



Fugt og isolering

UNDERSØGELSE AF FUGTVARIATIONER I STRESSED-SKIN TAGELEMENTER UDEN UDLUFTNING

Ingeniør Uwe Lohse

RESUMÉ:

Målinger af fugtindholdet i stressed-skin tagkonstruktioner på bygninger i Canada og Danmark samt ved laboratorieforsøg i SBI har vist, at man kan undlade udluftning og den traditionelle dampspærre under normale temperatur- og luftfugtighedsforhold, når der anvendes krydsfiner i flangerne, og elementerne fremstilles under kontrollerede forhold.

I bygningsreglementet BR 72, kapitel 7 om fugtisolering omtales imidlertid i afsnit 7.7, stk. 3-5, at tage skal konstrueres således, at der ikke opstår skadelig kondens. Endvidere gives der den praktiske oplysning, at tagrum af træ skal udluftes, samt at loftet skal forsynes med en effektiv dampspærre. Der kræves endvidere, at udluftningsåbningens samlede areal skal være større end 1/500, hvilket for store tagflader kan blive ganske kompliceret. En mere simpel udformning af tagelementer hvad udluftningen angår ville være af stor økonomisk betydning.

For stressed-skin tagelementer med krydsfiner i flangerne kan det dog forventes, at der er så stor lufttæthed og dampdiffusionsmodstand i den nederste flange, at det kun er ubetydelige fugtmængder, som ville trænge op i tagelementet, og at udluftning derfor ville være unødvendig. For at få af- eller bekræftet denne formodning har Statens Byggeforskningsinstitut efter en henvendelse fra COWIconsult undersøgt en type stressed-skin tagelementer med krydsfiner i begge flanger udført uden dampspærre og udluftning. Der blev indledningsvis foretaget nogle målinger i laboratoriet, og senere er forholdene i en bygning blevet fulgt gennem 3 år.

Konklusionen af målinger såvel i laboratoriet som ved langtidsmålinger gennem 3 år i en større bygning har vist, at den undersøgte type tagelementer kan anses for fuldt forsvarlige med de i notatet omtalte begrænsninger angående fugt- og temperaturforhold i underliggende rum. Endvidere er det en nødvendig forudsætning, at indstrømning af rumluft i tagkonstruktionen er effektivt forhindret.

Indhold:

	side
1. Baggrund for anvendelse af stressed-skin elementer uden udluftning.....	2
2. Laboratorieforsøg med stressed-skin tagelementer.....	5
3. Undersøgelse af stressed-skin tagelementers fugtforhold i praksis	15

Juli 1976

YDERLIGERE OPLYSNINGER KAN FÅS VED HENVENDELSE TIL:

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

Forfatteren

43 00787P
26 JAN. 2001

1. Baggrund for anvendelse af stressed-skin elementer uden udluftning

Tanken om at anvende en udluftet tagkonstruktion af træ stammer fra Canada, hvor der allerede i 1963 blev publiceret en rapport om emnet (1). I det følgende beskrives i uddrag de canadiske undersøgelser samt de ræsonnementer, der gøres vedrørende konstruktionsmetoden.

Hvis tagkonstruktioner af træ kan udføres således, at der ikke transporteres fugt op i taget fra underliggende rum, vil udluftning af sådanne tage kunne udelades, da udluftningen alene har til formål at bortføre de fugtmængder, som strømmer op i taget, især i vinterperioden.

Ved udformning af et tag, der er tæt imod luftindtrængning fra underliggende rum samt relativt diffusionstæt i de lag, der ligger på isoleringens varme side, vil fugttransporten op i taget kunne begrænses meget væsentligt.

Hypotesen for den her beskrevne undersøgelse er:

- 1) at der i en stressed-skin tagkonstruktion kun ophobes så små fugtmængder, at de kan antages for acceptable, og
- 2) at de fugtmængder, som ophobes, kan udtørre ved opvarmning af taget i sommerperioden umiddelbart efter vinterperioden.

Udtørringen om sommeren er så kraftig, at vanddampdiffusion kun spiller en mindre rolle

Først undersøgte en del bygninger, som var opført til den canadiske hær. Tagelementerne bestod af lukkede stressed-skin elementer. Foretages en beregning for vanddampdiffusionen ind i elementet ved 21° og 30% RF inde i bygningen, og - 18°C og 80% RF udenfor og en PAM-værdi på 53, viser det sig, at fugtindholdet maksimalt kan stige med 3% (vægt) i løbet af 3 måneder. Dette gælder, selv når man regner med, at ingen fugt kan undvige, og at alt skal ophobes i konstruktionen. Dette forhold medfører, at én vinters påvirkning ikke vil give problemer.

Spørgsmålet er blot, om udtørringen om sommeren er så kraftig, at det på lang sigt kan undgås, at der ophobes større fugtmængder. Da udtørringseffekten kan variere betydeligt fra sommer til sommer, og viden om udtørringseffekten på stressed-skin elementer ikke var tilstrækkelig, kunne man på dette tidspunkt ikke anbefale at undlade dampspærren (1950).

Nyt syn på fugtophobningens årsag

Ødelæggende kondensation er en almindelig foreteelse i konventionelle bygninger i Canada, især i kviste og tagrum. For at undgå dette, foretrækkes normalt en opbygning, som er let at forsyne med dampspærre i forbindelse med en diffusionsåben ydre beklædning eller udluftningshuller.

I tidens løb er man dog blevet klar over, at det ikke så meget er diffusionen i de konventionelle bygninger, men den luftudstrømning i vægge og tagrum gennem tilfældige spalter og åbninger, som er skyld i skadelig fugtophobning.

De store mængder vand og is, som er fundet i tagrum, kan kun forklares ved, at luften er strømmet gennem tilfældige åbninger. Den varme lufts "skorstenseffekt" yder gennem en vinter et konstant tryk, som medfører, at der kan presses varm og fugtig luft ind i tagrummet. Luftens bevægelse kan tit være så kraftig, at den nær spalten direkte kan fornemmes på huden. Denne luftstrømning vil ikke kunne ske gennem lukkede stressed-skin elementer, fordi krydsfinerpladen i sig selv er lufttæt, og fordi befæstelse af genstande samt gennemføring af rør og kanaler undgås i videst muligt omfang. Er sådanne "perforeringer" af loftfladen uundgåelige har der været truffet særlige foranstaltninger (fx tætning med fugemasse), som sikrer absolut lufttæthed i loftfladen.

Hvert element er lukket i kanten, hvorved vanddamp, som måtte trænge ind i samlingerne, ikke umiddelbart kan bevæge sig videre ind i elementet. For at sikre den ønskede tæthed skal elementerne være fremstillet på fabrik, hvor den fornødne kontrol kan gennemføres, i modsætning til hvad der gælder for konstruktioner opbygget på stedet.

Undersøgelse på udførte bygninger

Målinger på bygninger i brug giver den bedste kontrol med, om en sommers udtørring svarer i det mindste til en vinters fugtophobning. Private firmaer har anvendt stressed-skin konstruktioner under arktiske forhold igennem længere tid. Nogle anvender en speciel maling som dampspærre, mens andre undlader den. Ofte er der heller ikke etableret udluftning. I alle lukkede konstruktioner er der ikke observeret kondens. I bygningerne findes tit køkken, spiserum og vaskehaller. Alle firmaer giver krydsfineren en grundmaling, således at den er mindre gennemtræn-

4

gelig end pladen alene. Alle skjulte samlinger er søgt tætnet med denne maling. Nogle firmaer anbragte bagefter små udluftningshuller i de fleste elementer, efter samråd med det canadiske byggeforskningsinstitut.

I 1960 undersøgtes en bygning, som havde været i brug fra 1947-57 som køkken, siden som skole og bolig m.m. Der konstateredes ingen fugt, endog den udvendige krydsfiner var ren, tør og lys i farven. Elementerne var helt fyldte med mineraluld, havde ingen dampspærre eller udluftningshuller. Det samme var tilfældet med de øvrige undersøgte bygninger.

I modsætning hertil viste de konventionelle bygninger nogen fugt i væggene, men ingen skader, hvilket tyder på, at der finder en rimelig udtørring sted om sommeren.

Til gengæld viste alle tagrum middel eller stort fugtindhold, ligegyldig hvor godt de var udluftede.

Konklusion i den canadiske rapport

Undersøgelserne tyder på, at lukkede stressed-skin konstruktioner vil være uden kondensproblemer, selv om de udføres uden udluftning og dampspærre.

Dette gælder alle lukkede og limede elementer med fuldstændig kanttæthed, og når diffusionstallet af begge lag er ens (mindst 37 PAM).

Når det ydre lag er tæt, kan man på nuværende tidspunkt ikke være sikker på, om en sommers udtørring vil være fuldstændig. Det anbefales derfor på dette tidspunkt (1960), at de to lag har samme diffusionstal, eller at det indre lag er det tætteste, når der ikke anvendes udluftning.

Dette gælder også sandwich-konstruktioner, når der anvendes diffusionsåben fyld. Derimod kan man tage lettere på tingene, hvis fylden består af tæt plastskum el. lign., idet den modvirker både fugttransport ved diffusion og luftbevægelse. Undersøgelser viser, at konstruktionen endog vil være fugtsikker, når der til ophængning af genstande og lignende skæres huller i pladen på indersiden. Det er dog en forudsætning, at hulrummet er helt udfyldt.

2. Laboratorieforsøg med stressed-skin tagelementer

Det er klart, at det ville være uansvarligt uden nærmere undersøgelse at benytte sig af disse canadiske undersøgelser og deres konklusion ved udførelse af lignende konstruktioner i det danske klima. Ikke mindst, hvor der som her er tale om en konstruktion, der umiddelbart er i strid med de normale regler for tagkonstruktioner af træ.

Dette forhold førte til en nærmere drøftelse mellem Det danske Trælaskompagni, Tåsinge Træ, COWIconsult og SBI, der resulterede i, at der i 1970-71 i SBI's laboratorium gennemførtes et forsøg, hvor et tagelement blev udsat for samme påvirkning, som det måtte formodes at blive udsat for under en streng vinter, idet der inde blev holdt en temperatur på 25°C og ca. 58% RF og ude -10°C og ca. 85% RF. Krydsfinerens diffusionsmodstandstal blev målt til 70 PAM. På syv uger, svarende til en hård vinters påvirkning, steg fugtindholdet i træet kun med 3%.

På grundlag af dette forsøg fandt man det forsvarligt at udføre en tagkonstruktion med stressed-skin tagelementer udført uden dampspærre og uden udluftning. Bygningen var et ca. 2000 m² stort byggemarked, hvor der ikke kunne forventes særligt højt fugtindhold.

Denne tagkonstruktion har fra foråret 1971 til 74 været genstand for målinger af temperatur- og fugtvariationer, og træets fugtindhold har fulgt den forventede årstidsvariation - stigende fugtindhold om vinteren og udtørring om sommeren - med en stadig faldende tendens for det maksimalt målte fugtindhold år for år.

Ved en undersøgelse i foråret 1974 af den indvendige side af elementerne viste det sig, at både bjælker og krydsfiner var lyse i farven, og der var ikke tegn på fugtskade.

En foreløbig konklusion må være, at for bygninger med indeklima svarende til "forsøgsbygningen" vil den i fig. 10 beskrevne tagkonstruktion være anvendelig. Dog må det bemærkes, at der i perioden 1971-74 ikke har været en egentlig streng vinter.

For nærmere at belyse, hvilken betydning der skal tillægges de enkelte parametre - herunder strengere vintre - arbejder SBI i øjeblikket på udvikling af et EDB-program, der kan anvendes til analyse af disse forhold.

Beskrivelse af forsøgselementet

Formålet med forsøget var ved hjælp af et element opbygget som i praksis at bedømme fugtophobningen i løbet af en vinterperiode, idet der på begge sider af elementet blev opretholdt sådanne fugt- og temperaturforhold, som er relevante for årstiden. Man sigtede især på at bedømme, om der ville ophobes urimelige store fugtmængder med deraf følgende risiko for angreb af råd og svamp.

Det til forsøget benyttede tagelement (se fig. 1) bestod af en ca. 1 m x 1 m, 45 mm x 185 mm træramme, som på begge sider ved sømlimning var beklædt med et lag 16 mm Douglas fyr krydsfiner. I tagelementets bund var som varmeisolering anbragt et lag 10 cm fastholdt mineraluld. Da ribbernes højde var 18,5 cm, fremkom der over isoleringsmaterialet et 8,5 cm luftmelletrum, som under normale forhold udluftes til det fri, men i dette tilfælde var denne udluftning udeladt. På tagelementets yderside mod det fri var der med asfaltklæber fastgjort ét lag tagpap. Elementet var med en 45 mm x 185 mm midterribbe delt i to halvdele, hvor der i den ene halvdel imellem mineraluld og krydsfinerpladen på elementets varme side var anbragt en 0,1 mm plastfolie. Formålet hermed var at se, om en sådan membran i væsentlig udstrækning ville formindske de fugtmængder, som trængte op i tagelementet fra det underliggende rum.

Forsøgsbetingelser

Tagelementet blev anbragt lodret som vægelement i SBI's klimaefterligningsapparat, som er nærmere beskrevet i SBI-rapport nr. 52: "Et forsøgsapparat til bedømmelse af ydervægges frostbestandighed". Det anses ikke for sandsynligt, at fugtbevægelsen og ophobningen i elementet vil ændre sig væsentligt, når tagelementet anbringes vandret i stedet for lodret, hvilket var nødvendigt i det forhåndenværende apparatur.

