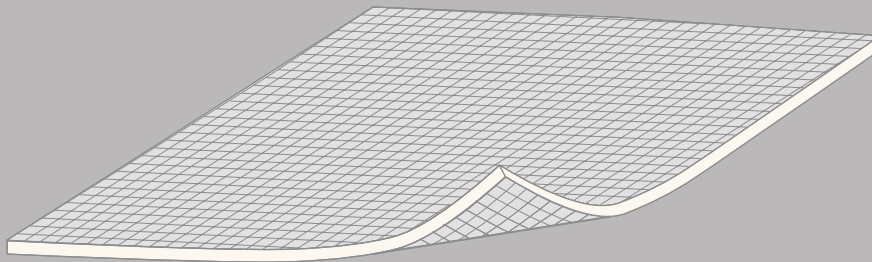


WTCB



EEN UITGAVE VAN HET WETENSCHAPPELIJK EN TECHNISCH CENTRUM VOOR HET BOUWBEDRIJF



RAPPORT

INITIËLE THERMISCHE PRESTATIES VAN DUNNE REFLECTERENDE PRODUCTEN

INITIËLE THERMISCHE PRESTATIES VAN DUNNE REFLECTERENDE PRODUCTEN

Dit rapport werd opgesteld door :

Gilles Flamant, Afdeling 'Energie en Klimaat', WTCB
Peter Wouters, Directie 'Ontwikkeling en Valorisatie', WTCB
Didier L'heureux, Departement 'Bouwfysica en Uitrustingen', WTCB

Jean-Marie Seynhaeve, wetenschappelijk expert, Unité THERM, Université catholique de Louvain

Philippe Ngendakumana, wetenschappelijk expert, Laboratoire de Thermodynamique, Université de Liège.

Bij de uitvoering van deze studie kon het WTCB een beroep doen op de volgende partners :

- ◆ het ministerie van het Waalse Gewest, DGTRE (division de l'Energie)
- ◆ de Federale Overheidsdienst Economie, KMO, Middenstand en Energie
- ◆ twee wetenschappelijke experten : de Heren J.-M. Seynhaeve (UCL) en P. Ngendakumana (ULg)
- ◆ drie fabrikanten van dunne reflecterende producten.

WETENSCHAPPELIJK EN TECHNISCH CENTRUM VOOR HET BOUWBEDRIJF

WTCB, inrichting erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947
Maatschappelijke zetel : Lombardstraat 42 te 1000 Brussel



Dit is een publicatie van wetenschappelijke aard. De bedoeling ervan is de resultaten van het bouwonderzoek uit binnen- en buitenland te helpen verspreiden.



Het, zelfs gedeeltelijk, overnemen of vertalen van de tekst van dit rapport is slechts toegelaten na schriftelijk akkoord van de verantwoordelijke uitgever.

1	CONTEXT EN OMVANG VAN DE STUDIE	4
2	THEORETISCH OVERZICHT VAN DE WIJZEN VAN WARMTEOVERDRACHT	6
3	NORMATIEVE BEREKENINGEN	8
3.1	Warmteweerstand van een luchtpouw.....	8
3.2	Warmteovergangsweerstand aan het oppervlak	10
4	MEETCAMPAGNE	12
4.1	Beschrijving van de beproefde producten.....	12
4.2	Laboratoriummetingen.....	12
4.2.1	Intrinsieke thermische productkarakteristieken	12
4.2.2	Thermische prestaties van het product, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtpouwen.....	13
4.3	Metingen onder reële buitenomstandigheden.....	16
4.3.1	PASLINK-buitentestcel	16
4.3.2	Thermische prestaties en thermische balans op het niveau van elke component	17
4.3.3	Thermische prestaties van een enkele component en thermische balans op het niveau van de PASLINK-testcel	25
5	BESLUITEN	30
Bijlage 1	Meting van de warmteweerstand van een DRP, gecombineerd met twee luchtpouwen (NPL)	31
Bijlage 2	Planning van de studie	35



1 CONTEXT EN OMVANG VAN DE STUDIE

Het WTCB en tal van andere organismen, waaronder de overheid, worden vandaag de dag geconfronteerd met een stijgende vraag naar informatie over zogenoemde ‘dunne reflecterende producten’ (DRP). De overheid, partner van deze studie, wenst dat er duidelijkheid geschept wordt omtrent de karakteristieken van dit type producten, voornamelijk met het oog op de toepassing van de thermische reglementeringen die van kracht zijn in de drie Gewesten van ons land.

Een van de opdrachten van het WTCB bestaat erin wetenschappelijk en technologisch onderzoek uit te voeren om de bouwsector zo goed mogelijk te informeren over de evolutie van de materialen en de uitvoeringstechnieken. In dit kader besliste het Centrum om een studie over de thermische prestaties van DRP voor te stellen.

Dankzij deze studie was het mogelijk de thermische prestaties van een aantal dergelijke producten te bepalen. Dit gebeurde hoofdzakelijk aan de hand van een meetcampagne, uitgevoerd in het proefstation van het WTCB.

Een dun reflecterend product bestaat uit een dunne materiaalkern (bv. een schuimstof of een polyethyleenfolie die luchtbellens of een vezelmateriaal bevat), die aan een of beide zijden bekleed is met een reflecterende film (aluminiumfolie of gealuminiseerde folie). Bepaalde producten bestaan uit meerdere lagen die van elkaar gescheiden zijn door reflecterende tussenlagen. De totale dikte is doorgaans begrepen tussen 5 en 30 mm.

Tijdens deze studie kwamen enkel de thermische prestaties van de producten in de winter aan bod. De zonneprestaties (bv. de zonnetoetredingsfactor) van bouwdeelen, voorzien van DRP, werden buiten beschouwing gelaten. De overige karakteristieken zoals de waterdampdiffusieweerstand, de akoestische isolatie of de brandreactie werden evenmin bestudeerd.

De thermische prestaties werden gemeten op de producten in hun initiële toestand, met andere woorden zoals ze werden geleverd door de fabrikant en geplaatst onder ideale omstandigheden. De invloed van de gebruiks- en plaatsingsvoorwaarden op de thermische prestaties van de producten, evenals het effect van de mogelijke afname van de thermische eigenschappen in de tijd, werden niet behandeld.

Vóór de aanvang van de meetcampagne werden de algemene studiemethodologie en een proefprocedurevoorstel aan de verschillende partners voorgelegd en besproken. Iedere partner (overheid, wetenschappelijke experts en fabrikanten) kon hierop zijn opmerkingen formuleren. Laatstgenoemde werden in het werkprogramma opgenomen als ze het voorwerp uitmaakten van een unaniem akkoord tussen de wetenschappelijke studiepartners (de twee wetenschappelijke experts en het WTCB).

De gekozen methodologie bestond in de bepaling van de thermische prestaties van de DRP. Dit gebeurde enerzijds door middel van laboratoriummetingen (onder stationaire randvoorwaarden) en anderzijds aan de hand van metingen in testcellen, onderworpen aan reële buitenomstandigheden (per definitie niet-stationaire randvoorwaarden). De resultaten van beide types metingen werden eerst onderling vergeleken en vervolgens met berekeningen, uitgevoerd volgens de geldende normen.

Bijlage 2 (p. 35) geeft een algemeen overzicht van de planning van de studie (voornaamste vergaderingen, proefperioden, ...).

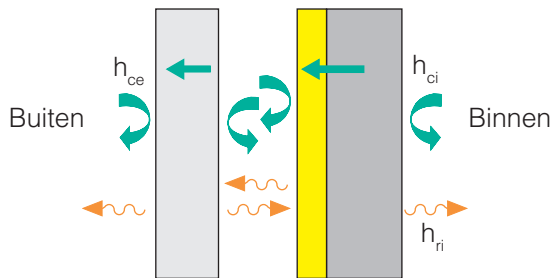


2 THEORETISCH OVERZICHT VAN DE WIJZEN VAN WARMTEOVERDRACHT

De warmteoverdracht doorheen een wand van een gebouw gebeurt voornamelijk op de volgende drie manieren :

- ◆ door geleiding
- ◆ door convectie
- ◆ door straling.

Afb. 1
Wijzen van warmteoverdracht doorheen een wand.



h_{ci} : overgangscoefficiënt voor convectie binnen
 h_{ce} : overgangscoefficiënt voor convectie buiten
 h_{ri} : overgangscoefficiënt voor straling binnen
 h_{re} : overgangscoefficiënt voor straling buiten

EEN BEETJE TERMINOLOGIE

- ◆ Geleiding
 - Warmteoverdracht doorheen het materiaal.
 - De hoeveelheid overgedragen warmte is omgekeerd evenredig met de dikte van het materiaal en recht evenredig met de warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal (λ in $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) en het temperatuurverschil tussen zijn beide zijden.
- ◆ Convectie
 - Warmteoverdracht van een vloeibaar of gasvormig milieu naar een vast lichaam door de relatieve verplaatsing van de vloeistofdeeltjes naar het grensvlak van de vaste stof.
 - De hoeveelheid overgedragen warmte is recht evenredig met de overgangscoefficiënt voor convectie (h_c in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$) en het temperatuurverschil tussen de omgeving en het wandoppervlak.
- ◆ Straling
 - Warmteoverdracht van een element naar een ander via elektromagnetische golven.
 - De hoeveelheid overgedragen warmte tussen een wandoppervlak en de oppervlakken van de aangrenzende wanden is afhankelijk van de temperatuur, de emissiviteit van elk van deze wanden en de hoekfactor.

Bij de berekening van de totale warmteweerstand van een wand moet men rekening houden met de warmteweerstand die overeenstemt met de verschillende wijzen van warmteoverdracht.

De totale warmteweerstand van een wand (van de binnenomgeving naar de buitenomgeving) is gelijk aan de som van de warmteweerstanden van de verschillende samenstellende wandlagen (homogene laag, luchtspouw, ...) en de warmteovergangsweerstanden aan het binnenoppervlak R_i en het buitenoppervlak R_e :

$$R_{\text{totaal}} = R_i + \dots + R_n + \dots + R_e \quad (2-1)$$

waarbij $R_i = \frac{1}{h_{ri} + h_{ci}}$

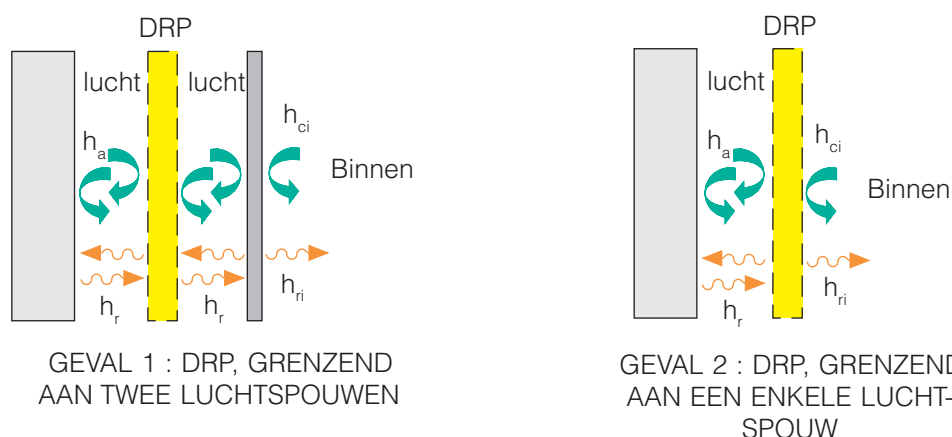
en $R_e = \frac{1}{h_{re} + h_{ce}}$ (*).

De warmteweerstand R_n van een homogene laag 'n' in de wand is gelijk aan het quotiënt van de laagdikte en de warmtegeleidingscoëfficiënt λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) van het samenstellende materiaal van de laag.

In een luchtspouw wordt de warmte niet enkel overgedragen door geleiding/convectie (doorheen het milieu 'lucht'), maar ook door straling (uitwisseling van stralingswarmte tussen de twee tegenover elkaar liggende oppervlakken). De berekening van de warmteweerstand van een luchtspouw wordt in het volgende hoofdstuk uiteengezet.

Door zijn geringe dikte beschikt een DRP over een lage intrinsieke warmteweerstand. Om te kunnen genieten van het reflecterende effect (lage emissiviteit) van de oppervlaktelagen, moet het product tegenover een of – beter nog – twee niet-geventileerde luchtspouwen worden geplaatst. De lage emissiviteit van de reflecterende oppervlaktelagen heeft tot gevolg dat de warmteoverdracht door straling afneemt en dat de warmteweerstand van de luchtspouw(en) toeneemt.

