

Warmtetransport als gevolg van warmtestraling in gebouwen

Eenvoudige uitleg van de natuurkundige principes

Oude wetenschap in een nieuw jasje

INLEIDING

Indien een gebouw oncomfortabel koud is in de winter, of oncomfortabel warm in de zomer; of de kosten voor beheersing van het binnenklimaat rijzen de pan uit; dan pas worden architecten, ingenieurs en isolatiebedrijven geconfronteerd met kritiek door bewoners of gebouweigenaren.

Dit geldt voor verzamelgebouwen, werkplaatsen, ziekenhuizen, zwembaden, fabrieken, winkels, kerken, kantoren, vrieshallen enz.

In dit document probeer ik op een eenvoudige, duidelijke manier uit te leggen welke grote rol het stralen en reflecteren van warmte speelt bij gebouwen. Tevens een uiteenzetting van de karakteristieken van stralingswarmte.



Alles en iedereen is onderhevig aan dezelfde wetten van warmtetransport

Koude

“Houdt isolatie de kou buiten?” is een veel gestelde vraag. Het antwoord is: alleen voor de mate waarin de (traditionele) materialen zoals steen, glas, vezels e.d. winddicht zijn.

Koude is de afwezigheid van warmte. Het is enkel warmte die stroomt, in de richting van koude. Uitgezonderd situaties waarin geforceerde luchtstroming plaats vindt , bijvoorbeeld veroorzaakt door een ventilator.

Stel je voor dat je de ramen in je gebouw open zet. Stel je tevens voor dat de buitenlucht, hoewel zéér koud, absoluut stil staat. De kou zou **niet** naar binnen komen, maar de **warmte** in het gebouw zou wel **naar buiten** gaan. Gedeeltelijk door luchtstroming (convectie), een beetje door contact tussen de luchtdeeltjes (conductie) en het overgrote deel **door straling**. Dit proces van warmtestroming blijft net zo lang doorgaan totdat de temperatuur binnen even groot is als de temperatuur buiten (thermisch equilibrium).

Reflectiewerking: als u het écht wil weten!

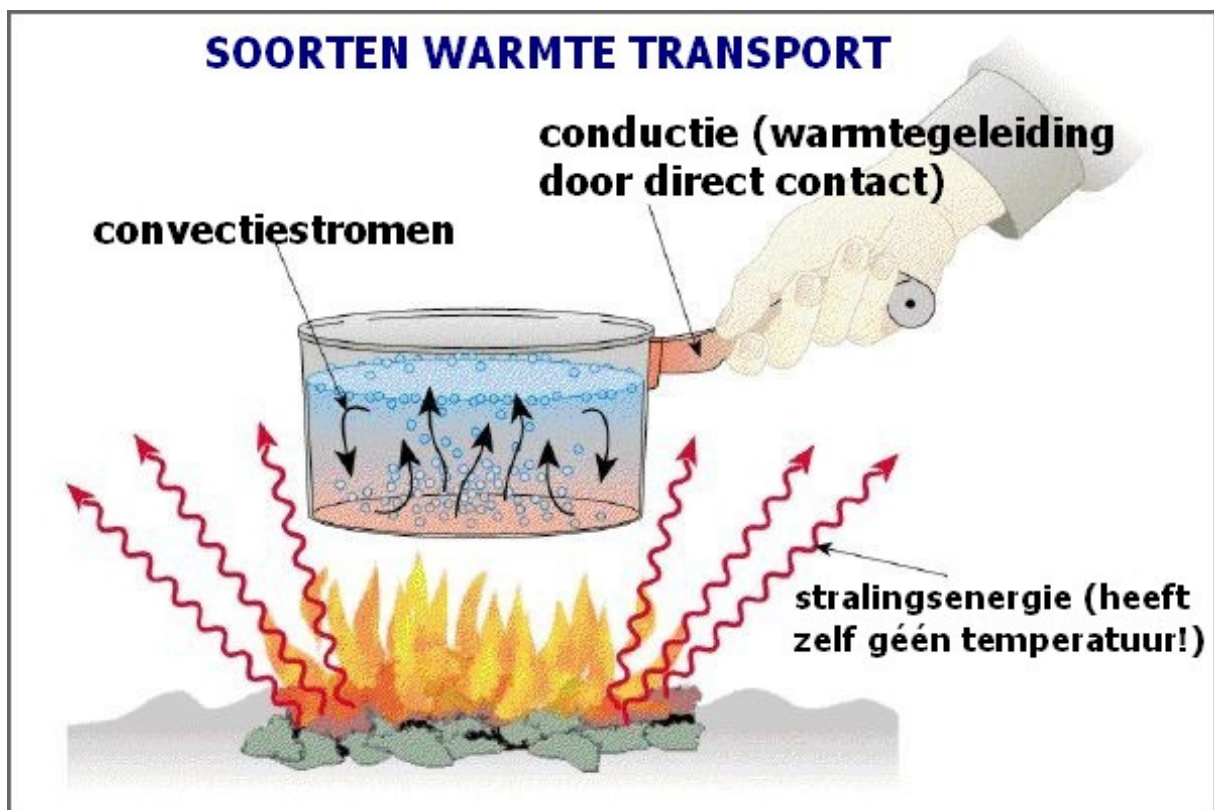
Ook met gesloten ramen, en aannemende dat het gebouw volledig luchtdicht is, zal de warmte door de drie genoemde natuurkundige fenomenen (conductie, convectie en straling) het gebouw verlaten. Zij het minder snel.

Stel je 2 warme doosjes voor. Eentje met een gat erin, en eentje zonder gat erin. Zet ze beide in een vrieskist met koude, stilstaande lucht. De warmte zal uit beide doosjes ontsnappen totdat er temperatuurmatig evenwicht in de vrieskist is bereikt. Bij het doosje mét gat sneller dan bij het doosje zonder gat.

Dit verhaal gaat dus over het stromen van warmte, of zoals vaak genoemd **“warmtetransport”**.

WARMTETRANSPORT

Alle substanties die wij kennen, inclusief bouwmaterialen en isolatiematerialen, transporteren warmte, of vertragen warmtetransport, via 1 of meer van de volgende principes.



Alle fysieke substanties zijn onderhevig aan dezelfde natuurkundige wetten. Dus minerale wollen, papier, katoen, glas, steen, aluminium, houtvezels, schuim, luchtpouwen, stucwerk, staal, mensen, dieren, planten, de aarde, de zon. **Er is geen uitzondering!**

Warmtetransport geschiedt dus door convectie (stroming in een vloeistof of gas / lucht), straling (warmte) en conductie (warmtegeleiding). De mate waarin verschilt tussen deze drie fenomenen door de INTENSITEIT van CONDUCTIE, de mate van STRALINGSOPNAME of – WEERKAATSING en de HOEVEELHEID CONVECTIE. Deze kwantitatieve verschillen vinden hun

Reflectiewerking: als u het écht wil weten!

oorsprong in de materiaal eigenschappen: soortelijke massa, gewicht, vorm, luchtdichtheid, moleculaire structuur en andere fysieke eigenschappen.