Føler nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Temp. °C	25	24,5	22,5	24	-7	-8	-7	-7,5	-8	-7	-9	-9,5	21	25,5	-11	-9	-9,5

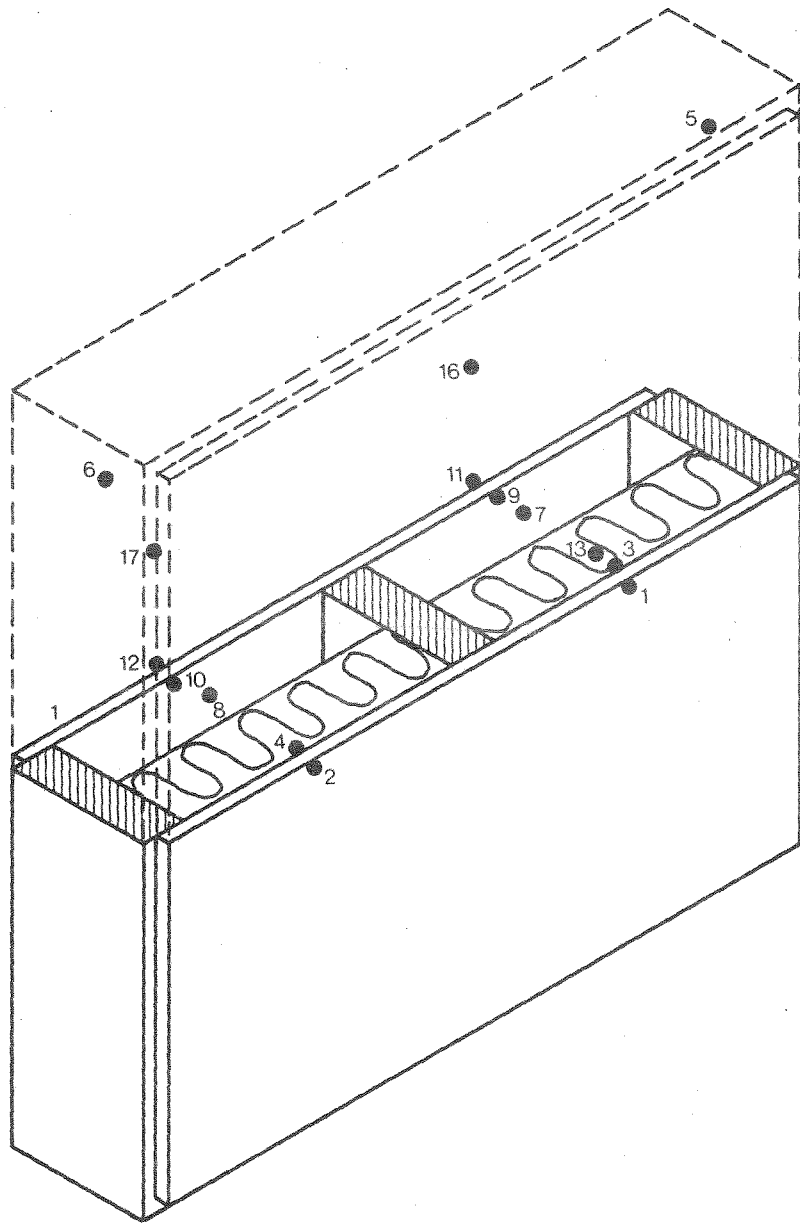


Fig. 1. Placering af termoelementer og fugtfølere (pkt. 5 og 6) ved laboratorieforsøg.
 Pkt. 14 og 15 var anbragt henholdsvis i det varme og det kolde rum på begge sider af elementet.

I tagelementet var der anbragt to fugtfølere til måling af fugtindholdet i træet på stolpekonstruktionens kolde side. Fugtfølerne består af to stålstifter, der er isolerede, med undtagelse af spidserne, hvorimellem den elektriske ledningsevne måles, når stifterne er slået ind i træet. De blev anbragt i de yderste stolper i den øverste trediedel af elementets kolde side og slået ind til ca. midten af stolpetværsnittet. Der anbragtes én føler i hver halvdel af elementet.

Til bestemmelse af temperaturforholdene var der anbragt 15 Cu-Cn termoelementer. Placeringen fremgår af fig. 1.

På tagelementets varme side blev der holdt konstante temperatur- og fugtforhold på 25°C og ca. 57-58% RF. På elementets kolde side blev der holdt et udeklima på -10°C og en relativ luftfugtighed på 85-90% RF.

Forsøget varede i 7 uger, og de to fugtfølere og temperaturfordelingen i elementet aflæstes dagligt. Temperaturmålingerne blev registreret kontinuert med en Honeywell-potentiometerskriver. På den varme side blev den relative luftfugtighed opretholdt ved hjælp af en saltopløsning.

For at bedømme relevansen af de gennemførte forsøg kan man foretage en beregning af den fugtmængde, der diffunderer fra den varme til den kolde side af elementet både ved en normal vinters påvirkning og ved forsøget. Beregningerne kan ikke blive helt eksakte, da der må gøres antagelser med hensyn til temperatur og relativ fugtighed inde i elementet, samt at den relative fugtighed ændres efterhånden som fugtmængden stiger. For sammenligningen spiller dette dog ingen rolle.

Når fugtindholdet i træet antages at være 15%, bliver den relative fugtighed 75% RF. Ved en udetemperatur på 4°C antages luftrummet over isoleringen at have en temperatur på 6°C . Temperaturen under selve forsøget målt til -7°C .

Damptryksforskellen i den antagne vinterperiode på 227 døgn bliver da $7,9 - 5,3 = 2,6$ mm Hg, og ved forsøget $13,7 - 1,9 = 11,8$ mm Hg. PAM-værdien af krydsfinerlaget blev målt til 70, hvilket svarer til

$$\frac{1}{70} = 0,0143 \text{ g/m}^2/\text{time/mm Hg.}$$

Den diffunderede vandmængde i løbet af en vinter bliver da:

$$2,6 \cdot 0,0143 \cdot 24 \cdot 227 = 202 \text{ g}$$

og i forsøget:

$$11,8 \cdot 0,0143 \cdot 24 \cdot 49 = 199 \text{ g.}$$

Som det ses svarer forsøget praktisk talt til en vinters påvirkning i fugtmæssig henseende.

Ønskes oplysning om den procentvise stigning i træets fugtindhold, må vægten af elementet beregnes, når træet er udtørret.

Stolperne:

Antal x dimension x længde x vægtfylde: $5 \times (4,5 \times 18,5) \times 95 \times 0,4 = \underline{15800 \text{ g.}}$

Krydsfiner:

Antal x længde x bredde x tykkelse x vægtfylde: $2 \times 95 \times 95 \times 1,6 \times 0,5 = \underline{14400 \text{ g.}}$

Elementets samlede vægt: $15,8 + 14,4 \sim 30 \text{ kg.}$

Da fugten ophobes i den kolde side, kan den fugtabsorberende del af elementet regnes til halvdelen, dvs. til 15 kg.

Fugtindholdet på grund af diffusion vil da i løbet af en vinter stige med

$$\frac{200 \cdot 100}{15000} = 1,3\% \text{ i gennemsnit.}$$

Desuden vil fugtindholdet stige i den kolde side på grund af omfordeling af fugten fra den varme side.

Fugtindhold i såvel krydsfiner som treramme blev målt før og efter forsøget, dels med et Delmhorst-fugtmåleapparat, type RC-1 B, og dels ved udtørring og vejning af udtagne prøvestykker. Måleprincip samt en række korrektionsfaktorer for apparatet er angivet i SBI-særtryk 189: "Elektrisk måling af fugtindhold i nyere træprodukter". På fig. 2 er vist de steder i elementet, hvor prøvelegemer blev udskåret efter forsøget til bestemmelse af fugtindhold ved udtørring og vejning.

Forsøgsresultater

Temperaturfordelingen i elementet fra den kolde side til den varme side samt termoelementernes placering fremgår af fig. 1.

Inden forsøget blev startet målttes fugtindholdet i krydsfiner og bjælker med Delmhorstapparatet til henholdsvis 9% og 14%. Målingerne fortsattes kontinuert i bjælkernes kolde side og viste en jævn stigning i fugtindholdet, som ved forsøgets afslutning var 17%.

Efter 7 uger blev elementet taget ud af rammen og underkastet en nøje undersøgelse. Der blev udskåret prøvestykker af krydsfiner i både den kolde og varme side for at kunne bestemme fugtindholdet (se fig. 2). På krydsfineren i den kolde side befandt sig et næsten massivt islag, og der var tilsyneladende kun ringe forskel mellem de to element-halvdele (fig. 4 og 5). Derefter blev hele krydsfinerpladen på den kolde side taget af, og islaget faldt ned på mineralulden (se fig. 6 og 7). Herved kunne det konstateres, at der i den halvdel af forsøgsopstillingen, hvor der fandtes en fugtmembran var noget mindre isansamling. På dette tidspunkt blev der også udtaget prøvestykker af elementets stolper.

Ved veje-tørremetoden viste det sig, at krydsfineren i den kolde side indeholdt 13% fugt og tilsvarende på den varme side 6,7% (vægtprocent).

For at få et begreb om fugtindholdet i den kolde sides krydsfiner, hvis fugten i stedet for isdannelse var blevet ophobet i pladen, lod man isen smelte og blive opsuget, hvorefter fugtindholdet ved veje-tørremetoden blev bestemt til ca. 20%.

Fugtindholdet i stolperne blev målt med samme metode, og resultaterne fremgår af nedenstående tabel:

Prøvelegeme	Yderstolpe, område uden plastfolie		Midterstolpe prøve delt i 4 stk.		Yderstolpe, område med plastfolie	
	6	7	10	11-12-13-14	8	9
Kold side	16,2%	16,9%	19,8%	21%) 18,3%)	18,0%	17,5%
Varm side	11,6%	11,2%	11,0%	13%) 8,9%)	12,0%	13,7%

Som det ses på prøvestykket delt i fire dele, varierer fugtindholdet jævnt fra 8,9% i den varme side til 21% på den kolde side. Samme måling, men i syv punkter langs med bjælkens tværsnit, blev foretaget med Delmhorst-apparatet og viste en variation fra 7,5% til 22%, dvs. der var god overensstemmelse mellem de to målemetoder.

