



**Restauratie voltooid,  
kwaliteit gehaald ?**

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



## **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 9<sup>th</sup> 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](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.

## **Succesvol ontzouten: van theorie tot praktijk**

*Barbara Lubelli<sup>1,2</sup> & Rob P.J. van Hees<sup>1,2</sup>*

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

### **Inleiding**

Zoutkristallisatie is één van de meest voorkomende oorzaken van schade aan poreuze bouwmaterialen; het komt voor in verschillende klimaten. Vooral historische gebouwen vertonen vaak ernstige aantastingsverschijnselen veroorzaakt door zouten. Zouten in poreuze materialen kunnen leiden tot schade door hun interactie met vocht. Het tegengaan van vochtpenetratie kan daarom een oplossing voor zoutschade zijn. Dit is niet altijd mogelijk (denk aan regen en luchtvochtigheidswisselingen in buitensituaties) of gewenst (een klimaat-beheersingssysteem kan bijvoorbeeld een te vergaande ingreep zijn in monumentale gebouwen). In deze situaties kan ontzouten, dat wil zeggen het verlagen van het zoutgehalte, de meest geschikte oplossing zijn (b.v. Van Hees et al. 2010, Sawdy et al. 2010).

### **Vooronderzoek**

Ontzouten is in principe geschikt voor situaties waar de toevoer van zouten volledig of grotendeels gestopt of de bron ervan verdwenen is. Als zouten bijvoorbeeld aanwezig zijn doordat het gebouw in het verleden is gebruikt als zoutopslag, biedt ontzouten een oplossing. Andersom, als de bron nog aanwezig is, heeft ontzouten geen nut. Dit is bijvoorbeeld het geval als zouten door optrekkend vocht of door regelmatige overstromingen met zout water in de muur komen. In alle situaties waar een vochtbron als bijvoorbeeld optrekkend vocht, regendoorslag, etc. aanwezig is, heeft ontzouten op lange termijn weinig effect, aangezien zouten in oplossing door het materiaal zullen blijven bewegen. Aangezien bij het ontzouten van metselwerk in de beste gevallen een diepte van 5 tot 10 cm kan worden bereikt, kunnen de zouten die dieper zitten door water geactiveerd en naar het muuroppervlak getransporteerd worden. In het geval dat de relatieve vochtigheid (RV) van de lucht de enige vochtbron is, kan ontzouten wel een oplossing bieden om zoutschade te verminderen (Lubelli et al. 2011). De meeste schadelijke zouten zijn hygroscopisch, d.w.z. dat ze vocht uit de lucht kunnen aantrekken als de RV van de lucht hoger is dan de evenwichts-RV van het zout zelf (natriumchloride heeft bijvoorbeeld een evenwichts-RV van 75 %) (Lubelli et al. 2004). Bij een hogere RV gaan de zouten in oplossing, bij een lagere RV zullen ze dan opnieuw kristalliseren met uiteindelijk zoutschade tot gevolg. Zouten dicht bij het oppervlak van de muur zullen sneller op de RV-veranderingen van de lucht reageren; zouten diep in de muur zijn minder gevoelig voor RV-wisselingen. Daarom kan ontzouten van een muur, waar geen andere vochtbron dan de lucht-RV bestaat, zoutschade verminderen door het verlagen van de hoeveelheid zouten aan het oppervlak.

Uit bovengenoemde voorbeelden wordt duidelijk dat een met onderzoek onderbouwde diagnose gericht op vocht- en zoutbronnen de basis moet zijn voor de beslissing over al dan niet ontzouten. Anders kan ontzouten niet alleen ineffectief zijn, maar zelfs tot meer schade leiden. TNO heeft een expertsysteem ontwikkeld (MDDS), bij de analyse van de schade en het maken van een diagnose met betrekking tot zout- en vochtbron kan helpen (Van Hees et al. 2009). Figuur 1 geeft een idee van de analyse die dit systeem kan uitvoeren.