Conductie (warmtegeleiding) en convectie (luchtstroming)

Conductie is warmtetransport d.m.v. direct, fysiek contact tussen materialen. Waarbij “materiaal” ook lucht of een (onzichtbaar) gas kan zijn. Hierbij wordt warmte getransporteerd door het snellere trillen van warmere moleculen naar de langzamere koude moleculen op de plaatsen waar materialen elkaar raken. Hierdoor gaan de koudere moleculen sneller trillen. Ook hier geldt dat het transport altijd van warm richting koud plaats vindt. Nooit andersom.

Convectie is warmtetransport in vloeistof of gas veroorzaakt door de stroming van verwarmde lucht of verwarmde vloeistof. Convectie kan een mechanische oorzaak hebben, zoals bij een ventilator. Dit noemen we ook wel geforceerde convectie. Maar het kan ook vrije convectie zijn zoals dat in ruimten van gebouwen plaatsvindt. Een warme kachel, of persoon, of convectorput zal altijd eerst d.m.v. fysiek contact warmte afgeven aan de koelere omgevingslucht. Hiermee zal de warmte de moleculen in de omgevingslucht activeren. De verwarmde lucht zet uit en wordt minder dicht en zal stijgen. Koelere lucht neemt de plaats in van de vertrokken warme lucht.

Luchtsponen

Luchtsponen in gebouwen, zoals in buitenmuren, daken en vloeren beperken warmtetransport op het gebied van conductie (warmtegeleiding) omdat lucht een gas is met een beperkte dichtheid. Dit vertraagt de opwarming in de zomer en het warmteverlies in de winter. Door de lage massadichtheid is het “percentage warmtetransport door conductie (warmtegeleiding) gering”.

Echter:

“Hoewel lucht een slechte geleider is voor conductie (warmtegeleiding) betekent dit niet automatisch dat lucht goed isoleert. Dit komt omdat conductie (warmtegeleiding) in vergelijking tot convectie en warmtestraling slechts een zéér beperkte rol van betekenis speelt bij transport van warmte. Straling en convectie bepalen voor het grootste deel het warmtetransport in of door een constructie. Straling is voor het grootste deel verantwoordelijk voor de inefficiëntie van alleen met lucht gevulde sponen. De lage isolatiewaarde wordt vaak, geheel ten onrechte, toegeschreven aan de convectiefactor; terwijl 50% tot 80% van alle warmtetransport (lees: warmteverlies) in de sponen plaats vindt door straling. Indien de luchtsponen voorzien zouden zijn van een heldere, metaalachtige laag op de aangrenzende oppervlakken, dan zou dat al heel veel warmteverlies tegen gaan. Heldere metaallagen stralen namelijk véél minder uit dan hout, steen, wol, papier, schuim e.d.

Warmtestraling

Thermische STRALING is de verplaatsing van energie door een ruimte middels elektromagnetische straling van verschillende golflengten. De zon straalt door miljoenen kilometers ruimte energie naar de aarde in o.a. licht, maar voornamelijk in zogenaamde infrarode stralen, warmtestralen. Maar de warmtebron hoeft niet per se de zon te zijn, en de ruimte niet zo groot. Elk object in ons universum, met een temperatuur boven het absolute nulpunt in Kelvin, straalt een hoeveelheid

Reflectiewerking: als u het écht wil weten!

infrarode straling uit in verschillende hoeveelheden. Deze stralen “reizen” door welke ruimte dan ook vanaf het oppervlak van het object naar een ander object dat het tegenkomt in die ruimte. Deze ruimte kan een millimeter zijn of miljoenen kilometers. Er is geen verschil.

De oppervlakte van een ijsberg, een muur, kleren, een kachel, een tafel, een boom, een stofdeeltje, een steen en noem maar op, ze stralen allemaal. Alle dingen hebben een bepaalde warmte(energie) in zich als de temperatuur ervan boven het absolute nulpunt van -273 graden Celsius is (0 Kelvin).

Zoals gezegd is de meeste straling onzichtbaar voor het menselijk oog. Zichtbare straling is wat wij noemen “licht”. Aan één zijde van het lichtspectrum treffen we ultraviolette straling aan en aan de andere zijde infrarode straling. Infrarode straling is inmiddels ook bij het grote publiek bekend. Het kleine gebied aan zichtbaar licht (paars, blauw, groen, geel, oranje en zichtbaar rood) vormt slechts 1 van de 66 bekende octaven aan stralingsbundels. De verschillende stralen hebben verschillende golflengten. Progressief langer aan één kant van het spectrum en progressief korter aan de andere kant van het spectrum. De stralen die liggen tussen één reeks van een bepaalde golflengte en een andere reeks die dubbel zo lang is (of half zo klein) noemen we een octaaf. Denk hierbij aan de octaven zoals die ook in de muziek worden gebruikt.

Lichtstralen zijn kort qua golflengte en veroorzaken weinig warmte. De echte warmteboosters zijn de infrarode stralen met hun grote golflengten over meer octaven. Wat nog wetenswaard is: **infrarode stralen** zijn onzichtbaar en hebben **géén temperatuur**. Pure energie! Warmtegolven reizen ongeveer even snel als het licht (bijna 300.000 km per seconde). Ze blijven reizen totdat ze tegen een ander object botsen. Dan worden ze geabsorbeerd door dat object of gereflecteerd. Meestal beiden.

Stralingsrichting

De stromingsrichting bij straling is van warm naar koud. Bij 2 oppervlakken boven het absolute nulpunt stralen beide oppervlakken energie uit. Alleen de netto straling tussen de 2 aangrenzende oppervlakken is van belang. **Infrarode stralen reizen in een rechte lijn in willekeurige richting vanuit elk punt op een oppervlak.** De grootste intensiteit hebben de stralen die loodrecht vanuit het stralende oppervlak komen. De stralingsintensiteit neemt af naarmate de stralingslijn evenwijdig aan het oppervlak nadert.

STRALING: DRIE PROCESSEN VAN BETEKENIS

Bij het uitstralen van warmte, zoals alle objecten doen, zijn drie processen van betekenis. Warmte afgifte (emissie) vanuit een object , omdat het warmte in zich heeft, noemen we emissiviteit. De andere twee zijn de mate waarin warmtestraling wordt opgenomen (absorptie) of wordt gereflecteerd/teruggekaatst (reflectie).

Reflectiewerking: als u het écht wil weten!

Voorbeelden aan de hand van het voetbalspel



Wanneer een speler de bal wegstapt, wordt de bal (vergelijk deze met een stralingsdeel) in beweging gezet door de energie/warmte in de speler zelf. Deze uitgaande beweging kunnen we vergelijken met het fenomeen emissie; het afgeven van warmte.



Wanneer de weggetrapte bal ergens door een speler wordt weggekopt in een willekeurige richting, dan kunnen we dat vergelijken met het reflecteren van warmte.



Zou de bal echter op de borst worden stilgelegd, dan is dat een voorbeeld van opnemen van warmte (absorberen).

Een andere analogie is die van een mitrailleur. Wanneer kogels een mitrailleur verlaten, door de opgebouwde warmte energie, dan kunnen we de kogels vergelijken met een bundel warmtestralen die vertrekken vanuit een object.

Stel dat alle kogels op een muur worden afgevuurd. Sommigen zullen in de muur blijven zitten (absorptie) anderen zullen wegkaatsen (reflectie). Het percentage kogels dat wordt geabsorbeerd of wordt weerkaatst is afhankelijk van het materiaal waarmee deze muur is gemaakt. Een zachte muur zal meer kogels opnemen dan een harde muur.

