

Ventilationsforhold i renoverede og ikke-renoverede etageboliger



SBI-RAPPORT 241 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1994



Ventilationsforhold i renoverede og ikke-renoverede etageboliger

NIELS C. BERGSØE

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

ex. 2

00481 P

13 DEC. 1994



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 og publikationskatalog 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 87-563-0874-4.
ISSN 0573-9985.
Pris: Kr. 100,00 inkl. 25 pct. moms.
Oplag: 600.
Tegninger: Niels C. Bergsøe.
Omslag: Henning Holmsted.
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 241: Ventilationsforhold i renoverede og ikke-
renoverede etageboliger. 1994.

Indhold

Forord	4
Sammenfatning og konklusion	5
Baggrund	5
Måleresultater	6
Undersøgelsesmetode	8
Udvælgelse af bygninger og lejligheder	8
Gennemførelse af målinger	8
Målemetoder	10
Udelufttilførsel	10
Luftfugtighed	11
Lufttemperatur	11
Resultater	12
Målinger	13
Spørgeskemaundersøgelse	18
Diskussion	22
Summary	29
Background	29
Results of measurements	30
Litteratur	32
Bilag 1: Spørgeskema	33

Det er ofte blevet antaget, at ventilationen i ældre, naturligt ventilerede etageboliger er unødvendig stor, og at ventilationen nedsættes, når der gennemføres renoveringer, som omfatter vinduesudskiftning og udskiftning eller tætning af fuger. Samtidig er det en almindelig antagelse, at ventilationen er lav i renoverede, naturligt ventilerede etageboliger.

Denne rapport redegør for resultaterne af undersøgelser i 177 lejligheder i etageboligbyggeri. Bygningerne er opført mellem ca. 1930 og 1960, og i samtlige bygninger var ventilationen baseret på naturlig ventilation. Der er foretaget undersøgelser i såvel renoverede som ikke-renoverede bygninger, hvor de renoverede bygninger var karakteriseret ved, at de oprindelige vinduer var blevet udskiftet med nye vinduer med termoruder.

Undersøgelsen er gennemført som en tværsnitsundersøgelse. Formålet har været at undersøge niveauet af ventilationen i ældre henholdsvis renoverede og ikke-renoverede etageboliger. Endvidere har formålet været, at undersøge i hvilken udstrækning vinduesudskiftning og fugetætning influerer på ventilations- og fugtforholdene i boligerne. Hensigten har været at tilvejebringe et grundlag for at vurdere, om der er mulighed for energibesparelser ved at ændre på tætheden eller på ventilationen i eksisterende etageboliger, uden at det har uheldige konsekvenser for indeklimaet.

Projektet er gennemført med støtte fra Energiministeriets energiforskningsprogram under journalnummer 1213/90-0014 og med titlen *Ventilation i etageboliger*.

Statens Byggeforskningsinstitut
Afdelingen for Energi og Indeklima, november 1994
Erik Christophersen

Baggrund

Energiforbrug til boligopvarmning

Med henblik på at nedbringe energiforbruget til boligopvarmning er der i de senere år sket en generel forbedring af isoleringsstandarden såvel i forbindelse med nybyggeri som ved efterisolering af eksisterende byggeri. Forøget og forbedret isolering bevirker, at transmissions-tabet reduceres. De fremtidige muligheder for yderligere reduktion af energiforbruget til boligopvarmning vil i stigende grad afhænge af, om det er muligt at reducere ventilationstab.

Renovering af etageboliger

I forbindelse med renovering af ældre etageboliger foretages ofte udskiftning af de oprindelige vinduer med nye med termoruder. Samtidig udskiftes eller eftertættes fuger. Vinduesudskiftning og fugetætning vil kunne indvirke på ventilationen, idet en øget tæthed af klimaskærmen begrænser infiltrationen gennem tilfældige utætheder.

Vinduesudskiftning

Naturlig ventilation

Etageboliger, som er 20-25 år gamle eller mere, er almindeligvis ventileret ved naturlig ventilation. Først med bygningsreglementet fra 1977 blev det obligatorisk at anvende mekanisk udsugning i etageboliger med indeliggende bade- og wc-rum, og med bygningsreglementet fra 1982 blev det obligatorisk at anvende mekanisk udsugning i alle etageboliger. Princippet i det naturlige ventilationssystem er, at luft fjernes fra lejligheden gennem lodrette aftrækskanaler i køkken og bad/toilet, mens erstatningsluft - udeluft - tilføres i lejlighedens øvrige rum gennem åbne vinduer og/eller udeluftventiler samt gennem tilfældige utætheder i klimaskærmen. Systemets funktion bygger primært på termisk opdrift i aftrækskanalerne fremkaldt af forskellen mellem rumluftens og udeluftens temperatur, men også vindpåvirkning af bygningen har indflydelse på funktionen.

En almindelig antagelse er, at ventilationen i ældre etageboliger er unødvendig stor, og at ventilationen nedsættes, når der gennemføres renoveringer, som omfatter vinduesudskiftninger. Tillige antages ofte, at ventilationen er lav i renoverede etageboliger. Der er behov for et mere sikkert vurderingsgrundlag for disse antagelser.

Målinger i 177 lejligheder

Den foreliggende rapport beskriver en tværsnitsundersøgelse af ventilations- og fugtforhold i 177 lejligheder i etageboliger opført mellem ca. 1930 og 1960. Der er foretaget målinger af udelufttilførsel, luftfugtighed og rumtemperatur, og der er gennemført en spørgeskemaundersøgelse til belysning af beboernes brug af boligen.

Samtlige undersøgte lejligheder var naturligt ventilerede. Ca. 2/3 af lejlighederne var beliggende i renoverede bygninger og ca. 1/3 var beliggende i ikke-renoverede bygninger. Kriteriet for, om en bygning blev rubriceret som renoveret, var alene, om de oprindelige vinduer var blevet udskiftet med nye vinduer med termoruder.

Måleresultater

Målemetoder

Målingerne i lejlighederne er udført ved hjælp af passive målemetoder. Udelufttilførslen er målt ved hjælp af en særlig multi-sporgasmetode, PFT-metoden, og rumluftens fugtighed er målt ved hjælp af fugt-kalibrerede bølgeklodser. Ved anvendelse af passive målemetoder bestemmes en gennemsnitsværdi over en periode for den målte størrelse. I denne undersøgelse har varigheden af målingerne i en lejlighed været ca. 2 uger. Rumluftens temperatur er bestemt ved øjebliksmåling med digitaltermometer. Lejlighedernes voksen-soverum er undersøgt særskilt. I tilknytning til de tekniske målinger har beboerne udfyldt et spørgeskema.

To måleperioder

Ca. halvdelen af målingerne er foretaget i vinteren 1990/91 og de øvrige i vinteren 1991/92. På grund af signifikant forskellige udeklimaforhold i de to perioder er det samlede antal måleresultater opdelt såvel efter, om de er opnået ved måling i renoverede eller i ikke-renoverede lejligheder, som efter måletidspunktet.

Tabel 1 nedenfor viser en sammenfatning af resultaterne fra målingerne. Af hensyn til overskueligheden er i tabellen alene anført middeltallet. Resultaterne af målingerne af udelufttilførsler kan være systematisk lidt for lave, idet PFT-metoden er behæftet med en ensidig målefejl.

Luftskiftet

Af tabellen fremgår, at i måleperioden 1991/92 er luftskiftet i begge typer af lejligheder i gennemsnit nær 0,5 gange pr. time, som almindeligvis betragtes som en nødvendig basisventilation i boliger. I måleperioden 1990/91 er luftskiftet målt til i gennemsnit at være lidt lavere.

Måleresultaterne af udelufttilførslen til soverummene viser indbyrdes ingen signifikante forskelle.

Tabel 1. Sammenfatning af resultaterne af målingerne. I tabellen er angivet middeltallet.

	Renoverede lejligheder		Ikke-renoverede lejligheder	
	1990/91	1991/92	1990/91	1991/92
	Middel	Middel	Middel	Middel
Rumtemperatur, stue, °C	20,0	21,2	20,2	21,2
Rumtemperatur, soverum, °C	19,7	20,1	19,5	20,4
Total udelufttilførsel, l/s pr. m ²	0,27	0,32	0,24	0,42
Luftskifte, h ⁻¹	0,42	0,49	0,36	0,65
Udelufttilførsel, soverum, l/s pr. m ²	0,44	0,39	0,38	0,49
Relativ fugtighed, stue	0,35	0,44	0,39	0,39
Relativ fugtighed, soverum	0,38	0,46	0,42	0,43
Gennemsnitlig fugttilførsel				
Hele lejligheden, kg H ₂ O/døgn	2,9	3,8	3,9	5,1
Soverum, kg H ₂ O/døgn	0,9	1,1	1,3	1,7

Relativ luftfugtighed

Den gennemsnitlige relative luftfugtighed er målt til at være højest i de renoverede lejligheder i måleperioden 1991/92. I denne periode var den relative luftfugtighed i stuen mere end 0,45 i ca. 40 pct. af lejlighederne. I måleperioden 1990/91, hvor middeludetemperaturen var omkring 0 °C, var den gennemsnitlige relative luftfugtighed væsentlig lavere. I såvel renoverede som ikke-renoverede lejligheder er den relative fugtighed målt højere i soverummet end i stuen. Risikoen for fugtproblemer på grund af for høj luftfugtighed kan i praksis være mest udtalt i soverum, idet fugtproduktionen ofte finder sted, samtidig med at ventilationen er lav.

Almindeligvis vil en differens mellem rumluftens og udeluftens vanddampindhold på 2,5-3,0 g vand pr. kg luft ikke give anledning til kondensationsproblemer. Den gennemsnitlige differens mellem stueluftens og udeluftens vanddampindhold er i denne undersøgelse bestemt til ca. 2 g vand pr. kg luft. Dog var differensen noget højere i ikke-renoverede lejligheder i måleperioden 1990/91.

Fugttilførsel

Som nøgletal ansættes ofte, at en familie på 4 personer typisk tilfører rumluften ca. 10 kg vand pr. døgn, svarende til ca. 2,5 kg vand pr. døgn pr. person. Generelt underbygger måleresultaterne nøgletallet.

Det har ikke været muligt, at påvise en sammenhæng mellem ventilations- og fugtforholdene i den enkelte lejlighed og beboernes oplysninger om brugen af udeluftventiler.

Intet entydigt billede

Resultaterne viser ingen klar forskel mellem renoverede og ikke-renoverede lejligheder. Endvidere afviger niveauet af de målte udelufttilførsler og relative luftfugtigheder ikke væsentligt fra alment accepterede normer. Det er derfor vanskeligt med sikkerhed at udtale sig om, i hvilken udstrækning vinduesudskiftning og fugetætning influerer på ventilations- og fugtforholdene i lejlighederne. Resultaterne indikerer dog, at det ikke muligt at opnå energibesparelser af betydning.

Undersøgelsesmetode

Udvælgelse af bygninger og lejligheder

Bygninger opført
1930-1960

Med bistand fra en række boligselskaber fra den almennyttige sektor blev et antal bygninger i etageboligbebyggelser udpeget. De udpegede bygninger var opført mellem ca. 1930 og 1960 og samtlige var naturligt ventilerede. Bygningerne blev inddelt i to grupper - henholdsvis renoverede og ikke-renoverede bygninger. Kriteriet for inddelingen var alene, om der inden for de senere år var installeret nye vinduer med 2-lags termoruder, og om fuger var blevet eftertætnet eller udskiftet.

Nye vinduer

Bygningerne var for størstepartens vedkommende beliggende i København og i omegnskommuner vest og nord for København. Enkelte bygninger lå i Hillerød, Helsingør og Frederiksværk.

Udvælgelse af
lejligheder

I hver af de udpegede bygninger blev en eller flere lejligheder udvalgt. Udvælgelsesproceduren for lejlighederne var tilnærmelsesvis simpel tilfældig udvælgelse. I bygninger med flere opgange blev udvælgelsen foretaget således, at der højst blev udvalgt to lejligheder i den samme opgang. Endvidere blev to lejligheder i den samme opgang fortrinsvis udvalgt således, at den ene lejlighed var beliggende på én af de nedre etager og den anden på én af de øvre etager.

Tværsnitsundersøgelse

Udvælgelsen af lejligheder i renoverede og ikke-renoverede bygninger er foretaget på omtrent samme tidspunkt, og målingerne i de to typer af lejligheder er foretaget i omtrent samme perioder. Nærværende undersøgelse er således en tværsnitsundersøgelse, som beskriver de aktuelle ventilations- og fugtforhold i lejligheder i henholdsvis renoverede og ikke-renoverede bygninger.

Gennemførelse af målinger

Passive målemetoder

Det anvendte måleudstyr, som beskrives nærmere i det følgende kapitel "Målemetoder", var af den såkaldt passivt registrerende type. Udstyret blev anbragt i lejlighederne af SBI, og returneret af beboerne via postvæsnet ca. 2 uger senere.

PFT-metoden

Ventilationsmålingerne blev udført ved hjælp af multi-sporgasteknik, den såkaldte PFT-metode. I hver lejlighed blev anbragt 4-6 sporgaskilder og 6-8 opsamlingsrør. Kilderne og rørene blev anbragt fordelt i alle lejlighedens rum. Med det formål at undersøge udelufttilførslen specifikt til voksen-soverummet blev målingerne gennemført som 2-zone målinger. I soverummet blev således anvendt en sporgastype forskellig fra sporgastypen, som blev anvendt i den øvrige del af lejligheden.

Bøgeklods-metoden

Luftfugtighedsmålingerne blev udført ved hjælp af fugt-kalibrerede bøgeklodser. I hver lejlighed blev anbragt to klodser, én centralt i stuen og én i voksen-soverummet.

Samtidig med anbringelsen af måleudstyret blev rumluftens temperatur målt, både i stuen og i voksen-soverummet.

Lidt mere end en uge efter at udstyret var anbragt i lejligheden, blev beboerne pr. brev anmodet om at indsamle udstyret og returnere dette til SBI. Erfaringsmæssigt vil beboerne indsamle og returnere måleudstyret nogle dage efter, at de har modtaget anmodningen. Således har varigheden af målingerne i de enkelte lejligheder i denne undersøgelse været ca. 2 uger.

Spørgeskema

Sammen med brevet modtog beboerne et spørgeskema. Spørgeskemaet indeholdt blandt andet en række spørgsmål vedrørende beboernes brug af særlige ventilationsindretninger i lejligheden, fx emhætte i køkkenet, udsugningsventilator i bad/toilet og udeluftventiler i opholdsrummene. Endvidere blev beboerne stillet spørgsmål vedrørende årsagen til at det eventuelt blev anset for påkrævet at foretage daglige udluftninger af lejligheden. I forbindelse hermed blev beboerne desuden bedt om at anføre hyppigheden og varigheden af udluftningerne. Spørgeskemaet er vist i bilag 1.

Måleperiode

Målingerne fandt sted fra december 1990 til februar 1991 og fra oktober 1991 til marts/april 1992.

Målemetoder

Udelufttilførsel

PFT-metoden	Målingerne af udelufttilførsler blev udført ved anvendelse af en særlig multi-sporgasteknik, PFT-metoden. PFT står for <i>Perfluorcarbon Tracer</i> , idet de anvendte sporgasser er perfluorcarboner, som er organiske forbindelser af perfluoralkylcycloalkan-familien. PFT-metoden er en sporgasteknik efter konstant-dosering princippet. Princippet er, at sporgas frigives kontinuert og passivt fra nogle små sporgaskilder, mens registreringen af den gennemsnitlige sporgaskoncentration i rumluften sker ved passiv opsamling i adsorptionsrør. Adsorptionsrørene består af nogle små glaserør, som indeholder en adsorbent belagt med aktivt kul. Adsorptionsrørene analyseres i laboratoriet ved hjælp af termisk desorption og gaschromatografi. Detektoren er en ECD, Electron Capture Detector.
Sporgaskilder	
Adsorptionsrør	
Varigheden af en måling	Målinger med PFT-metoden gennemføres typisk over en periode i størrelsesordenen dage eller uger. Derved bestemmes den gennemsnitlige udelufttilførsel i måleperioden. I denne undersøgelse har varigheden af de enkelte målinger været ca. 2 uger. Målingerne blev gennemført, mens lejlighederne var i normal brug. Måleresultaterne udtrykker således den i praksis forekommende gennemsnitlige udelufttilførsel, idet husstandens brug af lejligheden, fx husstandens udluftningsvaner indgår i måleresultatet.
Multi-zone målinger	Det er muligt at bestemme såvel boligens gennemsnitlige totale udelufttilførsel som udelufttilførslen til enkelte zoner eller rum i boligen. Desuden kan interne luftudvekslinger mellem zonerne bestemmes. Ved gennemførelse af multi-zone målinger anvendes forskellige sporgastyper i de forskellige zoner. I denne undersøgelse blev soverummet undersøgt særskilt. Det undersøgte soverum var voksen-soverummet, idet det må påregnes, at børne-soverum ofte tillige anvendes som opholds- og legerum.
Voksen-soverummet	
Måleusikkerhed	Usikkerheden på en måling ved anvendelse af PFT-metoden indbefatter, foruden usikkerheder som knytter sig til funktionen af sporgaskilder, adsorptionsrør og analyseudstyr, også nogle fejkilder, som kan henføres til metoden og dens beregningsmæssige grundlag.
Systematisk fejl	Ved målinger med PFT-metoden beregnes den gennemsnitlige udelufttilførsel i måleperioden på grundlag af en målt gennemsnitlig sporgaskoncentration. Beregningsproceduren medfører en systematisk undervurdering af den gennemsnitlige udelufttilførsel såfremt sporgaskoncentrationen ikke er konstant igennem måleperioden. Fejlens størrelse afhænger af varigheden, hyppigheden og størrelsen af fluktuationerne i sporgaskoncentrationen i måleperioden. Det skønnes, at den systematiske fejl i praksis vil være højst -15 pct., og den tilfældige fejl $\pm 10-15$ pct. En nøjere redegørelse for usikkerheder og fejkilder ved måling med PFT-metoden findes i [1], hvor også metodens udstyr og anvendelse er nærmere beskrevet.

Luftfugtighed

Bøgeklods-metoden

Rumluftens relative fugtighed blev målt i stuen og i voksen-soverummet. Målingerne blev foretaget med fugt-kalibrerede bøgeklodser med dimensionerne 50 mm \times 48 mm \times 15 mm og skåret således, at fiberretningen er vinkelret på en flade. Der blev anbragt én bøgeklods i hvert af rummene.

