

By og Byg Dokumentation 034

# Samlingsdetaljers indflydelse på fugtniveauet i træfacader

# Samlingsdetaljers indflydelse på fugtniveauet i træfacader

Peder Fynholm  
Asta Nicolajsen  
Morten Hjorslev Hansen  
Tove Andersen

Titel	Samlingsdetaljers indflydelse på fugtniveauet i træfacader
Serietitel	By og Byg Dokumentation 034
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2003
Forfattere	Peder Fynholm, Asta Nicolajsen, Morten Hjorslev Hansen, Tove Andersen
Sprog	Dansk
Sidetæl	58
Litteratur-henvisninger	Side 35
English summary	Side 36-37
Emneord	Træfacader, fugt, isolering, facadebeklædninger, samlinger, træforbindelser
ISBN	87-563-1152-4
ISSN	1600-8022
Pris	Kr. 130,00 inkl. 25 pct. moms
Tekstbehandling	Solveig Johansen
Tegninger	Peder Fynholm
Fotos	Jan Carl Westphall
Udgiver	By og Byg Statens Byggeforskningsinstitut, P.O. Box 119, DK-2970 Hørsholm E-post <a href="mailto:by-og-byg@by-og-byg.dk">by-og-byg@by-og-byg.dk</a> <a href="http://www.by-og-byg.dk">www.by-og-byg.dk</a>

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *By og Byg Dokumentation 034: Samlingsdetaljers indflydelse på fugtniveauet i træfacader. (2003)*

# Indhold

Forord .....	5
Sammenfatning og konklusion .....	6
Forsøg .....	6
Konklusion .....	7
Indledning .....	8
Baggrund .....	8
Formål .....	8
Forsøgsbeskrivelse .....	9
Planlægning .....	9
Forsøgsopstilling .....	9
Påvirkninger .....	10
Elementer .....	11
Samlingsdetaljer .....	12
Elementtype 3 .....	15
Elementtype 2 .....	15
Elementtype 1 .....	16
Elementtype 3 (posetætning kontra stopning) .....	16
Målinger .....	16
Løbende fugt- og temperaturmåling .....	16
Manuel træfugtighedsmåling .....	18
Fugtindhold i isoleringen (veje-tørre metoden) .....	19
Visuel observation .....	19
Forsøgsresultater .....	20
Forsøgsforløb .....	20
Fugtindhold i elementerne .....	20
Elementtype 3 .....	21
Elementtype 2 .....	23
Elementtype 1 .....	25
Elementtype 3 (posetætning kontra stopning) .....	26
Fugtindhold i isoleringen .....	28
Diskussion .....	29
Forsøgsresultater .....	30
Elementtype 3 .....	30
Elementtype 2 .....	32
Elementtype 1 .....	33
Elementtype 3 (posetætning kontra stopning) .....	34
Litteraturliste .....	35
Summary .....	36
Tests .....	36
Conclusion .....	37
Bilag 1 Oversigt over temperatur- og fugtmålepunkter .....	38
Bilag 2 Valg af erstatningstemperaturer .....	39
Bilag 3 Fugt- og temperaturmålinger .....	40
Detalje 1 (Elementtype 3) .....	40
Detalje 2 (Elementtype 3) .....	41
Detalje 3 (Elementtype 3) .....	42
Detalje 4 (Elementtype 3) .....	43
Detalje 5 (Elementtype 3) .....	44
Detalje 6 (Elementtype 3) .....	45
Detalje 7 (Elementtype 3) .....	46
Detalje 8 (Elementtype 3) .....	47
Detalje 9 (Elementtype 2) .....	48

Detalje 10 (Elementtype 2) .....	49
Detalje 11 (Elementtype 2) .....	50
Detalje 12 (Elementtype 2) .....	51
Detalje 13 (Elementtype 1) .....	52
Detalje 14 (Elementtype 1) .....	53
Detalje 15 (Elementtype 1) .....	54
Detalje 16 (Elementtype 1 og 3) .....	55
Detalje 20 (Elementtype 3) .....	56
Detalje 21 (Elementtype 3) .....	57
Bilag 4 Oversigt over fugtindholdet i samlingsdetaljerne .....	58

# Forord

Denne By og Byg Dokumentation beskriver resultaterne fra en forsøgsserie, hvor fugtforholdene i forskellige træfacadeelementer er undersøgt i afhængighed af udførte samlingsdetaljer.

Forsøgene er udført i instituttets varm-kold kasse, som en del af projektet *Fugtsikre træfacader*. Der er udført yderligere forsøg i instituttets fugtforsøgs-hus. Disse forsøg rapporteres i selvstændige By og Byg dokumentationer.

Projektet *Fugtsikre træfacader* er udført i samarbejde med Træbranchens Oplysningsråd og er blevet støttet af Produktudviklingsordningen for Skovbruget og Træindustrien under Skov- og Naturstyrelsen samt af en række virksomheder.

Bag projektet er nedsat en arbejdsgruppe med repræsentanter fra træelementproducenter, materialeproducenter og -leverandører, Teknologisk Institut og Danmarks Tekniske Universitet.

Deltagere i arbejdsgruppen fra virksomheder der har støttet projektet:

Erland Michael Jensen, Dansk Eternit  
Erik Johansen, Dansk Eternit (fra 01.12.2000)  
Knud Johansen, V. Burcharth & Søn A/S  
Carsten Kildevang, Palsgaard Træ A/S  
Marina Mazin, Rockwool A/S  
Vagn Nygaard, Gyproc A/S  
Poul H. Olsen, Chr. Jensen & Sønner A/S  
Thomas Larsen, Chr. Jensen & Sønner A/S (fra 01.05.2000)  
Erik Petersen, Ivarsson & Co. A/S  
Michael Petersen, Saint-Gobain Isover A/S  
Lauritz Rasmussen, Tåsinge Træ A/S  
Lars Sørensen, BM Tagkassetter ApS  
Ove Ørndrup Madsen, Ranum Byggemontering.

Øvrige deltagere i arbejdsgruppen:

Kurt Kielsgaard Hansen, Danmarks Tekniske Universitet  
Bjarne Lund Johansen, Træbranchens Oplysningsråd  
Søren Meyer, Træbranchens Oplysningsråd  
Carsten Rode, Danmarks Tekniske Universitet  
Martin Vestergaard, Teknologisk Institut  
John Adelhøj, Teknologisk Institut (fra 01.11.2000).

By og Byg takker de medvirkende for samarbejdet.

By og Byg, Statens Byggeforskningsinstitut  
Afdelingen for Byggeteknik og Produktivitet  
December 2002

*Jørgen Nielsen*  
Forskningschef

# Sammenfatning og konklusion

Interessen for anvendelsen af miljørigtige byggematerialer, herunder facadeelementer af træ, er i de senere år øget betydeligt. Samtidig er der fremskredne planer om at øge kravene til isoleringsevnen af bygningens klimaskærm. Det må derfor forventes, at fremtidens ydervægge skal isoleres væsentligt mere.

En forøget isolering kunne frygtes at medføre en radikal ændring af fugtforholdene i træfacadeelementer og dermed på holdbarheden af trædelene i facadeelementet.

På denne baggrund har By og Byg fået en bevilling fra Produktudviklingsordningen for Skovbruget og Træindustrien under Skov- og Naturstyrelsen til at undersøge om højisolerede træfacader fungerer fugtteknisk korrekt. Denne By og Byg Dokumentation er en afrapportering af den anden forsøgsrunde.

I den første forsøgsrunde er fugtforhold i træfacader undersøgt i instituttets fugtforsøgshus i afhængighed af følgende parametre: konstruktionsopbygning, isoleringstykkelse, isoleringsmateriale, dampspærre/dampbremse og ventilationsspalte. Ud fra de gennemførte forsøg og opstillede kriterier blev det vurderet, at øgede krav til isoleringsevnen svarende til 285 mm mineraluldsisolering vil kunne accepteres i højisolerede træfacader set ud fra et fugtteknisk synspunkt (Andersen, Fynholm, Hjorslev Hansen & Nicolajsen, 2002).

## Forsøg

I denne forsøgsrunde er der udvalgt tre forskellige elementtyper fra første runde for at undersøge, hvilken påvirkning fejl i samlingsdetaljerne har på fugtforholdene. Der er foretaget undersøgelse af følgende parametre:

- Samling af dampspærren med tape/ingen samling.
- Korrekt udført stopning af fugen/ingen stopning.
- Diffusionsåben /diffusionstæt fugning udvendig.
- Plastomsvøbt isolering (posetætning)/stopning af fugen.

Derudover er der et element med et hul i dampspærren.

De i alt 18 elementer blev monteret i instituttets varm-kold kasse, hvor en vinters fugtbelastning kan påføres i løbet af ca. 11 uger.

Fugtindholdet i elementerne blev registreret med fugtmåledyvlere anbragt i konstruktionstræet nær henholdsvis den indvendige og udvendige side af elementet.

Efter ca. 11 ugers påvirkning havde køleanlægget et driftsstop, hvilket medførte at temperaturen på den kolde side steg til ca. 30 °C. Det kunne konstateres at der løb vand ned gennem og udover elementerne. Vandet skønnes at stamme fra is der har været opbygget mellem elementerne i den øverst række og den metalramme som limtræsrammen, hvori forsøgsselementerne er monteret, er foret med.

Efter yderligere en 11 ugers periode blev forsøget stoppet og elementerne åbnet. Fugtindholdet ved elementhjørnerne, målt med elektrisk træfugtighedsmålere, udviste store variationer. Dette bekræfter skønnet om, at der var løbet vand ned i elementerne i forbindelse med køleanlæggets driftstop. Fugtindholdet målt ved fugtdyvlere, med elektrisk træfugtighedsmålere, lå på samme niveau som fugtindholdet registreret med fugtdyvlere.

Forsøgsresultaterne er derfor tolket ud fra de løbende målingerne foretaget med fugtdyvlere.

## **Konklusion**

Fugtindholdet i konstruktionstræet i elementer med fejl i samlingerne ligger højere end i elementer uden fejl. Fugtindholdet er tilsyneladende på et acceptabelt niveau, det vil sige under 20 vægt-%, men fra den første forsøgsrunde i fugtforsøgshuset vides at fugtindholdet i isoleringen bag vindspærren er 2-3 % højere end i konstruktionstræet. Det kan derfor ikke udelukkes, at der kan være steder i elementet, hvor fugtindholdet bliver for højt.



# Indledning

## Baggrund

I de senere år er interessen for anvendelsen af miljørigtige byggematerialer øget betydeligt. Dette medfører, at også interessen for anvendelsen af facadeelementer af træ må forudses at blive styrket i de kommende år. Da der er fremskredne planer om at øge kravene til isoleringsevnen af bygningers klimaskærm, må det forventes, at fremtidens ydervægge skal isoleres svarende til en isoleringstykkelse på omkring 300 mm mineraluld.

En så kraftig isolering kunne frygtes at medføre en radikal ændring af fugtforholdene i træfacadeelementer. Dette forhold ville kunne få indflydelse på holdbarheden af trædelene i facaden og på den form for vedligeholdelse af overfladen, som skal finde sted.

Hvis anvendelsen af træfacader skal øges, er det vigtigt, at der kan redegøres for de fugttekniske forhold, som det er nødvendigt at tage hensyn til, når der skal konstrueres fugtsikre træfacader med god isoleringsevne.

## Formål

Projektets overordnede formål er, at undersøge om højisolerede træfacader fungerer fugtteknisk korrekt. På baggrund af en analyse af forholdene fastlægges en serie undersøgelser, hvor betydningen af en række kritiske faktorer bestemmes. På dette grundlag vil det være muligt at udarbejde vejledninger og andet materiale, som gør det muligt for de projekterende og udførende at konstruere og udføre træfacader med en høj grad af fugtsikkerhed.

Projektets overordnede spørgsmål er: "Vil det stadig være muligt at udføre fugtsikre træfacader, hvis isoleringskravene øges svarende til ca. 300 mm mineraluld?".

Formålet med dette delprojekt er at undersøge, hvor stor indflydelse fejl i udførelsen af samlinger har på fugtophobningen i træfacadeelementer.

# Forsøgsbeskrivelse

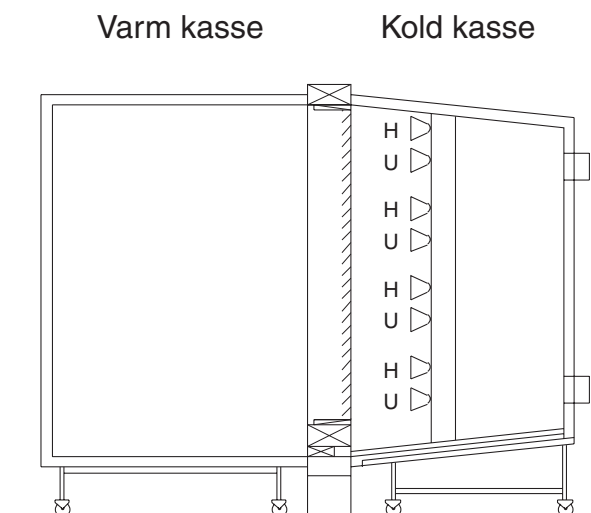
## Planlægning

Der blev planlagt en forsøgsserie, hvor fugtforholdene i samlingsdetaljer mellem 18 forskellige træelementer blev undersøgt i laboratoriet. Samlingsdetaljerne mellem elementerne skulle undersøges under forhold svarende til en dansk vinterperiode.

## Forsøgsopstilling

Elementerne blev, i laboratoriet, indbygget i en varm-kold kasse, hvor det er muligt at kontrollere klimaet på hver side af elementerne. Ved at udsætte elementerne for temperatur- og fugtpåvirkninger svarende til danske vinterforhold kan de fugttekniske forhold registreres i afhængighed af samlingsdetaljernes udførelse.

Det er vigtigt, at de fugtbelastninger, som påføres i laboratoriet, svarer til de påvirkninger elementerne ville blive udsat for, hvis de befandt sig i det naturlige klima. I varm-kold kassen er det muligt at vælge temperatur, relativ luftfugtighed (samt tryk) på hver side af elementerne. Varm-kold kassen består af en limtræsramme med lysningsmål 3200 × 3010 mm, hvori elementerne er indbygget, se figur 1.



Figur 1. Principtegning af varm-kold kasse.

Den kolde kasse består af en kraftig isoleret kasse, der ind- og udvendig er beklædt med aluminium for at undgå kondens i isoleringen. Klimaforholdene bestemmes af den luft, der blæses ind i kassen fra et køleanlæg. Temperaturniveauet kan indstilles, men ikke fugtniveauet. Fugtniveauet bliver bestemt ved at luftens dugpunktstemperatur bliver lig med temperaturen på køleanlæggets køleflade.

Den varme kasse er en isoleret trækasse, der ligesom den kolde kasse er på hjul, så den kan køres væk når elementerne monteres. Temperatur- og fugtforhold i den varme kasse kan reguleres, så længe niveauet er over omgivelsernes niveau.

## Påvirkninger

Til fastlæggelse af forsøgsperiodens varighed og fugtpåvirkningen i varm-kold kassen benyttes begrebet "fugtdøgn". Begrebet "fugtdøgn" defineres som forskellen mellem damptrykket inde og ude summeret over den periode, hvori der er risiko for kondensation i konstruktionen. Kondensationssæsonen strækker sig over den periode, hvori udetemperaturen er under 13,5 °C, som er dugpunktstemperaturen for et rumklima på 23 °C og 50 % RF. Referenceårets fugtdøgn kan bestemmes som:  $(1405 \text{ Pa} - 712 \text{ Pa}) \cdot 240 \text{ døgn} \approx 166.000 \text{ Pa døgn}$ . En uddybende forklaring er angivet i (Nicolajsen, 1978).

Der ønskes et højt damptryk i den varme kasse for at få en acceleration af påvirkningerne, derfor vælges en temperatur på 30 °C i den varme kasse. For at opnå en placering af frostfronten i elementerne i laboratoriet, der svarer til frostfrontens placering under naturlige forhold med en inde- og udetemperatur på henholdsvis 23 °C og -5 °C, skal temperaturen T i den kolde kasse være -7 °C, jf. nedenstående ligning.

$$\frac{(0 - T)}{30 - 0} = \frac{0 - (-5)}{23 - 0} \Rightarrow T = -\frac{0 - (-5)}{23 - 0} 30 \approx -7^\circ\text{C}$$

I tabel 1 er de teoretisk bestemte klimapåvirkninger til forsøg i varm-kold kasse angivet.

Tabel 1. Teoretisk bestemte klimapåvirkninger til forsøg i varm-kold kasse.

	Temperatur °C	Relativ luftfugtighed % RF	Damptryk Pa	$\Delta$ Damptryk Pa
Varm side	30	60	2547	2257
Kold side	-7	80	290	

Forsøgsperiodens varighed findes ud fra damptryksforskellen og referenceårets "fugtdøgn".

$$\text{Varighed} = \frac{166.000 \text{ Pa døgn}}{2257 \text{ Pa}} = 74 \text{ døgn} \approx 11 \text{ uger}$$

I forbindelse med det aktuelle forsøg registreres temperatur og relativ luftfugtighed i varm-kold kasse. Den samlede forsøgsperiode løb fra den 24. november 1998 til 12. april 1999 (døgn 0 – 139). I løbet af den periode blev elementerne udsat for to forskellige klimapåvirkninger. I tabel 2 er de registrerede klimapåvirkninger angivet.

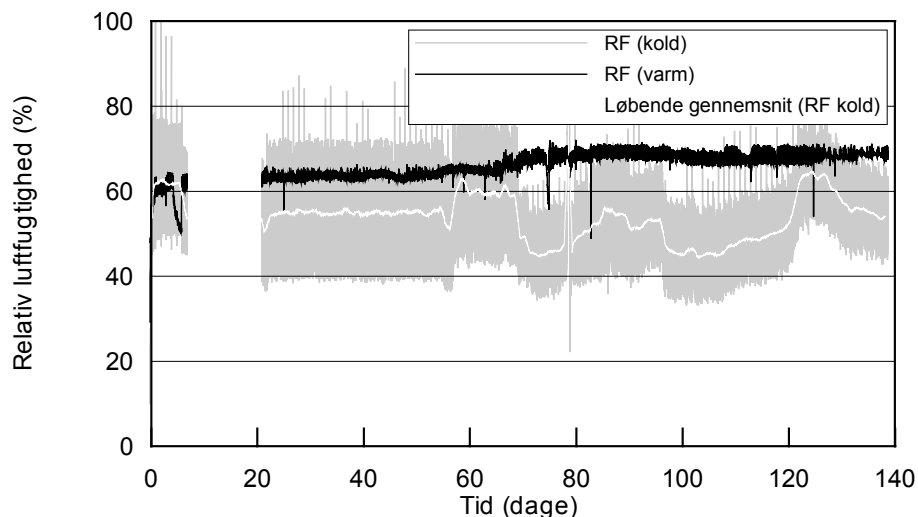
Tabel 2. Aktuelle gennemsnitlige klimapåvirkninger ved forsøg i varm-kold kasse, se også figur 2 og 3.

Periode	Side	Temperatur °C	Relativ luftfugtighed %	Damptryk Pa	$\Delta$ Damptryk Pa
1.	Varm	31	64	2775	2543
	Kold	-5	56	232	
2.	Varm	31	68	2950	2678
	Kold	-2	52	272	

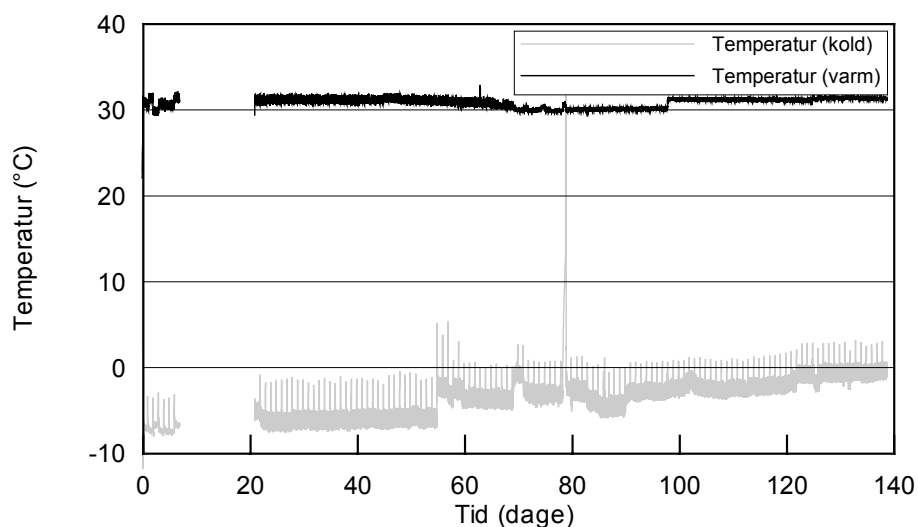
Varigheden af de to forsøgsperioder var henholdsvis 69 og 70 døgn. Antallet af fugtdøgn kan således bestemmes som:  $2543 \text{ Pa} \cdot 69 \text{ døgn} = 175.467 \text{ Pa døgn}$  for 1. periode og  $2678 \text{ Pa} \cdot 70 \text{ døgn} = 187.460 \text{ Pa døgn}$  for 2. periode, og ligger dermed over referenceårets fugtdøgn på 166.000 Pa døgn. Klimapåvirkningerne i varm-kold kasse svarer således til mere end to af referenceårets vinterperioder.

