

REPARATIE VAN STEENACHTIGE MATERIALEN



Breda 9 november 2018

Editor:
Wido Quist
Nathalie Vernimme
Rob van Hees

NEDERLAND

TU Delft – Faculteit Bouwkunde t.a.v. Wido Quist | Postbus 5043 | NL-2600 GA Delft
T: +31 (0)639251159 | E: w.i.quist@tudelft.nl
Bank: NL31ABNA0427726158

VLAANDEREN

KULeuven t.a.v. Kristine Loonbeek | Kasteelpark Arenberg 40 bus 2448 | B-3001 Heverlee
T: +32 (0)16321654 | E: Kristine.Loonbeek@kuleuven.be
Bank: BE52738027352709

PROGRAMMA

- 09.00 Ontvangst en registratie**
- 09.45 Welkom en opening**
Rob van Hees, voorzitter WTA Nederland-Vlaanderen
Wido Quist, TU Delft - Heritage & Technology
- 10.00 Reparatiemortels, waarnemingen in de praktijk en een enquête onder verwerkers**
Michiel van Hunen, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
- 10.30 Steenreparatiemortels: criteria voor het maken van een keuze**
Barbara Lubelli, TU Delft – Heritage & Technology
- 11.00 Koffie- en theepauze**
- 11.30 Het Belgisch rood marmer van het stadhuis van Antwerpen: restauratie na restauratie**
Tanaquil Berto, Sam Huysmans, Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium
- 12.00 Natuursteenherstel en –mortels: een verhaal van nuances**
Wouter Callebaut, Callebaut Architecten
- 12.30 Lunch + Locatiebezoek**
- 14.00 Hoe gaat het agentschap Onroerend Erfgoed om met het gebruik van kunststeen in de restauratie**
Heleen Schroyen, Agentschap Onroerend Erfgoed
- 14.30 Toepassing steenreparatiemortels aan de Grote of O.L.V. Kerk te Breda en de Sint-Janskathedraal te 's Hertogenbosch**
Ben Massop, Restauratiearchitectuur BBM
- 15.00 Koffie- en theepauze**
- 15.30 Steenherstel: mogelijkheden en restricties**
Delphine Vandevoorde, Rephine Stoneworks
- 16.00 30 jaar ervaring met het aanhelen met restauratiemortels**
Paul van Laere, steenbeeldhouwer
- 16.30 Afsluiting en drankje ten afscheid**

VOORWOORD

Een mortel kan worden gedefinieerd als een mengsel van één of meerdere bindmiddelen, toeslagstoffen en eventueel toegevoegde hulpstoffen, meestal aangemaakt met water. Mortel wordt gebruikt om te metselen, te voegen, te pleisteren of aan te vullen en wordt daarnaast soms ook gebruikt als constructief materiaal. Reparatiemortels zijn mortels die worden gebruikt in de conserveringspraktijk om ontbrekende delen van diverse (in dit geval steenachtige) materialen aan te vullen.

Repareren, stoppen, aanhelen, aanvullen en herstellen zijn allemaal termen die gebruikt worden bij restauratie met behulp van mortels. Naast het niets doen, het consolideren en (deels) vervangen van natuur- en baksteen is het repareren met mortel een veelgebruikte methode. Het gebruik van reparatiemortels leidt tot afwisselend zeer goede en minder goede resultaten met betrekking tot compatibiliteit met het bestaande en duurzaamheid van de reparatiemortel zelf.

Tijdens de WTA-studiedag “reparatie van steenachtige materialen” en in deze syllabus zullen ethische, esthetische, technische en financiële aspecten van het gebruik van deze mortels aan de orde worden gesteld. Hierbij gaat het om diverse in de handel beschikbare kant-en-klare producten en zelf-samengestelde mortels.

De eerste twee bijdragen aan deze syllabus komen voort uit onderzoek dat is gedaan in het lopende samenwerkingsverband tussen TU Delft, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed en TNO. In het eerste paper gaat Michiel van Hunen in op de resultaten van een enquête die is gehouden onder (Nederlandse) verwerkers van reparatiemortels: welke producten worden zoal gebruikt en wat zijn de ervaringen. Daarnaast laat hij aan de hand van een groot aantal voorbeelden zien hoe reparatiemortels zich gedragen in de praktijk. Barbara Lubelli, Rob van Hees en Timo Nijland gaan – mede gebaseerd op laboratoriumonderzoek – in op de keuzecriteria voor het kiezen van een geschikte reparatiemortel.

Het derde paper is in het geheel gewijd aan het stadhuis van Antwerpen, beter gezegd aan het onderzoek naar de meest geschikte mortel en verwerkingstechniek voor het repareren van het rode Belgische marmer aan de gevel van dit stadhuis. Deze bijdrage is geleverd door Tanquil Berto, Sam Huysmans, Laurent Fontaine en Roald Hayen. Ook gericht op casuïstiek is de bijdrage van Wouter Callebaut. Hij gaat vanuit het perspectief van de restauratiearchitect in op de keuze voor behoud (niets doen), verstevigen, vervangen, of bijwerken met mortels bij restauratie van natuur- en baksteen.

Heleen Schroyen gaat in haar bijdrage in op het gebruik van kunststeen in de erfgoedcontext en hoe het agentschap Onroerend Erfgoed hiermee om gaat. In de bijdrage worden tussentijdse resultaten besproken die de basis vormen waarop het agentschap in 2019 in richtlijn zal gaan opstellen.

De laatste drie teksten in deze syllabus richten zich op ervaringen in de praktijk. Ben Massop deelt zijn ervaringen met diverse typen reparatiemortels die hij tegenkwam of heeft gebruikt aan de Onze-Lieve-Vrouwekerk te Breda en de Sint-Janskathedraal te 's-Hertogenbosch. Delphine Vandevoorde richt zich op drie verschillende soorten mortels en hun voor en nadelen bij toepassing in de praktijk, terwijl Paul van Laere in de laatste bijdrage ingaat op zijn rol als beeldhouwer bij de uitvoering van reparaties met mortel.

INHOUDSOPGAVE

Michiel van Hunen	Reparatiemortels, waarnemingen in de praktijk en een enquête onder verwerkers
Barbara Lubelli Rob van Hees Timo Nijland	Steenreparatiemortels: criteria voor het maken van een keuze.
Berto Tanaquil Sam Huysmans Laurent Fontaine Roald Hayen	Het Belgisch rood marmer van het stadhuis van Antwerpen: restauratie na restauratie.
Wouter Callebaut	Natuursteenherstel en –mortels: een verhaal van nuances.
Heleen Schroyen	Hoe gaat het agentschap Onroerend Erfgoed om met het gebruik van kunststeen in de restauratie.
Ben Massop	Toepassing steenreparatiemortels aan de Grote of O.L.V. Kerk te Breda en de Sint-Janskathedraal te 's Hertogenbosch.
Delphine Vandevoorde	Steenherstel: mogelijkheden en restricties.
Paul van Laere	30 jaar ervaring met het aanhelen met restauratiemortels.

REPARATIEMORTELS, WAARNEMINGEN IN DE PRAKTIJK EN EEN ENQUETE ONDER VERWERKERS

Michiel van Hunen
Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed

Kader van deze bijdrage

Deze bijdrage beschrijft de resultaten van een inventariserend onderzoek naar het gebruik van steenreparatiemortels voor natuursteen en baksteen in de erfgoedpraktijk. Het is een onderdeel van een uitgebreidere studie naar de eigenschappen en het gedrag van reparatiemortels, dat is uitgevoerd door het samenwerkingsverband MonumentenKennis. TNO, de TU Delft en de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed. De partners werken daarin samen om kennis te verzamelen over de instandhouding van gebouwd erfgoed. Ook de bijdrage van Barbara Lubelli in deze syllabus is een onderdeel van dat onderzoek en gaat dieper in op het onderwerp; die bijdrage beschrijft conclusies over typen reparatiemortels, keuzecriteria en aanbevelingen voor het toepassen daarvan.