Desorption

Metoden beror på, at sorptionskurven for det anvendte træ er kendt. Sorptionskurven for et hygroskopisk materiale angiver sammenhængen mellem den relative luftfugtighed og materialets ligevægtsfugtindhold. Sorptionskurven er forskellig for absorption og desorption, men kun i ringe grad afhængig af temperaturen. Anvendelsen af bøgeklodserne som fugtindikator baseres på desorption, og kalibreringskurven bestemmes på grundlag af nøjagtig vejning efter konditionering i klimakammer. Når træklodserne i praksis eksponeres for variabel luftfugtighed, er sammenhængen mindre veldefineret. Kontrollforsøg har dog vist, at den relative luftfugtigheds middelværdi kan bestemmes med en usikkerhed på ca. 0,05 i miljøer med moderat varierende luftfugtighed. Metoden er nærmere beskrevet i [2].

Lufttemperatur

Ikke passiv måling

Rumluftens temperatur blev målt samtidig med at sporgaskilder, adsorptionsrør og bøgeklodser blev anbragt i lejligheden. Temperaturerne er således ikke som de øvrige målinger bestemt ved langtidsmåling som en gennemsnitsværdi for måleperioden.

Rumluftens temperatur blev målt både i stuen og i voksen-soverummet. Målingerne blev foretaget med et digitaltermometer fabrikat H. Blichfeldt type T-301 C forsynet med kobber-konstantan termoelement.

De målte temperaturer er desuden sammenlignet med beboernes besvarelser på spørgeskemaet. Her har beboerne anført de gennemsnitlige temperaturer i måleperioden henholdsvis i stuen og i soverummet. Samtidig har beboerne oplyst, om der findes et termometer i de pågældende rum.

Resultater

177 lejligheder

Der foreligger anvendelige måleresultater og spørgeskemabesvarelser fra undersøgelser i 177 lejligheder. 113 lejligheder var beliggende i renoverede bygninger og 64 lejligheder var beliggende i ikke-renoverede bygninger. Der foreligger dog ikke komplette sæt af måleresultater og spørgeskemabesvarelser for samtlige lejligheder. Eksempelvis kan en måling af luftfugtigheden i stuen i en lejlighed mangle fx på grund af svigt ved måleudstyret, medens måleresultater af udelufttilførsler foreligger. Ligeledes kan beboernes besvarelser af spørgeskemaet vedrørende familiens normale brug af boligen indgå i den statistiske behandling af spørgeskemabesvarelserne trods et eller flere manglende måleresultater fra den pågældende lejlighed.

Voksen-soverummet

Voksen-soverummet er undersøgt særskilt. Resultaterne af målinger af udelufttilførslen har vist, at i nogle lejligheder er det undersøgte soverum, i ventilationsmæssig sammenhæng, nært knyttet til den øvrige lejlighed. I disse tilfælde er udelufttilførslen til soverummet og intern luftudveksling ikke beregnet, idet resultaterne behæftes med stor usikkerhed. Resultaterne af målinger af sporgaskoncentrationerne i soverummet indgår dog altid i beregningerne af lejlighedens gennemsnitlige totale udelufttilførsel og dermed også i beregningen af lejlighedens gennemsnitlige luftskifte.

Antal måleresultater

I resultattabellerne, som vises i det følgende, er angivet antallet af måleresultater, som ligger til grund for de anførte middeltal for de målte størrelser.

I tabel 2 er vist en sammenfatning af karakteristika for de undersøgte lejligheder i henholdsvis renoverede og ikke-renoverede bygninger.

Tabel 2. Karakteristika vedrørende lejligheder og husstande.

	Renoverede lejligheder	Ikke-renoverede lejligheder
Antal undersøgte lejligheder	113	64
Gennemsnitligt boligareal, nettoareal, m ²	58,9	60,3
Gennemsnitligt areal af soverummet, m ²	11,8	12,5
Gennemsnitligt antal personer pr. lejlighed	1,9	2,0
Gennemsnitligt antal voksne (≥16 år) pr. lejlighed	1,7	1,8
Gennemsnitligt antal børn (<16 år) pr. lejlighed	0,2	0,2
Gennemsnitligt boligareal pr. person, m ² /pers.	36,2	35,3

Målinger

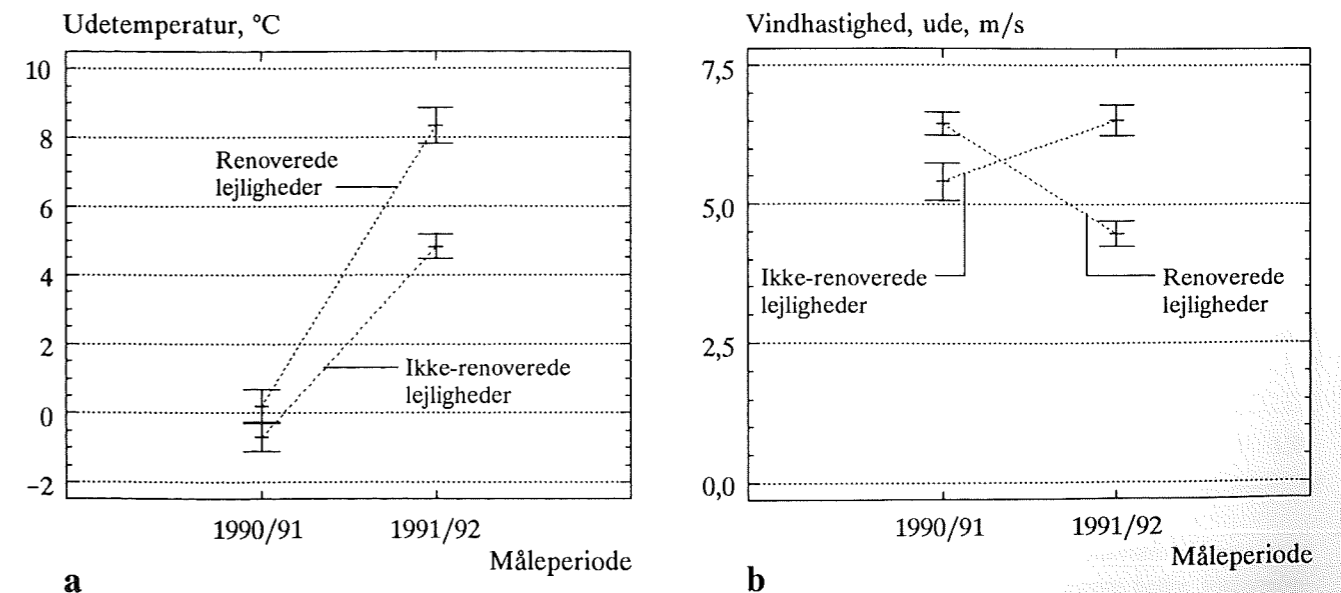
To måleperioder

Målingerne er gennemført i to opvarmningssæsoner. De første målinger er gennemført tidligt i december 1990 efterfulgt af målinger i januar og februar 1991. Der blev ikke foretaget målinger i sidste halvdel af december og første halvdel af januar, da beboernes brug af boligen kan være atypisk i jule- og nytårsperioden. Undersøgelsen blev genoptaget i oktober 1991 og afsluttet i april 1992. Der blev ikke foretaget målinger fra medio december 1991 til februar 1992. Analyser af udeklimadata, baseret på ugeværdier indhentet fra Danmarks Meteorologiske Institut, DMI, har vist, at der er signifikant forskel på udeklimaet i de to måleperioder. Det er samtidig fundet, at måleresultaterne er signifikant forskellige i de to måleperioder.

Udeklima

I hver af perioderne 1990/91 og 1991/92 er der foretaget målinger i såvel renoverede som ikke-renoverede lejligheder. Målingerne i de to typer af lejligheder er i hver periode foretaget på forskellige tidspunkter og på forskellige geografiske lokaliteter. Figur 1 viser middel og 95 pct. konfidensintervallet for udetemperaturen og vindhastigheden i de udsnit af de to perioder, hvor der er foretaget målinger i henholdsvis renoverede og ikke-renoverede lejligheder. Af figur 1b ses eksempelvis, at i måleperioden 1990/91 var middelvindhastigheden, i de perioder hvor der blev foretaget målinger i renoverede lejligheder, signifikant højere, end i de perioder hvor der blev foretaget målinger i ikke-renoverede lejligheder. I måleperioden 1991/92 gjorde det omvendte forhold sig gældende.

I tabel 3 på næste side er vist en oversigt over resultaterne af målingerne af temperatur, udelufttilførsel og rumluftens relative fugtighed. I tabellen er angivet middeltallet og intervallet for spredningen på middeltallet, beregnet som forholdet mellem standardafvigelsen og kvadratroden af antallet af målinger af den pågældende størrelse.



Figur 1. Middeldudetemperatur, °C, og middelvindhastighed, m/s, i de udsnit af måleperioderne 1990/91 og 1991/92, hvor der er foretaget målinger i henholdsvis renoverede og ikke-renoverede lejligheder. I figuren er vist middel og 95 pct. konfidensintervallet.

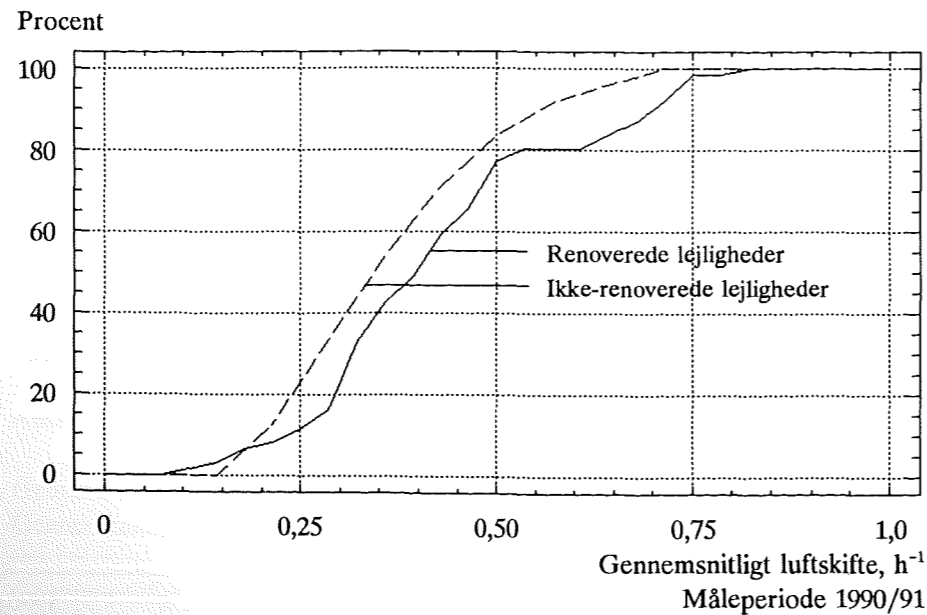
Tabel 3. Resultater af målinger af rumtemperatur, udelufttilførsel og relativ luftfugtighed i lejligheder i henholdsvis renoverede og ikke-renoverede bygninger opdelt efter tidspunktet for målingen.

	Renoverede lejligheder				Ikke-renoverede lejligheder				SE ²	
	1990/91		1991/92		1990/91		1991/92			
	n ¹	Middel	n ¹	Middel	n ¹	Middel	n ¹	Middel		
Rumtemperatur, stue, °C	63	20,0	43	21,2	26	20,2	37	21,2	0,1	- 0,2
Rumtemperatur, soverum, °C	63	19,7	35	20,1	26	19,5	36	20,4	0,2	- 0,4
Total udelufttilførsel, l/s	61	15,4	44	19,2	24	14,3	30	25,5	0,8	- 1,5
Total udelufttilførsel, l/s pr. m ²	61	0,27	44	0,32	24	0,24	30	0,42	0,01	- 0,02
Total udelufttilførsel, l/s pr. person	60	8,5	44	13,2	24	8,3	30	16,5	0,6	- 1,5
Luftskifte, h ⁻¹	61	0,42	44	0,49	24	0,36	30	0,65	0,02	- 0,03
Udelufttilførsel, soverum, l/s	45	4,4	31	5,0	20	4,1	24	6,1	0,5	- 0,8
Udelufttilførsel, soverum, l/s pr. m ²	45	0,44	31	0,39	20	0,38	24	0,49	0,04	- 0,07
Relativ fugtighed, stue	60	0,35	47	0,44	25	0,39	36	0,39	0,01	
Relativ fugtighed, soverum	60	0,38	46	0,46	25	0,42	36	0,43	0,01	

1. n = antal måleresultater.

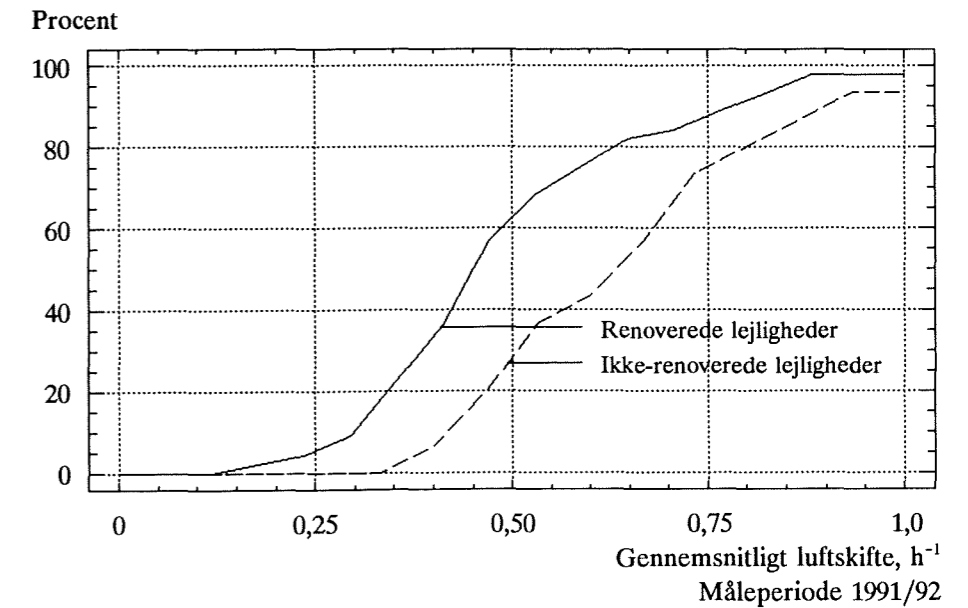
2. SE: Standard Error = spredningen på middeltallet.

Figur 2 og figur 3 på næste side viser kumulerede, relative fordelinger af det gennemsnitlige luftskifte målt i lejligheder i hver af de to bygningstyper henholdsvis i måleperioden 1990/91 og 1991/92.



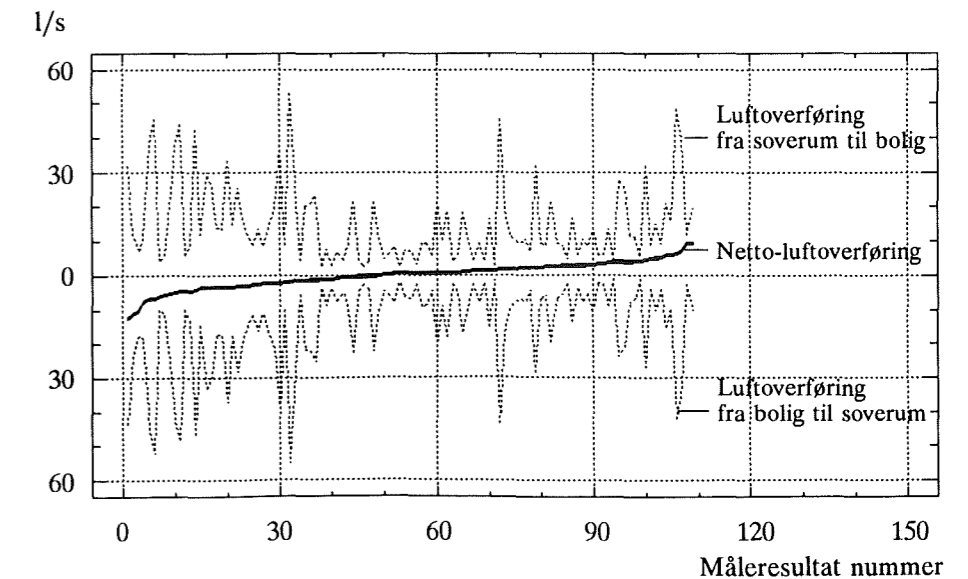
Figur 2. Måleperiode 1990/91. Kumuleret, relativ fordeling af det gennemsnitlige luftskifte, h⁻¹. Kurverne viser, for renoverede og ikke-renoverede lejligheder, den procentvise andel af de undersøgte lejligheder, i hvilke der er målt et lavere gennemsnitligt luftskifte end de værdier, der er angivet på den vandrette akse.

Interne luftudvekslinger



Figur 3. Måleperiode 1991/92. Kumuleret, relativ fordeling af det gennemsnitlige luftskifte, h⁻¹. Se figurtekst til figur 2.

I figur 4 er for samtlige lejligheder vist de målte volumenstrømme henholdsvis fra soverummet til den øvrige lejlighed og fra den øvrige lejlighed til soverummet. Differensen mellem de to volumenstrømme betegnes netto-luftoverføringen. Måleresultater fra 110 acceptable målinger er nummereret fra nummer 1 til nummer 110, sorteret efter stigende netto-luftoverføring og afsat på den vandrette akse i figur 4.



Figur 4. Intern luftudveksling. På den lodrette akse angiver volumenstrømme over den vandrette 0-linie luftoverføring fra soverummet til den øvrige bolig. Volumenstrømme under 0-linien angiver luftoverføring den modsatte vej. Netto-luftoverføringen er differensen mellem de to volumenstrømme. Den vandrette akse er en nummerering af 110 måleresultater sorteret efter stigende netto-luftoverføring.

Rumløftens og udeløftens vanddampindhold

På grundlag af de målte rumtemperaturer og relative luftfugtigheder i stuen og soverummet kan damptrykket og vanddampindholdet i rumluften beregnes. Udeløftens vanddampindhold kan beregnes på grundlag af meteorologiske data vedrørende udetemperatur og udeløftens relative fugtighed. Størrelsen af rumluftens vanddampindhold er bestemt af den tilførte udeløfts vanddampindhold samt tilskuddet fra fugtproducerende kilder i lejligheden fx personer, madlavning, tøjvask og rengøring. Under forudsætning af stationære forhold vil den relative størrelse af fugttilskuddet til rumluftens vanddampindhold væsentligst afhænge af ventilationens størrelse.

Differens i vanddampindhold inde/ude

I tabel 4 er vist differensen mellem rumluftens og udeløftens vanddampindhold. Differensen er angivet såvel for stuen som for soverummet. Endvidere viser tabellen den beregnede gennemsnitlige fugttilførsel dels for lejligheden som helhed dels for soverummet alene. Beregningerne for lejligheden som helhed er baseret på målingerne af luftfugtigheden i stuen samt målingerne af udeløfttilførslen til hele lejligheden inklusive soverummet.

