

05 Bouwfysische aspecten

01 Thermisch gedrag van een spouwmuur

Doel

Deze informatie beoogt duidelijk te maken hoe de warmte-isolerende functie van een spouwmuur wordt verzekerd. Zij geeft onder ander antwoord op vragen als:

- Aan welke wettelijke minimum eisen moet de warmteweerstand van een spouwmuur, c.q. een gevel, voldoen?
- Welke invloed hebben spouwventilatie en spouwankers op de warmteweerstand van een constructie?
- Hoe wordt de warmteweerstand van een spouwconstructie berekend?

Inhoud

- Inleiding
- Regelgeving
- Warmteweerstand R_c
- Isolatiematerialen
- NEN 1068 – Ventilatie
- Voorbeeldberekening warmteweerstand R_c
- Uitvoering
- Gerelateerde informatie
- Literatuur

Inleiding

De bouwregelgeving en met name het Bouwbesluit stelt eisen aan de energieprestatie van gebouwen en aan de warmteweerstand van gebouwmhullende constructies. Van oudsher vormt de spouwmuur met gemetseld buitenblad in de Nederlandse bouwtraditie een belangrijke toepassing voor gevels.

De spouwmuur is een samengestelde constructie die een aantal functies heeft:

- esthetische functie
- regenwering
- dragende functie
- warmte-isolerend
- duurzaamheid

Deze informatie behandelt met name die aspecten die een rol spelen in de warmte-isolerende functie van een spouwconstructie en hoe aan de minimale voorwaarden kan worden voldaan.

Regelgeving

Sinds de invoering van de spouwmuur in de Nederlandse bouw omstreeks 1920, werd de regenwerende functie van de gevel gescheiden van een eventuele dragende functie. (In het moderne bouwen is het binnenspouwblad ook niet altijd dragend). De luchtspouw bracht een sterke verbetering van de bouwfysische eigenschappen met zich mee ten aanzien van vochtdoorslag en condensvorming. Sinds de energiecrisis in 1987 worden ook eisen gesteld aan de warmteweerstand van de gevel van woningen die vanaf dat moment moeten voldoen aan een minimumeis, waarbij $R_c \geq 2,0 \text{ m}^2\text{K/W}$. Sinds de invoering van het Bouwbesluit in 1992 is deze eis verhoogd tot $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$.

In het Nationaal Pakket Duurzaam Bouwen [lit.1] wordt voor de gevel van woningen een eis van minimaal $R_c=3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ (daken $R_c = 3,5$) aanbevolen. Deze eis wordt door veel

gemeenten inmiddels als ondergrens aangehouden. De Plus-eisen voor Duurzaam Bouwen gaan al uit van $R_c = 4,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ voor de gevel (daken $R_c = 5,0$).

In 1995 werd de Energie Prestatie Normering ingevoerd (zie informatieblad 05-07 Energieprestatienorm EPN). Hierbij wordt de energie-efficiëncy van een gebouw in één getal uitgedrukt, de EPC-waarde (Energie Prestatie Coëfficiënt).

Deze EPC geeft een indicatie van het gewogen energiegebruik van een gebouw inclusief de installaties. Voor woningen en woongebouwen wordt de EPC berekend volgens NEN 5128 uit de formule:

$EPC = Q_{\text{pres;totaal}} / 330 \cdot A_g + 65 \cdot A_{\text{verlies}} + 1/c_{\text{epc}}$, waarin

$Q_{\text{pres;totaal}}$ = het totale energiegebruik van een woning voor verwarming, warm water, ventilatie, verlichting, koeling en bevochtiging [MJ] (vlg. NEN 5128)

A_g = gebruiksoppervlakte [m^2]

A_{verlies} = verliesoppervlakte (gebouwomhulling) [m^2]

C_{epc} = correctiefactor

Voor woningen en woongebouwen geldt vanaf 1 januari 2000 dat de $EPC \leq 1,0$ moet zijn.

Warmteweerstand R_c

Een minimum benodigde warmteweerstand van de totale spouwconstructie van $3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ kan alleen gehaald worden door de constructie te isoleren. De bijdrage van een gemetseld buitenspouwblad aan de totale warmteweerstand is gering en in bepaalde gevallen zelfs nihil. De warmteweerstand is een getalswaarde voor de hoeveelheid warmte die per tijdseenheid en per m^2 door een constructie stroomt met een bepaald temperatuurverschil tussen binnen en buiten. De totale warmteweerstand van een constructie, weergegeven door het symbool R_c , wordt gevonden door de warmteweerstanden van de samenstellende delen bij elkaar op te tellen en is dus afhankelijk van de materiaaleigenschappen van deze delen.

In formule: $R_c = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots$ enz.