Konklusion af forsøget

Forsøget viser at kun mindre mængder fugt diffunderer gennem den

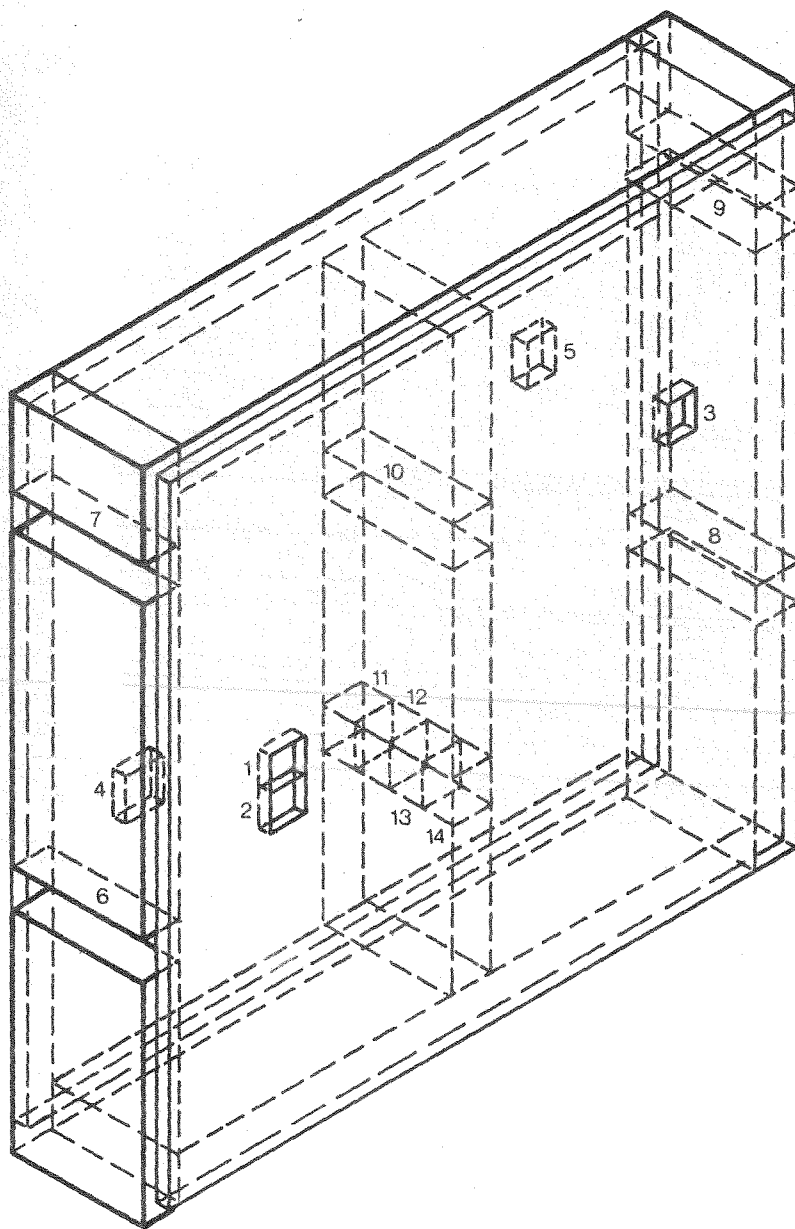
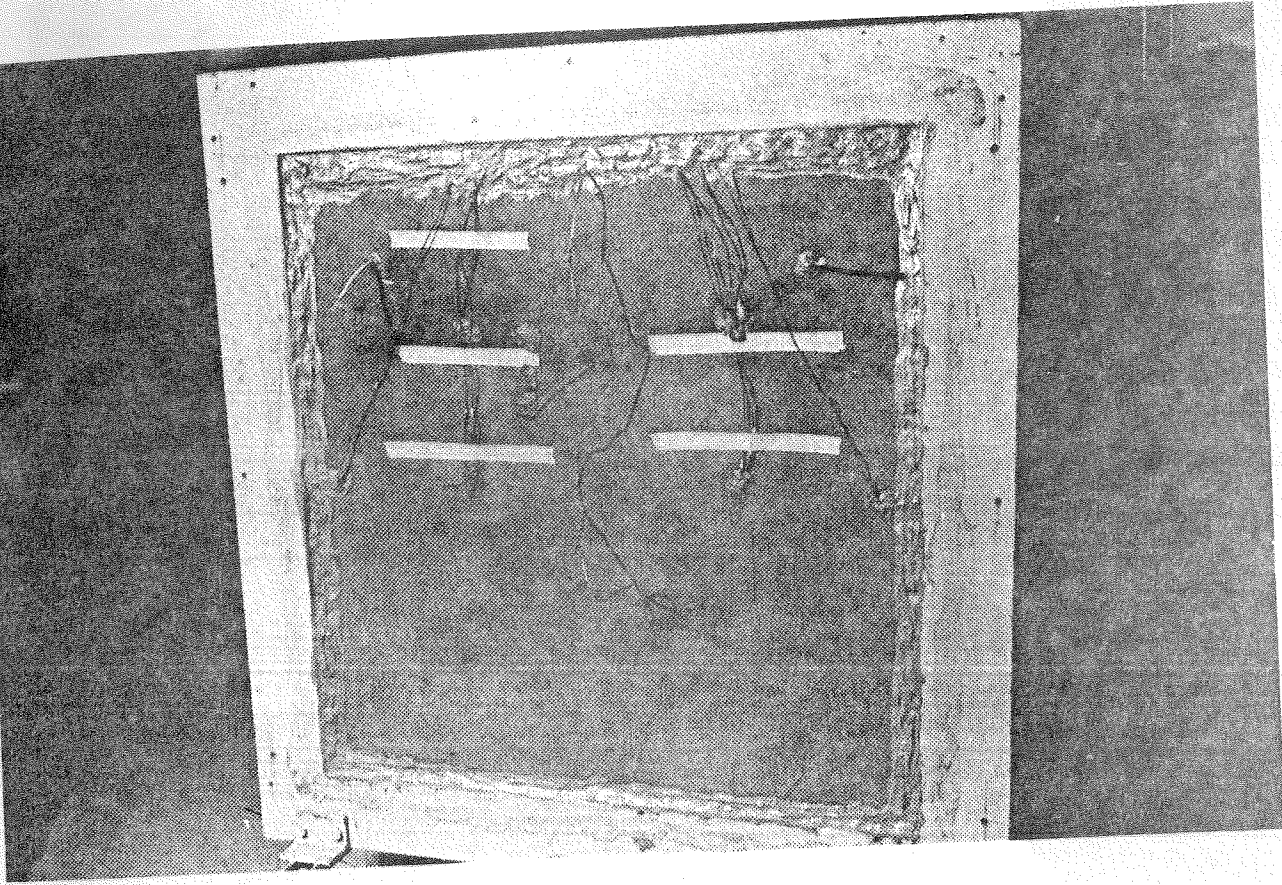
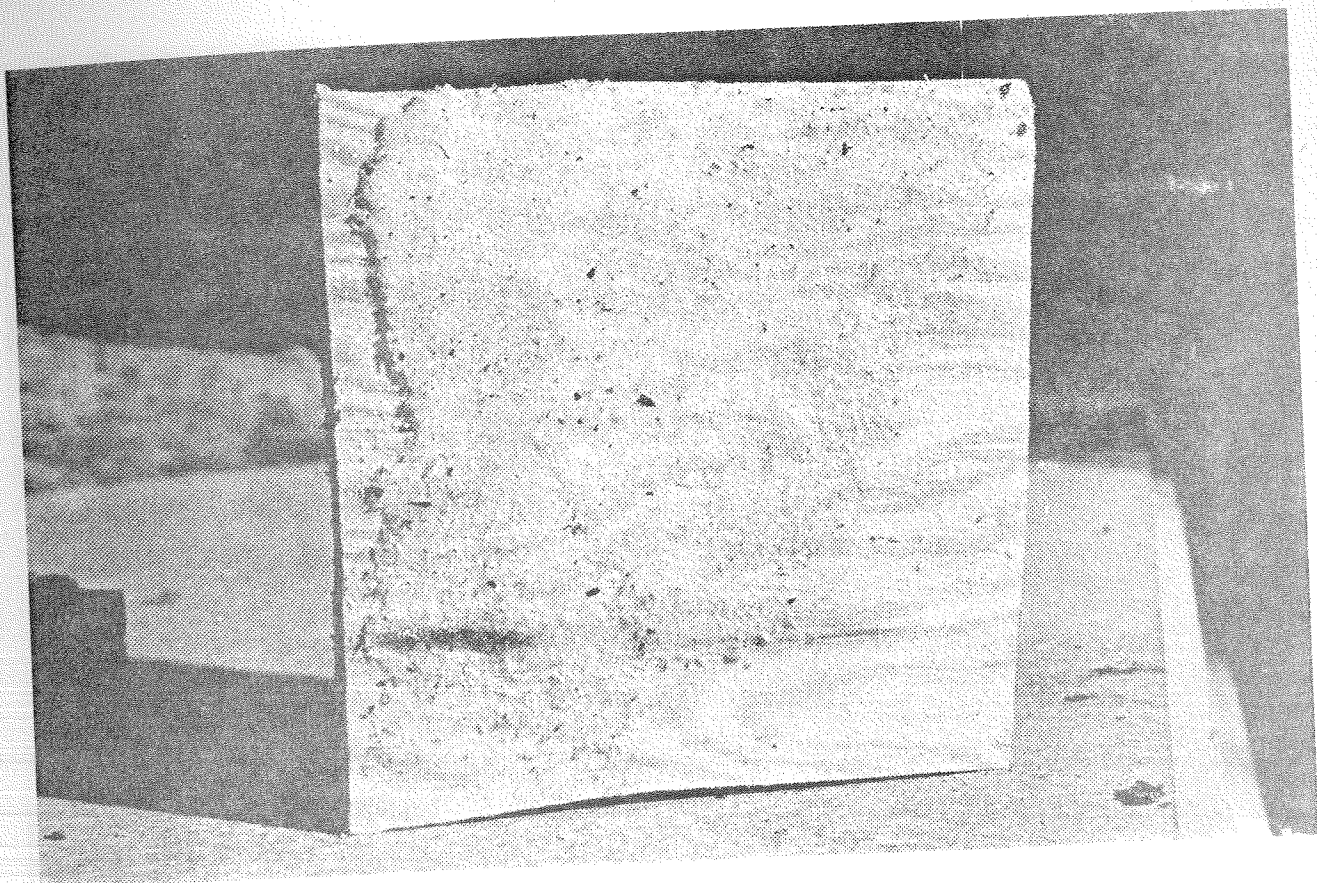


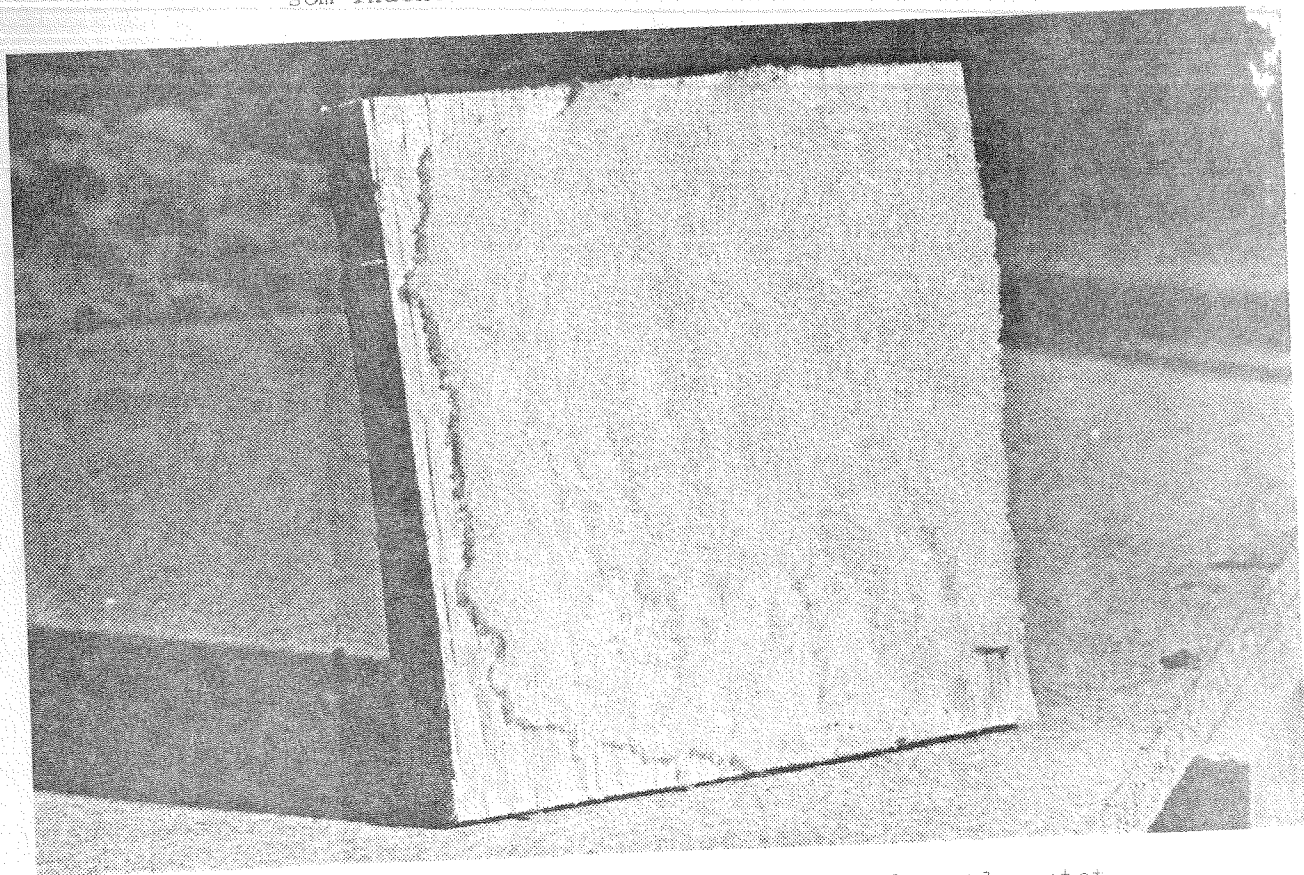
Fig. 2. Udtagning af prøvestykker til bestemmelse af fugtindhold.



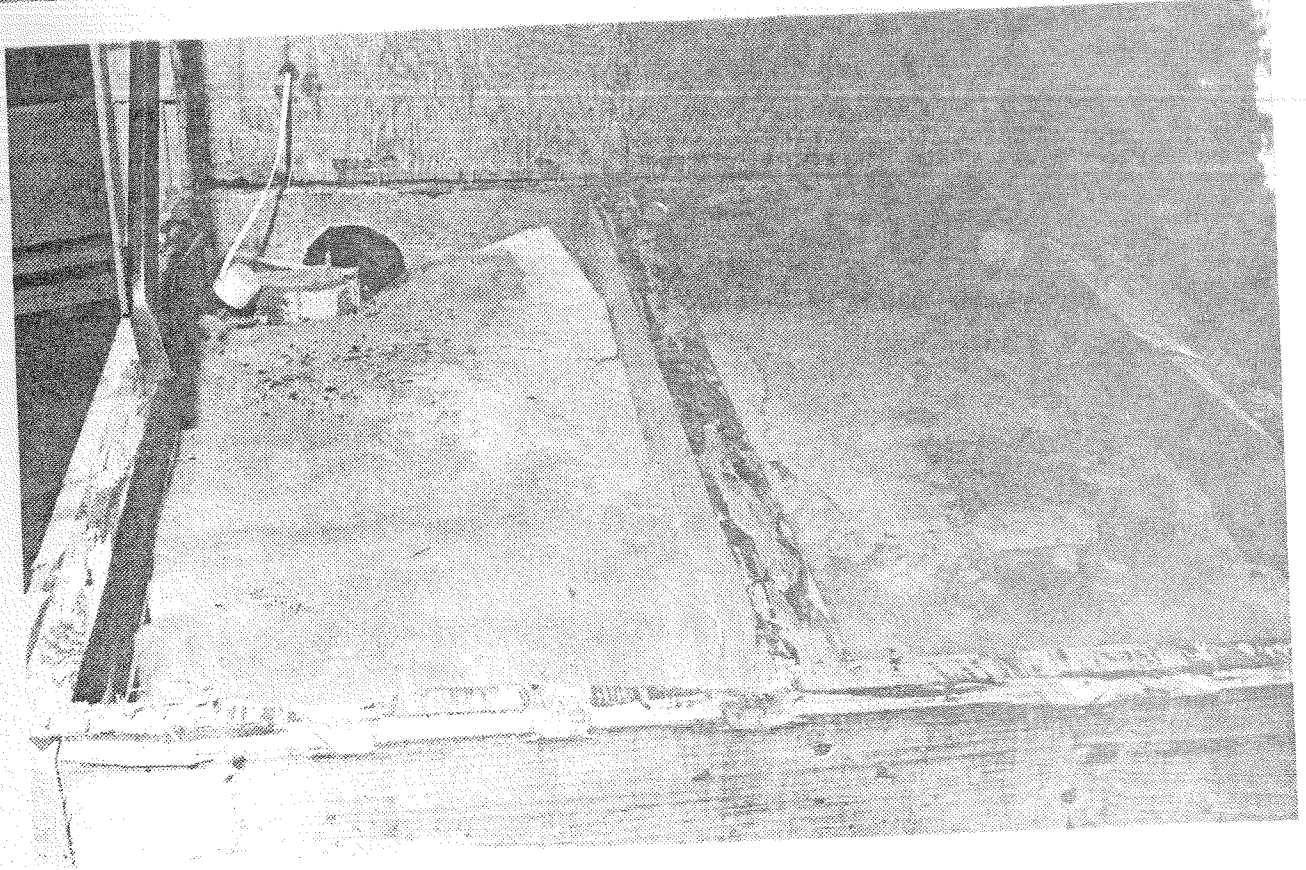
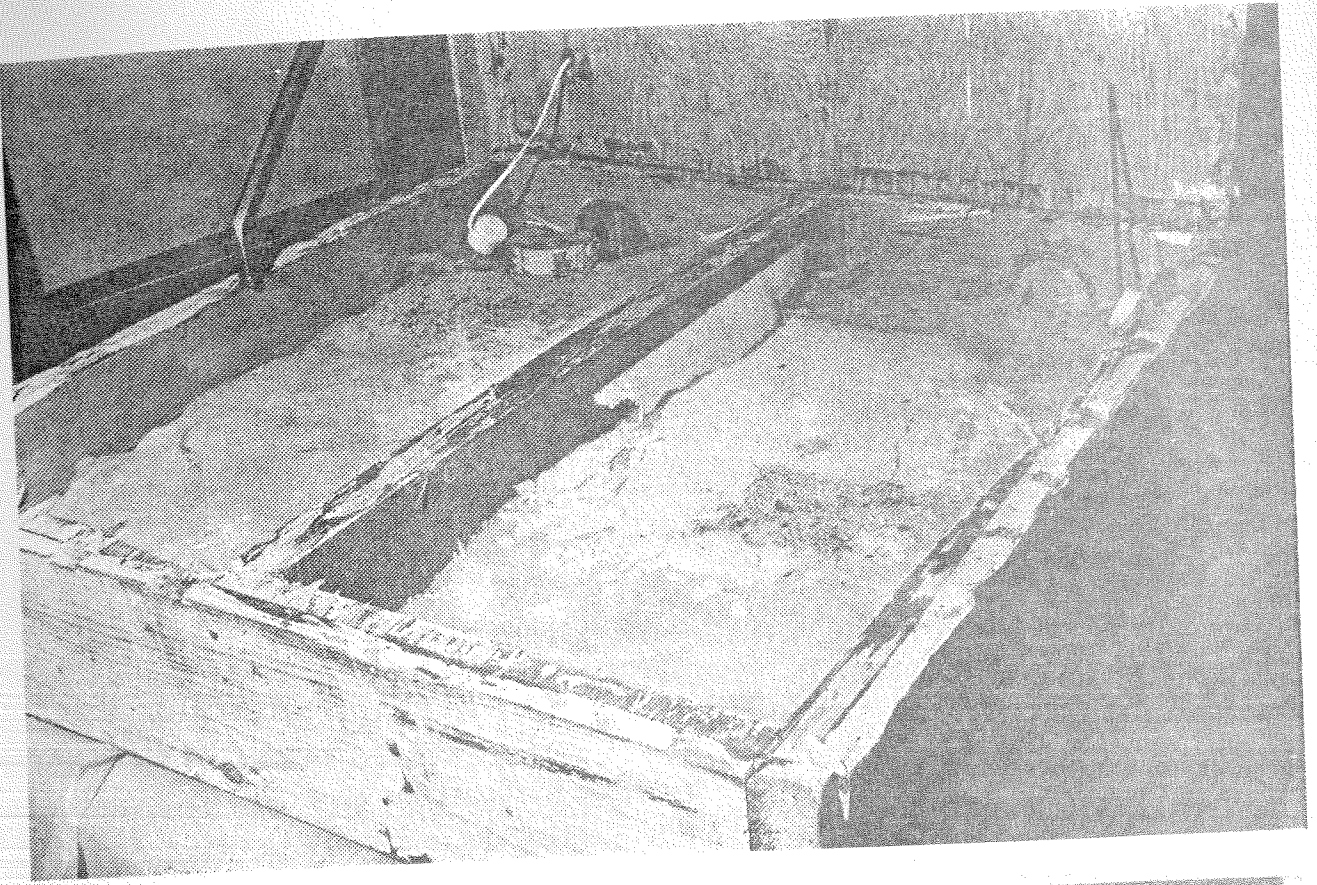
Figur 3. Element efter forsøget set fra ydersiden. Pappet synes at bule noget ud ved de mørke områder, uden at det dog er muligt at konstatere svigtende vedhæftning.



