

*TNO-rapport*  
**94-BBI-R0678**  
6 mei 1994

## **EEN THERMO-HYGRISCHE BEOORDELING VAN MONOGLASS**

**Opdrachtgever**                      **Firma Heybroek B.V.  
AMSTERDAM**

**Projectnummer**                      **326.6.3061**

**Projectleider**                        **C.J.J. Castenmiller**

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt  
door middel van druk, fotokopie, microfilm  
of op welke andere wijze dan ook, zonder  
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-  
opdrachten aan TNO', dan wel de  
betreffende terzake tussen partijen  
gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het TNO-rapport  
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

**Totaal aantal pagina's**                      **19**  
**Aantal bijlagen**                                      **-**

<b>INHOUD</b>		<b>pagina</b>
1.	INLEIDING	3
2.	NADERE GEGEVENS/EXPERIMENTEN	4
3.	BEREKENING	9
4.	HET THERMO-HYGRISCH GEDRAG IN DE PRAKTIJK	11
5.	BESPREKING	18
6.	CONCLUSIES	19

## 1. INLEIDING

Monoglass is een verspuitbaar isolatiemateriaal dat door de firma Heybroek B.V. op de markt wordt gebracht. Monoglass bestaat uit glasvezels, die in combinatie met een lijm (polyvinylacetaat) tegen constructieoppervlakken kan worden gespoten. Op deze wijze ontstaat een naadloze isolatielaag met een sneeuw wit, wollig uiterlijk.

Door de firma Heybroek B.V. werd aan de afdeling Binnenmilieu, Bouwfysica en Installaties (BBI) van TNO-Bouw de opdracht verstrekt Monoglass aan een thermo-hygrische beoordeling te onderwerpen.

Op basis van deze thermo-hygrische beoordeling wordt een nadere beschouwing gegeven over het toepassingsgebied van Monoglass.

## 2. NADERE GEGEVENS/EXPERIMENTEN

Wordt een constructie voorzien van een thermische isolatie dan verandert de temperatuurverdeling in de constructie. In de geïsoleerde constructie kan echter op scheidingsvlakken tussen verschillende materiaallagen de temperatuur in het stookseizoen (de wintermaanden) dusdanig laag worden dat (inwendige) condensatie op zo'n scheidingsvlak ontstaat. Of deze inwendige condensatie acceptabel is zal afhangen van de hoeveelheid condensatie in de tijd en de droging hiervan buiten het stookseizoen (de zomerperiode).

Voorts is nog van belang of het gecondenseerde vocht door een materiaallaag wordt geabsorbeerd en in welke mate dit schadelijk is voor dit materiaal.

Monoglass wordt voor zijn thermische toepassing voornamelijk aangebracht tegen ongeïsoleerde constructies (daken of wanden) met een zeer geringe warmteweerstand; men denke hierbij o.a. aan daken en wanden die bestaan uit (geprofileerde) metalen platen of golfplaten van asbestcement en aan (schaal)daken van beton.

Voor een beoordeling van het thermo-hygrisch gedrag van dergelijke met Monoglass geïsoleerde constructies dienen de relevante eigenschappen van Monoglass bekend te zijn. De twee meest belangrijke eigenschappen zijn in dit kader:

- de warmtegeleidingscoëfficiënt van Monoglass

Deze grootte geeft aan in welke mate een materiaal thermisch isoleert;

In de door Heybroek B.V. verstrekte productinformatie wordt een warmtegeleidingscoëfficiënt van  $0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  gegeven bij een volumieke massa van circa  $45 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

het vochtweerstandsgetal van Monoglass

Deze grootte geeft aan in hoeverre een materiaal weerstand biedt aan de diffusie van waterdamp.

Het vochtweerstandsgetal  $\mu$  is gemeten door Van Dorsser B.V. De resultaten van deze metingen zijn gegeven in hun rapport Ls921847.RO2. Gevonden werd een gemiddelde waarde van  $\mu = 1,56$ .