En grafisk afbildning af klimapåvirkningerne i varm-kold kasse er vist i figur 2 og figur 3. I figur 3 bemærkes det specielt, at køleanlægget havde driftsstop døgn 78, hvorfor der ses en voldsom stigning i temperaturen i den

kolde kasse. Endvidere ses det, at der i perioden døgn 8 – 14 ikke er måledata fra klimaet i varm-kold kassen.



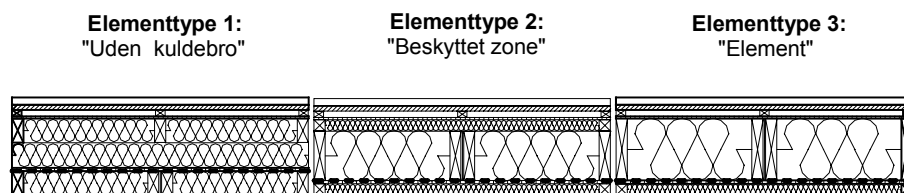
Figur 2. Relativ luftfugtighed i varm-kold kasse i forsøgsperioden 24.11.1998 til 12.4.1999 (døgn 0-139). Som det fremgår er der stor variation i den relative fugtighed i den kolde kasse. Den hvide streg markerer en gennemsnitlig relativ fugtighed i den kolde kasse udregnet som løbende gennemsnit over et døgn.



Figur 3. Temperatur i varm-kold kasse i forsøgsperioden 24.11.1998 til 12.4.1999 (døgn 0-139)

## Elementer

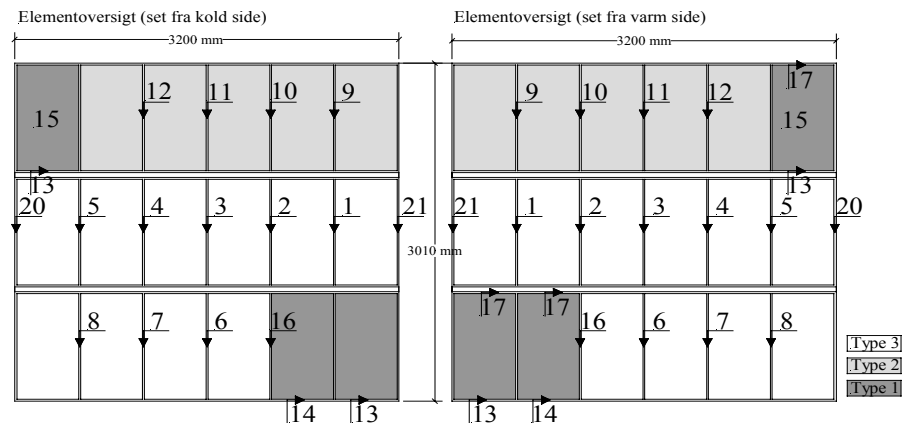
I laboratorieforsøget er der taget udgangspunkt i tre elementtyper fra 1. forsøgsrunde i fugtforsøgshuset (Andersen et al., 2002). I figur 4 ses de 3 elementtyper, som anvendes til forsøgene i laboratoriet.



Figur 4. Elementtyper undersøgt i varm-kold kasse.

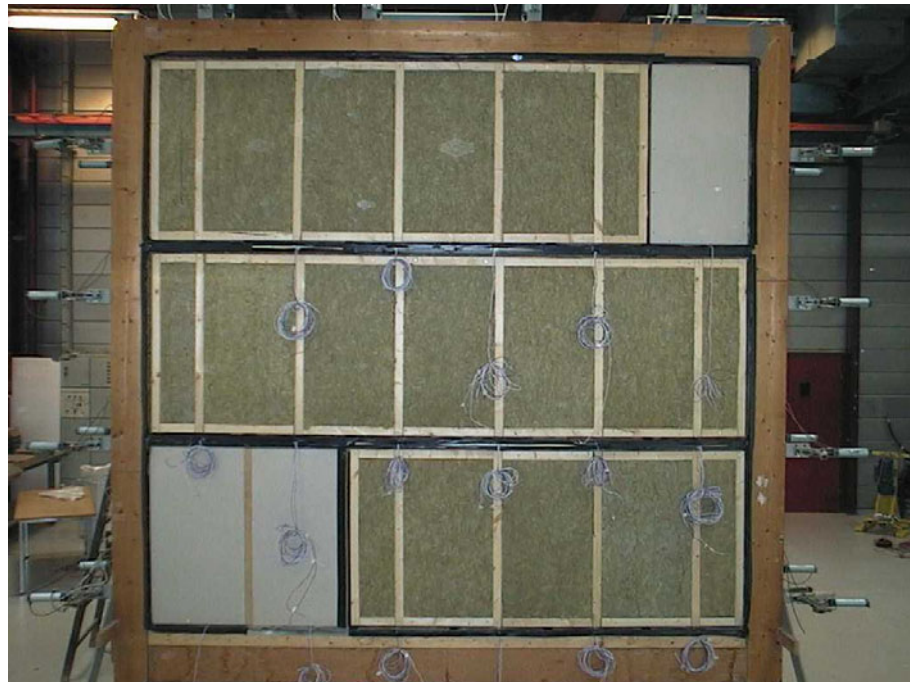
I laboratoriet blev elementerne indbygget uden den udvendige beklædning, da elementerne ikke blev udsat for klimapåvirkninger i form af nedbør.

Elementerne blev fremstillet med målene: 515 × 943 mm og indbygget i den varm-kolde kasse, der har et lysningsmål på 3200 × 3010 mm. De 18 elementer blev monteret i 3 rækker med 6 elementer i hver række, se figur 5 og figur 6.



Figur 5. Elementernes placering i laboratoriets varm-kold kasse. På tegninger er angivet elementtype og placering af de detaljer der undersøges med tilhørende fugtmåledyvlér.

Der blev undersøgt 18 forskellige samlingsdetaljer (1-16 + 20-21) nummereret som vist i figur 5. Hovedparten af samlingsdetaljerne var element-samlinger, hvor opbygning og fugeudformningen blev varieret. Derudover blev betydning af et hul i dampspærre undersøgt.



Figur 6. Elementerne placeret i varm-kold kasse set ud fra varm siden inden monteringen af de sidste gipsplader.

## Samlingsdetaljer

I forsøgene undersøgte 3 forskellige elementtyper med forskellig udførelse af samlingsdetaljerne. Samlingsdetaljerne blev udført med forskellige typer af fejl for at undersøge betydningen for fugtindholdet i konstruktionerne. De undersøgte samlingsdetaljer var udført med 0, 1, 2 eller 3 fejl. Følgende varianter af samlingsdetaljer blev undersøgt:

- Indvendig tætning
  - samling af dampspærre med tape

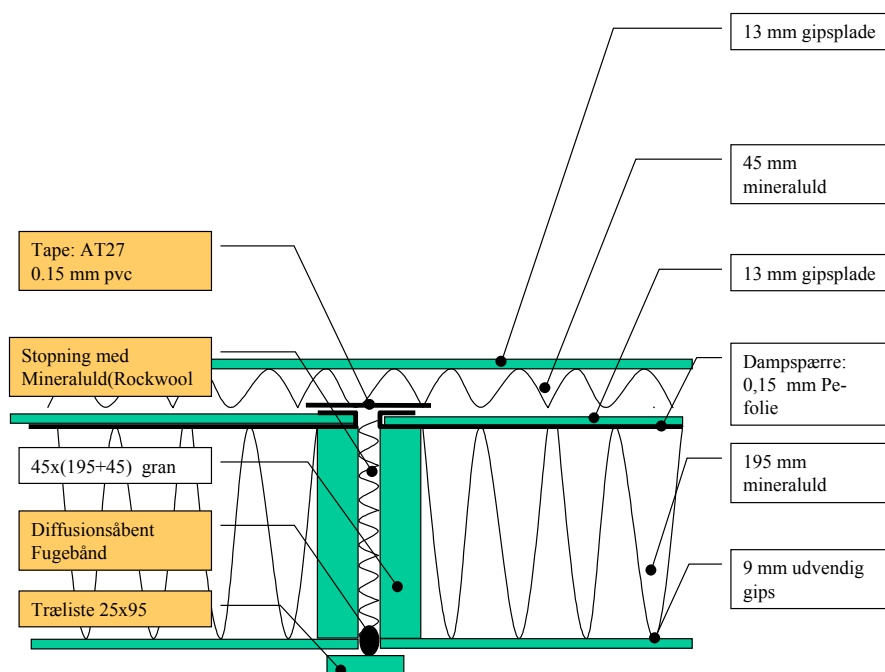
- ingen samling af dampspærre.
- Stopning af fugen
  - korrekt udført stopning af fugen
  - ingen stopning af fugen.
- Udvendig tætning
  - diffusionsåben udvendig
  - diffusionstæt udvendig.

Derudover blev enkelte samlinger, hvor tætningen af fugen er udført ved hjælp af plastomsvøbt isolering (posetætning), undersøgt. Endelig blev der fremstillet et enkelt element med et hul i dampspærren for at undersøge en eventuel indvirkning på fugtforholdene i konstruktionstræet omkring fugerne. I tabel 3 er givet en oversigt over undersøgte samlingsdetaljer og udførelsesfejl.

Tabel 3. Oversigt over undersøgte samlingsdetaljer og udførelsesfejl med tilhørende målepunktsnumre. De korrekt udførte samlingsdetaljer er skraverede.

Elementtype	Detalje nr.	Antal udførelsesfejl	Udvendig			Fuge			Indvendig			Fugt føler nr.
			Diffusionsåben	Diffusionstæt	Fugebånd	Korrekt stopning	Ingen stopning	Posetætning	Samling af dampspærre	Ingen samling af dampspærre	Utæt dampspærre	
3	1	1		✓		✓			✓			1, 2
	2	2		✓			✓		✓			3, 4
	3	2		✓		✓				✓		5, 6
	4	3		✓			✓			✓		7, 8
	5	0	✓			✓			✓			9, 10
	6	1	✓				✓		✓			11, 12
	7	1	✓			✓				✓		13, 14
	8	2	✓				✓			✓		15, 16
2	9	0				✓			✓			17, 18
	10	1					✓		✓			19, 20
	11	1				✓				✓		21, 22
	12	2					✓			✓		23, 24
1	13	0							✓			25, 26
	14	1								✓		27, 28
	15	1									✓	29, 30
3	16	1	✓					✓		✓		31, 32
	20	0			✓			✓	✓			33, 34
	21	0			✓	✓			✓			35, 36

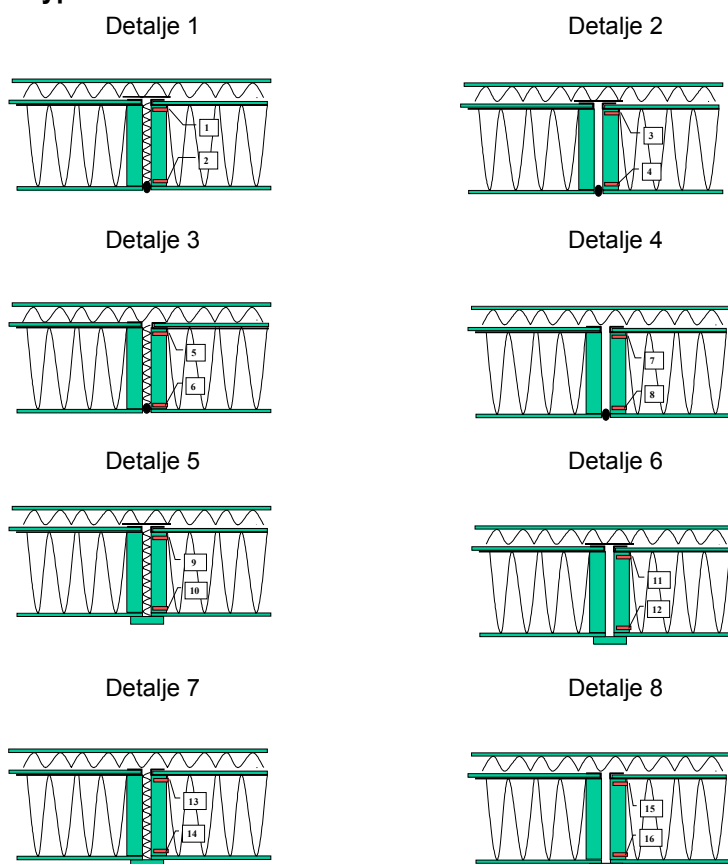
De anvendte materialer i samlingsdetaljerne er vist på figur 7.



Figur 7. Principskitse over de anvendte materialer i de forskellige samlingsdetaljer. Her optegnet for elementtype 3. De skraverede felter er parametre der varierer.

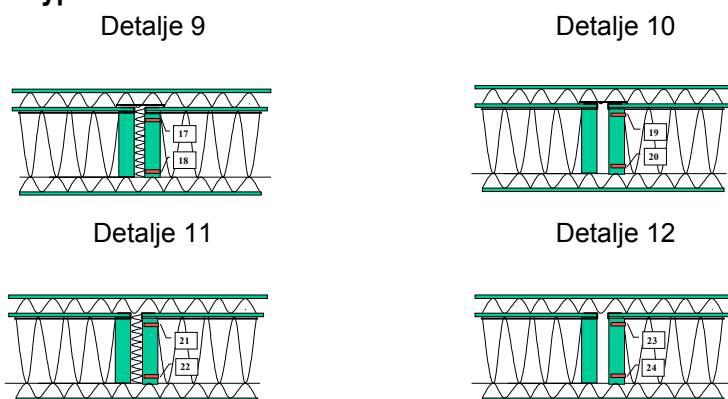
På figur 8 - figur 11 ses de undersøgte samlingsdetaljer for de 3 elementtyper:

### Elementtype 3



Figur 8: Samlingsdetaljer for elementtype 3 med placering af målepunkter.

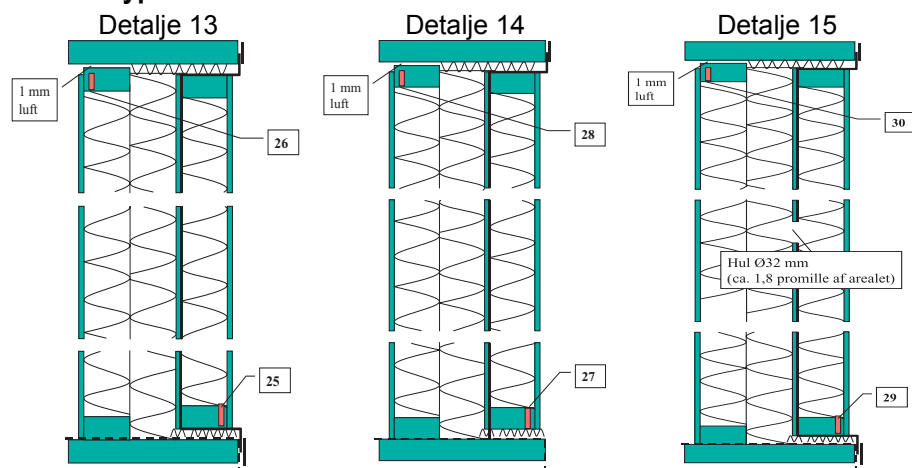
### Elementtype 2



Figur 9: Samlingsdetaljer for elementtype 2 med placering af målepunkter.

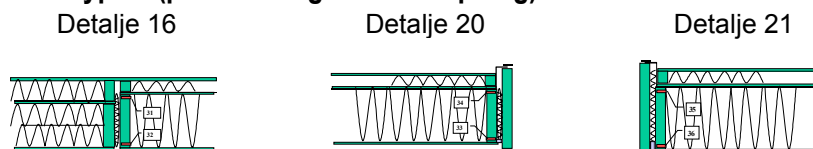


## Elementtype 1



Figur 10: Samlingsdetaljer for elementtype 1 med placering af målepunkter.

## Elementtype 3 (posætning kontra stopning)



Figur 11: Samlingsdetaljer for elementtype 3 (posætning kontra stopning) med placering af målepunkter.

## Målinger

### Løbende fugt- og temperaturmåling

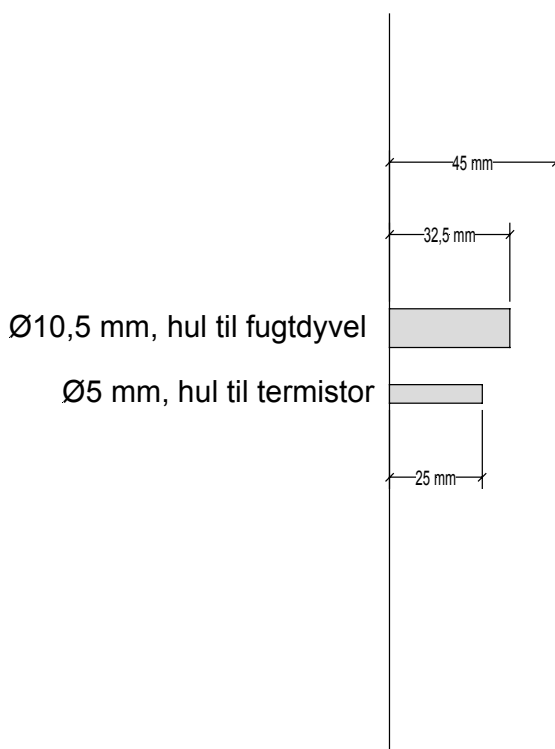
Fugt- og temperaturfølere var placeret i målepunkter ved samlingsdetaljerne for at foretage løbende målinger. Fugtfølerne var fugtmåledyvlere (af bøgetræ) og temperaturfølerne var termistorer. Der blev målt både indvendigt og udvendigt i konstruktionen.

Der var i alt 36 fugtfølere og 36 temperaturfølere i 36 målepunkter i forsøgsopstillingen. Målepunkterne blev nummereret 1-36. Følerne blev nummeret 1-36 efterfulgt af et F eller et T for at angive, om der var tale om en fugt- eller temperaturføler. Bilag 1 viser en oversigt over placeringen af fugt- og temperaturmålepunkterne i forsøgsopstillingen.



Figur 12. Fugt- og temperaturfølere var placeret i konstrukstræet i en afstand på ca. 10 mm fra kanten.

Målepunkternes placering i konstrukstræet fremgår af figur 12. Målepunkterne var placeret midt på i de lodretstående stolper for detalje 1-12 og detalje 16-21, og midt i top-/bundrem for detalje 13-15. I det 45 mm tykke konstrukstræ var der boret huller med en dybde på henholdsvis 32,5 mm og 25,0 mm for fugtmåledyvlere og termistorer, se figur 13.



Figur 13. Fugtmåledyvel og termistor var placeret i konstrukstræet i huller med en dybde på henholdsvis 32,5 mm og 25 mm.

Fugtindholdet blev bestemt ved at måle den elektriske modstand mellem to måleelektroder i fugtdyvel af bøgetræ. Modstanden blev omsat til et fugtindhold, idet der blev korrigeret for temperaturafhængighed. Alle resultater (også fra refererede målinger af fugt i isoleringsmateriale) er angivet som vægt-% fugt i træ, dvs. svarende til fugtindholdet i dyvlerne. Fugtindhold

under 11 % blev ikke registreret, da der, med den anvendte måleteknik, er stor usikkerhed forbundet med bestemmelse af fugtindholdet under dette niveau.

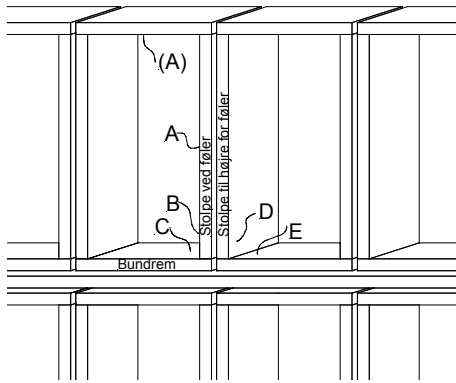
I løbet af forsøgsperioden ophørte enkelte temperaturfølere med at fungere. For stadigvæk at kunne bestemme fugtindholdet blev de "ødelagte" temperaturmålinger erstattet med temperaturmålinger fra følere placeret i tilsvarende punkter andre steder i forsøgsopstillingen. Der blev valgt erstatningstemperaturer fra målepunkter med et tilnærmelsesvis sammenligneligt temperaturforløb. I bilag 2 er de valgte erstatningstemperaturer beskrevet. (En temperaturændring på 10 °C giver en fugtændringer på ca. 1 vægt-%).

### **Manuel træfugtighedsmåling**

Som supplement til den løbende bestemmelse af fugtindholdet i samlingsdetaljerne, udførtes ved forsøgets afslutning målinger af fugtindholdet med en elektrisk træfugtighedsmåler (Bilag 4). Der blev målt fugtindhold i træet omkring følerne og i træet i elementernes rammehjørner, se figur 14 og figur 15.



