

# Reflecterende isolatiematerialen zin en onzin

Delft, 28 april 2017

Kees (ir. A.C.) van der Linden

AaCee Bouwen en Milieu

e-mail: [kees@aaccee.nl](mailto:kees@aaccee.nl)

web: [www.aaccee.nl/bouw](http://www.aaccee.nl/bouw)

## Reflecterende isolatie - zin en onzin

### Inleiding

Isolatiematerialen waarbij gebruik wordt gemaakt van reflecterende folies zijn behoorlijk in opmars. Bij sommige van deze “multifoils” wordt meer beloofd dan fysisch mogelijk is. Dat is jammer, want daarmee brengt men de hele bedrijfstak in diskrediet. Los daarvan is het zo dat dat “reflecteren” alleen maar echt interessant is aan de oppervlakken van het totale pakket, als dat in een spouw naar een andere constructie op enige afstand (minimaal 20 - 25 mm) kijkt.

Binnenin het pakket wordt uiteraard ook stralingsuitwisseling onderdrukt, maar dat draagt maar in beperkte mate bij aan de warmteweerstand van het pakket op zich.

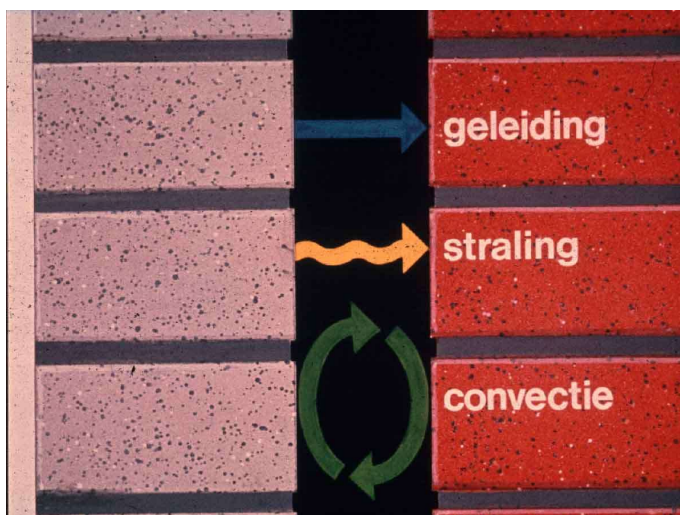
Hierna wordt eerst gekeken naar de warmteoverdracht in een spouw, daarna komt het uit meerdere laagjes opgebouwde isolatiepakket zelf aan de orde.

Tot slot wordt gekeken naar warmteoverdracht in spouwen met alleen gespannen reflecterende folies. Daarbij blijkt de richting van de warmtestroom bepalend, waardoor in feite alleen bij vloerisolatie echt hoge isolatiewaarden worden bereikt.

### Warmteoverdracht in een spouw

In een spouw hebben we te maken met drie verschillende vormen van warmte overdracht. Soms komt er nog een vierde bij, maar daarover verderop meer.

- Geleiding, warmteoverdracht in een stof; de moleculen geven beetje warmte door aan hun buurman. Denk daarbij bijvoorbeeld aan de koperen staaf van een soldeerbout. In het element wordt de staaf verhit en de warmte verplaatst zich door het koper naar de punt waarmee je kunt solderen. Maar ook in lucht vindt dit plaats.
- Convectorie, een mooi woord voor stroming. Hierbij gebruikt de warmte een transportmiddel (lucht, water, enz.). Denk aan de radiator in de woonkamer. De lucht warmt daar op, stroomt omhoog en geeft de warmte weer af aan het glas van de ramen.
- Straling. Alle oppervlakken stralen warmte uit, langgolvig infra rood (golflengte  $\lambda = \text{ca. } 0,01 \text{ mm}$ ). Hoe hoger de temperatuur, des te meer warmte wordt uitgestraald<sup>1)</sup>. Twee vlakken van een verschillende temperatuur kunnen zo ook warmte uitwisselen.



<sup>1)</sup> Zie bijlage 1 voor meer uitleg over warmtestraling

Het *warmtetransport door geleiding* in de lucht van de spouw is net als bij een isolatielaag afhankelijk van de dikte van die laag (d) en de warmtegeleidingscoëfficiënt ( $\lambda$ ) die bij dat materiaal hoort en natuurlijk van het temperatuurverschil over de laag.