EMISSIONSVERMOGEN = UITSTRALEN VAN ENERGIE = AFGEVEN VAN WARMTE

De uitstraling van warmte (emissiviteit) vanuit een oppervlak is afhankelijk van de mate waarin dat zelfde oppervlak in staat is warmte in zich op te nemen, absorptie. Dit wordt gemeten door het aantal stralen dat wordt gereflecteerd uit te drukken in het aantal stralen dat zou worden opgenomen onder dezelfde omstandigheden zonder enige vorm van weerkaatsing (reflectie).

De mate waarin een oppervlak stralen terugkaatst is onafhankelijk van de afstand waarvan deze stralen komen. Dit kan miljoenen kilometers zijn, maar ook enkele centimeters zoals in veel luchtpouwen in gebouwen.

De emissiviteit van een materiaal is een fysieke eigenschap van dat materiaal. Net zoals de kleur, de vorm, de dichtheid fysieke eigenschappen van een materiaal zijn. De emissiviteit kan worden gemeten via gestandaardiseerde meettechnieken. Dus met moeilijke woorden: het geëmitteerd vermogen van een bepaald oppervlak is de mate waarin het in staat is warmte uit te stralen.

Reflectiewerking: als u het écht wil weten!

Zoals al eerder gezegd hebben alle materialen de eigenschap dat ze warmte uit stralen. Theoretisch drukken we dat uit in waarden variërend van 0 tot 1 (100%).

De term “emissiviteit” is dus de *relatieve mate van uitgezonden* warmtestralen vanuit het oppervlak van een object. Het is niet hetzelfde als de (*netto*) *hoeveelheid*, want die zal variëren met de tijdsduur, temperatuur, opslagcapaciteit etc.

Oppervlakte bepaalt emissiviteit

De emissiviteit van veel voorkomende materialen zoals hout, steen, glas, papier, maar ook van glas- en steenwol (!) ligt rond de 90%. Aluminiumfolie, gemaakt voor de isolatie industrie, heeft slechts een emissiviteit van 3%. Dat nadert dus de 0 op de schaal van emissiviteit.

Indien twee objecten, identiek in elk opzicht (vorm, gewicht, oppervlakte etc.), ten opzichte van een derde object worden geplaatst op gelijke afstand onder dezelfde hoek, dan is de mate van straling en de hoeveelheid straling over een bepaalde periode precies gelijk.

Onafhankelijk van het soort materiaal in bovenstaand voorbeeld: indien we één object zouden afdekken met een folie met 3% emissiviteit en één met 90% emissiviteit, dan zou de mate van warmte-uitstraling drastisch veranderen en dus ook de hoeveelheid uitgezonden warmtestraling van de twee objecten die anders 100% identiek zijn.

Een ander voorbeeld. We nemen 4 identieke, ongeverfde verwarmingsradiatoren. Een beschilderen we met aluminium. De ander met gewone verf, de derde bedekken we met asbest en de laatste met aluminiumfolie. Hoewel ze allemaal dezelfde temperatuur hadden, zal de radiator met de 3% emissiviteitskenmerken de minste warmte afgeven. De twee met gewone verf en asbest het meest omdat zij de hoogste emissiviteit hebben. Hoger dan de ongeverfde radiator en degene met de aluminiumverf. Zouden we het aluminium overschilderen met gewone verf, dan hebben we weer dezelfde emissiviteit (90%) als de gewone verf.

ABSORPTIE EN REFLECTIE

Wanneer energiestralen, van welke golflengte dan ook, het oppervlak van een object raken, dan zal de mate waarin de stralen worden geabsorbeerd leiden tot temperatuurstijging in dat object. Door middel van conductie (warmtegeleiding) zal de warmte zich verspreiden door het object. Infrarode stralen, met hun lange golflengten, wekken véél meer warmte op dan bijvoorbeeld lichtstralen met hun kortere golflengten. Denk maar aan de infrarode terrasverwarming. Stralen die niet worden geabsorbeerd, worden teruggekaatst / gereflecteerd. Er is een 1 op 1 relatie tussen reflecteren en absorberen. Een oppervlak met 90% emissiviteit heeft een corresponderende absorptie van 90% en een reflectie van 10%. Een oppervlak met 3% emissiviteit heeft een corresponderende absorptie van 3% en een hoge reflectie van 97%. Bepaalde kunststoffen (bijvoorbeeld polyethyleen) zijn vrijwel transparant voor infrarode stralen. Dit betekent dat ze geen straling absorberen, nog reflecteren. Ze zijn onzichtbaar voor het infrarood. Een PE luchtkussenfolie zal dus alleen isoleren op de factor conductie (warmtegeleiding) door stilstaande lucht. De thermische stralen trekken zich niets aan van een dergelijke luchtkussenfolie. Glas zal bijvoorbeeld het grootste deel van infrarode stralen absorberen, maar laat daglicht door. Hierdoor kunnen we dus door glas heen kijken.

Reflectiewerking: als u het écht wil weten!

De meeste oppervlakken van bouwmaterialen, inclusief de meest gebruikte isolatiematerialen, zijn goede warmte opnemers en slechte kaatsers. Meestal liggen de waarden rond 90% absorptie / emissie en 10% reflectie. Uitzondering zijn de materialen die zijn voorzien van een aluminiumhuid. De traditionele materialen zoals glas- en steenwol en (PUR)schuimen worden steeds vaker uitgevoerd met één aluminiumzijde. Dit principe is overgenomen van de multifolies.

1935

In de uitgave van "The architectural Record, 1935" is al te lezen: "Het is een feit dat praktisch alle bouwmaterialen, onafhankelijk van hun kleur in het licht, voor meer dan 90% zwart zijn voor infrarode stralen." Dit betekent ook dat spouwmuren, die begrensd worden door dit soort materialen, 90% van alle warmte opnemen en weer doorgeven. Metaalachtige materialen zijn daarom veel betere isolatoren.

Metalen zijn goede isolatoren

De oppervlakken van metalen zijn in het algemeen goede reflectoren van warmtestralen en nemen deze slecht op en geven weinig warmtestraling af. Een radiatorfolie achter de verwarming is echter erg effectief en spaart veel energie. Makkelijk en doeltreffend. De meeste gladde metalen hebben een reflectie van meer dan 95%. Zelfs gewoon staal reflecteert 75%.

ENERGIE SPAREN MET REFLECTIEFOLIE ACHTER UW VERWARMING

Vaak wordt de effectiviteit van 1 reflectiefolie achter de verwarming onderschat. Met bijgaand voorbeeld zult u zien hoeveel energie én hoeveel geld u met zeer eenvoudige maatregelen kunt sparen.



Stel dat de verwarming tegen een buitenmuur is gemonteerd. In een winterse situatie waarbij deze buitenmuur 0 graden is. De verwarming zelf is 60 graden.

In deze veel voorkomende situatie zal er een warmtestroomdichtheid van **335 W/m²** richting de muur gaan. U verwarmt dus de muur. Met een reflectiefolie erachter, kan de muur nog slechts **11 W/m²** ontvangen, de overige energie komt terug de ruimte in. ***Dit spaart niet alleen veel energie, maar geeft tevens een super comfortbeleving!*** Alsof u de terrasverwarming binnen heeft gezet.

