



**Restauratie voltooid,
kwaliteit gehaald ?**

***TNO-NVMz studiedag
3 december 2014, Delft***



Kunnen we aangetaste (natuur)steen behandelen met verstevigers en aan welke eisen moeten ze voldoen ?

Rob van Hees^{1,2}, Barbara Lubell^{1,2} & Timo G. Nijland¹

¹TNO, ²Faculteit Bouwkunde, TU Delft

Samenvatting

Voor de conservering van aangetaste (natuur)steen in monumentale gebouwen, en dan vooral voor schadetypen die kunnen worden omschreven als afzanden, poederen of verkruimelen, zijn door de industrie zogenaamde steenverstevigers ontwikkeld. Ethylsilicaten (kieselzure esters) worden al langere tijd gebruikt. Dit type steenversteviger is oorspronkelijk ontwikkeld voor zandsteen. Recente ontwikkelingen zijn gemodificeerde ethylsilicaten, die daarmee beter geschikt zijn voor toepassing op kalksteen en zogenaamde nano-kalken, speciaal bedoeld voor de behandeling van kalksteen en mortels. De geschiktheid van steenverstevigers kan vastgesteld worden aan de hand van criteria, die enerzijds betrekking hebben op prestatie en duurzaamheid, maar daarnaast ook gerelateerd zijn aan verschillende compatibiliteits-aspecten. In deze bijdrage wordt verder ingegaan op de belangrijkste technische eisen, dat wil zeggen een verdere specificatie van compatibiliteits- en prestatie-criteria. Methoden om vast te stellen of aan die eisen wordt voldaan, worden beschreven en tenslotte wordt een stappenplan gegeven voor de praktijk.

Inleiding

Versteviging is in dit verband een behandeling, bedoeld om de verloren gegane samenhang in een materiaal te herstellen. Dit vereist het inbrengen van een nieuw bindmiddel in de gedegradeerde laag. De 'bindmiddelen' die worden gebruikt, worden steenverstevigers of verstevigers genoemd. De producten kunnen met verschillende technieken worden aangebracht, zoals door middel van sproeien, vloeien of met de kwast. Ze moeten dusdanig diep in de ondergrond doordringen dat de gedegradeerde zone geheel wordt bereikt. De diepte die wordt bereikt is onder andere afhankelijk van het type versteviger, samen met de eigenschappen van de ondergrond en de applicatiecondities. De diepte en daarmee ook het effect van de behandeling kan aanzienlijk afwijken van de visueel aan een klein proefstuk met het blote oog waargenomen indringdiepte. Om deze redenen moet de effectiviteit van een behandeling op een bepaalde ondergrond dan ook grondig en met verschillende methoden worden onderzocht, voordat tot een grootschalige behandeling van een historische ondergrond kan worden besloten.

Schadetypen die kunnen worden behandeld omvatten onder andere:

- poederen
- afzanden
- verkrumelen

Hierbij gaat het steeds om verlies aan samenhang van het materiaal; dit zijn typische schadevormen waar behandeling met een steenversteviger mogelijk is. Schadetypen als exfoliatie en delaminatie zijn niet zomaar te behandelen, omdat daarvoor capillair transport door de aangetaste zone tot in de gezonde ondergrond gewenst is. In figuur 1 worden enkele vormen van aangetaste natuur- en baksteen weergegeven. Het gaat om:

- IJzerzandsteen: schilferen en afzanden
- Zandsteen: schilferen en afzanden
- Baksteen: poederen en alveolisatie
- Metselwerk: zoutuitbloei (baksteen), afzanden (mortel)
- Kalksteen: gipskorst, schilferen, poederen en afzanden
- Baksteen: poederen

Steenverstevigingsmiddelen, zoals ze worden gebruikt voor natuursteen, baksteen en ook voor pleisters (muurschilderingen) omvatten onder andere:

- Kalkwater; traditioneel product, waarvoor veel opeenvolgende behandelingen nodig zijn om effect te geven;
- Ethylsilicaten; oorspronkelijk voor zandsteen ontwikkelde producten, die meestal minder effect geven op kalkachtige ondergronden; in de laatste jaren zijn modificaties bedoeld voor kalksteen op de markt gekomen;
- Nanokalk producten; deze zijn vooral bedoeld voor kalksteen en mortels.

Alvorens een behandeling van aangetaste (natuur)steen in een historisch gebouw kan worden uitgevoerd, moet een aantal stappen worden genomen:

- Beoordeling van type ondergrond materiaal en de materiaaleigenschappen;
- Opheffen van eventuele vocht- en zoutbronnen, maar ook van mogelijke constructieve schade-oorzaken;
- Aanpak van schadetypen als exfoliatie of delaminatie, bijvoorbeeld door het injecteren met behulp van specifiek hiervoor bedoelde mortels (*grouts*);
- Verwijderen van in de ondergrond aanwezige zouten (bijvoorbeeld door gebruik van een *poultice*).