Tabellen viser desuden antallet af måleresultater, som ligger til grund for beregningerne. Såfremt der ikke foreligger resultater af både rumtemperatur og rumluftens relative fugtighed, er det ikke muligt at beregne rumluftens vanddampindhold og således ej heller differensen mellem rumluftens og udeløftens vanddampindhold. Ligeledes afhænger beregningerne af den gennemsnitlige fugttilførsel af, dels om det er muligt at beregne differensen mellem rumluftens og udeløftens vanddampindhold, dels om der foreligger måleresultater af udeløfttilførslen.

Beregningsproceduren for den gennemsnitlige fugttilførsel er usikker, idet både målemetoder og DMI's udeklimadata er behæftet med usikkerhed. Desuden er målingerne af rumluftens fugtighed ikke foretaget i køkken og bad/toilet, hvor fugten fortrinsvis produceres.

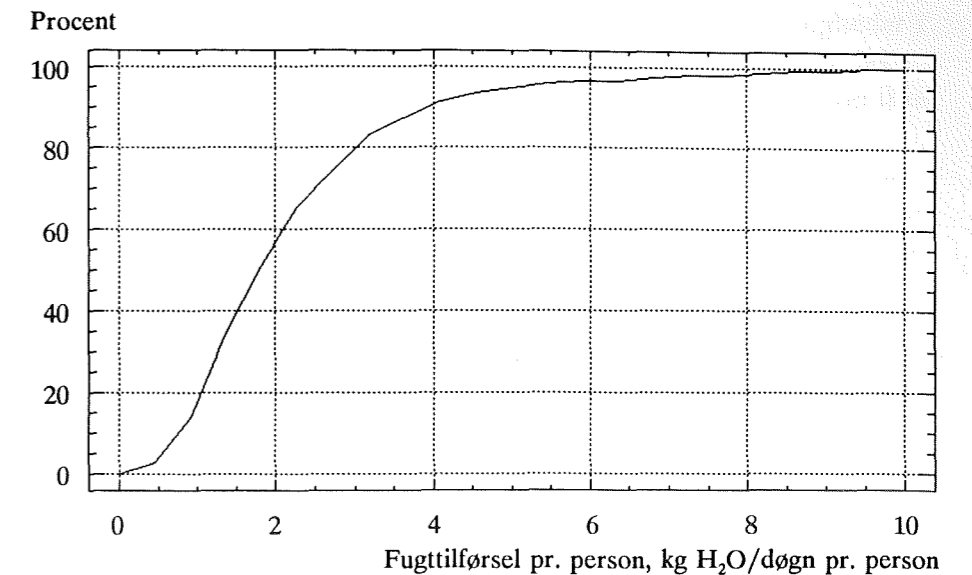
Tabel 4. Differens mellem rumluftens og udeløftens vanddampindhold, g H₂O/kg luft, og beregnet gennemsnitlig fugttilførsel, kg H₂O/døgn og kg H₂O/døgn pr. person i lejligheder i henholdsvis renoverede og ikke-renoverede bygninger opdelt efter tidspunktet for målingen.

	Renoverede lejligheder				Ikke-renoverede lejligheder				SE ²
	1990/91		1991/92		1990/91		1991/92		
	n ¹	Middel	n ¹	Middel	n ¹	Middel	n ¹	Middel	
Diff. vanddampindhold inde/ude									
Stue, g H ₂ O/kg luft	60	1,9	41	2,1	25	2,7	35	2,1	0,1 - 0,2
Soverum, g H ₂ O/kg luft	60	2,2	33	2,1	25	2,9	34	2,5	0,1 - 0,2
Gennemsnitlig fugttilførsel									
Hele lejl., kg H ₂ O/døgn	58	2,9	36	3,8	24	3,9	30	5,1	0,2 - 0,4
Hele lejl., kg H ₂ O/døgn pr. pers.	57	1,5	36	2,5	24	2,1	30	3,2	0,2 - 0,2
Soverum, kg H ₂ O/døgn	43	0,9	21	1,1	19	1,3	23	1,7	0,1 - 0,3

1. n = antal måleresultater.

2. SE: Standard Error = spredningen på middeltallet.

Figur 5 viser for samtlige undersøgte lejligheder den kumulerede, relative fordeling af den beregnede fugttilførsel pr. døgn pr. person, kg H₂O/døgn pr. person.



Figur 5. Kumuleret, relativ fordeling af den beregnede fugttilførsel pr. døgn pr. person, kg H₂O/døgn pr. person. Kurven viser den procentvise andel af samtlige undersøgte lejligheder, i hvilke der er beregnet en lavere fugttilførsel end de værdier, der er angivet på den vandrette akse.

Spørgeskemaundersøgelse

Formål

Spørgeskemaet, som indgik i spørgeskemaundersøgelsen, er vist i bilag 1. Formålet med at lade beboerne besvare spørgeskemaet var, at tilvejebringe et grundlag for en vurdering af beboernes indflydelse på ventilationen i lejligheden. Samtidig har det tid fra beboernes besvarelser af en række spørgsmål været muligt at eliminere måleresultater, som med sikkerhed ville kunne betegnes som ekstraordinære. Eksempelvis fremgik det af enkelte af besvarelserne, at husstanden havde været bortrejst, således at lejligheden havde været ubenyttet i hovedparten af måleperioden. I sådanne tilfælde indgår måleresultaterne ikke i materialet. Derimod vil beboernes besvarelser vedrørende familiens normale brug af boligen indgå i den statistiske behandling af svarene fra spørgeskemaerne.

Emhætte

Udsugningsventilator Udeluftventiler

Spørgeskemaet rummer spørgsmål vedrørende tilstedeværelse af emhætte i køkkenet, separat udsugningsventilator i bad/toilet og udeluftventiler i opholdsrummene. Alene emhætter med afkast til det fri har interesse i denne undersøgelse, og hvad gælder udeluftventiler, skulle der være ventiler i mere end ét rum, før lejligheden blev betragtet som værende forsynet med udeluftventiler. Såfremt der i lejligheden var emhætte eller udsugningsventilator, blev beboerne bedt om at anslå brugstiden pr. døgn.

Usikkerhed ved spørgeskemaundersøgelsen

I tabel 5 er vist en sammenstilling af beboernes besvarelser af nogle af spørgsmålene. Den information, som kan udtrages af spørgeskemaundersøgelsen, er dog forbundet med nogen usikkerhed, idet man kan være i tvivl om, hvorvidt beboerne kan have misopfattet spørgsmålene. Samtidig er informationen fra visse af besvarelserne særlig usikker, idet kun få beboere havde besvaret spørgsmålet. Dette gælder fx oplysninger om brugstiden af en emhætte i køkkenet.

Tabel 5. Antal og fordeling af besvarelser på udvalgte spørgsmål fra spørgeskemaet, som er vist i bilag 1.

	Renoverede lejligheder			Ikke-renoverede lejligheder		
	Besvarelser antal	Fordeling Ja pct.	Fordeling Nej pct.	Besvarelser antal	Fordeling Ja pct.	Fordeling Nej pct.
1) Er der en aftrækskanal ved loftet i køkkenet?	104	82	18	52	79	21
2) Er der en manuelt betjent emhætte i køkkenet? ¹	111	32	68	63	32	68
3) Er der en aftrækskanal ved loftet i bad/toilet?	110	87	13	60	33	67
4) Er der en manuelt betjent udsugningsventilator i bad/toilet?	107	3	97	59	3	97
5) Er der udeluftventiler i de fleste opholdsrum?	113	43	57	64	38	62
6) Hvis ja til spørgsmål 5): Er udeluftventilerne normalt åbne i vintermånederne?	47	68	32	23	35	65
7) Ryges der dagligt i boligen?	111	63	37	59	54	46
8) Forekommer der dug på vinduerne?	112	18	82	60	37	63

1. I lejligheder, såvel i renoverede som i ikke-renoverede bygninger, med emhætte i køkkenet, har beboerne oplyst, at emhætten benyttes ca. 30 minutter pr. døgn.

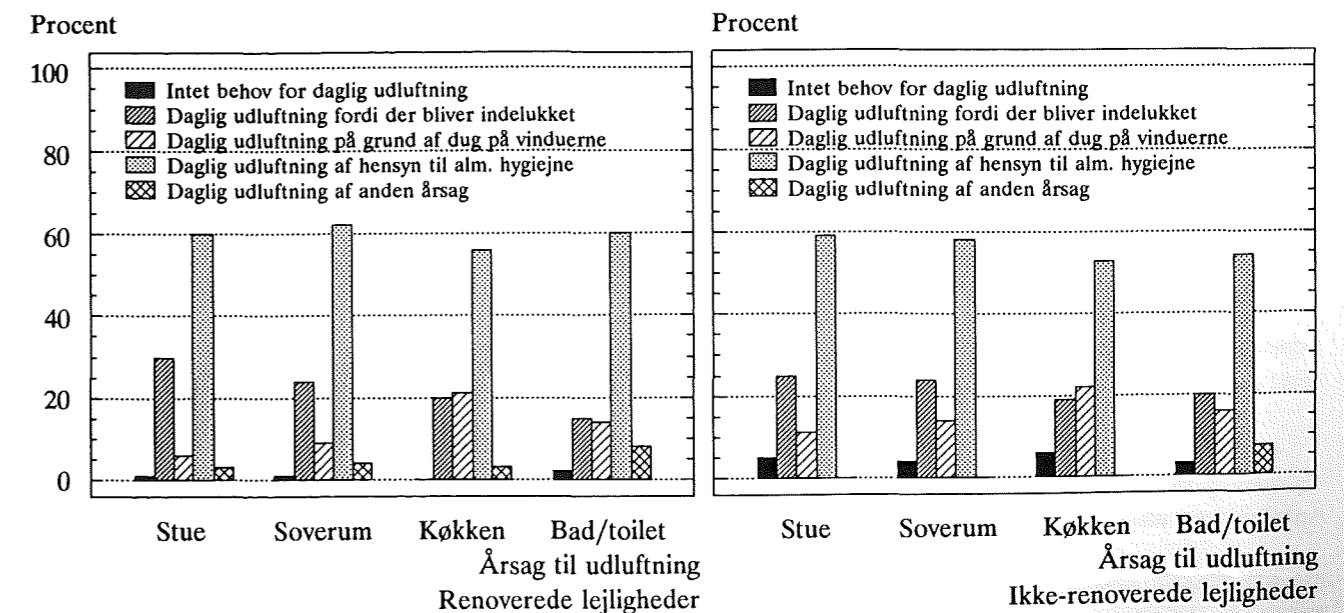
Udeluftventiler

Det fremgår af tabel 5, at i de renoverede bygninger var der udeluftventiler i de fleste opholdsrum i 43 pct. af lejlighederne, mens der i de ikke-renoverede bygninger var monteret udeluftventiler i 38 pct. af lejlighederne. Ifølge svarene fra beboere i de renoverede bygninger havde ca. 2/3 normalt udeluftventilerne åbne i vintermånederne. I de ikke-renoverede bygninger oplyste ca. 1/3 af husstandene, at udeluftventilerne normalt var åbne om vinteren. To husstande i lejligheder i renoverede bygninger oplyste, at de havde udeluftventiler, men ikke om disse normalt var åbne eller lukkede i vintermånederne. I de ikke-renoverede bygninger manglede oplysningen fra én husstand.

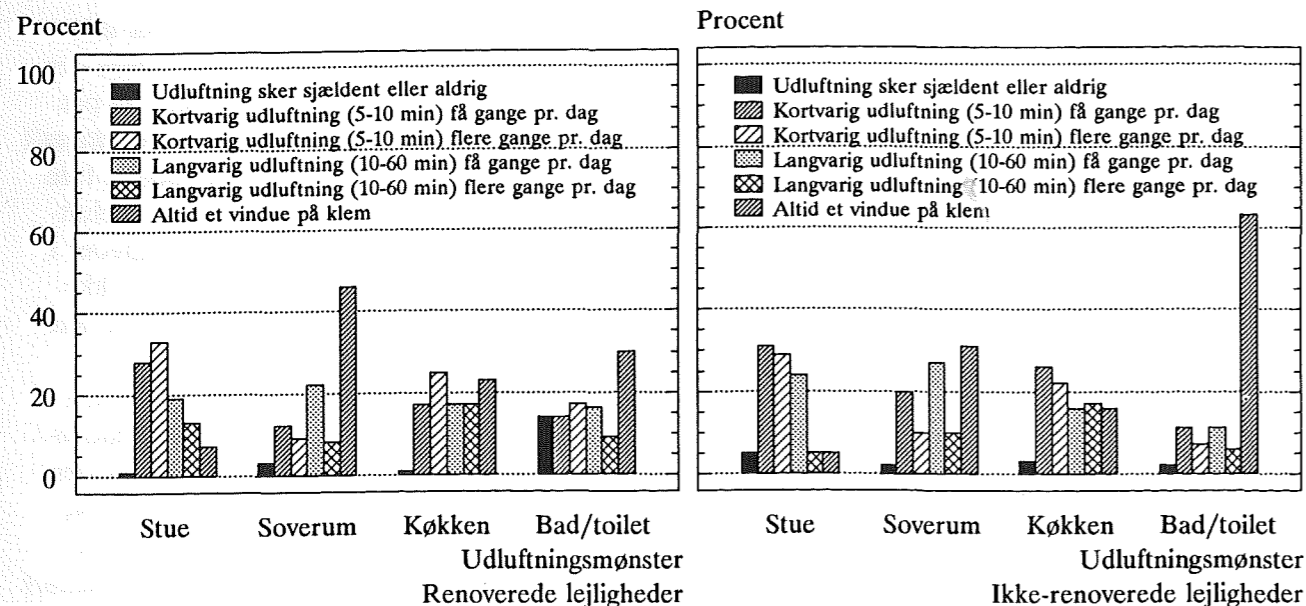
Ved opdeling af samtlige måleresultater først efter måleperioden hvori målingen blev gennemført, dernæst efter lejlighedernes renoveringsstatus, dernæst efter om der fandtes udeluftventiler i lejligheden, og endelig efter om disse i bekræftende fald var åbne eller lukkede, opnås grupper, som hver omfatter et lille antal måleresultater. Det har således ikke været muligt med sikkerhed at påvise en sammenhæng mellem beboernes brug af udeluftventilerne og ventilations- og fugtforholdene i lejligheden.

Udluftning

For at få en indikation af i hvilken udstrækning og af hvilken årsag beboerne handler aktivt i forbindelse med udluftning af lejligheden, er der i spørgeskemaet stillet spørgsmål vedrørende tobaksrygning i lejligheden og forekomst af dug på vinduerne. Endvidere er beboerne givet enkle svarmuligheder på spørgsmål om årsagen til, at det anses for påkrævet at foretage daglige udluftninger af lejligheden ved åbning af åbne vinduer eller døre. Beboerne blev desuden bedt om at anføre hyppigheden og varigheden af udluftningerne. Beboernes besvarelser vedrørende årsagen til udluftningerne samt hyppigheden og varigheden af disse er givet for 4 forskellige rum i lejligheden. En sammenfatning af beboernes svar er givet i figur 6 og figur 7.



Figur 6. Procentvis fordeling af beboernes besvarelser på spørgsmålet: Er der behov for at udlufte dagligt (fx ved åbning af vinduer eller døre)? Figuren viser årsagen til at der udlufte for henholdsvis stue, soverum, køkken og bad/toilet. Beboerne havde mulighed for at give mere end blot ét svar for hvert rum.



Figur 7. Procentvis fordeling af beboernes besvarelser på spørgsmålet: På hvilken måde udlufter De? Figuren viser udluftningsmønstret for henholdsvis stue, soverum, køkken og bad/toilet. Beboerne har afgivet ét svar for hvert rum.

Figur 6 viser i form af histogrammer, af hvilken årsag beboerne udlufter forskellige rum deres lejlighed. Beboerne havde mulighed for at give mere end blot ét svar for hvert rum. Figur 7 viser, hvorledes beboerne karakteriserer måden, hvorpå de foretager udluftningen. Fx ses af figuren, at soverummet almindeligvis udluftes ved konstant at have et vindue på klem. I tabel 6 og tabel 7 er vist udvalgte resultater af målingerne i soverummet. I tabellerne er anført antallet af måleresultater, som ligger til grund for middeltallene. Variationen skyldes, som tidligere nævnt, at der ikke foreligger komplette sæt af måleresultater for alle lejligheder. I nogle tilfælde foreligger eksempelvis resultater af ventilationsmålingerne, mens målingerne af rumluftens relative fugtighed mangler fx på grund af svigt ved måleudstyret. Resultaterne er for overskuelighedens skyld alene anført ved middeltallene.

Tabel 6. Måleperioden 1990/91. Resultater af målinger i soverummet i lejligheder i henholdsvis renoverede og ikke-renoverede bygninger. I tabellen er anført middeltallet.

	Måleperiode 1990/91			
	Renoverede lejligheder		Ikke-renoverede lejligheder	
	Altid et vindue på klem	Periodisk udluftning	Altid et vindue på klem	Periodisk udluftning
Antal måleresultater, soverum ¹	16 - 22	27 - 38	7 - 8	12 - 17
Udelufttilførsel, soverum, l/s	6,1	3,4	4,9	3,7
Relativ fugtighed, soverum	0,39	0,38	0,42	0,42
Differens H ₂ O soverum/ude, g H ₂ O/kg	2,0	2,3	3,2	2,8
Fugttilførsel, soverum, kg H ₂ O/døgn	1,2	0,7	1,7	1,0

1. Variationen i antallet af måleresultater skyldes, at der ikke foreligger komplette sæt af måleresultater for alle lejligheder.

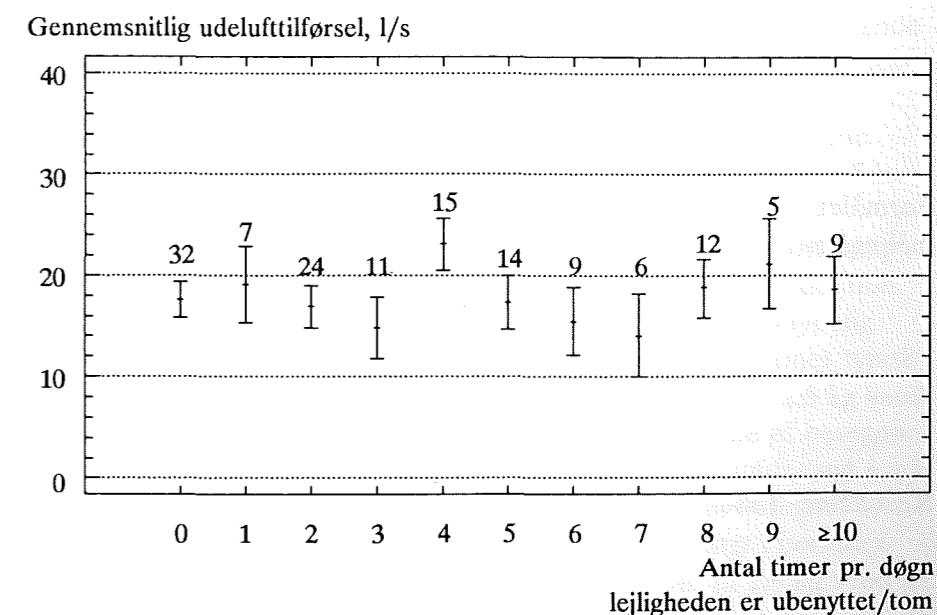
Tabel 7. Måleperioden 1991/92. Resultater af målinger i soverummet i lejligheder i henholdsvis renoverede og ikke-renoverede bygninger. I tabellen er anført middeltallet.

