

Europese harmonisatie en complexe berekeningen

# Meten aan de isolatiewaarde van een materiaal



**Producenten van isolatiematerialen moeten hun producten laten testen door een bureau dat daartoe gecertificeerd is. De gemeten waarden zijn bouwstenen voor de berekening van gewenste isolatiewaarde van gevels, daken en vloeren. Een artikel van Peutz' Laboratorium voor Bouwfysica over de bepaling van de isolatiewaarde.**

Regel één van de klassieke *trias energetica* gaat over het terugbrengen van de energievraag. Dit klinkt ook door in bijvoorbeeld het eerste Beng-criterium. Praktisch gezien begint dat met goed isoleren. Daarvoor zijn tal van isolatieproducten op de markt. Maar met welk materiaal bereik je in bijvoorbeeld de gekozen gevelconstructie de gewenste isolatiewaarde? Met andere woorden: wat is de isolatiewaarde van het materiaal? Hoe wordt die bepaald? De auteurs van dit artikel, beide bouwfysicus, doen een poging dit complexe onderwerp uit te leggen en schuwen de technische diepgang niet. Voer voor de geschoolde bouwfysici onder de lezers.

## Europese richtlijnen

De Richtlijn bouwproducten (CPR, Construction Products Regulation) bevat geharmoniseerde regels voor het op de markt brengen van bouwproducten in de EU. Het bevat ook methoden en criteria voor het beoordelen en uitdrukken van de prestaties van bouwproducten. Dat is soms een hele zoektocht. Volgens de CPR moeten fabrikanten – als er een bepaalde geharmoniseerde productnorm of Europees beoordelingsdocument (EAD, European Assessment Document)

beschikbaar is – voordat ze het product op de markt brengen een zogenaamde prestatieverklaring (DoP, Declaration of Performance) opstellen. Vervolgens moet een CE-markering op het product worden aangebracht, die aangeeft dat de prestaties van het product zijn beoordeeld en dat deze constant blijven (Richtlijn bouwproducten). Als een product als isolatiemateriaal in de markt wordt gezet, dan is de thermische weerstand (of warmtegeleiding) in ieder geval een essentieel prestatiekenmerk.

In de praktijk kunnen producten uit samengestelde constructies bestaan waarbij meerdere materialen zijn gebruikt, bijvoorbeeld een kozijn. De isolatiewaarde van deze categorie producten wordt veelal bepaald op basis van berekeningen volgens bepaalde normen. De input voor de berekeningen is dan meestal wel afkomstig van metingen. Er zijn ook uniforme materialen die toegepast worden als isolatielaag. In dit artikel hebben we het over deze categorie. Overigens kan een isolatiemateriaal uit verschillende materialen bestaan en toch tot de uniforme materialen gerekend worden – zolang deze maar uniform en gelijkmatig in het product aanwezig zijn, zoals vaak in biobased producten.

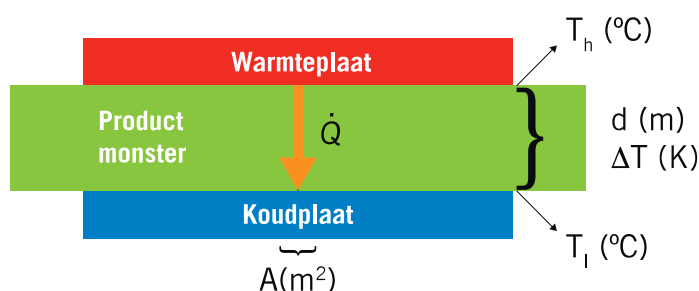
## Isolatiewaarde bepalen

Er zijn verschillende methoden om de warmtegeleiding van een materiaal te meten. Deze kunnen in twee groepen verdeeld worden, afhankelijk van het temperatuurveld: (i) instabiele methoden en (ii) stationaire methoden.

Instabiele methoden zijn geschikt voor veldmetingen waarbij de meetomgeving niet gecontroleerd kan worden. Hiertoe behoren zogeheten *hot disk/hot wire-* en *laser flash-methoden*, die een nauwkeurigheid met een marge van 5 tot 10 procent kunnen leveren.

