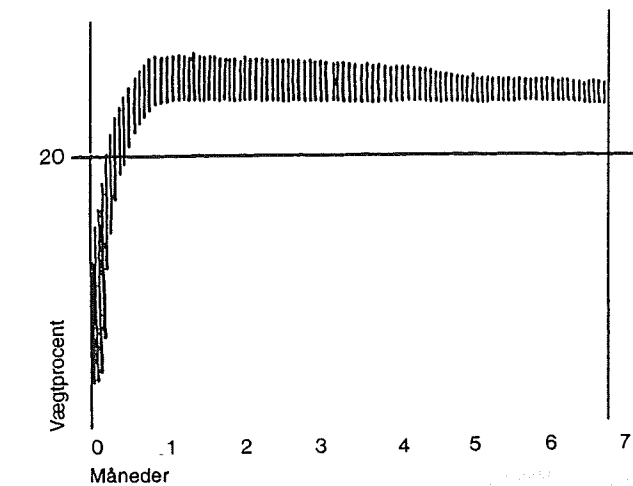
Figur 38. "De fire årstider": Fugtvariationer i målepunkt 4.



### Målepunkt 6

I målepunkt 6 opnås et højt og meget stabilt fugtniveau efter ca. 1 måneders ældning. Variationerne er herefter forholdsvis små, med en tendens til aftagende variationsbredde.

Figur 39. "De fire årstider": Fugtvariationer i målepunkt 6.



# Ældning af prøveemner i den ny klimasimulator

Ens prøveemner

Prøveemnerne for ældning i "den ny klimasimulator" blev udført samtidig med udførelsen af emnerne for ældning i "De fire årstider". Så vidt det er muligt, er prøveemnerne udført helt identisk med disse og med samme placering af fugtmåledyvlere.

## Sammenligningsgrundlag

Prøvningsforløbene har ikke foregået samtidigt, men har ligget i forlængelse af hinanden, idet tiden, hvor prøvning er foregået i "De fire årstider", har været anvendt til konstruktion og udførelse af den nye klimasimulator.

Prøveemnerne for ældning i den ny klimasimulator har derfor været "lagret" ca. 1 år længere i laboratoriet og er således mere veltørret end de emner, der er ældet i "De fire årstider". Der skal derfor tages hensyn til, at træet ved ældning i "De fire årstider" har været mere grønt.

Fra ældningsforløbene i "De fire årstider" kendtes forløbet for fugtniveau og fugtvariationer gennem måling af fugtindholdet ved de fugtmålepunkter, der er indlagt i forsøgsemnerne.

Ud fra ønsket om at undersøge om det er muligt at fremme nedbrydningsforløbet, blev ældningsforløbet i den ny klimasimulator delt i 4 delforløb, A, B, C og D.

De enkelte eksponeringsfaser og eksponeringstiderne i delforløb B og C er valgt for at opnå større fugtvariationer inden for den enkelte eksponeringscyklus, end der blev opnået ved den standardiserede afprøvning i "De fire årstider". Eksponeringscyklerne samt de målte fugtniveauer og fugtvariationer er beskrevet efter fotoregistrering af nedbrydningsforløbet i afsnittet: Fugtniveau og fugtvariationer.

## Fotoregistrering af nedbrydningsforløbet

De to prøveemner blev indbygget i den ny klimasimulator december 1993, og ældningsforløbet strakte sig fra februar 1994 til december 1994 med afbrydelser af en samlet længde på 3 måneder. Afbrydelserne er begrundet af indkøringsjusteringer, primært udskiftning af nedbrudte lampefatninger med nye og holdbare samt indregulering og tilslutning af kølingsdelen.

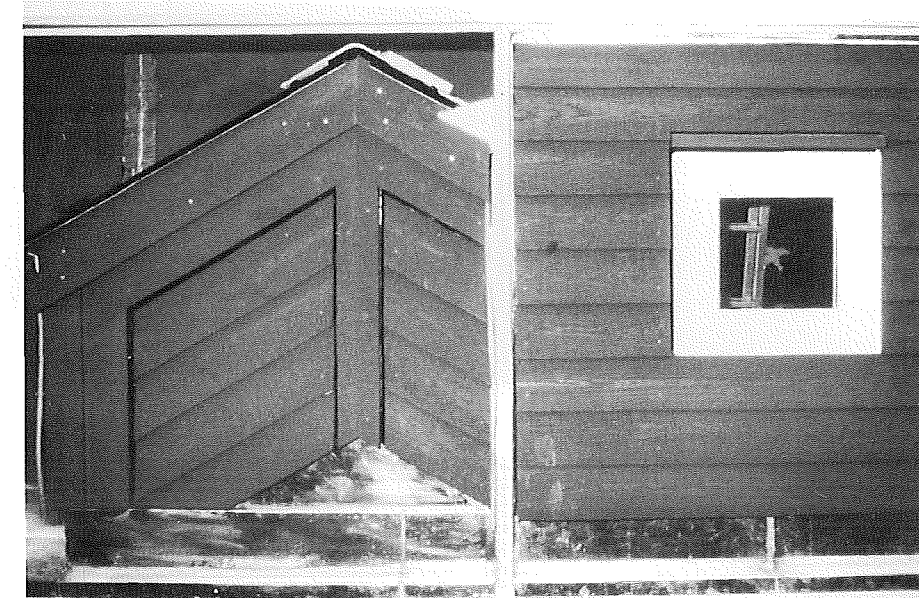
Den samlede eksponeringstid er ca. 7 måneder, og afbrydelserne har fortrinsvis ligget i forbindelse med ændringerne af eksponeringscyklus.

Nedbrydningsforløbet er fotoregistreret efter henholdsvis 1 måneds, 2½ måneds, 5½ måneds og knap 7 måneders eksponering med ca. 400 fotooptagelser. I de 14 fugtmålepunkter er der foretaget en manuel

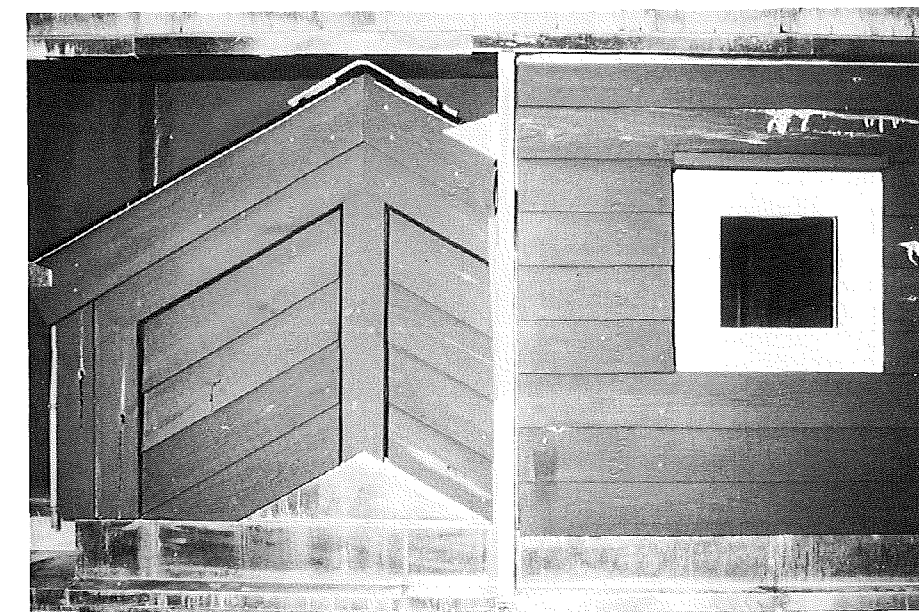
måling af fugtindhold vekslende mellem fire og en enkelt aflæsning hver til hver tredje dag af hvert målepunkt.

Fra fotoserien er følgende fotos udvalgt fra nedbrydningsforløbet ved accelereret ældning i Den ny klimasimulator:

Figur 40. Den ny klimasimulator: Indbygning af de to prøveemner i klimasimulatoren inden ældning.



Figur 41. Den ny klimasimulator: Prøveemnerne efter 2½ måneds ældning.



