

## Nieuwe testmethoden voor injectieproducten tegen optrekkend vocht

van Hees, Rob; Lubelli, Barbara; Hacquebord, Anke

**Publication date**

2018

**Document Version**

Final published version

**Published in**

Omgaan met Vocht en Zout

**Citation (APA)**

van Hees, R., Lubelli, B., & Hacquebord, A. (2018). Nieuwe testmethoden voor injectieproducten tegen optrekkend vocht. In T. G. Nijland (Ed.), *Omgaan met Vocht en Zout: Syllabus symposium MonumentenKennis* (pp. 60-73). MonumentenKennis.

**Important note**

To cite this publication, please use the final published version (if applicable). Please check the document version above.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

**Takedown policy**

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights. We will remove access to the work immediately and investigate your claim.



**Symposium MonumentenKennis**

# **Omgaan met Vocht en Zout**

**Amersfoort, 28 november 2018**



Colofon: Nijland, T.G., red., 2018. Omgaan met Vocht en Zout. Syllabus symposium MonumentenKennis, Amersfoort, 28 november 2018. ISBN 978-90-5986-494-8.

In deze pdf versie zijn enige errata uit de gedrukte versie gecorrigeerd.

MonumentenKennis is een programmatische samenwerking tussen TNO, de TU Delft en de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed. Voor info, zie [www.monumentenkennis.nl](http://www.monumentenkennis.nl)

Coverfoto: Obernkirchener zandsteen met alveoli, een vorm van zoutschade.

© Artikelen en foto's: auteurs, tenzij anders vermeld.

## Inhoud

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Programma</b>                                                                                                                                     | 2  |
| Nijland, T.G.<br><b>Voorwoord</b>                                                                                                                    | 3  |
| Hof, J. van 't<br><b>Van droom naar materiaal; erfgoedzorg tussen Ruskin en heden</b>                                                                | 4  |
| Nijland, T.G. Lubelli, B. & Hees, R.P.J. van<br><b>Een plaag van alle tijden: zout. Over oude en toekomstige schade, oud en toekomstig onderzoek</b> | 12 |
| Granneman, S., Lubelli, B. & Hees, R.P.J. van<br><b>Kalkmortel met een snufje chemie</b>                                                             | 36 |
| Bouvier, E. des & Lubelli, B.<br><b>In-situ onderzoek naar de zoutbestendigheid van (pleister)mortels met ingemengd kristallisatie-inhibitor</b>     | 45 |
| Quist, W., Dam, J. van & Hees, R. van<br><b>Hydrofoberen: duurzaamheid in de praktijk</b>                                                            | 57 |
| Hees, R.P.J. van, Lubelli, B. & Hacquebord, A.<br><b>Injectie tegen optrekkend vocht...werkt het ?</b>                                               | 60 |
| Lubelli, B., Hees, R.P.J. van & Bolhuis, J.<br><b>Optrekkend vocht: Hoe kiest u een geschikte interventie ?</b>                                      | 74 |

## Nieuwe testmethoden voor injectieproducten tegen optrekkend vocht<sup>1</sup>

*Rob van Hees<sup>1,2</sup>, Barbara Lubelli<sup>1,2</sup>, Anke Hacquebord<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>TU Delft, Faculteit Bouwkunde, <sup>2</sup>TNO*

### Abstract

Injectie van chemische producten is wellicht de meest verbreide methode om optrekkend vocht te bestrijden. Bij de meerderheid van deze producten gaat het om hydrofobeermiddelen, ofwel op basis van koolwaterstoffen, of (en dat in toenemende mate) met water als oplosmiddel. In hun oorspronkelijke vorm ging het om vloeibare producten, maar er is de laatste jaren een groeiend aantal producten in de vorm van crèmes.

Uit de praktijk komen tegengestelde berichten met betrekking tot de effectiviteit van de injecties; vaak ontstaat een controverse tussen gebouweigenaar en uitvoerend bedrijf over de werkzaamheid van het product. Soms wordt daarbij de noodzakelijk lange droogtijd voor een natte muur als argument gebruikt om een tekortschietende behandeling te camoufleren. In andere gevallen is het onduidelijk of de injectie danwel een gelijktijdig aangebrachte restauratiepleister verantwoordelijk is voor een (in elk geval visuele) verbetering.

In deze bijdrage wordt onderzoek beschreven gericht op het ontwikkelen van een methode waarmee op eenvoudige en snelle wijze de werkzaamheid van een product kan worden aangetoond, zowel in de praktijk als in het laboratorium.

Een interessant nevenaspect van het onderzoek was overigens dat diverse essentiële factoren die bepalend zijn voor de effectiviteit van injectieproducten duidelijk zijn geworden. In deze bijdrage zal de snelle methode voor de praktijk centraal staan.

### Inleiding

#### *Injectie en impregnering met chemische producten*

Er zijn veel methoden beschikbaar om optrekkend vocht in metselwerk te bestrijden. Desondanks bestaat er maar weinig wetenschappelijke literatuur omtrent de effectiviteit van die methoden (Franzoni 2014). Injectie of impregneren met chemische producten behoort tot de meest toegepaste methoden om optrekkend vocht in gebouwen te bestrijden. Hierbij worden aan de onderzijde van de muur gaten geboord met een onderlinge afstand van 0,1 tot 0,15 m. De gaten kunnen aan één of soms aan beide zijden van de muur worden geboord, afhankelijk van de dikte van de muur. De chemische producten kunnen vervolgens met druk (injectie) of zonder druk (impregnering, met gebruik van hydrostatische druk) worden ingebracht. De producten werken hetzij door het afsluiten van de poriën, hetzij door het waterafstotend maken van de poriën, waardoor in beide gevallen capillair transport wordt tegengegaan. Tegenwoordig behoren de meeste producten tot de tweede categorie.