In formulevorm:  $q = \lambda/d * \Delta T$  [W/m<sup>2</sup>]

De materiaaleigenschap  $\lambda$  geeft aan hoeveel warmte er stroomt door een laag van 1 m dikte bij een temperatuurverschil van 1 °C (of 1 kelvin, K) tussen beide oppervlakken.

Voor lucht geldt  $\lambda = 0,025$  W/m.K. In de onderstaande figuur zie je hoe het warmtetransport door geleiding afneemt met de breedte van de spouw, maar van iedere volgende centimeter is het effect wel steeds minder.

Het *warmtetransport door convectie* ontstaat doordat aan de warme zijde van de spouw de lucht wordt opgewarmd die daardoor uitzet en lichter wordt. Aan de koude zijde koelt de lucht af en wordt weer zwaarder. Daardoor ontstaan er ronddraaiende cellen lucht in de spouw die warmte van de warme naar de koude kant overbrengen.

Als een spouw erg smal is lukt dat ronddraaien van de lucht niet omdat er teveel wrijving is, en is er dus ook geen convectie. De convectie komt op gang vanaf een breedte van ca. 20 mm. Vanaf een breedte van ca. 50 mm maakt het niet veel meer uit hoe breed de spouw is.

De *warmteuitwisseling door straling* is niet afhankelijk van de spouwbreedte, maar wordt alleen bepaald door het verschil in temperatuur tussen de oppervlakte van de spouwbladen, én van het materiaal waarvan het oppervlak is gemaakt. Dit wordt uitgedrukt met de emissiecoëfficiënt ( $\epsilon$ ).

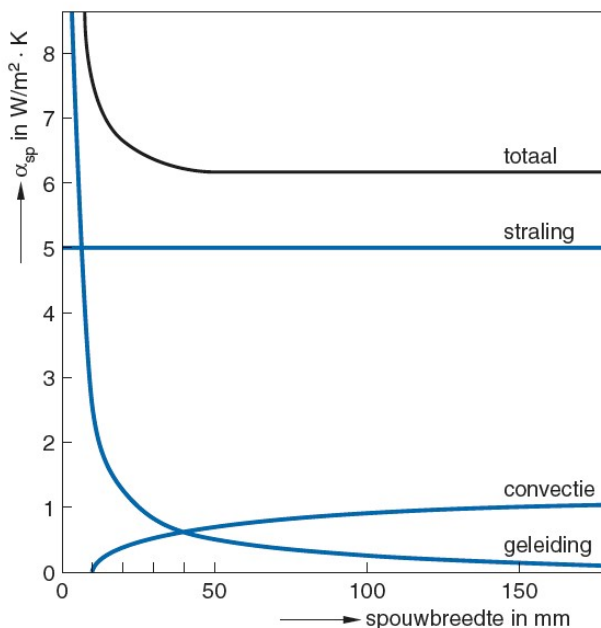
De emissiecoëfficiënt geeft aan hoeveel straling wordt uitgezonden t.o.v. een ideale straler <sup>1)</sup>.

Voor gewone bouwmaterialen is de emissiecoëfficiënt  $\epsilon = 0,9 - 0,95$ .

Alleen voor glanzende metaaloppervlakken is de emissiefactor substantieel lager:  $\epsilon < 0,1$ .

Bij heel hoge kwaliteit reflecterende folies lukt het om  $\epsilon =$  ca. 0,02 te halen. Dat betekent dat maar 2% van de opvallende straling wordt geabsorbeerd en dat 98% wordt gereflecteerd.

In de figuur hierna betekent het dat in dat geval de lijn voor stralingsoverdracht van warmte vrijwel verdwijnt en dat alleen geleiding en convectie overblijven.



In deze figuur staat de warmteoverdracht in W/m<sup>2</sup> bij 1 °C (of 1 K) temperatuurverschil.

Hiervoor werd vooral gesproken over warmtestromen.

In welke mate een spouw of een laag materiaal de warmte geleidt of juist tegenhoudt wordt ook beschreven door de warmteweerstand. De spouw uit de figuur hiervoor heeft bij een breedte vanaf 30 - 50 mm een warmteweerstand van  $R_{\text{spouw}} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

De warmtestroom bij  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  (of K) vind je dan uit  $q = \Delta T / R_{\text{spouw}} = 1 / 0,17 = 6 \text{ W}/\text{m}^2$ .