Figur 14. Eksempel på bestemmelse af fugtindhold med elektrisk træfugtighedsmåler i et elementhjørne.



Figur 15. Principskitse over placering af elektriske træfugtighedsmålinger (Bilag 4) efter forsøgsafslutning (kold side). (A) angiver placering af målinger ved samplingsdetalje 13, 14 og 15.

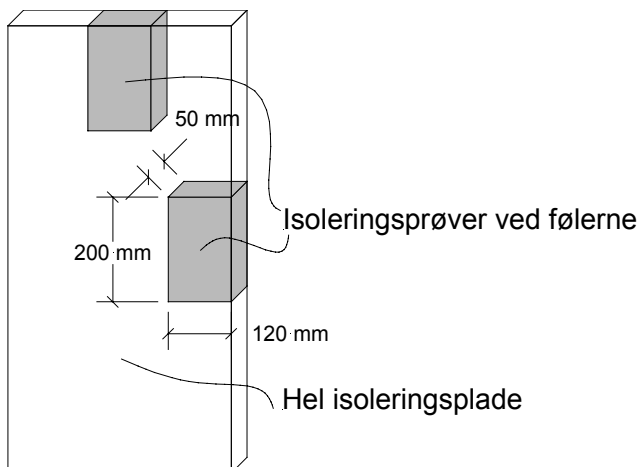
### Fugtindhold i isoleringen (veje-tørre metoden)

Fugtindholdet i isoleringsmaterialet omkring målepunkterne blev ved forsøgets afslutning bestemt ved veje-tørre metoden som:

$$u = \frac{m - m_0}{m_0} 100\%$$

hvor  $u$  (vægt-%) er isoleringsmaterialets fugtindhold,  $m$  (kg) er massen af prøvelegemet før udtørring og  $m_0$  (kg) er massen af prøvelegemet efter udtørring.

Af de 50 mm tykke isoleringsplader blev der udtaget prøvelegemer med dimensionerne  $120 \times 200 \times 50$  mm, se figur 16.



Figur 16. Principskitse af placering af udtagne prøvelegemer til bestemmelse af fugtindholdet i isoleringsmaterialet ved hjælp af veje-tørre metoden. Den øverste isoleringsprøve blev udtaget ved detalje 13, 14 og 15 svarende til henholdsvis føler 26, 28 og 30.

Udover isoleringsprøverne på  $120 \times 200$  mm blev fugtindholdet i hele isoleringsplader bestemt for de yderste 50 mm isolering ved detalje 9-12.

### Visuel observation

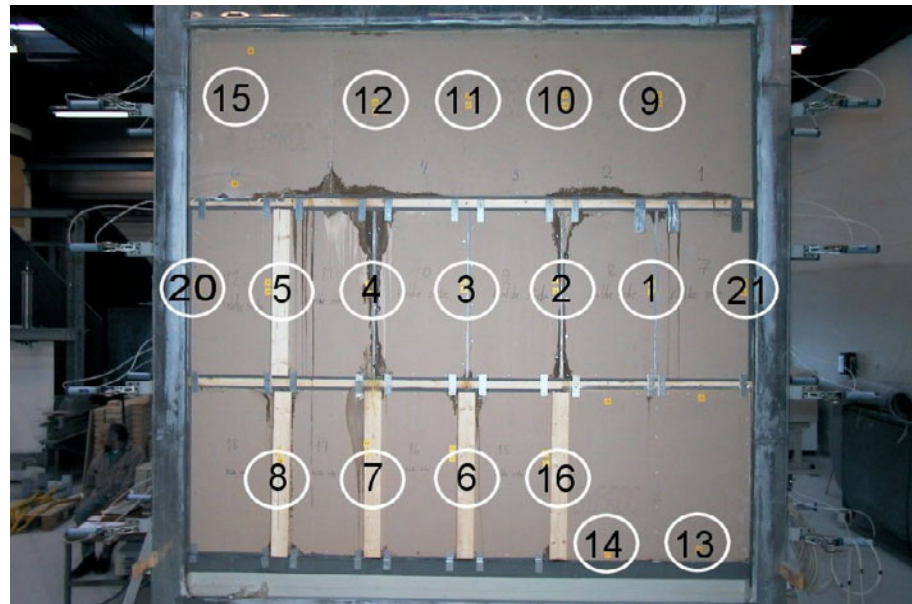
Forsøgsopstillingen og elementerne blev gennemfotograferet i forbindelse med forsøget og specielt ved nedtagningen af elementerne. I forbindelse med nedtagningen var det blandt andet muligt at fotografere konstruktions-træet omkring elementfugerne.

# Forsøgsresultater

## Forsøgsforløb

Forsøget i varm-kold kasse blev udført over en periode på 139 døgn med forsøgsstart den 24. november 1998 (døgn 0). Elementerne blev indbygget i forsøgsopstillingen den 3. november 1998 (døgn -20). Efter indbygningen af elementerne i forsøgsopstillingen blev dataloggerne tilsluttet og målingerne blev påbegyndt. På de efterfølgende grafer over de løbende fugtmålinger er resultaterne fra døgn -20 til 0 også vist.

Køleanlægget som bestemte temperaturen på den kolde side af konstruktionen havde driftsstop døgn 78 og blev sat i gang godt et halvt døgn senere døgn 79. I den mellemliggende periode steg temperaturen kraftigt på den kolde side af konstruktionen til ca. 30 °C, se figur 3. Denne opvarmning forårsagede en afisning i forsøgsopstillingen med en del utilsigtet fugtpåvirkning af elementerne til følge, se figur 17.

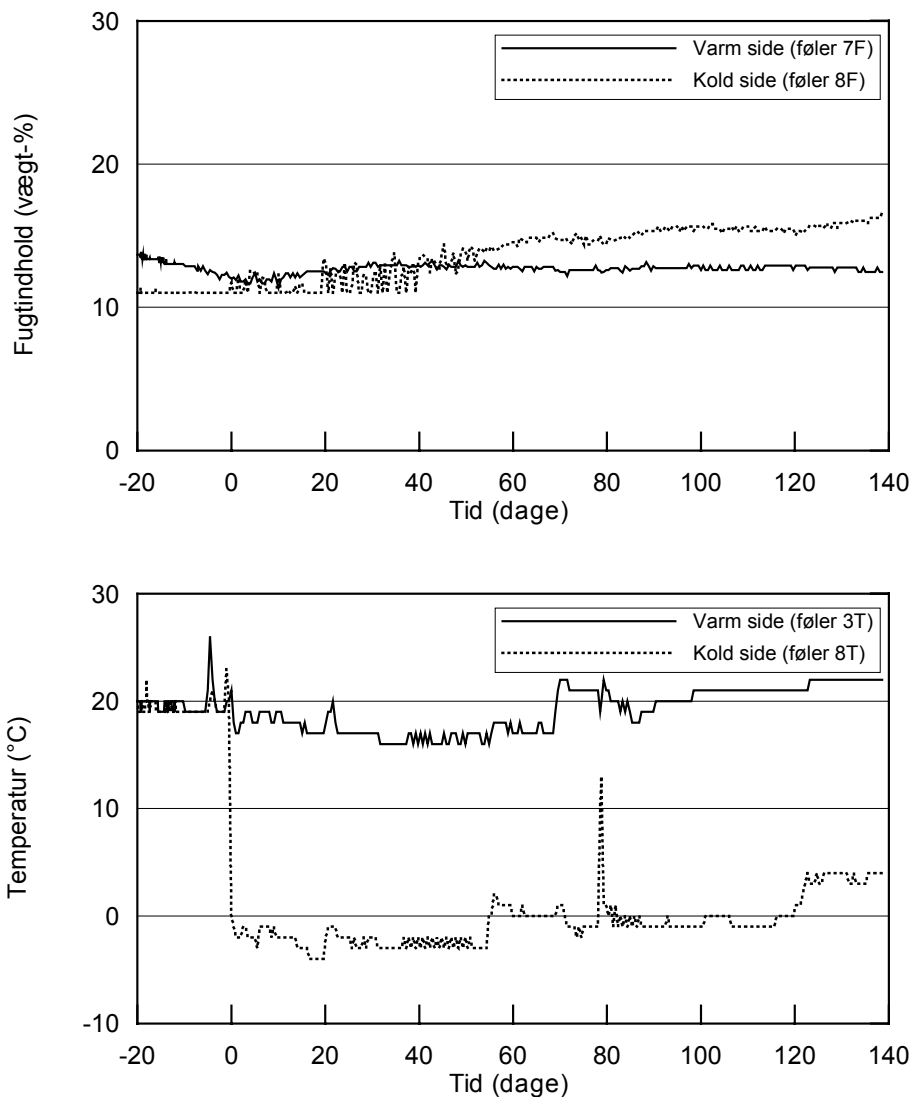


Figur 17. Forsøgsopstilling (set fra den kolde side) efter afslutningen af forsøgsperioden med angivelse af detaljernes placering. Fugtskjoldene stammer fra køleanlæggets driftsstop (døgn 78) med tilhørende smeltning af is.

## Fugtindhold i elementerne

I dette afsnit præsenteres resultaterne fra undersøgelsen af samlingsdetaljerne mellem 3 forskellige typer træelementer, se figur 4. De 3 elementtyper er udvalgt til undersøgelse på baggrund af tidligere forsøg udført med tilsvarende elementtyper i fugtforsøgshuset (Andersen et al., 2002). I de undersøgte samlingsdetaljer er indbygget fra 0-3 forskellige fejl.

Til beskrivelse af forsøgsresultaterne anvendes de løbende målinger af fugtindhold, manuelle træfugtighedsmålinger samt visuelle observationer. I bilag 3 er vist kurver over fugtindhold og temperatur i de enkelte målepunkter for hver samlingsdetalje. Et eksempel på de løbende registreringer af fugtindhold og temperatur for detalje 4 er vist i figur 18.



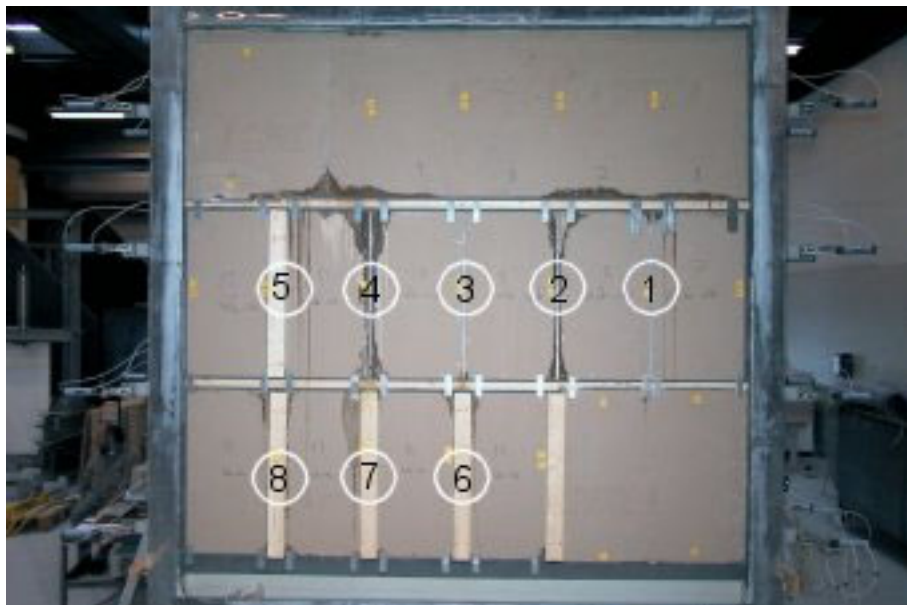
Figur 18. Fugtindhold (øverst) og temperatur (nederst) ved detalje 4. Følerne 8T og 8F er placeret i den kolde side af konstruktionen, mens føler 3T (erstatning for 7T) og 7F er placeret på den varme side.

Som det fremgår af figur 18 var elementerne placeret i forsøgsopstillingen i ca. 20 døgn inden klimapåvirkningerne påføres. Forsøgs påvirkningerne starter således døgn 0 på tidsskalaen.

Kriteriet for vurdering af, om der i konstruktionerne forekommer uacceptabelt høje fugtindhold, er 20 % vandindhold i de anvendte fugtmåledyvlere ved en temperatur omkring dyvlen højere end 5 °C. Dette er det normalt anvendte kriterium for vurdering af risiko for vækst af råd og trænedbrydende svampe.

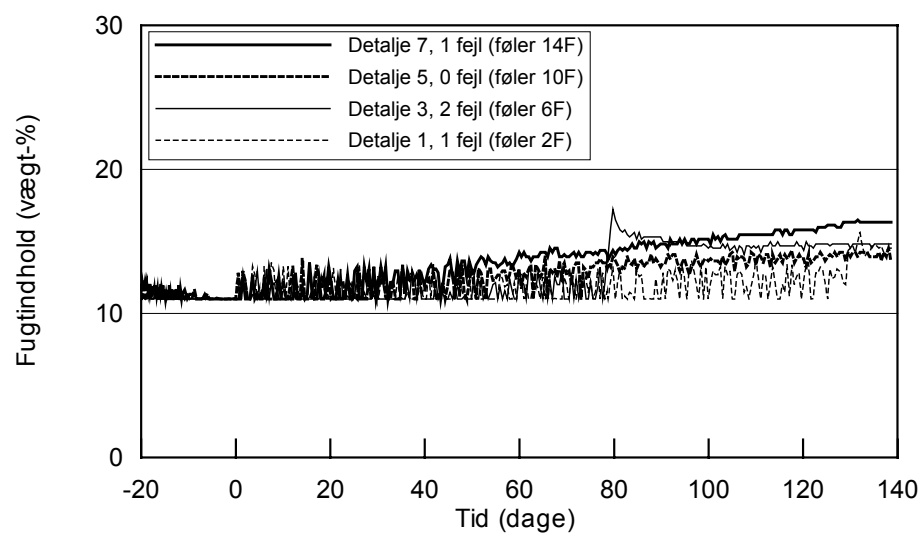
### Elementtype 3

Elementtype 3 er opbygget som et traditionelt træelement fremstillet i Danmark i dag (figur 8). Ved elementtype 3 undersøgtes i alt 8 samlingsdetaljer, detalje 1 – 8, hvoraf detalje 5 er korrekt udført, mens der i de øvrige syv detaljer er indbygget mellem 1 og 3 udførelsesfejl. På figur 19 er vist, hvor samlingsdetaljerne 1-8 er placeret i forsøgsopstillingen.

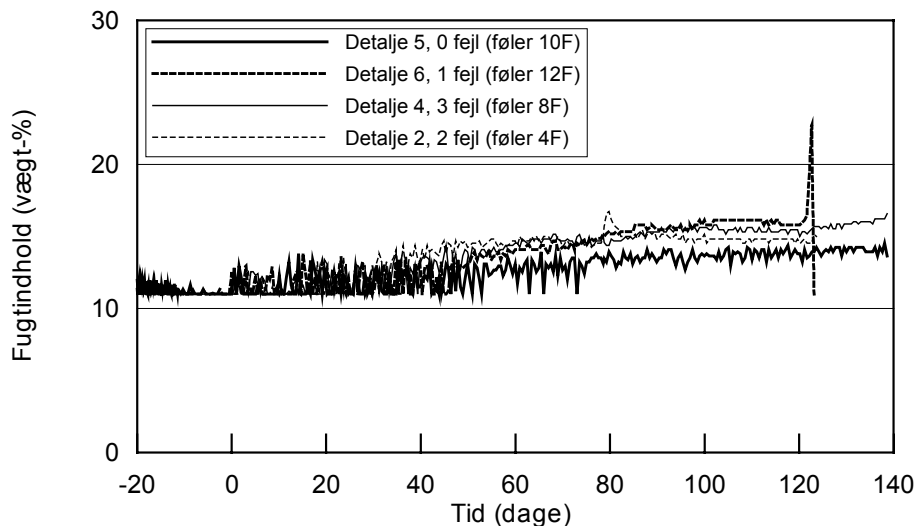


Figur 19. Placering af samlingsdetaljerne 1-8 i forsøgsopstillingen (set fra den kolde side).

Resultatet af den løbende måling af fugtindholdet på den kolde side af konstruktionerne er vist i figur 20 og figur 21.

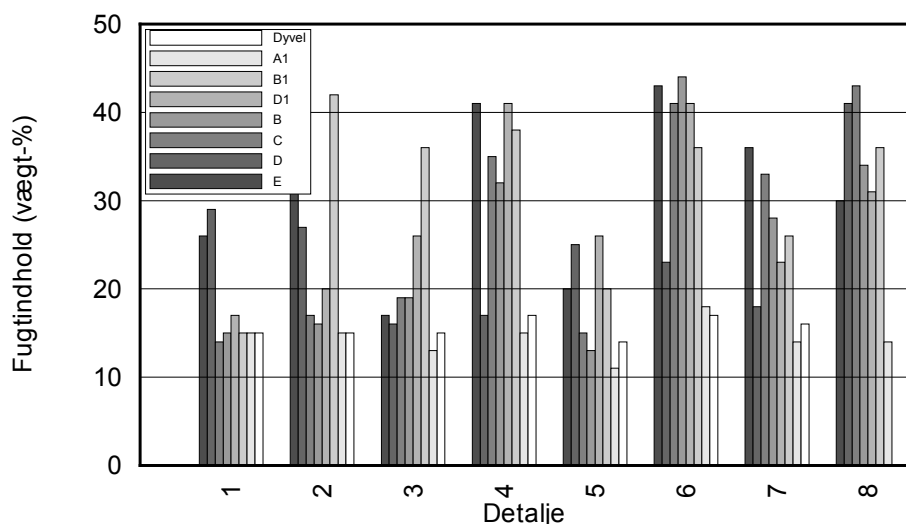


Figur 20. Fugtindholdet på den kolde side af konstruktionen for detaljerne 1, 3, 5 og 7 målt med fugtmåledyvlér. Detaljerne er med stoppede fuger for elementtype 3.



Figur 21. Fugtindholdet på den kolde side af konstruktionen for detaljerne 2, 4, 6 og 5, målt med fugtmåledyvlere. Detaljerne 2, 4 og 6 er uden stopning, mens detalje 5 er med stopning. Detalje 5 er den korrekte udførte samling og den er indsat i stedet detalje 8, hvor føleren i det meste af forsøgsperioden ikke har fungeret.

I figur 22 er fugtindholdet, bestemt ud fra de løbende målinger sammenlignet med de manuelle træfugtighedsmålinger, foretaget i forbindelse med nedtagningen af elementerne. Bilag 4 indeholder de målte værdier.



Figur 22. Sammenligning af fugtindholdet bestemt med henholdsvis fugtmåledyvlere og manuelle træfugtighedsmålinger for detaljerne 1-8. Bogstavbetegnelserne i signaturforklaringen henfører til placeringen af målepunkterne, se figur 15.

## Elementtype 2

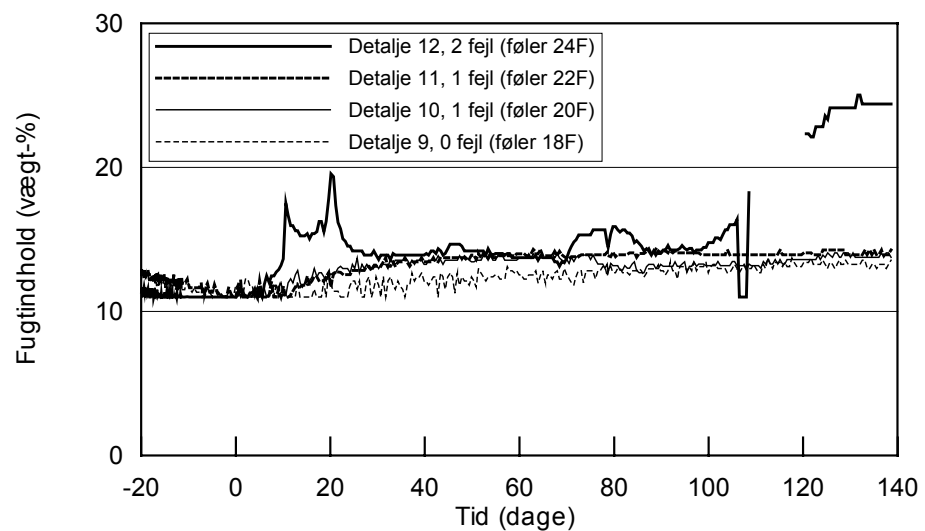
I elementtype 2 var den bærende trækonstruktion placeret i en beskyttet zone. Den beskyttende zone bestod af 50 mm mineraluld, som var placeret på den kolde side af den bærende trækonstruktion (figur 9). Ved elementtype 2 undersøgtes i alt 4 samlingsdetaljer (detaljerne 9 – 12) med 0-2 udførelsesfejl. Detalje 9 var korrekt udført. På figur 23 er placeringen af de undersøgte detaljer for elementtype 2 vist.