Vervolgens kan de verstevigende behandeling worden uitgevoerd.



Fig. 1. Enkele voorbeelden van gedegradeerde natuursteen en baksteen. Voor toelichting, zie tekst.

Compatibiliteits- en prestatie-eisen

Een verstevigende behandeling dient aan een aantal eisen te voldoen, zeker wanneer het gaat om ondergronden van historisch belang. In wezen moet het bij een behandeling van een historische ondergrond gaan om een compatibele ingreep of behandeling. Het concept van compatibiliteit heeft tegenwoordig het moeilijk haalbare principe van reversibiliteit in wezen vervangen (Teutonico et al. 1997, Van Balen et al. 2005). Reversibiliteit was ooit geïntroduceerd in het verlengde van het Charter van Venetië uit 1964 (ICOMOS 2012). Zeker in het geval van oppervlaktebehandelingen, waaronder ook steenversteviging, juist bedoeld om een duurzame behandeling in de diepte van het materiaal te

bereiken, is reversibiliteit eigenlijk onmogelijk (Van Hees 1998). In het geval van oppervlaktebehandelingen kan de compatibiliteit worden gedefinieerd als: *Een behandeling kan als compatibel worden beschouwd, wanneer deze niet leidt tot enige technische of esthetische schade aan het historische materiaal.* De behandeling dient verder zo duurzaam mogelijk te zijn.

Compatibiliteitseisen

De verstevigende behandeling moet effectief zijn, d.w.z. de samenhang en/of sterkte van het aangetaste materiaal moeten erdoor verbeterd worden, en tevens compatibel. Op basis hiervan en de boven gegeven definitie van compatibiliteit kunnen compatibiliteitseisen worden onderverdeeld in fysische, chemische, mechanische en esthetische eisen. De meest belangrijke aspecten daarvan worden hierna toegelicht.

Fysische eisen

Porositeit / poriegrootte verdeling: Porositeit en poriegrootte verdeling moeten niet te veel verschillen van die van het niet aangetaste materiaal, om een volledig afwijkend gedrag van de behandelde zone onder invloed van vocht (absorptie en droging) te vermijden. Deze parameter zou eventueel op een indirecte manier, via waterabsorptie en droging kunnen worden vastgesteld.

Drooggedrag: Het drooggedrag van het materiaal mag zo weinig mogelijk worden beïnvloed door de verstevigende behandeling. Een behandeling die droging verhindert of belemmert, kan schadeprocessen als zoutkristallisatie, vorst of biodegradatie bevorderen. Aangetast, behandeld materiaal zou moeten worden vergeleken met aangetast onbehandeld en met gezond materiaal. Figuur 2 geeft een voorbeeld van de mogelijke invloed van oppervlaktebehandelingen zoals hydrofobeermiddelen en steenverstevigers op het drooggedrag van (in dit geval) onbeschadigde baksteen.

Thermische & hygrische uitzetting: De uitzetting van steenachtige materialen mag niet significant veranderen als gevolg van de behandeling met een versteviger; dit om schade in de vorm van loskomen van de behandelde zone te voorkomen.

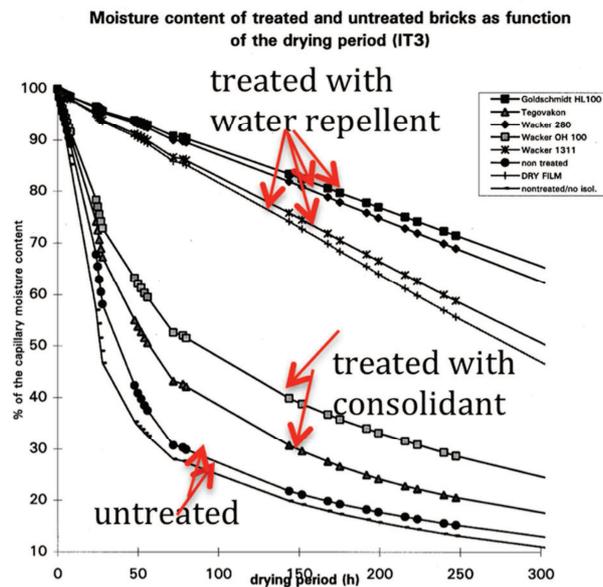


Fig. 2. Droogtest: droogsnelheid van (gezonde) baksteen na behandeling met hydrofobeermiddelen en een versterker, in vergelijking met onbehandelde baksteen (Van Hees 1998). De 100% op de Y-as betreft de situatie van volledige verzadiging van de proefstukken met water. Behandeling kan de droging aanzienlijk vertragen.