	Måleperiode 1991/92			
	Renoverede lejligheder		Ikke-renoverede lejligheder	
	Altid et vindue på klem	Periodisk udluftning	Altid et vindue på klem	Periodisk udluftning
Antal måleresultater, soverum ¹	13 - 25	8 - 21	9 - 10	15 - 24
Udelufttilførsel, soverum, l/s	6,5	3,0	8,0	5,0
Relativ fugtighed, soverum	0,45	0,48	0,45	0,43
Differens H ₂ O soverum/ude, g H ₂ O/kg	1,8	2,4	2,6	2,4
Fugttilførsel, soverum, kg H ₂ O/døgn	1,2	0,8	2,3	1,3

1. Variationen i antallet af måleresultater skyldes, at der ikke foreligger komplette sæt af måleresultater for alle lejligheder.

Ubenyttet/tom lejlighed

I gennemsnit var lejlighederne, såvel i renoverede som i ikke-renoverede bygninger, ubenyttede/tomme i lidt mindre end 4 timer pr. døgn. Figur 8 viser sammenhængen mellem den målte gennemsnitlige udelufttilførsel og antallet af timer pr. døgn, lejlighederne er ubenyttede. Resultaterne viser ingen signifikant sammenhæng.



Figur 8. Gennemsnitlig udelufttilførsel, l/s, i afhængighed af antallet af timer pr. døgn lejligheden er ubenyttet/tom, angivet ved middeltallet og 95 pct. konfidensintervallet. Tallene over intervallerne angiver antallet af måleresultater som ligger til grund.

Diskussion

Naturlig ventilation

Ventilationen i de undersøgte lejligheder er baseret på naturlig ventilation. Princippet i det naturlige ventilationssystem er, at luft fjernes fra lejlighederne gennem aftrækskanaler i køkken og bad/toilet, mens erstatningsluft - udeluft - tilføres i lejlighedernes øvrige rum gennem åbne vinduer, tilfældige utætheder i klimaskærmen og eventuelt gennem udeluftventiler. En del af de undersøgte lejligheder var uden udeluftventiler og nogle enkelte uden aftrækskanaler. Systemets funktion bygger primært på forskellen mellem rumluftens og udeluftens temperatur, men også vindpåvirkning af bygningen har indflydelse på funktionen. Endvidere har opdriftshøjden indflydelse på systemets funktion. Betingelserne for pålidelig funktion er mest gunstige i højt byggeri, hvor aftrækskanalerne udmunder over tagfladen.

Funktionen påvirkes

Funktionen af det naturlige ventilationssystem er således knyttet dels til udeklimaets tilstand dels klimaskærmens tæthed. I praksis har desuden beboernes adfærd og brug af lejligheden indflydelse på de faktiske ventilations- og fugtforhold. Samtidig kan ventilationsinstallationernes beskaffenhed i sig selv have afgørende betydning både for ventilationen og for beboernes brug af fx udeluftventiler. U hensigtsmæssig udformning og placering af aftrækskanaler og udeluftventiler samt utilstrækkelig vedligeholdelse kan hæmme systemets funktion, og kan desuden medvirke til, at beboerne undlader at bruge udeluftventilerne efter hensigten, for eksempel fordi den indstrømmende udeluft medfører gener i form af træk på grund af høje lufthastigheder i opholdszone.

Formålet med målingerne

Formålet med de her gennemførte målinger har været at bestemme niveauet af ventilations- og fugtforholdene i ældre, naturligt ventilerede etageboliger. Samtidig har formålet været, at undersøge i hvilken udstrækning vinduesudskiftning og fugetætning influerer på ventilations- og fugtforholdene i lejlighederne. Hensigten har været at tilvejebringe et grundlag for vurdering af mulighederne for energibesparelser ved ændring af tætheden eller ventilationen i eksisterende etageboliger.

Resultater: Tabel 3

Tabel 3 side 14 viser måleresultaterne opdelt såvel efter lejlighedernes renoveringsstatus som efter tidspunktet, hvor målingerne blev gennemført. Det fremgår af tabellen, at i måleperioden 1991/92 er luftskiftet i begge typer af lejligheder i gennemsnit nær 0,5 gange pr. time, som almindeligvis betragtes som en nødvendig basisventilation i boliger. I måleperioden 1990/91 er luftskiftet målt til i gennemsnit at være lavere, skønt den gennemsnitlige udetemperatur var lavere i 1990/91 end i 1991/92, jf. figur 1 side 13. Af figur 2 side 14 ses, at både i renoverede og i ikke-renoverede bygninger er det gennemsnitlige luftskifte målt til at være lavere end 0,5 gange pr. time i ca. 80 procent af lejlighederne. Som nævnt på side 10 i kapitlet "Målemetoder" er PFT-metoden behæftet med en systematisk målefejl, således at måleresultaterne kan være lidt for lave.

Basisventilation

Et ofte angivet mål for den nødvendige basisventilation i boliger er 0,35 l/s pr. m². I boliger med normal rumhøjde svarer denne ventilation til, at den tilførte udeluftmængde pr. time udgør omtrent halvdelen af boligens nettorumfang, dvs. et luftskifte på 0,5 h⁻¹.

Forskel i udelufttilførsel bygninger/måleperiode

De målte gennemsnitlige tilførte udeluftmængder, opgjort såvel totalt for lejligheden som pr. m² boligareal, er i begge typer af bygninger signifikant forskellige i de to måleperioder. Endvidere viser resultaterne, at i måleperioden 1991/92 er udelufttilførslen signifikant højere i de ikke-renoverede lejligheder end i de renoverede lejligheder. Derimod er der ingen statistisk forskel at konstatere i udelufttilførslen i de to bygningstyper i måleperioden 1990/91. Den lavere gennemsnitlige udelufttilførsel til lejligheder i ikke-renoverede bygninger i forhold til lejligheder i renoverede bygninger er således ikke signifikant.

Forskellen på måleresultaterne i måleperioden 1991/92 kan bero på, at den gennemsnitlige vindhastighed var signifikant højere på de geografiske lokaliteter og i de tidsmæssige udsnit af perioden, da der blev målt i ikke-renoverede lejligheder, end da der blev målt i renoverede lejligheder. Samtidig er det tænkeligt, at de ikke-renoverede lejligheder er mere følsomme overfor vindpåvirkning, idet klimaskærmen kan være mere utæt særligt omkring vinduerne end i de renoverede lejligheder. I måleperioden 1990/91 var der mindre forskelle såvel i middelvindhastigheden som i middeludetemperaturen imellem de udsnit af perioden, hvor der blev målt i henholdsvis ikke-renoverede og renoverede lejligheder.

Udelufttilførsel til soverum

Der er ingen signifikant forskel på de målte udelufttilførsler til soverum, hverken i afhængighed af bygningstypen eller i afhængighed af måleperioden. Formodentlig er ventilationen i soverum i overvejende grad bestemt af beboernes adfærd, herunder udluftning ved vinduesåbning.

Hensigten med at ventilere en bolig er, foruden at tilfredsstille menneskers hygiejniske og komfortmæssige behov for rumluft af acceptabel kvalitet, at kontrollere fugtforholdene i rummene.

Fugtproduktion

Den direkte fugtafgivelse fra en person udgør ca. 50 g vanddamp pr. time svarende til ca. 1 kg pr. døgn. Den samlede fugtproduktion fra personer og processer i en husholdning er imidlertid betydelig større. Som nøgletal ansættes ofte, at en familie på 4 personer typisk tilfører rumluften ca. 10 kg vand pr. døgn, svarende til ca. 2,5 kg vand pr. døgn pr. person. Tabel 4 på side 16 viser resultaterne af beregninger af den gennemsnitlige fugttilførsel. For lejligheder undersøgt i måleperioden 1990/91 er den gennemsnitlige fugttilførsel beregnet til 1,7 kg vand pr. døgn pr. person og for lejligheder undersøgt i perioden 1991/92 er den gennemsnitlige fugttilførsel beregnet til 2,8 kg vand pr. døgn pr. person.

Proceduren for beregning af den gennemsnitlige fugttilførsel i lejlighederne er imidlertid i nogen grad usikker. Dels er metoderne til måling af udelufttilførslen og rumluftens fugtighed, henholdsvis PFT-metoden og bølgeklods-metoden, hver især behæftet med usikkerhed, dels er målingerne af rumluftens fugtighed ikke foretaget i køkken og bad/toilet, hvor fugten fortrinsvis produceres. Endelig er udeluftens tilstand givet ved ugeværdier, som er indhentet fra den af DMI's meteorologiske vejrstationer, som lå nærmest den undersøgte lejlighed. Beregningerne indikerer dog, at måleresultaterne underbygger nøgletallet.

Rumluftens fugtighed

Husstøvmider

To forskellige synspunkter kan lægges til grund for anbefalinger til det maksimalt acceptable niveau af rumluftens fugtighed i boliger.

Det første synspunkt er, at rumluftens vanddampindhold bør være lavere end 7,0 g vand pr. kg luft, svarende til en relativ luftfugtighed på 0,45 ved 20-22 °C, nogle måneder i vinterperioden. Hensigten er at reducere antallet af husstøvmider.

Af tabel 3 på side 14 ses, at den gennemsnitlige relative luftfugtighed er højest i de renoverede lejligheder i måleperioden 1991/92, og uafhængig af såvel måleperioden som lejlighedens renoveringsstatus er den relative fugtighed højere i soverummet end i stuen. Risikoen for høj luftfugtighed og dermed fugtproblemer kan i praksis være mest udtalt i soverum, dels fordi fugtproduktionen ofte finder sted, samtidig med at ventilationen er lav dels fordi rumtemperaturen ofte er lavere i soverummet end i den øvrige bolig. I perioden 1991/92 er den relative luftfugtighed i stuen i renoverede lejligheder målt til mere end 0,45 i ca. 40 pct. af lejlighederne. Resultatet skal dog ses i sammenhæng med, at der forekom en relativ høj middeludetemperatur i denne periode, jf. figur 1 på side 13. Måleresultaterne fra perioden 1990/91 viser, at rumluftens relative fugtighed i gennemsnit vil være under 0,45, når udetemperaturen er ca. 0 °C.

I [3] er vist resultater af en feltundersøgelse af husstøvmideforekomsten i boliger. Der blev ved undersøgelsen fundet relation mellem høj luftfugtighed og høj midforekomst, således at husstøvmider for det meste forekommer i boliger, hvor rumluftens vanddampindhold overstiger 7 g vand pr. kg luft. I soverum blev der desuden fundet en signifikant sammenhæng mellem husstøvmideforekomsten og ventilationen med høje midetal i soverum med lavt luftskifte.

Der er ikke i dette projekt foretaget målinger af husstøvmideforekomsten i lejlighederne.

Kondensation

Det andet synspunkt er, at rumluftens fugtighed skal holdes på et tilstrækkeligt lavt niveau, til at kondensation på vinduerne ikke forekommer. Almindeligvis vil en differens mellem rumluftens og udeluftens vanddampindhold på 2,5-3,0 g vand pr. kg luft ikke give anledning til kondensationsproblemer. En differens på 4,0-5,0 g vand pr. kg luft kan medføre problemer i boliger med 2-lags vinduer, når lufttemperaturen inde sænkes og gardiner trækkes for.

Af tabel 4 på side 16 ses, at den gennemsnitlige differens mellem rumluftens og udeluftens vanddampindhold i stuen generelt var ca. 2 g vand pr. kg luft. Differensen i vanddampindhold i soverummene var noget højere, ca. 2,2 g vand pr. kg luft. I måleperioden 1990/91 skiller den gennemsnitlige differens i de ikke-renoverede lejligheder sig dog noget ud, idet den her var 2,7 g vand pr. kg luft i stuen og 2,9 g vand pr. kg luft i soverummene. Eksklusive de ikke-renoverede lejligheder som blev undersøgt i måleperioden 1990/91, var den gennemsnitlige differens mellem rumluftens og udeluftens vanddampindhold mere end 3 g vand pr. kg luft i stuen i 10-20 pct. af lejlighederne.

I Sverige er der i årene 1991-92 gennemført et omfattende forskningsprogram bestående af spørgeskemaundersøgelser, interviews, besigtigelser og målinger i et stort antal boliger. Programmet er navngivet ELIB, *Elhushållning I Bebyggelsen*. Programmet er gennemført i et samarbejde mellem Statens Institut för Byggnadsforskning, SIB, Yrkes- och Miljömedicinska Kliniken i Örebro, YMK, og Statens Strålskyddsinstitut, SSI.

Svensk undersøgelse
ELIB

Det generelle sigte med programmet har været, at effektivisere energianvendelsen og at forbedre indeklimaet i svenske boliger. Programmet har bestået af tre projekter: *Bostadsbeståndets inneklimat*, *Bostadsbeståndets tekniska egenskaper* og *Energihushållningspotentialer i bostadsbeståndet*. Resultaterne af de tekniske målinger, som er gennemført under projektet *Bostadsbeståndets inneklimat*, findes rapporteret i [4].

Næsten 20.000 personer, i ca. 3.300 enfamiliehuse og etageboliger, har deltaget i en spørgeskemaundersøgelse. Derudover er der gennemført nøjere undersøgelser i ca. 1.100 boliger. De nøjere undersøgelser har omfattet besigtigelser i boligerne og målinger af blandt andet udelufttilførsler, luftfugtigheder og temperaturer.

Tabel 8 viser udvalgte resultater fra ELIB-projektet *Bostadsbeståndets inneklimat*. Resultaterne vedrører naturligt ventilerede etageboliger, opført før 1960 og beliggende i det sydlige Sverige. I ELIB-projektet opereres med en faktor kaldet bygningens "ombygningsstatus". Faktoren er dog ikke signifikant i relation til resultaterne af ventilationsmålingerne. Endvidere er kriteriet for, at en bygning i ELIB-projektet betegnes som ombygget, af en anden karakter end kriteriet for at en bygning i denne undersøgelse betegnes som renoveret. Resultaterne i tabel 8 er derfor angivet som middeltallet af de i ELIB-projektet undersøgte ombyggede og ikke-ombyggede bygninger.

Tabel 8. Resultater fra svensk undersøgelse, ELIB - Bostadsbeståndets inneklimat [4]. Resultaterne vedrører naturligt ventilerede etageboliger, opført før 1960 og beliggende i det sydlige Sverige.

Rumtemperatur, °C, stue	22,2
Total udelufttilførsel, l/s pr. m ²	0,32
Total udelufttilførsel, l/s pr. person	14,1
Relativ luftfugtighed, stue	0,36

Ventilationen i
soverummene

I nærværende undersøgelse er den gennemsnitlige totale udelufttilførsel til voksen-soverummene i både renoverede og ikke-renoverede bygninger bestemt til lidt mere end 4 l/s i måleperioden 1990/91 og ca. 5,5 l/s i 1991/92, se tabel 3 på side 14. Det alment accepterede hygiejnisk-komfortmæssige mindstemål for udelufttilførsel i soverum er 4 l/s pr. person. Antages det, at soverummene i gennemsnit benyttes af 1,5-2 personer, er ventilationen i soverummene således tilsyneladende i underkanten.

Det fremgår imidlertid af kurven, som er vist under den vandrette 0-linie i figur 4 på side 15, at der sker en intern luftoverføring fra de øvrige rum i lejligheden til soverummet, som er i størrelsesordenen mindst 5-10 l/s. Antages det, at denne luftoverføring vil kunne medvirke til at ventilere soverummene, er disse således mere tilfredsstillende ventilerede.

Det har ikke været muligt, at påvise en sikker sammenhæng mellem ventilations- og fugtforholdene i lejligheden og beboernes oplysninger om brugen af eventuelle udeluftventiler.

Det er i denne undersøgelse ikke registreret hvilke *typer* udeluftventiler, der var monteret i den enkelte lejlighed. Det er alene undersøgt, om der var monteret udeluftventiler i *de fleste* opholdsrum. Undersøgelsen er sket dels gennem registrering dels gennem spørgeskemaundersøgelsen. Det blev heller ikke undersøgt, af hvilken grund beboerne åbner udeluftventilerne. Det er således uklart, om det at udeluftventilerne åbnes skyldes, at udeluftventilerne er udformet og anbragt hensigtsmæssigt eller om det i højere grad skyldes, at beboerne er bevidste om værdien af korrekt ventilation.

Beboernes besvarelser af spørgeskemaet vedrørende årsagen til, at det anses for påkrævet at foretage daglige udluftninger, er vist i figur 6 på side 19. Beboerne havde mulighed for at anføre mere end én årsag til, at der foretages udluftning daglig af det enkelte rum. Et stort antal husstande har for alle fire rum anført, at daglig udluftning foretages "af hensyn til almindelig hygiejne". Figuren antyder, at beboerne i de ikke-renoverede lejligheder i højere grad er tilbøjelige til at konstatere, at der ikke er behov for at foretage daglig udluftning af lejligheden.

Af figur 7 på side 20, som viser hvorledes beboerne karakteriserer måden, hvorpå de foretager udluftningen, ses, at i soverummet i renoverede lejligheder holdes ofte et vindue på klem. Dette afspejles i tabel 6 side 20 og tabel 7 side 21. På trods af relativt få observationer viser tabellerne, at der er en højere udelufttilførsel til soverum hvor vinduet almindeligvis står på klem. Figur 7 viser desuden, at i lejligheder i ikke-renoverede bygninger, står der ofte et vindue på klem i bad/toilet.

Resultaterne tegner ikke noget entydigt billede af, i hvilken grad vinduesudskiftning og fugetætning influerer på ventilations- og fugtforholdene i lejlighederne. Én af årsagerne er formodentlig, at målingerne er foretaget i to forskellige måleperioder med signifikant forskellige udeklimakonditioner.