1. Inleiding

Het gebruik van mortels om metselwerk te repareren of om een gevel een strakkere of eigentijdse uitstraling te geven is van alle tijden. Zo werd het metselverband bij belangrijke gebouwen geperfectioneerd, vooral van de 17^{de} tot en met 19^{de} eeuw. De uitstraling van het baksteen metselwerk en van het metselverband moesten immers ook passen bij de rest van de gevel, zoals de vensters en de kroonlijst.

Als bakstenen niet strak genoeg waren, werden ze met rode mortel strak gemaakt (Fig. 1 rechts) En met schijnvoegen werd een perfect metselverband gecreëerd. Echte voegen tussen bakstenen werden weggewerkt met rode steenreparatiemortel om vervolgens schijnvoegen te creëren door gehakte groeven te vullen met witte voegmortel. In figuur 1 (links) zijn, om met de mode mee te gaan, klezoren weggewerkt tot driekleזור.

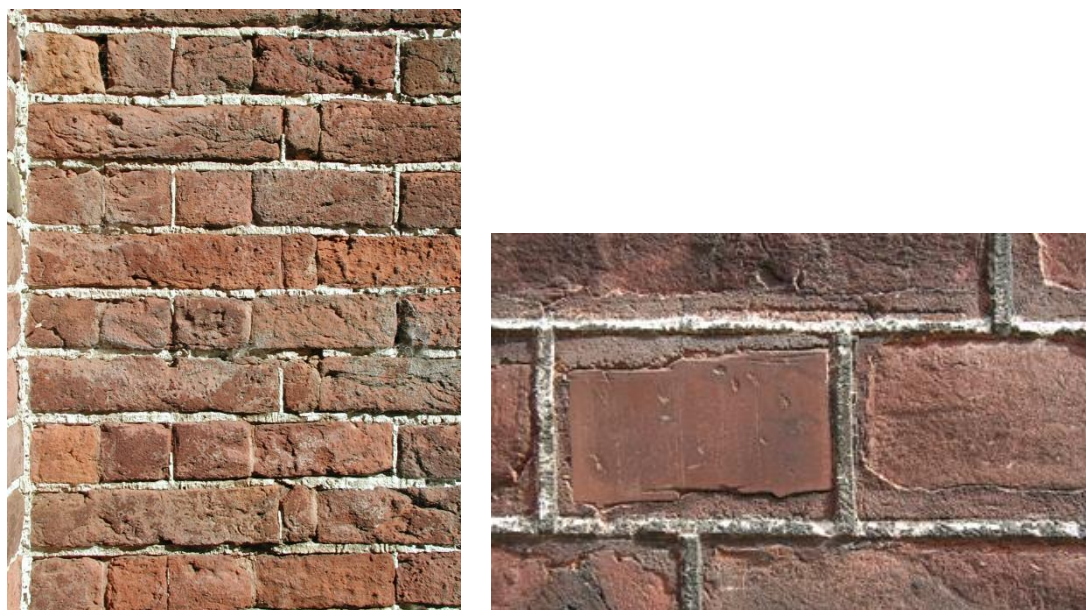


Fig. 1: Metselwerk waarbij het metselverband visueel is bijgewerkt met mortel (links) en de bakstenen strakker zijn gemaakt (rechts)

Deze bijdrage gaat over het gebruik van mortel om schade te herstellen aan natuursteen en baksteen. Het beschrijft de resultaten van een inventariserend onderzoek naar steenreparatiemortels dat tot doel had om meer inzicht te krijgen in het gebruik van steenreparatiemortels in de erfgoedpraktijk. Waarvoor worden steenreparatiemortels vooral gebruikt? Hoe worden ze toegepast? Welke mortels zijn in de praktijk gebruikt? Wat zijn de criteria geweest voor hun keuze? En wat zijn de prestaties van de mortels? Het verzamelen en bestuderen van casuïstiek helpt bij het beantwoorden van dergelijke vragen.



Fig. 2: Van de Perrehuis in Middelburg, gebouw 1765; de hol geslepen voorgevel met zeer fijn voegwerk is op diverse plekken hersteld met reparatiemortel

Er zijn verschillende methoden gebruikt om ervaringsgegevens uit de praktijk te verzamelen. Er is archief- (archief van Rijksdienst voor het Cultuur Erfgoed) en literatuuronderzoek uitgevoerd naar het gebruik van reparatiemortel in de laatste decennia.

Daarnaast is er een enquête uitgezet onder partijen die regelmatig verantwoordelijk zijn voor of betrokken bij de uitvoering van projecten waarbij natuursteen of metselwerk wordt hersteld. De enquête is in sommige gevallen ondersteund met een interview of ingevuld door de onderzoekers op basis van een interview. De enquête heeft ook informatie over casussen van applicaties van reparatiemortels opgeleverd.

Daarnaast zijn door onderzoekers diverse projecten bezocht om een beter beeld te krijgen van hoe reparatiemortels in het verleden zijn toegepast en hoe deze zich in de loop van de tijd gedroegen in termen van comptabiliteit en duurzaamheid.

In het eerste deel van deze bijdragen worden de meeste relevante resultaten van de enquête weergegeven en besproken. In het tweede deel wordt de casuïstiek, zoals verzameld via archief en literatuur onderzoek en enquête in kaart gebracht en besproken. Daarnaast wordt met foto's een beeld geschetst van enkele goede en minder goede toepassingen van reparatiemortels in de praktijk.

2. Enquête

In het kader van het onderzoek naar reparatiemortel is een enquête uitgezet met als doel informatie te verzamelen over praktijkervaringen met verschillende soorten commerciële en zelf-samengestelde reparatiemortels.

2.1. Geënquêteerden

De enquête is ingevuld door 19 mensen die werkzaam zijn bij een architectenbureau, advies- / onderzoeksinstituting, aannemersbedrijf, restaurator/steenhouwerij of ander soort instelling (leverancier/ Rijksvastgoedbedrijf). De verdeling over deze groepen is weergegeven in

onderstaand cirkeldiagram. Ze hebben overwegend meer dan 15 jaar ervaring in de restauratie en zijn zeer regelmatig betrokken bij herstel of advies (Fig. 3).

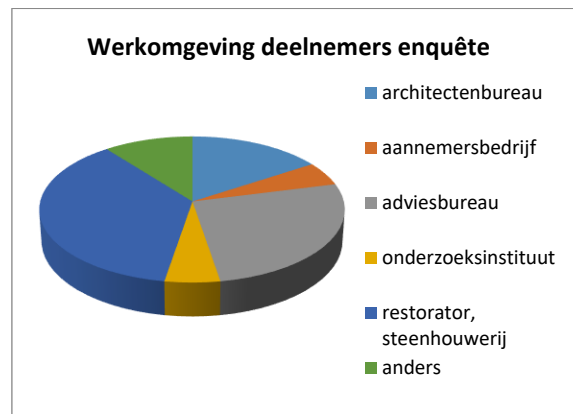


Fig. 3: Werkomgeving van de deelnemers van de enquête

2.2. Producten

De enquête heeft gericht gevraagd naar de ervaringen met drie producten die in de afgelopen decennia regelmatig zijn en worden gebruikt, namelijk Jahn M70, Monulit en Remmers restauratiemortel. Ook is gevraagd naar ervaringen met zelf-samengestelde mortels en naar ervaringen met andere prefabmortels. De meeste ervaringen blijken te zijn opgedaan met (in afnemende volgorde): Jahn, zelf-samengesteld, Monulit en Remmers (Fig. 4). De Jahn mortel is een zuiver mineraalgebonden 1-component mortel (waarschijnlijk op basis van cement), Monulit is een 2-componenten mortel die bestaat uit natuursteengranulaat en een mineraal anorganisch polymeer bindmiddel (zinkoxide) en Remmers bestaat uit minerale bindmiddelen (waarschijnlijk vooral cement) en natuursteengranulaat.

