

**Oppervlaktebehandelingen
werkingsprincipe, afwegingen, voordelen en risico's**

Lubelli, Barbara; van Hees, Rob; Nijland, TG

Publication date

2016

Document Version

Final published version

Published in

Kennis van de gevel

Citation (APA)

Lubelli, B., van Hees, R., & Nijland, TG. (2016). Oppervlaktebehandelingen: werkingsprincipe, afwegingen, voordelen en risico's. In *Kennis van de gevel: Syllabus van de Symposium MonumentenKennis* (pp. 4-14)

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.

Oppervlaktebehandelingen: werkingsprincipe, afwegingen, voordelen en risico's

Barbara Lubelli^{1,2}, Rob P.J. van Hees^{1,2} & Timo G. Nijland²
¹TU Delft, ²TNO

Inleiding

Oppervlaktebehandelingen zijn beschermingsmaatregelen waarbij op of via het oppervlak van de gevel middelen worden aangebracht. Er zijn verschillende vormen van oppervlaktebehandeling. In deze bijdrage worden alleen waterafstotende en steenverstevigende behandelingen besproken.

Waterafstotende behandelingen

Doel en werkingsprincipe van waterafstotende behandelingen

Een waterafstotende behandeling bestaat uit het impregneren van een materiaal met een hydrofoob product dat een waterafstotende laag vormt op de wanden van de poriën. Een waterafstotende behandeling werkt door het veranderen van de contacthoek tussen het materiaal en water, zodat water niet meer capillair in de poriën van een materiaal kan indringen (Fig. 1). Water speelt een belangrijke rol in vrijwel alle schadeprocessen, zoals zoutschade, sulfaataantasting, vorst en biologische groei; het doel van hydrofoberen is te voorkomen dat water poreuze materialen binnendringt en daarmee het tegengaan van schade.

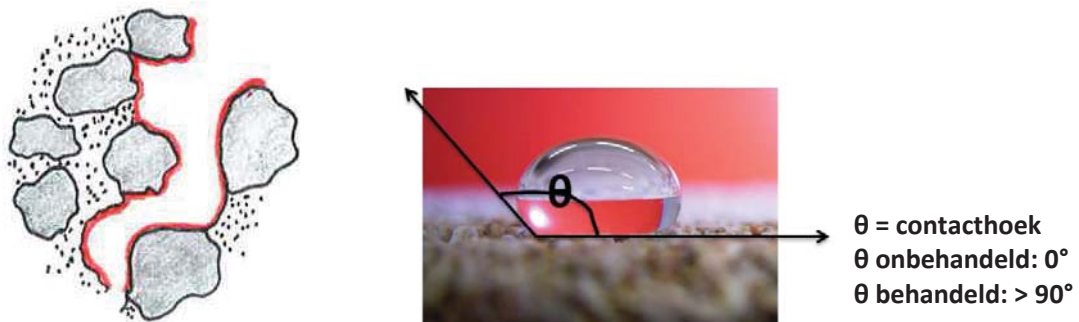


Fig. 1. Schematische weergave van de verdeling van een waterafstotend product in een behandeld materiaal (links) en van het effect op de contacthoek tussen een bouw materiaal en water.

Soorten hydrofobermiddelen

De meeste waterafstotende producten die tegenwoordig op de markt zijn, zijn op siliconenbasis. In het verleden gebruikte men in Nederland om regendoorslag bij massief metselwerk tegen te gaan vaak (gekookte) lijnolie of – veel minder frequent – op bijenwas gebaseerde producten. Lijnolie wordt ook nu nog toegepast bij restauraties, evenals (bijen)was.

Tabel 1 geeft beknopt de historische ontwikkeling weer van op siliconen gebaseerde hydrofobeermiddelen. De eerste op siliconen gebaseerde producten waren siliconenharsen. Deze konden, door hun grote moleculen, slechts een geringe indringingsdiepte in materialen bereiken. In de jaren '70-'90 zijn de oligomere siloxanen en alkoxy silanen op de markt gebracht, waarmee een grotere impregnatiediepte kon worden bereikt.

Tabel 1. Historische ontwikkeling van siliconenproducten voor hydrofoberen (Lubelli et al. 2012).