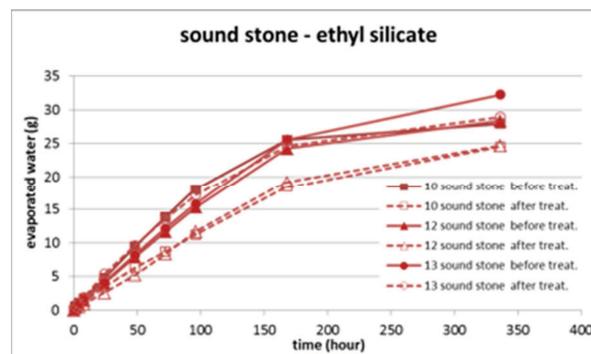


Fig. 3. Drooggedrag van gezonde mergel (Maastrichter kalksteen) voor en na behandeling met een ethylsilicaat (Van Hees et al. 2014).

Chemische eisen

Ongewenste chemische reacties: Schadelijke chemische reacties tussen versterker en steen en tussen behandelde steen en bijvoorbeeld elementen uit luchtverontreiniging of zouten moeten worden vermeden.

Oplosbaarheid: Het eventueel oplossen of uitlogen van de ondergrond onder invloed van bijvoorbeeld (zure) regen moet voor behandelde en onbehandelde ondergrond vergelijkbaar zijn om zogenaamde selectieve verwerking te voorkomen.

Mechanische eisen

'Hardheid' en samenhang: Als gevolg van de versterking moet een verbetering van de 'hardheid' en de samenhang van het aangetaste materiaal worden bereikt. Het behandelde materiaal mag daarbij niet 'harder' worden dan het gezonde materiaal.

Vervormingsgedrag: De behandeling mag het vervormingsgedrag van de ondergrond niet significant veranderen (verminderen). Dit kan worden geëvalueerd door het meten van de (dynamische) E-modulus. De elasticiteitsmodulus van het versterkte materiaal mag niet groter zijn dan die van het gezonde materiaal.

Esthetische eisen

De behandeling mag niet leiden tot verkleuring of duidelijke verandering in glans.

Criteria voor prestatie en duurzaamheid

Naast compatibiliteitscriteria, kunnen ook criteria gerelateerd aan het effect en het lange-duur-gedrag worden gedefinieerd en wel op de volgende gebieden:

Samenhang: Dit aspect is nauw gerelateerd aan de 'hardheid'. De samenhang kan worden vastgesteld met diverse methoden, zoals: Shore hardheid met een 'durometer', een scotch tape test (afpellen), een slijtweerstandstest of bijvoorbeeld door het vaststellen van de boorweerstand (zie hieronder).

Indringingsdiepte: De indringingsdiepte van een product op een specifieke ondergrond geeft belangrijke informatie met betrekking tot de 'prestaties' van het product. Voor het vaststellen van de indringdiepte kunnen methoden met indicatorvloeistof worden gebruikt (Fig. 4).

Als alternatief kan ook de boorweerstand worden gebruikt om de indringdiepte te bepalen (Fig. 5, 6). Hierbij is vanwege de inhomogeniteit van veel ondergronden een voldoende aantal metingen nodig, waarvan vervolgens het gemiddelde kan worden bepaald.



Fig. 4. Gebruik van een indicatorvloeistof om de aanwezigheid van een product in een ondergrond vast te stellen (laboratoriumsituatie). Links dithizon, voor het vaststellen van de indringingsdiepte van ethylsilicaat; rechts phenolphthaleïne voor het vaststellen van wel en niet gecarbonateerde zones, na behandeling met een nanokalk.



Fig. 5. Bepaling van de indringingsdiepte door middel van boorweerstandsmetingen uitgevoerd in een laboratoriumopstelling.

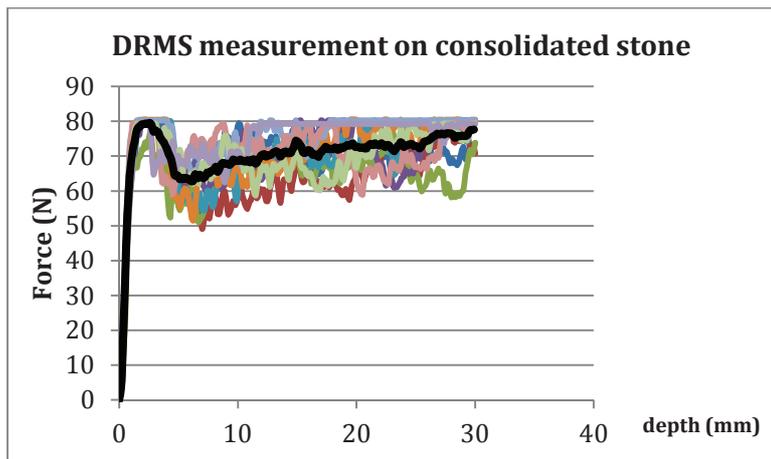


Fig. 6. Voorbeeld van een boorweerstandsmeting op een versterkte natuursteen. Het gemiddelde van 10 metingen is gegeven door de zwarte curve; deze laat een gemiddelde indringingsdiepte van ca. 6 mm zien.