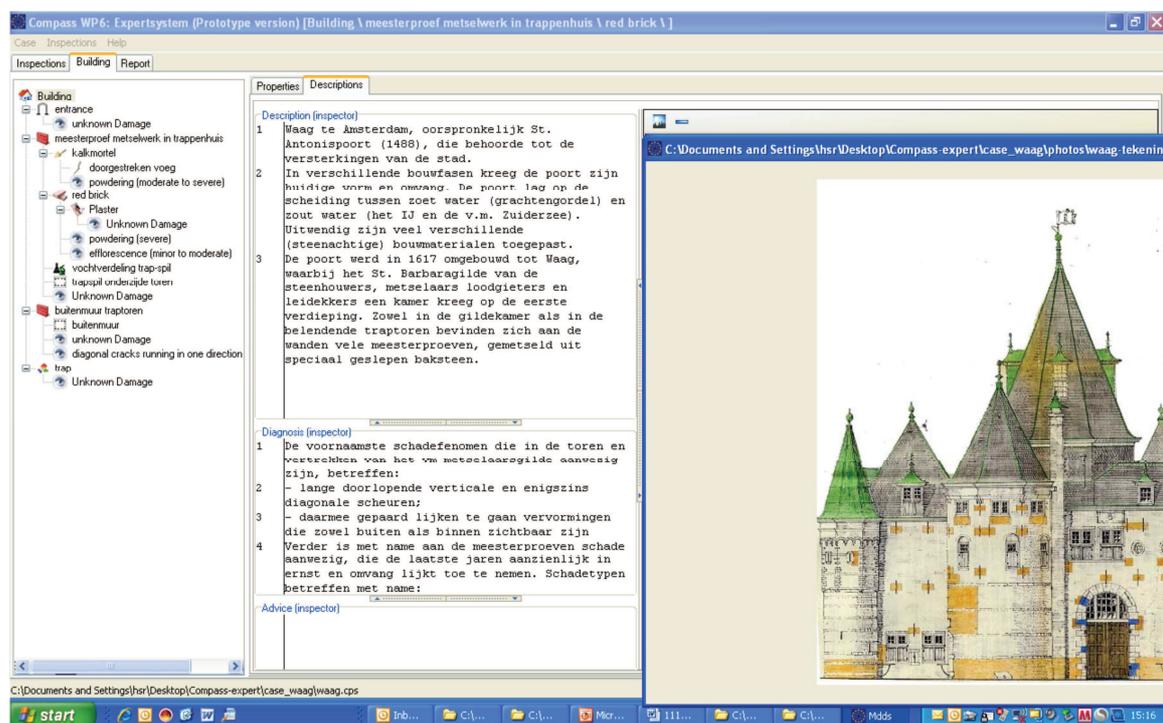


Fig. 1. *Bepaling van de staat van conservering van een gebouw met behulp van MDDS.*

Het moet worden benadrukt dat ontzouten niet alleen nuttig is om het bestaande (historische) materiaal beter te behouden, maar ook om de duurzaamheid van nieuw aangebrachte materialen, die in contact staan met het historische materiaal, te verbeteren. Een pleister zal bijvoorbeeld een langere levensduur hebben indien deze wordt aangebracht op metselwerk waarvan het zoutgehalte verlaagd is door ontzouten. Het aanbrengen van een pleister op een zoutbelaste ondergrond kan in korte tijd tot schade leiden, zeker als het metselwerk zeer nat is (Fig. 2).



Fig. 2. Loskomen van de eerste laag pleister, enkele weken na het aanbrengen op een natte, zoutbelaste muur. Op de pleister is zoutuitbloei zichtbaar.

### Keuze van ontzoutingsmethode

Ontzouten van roerend erfgoed kan relatief gemakkelijk bereikt worden door middel van de zogenaamde *badmethode*. Deze bestaat uit het onderdompelen van het object in water, waarbij de zouten door het verschil in concentratie van het object naar het water migreren door diffusie. Dit proces is traag en het water moet verversed worden elke keer als een evenwicht in concentratie tussen object en water is bereikt. Het kan dus, afhankelijk van de eigenschappen van de steen, vele maanden duren voordat volledig ontzouten is bereikt. Daarnaast kan de badmethode niet op onroerend erfgoed toegepast worden. In het geval van metselwerk kan ontzouten beter bereikt worden door middel van compressen (Engels: *poulticing*). Poulticing vindt plaats door het aanbrengen van een nat mengsel van bijvoorbeeld cellulosevezels, klei (bentoniet, kaolien, sepioliet, attapulgiel), zand of lichte toeslagstoffen op het oppervlak van het te ontzouten materiaal. Soms moet de ondergrond worden nat gemaakt voor het aanbrengen van de poultice; in andere gevallen levert de poultice zelf het benodigde water om de zouten in oplossing te brengen.