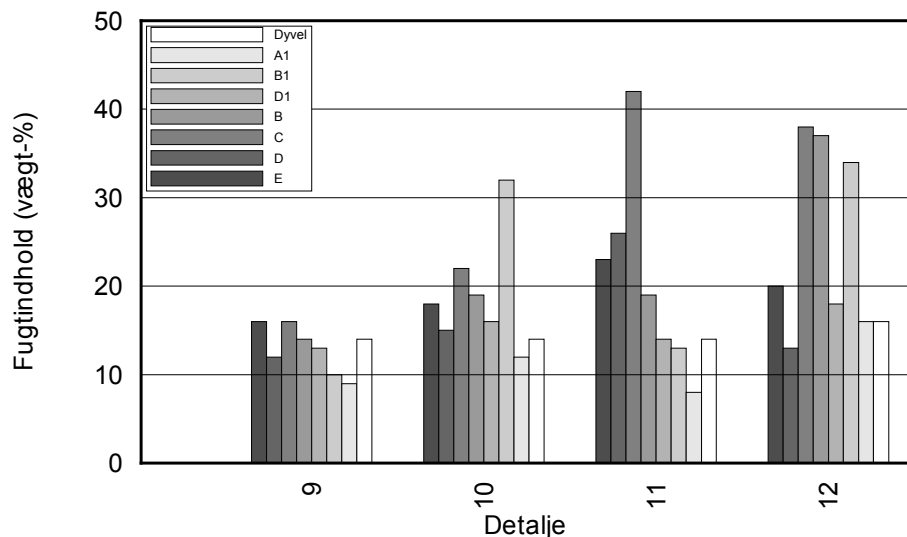
Figur 23. Placering af detaljerne 9-12 set fra den kolde side af forsøgsopstillingen.

Resultatet af de løbende målinger af fugtindholdet i detaljerne 9-12 på konstruktionens kolde side er vist i figur 24.



Figur 24. Fugtindholdet for detaljerne 9-12 på den kolde side af konstruktionen målt med fugtmåledyvlere. Detalje 9 er den korrekt udførte samling.

I figur 25 er fugtindholdet, bestemt ved de løbende fugtmålinger sammenlignet med fugtindholdet, bestemt ved hjælp af manuelle træfugtighedsmålinger.



Figur 25. Sammenligning af fugtindholdet bestemt med henholdsvis fugtmåledyvel og manuelle træfugtighedsmålinger for detaljerne 9-12. Bogstavbetegnelserne i signaturforklaringen henfører til placeringen af målepunkterne, se figur 15.

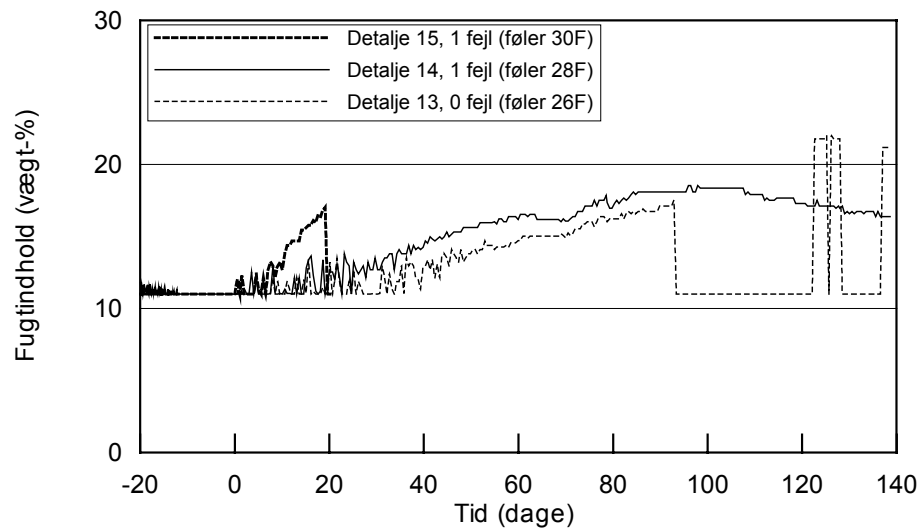
### Elementtype 1

Elementtype 1 bestod af en indvendig bærende væg og et udvendigt skelet opbygget således, at der ikke var nogen kuldebro mellem den udvendige og indvendige del af konstruktionen (figur 10). I denne elementtype undersøges samlingsdetaljer ved top- og bundrem i konstruktionen samt indflydelsen af et hul i dampspærren. Fugtmåleren på den kolde side af konstruktionen var placeret i topremmen. Der undersøgte i alt 3 samlingsdetaljer 13-15, hvoraf detalje 13 var den korrekt udførte samlingsdetalje. På figur 26 er placeringen af de 3 samlingsdetaljer vist.



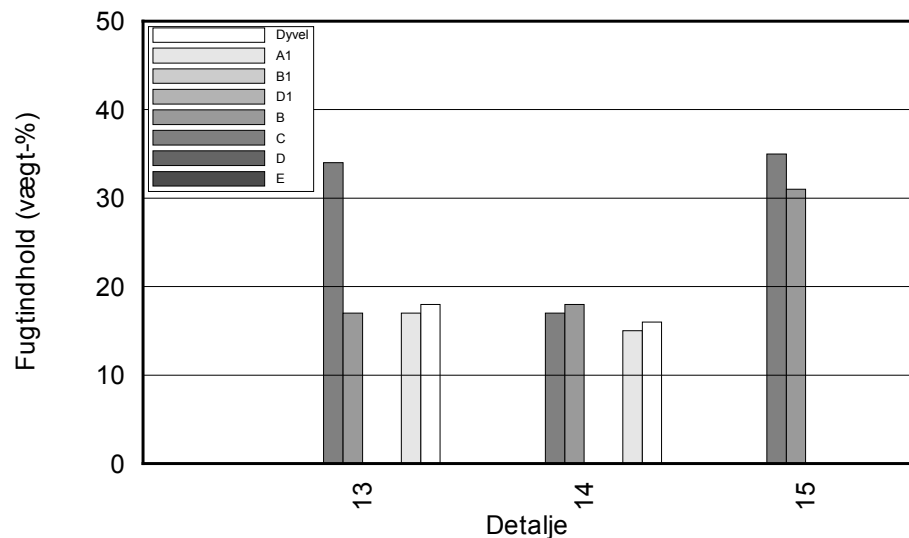
Figur 26. Placering af detaljerne 13-15 set fra den kolde side af forsøgsopstillingen.

Resultatet af de løbende målinger af fugtindholdet i detaljerne 13-15 på konstruktionens kolde side er vist i figur 27.



Figur 27. Fugtindholdet for detaljerne 13-15 på den kolde side af konstruktionen. Detalje 13 er den korrekte udførte samling.

I figur 28 er fugtindholdet, bestemt ved de løbende fugtmålinger sammenlignet med fugtindholdet, bestemt ved hjælp af manuelle træfugtighedsmålinger.



Figur 28. Sammenligning af fugtindholdet bestemt med henholdsvis fugtmåledyveler og manuelle træfugtighedsmålinger for detaljerne 13-15. Bogstavbetegnelserne i signaturforklaringen henfører til placeringen af målepunkterne, se figur 15.

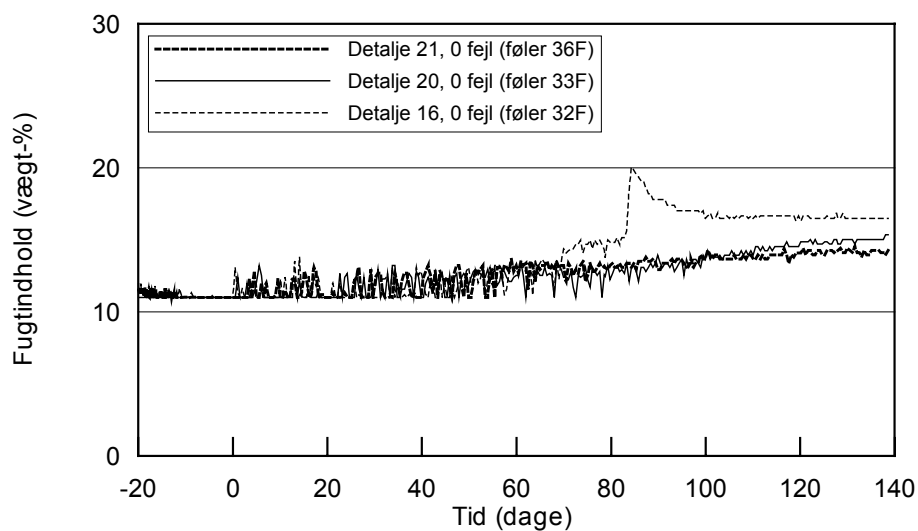
### Elementtype 3 (posetætning kontra stopning)

I detaljerne 16, 20 og 21 undersøgte posetætninger kontra traditionelt udført stopning. Detalje 16 var en elementsamling mellem elementtype 1 og 3, mens detalje 20 og 21 var samlinger mod rammen i forsøgsopstillingen, se figur 29.



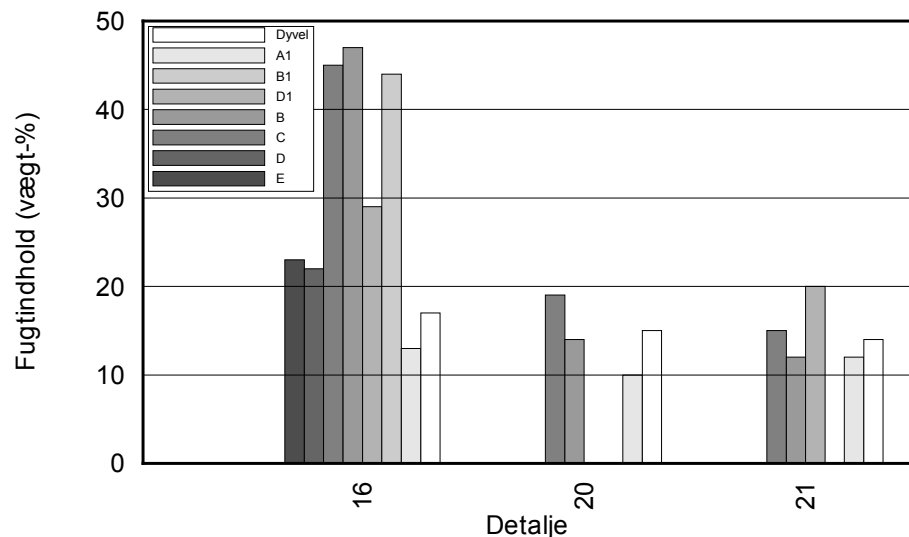
Figur 29. Placering af detaljerne 16, 20 og 21 i forsøgsopstillingen set fra den kolde side af konstruktionen.

Resultatet af de løbende fugtmålinger for detalje 16, 20 og 21 er vist i figur 30.



Figur 30. Fugtindholdet for detaljerne 16, 20 og 21 på den kolde side af konstruktionen målt med fugtmåledyvler. Samlingsdetalje 20 og 21 er korrekt udført.

I figur 31 er fugtindholdet, bestemt ved de løbende fugtmålinger sammenlignet med fugtindholdet, bestemt ved hjælp af manuelle træfugtighedsmålinger.

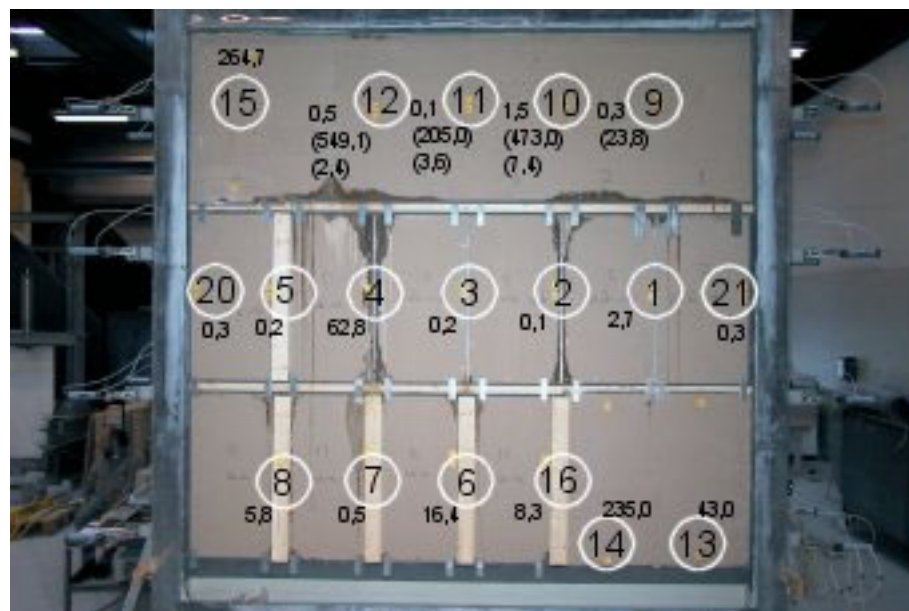


Figur 31. Sammenligning af fugtindholdet bestemt med henholdsvis fugtmåledyvel og manuelle træfugtighedsmålinger for detaljerne 16, 20 og 21. Bogstaverne i signaturforklaringen henviser til figur 15.

## Fugtindhold i isoleringen

Af isoleringen blev der udtaget prøver til bestemmelse af fugtindholdet ved hjælp af veje-tørre metoden. Fugtindholdet i de udtagne isoleringsprøver er angivet i bilag 4 og vist i figur 32. Fugtindholdet i isoleringen omkring målepunktet er bestemt for samtlige detaljer. Ved detaljerne 9-12 er fugtindholdet bestemt i de yderste 50 mm isolering i konstruktionen, dels i prøver ud for samlingerne, dels i prøver mellem samlingerne.

Fugtindholdet i isoleringen er inden for hver elementtype lavest i de elementer der ikke har udførelsesfejl. Inden for hver elementtype stiger fugtindholdet nogenlunde med antal udførelsesfejl.



Figur 32. Fugtindhold (vægt-%) i isoleringen. Tallene angiver fugtindholdet i isoleringen omkring målepunktet. Tallene i parentes angiver fugtindholdet i de yderste 50 mm af isoleringen, dels ud for samlingerne (miderste tal i parentes), dels mellem samlingerne (nederste tal i parentes). Tallene i de hvide cirkler angiver detaljens nr.

## Diskussion

Vurderingen af forsøgsresultaterne vanskeliggøres af køleanlæggets driftsstop dogn 78, se figur 3. Driftsstoppet medførte, at temperaturen i den kolde side af forsøgselementerne steg til ca. 30 °C. Af figur 17 ses, at der er løbet vand ned gennem og udover forsøgselementerne. Vandet skønnes at stamme fra is, der har været dannet mellem forsøgselementerne i den øverste række og den metalramme, som limtræsrammen, hvori forsøgselementerne er monteret, er foret med.

Ved åbningen af forsøgselementerne ved forsøgets afslutning kunne det konstateres, at konstruktionstræet på de to sider af de enkelte fuger var meget forskelligt opfugtet, se figur 33.



Figur 33. Eksempel på opfugtning af konstruktionstræet omkring en fuge. Billedet, der er fra samlingen ved detalje 2, er taget ved nedtagningen af elementerne. Gipspladen sidder på den indvendige, varme side af konstruktionen.

Fugtindholdet ved elementhjørnerne, målt med elektrisk træfugtighedsmåler, udviste også store variationer, se figur 34. Det er ikke særlig sandsynligt, at fugtophobning på grund af diffusion kan give så forskellige værdier inden for så små afstande. Dette bekræfter antagelsen om, at smeltevand er løbet ned igennem samlingerne.

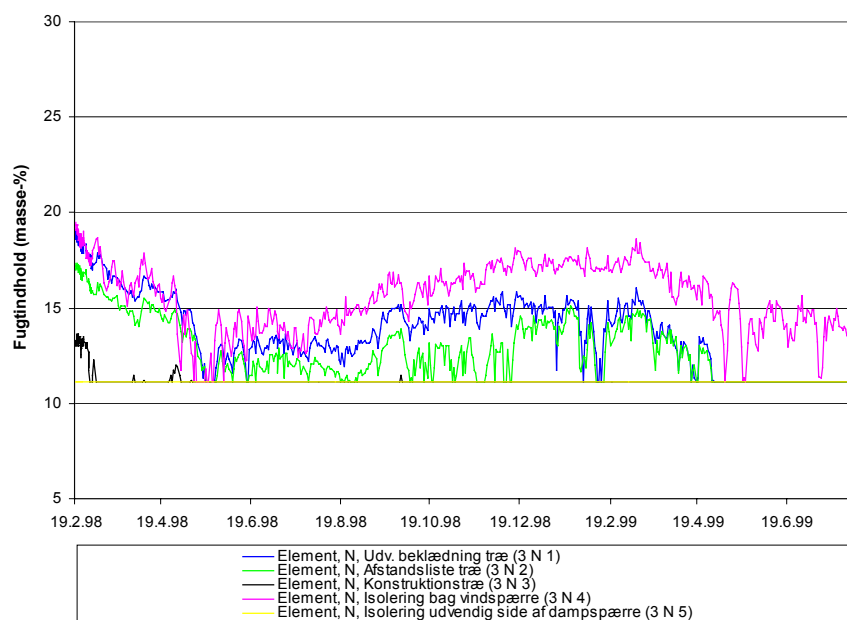
Fugtindholdet målt ved fugtdyvlene, med elektrisk træfugtighedsmåler, lå på samme niveau som fugtindholdet registreret med fugtdyvlene. På den baggrund, bør der ved tolkning af forsøgsresultaterne lægges hovedvægt på de målinger der løbende er foretaget med fugtdyvlene.



Figur 34. Eksempel på hvor kraftigt fugtindholdet kan variere selv indenfor små områder. På billedet ses resultatet af 4 målinger af fugtindholdet (vægt-%) omkring detalje 12.

## Forsøgsresultater

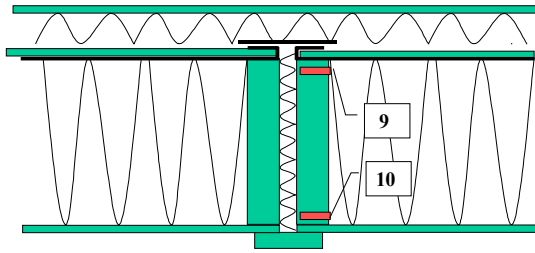
Fugtphobningen i elementerne i varm-kold kasse bør sammenlignes med fugtphobningen i de tilsvarende elementer fra forsøgene i fugtforsøgshuset (Andersen et al., 2002). I figur 35 er fugtphobningen i et element af type 3 vist. Fugtphobningen i konstrukstræet er på maksimalt 15 %. Fugtphobningen i isoleringen bag vindspærren er 17-18 % (vægt-% fugt i træ, dvs. svarende til fugtindholdet i fugtmåledyvlene). Begge dele er acceptabelt. Elementer af type 1 og 2 har tilsvarende fugtphobninger.



Figur 35. Fugtindhold i facadeelement fra forsøg i fugtforsøgshuset. Facadeelementet er opbygget som type 3 og vender mod nord.

### Elementtype 3

Elementer af elementtype 3 er opbygget med dampspærren trukket 50 mm tilbage fra den indvendige overflade, se figur 26. Den indvendige gipsbeklædning er derefter monteret, så den går ubrudt hen over samlingerne mellem elementerne, hvilke giver nogle meget lufttætte elementer.

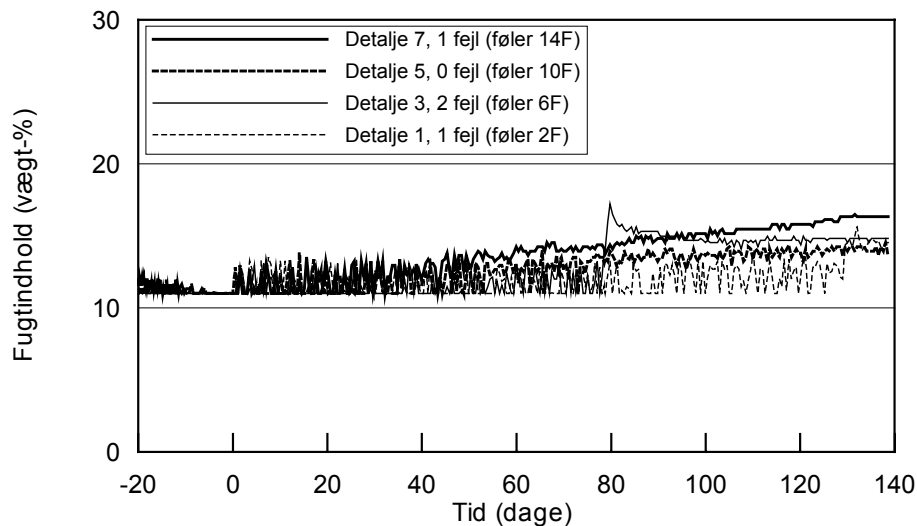


Figur 36. Samling i element af type 3. Samlingen er udført uden fejl.

Resultaterne fra den løbende måling af fugtindholdet i den kolde side af konstrukstræet er vist i figur 37 og figur 38.