Voor hogere nauwkeurigheden zijn stationaire methoden nodig. Twee van de meestgebruikte zijn de warmtestroommeter (*heat flow meter*, HFM) en de afgeschermd hete plaat (*guarded hot plate*, GHP). Bij deze methoden worden de productmonsters in een apparaat tussen een koude en een warme plaat geplaatst, waar een bepaald constant temperatuurverschil wordt gecreëerd (zie schema). De thermische geleidbaarheid van het monster ( $\lambda$  in W/m·K) kan dan worden bepaald op basis van de metingen van de warmtestroomsnelheid ( $\dot{Q}$  in W, watt), de dikte van het monster ( $d$  in meter), het temperatuurverschil over het monster ( $\Delta T$  in K, kelvin) en het meetoppervlak ( $A$  in vierkante meter):

$$\lambda = \frac{\dot{Q} d}{\Delta T A}$$



Schema van warmteoverdrachtsmetingen met HFM- en GHP-methoden voor een enkel monster.

Een van de belangrijkste verschillen tussen HFM- en GHP-methoden is de manier waarop de warmteoverdracht door het proefstuk wordt gemeten. Bij de HFM-methode wordt de dichtheid van de warmtestroom gemeten met een of twee warmtestroommeters die tegen het monster zijn geplaatst. Daarom wordt de HFM-methode beschouwd als een secundaire methode. Dat betekent dat deze gekalibreerd moet worden met behulp van standaardmonsters. Deze kalibratie moet het hele gewenste warmtestroombereik bestrijken (hoger voor materialen met een lage warmteweerstand zoals beton en lager voor isolatiematerialen zoals minerale wol). Het is mogelijk om met deze methode de warmteoverdrachteigenschappen te bepalen met een nauwkeurigheid van circa 3 procent. Meer informatie over de HFM-methode is te vinden in ISO 8301:1991 en NEN-EN 1946-3:1999.

Aanbevolen wordt om de oppervlakken te bewerken (schuren, slijpen, zagen et cetera) om een vlakke oppervlakteafwerking te verkrijgen met minder contactweerstand

### Metingen bij Peutz

Bij de GHP-methode wordt de warmtestroom bepaald door het meten van het elektrisch vermogen dat aan de warme plaat wordt geleverd. Dat gebeurt onder strikt gecontroleerde omstandigheden. Bij het ontwerp van het apparaat zijn speciale voorzieningen getroffen, zoals

verwarmingselementen, koelers en een isolatielaag, om een optimale warmteoverdracht door het monster te verkrijgen. Vanwege de manier waarop de warmteoverdracht wordt bepaald, wordt deze methode beschouwd als een primaire (absolute) meetmethode. Met deze methode kan een meetnauwkeurigheid van circa 2 procent of lager worden bereikt. Meer informatie over deze methode is beschikbaar in ISO 8302:1991 en NEN-EN 1946-2:1999.

In het Laboratorium voor Bouwfysica van Peutz bepalen we met deze GHP-methode de warmtetransfereigenschappen van materialen – zoals warmtegeleiding, warmtedoorgangscoefficiënt en warmteweerstand. Dit vindt plaats met een GHP-apparaat voor een enkel monster, waarbij slechts één monster tussen een warme en een koude plaat wordt getest. Het is ontworpen en vervaardigd in overeenstemming met ISO 8302, EN 1946-2, EN 12664, EN 12667 en EN 12939 en heeft de volgende specificaties:

Parameter	Minimum	Maximum
Monster dikte (mm)	10	200**
Monster lengte (mm)	150	500*
Monster breedte (mm)	150	500*
Warmteweerstand (m <sup>2</sup> ·K/W)	0.025	14
Warmtegeleidingscoëfficiënt (W/m·K)	0.001	2.5
Temperatuurverschil (K)	5	30
Temperatuur van koud en warm - platen (°C)	-15	65

\* indicatief; bepaald door de grootte van het apparaat (meetgebied bedraagt 150 x 150 mm)

\*\* het bereik tussen 120 mm en 200 mm kan alleen worden getest bij een testtemperatuur van 23 °C in verband met maximaal te verwachten fouten

### De testpraktijk

Er moeten een paar beslissingen worden genomen voordat een meting van de warmteoverdrachteigenschappen wordt uitgevoerd. Zoals de keuze van de meetnormen. Er zijn in het algemeen drie meetnormen voor warmteoverdrachtmetingen:

- NEN EN 12667:2001 – voor producten met een hoge en gemiddelde warmteweerstand
- NEN EN 12664:2001 – voor droge en vochtige producten met een gemiddelde en lage warmteweerstand
- NEN EN 12939:2000 – voor dikke producten met een hoge en gemiddelde warmteweerstand.