Naast deze vier mortels hebben de geënquêteerden ook ervaring met andere typen reparatiemortels. Zo is er ook gewerkt met andere mortels van Jahn en Remmers, zoals respectievelijk M100 baksteenherstelmortel en Remmers Grondeermortel, en met mortels van andere fabrikanten: Unilit 65 F Restauratiemortel; KALX KP1040 (Jahn); Keim mortels; Minéros-system 2000, Minéros H+K, Minéros-PZF, RC Amonit; Thor Helical restauratiemortel en met kalkmortels uit Nederland, België, Frankrijk en Duitsland.

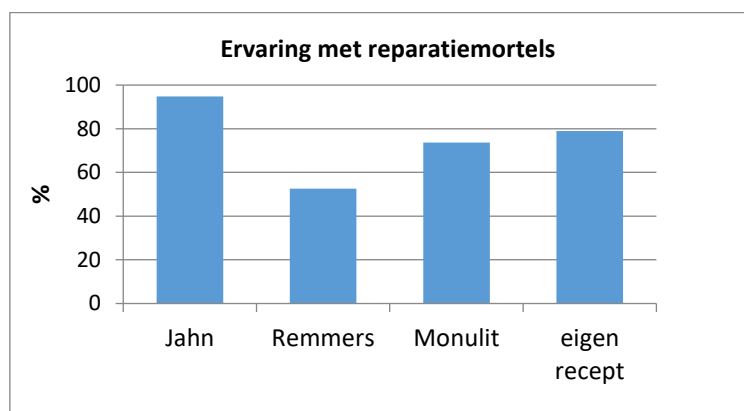


Fig. 4: Ervaring van de geënquêteerde met verschillende type producten

2.3. Criteria gebruikt voor de keuze van een reparatie mortel

Naast de informatie over welke producten regelmatig zijn en worden gebruikt, is interessant om te zien welke criteria het meest bepalend zijn voor de productkeuze.

Die keuze van het type reparatiemortel blijkt vooral te worden bepaald door:

- Esthetische aspecten van de reparatie
- Duurzaamheid van de uitgevoerde reparatie
- Verwerkbaarheid van de reparatiemortel
- Eigen ervaring met het product.

In de vraagstelling werd ook de prijs van de reparatiemortel genoemd maar die is door niemand benoemd, die lijkt dus een ondergeschikte rol te spelen.

Opvallend is dat bij de keuze maar in beperkte mate de technische eigenschappen van het product worden meegewogen. Die technische eigenschappen zijn vooral gebaseerd op productinformatie bladen (in het geval van prefab mortel) of eigen metingen (voor zelf samengesteld mortel). De mate waarin bovenstaande keuzecriteria worden meegewogen is weergegeven in figuur 5.

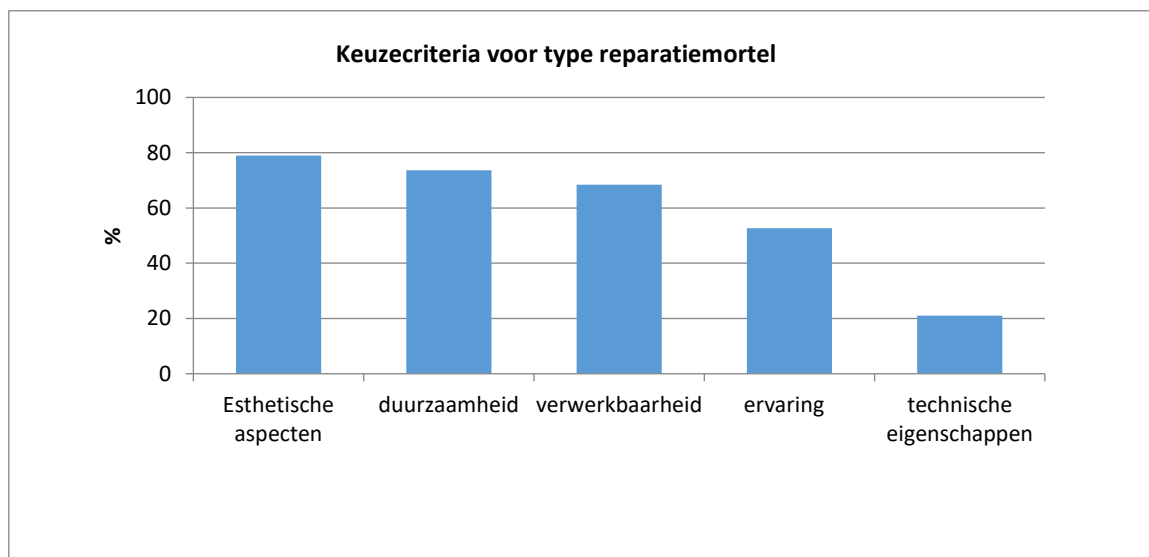


Fig. 5: Criteria voor het kiezen van reparatiemortel, zoals aangegeven door de geënquêteerden

2.4. Toepassing verschillende types reparatiemortels

Binnen de enquête is voor de vier producten gevraagd voor welke situaties en welke materialen men ze toepast.

Jahn

Jahn mortel wordt vooral toegepast voor zand- en kalksteensoorten en baksteen, zowel voor interieur als exterieur. Vaak voor materialen met een wat grovere structuur. Binnen de groep geënquêteerden is Jahn M70 de meest gebruikte reparatiemortel, vroeger aangeduid met de naam Alja M70. Gebruik voor hardsteen wordt enkele keren genoemd, maar het wordt echter ook net zo vaak ontraden voor hardsteen. Meer in het algemeen wordt het niet aangeraden voor compacte kalksteensoorten, marmer, graniet of materialen met een fijne structuur of gepolijst oppervlak.

Monulit

De ervaringen met Monulit zijn niet zo eenduidig. Het wordt meerdere keren genoemd voor gebruik voor compacte steensoorten zoals hardsteen, kalksteen, graniet; zowel voor het

interieur als het exterieur. Het wordt minder gebruikt voor zandsteen en poreuze natuursteensoorten. Enkelen geven aan het juist niet voor hardsteen en kalksteen te gebruiken. En meerdere geënquêteerden geven expliciet aan het helemaal niet (meer) te gebruiken. Ook wordt genoemd dat het beter niet kan worden gebruikt in situaties waar zoutbelasting een negatieve invloed kan hebben en waar 'bouwfysische verstoringen kritisch zijn'. Vermoedelijk wordt met de laatst genoemde opmerking bedoeld op situaties waar vochtopenhoping of thermische spanningen tot schade kunnen leiden.

Remmers

Over de Remmers restauratiemortel zijn minder ervaringsgegevens naar voren gekomen. Het wordt gebruik voor baksteen en de meer poreuze kalk- en zandstenen. Toepassingsmogelijkheden worden wel vergeleken met die van de Jahnmortel. Ook wordt benoemd dat het beter niet kan worden gebruikt voor situaties die bouwfysisch gezien wat kritischer zijn.

Zelf samengesteld

Zelf samengestelde mortels worden voor veel verschillende situaties en materiaal gebruikt. Dat is ook begrijpelijk omdat de samenstelling en daarmee de eigenschappen sterk kan verschillen. Het vaakst worden genoemd het gebruikt van een Portland cementmortel voor herstel van hardsteen en kalkmortel voor herstel van baksteen(metselwerk). Zelf samengestelde mortels worden ook gebruikt voor herstel van marmer waarbij gebroken natuursteen als toeslagmateriaal wordt gebruikt. Ze worden zowel buiten als binnen toegepast. En het wordt gebruikt voor situaties waarbij een specifieke kleur nodig is. Gebruik voor moderne betonsoorten en poreuzere zand – en kalksteensoorten ligt minder voor de hand volgens geënquêteerden.

Bij de zelf samengestelde mortel is gevraagd of en welke additieven (hulpstoffen) aan reparatiemortels worden toegevoegd. Daarbij zijn de volgende antwoordsuggesties gegeven: luchtbelvormer; hechtingverbeteraar; hydrofobeermiddel; geen additief; weet niet. Er blijkt weinig gebruik te worden gemaakt van hulpstoffen in zelf-samengestelde mortels; negen personen geven aan niks toe te voegen, twee personen noemen een hechtverbeteraar en het gebruik van een luchtbelvormer wordt één maal genoemd.