Jaar	Product	Oplosmiddel	Toepassingsgebied	% actieve stof
1960	Siliconen	Koolwaterstof	Zandsteen	< 5
1970	Oligomere siloxanen	Koolwaterstof	Natuursteen, baksteen	< 10
1980	Alkoxy silanen	Koolwaterstof	Idem en beton	10-100
1990	Mengsel van oligomere siloxanen en alkoxy silanen	Koolwaterstof of water (emulsie)	Idem	< 10
2000	Verdere ontwikkeling genoemde mengsel	Idem of als crème, ook in poedervorm	Idem; daarnaast als poeder gemengd in droge mortel	25-80

Ook tegenwoordig nog zijn de meeste producten gebaseerd op silaan (meestal voor beton) of siloxaan (voor andere poreuze bouwmaterialen) of een mengsel daarvan. De meeste producten zijn – om gezondheids- of milieuredenen – op waterbasis, hetzij opgelost in water, hetzij als crème. Door de lange contacttijd dringen crèmes dieper in het materiaal dan vloeibare producten.

De laatste paar jaar maken producten met '*nan*' in de naam opgang. Hierbij gaat het om producten die actieve bestanddelen bevatten van nanogrootte, dat wil zeggen in de orde van 10^{-9} m. Vaak worden ze nanocoatings genoemd. Door het gebruik van nano-deeltjes worden de eigenschappen van traditionele producten verbeterd of worden nieuwe functies toegevoegd.

Mogelijke risico's van hydrofobeermiddelen

Bij hydrofoberen wordt het buitenoppervlak van de gevel behandeld; deze waterafstotende oppervlaktebehandeling is alleen zinvol als water van buitenaf komt, dus als opvallend regenwater de enige bron van vocht is. Zijn er andere vochtbronnen, zoals optrekkend vocht, dan is de behandeling niet nuttig en vaak zelfs schadelijk.

Dit komt door het feit dat water in vloeibare vorm, om dezelfde redenen waarom het niet in een behandelde gevel kan binnendringen, ook niet via de behandeling de gevel kan verlaten. Als water in de muur aanwezig is, bij voorbeeld door optrekkend vocht, lekkage of ook onvolmaaktheden in de behandelde gevel (b.v. scheurtjes of een nieuwe onbehandelde voeg), kan dat alleen als waterdamp de gevel verlaten. Waterdamp transport is veel trager dan vloeibaar watertransport (Fig. 2). Zelfs waterafstotende behandelingen die het waterdamptransport maar weinig beïnvloeden, zullen de droging van een verzadigd materiaal vertragen. Een behandelde muur blijft langer nat met daarbij een toenemend risico van vorstschade en biologische groei.

Ook bij de aanwezigheid van zouten in de muur, is het gebruik van een waterafstotende behandeling risicovol: door het feit dat zouten zich alleen in water kunnen verplaatsen (en niet in waterdamp) zullen zouten tijdens droging van het metselwerk zich onder de behandelde laag verzamelen, druk uitoefenen en uiteindelijk in het loskomen van de behandelde laag resulteren (Fig. 3).

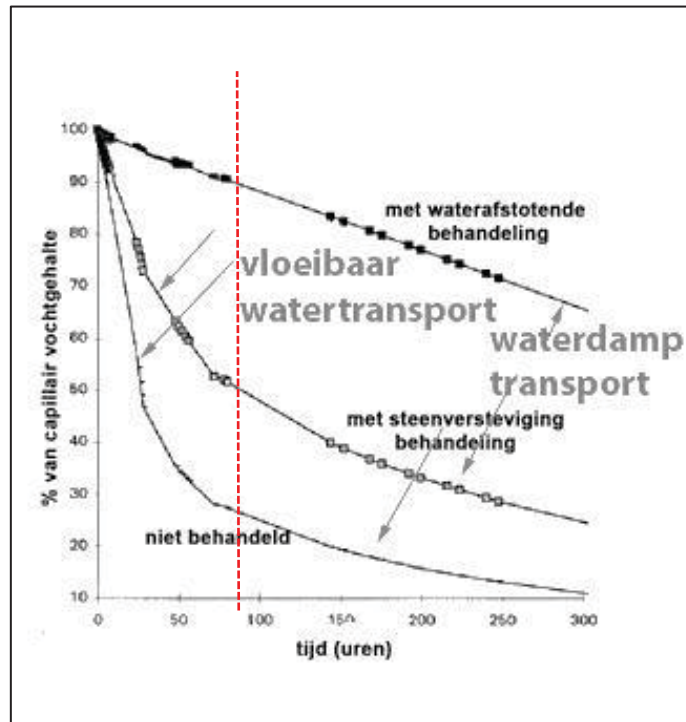


Fig. 2. Effect van een waterafstotende behandeling en een steenversteviger op de droging van een materiaal (Van Hees 1998). Bij voorbeeld: na 4 dagen droging bij 20 °C 50 % (rode lijn) zal een onbehandelde baksteen ongeveer 25 % van zijn watergehalte bij verzadiging bevatten; op dezelfde tijdstip heeft een baksteen behandeld met een waterafstotend product nog 90 % van zijn watergehalte bij verzadiging.