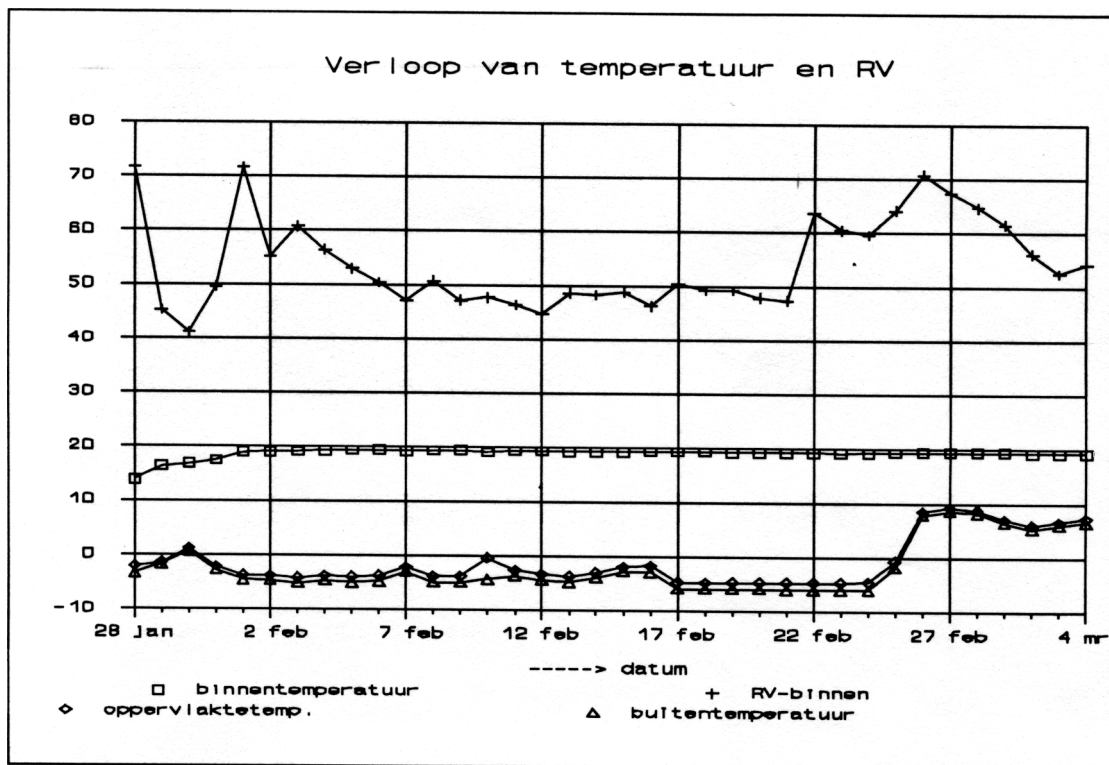
Daarnaast geldt dat een constructie (of materiaallaag) met een zekere traagheid instelt op verandering van de omgevings-condities; dit geldt voor zowel de temperatuur als voor het vochtgehalte van de omgevingslucht.

Om inzicht te verkrijgen in dit gedrag is een met Monoglass geïsoleerde constructie aan een laboratorium-experiment onderworpen. Hiertoe werd een stalen plaat voorzien van 55 mm Monoglass als scheidingsconstructie geplaatst tussen twee klimaatkamers. Gedurende de periode 28 januari 1994 tot en met 23 februari 1994 is het binnenklimaat geregeld op een luchttemperatuur van circa 20° C bij een relatieve luchtvochtigheid (RV) van circa 50 %; de buitentemperatuur bedroeg tijdens deze periode circa -5° C.

Hierna werd de buitentemperatuur gebracht op circa 7° C; de RV binnen werd ingesteld op circa 60 %.

In figuur 1 is gegeven het daggemiddelde verloop van:

- o de buitenluchttemperatuur
- o de oppervlakte-temperatuur aan de buitenzijde
- o de binnenluchttemperatuur
- o de relatieve luchtvochtigheid



*Figuur 1 : Verloop van temperatuur en RV gedurende de meetperiode.*

Tijdens de gehele meetperiode zijn geregeld monsters genomen uit het isolatiepakket ter bepaling van het vochtgehalte. Elk monster werd verdeeld in twee deelmonsters; het eerste deelmonster omvatte het materiaal uit de eerste 45 mm, het tweede deelmonster omvatte het materiaal uit de laatste 10 mm.

De resultaten zijn samengevat in tabel 1

*Tabel 1 : Resultaten van de vochtgehaltemetingen*

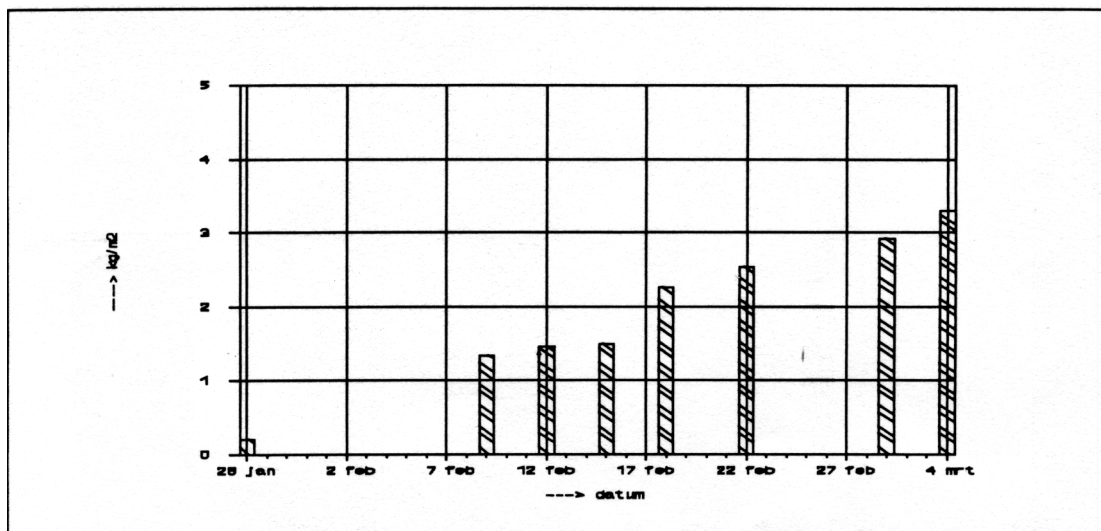
datum	vochtgehalte in kg/m <sup>2</sup>	
	monster 0 - 45 mm	monster 45 - 55 mm
28 jan	0,15	0,05
8 feb	0,15	1,19
11 feb	0,14	1,32
15 feb	0,12	1,37
18 feb	0,14	2,12
22 feb	0,14	2,39
28 feb	0,15	2,76
4 mrt	0,16	3,15

Uit deze gegevens is het volgende af te leiden:

condensatie treedt op bij het scheidingsvlak tussen Monoglass en staalplaat; een grenslaagje van enkele mm's Monoglass wordt hierbij 'nat' (werd ook bij de monsternamen geconstateerd).

het overige Monoglass blijft 'droog'; het gemeten vochtgehalte betreft hygroscopisch gebonden vocht.