2.5. Prestaties mortels

De geënquêteerden hebben ook aangegeven hoe ze vinden dat de mortels presteren. Ze blijken echter maar in een beperkte mate hun werk na verloop van tijd terug te zien.

Schadetypes

Er is per morteltype gevraagd naar veel voorkomende schadetypes bij oudere toepassingen. De letterlijke vraag was: 'Wat zijn de meest voorkomende schadetypes bij oudere reparaties?'. De opties bij beantwoording waren: onthechting; scheurvorming door krimp; afzanden van het oppervlak; biologische groei; geen schade; weet ik niet en noem andere type schade.

De resultaten zijn verwerkt in figuur 6. Omdat het aantal reacties per mortel nogal verschilt zijn de resultaten weergegeven als percentage. Het aantal reacties waarop het percentage is gebaseerd is per morteltype tussen haakjes weergegeven. Per schadetype is tussen haakjes weergegeven hoe vaak die schade is genoemd. 'Weet niet' betekent dus dat de geënquêteerde geen zicht heeft op hoe de mortel heeft gepresteerd.

Voor Jahn reparatiemortel en voor zelf-samengestelde mortels is ten opzichte van de andere twee mortels relatief vaak benoemd dat er geen schade is waargenomen na verloop van tijd. Bij Remmers en Monulit is de onduidelijkheid over schade die naar verloop van tijd kan voorkomen relatief groot, waarschijnlijk omdat deze mortels in de praktijk minder worden gebruikt. Dat beeld komt overeen met de informatie over de hierna beschreven levensduur van de mortels.

Onthechting blijkt het meeste voorkomende schadetype te zijn bij Monulit, terwijl zelf-samengestelde mortels vaker afzanding van het oppervlak vertonen.

Voor de verschillende mortels zijn ook enkele specifieke schaden genoemd. Voor Jahn was dat kleur(verschil) en ongelijkmatige verwerking, voor Monulit kleurverlies en zoutuitbloei, voor Remmers geen en voor zelf-samengestelde mortels zijn genoemd vorst-zoutschade en te lage porositeit.

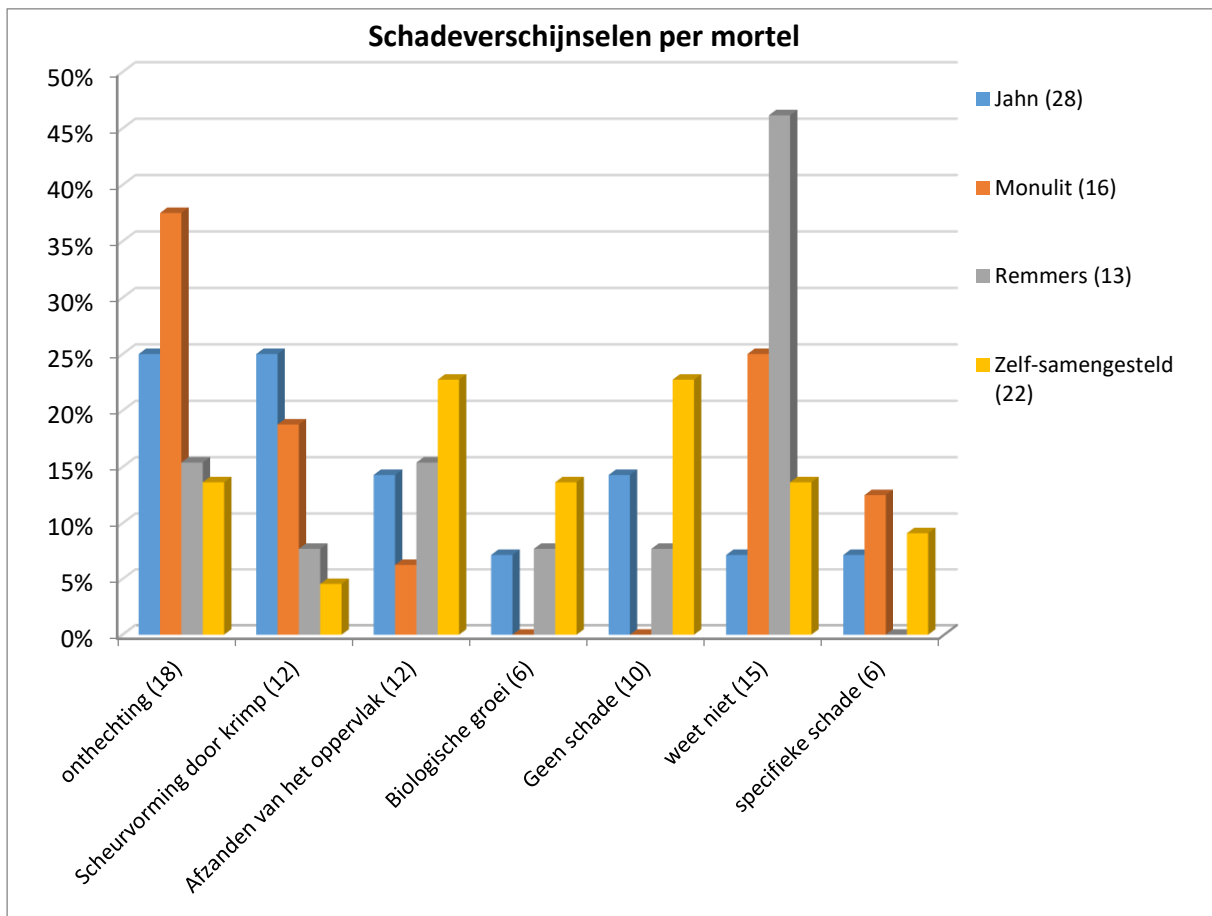


Fig. 6: Schadeverschijnsel per type mortels, zoals aangegeven door de geënquêteerden. Toelichting bij de interpretatie van het staafdiagram: Bij Jahn is bijvoorbeeld 25% van genoemde schadeverschijnselen 'onthechting' en bij Monulit is 19% van de genoemde schades 'scheurvorming door krimp'.

2.6. Duurzaamheid (levensduur)

Er is gevraagd naar de mening over de levensduur van verschillende reparatiemortels; de resultaten zijn weergegeven in figuur 7. Langs de verticale as staat het aantal keren dat een bepaalde levensduur voor een zeker product is genoemd.

Uit de antwoorden blijkt dat in de meeste gevallen de levensduur van reparatiemortels tussen 10 en 20 jaar ligt, maar in veel gevallen ook langer dan 20 jaar is. Zoals verwacht is het percentage "weet niet" hoger bij mortels die minder in de praktijk gebruikt zijn.

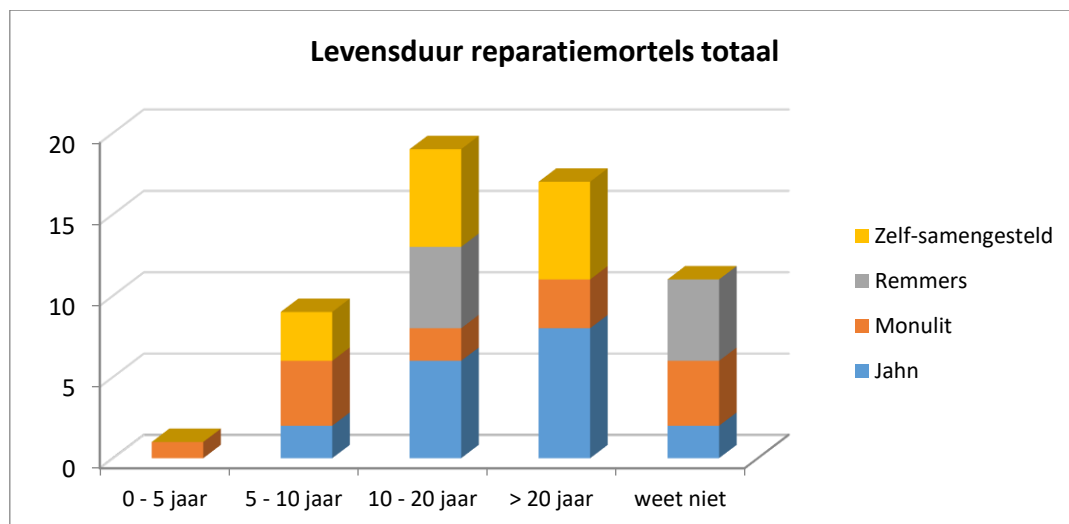


Fig. 7: Levensduur van de verschillende reparatiemortels, zoals aangegeven door de geënquêteerden

2.7. Kleur

Esthetische aspecten van de reparatie blijken het meest bepalend bij de keuze voor een bepaald type reparatiemortel. Bepalend voor de beleving zijn de kleur van de mortel ten opzicht van het omliggende materiaal en de textuur. De textuur wordt bepaald door de korrelgrootte van de bestanddelen en de wijze van aanbrengen en afwerken.