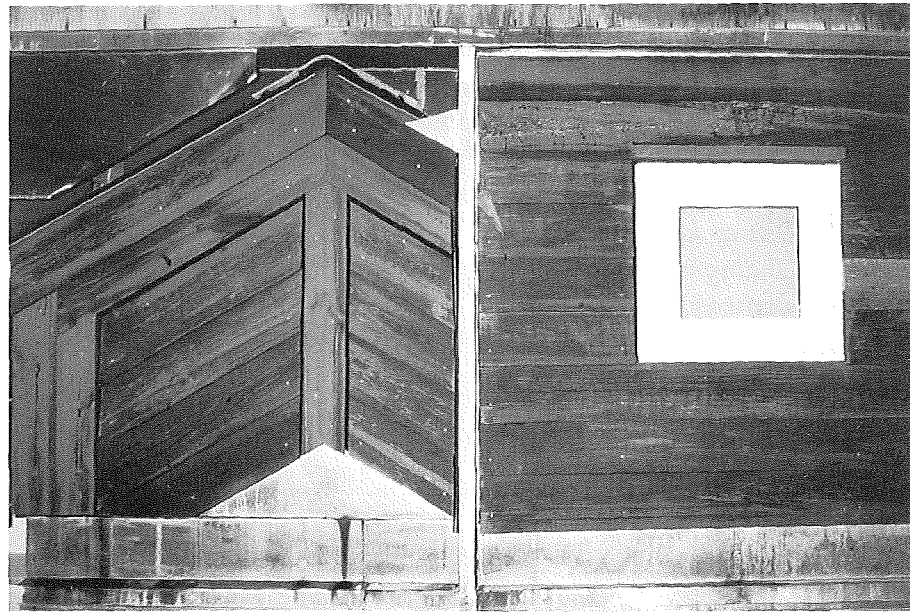
Styring af eksponeringstider

Fire delforløb

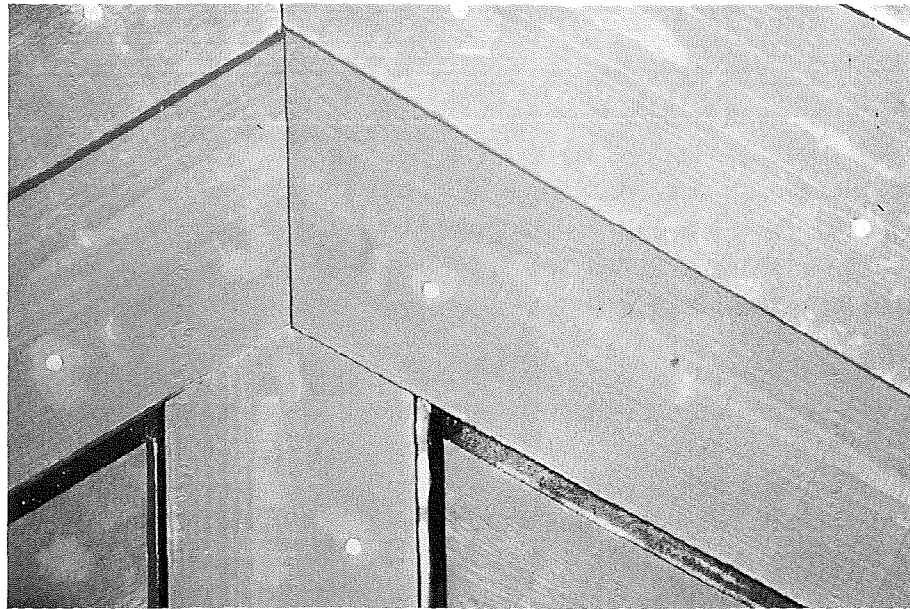
Større fugtvariationer i den enkelte cyklus



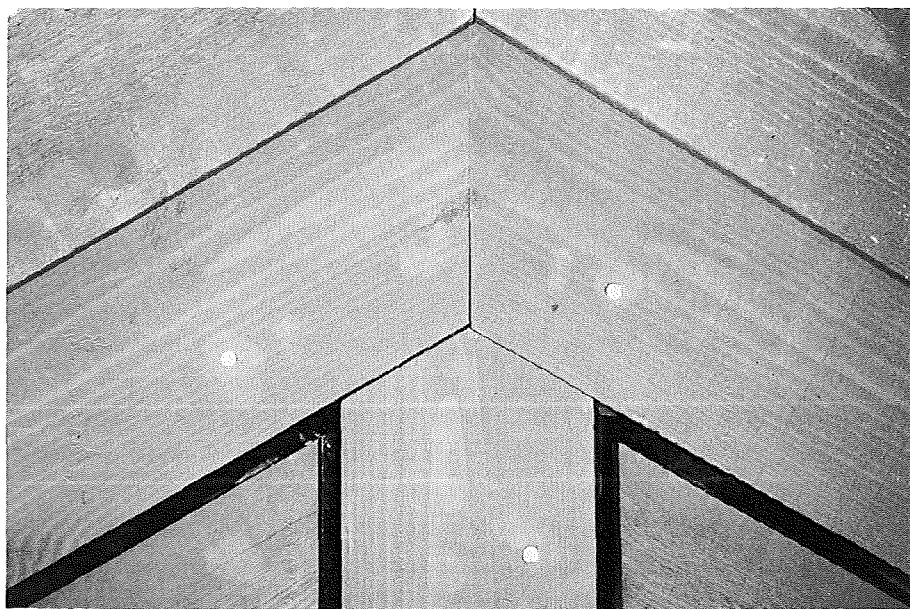
Figur 42. Den ny klima-simulator: Prøveemnerne efter 5½ måneds ældning.



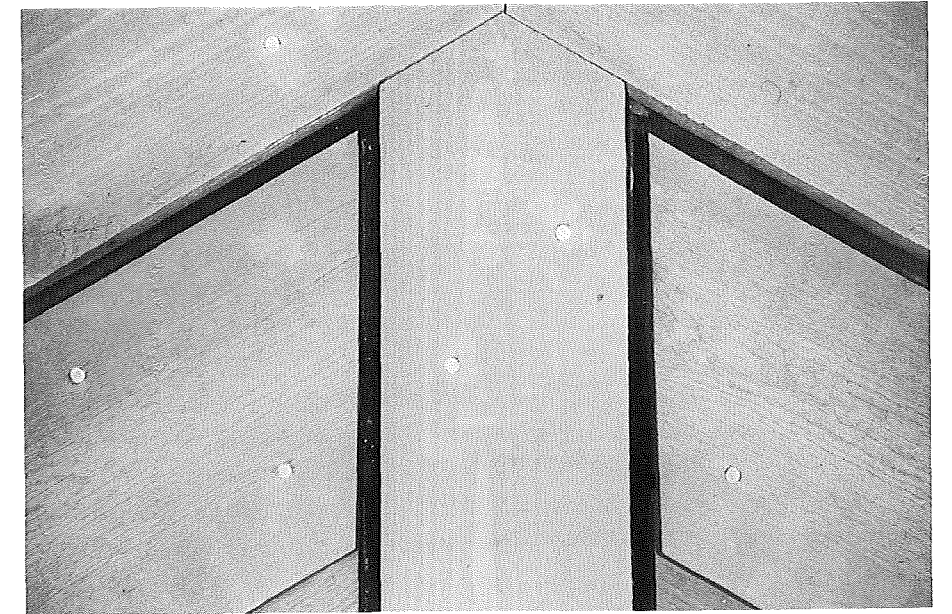
Figur 43. Den ny klima-simulator: Spidsafslutning af bræddebeklædning inden ældning.



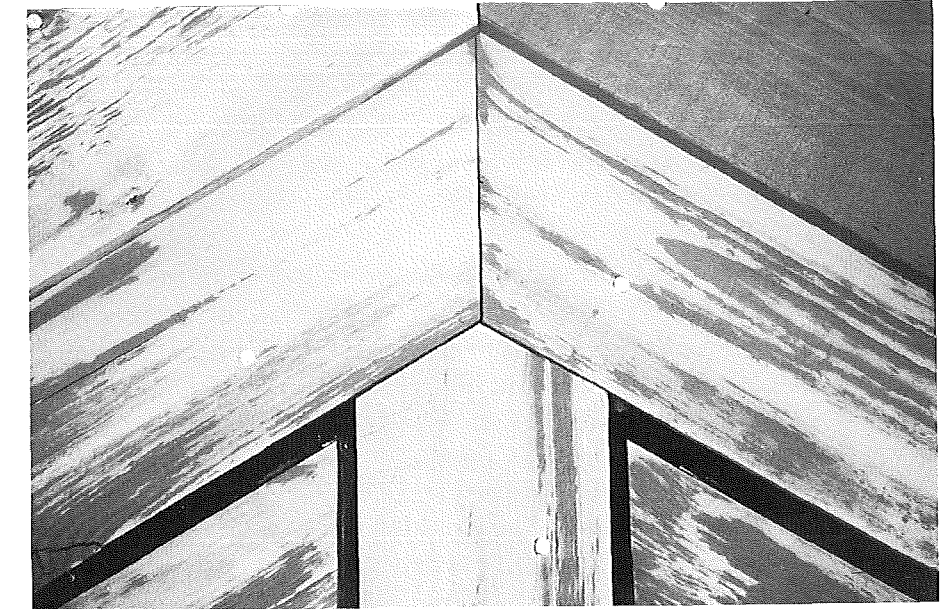
Figur 44. Den ny klima-simulator: Spidsafslutning af bræddebeklædning efter 1 måneds ældning.



Figur 45. Den ny klima-simulator: Spidsafslutning af bræddebeklædning efter 2½ måneds ældning.



Figur 46. Den ny klima-simulator: Spidsafslutning af bræddebeklædning efter 5½ måneds ældning.



Figur 47. Den ny klima-simulator: Spidsafslutning af bræddebeklædning efter knap 7 måneders ældning.

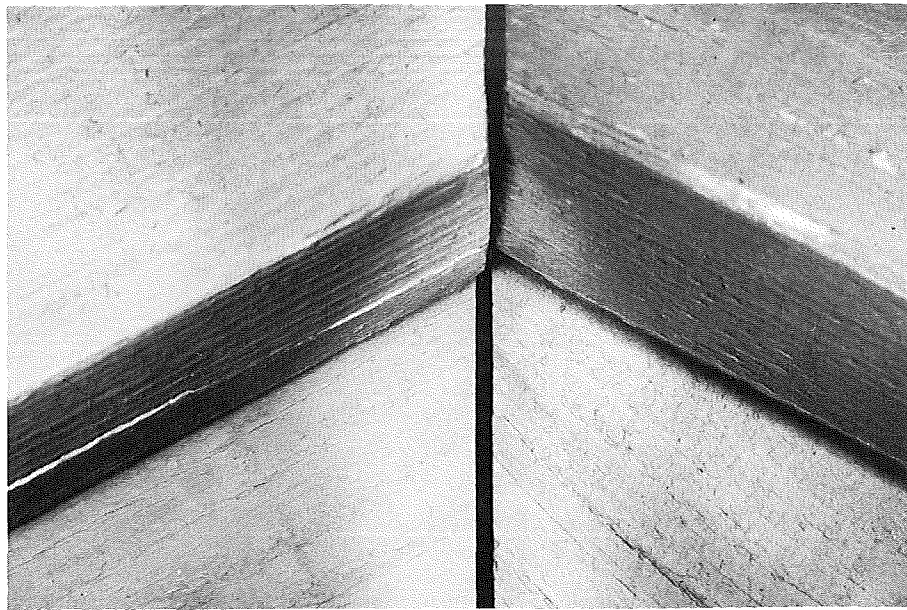




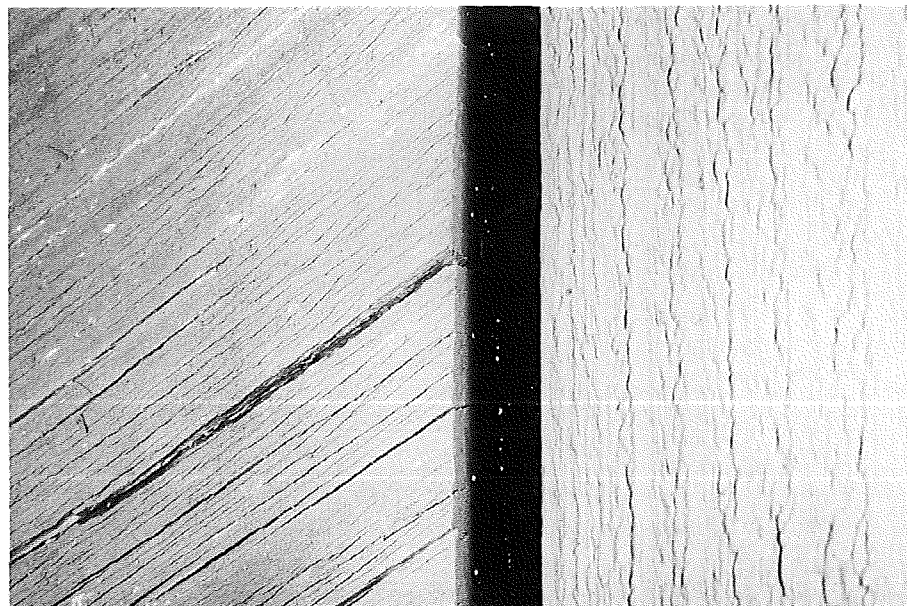
Figur 48. Den ny klima-  
simulator: Samling i stern-  
bræt efter 2½ måneds  
ældning.



