

*Christophe Castelein  
Castelein Sealants  
Starrenhoflaan 15  
2950 Kapellen  
België*

**Date**  
22-08-2018

**Contact**

S. Van Linden  
N. Van Den Bossche

**E-mail**

stephanie.vanlinden@ugent.be  
nathan.vandenbossche@ugent.be

**T** +32 9 264 39 75  
**F** +32 9 264 41 85

### **Duurzame luchtdichting van raamaansluiting met CS-EASY FOIL SI**

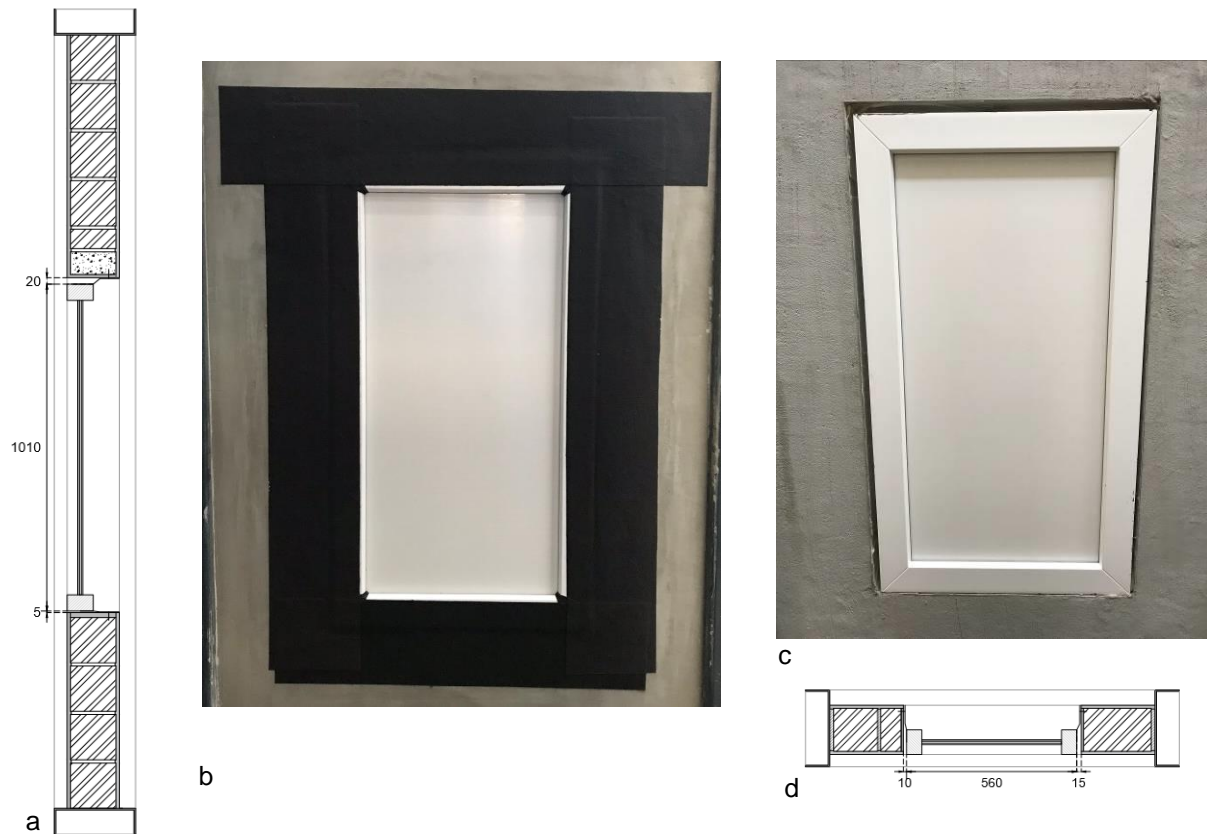
Op vraag van de firma Castelein Sealants werden testen uitgevoerd op de duurzaamheid van de luchtdichtheid van een raamaansluiting op een gecementeerde metselwerkwand door middel van CS-EASY FOIL SI. Deze folie is zelfklevend en bestaat uit een dampdoorlaatbaar, gecoat vlies. De folie werd aangebracht op 25 juni 2018 en beproefd op 3 juli 2018.