Gevraagd is hoe de desbetreffende mortel kleurt bij bestaande werk na aanbrengen en droging en hoe de mortel presteert op kleurvastheid op langere termijn.

De resultaten zijn weergegeven in figuur 8. Langs de verticale as staat het aantal keren dat een bepaalde beoordeling (bijvoorbeeld 'matig') voor een zeker product is gegeven.

Het valt op dat zelf-samengestelde mortels vaak zeer goed aan de kleur van de steen kunnen worden aangepast en met de tijd niet verkleuren. Ze gedragen zich qua kleur vastheid beter dan prefab-producten.

Op de vraag over de textuur van de verschillende mortels waren de antwoorden niet zo eenduidig.

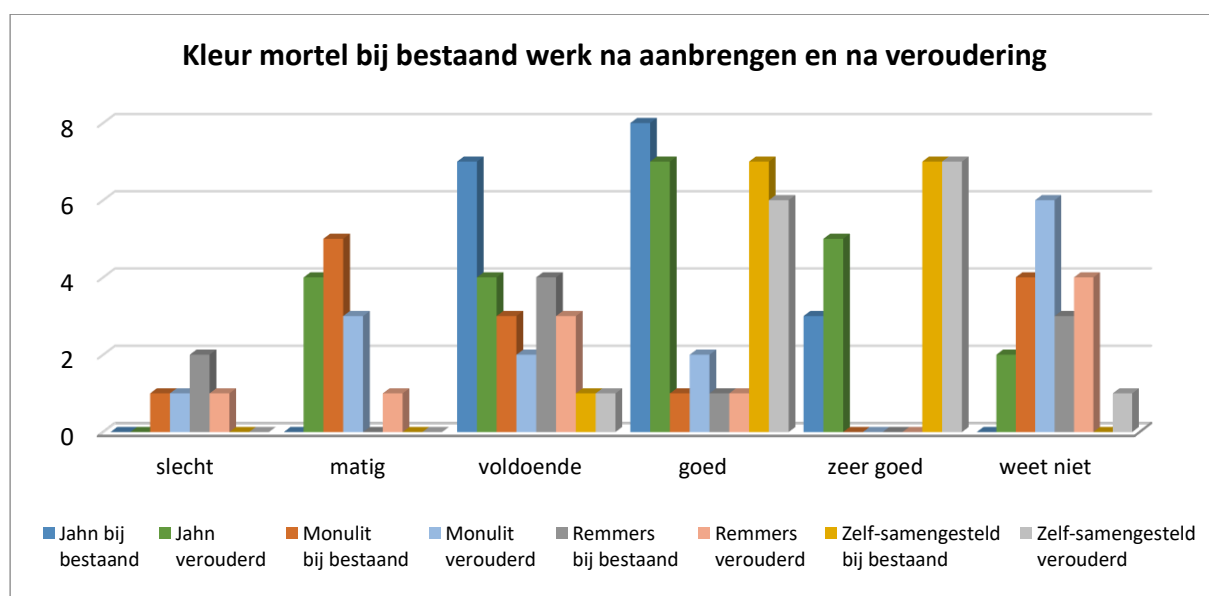


Fig. 8: Aansluiting van de kleur van mortel bij bestand werk na aanbrengen en na veroudering

2.8. Verwerkbaarheid

Voor de keuze van een reparatiemortel speelt ook de verwerkbaarheid van de verse mortel een rol. De geënquêteerde is gevraagd: “Hoe beoordeelt u de verwerkbaarheid van de ...mortel?” en “Hoe beoordeelt u het gemak van de nabehandeling van de ...mortel?”

De verwerkbaarheid van de Jahn mortel en van de zelf-samengestelde mortels werden het meest positief beoordeeld. De verwerkbaarheid van de Jahn en zelf-samengestelde mortels werden door respectievelijk 72% en 67% ervaringsdeskundigen beoordeeld als goed tot uitstekend. En de mate waarin een nabehandeling mogelijk is werden door respectievelijk 50% en 73% beoordeeld als goed tot uitstekend. Deze ervaring wordt bevestigd door het laboratoriumonderzoek.

Voor de andere twee mortels zijn de uitkomsten iets minder eenduidig.

3. Toepassing in de praktijk

Bij het beoordelen van toepassingen van reparatiemortels in de praktijk zijn grote technische en esthetische kwaliteitsverschillen zichtbaar. Het gebruik van mortel als reparatiemateriaal voor baksteen en natuursteen heeft zich wel bewezen. Bij historische gebouwen kunnen goede, mooie en harmonieus verouderde reparaties worden aangetroffen; reparaties van 30 jaar geleden, maar ook wel van meer dan 100 jaar oud. Reparaties met mortels kunnen echter ook minder geslaagd zijn. In een aantal van die gevallen is de slechte prestatie redelijk makkelijk verklaarbaar: er zijn geen goede keuzen gemaakt ten aanzien van materiaal, toepassing en/of uitvoering. Een mortel is niet in elke situatie even wenselijk of duurzaam en de uitvoering vraagt om goed vakmanschap.

3.1. Casuïstiek in kaart

Op verschillende manieren is informatie verzameld over casuïstiek: via de enquête en interviews, via het archief van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed en via ervaringen van betrokken onderzoekers. De verzamelde casuïstiek is ontsloten via een Google-kaart, zie hieronder.

Er zijn ruim 160 casussen onderzocht op verschillende criteria, zoals het materiaal (natuursteen of baksteen), de specificatie van het materiaal (hardsteen, tufsteen etc.) en het type reparatiemortel. Het blijkt dat het veelal moeilijk is te achterhalen welke materialen of reparatiemortels zijn gebruikt. Om de resultaten te kunnen vergelijken is ervoor gekozen om casussen waarin het materiaal of type reparatiemortel onbekend is weg te laten in dit overzicht. Vier types reparatiemortels zijn geselecteerd die het meest voorkomen: Jahn, Monulit, Remmers en eigen recepten. Het is nu mogelijk zo'n 80 casussen met elkaar te vergelijken waarvan zowel het materiaal als het type reparatiemortel bekend is.

In het algemeen komen casussen met natuursteen verreweg het meest voor (85%). Bij de reparatiemortels komt de toepassing van Jahn het meest voor (50%), gevolgd door Monulit (35%). Casussen waarbij Remmers of een eigen recept is gebruikt komen minder voor (15%). In figuur 9 is het aantal casussen per type reparatiemortel weergegeven, met daarbij gespecificeerd bij welke (ondergrond) materialen ze zijn toegepast. Deze zijn opgenomen in de Google-kaart.

Bij de vergelijking van het type reparatiemortels met de specificatie van het materiaal is te zien dat Remmers vaker wordt toegepast op baksteen en dichte kalkstenen, terwijl eigen recepten, Jahn en Monulit bij zowel baksteen als diverse typen natuurstenen worden gebruikt.

Wanneer naar de combinatie type ondergrond en type reparatiemortels wordt gekeken, (zie figuur 10 is te zien dat Jahn het meest wordt toegepast bij dichte kalksteen en zandsteen. Bij de open kalkstenen, kalkzandsteen en stollingsgesteentes komt het gebruik van Monulit en

Jahn het vaakst voor. Bij tufsteen is alleen het gebruik van Jahn bekend en bij marmer worden vooral eigen recepten toegepast.