Afbeelding 2 illustreert bij wijze van voorbeeld twee mogelijke gevallen van bouwdeelen, voorzien van een DRP.



Afb. 2 *Bouwdeelen, voorzien van een DRP.*

(*) Gewoonlijk draagt het symbool 'h', dat de overgangscoefficiënt voorstelt, de indexen 'c' en 'r' om respectievelijk de overdracht door convectie en straling aan te duiden. In de norm EN ISO 6946 (zie hoofdstuk 3) wordt de uitwisseling door geleiding/convectie doorheen een luchtspouw echter weergegeven door het symbool h_a (en niet h_c).



3 NORMATIEVE BEREKENINGEN

De norm EN ISO 6946 [3] bevat een methode voor de berekening van de warmteweerstand van gebouwcomponenten, met inbegrip van de luchtsponwen.

3.1 WARMTEWEERSTAND VAN EEN LUCHTSPOUW

De norm EN ISO 6946 kan gebruikt worden voor de bepaling van de warmteweerstand van een luchtsponw, begrensd door twee oppervlakken (eventueel met een lage emissiviteit), die onderling evenwijdig zijn en loodrecht staan op de richting van de warmtestroom. Ze maakt een onderscheid tussen niet-geventileerde, zwak geventileerde en sterk geventileerde luchtsponwen.

Volgens de definities uit deze norm is de dikte van een luchtsponw minstens tien maal kleiner dan de twee overige afmetingen (lengte en breedte) en niet groter dan 0,3 m. Een niet-geventileerde luchtsponw is een luchtsponw die niet uitgerust is met specifieke voorzieningen om er een luchtstroming in te verzekeren.

Overeenkomstig deze norm wordt de warmteweerstand R_g van een niet-geventileerde luchtsponw gegeven door de volgende vergelijking :

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}) \quad (3-1)$$

waarbij :

- h_r = de overgangscoefficiënt door straling
- h_a = de overgangscoefficiënt door geleiding/convectie.

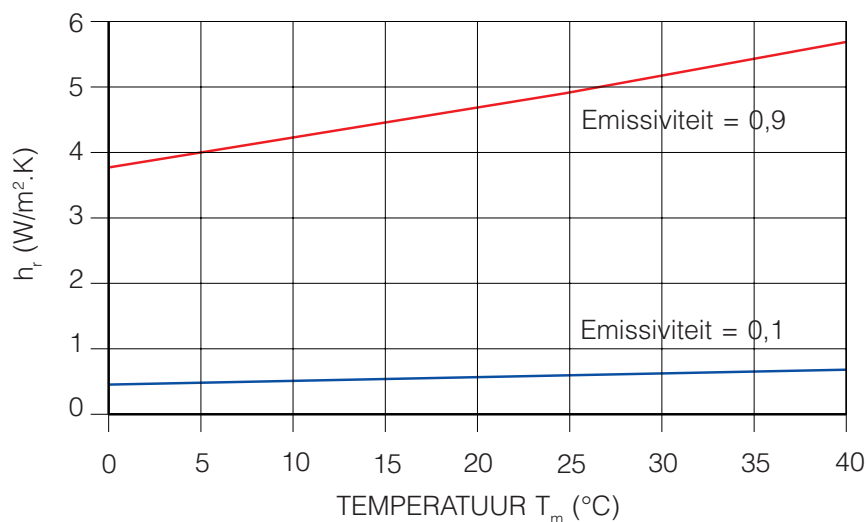
De overgangscoefficiënt door straling h_r zal kleiner zijn naarmate de emissiviteit van de tegenoverliggende oppervlakken (in contact met de luchtsponw) lager is. Deze wordt gegeven door de volgende vergelijking :

$$h_r = \frac{4 \cdot s \cdot T_m^3}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}) \quad (3-2)$$

waarbij :

- T_m = de gemiddelde temperatuur van de luchtsponw (in K)
- ϵ_1 en ϵ_2 = de hemisferische emissiviteit van de oppervlakken die de luchtsponw begrenzen
- σ = de constante van Stefan-Boltzmann, die gelijk is aan $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.

De emissiviteit is een factor die schommelt van 0 tot 1 en die het reflecterende vermogen van het oppervlak in het verre infrarood kenmerkt. Aangezien de buitenste reflecterende laag van het dunne product gekarakteriseerd wordt door een lage emissiviteit, zal de overgangscoefficiënt door straling zwak zijn.



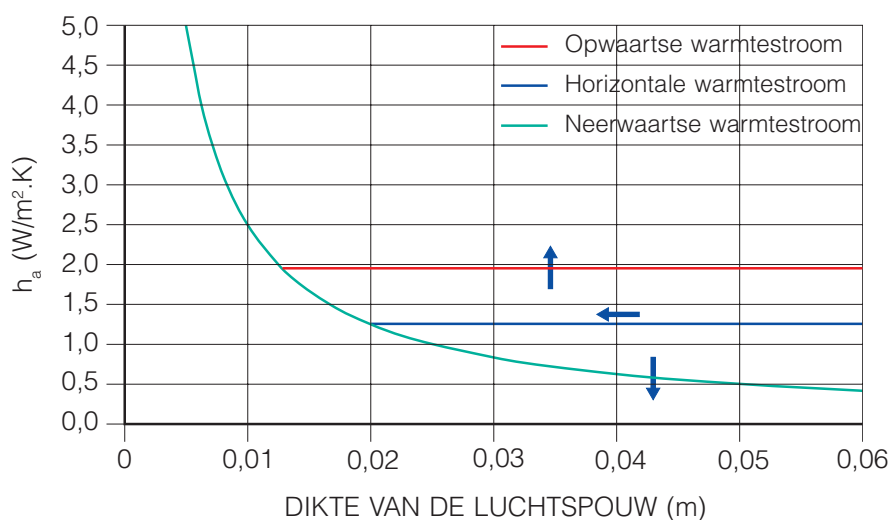
Afb. 3 Overgangscoefficiënt voor straling h_r , afhankelijk van de gemiddelde temperatuur van de luchtspouw (norm EN ISO 6946).

Afbeelding 3 stelt de variatie van de overgangscoefficiënt voor straling h_r voor, afhankelijk van de gemiddelde temperatuur T_m van de luchtspouw, voor twee verschillende emissiviteitswaarden van één van de zijden. De andere zijde heeft een emissiviteit van 0,9 (normale waarde voor een gebruikelijk bouw materiaal).

De overgangscoefficiënt voor geleiding/convectie h_a (afbeelding 4) wordt in de norm EN ISO 6946 uitgedrukt als een functie van de dikte van de luchtspouw en van de richting van de warmtestroom (horizontaal, verticaal opwaarts of verticaal neerwaarts). Deze norm geeft in haar bijlage B de volgende formules (met d : de dikte van de luchtspouw in meter) :

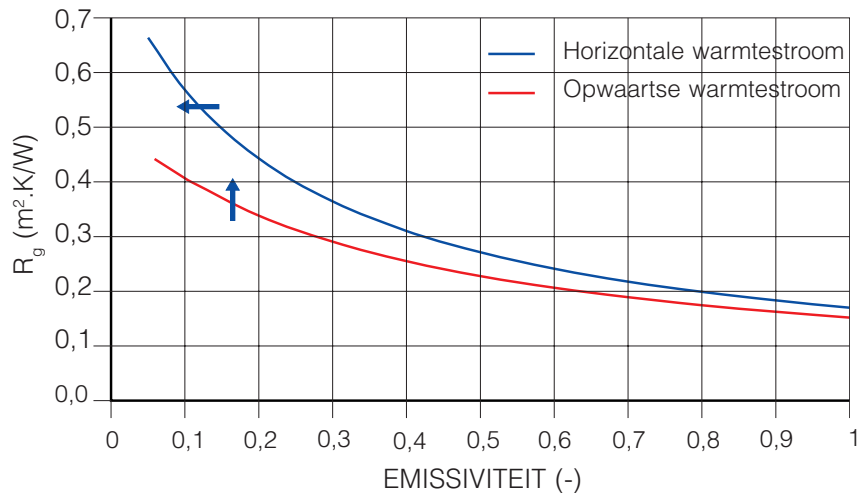
- ◆ horizontale warmtestroom : $h_a = \max(1,25; 0,025/d)$ (W.m⁻².K⁻¹) (3-3)
- ◆ opwaartse warmtestroom : $h_a = \max(1,95; 0,025/d)$ (W.m⁻².K⁻¹) (3-4)
- ◆ neerwaartse warmtestroom : $h_a = \max(0,12d^{-0,44}; 0,025/d)$ (W.m⁻².K⁻¹). (3-5)

De overgangscoefficiënt h_a wordt constant indien de luchtspouw dikker is dan ± 20 mm voor een horizontale warmtestroom (verticale luchtspouw) en indien de luchtspouw dikker is dan 13 mm voor een opwaartse verticale warmtestroom (horizontale luchtspouw). Hieruit volgt dat – in het geval van een horizontale of opwaartse verticale warmtestroom – de warmteweerstand R_g van een niet-geventileerde luchtspouw constant blijft vanaf deze dikten, voor gegeven temperatuur- en emissiviteitswaarden van de oppervlakken die de luchtspouw begrenzen.



Afb. 4 Overgangscoefficiënt voor geleiding/convectie h_a , afhankelijk van de dikte van de luchtspouw (norm EN ISO 6946).

Afb. 5 Totale warmteweerstand R_g van een niet-geventileerde luchtspouw met een dikte van 20 mm, afhankelijk van de emissiviteit van één van de wanden (norm EN ISO 6946) ($T_m = 10\text{ °C}$).



De totale warmteweerstand R_g van een niet-geventileerde luchtspouw met een dikte van 20 mm wordt weergegeven in afbeelding 5, afhankelijk van de emissiviteit van één van de oppervlakken die de luchtspouw begrenzen. Het andere oppervlak heeft een emissiviteit van 0,9. De gemiddelde temperatuur van de spouw bedraagt 10 °C (283 K).

3.2 WARMTEOVERGANGSWEERSTAND AAN HET OPPERVLAK

Bijlage A van de norm EN ISO 6946 vermeldt de vergelijkingen waarmee men de warmteovergangswaerstand aan het binnenoppervlak R_i en aan het buitenoppervlak R_e kan bepalen (zie ook vergelijking (2-1), p. 7).

De warmteovergangswaerstand R_i tussen het binnenoppervlak van een wand en de binnenumgeving van een ruimte wordt uitgedrukt door de volgende vergelijking :

$$R_i = \frac{1}{h_{ri} + h_{ci}} \quad (\text{m}^2.\text{K}/\text{W}). \quad (3-6)$$

De uitwisseling door straling wordt op haar beurt gegeven door de volgende relatie :

$$h_{ri} = 4 \cdot s \cdot \epsilon \cdot T_m^3 \quad (\text{W}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-1}) \quad (3-7)$$

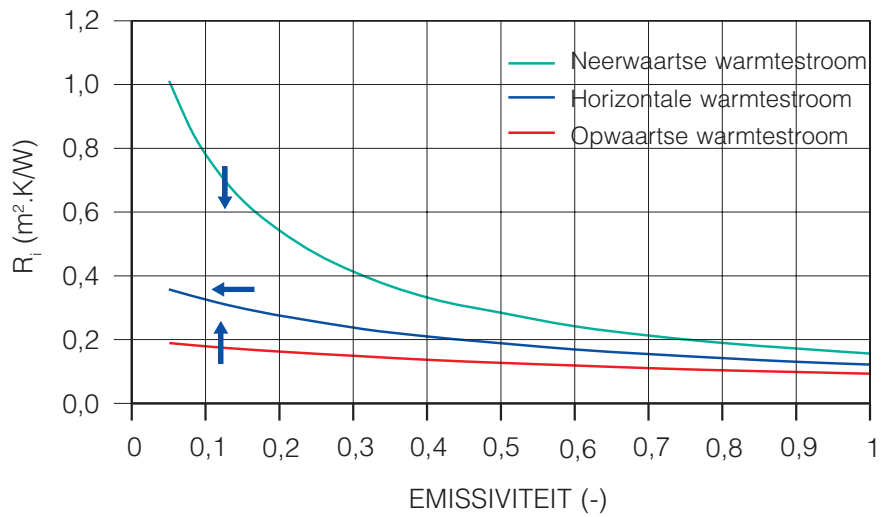
waarbij :

- ϵ = de emissiviteit van de binnenzijde van de wand
- σ = de constante van Stefan-Boltzmann
- T_m = de gemiddelde temperatuur tussen het binnenoppervlak en de aangrenzende oppervlakken van de ruimte.