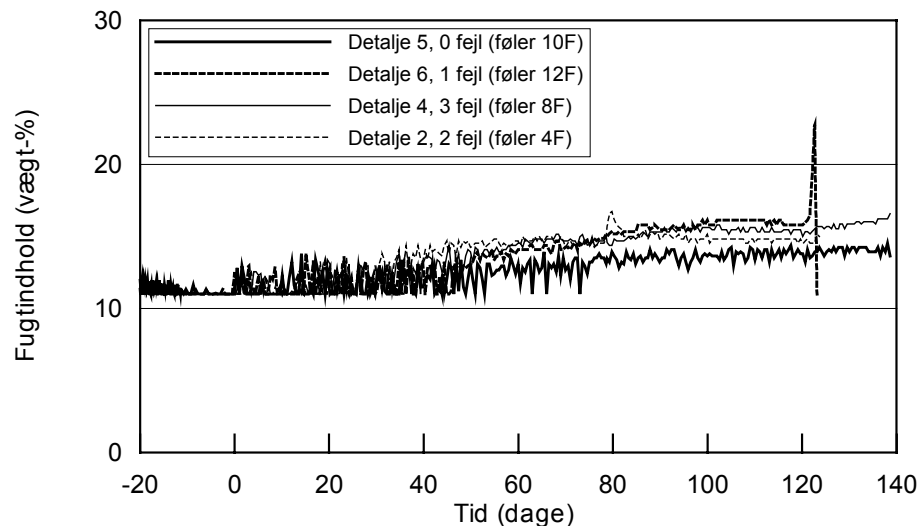
Fugtindholdet i konstrukstræet er 1-2 % højere i elementer med fejl i samlingerne end i elementet der er udført uden fejl. Fugtniveauet ligger for alle elementerne på et acceptabelt niveau.

Af figur 35 fremgår det, fra målingerne i fugtforsøgshuset, at fugtophobningen i isoleringen bag vindspærren er højere end i konstrukstræet. Den forøgelse af fugtindholdet der sker i konstrukstræet i elementerne på grund af fejl i samlingerne, vil næppe bevirke, at fugtophobningen i isoleringen bag vindspærren når op på et uacceptabelt niveau.



Figur 37. Fugtindholdet i den kolde side af konstrukstræet ved detaljerne 1, 3, 5 og 7. Detaljerne er med stoppede fuger. Detalje 5 er den korrekt udførte samling.

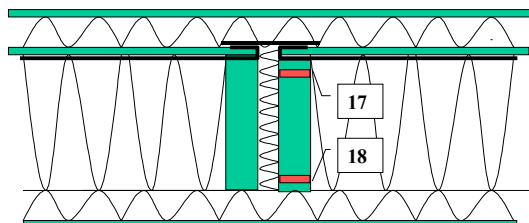




Figur 38. Fugtindholdet i den kolde side af konstruktionstræet ved detaljerne 2, 4, 6 og 5. Detaljerne 2, 4 og 6 er uden stopning, mens detalje 5 er med stopning. Detalje 5 er den korrekt udførte samling og den er indsat i stedet for detalje 8, hvor føleren i det meste af forsøgsperioden ikke har fungeret.

## Elementtype 2

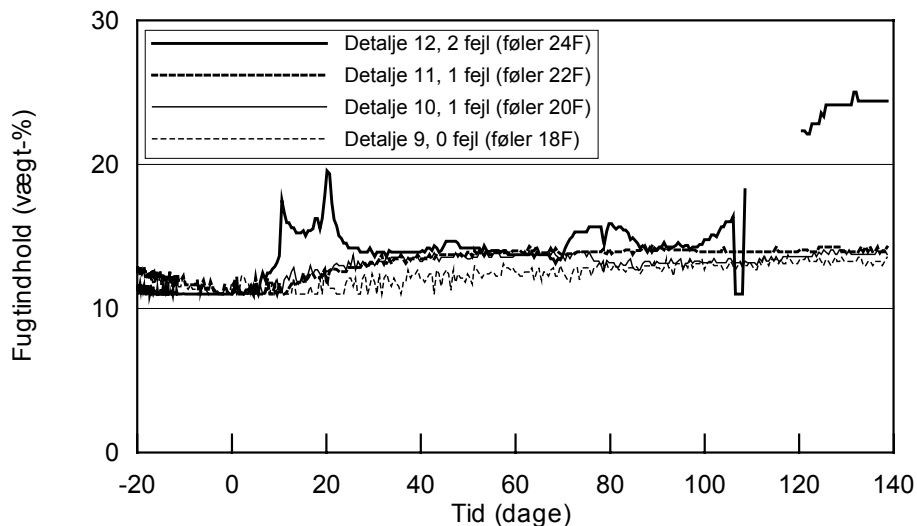
Elementer af elementtype 2 er opbygget med dampspærren trukket 50 mm tilbage fra den indvendige overflade, se figur 39, samt med en beskyttende zone af 50 mm mineraluld på den kolde side. Både den indvendige og den udvendige gipsbeklædning er derefter monteret, så de går ubrudte hen over samlingerne mellem elementerne, hvilke giver nogle meget lufttætte elementer.



Figur 39. Samling i element af type 2. Samlingen er udført uden fejl.

Resultaterne fra den løbende måling af fugtindholdet i den kolde side af konstruktionstræet er vist i figur 40.

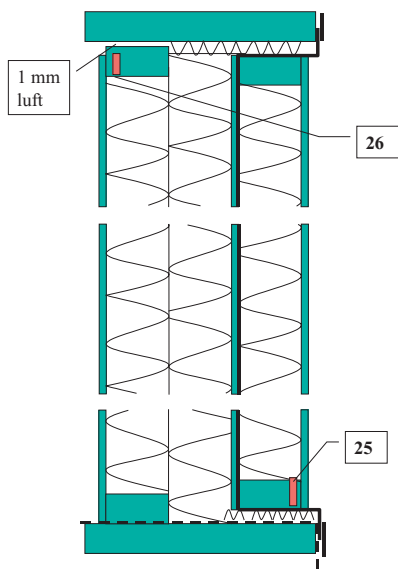
Fugtindholdet i konstruktionstræet i elementer med fejl i samlingerne er mindre end 1 % højere end fugtindholdet i elementet, der er udført uden fejl. Denne forskel er mindre end måleusikkerheden. Fugtniveauet ligger for alle elementerne på et acceptabelt niveau.



Figur 40. Fugtindholdet i den kolde side af konstruktionen ved detaljerne 9-12. Detalje 9 er den korrekt udførte samling. Detalje 12, som er opbygget med 2 fejl i samlingsdetaljerne, har et fugtforløb med nogle atypiske udsving, der nok må tilskrives fejl i fugtmåledyven.

### Elementtype 1

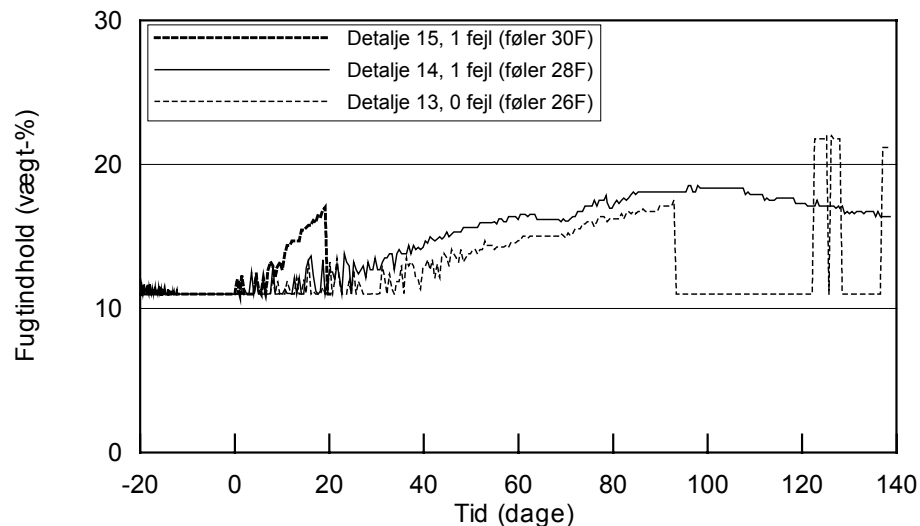
Elementtype 1 består af en indvendig bærende væg og et udvendigt skelet, opbygget således at der ikke er nogen kuldebro mellem den udvendige og indvendige del af konstruktionen, se figur 41. I denne elementtype er samlingsdetaljer ved top- og bundrem i konstruktionen undersøgt.



Figur 41. Samling ved top- og bundrem i element af type 1.

Resultaterne fra den løbende måling af fugtindholdet i den kolde side af konstruktionstræet er vist på figur 42.

Fugtindholdet i konstruktionstræet er ca. 1 % højere i elementet med fejl i samlingerne end i elementet, der er udført uden fejl. Fugtniveauet ligger for begge elementer på et acceptabelt niveau.



Figur 42. Fugtindholdet, på den kolde side af konstruktionen, ved detaljerne 13-15 . Detalje 13 er den korrekt udførte samling.

Af figur 35 fremgår det, fra målinger i fugtforsøgshuset, at fugtophobningen i isoleringen bag vindspærren er højere end i konstruktionstræet. Den forøgelse af fugtindholdet, der sker i konstruktionstræet i elementer på grund af fejl i samlingerne, vil næppe bevirke, at fugtophobningen i isoleringen bag vindspærren når op på et uacceptabelt niveau.

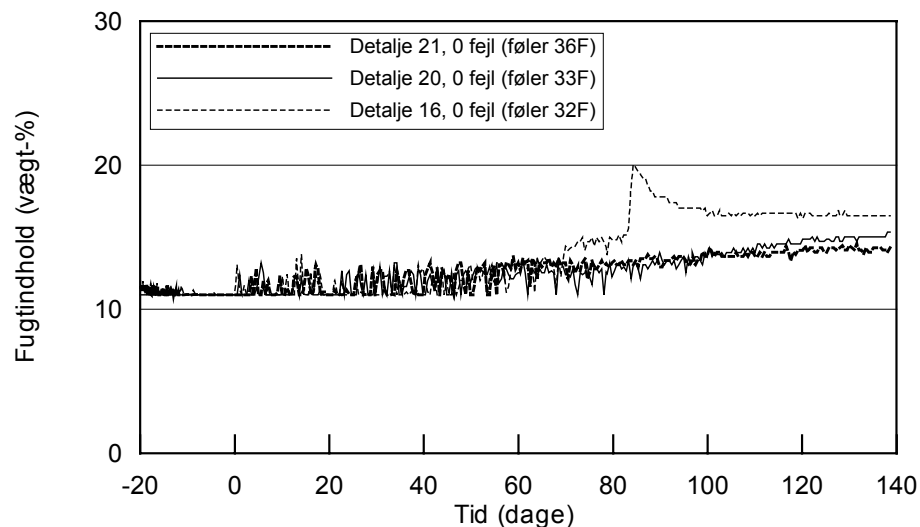
I elementet med hul i dampspærren er fugtmåledyvlens ophørt med at fungere efter en kort måleperiode, se figur 42. Fugtniveauet stiger kraftigt i den korte måleperiode: Årsagen til den kraftige stigning kan ikke fastslås på grund af målefejlen.

### Elementtype 3 (posetætning kontra stopning)

I denne serie undersøges posetætning kontra stopning. Detaljerne 20 og 21 er samlinger mellem et element og den omgivende ramme. Detalje 16 er en samling mellem to elementer.

Resultaterne fra den løbende måling af fugtindholdet i den kolde side af konstruktionstræet er vist i figur 43.

Fugtindholdet i konstruktionstræet er ens ved de to samlinger ud mod rammen og 2-3 % højere ved samlingen mellem de to elementer. Fugtniveauet ligger for alle elementerne på et acceptabelt niveau.



Figur 43. Fugtindholdet, på den kolde side af konstruktionen, ved detaljerne 16, 20 og 21. Detalje 16 og 20 er med posesamling. Detalje 21 er med stopning.

# Litteraturliste

Andersen, T., Fynholm, P., Hjorslev Hansen, M., & Nicolajsen, A. (2002). *Fugtsikre træfacader: Fugtindhold i højsolerede træfacader* (By og Byg Dokumentation 025). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Nicolajsen, A. (1978). *Mineraluldbaserede sandwichelementer: Laboratorieforsøg til bedømmelse af de fugttekniske egenskaber* (SBI-rapport 114). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

# Summary

## By og Byg Documentation 034: Effects of joint details on moisture levels in frame walls

In recent years interest in using environmentally sound materials, including timber frame walls elements, has increased significantly. At the same time planning of requirements for increased insulating properties of building envelopes are at an advanced stage. It should therefore be expected that future exterior walls will have to be insulated significantly more.

There is a concern that increased insulation might incur a radical change of moisture conditions in timber frame wall elements and consequently affect the durability of the wooden parts of the wall element.

On this background Danish Building and Urban Research received a grant from the Danish Forest and Nature Agency to investigate whether highly insulated timber frame walls function correctly in relation to moisture. This By og Byg Documentation reports the second round of tests.

In the first round of tests, moisture conditions in timber frame walls were investigated in the moisture test house of the institute depending on the following parameters: design of construction, insulation thickness, moisture barrier/retarder and ventilation cavity. Based on these tests and established criteria, it was assessed that increased requirements to insulation properties corresponding to insulation with 285 mm of mineral wool would be acceptable in highly insulated timber frame walls as regards moisture transport and accumulation.

### Tests

Three different types of elements included in the first round of tests were selected for the second round of tests in order to investigate the effect of defective joint details on moisture conditions. Investigation of the following parameters were carried out:

- Jointing of vapour barrier with tape/no jointing.
- Correctly executed backstop of joint /no backstop.
- Diffusion-open/diffusion-tight external joint.
- Insulation material enveloped in plastic/backstop of joint.

Moreover one element with a hole in the vapour barrier was included.

A total of 18 elements was set up in the hot box of the institute where the moisture load of a winter can be effected in approximately 11 weeks.

The moisture content of the elements was registered with moisture measuring dowels embedded in the construction wood close to the internal and external sides of the element, respectively.

After operating for approximately 11 weeks, the cooling system broke down with the result that the temperature on the cold side rose to approximately 30 °C. It was demonstrated that water soaked down into the elements and ran over them. The water was assessed to originate from ice accumulated between the elements in the top row and the metal frame lining the glulam frame where the test elements were set up.

After a further 11-week period the test was brought to an end and the elements opened. The moisture content at the element corners measured with electrical wood moisture measuring equipment varied greatly. This confirmed the assessment that water had soaked into the elements in connection with the break down of the cooling system. Measured with

electrical wood moisture measuring equipment, the moisture content measured at the moisture dowels was at the same level as the moisture content registered with the moisture dowels.

## **Conclusion**

The results of the tests were therefore interpreted on the basis of continuous measurements made with moisture dowels.

The moisture content in the construction wood of the elements with defective joints is higher than in non-defective elements. The moisture content seems to be at an acceptable level, i.e. below 20 weight-%, but in the first test round in the moisture test house it was found that the moisture content in the insulation material behind the wind barrier was 2-3 % higher than in the construction wood. It therefore cannot be ruled out that there might be areas in the element where the moisture content becomes too high.

# Bilag 1 Oversigt over temperatur- og fugtmålepunkter

Ved hvert målepunkt er der placeret en temperatur- og fugtmåler markeret med henholdsvis et T og F. Forsøget er startet den 24.11.98 (døgn 0).

Målepunkt	Detalje	Placering	Bemærkning
1T og 1F	1	Inde	1F fungerer ikke fra døgn21
2T og 2F	1	Ude	
3T og 3F	2	Inde	
4T og 4F	2	Ude	4T erstattet af 12T. 4F fungerer ikke fra døgn 124
5T og 5F	3	Inde	
6T og 6F	3	Ude	6T erstattet af 10T
7T og 7F	4	Inde	7T erstattet af 3T
8T og 8F	4	Ude	
9T og 9F	5	Inde	
10T og 10F	5	Ude	
11T og 11F	6	Inde	
12T og 12F	6	Ude	12F fungerer ikke fra døgn 122
13T og 13F	7	Inde	13F ophører med at fungerer i perioden døgn 14-27
14T og 14F	7	Ude	
15T og 15F	8	Inde	
16T og 16F	8	Ude	16T erstattet af 12T. 16F fungerer ikke fra døgn 9
17T og 17F	9	Inde	
18T og 18F	9	Ude	
19T og 19F	10	Inde	19F har ikke fungeret i hele forsøgsperioden
20T og 20F	10	Ude	
21T og 21F	11	Inde	21T erstattet af 17T
22T og 22F	11	Ude	
23T og 23F	12	Inde	23F fungerer ikke fra døgn 45
24T og 24F	12	Ude	24F ophører med at fungere i perioden døgn 109-120
25T og 25F	13	Inde	25F fungerer ikke fra døgn 97
26T og 26F	13	Ude	26F fungerer ikke fra døgn 93
27T og 27F	14	Inde	27F fungerer ikke fra døgn 102
28T og 28F	14	Ude	
29T og 29F	15	Inde	
30T og 30F	15	Ude	30T erstattet af 26T. 30F fungerer ikke fra døgn 19
31T og 31F	16	Inde	
32T og 32F	16	Ude	32T erstattet af 10T
33T og 33F	20	Ude	
34T og 34F	20	Inde	34T erstattet af 31T. 34F fungerer ikke fra døgn 78
35T og 35F	21	Inde	35T erstattet af 31T
36T og 36F	21	Ude	

## Bilag 2 Valg af erstatningstemperaturer

Under forsøgsperioden er nogle af temperatur- og fugtmålerne i varm/kold kasse ophørt med at fungere. Da temperaturerne benyttes til korrektion ved omregning af modstand til fugtindhold, er der derfor fundet ækvivalente temperaturer i andre målepunkter i opstillingen.

### *Varme side*

Temperaturer målt med føler nr. 35 og 33 er begge erstattet med temperaturer målt med føler nr. 31. Føler nr. 35 og 33 målte ved tilslutningsdetalje til limtræsrammen i elementtype 3. Der er ikke andre målepunkter med elementtype 3 op mod limtræsrammen, men føler nr. 31 er i en tilsvarende tilslutningsdetalje, hvor limtræsrammen dog er "erstattet" af "træsrammen" i naboelementet.

Temperaturer målt med føler nr. 7 er erstattet med temperaturer målt med føler nr. 31. Begge følere målte i samlingsdetaljer uden stopning og med diffusionstæt udvendig fuge. Føler nr. 7 målte i en fuge uden samling af dampspærren og føler nr. 3 i en fuge med samling af dampspærren.

Temperaturer målt med føler nr. 21 er erstattet med temperaturer målt med føler nr. 17. Begge følere målte i samlingsdetaljer med stopning. Føler nr. 21 målte i en fuge uden samling af dampspærre og føler nr. 17 i fuge med samling af dampspærre.

### *Kolde side*

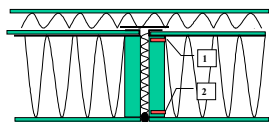
Temperaturer målt med føler nr. 16 er erstattet med temperaturer målt med føler nr. 12. Begge følere målte i samlingsdetaljer uden stopning og med diffusionsåben udvendig fuge (bræt). Føler nr. 16 målte i en fuge uden samling af dampspærre og føler nr. 12 i fuge med samling af dampspærre.

Temperaturer målt med føler nr. 6 er erstattet med temperaturer målt med føler nr. 10. Begge følere målte i samlingsdetaljer med stopning. Føler nr. 6 målte i en fuge uden samling af dampspærre og med diffusionstæt udvendig fuge og føler nr. 10 i en fuge med samling af dampspærre og med diffusionsåben udvendig fuge.