Figur 4. Prøvestykke med is fra den halvdel af tagelementet som indeholdt en fugtmembran.



Figur 5. Prøvestykke med is fra den halvdel af tagelementet som ikke indeholdt en fugtmembran.



Figur 6 og 7. Islaget er efter afskrabning faldet ned på mineraluldslaget. Halvdelen med fugtmembran ses til højre.

nederste krydsfinerplade og ophobes i den kolde del af elementet, hvor det standses af belægningen med tagpap, som er så godt som diffusionstat. Den øvrige del af fugten fordeler sig mod den kolde side ved delvis udtørring af den varme side, hvorved den samlede fugtprocent bliver som målt. Det må bemærkes, at forsøget er noget ensidigt, idet der kun foretages måling af den indgående fugtmængde. Hvordan situationen ville være under en eventuel udtørringsperiode, hvor diffusionen går den modsatte vej, kan der kun skønnes om, idet en sommerperiode er lidt mere kompliceret med eventuel opvarmning om dagen og afkøling om natten. Derfor var det også nødvendigt at fortsætte forsøget i en bygning, hvor taget var opbygget af elementer på samme måde som i laboratorieforsøget.

Der kan dog udledes så meget, at den samlede fugtmængde tilsyneladende kan optages af krydsfiner og bjælke i den kolde side uden en så alvorlig stigning i fugtprocenten, at angreb af råd og svamp kan befrygtes.

Ved laboratorieforsøget viste det sig at plastfolien ikke havde nogen større dampstandsende virkning. Dette kan dog skyldes utætheder ved midterstolpen, der ikke sluttede helt tæt som adskillelse mellem de to elementhalvdele. Herved har fugten delvis haft mulighed for at fordele sig mellem de to forsøgs- halvdele. Da folien ikke synes at have haft den ønskede effekt som dampspærre for den indgående fugt, blev det på dette tidspunkt besluttet at undlade folien i den endelige konstruktion. Herved opnås også den fordel, at fugten lettere kan diffundere ud af elementet under sommerforhold.

De konstaterede isdannelse antages ikke at have større betydning, da normale vintre i Danmark ikke giver så ekstreme og konstante påvirkninger som forsøget, at der overhovedet vil forekomme is. Selvfølgelig kan den forekomme, men formodentlig i så små mængder, at den under smeltning straks vil kunne suges op i træet som vand.

3. Undersøgelser af stressed-skin tagelementers fugtforhold i praksis

Beskrivelse af bygning og tagelement

Bygningen, hvis tag var genstand for de fortsatte målinger af fugt og temperatur, var Vorbeck Tømmerhandels "Byggemarked" i Randers, der blev opført i foråret 1971. Det er en kvadratisk

bygning på ca. 2000 m², dvs. med en sidelængde på 45 m x 45 m, bygget over et hovedmodul på 8,0 m x 8,0 m (se fig. 8).

Den bærende konstruktion er udført af limtræssøjler og -dragere. Ydervæggene er opført i murværk - den ene dog i let trækonstruktion af hensyn til senere udvidelse.

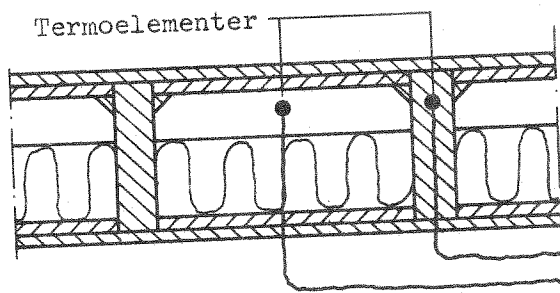
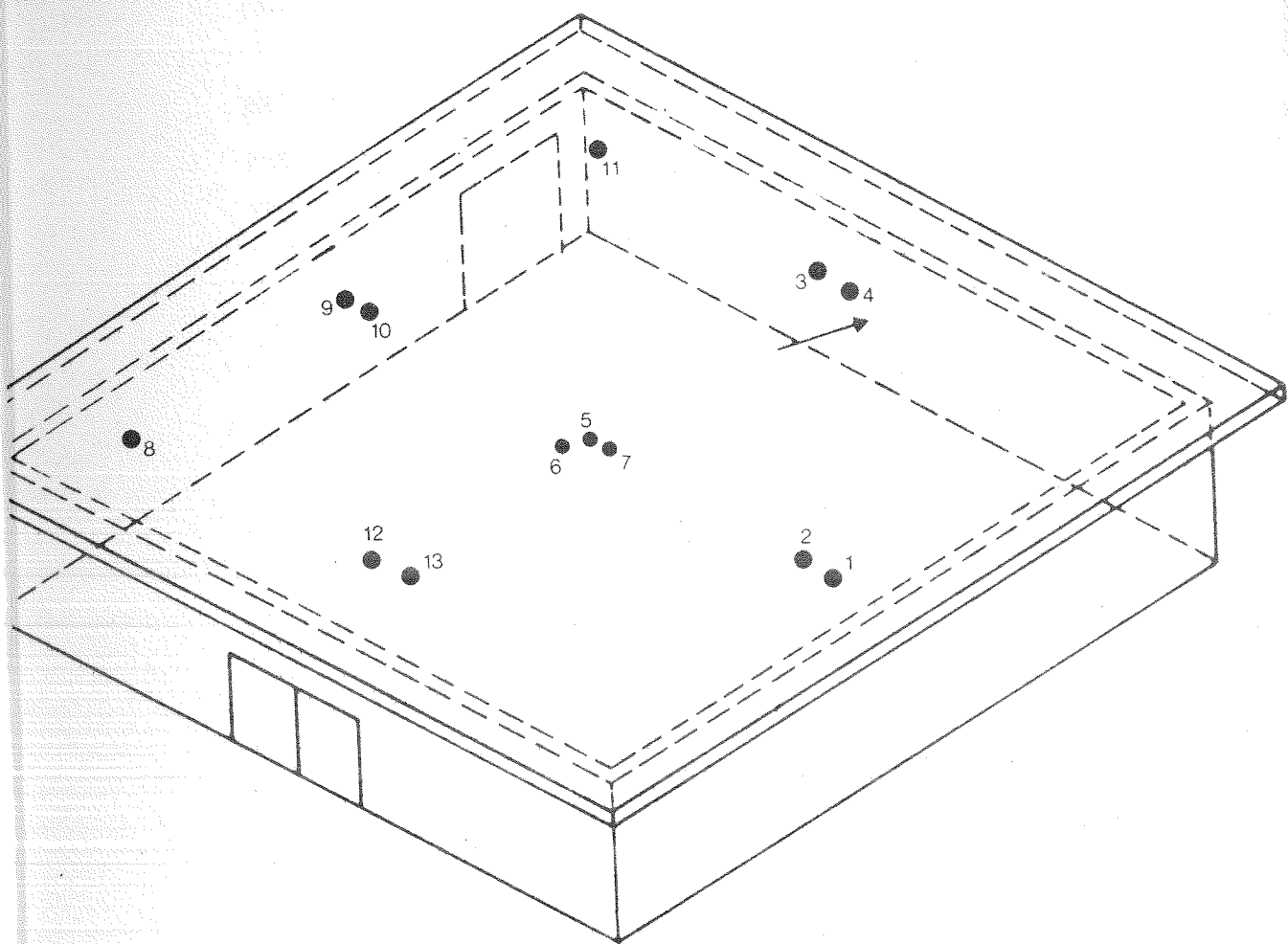
Hele tagdækningen er udført af stressed-skin tagelementer, der understøttes af limtræsdragerne, dvs. de har en fri spændvidde på 8,0 m. De fleste tagelementer er opbygget som vist i fig. 10, mens der anvendtes specielt udformede typer til afslutninger af taget ved udhænget. Som det ses af figuren er et normalelement opbygget af fire granbjælker med dimensionen 5 cm x 19 cm og længde 800 cm. På begge sider er sømlimet 16 mm Douglas Fir krydsfiner med dimensionen 122 cm x 244 cm. Endvidere indgår et system af løsholter, der har som funktion at understøtte krydsfineren på den anden led. For en sikkerheds skyld var tagelementets ender udformet således, at der bagefter ville kunne etableres den traditionelle udluftning, hvis undersøgelsen havde givet et negativt resultat.

Som isolering er bunden i hulrummene dækket med 100 mm mineraluld, idet dog den traditionelle dampspærre er udeladt. Da løsholterne i enderne er skåret af i en trekant, kan luften cirkulere i hele elementets længde i hvert af de tre hulrum. I de normale tilfælde, når der etableres udluftning, udføres et tagelement foruden med dampspærre med et tilstrækkeligt antal ventilationsåbninger på langs og/eller på tværs af det enkelte element, således at luften kan cirkulere til en fælles "ventilationskanal", som i reglen udføres over vederlagene. Herfra skabes så forbindelse til det fri gennem et passende antal ventilationshætter.

I det her beskrevne tilfælde var den eneste foranstaltning af denne art, at det første lag i papdækningen blev udført med "trykudligningspap".

De enkelte tagelementer er ellers udført som helt lukkede kasser uden nogen form for indbyrdes forbindelser og har dimensionen 800 cm x 122 cm x 22 cm i længde, bredde og tykkelse.

Det ca. 2000 m² store forretningslokale er uden opdeling, idet det dog skal bemærkes, at limtræsdragerne deler loftet i striber a 8 m, men dette forhold har ikke vist sig at have nogen betydning klimamæssigt.



Detail af termoelementers placering

Fig. 8. Placering af termoelementer i bygning

Trætemperatur:
 Lufttemperatur i tagelement:
 Lufttemperatur i rummet:

pkt. 2, 4, 7, 10, 12
 pkt. 1, 3, 5, 9, 8, 11, 13
 pkt. 6

Indendørsklimaet er som i normalrum, hvor der færdes mennesker, uden større fugtproduktion, idet der indenfor bygningens rammer ikke er våde rum med forbindelse til tagkonstruktionen.