ZONNESTRALING

's Zomers wordt het merendeel van alle warmtestraling van de zon geabsorbeerd door daken en muren. Deze zijn meestal van materialen met een emissiviteit / absorptie van rond de 90%. Veel van de warmtestralen wordt via conductie (warmtegeleiding) doorgegeven aan de koelere binnenzijde van de(spouw) constructie in daken en muren. De uitstraling aan de binnenzijde, door de ruimtes in een gebouw of huis is aanzienlijk met een emissiviteit van 90%.

Zwarte, non-ferro oppervlakken zoals bitumen, verf, papier, asfalt etc. zijn zeer slechte isolatoren. Of ze zich nu aan de binnenzijde of aan de buitenschil van een constructie bevinden; met 85% tot 95% voor zonnestraling (zon zendt mengelmoes van soorten stralen) en 90% tot 98% in spouwconstructies (voornamelijk infrarood).

1955

In de “ASHRAE Guide, 1955” pagina 95 staat beschreven dat witte verf, whitewash, witte stenen, en stucwerk in de buitenlucht best goed reflecteren met een reflectie van 30% tot 50%. Echter, deze reflecteren in spouwconstructies niet anders dan zwarte verf met een absorptie / emissiviteit van 85% tot 95%.

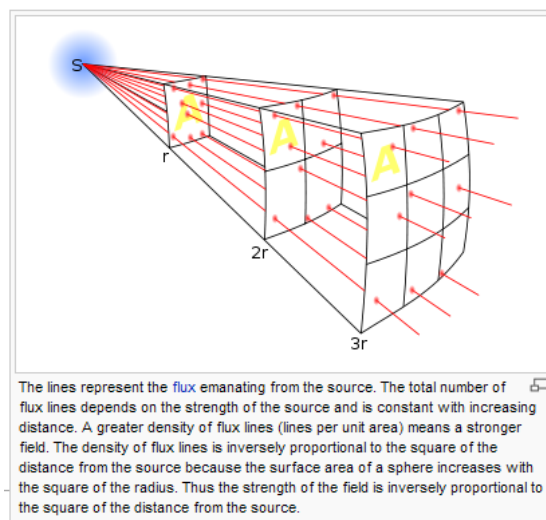
Stenen en beton in een spouwconstructie, van welke kleur dan ook, hebben altijd een emissiviteit van 85% tot 95%. Voor zonnestraling aan de buitenzijde van een muur hebben beton en rode stenen een absorptie van 65% tot 80%; terwijl gele en witte stenen 50% tot 70% warmte doorstralen.

Eén van de redenen voor het verschil tussen binnen- en buitenabsorptie en emissiviteit heeft te maken met het feit dat in spouwconstructies meestal geen (zon)licht binnenkomt. Alles is daar donker en kleurloos. Straling tussen 2 oppervlakken is hier beperkt tot alleen infrarood. Aan de buitenzijde geeft de zon een veelheid aan diverse soorten (octaven) straling af. Daarnaast zorgen de wolken en omgeving voor een bepaalde afzwakking en diffusie van de diverse soorten straling.

Reflectiewerking: als u het écht wil weten!

REKENKUNDIGE BEGRIPPEN MET BETREKKING TOT STRALING

Het is ons geluk dat er 2 factoren zijn die er voor zorgen dat we niet het volle pond aan zonnestraling op aarde te verhapstukken krijgen en de absorptie van alle infrarood. Deze factoren voorkomen dat we levend zouden verbranden door de warmtestraling. Enerzijds zorgt de atmosfeer ervoor dat 1/3 van alle stralen wordt opgevangen. Anderzijds beschrijft de "Inverse Square Law", hoe de intensiteit van straling afneemt bij het reizen door de ruimte. Het is niet zo dat de intensiteit per straal afneemt, maar het aantal stralen dat per oppervlakte eenheid wordt geraakt vermindert. Dit komt doordat vanuit elk punt op een straler de stralen vertrekken in alle mogelijke richtingen. Hoe verder weg van een stralingsbron, hoe minder op een beperkt oppervlak aan straling kan komen. De stralen zelf reizen met onverminderde energie (!), onafhankelijk van tijd en ruimte. Hier volgt een plaatje (Wikipedia: Inverse Square Law) om dit laatste principe duidelijk te maken:



Ditzelfde fenomeen zie je ook als je voor een schijnende lamp gaat staan. Sta je dichtbij, dan heb je een grote schaduw. Sta je verder weg, dan heb je een kleinere schaduw. Eigenlijk is dit fenomeen bij warmte transport in gebouwen van zeer ondergeschikt belang. Meestal staan spouwen dicht op elkaar en de oppervlakken parallel aan elkaar. Voor de volledigheid heb ik het toch even genoemd.

Een ander rekenkundig fenomeen die de Stefan Boltzmann Wet wordt genoemd, heeft te maken met het verschil in geëmitteerd vermogen. Dit vermogen stijgt met de vierde macht van de absolute temperatuur (uitgedrukt in Kelvin K) van de straler. Dus hoe warmer een materiaal is, hoe slechter het isoleert.

Andere rekenkundige begrippen zijn gebaseerd op de verschuivingswet van Wien en de Wet van Kirchhoff. Het is maar dat je ervan hebt gehoord.

's Nachts wordt de geabsorbeerde warmte door de stofdeeltjes, vocht en gassen in de atmosfeer aan ons doorgegeven. Anders zouden we door de nachtelijke uitstraling (afwezigheid van zon) letterlijk doodvriezen.

Zonnestralen hebben geen temperatuur

Zonnestralen zelf hebben géén temperatuur op hun reis door het universum. De absorptie door de oppervlakte van de aarde zou zorgen voor opwarming *in de aarde alleen*. Het zijn vooral de stofdeeltjes rond de aarde die de stralen absorberen en omzetten in warmte en er dus voor zorgen dat het leven in aangename temperaturen mogelijk is. Natuurlijk is er ook straling vanuit de aarde naar de stofdeeltjes en in de warmere regionen van de aarde naar de mens. Er is zelfs conductie in warme streken van de aarde naar de voeten van de mens. Omgekeerd is er in koude streken of omgevingen conductie (warmtegeleiding) van de voeten naar de aarde of vloer. Hiervoor hebben we bv. vloerverwarming uitgevonden. Beschikken we over een kruipruimte, dan is het plaatsen van één of meer aluminium folies onder een vloer méér dan aan te bevelen.

GEMIDDELDE TEMPERATUREN EN TEMPERATUUR VERSCHILLEN

Naast de emissiviteit van oppervlakken, speelt ook het *temperatuurverschil* tussen 2 oppervlakken met een luchtlaag ertussen (een spouw) een zeer belangrijke rol bij warmtetransport door straling. Evenals de gemiddelde temperatuur, alleen niet in het geval van isolatie op basis van reflectie. Een verhoging in temperatuur leidt tot meer stralen vanuit elk punt op een oppervlakte en tot meer stralen met een hogere frequentie en meer energie dan stralen bij een lagere temperatuur.

1954 In de "ASHRAE Guide, 1954" pagina 178: "De stralingscoëfficiënt wordt beïnvloed door het verschil in temperatuur tussen twee aangrenzende oppervlakken en hun respectievelijke emissiecoëfficiënt en is praktisch ongevoelig voor de breedte van een luchtspouw tussen die twee oppervlakken."