De luchtdichtheid van deze raamaansluiting werd beproefd aan de hand van een testopstelling bestaande uit een metselwerkwand waarin een pvc-raam werd gemonteerd door middel van ankers aan de binnenzijde. De buitenzijde van de wand en de dagkanten werden afgewerkt met een cementering. De binnenzijde van de wand werd bepleisterd. Aan de buitenzijde werd de voeg tussen de wand en het raam afgewerkt met CS-EASY FOIL SI.

# 1. Testopstelling en procedure

## 1.1 Testopstelling

Een vast pvc-raam met afmetingen 560 x 1010 mm werd bevestigd aan een metselwerkwand. Deze wand werd langs de buitenzijde afgewerkt met een cementering. De binnenzijde van de wand werd bepleisterd. Het raam werd bevestigd aan de hand van plooiankers aan de binnenzijde van de wand. Er werden telkens 2 ankers aan de zijkanten toegepast en 1 aan de boven- en onderzijde. Het raam werd geplaatst in een raamopening met afmetingen 585 x 1035 mm. Dit resulteert in een afstand tussen het raam en de opening van 5 mm onderaan, 20 mm bovenaan, 15 mm rechts en 10 mm links. Het raam werd geplaatst in het buitenvlak van de wand.



Figuur 1: Testopstelling, a. verticale doorsnede, b. buitenzijde wand, c. binnenzijde wand, d. horizontale doorsnede

Alvorens de CS-EASY FOIL SI te plaatsen werd de wand afgestoft en het raam gereinigd aan de hand van DC R40.

De CS-EASY FOIL SI heeft een breedte van 20 cm. Vier aparte stroken van de folie werden over de voeg tussen het raam en de wand verkleefd. Eerst werd de onderste strook verkleefd, vervolgens de zijkanten en ten slotte werd daarboven de bovenste strook verkleefd. De naden van het pvc-raam werden met bijkomende driehoekjes folie bedekt. De folie werd ten slotte aangedrukt met een aandrukrol.

## 1.2 Testprocedure

### 1.2.1 Luchtdichtheid

De luchtdichtheid van de materialen werd getest aan de hand van een gekalibreerde testbank in het Testcentrum voor Gevelelementen van de Universiteit Gent volgens de richtlijnen van NBN EN 12114:2000 *Thermische eigenschappen van gebouwen – Luchtdoorlatendheid van gebouwen en bouwelementen – Laboratoriumbeproevingmethode*.

De proeven zijn uitgevoerd binnen de beperkingen die opgelegd zijn door NBN EN 12114:2000:

- Temperatuur in het interval [15°C; 30°C]
- Relatieve vochtigheid in het interval [25%; 75%]

De testbank beschikt over een frequentie gestuurde ventilator die lucht blaast in de opstelling. Tussen de ventilator en de opstelling kunnen diafragma's ingeschoven worden. Het geleverde luchtdebiet wordt d.m.v. een formule afgeleid uit het drukverschil dat aanwezig is over het geplaatste diafragma:

$$V = C \cdot \Delta P^n$$

met:  $V$  = luchtdebiet [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

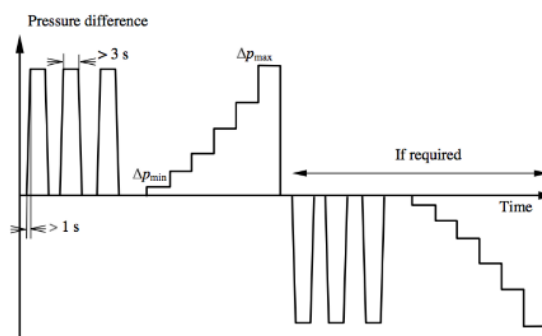
$C$  = stromingscoëfficiënt [ $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$ ]

$\Delta P$  = drukverschil [Pa]

$n$  = stromingscoëfficiënt [-]

De stromingsexponent van de cirkelvormige diafragma's is steeds gelijk aan 0,5. De stromingscoëfficiënt is afhankelijk van het geplaatste diafragma.