Anbringelse af fugtfølere og termoelementer i tagelement

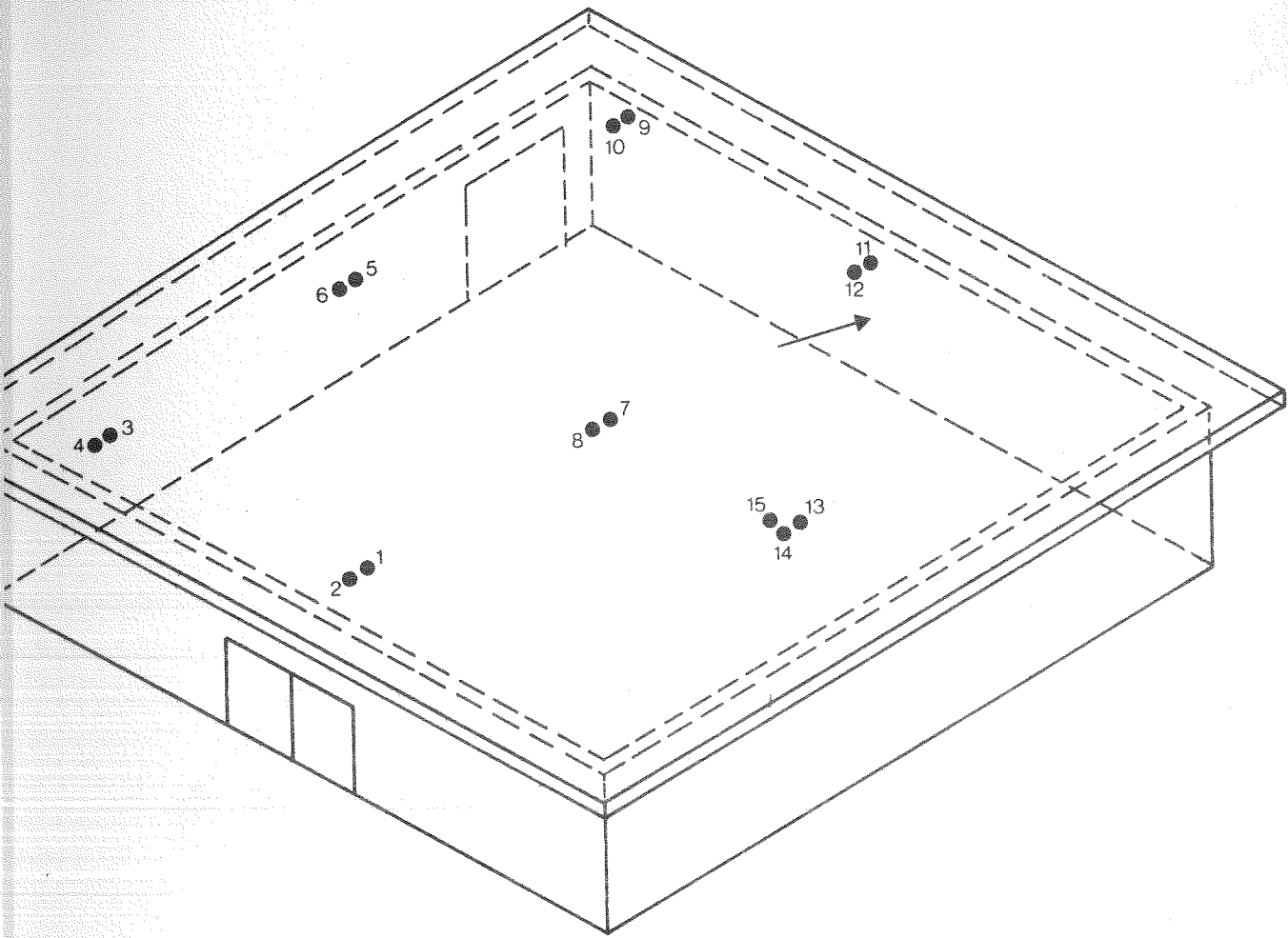
Fugttransporten i et tagelement foregår om vinteren fra det opvarmede rum til den kolde side af elementet på grund af damptryksforskellen, og fugten vil fordele sig således, at det er krydsfineren og den øverste del af bjælkerne, der ligger i den kolde zone, som vil optage mest. Det har derfor kun interesse at måle i dette område, og fugtfølerne anbragtes 4-5 cm fra overkant af bjælken. Da de måtte monteres under fremstillingen af tagelementerne, var det af praktiske grunde kun muligt at anbringe dem i ribberne og ikke også i den øverste krydsfinerplade. Det har imidlertid også stor interesse at måle fugten i det øverste lag krydsfiner, fordi denne er mest udsat for temperatur- og fugtvariationer. Derfor blev der lejlighedsvis målt fra tagets udvendige side ved at føre en fugtføler gennem paplaget til krydsfineren.

De anvendte fugtfølere virker på den måde, at man måler ledningsevnen ved hjælp af en elektrisk strøm, som sendes gennem træet. Ledningsevnen påvirkes af træets fugtindhold og er stigende ved øget fugtpåvirkning.

I den praktiske udførelse består fugtfølerne af de to stålstifter, der hver især er isoleret, med undtagelse af spidserne. De holdes i en bestemt indbyrdes afstand (28 mm) ved indstøbning i et isolerende hoved af plast. Fugtføleren anbringes på det ønskede sted ved at slå stifterne ca. 2 cm ind i træet. Fra plasthovedet føres en ledning uden for tagelementet, hvor man ved tilslutning til et Delmhorst-apparat kan måle den aktuelle fugtprocent, idet nogle batterier i apparatet leverer den nødvendige strøm (se fig. 9).

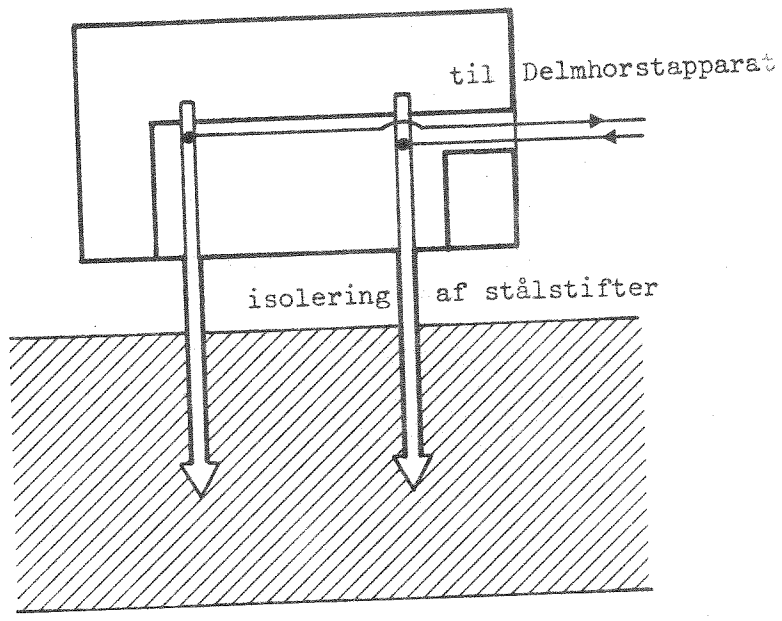
Da det kan ske, at en fastindbygget fugtføler holder op med at virke, blev der for en sikkerheds skyld i hvert måleområde anbragt to fugtfølere med en afstand på ca. 50 cm og på hver side af den bjælke, hvori fugtindholdet bestemtes.

Temperaturen i tagelementet blev dels målt i hulrummet og dels i selve bjælken. Man er nødt til at kende lufttemperaturen mellem



— 28 mm —

Fig. 9. Placering af fugtfølere i bygning



Detail af fugtføler

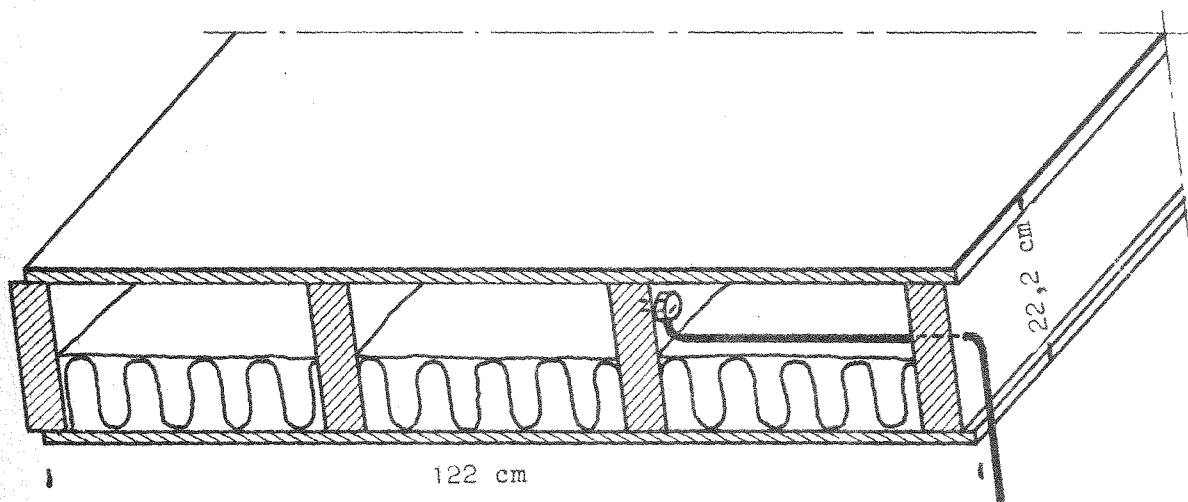
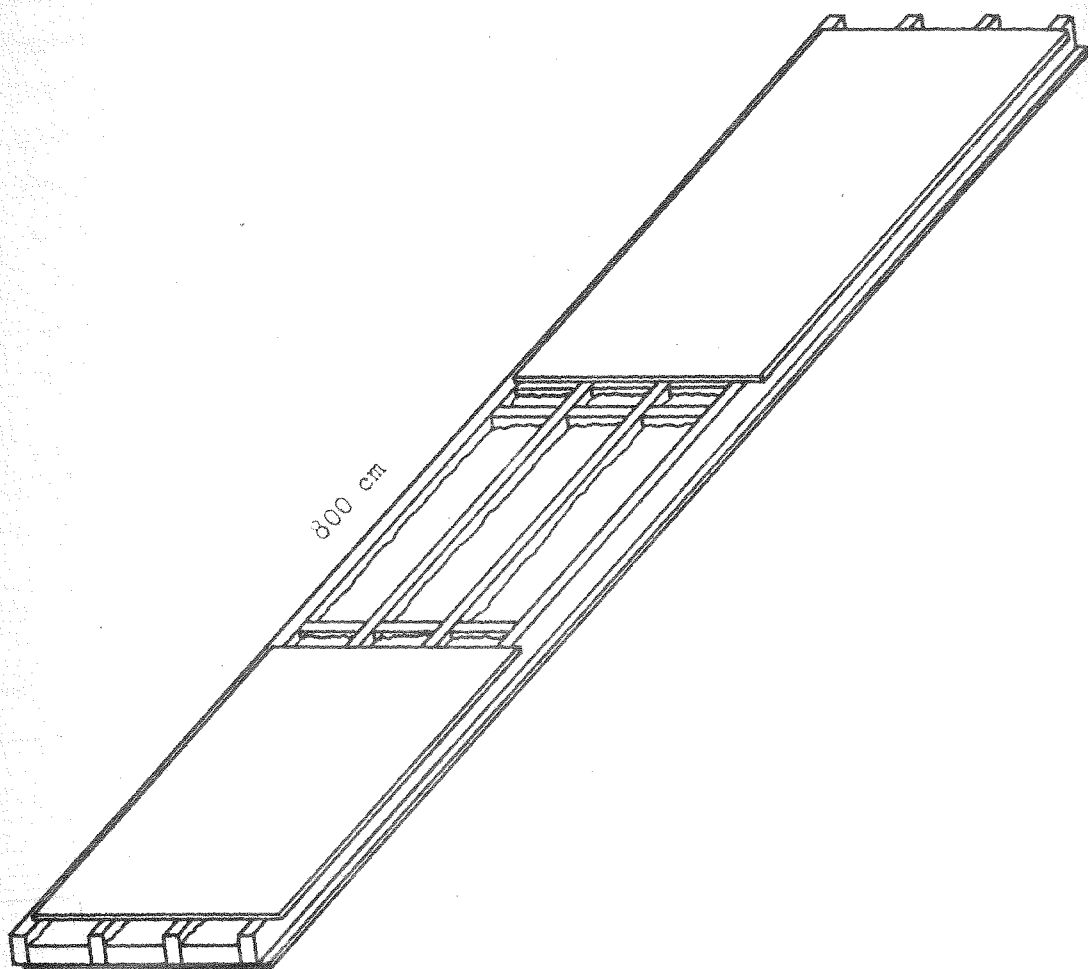


Fig. 10. Plan og snit af tagelement.
Anbringelse af fugtfløler i bjælke
er vist i detaille.

isolering og krydsfiner, når der skal opstilles en model for fugtvandringen, og når damptrykket skal beregnes. Da fugtfølerne er temperaturafhængige, var man også nødt til at kende bjælkens temperatur, således at den målte fugt kunne korrigeres. Temperaturen blev målt ved hjælp af termoelementer, der igennem et mindre forboret hul førtes henholdsvis gennem isoleringen til hulrummet og til den position i bjælken, hvor fugtfølerne blev anbragt. Alle termoelementer havde forbindelse med en Leeds & Northop potentiometerskriver, som registrerede temperaturen kontinuert i hele forsøgsperioden. Desværre skete der dog det, at måleapparatet "faldt ud" i længere perioder, hvorfor der følgelig ikke foreligger måleresultater herfra.

Fordelingen af fugtfølere og termoelementer over tagarealet

Antallet af målesteder og deres placering var afhængig af ønsket om repræsentative målinger, som kunne være dækkende for hele bygningen. Det ideelle ønske var så eksakt som muligt at måle temperatur og fugt igennem hele året i tagets elementer, og hvis målingen virkelig skulle være dækkende, måtte der etableres følere i hvert element. Dette ville dog være en praktisk uoverkommelig opgave. Da hele det overdækkede areal ikke er adskilt i forskellige rum, kunne det stort set antages, at rumluftens temperatur og relative fugtighed måtte være den samme overalt. For at måle disse anvendtes 1-2 termoelementer - ved loftet og ca. midt i rummet - samt en termohygrograf.

Lufttemperaturen over isoleringen i tagelementet kunne tænkes at være forskellig, afhængig af tagets orientering, hvorfor der placeredes termoelementer i hver af bygningens fire sider og i centrum. Yderligere anbragtes målere på endnu to steder, fordi der her befandt sig udgange til det fri, som kunne tænkes at give særlige betingelser for konstruktionen.

Foruden lufttemperaturen målt træets temperatur på fem steder for korrektion af fugtmålingen.

Fugtfølerne blev placeret i umiddelbar nærhed af termoelementerne. I praktisk talt alle tagelementer anbragtes fugtfølerne på en af de indre ribber. Denne placering skulle give det bedst mulige billede af fugtforholdene, da indflydelse af udtørringsfænomener langs kanterne undgås.

Som kontrol anbragtes dog også en fugtføler i en af de ydre ribber, som efter tagelementernes oplægning har en mere direkte kontakt med rumluften.

Det er meget vanskeligt at måle fugtindhold nøjagtigt og især når der ikke kan udtages prøvestykker som ved laboratorieforsøget. Ved den valgte metode målttes fugtindholdet ikke direkte, men ledningsevnen for en bestemt strømstyrke. Ledningsevnen er desværre ikke alene afhængig af fugtindholdet, men også af en række andre forhold, af hvilken temperaturen er den vigtigste. Målingerne blev derfor temperaturkorrigeret. Herved antages det at der kan opnås en nøjagtighed på ± 1% (fugtprocent, vægt) i absolut mål, mens indikationen af stigning eller fald i fugtindhold i løbet af perioden er noget bedre, da det kun kan være fugten, der betinger forandringen.