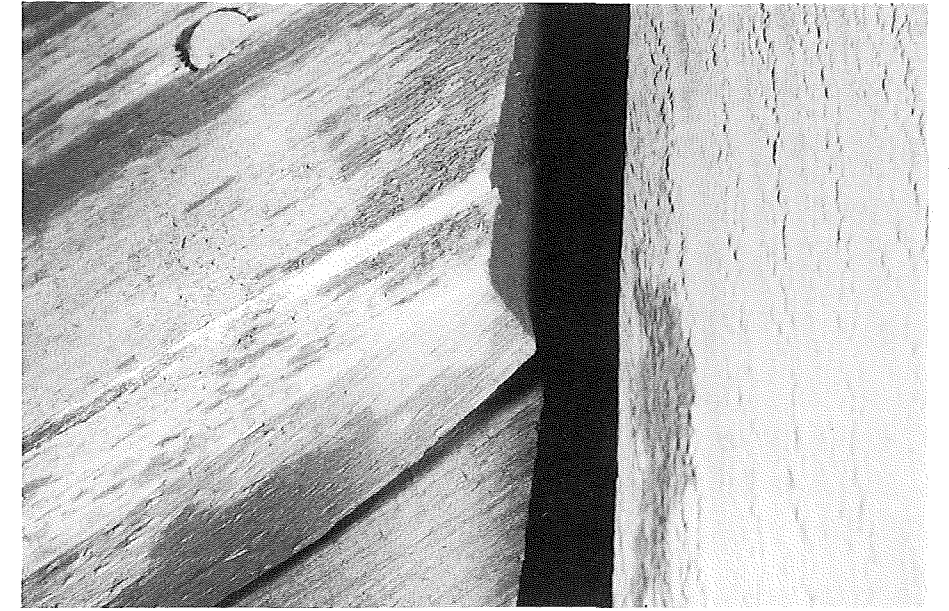
Figur 49. Den ny klima-  
simulator: Samling i stern-  
bræt efter knap 7 måneders  
ældning.



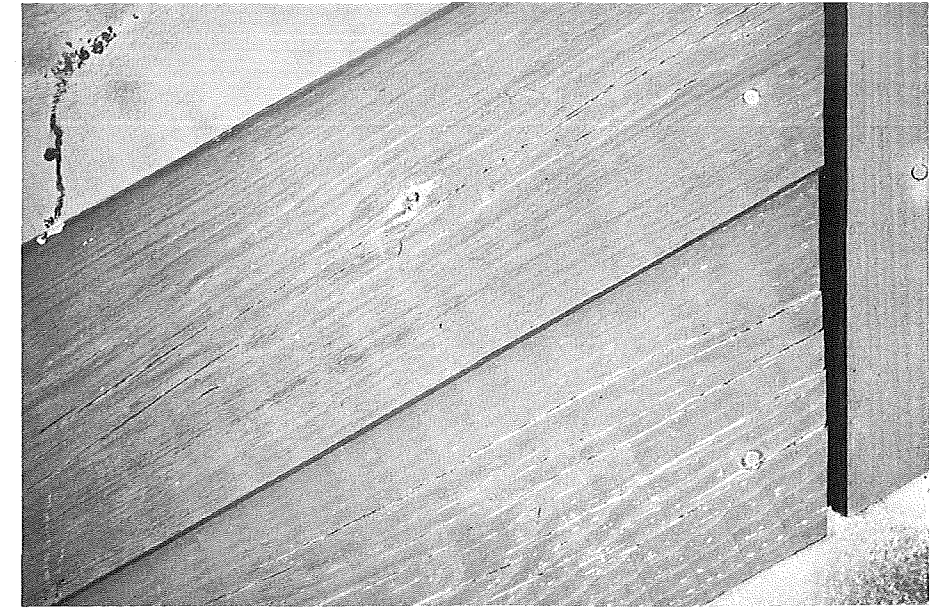
Figur 50. Den ny klima-  
simulator: Midtersamling  
efter 2½ måneds ældning.



Figur 51. Den ny klima-  
simulator: Midtersamling  
efter 5½ måneds ældning.



Figur 52. Den ny klima-  
simulator: Midtersamling  
efter 2½ måneds ældning.

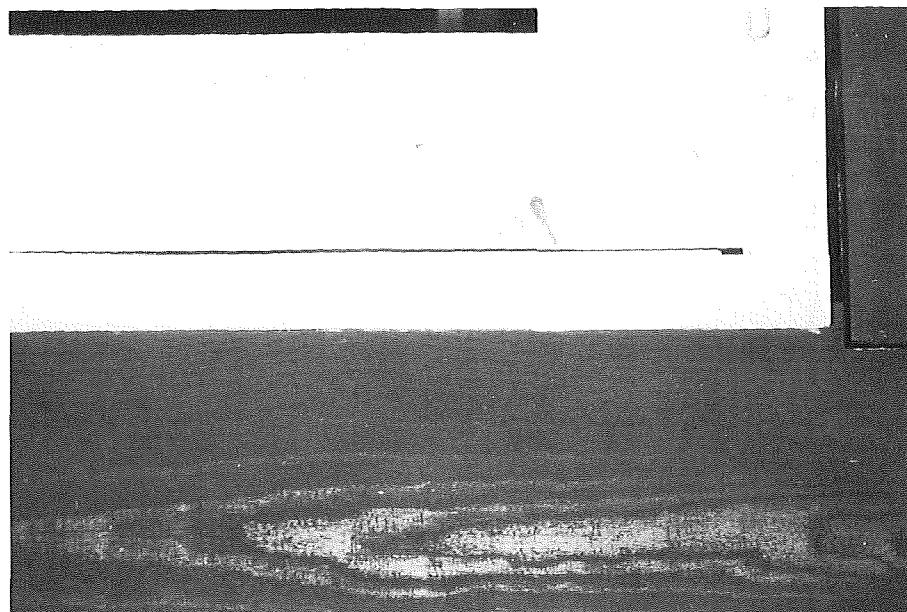


Figur 53. Den ny klima-  
simulator: Midtersamling  
efter knap 7 måneders  
ældning.





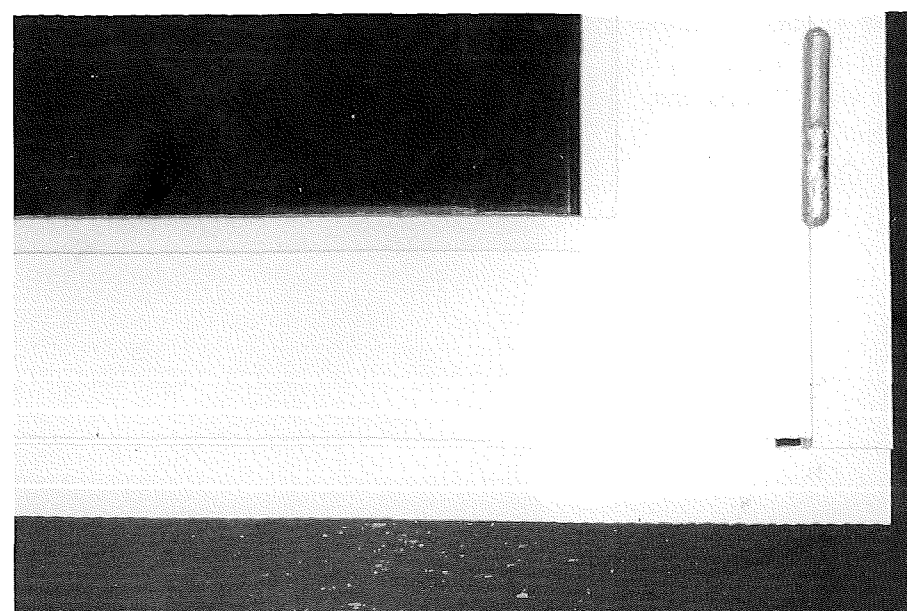
Figur 54. Den ny klima-simulator: Hjørnesamling af vindue før ældning.