De producten hebben ofwel een organisch oplosmiddel danwel gaat het om oplossingen in water of emulsies in water. De laatste jaren bestaat een tendens om meer water-

gebaseerde producten toe te passen, omdat ze meer milieuvriendelijk zijn. Tenslotte is er nog verschil in viscositeit: variërend van volledig vloeibaar tot gels of crèmes. De crèmeachtige producten worden steeds belangrijker; redenen daarvoor zijn het gemak van applicatie en de langere contacttijd tussen product en ondergrond.

Er bestaan diverse problemen rond de applicatie en effectiviteit van chemische producten. Eén daarvan is de moeilijkheid om het product in poriën te brengen die geheel of gedeeltelijk met water zijn gevuld. Sommige producten blijken beter geschikt voor toepassing in natte muren dan andere. Dit probleem is beschreven in Lubelli et al (2013). Om effectief te worden moet het product alle poriën en openingen bereiken en vervolgens een hydrofobe of niet-permeabele horizontale laag creëren, waar geen water doorheen kan worden getransporteerd. Wanneer deze horizontale barrière niet continu is, kan water nog steeds worden getransporteerd en zal optrekkend vocht niet effectief worden bestreden. Injectie of impregnering moet dus tot overlappende zones leiden waarin het product werkzaam is.

Uit de praktijk komen nogal tegenstrijdige berichten over de werkzaamheid, zoals in Balak (2007). Ook ontstaan er vaak discussies tussen gebouweigenaar en uitvoerder. Het trage proces van drogen wordt daarbij nogal eens gebruikt om niet-werkzaamheid te camoufleren. Ook is het soms niet duidelijk of een visuele verbetering nu aan de injectie of aan een gelijktijdig aangebrachte restauratie pleister te danken is. Het is duidelijk dat de bouwpraktijk gebaat is bij een onderzoeksmethode die op snelle en simpele wijze kan aantonen of een behandeling effectief is. Dat geldt zowel voor de praktijk als voor het laboratorium. Met dit als doel is onderstaand onderzoek uitgevoerd.

Internnationaal bestaan verschillende procedures voor de evaluatie van injectieproducten in het laboratorium (BBA 1988, Van Hees & Koek 1995, WTA 2003, Van Hellefont et al. 2007). Doel van het hier beschreven onderzoek was een methode te ontwikkelen voor de betrouwbare evaluatie van de effectiviteit van chemische producten binnen korte tijd na applicatie. Er zijn uiteindelijk twee nauw aan elkaar gerelateerde methoden ontwikkeld, één voor het laboratorium en één voor de praktijk. De laboratoriummethode wordt beschreven in Lubelli et al. (2013, 2017) en Hacquebord et al. (2013). Hieronder wordt de snelle praktijkmethode beschreven, die is afgeleid van de laboratoriummethode.

### Testmethoden voor de praktijk

Een onomstreden methode om gegevens te verzamelen omtrent het vocht- (en zout)gehalte is poedermonsters te boren uit de desbetreffende muur op verschillende hoogten en diepten, waardoor na droging van de monsters een vochtverdeling over hoogte en diepte zichtbaar kan worden gemaakt. Door dezelfde monsters vervolgens bij een hoge RV te brengen kan uit de hygroskopische vochtopname vervolgens een betrouwbare indicatie van de zoutverdeling worden verkregen (Lubelli et al. 2004). Door vervolgens de curves voor het vochtgehalte (MC) en de hygroskopische vochtopname (HMC) met elkaar te vergelijken, kan de aanwezigheid van optrekkend vocht worden vastgesteld (Lubelli et al. 2018).

Deze procedure kan in eerste instantie worden gebruikt om de aanwezigheid van optrekkend vocht vast te stellen en te beslissen of behandeling zinvol is; dezelfde procedure kan één of twee jaar later worden herhaald om het droogproces te volgen. Het moge duidelijk zijn dat in geval van twijfel een dergelijk lang durende procedure eigenlijk onwenselijk is. Om die reden is een snelle methode ontwikkeld, afgeleid van de snelle laboratoriummethode beschreven in Hacquebord et al. (2013). De methode omvat het

boren van kernen (diameter ca. 10 cm) en het nemen van poedermonsters uit de behandelde zone enkele weken nadat injectie heeft plaatsgevonden. Wegens het enigszins invasieve karakter van de methode, kan de methode niet zonder meer worden ingezet in gebouwen of muurconstructie met monumentale waarde. De test op de kernen omvat verschillende stappen en duurt voor de meeste injectieproducten ongeveer 8 weken, gerekend vanaf het moment van injecteren. De methode en toepassing ervan in een case study worden besproken in dit artikel.

### Case study en gebruikte producten

#### *Gekozen project*

De Sint Bernardusabdij in Hemiksem (België) werd geselecteerd voor het valideren van de testmethoden (Fig. 1).



*Fig. 1. Buitenzijde (links) en binnenzijde (rechts) van de proefmuur in de St. Bernardusabdij in Hemiksem (België).*

Een buitenmuur grenzend aan een binnenhof van de abdij werd geselecteerd voor de injectie. Deze locatie is goed bruikbaar zowel voor het vaststellen van de effectiviteit van de injectiemethoden als voor de validatie van de testmethoden zelf, omdat hier een duidelijk probleem van optrekkend vocht speelt (zie hieronder). Bovendien biedt de relatief lange muurconstructie de mogelijkheid om verschillende producten tezamen met een niet behandelde referentie naast elkaar, onder dezelfde condities, met elkaar te vergelijken.