Fig. 3. (a) Druppel water op glas na behandeling met een bijenwas en (b) na het reinigen van de behandeling met heet water; (c) druppel water op baksteen na behandeling met bijenwas en (d) na het reinigen van de behandeling met heet water (e). Druppel water op een niet behandelde baksteen.

Duurzaamheid van hydrofobeermiddelen

Producten op siliconenbasis zijn, nadat ze in het materiaal gereageerd hebben, volledig irreversibel. Hun effectiviteit blijft ook vaak onveranderd in de tijd: onderzoek heeft aangetoond dat deze producten zelfs 30 jaar na de applicatie nog effectief kunnen zijn (Van Hees 1998). Alleen aan het oppervlak (diepte van maximaal enkele micrometers) worden waterafstotende behandelingen door UV-straling beschadigd. Dit vermindert hun werking echter niet significant. Gelet op de irreversibiliteit en de grote duurzaamheid van

deze producten is een weloverwogen beslissing over hun applicatie van buitengewoon belang.

Producten op basis van olie en/of (bijen)was claimen reversibel te zijn. Omdat in dit geval geen nieuwe polymeren gevormd worden, zouden deze producten in theorie geëxtraheerd kunnen worden, door bijvoorbeeld het gebruik van heet water en eventueel een geschikt schoonmaakproduct. Helaas werkt het volledig weghalen van deze producten alleen op niet poreuze ondergronden (zoals bijvoorbeeld glas); in het geval van poreuze ondergronden blijft het waterafstotend effect ook na het reinigen (deels) nog aanwezig (Fig. 3). Dit komt waarschijnlijk doordat het waterafstotende product, tijdens het reinigen, moeilijk compleet kan worden verwijderd en gedeeltelijk wordt opgezogen.

Vaststellen van de aanwezigheid en effectiviteit hydrofobeermiddelen

Het herkennen van de aanwezigheid en het type hydrofobeermiddel kan van belang zijn voor beslissingen over interventies. Bijvoorbeeld in het geval dat een gevel hervoeegd moet worden, is het van belang om te weten of een hydrofobeermiddel aanwezig en effectief is, omdat het de hechting van de nieuwe voegmortel aan de baksteen kan verminderen.

De aanwezigheid en effectiviteit van een hydrofobeermiddel kan herkend worden door de aanwezigheid van een waterafstotend effect. Dit kan eerst indicatief bepaald worden door het oppervlak nat te maken met water: het ontstaan van een pareleffect is een duidelijke indicatie dat de gevel hydrofoob is. Echter, de afwezigheid van het pareleffect betekent niet dat er geen waterafstotende behandeling aanwezig is. Het kan zijn dat het hydrofobeermiddel aan het oppervlak onder invloed van UV-straling is afgebroken, maar nog wel aanwezig is in de diepte. Een test met Karstenbuisjes kan in dergelijke gevallen een beter beeld geven. De Karstenbuis is een glazen buisje dat met kit op een gevel wordt geplakt (Fig. 4). Door het buisje stapsgewijs met water te vullen, kan beoordeeld worden in welke mate het metselwerk vocht opneemt. Van belang is daarbij de waterabsorptie van de baksteen/natuursteen, van de mortel en van de overgang tussen steen en voegmortel: hier ontstaan vaak, door krimpen van de voegmortel en/of bewegingen in de structuur, kleine scheurtjes die de behandeling ineffectief kunnen maken.



Fig. 4. Karstenbuisjes op baksteen en op de overgang tussen baksteen en voegmortel.

Bij een effectieve waterafstotende behandeling is de absorptie van een baksteen (bijna) nihil. Er moet wel opgemerkt worden dat de aanwezigheid van vervuiling op het oppervlak vergelijkbare lage absorptiewaarden kan geven. Bij twijfel kan een kern uit de

gevel genomen worden. Door de kern nat te maken kan ook de indringingsdiepte van het hydrofobeermiddel bepaald worden (Fig. 5). Daarnaast kan de capillaire waterabsorptie van de kern bepaald worden. Als het gewenst is ook het type hydrofobeermiddel te bepalen, kan het product geëxtraheerd worden en geanalyseerd met behulp van infraroodspectrometrie (FTIR). Door vergelijking van het gemeten IR spectrum met IR spectra uit databases en/of uit de literatuur kan het type product herkend worden. Extractie is nodig vanwege de lage concentratie waarin het product aanwezig is in een behandelde materiaal.