In samengestelde gevelconstructies levert de gevel- of spouwisolatie de grootste bijdrage aan de totale warmteweerstand van de gevel.

De rekenwaarden voor de warmtegeleidingscoëfficiënten (λ_{reken}) zijn niet gelijk aan de door fabrikanten van materialen opgegeven waarden ($\lambda_{\text{declared}}$). Voor de berekening van de warmteweerstand van constructies moeten hierin de in NEN 1068 opgenomen correctiefactoren worden opgenomen.

Voor spouwisolatie geldt dat ook de invloed van spouwankers moet worden meegenomen in de berekening. In formulevorm:

$$\lambda_{\text{declared}} = (\lambda_{\text{iso}} \cdot A_{\text{iso}} + \lambda_{\text{fa}} \cdot A_{\text{fa}}) / (A_{\text{iso}} + A_{\text{fa}})$$

De keuze van het type spouwanker bepaalt dus mede de dikte van de benodigde isolatie voor het behalen van de gewenste R-waarde. Het verschil tussen de keuze voor dunne RVS spouwankers en gegalvaniseerde ankers komt praktisch neer op een verschil van ca 5mm isolatie bij $R = 3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Isolatiematerialen

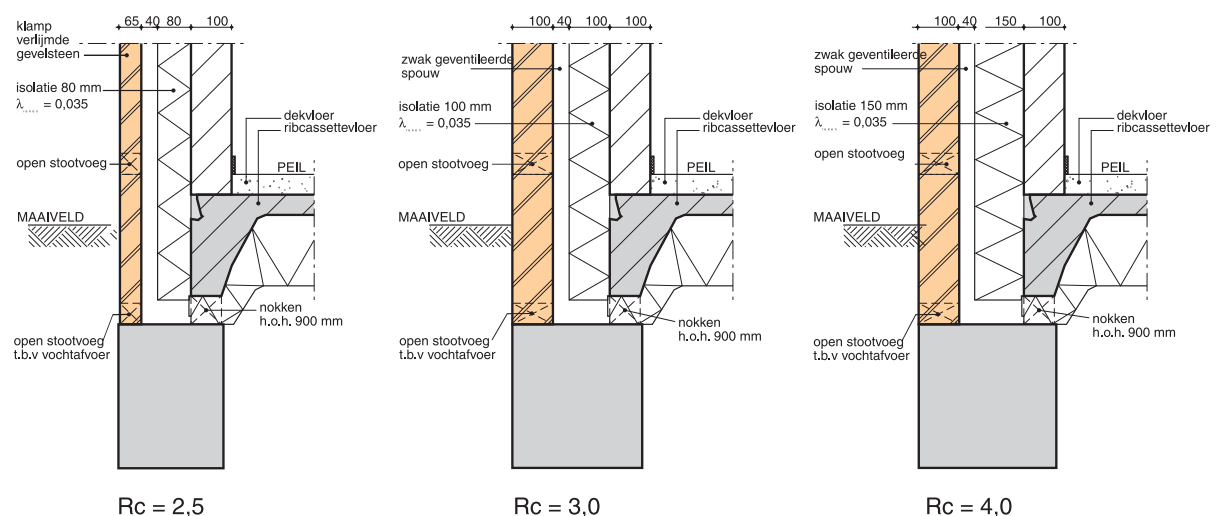
Thermische isolatiematerialen ontleen hun hoge warmte-isolerende eigenschappen aan een structuur van open of gesloten cellen of kleine ruimten waarin zich stilstaande lucht of gas bevindt. De structuur van het materiaal dient voor toepassing in spouwmuren stabiel te zijn, zodat zij over langere tijd intact blijft.

Voor spouwisolatie worden tegenwoordig nog vrijwel uitsluitend isolatieplaten toegepast. Bekend zijn de kunststof schuimplaten zoals EPS, XPS of PUR en de platen op basis van minerale wol. Betrekkelijk nieuw is de ontwikkeling van isolatiemateriaal met lage λ -waarden, zodat bij gelijkblijvende dikte hogere isolatiewaarden kunnen worden gerealiseerd. Het betreft hier kunststofschuimen zoals PIR, Fenol- en Resolschuim. Tabel 1 geeft de λ -waarden van de meest voorkomende materialen in een spouwmuur.

Tabel 1 – Enkele thermohygrische waarden van bouwmaterialen.
(Bron: tabellenboek voor de bouw, ten Hagen&Stam, den Haag).