#### *Geselecteerde producten*

Er werden vier producten geselecteerd voor injectie in de abdijsmuur. Deze producten representeren de voornaamste klassen van producten als aangetroffen bij een marktonderzoek. De selectie omvatte zowel een watergebaseerd product als een product in organisch oplosmiddel en daarnaast een crème.

- C2: silicaat (kalium methylsilicaat; % actieve stof niet gespecificeerd) in water, vloeibaar.
- B3: siloxaan (oligomere siloxaan; actieve stof ca. 10 gew.%) in organisch oplosmiddel (isoparaffine), vloeibaar.
- B2: siloxaan (geen verdere omschrijving beschikbaar) in water, vloeibaar.
- E5: silaan (geen verdere omschrijving beschikbaar; actieve stof ca. 80 gew.%), crème.

Er moet worden onderstreept dat producenten vaak slechts minimale informatie omtrent moleculaire structuur, soort oplosmiddel en aanwezigheid van additieven verstrekken, hoewel dergelijke informatie van belang zou zijn om de wetenschappelijke kennis te vergroten. In alle gevallen berust het principe van de geteste producten op het waterafstotend maken van de poriën, dus het belemmeren van capillair watertransport.

### Beginsituatie

Voor de betreffende muur werden zes locaties geselecteerd voor de applicatie (vier) en als referentie (twee). Voor injectie werd voor elke locatie een vochtprofiel bepaald om de beginsituatie vast te leggen. Figuur 2 toont de 6 locaties; de rode stippellijnen geven de plaats van de vochtprofielen, de zwarte de plaats van de injecties.

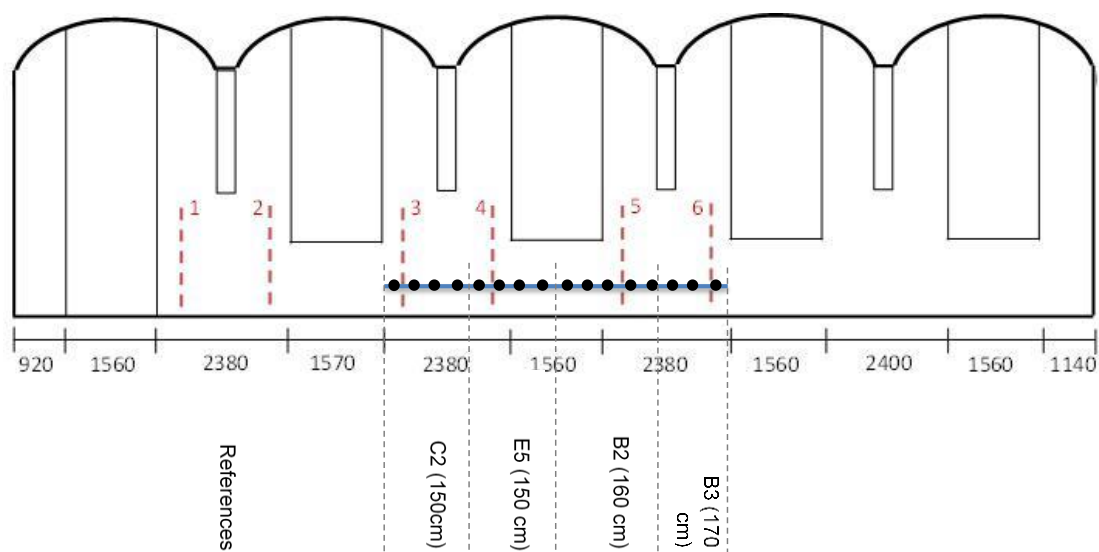


Fig. 2. Buitenmuur met proefvlakken, abdij Hemiksem. De locatie van de vochtprofielen (rode stippellijnen) en de injectielocatie (zwarte stippellijn) is aangegeven; hoogte injectie ca. 0,40 m, hoogte raamdorpels ca. 1,50 m; lengte van de geïnjecteerde zone is voor elk van de producten B2, B3, C2, E5 tussen haakjes aangegeven

Een representatief voorbeeld van de vochtprofielen en hygroscopische vochtprofielen wordt gegeven in figuur 3. De profielen tonen duidelijk de aanwezigheid van optrekkend vocht in de muur. De hoeveelheid hygroscopische zouten is, zoals blijkt uit het vastgestelde hygroscopisch vochtgehalte, beperkt.

### Injectie van de testvlakken

De producten werden geïnjecteerd in de zones zoals aangegeven in figuur 2. Er werd geen ruimte gelaten tussen een injectiezone en de aansluitende; op deze wijze was het niet noodzakelijk een extra verticale reeks injectie gaten te maken en te vullen om behandelde en niet behandelde delen van elkaar te scheiden. De lengte van de geïnjecteerde zone varieerde tussen 1,50 en 1,70 m (13 tot 15 injectiegaten). De vloeibare producten op waterbasis, C2 en B2 en de crème, E5, werden zonder druk aangebracht, terwijl het product op basis van een organisch oplosmiddel, B3, werd geïnjecteerd met lage druk (2 bar) (Fig. 4-6).