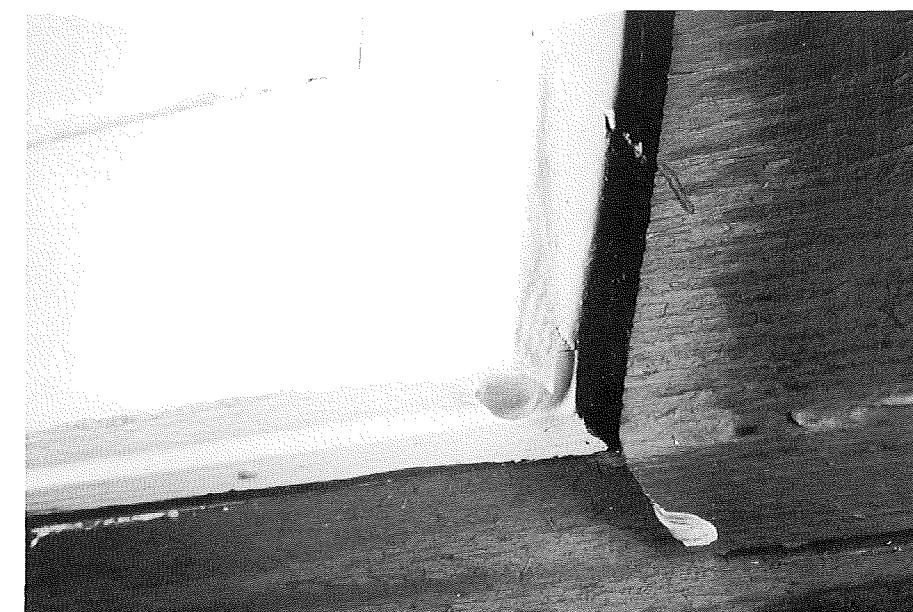
Figur 55. Den ny klima-simulator: Hjørnesamling af vindue efter 1 måneds ældning.



Figur 56. Den ny klima-simulator: Hjørnesamling af vindue efter 2½ måneds ældning.



Figur 57. Den ny klima-simulator: Hjørnesamling af vindue efter 5½ måneds ældning.



Figur 58. Den ny klima-simulator: Hjørnesamling af vindue efter knap 7 måneders ældning.



Figur 59. Den ny klima-simulator: Hjørnesamling af vindue efter 2½ måneds ældning.

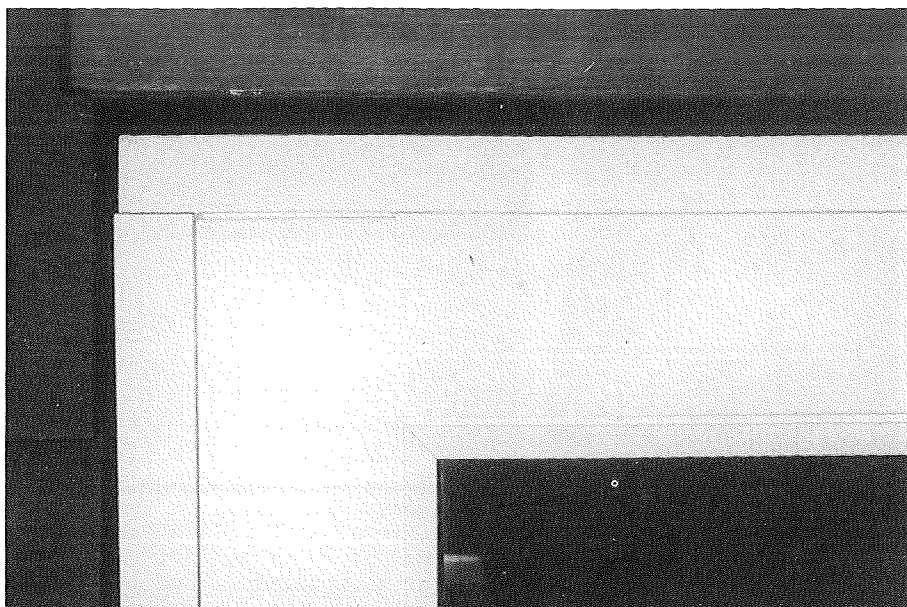




Figur 60. Den ny klima-simulator: Hjørnesamling af vindue efter knap 7 måneders ældning.



Figur 61. Den ny klima-simulator: Hjørnesamling af vindue efter 2½ måneders ældning.



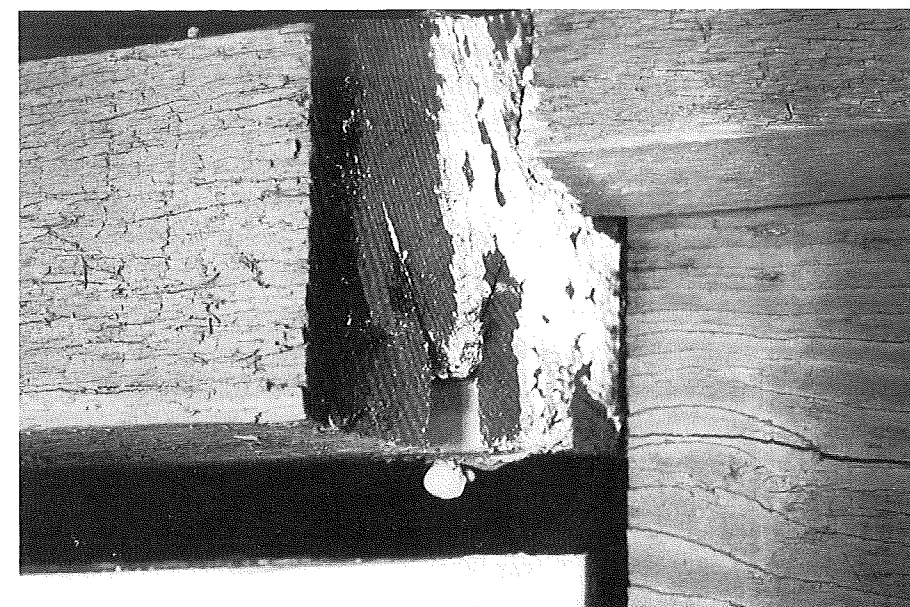
Figur 62. Den ny klima-simulator: Hjørnesamling af vindue efter knap 7 måneders ældning.



Figur 63. Den ny klima-simulator: Vandnæse over vindue efter 2½ måneders ældning.



Figur 64. Den ny klima-simulator: Vandnæse over vindue efter knap 7 måneders ældning.



## Fugtniveau og fugtvariationer

Ses der på fugtforløbet i de 6 tilsvarende fugtmåledyvlér, som omtalt under ældning i "De fire årstider", skal forløbet iagttages dels for de enkelte deleksponeringsforløb og dels som den sammenhængende eksponering, der har medført det nedbrydningsforløb, der er registreret gennem de sammenlagt knap 7 måneders accelererede klimapåvirkninger. Specielt bemærkes, at eksponeringen, som tidligere nævnt, i kortere og længere perioder har været afbrudt, og at prøveemnerne i disse perioder har opholdt sig ved laboratorieklima.

Ses der på de enkelte forholdsvis korte deleksponeringsforløb er der derfor tilfælde, hvor et stabilt fugtniveau ikke vil være opnået. Man må også ved sammenligning med nedbrydningsforløbet i "De fire årstider" tillægge den udtørring, der har fundet sted i hvileperioderne i laboratorieklima, nogen tidsmæssig vægt. På grund af uforudsete indkøringsvanskeligheder med den ny klimasimulator har pauserne ikke kunnet undgås ved disse afprøvninger.

Eksponeringscyklerne og -forløbet har været følgende:

### 1. delforløb A

I første delforløb A var cyklustiden 6 timer fordelt på 2 timers opvarmning, 2 timers befugtning og 2 timers laboratorieklima. Under forløbet var der efter 20 døgn et afbrud i prøvningen på 14 døgn. Herefter fortsatte forløbet 10 døgn. Den samlede eksponeringstid under delforløb A var således 30 døgn svarende til 120 cykler á 6 timer.

### 2. delforløb B

Andet delforløb B igangsættes efter en pause på 6 døgn. Cyklustiden var 12 timer fordelt på 5 timers opvarmning, 5 timers befugtning og 2 timers laboratorieklima. Eksponeringstiden under delforløb B var 45 døgn svarende til 90 cykler á 12 timer. Herefter var den samlede eksponeringstid for delforløbene A og B 2½ måned.

### 3. delforløb C

Tredje delforløb C igangsættes efter en pause på 10 døgn. Cyklustiden blev yderligere øget til 24 timer fordelt på 15 timers opvarmning, 7 timers befugtning og 2 timers laboratorieklima. Eksponeringstiden var 90 døgn svarende til 90 cykler á 24 timer. Den samlede eksponeringstid for de tre første delforløb var herefter 5½ måned.

### 4. delforløb D

Efter en pause på 60 døgn igangsættes sidste delforløb D med en cyklustid på 8 timer identisk med cyklustiden i "De fire årstider" fordelt med 2 timer med henholdsvis opvarmning, befugtning, nedkøling og laboratorieklima. Eksponeringstiden var 35 døgn svarende til 105 cykler á 8 timer. Ved afslutningen var den samlede eksponeringstid for de fire delforløb knap 7 måneder.

### Målepunkt 1

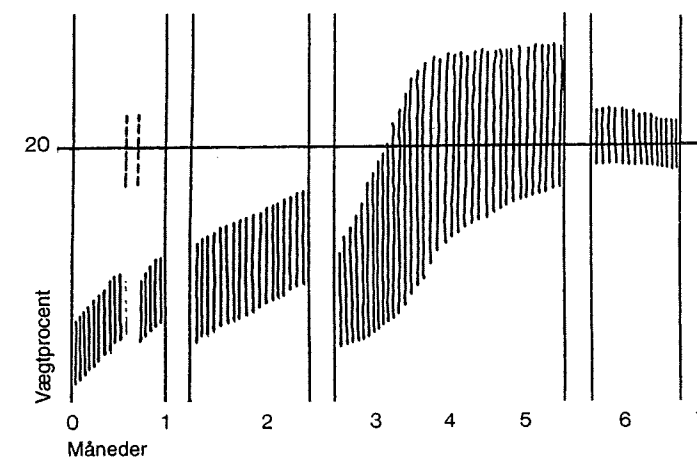
I målepunkt 1, der er placeret i "centralzone" i facadeelementets bræddbeklædning, opnås i første eksponeringsforløb A stigende fugtindhold - der dog afbrydes af pausen; tendensen fortsætter herefter, men så svagt, at fugtindholdet stadig er lavt ved indgang til andet eksponeringsforløb B. Fugtvariationen er forholdsvis stor inden for den enkelte cyklus.