Volgens deze normen kan een HFM- en GHP-apparaat worden gebruikt voor de bepaling van warmteoverdrachteigenschappen. In de kern zijn het vergelijkbare normen, het verschil zit vooral in de te testen monsters, hun voorbereiding en de regels die gevolgd moeten worden.

EN 12667 kan worden beschouwd als de algemene norm die van toepassing is op de meeste isolatiematerialen. Wanneer de (verwachte) thermische weerstand van het materiaal echter lager is – het wordt aanbevolen om nog steeds EN 12667 te gebruiken voor monsters met een thermische weerstand van 0,5 m<sup>2</sup>·K/W of hoger – wordt de thermische contactweerstand tussen de oppervlakken van de monsters en de oppervlakken van de warme en koude platen van het apparaat belangrijker. Ook producten met een poreus karakter hebben de neiging om vocht te absorberen of desorberen tijdens een meting van de warmteoverdrachteigenschappen. In deze gevallen is EN 12664 van toepassing, waarin speciale technieken worden uitgelegd om de contactweerstand te verminderen, en regels toegelicht

voor het testen van droge en vochtige producten. Tot slot, als een product bij de toepassing ervan dikker is dan de maximale dikte die kan worden gemeten in het apparaat, wordt EN 12939 gebruikt waarin speciale methoden worden uitgelegd om de relatie tussen de dikte van het product en zijn warmtegeleidingscoëfficiënt te bepalen. Al deze meetnormen verwijzen naar productnormen voor de bepaling van testparameters zoals de testtemperatuur en monstervoorbereiding, waaronder drogen of voorbehandeling in een kamer met constante vochtigheid. Zodra deze parameters zijn bepaald en de benodigde behandelingen zijn uitgevoerd, kan het monster in het apparaat worden geplaatst en kan de meting worden gestart. Vervolgens moet de verandering in de thermische geleidbaarheid met de tijd worden geobserveerd; de meting stopt pas als deze volledig stabiel wordt. De grafiek geeft een voorbeeld van dit proces.

### Verdere onderverdeling

De materialen die Peutz in zijn laboratorium kan testen, zijn onder te verdelen in drie categorieën: (i) isolatiematerialen, (ii) lichte constructiematerialen en (iii) zware constructiematerialen.

Volgens NTA 8800 (zie de eerste noot van clause E.2.2.1) is een isolatiemateriaal een materiaal met een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0,1 W/m·K of lager. De warmtegeleidingsmetingen van isolatiematerialen worden meestal uitgevoerd volgens EN 12667 met behulp van geharmoniseerde productnormen (bijvoorbeeld EN 13162 tot EN 13171-series).

Lichte constructiematerialen hebben meestal een warmtegeleidingswaarde tussen 0,1 en 1 W/m·K en een warmteweerstand tussen 0,1 en 1 m<sup>2</sup>·K/W. Afhankelijk van de dikte van de toepassing worden de warmteoverdrachteigenschappen van deze producten bepaald volgens EN 12664. Voor proefstukken met een (verwachte) warmteweerstand van minder dan 0,5 m<sup>2</sup>·K/W is het belangrijk om aandacht te besteden aan contactweerstand en hun mogelijke invloed op de meetresultaten. Daarom wordt altijd aanbevolen om de oppervlakken te bewerken (schuren, slijpen, zagen et cetera) om een vlakke oppervlaktafwerking te verkrijgen met minder contactweerstand.

In het geval van zware constructiematerialen (materialen met een thermische geleidbaarheid van meer dan 1 W/m·K en een thermische weerstand van minder dan 0,1 m<sup>2</sup>·K/W) moeten altijd speciale technieken worden toegepast (zoals het gebruik van compensatiematen om de contactweerstand te verlagen) die worden uitgelegd in EN 12664.