In figuur 2 is het totale vochtgehalte (uitgedrukt in  $\text{kg/m}^2$ ) gegeven gedurende de meetperiode.



*Figuur 2 : Verloop van het totale vochtgehalte van Monoglass tijdens de meetperiode*

Opgemerkt wordt nog dat voor het deel van de meetperiode, waarbij de buitentemperatuur lager was dan  $0^\circ \text{C}$  het gecondenseerde vocht zich afzette in de vorm van ijs. In het tweede deel van de meetperiode lag de buitentemperatuur boven  $0^\circ \text{C}$  en was sprake van condensatie in de vorm van water. Uitdruppeling van water uit het isolatiepakket werd niet geconstateerd; blijkbaar is het Monoglass voldoende in staat het gecondenseerde vocht vast te houden.



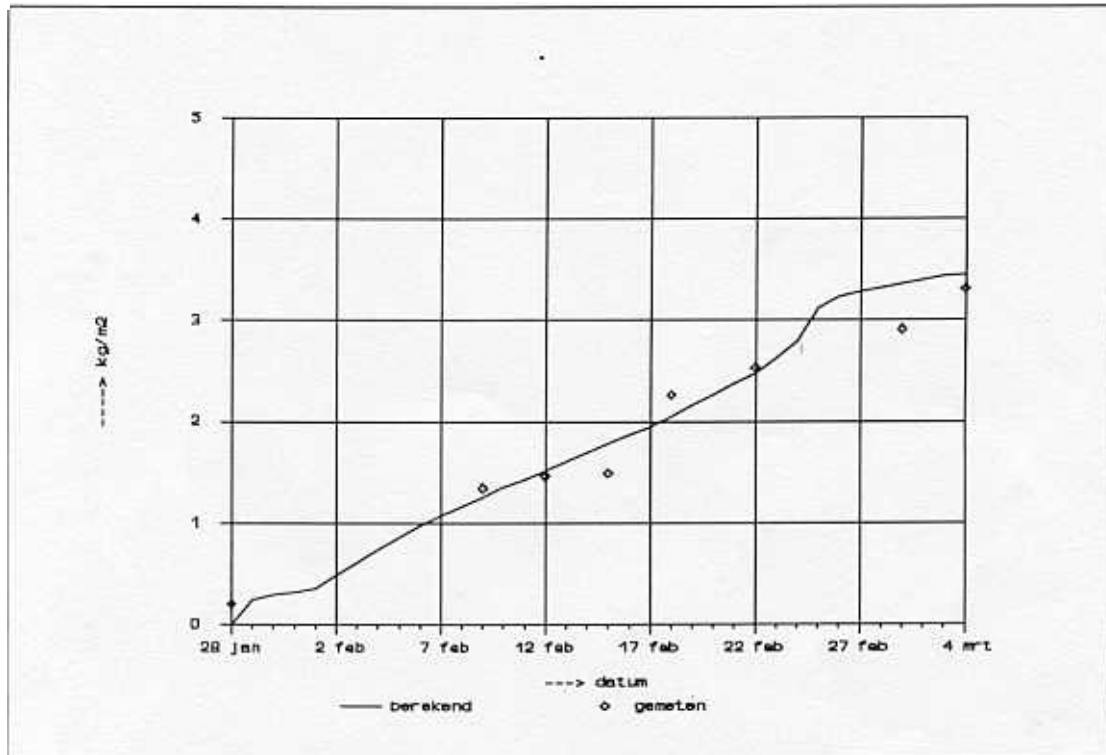
### 3. BEREKENING

Met behulp van het rekenpakket MATCH, een dynamisch reken-programma om het hygrisch gedrag van een constructie te berekenen, is het vochtgehalte-verloop in de met Monoglass geïsoleerde constructie berekend.

De volumieke massa van het op de staalplaat aangebrachte Monoglass bleek wat hoger te liggen dan in de productinformatie wordt gegeven; zowel de warmtegeleidingscoëfficiënt als het vochtweerstandsgetal zullen om deze reden wat hoger liggen dan bij de in de productinformatie gegeven dichtheid. Uitgegaan is van een warmtegeleidingscoëfficiënt van  $0,040 \text{ W/(m.K)}$  en een vochtweerstandgetal van 2.

Als klimaatcondities zijn gehanteerd het tijdens de meetperiode gemeten binnen- en buitenklimaat.

De resultaten zijn gegeven in figuur 3; tevens is in deze figuur 3 het gemeten vochtgehalte aangegeven.