I eksponeringsforløb B er fugtindholdet svagt stigende, således at fugtniveauet ved afslutning af fasen stadigvæk er forholdsvis lavt og med forholdsvis større variationer inden for den enkelte cyklus.

Fugtniveauet er ved start af fase C lavt, men stiger i løbet af 1 måned stærkt til et højt fugtniveau, der er forholdsvis stabilt resten af perioden, hvor fugtvariationerne er store inden for den enkelte cyklus.

Fugtniveauet er ved start af fase D lidt lavere med tendens til svag udtørring gennem eksponeringsperioden, fugtvariationen er lille.

Figur 65. Den ny klimasimulator: Fugtvariationer i målepunkt 1.



### Målepunkt 3

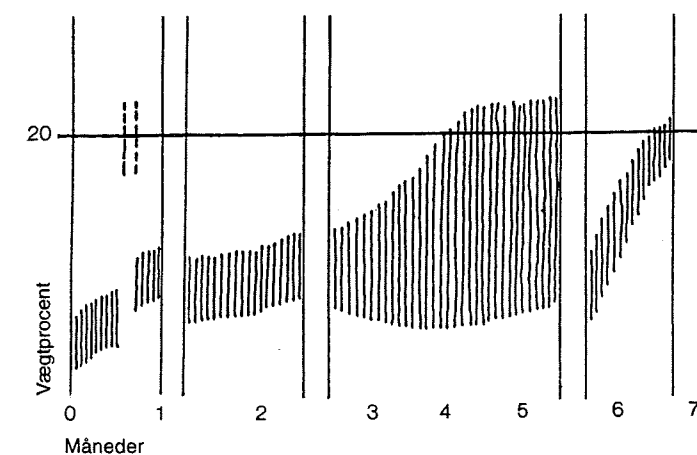
I målepunkt 3, der er placeret i "centralzone" i vinduets underkarm opnås i første eksponeringsforløb A et svagt stigende fugtindhold uden væsentlig udtørring under pausen. Variationerne er forholdsvis små og fugtniveauet stadig lavt ved indgang til andet eksponeringsforløb B.

I eksponeringsforløb B er fugtniveauet fortsat svagt stigende, men stadig lavt og uden væsentlige ændringer af fugtvariationerne.

Fugtniveauet er fortsat stigende i delforløb C, men fortsat forholdsvis lavt, og med meget stor forøgelse af fugtvariationerne inden for den enkelte cyklus gennem eksponeringsperioden.

Tilstanden er ved indgang til delforløb D tør, men gennem perioden stigende med forholdsvis små variationer, uden at fugtniveauet dog ved afslutningen er særligt højt.

Figur 66. Den ny klimasimulator: Fugtvariationer i målepunkt 3.



### Målepunkt 5

I målepunkt 5, der er placeret centralt i nederste del af vinduets gående ramme, er fugtniveauet stigende men lavt og med forholdsvis lille spredning i fase A.

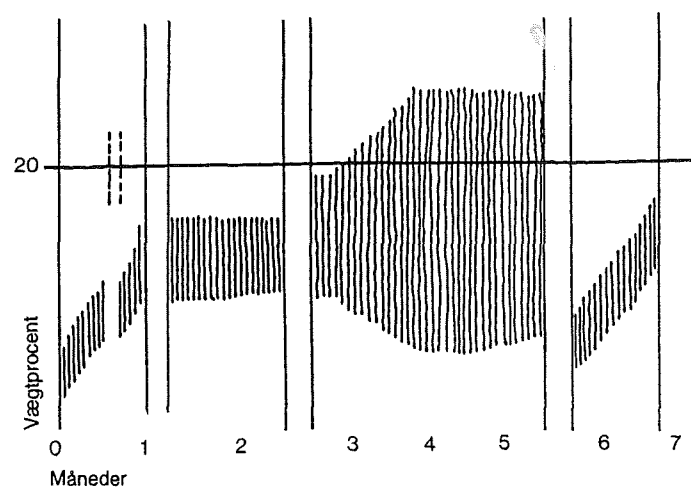
Ved indgang til delforløb B er fugtniveauet stadig lavt og forholder sig forholdsvis stabilt gennem eksponeringsfasen med forholdsvis små fugtvariationer inden for den enkelte cyklus.



I eksponeringsforløb C øges variationerne meget uden væsentlig forøgelse af fugtniveauet.

Ved indgang til delforløb D er tilstanden tør; gennem perioden er fugtniveauet stigende med forholdsvis små variationer.

Figur 67. Den ny klimasimulator: Fugtvariationer i målepunkt 5.



#### Målepunkt 2

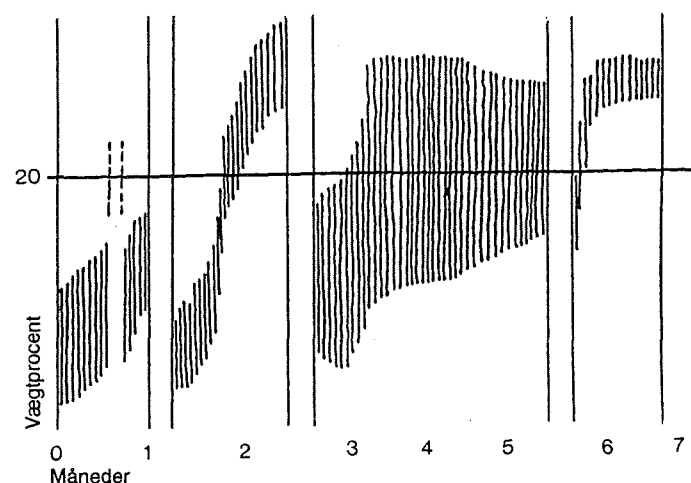
I målepunkt 2, der er placeret i "udsat zone" nær endetræ i facadeelementets brædebeklædning, opnås der tidligt i eksponeringsforløb A forholdsvis store variationer, og fugtniveauet er stigende uden at der opnås et højt fugtniveau.

Ved indgang til delforløb B er niveauet faldet til tør tilstand. Gennem eksponeringsperioden er fugtniveauet stærkt stigende til højt fugtniveau, og variationerne er forholdsvis store.

Ved indgang til delforløb C er fugtniveauet faldet, men er hurtigt stigende til forholdsvis højt niveau med meget store variationer i fugtindhold inden for den enkelte cyklus.

I sidste delforløb D er udgangs-fugtniveauet forholdsvis lavt, men stiger i løbet af kort tid til et stabilt højt fugtniveau med små fugtvariationer.

Figur 68. Den ny klimasimulator: Fugtvariationer i målepunkt 2.



#### Målepunkt 4

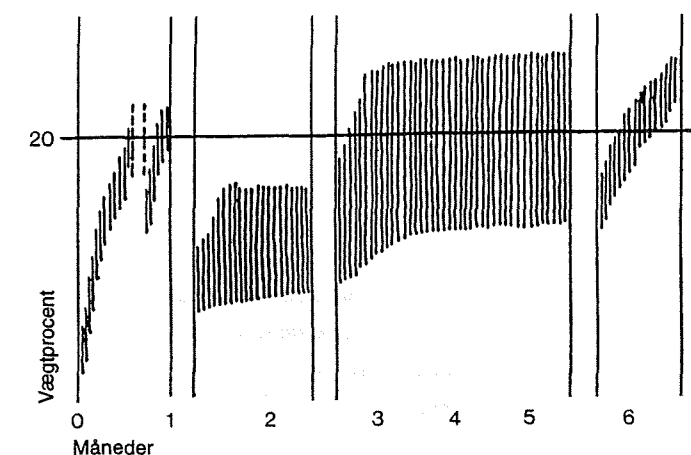
I målepunkt 4, der er placeret udsat nær endetræ i vinduets underkarm, er fugtniveauet stærkt stigende i eksponeringsforløb A, variationerne er forholdsvis små.

I eksponeringsforløb B er fugtniveauet forholdsvis lavt med stigende tendens, variationerne er forholdsvis store.

I eksponeringsfase C bliver fugtniveauet hurtigt forholdsvis højt og med meget store variationer inden for den enkelte cyklus.

I fase D stiger fugtindholdet til et forholdsvis højt niveau, niveauet når ikke at stabiliseres og er med små variationer i fugtindhold inden for den enkelte cyklus.

Figur 69. Den ny klimasimulator: Fugtvariationer i målepunkt 4.



#### Målepunkt 6

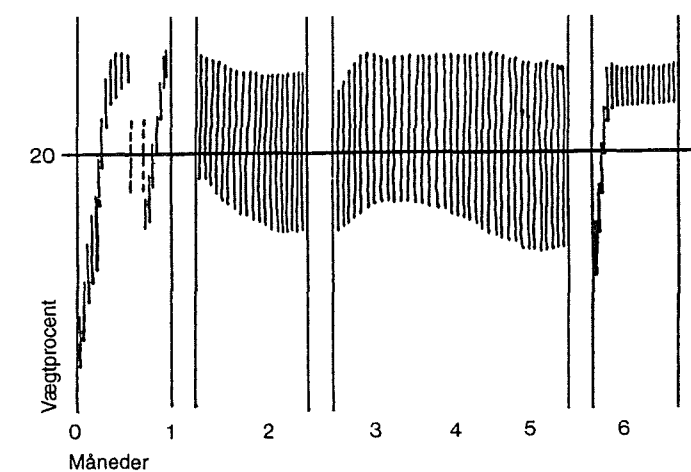
I målepunkt 6, der er placeret i hjørnesamlingen på vinduets gående ramme, stiger fugtniveauet hurtigt i eksponeringsforløb A for tilsyneladende at stabilisere sig på et forholdsvis højt niveau med små variationer.

Niveauet er højt i delforløb B med tendens til en vis udtørring midt i perioden, variationerne er forholdsvis store.

I eksponeringsdel C er fugtniveauet stadigt på samme forholdsvis høje niveau og med lidt større variationer.

I fase D stiger fugtindholdet hurtigt til tilnærmelsesvis samme øvre niveau som de tidligere faser, og variationerne er her små.

Figur 70. Den ny klimasimulator: Fugtvariationer i målepunkt 6.