Temperatuurverschil en **gemiddelde temperatuur** zijn termen die veel voorkomen bij luchtsponwen en isolatievraagstukken. Voorbeeld: In een spouwconstructie is één kant 10 graden en de andere kant 50 graden. . Het temperatuurverschil bedraagt $50 - 10 = 40$ graden. We spreken dan van een gemiddelde temperatuur van $(10+50) / 2 = 30$ graden.

"Voor de meeste isolatiematerialen geldt dat de conductiefactor stijgt met de gemiddelde temperatuur. Dat is niet het geval bij reflectiefolies."

Hoe groter dus het temperatuurverschil tussen twee parallelle oppervlakken, hoe groter de netto warmtestroom tussen het warme en koudere oppervlak. Zeker gezien het feit dat uitgestraald vermogen stijgt **met de vierde macht** van de absolute temperatuur Kelvin. (Wet Stefan Boltzmann)

Hoe dan ook zal de netto warmtestroom bij dalende temperaturen meedalen. **Dit betekent tevens dat het gebruik van meer lagen reflecterend materiaal op een afstand effectief is.** Dit uit zich in de wet van vermeerderde opbrengsten. De "Law of appreciating Returns".

Het transport van warmte door middel van straling in een spouwruijnte zal toenemen als de gemiddelde temperatuur in die spouwruijnte stijgt; ook al blijft het absolute temperatuurverschil gelijk. Zoals eerder uitgelegd is dit het gevolg van het feit dat warmere oppervlakken méér stralen per tijdseenheid uitstralen vanaf eenzelfde punt op die oppervlakken. De toename van het stralingsvermogen (geëmitteerd vermogen) is niet recht evenredig met de toename van de temperatuur maar groeit met de **vierde macht** van de absolute temperatuur Kelvin. Een voorbeeld

Reflectiewerking: als u het écht wil weten!

hiervan heb ik opgenomen in onderstaand rekenmodel. Hier is duidelijk te zien dat bij een zelfde temperatuurverschil, maar bij hogere temperaturen het uitgestraalde vermogen toeneemt.

Temp. 1	Temp. 2	Temp. verschil	Geëmitteerd vermogen in W/m ²
10	60	50	286
-30	20	50	189
-50	0	50	150

Tabel met berekening conform Wet Stefan-Boltzmann

Wie meer details wenst, is welkom om dit op te vragen bij de auteur van dit stuk. Het is in het belang van ons allemaal om de kennis betreffende goed isoleren, en welke materialen goed werken, bij iedereen bekend is. Het blijft verbazingwekkend dat deze (oude) wetenschap overal wordt toegepast maar in de bouw vaak wordt tegengehouden.



DEMONSTRATOR is unconcerned by roaring flames as he rescues dummy from behind wheel of auto. Flexible material is as light as ordinary suit and coat.

FIRE FIGHTING SUIT WITHSTANDS TEMPERATURES OF 2,500° F.

Sunday's N.Y. News, Feb. 6, 1955, showed the new Fire Fighting Suit in action. It was reported to withstand temperatures up to 2,500° F. The suit was made with flame-resistant fabrics and metallic layers covered with aluminum.

They said the new suit "works on the principle of heat reflection. Because of its aluminum foil surface, 95% of the heat bounces off. What's equally important, temperatures inside the suit remain normal..."

1944

In zijn boek "Thermal Conductivity Tests and Results, 1944" beschrijft professor Allcut op pagina 13: "De meeste isolatiematerialen zijn gebaseerd op ingesloten luchtcellen. "De isolatiewaarde wordt gebaseerd op deze stilstaande lucht. Er mag worden verondersteld dat onder verschillende omstandigheden de geleidende eigenschappen nauw variëren met de eigenschappen van de ingesloten lucht. Hoewel overige eigenschappen zoals de materiaalstructuur en samenstelling ook van invloed zijn." Deze conclusie wordt onderstreept door het feit dat vrijwel alle isolatiematerialen een stijgend geleidend vermogen vertonen bij stijgende gemiddelde temperaturen. Dit is gelijk aan het gedrag van lucht bij stijgende gemiddelde temperaturen.

REFLECTIE WERKT TOCH ALLEEN IN DE RUIMTE(VAART)?

Het is niet altijd duidelijk waardoor bepaalde gedachtegangen gemeengoed zijn geworden. Het werken met reflectie is wellicht ontstaan uit een behoefte in de ruimtevaart, maar de natuurkundige principes werken op aarde hetzelfde als in de ruimte. Reflectie heeft ruimte nodig om te functioneren. Ruimte betekent in dit opzicht een luchtlaag, een vacuüm of een afstand tussen 2 objecten. Zonder afstand zou er sprake zijn van contact en zou alleen geleiding (conductie) een rol bij warmtetransport een rol spelen. **Reflectie werkt overal, zowel op aarde als in de ruimte!**

Wanneer een reflecterend oppervlak contact maakt op enig punt met een plafond, wand of vloerdeel, dan zal op dat contactpunt het reflecterend vermogen volledig verdwijnen en leiden tot een deel extra warmtegeleiding (conductie). Tegenwoordig beschikken we over mooie infrarood transparante kunststoffen, die bij een juiste toepassing, uitstekend geschikt zijn om als luchtlaag te dienen tussen reflecterende folies. Hierbij dient te worden opgemerkt dat deze niet gelamineerd of geplakt mogen zijn, omdat er anders sprake is van contactoppervlakken die leiden tot conductie (warmtegeleiding). Dit principe wordt door veel fabrikanten onderschat, waardoor de isolerende werking van hun multi reflecterende folies niet altijd optimaal is.

REFLECTERENDE OPPERVLAGKEN IN EEN RUIMTE

Het is een misvatting dat bij warmte doorgifte via straling in een (spouw)ruimte dat een reflecterende folie altijd aan één bepaalde zijde zou moeten zitten. **Voor zover het warmtetransport door straling betreft, maakt het niets uit of een folie aan de warme of koude zijde van een spouwconstructie zit.** *Het kan wel van invloed zijn op de vochthuishouding (!) in een spouw, maar dat is een heel ander, niet onbelangrijk, onderwerp.*

Eén laag aluminium **in het midden** van een spouwconstructie verdeelt deze spouw in 2 temperatuurzones en creëert op deze manier twee effectieve stralingsbarrières op hetzelfde moment. Eentje aan elke zijde van de folie. Dit is onafhankelijk van de richting van de horizontale warmtestroom. De kant die gericht is op de warme zijde zal slechts 3% absorberen en 97% reflecteren. Gelijktijdig en onafhankelijk zal de andere zijde 3% doorstralen / emitteren.

Elke reflecterende laag, hoe dun dan ook, zal bij een **opwaartse warmtestroom** net zo goed presteren als ongeveer 16mm standaard isolatie op basis van stilstaande lucht. Bij een opwaartse warmtestroom zal één laag dubbel reflecterende folie, met aan beide zijden een luchtruimte, net zo goed functioneren als 25mm standaard isolatie. Om nog beter te isoleren, kan dit principe worden herhaald, dus meer lagen reflecterende folie boven elkaar met steeds een spouw ertussen.

50% TOT 93% VAN ALLE WARMTETRANSPORT GEBEURT VIA STRALING

Afhankelijk van de richting van een warmtestroom, naar boven, naar beneden of horizontaal zoals door wanden, is straling verantwoordelijk voor het grootste deel van alle warmtetransport. *De mate waarin is afhankelijk van de rol die convectie speelt in diverse omstandigheden.*

Reflectiewerking: als u het écht wil weten!