**Figuur 3 :** *Berekend en gemeten vochtgehalte van de met Monoglass geïsoleerde constructie*

Zoals hieruit blijkt bestaat er een goede overeenstemming tussen het berekende vochtgehalte en het uit het experiment bepaalde vochtgehalteverloop.

#### 4. HET THERMO-HYGRISCH GEDRAG IN DE PRAKTIJK

Voor het thermo-hygrisch gedrag van constructies onder praktijkomstandigheden kunnen een aantal rekenprogramma's gebruikt worden.

Een van de meest gebruikelijke methoden vormt een condensatie-berekening volgens de methode Glaser.

De uitgangspunten (klimaatcondities) die men hiervoor hanteert verschillen echter nogal.

In de norm DIN 4108 : 'Wärmeschutz im Hochbau' wordt uitgegaan van de volgende condities:

- condensatieperiode
  - buitenklimaat  $-10^{\circ} \text{C}$  / RV = 80 %
  - binnenklimaat  $20^{\circ} \text{C}$  / RV = 50 %
  - tijdsperiode 60 dagen
- drogingsperiode
  - buitenklimaat  $12^{\circ} \text{C}$  / RV = 70 %
  - binnenklimaat  $12^{\circ} \text{C}$  / RV = 70 %
  - tijdsperiode 90 dagen
- voorwaarden
  - condensatiehoeveelheid  $< 1,0 \text{ kg/m}^2$
  - geen resulterend condensvocht na droging

Bij de hantering van deze condities wordt echter voorbij gegaan aan enerzijds het minder extreme klimaat in Nederland en anderzijds de invloed van zonbestraling op het condensatieproces. Daarnaast wordt geen rekening gehouden met het vochtgehalte van de binnenlucht (afhankelijk van het soort gebouw en het gebruik ervan).

Een betere inschatting van het condensatie proces wordt verkregen door uit te gaan van maandgemiddelde klimaatgegevens.

Een dergelijke benadering wordt toegepast in het programma HYGRO. In dit programma wordt voor het vochtgehalte van de binnenlucht uitgegaan van een indeling in 3 klimaatklassen of van een constante waarde voor de RV van de binnenlucht. De 3 klimaatklassen zijn als volgt gedefinieerd:

- klasse 1 gebouwen met geen of een verwaarloosbare vochtproductie (garages, opslagruimten e.d.);
- klasse 2 gebouwen met een middelmatige vochtproductie, zoals woningen, kantoren, winkels en fabrieken zonder sterk vochtproducerende processen;
- klasse 3 gebouwen met een hogere vochtproductie, zoals gebouwen met een luchtbevochtiging
- klasse 4 gebouwen met hoge vochtproductie of luchtbevochtiging, zoals zwembaden, drukkerijen e.d.. Meestal is in dit soort gebouwen sprake van een regeling, waarbij de RV binnen min of meer constant wordt gehouden.

De meest recente ontwikkeling is een dynamisch rekenprogramma (MATCH), waarin rekening wordt gehouden met de thermische en hygrische traagheid van de constructie. Bovendien wordt hierbij uitgegaan van een referentieklimaat; een dergelijk referentieklimaat is een gemiddelde over een aantal jaren, waarin relevante klimatologische invloeden zijn opgenomen, zoals de buitentemperatuur, de RV, de straling (globaal en diffuus) en de windsnelheid.

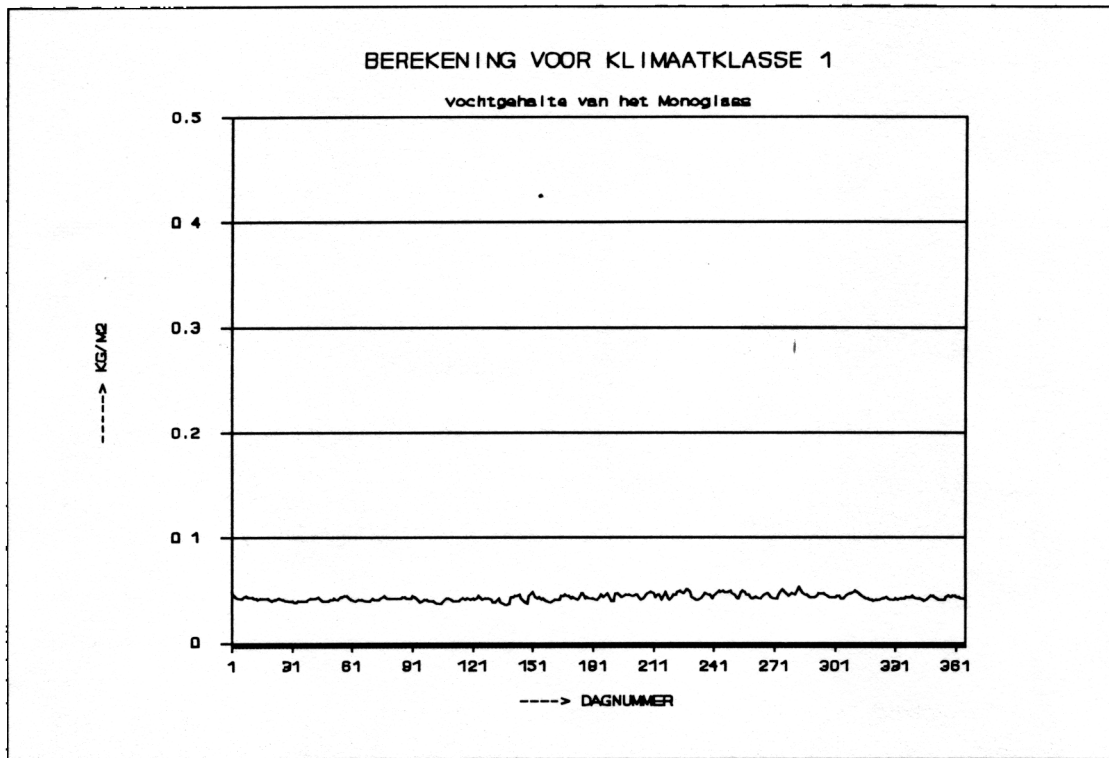
Om een indruk te geven in welke mate de gehanteerde klimaatcondities het resultaat van condensatieberekeningen beïnvloedt zijn met de programma's HYGRO en MATCH een met Monoglass geïsoleerde constructie berekend. Deze constructie wordt gevormd door een metalen plaat, voorzien van 50 mm Monoglass.