# Bilag 3 Fugt- og temperaturmålinger

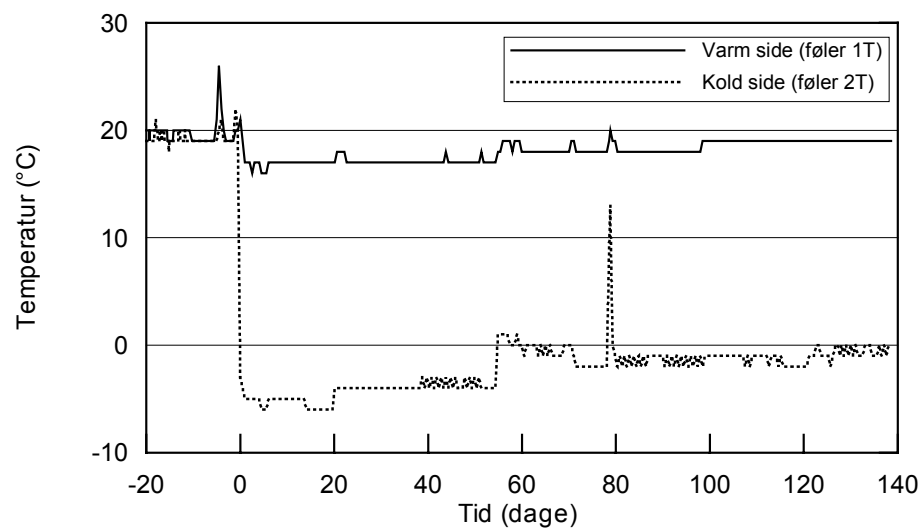
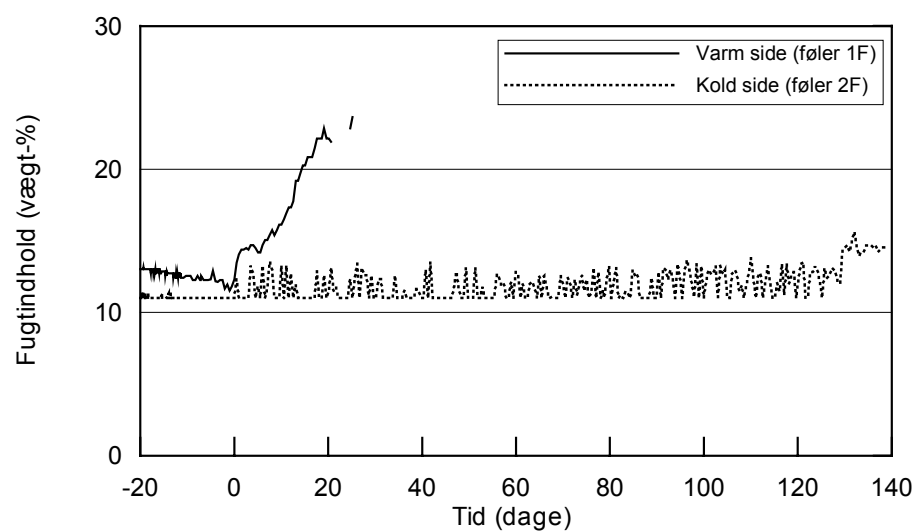
## Detalje 1 (Elementtype 3)



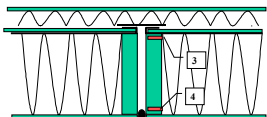
### Udførelsesfejl:

- Diffusionstæt udvendig fugt

### Bemærkninger:



## Detalje 2 (Elementtype 3)

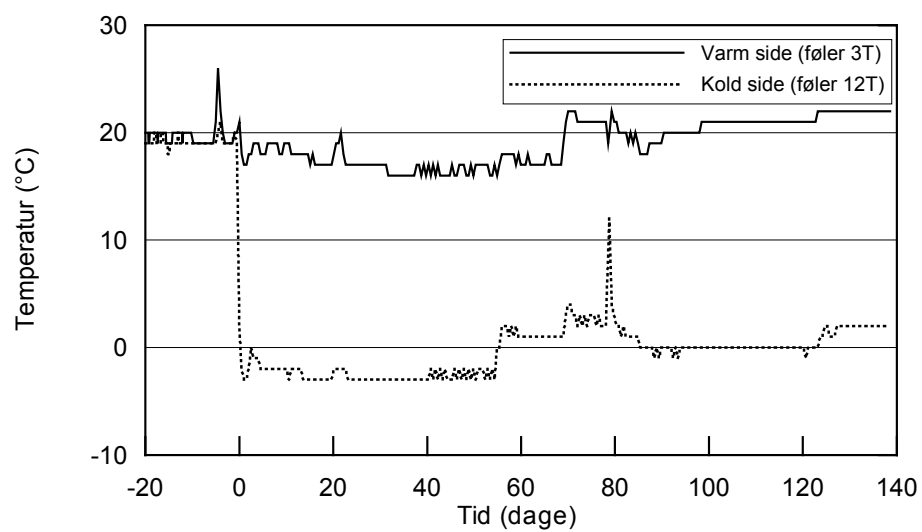
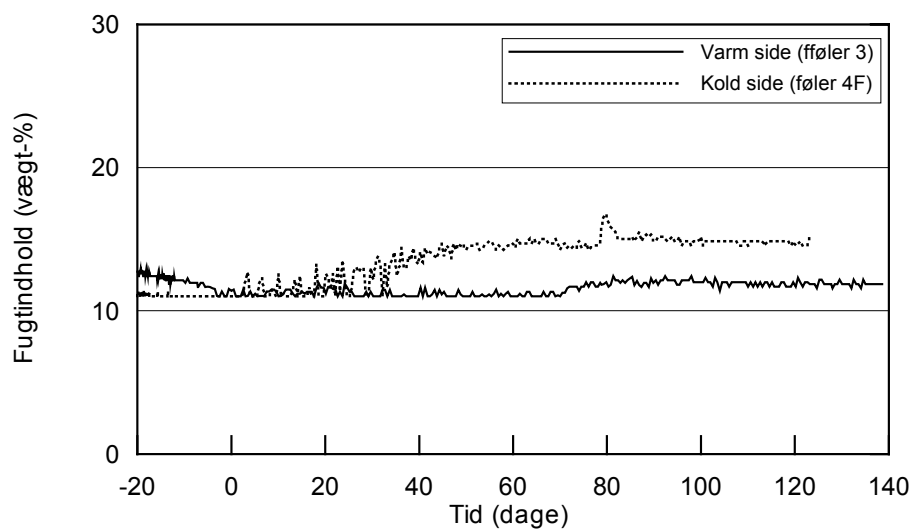


### Udførelsesfejl:

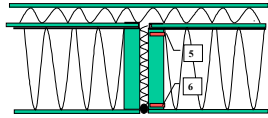
- Diffusionstæt udvendig fuger
- Ingen stopning

### Bemærkninger:

- Føler 4T er erstattet af føler 12T



### Detalje 3 (Elementtype 3)

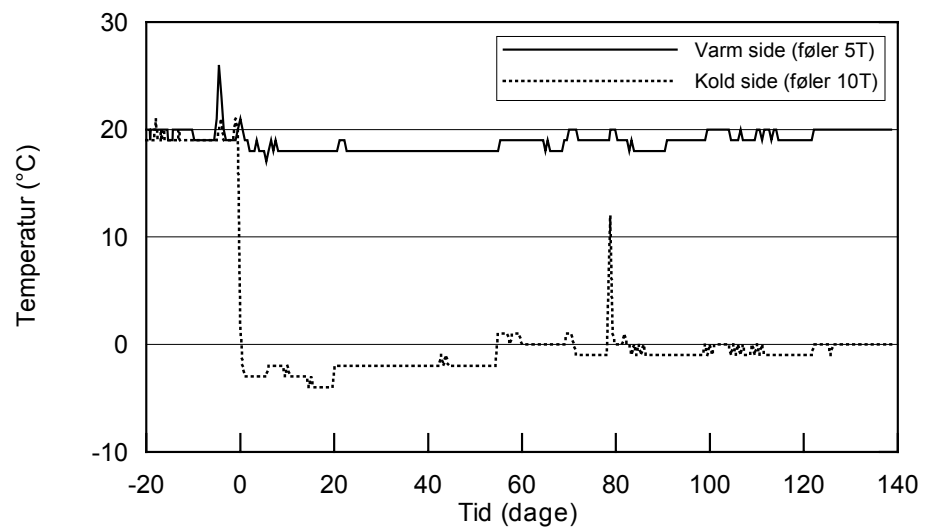
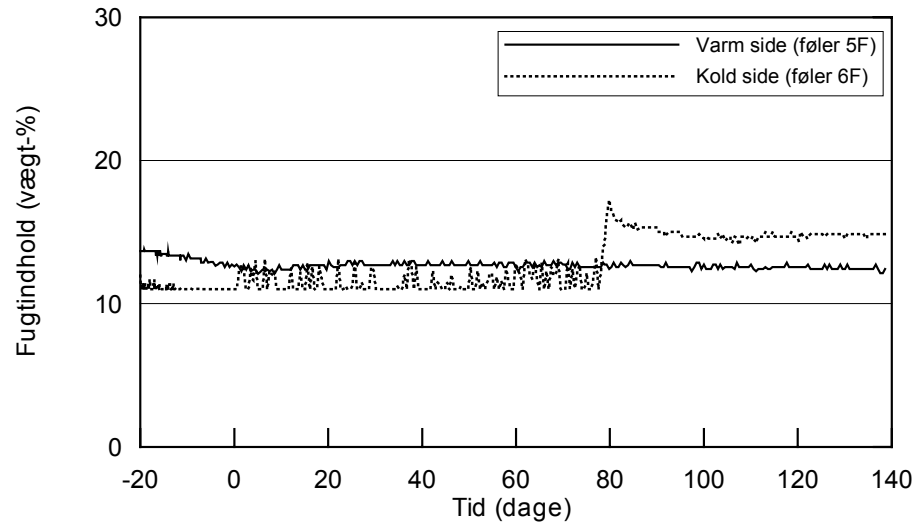


#### Udførelsesfejl:

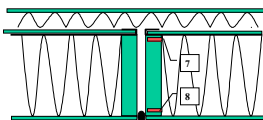
- Ingen diffusionstætning indvendigt
- Diffusionstæt udvendig fugte

#### Bemærkninger:

- Temperaturføler 6T er erstattet af 10T



## Detalje 4 (Elementtype 3)

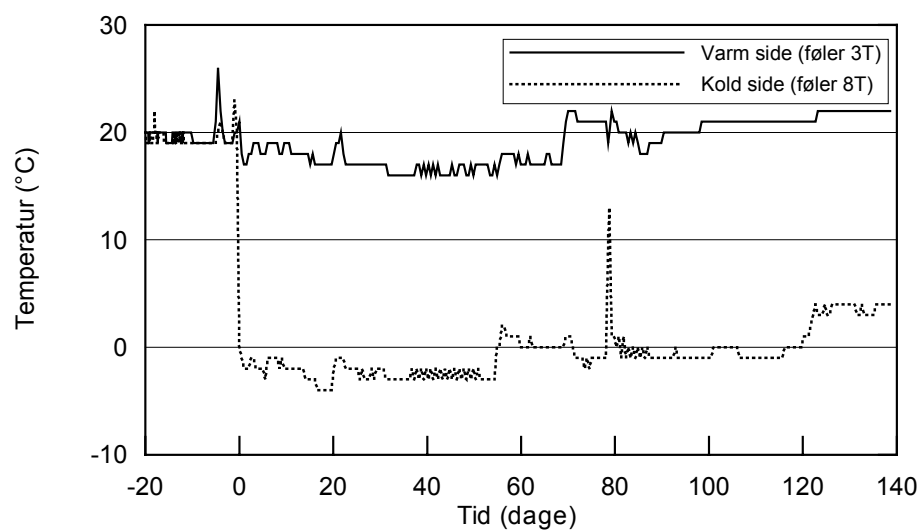
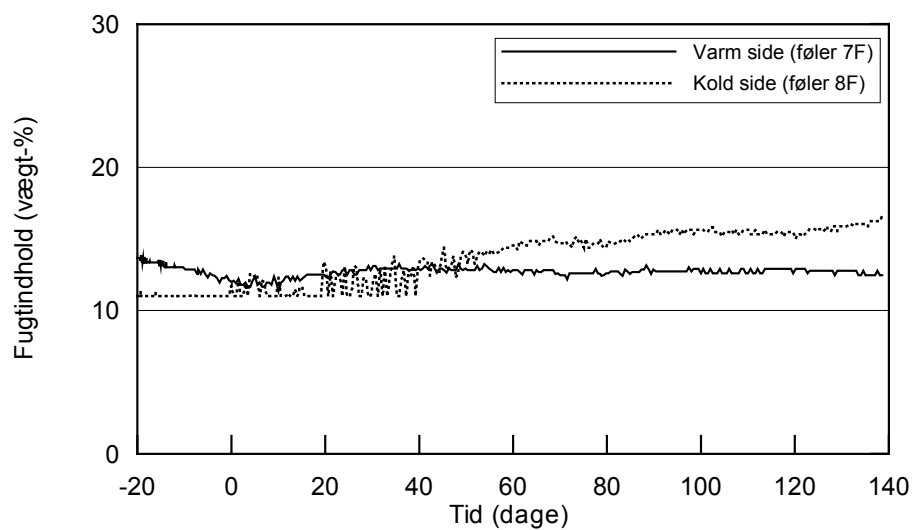


### Udførelsesfejl:

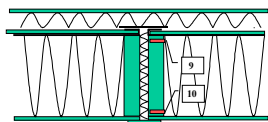
- Ingen diffusionstætning indvendig
- Ingen stopning
- Diffusionstæt udvendig fuger

### Bemærkninger:

- Temperaturføler 7T er erstattet af 3T



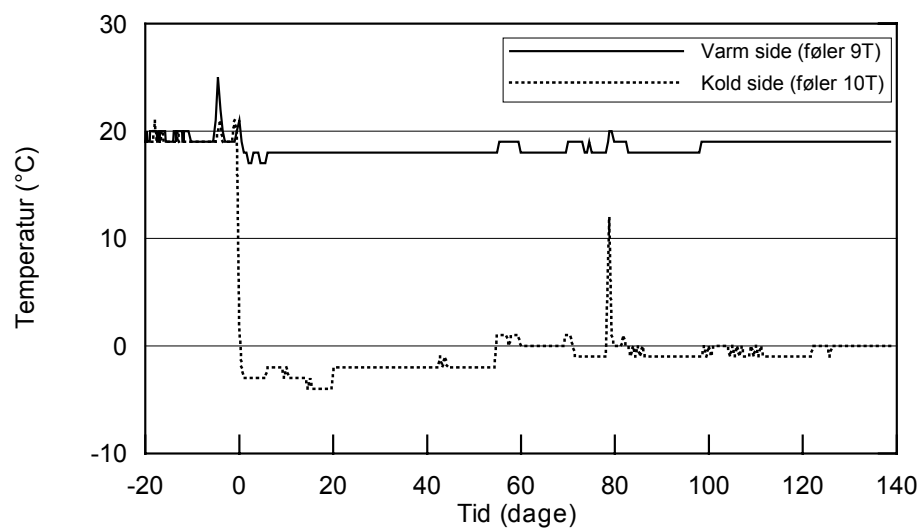
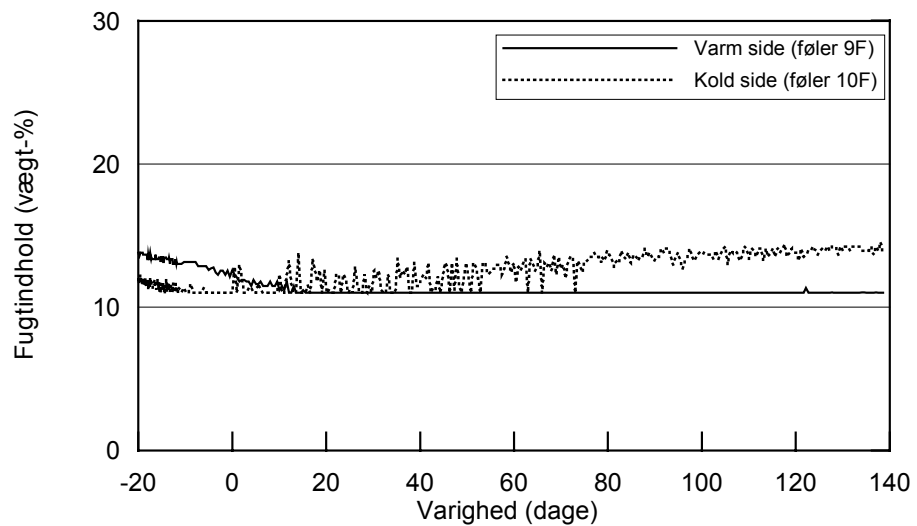
## Detalje 5 (Elementtype 3)



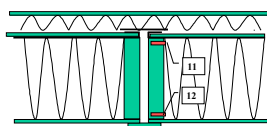
### Udførelsesfejl:

– Ingen

### Bemærkninger:



## Detalje 6 (Elementtype 3)

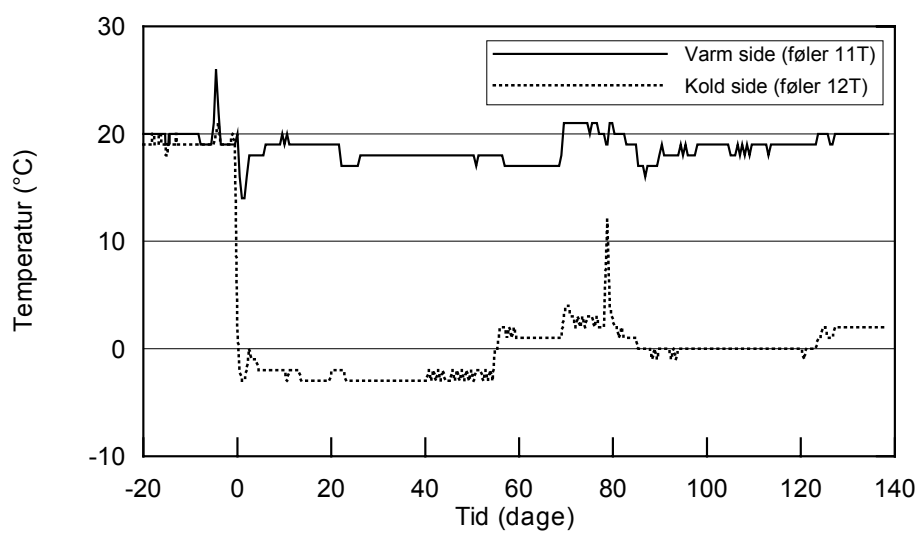
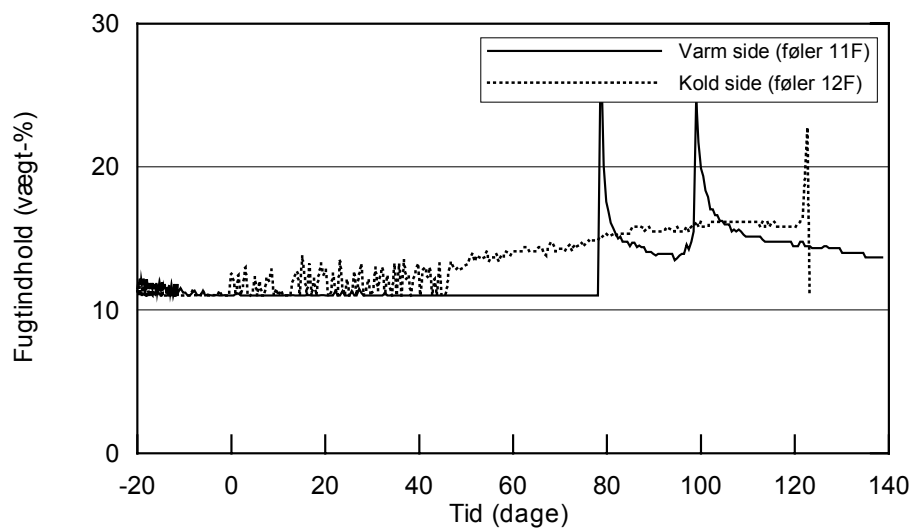


### Udførelsesfejl:

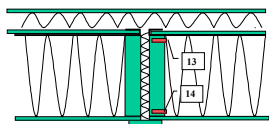
- Ingen stopning

### Bemærkninger:

- Fugtmåler 12 F fungerer ikke fra døgnet 122



## Detalje 7 (Elementtype 3)

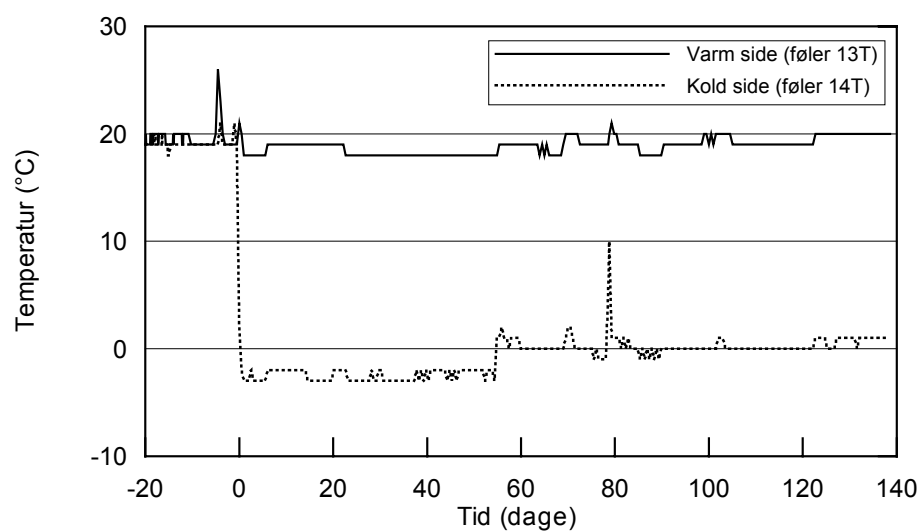
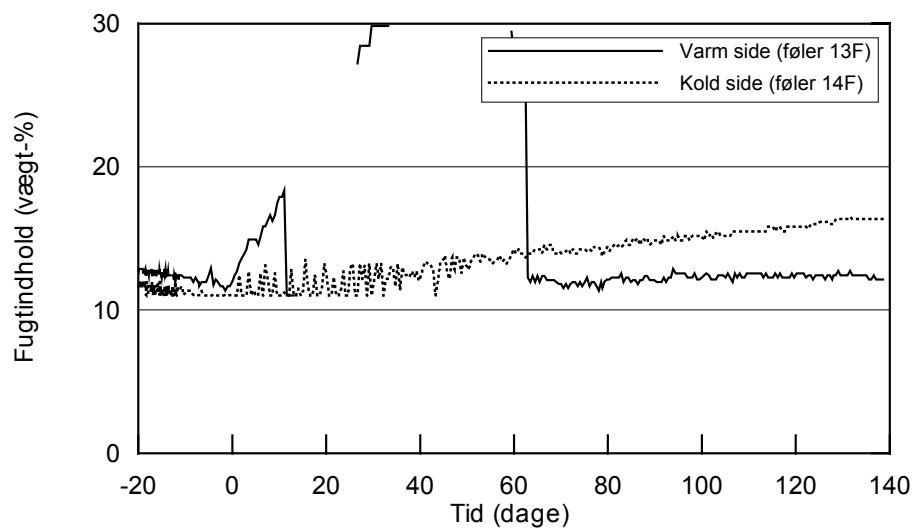