En anden årsag, som kan have sammenhæng til den første, er, at ventilationen i naturligt ventilerede boliger i høj grad afhænger af beboernes adfærd og brug af boligen. Beboernes anvendelse af supplerende ventilation fx i form af vinduesoplukninger er formodentlig i nogen grad vanebestemt og subjektivt betinget af deres hygiejnebevidsthed. Samtidig må ventilationen nok også betragtes som ufrivillig og tilfældig, fx fremtvunget af nødvendige døroplukninger. Én af konklusionerne i en nyere undersøgelse af ventilationsforholdene i naturligt ventilerede enfamiliehuse [5] var, at det ikke havde været muligt at identificere bygnings- eller konstruktionstekniske forhold, som havde en så afgørende indflydelse på ventilations- og fugtforholdene, at man ved ændringer med sikkerhed kunne pege på muligheder for at opnå forbedrede forhold.

En tredje årsag til den manglende entydighed er, at der i denne undersøgelse ikke er foretaget en egentlig tilstandsregistrering af de

oprindelige vinduer og fuger i de ikke-renoverede bygninger. De udvalgte bygninger er på grundlag af oplysninger fra boligselskaberne samt ved konstatering på stedet rubriceret som enten renoverede eller ikke-renoverede. På trods af at de oprindelige vinduer og fuger kunne være mere end 50 år gamle, kan det ikke udelukkes, at de i teknisk henseende var fejlfri. Det ville formentlig have været muligt at konstatere tydeligere forskelle i ventilations- og fugtforholdene mellem renoverede og ikke-renoverede lejligheder, såfremt de ikke-renoverede lejligheder var blevet udvalgt blandt bygninger, hvor det på forhånd var blevet konstateret, at de oprindelige vinduer og fuger var i en sådan stand, at det ville blive nødvendigt at udskifte vinduerne inden for kort tid.

Det er desuden tænkeligt, at der generelt sker en gradvis udjævning af forskelle mellem ikke-renoverede og renoverede bygninger. De bygninger, som vurderes at være i den dårligste stand, bliver rimeligvis renoveret først, blandt andet ved at vinduerne udskiftes og fugerne eftertættes.

Endelig er det muligt, at det forhold, at der i denne undersøgelse er foretaget målinger i 60-70 forskellige bygninger, gør, at de forventede forskelle mellem renoverede og ikke-renoverede bygninger overskygges af en række andre bygningstekniske forskelle. Det har således ikke været muligt at identificere virkningen af en forbedret tætning af klimaskærmen på ventilations- og fugtforholdene i lejlighederne.

Til støtte for de sidstnævnte mulige forklaringer tjener resultaterne af en undersøgelse, som blev gennemført af Aarhus Universitet i årene omkring 1980. Institut for Miljø- og Arbejdsmedicin, IMA, som på daværende tidspunkt hed Hygiejnisk Institut, gennemførte en feltundersøgelse af indeklimaforandringer i boliger efter vinduesudskiftninger og fugetætninger [6].

Der blev undersøgt 2 x 25 henholdsvis renoverede og ikke-renoverede i øvrigt identiske lejligheder, beliggende i et større samlet og ensartet beboelsesområde. De renoverede lejligheder var karakteriseret ved, at de oprindelige enkeltglas trævinduer var udskiftet med bredkarmede kunststofvinduer med termoruder. Kunststofvinduerne var isat med plastisk fugemasse. Undersøgelsen omfattede blandt andet målinger af såvel rumluftens som udeluftens temperatur og vanddampindhold. Alle målinger blev foretaget som øjeblikksmålinger og målinger i lejlighederne blev foretaget både i stuen og i soverummet. Målingerne blev foretaget i månederne februar og marts.

Udeluftens temperatur varierede i undersøgelsesperioden mellem -1,4 °C og 4,4 °C med et gennemsnit, angivet som middelværdi af 25 målinger, på 1,9 °C. Tabel 9 på næste side viser en sammenfatning af måleresultaterne i lejlighederne. De anførte resultater er angivet som middelværdi af 24 måleresultater, idet én lejlighed i hver af grupperne måtte udgå af undersøgelsen.

Resultater fra tidligere undersøgelser har vist, at i nyere etageboliger med mekanisk udsugning er ventilationen stort set på et rimeligt niveau, og i denne undersøgelse afviger niveauet af de målte udelufttilførsler og relative fugtigheder ikke væsentligt fra alment accepterede normer. Det er ofte blevet antaget, dels at ventilationen i naturligt ventilerede og renoverede etageboliger er lav, dels at ikke-renoverede etageboliger har en unødvendig stor ventilation, som nedsættes, når der gennemføres renoveringer, som omfatter vinduesudskiftning.

Tabel 9. Sammenfatning af udvalgte resultater fra undersøgelse gennemført af Aarhus Universitet [6].

	Renoverede lejligheder	Ikke-renoverede lejligheder
Rumtemperatur, stue, °C	21,5	20,6
Rumtemperatur, soverum, °C	19,2	18,0
Differens i vanddampindhold inde/ude		
Stue, g H ₂ O/kg	3,5	2,7
Soverum, g H ₂ O/kg	3,2	2,6

Ingen klare indikationer

Måleresultaterne fra den foreliggende undersøgelse viser ingen klar forskel mellem renoverede og ikke-renoverede lejligheder. Det er derfor vanskeligt med sikkerhed at udtale sig om, i hvilken udstrækning vinduesudskiftning og fugetætning influerer på ventilations- og fugtforholdene i lejlighederne. Resultaterne indikerer dog, at det ikke er muligt at opnå energibesparelser af betydning.

Målingerne er foretaget under vinterforhold. Det kan ikke udelukkes, at udelufttilførslen i lejlighederne kan blive utilstrækkelig under andre udeklimatiske forhold, eksempelvis i efterårsmånederne, hvor det termiske drivtryk kan være ringe. Et eventuelt ventilationsproblem kan blive forstærket i disse måneder, idet fugten, som akkumuleres i byggematerialer og inventar, frigives, når temperaturen falder, dvs. i begyndelsen af opvarmningssæsonen.

Summary

SBI Report 241: Ventilation conditions in refurbished and unrefurbished apartment buildings.

Background

Energy consumption for space heating

In recent years there has been a general improvement in the standard of insulation in both new and existing buildings in order to reduce energy consumption for space heating. Increasing and improving insulation reduces transmission losses, but to reduce energy consumption still further, attention must be paid to reducing ventilation losses.

Refurbishment of apartment buildings

Refurbishments of old buildings often include replacement of the original windows with new double-glazed windows and replacement or resealing of joints. This can affect the ventilation because tightening the building envelope reduces infiltration through random leaks.

Window replacement

Apartment buildings that are more than 20 years old are normally ventilated by natural ventilation. The building regulations from 1977 made mechanical extraction compulsory in apartment buildings with interior bathrooms and toilets, and the building regulations from 1982 made mechanical extraction compulsory in all apartment buildings. The principle in the natural ventilation system is that air is removed from the apartment through vertical ducts in the kitchen and bathroom, while replacement air - outdoor air - is supplied to the apartment's other rooms through open windows and/or outdoor air inlets, and through random leaks in the building envelope. The function of the system is based primarily on thermal buoyancy in the ducts, produced by the difference between the indoor and outdoor temperature, although it is also affected by wind action on the building.

Natural ventilation

It is generally assumed that the level of ventilation in old apartment buildings is high, and that it is reduced in connection with refurbishments that include window replacement. It is often also assumed that ventilation is low in refurbished apartment buildings. A more reliable basis for judging the validity of these assumptions is needed.

Measurements in 177 flats

This report describes a cross-sectional study of the ventilation and humidity conditions in 177 flats in apartment buildings from about 1930 to 1960. The outdoor air supply, relative humidity and room temperature were measured, and the occupants completed a questionnaire on the way they used their flats.

All the flats studied had natural ventilation. About two thirds of them were in refurbished buildings and about one third in unrefurbished buildings. The criterion for classifying a building as refurbished was simply whether the original windows had been replaced with double-glazed windows.

Results of measurements

Measuring methods

Passive measuring methods were used. The outdoor air supply was measured by means of a special multiple tracer gas technique, the so-called PFT-method, and the relative humidity was measured with moisture-calibrated beech blocks. With passive measuring methods, an average value over a certain period will be determined. In this study, the measuring period was about 2 weeks. The room air temperature was determined by instantaneous measurement with a digital thermometer. Separate measurements were taken in the main bedroom. The occupants completed a questionnaire in connection with the technical measurements.

Two measuring periods

About half of the measurements were made in winter 1990/91, and the other half in winter 1991/92. Because of significantly different weather conditions in the two periods, all the measurements were divided according to whether they were obtained in refurbished or unrefurbished flats and on the basis of the date of measurement.

The results are summarised in table 1, where, for the sake of clarity, only the mean values are given. The outdoor air supply measurement may be systematically a little on the low side because the PFT-technique is encumbered with a bias.

Air change

It will be seen from the table that, in the measuring period 91/92, the air change in both types of flats averaged close on 0.5 air changes per hour, which is normally regarded as a necessary basic ventilation in the home. In the measuring period 1990/91, the average air change was slightly lower.

The measurements of the outdoor air supply to the bedrooms in the two periods reveal no significant differences.

Table 1. Summary of measurements, given in mean values.

	Refurbished flats		Unrefurbished flats	
	1990/91	1991/92	1990/91	1991/92
	Mean	Mean	Mean	Mean
Room temperature, sitting room, °C	20,0	21,2	20,2	21,2
Room temperature, bedroom, °C	19,7	20,1	19,5	20,4
Total outdoor air supply, l/s per m ²	0,27	0,32	0,24	0,42
Air change rate, h ⁻¹	0,42	0,49	0,36	0,65
Outdoor air supply, bedroom, l/s per m ²	0,44	0,39	0,38	0,49
Relative humidity, sitting room	0,35	0,44	0,39	0,39
Relative humidity, bedroom	0,38	0,46	0,42	0,43
Average moisture supply				
Entire flat, kg H ₂ O/day	2,9	3,8	3,9	5,1
Bedroom, kg H ₂ O/day	0,9	1,1	1,3	1,7

Relative humidity

The highest average relative humidity was found in the refurbished flats in the measuring period 1991/92. In this period the relative humidity in the sitting room was more than 0.45 in about 40 per cent of the flats. In the measuring period 1990/91, when the mean outdoor temperature was about 0 °C, the average relative humidity was considerably lower. In both the refurbished and the unrefurbished flats, the relative humidity was found to be higher in the bedroom than in the sitting room. In practice, the risk of moisture problems due to too high humidity is probably most pronounced in bedrooms because moisture is often produced here in combination with low ventilation.

In general, a difference between the vapour content of the room air and the outdoor air of 2.5-3.0 g water per kg air will not cause condensation problems. In the study reported here, the average difference between the vapour content of the room air and the outdoor air was found to be about 2 g water per kg air, although there was a somewhat bigger difference in unrefurbished flats in the measuring period 1990/91.

Moisture supply

As key figure it is often assumed that a family of four persons typically supplies about 10 kg water per day to the room air. This corresponds to about 2.5 kg water per day per person. The results of the measurements generally confirm the key figure.

In this study it was not possible to demonstrate any relationship between the ventilation and moisture conditions in the individual flats and the information given by the occupants about the use of outdoor air inlets.

No clear picture

The results do not reveal any clear difference between refurbished and unrefurbished flats. Furthermore, the level of the measured supplies of outdoor air and relative humidities does not deviate significantly from generally accepted norms. It is therefore difficult to say with any certainty the extent to which window replacement and joint sealing affects the ventilation and moisture conditions in the flats. However, the results indicate that it is not possible to achieve energy savings of any significance.

Litteratur

- [1] Bergsøe, Niels C.
SBI-rapport 227: Passiv sporgasmetode til ventilationsundersøgelser. Beskrivelse og analyse af PFT-metoden. 1992.
- [2] Nielsen, Ove
SBI-rapport 198: Luftfugtighed i renoverede højhuse med tre ventilationsløsninger. 1989.
- [3] Harving, Henrik, Jens Korsgaard Jensen og Ronald Dahl
Husstøvmideforekomst i boliger. Sammenhæng med boligventilation og luftfugtighed.
Ugeskrift for læger 156/8, 21. feb. 1994. Videnskab og praksis.
- [4] Norlén, Urban og Kjell Andersson (red)
ELIB-rapport nr 7. Bostadsbeståndets inneklimat. Forskningsrapport TN:30. SIB, Statens institut för byggnadsforskning. 1993.
- [5] Bergsøe, Niels C.
SBI-rapport 236: Ventilationsforhold i nyere, naturligt ventilerede enfamiliehuse. 1994.
- [6] Korsgaard, Jens; G. R. Lundqvist
Indeklimaforandringer i boliger - efter vinduesudskiftninger og fugetætning. VARME, 45. årgang, 1980, December.

Bilag 1

Spørgeskema

Skemaet er nedfotograferet fra A4-format.

SBI STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
Danish Building Research Institute

10.12.1990 NCB/ACH
J.nr. R17-43

Forskningsprojekt vedrørende undersøgelse af ventilationsforhold i etageboliger

1. Hvornår tog De måleudstyret ned? Dato: _____ Klokken: _____
2. Hvor mange personer beboede boligen i måleperioden? under 16 år: _____
16 år eller over: _____
3. Hvor mange timer daglig i måleperioden var boligen ubenyttet (tom)? ca. _____ timer
4. Hvad var den gennemsnitlige temperatur i måleperioden? i stuen ca. _____ °C
i soveværelset ca. _____ °C

- | | Ja | Nej |
|--|--|--|
| 5. Har De et termometer i stuen?
Har De et termometer i soveværelset? | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
| 6. Er ejendommen forsynet med et centralt ventilationsanlæg, som konstant eller det meste af døgnet suger luft ud af køkken og bad/toilet? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Er der aftrækskanal ved loftet i køkkenet? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Er der emhætte eller udsugningsventilator i køkkenet, med afkast til det fri, som De selv kan tænde og slukke?
Hvis "ja": Er emhætten/ventilatoren tilsluttet aftrækskanal ved loftet?
Hvor meget anvendes udsugningen? Ca. _____ minutter pr. døgn | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
| 9. Er der aftrækskanal ved loftet i bad/toilet? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. Er der udsugningsventilator i bad/toilet, som De selv kan tænde og slukke?
Hvis "ja": Er ventilatoren tilsluttet aftrækskanal ved loftet?
Hvor meget anvendes ventilatoren? Ca. _____ minutter pr. døgn | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
| 11. Er der i de fleste rum udluftningsventiler i ydervæggen eller i forbindelse med vinduerne? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12. Har De normalt i vintermånederne udluftningsventilerne åbne? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13. Ryges der dagligt i boligen? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14. Er der ofte dug på vinduerne, når temperaturen udenfor er omkring 0 °C og rullegardiner <u>ikke</u> er trukket ned? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

15. Er der brug for at udlufte dagligt (fx. ved åbning af vinduer eller døre)?

	Nej	Ja, fordi der bliver inde-lukket	Ja, fordi der kommer dug på vinduerne	Ja, af hensyn til almindelig hygiejne	Ja, anden årsag
Opholdsrum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Soveværelse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Køkken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bad/toilet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

16. På hvilken måde udlufter De?

	Opholdsrum	Soveværelse	Køkken	Bad/toilet
Sjældent eller aldrig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kortvarigt (5-10 min) få gange pr. dag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kortvarigt (5-10 min) flere gange pr. dag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Langvarigt (10-60 min) få gange pr. dag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Langvarigt (10-60 min) flere gange pr. dag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Altid et vindue på klem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Navn: _____

Adresse: _____

Telefon: _____

Tak for Deres medvirken i forskningsprojektet.

Rapporten beskriver en tværsnitsundersøgelse af ventilations- og fugtforholdene i 177 lejligheder i etageboliger opført mellem ca. 1930 og 1960. Samtlige lejligheder var naturligt ventilerede. Ca. $\frac{2}{3}$ af lejlighederne var beliggende i renoverede bygninger og ca. $\frac{1}{3}$ i ikke-renoverede bygninger. Kriteriet for, om en bygning blev rubriceret som renoveret, var alene, om de oprindelige vinduer var blevet udskiftet med nye. Baggrunden har været, at det ofte er blevet antaget, at ventilationen i ældre etageboliger er unødvendig stor, og at ventilationen nedsættes, når der gennemføres renoveringer, som omfatter vinduesudskiftninger. Ventilations- og fugtmålinger er foretaget med passiv måleteknik. I tilknytning til målingerne har beboerne udfyldt et spørgeskema vedrørende deres brug af lejligheden.



SBI - publik.

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

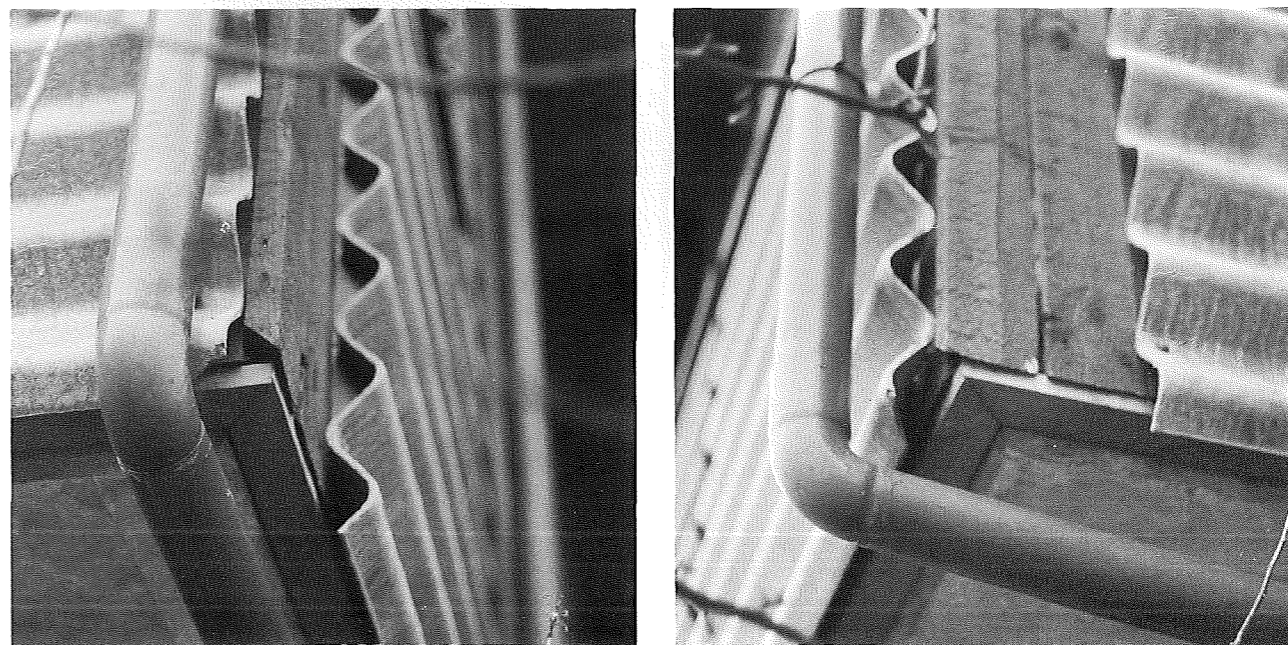
Det blev ved planlægningen af forsøgene tilstræbt, at variationerne i fugtindhold inden for den enkelte eksponeringscyklus skulle være større ved ældningsforsøgene i den ny klimasimulator. I forhold til variationerne i fugtindhold ved ældning i "De fire årstider" blev der i andet og tredje delforløb 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".