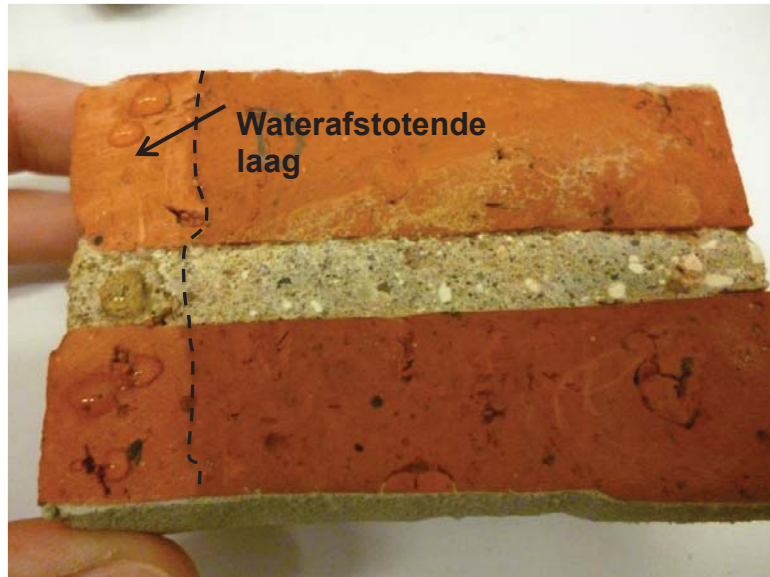


Fig. 5. Indringingsdiepte van een waterafstotende behandeling.

Beslissingsproces voor het aanbrengen van een hydrofobeermiddel

Vanwege de irreversibiliteit van een waterafstotende behandeling en het risico dat aan een dergelijke behandeling verbonden is, is het van belang een bewuste keuze te maken tussen wel of niet behandelen, en zo ja met welke product. Een dergelijke keuze kan alleen verantwoord gebeuren als eerst vooronderzoek plaatsvindt naar de verschillende factoren die het succes van een behandeling beïnvloeden, zoals vocht- en zoutgehalte in het metselwerk, aanwezigheid en type van eventuele schade en eigenschappen van het materiaal. Het is altijd aan te raden het gekozen product (of beter, een selectie van producten) vooraf in het laboratorium en vervolgens op proefvlakken te testen, voorafgaand aan de applicatie op de hele gevel. Figuur 6 laat de verschillende stappen zien waaruit het beslissingsproces met betrekking tot een waterafstotende behandeling zou moeten bestaan.