De overgangscoefficiënt voor convectie binnen bedraagt :

- ◆ voor een horizontale warmtestroom : $h_{ci} = 2,5\text{ W}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
- ◆ voor een neerwaartse warmtestroom : $h_{ci} = 0,7\text{ W}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
- ◆ voor een opwaartse warmtestroom : $h_{ci} = 5,0\text{ W}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

Voor bouwdeelen waar het DRP rechtstreeks naar de binnenruimte kijkt (zie voorbeeld in afbeelding 2 – geval 2), zorgt de lage emissiviteit ϵ van het product voor een lagere overgangscoefficiënt h_{ri} voor straling, zoals berekend met de vergelijking (3-7). Hierdoor stijgt de warmteovergangswaerstand aan het binnenoppervlak R_i (zie afbeelding 6, p. 11).



Afb. 6 Warmteovergangsweerstand aan het binnenoppervlak R_p , afhankelijk van de emissiviteit van de binnenzijde van de wand (norm EN ISO 6946) ($T_m = 20 \text{ }^\circ\text{C}$).



4 MEETCAMPAGNE

4.1 BESCHRIJVING VAN DE BEPROEFDE PRODUCTEN

Iedere fabrikant werd gevraagd een enkel DRP naar keuze uit zijn productgamma te leveren. De beproefde producten worden aangeduid met de letters A, B en C. Ze zijn verschillend van aard en worden bondig beschreven in tabel 1.

Tabel 1
Beschrijving van de beproefde producten.

PRODUCT	DIKTE	BESCHRIJVING
A	± 7 mm	Polypropyleenschuim, aan iedere buitenzijde bekleed met een reflecterende folie
B	± 20 mm	Meerlaags product (watten en schuimstof), gescheiden door verschillende reflecterende tussenfolies, en eveneens aan iedere buitenzijde bekleed met een reflecterende folie
C	± 20 mm	Tweelaags product, gescheiden door luchtbellens die ingesloten zitten in een polyethyleenfolie, en eveneens aan iedere buitenzijde bekleed met een reflecterende folie

4.2 LABORATORIUMMETINGEN

Dankzij laboratoriummetingen kan men de thermische eigenschappen van de producten in een stationair regime bepalen. Er werden twee soorten metingen verricht :

- ◆ metingen op het product op zich : bepaling van de intrinsieke thermische karakteristieken van het product (zie § 4.2.1)
- ◆ metingen van de thermische prestaties van het product, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtpouwen (zie § 4.2.2).

4.2.1 INTRINSIEKE THERMISCHE PRODUCTKARAKTERISTIEKEN

De intrinsieke thermische eigenschappen van het product zijn de warmteweerstand van het product op zich en de emissiviteit van zijn buitenoppervlakken.

4.2.1.1 WARMTEWEERSTAND VAN HET PRODUCT OP ZICH

De warmteweerstand (van oppervlak tot oppervlak) van ieder product werd gemeten conform de norm EN 12667 volgens de methode met de afgeschermdde warme plaat en/of volgens de methode met warmtestroommeter [4]. Deze is de som van de warmteweerstanden van de verschillende samenstellende lagen van het product, waarbij het aandeel tengevolge van de lage emissiviteit van de eventuele reflecterende folies binnen inbegrepen is in de gemeten warmteweerstandswaarde. De proef bestaat erin het product tussen een warme plaat (die permanent op 15 °C wordt gehouden) en een koude plaat (die op 5 °C wordt gehouden) te plaatsen. Vermits de warmtestroom doorheen het product eveneens gemeten wordt, kan de bepaling van de warmteweerstand zeer eenvoudig gebeuren.

Tabel 2 geeft een overzicht van de warmteweerstandswaarden die voor de verschillende betrokken producten gemeten werden bij een gemiddelde producttemperatuur van 10 °C. De meetonzekerheid wordt opgegeven tussen haakjes. De vermelde dikte werd gemeten volgens de norm EN 823 [1] onder een belasting van 50 Pa.

PRODUCT	DIKTE (m)	R_{th} (bij 10 °C) (m ² .K/W)	λ_{eq} (bij 10 °C) (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
A	0,0075	0,205 (± 0,004)	0,0366
B	0,0188	0,602 (± 0,012)	0,0312
C	0,0192	0,469 (± 0,009)	0,0409

Tabel 2 Gemeten dikte en gemeten warmteweerstand van het product op zich.

Aangezien de beproefde DRP uit meerdere lagen bestaan, is enkel het begrip warmteweerstand erop van toepassing. Om de vergelijking van de thermische prestaties van deze producten ten opzichte van de prestaties van de klassieke isolatiematerialen te vergemakkelijken, vermeldt tabel 2 bij wijze van informatie eveneens een waarde voor de equivalente warmtegeleidingscoëfficiënt. Deze waarde stemt overeen met de warmtegeleidingscoëfficiënt van een fictief homogeen materiaal met dezelfde dikte en dezelfde warmteweerstand als het beproefde DRP.

4.2.1.2 EMISSIVITEIT

De meting van de emissiviteit van de productoppervlakken gebeurde in een extern laboratorium, met name in het Nederlandse TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek).

Het gebruikte toestel is een emissiemeter (model AE). Hiermee kan de hemisferische emissiviteit van een oppervlak bij een temperatuur van 23 °C worden bepaald.

De meetwaarden en de meetonzekerheid zijn opgenomen in tabel 3 (p. 14). De emissiviteit van de twee zijden van ieder product werd gemeten. De producten A en B vertonen een gelijkaardige emissiviteit aan weerszijden van het proefstuk. De tabel geeft voor ieder product de gemiddelde waarde op. De meetonzekerheid voor het product C is hoog, aangezien de gemeten emissiviteit erg schommelde in de verschillende zones van het geteste proefstuk (*).

4.2.2 THERMISCHE PRESTATIES VAN HET PRODUCT, GECOMBINEERD MET TWEE NIET-GEVENTILEERDE LUCHTSPOUWEN

De warmteweerstand van elk product, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtspouwen, werd gemeten met een toestel met de afgeschermdde warme plaat. Hoewel dit

(*) De fabrikant van het product C bezorgde het WTCB een proefrapport van TNO, daterend van januari 2002, waarin een emissiviteitswaarde van 0,05 – gemeten op een product dat volgens de fabrikant van hetzelfde type zou zijn als het product, beproefd in het kader van deze studie – vermeld wordt (de onderzochte proefstukken van het product verschilden echter van elkaar).

Tabel 3 Hemisferische emissiviteit.

PRODUCT	EMISSIVITEIT (-)
A	0,06 (± 0,01)
B	0,18 (± 0,02)
C voorzijde	0,19 (± 0,11)
C achterzijde	0,16 (± 0,13)

toestel in overeenstemming is met de huidige norm EN 1946 [2], valt de beproeving van een product, gecombineerd met twee luchtspouwen, buiten het toepassingsgebied ervan.

4.2.2.1 MEETOPSTELLING

De meetopstelling wordt voorgesteld in afbeelding 7 (horizontale snede). Aan weerszijden van het DRP werd een luchtspouw met een dikte van 20 mm voorzien. Deze dikte werd gekozen omdat ze volgens de norm EN ISO 6946 overeenstemt met de maximale warmteweerstand van een luchtspouw met een horizontale en opwaartse verticale warmtestroom (zie hoofdstuk 3). Rond de proefopstelling werd een dun houten kader geplaatst om deze dikte van 20 mm ook aan de randen in stand te houden.

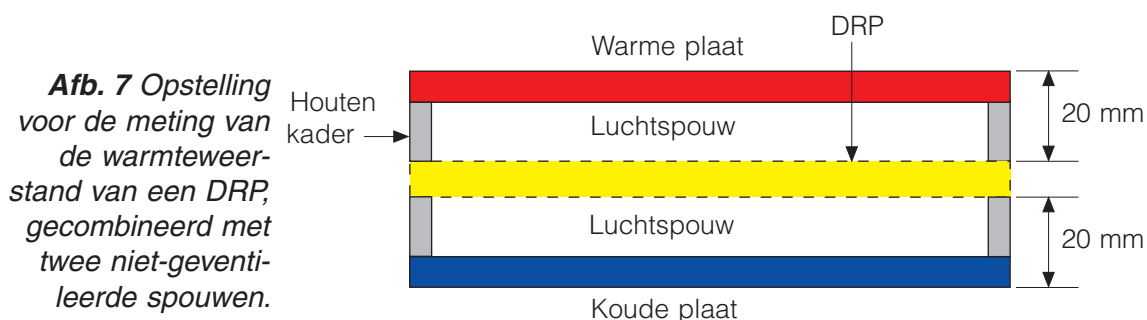
Rekening houdend met de soepelheid van bepaalde producten, werd de luchtspouw voorzien van enkele zeer dunne spieën in balsahout om een constante dikte van 20 mm te waarborgen over de volledige meetzone van het toestel.

De twee luchtspouwen zijn niet-geventileerd. De componenten werden geïnstalleerd met bijzondere zorg voor de luchtdichtheid (onder andere met kleefband).

Voor ieder product werd de totale warmteweerstand (som van de warmteweerstand van het DRP en van de twee niet-geventileerde luchtspouwen) gemeten voor een neerwaartse verticale warmtestroom (warme plaat bovenaan en koude plaat onderaan) en een opwaartse verticale warmtestroom (warme plaat onderaan en koude plaat bovenaan).

4.2.2.2 PROEFVOORWAARDEN

De temperatuur van de warme plaat werd constant op 15 °C gehouden, terwijl deze van de koude plaat op 5 °C werd gehouden. Het temperatuurverschil bedroeg dus 10 K. Het DRP heeft een gemiddelde temperatuur van 10 °C.



4.2.2.3 MEETRESULTATEN

Tabel 4 geeft de resultaten van de meting van de totale warmteweerstand van ieder product, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtsponen met een dikte van 20 mm, weer. Men kan twee gevallen onderscheiden : een opwaartse verticale warmtestroom en een neerwaartse verticale warmtestroom. De onzekerheid op het resultaat bedraagt zo'n 6 %.

PRODUCT	OPWAARTSE VERTICALE WARMTESTROOM	NEERWAARTSE VERTICALE WARMTESTROOM
A	1,05 (\pm 0,06)	1,53 (\pm 0,09)
B	1,55 (\pm 0,09)	1,61 (\pm 0,10)
C	1,26 (\pm 0,08)	1,63 (\pm 0,10)

Tabel 4 Gemeten warmteweerstand van het product, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtsponen (in $m^2.K/W$).

4.2.2.4 PROEF UITGEVOERD IN EEN EXTERN LABORATORIUM

Om het aantal resultaten te vergroten en aldus een grotere betrouwbaarheid te verkrijgen, kreeg een extern laboratorium de opdracht metingen uit te voeren van de warmteweerstand van een DRP, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtsponen onder identieke temperatuurvoorwaarden als deze, toegepast door het WTCB.

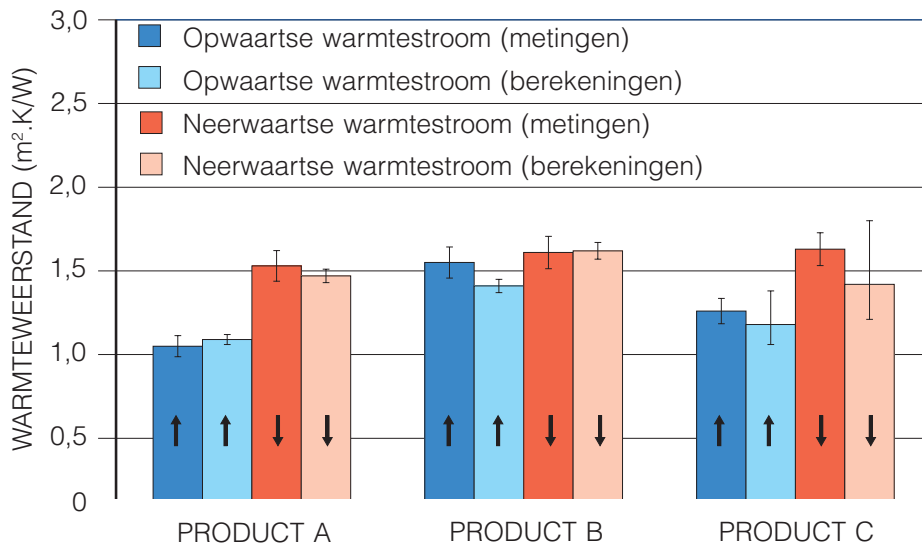
Zo werd het Britse *National Physical Laboratory* (NPL) belast met de bepaling van de warmteweerstand van het product A, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtsponen met een dikte van 20 mm, bij een neerwaartse verticale warmtestroom. In vergelijking tot de waarde van $1,53 m^2.K/W \pm 6 \%$, gemeten door het WTCB, bedroeg de door het NPL bepaalde totale warmteweerstandswaarde $1,60 m^2.K/W \pm 4 \%$.