Stel dat de straling geheel onderdrukt kan worden, dan stijgt de warmteweerstand bij bredere spouwen tot  $R_{\text{spouw}} = \text{ca. } 1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ . Helemaal onderdrukken lukt niet. In de eerste plaats hebben de folies die toegepast worden emissiecoëfficiënten die variëren van  $\varepsilon = 0,02$  tot  $0,20$ .

Voor de heel goede folies wordt soms gerekend met  $\varepsilon = 0,05$ . Maar er moet ook rekening gehouden worden met de kwaliteit van het aanbrengen van de folie, veroudering en vervuiling. Dus blijft men meestal aan de veilige kant en rekent met  $\varepsilon = 0,10$ .

Voor een spouw met een breedte vanaf 20 mm vind je bij een emissiecoëfficiënt van  $\varepsilon = 0,10$  en aan één zijde van de spouw een folie voor de warmteweerstand van de spouw  $R_{\text{spouw}} = 0,57 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

Bij een spouw van maar 10 mm verdwijnt de convectie, maar neemt de geleiding sterk toe en vind je uiteindelijk voor de spouwweerstand bij dezelfde  $\varepsilon = 0,10$  een waarde van  $R_{\text{spouw}} = 0,33 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

#### Warmteweerstand van een laag isolatiemateriaal

Als een spouw geheel gevuld wordt met een isolatiemateriaal is er in die spouw als geheel geen sprake meer van convectie en straling\*.

Vrije luchtbeveging in de spouw is niet meer mogelijk en straling uitwisselen lukt niet omdat de twee spouwbladen elkaar niet meer kunnen "zien".

Dat betekent dat alleen het transport door geleiding overblijft. Voor de meest voorkomende isolatiematerialen (mineraalwol, kunststofschuim) gelden, afhankelijk van de specifieke eigenschappen, warmtegeleidings-coëfficiënten van  $\lambda = 0,028 - 0,035 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$ .

Laten we voor het voorbeeld hieronder uitgaan van  $\lambda = 0,030 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$ .

Voor nieuwbouw geldt voor de thermische isolatie van de gevel momenteel een  $R_c$ -waarde van  $4,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ . Meer mag ook, minder niet.

Stel dat de constructie zonder isolatie een warmteweerstand heeft van  $R_c = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

Dan moet de isolatielaag dus het restant, ofwel  $R_{\text{iso}} = 4,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  leveren.

Dat betekent dat er een isolatielaag nodig is met een dikte van minimaal 120 mm.

In een spouwmuur kan een spouw helemaal worden gevuld met minerale wol. Bij harde platen (kunststofschuim) moet er ook nog een luchtsponw van minimaal 30 mm blijven om vochtdoorslag te voorkomen en om het opmetselen van het tweede spouwblad überhaupt mogelijk te maken.

Een totale dikte van de spouw dus van minimaal 150 mm.

Kunnen reflecterende isolatiematerialen hier voordeel bieden?

\* In poreuze materialen kan in het materiaal zelf ook nog steeds straling en convectie optreden, tussen de materiaaloppervlakken van de poriën c.q. tussen de vezels, respectievelijk via de lucht die in de poriën c.q. tussen de vezels zit. In de praktijk wordt dit echter altijd automatisch meegenomen in de bepaling van de warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal. Hier in deze paragraaf gaat het om de overdacht van warmte in een spouw via straling tussen de twee oppervlakken.

### Warmteweerstand bij gebruik van reflecterende isolatiematerialen in een verticale spouw (multifoil)

Er zijn producten op de markt, bestaande uit meerdere lagen kunststofbubbeltjesfolie (of ander materiaal), afgewisseld met reflecterende lagen. Die reflecterende lagen bestaan uit een kunststoffolie met opgedampt aluminium. Aluminium heeft een heel lage emissiecoëfficiënt. Die aluminiumlaag wordt overigens ook nog weer beschermd tegen corrosie door een infrarode straling doorlatende laag. De aluminiumfolielagen voorkomen interne warmteoverdracht door straling. Dat is nodig omdat de kunststoffolies infraroodstraling doorlaten.

Bij minerale wol of kunststofschuimen is er geen sprake van vrije ruimten zoals in de kunststofbubbels en is er geen sprake van interne stralingsoverdracht.