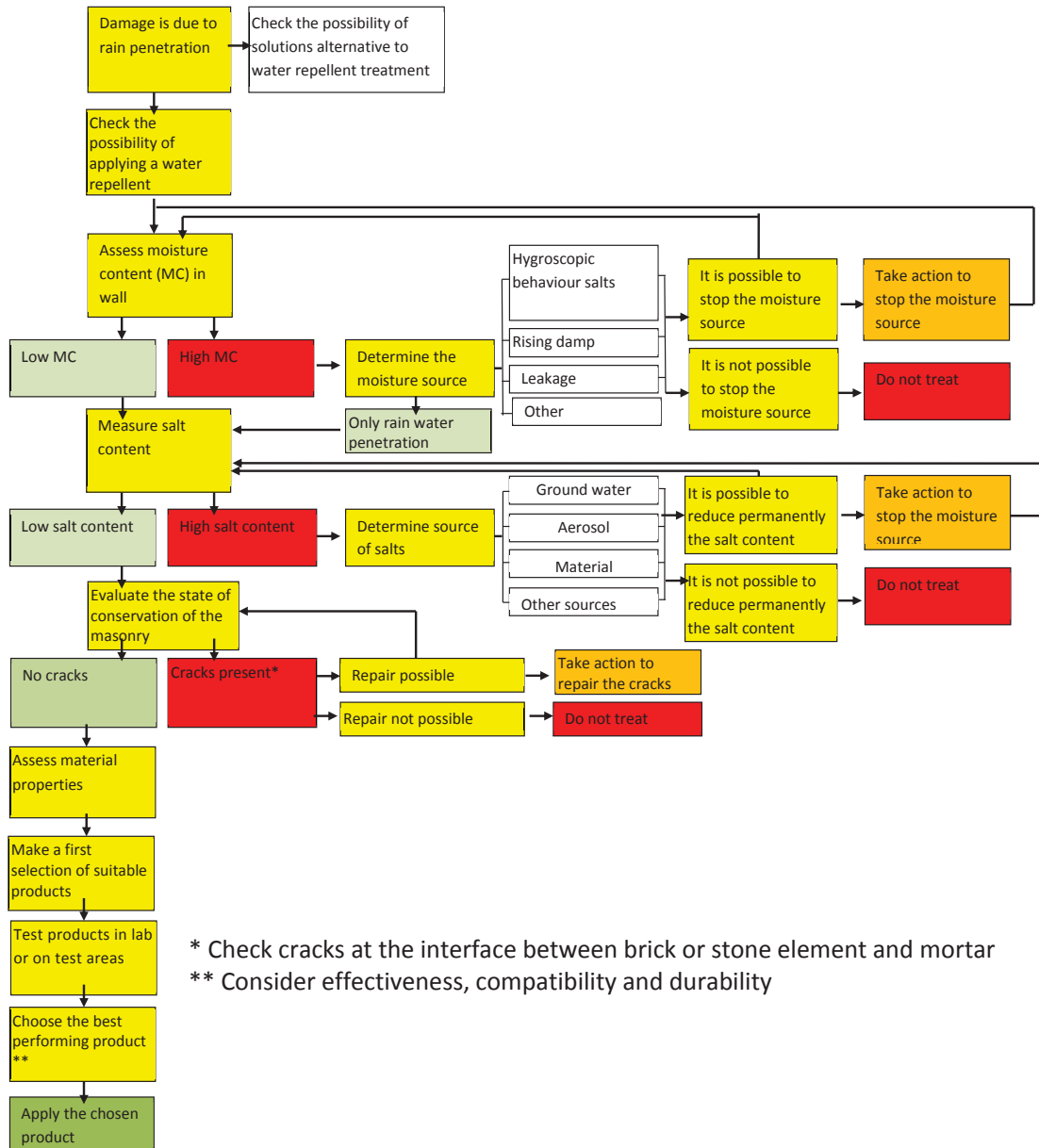


Fig. 6. Beslismodel voor toepassing van een waterafstotende behandeling.

Steenversteviggers

Doel en werkingsprincipe

Steenversteving is een behandeling waarbij de samenhang van de korrels in een steenachtig materiaal wordt hersteld. Een product dringt daarbij tot een zekere diepte door in een beschadigd materiaal, plakt de (bijna) losgekomen deeltjes weer aan elkaar en herstelt ook de samenhang tussen het beschadigde materiaal aan het oppervlak en het onderliggende, onbeschadigde deel.

Soorten steenversteviggers

De eerste steenversteviggers dateren uit de negentiende eeuw. Momenteel wordt gewerkt aan het opbouwen van een historisch overzicht (Nijland & Quist 2017). In 1863 werd

een patent aangevraagd voor het gebruik van hexafluorkieselzuur (H_2SiF_6) om steenachtige materialen te verstevigen (Coombs 1864). In de Frans- en Duitstalige landen waren dergelijke producten in de handel onder de naam fluaten (Nijland, deze syllabus). In de eerste helft van de twintigste eeuw werd vooral waterglas (vloeibare silicaten van natrium en kalium) gebruikt (Torraca 1976, Quist, deze syllabus), maar dit had als negatief bijverschijnsel onder meer het ontstaan van oplosbare zouten.

Voor het verstevigen van kalkgebonden materialen werd ook kalkwater ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ opgelost in water) toegepast. Door carbonatatie wordt uiteindelijk calciumcarbonaat (CaCO_3) gevormd. De resultaten van behandelingen met kalkwater zijn meestal teleurstellend door een te geringe penetratiediepte (Price et al. 1988, Doehne & Price 2010) en wegens het grote aantal herhalingen dat nodig is. Een andere anorganische versteviger die in het verleden soms gebruikt werd, is bariumhydroxide ($\text{Ba}(\text{OH})_2$) (Nijland & Quist 2017). Ook over de effectiviteit van deze techniek bestaan twijfels (Schnabel 1992, Favero et al. 2010).

Een decennialang gangbare en in sommige landen op aanzienlijke schaal toegepaste groep verstevigers wordt gevormd door de acrylaten, in het bijzonder Paraloid B72. Veel acrylharsen hebben ook waterafstotende eigenschappen, maar hun indringingsdiepte is meestal zeer gering. Voor fixatie aan het oppervlak, bijvoorbeeld van fresco's, kunnen ze een optie zijn.

Hoewel al sinds de 19^e eeuw bekend (Nijland & Quist 2017), zijn pas sinds circa dertig jaar producten gebaseerd op kiezelzure esters, ook wel ethylsilicaat (TEOS; tetraethylorthosilicaat) genoemd, de meest gebruikte verstevigers. Na reactie leidt TEOS tot het ontstaan van een op silica-gebaseerd 'bindmiddel' in de steen; om deze reden is deze behandeling het meest effectief op materialen die ook silica bevatten zoals zandsteen en baksteen, maar minder op kalksteen en mortels. Voor applicatie op kalkgebonden materialen zijn verschillende producten ontwikkeld: daaronder zijn ook anorganische steenverstevigers zoals nanokalk. Nanokalk is een dispersie van $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nanodeeltjes in organisch oplosmiddel (meestal isopropanol of ethanol) die een betere stabiliteit en indringdiepte heeft dan het traditionele kalkwater (Borsoi et al. 2016).