### Udførelsesfejl:

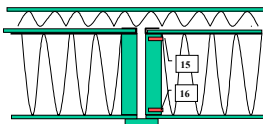
- Ingen diffusionstætning indvendigt

### Bemærkninger:

- Fugtmåler 13F fungerer ikke fra døgn 14-27



## Detalje 8 (Elementtype 3)

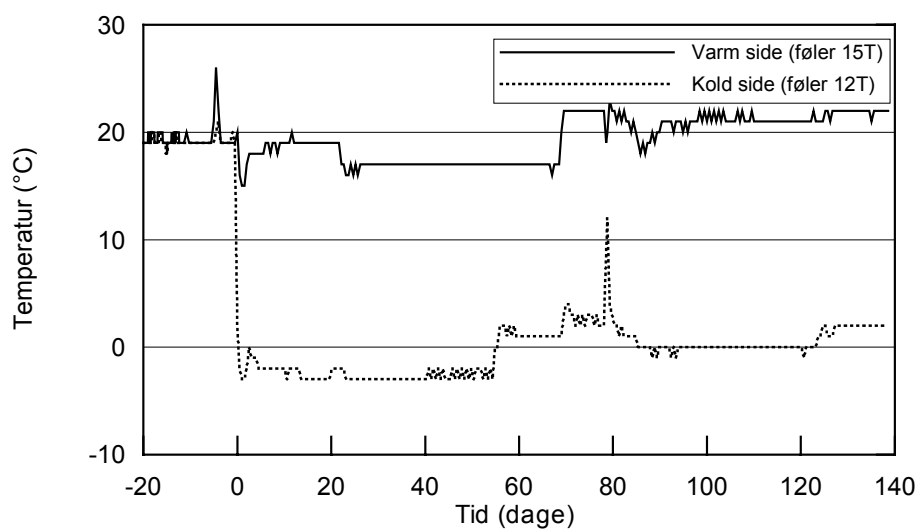
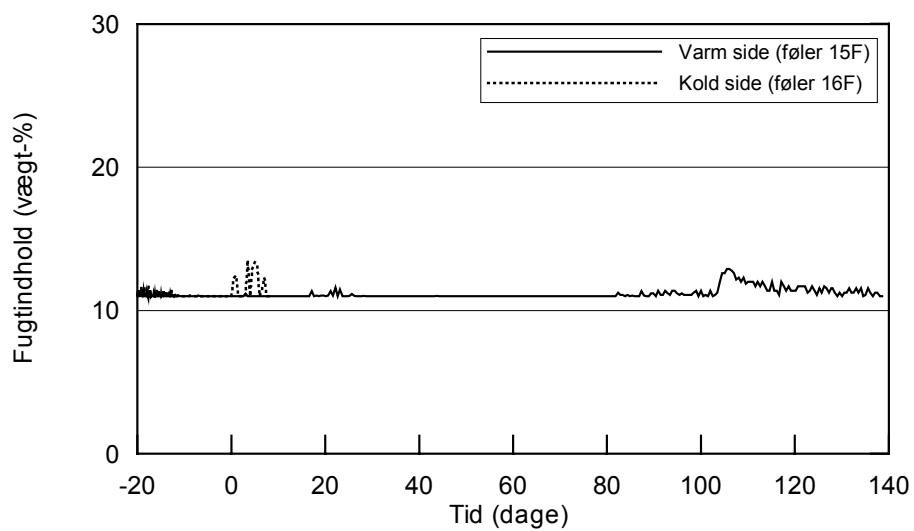


### Udførelsesfejl:

- Ingen diffusionstætning indvendigt
- Ingen stopning

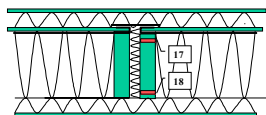
### Bemærkninger:

- Temperaturføler 16T er erstattet af 12T.
- Fugtmåler 16F fungerer ikke fra døgn 9





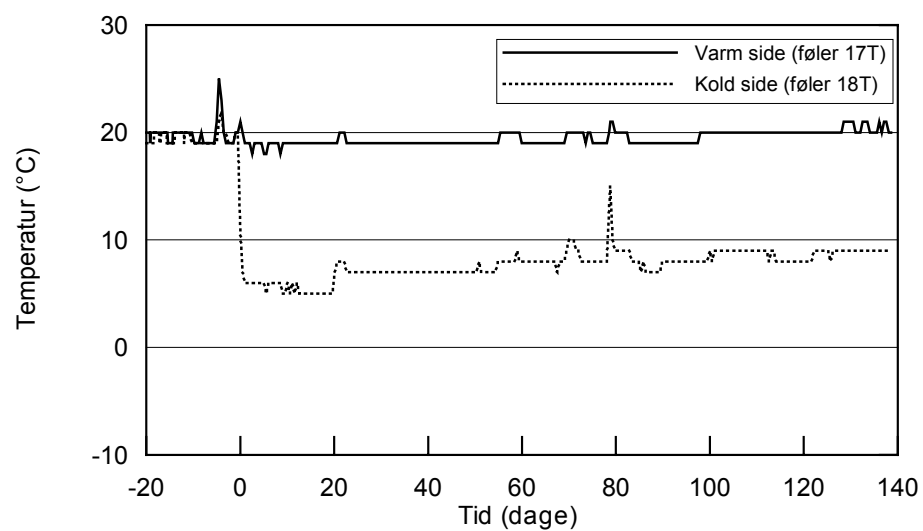
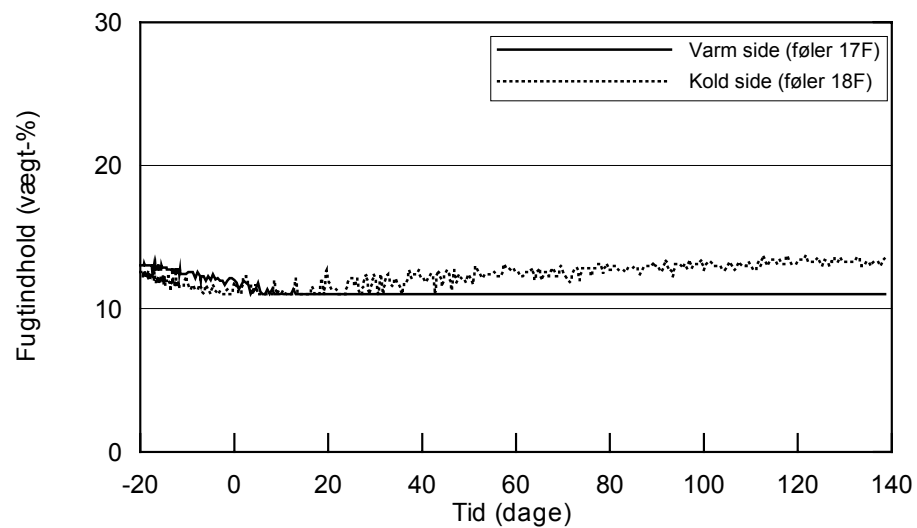
## Detalje 9 (Elementtype 2)



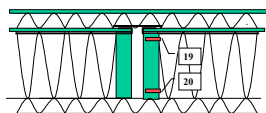
**Udførelsesfejl:**

– Ingen

**Bemærkninger:**



## Detalje 10 (Elementtype 2)

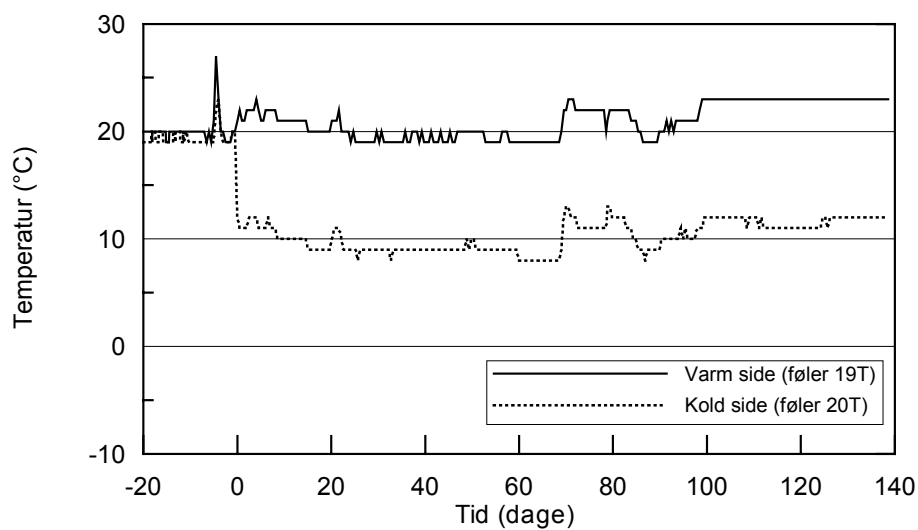
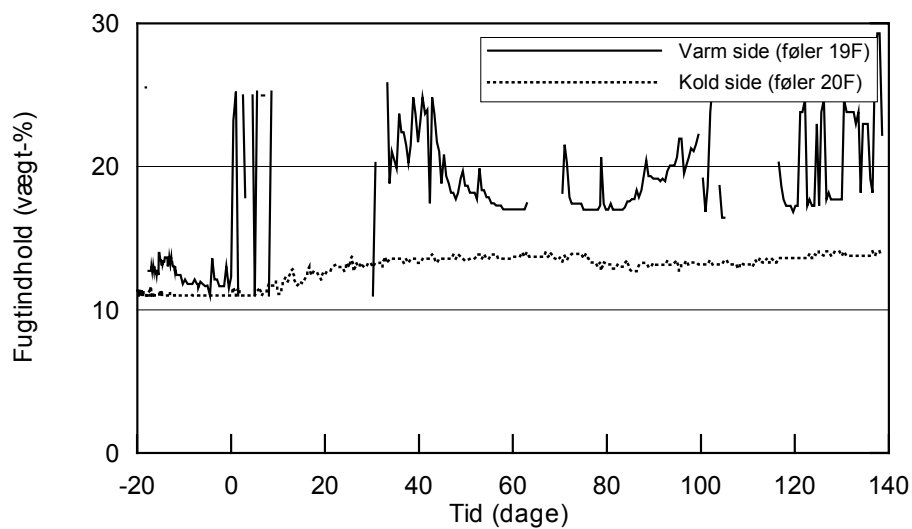


### Udførelsesfejl:

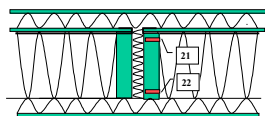
- Ingen stopning

### Bemærkninger:

- Fugtmåler 19F har ikke fungeret i hele forsøgsperioden



## Detalje 11 (Elementtype 2)

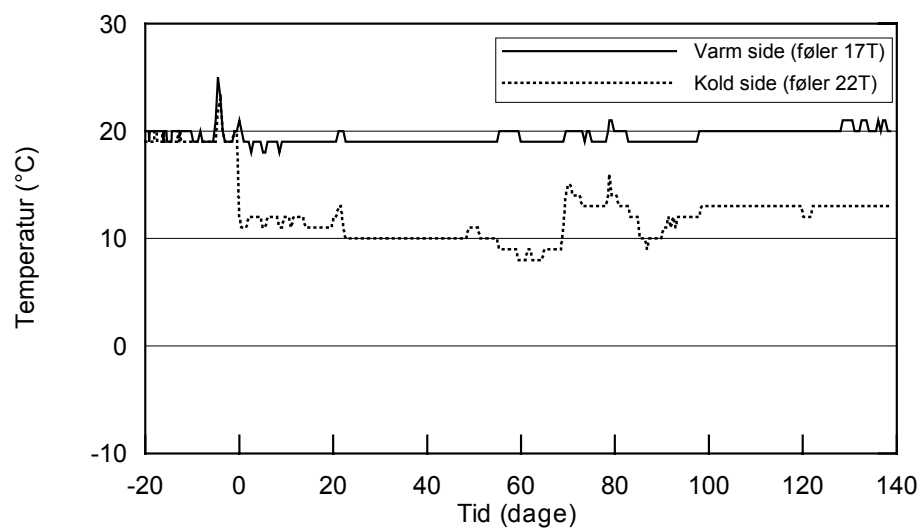
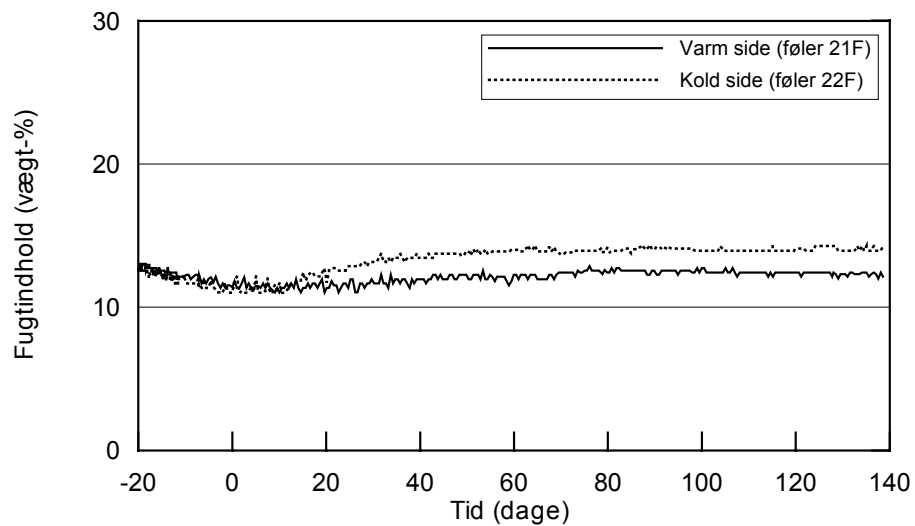


### Udførelsesfejl:

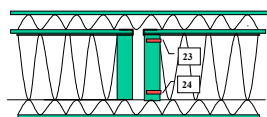
- Ingen diffusionstætning indvendig

### Bemærkninger:

- Temperaturføler 21T er erstattet af 17T



## Detalje 12 (Elementtype 2)

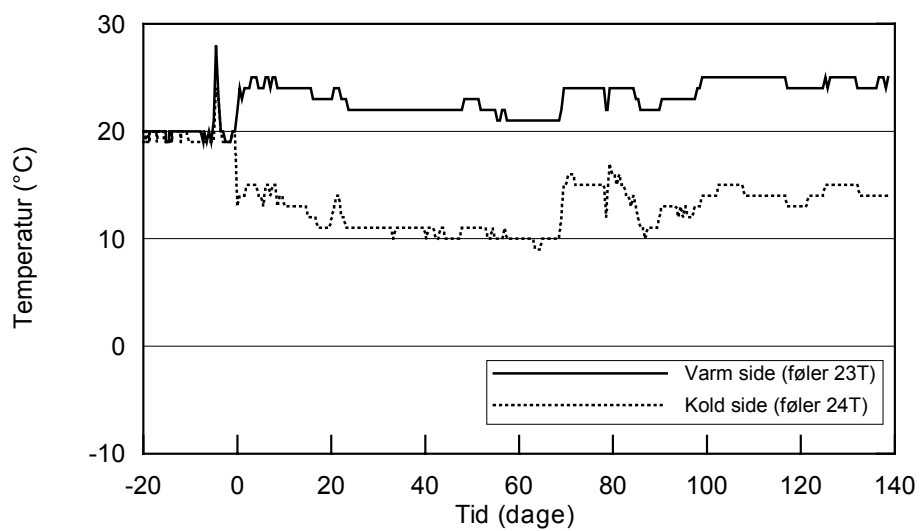
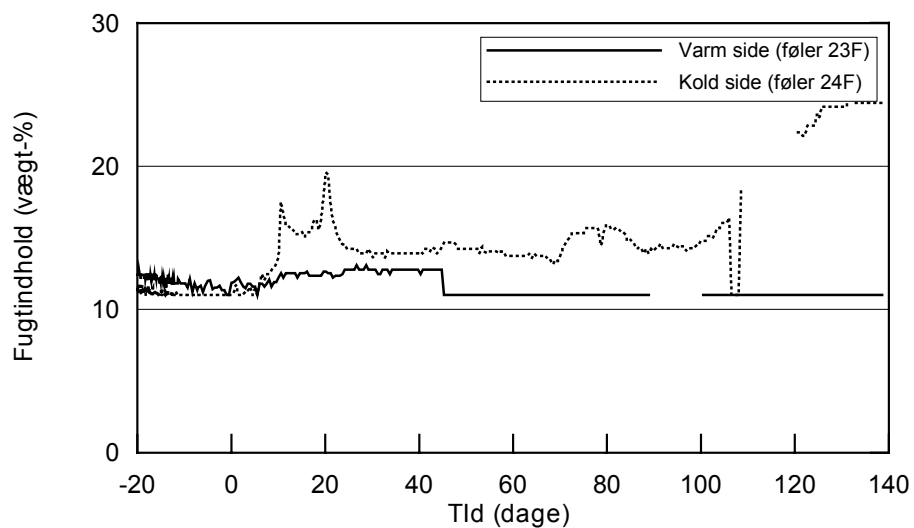


### Udførelsesfejl:

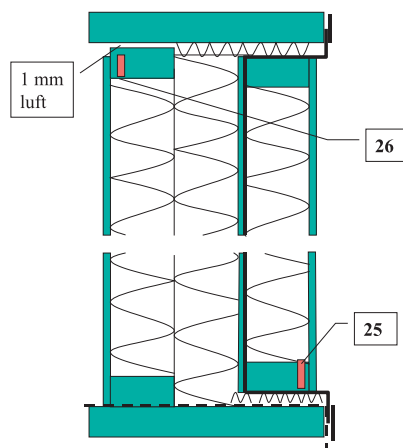
- Ingen diffusionstætning indvendigt
- Ingen stopning

### Bemærkninger:

- Fugtmåler 23F fungerer ikke fra døgn 45.
- Fugtmåler 24F ophører med at fungere i perioden døgn 109-120



## Detalje 13 (Elementtype 1)

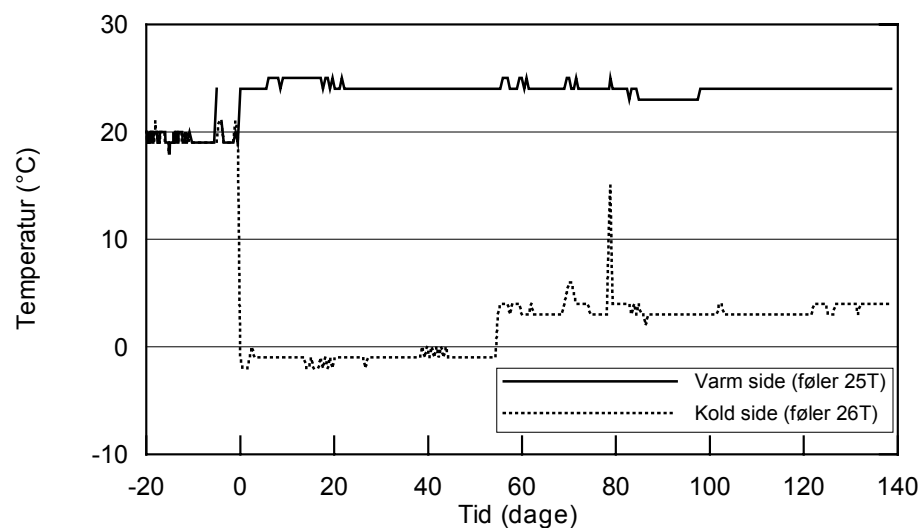
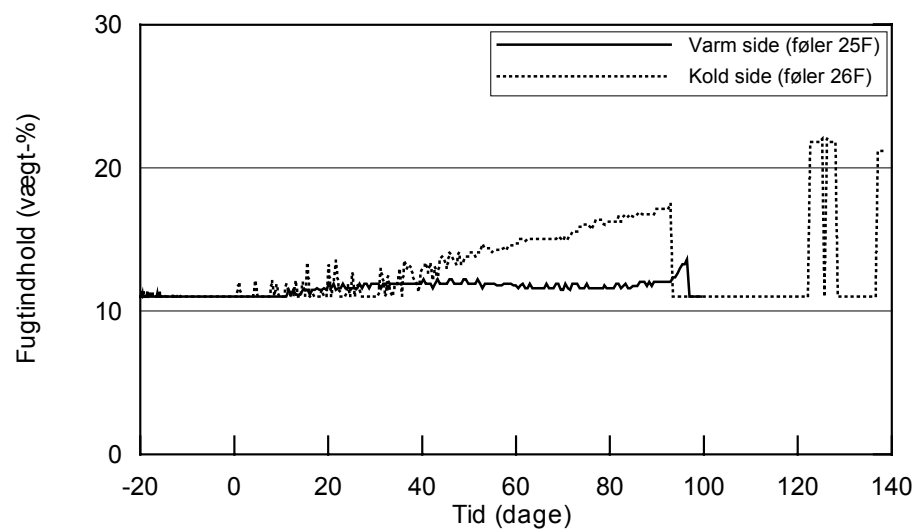


### Udførelsesfejl:

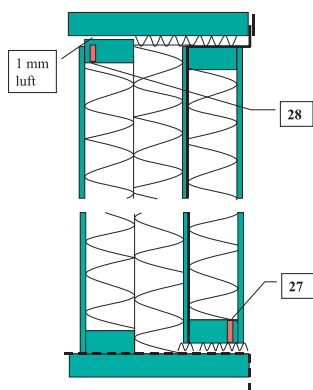
- Ingen

### Bemærkninger:

- Fugtmåler 25F fungerer ikke fra døgn 97.
- Fugtmåler 26F fungerer ikke fra døgn 93.