Volgens NBN EN 12114:2000 dient het testelement onderworpen te worden aan minimaal zes drukverschilstappen en dit bij overdruk en indien nodig ook bij onderdruk. Bij elke drukverhoging dient het luchtdebiet gemeten te worden. Er werd gekozen om acht drukverschilstappen toe te passen tussen 0 en 600 Pa. De metingen werden telkens eerst bij overdruk uitgevoerd en daaropvolgend bij onderdruk. Voorafgaande aan de test, werd het element steeds onderworpen aan drie drukpulsen van 600 Pa.



Figuur 2: Verloop luchtdichtheidstest

De gemeten resultaten werden eerst omgerekend naar een debiet bij normomstandigheden (20°C, 50% RV, 101325 Pa) op basis van de gemeten temperatuur en luchtvochtigheid. Vervolgens werd door de gemeten punten een exponentiële curve gefit die beantwoordt aan  $V = C \cdot \Delta P^n$ . Hiervan werden vervolgens de stromingscoëfficiënt en stromingsexponent berekend, waarna de luchtdebieten bij de volgende drukverschillen 50-100-150-200-250-300-450-600 Pa bepaald werden.

Om het onzekerheidsinterval van het resultaat te bepalen werd er met volgende aspecten rekening gehouden:

- Fout bij omrekening naar normomstandigheden door fout op meetinstrumenten. Monte-Carlo analyse van 1000 simulaties toont echter aan dat de maximale fout beperkt is tot 0,14% en dus verwaarloosbaar.
- Fout door linearisatie en best fit naar power law  $V=C.\Delta p^n$  aan de hand van een inverse t-distributie. Dit geeft een zicht op de onzekerheid van de stromingscoëfficiënt C en stromingsexponent n.
- Foutenpropagatie in power law:

$$\sigma_V^2 = \sigma_C * \sigma_n \left[ (\Delta P^n * \frac{\sigma_C}{\sigma_n} + (C * \Delta P^n * \ln(\Delta P))^2 * \frac{\sigma_n}{\sigma_C} + 2 * C * \Delta P^{2n} * \ln(\Delta P) * r \right]$$

Met r: pearson correlation coefficient. Op basis van een 30-tal metingen werd hiervoor als conservatieve aanname -0,5 genomen. C en n zijn immers negatief gecorreleerd.

- Op basis van een t-distributie op 40 metingen werd vastgesteld dat het 95%betrouwbaarheidsinterval van de debietsmeting resulteert in een fout van 3,965%.
- Het netto debiet wordt bekomen door het referentiedebiet af te trekken van het bruto-debiet. Door de uitgebreide foutenanalyse is er geen systematische fout in de opstelling mogelijk, en kunnen de fouten kwadratisch opgeteld worden.

De totale fout op de berekenende waardes bij 50 – 100 – 150 - ... - 600 Pa is dus samengesteld uit een relatieve fout van 3,965% per meetpunt en de gepropageerde fout door een curve te fitten door 8 meetpunten.

Het gemeten luchtdebiet  $Q_{tot}$  is samengesteld uit het debiet door de raamaansluiting en het lekdebiet door de aansluitingen van de opstelling zelf en de testwand.

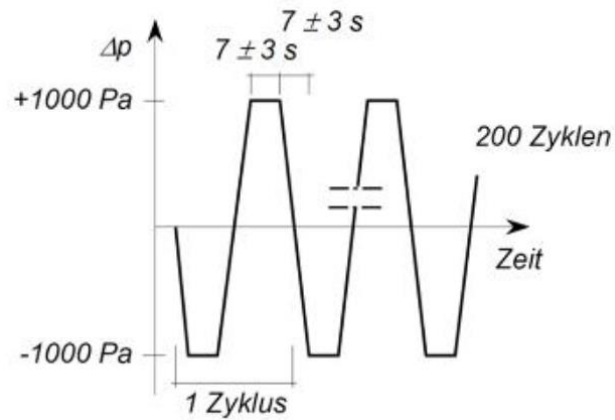
$$Q_{tot} = Q_{raamaansluiting} + Q_{opstelling}$$

Dit laatstgenoemde debiet werd bepaald aan de hand van een referentiemeting waarbij de raamopening wordt bedekt met een luchtdichte plaat. Deze referentiemeting werd zowel in overdruk als onderdruk uitgevoerd en werd afgetrokken van het gemeten luchtdebiet tijdens de luchtdichtheidstest  $Q_{tot}$  wat resulteerde in het nettodebiet van de raamaansluiting.