Risico's van steenverstevigers

Anders dan hydrofobeermiddelen die een laagje op de poriewanden vormen, vullen steenverstevigers geheel of gedeeltelijk de poriën en leiden dus in meer of mindere mate tot verlaging van de open porositeit. Dit betekent dat waterabsorptie en droging trager worden. Anders dan voor hydrofobeermiddelen, waarbij droging alleen door waterdamptransport mogelijk is, na behandeling dus sterk vertraagd wordt, kan in het geval van steenverstevigers een materiaal nog steeds via vloeibaar transport drogen (Fig. 2). De droging is trager dan in een onbehandeld materiaal; meestal heeft dit geen negatieve consequenties in de zin van het ontwikkelen van schade. Als daarnaast zouten in de ondergrond aanwezig zijn, verliezen sommige steenverstevigers (zoals ethylsilicaten, waarin vaak een katalysator aanwezig is) hun initiële waterafstotende effect vaak niet; in een dergelijk situatie heeft deze behandeling dezelfde nadelen als een hydrofobeermiddel. Het is dus aan te raden om zowel het effect op de droging als de aanwezigheid van zouten in de ondergrond te onderzoeken en deze zo nodig te ontzouten alvorens tot applicatie van een steenversteviger over te gaan.

Duurzaamheid van steenversteviggers

Er is weinig bekend over het gedrag van steenversteviggers op lange termijn. Onderzoek is meestal gericht op nieuw ontwikkelde producten, door middel van versnelde testen in het laboratorium (Wasserman & Bentur 2005, Liucchelli et al. 2014, Karatasios et al. 2009). Onderzoek aan verstevigde materialen in-situ is zeldzaam (Favero et al. 2005) en meestal is er geen vergelijking tussen de initiële situatie (direct na behandeling) en de situatie na veroudering, zodat de duurzaamheid van het product moeilijk te beoordelen is.

Vaststellen van de aanwezigheid en effectiviteit van steenversteviggers

Bij verstevigende behandelingen die aanvankelijk ook waterafstotend zijn, kan de aanwezigheid en indringing van een steenversteviger direct na behandeling bepaald worden door aan een boorkern het pareffect (waterafstotend effect) te beoordelen – net als bij een hydrofobeermiddel. Voor oudere behandelingen die niet meer waterafstotend zijn, kan bij de meeste kiezelzure esters het oppervlak van de boorkern natgemaakt worden met een indicatorvloeistof, zoals een oplossing van dithizone. Het ontstaan van een oranje kleur helpt dan de geïmpregneerde zone te identificeren. In andere gevallen is microscopisch onderzoek aangewezen.

Doel van een steenversteviger is het verbeteren van de cohesie en dus de hardheid en mechanische sterkte van het beschadigde materiaal. Daarom kan de effectiviteit van dit type behandeling ook beoordeeld worden door de boorweerstand te bepalen. Er is voor dit doel een speciale gekalibreerde boormachine ontwikkeld (Tiano et al. 2007) die ook in situ gebruikt kan worden (DRMS – Drilling Resistance Measurement System; fig. 7). Behalve de boorweerstand is ook de ultrasonische geluidssnelheid te gebruiken om de indringing en de effectiviteit van steenversteviggers te meten, maar deze methode is tot nu toe alleen in het lab (dus op monsters uit het metselwerk) mogelijk (Delgado Rodrigues 2001).