# Konklusion

Forløbet ved accelereret ældning ligner "virkeligheden"

Det har ved accelererede klimapåvirkninger i prøvestandene "De fire årstider" og den ny klimasimulator i høj grad har været muligt at eftergøre ældningsforløbet af de mere end 10 år gamle naturligt eksponerede lette ydervægskonstruktioner, hvorfra de små facadeudsnit var udvalgt, idet udseendet af nedbrydningen og dets forløb ligner det, der har kunnet iagttages i bebyggelsen og ved gennemgang af det vedligeholdelsesforløb, bebyggelsen har haft siden opførelsen.

Ligeledes har det for de pågældende træfacader været muligt ved anvendelse af den nyudviklede klimasimulator at øge ældningshastigheden i forhold til prøvestanden "De fire årstider".

Fugtforløbene ved accelereret ældning er ikke sammenlignelige med virkeligheden

De fugtforløb, der er målt ved accelereret ældning er ikke sammenlignelige med fugtforholdene i praksis. En sådan sammenlignelighed vil heller ikke kunne opnås, da de kraftige fugtændringer for træfacaderne nok har givet accelerationen.

Den øgede acceleration er i den ny klimasimulator opnået ved at udelade frosteksposeringen, øge cyklustiden og primært øge varme-/UV-lyseksposeringen, hvorved fugtvariationerne i den enkelte cyklus er blevet større.

For prøveemnerne, der er påvirket i den ny klimasimulator, kan der i fugtmålepunkterne iagttages, at fugtniveauet generelt har været lidt lavere, mens fugtvariationen inden for enkelte sekvens har været større, end for de emner, der var påvirket i "De fire årstider".

Næsten ens forløb ved den første 2½ måneds accelereret ældning

Fælles for nedbrydningsforløbet i begge prøvestande er, at facaderne i løbet af de første 2½ måneds ældning opnåede en tilstand, der nogenlunde modsvarer den tilstand, facaderne havde inden første vedligeholdelse efter ca. 3 års forløb.

Forløbene i de to prøvestande var i de 2½ måneds periode næsten parallelle dog med den tendens, at ændringerne i bræddebeklædningens tilstand forløb hurtigere i den ny klimasimulator, mens ændringerne i vinduets tilstand skete hurtigere i "De fire årstider".

Tilstanden efter 2½ måneds ældning kan for begge forløb beskrives som en afmatning, blegning og udtørring af facadebehandlingen, der er brudt af tydeligt synlige forholdsvis tætsiddende vindridser og med tydelige åbninger omkring sømbefæstelserne. Malingslaget er brudt eller delvist brudt over snedkersamlinger ved vinduet. Bræddebeklædningens krumnings- og vridningsmønster svarer tydeligt til de naturligt eksponerede facaders.

Det skal bemærkes, at bræddebeklædningens harpiksudblomstringer, specielt for prøveemnerne i "De fire årstider", er af meget større omfang end beskrevet ved interviewene af bebyggelsens driftpersonale og observeret ved bygningsundersøgelsen.

Ved den accelererede ældning er nedbrydningsforløbet ikke forsinket ved en vedligeholdelse af overfladebehandlingen.

Hurtigere forløb i den ny klimasimulator de efterfølgende 3 måneder

Ligheden med "virkeligheden"

Små prøveemner

Efter et halvt års accelereret ældning kan opnås en tilstand, der svarer til nedbrydningen i 10 år gamle naturligt eksponerede træfacader

I de efterfølgende 3 måneder fortsatte nedbrydningen og opnåede et niveau, der i stor udstrækning svarer til, hvad der kunne iagttages ved bygningsundersøgelsen. Ved afslutningen af perioden, dvs. efter 5½ måneds eksponering, havde bræddebeklædningen i "den ny klimasimulator" en nedbrydningsgrad, der var højere end konstateret i bebyggelsen.

For overfladebehandlingen kan der for denne periode ikke sammenlignes med tilstanden i bebyggelsen, da denne fremtræder vel vedligeholdt.

For bræddebeklædningernes vedkommende udviklede de største af de først iagttagne vindridser sig til lange og dybe revner, der for nogles vedkommende efterhånden kommer til at gå helt gennem brættet til flækning. Disse udgår for de flestes vedkommende fra endetræ, og det har i bebyggelsen medført, at enkelte brædder er udskiftet, mens en række andre er fastholdt ved nye og ekstra sømbefæstelser. Ligeledes kunne udviklingen af krumninger over bredden af brædderne med pilhøjde mellem 10 og 15 mm observeres i bebyggelsen.

Det må tilskrives de små prøveemner, hvor bræddelængderne er væsentligt reducerede, at der på prøveemnerne ikke kan ses så store krumninger og vridninger i længderetningen på brædderne som registreret ved bygningsundersøgelsen, ligesom der på prøveemnerne ikke er konstateret udtræk af søm på 5-15 mm eller huldiametre omkring disse, der er øget tilsvarende, som konstateret i bebyggelsen.

For vinduernes vedkommende har åbninger af snedkersamlinger samt udvikling af revnedannelse forløbet som konstateret i bebyggelsen. Her har denne tilstand medført omfattende vinduesrenovering og -for de fleste af den pågældende vinduestype- til udskiftning med nye. Årsagen har primært været, at nedbrydningen har medført rådgang i bundkarm og i bundstykket af den gående ramme.

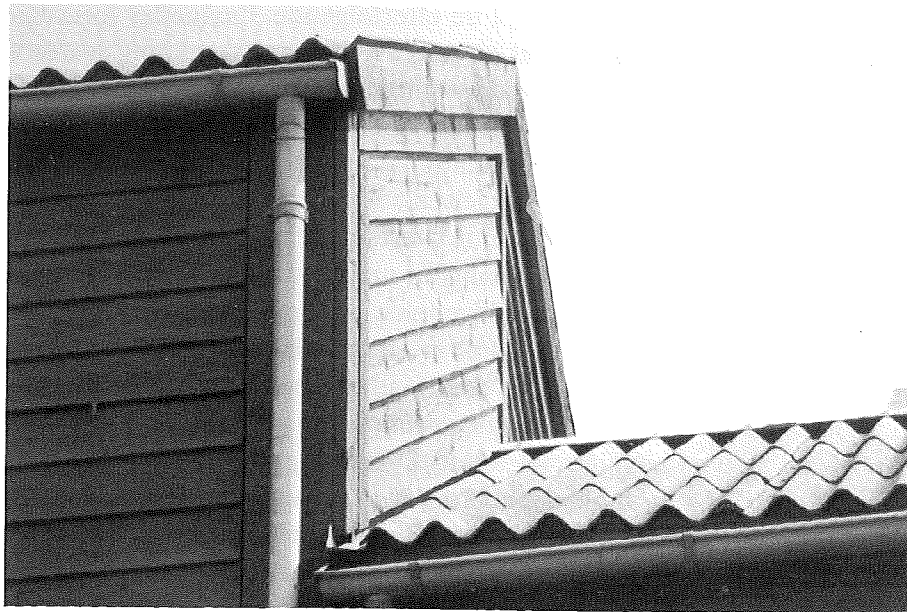
Under eksponeringen i den ny klimasimulator blev det konstateret, at der periodevis var trængt vand ind på skeletkonstruktionen over vinduet. Dette kan måske forklare, at der ved bygningsundersøgelsen fandtes et forhøjet fugtindhold indvendigt i indfatningen over vinduet, uden at det var muligt på daværende tidspunkt at finde årsagen.

Det er på denne måde sandsynliggjort, at det for de pågældende facadeudsnit er muligt i løbet af ca. ½ års accelereret ældning i laboratoriet at opnå et nedbrydningsforløb omkring knudepunkter, samlings- og indbygningsdetaljer i ydervægskonstruktionen, der modsvarer de ca. 10 års naturlig eksponering i pågældende bebyggelse. Da forudsætningerne, i form af krumninger og vrid i bræddebeklædningerne, er til stede i de små prøveemner, er det samtidig sandsynliggjort, at de forandringer i bræddebeklædningens krumninger og vridninger i længderetningen, samt sømudtrækning og huldiametre omkring disse, ville kunne være eftervist på store prøveemner, som det nu, med udvikling af den nye klimasimulator er blevet muligt at afprøve. Herved har dette projekt åbnet mulighed for at afprøve en række andre detaljer, og frem for alt af nye, lette ydervægskonstruktioner under realistiske forhold.

Fra bygningsundersøgelsen er følgende fotos udvalgt:



Figur 71. Tilstandsregistrering: Afvigelser fra ret i bræddebeklædningens længderetning på gavl.