In de producten met afwisselende lagen bubbeltjesfolie en reflecterende folies is er dus geen, of slechts van in hoge mate onderdrukte straling sprake; convectie treedt ook niet op, want de lucht is keurig opgesloten in de relatief kleine bubbels.

Daarmee blijft dus alleen warmtetransport door geleiding over en verschillen deze producten in hun prestatie niet wezenlijk van andere isolatiematerialen.

De verschillende lagen zijn gewoon een goede manier om de lucht op z'n plaats te houden, en lucht heeft een warmtegeleidingscoëfficiënt van  $\lambda = 0,025 \text{ W/m.K}$ ; lager kom je dus zeker niet.

Maar door het andere materiaal, de kunststoffolie en de reflecterende folie die zelf een hogere warmtegeleidingscoëfficiënt hebben, is het uiteindelijk resultaat ook  $\lambda = \text{ca. } 0,030 \text{ W/m.K}$ .

Daarmee zijn deze producten dus vergelijkbaar met de andere isolatiematerialen.

Er is echter één verschil.

De buitenoppervlakken bestaan ook uit de goed reflecterende folie, dus als aan weerszijden van het isolatiemateriaal een spouw gehouden wordt hebben die spouwen een hogere warmteweerstand dan een normale spouw.

N.B. Er bestaan overigens ook kunststofschuimplaten en mineraalwolplaten met aan één of beide zijden reflecterende folies.



Maar hoe dan ook, stel dat je aan weerszijden van een laag reflecterend (multifoil) isolatiemateriaal van 40 mm aan weerszijden een spouw met één reflecterend oppervlak en met een breedte van 20 - 25 mm hebt, totale spouwbreedte dus 80 - 90 mm, dan vind je voor de totale warmteweerstand van de spouw:

$$R_{\text{spouw+iso}} = R_{\text{iso}} + 2 \times R_{\text{spouw,20-25 mm}} = 0,04/0,03 + 2 \times 0,57 = 2,5 \text{ m}^2.\text{K/W}.$$

Daarmee kan dus niet zonder aanvullende isolatiemaatregelen aan de huidige eisen voor gevels bij nieuwbouw ( $R_c = 4,5 \text{ m}^2.\text{K/W}$ ) worden voldaan.

Er is ook een fabrikant die met een multifoil van 30 mm dikte met aan weerszijden een spouw van 10 mm een warmteweerstand van  $R_{\text{spouw+iso}} = 5,5 \text{ m}^2.\text{K/W}$  belooft. Dat kan natuurlijk niet.

Op dezelfde manier uitgerekend als hiervoor kom je daarmee namelijk op

$$R_{\text{spouw+iso}} = R_{\text{iso}} + 2 \times R_{\text{spouw, 10 mm}} = 0,03/0,03 + 2 \times 0,33 = 1,7 \text{ m}^2.\text{K/W}.$$

Een andere fabrikant belooft een totale weerstand van  $R = 6 \text{ m}^2.\text{K/W}$ , maar die vermeldt daar keurig bij dat je dan wel een multifoil van 140-160 mm dikte moet kopen.

Samenvattend een multifoil met afwisselend laagjes kunstofbubbeltjesfolie (of ander materiaal) en reflecterende laagjes isoleert op zich ongeveer net zo goed als andere isolatiematerialen.

Dit kan worden uitgedrukt in een equivalente warmtegeleidingscoëfficiënt.

Voor alle producten is die  $\lambda = \text{ca. } 0,030 \text{ W/m.K}$ .

Als aan weerszijden van het isolatiepakket een spouw wordt gehouden met een dikte van 20 - 25 mm hebben die beide spouwen samen een warmteweerstand van  $2 \times 0,57 = 1,14 \text{ m}^2.\text{K/W}$ .

Diezelfde isolatiewaarde bereik je met 35 mm isolatiemateriaal extra.

Smallere spouwen dan 20 - 25 mm zijn in de bouw praktisch niet uitvoerbaar. Het isolatiemateriaal moet op een afstand van de andere zijde van de spouw blijven en het is niet eenvoudig om een relatief slap materiaal netjes strak midden in de spouw te plaatsen.

Daarnaast loopt de isolatiewaarde bij smallere spouwen zeer snel terug.