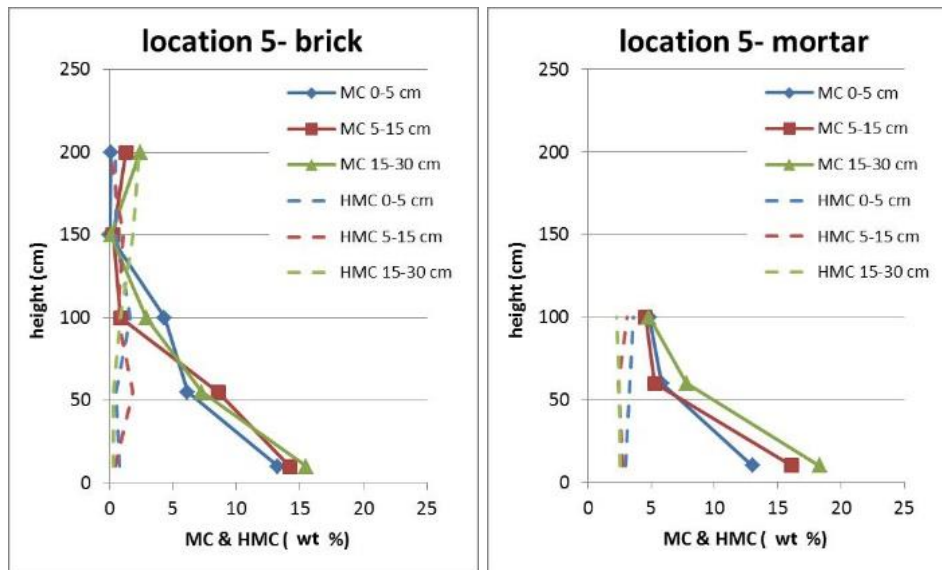


Fig. 3. Vochtprofielen (baksteen, respectievelijk mortel) voor een van de locaties (startsituatie). Deze locatie is representatief voor alle gekozen proefvlakken



Fig. 4. Impregnering zonder druk.



Fig. 5. Injectie met druk.



Fig. 6. Impregnering met een crème.

Tabel 1. De meest relevante gegevens m.b.t. de producten en applicatie.

| Product                | C2                  | B2                | B3                                | E3             |
|------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------|
|                        | Siliconaat in water | Siloxaan in water | Siloxaan in organisch oplosmiddel | Silaan         |
|                        | Vloeistof           | Vloeistof         | Vloeistof                         | Crème          |
| Injectie               |                     |                   |                                   |                |
| Afstand gaten, mm      | 25                  | 25                | 14                                | 14             |
| Hoek gaten, °          | 25-30               | 25-30             | 25-30                             | 0              |
| Druk                   | Hydrostatisch       | Hydrostatisch     | Laag (2 bar)                      | Zonder druk    |
| Duur, uur              | Ca. 5 + 3           | Ca. 3 + 3         | 5x tot aan verzadiging            | Eén applicatie |
| Lengte zone, m         | 1,50                | 1,60              | 1,80                              | 1,50           |
| Aantal gaten           | 12                  | 12                | 13                                | 14             |
| Hoeveelheid product, l |                     |                   |                                   |                |
| Totaal, geïnjecteerd   | 15                  | 8                 | 7                                 | 3,08           |
| Totaal, voorschrift    | 15                  | 14,4              | 12,2                              | 3,08           |
| Per gat, geïnjecteerd  | 1,25                | 0,67              | 0,54                              | 0,22*          |
| Per gat, voorschrift   | 1,15                | 1,17              | 0,94                              | 0,22*          |

\* Genoeg om injectiegat te vullen.

De injectiegaten werden geboord op ca. 40 cm boven het vloerniveau. De afstand tussen twee gaten bedroeg ca. 12 cm; de diameter van de injectiegaten was 25 mm voor de vloeibare watergebaseerde producten en 14 mm voor zowel het product op basis van een organisch oplosmiddel als voor de crème. De hoek met de horizontaal was 25-30° voor de vloeibare producten, terwijl voor de crème horizontale gaten werden geboord. De diepte van de injectiegaten bedroeg ca. 55 cm bij een muurdikte van ca. 60 cm. Aansluitend aan het boren werden de gaten gereinigd met perslucht en achtergebleven stof werd weggezogen, waarna injectie plaatsvond. De hoeveelheid geabsorbeerd product (totale hoeveelheid voor de injectiezone) werd tijdens de applicatie gemeten, gebaseerd op de hoeveelheid product die achterbleef in de houders voor elk van de producten. De belangrijkste gegevens staan vermeld in tabel 1. Na de injectie werden de gaten aan het oppervlak afgesloten met behulp van een mortel.

### Snelle testmethode

#### *Boorkernen*

Twee weken na de applicatie zijn 5 boorkernen (diameter 10 cm) verzameld (Fig. 7). De kernen werden genomen uit elk van de behandelde proefvlakken en uit één van de referentievlakken. De kern kwam daarbij steeds uit het midden van het behandelde vlak, om zo eventuele beïnvloeding door producten uit de naastliggende proefvlakken te voorkomen. De kernen werden genomen onder een hoek van ca. 30° voor zones die waren behandeld met de vloeibare producten alsmede voor de referentie. Voor het proefvlak behandeld met crème werd horizontaal geboord. De kernen werden in principe genomen tussen twee injectiegaten, teneinde de zijdelingse spreiding te kunnen controleren, behalve voor de crème, waar de kern werd geboord concentrisch met het injectiegat, omdat er werd verwacht dat op het moment van boren nog geen volledig zijdelingse spreiding van het product kon hebben plaatsgevonden; bij de evaluatie van de effectiviteit moet hiermee rekening worden gehouden.

Omdat de kernen werden genomen door boren met water, kan het vochtgehalte van de kernen theoretisch hoger zijn geworden dan aanvankelijk het geval in de muur. Er wordt evenwel vanuit gegaan dat de extra vochtopname zeer beperkt was, omdat de muur op het moment van boren vrijwel verzadigd was met vloeistof (door de aanwezigheid van zowel het oorspronkelijke water in de natte muur als de injectievloeistof). De gemiddelde vrije waterabsorptie bij verzadiging bedroeg 16,5 gew. %.