Materiaal	Warmtegeleidingscoëfficiënt [W/(m.K)]		dampdiffusie- weerstandsgetal μ [-]	dichtheid [kg/m ³]
	λ droog	λ nat		
baksteen	0,6 - 0,7	0,9 - 1,2	9 - 13	1600 - 1900
betonsteen	0,6 - 0,75		7 - 8	1400 - 1600
kalkzandsteen	0,9	1,4		1900
grindbeton	2,0	2,0		2300 - 2500
cellenbeton	0,35 - 0,50	0,7 - 1,2	6 - 9	1000 - 1300
cementpleister	0,9	1,5	17	1900
EPS isolatie	0,035		15 - 200	10 - 40
XPS isolatie	0,030		250	30 - 40
PUR isolatie	0,025 - 0,035		60 - 80	30 - 150
Minerale wol	0,04		1 - 2	35 - 200
Fenolschuim	0,02 - 0,035		90 - 250	25 - 200
Resolschuim	0,02			

Figuur 1 toont de opbouw van enige moderne spouwconstructies die voldoen aan de eis van $R_c = 2,5$, resp. $R_c = 3,0$ en $R_c = 4,0$.



Figuur 1. Opbouw moderne spouwconstructies.

NEN 1068 – Ventilatie; beluchting spouw

De bepalingsmethoden voor de warmteweerstand zijn vastgelegd in de norm NEN 1068. Met de invoering van het nieuwe Bouwbesluit 2003 werd tevens de praktijkrichtlijn NPR 2068 van toepassing. Hierin worden ondermeer definities gegeven van wat verstaan wordt onder een *niet geventileerde, een zwak geventileerde en een sterk geventileerde luchtlaag*.

Een niet-geventileerde spouw heeft maximaal 500 mm² ventilatieopeningen per m¹ gevel.

Rm = 0,18 m²K/W. (Bouwfysisch gezien is het ventileren van de spouw niet noodzakelijk)

Een zwak geventileerde luchtlaag heeft meer dan 500 mm² en maximaal 1500 mm² ventilatieopeningen per m¹ gevel. Rm = 0,09 m²K/W.

Bij een zwak geventileerde spouw wordt uitgegaan van één open stootvoeg van 10 x 60 mm aan onder- en bovenzijde van de gevel (= 1200 mm²).

Een sterk geventileerde spouw heeft meer dan 1500 mm² ventilatieopeningen per m¹ gevel.

Rm = 0 m²K/W. Bij een sterk geventileerde spouw mogen ook de lagen aan de buitenzijde van de spouw, zoals het buitenspouwblad, niet worden meegerekend.

Bij stootvoegloos bouwen leveren de spouw en het buitenspouwblad dus geen bijdrage aan het warmteisolerend vermogen van de constructie.

Indien alleen open stootvoegen aan de onderzijde boven het maaiveld en boven (kozijn)openingen in het metselwerk worden aangebracht blijkt uit onderzoek de spouw in de praktijk droger dan bij de gebruikelijke ventilatieopeningen onder en boven. Het verdient daarom aanbeveling het aantal openingen beperkt te houden en onder dakranden en gevelopeningen weg te laten. Men spreekt in dit geval van het beluchten van de spouw. Het buitenblad en de spouw met overgangsweerstanden mogen dan worden meegerekend voor de bepaling van de totale warmteweerstand van de spouwconstructie.



Figuur 2. Open stootvoegen boven kozijnopeningen voor uitwatering van spouwvocht en ventilatie.

Voorbeeldberekening Rc spouwconstructie.

Opbouw spouwconstructie:

100 mm baksteen metselwerk buitenspouwblad; $\lambda_{\text{reken}} = 1,00 \text{ W/mK}$

40 mm luchtspouw, zwak geventileerd

100 mm isolatie, minerale wol, $\lambda_{\text{iso}} = 0,035$, bevestigd met 4 spouwankers r4 mm.

100 mm kalkzandsteen binnenspouwblad; $\lambda_{\text{reken}} = 1,000 \text{ W/mK}$

Stap 1: Bepaal warmtegeleidingscoëfficiënt isolatie

$$\lambda_{\text{reken}} = \lambda D \cdot FT \cdot FM \cdot FA = 0,035 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,035 \text{ W/mK}$$

Stap 2: Bepaal invloed spouwankers

$$\lambda' = (\lambda_{\text{iso}} \cdot A_{\text{iso}} + \lambda_{\text{fa}} \cdot A_{\text{fa}}) / (A_{\text{iso}} + A_{\text{fa}})$$

$$\lambda_{\text{iso}} = 0,035 \text{ W/mK}$$

$$A_{\text{fa}} = 4 \cdot \pi \cdot r^2 = 0,00005 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{iso}} = 1 - 0,00005 = 0,99995 \text{ m}^2$$

$$\lambda_{\text{fa}} = 15 \text{ W/mK}$$

$$\lambda' = (0,035 \cdot 0,99995 + 15 \cdot 0,00005) / 1 = 0,036 \text{ W/mK}$$

Stap 3: Bepaal de warmteweerstand van de materialen

Baksteen metselwerk: $d = 0,1 \text{ m}$; $\lambda = 1,000$;