Om met multifoils aan de vereiste isolatie waarde voor een gevel te voldoen heb je daarom minimaal een spouw nodig van 150 mm met daarin een multifoil met een dikte van 100 mm en twee spouwen met een breedte van 20 - 25 mm met aan één zijde een reflectielaag.

#### *Behoud van de reflecterende werking*

De reflecterende werking van de folies moet natuurlijk ook gedurende de gehele levensduur van de constructie, de woning, het gebouw (50 - 100 jaar?) gewaarborgd zijn. Het lijkt erop dat folies op zich dit kunnen waarmaken. Er zijn metingen gedaan aan folies die 20 - 30 jaar eerder als isolatie onder de begane grondvloer waren aangebracht. Voor oppervlakken die zich in een afgesloten ruimte bevonden werd nog steeds  $\varepsilon = 0,02$  gemeten, vrijwel gelijk aan de waarde bij aanbrengen, en voor de folie aan de kruipruimte zijde een waarde van  $\varepsilon = 0,06$ .

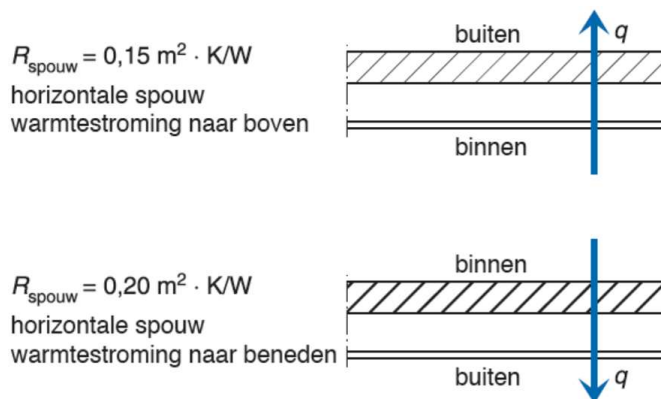
In constructies waarin de folies ernstig kunnen vervuilen, denk aan gemetselde spouwmuren, kun je er niet van uitgaan dat de folies duurzaam de voor de praktijk aan te houden waarde van  $\varepsilon = 0,10$  blijven houden. Bij goed afgesloten spouwen, zoals die bij houtskeletbouw mogelijk zijn, lukt dit waarschijnlijk wel.

### Horizontale of schuine spouwen

De beschouwingen hiervoor betroffen verticale spouwen. In horizontale spouwen moeten er twee situaties worden onderscheiden:

- Warmtestroom naar boven gericht, zoals bij een dak
- Warmtestroom naar beneden gericht, zoals bij vloeren boven buitenlucht of een onverwarmde (kruip)ruimte.

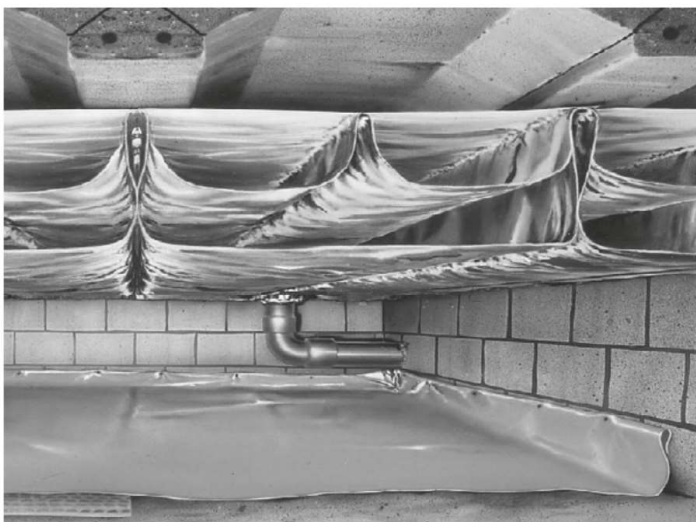
Daarbij is de situatie wezenlijk anders. Het verschil zit in de convectie. Is bij verticale spouwen met een breedte groter dan 30 - 50 mm de warmteweerstand gelijk aan  $R_{\text{verticale spouw}} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  bij horizontale spouwen is dat anders, zie de onderstaande figuur.



Bij de naar boven gerichte warmtestroom is de convectie veel sterker dan bij een verticale spouw. Immers aan de onderzijde wordt de lucht opgewarmd, wordt lichter en gaat omhoog, daar koelt de lucht weer af en daalt.