Nadat de kernen waren gefotografeerd, werden ze in plastic folie verpakt teneinde verdamping van vocht tegen te gaan. In het laboratorium werden ze (verpakt in folie) gewogen en verpakt bewaard tot de start van de experimenten. Bij de start vond een hernieuwde weging plaats, die toonde dat geen enkele significante droging had plaatsgevonden.



*Fig. 7. Links: Boren van kernen uit behandeld en niet-behandeld metselwerk. Rechts: Referentie boorkern (niet behandeld)*

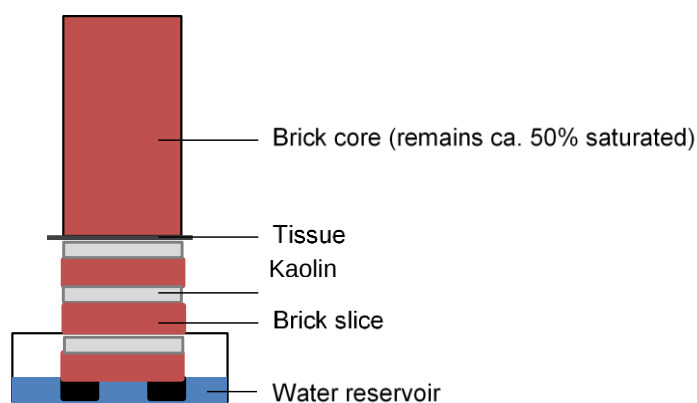
#### *Testprocedure op boorkernen*

Van elke kern werden twee schijven met een lengte van 80 mm gezaagd (met water, ter vermindering van schade aan het proefstuk). De afstand van het bewuste proefstuk tot aan het muuroppervlak is gegeven in tabel 2. Het bleek niet mogelijk de schijven van de verschillende kernen op precies dezelfde afstand te nemen, omdat de verschillende kernen op verschillende plaatsen gebroken waren. In geval van de crème kon zelfs maar één proefstuk uit de kern worden genomen.

*Tabel 2. Schijven genomen uit de boorkernen.*

| Product    |                                              | Afstand schijf tot muuroppervlak (mm) |             |
|------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|            |                                              | Schijf A                              | Schijf B    |
| Referentie | geen                                         | Ca. 150-250                           | Ca. 250-350 |
| C2         | siliconaat in water, vloeistof               | Ca. 200-300                           | Ca. 300-400 |
| B2         | siloxaan in water, vloeistof                 | Ca. 120-220                           | Ca. 220-320 |
| B3         | siloxaan in organisch oplosmiddel, vloeistof | Ca. 230-330                           | Ca. 330-430 |
| E5         | silicaan, crème                              | Ca. 240-340                           | -           |

Een van de belangrijkste onderdelen van de ontwikkelde test methode is de mogelijkheid een constante vochttoevoer, vergelijkbaar met die aanwezig in situ, te handhaven na injectie of impregnering. Er werden diverse experimenten met verschillende materialen uitgevoerd om dit te bereiken en een realistische optrekkend vocht situatie te simuleren. Uiteindelijk werd een relatief constante vochttoevoer voor een behandelde bakstenen kern gevonden door het gebruik van een 'torentje' bestaande uit lagen baksteen en klei (Fig. 8; zie Lubelli et al. (2017)).



*Fig. 8. Model van het baksteen/klei torentje, gebruikt om een constant vochttoevoer te garanderen, waardoor een zekere verzadigingsgraad in de referentie bakstenen kan worden gehandhaafd. Vrije verdamping uit de baksteen kern kan alleen plaatsvinden via het bovenvlak (de zijkanten zijn afgesloten).*

- Het 'torentje' bestaat uit 1, 2 of 3 lagen baksteen/kaolienklei, afhankelijk van de vereiste vochttoevoer, nodig om verzadigingsniveau van referentie bakstenen kernen te handhaven.
- Het kaolienpoeder wordt gemengd met water in een verhouding water/kaolien: 40/60 in gewichtsdelen.
- Het baksteen/kaolientorentje wordt vervolgens geplaatst op een rooster met een hoogte van 5 mm in een reservoir met water, met een hoogte tot juist boven het rooster.
- Een tissue filter wordt gebruikt om te voorkomen dat de bakstenen kern kleideeltjes zou opnemen.

Tijdens de test moet het gewicht van de kernen worden gemonitord, waarbij het gewicht van de onbehandelde proefstukken dient als referentie (het gewicht van de referentie moet constant blijven) om, indien nodig, de watertoevoer aan te passen door baksteen en kleilagen toe te voegen of weg te nemen.

Het volgende criterium werd gebruikt om de 'werkelijke effectiviteit' van een product te evalueren: een product wordt als effectief beschouwd wanneer aan het einde van de test

het vochtgehalte in de behandelde kernen lager is dan het vochtgehalte in de referentiekernen. Het komt er op neer dat het product dan in staat is geweest te reageren onder natte omstandigheden en dat dankzij de ontwikkelde waterafstotendheid, geen water meer wordt opgenomen; in dit geval droogt de kern en neemt het gewicht af.

Aan het einde van de periode van waterabsorptie (ca. vier weken) werd de *werkelijke effectiviteit* van de producten vastgesteld. De *werkelijke effectiviteit* van een product kan worden gedefinieerd als de effectiviteit in een situatie waarin de vochttoevoer constant is gehouden, tijdens en na de injectie, vergelijkbaar dus met de praktijk. Vervolgens werden de kernen gedroogd in een oven bij 40 °C; daarna werd de capillaire waterabsorptie van de droge kernen bepaald via het grondvlak. Na drie weken van capillaire waterabsorptie werd op basis van het dan vastgestelde vochtgehalte de *potentiele effectiviteit* bepaald (zie hieronder). De *potentiele effectiviteit* van een product kan worden gedefinieerd als de effectiviteit die het product kan krijgen in een situatie waarin de vochttoevoer na injectie wordt onderbroken en het product kan polymeriseren onder droge omstandigheden.