Dit verschil van 4 % is van dezelfde grootteorde als de meetonzekerheid. Het proefrapport is opgenomen in bijlage 1 (p. 31).

4.2.2.5 VERGELIJKING TUSSEN DE METINGEN EN DE NORMATIEVE BEREKENINGEN

De meetwaarden van de warmteweerstand van de verschillende producten, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtsponen met een dikte van 20 mm (zie tabel 4) werden vergeleken met de berekende waarden. De berekeningen werden uitgevoerd volgens de norm EN ISO 6946 bij dezelfde temperatuurvoorwaarden, met de emissiviteitswaarden, gemeten door het TNO (zie tabel 3, p. 14) en met de intrinsieke warmteweerstandswaarden van de producten, gemeten door het WTCB (zie tabel 2, p. 13).

Afbeelding 8 (p. 16) geeft een schematische voorstelling van deze vergelijking voor de producten A, B en C. Voor de producten A en B bedraagt het gemiddelde verschil tussen de gemeten warmteweerstandswaarden en de waarden, berekend volgens de norm, zo'n 4 %. De betrouwbaarheidsintervallen overlappen elkaar. In het geval van product C is de onzekerheid op de rekenwaarde groter omwille van het feit dat de emissiviteit van de oppervlakken van dit product niet nauwkeurig kon worden bepaald.



Afb. 8 Vergelijking van de (in het laboratorium) gemeten waarden en de berekende waarden van de warmteweerstand ($m^2.K/W$) van het product, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtpouwen met een dikte van 20 mm.

4.3 METINGEN ONDER REËLE BUITENOMSTANDIGHEDEN

4.3.1 PASLINK-BUITENTESTCEL

Met behulp van een PASLINK-cel (zie afbeelding 9) is het mogelijk de thermische en zonneprestaties van de gevelcomponenten van gebouwen te bepalen onder reële buitenomstandigheden. Dankzij een gegevensverzamelstelsel worden de externe weersomstandigheden (luchttemperatuur, relatieve vochtigheid, invallende zonnestraling, infraroodstraling, ...) en de omgevingsvoorwaarden binnenin de cel continu geregistreerd.

Een PASLINK-testcel bestaat uit twee kamers en is omhuld door een zeer goed geïsoleerde structuur. De grootste kamer, de zogenaamde 'proefkamer', is voorzien van een naar het zuiden gerichte opening waarin de te beproeven component wordt geplaatst. De afmetingen van de beproefde component kunnen oplopen tot 2,5 m op 2,5 m.

Deze proef heeft tot doel de U.A-waarde (thermische karakteristiek, in W/K) en de g.A-waarde (zonnekarakteristiek) van de component te bepalen onder quasi reële omstandigheden. De U-waarde vertegenwoordigt de warmtedoorgangscoefficiënt ($W.m^{-2}.K^{-1}$), het symbool g staat voor de zonnetoetredingsfactor (-), terwijl A (m^2) de oppervlakte van de component voorstelt. Deze gegevens worden bepaald aan de hand van de thermische balans op het niveau van de proefkamer.

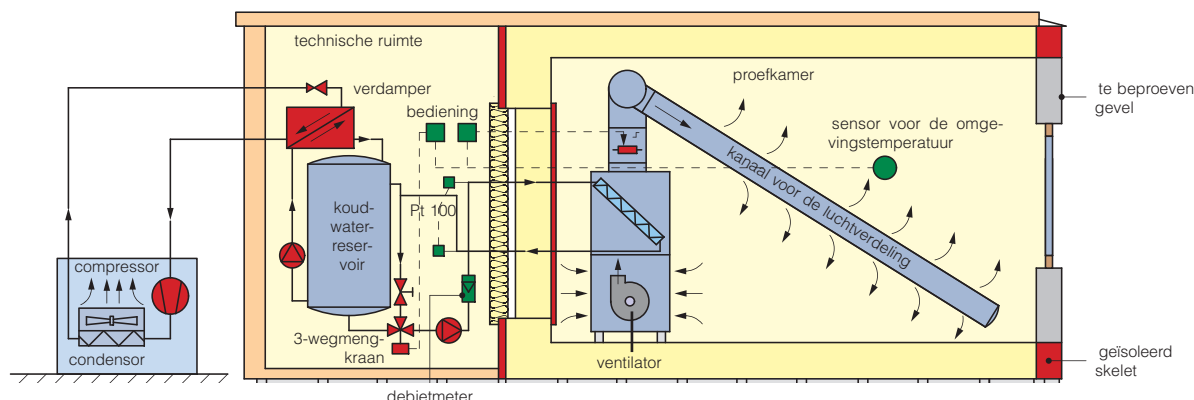
Afb. 9 PASLINK-buitentestcel (proef op een doorschijnende component).



De werking van de cel is vergelijkbaar met deze van een calorimeter, met de bijkomende mogelijkheid nauwkeurige metingen te verrichten van de warmteuitwisselingen (winst en verlies) doorheen de beproefde component.

De proefkamer is uitgerust met een verwarmings- en koelsysteem (zie afbeelding 10), waarmee de luchttemperatuur in de cel op het gewenste peil kan gehouden worden.

Afb. 10 Schema van de twee kamers van de PASLINK-testcel en van het verwarmings- en koelsysteem.



Bij proeven op een homogene ondoorschijnende component is het eveneens mogelijk de thermische balans op het niveau van de component op te stellen, wanneer de debietmeters aan de binnenzijden van de component geplaatst zijn. De warmtedoorgangscoefficiënt (of de warmteweerstand) van de component wordt bepaald aan de hand van de gemeten warmtestroom en van het gemeten temperatuurverschil over de component.

In het kader van deze studie werden twee soorten proeven uitgevoerd in de PASLINK-cellen :

- ◆ meting van de thermische eigenschappen van 9 verschillende componenten : 7 componenten met DRP en 2 componenten met minerale wol; de thermische balans werd bepaald op het niveau van elke component (zie § 4.3.2)
- ◆ meting van de thermische eigenschappen van een enkele component, voorzien van een DRP; de thermische balans werd bepaald op het niveau van de proefkamer (zie § 4.3.3).

4.3.2 THERMISCHE PRESTATIES EN THERMISCHE BALANS OP HET NIVEAU VAN ELKE COMPONENT

Tijdens deze proef werden de thermische isolatieprestaties van de verschillende componenten met DRP, die in deze studie werden beschouwd, gelijktijdig bepaald. De prestaties van twee opstellingen met een klassiek isolatiemateriaal (minerale wol) werden eveneens gemeten.

Aangezien alle beproefde componenten aan dezelfde buitenvoorwaarden (temperatuur, bezonning, ...) en dezelfde binnenvoorwaarden (temperatuur van de testcel) onderworpen werden, konden hun thermische prestaties rechtstreeks vergeleken worden.

4.3.2.1 BEPROEFDE COMPONENTEN

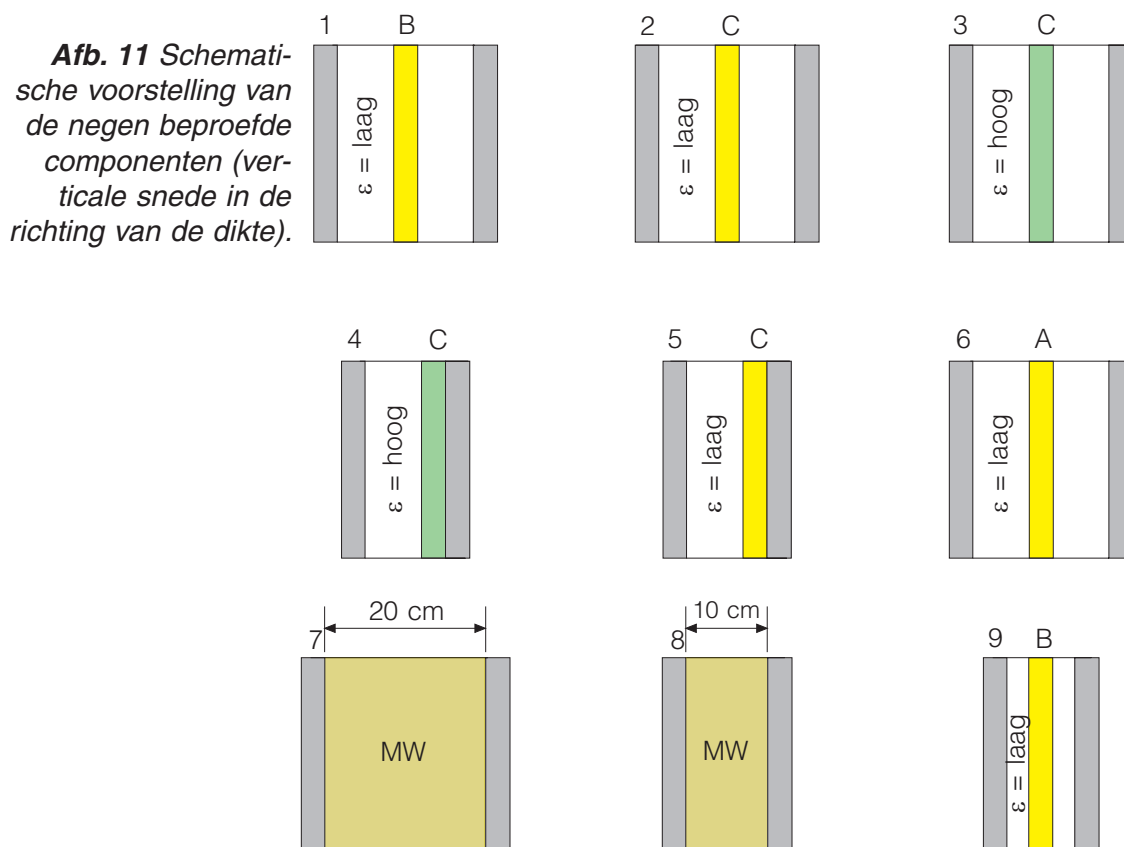
De negen componenten werden in verticale positie in de naar het zuiden gerichte opening van 2,5 m op 2,5 m van de PASLINK-cel geplaatst. De afmetingen van iedere component bedroegen 70 cm op 70 cm. Tussen de componenten werd een thermische isolatie van geëxpandeerd polystyreen met een breedte van 8 cm geplaatst.

De precieze inplanting en samenstelling van de negen componenten wordt schematisch voorgesteld in afbeelding 11 (tekening niet op schaal). De volledige beschrijving ervan is opgenomen in tabel 5 (p. 19). Een foto van de verschillende componenten, genomen in de testcel, wordt getoond in afbeelding 12 (p. 19).

De binnen- en buitenzijde van elke component bestaat uit een 18 mm dikke houten plaat. Zo is component nr. 2 bijvoorbeeld opgebouwd uit de volgende lagen (van binnen naar buiten) :

- ◆ een 18 mm dikke houten plaat
- ◆ een niet-geventileerde luchtspouw met een dikte van 20 mm
- ◆ DRP C met een dikte van 19 mm
- ◆ een niet-geventileerde luchtspouw met een dikte van 20 mm
- ◆ een 18 mm dikke houten plaat.

Voor de componenten nr. 3 en 4 werden de zijden van het DRP zwart geschilderd om hun emissiviteit te verhogen (grootteorde 0,9). Op deze wijze kan de specifieke invloed van de aluminiumfolie op de thermische prestaties van het DRP door vergelijking aan het licht worden gebracht.



4.3.2.2 MEETOPSTELLING

Elke component werd van de volgende sensoren voorzien :

- ◆ een debietmeter op de binnenzijde van de houten plaat binnen : deze sensor meet de warmtestroom doorheen de component
- ◆ thermokoppels op de buitenzijde van de houten plaat binnen en op de binnenzijde van de houten plaat buiten : deze sensoren meten de absolute temperatuur in deze twee punten en het temperatuurverschil over de component.