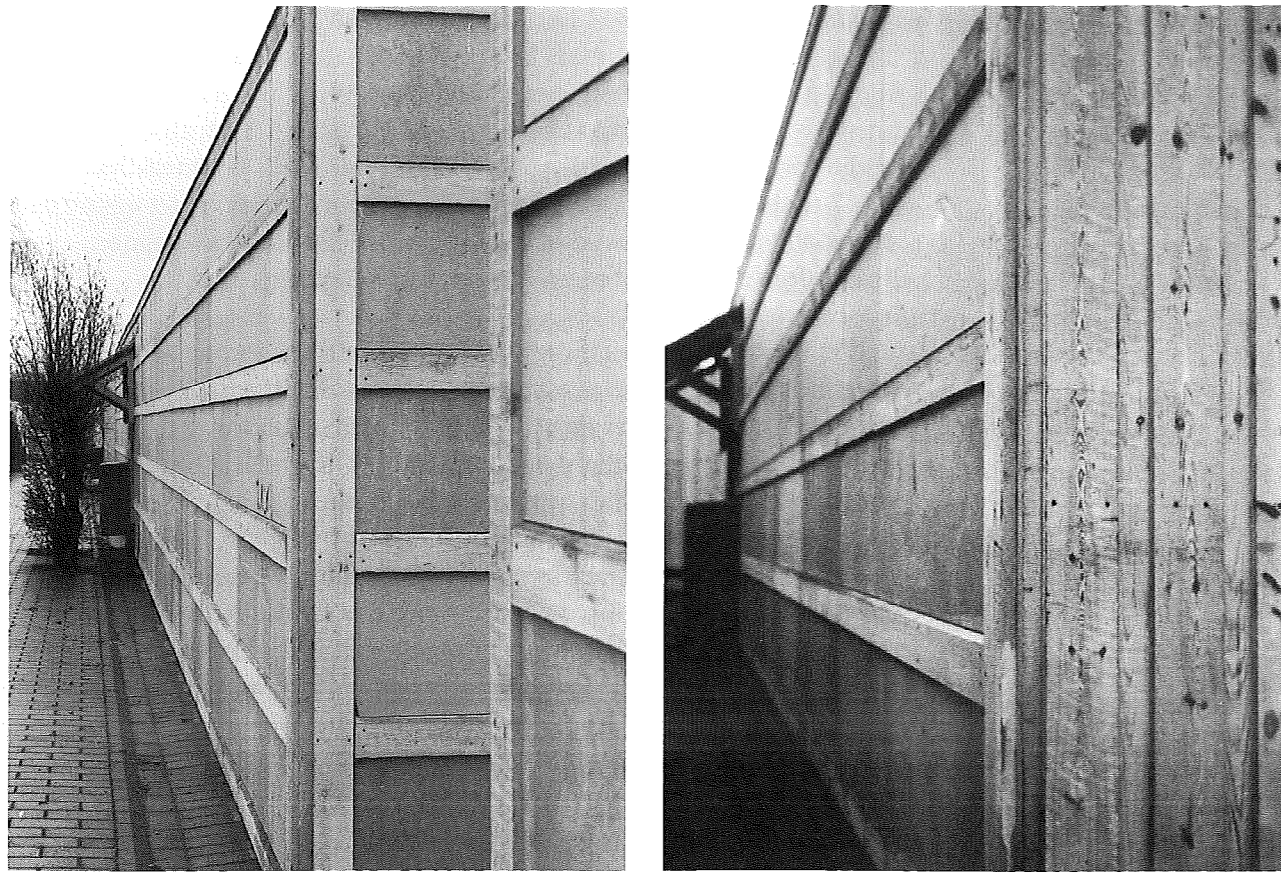
Forudsigelse af holdbarhed

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 materialsammensætning og forskelligartet detailudformning af samlinger og knudepunkter. Eksempelvis:

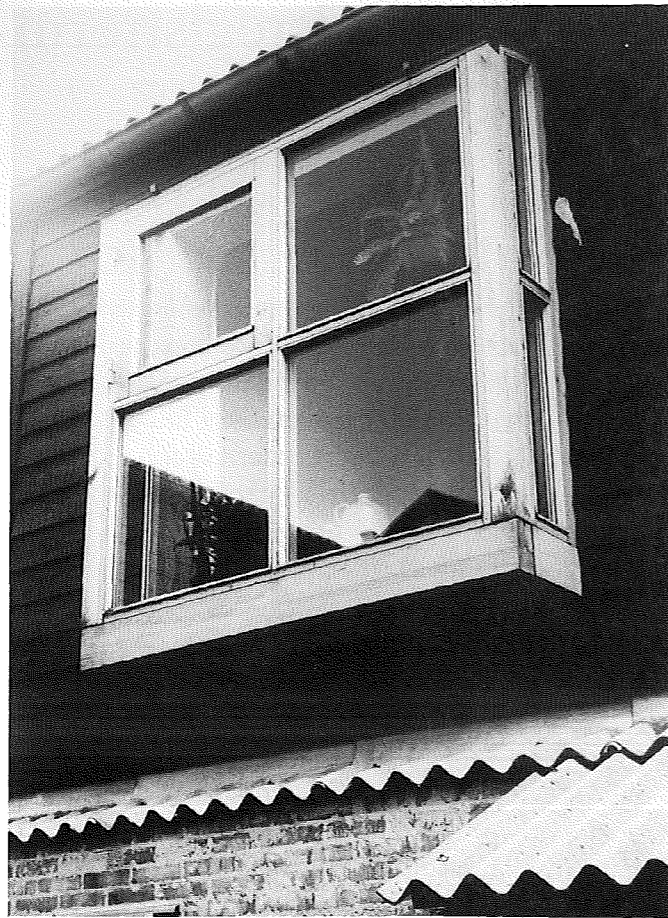
- Eternitbeklædninger med både bølgeplader og plane plader på træskelet. Disse var udført med forskellig udformning ved ud- og indadgående hjørner, med forskellige sammenbygningsdetaljer lodret og vandret til tunge bygningskonstruktioner samt med forskellige former for indbygninger af døre og vinduer.
- 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.

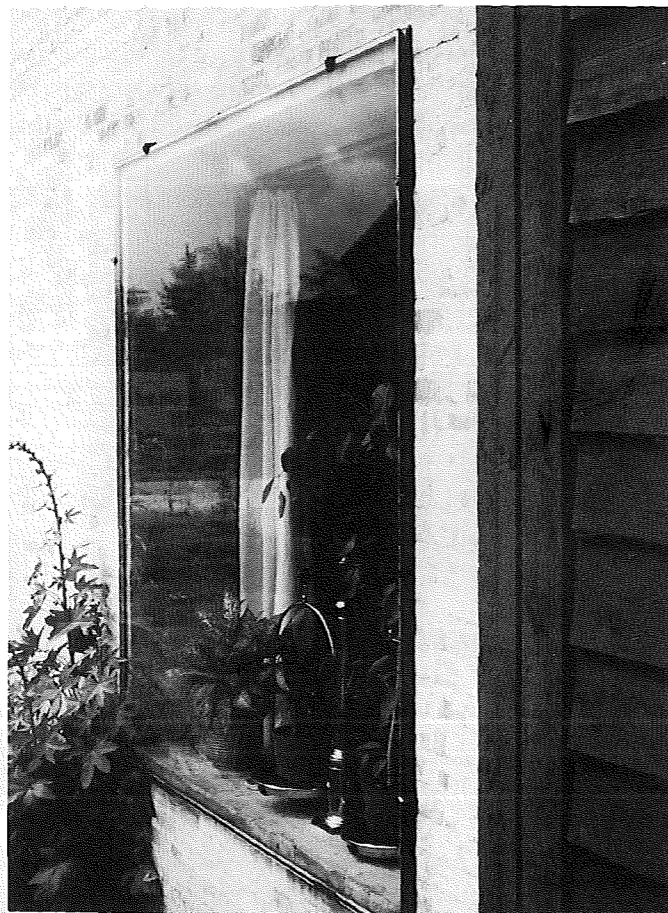
Vedligeholdelsesforløb

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.

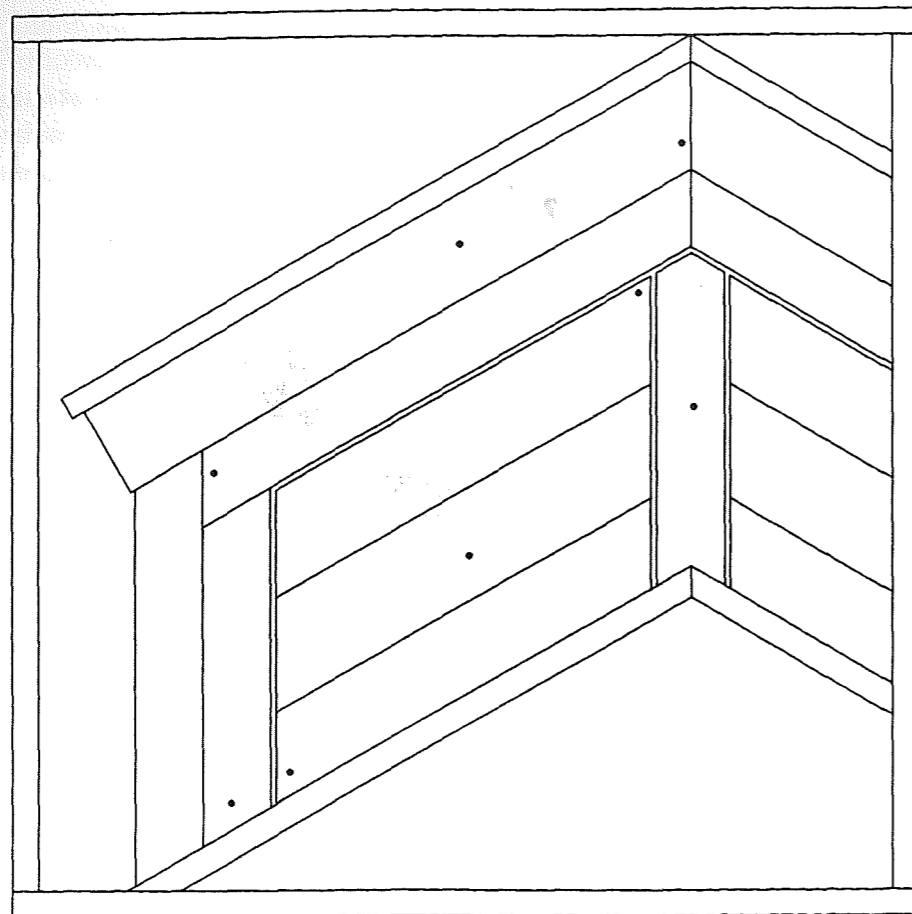
Figur 9. Prøveemne: Indboring af fugtmåledyvel.



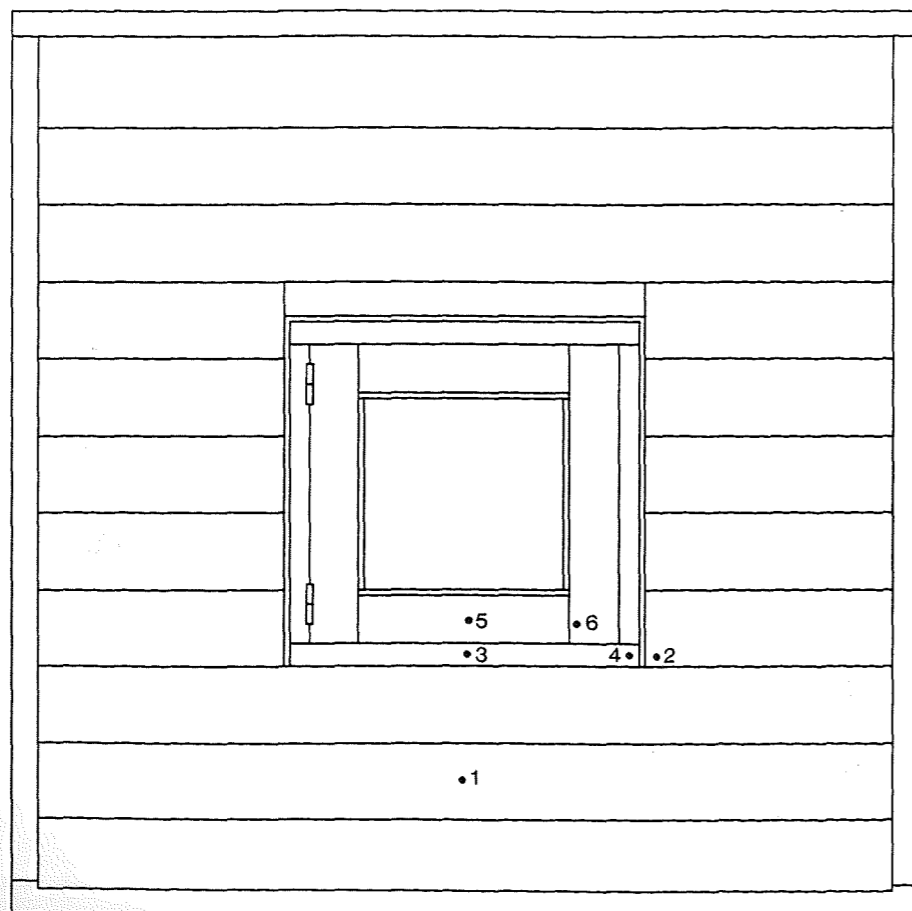
Figur 10. Prøveemne: Forsegling af fugtmåledyvel.



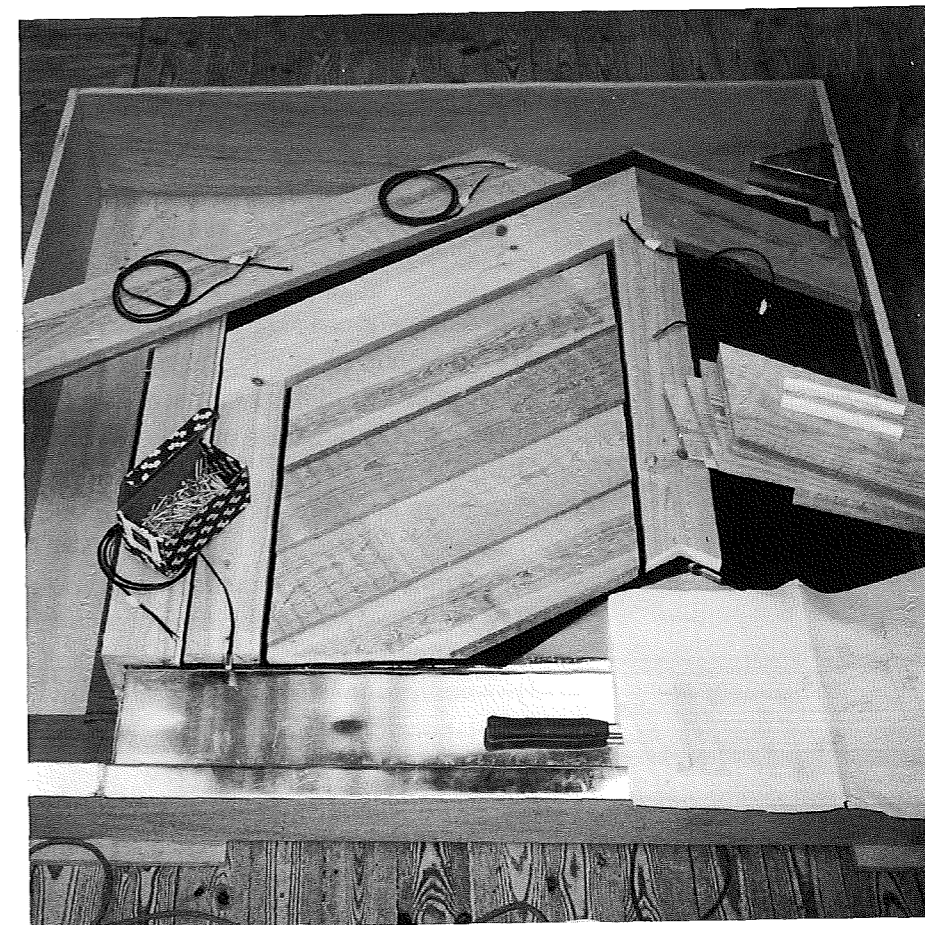
Figur 11. Prøveemne:
Gavludsnit med skrå
bræddebeklædning på
klink. Punkterne angiver,
hvor der er placeret
fugtmålepunkter.



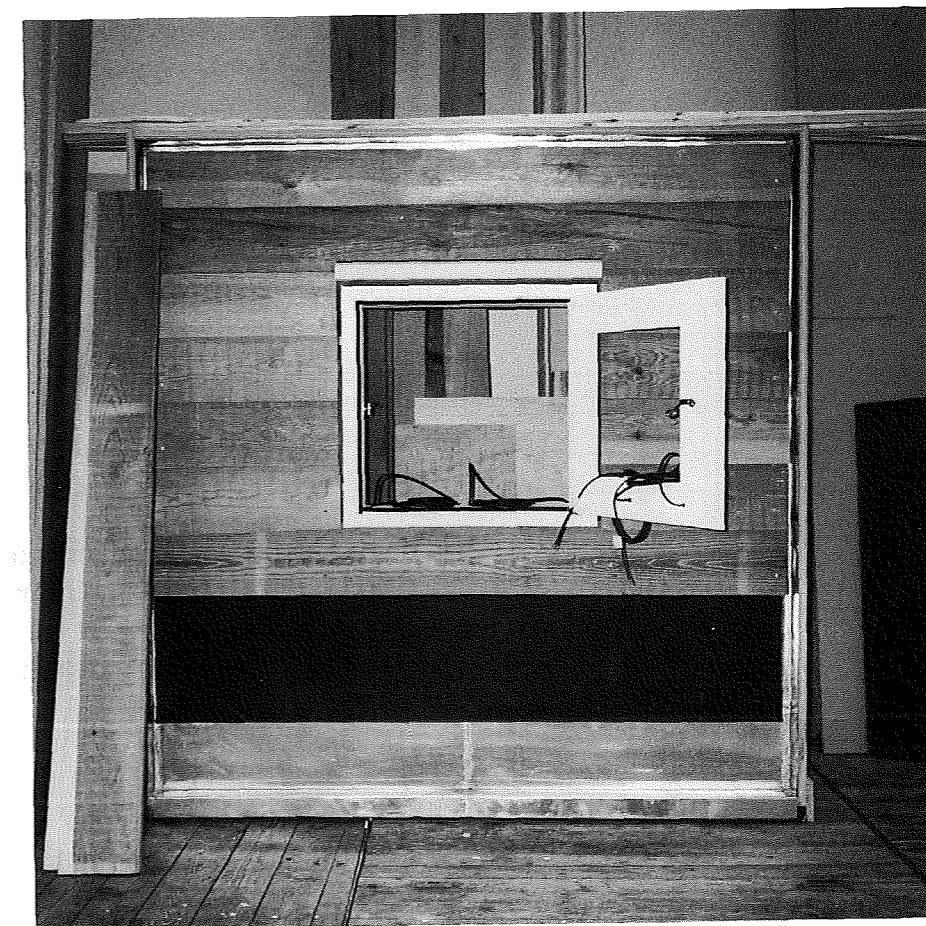
Figur 12. Prøveemne:
Facadeudsnit med vindue.
Tallene refererer til de
fugtmålepunkter, hvor
fugtvariationen er omtalt
for de to forsøg.