Na het aanbrengen kan men de poultice nat houden of laten drogen. In het eerste geval bewegen zoutionen door diffusie naar de poultice toe (hetzelfde principe als bij de badmethode). In het tweede geval bewegen de zoutionen samen met het water vanuit het materiaal naar de poultice door middel van advectie. Aangezien advectie een sneller transportmechanisme is dan diffusie, is de tweede optie meestal het meest effectief. Deze levert betere resultaten op in kortere tijd.

### **Keuze van de poultice**

Om advection goed te laten werken, moet de poultice aan verschillende eisen voldoen. Allereerst moet de poriegrootte van de poultice kleiner zijn dan die van de ondergrond, om transport van de zoutoplossing mogelijk te maken door verschillen in capillaire druk (Pel et al. 2010), maar ook weer niet te klein, om het transport niet onnodig te vertragen. Daarnaast is een hoge totale porositeit van de poultice voordelig voor het transport van de zoutoplossing en het bergen van de zouten. Als niet aan deze eisen voldaan wordt, zal slechts een minimaal transport van zouten plaatsvinden ten gevolge van diffusie, tijdens de periode wanneer de ondergrond en de poultice allebei nat zijn. Mogelijk zullen zouten ook meer in de diepte van het materiaal migreren. Dit kan gebeuren bijvoorbeeld bij het ontzouten van fijn-poreuze natuurstenen en bakstenen ondergronden, als een poultice op alleen cellulose basis wordt gebruikt. De poriegrootte van een cellulosepoultice is ongeveer 15  $\mu\text{m}$ , dus groter dan die van de meeste bakstenen en natuurstenen (meestal 5-7  $\mu\text{m}$ ); dit betekent dat een pure cellulose poultice zeker niet het meest effectieve ontzoutingsmateriaal voor deze bouwmaterialen is.

De beste resultaten kunnen bereikt worden door de poriegrootte (en dus de samenstelling) van de poultice aan die van het te ontzouten materiaal aan te passen (Lubelli & Van Hees 2010). TNO heeft in samenwerking met andere partners in het Europese project Desalination, een modulair systeem van ontzoutingspoultices ontwikkeld: voor elke klasse van poriegrootte van de ondergrond wordt een klasse van poriegrootte van de poultice vastgesteld die het beste werkt op die ondergrond (Fig. 3, tabel 1): Daarnaast worden ook andere poultice klassen aangegeven die ook, maar wel minder goed zouden werken. In de tabel is te zien dat voor zeer fijn-poreuze materialen, zoals bijvoorbeeld marmer, ontzouten door droge poulticing (advection) geen optie is. Voor deze materialen zijn de badmethode of natte poulticing de enige mogelijkheden, aangezien advection in zeer fijne poriën heel traag is en het moeilijk is om een poultice te vinden met poriën nog kleiner dan die van een dergelijke ondergrond.