$$R_m = d/\lambda = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Luchtspouw:

$$R_m = 0,09 \text{ (gegeven NEN 1068)}$$

Isolatie: $d = 0,1 \text{ m}$; $\lambda = 0,036$;

$$R_m = d/\lambda = 2,78 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Binnenspouwblad : $d = 0,1 \text{ m}$; $\lambda = 1,000$;

$$R_m = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$$

 $R_{m;\text{totaal}} = 3,07 \text{ m}^2\text{K/W}$

Stap 4: Bepaal de warmteweerstand van de constructie

$$R_c = (R_{m;\text{totaal}} + R_{si} + R_{se}) / (1 + \alpha) - R_{si} - R_{se}$$

$R_{si} = 0,13$ (overgangsweerstand binnen)

$R_{se} = 0,04$ (overgangsweerstand buiten)

$\alpha = 0,05$ (correctiefactor : geen glas, geen prefab, geen luchtlaag achter de isolatie > 5mm ; dus overige omstandigheden vlgs NEN 1068)

$$R_c = (3,07 + 0,13 + 0,04) / (1 + 0,05) - 0,13 - 0,04 = \mathbf{2,92 \text{ m}^2\text{K/W}}$$

Conclusie: Om aan de gewenste warmteweerstand voor de spouwconstructie van 3,0 te voldoen moet uitgegaan worden van een niet-geventileerde spouw, of zal de isolatiewaarde verhoogd moeten worden, bijvoorbeeld door een iets dikkere laag of door isolatie met een lagere λ -waarde.

Stap 5: Bepaal de warmtedoorgangcoëfficiënt

$$U = 1 / (R_c + R_{si} + R_{se}) = 1 / 3,09 = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Uitvoering

Belangrijk is dat de isolatie zorgvuldig wordt aangebracht om te voorkomen dat warmtelekken kunnen optreden door niet goed aansluitende isolatie, of vochtbruggen die ontstaan door onjuiste bevestiging van de isolatie.

Meestal wordt de isolatie aangebracht tijdens het optrekken van het buitenspouwblad.

Hieronder volgen enige belangrijke tips en aanwijzingen die voor een goede uitvoering van de spouwconstructie van belang zijn:

- Breng isolatieplaten goed aaneengesloten aan tegen het binnenspouwblad en zorg voor een duurzame bevestiging. Roestvast stalen spouwankers verdienen de voorkeur.
- Spouwankers moeten afwaterend worden gemonteerd, dus licht aflopend in de richting van het buitenspouwblad met een druiplijn aan de buitenkant. Beter is het gebruik van de speciaal voor dit doel vervaardigde klemschotels voor de bevestiging van de isolatie, met druiplijn.
- Pas bij voorkeur harde isolatieplaten toe met een sponning en zorg ervoor dat geen doorgaande verticale naden ontstaan (halfsteensverband).
- Een goed functionerende luchtspouw zorgt voor de afvoer van vocht uit de spouw en voorkomt doorslaand vocht naar binnen. Vermijd daarom valspecie en voorkom dat speciebaarden de isolatie raken en zo vochtbruggen kunnen vormen.
- De spouw beluchten: zorg voor open stootvoegen (liever stootvoegroosters), h.o.h. 1500 mm, onder en boven in het gevelvlak en boven onderbrekingen in de gevel (kozijnen).
- Het isolatiemateriaal dient voorgetrokken te worden ten opzichte van het optrekken van het buitenspouwblad. Dit voorkomt dat er specie op de isolatieplaten terecht kan komen.
- Voorkom tijdens de uitvoering dat isolatiemateriaal nat kan worden. Bij onderbreking van het metselen moeten isolatie en vers metselwerk worden afgedekt tegen regen.



Figuur 3. Bij onderbreking van het metselen het metselwerk en de isolatie afdekken tegen inwateren.

Gerelateerde informatie:

03-06 – Detaillering van steenconstructies

05-14 – Na-isoleren van steenconstructies

09-01 – Kwaliteit van metselwerk

Literatuur:

Brochure 'Bouwfysische eigenschappen en detaillering metselwerk', KNB, Velp

Handboek Metselwerk, Ten Hagen&Stam, Den Haag

Tabellenboek voor de bouw, Ten Hagen&Stam, Den Haag

NBD Bouwdetails, Ten Hagen&Stam, Den Haag

NEN 1068 – Thermische isolatie van gebouwen, NEN Delft

NPR 2068 – Thermische isolatie van gebouwen, vereenvoudigde rekenmethode, NEN Delft

Bouwbesluit 2003 – Sdu uitgeverij Den Haag

Warmte en vochttransport in bouwconstructies; Waltman, Delft.