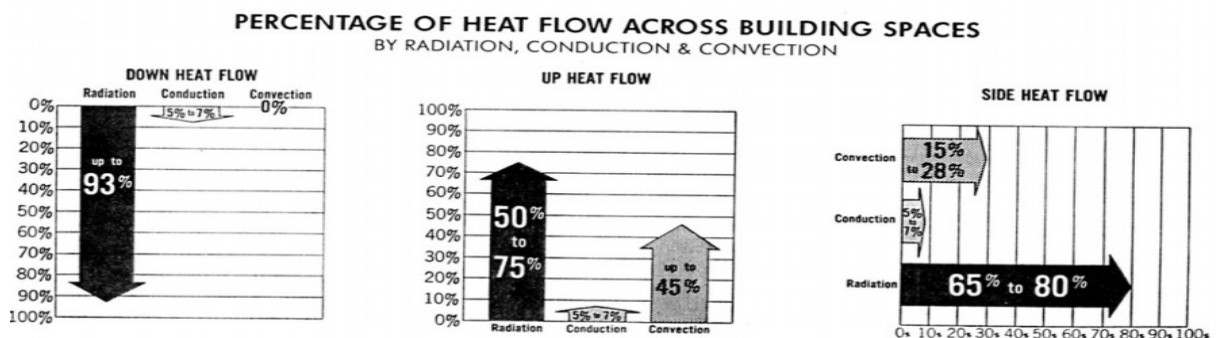
WARMTETRANSPORT DOOR MUUR EN DAK

Muren en daken zijn meestal voorzien van een spouw of luchtruimte. Dit zorgt voor een minimalisering op het gebied van conductie (geleiding). Echter, conductie is slechts verantwoordelijk

voor 5% tot 7% van alle warmtetransport in willekeurige richtingen. Convection (luchtverplaatsingen) neemt al een groter aandeel in bij warmtetransport. Ongeveer 15% tot 28% in wanden en tot 45% in plafonds en daken. **Straling blijft echter in alle gevallen grootaandeelhouder.** Daarom is door het beperken van straling de grootste isolatiewinst te halen, toch wordt dit vaak over het hoofd gezien. Je kunt dit vergelijken met kostenbesparingen in een bedrijf. In een uitgavenbudget van 1 miljoen ga je niet kijken of je kunt besparen op de post van 1000 euro, maar kijk je naar de post van 250.000 euro. Daar kun je immers het meeste voordeel halen.

"BTU TRANSFERRED PER HOUR PER SQUARE FOOT BY CONDUCTION, CONVECTION AND RADIATION"

	Case 1	Case 2	Case 3
Conduction	21	21	23
Convection	92	92	23
Radiation	206	20	7
Total	319	133	53"



Het volgende voorbeeld is genomen uit het boek "Air Spaces Bounded by Bright Metallic Surfaces", van de ASHRAE, American Society of Heating and Air Conditioning Engineers. *Het is opmerkelijk te constateren dat mensen uit de installatietechniek vaak beter op de hoogte zijn van reflectiewerking dan mensen uit de isolatiebranche.* Maar dit terzijde.

Reflectiewerking: als u het écht wil weten!

Het voorbeeld:

Het betreft een spouwconstructie van bijna 4 cm breed.



CASE 1: – Uninsulated wall space. The surfaces of ordinary building materials have an emissivity of more than 90%, and a heat ray absorption rate of over 90%. Air has low density, so Conduction through wall space is slight, only 21 BTU's. There is nothing to block convection, by which are transferred 92 BTU's. **Note: 206 BTU's out of total 319 BTU's going across this wall space was Radiation, or 65% of the total flow of heat.**

CASE 2: – The same wall space except that inner surfaces were lined with sheets of metal of 15% emissivity and absorptivity. (Aluminum foil has only about 3% emissivity and absorptivity.) Note drastic drop in heat flow by Radiation, from 206 BTU's to 20 BTU's. Conduction (the same air space), remains the same. With nothing to retard or block its passage, Convection remains the same. (Conduction and Convection are not affected by emissivity.) Original total of 319 BTU's dropped to 133 BTU's.

CASE 3: – Two sheets of 15% emissive metal divide the wall space into 3 reflective spaces. (prefabricated multiple aluminum insulation is available with 4 and 6 reflective spaces.) Heat loss by Radiation dropped to 7 BTU's against original 206 BTU's, or 94%. The 2 sheets block Convection so that its flow fell from 92 BTU's to 23 BTU's, or 75%. Conduction rose insignificantly, only 2 BTU's; from 21 to 23 BTU's, despite the presence of all that metal, because they were separated by low density, low conductive air spaces. **The total flow in BTU's dropped 85%, from the original 319 to 53 BTU's.**

EEN WARMTESTROOM VAN BOVEN NAAR BENEDEN

Een warmte stroom van boven naar beneden bij een horizontale spouw, bijvoorbeeld in daken, brengt een specifieke eigenschap met zich mee: **de afwezigheid van convectie (luchtstroming)**. Door het ontbreken van convectie is er een aanzienlijk verschil in conductie (warmtegeleiding) die neemt af bij een neerwaartse warmte stroom door een luchtlaag. Waarom? Omdat er geen neerwaartse convectie bestaat. Verwarmde lucht is lichter dan koude lucht en stijgt. Een conductiestroom via lucht in deze situatie, door bewegende lucht moleculen, is verwaarloosbaar; er blijft slechts nog sprake van stralingswarmte door de horizontale luchtspouw. Dus:

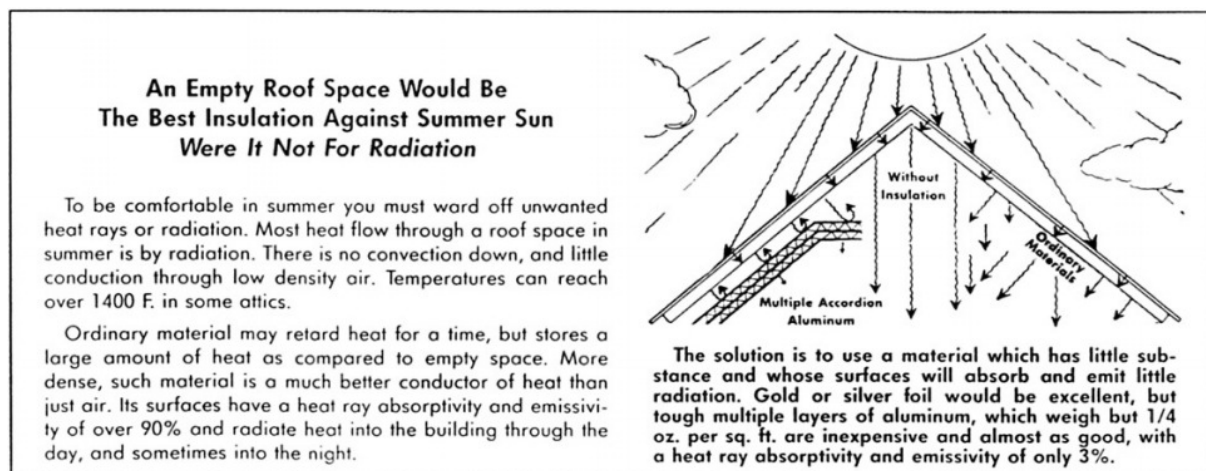
“Bij warmte transport tussen 2 horizontale, vlakke oppervlakken, waarbij het bovenste oppervlak warm is en het onderste koud is alleen sprake van conductie (warmtegeleiding) en straling. In alle andere gevallen is er sprake van alle drie de fenomenen convectie, conductie (warmtegeleiding) én stralingswarmte.”