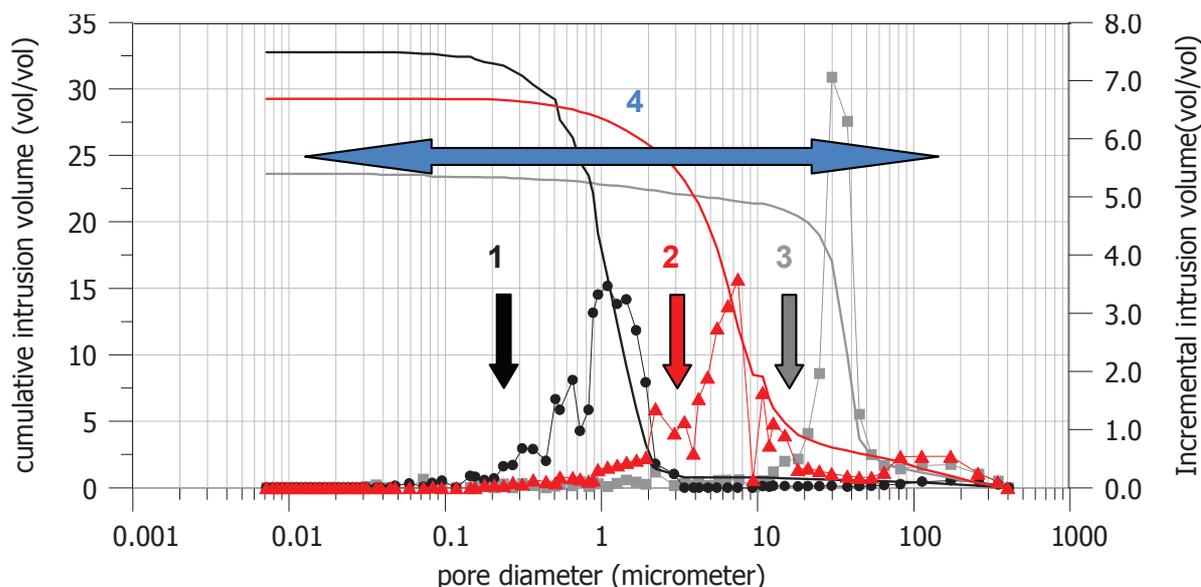


Fig. 3. Modulair systeem van poultices: de pijlen geven aan welke poriëgrootte het poultice zou moeten hebben voor elke klasse van poriëgrootte van de ondergrond (zie tabel 1).

Tabel 1. Modulair systeem van poultices: elke categorie is geschikt voor een bepaalde categorie van ondergronden. G = geschikt poulticemateriaal; M = mogelijk poulticemateriaal.

Poultice	Ondergrond				
		Microporiën < 0,1 µm	Kleine poriën 0,1 tot 1 µm	Meso-poriën 1 tot 10 µm	Macroporiën 10 tot 100 µm
<b>Advectie</b>	1		G	M	M
	2			G	M
	3				G
<b>Diffusie</b>	4	G	M	M	M

### Voorbenatten

Als voor een ontzoutingsmateriaal met poriën kleiner dan die van de ondergrond wordt gekozen, zal de ondergrond geen water uit de poultice zuigen. Om extractie mogelijk te maken, moeten de zouten dus op een andere manier in oplossing gebracht worden. Dit kan door voorbenatten van het materiaal, b.v. door voorzichtig sproeien voor het aanbrengen van de poultice. De hoeveelheid water moet op basis van de absorptie eigenschappen van de ondergrond en van de gewenste ontzoutingsdiepte bepaald worden. Soms, met name bij slecht absorberende ondergronden, moet het voorbenatten in meerdere stappen plaatsvinden om de gewenste diepte te bereiken.

In theorie is het ook mogelijk om een poultice te kiezen met zowel grotere als kleinere poriën dan de ondergrond. Deze poultice zou aan het begin van het ontzouten via zijn grote poriën voor water zorgen om de zouten in oplossing te brengen, terwijl later de kleinere poriën zorgen voor het onttrekken van de zoutoplossing. Helaas is het ontwikkelen van een dergelijke poultice tamelijk ingewikkeld en blijkt het vaak voordeliger om de twee processen (in oplossing brengen en onttrekken van de zouten) met twee afzonderlijke methoden aan te pakken.

### **Aanbrengen van de poultice**

Wanneer de meest geschikte poultice is gekozen en de hoeveelheid water voor het voorbenatten is vastgesteld, kan de poultice (zo nodig machinaal) op de muur aangebracht worden (Fig. 4). De poultice moet 3 tot 4 dagen (afhankelijk van de temperatuur en RV) blijven zitten. Als de poultice gedroogd is, zal er geen transport van zouten naar de poultice toe meer plaatsvinden en kan de poultice weggehaald worden. Afhankelijk van de situatie, kan de applicatie worden herhaald om een betere effectiviteit te bereiken.

Het is van extreem belang dat tijdens het ontzouten de poultice een perfect contact met de ondergrond behoudt, omdat anders de poultice en de ondergrond afzonderlijk zullen drogen zonder dat zouten naar de poultice getransporteerd worden. Om goed contact te garanderen wordt soms een plastic net gebruikt die de poultice tegen de muur houdt (Fig. 5).



*Fig. 4. Machinaal aanbrengen van de poultice.*



*Fig. 5. Gebruik van een net om goed contact tussen de poultice en de ondergrond te garanderen.*

### **Andere mogelijke maatregelen**

In sommige gevallen kan het nodig zijn bijzonder zwakke en beschadigde ondergronden eerst te verstevigen, voor het aanbrengen van de poultice. Ethylsilicaat, de meest gebruikte steenversteviger, is voor dit doel niet geschikt. Deze zal namelijk zijn waterafstotende eigenschappen maandenlang behouden wanneer hij wordt aangebracht op een zoutbelaste ondergrond, en daarmee ontzouten onmogelijk maken.