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 varmpåvirkning,
- 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.

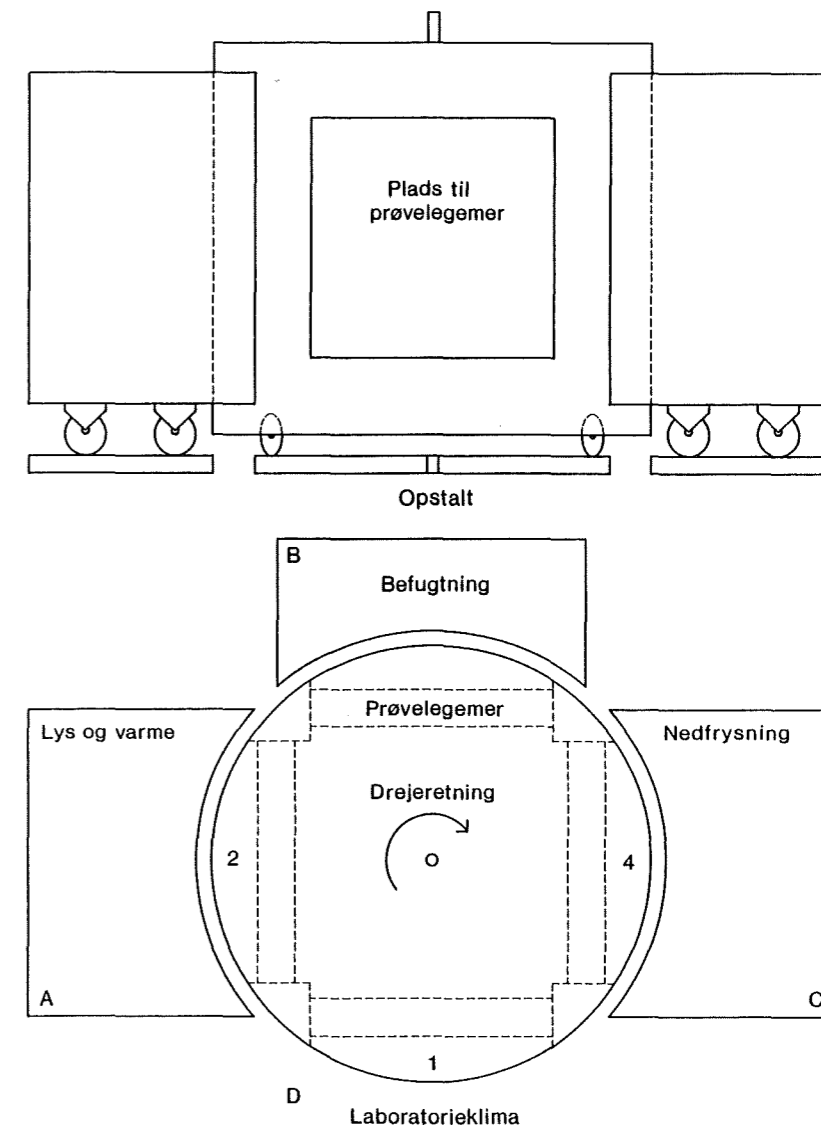
Påvirkningerne

- 1) Lys- og varmpåvirkning 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.

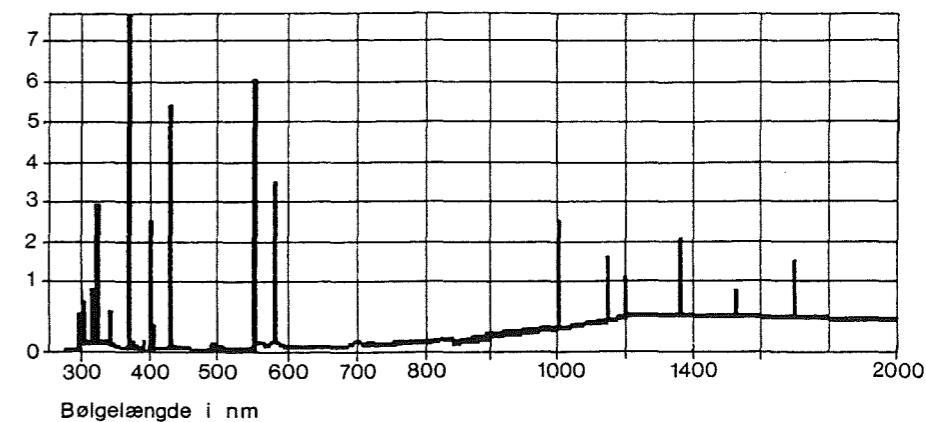
Den valgte eksponeringscyklus var her to timer pr. fase, dvs. en samlet cyklostid på 8 timer i kontinuerlig døgndrift.

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 ¹ 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.

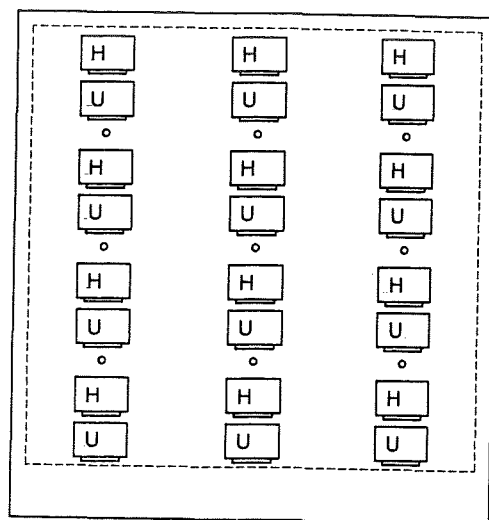
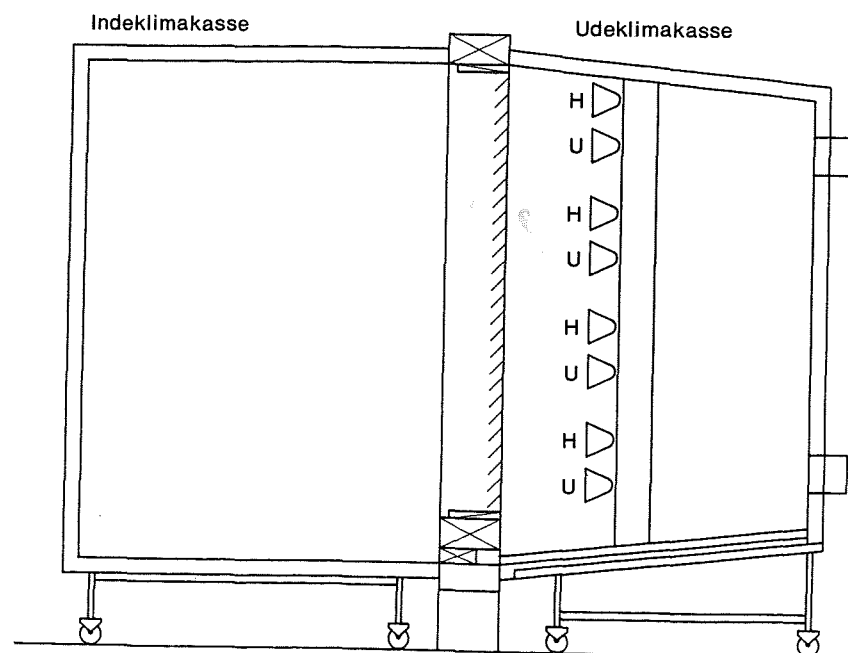
- Sortpladetemperaturen skal stige indtil $75 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ i løbet af 45 minutter fra starten af lysfasen. Temperaturen holdes derefter konstant ved hjælp af ventilation og spændingsregulering af halogenlamperne.
- 2) Befugtningspåvirkning sker ved, at finfordelt demineraliseret vand 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:

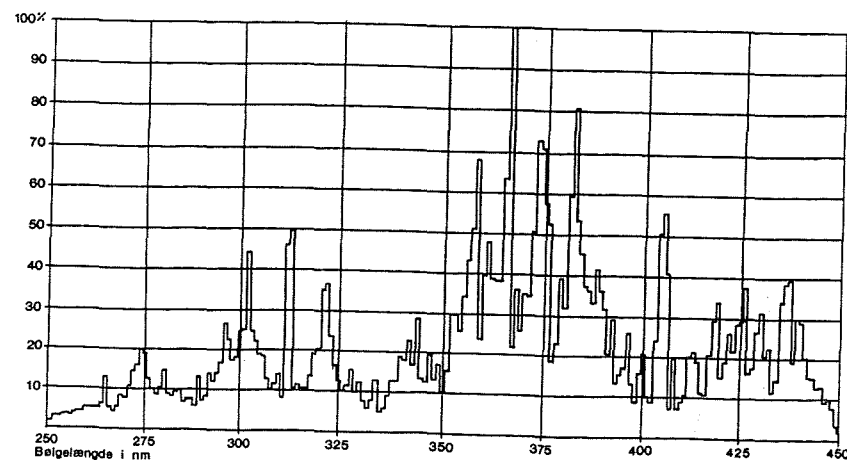
- | | |
|---|--|
| A | 1. Opvarmningsfase 2 t.
2. Befugtningsfase 2 t.
3. Ingen nedkølingsfase
4. Laboratorieklima 2 t.
Cyklustid 6 t. |
| B | 1. Opvarmningsfase 4 t. 50 min + 10 min afbrydelse
2. Befugtningsfase 4 t. 59 min + 1 min afbrydelse
3. Ingen nedkølingsfase
4. Laboratorieklima 1 t. 59 min +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

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



Opstalt af bestrålingsarrangementet 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.

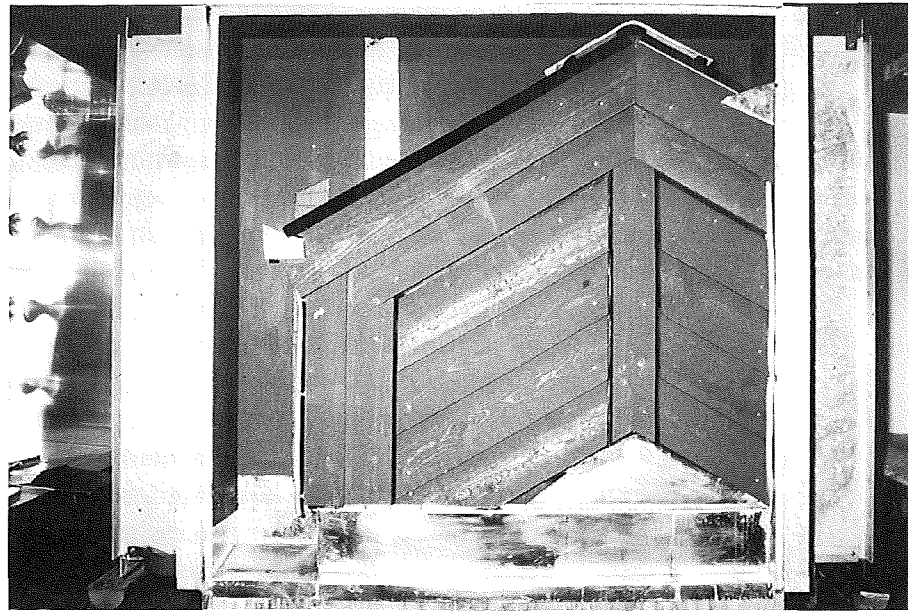
Afprøvningsperiode

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.

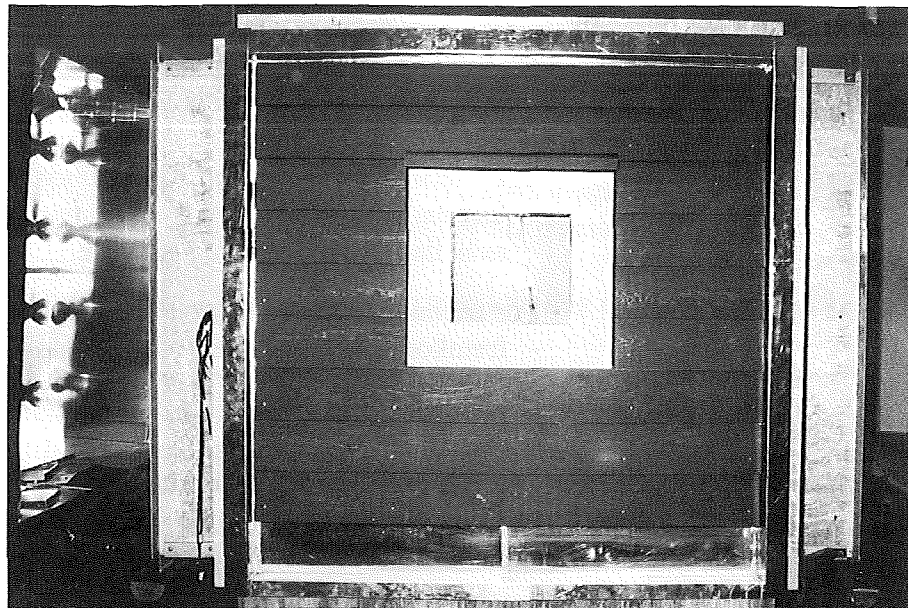
Nedbrydningsforløbet er fotoregistreret efter henholdsvis 1 måneds, 2½ måneds, 5½ måneds og knap 7 måneders eksponeringstid med i alt 300 fotos. I de 14 fugtmålepunkter er der foretaget en manuel måling af fugtindholdet vekslende mellem fire og en enkelt aflæsning af fugtindholdet i hvert målepunkt hver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

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

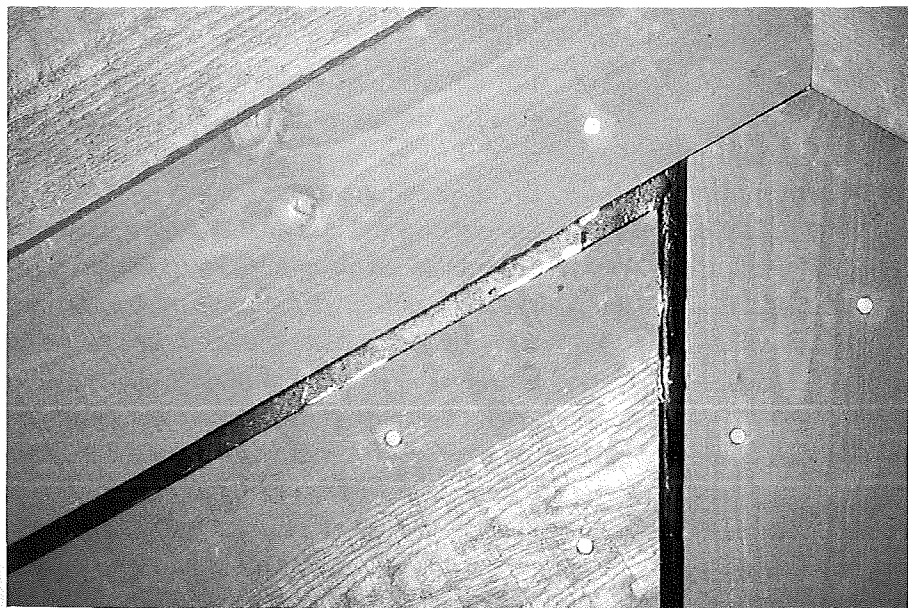
Figur 20. "De fire årstider":
Indbygning af prøveemnet
med gavl i prøvningsud-
styret inden ældning.



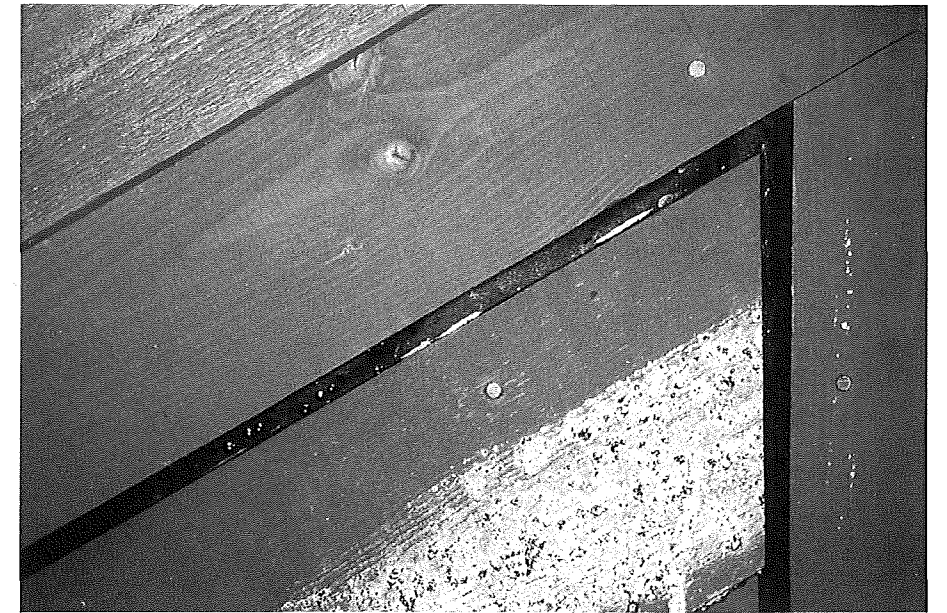
Figur 21. "De fire årstider":
Indbygning af prøveemnet
med vindue i prøvningsud-
styret inden ældning.