Nu we dit weten, is het niet meer dan logisch dat we vanaf heden in onze eigen gebouwen een reflecterende laag onder het dak zetten. Immers houden we op deze manier in de zomer 97% van alle straling via het dak buiten en de ruimten koel. 's Winters is er minder energie nodig om de ruimten warm te houden. Daarnaast is de gevoelstemperatuur optimaal.

1949

“Progressive Architecture, 1949” blz. 76.: “Een ander voordeel van de toepassing van reflecterende folies, is dat deze zeer dunne materialen (en dus heel weinig massa) geen warmte in zichzelf kunnen opslaan. Dit betekent dat ’s zomers, gedurende hete dagen, ’s nachts géén warmte wordt afgegeven. Dit in tegenstelling tot minerale wollen of schuimen, die met een absorptie en dus emissiviteit van 90% blijven stralen. Aangezien we steeds meer te maken hebben met warmere zomers, kunnen we veel besparen op energiekosten voor airco’s die langzamerhand overal moeten worden geïnstalleerd.

In hetzelfde boek op blz. 833 staat ook nog: “Het warmte transport bij gangbare isolatiematerialen geschiedt hoofdzakelijk door conductie (warmtegeleiding). Bij luchtpouwen die zijn afgesloten met reflecterende folies hoofdzakelijk door convectie. Alleen is er geen convectie bij neerwaartse warmtestromen. Alleen bij opwaartse of zijdelingse warmtestromen.”



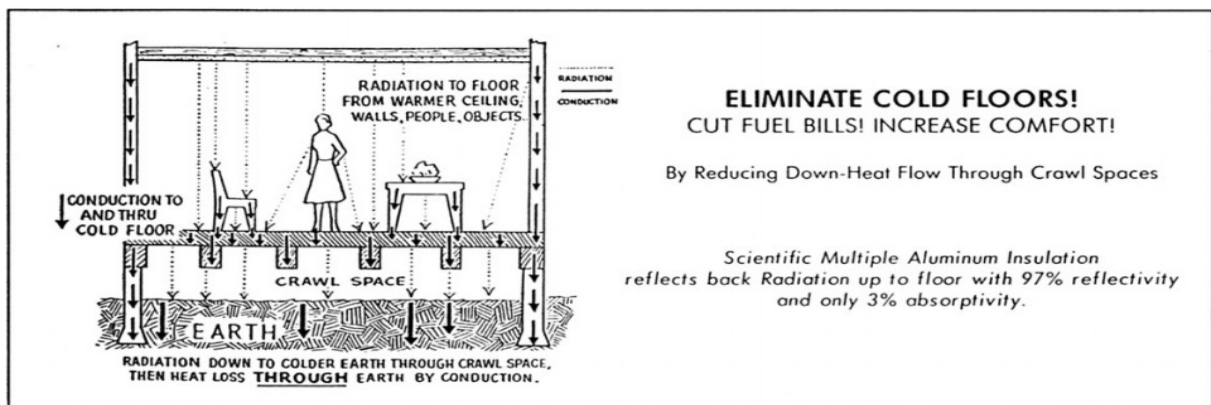
WARMTEVERLIES DOOR KELDERS EN KRUIPRUIMTEN

Indien wanden en plafonds warm zijn en de vloeren koud verliest u een groot deel aan comfort via de vloeren. Zoals eerder uitgelegd, stroomt warmte altijd van warm naar koud in elke richting door warmte transport via geleiding en straling. De plafonds, wanden, meubels, mensen en zelfs de stofdeeltjes in de lucht stralen onzichtbare stralen van warmte richting de vloer. Deze vloer absorbeert gemiddeld voor 90% alle straling en geeft die weer via conductie (warmtegeleiding) door aan de kruipruimte, kelder. Aan de onderzijde wordt deze weer voor 90% doorgestraald (temperatuurloos) om daarna de aarde weer op te warmen. Dit geldt ook voor de raakvlakken van de meubels, wanden, voeten van de mens enz. Zij geven via direct contact (conductie) hun warmte af aan de vloeren en uiteindelijk via straling aan de aarde.

Bij een juiste installatie van een reflecterende folie in de kruipruimte of kelder, wordt 97% van alle stralingswarmte teruggegeven aan de vloer. Koude vloeren, waarvan u koude voeten krijgt, worden warmer en de stookkosten dalen.

STILSTAANDE OF “DODE”LUCHT

Echt stilstaande lucht bestaat alleen in theorie. Alles in het universum beweegt en trilt continu. Ook die dikke steen langs het water en ook de stilstaande lucht in een perfect afgesloten ruimte. Afgezien van de situatie waarin de warmtestroom van boven naar beneden gaat, is convectie onvermijdelijk bij temperatuurverschillen tussen 2 oppervlakken. Daarnaast is het zo dat lucht altijd een bepaalde massa heeft, waardoor bij temperatuurverschillen altijd een vorm van conductie (warmtegeleiding) optreedt. Ten slotte zou ook bij “stilstaande lucht” straling voor 50% tot 93% verantwoordelijk blijven voor warmte doorgave in willekeurige richtingen. **Zelfs door een (absoluut) vacuüm beweegt warmtestraling zich vrij , zoals het dat ook doet door de ruimte.**



GROTERE RUWHEID VAN EEN OPPERVLAKE VERHOOGT CONDUCTIE (WARMTEGELEIDING)

Oppervlakte conductie (warmtegeleiding) neemt toe met de ruwheid van een oppervlakte. Hoe ruwer een oppervlak is, hoe meer netto oppervlak er is door de onregelmatigheden en meer contactoppervlak voor convectie en conductie (warmtegeleiding). Daarom wordt er voor koeling in pc's en elektronica altijd met koelribben gewerkt. Denk ook aan een radiator in de auto die voorzien is van zoveel mogelijk oppervlak.

Het warmtetransport door convectie en conductie (warmtegeleiding) wordt dus bepaald door de oppervlaktestructuur, de hoeveelheid convectie en het temperatuurverschil tussen de convectielucht en het oppervlak.

Hoe gladder een oppervlak is, des te minder de bijdrage aan de conductie (warmtegeleiding). Twee studies hebben aangetoond dat de ruwheid van een oppervlak bijdraagt aan een hogere conductie coëfficiënt bij gelijkblijvende luchtsnelheid en temperatuur. Dit geldt ook bij isolatie- en bouwmaterialen.

CONDUCTIE (WARMTEGELEIDING) IN LUCHTSPOUWEN

De conductie (warmtegeleiding) in een luchtspouw is afhankelijk van het temperatuurverschil, de hoogte, de diepte, de hellingshoek en de soort- en gesteldheid van de oppervlakken in een spouw. Voor zover het stralingsoverdracht betreft maakt de richting van de stroom niets uit. Anders is het bij convectie.

Reflectiewerking: als u het écht wil weten!