In tabel 2 zijn de resultaten gegeven van de berekeningsresultaten met het programma HYGRO.

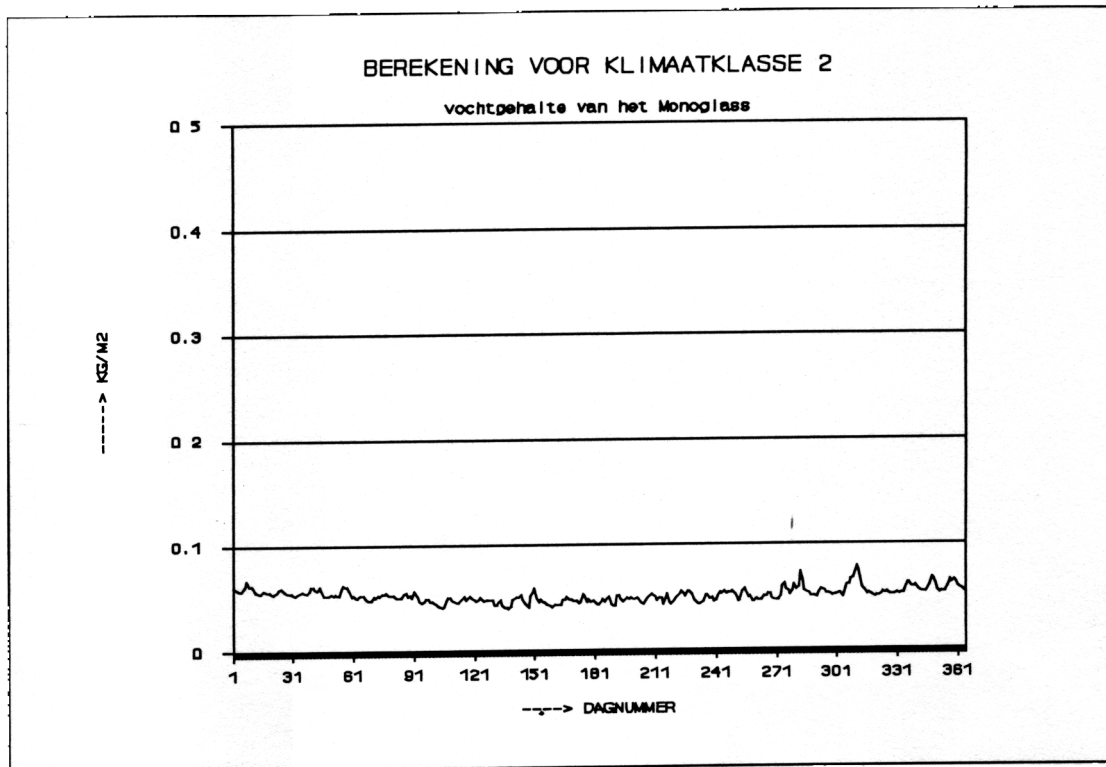
*Tabel 2 : Resultaten van condensatieberekening volgens HYGRO*

maand	condensatiehoeveelheid in kg/m <sup>2</sup>				
	klimaatklasse			RV binnen	
	1	2	3	50%	60 %
jan	0	4,0	7,2	4,9	9,0
feb	0	5,1	9,3	6,7	12,0
mrt	0	5,3	10,5	7,3	13,9
apr	0	4,6	10,6	6,4	14,2
mei	0	1,3	7,8	2,0	11,1
juni	0	0	3,2	0	5,6
juli	0	0	0	0	0
aug	0	0	0	0	0
sep	0	0	0	0	0
okt	0	0,1	0,6	0	0,3
nov	0	1,0	2,3	0,8	2,4
dec	0	2,5	4,8	2,8	5,6