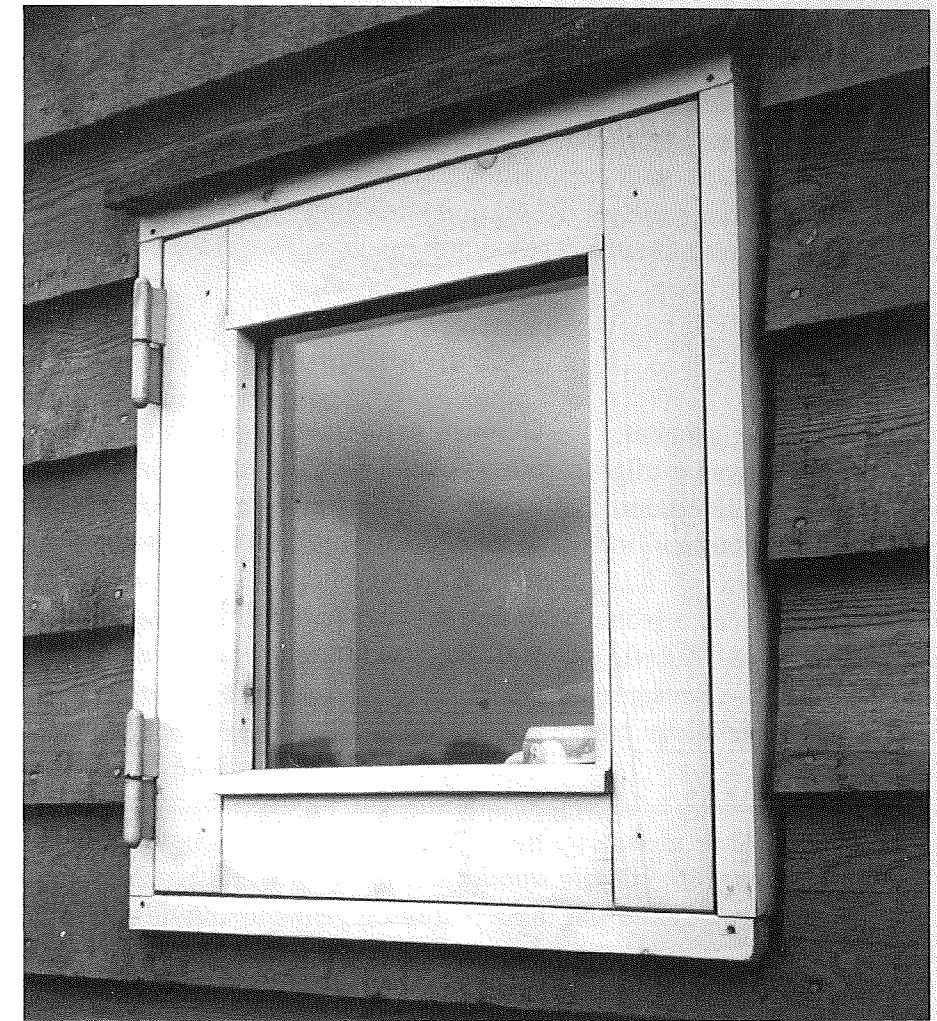
Figur 72. Tilstandsregistrering: Befæstelsessvigt i bræddebeklædningen.



Figur 73. Tilstandsregistrering: Krumning af bræddebeklædningen.



Figur 74. Tilstandsregistrering: Åbning af samlinger i vinduet.



Figur 75. Tilstandsregistrering: Revne udgået fra endetræ i bræddebeklædningen.



# Afsluttende betragtninger

## Erfaringsindsamling

Systematisk og gennem lang tid at følge naturligt eksponerede materialer og konstruktioner

Naturlig eksponering

Gennem naturlig eksponering af byggematerialer, hvor disse placeres udendørs, på såkaldte materialekirkegårde, hvor klimaforholdene registreres, kan der opnås en forholdsvis præcis viden om materialernes bestandighed over for klimapåvirkninger. Samtidig er det muligt at følge nogle af ændringerne i materialerne og deres egenskaber undervejs, som fx densitet, porøsitet, dimensionsstabilitet, kemiske ændringer samt ændringer i fysiske egenskaber, som fx træk- og trykstyrke, brudforlængelse og elasticitet.

Naturlig eksponering er selvsagt meget tidskrævende. Så selvom man efter en årrække måske kan se et så klart mønster i ændringerne af materialerne og deres egenskaber, at man vil kunne fremskrive nedbrydningsprocessen og bestemme levetiden, så har metoden ikke vundet særlig stor udbredelse i Skandinavien. Endnu mindre har man systematisk og gennem lang tid fulgt ydervægges knudepunkter, samlings- og indbygningsdetaljer ved forsøg med naturlig eksponering. Her er man stort set henvist til undersøgelser af bestående byggeri af forskellige aldre og gennemgang af deres vedligeholdelsesforløb, for at klarlægge årsagssammenhængen mellem materialevalg og den konstruktive udformnings indflydelse på levetiden: Har en ændring i byggeteknikken og materialevalg ført til kortere eller længere levetid?

Accelereret ældning:  
1) tidsmæssig "skalering" af klimapåvirkningerne

Gennem accelereret ældning, som den foregår i "De fire årstider", "skaleres" den naturlige eksponering af klimapåvirkningerne tidsmæssigt for at opnå accelerationen. Det er ideen i "De fire årstider", at alle klimapåvirkningerne er repræsenteret i den enkelte eksponeringscyklus, og at ingen af de enkelte fasers eksponeringer er "hårdere", end hvad der vil kunne forekomme ved naturlig eksponering.

2) isolering af enkelte, men væsentlige klimapåvirkninger eller vikarierende påvirkninger

Heroverfor står nogle metoder for accelereret ældning af byggematerialer, hvor der i stedet for eksponering med et helt klimaforløb, enten anvendes enkelte faser herfra, eller der anvendes vikarierende påvirkninger, som erfaringsmæssigt har vist sig som de væsentligste for ældningen. Til hver af disse metoder er der knyttet måling af ændringer i nogle nærmere angivne egenskaber. Gennem dette ændringsforløb/fald i egenskaber registreres nedbrydningsforløbet, og dette forløb kan anvendes til sammenligning af forholdsvis ensartede materialers bestandighed over for pågældende påvirkninger.

Træmaterialer

For befæstelser og samlinger i træ eller træbeklædninger indskrænkes påvirkningerne ved nogle af disse metoder til gentagne opfugtnings- og udtørringsforløb eksempelvis ved opbevaring i klimarum med forskellig relativ luftfugtighed.

Cementbundne materialer

For cementbundne materialer indskrænkes påvirkningerne i forbindelse med vurdering af bestandigheden i nogle metoder til passager mellem frost og tø ved bestemte fugtmætningsgrader, eksempelvis

Overfladebehandlinger, tagduge og fugemasser

gennem optøning og opfugtning til bestemt vægtprocent i laboratorieklima og nedfrysning til bestemt frostgrad.

For overfladebehandlinger og visse tagduge findes tilsvarende metoder, hvor påvirkningerne isoleres til påvirkning med UV-stråling. For fugemasser er der for eksempel metoder, hvor de omgivende materialers temperatur eller fugtbetingede bevægelers indflydelse på ændringerne i fugens geometri simuleres ved mekaniske ændringer af geometrien.

## Den ny klimasimulator

Det er ideen i den nyudviklede klimasimulator, at ældningsmetoderne fra "De fire årstider" kan suppleres med variationer i eksponeringsfaser, eller enkelte faser kan udelades inden for den enkelte eksponeringscyklus.

I de senere år er der sket en stigende anvendelse af lette ydervægskonstruktioner. Ønsket om at skabe en mere afvekslende arkitektur - om at anvende mere miljø- og resourcevenlige materialer samt stigende varmeisoleringskrav fører til en fortsat udvikling af nye ydervæggsdetaljer og -konstruktioner.

Samlinger, knudepunkter og indbygning af døre og vinduer bør udformes under hensyn til lang levetid og begrænsede vedligeholdelsesomkostninger. I praksis har det desværre vist sig, at mange nye materialekombinationer og nye detaljøsninger har medført en betydelig kortere levetid end forudsat med stærkt forøgede driftsomkostninger til følge, og eftersom disse erfaringer fra praksis først opnås efter en årrække, er de dyrekøbte.

I et produktudviklingsforløb er det naturligvis, af tidsmæssige årsager, urealistisk at anvende naturlig eksponering for nye lette ydervægskonstruktioner for at fastsætte levetid og planlægge en vedligeholdelse. Ideen med udviklingsarbejdet med den nye klimasimulator for facadestore lette ydervægge var derefter at udvikle et værktøj, som kombinerer fordelene ved "De fire årstider" med nogle af de metoder for mere simple bestandighedstest, der findes for visse traditionelle byggematerialer, og den viden, der ligger til grund for disse metoder.

## Prøvningsforløb

I et produktudviklingsforløb for nye lette ydervægge bør konstruktionerne og materialerne analyseres specielt under hensyntagen til den konstruktive udformnings beskyttende evne mod nedbrydning af knudepunkter, samlinger og indbygningsdetaljer. Redskaberne ved denne analyse vil være referencer til bestående byggeri, byggelitteraturen samt kendskab til nedbrydnings- og vedligeholdelsesforløb.

Denne analyse bør følges op af en accelereret afprøvning, der fastlægges i afhængighed af den konstruktive udformning og de indgående materialer.

Prøveemnet bør instrumenteres, så relevante fugt- og temperaturforløb i knudepunkterne kan måles og systematisk registreres gennem prøvningsforløbet.

Øget behov

Kombinere fordelene ved "De fire årstider" med mere simple bestandighedstest

Produktudvikling



Antageligt vil det først efter en periode med et klimaforløb som "De fire årstider" være hensigtsmæssigt at variere længden af de enkelte eksponeringsfaser betydeligt for at påvirke nedbrydningsforløbet for enkeltmaterialer i den sammensatte konstruktion. Det kan typisk være overfladebehandlingen eller en samlingsdetalje, der forekommer kritisk der specielt bør undersøges nærmere inden for en forholdsvis kort tidshorisont, der er afgørende for tilrettelæggelsen af afprøvningsforløbet.

Alle væsentlige ændringer under forløbet registreres systematisk; på længere sigt kan det være hensigtsmæssigt at anvende billedanalyseudstyr hertil.

Størrelsen af indbygningsmålene i klimasimulatoren sikrer, at afprøvningen vil kunne suppleres med afprøvning i prøvestanden for slagregn, således at det kan konstateres, hvilken indflydelse den accelererede ældning har haft for ydeevnen af ydervæggens regnskærm. Er væggen i øvrigt fornuftigt konstrueret, vil det som regel være svigt i regnskærmen, der medfører hurtig nedbrydning af konstruktionerne bag disse.

Et accelereret ældningsforløb vil ved nye ydervægge give information om, hvad der skal ændres. Samtidig opnås væsentlig information om væggenes nedbrydningsforløb og de tilstande, der passerer i dette forløb. Denne information og registrering af tilstandene undervejs er nyttig ved vedligeholdelsesplanlægning og budgettering af de fremtidige vedligeholdelsesomkostninger: Har materialerne og konstruktionerne et parallelt vedligeholdelsesforløb - og hvilke tilstande udløser dette? Er der dele, der må forudses udskiftet og kan udskiftning og reparation nemt foretages?