Afb. 12
Foto van de negen componenten, genomen in de PASLINK-cel.

Aan de hand van deze meting van de warmtestroom en van het temperatuurverschil kan de warmteweerstand van de component worden bepaald (met uitzondering van de warmteweerstand van de houten platen binnen en buiten).

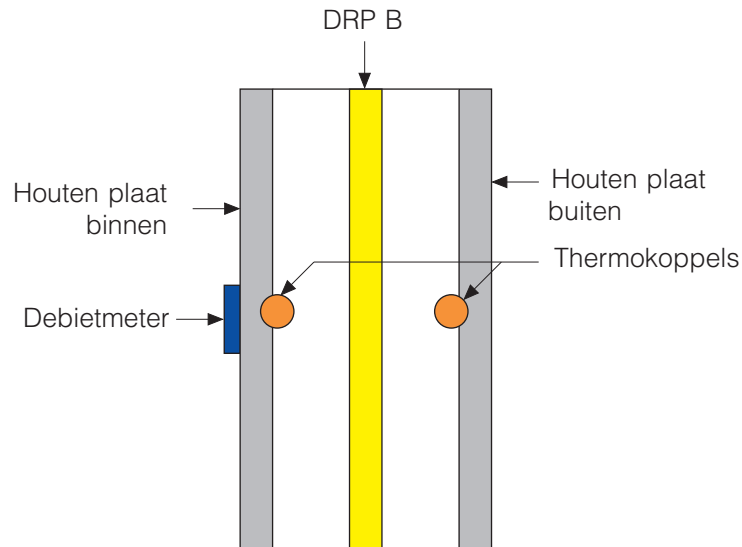
Afbeelding 13 (p. 20) illustreert de plaatsing van de sensoren voor component nr. 1. In dit geval is de gemeten warmteweerstand de som van de warmteweerstanden van de eerste niet-geventileerde luchtspouw van 20 mm, van het DRP B en van de tweede niet-geventileerde luchtspouw van 20 mm.

Bepaalde componenten werden eveneens voorzien van een thermokoppel op de binnenzijde van de houten plaat binnen (ter hoogte van de debietmeter).

NR.	PRODUCT	LUCHTSPOUW(EN)	EMISSIVITEIT VAN DE ZIJDEN VAN HET DRP	OPMERKINGEN
1	DRP B	2 luchtspouwen van elk 20 mm	zoals gemeten in § 4.2.1	–
2	DRP C	2 luchtspouwen van elk 20 mm	zoals gemeten in § 4.2.1	–
3	DRP C	2 luchtspouwen van elk 20 mm	$\varepsilon = \pm 0,9$	De zijden van het DRP zijn zwart geschilderd
4	DRP C	1 luchtspouw van 20 mm	$\varepsilon = \pm 0,9$	De zijden van het DRP zijn zwart geschilderd
5	DRP C	1 luchtspouw van 20 mm	zoals gemeten in § 4.2.1	–
6	DRP A	2 luchtspouwen van elk 20 mm	zoals gemeten in § 4.2.1	–
7	Minerale wol (MW)	–	–	$\rho = 25 \text{ kg/m}^3$ (dichtheid) $\lambda = 0,0322 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
8	Minerale wol (MW)	–	–	$\rho = 25 \text{ kg/m}^3$ (dichtheid) $\lambda = 0,0322 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
9	DRP B	2 luchtspouwen van elk 10 mm	zoals gemeten in § 4.2.1	–

Tabel 5
Beschrijving van de in de PASLINK-cel geplaatste componenten.

Afb. 13 Plaatsing van de sensoren op component nr. 1.



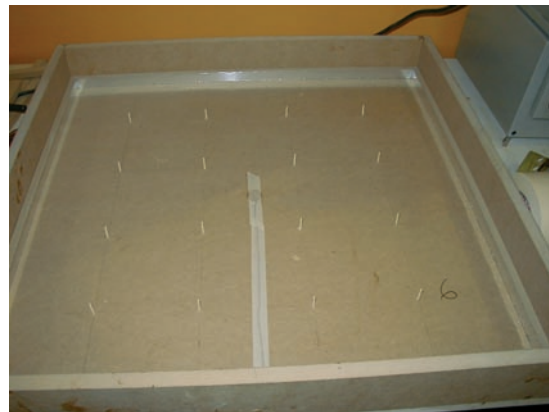
4.3.2.3 MONTAGE VAN DE COMPONENTEN

Rondom de component werd een dun houten kader geplaatst om de gewenste dikte van de luchtspouw (20 mm of 10 mm, naargelang van het geval) aan de randen in stand te houden.

Om de constante dikte van de spouw over het volledige oppervlak van de component te waarborgen, werden bovendien zeer dunne ($\pm 1 \text{ mm}^2$) spietjes regelmatig over de oppervlakte verdeeld (zie rechterfoto van afbeelding 14).

Er werd veel zorg besteed aan de luchtdichte installatie van de lagen.

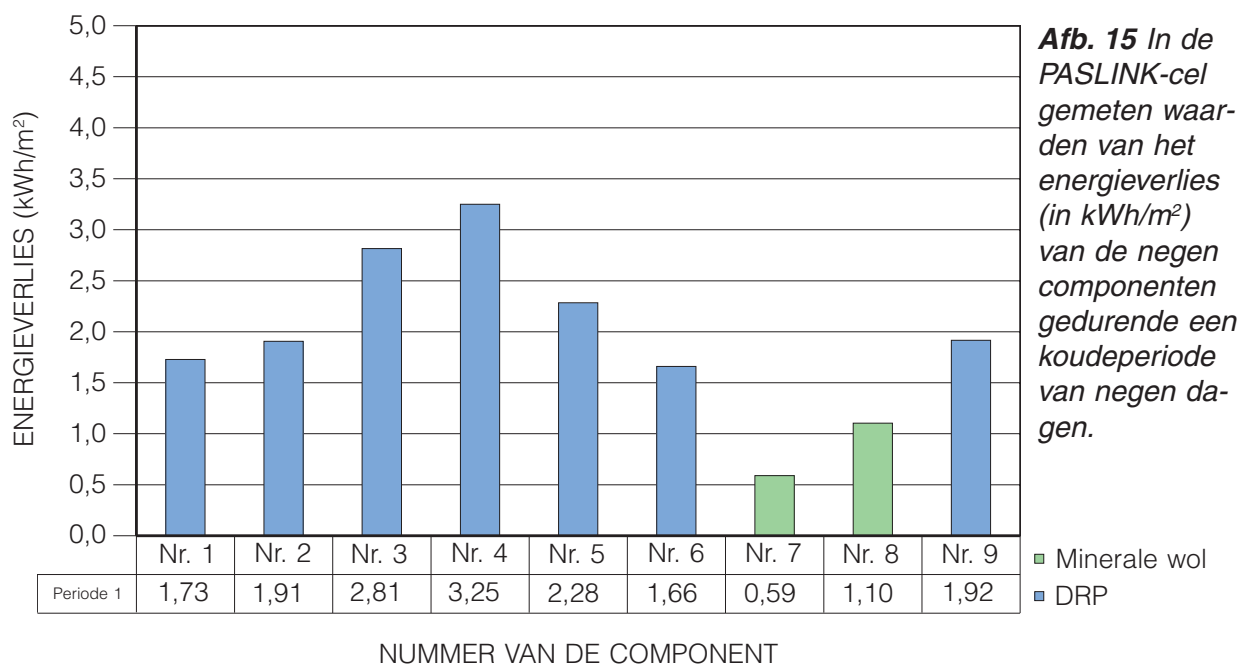
Afb. 14
Montage van een van de componenten.



4.3.2.4 PROEFVOORWAARDEN

De monitoring werd continu uitgevoerd gedurende drie maanden, tussen januari en maart 2004 inbegrepen. De diverse componenten werden aan de volgende proefvoorwaarden onderworpen :

- ◆ de temperatuur binnenin de cel werd constant tussen 20 en 23 °C gehouden
- ◆ reële buitenomstandigheden (temperatuur, bezonning, ...).



4.3.2.5 MEETRESULTATEN

Afbeelding 15 toont het energieverlies (bekomen door de integratie van de warmtestroom in de tijd) gemeten per m² component (in kWh/m²) voor een koudeperiode van 9 dagen (van 22 tot 30 januari 2004), waarbij de gemiddelde buitentemperatuur over de periode 1 °C bedroeg bij een gemiddelde binnentemperatuur in de cel van 21 °C.

De in afbeelding 15 opgenomen meetwaarden vertegenwoordigen dus de hoeveelheid energie per m² die door iedere volledige component stroomt (met inbegrip van de houten platen binnen en buiten).

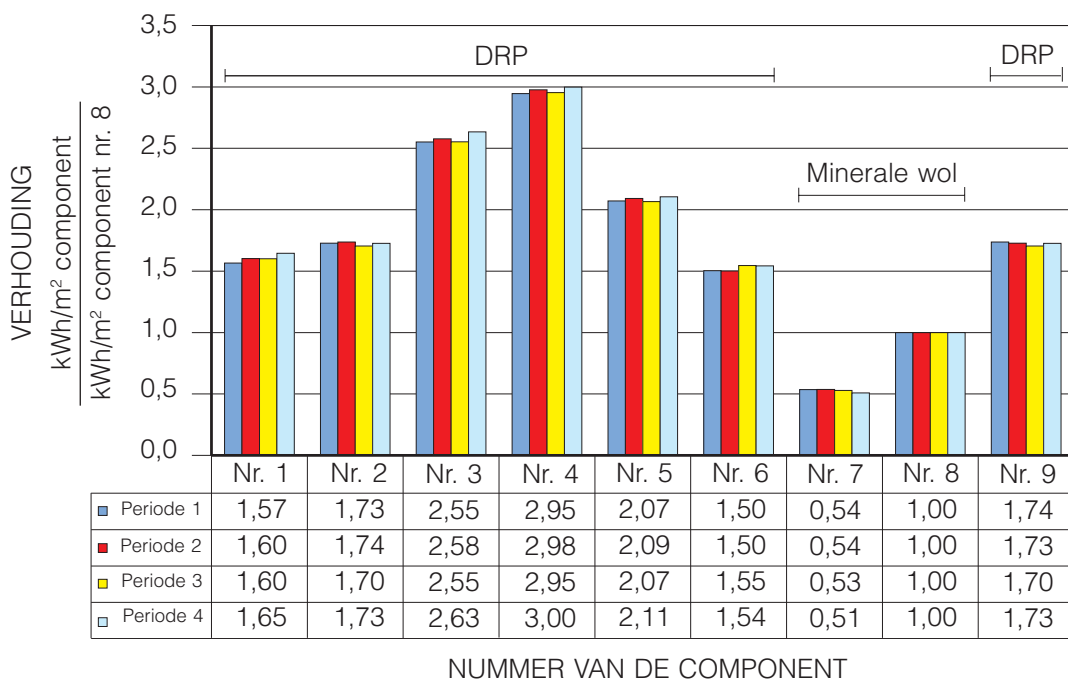
De energieverliezen van de diverse componenten werden eveneens berekend voor andere perioden, gekenmerkt door verschillende gemiddelde buitentemperaturen (zie tabel 6).

Afbeelding 16 (p. 22) geeft, voor deze vier meetperioden, de verhouding tussen het energieverlies over de periode van iedere component (in kWh/m²) en het energieverlies van component nr. 8 (in kWh/m²) over dezelfde periode.

Op deze wijze kunnen de bekomen verhoudingen worden vergeleken voor verschillende perioden. De grafiek toont aan dat de maximumvariatie van de verhouding tussen de verschillende perioden 5 % bedraagt, ongeacht de component.

PERIODE (AANTAL DAGEN)	BINNENTEMPERATUUR (°C)	BUITENTEMPERATUUR (°C)
1 (9 dagen)	20,9	1,2
2 (14 dagen)	20,5	2,1
3 (10 dagen)	21,1	6,0
4 (5 dagen)	22,6	12,5

Tabel 6
Meetperi-
oden.



Afb. 16
Verhouding tussen het energieverlies van elke component en het energieverlies van component nr. 8 (kWh/m^2).