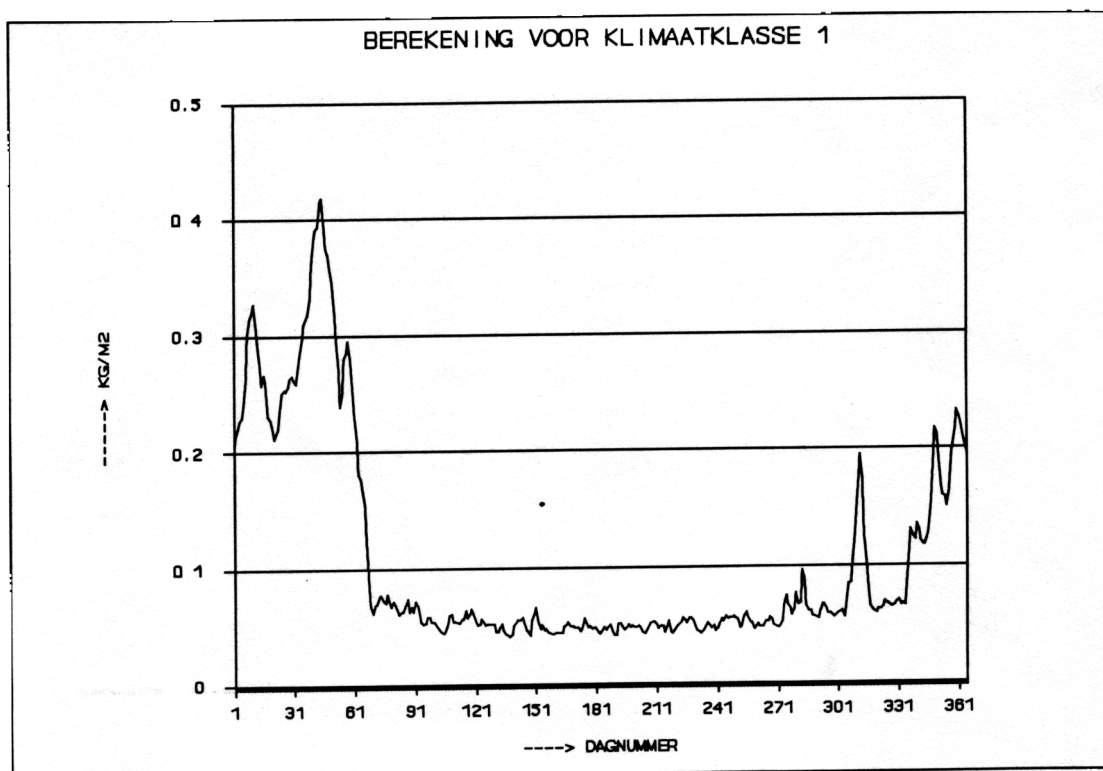
De resultaten van de berekeningen met het programma MATCH zijn gegeven in de figuren 4 tot en met 7.



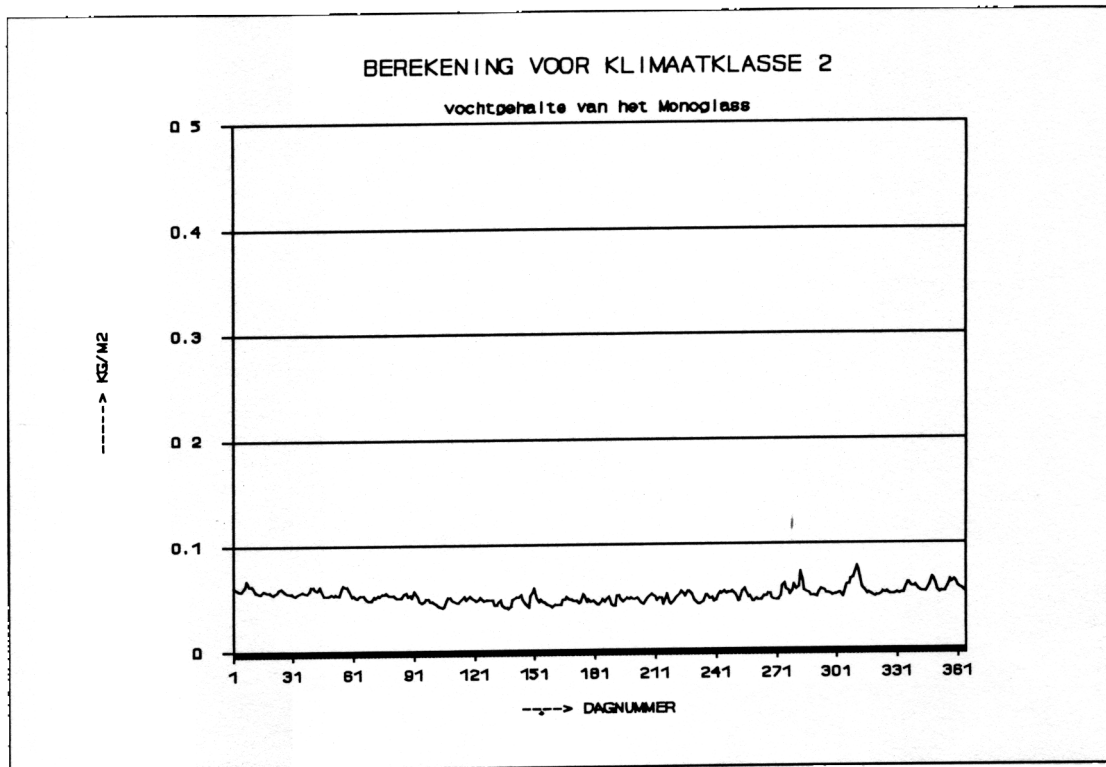
*Figuur 4 : Berekening volgens MATCH voor klimaatklasse 1*