### *Aanvullende test op poedermonsters*

In het project werd ook een aanvullende test ontwikkeld voor de evaluatie van de aanwezigheid en verspreiding van waterafstotende producten in een metselwerk muur. Deze, zogenaamde druppeltest komt neer op het vaststellen van het waterafstotend gedrag van boorpoeder, gebruikmakend van een waterdruppel. In het geval van de case study Hemiksem, werd poeder (zowel steen als mortel) voor de test genomen uit de eerder beschreven boorkernen. Een voordeel van de methode is dat om een indruk te krijgen, geen verder onderzoek aan de monsters nodig is om de aanwezigheid van het product vast te stellen, resulterend in een snelle beoordeling tegen lage kosten. De druppeltest bestaat uit het beoordelen van de vorm van waterdruppels aangebracht op (gedroogde) poedermonsters. De test geeft een indicatieve evaluatie van de aanwezigheid van het waterafstotend product. Wanneer hydrofobering aanwezig is zal de druppel worden afgestoten en een bolle of elliptische vorm hebben, terwijl bij afwezigheid ervan de druppel wordt geabsorbeerd (Fig. 9). Met behulp van deze procedure is het in de meeste gevallen mogelijk om eenvoudig conclusies te trekken met betrekking tot de verspreiding van een waterafstotend product en de *potentiele effectiviteit*. De *werkelijke effectiviteit* dient te worden vastgesteld middels de eerder beschreven procedure.



Fig. 9. Monsters met (links) en zonder (rechts) duidelijk waterafstotende eigenschappen.

### **Bespreking**

#### *Test op kernen - actuele effectiviteit van de producten*

Het vochtgehalte (MC) van de kernen uit het metselwerk varieerde bij aanvang van de test tussen 12 en 16,6 gew.%, afhankelijk van verschil in samenstelling van de kernen (verschillende verhouding baksteen / mortel) en daarnaast verschil in eigenschappen tussen verschillende bakstenen. Het vochtgehalte (MC) aan het begin van de test was hoger dan het actuele vochtgehalte zoals gemeten in de muur zelf. Er wordt verondersteld dat het hogere vochtgehalte correspondeert met verzadiging van het metselwerk: het hoge vochtgehalte in de kernen is toe te schrijven enerzijds aan bemonstering en verwerking tot schijven met behulp van water en aan de ingebrachte producten anderzijds.

Het volgende criterium werd gebruikt om de *werkelijke effectiviteit* van een product vast te stellen: een product wordt als effectief beschouwd wanneer, aan het einde van de test, het vochtgehalte in de behandelde proefstukken lager is dan dat in de referentie proefstukken. Dit betekent dat het product in staat is geweest te reageren onder vochtige omstandigheden en dat dankzij het ontwikkelde hydrofobe gedrag, geen water meer wordt geabsorbeerd via het capillair systeem; het proefstuk droogt dan en het gewicht neemt af.

Figuur 10 toont de gewichtsverandering van de verschillende proefstukken tijdens de test. De veranderingen in vochtgehalte werden gravimetrisch vastgesteld; het droge gewicht van de proefstukken werd geheel aan het einde van de test bepaald. In het begin nam het gewicht van de referentieproefstukken duidelijk af (eerste deel van de grafieken), hetgeen erop wees dat de toevoer van vocht via de baksteen/kleilagen onvoldoende was. Om de vochttoevoer aan te passen werden enkele baksteen/klei lagen verwijderd, waarna de proefstukken werden teruggeplaatst op de 'torentjes'.

Op basis van de testresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken (Fig. 10). Voor B3 (siloxaan op basis van koolwaterstof), C2 (siliconaat op waterbasis) en B2 (siloxaan in water) kon niet onomstotelijk een *werkelijke effectiviteit* worden vastgesteld. Voor B3 en C2 lagen de vochtgehalten op hetzelfde niveau als dat van de referenties. Voor B2 gaven de twee proefstukken zeer uiteenlopende resultaten (1x zeer goed, 1x zeer slecht). Het enige proefstuk dat beschikbaar was voor E2 (silaan crème) gaf een positief resultaat, maar nog los van dat het maar een proefstuk betreft, was in dit geval de kern genomen ter plaatse van het injectiegat (zie boven); daarom kunnen de resultaten niet zomaar worden vergeleken met die van de andere proefstukken en producten.

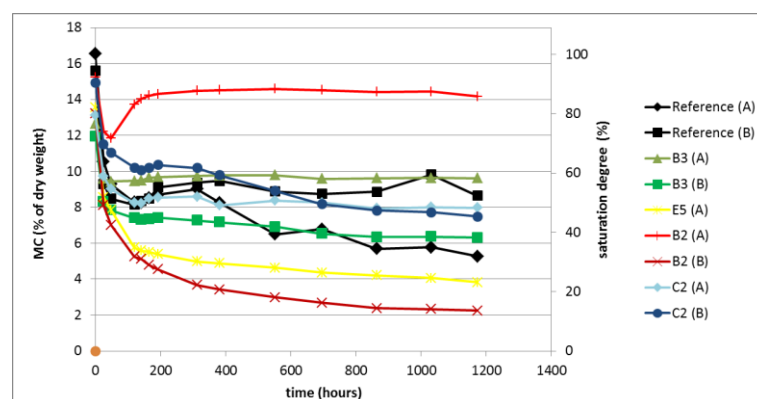


Fig. 10. Vochtgehalte (MC) in behandeld en referentie metselwerk kernen uit Hemiksem, tijdens de test met constant vochttoevoer. A en B betreft schijven van respectievelijk het oppervlak en het diepere deel van het metselwerk.