## 1.2.2 Duurzaamheidsevaluatie

Er bestaat vandaag geen enkele Europese of nationale genormaliseerde testmethode om de duurzaamheid van luchtdichtheid van aansluitingen te evalueren. In een lopend prenormatief onderzoek van WTCB en Universiteit Gent wordt wel onderzocht hoe men dergelijke proefsequentie kan ontwikkelen. Het enige sectordocument in Europa dat in aanmerking komt is de ift-RICHTLINIE MO-01/1:2007 van het Institut für Fenstertechnik in Rosenheim, Duitsland. In deze testsequentie wordt een raamaansluiting onderworpen aan klimatologische belasting, een belasting door herhaald openen en sluiten, en windbelasting. Op basis van bijkomend onderzoek is gebleken dat de veroudering door windbelasting veruit de grootste impact kan hebben, en werd de testsequentie ook daartoe beperkt. Bij de testen op CS-EASY FOIL SI werd daarom ook enkel deze sequentie opgelegd aan de testopstelling.

Om het effect van windstoten te simuleren worden er in totaal 200 drukcycli opgelegd met een amplitude van +1000 en -1000 Pa, in overeenstemming met de drukstoten beschreven in NBN EN 12211 voor buitenschrijnwerk.



Figuur 3: Drukcycli bij veroudering door windbelasting [MO-01/1]

### 1.2.3 Controle luchtdichtheid

Na het opleggen van 200 drukpulsaties van  $+1000$  en  $-1000 \text{ Pa}$  wordt de luchtdichtheid van de opstelling opnieuw bepaald volgens EN 12114:2000 zoals beschreven in sectie 1.2.1.

## 2. Resultaten

---

### 2.1 Luchtdichtheid

De volgende nettodebietten werden berekend voor de raamaansluiting door middel van CS-EASY FOIL SI:

Lekdebiet overdruk								
<b>p [Pa]</b>	50	100	150	200	250	300	450	600
<b>V [m<sup>3</sup>/h]</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	-0,01
<b>A.F. [m<sup>3</sup>/h]</b>	0,06	0,11	0,16	0,20	0,25	0,30	0,43	0,56

Lekdebiet onderdruk						
<b>p [Pa]</b>	50	100	150	200	250	300
<b>V [m<sup>3</sup>/h]</b>	0,02	0,01	-0,01	-0,04	-0,07	-0,10
<b>A.F. [m<sup>3</sup>/h]</b>	0,16	0,33	0,51	0,70	0,89	1,08

Het lekdebiet per lopende meter werd vervolgens berekend door bovenstaande waarden te delen door de omtrek van het raam, namelijk 3,14 m.

Gemiddeld resulteert dit in het volgende lekdebiet en 95% betrouwbaarheidsinterval voor een drukverschil van 50 Pa:

$$V_{50} = 0,0044 \pm 0,0349 \text{ m}^3/\text{h.m}$$

### 2.2 Controle luchtdichtheid

De volgende nettodebietten werden gemeten voor de raamaansluiting na kunstmatige veroudering:

Lekdebiet overdruk								
<b>p [Pa]</b>	50	100	150	200	250	300	450	600
<b>V [m<sup>3</sup>/h]</b>	0,02	0,01	0,00	-0,01	-0,03	-0,04	-0,08	-0,12
<b>A.F. [m<sup>3</sup>/h]</b>	0,12	0,20	0,28	0,35	0,42	0,48	0,66	0,84

Lekdebiet onderdruk						
<b>p [Pa]</b>	50	100	150	200	250	300
<b>V [m<sup>3</sup>/h]</b>	0,02	0,00	-0,04	-0,07	-0,12	-0,16
<b>A.F. [m<sup>3</sup>/h]</b>	0,08	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50

Het lekdebiet per lopende meter werd vervolgens berekend door bovenstaande waarden te delen door de omtrek van het raam, namelijk 3,14 m.