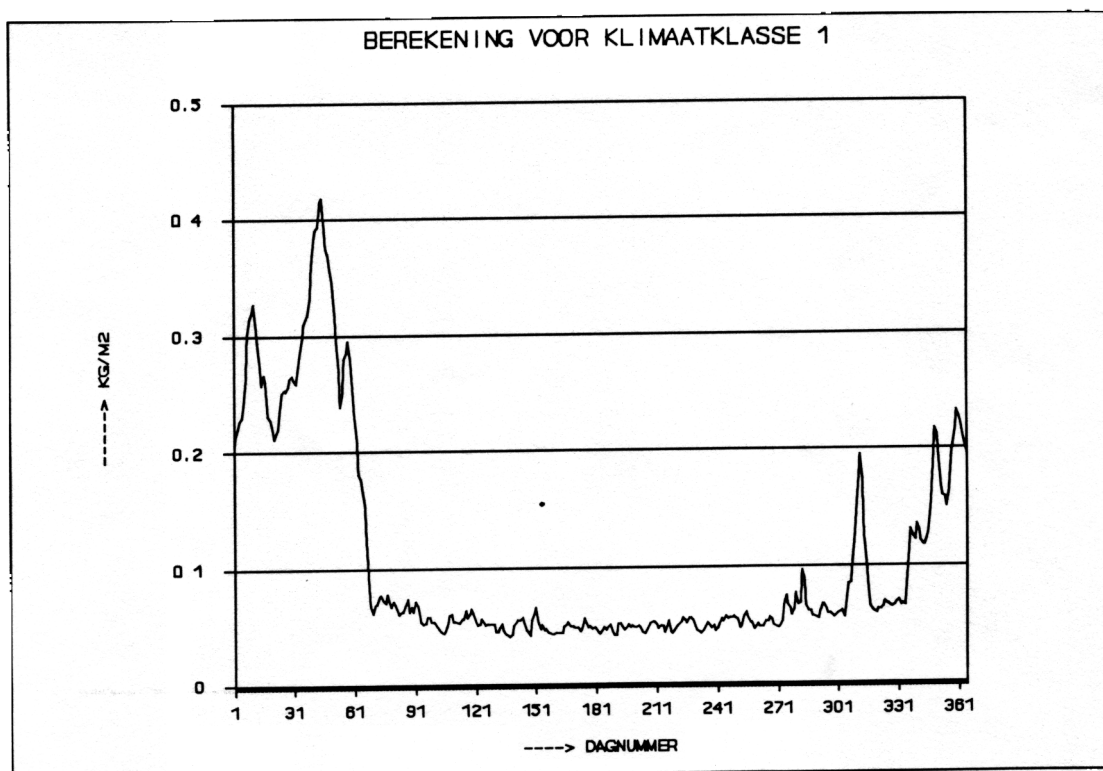
*Figuur 5 : Berekening volgens MATCH voor klimaatklasse 2*