Test op kernen - potentiële effectiviteit van de producten

Na droging van de kernen, werd de water absorptie gemeten teneinde de *potentiele effectiviteit* van de producten vast te stellen. Figuur 11 toont het vochtgehalte (MC) van de proefstukken na droging en daaropvolgende waterabsorptie.

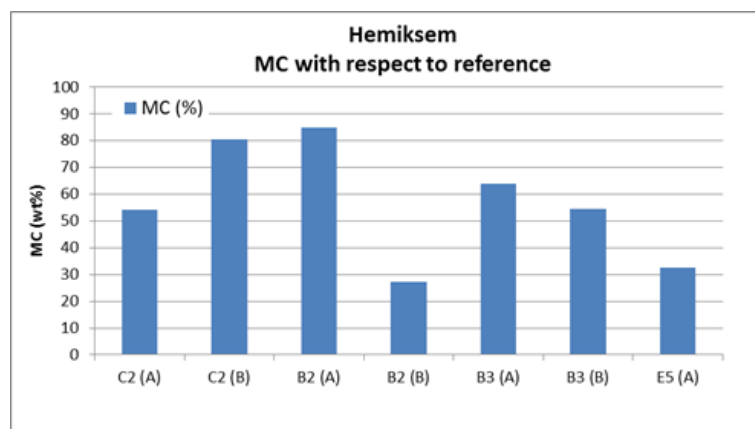


Fig. 11. Vochtgehalte (MC) in kernen van behandeld metselwerk uit Hemiksem (als percentage van de MC in referentiekernen) na drie weken capillaire waterabsorptie. De kernen waren tevoren gedroogd bij 40 °C. A en B betreft schijven van respectievelijk het oppervlak en het diepere deel van het metselwerk.

Product E5 toont behalve de al vastgestelde *werkelijke effectiviteit* (uiteraard) ook een goede *potentiele effectiviteit*. Product B2 toont, net zoals bij de vaststelling van de *werkelijke effectiviteit* een (zeer) goede *potentiele effectiviteit* voor het proefstuk dieper in de muur en een slechte *potentiele effectiviteit* voor het proefstuk bij het muuroppervlak; dit valt mogelijk te verklaren uit het feit dat het product dieper in de muur in grotere hoeveelheid en gedurende langere tijd aanwezig is dan aan het muuroppervlak (als gevolg van de hellende boorgaten). Product B3 en C2 tonen een matige *potentiele effectiviteit*.

### Druppeltest

De resultaten van de druppeltest zijn gegeven in tabel 3. De test werd in dit geval uitgevoerd na het drogen van het boorpoeder, ter ondersteuning van de vaststelling van de *potentiele effectiviteit*. In het algemeen vertoont het boorpoeder van de baksteen een matig tot sterk hydrofoob effect; de mortel vertoont in enkele gevallen (B2, C2) geen enkel hydrofoob effect. Alleen de siloxaan in organisch oplosmiddel (B3) toont goede waterafstotende eigenschappen op zowel baksteen als mortel. De mortel behandeld met het crème product (E5), vertoont een zeer sterk hydrofoob effect, echter pas na bevochtigen en opnieuw drogen. De resultaten van de druppeltest zijn in de meeste gevallen in overeenstemming met die verkregen uit de test op de proefstukken. In een enkel geval (B3) is wel een positief effect gemeten op poeder terwijl de proefstukken een matige effectiviteit vertoonden. Daar moet wel bij worden aangetekend dat de druppeltest maar op een klein oppervlak (diameter van de boor is ca. 5 mm) wordt uitgevoerd; voor een echt representatief oordeel zullen dan ook meerdere poederboormonsters moeten worden genomen.

*Tabel 3. Resultaten van de druppel test op poeder monsters van baksteen en mortel.*

| Product    | Materiaal | Waterafstotend |
|------------|-----------|----------------|
| Referentie | Mortel    | --             |
| Referentie | Baksteen  | --             |
| C2         | Mortel    | --             |
| C2         | Baksteen  | +              |
| B2         | Mortel    | --             |
| B2         | Baksteen  | + -            |
| B3         | Mortel    | +              |
| B3         | Baksteen  | ++             |
| E5         | Mortel    | ++ *           |
| E5         | Baksteen  | ++             |

| Evaluatie | Toelichting                                                                                                       |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| --        | Geen waterafstotend effect: water wordt onmiddellijk door het materiaal geabsorbeerd                              |
| -         | Zwak waterafstotend effect: water wordt na enkele seconden door het materiaal geabsorbeerd                        |
| + -       | Gemiddeld waterafstotend effect: water wordt niet geabsorbeerd; druppels blijven op hun plaats                    |
| +         | Sterk waterafstotend effect: duidelijk pareleffect zichtbaar; druppels worden afgestoten of blijven op hun plaats |
| ++        | Zeer sterk waterafstotend effect: druppels worden onmiddellijk afgestoten                                         |

\* Mortel in eerste instantie niet waterafstotend; echter na bevochtigen en opnieuw drogen, blijkt de mortel zeer sterk hydrofoob.

## **Conclusies**

### *Testmethoden*

De snelle methode voor de praktijk maakt het mogelijk om kort na behandeling de effectiviteit van injectie tegen optrekkend vocht vast te stellen, zelfs wanneer geen vochtprofielen van de muur voor behandeling beschikbaar zijn. De nieuwe testmethode, toegepast op boorkernen uit een behandelde muur is een betrouwbare methode om al kort na het injecteren de verwachte effectiviteit van producten te voorspellen. Het is mogelijk onderscheid te maken tussen verschillende niveaus van effectiviteit (zowel de werkelijke als de potentiële). De test vormt behalve een objectieve vaststelling van de werkelijke effectiviteit en de mate van verspreiding van het product ook de basis voor suggesties tot verbetering van de interventie, zoals aanvullende injecties of (kunstmatige) droging van het metselwerk.