Hierboven werd reeds vermeld dat de resultaten, opgenomen in de afbeeldingen 15 en 16, een maat zijn voor de thermische prestatie van de volledige component, met inbegrip van de houten platen binnen en buiten. Het is echter nog interessanter over te gaan tot de bepaling van de thermische prestatie van het deel van de component dat zich tussen de houten platen binnen en buiten bevindt. Voor component nr. 1 bestaat het doel er bijvoorbeeld in de thermische prestatie van het DRP B, gecombineerd met de twee niet-geventileerde luchtsponwen van elk 20 mm dik (zonder de warmteweerstand van de houten platen) te bepalen.

Bij de beoordeling van de resultaten van afbeelding 15 moet worden opgemerkt dat :

- ◆ de aanwezigheid van de houten platen rondom elke component leidt tot een beperking van de verschillen tussen de thermische prestaties van het deel van de component dat zich tussen de houten platen binnen en buiten bevindt
- ◆ de testcel een lichte temperatuurstratificatie vertoont (kleiner dan $0,5\text{ }^\circ\text{C}$), wat echter tot gevolg heeft dat de waarden van de energieverliezen niet op een perfect identieke basis worden vergeleken.

Om deze twee problemen op te lossen, werd de warmteweerstand van iedere component (met uitzondering van de warmteweerstand van de houten platen binnen en buiten) bepaald aan de hand van de meting van de warmtestroom doorheen de component en het temperatuurverschil tussen de buitenzijde van de houten plaat binnen en de binnenzijde van de houten plaat buiten (zie afbeelding 13).

Naargelang van de componenten, stemt de gemeten warmteweerstand overeen met :

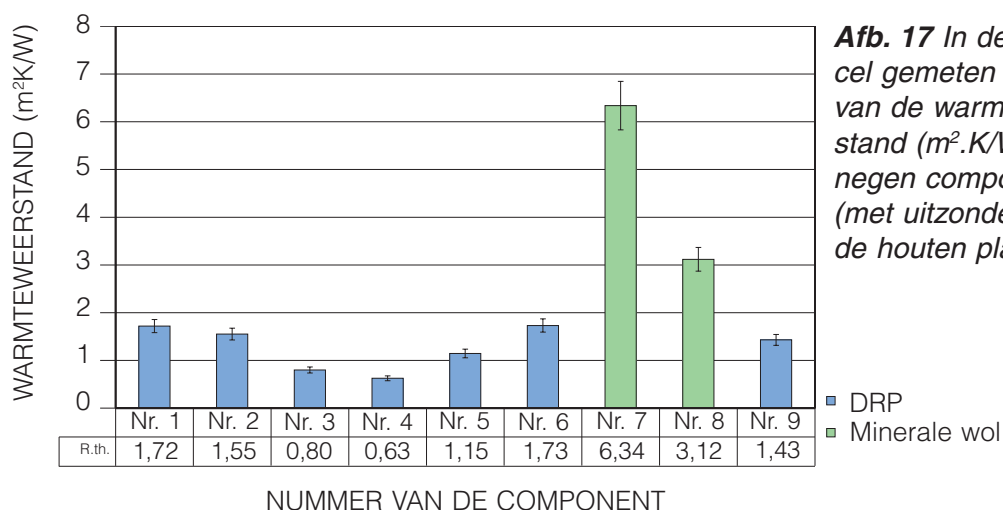
- ◆ de totale warmteweerstand van het DRP, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtsponwen voor de componenten 1, 2, 3, 6 en 9
- ◆ de totale warmteweerstand van het DRP, gecombineerd met een enkele niet-geventileerde luchtsponw voor de componenten 4 en 5
- ◆ de warmteweerstand van de minerale wol voor de componenten 7 en 8.

De warmteweerstand wordt bepaald met behulp van twee analysemethoden :

- ◆ analyse door berekening van de gemiddelden : men maakt het gemiddelde van de warmtestroom doorheen de component en het temperatuurverschil aan weerszijden van de component over een lange periode (meerdere dagen), om aldus de warmteweerstand te bepalen, in weerwil van de niet-stationaire voorwaarden die inherent zijn aan de proefvoorwaarden
- ◆ dynamische analyse door middel van identificatietechnieken : met deze methode kan men de thermische karakteristieken (met inbegrip van de dynamische karakteristieken) van systemen bepalen aan de hand van de meetwaarden (zie § 4.3.3 voor meer informatie).

Voor de proef die werd uitgevoerd op de negen componenten in de PASLINK-cel, leverden de twee methoden nagenoeg identieke resultaten op (verschil kleiner dan 1 %), voor zover de proefduur voldoende lang was.

Afbeelding 17 stelt de warmteweerstand voor die bekomen werd aan de hand van de metingen tijdens de hierboven beschouwde koudeperiode van negen dagen (van 22 tot 30 januari 2004).



Afb. 17 In de PASLINK-cel gemeten waarden van de warmteweerstand ($m^2.K/W$) van de negen componenten (met uitzondering van de houten platen).

De waarden van de warmteweerstand werden eveneens bepaald voor andere perioden, met verschillende gemiddelde buitentemperaturen. Uit de analyse van deze resultaten blijkt dat de waarden weinig variëren tijdens het stookseizoen, ongeacht de component. Bij wijze van voorbeeld geeft tabel 7 de warmteweerstand van component nr. 1, gemeten voor 4 verschillende perioden.

PERIODE (AANTAL DAGEN)	BINNEN-TEMPERATUUR (°C)	BUITEN-TEMPERATUUR (°C)	WARMTEWEERSTAND ($m^2.K/W$)
1 (9 dagen)	20,9	1,2	1,72
2 (14 dagen)	20,5	2,1	1,70
3 (10 dagen)	21,1	6,0	1,70
4 (5 dagen)	22,6	12,5	1,66

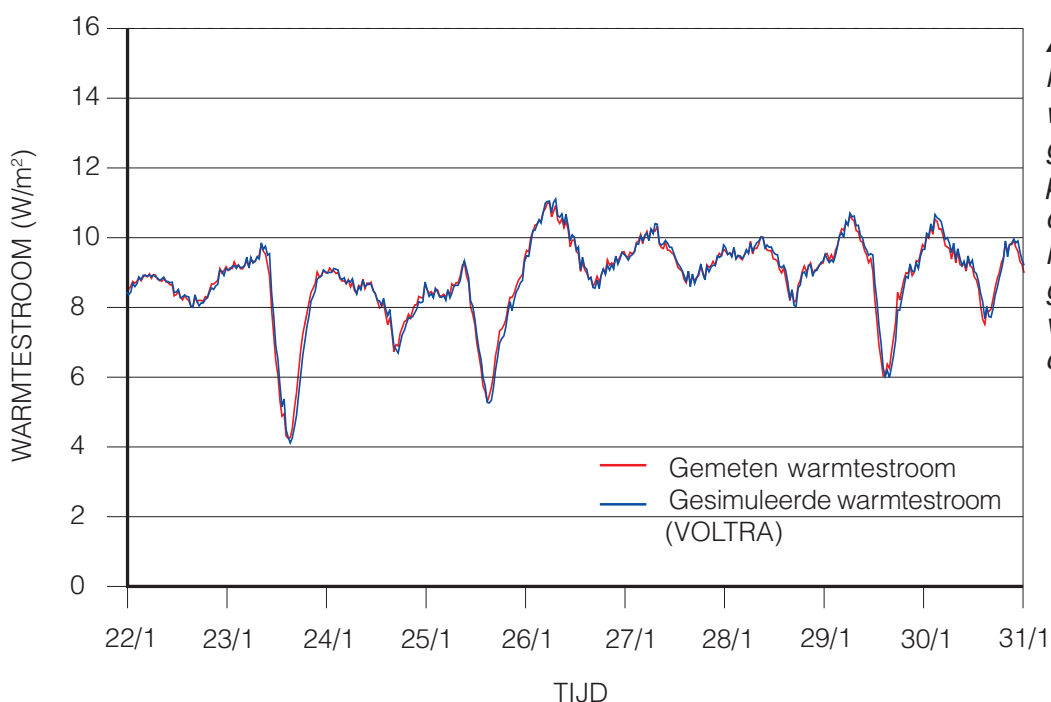
Tabel 7 Warmteweerstand ($m^2.K/W$) gemeten op component nr. 1 (met uitzondering van de houten platen) voor de vier meetperioden.

Uitgaande van de in afbeelding 17 vermelde waarden van de warmteweerstand, van de warmteweerstand van de houten plaat, van zijn soortelijke warmte en zijn volumieke massa, kan men (door simulatie) de ogenblikkelijke warmtestroom (gedurende de periode) doorheen iedere beproefde component bepalen, rekening houdend met het dynamische gedrag van de component. Hiertoe werd het programma VOLTRA [6] gebruikt. VOLTRA is een programma voor de berekening van driedimensionaal niet-stationair warmtetransport (dynamische simulatie).

In afbeelding 18 ziet men voor component nr. 2 de volgende twee warmtestromen die betrekking hebben op de reeds vermelde koudeperiode van negen dagen (van 22 tot 30 januari 2004) :

- ◆ de gemeten warmtestroom : het gaat om de waarde die werd gemeten door de debietmeter, geplaatst op de binnenzijde van de houten plaat binnen
- ◆ de gesimuleerde warmtestroom : het gaat om de warmtestroom doorheen de binnenzijde van de houten plaat binnen, bekomen door simulatie met het programma VOLTRA. De inputgegevens van de simulatie zijn enerzijds de gemeten temperaturen bij component nr. 2 en anderzijds de soortelijke warmte en volumieke massa van de houten plaat (om rekening te houden met het dynamische gedrag van het systeem), de warmteweerstand van de houten plaat evenals de warmteweerstand van de combinatie 'DRP C + 2 niet-geventileerde luchtpouwen' ($R = 1,55 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ – zie afbeelding 17).

Het gemiddelde verschil tussen beide curven met de gemeten en gesimuleerde waarden bedraagt $0,1 \text{ W}/\text{m}^2$ voor de hierboven vermelde periode. De kennis van de warmteweerstand van de combinatie 'DRP C + 2 niet-geventileerde luchtpouwen' ($R = 1,55 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) evenals van de thermische eigenschappen van de houten plaat, was voldoende voor de berekening (tot op 2 % nauwkeurig) van de ogenblikkelijke warmtestroom doorheen de component nr. 2. Het totale energieverlies, bekomen door simulatie over de beschouwde periode, is gelijk aan $1,91 \text{ kWh}/\text{m}^2$, wat gelijk is aan de gemeten waarde.



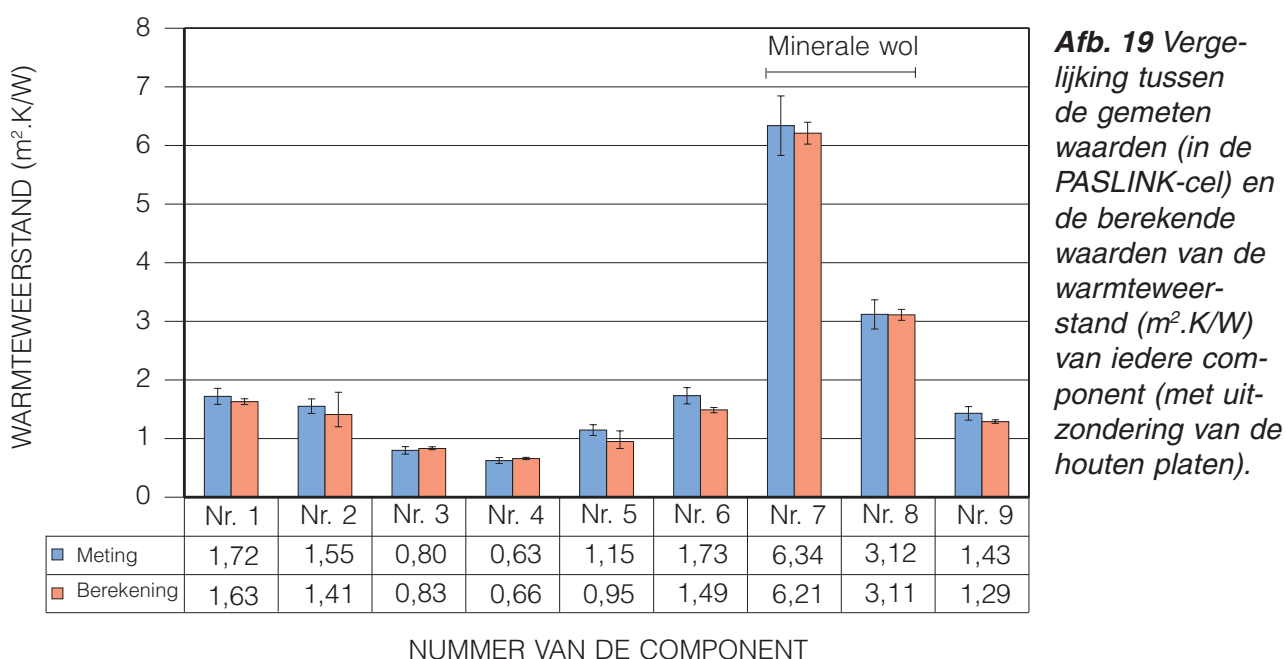
Afb. 18 Vergelijking tussen de warmtestroom, gemeten op component nr. 2, en de stroom gesimuleerd met het programma VOLTRA voor diezelfde component.