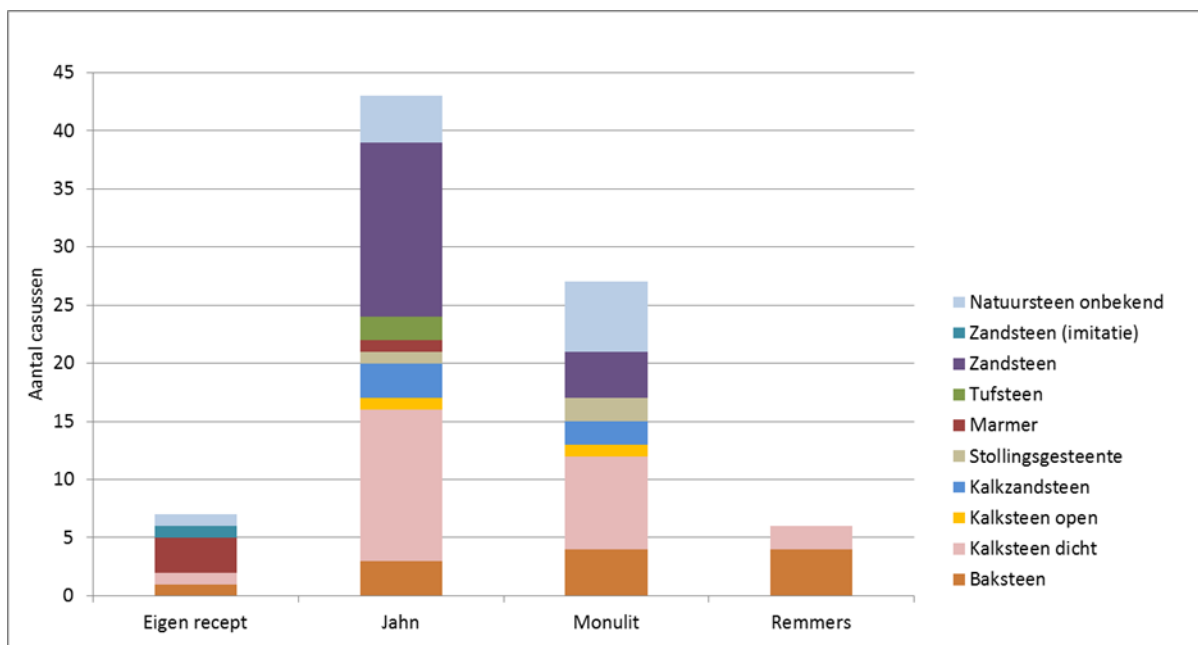


Fig. 9: Aantal casussen per type reparatiemortel, met gespecificeerd bij welke soort materialen het is toegepast (Met dank aan Ernst de Bouvrie).

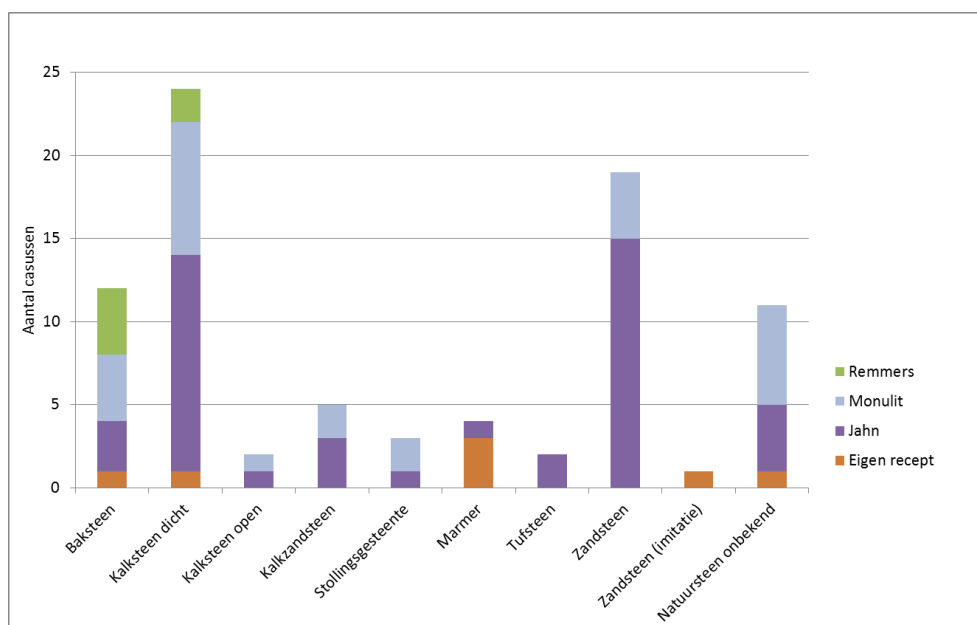


Fig. 10: Aantal casussen per soort ondergrond materiaal, met gespecificeerd welke typen reparatiematerialen zijn toegepast (Met dank aan Ernst de Bouvrie).

De hierboven beschreven conclusies komen grotendeels overeen met de resultaten van de ingevulde enquête (paragraaf 2).

De verzamelde casuïstiek is ontsloten via een Google-kaart¹ die via de link [klik op kaart] kan worden bekeken (Fig. 11). Per casus wordt, afhankelijk van de beschikbaarheid, informatie gegeven over het object, waar de mortel is toegepast, welk materiaal is gebruikt, wanneer en wat de bron van de informatie is.



Fig. 11: Kaart van reparatiemortels (Bij een digitale versie van deze bijdrage kan via een link de geüpdate versie worden bekeken) (Met dank aan Ernst de Bouvrie).

N.B. De verzamelde casuïstiek ligt voor een groot deel in het midden en westen van Nederland. Deze verdeling is natuurlijk niet representatief voor het gebruik van mortels in Nederland; ook in Groningen, Zeeland en Limburg worden reparatiemortels gebruikt.

3.2. Casuïstiek in beeld

De onderzoekers hebben een aantal objecten bezocht. Hierna wordt aan de hand van foto's een beeld gegeven van het gebruik in de praktijk (selectie van bezochte objecten). In deze paragraaf wordt aan de hand van een aantal voorbeelden in beeld gebracht met welk doel en op welke wijze reparatiemortels in de praktijk worden gebruikt.

1

<https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1GunTi2VVbNioUiR4Zp9kBBUFAiw&ll=52.75481182055233%2C5.47472515000004&z=8>

Op hoofdlijnen zou het gebruik in drie groepen ingedeeld kunnen worden:

1. Vooral functioneel; de reparatie voorkomt verdergaand verval
2. Vooral esthetisch; de reparatie verbetert de uitstaling
- 3 Combinatie van functioneel en esthetisch.

Torenspits van de Oude kerk in Delft

Bij de torenspits zijn reparatiemortels, vooral Jahn, gebruikt om baksteen en tufsteen te herstellen (Fig. 12). Het is vooral functioneel gebruik van mortel om de technische staat van de spits te verbeteren om indringing van neerslag te verminderen. De mortels zijn aangebracht bij de restauratie in 1995 en hebben zich goed gehouden. De kleur van de baksteenreparatie is goed afgestemd op de kleur van de baksteen. Het morteloppervlak heeft geen bijzondere afwerking.

Bij de tufsteen tekenen de lichtere reparaties af ten opzichte van de donker en groen verkleurde tufsteen. Het is de vraag in welke mate het zichtbaar of storend was vanaf maaiveldniveau.