Empirisch onderzoek heeft plaatsgevonden om uit te vinden welke *breedte* bij gewone spouwen en spouwen voorzien van reflecterend materiaal, de beste isolatiewaarde opleveren. Tevens is onderzocht welke invloed oppervlakte temperatuurverschillen en gemiddelde temperatuurverschillen hebben op de isolatiewaarden van een spouw.

Geconstateerd wordt dat wat betreft stralingsoverdracht de breedte van een spouw er bijna niet toe doet. Wel temperatuurverschillen.

Conductie (warmtegeleiding) en convectie (luchtstroming) worden wél beïnvloedt door de breedte van een luchtspouw en temperatuurverschillen, maar niet door de warmte uitstraling. De richting van de warmtestroom beïnvloedt alleen de convectie.

Bij een horizontale warmte stroom, zoals bij spouwmuren, daalt de conductiefactor in een verticale toepassing bij een toenemende breedte tot een breedte van 20mm. Boven de 20mm wordt het verschil steeds minder tot verwaarloosbaar. Tevens is waargenomen dat spouwruimten die kleiner zijn dan 6,5mm bijna 100% de curve van pure conductie (warmtegeleiding) volgen, dus alsof er geen spouw is. Dit geldt bij alle richtingen van warmtestromen.

De richting van de warmtestroom in ogenschouw nemende, kunnen we constateren dat de conductiecoëfficiënt bij resp. warmte stroom omhoog, omlaag en horizontaal zich dit verhoudt als 1,32 : 0,94 : 1,10. Zouden we de wanden van een spouw voorzien van reflectie met een emissiviteit van 5%, dan wordt deze 0,5 : 0,175 : 0,357. Delen we een spouw op in meer compartimenten van dunne, laag emissieve spouwen (maar niet te klein, zie vorige alinea) dan leidt dit tot verdere afname van de conductie factor.

OPTIMALE AFSTAND VOOR ALUMINIUM REFLECTIEFOLIES

Verschillen in temperatuur, gemiddelde temperatuur en richting van de warmte stroom

In de volgende onderdelen wordt uitgelegd hoe en waarom multifolies zo effectief zijn.

HORizontALE WARMTESTROOM DOOR REFLECTIESPOUW

Om de minste conductie (warmtegeleiding) te hebben in een verticale (reflectieve) spouw is de optimale breedte ongeveer 20mm. Wordt de spouw smaller gemaakt, bij dezelfde temperaturen, dan blijft de stralingswarmte gelijk en zal de convectie afnemen.

De maximale isolatiewaarde kan worden bereikt door een serie van reflectiefolies op een vaste afstand van 8mm van elkaar te zetten bij een horizontale warmtestroom. Hoewel deze afstand kleiner is dan de optimale 20mm, resulteert deze opdeling in een temperatuurdaling per laag waardoor zowel convectie als het geëmitteerd vermogen van de aluminiumfolie omlaag gaat (met de vierde macht van de absolute temperatuur in Kelvin).

Bij optimale multifolies worden deze afstanden gerespecteerd. De bijbehorende isolatiewaarden zijn gestandaardiseerd in de **ISO 6946 en NL NEN 1068**.

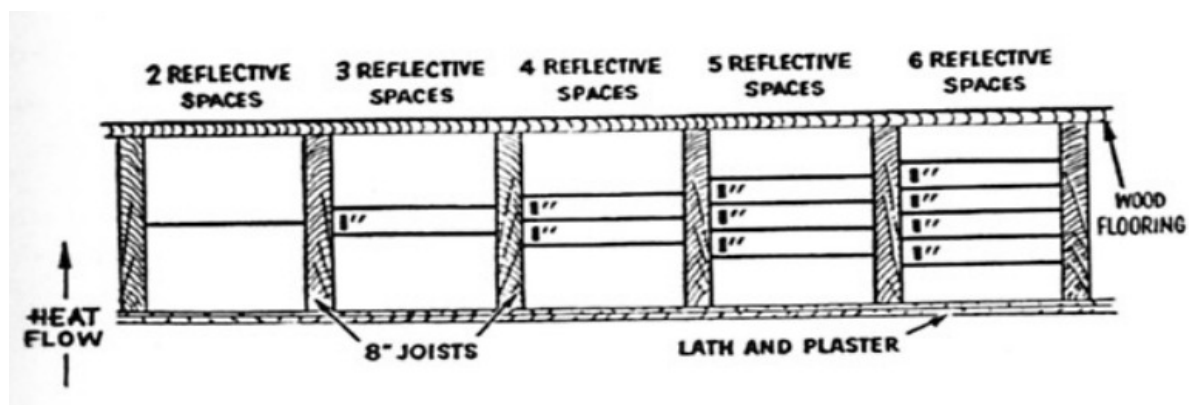
Reflectiewerking: als u het écht wil weten!

VERTICALE WARMTESTROMEN DOOR EEN REFLECTERENDE SPOUW

De isolatiewaarde van een luchtspouw, zowel bij een opwaartse— als bij een neerwaartse warmtestroom, zal beter worden naarmate de spouwafstand groter wordt. De meeste winst wordt gehaald in de eerste 20mm. Uitgezonderd de situatie van een neerwaartse warmtestroom, zal het verschil in toenemende isolatiewaarde van een reflecterende horizontale spouw toenemen met minder dan 15% voor elke afstand groter dan 20mm.

Veel belangrijker is het feit dat de isolatiewaarde van een reflectiespouw, met een willekeurige warmtestroomrichting, significant beter wordt indien de temperatuur van de tegenovergestelde oppervlakken daalt. En daarmee daalt ook de convectie. Dit is belangrijk omdat (behalve bij neerwaartse warmte) het halveren van de temperatuur veel effectiever is dan het variëren met spouwafstanden.

Dit is ook de reden, dat bij méér lagen reflecterende folies achter elkaar (bij een opwaartse- of zijdelingse warmtestroom) er sprake is van een aanzienlijke meeropbrengst van de isolatiewaarde. Laten we dit bekijken a.d.h.v. een voorbeeld:



Laten we uitgaan van een opwaartse warmtestroom tegen een plafond zoals dat voor velen een bekende situatie zal zijn. Laten we uitgaan van een balkenlaag van ongeveer 20 centimeter hoog met normale, constante oppervlaktetemperaturen. Op de tekening is het eerste compartiment verdeeld in 2 gelijke ruimtes door middel van een reflecterende folie. Het tweede compartiment is verdeeld in drie stukken met een afstand van 20mm tussen de 2 reflecterende folies. De opdeling loopt zo door totdat er uiteindelijk 6 ruimtes ontstaan tussen de balken.

We zullen constateren dat de isolerende waarde van elk van de vijf compartimenten zal toenemen al naar gelang er meer folies worden toegepast. Met andere woorden: elke laag van 20mm tussen de balken in het vijfde compartiment heeft een grotere isolerende waarde dan dezelfde 20mm in een compartiment met minder opdelingen. Dit betekent dat de totale isolatiewaarde in het vijfde compartiment meer dan 2 keer beter is (200%) dan de drie lagen in het tweede compartiment. De verklaring is eenvoudig: bij elke laag neemt het verschil in temperatuur af en daarmee het uitgestraalde vermogen. Tevens wordt de convectiestroom beperkt.

Conclusie: Hoe meer lagen, hoe minder de last van temperatuurverschil per laag, hoe groter de isolatiewaarde.