Det må således forudses, at prøvning i klimasimulatoren af nye lette ydervægstyper vil kunne styrke produktudviklingsarbejdet og vedligeholdelsesplanlægningen, så risikoen for uforholdsmæssige driftsomkostninger og for kort levetid kan reduceres til et acceptabelt niveau, også for ydervægge af nye materialer og med nye konstruktioner, knudepunkter, samlings- og indbygningsdetaljer.

## Summary

### *SBI Report 255:*

#### *Service Life of Light-Weight External Walls*

#### Objective

The objective of this report is to investigate whether it is possible in the laboratory to predict the service life of materials and constructions in light-weight external walls by simulating - by means of accelerated climatic exposures - a degradation process corresponding to the process which has been registered for similar external walls in ten-year old buildings.

The project has been divided into the following phases:

- Condition assessment of various ten-year old light-weight external walls
- Selection and construction of test specimens
- Accelerated ageing of test specimens in the climate simulator: "The Four Seasons"
- Construction of a new climate simulator
- Accelerated ageing of test specimens in the newly developed climate simulator.

#### Conclusion

The tests concerning accelerated ageing of light weight external walls show that it has been possible, to a great extent, to simulate the degradation processes in the selected external walls both in the climate simulator "The Four Seasons" and in the newly developed climate simulator.

#### Large-scale test specimens

In the latter it is possible to expose large-scale external wall elements to accelerated ageing. A comparison between the test processes in the two climate simulators proves that it is possible with the new test facility to increase the acceleration factor compared with the ten-year old climate simulator "The Four Seasons".

#### Flexible monitoring system

The increased acceleration factor is obtained by controlling the duration of the individual climatic exposures considering what is critical to the materials constituting the external wall. In this way it is possible to combine the advantages of "The Four Seasons" with those of more simple durability tests.

#### Development of test methods

Test results show that based on the testing in the new climate simulator important test method elements have been developed so that the service life of light, external walls may be predicted.

#### Product development, planning of maintenance

In the product development of new building envelopes and in maintenance planning for new buildings it will be possible through accelerated ageing of new rain screens to reduce the risk that the choice of materials and the design of the facade details might reduce

the service life to such an extent that future maintenance cost will be considerably higher than foreseen at the initial planning.

The climatic stresses with alternating periods of sun and rain, frost and thaw often cause the outer building surfaces to deteriorate.

Based on knowledge of the material properties and their reaction to the climatic stresses it is possible to predict their durability. But also other parameters must be considered when predicting the total performance of the building envelope.

The design of joints should be so that rain is prevented from penetrating the wall. Simultaneously, movements of materials should be taken into consideration. Stresses caused by movements in the joints must not lead to a faster degradation of the joint. Likewise degradation of, for instance, the surface treatment or a joint must not lead to a non-predictable fast degradation of the adjacent or underlying materials.

It is the objective of the tests to investigate whether it is possible, through accelerated ageing with simulated climatic stresses, to increase the reliability when predicting the durability of light-weight external walls.

In order to simulate and compare with the degradation processes in five to ten-year-old light-weight wall constructions, surveys and condition assessments were carried out in a series of recent buildings estates. During this process several symptoms of degradation of the above-mentioned details were registered.

On the basis of the building assessments, two facade elements from the housing estate Tinggården 1, Herfølge, were selected. The estate is approx. ten years old and the selected elements are clad with boards with overlap joints. One section contains the details of a small window, the other a gabletop and joint at a corner.

These types of wall elements were chosen for testing partly because of visible symptoms of degradation in the housing estate and partly because it was possible to make test walls so small as to be contained within the frames of the small dimensions of the climate simulator "The four Seasons" mentioned in Danish Standard, DS 1127.

The test specimens were made of new materials according to the original description of drawings and materials. Owing to practical problems in connection with the climate simulator "The four Seasons" it was necessary to use shorter boards than in the housing estate.

Based on the hypothesis - as far as wood is concerned - that it is the moisture variations which primarily govern the rate of degradation, moisture sensors were placed in the test specimens in order to measure the variations of the moisture content during the ageing tests.

According to the standard of "The four Seasons" the climatic exposures alternate every other hour between light/heat, moisture, frost and laboratory climate with a total cycle of eight hours.

During the ageing test the moisture content measured reached a rather high level after 1½ - 3 months depending on the measuring point. The variations within the individual cycle were rather small.

After six months of exposure a state of degradation, to a great extent corresponding to the condition in the building estate, was reached. The degradation process was photographed regularly in order to be able to make a comparison with conditions in the estate.

Development of a new climate simulator

There are two reasons why "The four Seasons" is not optimal for accelerated ageing of the details in the total external wall. Firstly, the dimensions of the test specimens are relatively small with the effect that the actual movements of the materials in the joints will not occur during the test.

Many of the investigated facade details cannot be contained within the frames of the test arrangement, and the edges in connection with the installation become too important. Secondly, the test arrangement does not make it possible to choose the duration of the individual climate exposures independently.

For these reasons a new climate simulator making it possible to place large-sized external walls was built. The control of the climatic exposures has been designed so that it is possible to compose the exposure times of the individual influencing phases in an exposure cycle considering what is believed to enhance the degradation of the given constructions and the composition of materials in the external wall under investigation.

In order to be able to compare the degradation processes during testing in the new climate simulator with those of "The four Seasons" identical test specimens were used. The total time of exposure in the new simulator was divided into four periods. In the first three periods the frost exposure phase was totally omitted. In the first period the cycle was 6 hours. The exposure was evenly distributed between two hours of light/heat, water spray and laboratory climate. In the second period the cycle was increased to 12 hours. Here the exposure was 5 hours of light/heat, 5 hours of water spray and two hours of laboratory climate. In the third period the cycle was 24 hours. Here the exposure was 15 hours of light/heat, 7 hours of water spray and 2 hours of laboratory climate. In the final period the cycle was the same as the one in "The four Seasons", i.e. 8 hours evenly exposed to two hours of light/heat, water spray, frost and laboratory climate.

During the planning of the tests it was attempted to make the variations of the moisture content of the individual exposure cycle more extreme in the new climate simulator than in the old simulator. Compared to the variations of the moisture content at ageing in "The four Seasons", a more extreme moisture variation in the individual cycle was observed during the second and third period of the accelerated ageing in the new climate simulator. After a total exposure time of 6 months a degradation condition had been obtained which, to a great extent, was comparable to or superseded the degradation condition which could be observed in the housing estate.

The ageing process was most pronounced during the second and third period. The degradation process was photographed regularly in order to make a comparison with the conditions in the housing estate and with the ageing process in "The four Seasons".

The ageing tests show that - to a wide extent - it has been possible in the laboratory to reproduce the degradation process of the selected external walls. Comparison of the ageing processes in the two climate simulators render it probable that with the new climate simulator (especially the second and third period) it is possible to increase the acceleration factor compared to the standardized testing in "The four Seasons".

Problem: to predict durability  
Properties of materials

The design

Simulated climate exposure

Building assessments

Selection of test specimens

The test specimens

Hypothesis, moisture sensor

Accelerated ageing in "The four Seasons"

Facade test specimens, flexible monitoring

Accelerated ageing in the new climate simulator

Variations of moisture content

Conclusion



The test results indicate that a climate simulator as well as important elements of a testing procedure have been developed. This makes it possible to gain knowledge about the durability of large-scale, light-weight external walls by means of accelerated ageing.

## Litteratur

### **Prøvningsmetoder med klimasimulering:**

*Dansk Standard DS 1127:* Metode til at udsætte bygningskomponenter og byggematerialer for accelereret klimapåvirkning i vertikal stilling.

*ASTM-Metode: D 2565-89:* Standard Practice for Operating Xenon Arc-Type Light-Exposure Apparatus With and Without Water for Exposure of Plastics.

*ASTM-Metode: G 26-90:* Standard Practice for Operating Light-Exposure Apparatus (Xenon Arc Type) With and Without Water for Exposure of Nonmetallic Materials.

*ASTM-Metode: G 23-89:* Standard Practice for Operating Light-Exposure Apparatus (Carbon-Arc Type) With and Without Water for Exposure of Nonmetallic Materials.

*ASTM-Metode: G 53-88:* Standard Practice for Operating Light- and Water Exposure Apparatus (Fluorescent UV-Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials.

*ASTM-Metode: G 90-85:* Standard Practice for Performing Accelerated Outdoor Weathering of Nonmetallic Materials Using Concentrated Natural Sunlight.

*ASTM-Metode: E 838-81:* Standard Practice for Performing Accelerated Outdoor Weathering Using Concentrated Natural Sunlight.

### **Forudsigelse af levetid:**

*Erik Stoklund Larsen:* Development of Fracture Energy of FRC Materials - Freeze-Thaw Resistance of FRC Materials. SBI Bulletin 95 - Danish Building Research Institute 1992.

*Erik Stoklund Larsen:* Service life prediction and fibre reinforced cementitious composites. SBI Report 222 - Danish Building Research Institute 1992.

*Erik Stoklund Larsen:* Betonkonstruktioners levetid - Et forprojekt. SBI-rapport 225 - Statens Byggeforskningsinstitut 1992.

*Erik Stoklund Larsen:* Fiberarmerede, cementbaserede kompositmaterialers levetid. SBI-rapport 231 - Statens Byggeforskningsinstitut 1993.

Brug af mere miljø- og resourcevenlige materialer, stigende varmeisoleringskrav samt ønsker om at skabe en afvekslende arkitektur gør, at der fortsat udvikles nye lette ydervægskonstruktioner. Udføres samlinger, knudepunkter og indbygninger af døre, vinduer etc. korrekt, vil disse vægtyper have lang levetid. I praksis har det desværre vist sig, at de ofte har kortere levetid end forudsat, med høje driftsomkostninger til følge. Da disse erfaringer fra praksis er dyrekøbte, er det hensigtsmæssigt at kunne afprøve nye ydervægstyper i udviklingsfasen, dels for at sikre lang levetid og dels for at kunne planlægge den fremtidige drift og vedligeholdelse. Rapporten beskriver et forsøg med accelereret ældning af lette ydervægge samt udvikling af en klimasimulator til dette brug. Rapporten henvender sig til byggeindustrien, bygherrer, projekterende samt byggeriets driftsansvarlige.