## Detalje 14 (Elementtype 1)

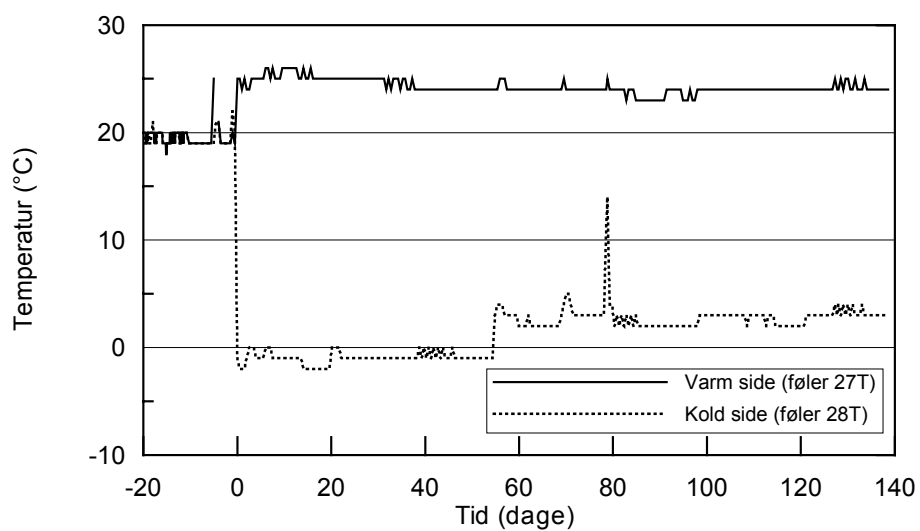
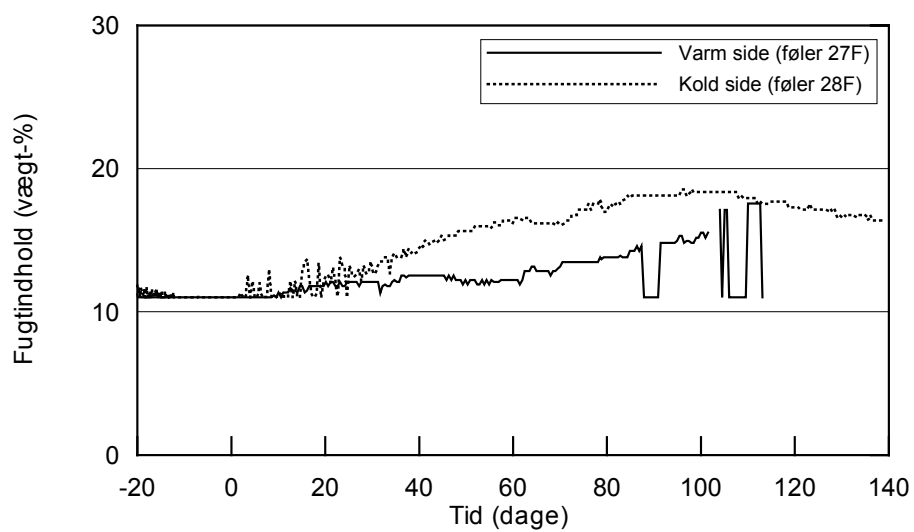


### Udførelsesfejl:

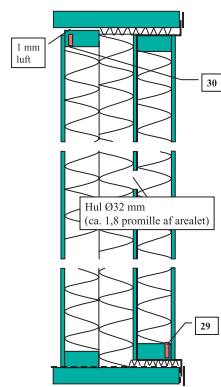
- Ingen diffusionstætning indvendig

### Bemærkninger:

- Fugtmåler 27F fungerer ikke fra døgn 102



## Detalje 15 (Elementtype 1)

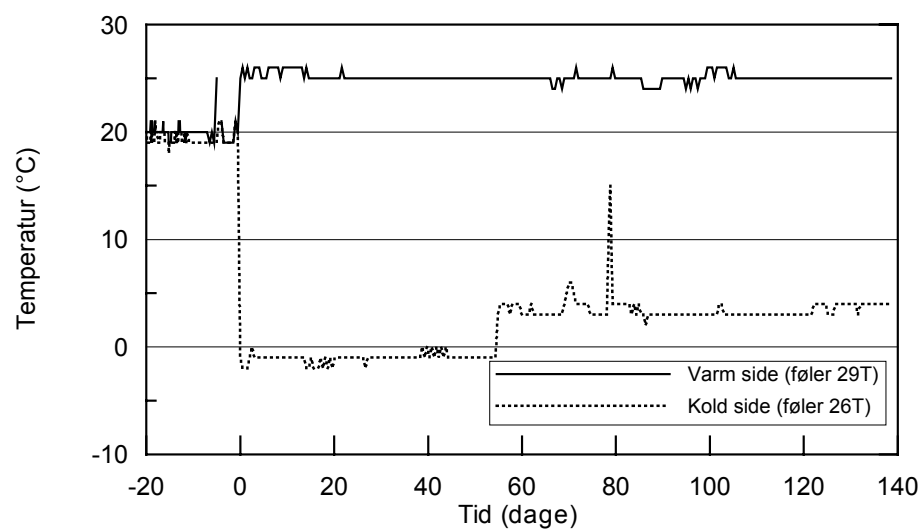
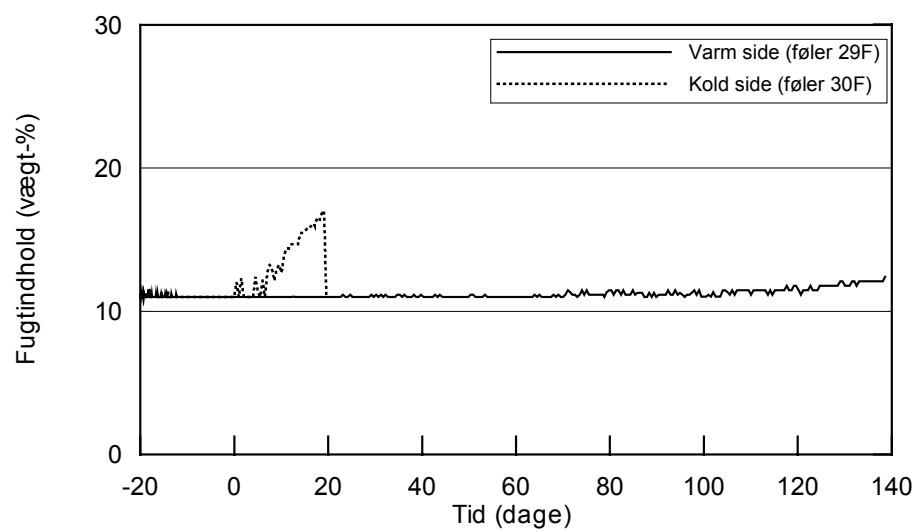


### Udførelsesfejl:

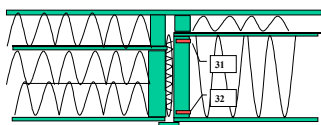
- Hul i dampspærre

### Bemærkninger:

- Fugtmåler 30F fungerer ikke fra døgn 19



## Detalje 16 (Elementtype 1 og 3)

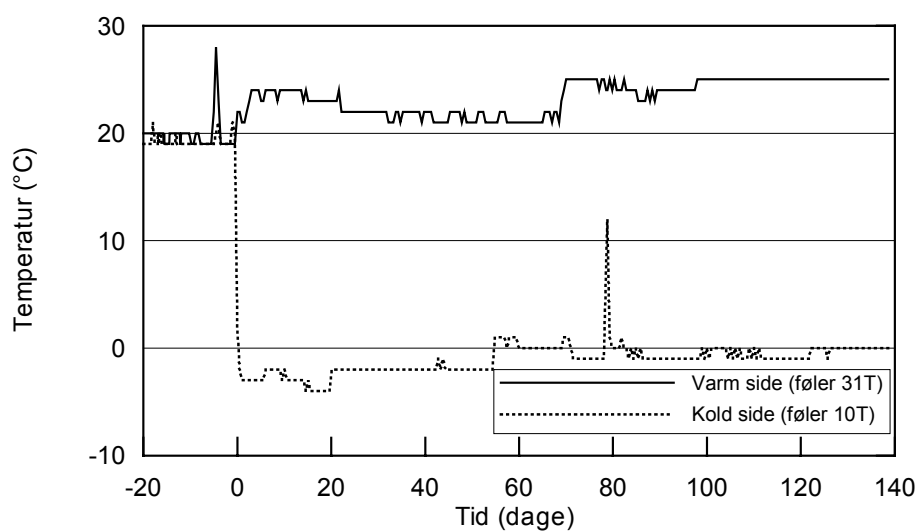
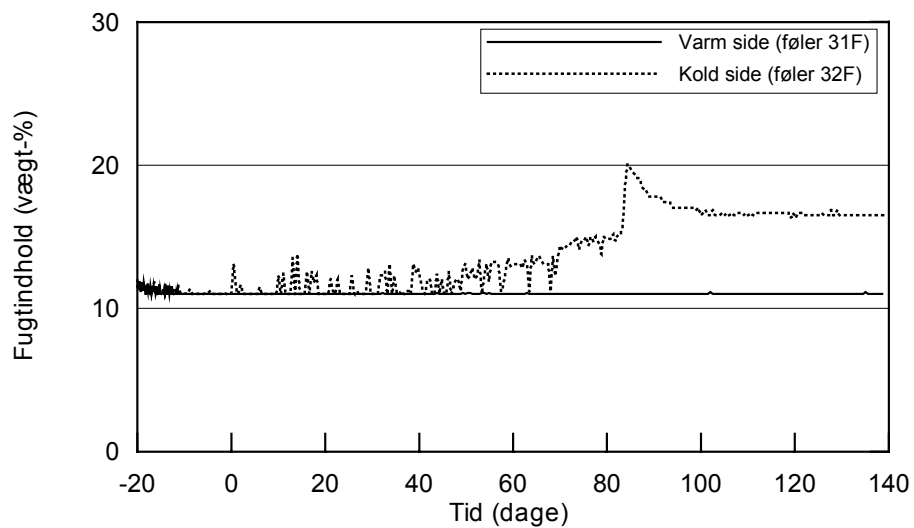


### Udførelsesfejl:

- Ingen (posetætning)

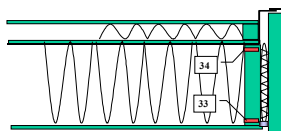
### Bemærkninger:

- Temperaturføler 32T er erstattet af 10T





## Detalje 20 (Elementtype 3)

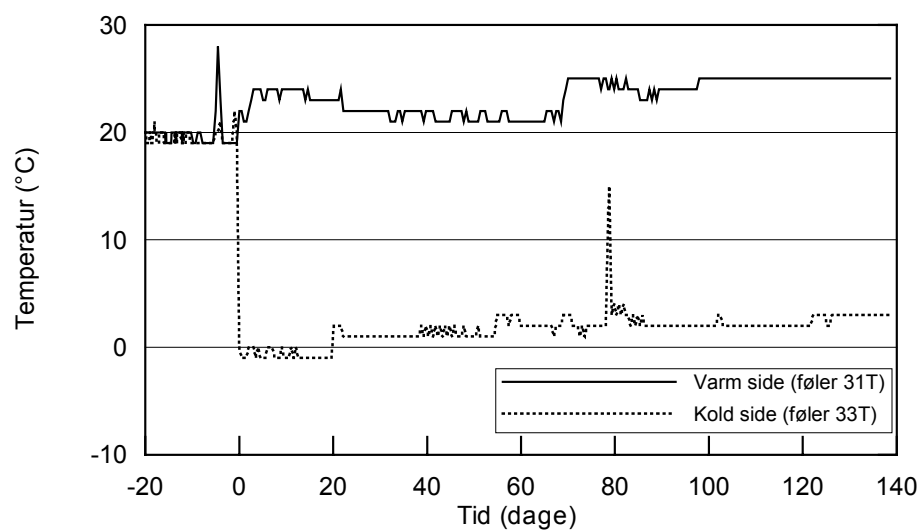
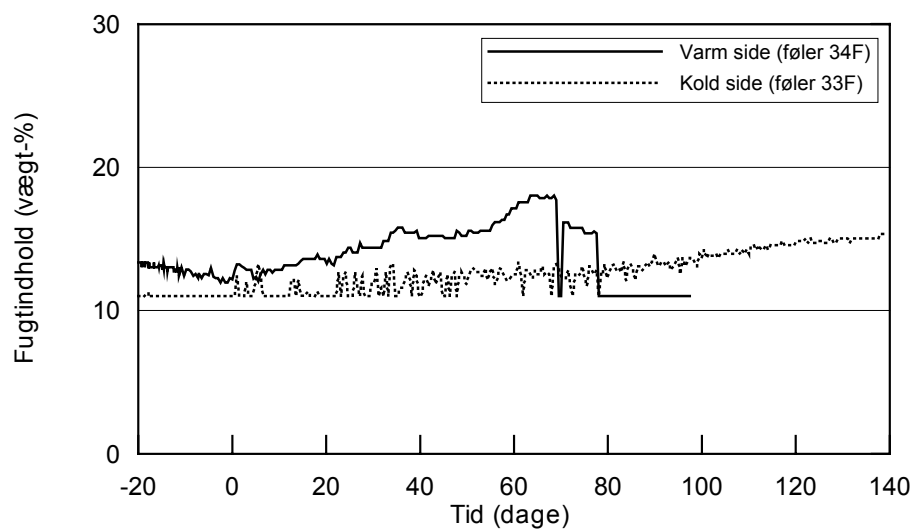


### Udførelsesfejl:

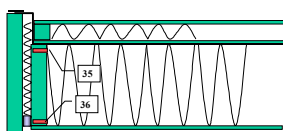
- Ingen (posetætning mod ramme)

### Bemærkninger:

- Temperaturføler 34T er erstattet af 31T.
- Fugtmåler 34F fungerer ikke fra døgn 78



## Detalje 21 (Elementtype 3)

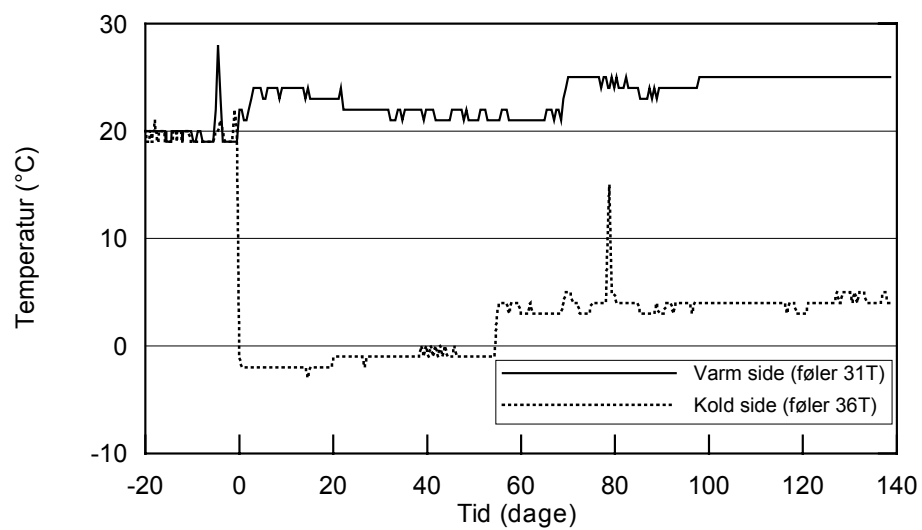
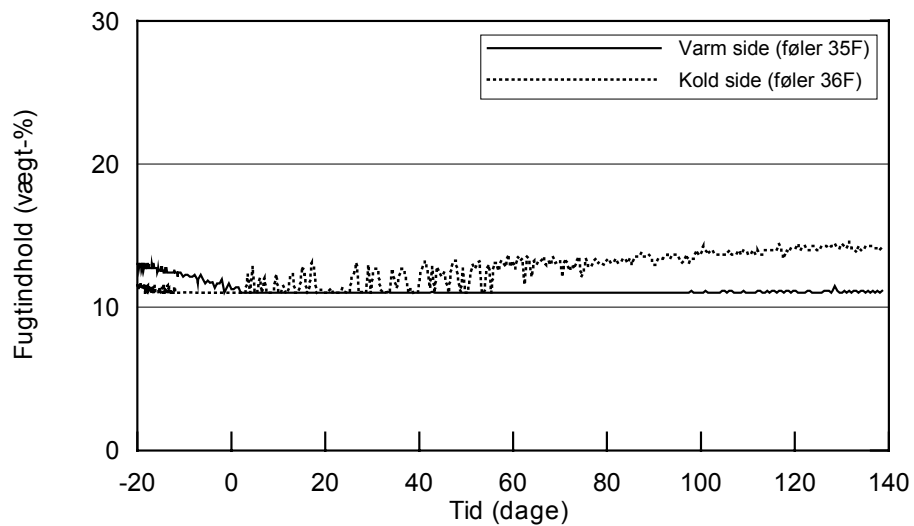


### Udførelsesfejl:

- Ingen (stopning mod ramme)

### Bemærkninger:

- Temperaturføler 35T er erstattet af 31T



## Bilag 4 Oversigt over fugtindholdet i samlingsdetaljerne

Oversigt over fugtindholdet i vægt-% i detaljerne målt ved hjælp af fugtmåledyvlere (hvide felter) og manuelle træfugtighedsmålinger (skraverede felter) på den kolde side af konstruktionen. Samt fugtindholdet i isoleringen i vægt-%.

Elementtype	Følere	Detalje nr.	Fugtindhold ved afslutning	Maksimum fugtindhold	A1: Ved føler	D1: Nederste hjørne (vange til højre for føler)	B1: Nederste hjørne (vange med føler)	E: Bundrem hjørne (til højre for føler)	C: Bundrem hjørne (med føler)	D: Vange hjørne (til højre for føler)	B: Vange hjørne (med føler)	Fugtindhold i isolering ved føler	Fugtindhold i isolering ud for en samling
3	1,2	1	15	15	15	17	15	26	14	29	15	2,7	
	3,4	2		17	15	20	42	33	17	27	16	0,1	
	5,6	3	15	17	13	26	36	17	19	16	19	0,2	
	7,8	4	17	17	15	41	38	41	35	17	32	62,8	
	9,1	5	14	14	11	26	20	20	15	25	13	0,2	
	11,12	6	17	17	18	41	36	43	41	23	44	16,4	
	13,14	7	16	16	14	23	26	36	33	18	28	0,5	
	15,16	8			14	31	36	30	43	41	34	5,8	
2	17,18	9	14	14	9	13	10	16	16	12	14	0,3	24
	19,20	10	14	14	12	16	32	18	22	15	19	1,5	473
	21,22	11	14	14	8	14	13	23	42	26	19	0,1	205
	23,24	12		15	16	18	34	20	48	15	48	0,5	549
1	25,26	13	18	17	17				34		17	43	
	27,28	14	16	18	15				17		18	235	
	29,30	15							35		31	264	
3	31,32	16	17	20	13	29	44	23	45	22	47	8,3	
	33,34	20	15	15	10				19		14	0,3	
	35,36	21	14	14	12	20			15		12	0,3	

Fugtophobningen i en række træfacadeelementer med forskellige konstruktionsopbygninger med eller uden fejl i samlingerne er bestemt under laboratorieforhold. Rapporten dokumenterer, at fejl i samlinger mellem træfacadeelementer medfører højere fugtindhold i konstruktionstræet, end når samlingerne er udført korrekt.

Målingerne viser samtidig, at fugtindholdet i konstruktionstræet er på et acceptabelt niveau, uanset om der er fejl i samlingerne eller ej. Tidligere forsøg med fejlfri samlinger viser dog, at fugtindholdet andre steder i elementet kan være højere end i konstruktionstræet. De her afrapporterede forsøg er en del af en længere forsøgsrække under projektet *Fugtsikre træfacader*.

1. udgave, 2003

ISBN 87-563-1152-4

ISSN 1600-8022