Zouten, vorst, biodegradatie

De prestatie op de lange duur (levensduur) van een behandelde steen onder invloed van zoutkristallisatie cycli, of vorst-dooi cycli moet liggen tussen die van een gezonde steen en een aangetaste (maar niet behandelde) steen. Biologische groei op een behandelde steen mag niet toenemen ten opzichte van een onbehandelde ondergrond.

Wat nu te doen in een praktijksituatie ?

In de vorm van een checklist en een tabel wordt hierna aangegeven welke werkwijze het best gevolg kan worden in de praktijk. In een praktijksituatie is het goed eerst volgens het volgende stappenplan te werk te gaan:

- Opname van het monument, vaststellen van de staat van conservering.
- Vaststellen van het type natuursteen en het type schade en vaststellen of dat schadetype in principe voor behandeling in aanmerking komt.
- Vaststellen van de schade-oorzaak.
- Vaststellen van de eventuele aanwezigheid van oudere behandelingen.
- Wegnemen van de schade-oorzaak, zoals eventuele vocht- en zoutbronnen.
- Eerst behandelen van proefvlakjes.
- Applicatiemethoden vergelijken.
- Alternatieve producten overwegen.
- Mogelijk effect vaststellen bijvoorbeeld door een hardheidsprofiel te maken (boorweerstandsmetingen; DRMS).

Tenslotte wordt in tabel 1 een overzicht gegeven van de belangrijkste eisen.

Tabel 1. Overzicht belangrijkste eisen.

	Parameter	Eis
Onderzoek natuur- en baksteen na versteving	<i>Applicatie</i>	
	Productapplicatie	Vergelijking verschillende producten en applicatietechnieken
	<i>Fysisch</i>	
	Porositeit	Niet te veel verschillend van het gezonde materiaal
	Water absorptie	Beperkte afname van de waterabsorptie
	Drooggedrag	Beperkte afname van de droogsnelheid
	Thermische en hygrische uitzetting	Beperkte toename
	<i>Chemisch</i>	
	Chemische reacties	Geen schadelijke reactie tussen product en materiaal
	Oplosbaarheid	Geen verschil tussen behandeld en niet behandeld om selectieve verwerking te voorkomen
	<i>Mechanisch</i>	
	Hardheid	Verbetering, maar niet sterker dan het gezonde materiaal. Homogene verdeling over de diepte van de behandelde zone
	Samenhang	Verbetering, maar niet sterker dan het gezonde materiaal Homogene verdeling over de diepte van de behandelde zone
	<i>Esthetisch</i>	
	Kleur en glans	Geen zichtbare verandering
	<i>Prestatie en duurzaamheid</i>	
	Samenhang	Zie boven (hardheid en samenhang)
Indringingsdiepte	Volledige verweerde zone moet worden bereikt. Homogene verdeling	

Referenties

- Balen, K. van, Papayianni, I., Hees, R.P.J. van, Binda L. & Waldum A., 2005. RILEM TC 167-COM: Characterization of old mortars with respect to their repair, Introduction to requirements for and functions and properties of repair mortars, *Materials & Structures* 38:781-786.
- 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. European Commission, Brussel.
- Hees, R.P.J. van, Lubelli, B., Nijland, T. & Bernardi, A., 2014. compatibility and performance criteria for nano-lime consolidants. Proceedings of the 9th Monubasin, Ankara, in druk.
- ICOMOS, 2012. The Venice Charter, International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites, 1964 (http://www.icomos.org/venice_charter.html, bezocht 2 augustus 2012).
- Teutonico J.M. Charola, A.E., Witte, E. de, Grasegger, G., Koestler, R.J., Laurenzi Tabasso, M., Sasse, H.R. & Snethlage, R., 1997. Group report: How can we ensure the responsible and effective use of treatments (cleaning, consolidation, protection) ? In: Baer, N.S. & Snethlage, R., red., *Saving our architectural heritage, the conservation of historic stone structures*. J. Wiley & Sons, Chichester, 293-314.