Gemiddeld resulteert dit in het volgende lekdebiet en 95% betrouwbaarheidsinterval voor een drukverschil van 50 Pa:

$$V_{50} = 0,0051 \pm 0,0324 \text{ m}^3/\text{h.m}$$

### 3. Conclusie

---

De duurzaamheid van de luchtdichtheid van een raamaansluiting door middel van CS-EASY FOIL SI werd getest in overeenstemming met NBN EN 12114:2000 en een draft testsequentie kunstmatige veroudering overgenomen uit ift RICHTLINIE MO01/1. Deze veroudering bestaat uit het aanbrengen van 200 cycli, waarbij elke cyclus bestaat uit een positieve drukpuls van +1000 Pa en een negatieve pulsatie van -1000 Pa. Na de kunstmatige veroudering werd de luchtdichtheid van de raamaansluiting opnieuw bepaald.

Voor de kunstmatige veroudering werd een luchtlekdebiet gemeten voor de raamaansluiting van  $0,0044 \pm 0,0349 \text{ m}^3/\text{h.m}$  bij een drukverschil van 50 Pa.

Na de kunstmatige veroudering werd een luchtlekdebiet gemeten voor de raamaansluiting van  $0,0051 \pm 0,0324 \text{ m}^3/\text{h.m}$  bij een drukverschil van 50 Pa.

Op basis van de gemeten waarden en de 95% onzekerheidsintervallen staat vast dat de kunstmatige veroudering geen significante impact heeft op de luchtdichtheid van de raamaansluiting.

Binnen de Belgische context bestaan er geen specifieke richtlijnen voor de luchtdichtheid van raamaansluitingen. Om de gemeten waarde toch te kaderen, kan er gekeken worden naar de Nederlandse norm NEN 2687 *Luchtdoorlatendheid van woningen – Eisen*. Deze specificeert drie luchtdichtheidsklassen: klasse 1 (basis), klasse 2 (goed), klasse 3 (zeer goed, passiefhuis). SBR, de Stichting BouwResearch, heeft richtlijnen gepubliceerd voor maximale luchtlekkages voor verschillende gebouwcomponenten en interfaces zodat er voldaan wordt aan een totaal maximaal lekdebiet van het gebouw volgens deze klassen. Het maximale lekdebiet voor raamaansluitingen bedraagt voor klasse 1,2 en 3 respectievelijk 0,05; 0,025; 0,005  $\text{dm}^3/(\text{s.m}.\Delta P^n)$ . Omgezet naar een lekdebiet bij 50 Pa met  $n = 0,625$  resulteert dit voor elke klasse in 2,076; 1,038; 0,21  $\text{m}^3/\text{h.m}$ .

Indien het luchtlekdebiet door raamaansluitingen van een woning gelimiteerd worden tot 10% van het totale luchtlekdebiet, berekende Van Den Bossche<sup>1</sup> dat voor een gemiddelde vrijstaande Belgische woning het lekdebiet van de raamaansluiting beperkt dient te worden tot 3,3  $\text{m}^3/\text{h.m}$  bij 50 Pa. Voor passiefwoningen wordt deze maximale waarde verlaagd tot 0,33  $\text{m}^3/\text{h.m}$  bij 50 Pa.

De gemeten waarde voor en na kunstmatige veroudering ligt zowel volgens SBR als Van Den Bossche onder de maximumwaarde die beschouwd wordt om te voldoen aan het luchtdichtheidsniveau van een passiefwoning ( $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ ).

Dra. Ir. Arch. Stéphanie Van Linden

Medewerker Universiteit Gent

Prof. Nathan Van Den Bossche

Directeur Testcentrum voor gevelementen

Docent Bouwtechniek

---

<sup>1</sup> Van Den Bossche N. et al., Airtightness of the window-wall interface in cavity brick walls, 2011, Energy and Buildings 45