Door sommige restauratoren wordt een laagje van dun papier (Japans papier genoemd) tussen de ondergrond en de poultice gebruikt ter bescherming van de kwetsbare ondergrond. Dit laagje kan de effectiviteit van het ontzouten verminderen.

### **Controleren van de effectiviteit van ontzouten**

Wanneer men met de uitvoering begonnen is, is het nodig om het ontzoutingsproces te monitoren. Dit kan gedaan worden door het zoutgehalte in de poultice te meten: wanneer geen zouten meer onttrokken worden, wordt het proces gestopt. Echter, het monitoren van het zoutgehalte in de poultice geeft alleen maar de hoeveelheid zouten die geëxtraheerd zijn maar zegt niets over de zouten die nog in de muur zitten of waar ze blijven. Om de effectiviteit van de ontzouting objectief te evalueren is het nodig om het zoutgehalte op verschillende diepten voor en na het ontzouten te meten, het liefst door het hygroscopische vochtgehalte van de monsters bij 95-96% RH te bepalen of door middel van ionen chromatografie. Met deze tweede methode kan ook selectief extractie van specifieke zouttypen (of eigenlijk -ionen) bekeken worden.

## **Nazorg**

Het is van belang de interventie volledig te documenteren, inclusief de overwegingen die plaats hebben gevonden voor de beslissing. Op deze manier kunnen verschijnselen aan het gebouw in de toekomst mogelijk verklaard worden en kan men van de opgedane ervaringen leren. Naast documentatie, kan een plan gemaakt worden voor aanvullende maatregelen (bijvoorbeeld klimaatbeheer, met regeling van de grootte en frequentie van de RV-wisselingen) die nodig zijn om het grootste voordeel uit het ontzouten te halen.

## **Conclusie**

Het gebruik van poultices voor het onttrekken van zouten uit metselwerk met behulp van water is een al langer bestaande techniek in de conserveringswereld. De verkregen resultaten uit de praktijk zijn echter nogal wisselend en vaak onvoorspelbaar. Onze ervaring leert dat alleen door onderzoek voor, tijdens en na de interventie, en het ontwerpen van een 'poultice op maat' het risico van mislukkingen verkleind wordt en een effectief ontzouten bereikt wordt.

Onderzoek betreft zowel het voortraject (onderbouwde diagnose van vocht- en zoutbronnen, keuze van de meest geschikte ontzoutingsmethode, -procedure en -poultice), als de uitvoering (monitoren van de effectiviteit) en de nazorg van de interventie (documenteren van de keuze en toepassen van eventueel noodzakelijke, aanvullende maatregelen).

## **Referenties**

- Hees, R.P.J. van, Lubelli, B. & Naldini, S., 2010., Richtlijn voor het ontzouten van poreuze ondergronden. *Praktijkreeks Cultureel Erfgoed*, 12 (32).
- Hees R.P.J. van, Naldini, S. & Lubelli, B., 2009. The development of MDDS-COMPASS. *Construction and Building Materials* 23:1719-1730.
- Lubelli B. & Hees, R.P.J. van, 2010. Desalination of masonry structures: fine tuning of pore size distribution of poultices to substrate properties. *Journal of Cultural Heritage* 11:10-18.
- Lubelli, B., Hees, R.P.J. van & Brocken, H.J.P., 2004. Experimental research on hygroscopic behaviour of porous specimens contaminated with salts. *Construction and Building Materials* 18:339-348.
- Lubelli, B., Hees, R.P.J. van & Clercq, H. de, 2011. Fine tuning of desalination poultices: try-outs in practice. *Proceedings of the SWBSS Conference, Limassol*, 381-388.
- Pel, L., Sawdy, A. & Voronina, V., 2010. Physical principles and efficiency of salt extraction by poulticing. *Journal of Cultural Heritage* 11:59-67.
- Sawdy, A., Lubelli, B., Voronina, V., Funke, F. & Pel, L., 2010. Optimising the extraction of soluble salts from porous materials by poultices. *Studies in Conservation* 55:26-40.