Bij de plaatjes hiervoor, voor een niet-geïsoleerde spouw, is het verschil nog niet zo groot, maar dat komt doordat de straling het grootste aandeel levert in de warmteoverdracht. Als je die effectief onderdrukt kun je bij de naar beneden gerichte warmtestroom zeer hoge isolatiewaarden bereiken. Bij een naar beneden gerichte warmtestroom, zoals bij een begane grondvloer, is convectie vrijwel afwezig. De opgewarmde lucht blijft tegen de onderkant van de vloer hangen, er treedt stratificatie op. De warmteoverdracht wordt nog vrijwel uitsluitend bepaald door straling en geleiding.

Als je in deze situatie de straling effectief onderdrukt en een redelijk dikke luchtlaag neemt, kun je tot heel hoge isolatiewaarden komen. Een praktijkvoorbeeld hiervan zijn de Thermokussens van de firma Tonzon, zie onderstaande illustratie.



### Warmteweerstand van luchtsponwen met één of twee reflecterende oppervlakken

Het berekenen van de warmteweerstand van luchtgevulde sponwen met aan één of twee zijden een reflecterend oppervlak kan heel goed gedaan worden op basis van de in de internationale norm EN-ISO 6946 gegeven rekenregels. Zie het overzicht in de tabel op de volgende bladzijde.

Het maakt maar een klein beetje verschil of beide oppervlakken van de sponw reflecterend zijn uitgevoerd of slechts één. Alleen bij een horizontale sponw waarbij de warmtestroom naar beneden is gericht, is het verschil bij grotere sponwbreedten aanzienlijk.

Met behulp van de in de tabel gegeven warmteweerstanden kunnen verschillende combinaties van sponwen met reflecterende oppervlakken worden berekend.

Neem een dakspouw van 200 mm breedte door drie reflecterende folies onderverdeeld in vier sponwen van 50 mm breedte. Dat zijn er dan twee met aan één zijde een reflecterende laag en twee met zo'n laag aan weerszijden. In een dak is de warmtestroom in de winter omhoog gericht. Uitgaande van een goede kwaliteit folie ( $\epsilon = 0,05$ ) vinden we voor de totale weerstand  $R_{\text{spouw}} = 0,45 + 0,48 + 0,48 + 0,45 = 1,86 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

Dezelfde constructie, toegepast boven een niet verwarmde garage of dergelijke (warmtestroom naar beneden gericht) vinden we:  $R_{\text{spouw}} = 1,30 + 1,57 + 1,57 + 1,30 = 5,74 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

Dat is dus aanzienlijk meer. Alleen in situaties waarin de warmtestroom naar beneden is gericht worden met reflecterende folies echt grote warmteweerstanden gerealiseerd.

Ter vergelijking, een sponw van 200 mm met stilstaande lucht en geen stralingsoverdracht heeft een warmteweerstand van  $R_{\text{spouw}} = d/\lambda = 0,20 / 0,025 = 8,00 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ . Dat deze waarde in het voorbeeld niet gehaald wordt komt doordat er toch nog een beetje convectie en stralingsoverdracht is.

Overigens is het de vraag of een constructie zoals hierboven beschreven in werkelijkheid gemaakt kan worden. Hoe krijg je drie folies netjes strak gespannen op een onderlinge afstand van 50 mm.

Dan een voorbeeld van één folie en wat je daarmee bereikt.

Neem een sponwmuur (horizontale warmtestroom) met een sponw van 50 mm waar netjes in het midden een reflecterende folie wordt geplaatst.

Er ontstaan dan twee sponwen van 25 mm met aan één zijde een reflecterende laag.

Voor de emissiecoëfficiënt is het aanhouden van lagere waarden dan  $\epsilon = 0,10$  niet reëel.

Bij vervuiling en andere invloeden is het al heel mooi als zo'n waarde duurzaam behouden wordt.

Voor de warmteweerstand vinden we dan:  $R_{\text{spouw}} = 2 \times 0,57 = 1,14 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

Met de rest van de constructie en de overgangsweerstanden wordt dan mogelijk een totale warmteweerstand bereikt van  $R = 1,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

Samenvattend kunnen reflecterende folies een rol vervullen bij de thermische isolatie van een gebouw, maar alleen in combinatie met andere isolatiematerialen (of multifoils) in een dikte van 100 - 150 mm worden de vereiste warmteweerstanden van  $R_c = 4,5 - 6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  voor de constructie als geheel (gevels, daken) gehaald. Maar het levert geen ruimtebesparing op, omdat voor de werking van de reflecterende eigenschappen sponwen van 20 - 25 mm breedte nodig zijn.