Målemetoder og -perioder

Temperaturen blev målt kontinuerligt, idet termoelementerne var forbundet med en 24-punktskriver, som producerede 3 forskellige kurver: én for temperaturen i træ, én for lufttemperaturen i hulrummet over isoleringen og én for lufttemperaturen i rummet nedenunder.

Fugten blev målt med mellemrum ved at forbinde de frithængende ledninger fra elementerne med et Delmhorst-apparat. De målte tal blev korrigeret for temperaturen, som aflæstes fra 24-punktskriveren.

Endelig målttes så tit, som det var muligt, luftfugtigheden (%RF) med tilhørende temperatur, dvs. 14-dages perioder med større eller mindre pauser afhængig af de nævnte fugtmålinger i træet.

Selve måleprogrammet startedes ved at fugtindholdet målttes i tagelementerne på produktionsstedet, således at udgangspunktet var kendt. En kontrolmåling blev foretaget, da elementerne lå oplagret på byggepladsen.

Den egentlige måleserie begyndte, da alle tagelementer var lagt op i begyndelsen af marts 1971. Fra dette tidspunkt startedes den kontinuerlige registrering af temperaturen under tagfladen. Fugten kunne desværre på daværende tidspunkt ikke måles på samme måde, og i stedet bestemtes med passende intervaller fugtindholdet manuelt med et fugtmåleapparat af typen "Delmhorst". Til at begynde med målttes med hyppige mellemrum, ca. 1 gang om måneden,

hvorefter der målttes hveranden og til sidst hver tredje måned. I den sidste fase tilrettelagdes undersøgelserne således, at der målttes kort før opfugtningsperiodens start september-oktober og omkring dens slutning marts-april samt ca. midtvejs i disse perioder.

Resultater og kommentarer

Resultaterne vedrørende fugtindhold er angivet både i tabeller, som viser fugtindhold på de enkelte målesteder, og i de kurver, der angiver de samme fugtindhold grafisk samt i en resulterende kurve af samtlige målinger. Alle fugtmålinger er korrigeret for den aktuelle temperatur.

De vigtigste resultater kan aflæses på den resulterende kurve i fig. 18, hvor den fuldt optrukne kurve viser den maksimale fugtprocent (vægt), som er målt gennem 3 år. Under kurven er der med punkter angivet resultatet af de enkelte målinger. Disse punkters kurve viser den nedre grænse for fugtindholdet. Til orientering er indlagt en grænselinie ved 20% fugtindhold, som må betragtes som det højst tilladelige, hvis råd og svamp skal undgås.

Målingerne viste, at efter en start med stort fugtindhold, kommer der efter to års forløb en ligevægt imellem opfugtning og udtørring med en svag tendens til stærkere udtørring end opfugtning. Kurven for størst målte fugtindhold varierer mellem 20% og 13%, mens de mindst fugtige områder i taget kun når op på 12% i værste tilfælde, og ellers falder så langt, at træets ledningsevne går mod nul, dvs. at træets fugtindhold er under 10%.

Betragtes kurven for største fugtindhold må man være opmærksom på, at den kun viser fugtindholdet i 1-2 punkter, og at de resterende 12 målepunkter på intet tidspunkt når en fugtprocent på 20%. Den bedste illustration for dette forhold er de direkte målte værdier, som er indtegnet under kurven med de maksimalt målte værdier.

Under tagelementets konstruktion på fabrikken havde træet et fugtindhold på 12%-14%, som må anses for passende tørt, når træ skal limes. En kontrolmåling på byggepladsen, hvor elementerne lå oplagret i december 1976, viste samme resultat som på fabriken.

Målepunkt	før montering		opfugtning		udtørring						
	Dato	1970	1971	1971	24.4.	10.5	1.6	1971	11.8	30.8	1.10
1. Butiksindgang, syd	23.11.	14.12	8.3.	13.4	-	-	-	-	-	-	-
2.	13	14	14	-	22	23	23	17	15	15	14
3. Hjørne, sydvest	13	14	17	24	21	21	21	15	15	14	12
4.	13	14	24	26	24	23	22	15	15	15	14
5. Vest	13	16	24	> 30	22	22	21	16	15	15	14
6.	13	14	17	22	20	20	20	16	15	15	12
7. Centrum	13	12	13	26	24	27	27	20	18	17	14
8.	13	12	15	22							
9. Hjørne, nordvest	14	14	28	> 30	26	27	22	16	15	15	15
10.	14	14	16	25	23	23	21	19	15	15	14
11. Nord	14	-	20	29	24	26	25	19	18	17	17
12.	14	12	14	21	19	18	19	16	15	15	23
13. Øst	13	13	14	17	18	16	17	16	15	15	13
14.	13	13	20	20	18	17	18	16	15	15	14
15. Øst	12	13	17	19	18	17	17	16	15	15	12

Fig. 11. Fugtindhold i stressed-skin tagelementer marts 1971 - oktober 1971.

Målepunkt	op fugtning				udtørring			
	29.10.	1971 22.12.	1972 10.1.	1972 14.3.	17.4.	1972 14.7.	17.8.	1972 8.9.
1. Eutiksindøng, syd	13	15	12	13	16	14	-	10
2.								
3. Hjørne, sydvest	13	13	13	13	14	12	10	11
4.	17	17	20	21	17	16	12	12
5. Vest	16	17	17	19	18	16	12	11
6.	15	15	16	16	14	14	11	11
7. Centrum	17	16	18	19	18	16	11	11
8.	14	-	12	15	16	14	11	11
9. Hjørne, nordvest	18	18	21	21	18	17	14	12
10.	16	18	19	19	16	16	13	11
11. Nord	20	20	22	22	20	20	14	14
12.	14	14	-	15	14	-	10	9
13. Øst	13	13	12	13	13	10	11	10
14.	16	16	18	18	16	15	12	11
15. Øst	12	12	12	13	12	10	11	11

Fig. 12. Fugtindhold i stressed-skin tagelementer. Oktober 1971 - september 1972.

Målepunkt	opfugtning		udtørring		opfugtning		1974 17.6
	1972 2.11	1973 16.2	1973 12.5	1973 6.8	1973 23.11	1974 30.1	
Dato							10
1. Butiksindgang, syd	10	11	11	11	11	< 9	12
2.							12
3. Hjørne, sydvest	10	13	12	11	12	13	10
4.	14	19	16	11	16	18	9
5. Vest	11	17	16	9	10	16	10
6.	10	14	19	7	11	13	9
7. Centrum	-	12	10	< 7	< 9	10	10
8.	-	10	11	< 7	< 9	10	< 7
9. Hjørne, nordvest	15	20	18	13	16	17	18
10.	12	18	16	12	13	13	18
11. Nord	13	19	20	< 7	11	13	18
12.	-	14	11	< 7	< 9	13	< 7
13. Øst	9	13	11	9	< 9	12	11
14.	14	18	16	11	13	16	12
15. Øst	9	12	10	9	< 9	12	11