*Figuur 6 : Berekening volgens MATCH voor klimaatklasse 3*

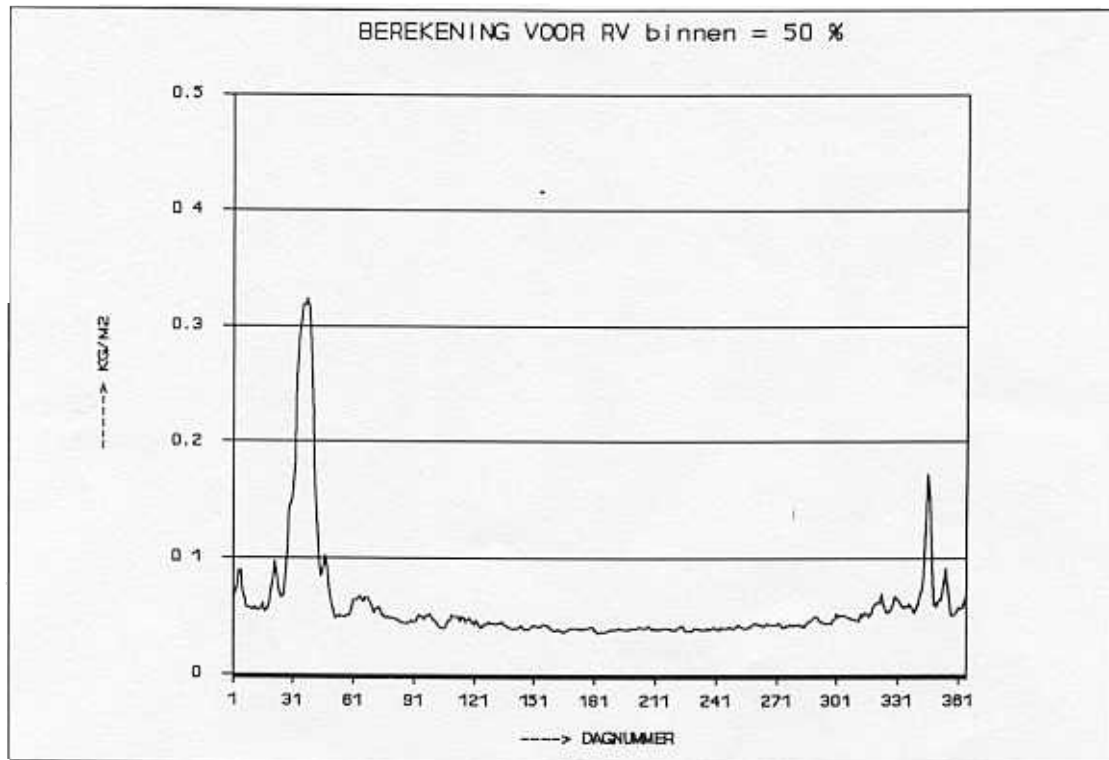


*Figuur 5 : Berekening volgens MATCH voor klimaatklasse 2*



*Figuur 6 : Berekening volgens MATCH voor klimaatklasse 3*





*Figuur 7 : Berekening volgens MATCH voor RV-binnen = 50 %*

Ten aanzien van de resultaten van de berekeningen met het programma MATCH wordt het volgende opgemerkt:

- het minimum niveau voor het vochtgehalte van circa  $0,05 \text{ kg/m}^2$  is zogenoemd hygroskopisch gebonden vocht;  
pieken in het vochtgehalte duiden op inwendige condensatie; de hoeveelheid is echter veel beperkter dan met HYGRO wordt berekend;  
in de winterseizoen vindt tussentijds enige droging plaats (zonsinvloed); met name hierdoor is de totale hoeveelheid condensatie veel beperkter dan met HYGRO wordt berekend.

## 5.      BESPREKING

Monoglass kan worden toegepast als thermische isolatie tegen het binnenoppervlak van constructies. Men dient hierbij rekening te houden dat in het stookseizoen inwendige condensatie kan optreden. De hoeveelheid inwendige condensatie wordt hierbij bepaald door de luchtvochtigheid van het binnenklimaat. Voor gebouwen met geen of weinig vochtproductie zal nauwelijks enige inwendige condensatie optreden; bij wat vochtiger gebouwen kan meer condensatie optreden.

Voor zover de oorspronkelijke constructie, waartegen Monoglass wordt aangebracht, geen materiaallagen bevat die door vocht kunnen worden aangetast behoeven geen bijzondere maatregelen te worden genomen. Metalen oppervlakken dienen zonodig tegen corrosie te worden behandeld.

Bij condensatiehoeveelheden van enige importantie zal het laagje van het Monoglass dat grenst aan het oppervlak van de oorspronkelijke constructie het gecondenseerde vocht absorberen.

Uit het uitgevoerde experiment is gebleken dat het Monoglass dit vocht in voldoende mate kan absorberen; bij een hoeveelheid tot  $3 \text{ kg/m}^2$  is geen afstroming of uitdruppeling geconstateerd.

Wel zal dit 'natte' grenslaagje niet meer bijdragen aan de totale thermische isolatie; bij voldoende dikte van het Monoglass is dit nadelige effect gering. Bovendien kan men hiervoor compenseren door de laag Monoglass in een wat grotere dikte aan te brengen.

De hoeveelheid inwendige condensatie zal mede bepaald worden door het buitenklimaat. Uit de berekeningen met het programma MATCH blijkt dat de hoeveelheid inwendige condensatie vrij beperkt blijft. Hierbij is echter uitgegaan van een gemiddeld buitenklimaat. Voor bijvoorbeeld een periode met gemiddeld lage buitentemperaturen zal de hoeveelheid inwendige condensatie meer bedragen dan MATCH berekent. De hoeveelheid inwendige condensatie zal dan gaan in de richting van de met HYGRO berekende hoeveelheden.

Berekeningen volgens DIN 4108 zijn voor Nederland te extreem (60 dagen met een gemiddelde buitentemperatuur van  $-10^\circ \text{ C}$  komen in Nederland niet voor).

## 6. CONCLUSIES

Samenvattend kan het volgende worden geconcludeerd:

1. in gebouwen, vallend in klimaatklasse 1 en 2, kan Monoglass zonder bezwaar worden toegepast;
2. in gebouwen, vallend in klimaatklasse 3, is enige inwendige condensatie te verwachten; zonodig kan de aan te brengen laag Monoglass wat dikker worden gekozen om het thermisch nadelige effect (overigens beperkt) te compenseren;
3. voor gebouwen, vallend in klimaatklasse 4 (geconditioneerd) ligt de grens voor toepassing van Monoglass bij een RV van circa 50 %.

### Slotopmerkingen

de constructie, waartegen Monoglass wordt aangebracht, dient bestand te zijn tegen de (eventuele) inwendige condensatie op het grensvlak;

de experimenten en berekeningen zijn uitgevoerd voor een constructie met nauwelijks enige warmteweerstand. Voor constructies met wel enige significante warmteweerstand zal de situatie slechts minder ongunstig worden; dat wil zeggen dat eventuele inwendige condensatie beperkter van omvang zal zijn dan is berekend;

ba 

---

C.J.J. Castenmiller  
projectleider



---

ir. A.C. de Geus  
sectiehoofd  
Bouwfysica en Zonne-energie