### Meer dan één meting

Het resultaat van een meting is een enkele waarde en wordt niet beschouwd als representatief voor de productprestaties. Volgens NTA 8800 (bijlage J) zijn er meerdere metingen nodig voor het bepalen van de gedeclareerde waarden ( $\lambda_p$ , gedeclareerde thermische geleidbaarheid; en  $R_p$ , gedeclareerde thermische weerstand). Deze gedeclareerde waarden moeten representatief zijn voor de thermische prestaties van het product tijdens zijn technische levensduur. Statistisch gezien moeten de opgegeven waarden 90 procent van de productie dekken en een betrouwbaarheid van 90 procent hebben. Tot de laatste revisie van de NTA 8800 (revisie 2024) was tien metingen het minimum. In deze laatste revisie wordt verwezen naar meetnormen voor het bepalen van het minimumaantal metingen. Deze metingen moeten worden uitgevoerd binnen een periode van ten minste een jaar of maximaal drie jaar, waarbij het product en de fabricageomstandigheden niet zijn veranderd. Een uitzondering hierop vormen nieuwe producten waarbij de inzameling van de monsters binnen tien dagen kan plaatsvinden.

De gedeclareerde waarden worden bepaald op basis van de resultaten van individuele metingen:

$$\lambda_{90/90} = \lambda_{mean} + k s_\lambda$$

$$s_\lambda = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \lambda_{mean})^2}{n - 1}}$$

$$R_{90/90} = \frac{d_N}{\lambda_{90/90}}$$

Daarin is:

- $\lambda_{90/90}$  de statistisch bepaalde waarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt die representatief is voor 90 procent van de productie en een betrouwbaarheid heeft van 90 procent
- $\lambda_i$  het de gemeten lambdawaarde van monster  $i$  (1,2, ...,n)
- $\lambda_{mean}$  het rekenkundig gemiddelde van de meetwaarden
- $n$  aantal metingen
- $k$  een factor te ontleen aan tabel J.1 van NTA 8800
- $s_\lambda$  de standaardafwijking
- $n$  het aantal meetwaarden;
- $R_{90/90}$  de statistisch bepaalde waarde van de warmteweerstand die representatief is voor 90 procent van de productie en een betrouwbaarheid van 90 procent
- $d_N$  de nominale dikte.

De laatste stap in de bepaling van de opgegeven waarden is de afronding van de  $\lambda_{90/90}$ - en  $R_{90/90}$ -waarden in overeenstemming met de desbetreffende productnormen. Volgens NTA 8800 moet de  $\lambda_{90/90}$ -waarde naar boven worden afgerond op de dichtstbijzijnde 0,001 W/m·K, terwijl de  $R_{90/90}$ -waarde naar beneden moet worden afgerond op de dichtstbijzijnde 0,05 m<sup>2</sup>·K/W.

Uit deze vergelijkingen blijkt dat de waarde van de  $k$ -factor en de standaardafwijking belangrijke parameters zijn voor het bepalen van de aangegeven waarden. Om een lagere gedeclareerde waarde voor thermische geleidbaarheid en een hogere gedeclareerde waarde voor thermische weerstand te krijgen, moeten de  $k$ -factor en de standaardafwijking lager zijn. De  $k$ -factorwaarden zijn in tabel J.1 van de NTA 8800 gegeven en het is te zien dat  $k$  kleiner wordt als meer metingen zijn uitgevoerd ( $k=4,26$  voor 3 metingen en 1,32 voor 2000 metingen). Het verhogen van het aantal metingen heeft meestal ook een goede invloed op de standaardafwijking. Natuurlijk is de standaardafwijking ook afhankelijk van de nauwkeurigheid van de meetmethode. Daarom kan worden verwacht dat het gebruik van zeer nauwkeurige meetmethoden, zoals de GHP-methode, een goede invloed heeft op de opgegeven waarden door de standaardafwijking te verminderen.



Mustafa Araz en Casper Esmeijer zijn beiden werkzaam bij Peutz' Laboratorium voor Bouwfysica