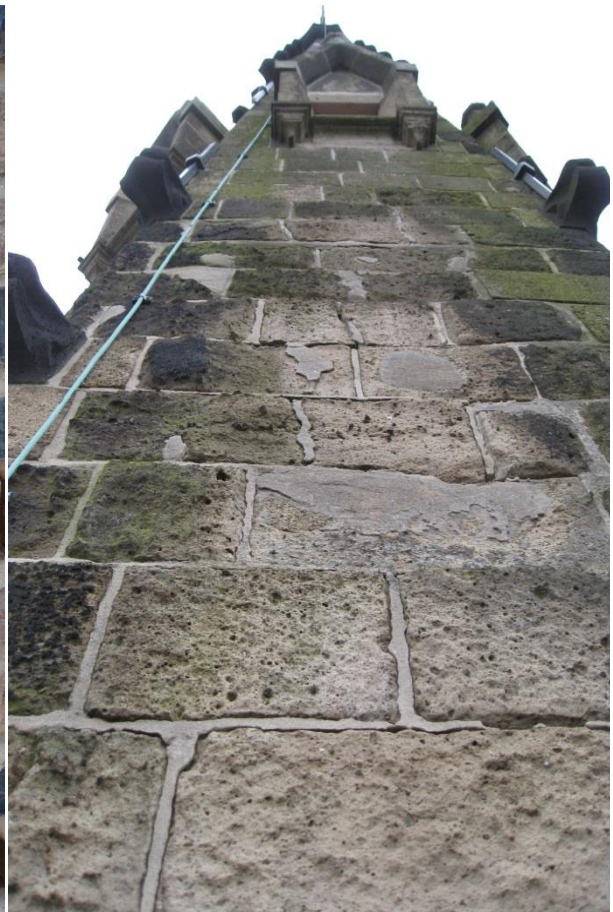
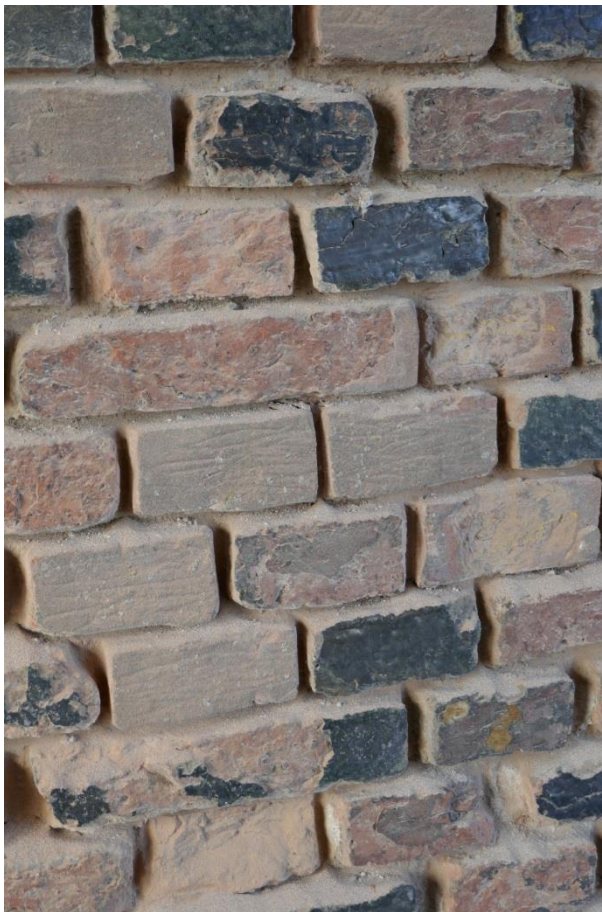
Stationsgebouw NS in Amsterdam

Bij het hoofdgebouw van het centraal station in Amsterdam zijn verschillende soorten zandsteen gebruikt, zoals Udelfanger, Obernkirchener, Heilbronner en Bollendorfer. Later is voor herstel ook een Franse kalksteen, Massangis (Vaurion), gebruikt die een vergelijkbare uitstraling heeft als zandsteen. De plint is van blauwe hardsteen. Door de jaren heen zijn er op verschillende momenten reparaties uitgevoerd met verschillende types reparatiemortels. Helaas is niet precies bekend welke soorten zijn toegepast, wel dat Jahn mortel is gebruikt. Op veel plekken in de gevel zitten kleine mortelreparaties.

De reparaties op de begane grond verdieping, aan de zuidwestzijde van het hoofdgebouw lijken vooral een esthetisch doel te hebben. Ten opzichte van de grote natuursteen blokken zijn de mortelreparaties relatief klein. Gebruikt van reparatiemortel in deze situatie is goed verklaarbaar omdat daardoor veel oorspronkelijk materiaal en oppervlak behouden blijft.

De meeste reparaties zijn zorgvuldig uitgevoerd waarbij veel aandacht is besteed aan het laten aansluiten van de oppervlaktestructuur van de mortel bij de omliggende natuursteen (Fig. 13). De mortelreparaties sluiten qua kleur op de meeste plekken nu goed aan bij het omliggende materiaal. Onbekend is echter of dat komt door de juiste kleur en passende veroudering van de reparatiemortel of doordat plekken naderhand zijn gepatineerd (bijgekleurd). In 1991 is namelijk een deel van de reparatieplekken gepatineerd met Aerosilicaat van Jahn.

Bij de reparaties in de blauwe hardsteen plint valt op dat deze zo minimaal mogelijk zijn uitgevoerd en zo veel mogelijk de natuurlijk gevormde randen van de te repareren plekken (verwering of scheuren) volgen. Kleur en textuur sluiten na veroudering goed aan bij het omliggende werk; al is niet uit te sluiten dat de kleur van deze reparaties naderhand is bijgewerkt.



Jahnmortel op baksteen, circa 20 jaar oud

Jahnmortel op tufsteen

Fig. 12: Torenspts van de oude kerk in Delft met diverse oude reparaties



Plint van blauwe hardsteen met mortelreparaties

Fig. 13: Amsterdam, hoofdgebouw centraal station met diverse oudere mortelreparatie

Paleis op de Dam in Amsterdam

De gevels van het paleis bestaan voor ongeveer driekwart uit Obernkirchener zandsteen en voor een kwart uit Bentheimer zandsteen. Bij de laatste restauratie van 2009 tot 2011 zijn de gevels zorgvuldig hersteld. Onderstaande foto's geven een beeld van de plint van de westgevel (Nieuwezijds Voorburgwal). Daarbij zijn drie soorten reparaties zichtbaar: inschieten van blokjes natuursteen, reparaties met mortel en het ontstoren van de gevel met retouches. De mortelreparaties zijn allemaal of voor het overgrote deel van de laatste restauratie en zijn uitgevoerd met een Jahnmortel. Ze zijn vooral gebruikt om de randen van de blokken te herstellen en dienen vooral een esthetisch doel. Er zijn twee kleuren mortel gebruikt, al dan niet gemengd en alle reparaties zijn naderhand bijgekleurd met krijt en gefixeerd met kiezelzure ester. Figuur 14 brengt goed in beeld hoe de reparaties met natuursteen zich verhouden tot de reparaties met mortel. En ook van het effect van retouches op de beleving van de gevel. Ze zorgen voor meer eenheid in de gevel.

Trippenhuis in Amsterdam

Het Trippenhuis in Amsterdam is een van de laatste voorbeelden van het Hollands classicisme in Amsterdam. Het is gebouwd tussen 1660 en 1662. De voorgevel van Bentheimer zandsteen met een fijne frijnslag heeft in de loop der tijd een voor dit type zandsteen karakteristieke donkere verweringskleur gekregen.

In 1990 zijn over de gehele gevel op diverse plaatsen reparaties uitgevoerd met Jahn M60 reparatiemortel (Fig. 15). De mortel is door de verwerker met pigment op kleur gebracht. De kleur van de reparaties is ook na uitharding nog bijgewerkt met pigment. Ook zijn reparaties uitgevoerd door stukjes zandsteen in te boeten. Het oppervlak van de mortelreparaties is afgewerkt met een imitatie frijnslag waardoor ze minder opvallen. De meeste reparaties lijken zich na circa 28 jaar technisch goed te houden.