Alleen bij vloeren (warmtestroom naar beneden gericht) kunnen met uitsluitend reflecterende folies hoge isolatiewaarden worden bereikt die aan de eisen voldoen.



<b>warmtestroom horizontaal</b>							
(T <sub>gem</sub> = 283 K)	reflecterende laag aan één zijde			reflecterende laag aan twee zijden			
breedte mm	R <sub>sp</sub> (ε=0,10)	R <sub>sp</sub> (ε=0,05)	R <sub>sp</sub> (ε=0,02)	R <sub>sp</sub> (ε=0,10)	R <sub>sp</sub> (ε=0,05)	R <sub>sp</sub> (ε=0,02)	
10	0,33	0,36	0,38	0,36	0,38	0,39	
15	0,46	0,52	0,57	0,52	0,56	0,58	
20	0,57	0,66	0,74	0,66	0,72	0,77	
25	0,57	0,66	0,74	0,66	0,72	0,77	
30	0,57	0,66	0,74	0,66	0,72	0,77	
40	0,57	0,66	0,74	0,66	0,72	0,77	
50	0,57	0,66	0,74	0,66	0,72	0,77	
70	0,57	0,66	0,74	0,66	0,72	0,77	
100	0,57	0,66	0,74	0,66	0,72	0,77	
150	0,57	0,66	0,74	0,66	0,72	0,77	
<b>warmtestroom naar boven</b>							
(T <sub>gem</sub> = 283 K)	reflecterende laag aan één zijde			reflecterende laag aan twee zijden			
breedte mm	R <sub>sp</sub> (ε=0,10)	R <sub>sp</sub> (ε=0,05)	R <sub>sp</sub> (ε=0,02)	R <sub>sp</sub> (ε=0,10)	R <sub>sp</sub> (ε=0,05)	R <sub>sp</sub> (ε=0,02)	
10	0,33	0,36	0,38	0,36	0,38	0,39	
15	0,41	0,45	0,49	0,45	0,48	0,50	
20	0,41	0,45	0,49	0,45	0,48	0,50	
25	0,41	0,45	0,49	0,45	0,48	0,50	
30	0,41	0,45	0,49	0,45	0,48	0,50	
40	0,41	0,45	0,49	0,45	0,48	0,50	
50	0,41	0,45	0,49	0,45	0,48	0,50	
70	0,41	0,45	0,49	0,45	0,48	0,50	
100	0,41	0,45	0,49	0,45	0,48	0,50	
150	0,41	0,45	0,49	0,45	0,48	0,50	
<b>warmtestroom naar beneden</b>							
(T <sub>gem</sub> = 288 K)	reflecterende laag aan één zijde			reflecterende laag aan twee zijden			
breedte mm	R <sub>sp</sub> (ε=0,10)	R <sub>sp</sub> (ε=0,05)	R <sub>sp</sub> (ε=0,02)	R <sub>sp</sub> (ε=0,10)	R <sub>sp</sub> (ε=0,05)	R <sub>sp</sub> (ε=0,02)	
10	0,33	0,36	0,38	0,36	0,38	0,39	
15	0,45	0,52	0,56	0,51	0,55	0,58	
20	0,56	0,66	0,74	0,65	0,72	0,77	
25	0,65	0,79	0,90	0,78	0,88	0,95	
30	0,73	0,91	1,06	0,89	1,03	1,13	
40	0,86	1,12	1,36	1,10	1,31	1,47	
50	0,97	1,30	1,64	1,27	1,57	1,80	
70	1,08	1,52	2,02	1,49	1,90	2,27	
100	1,15	1,67	2,28	1,62	2,13	2,60	
150	1,23	1,83	2,60	1,78	2,41	3,02	

Tabel met warmteweerstanden R in m<sup>2</sup>.K/W voor verschillende luchtspuwen met reflecterende oppervlakken, berekend volgens EN-ISO 6946

### Handreikingen voor de praktijk

Aanwijzingen voor het ontwerpen en uitvoeren van reflecterende isolatie voor gevels, daken en vloeren kun je vinden in Publicatie 625.12 van SBRCurnet "Ontwerprichtlijn reflecterende isolatie".