Fig. 13. Fugtindhold i stressed-skin tagelementer, november 1972 - juni 1974

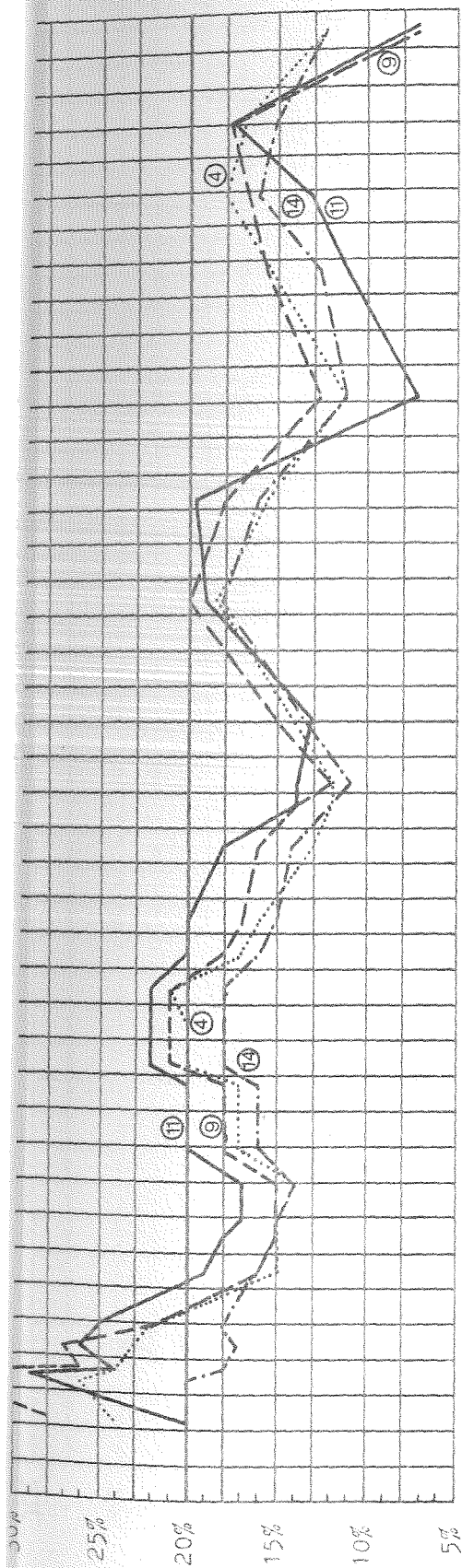


Fig. 14. Fugtforløb i tagelementer målepunkter 4, 9, 11, 14

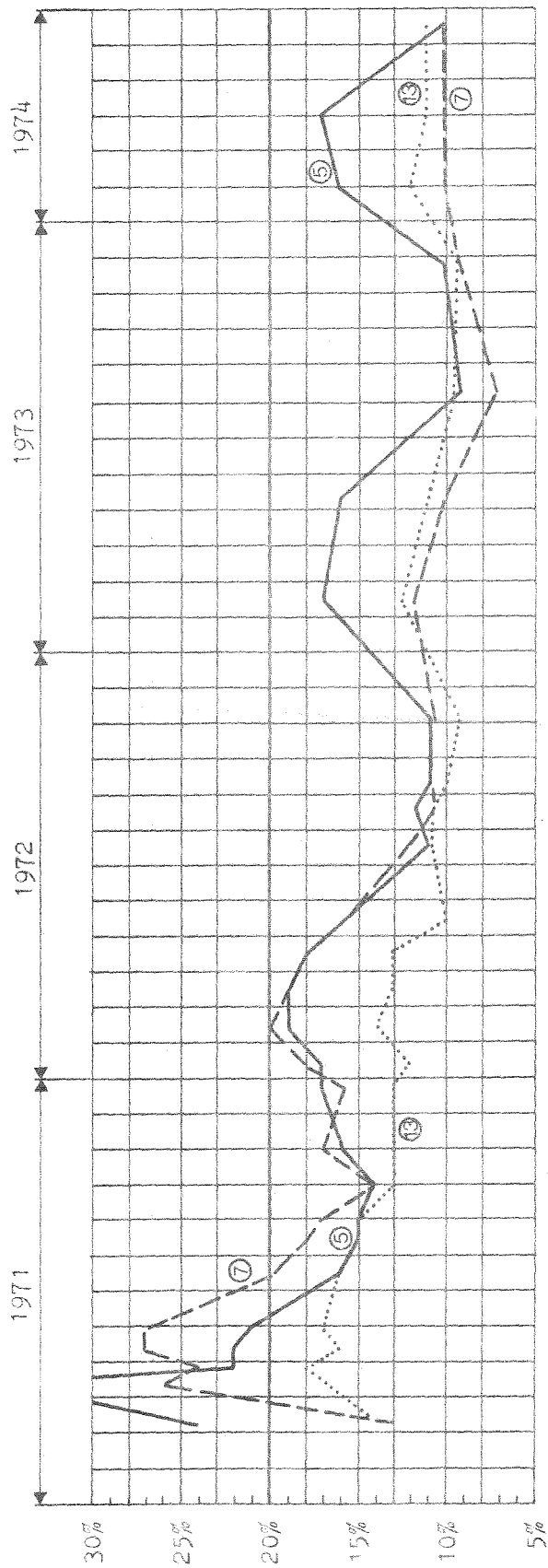


Fig. 15. Fugtforløb i tagelementer målepunkter 5, 7, 13

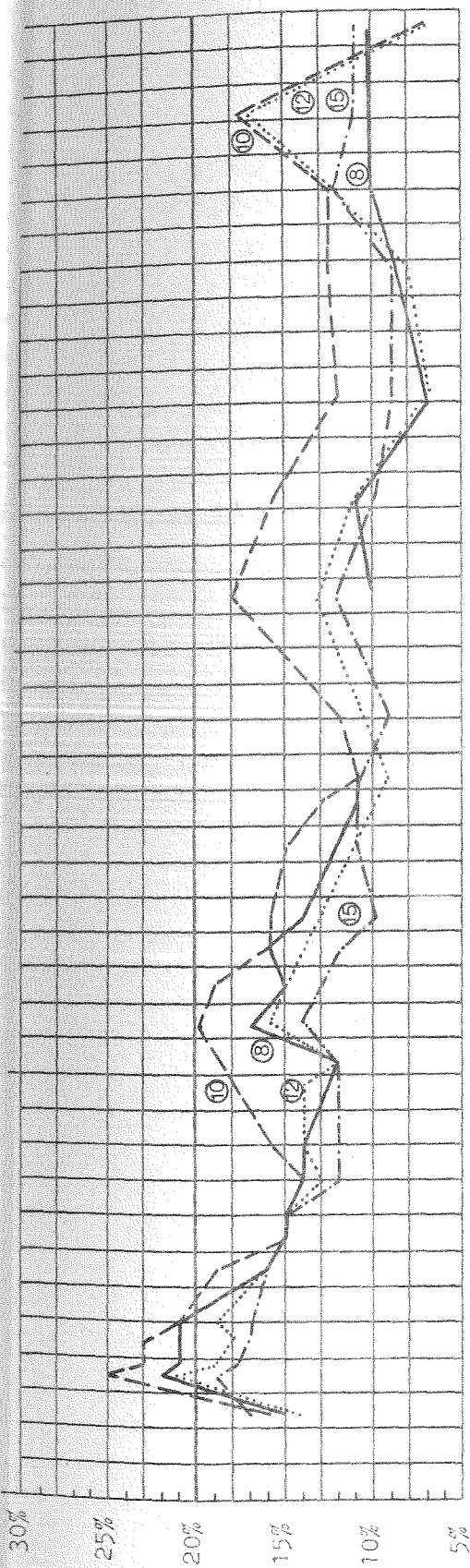


Fig. 16. Fugtforløb i tagelementer
målepunkter 8, 10, 12, 15

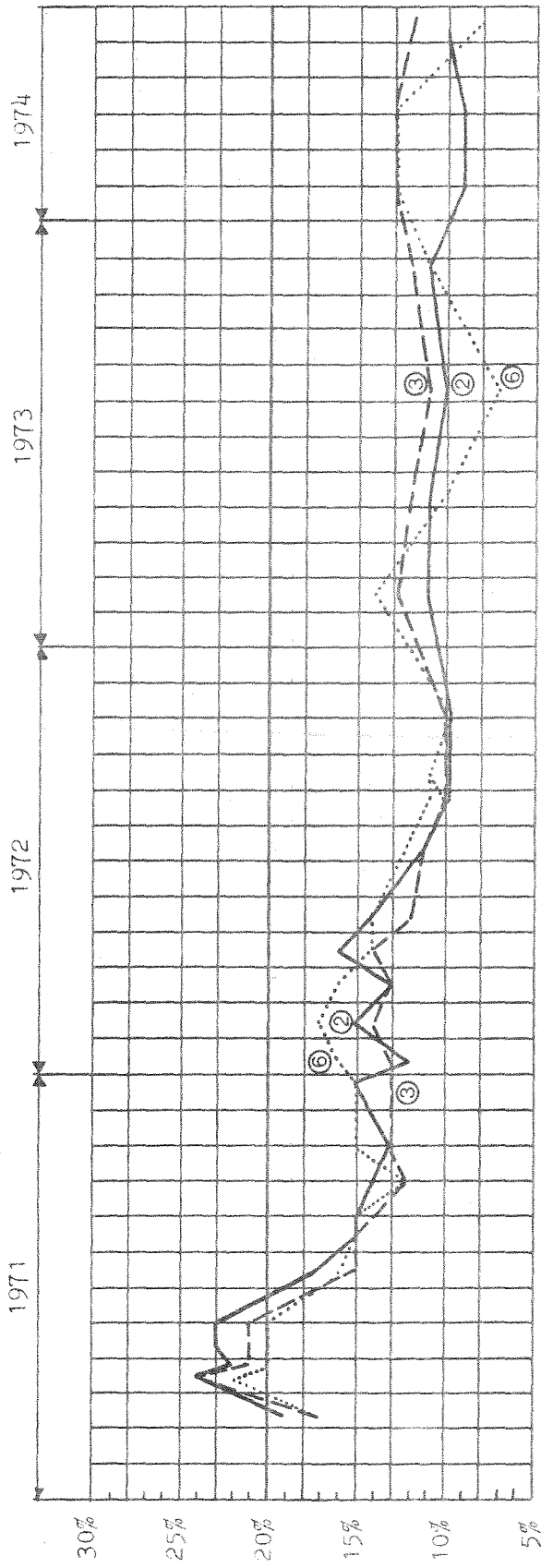


Fig. 17. Fugtforløb i tagelementer
målepunkter 2, 3, 6

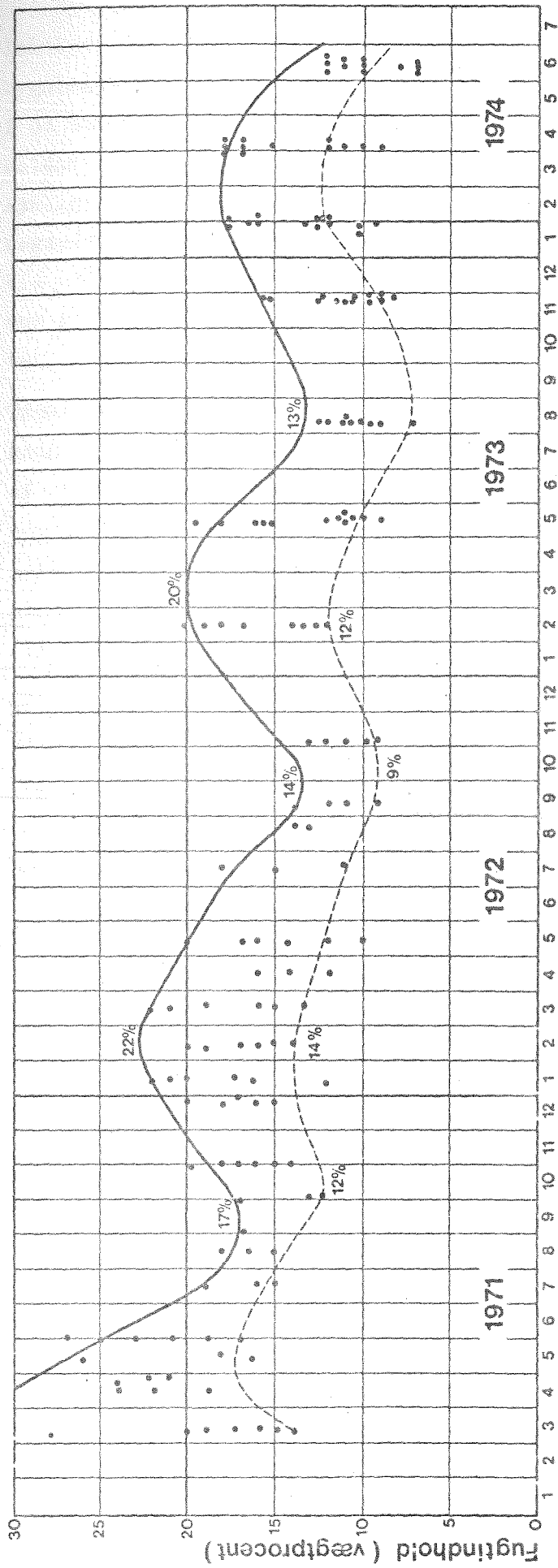


Fig.18 Forløbet i fugtindhold i stressed-skin tagelementer 8.3.71 - 17.6.74

Resulterende kurve

Der er tegnet max- samt minimumskurve, mens de aktuelle målinger er vist som sorte punkter.

Imidlertid målttes en høj fugtprocent, da taget var monteret på bygningen; i tre punkter var den henholdsvis 20%, 24% og 28%. I de samme områder, men med en afstand på 50 cm, målttes henholdsvis 14%, 17% og 16%, hvilket viser, at opfugtningen sandsynligvis var ret lokal. Det antages at den skyldes direkte regnpåvirkning af elementerne under oplagringen. I den nærmeste tid udjævnedes forskellen ret hurtigt, og i løbet af en måned var gennemsnittet ca. 25%, hvor to punkter dog stadig var opfugtet til over 30%.

Trods den dårlige start skete der i løbet af foråret en markant nedgang i fugtindholdet. Denne nedgang skyldes både fordeling af lokal opfugtning og den begyndende udtørring på grund af stigende temperatur over isoleringen. Det stærkeste fald i fugtindhold er fra > 39% til 22%. Udtørringen fortsætter hele sommeren, og fugtindholdet når til sidst i september ned til mellem 12% og 17%.

Fra dette tidspunkt begynder en mere normal cyklus med opfugtning om vinteren og udtørring om sommeren.

Fugtindholdet i det øverste lag krydsfiner varierede i samme takt som i bjælken, blot med et mindre absolut indhold. Resultaterne ses i omstående tabel 1, samt fig. 19.

måned	fugtindhold		bemærkninger
	bjælke	krydsfiner	
9 - 71	12% - 17%	12% - 28%	min. fugtindh.
2 - 72	14% - 22%	14% 17%	max. fugtindh.
9 - 72	9% - 14%	9% - 11%	min. fugtindh.
3 - 73	12% - 20%	15%	max. fugtindh.
8 - 73	7% - 13%	9%	min. fugtindh.
2 - 74	10% - 18%	12%	max. fugtindh.

Tabel 1: Fugtindhold i bjælkeoverside (krop) samt i øverste krydsfinerflange.

Det meget store fugtindhold, som blev målt i marts-april 1976 umiddelbart efter oplægningen, og som for flere målepunkters vedkommende overskred fibermåtningspunktet, blev ikke observeret i de følgende opfugtningstider. Det må derfor anses for sandsynligt, at det store fugtindhold skyldes manglende afdækning under oplagringen på byggepladsen.

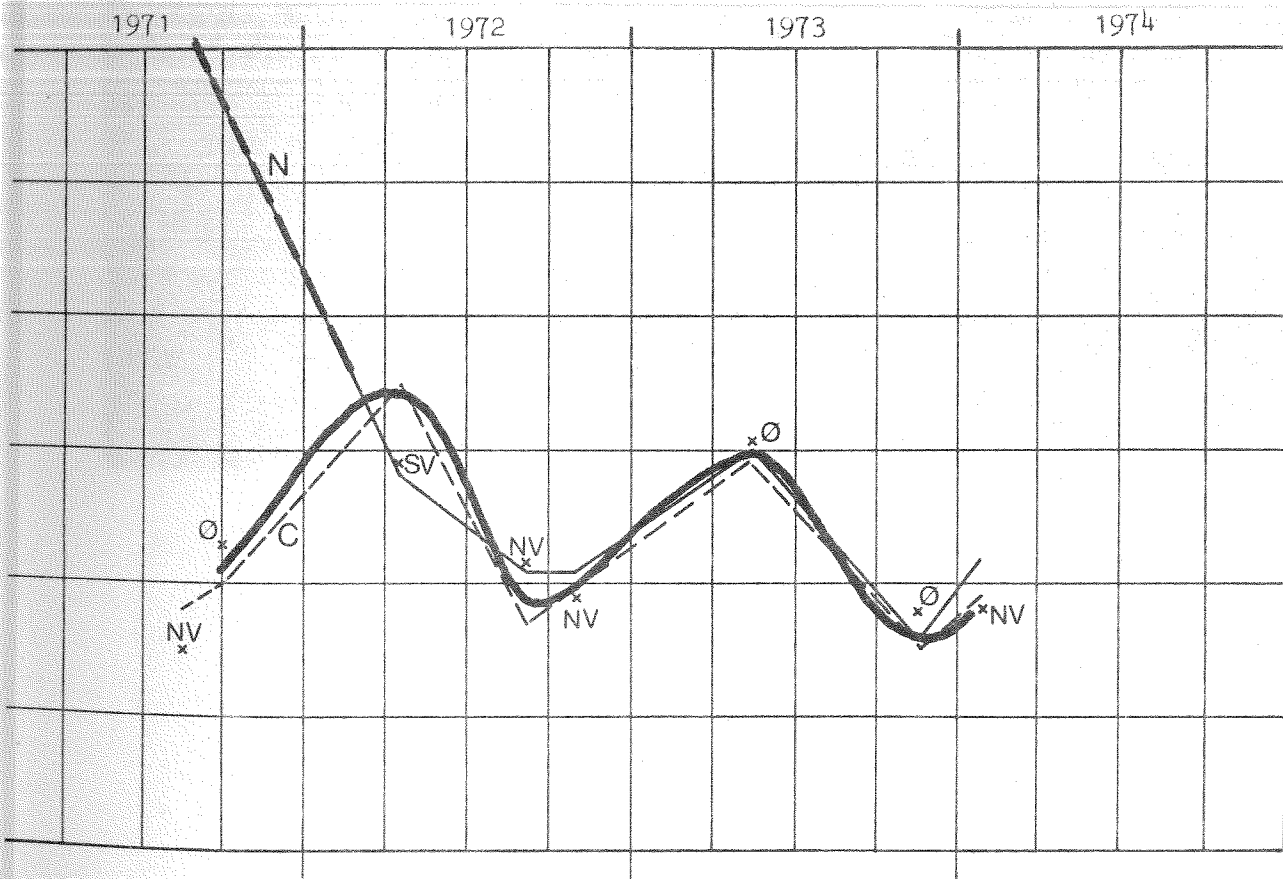
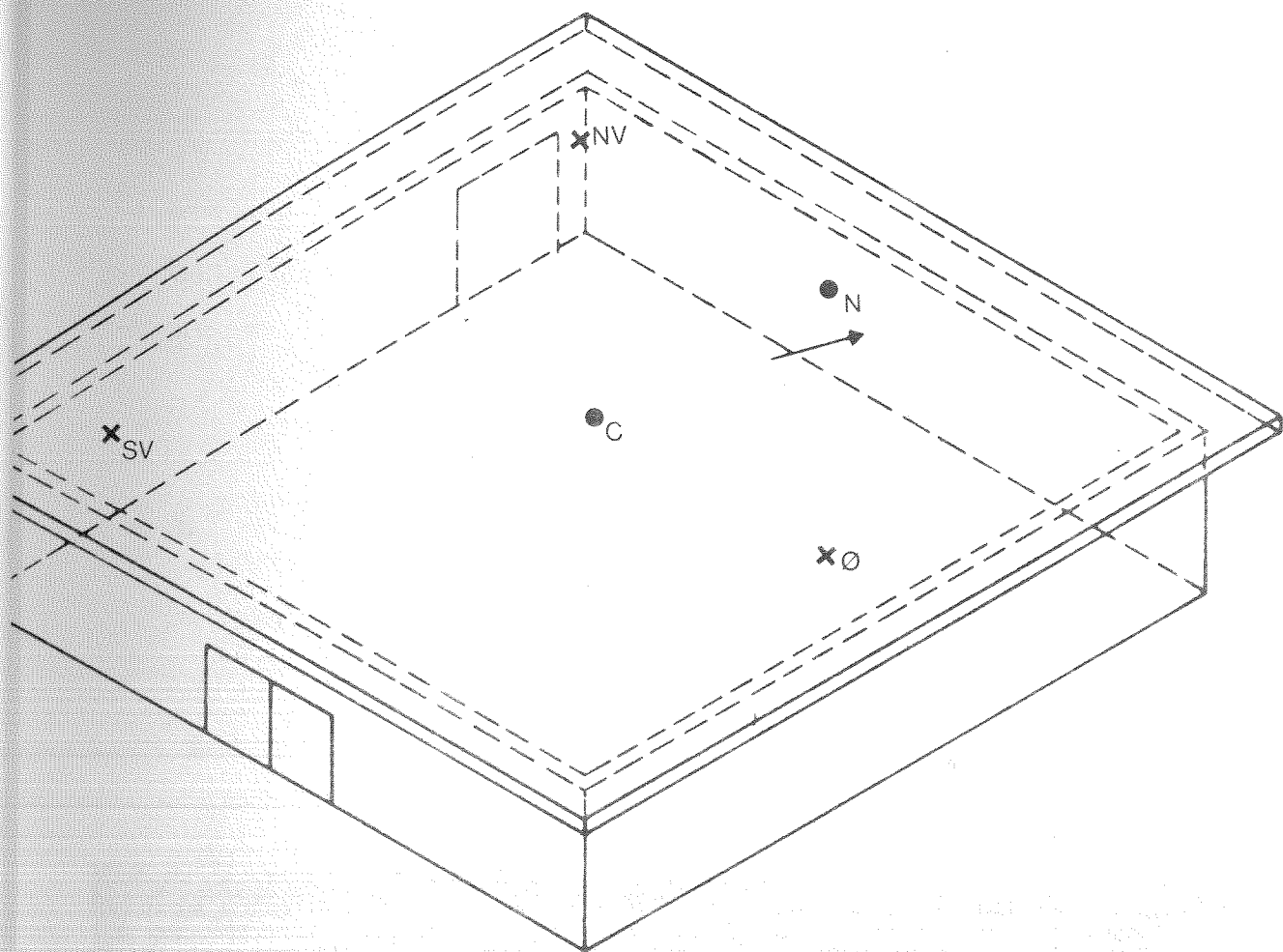


Fig. 19. Undersøgelse af fugtforløb i krydsfinerpladen på ydersiden af tagelementet.