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



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



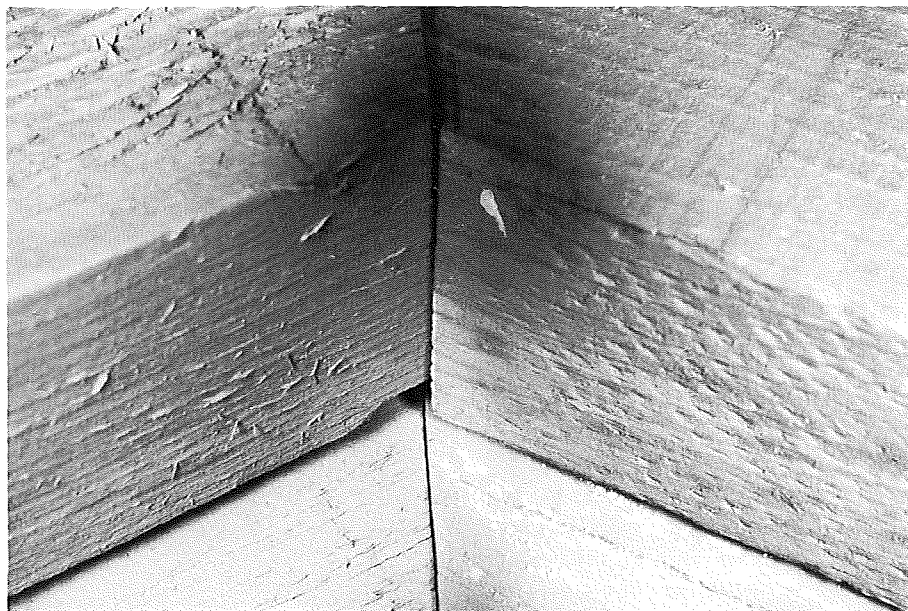
Figur 24. "De fire årstider":
Spidsafslutning af brædde-
beklædning efter 2½ må-
neds ældning.



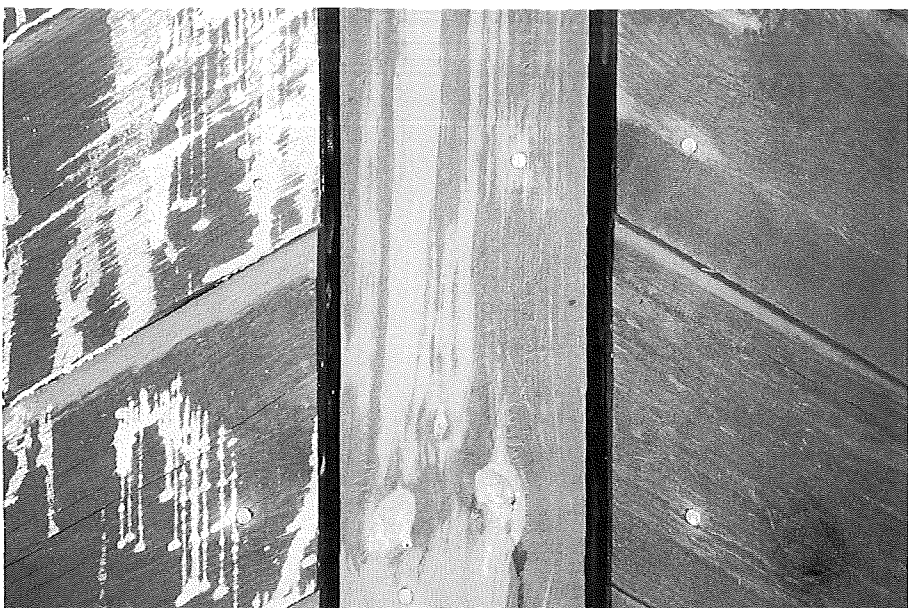
Figur 25. "De fire årstider":
Spidsafslutning af brædde-
beklædning efter 5½ må-
neds ældning.



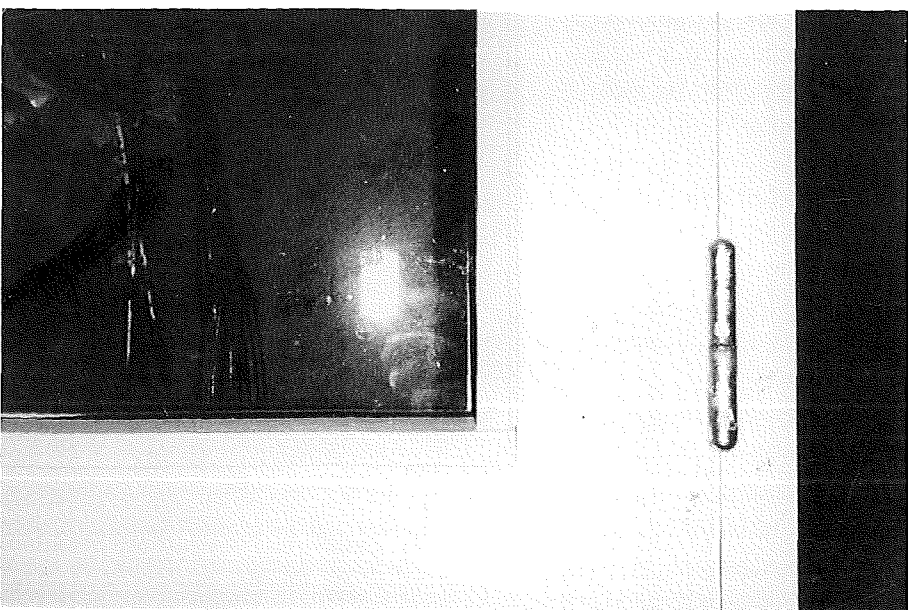
Figur 26. "De fire årstide Samling i sternbræt efter 5½ måneds ældning.



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



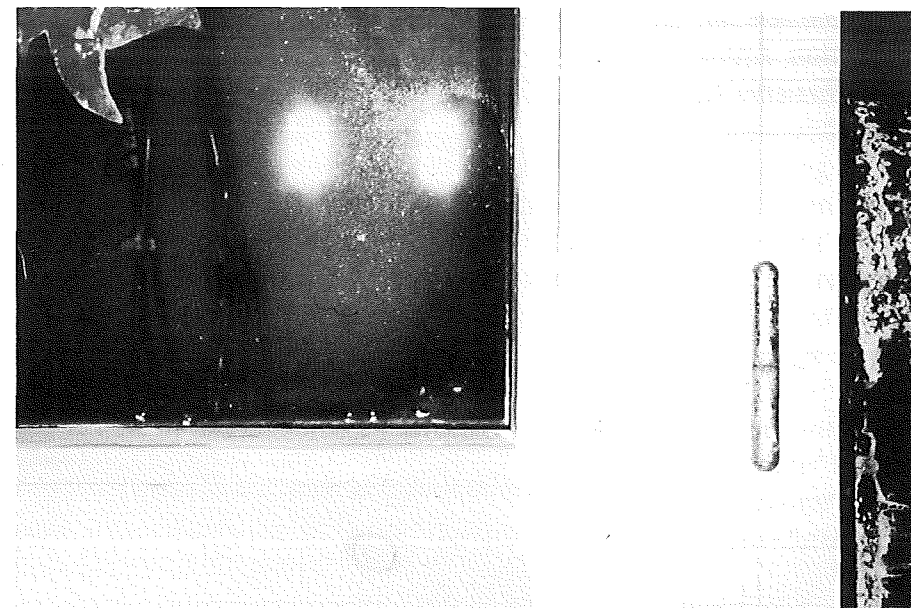
Figur 28. "De fire årstider": Hjørnesamling af vindue før ældning.



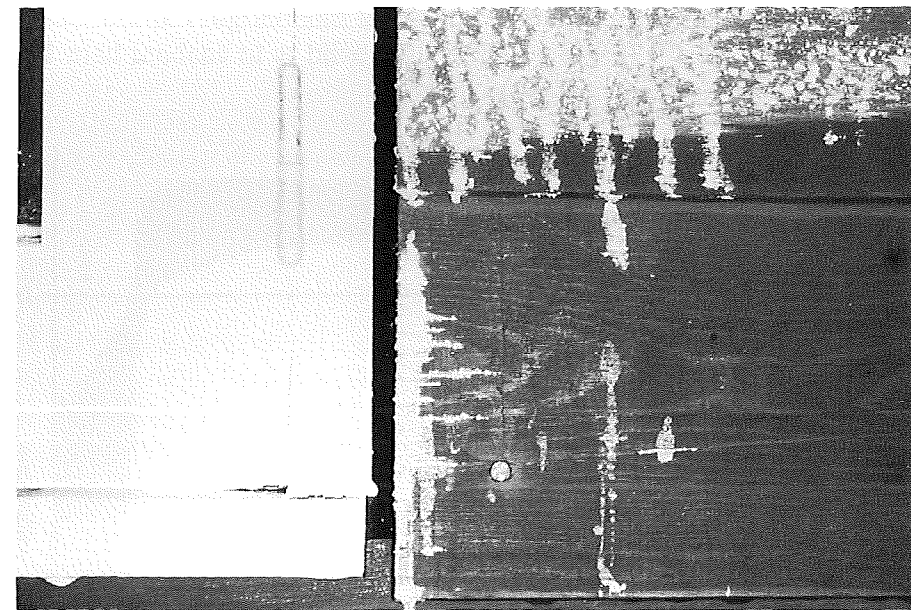
Figur 29. "De fire årstider": Hjørnesamling af vindue efter 1 måneds ældning.



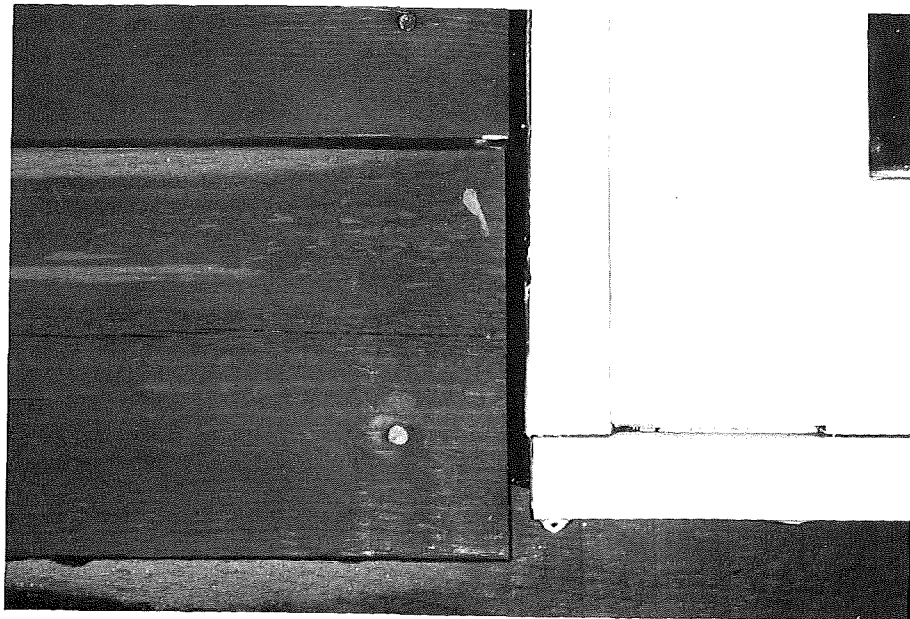
Figur 30. "De fire årstider": Hjørnesamling af vindue efter 2½ måneds ældning.



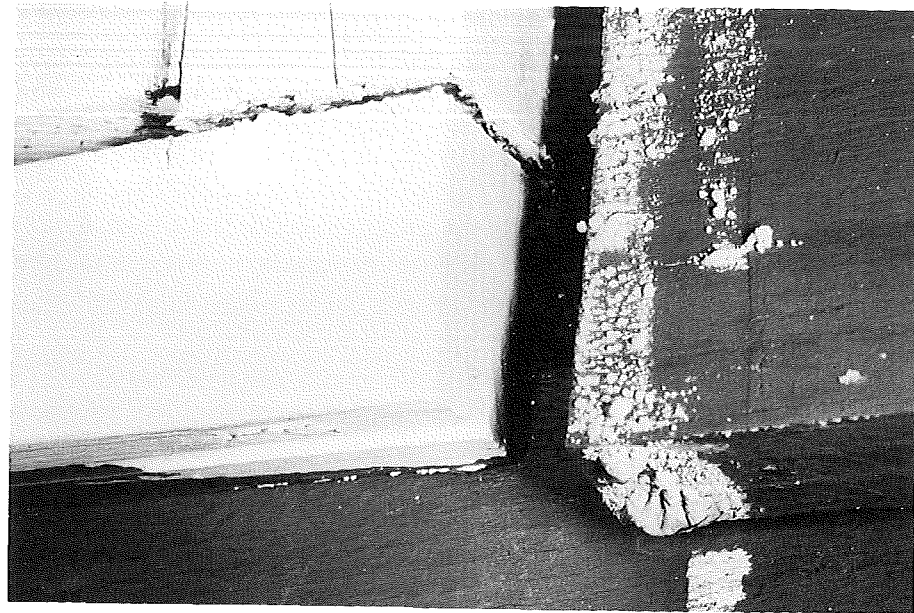
Figur 31. "De fire årstider": Definition. Hjørnesamling af vindue efter 5½ måneds ældning.



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.

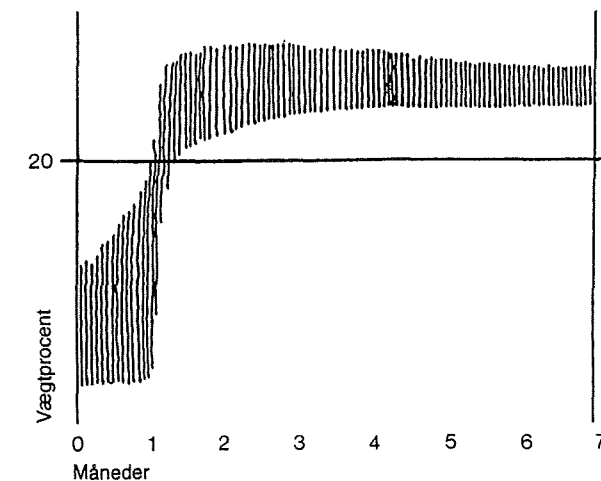
Fugtforløbene er optegnet for at undersøge om hypotesen, at det i det væsentligste er fugtvariationerne i træmaterialer der er bestemmende for ældningshastigheden - altså om det er sandsynligt, at det ved at øge variationerne i den ny klimasimulator også er muligt at fremme nedbrydningsforløbet.

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.

Målepunkt 1

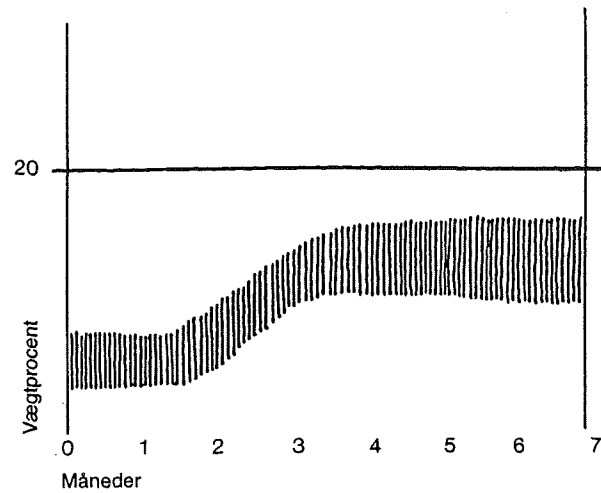
Figur 34. "De fire årstider":
Fugtvariationer i måle-
punkt 1. Stregen angiver
ca. 20 vægtprocent fugtind-
hold.



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.

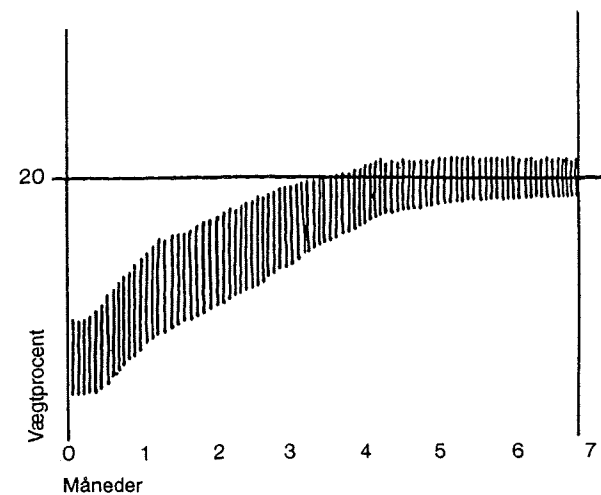
Figur 35. "De fire årstider":
Fugtvariationer i måle-
punkt 3.



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 måle-
punkt 5.

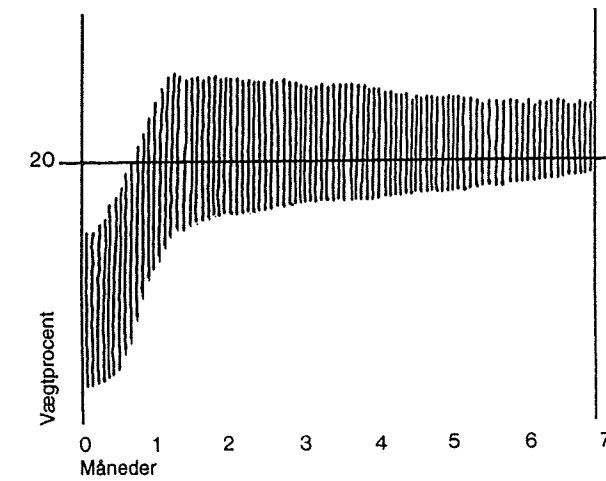


For målepunkt 2, der er placeret i "udsat zone" nær endetræ i facadeelementets bræddebeklædning, målepunkt 4, der er placeret i "udsat zone" nær endetræ i vinduets underkarm, og målepunkt 6, der er placeret i "udsat zone" i hjørnesamlingen på vinduets gående ramme, gælder sammenfattende følgende:

Målepunkt 2

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.

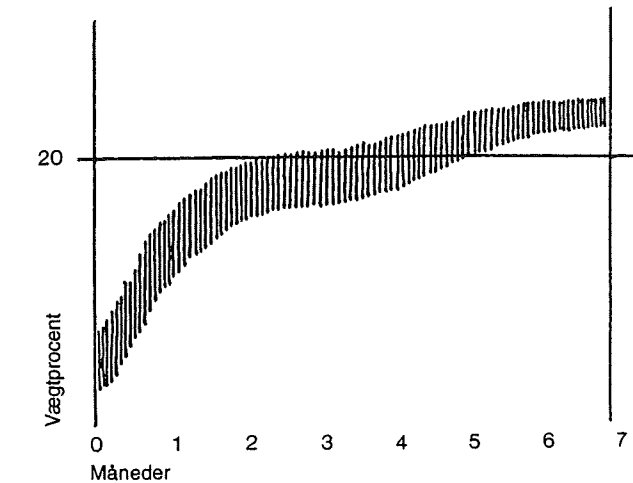
Figur 37. "De fire årstider":
Fugtvariationer i måle-
punkt 2.



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 måle-
punkt 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 måle-
punkt 6.