N.B. In dit artikel zijn voor alle gevallen gemiddelde waarden genomen. Per product kunnen er uiteraard verschillen zijn. Maar de informatie zoals hier beschreven kan uitstekend gebruikt worden voor het nemen van principebeslissingen.

Verder betreffen de gegeven situaties alleen de thermische isolatie van goed aangebrachte isolatiematerialen en reflecterende materiaaloppervlakken.

Een belangrijk verschil bij de uitvoering is dat met reflecterende folies of reflecterende isolatiematerialen (mits goed aangebracht) ook meteen een luchtdichte constructie wordt verkregen. De betere luchtdichting levert uiteraard ook extra energiebesparing op omdat er minder (infiltratie) lucht is die opgewarmd moet worden.

Zie verder ook de achtergrondinformatie/literatuur en met name ook de website [www.Klimapedia.nl](http://www.Klimapedia.nl)

<http://www.sbrcur.net.nl/producten/publicaties/ontwerprichtlijn-reflecterende-isolatie-1>

[https://klimapedia.nl/wp-content/uploads/2013/06/W\\_16\\_warmteoverdrachtscoefficient\\_voor\\_straling.pdf](https://klimapedia.nl/wp-content/uploads/2013/06/W_16_warmteoverdrachtscoefficient_voor_straling.pdf)

<https://klimapedia.nl/publicaties/wtcb-rapport-9-2006-thermische-prestatie-reflecterende-isolatie/>

<https://klimapedia.nl/publicaties/reflective-multi-foil-insulations-for-buildings-a-review-eb-56-2013/>

Delft, 27 april 2017

Kees (ir. A.C.) van der Linden

-----

AaCee Bouwen en Milieu  
Van Bleyswijkstraat 2  
2613 RS Delft

tel.: +31 6 22 419 606

e-mail: [kees@aacee.nl](mailto:kees@aacee.nl)

web sites: [www.aacee.nl/bouw](http://www.aacee.nl/bouw)

[www.klimapedia.nl](http://www.klimapedia.nl)

[www.nvbv.org](http://www.nvbv.org)

[www.bouwfysica.nl](http://www.bouwfysica.nl)

[www.skboopleidingen.nl](http://www.skboopleidingen.nl)

[www.rvo.nl/initiatieven/overzicht/27008](http://www.rvo.nl/initiatieven/overzicht/27008)

[www.thiememeulenhoff.nl/hoger-onderwijs/techniek/bouwkunde-en-civiele-techniek/9789006214994](http://www.thiememeulenhoff.nl/hoger-onderwijs/techniek/bouwkunde-en-civiele-techniek/9789006214994)

Alle oppervlakken stralen warmte uit. De mate waarin is afhankelijk van de temperatuur en de aard van het materiaal. Dit kan worden beschreven met de formule van Stefan Boltzman:

$$q_s = \varepsilon \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot T^4 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

waarin:

$q_s$  = de warmtestroomdichtheid van de afgegeven straling in W/m<sup>2</sup>

$\varepsilon$  = de emissiecoëfficiënt van het materiaaloppervlak

$T$  = de absolute temperatuur in K

Duidelijk is dat de temperatuur met die vierde macht een grote invloed heeft. Ook is duidelijk dat bij temperaturen ver onder 0 °C er toch nog warmtestraling is. Dat is pas bij -273 °C (het absolute nulpunt; 0 K) over.

Bij de temperatuurschaal van Kelvin en Celcius is de afstand tussen de eenheden ("graden") even groot. Alleen het nulpunt is 273 eenheden verschoven: K = °C - 273 of °C = K + 273.

De emissiecoëfficiënt is een soort rendement voor de stralingsafgifte.

Bij  $\varepsilon = 1$  spreek je van een ideale "zwarte straler".

Voor de meeste bouwmaterialen geldt  $\varepsilon = 0,90 - 0,95$ . Alleen voor gladde, glimmende metaaloppervlakken geldt  $\varepsilon = 0,02 - 0,20$ .

Zie verder de gegevens van de fabrikanten of de handboeken.

In de figuur hieronder is aangegeven hoeveel warmte een lichaam uitstraalt bij verschillende temperaturen bij een emissiecoëfficiënt van  $\varepsilon = 0,95$ .