4.3.2.6 VERGELIJKING TUSSEN DE METINGEN EN DE NORMATIEVE BEREKENINGEN

De metingen van de warmteweerstand van de verschillende componenten (met uitzondering van de houten platen) werden vergeleken met de waarden berekend volgens de norm EN ISO 6946 bij dezelfde temperatuurvoorwaarden.

Deze berekeningen werden uitgevoerd met de emissiviteitswaarden (gemeten in het TNO – zie tabel 3) en met de waarden van de intrinsieke warmteweerstand van de producten, zoals bepaald door het WTCB (zie tabel 2).

Afbeelding 19 toont deze vergelijking voor elke component. Bij de componenten nr. 2 en nr. 5 is de onzekerheid omtrent de rekenwaarde groot, omwille van het feit dat de emissiviteit van de oppervlakken van het product C niet nauwkeurig kon worden vastgesteld.



Afb. 19 Vergelijking tussen de gemeten waarden (in de PASLINK-cel) en de berekende waarden van de warmteweerstand ($m^2.K/W$) van iedere component (met uitzondering van de houten platen).

Voor de andere componenten is het verschil tussen de waarden van de volgens de norm berekende warmteweerstand en de meetwaarden gemiddeld gelijk aan $0,1 m^2.K/W$, waarbij de betrouwbaarheidsintervallen van de meting en de berekening elkaar overlappen.

4.3.3 THERMISCHE PRESTATIES VAN EEN ENKELE COMPONENT EN THERMISCHE BALANS OP HET NIVEAU VAN DE PASLINK-TESTCEL

Het doel van deze tweede proefcampagne is de bepaling van de thermische prestaties van een enkele component die één van de DRP bevat die in deze studie worden beschouwd, door de thermische balans op te stellen op het niveau van de PASLINK-cel.

Deze wordt in dit geval als calorimeter gebruikt (zie § 4.3.1).

4.3.3.1 BEPROEFDE COMPONENT

Een component met afmetingen van 2,5 m bij 2,5 m werd in verticale positie in de naar het zuiden georiënteerde opening van de PASLINK-cel geplaatst. De samenstelling ervan is identiek aan deze van component nr. 2 uit de PASLINK-proef die op de negen componenten werd uitgevoerd (zie tabel 5), hetzij :

- ◆ een houten plaat van 18 mm dik
- ◆ een niet-geventileerde luchtspouw van 20 mm dik
- ◆ het DRP C
- ◆ een niet-geventileerde luchtspouw van 20 mm dik
- ◆ een houten plaat van 18 mm dik.

Het enige verschil met component nr. 2 van de vorige proef ligt in de afmetingen van de component. In deze proef bedragen ze immers 2,5 m x 2,5 m. Afbeelding 20 stelt een foto van de beproefde component voor, genomen in de testcel.

4.3.3.2 MEETOPSTELLING

De verschillende gemeten grootheden zijn :

- ◆ de weersomstandigheden buiten : luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, invallende zonnestraling op een verticaal oppervlak, ...
- ◆ de omgevingsvoorwaarden binnen : de luchttemperatuur wordt op meerdere plaatsen in de cel gemeten. De temperatuur van de celwanden wordt eveneens bepaald
- ◆ het verwarmingsvermogen : de cel is voorzien van een verwarmingssysteem waarmee de gewenste richttemperatuur in stand gehouden wordt. Het door het verwarmingssysteem afgeleverde vermogen werd continu gemeten.



Afb. 20
Foto van de beproefde component, genomen in de PASLINK-cel.

Om te kunnen beschikken over zoveel mogelijk informatie omtrent het thermische gedrag van de component, werden meerdere thermokoppels aangebracht op de component zelf, op de binnenzijde, op de buitenzijde evenals tussen de verschillende lagen ervan. Daarnaast werden ook debietmeters op de binnenzijde van de component geplaatst.

4.3.3.3 MONTAGE VAN DE COMPONENT

Net zoals bij de vorige proef werden dunne spietjes ($\pm 1 \text{ mm}^2$) regelmatig over het oppervlak verdeeld, om de constante dikte van de luchtspouw over de volledige oppervlakte van de component te waarborgen. Er werd veel zorg besteed aan de luchtdichte installatie van de lagen. Overeenkomstig de aanbevelingen van de fabrikant werd een gealumineerde kleefband gebruikt ter verbinding van de twee stukken van het DRP, nodig om een oppervlakte van 2,5 m bij 2,5 m te bedekken.

4.3.3.4 PROEFVOORWAARDEN

De metingen werden uitgevoerd over drie meetperioden, gekenmerkt door verschillende temperatuurregimes in de testcel (zie tabel 8).

PERIODE	BINNEN-TEMPERATUUR	BUITEN-TEMPERATUUR	ZONNESCHERM
Periode 1 (15 dagen)	Constante temperatuur = 22 °C	Gemiddelde temperatuur = 8 °C	Ja
Periode 2 (12 dagen)	Constante temperatuur = 29 °C	Gemiddelde temperatuur = 12 °C	Ja
Periode 3 (13 dagen)	Niet-constante temperatuur	Gemiddelde temperatuur = 12 °C	Neen

Tabel 8
Proefvoorwaarden.

Gedurende de meetperioden 1 en 2 zorgt het geïnstalleerde verwarmingssysteem ervoor dat de luchttemperatuur in de cel constant wordt gehouden (respectievelijk op 22 °C en 29 °C). De component wordt tegen de invallende zonnestraling beschermd door een ondoorschijnend scherm dat met buitenlucht wordt geventileerd (ook ‘geventileerde koude doos’ genoemd).

Tijdens periode 3 werd een andere strategie gevolgd : er werden verschillende vermogens in de cel geïnjecteerd, zodat de luchttemperatuur van de cel tijdens de periode schommelde tussen 20 en 35 °C. Het zonnescherm werd verwijderd.

4.3.3.5 MEETRESULTATEN

Er werd een thermische balans opgemaakt op het niveau van de testcel voor de drie beschouwde meetperioden.

De totale warmteweerstand van de beproefde component werd aldus bepaald uitgaande van de meting van de binnentemperatuur in de cel, de buitentemperatuur (en de bezonning in het geval van periode 3) en het door het verwarmingssysteem geleverde vermogen.

Voor deze proef stemt de gemeten warmteweerstand overeen met de totale warmteweerstand van de component (van de binnenomgeving tot de buitenomgeving), met inbegrip van de warmteweerstand van de houten platen binnen en buiten en van de warmteovergangsweerstanden aan het binnenoppervlak R_i en aan het buitenoppervlak R_e :

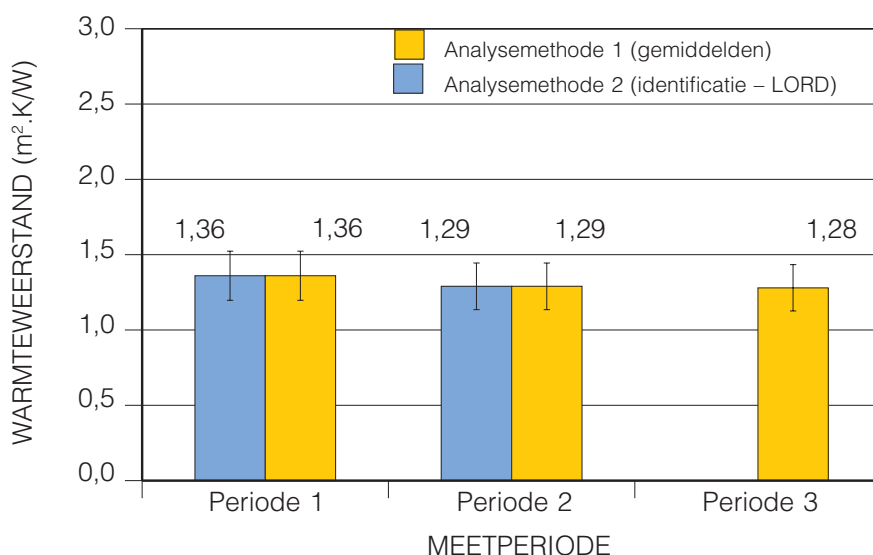
$$R_{\text{totaal}} = R_i + R_{\text{houten plaat}} + R_{\text{luchtspouw}} + R_{\text{DRP}} + R_{\text{luchtspouw}} + R_{\text{houten plaat}} + R_e. \quad (4-1)$$

Om de resultaten van deze proef te kunnen vergelijken met de eerder uitgevoerde metingen, wordt de warmteweerstand van de combinatie ‘DRP + twee niet-geventileerde luchtspouwen’ afgeleid uit de vergelijking (4-1), door de gekende warmteweerstanden van de houten platen (meetwaarden) en de genormaliseerde warmteovergangsweerstanden aan het oppervlak af te trekken van R_{totaal} .

De warmteweerstand van de component werd bepaald aan de hand van twee methoden :

- ◆ analyse door berekening van de gemiddelden : men maakt het gemiddelde van het in de cel geleverde verwarmingsvermogen en het temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenzijde van de cel over een lange periode (meerdere dagen), om aldus de gemiddelde warmteweerstand van de component over de betreffende periode te kunnen bepalen. Deze methode vereist dat de component niet wordt blootgesteld aan bezonning (om de thermische balans niet te vervalsen; het is immers de bedoeling de waarde van de warmteweerstand van de component te bepalen en niet zijn zonnetoetredingsfactor) en geldt bijgevolg enkel voor de meetperioden 1 en 2 waarbij een zonnescherm werd geplaatst
- ◆ dynamische analyse door middel van identificatietechnieken : dankzij deze methode kunnen de thermische karakteristieken (met inbegrip van de dynamische karakteristieken) van complexe systemen worden bepaald aan de hand van diverse gemeten grootheden. Met deze methode kunnen gelijktijdig de thermische karakteristieken (warmteweerstand en warmtecapaciteit) en de zonnekarakteristieken (zonnetoetredingsfactor) van de beproefde component worden geïdentificeerd. De methode kan worden toegepast op de drie beschouwde meetperioden. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van het programma LORD [5].

Afbeelding 21 geeft een overzicht van de in de PASLINK-cel (door de thermische balans op het niveau van de cel) gemeten warmteweerstandswaarden van het DRP C, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtpouwen met een dikte van 20 mm. De twee analysemethoden leveren nagenoeg identieke resultaten op (verschil kleiner dan 1 %). De waarden van de warmteweerstand, gemeten tijdens de drie beschouwde perioden, vertonen een verschil dat kleiner is dan 0,1 m².K/W (hetzij 6 %).



Afb. 21 In de PASLINK-cel gemeten waarden van de warmteweerstand (in m².K/W) van het product C, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtpouwen van 20 mm.