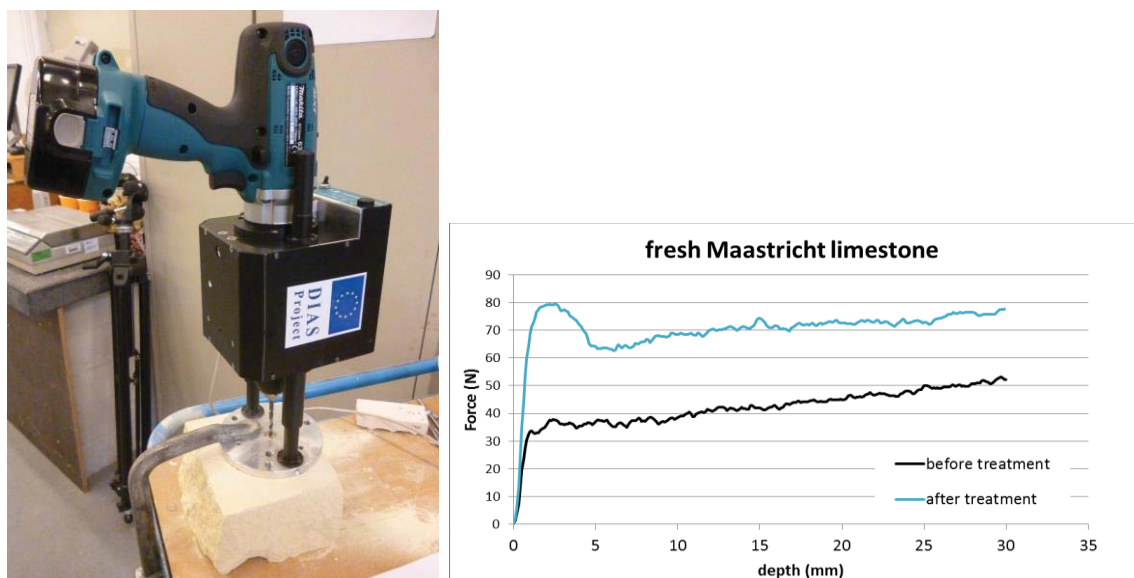


Fig. 7. Gebruikt van DRMS om de indringdiepte van een steenversteviger te meten (links) en DRMS profiel gemeten voor en na behandeling met een steenversteviger (rechts).

In het laboratorium zijn de effecten van een steenversteviger nader te bepalen met behulp van optische en/of electronenmicroscopie (Fig. 8). Er kan dan informatie verkregen worden over de verdeling van de steenversteviger (vult deze alle poriën, scheurtjes, korrelgrenzen), hechting aan de aanwezige korrels, het ontstaan van een (open) netwerk van krimp-scheurtjes, etc.

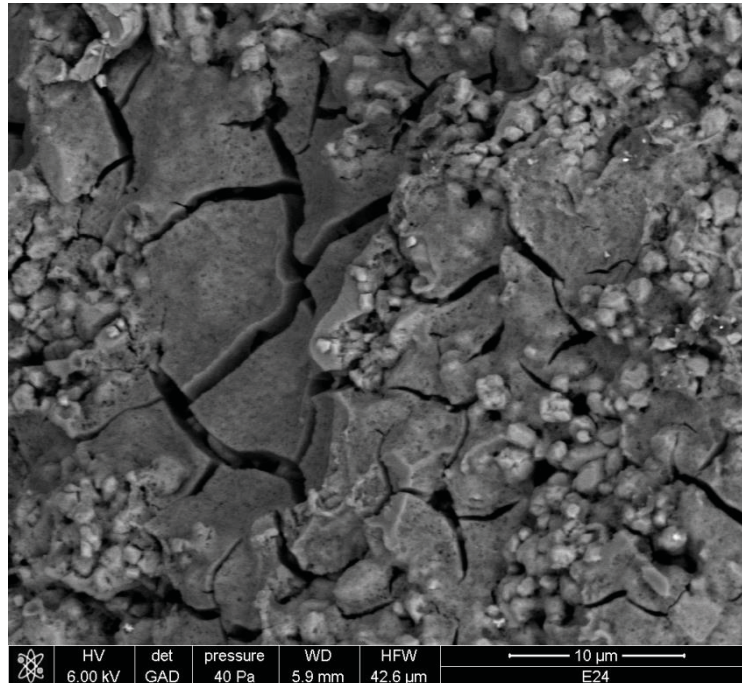


Fig. 8. Electronenmicroscopie-foto van Euville kalksteen behandeld met ethylsilicaat.

Beslissingsproces m.b.t. het aanbrengen van een steenversteviger

Er zijn twee situaties waar het aanbrengen van een steenversteviger niet aan te raden is:

- In het geval dat de schade niet in de vorm van verlies van cohesie (zoals poederen, afzanden) optreedt, maar als delaminatie, afschilfering, etc. In deze laatste situaties kan de steenversteviger het losgekomen materiaal niet meer verbinden, omdat capillair transport tussen de laagjes niet mogelijk is en het product geen grote holtes of scheuren kan vullen. In deze gevallen is het gebruik van een minerale lijm of injectiegroot meer geschikt.
- In het geval dat zouten in het ondergrond aanwezig zijn. In deze situatie blijven hedendaagse producten als TEOS voor langere tijd hydrofoob, met alle negatieve consequenties die hierboven beschreven zijn.

Om te kiezen tussen de verschillende alternatieven op de markt, wordt aangeraden een selectie te maken van mogelijk geschikte producten en deze in het laboratorium en/of op proefvlakken in de praktijk te testen.