Fig. 20. Den undersøgte bygning i Randers set udefra.



Fig. 21. Tagelementer inden oplægning.

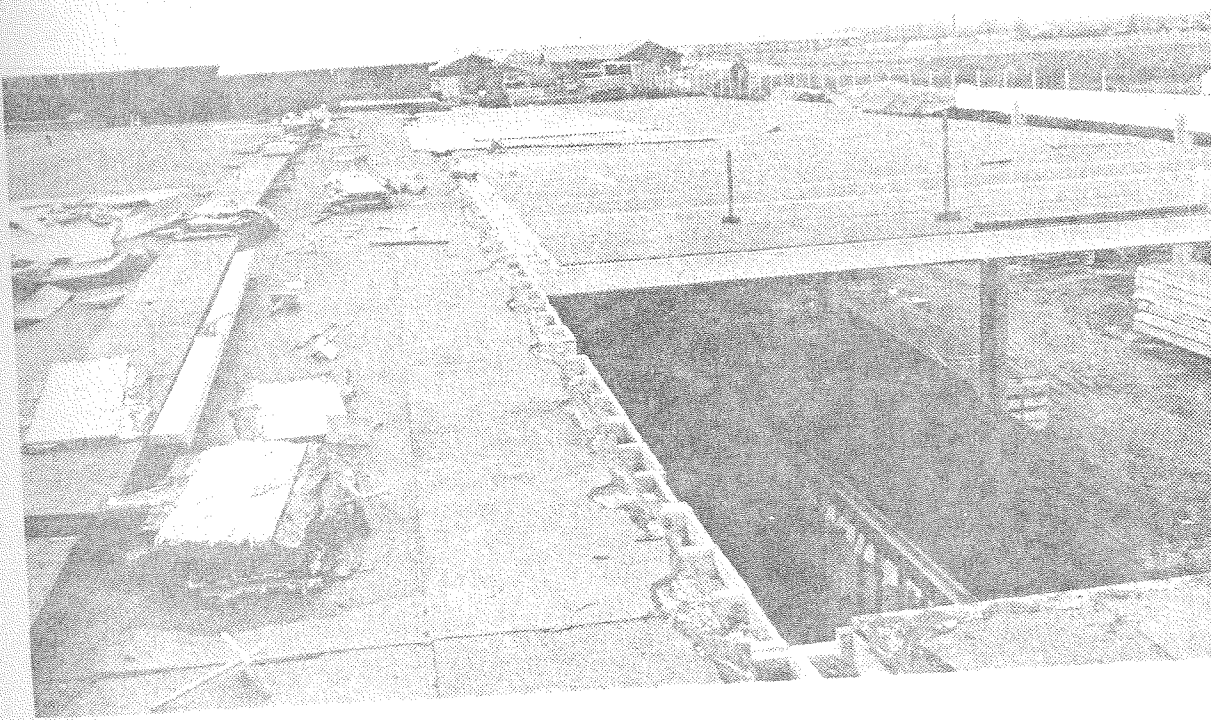


Fig. 22. Tagelementer under oplægning.

Fugtindhold fra omkring 20% i forbindelse med en temperatur på 20 - 25°C giver erfaringsmæssigt gode betingelser for svampeangreb. Indlægges niveauet 20% fugtindhold som grænse på de kurveblade, der angiver variationer i fugtindholdet fra marts 1971 til juli 1974 (se fig. 14), ses det, at der kun opnås et fugtindhold på over 20% i 3 af målepunkterne. Dette fugtindhold findes kun i den kolde periode i årets første tre måneder, hvorefter det falder kraftigt i løbet af den følgende måned.

Målepunktet nr. 11 giver anledning til overvejelser, da der aldrig på noget tidspunkt er målt mindre fugtindhold end 17% i over et år, og det har endog ikke midt i juli 1972 nået det tidligere minimum. Kurven, der angiver fugtindholdet i punkt 11, er hele tiden ca. 2% over alle de øvrige på nær under en uges varmebølge i juli måned 1972. Damptrykforskellen mellem tagrummet og lokalet nedeunder gav da en så kraftig udtørring, at fugtindholdet hurtigt faldt fra 18% til 13%. Det blev herefter antaget, at fugtindholdet ikke igen vil blive usædvanligt stort, og at det vil komme til at svare til de øvrige målepunkters fugtindhold, hvilket også bekræftedes i den følgende måleperiode.

Sammenlignes perioderne april-maj 1971 og april-maj 1972, hvor fugtindholdet er nær det højeste gennem samtlige årets måneder, ses det, at fugtindholdet falder fra 24-25% i 1971 til ca. 20% i 1972. Endvidere kan det af kurverne ses, at medens fugtindholdet på 20% og derover i 1971 blev målt i 7 punkter, blev det kun målt i eet punkt i 1972. Denne tendens holder sig i de følgende to år, således at den maksimale fugtmængde i april 1974 kun er 18%. Dette er en vigtig observation, idet der netop i denne periode af året også vil kunne forventes høje temperaturer, der begunstiger svampevækst inde i tagkonstruktionen.

Måleinstrumentets nøjagtighed medfører, at det ikke er rimeligt at regne med brøkdele af fugtprocenter, hvorfor der er korrigeret til nærmeste hele tal ved angivelse af fugtprocenter. Selv om målingerne kun kan angives med $\pm 1\%$, er det dog muligt at drage konklusioner.

Temperaturmålingerne blev i første omgang benyttet til korrektion af det målte fugtindhold. Desuden kan en undersøgelse af temperaturkurverne give et fingerpeg, om udtørringseffekten om sommeren er stor nok til at opveje opfugtningen.

Temperaturen i tagelementet over isoleringen fulgte i store træk udetemperaturen, men med meget høje varmegrader ($> 50^{\circ}\text{C}$) om sommeren, når der var direkte solpåvirkning. Om vinteren var der i meget lange perioder konstant temperaturforskell mellem buktingslokalet og hulrummet i elementet. Dette betyder, at fugtbewægelsen ind i elementet, der sker i en lang periode, men ved forholdsvis lille damptrykforskell, skal opvejes af korte dagperioder om sommeren med høj damptrykforskell, hvis der skal være balance mellem opfugtning og udtørring.

Temperaturen på en udtørringsdag (sommer) følger en sinuskurve, således at der groft kan regnes med 50°C i to timer, 40°C i 4 timer og 30°C i 6 timer. I middel kan der i hulrummet regnes med 90% RF. I disse perioder er der i gennemsnit 25°C og 40% RF under loftet i rummet. Herved opstår følgende damptryk:

90% RF	$\sim 50^{\circ}\text{C}$	giver	86 mmHg
90% RF	$\sim 40^{\circ}\text{C}$	"	50 "
90% RF	$\sim 30^{\circ}\text{C}$	"	28,5 "
40% RF	$\sim 30^{\circ}\text{C}$	"	12,7 "

og damptryksforskelle

86	-	12,7	=	73,3 mmHg
50	-	12,7	=	37,3 "
28,5	-	12,7	=	15,8 "

Ved en PAM-værdi på 70 giver det følgende mængde vand:

73,3	x	0,015	x	2	=	2,2 g/m ² /2 timer
37,3	x	0,015	x	4	=	2,2 g/m ² /4 "
15,8	x	0,015	x	6	=	1,4 g/m ² /6 "
						5,8 g/m ² /12 timer.

For at den beregnede diffusionsmængde på 200 g (se side 8) skal kunne fjernes igen, må der mindst være $\frac{200}{5,8} = 35$ dage med den nævnte udtørringseffekt. Ved et overslag ved hjælp af temperaturkurven kan det konstateres, at de pågældende somme mere end rigeligt yder denne effekt. Dette bekræftes også af de målte fugtmængder i træet.

Målingerne med termohygrograf gik ud på at følge luftfugtigheden i rummet, således at diffusionsberegningerne kunne foretages med rimelig sikkerhed. Samtidig skulle de og temperaturmålingerne danne basis for en nøjagtig beregning ved hjælp af EDB. De målte tal opsummeres kort:

Periode	Gennemsnitstemp. °C	% RF
<u>1971</u>		
13.4 - 27.4	20	40
1.10 - 14.10	22	50
29.10 - 12.12	-	45
22.12 - 31.12	20	42
<u>1972</u>		
1.1 - 10.1	20	30
10.1 - 24.1	18	32
11.2 - 25.2	20	30
14.3 - 28.3	20	32
17.4 - 8.5	22	32
8.5 - 22.5	23	35
14.7 - 28.7	28	45
8.9 - 22.9	20	50
2.11 - 16.11	20	45
<u>1973</u>		
16.2 - 2.3	20	35
12.5 - 26.5	22	38
6.8 - 20.8	25	40
23.11 - 7.12	18	32
<u>1974</u>		
30.1 - 14.2	20	40
3.4 - 17.4	20	28

Konklusion

Målingerne har vist, at der i konstruktionen kun ophobes acceptable små fugtmængder under de her beskrevne klimabetingelser. Til støtte for bedømmelsen kan anføres, at der under den normale cyklus med opfugtning om vinteren kun er 1-2 punkter, hvor der måltet et for højt fugtindhold. I det andet år nås kun lige grænsen på 20%. Heraf kan nok sluttes, at til trods for en ugunstig start med et stort fugtindhold, vil fugtindholdet hurtigt nå ned på et helt acceptabelt niveau.

Ses der på den farligste kombination, nemlig højt fugtindhold og temperaturer omkring 20-25°C bemærkes det, at disse perioder er meget kortvarige, fordi temperaturen omkring april-maj er stadigt stigende, og udtørringen går meget hurtigt. Trods en fugt-

mæssig uheldig start efter oplægningen af tagelementerne var det højeste fugtindhold i midten af maj 1972 allerede under 20% og ved samme tid i 1973 omkring 18%.

Udtørringen fortsætter herefter så hurtigt, at det næppe er sandsynligt, at der vil kunne opstå skader på grund af svampeangreb.

Dette resultat er bemærkelsesværdigt på baggrund af den store begyndelsesfugt, som skyldtes elementernes oplagring på byggepladsen.

Selv om alt tilsyneladende er forløbet vellykket i forsøgsperioden, må det kraftigt tilrådes, at elementerne er i fabriktør tilstand, når de oplægges, idet det heldige udfald kan skyldes de varme somre og meget milde vintre. En anden årsag til det gode resultat er vel nok, at man undlod at anbringe en dampspærre i bunden af elementerne, hvorved det høje fugtindhold i starten lettere kunne undvige i udtørringsperioden. Dette forhold vil imidlertid blive nærmere undersøgt sammen med andre parametre, der har betydning for fugtbevægelsen ved hjælp af et EDB-program, som er udviklet på SBI.

Ved eventuel fremtidig anvendelse af den her beskrevne konstruktion må følgende understreges:

- 1) Undersøgelsen behandler stressed-skin tagelementer med krydsfiner i flangerne. Elementerne er fremstillet på fabrik under velkontrollerede forhold. Resultaterne kan derfor ikke anvendes på "lignende" flade tage udført traditionelt på pladsen, hvor den samme form for lufttæthed i elementerne normalt ikke kan opnås.
- 2) Ved større afvigelser fra de her beskrevne temperatur- og luftfugtighedsforhold må det i hvert enkelt tilfælde eftervises, at konstruktionen vil være forsvarlig.

Men konklusionen af de her udførte målinger må helt klart være, at tagelementer af den her beskrevne konstruktion er absolut velegnede - og endvidere er de billigere.

Det sidste har selvfølgelig været medvirkende til, at hele undersøgelsen blev sat i gang. Hvor meget der spares, vil afhænge af tag og elementtype, men som grov rettesnor kan der regnes med en besparelse på omkring 10% af elementprisen.

Det er da også sådan, at Vorbecks Tømmerhandel ved udvidelsen af byggemarkedet i foråret 1974 valgte at anvende tagelementer af

samme type som i den eksisterende bygning.

Også de seneste oplysninger fra Canada viser, at man også her fortsat i stor udstrækning udfører stressed-skin tagkonstruktioner af den omtalte type.

REFERENCE:

- (1) Condensation control in stressed-skin and sandwich panels by R.E. Platts, NRE, Division of Building Research, Paper no. 149, Ottawa, 1963.
- (2) SBI-særtryk 247 af Uwe Lohse og Hans Nielsen:
Kan stressed-skin tagelementer udføres uden udluftning?