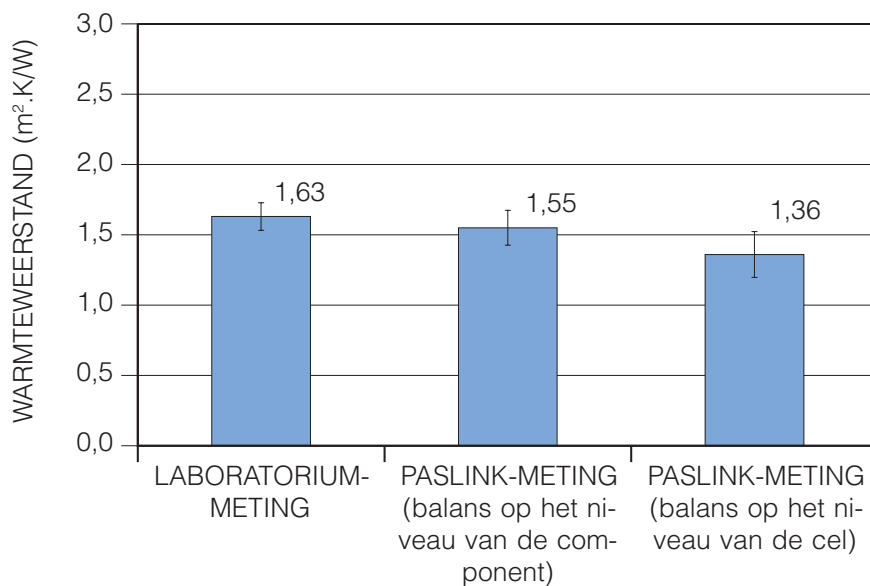
4.3.3.6 VERGELIJKING VAN DE METINGEN

Het is interessant de resultaten van de verschillende meetmethoden die toegepast werden op het product C te vergelijken : laboratoriummeting, meting in de PASLINK-cel met de negen componenten (balans op het niveau van de component) en meting in de PASLINK-cel met een enkele component (balans op het niveau van de cel).

Wij willen erop wijzen dat de proefvoorwaarden niet identiek waren voor de drie metingen :

- ◆ de PASLINK-metingen werden uitgevoerd op componenten, geplaatst in verticale positie, terwijl de laboratoriummetingen werden uitgevoerd op componenten in horizontale positie
- ◆ de temperatuurvoorwaarden wijken lichtjes van elkaar af
- ◆ de afmetingen van de component variëren naargelang van de proef.

Ondanks de afwijkende proefvoorwaarden zijn de verschillen op de gemeten waarde van de warmteweerstand kleiner dan $0,3 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.



Afb. 22 Gemeten waarden van de warmteweerstand (in $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) van het product C, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtsouwen van 20 mm volgens de gebruikte meetmethoden.



5 BESLUITEN

In de loop van deze studie werden de thermische prestaties van drie dunne reflecterende producten (DRP) en van een traditioneel isolatiemateriaal bepaald tijdens de winterperiode, voornamelijk aan de hand van een meetcampagne, uitgevoerd in het proefstation van het WTCB.

De thermische prestaties werden gemeten op verschillende producten in hun initiële toestand, met andere woorden zoals ze werden geleverd door de fabrikanten, en geplaatst onder ideale omstandigheden (niet-geventileerde luchtspouw met een constante dikte, ...).

Er werden twee soorten metingen verricht : laboratoriummetingen en metingen onder reële buitenomstandigheden.

Omwille van zijn geringe dikte heeft een DRP een lage intrinsieke warmteweerstand; de gemeten waarden variëren van 0,2 tot 0,6 m².K/W, naargelang van het product. Om te kunnen genieten van het reflecterende effect van de oppervlaktelagen, moet het product tegenover een of – beter nog – twee niet-geventileerde luchtspouwen geplaatst worden. Onder deze omstandigheden is de emissiviteit van de zijden van het product een belangrijke parameter, die bepalend is voor de vermindering van de warmteoverdracht door straling doorheen de luchtspouw. De gemeten emissiviteitswaarden variëren van 0,05 tot 0,20.

De totale gemeten warmteweerstand van ieder product, gecombineerd met twee niet-geventileerde luchtspouwen van 20 mm dik varieert van 1,0 tot 1,7 m².K/W naargelang van het product en de richting van de warmtestroom die er doorheen gaat.

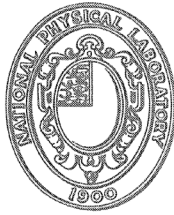
De gemeten waarden werden vergeleken met berekeningen uitgevoerd volgens de Europese norm EN ISO 6946. Deze norm geeft een methode voor de berekening van de warmteweerstand van gebouwcomponenten. Ook het geval van een luchtspouw, begrensd door een reflecterende oppervlakte (met lage emissiviteit) komt hierin aan bod. Het gemiddelde verschil tussen de waarden van de volgens de norm berekende warmteweerstand en de gemeten waarden is gelijk aan 0,1 m².K/W, waarbij de betrouwbaarheidsintervallen van de meting en de berekening elkaar overlappen.

METING VAN DE WARMTE- WEERSTAND VAN EEN DRP, GECOMBINEERD MET TWEE LUCHTSPOUWEN (NPL)

Deze bijlage (zie p. 32, 33 en 34) bevat een proefrapport van het NPL met betrekking tot de meting van de warmte weerstand van een DRP, gecombineerd met twee luchtsponwen.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY

Teddington Middlesex UK TW11 0LW Switchboard 020 8977 3222



Test Report

THERMAL RESISTANCE OF REFLECTIVE INSULATION BETWEEN AIR CAVITIES

FOR CSTC - WTCB - BBRI
Division of Building Physics & Indoor Climate
Av. P. Holoffe 21
1342 Limelette
Belgium

For the attention of Gilles Flamant.

IDENTIFICATION Authorised NPL quotation E04010511 signed and dated by
Luc Carton on 4th March 2004, and customer's purchase order
070689 dated 4th March 2004. NPL specimen number LA289
was assigned to the specimen.

BASIS OF TEST NPL thermal conductivity measurement procedure
QPDQM/B/421.

UNCERTAINTY The overall measurement uncertainty is estimated to be within
 $\pm 3.5\%$, based on a standard uncertainty multiplied by a
coverage factor $k=2$, providing a level of confidence of
approximately 95%.

Reference: PP21/E04010511

Page 1 of 3

Date of issue: 15 April 2004

Signed:

(Authorised Signatory)

Checked by:

Name:

John Redgrove

for the Managing Director

This test report may not be reproduced other than in full, unless permission for the publication of an approved extract has been obtained in writing from the Managing Director. It does not of itself impute to the subject of test any attributes beyond those shown by the data contained herein.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY

Continuation Sheet

OBJECTIVE

To measure the thermal resistance of a sample of thin reflective insulation between two air cavities, at a mean specimen temperature of 10 °C. The specimen to be prepared by NPL, from material supplied by the customer, to approximate lateral dimensions of 610 mm x 610 mm. The reflective insulation to have a nominal thickness of 7.49 mm and the air cavities to be 20 mm thick.

SPECIMEN PREPARATION

No conditioning was required prior to testing.

The reflective insulation was mounted between two balsa wood box frames to create 20 mm air cavities above and below. Balsa wood spacers were used between the frames to ensure the reflective insulation thickness of 7.49 mm was maintained during test.

MEASUREMENTS

The thermal resistance was measured using a precision single-sided 610 mm heat flow meter apparatus (NPL 610HFM – LaserComp FOX 600). In this apparatus the specimen is mounted horizontally with heat flow downwards, with lateral heat flow from the metering area minimised by additional edge guard heating. All the temperature, dimensional and heat flow measurements have traceability to national standards.

DATE OF LAST HEAT FLOW METER CALIBRATION CHECK

The heat flow meter calibration was checked on 9th March 2004 using glass fibre board (IRMM-440) reference material LA55 and LA56, and found to be within specification.

For measurements made with specimen thickness below 100 mm, a calibration is used that is based on NPL specimens LA55 and LA56, which are both 34.5 mm thick glass fibre board (IRMM-440 reference material) with thermal resistances at 20 °C of 0.912 m²·K/W and 0.914 m²·K/W respectively. LA55 and LA56 were calibrated in the NPL 610 mm guarded hot plate during May 1997 and are due to be recalibrated in May 2007. The calibration values are detailed in NPL Test Report QT03/01/96/016.

For measurements made with specimen thickness between 100 mm and 200 mm, a calibration is used that is based on NPL specimen LA3, which is 150 mm thick expanded polystyrene with thermal resistance at 20 °C of 3.92 m²·K/W. LA3 was last calibrated in the NPL 610 mm guarded hot plate during Oct 2001 and is due to be recalibrated in Oct 2011.

RESULTS

The results, including the specimen details, are shown on the following page.

Reference: PP21/E04010511

Page 2 of 3

Checked by: CS B.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY
Continuation Sheet

Sample description: Thin reflective insulation
 Sample name: Sample X
 Nominal thickness: 7.49 mm + two 20 mm air cavities

Information regarding the specimen and measurement is given below.



Specimen and Test Details	
NPL specimen number	LA289
Mean length x width /mm	612 x 613 *
Mean thickness during test /mm	47.47
Mass before test /kg	0.215 *
Mass after test /kg	0.215 *
Mean temperature difference /K	10.0
Mean density of heat flow rate /(W/m ²)	6.27
Laboratory temperature /°C	21
Laboratory relative humidity /%RH	36 to 38
Name of operator	A.J. Simpkin

* Refers to the reflective insulation only.

Thermal Resistance Result for LA289	
Date of measurement	29/03/04
Mean test temperature /°C	10.0
Thermal resistance /(m²·K/W)	1.60

Reference: PP21/E04010511

Page 3 of 3

Checked by:  

PLANNING VAN DE STUDIE

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de sleuteldata van deze studie en de ermee overeenstemmende evenementen.

DATUM	EVENEMENT
13 februari 2003	Eerste vergadering in aanwezigheid van alle partners, met inbegrip van de fabrikanten van de DRP. Bespreking van het technische programma van de studie met betrekking tot de bepaling van de thermische prestaties van de DRP
15 juli 2003	Ontvangst door het WTCB van de bestelbon van de laatste fabrikant
September tot december 2003	Proeven met de afgeschermdde warme plaat
Januari tot april 2004	Proef in de PASLINK-cel op de negen componenten Proef in de PASLINK-cel op de afzonderlijke component
17 juni 2004	Tweede vergadering in aanwezigheid van alle partners, met inbegrip van de fabrikanten van de DRP. Voorstelling van de resultaten van de studie (het voorbereidende rapport werd tijdens de vergadering uitgedeeld)
20 augustus 2004	Uiterste datum voor de reacties op het voorbereidende rapport
Oktober 2004	Behandeling door het WTCB (in samenwerking met de twee wetenschappelijke experts) van de opmerkingen die door de fabrikanten op het voorbereidende rapport geformuleerd werden
1 november 2004	Verzending van het eindrapport naar alle partners van de studie
24 november 2004	Uiterste datum voor de reacties op het eindrapport
Begin december 2004	Behandeling door het WTCB (in samenwerking met de twee wetenschappelijke experts) van de opmerkingen die door de fabrikanten op het eindrapport geformuleerd werden
11 december 2004	Terbeschikkingstelling van het eindrapport

LITERATUURLIJST

A. NORMEN

1. Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN EN 823 Materialen voor de thermische isolatie van gebouwen. Bepaling van de dikte. Brussel, BIN, 1994.
2. Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN EN 1946 Warmteprestatie van bouwwaren en bouwonderdelen. Specifieke criteria voor de bepaling van de warmteoverdrachtseigenschappen. Brussel, BIN, 5 delen, 1999-2000.
3. Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN EN ISO 6946 Componenten en elementen van gebouwen. Warmteweerstand en warmtegeleidingscoëfficiënt. Berekeningsmethode. Brussel, BIN, 1996.
4. Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN EN 12667 Thermische eigenschappen van bouwmaterialen en -producten. Bepaling van de warmteweerstand volgens de methode met de afgeschermd 'hot plate' en de methode met de warmtestroommeter. Producten met een gemiddelde en een hoge warmteweerstand. Brussel, BIN, 2001.

B. PROGRAMMA'S

5. LORD 3.21, Logical R-Determination, Modelling and identification software for thermal systems, developed for PASLINK EEIG by O. Gutschker, 2003.
6. VOLTRA, program to calculate 3D & 2D transient heat transfer in objects described in a rectangular grid using the energy balance technique, version 4.0w, Physibel, 2003.

Verantwoordelijke uitgever : Carlo De Pauw
WTCB, Lombardstraat 42
1000 Brussel



B R U S S E L

Maatschappelijke zetel



Lombardstraat 42
B-1000 Brussel

algemene directie



02/502 66 90



02/502 81 80

Z A V E N T E M

Kantoren



Lozenberg 7
B-1932 Sint-Stevens-Woluwe
(Zaventem)



02/716 42 11



02/725 32 12

technisch advies - communicatie - kwaliteit
toegepaste informatica bouw
planningstechnieken
ontwikkeling & valorisatie

publicaties



02/529 81 00



02/529 81 10

L I M E L E T T E

Proefstation



Avenue Pierre Holoffe 21
B-1342 Limelette



02/655 77 11



02/653 07 29

onderzoek & innovatie
laboratoria
vorming
documentatie
bibliotheek