Conclusies

Oppervlaktebehandelingen zijn beschermingsmaatregelen die tot doel hebben om schade te herstellen en/of het oppervlak van materialen te beschermen tegen toekomstige schade. Het gebruik van oppervlaktebehandelingen, zoals hydrofobeermiddelen en steenverstevigers, kan schade aan metselwerk voorkomen of

vertragen. In veel gevallen zijn er echter ook grote risico's verbonden aan een dergelijke behandeling. Omdat vrijwel alle behandelingen irreversibel zijn, is het van groot belang vooraf de situatie grondig te onderzoeken (onder meer door de vochtbron en het zoutgehalte vast te stellen).

Het testen van de producten op de te behandelen ondergrond in het laboratorium en/of op proefvlakken in de praktijk is altijd aan te raden. Documenteren van zowel de keuze (inclusief product) als van de redenen voor de gemaakte keuze is van groot belang voor het verbeteren van de conserveringspraktijk in de toekomst.

Referenties

- Borsoi, G., Lubelli, B., Hees, R.P.J. van, Veiga, R., & Santos Silva, A., 2016. Optimization of nanolime solvent for the consolidation of coarse porous limestone. *Applied Physics A* 122:846.
- Coombs, J.C., 1864, Improvement in indurating and preserving stone, cements, wood, etc., US Patent 38287.
- Delgado Rodrigues, J., 2001. Consolidation of decayed stones. A delicate problem with few practical solutions. In: Lourenço, P.B. & Roca, P., red., *Historical constructions*, Guimarães, 3-14.
- Doehne, E. & Price, C.A., 2010. *Stone conservation - An overview of current research*. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Favaro, M., Naccari, A., Crivellari, F., Magris, D., Pigo, M., Burtet, B., Fumo, G. & Fassina, V., 2000. New findings on past treatments effects on the lunette of San Giovanni Evangelista in Venice. In: Fassina, V., red., *Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Venetië*, 623-632.
- Favaro, M., Simon, S., Menichelli, C., Fassina, V., Vigato, P.A., 2005. The Four Virtues of the Porta della Carta, Ducal Palace, Venice. *Studies in Conservation* 50:109-127.
- Hees, R.P.J. van, red., 1998, Evaluation of the performance of surface treatments for the conservation of historic brick masonry, Research Report No 7. Europese Commissie, Brussel.
- Karatasios, I., Theoulakis, P., Kalagri, A., Sapalidis, A. & Kilikoglou, V., 2009. Evaluation of consolidation treatments of marly limestones used in archaeological monuments, *Construction and Building Materials* 23:2803-2812.
- Licchelli, M., Malagodi, M., Weththamuni, & Zanchi, C., 2014. Nanoparticles for conservation of bio-calcareous stone. *Applied Physics A* 114:673-683.
- Lubelli, B., Hees, R.P.J. van & Nijland, T.G., 2012. Oppervlakte behandeling van historisch metselwerk – mogelijkheden en beperkingen. In: Hunen, M. van, red., *Historisch Metselwerk*. W books & RCE, Amersfoort, 237-251.
- Nijland, T.G., 2016. Van de Frans-Duitse oorlog van 1870 tot 20^e eeuwse restauratie: fluaten. *Deze syllabus*.
- Nijland, T.G. & Quist, W.J., 2017. Historische oppervlaktebehandelingen voor de conservering van steenachtige materialen (natuursteen, beton, metselwerk) in Europese context. *In voorbereiding*.
- Price, C.A., Ross, K. & White, G., 1988. A further appraisal of the lime technique for limestone consolidation using a radioactive tracer. *Studies in Conservation* 33:178-186.
- Quist, W., 2016. Waterglas: Een negentiende-eeuws wondermiddel. *Deze syllabus*.
- Schnabel, L., 1992, Evaluation of the barium hydroxide-urea consolidation method. In: 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lissabon, 1063-1072.
- Tiano, P., Delgado Rodrigues, J., Witte, E. de, Verges-Belmin, V., Massey, S., Snethlage, R., Costa, D., Cadot-Leroux, L., Garrod, E. & Singer, B., 2000. The conservation of monuments: A new method to evaluate consolidating treatments. *Restoration of Buildings and Monuments* 2:133-150.

- Torraca, G., 1976. Treatment of stone in monuments – a review of principles and processes. In: Rossi-Menaresi, R., red., The conservation of stone I. Proceedings of the International Symposium. Centro per la Conservazione delle Sculture all'Aperto, Bologna, 297-313.
- Wasserman, I. & Bentur, A., 2005. The efficiency of surface treatments on enhancement of the durability of limestone cladding stones. *Materials & Structures* 38:99-105.