De tijd nodig voor het vaststellen van de effectiviteit van vloeibare producten bedraagt ca. 8 weken vanaf het moment van applicatie. Voor producten in crème-vorm wordt de periode geschat op ca. 16 weken; in dit laatste geval wordt aanbevolen de kernen bij voorkeur pas plaatsvindt na enkele maanden vanaf de applicatie, omdat zijdelingse verspreiding pas dan kan hebben plaatsgevonden. Verbetering van de methode kan verder bestaan uit het nemen van boorkernen zowel op de plaats van het injectiegat als tussen de gaten. Verder is enige verdere ontwikkeling gewenst met betrekking tot de baksteen/kleitorentjes teneinde een constante vochtstroom naar het behandelde proefstuk nog beter te garanderen.

Beperkingen van de methode zijn: 1) het invasieve karakter en 2) het risico dat de boorkern uit elkaar kan vallen, hetgeen dan uitvoering van de test onmogelijk zou maken.

Het feit dat nat moet worden geboord wordt niet als een punt van zorg gezien, omdat in de zone waar wordt bemonsterd uit de aard der zaak al een zeer hoog vochtgehalte in het metselwerk aanwezig is en ook de behandeling zelf bijdraagt aan het vullen van de capillairen met 'vocht'. De druppeltest geeft een goede indicatie van de potentiële effectiviteit van de producten; de test maakt het ook mogelijk te beoordelen of er grote verschillen zijn in gedrag op baksteen en op mortel. De test vormt dan ook tevens een goede aanvulling op de test op de boorkernen. Indien de druppeltest als enige wordt uitgevoerd, moet worden gestreefd naar een voldoende representatief aantal monsters; ook dan nog geeft deze test slechts een indicatie van de effectiviteit.

### *Effectiviteit van injectieproducten in de case study*

Op basis van de resultaten van de vier producten in de beschreven case study, moet worden geconcludeerd dat in dit geval zowel de *werkelijke* als de *potentiele effectiviteit* van verschillende producten tamelijk laag was. Een zeer hoog vochtgehalte in de muur (ongeveer verzadiging in de injectiezone) vormt kennelijk een beperking zowel voor het tot stand komen van polymerisatie als voor zijdelingse verspreiding; dit blijkt uit de betrekkelijk lage *potentiele effectiviteit* van verschillende producten. Er kan worden geconcludeerd dat een hoge verzadigingsgraad in de muur de voornaamste beperking vormt voor de effectiviteit van injectieproducten: zowel het reactieproces als de verspreiding worden negatief beïnvloed. Dit laatste is ook in labonderzoek al eerder aangetoond (Lubelli et al. 2017). Tijdelijke (eventueel kunstmatige) droging van het metselwerk ook na applicatie zou dan ook kunnen helpen de effectiviteit van een chemische behandeling te verbeteren.

## Dankwoord

De auteurs danken het Ministerie van Economische Zaken, het Bedrijfsschap Afbouw, Remmers Bouwchemie BV en TNO voor het mogelijk maken van dit onderzoek.

## Noten

<sup>1</sup> Dit artikel is een Nederlandstalige bewerking van een artikel dat eerder werd gepubliceerd in het Engels.

## Referenties

- Balak M., 2007. Injektionsverfahren zur nachträglichen Abdichtung von Mauerwerk – neueste Erkenntnisse. Mauerwerk 11(2):82-86.
- British Board of Agrément, 1988. The assessment of damp-proof course systems for existing buildings. BBA, Garston, Watford, Method of Assessment and Testing 39.
- Franzoni, E., 2014. Rising damp removal from historical masonries: A still open challenge, Construction and Building Materials 54:123-136.
- Hacquebord, A., Lubelli, B., Hees, R. van & Nijland, T., 2013. Evaluation of spreading and effectiveness of injection products against rising damp in mortar/brick combinations. Procedia Chemistry 8:139-149.
- Hees R.P.J. van & Koek J.A.G., 1995. Bestrijding van optrekkend vocht in muren. TNO-rapport 94-BT-R0719.
- Lubelli, B., Hees, R.P.J. van & Bolhuis, J., 2018. Effectiveness of methods against rising damp in buildings: Results from the EMERISDA project. Journal of Cultural Heritage 31:S15-S22.
- Lubelli, B., Hees, R.P.J. van & Brocken, H.P.J., 2004. Experimental research on hygroscopic behaviour of porous specimens contaminated with salt. Construction and Building Materials 18:339-348.

- Lubelli, B., Hees, R.P.J. van & Hacquebord, A., 2013. Experimental study of the distribution of chemical products against rising damp in substrates with different water saturation degrees, *Construction and Building Materials* 40:891-894.
- Lubelli, B., Hees, R.P.J. van & Hacquebord, A., 2017. New insights into the effectiveness of injection products against rising damp. In: Caner-Saltik, E.N., Tavukcoglu, A. & Zezza, F., red., *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Ankara, 2014, 627-637.
- Vanhellemont, Y., Clercq, H. de & Pien, A., 2007. A proposal for test procedure for injection products against rising damp. In: *Proceedings of the 7<sup>th</sup> European Conference SAUVEUR*, Praag, 2006, 165-170.
- WTA (Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege), 2003. WTA Merkblatt 4-4-04/D, Mauerwerksinjektion gegen kapillare Feuchtigkeit.