R.K. Nicolaaskerk in Amsterdam

De rooms-katholieke Sint-Nicolaaskerk in de binnenstad van Amsterdam is gebouwd tussen 1884 en 1887. Het exterieur van de kerk, in Italiaans barokke stijl, is onder meer gerestaureerd tussen 1966 en 1973 en eind jaren 90. De gevel is opgebouwd uit baksteen, Aschaffenburg zandsteen en hardsteen voor de plint. Zowel de zandsteen als de hardsteen zijn tussen 1994 en 1996 hersteld met een Monulit reparatiemortel. Lastig bij de uitvoering was dat er veel variatie zat in de kleur van de zandsteen; de kleur van de mortel is daarom aangepast met pigmenten. De reparaties lijken een technische en esthetische functie te hebben. Bij de Aschaffenburg zandsteen tekenen de reparaties zich nu qua kleur duidelijk af (Fig. 16) maar lijken technisch nog te voldoen.

In de hardstenen plint zijn de Monulit reparaties beter te beoordelen. Van dichtbij is Monulit herkenbaar aan de witte korreltjes (kalksteen) in de grijze mortel. Bij het herstel van de hardsteen is de reparatie zo klein mogelijk gehouden en is de vorm van de schade zo veel mogelijk gevolgd. De oppervlaktestructuur van de mortel is aangepast aan het omliggende werk, zo is deze plaatselijk voorzien van een imitatie frijnslag. Ook qua kleur sluit het voldoende aan. Esthetisch gezien geven de reparaties een beeld dat, zeker van enige afstand bekeken, voor veel mensen acceptabel zal zijn. Technisch gezien voldoen de meeste reparaties na ruim twintig jaar nog redelijk, al is de mortel bij enkele reparatie op delen van het hechtvlak onthecht of 'losgekrompen'.



Obernkirchener zandsteen met inboetingen

Inboeting die met retouches zijn aangepast aan het omliggende materiaal



Obernkirchener met reparatiemortel (foto T.Nijland)

Obernkirchener met reparatiemortel (foto T.Nijland)

Fig. 14: Westgevel van het Paleis op de Dam in Amsterdam, Obernkirchener zandsteen met inboetwerk en mortel reparaties



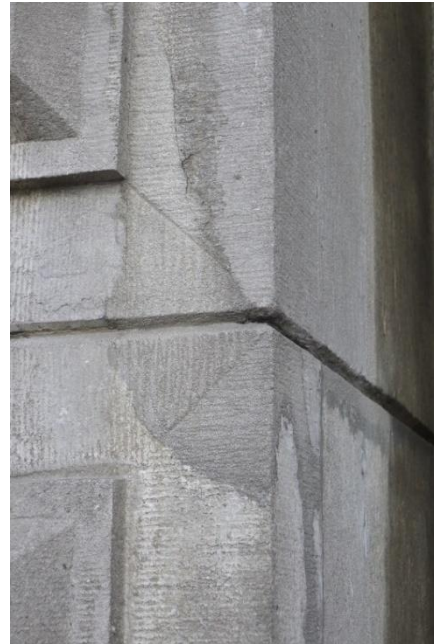
Zandsteen met mortelreparatie met imitatie
frijnslag

Inboeting met natuursteen met daarnaast een
hoek die hersteld is met mortel.

Fig. 15: Voorgevel van het Trippenhuys in Amsterdam, Bentheimer zandsteen met mortelreparaties



Gevel van Aschaffenburg zandsteen met reparaties met Monulit uit periode 1994 1996



Hardsteen plint met Monulit reparaties.

Fig. 16: Voorgevel van de Sint-Nicolaaskerk in Amsterdam met mortelreparaties

Amsterdam, gebouw aan de Raadhuisstraat-Keizersgracht en Het schip

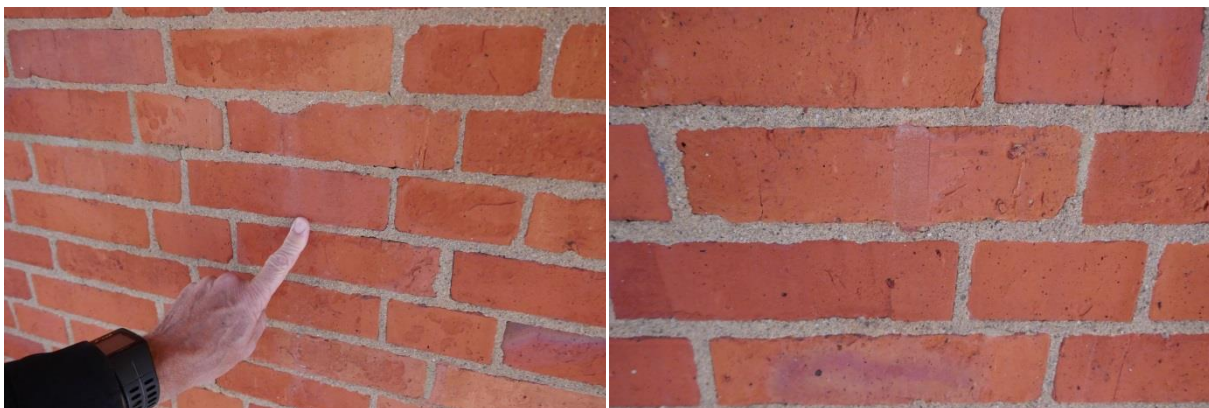
Twee voorbeelden van herstel met reparatie mortel van bakstenen gevel in Amsterdam. Bij de eerste gevel zijn de reparaties duidelijk zichtbaar (Fig. 17) en bij de gevel van Het Schip in Amsterdam zijn ze van dichtbij nauwelijks en vanaf de openbare weg niet zichtbaar (Fig. 18). Het resultaat staat of valt bij een zorgvuldige uitvoering en een juiste keuze van type en kleur reparatiemortel.



Baksteen met mortelreparaties

Fig. 17: Gevel aan de Raadhuisstraat-Keizersgracht met verstorende reparaties van baksteen

Tussen 2015 en 2018 is het interieur en exterieur van Het Schip grondig en zorgvuldig gerestaureerd. Daarbij zijn ook de gevels minutieus hersteld en teruggebracht naar de oorspronkelijk staat. Grotere en meer constructieve schade zijn hersteld door het inboeten van bakstenen. Kleinere vooral esthetische schade zijn hersteld met behulp van Jahn steenreparatiemortel. De mortelreparaties sluiten zowel qua structuur als kleur bijna naadloos aan op de baksteen.



Baksteen met reparaties met Jahnmortel

Fig. 18: Gevel van Het Schip in Amsterdam met nagenoeg onzichtbare reparaties van baksteen

Dwarstransept Domkerk in Utrecht

Van de grote gotische kerk die in het centrum van Utrecht werd gebouwd vanaf 1254 resteren tegenwoordig alleen nog het koor, het dwarschip en de toren.

De basementen van de pijlers van het dwarschip van de Domkerk zijn opgebouwd uit rode zandsteen. De hoekblokken van de pijler in de gevel zijn van Ledesteen. Typisch voor Ledesteen is de zogenaamde 'meelzak' vormige verwerking, waarbij de hoeken van de blokken afgerond raken.

In de jaren 80 zijn aan het schip verschillende soorten herstel uitgevoerd met Alja M70 van de firma Jahn. Waarschijnlijk zijn daarmee zowel de ledesteen hoekblokken aangeheeld als de basementen van rode zandsteen, zie figuur 19.

De reparaties zijn technisch nog in redelijk goede conditie. Bij de hoekblokken onderscheid de reparatiemortel zich (inmiddels) qua kleur wel duidelijk van de Ledesteen. Bij het basement zijn natuursteen en reparaties samen gelijkmatig verweerd en valt de kleur van de mortel minder uit de toon.

De mortelreparaties aan het basement zijn typerend voor veel situaties. Beschadiging aan grotere geprofileerde stukken natuursteen die vaak vooral om esthetische redenen worden hersteld met reparatiemortel. Door de vorm is herstel met mortel eenvoudiger en sneller uit te voeren dan herstel met natuursteen.

Amsterdam, Nieuwezijds Voorburgwal

Een gevel van een winkel-woonhuis in oudhollandse neorenaissancestijl. Ontworpen door architect Bleys en gebouwd in 1886. In het verleden zijn diverse elementen gerepareerd met reparatiemortel. Onder andere de natuurstenen kozijnen en spekbanden (Fig. 20 links) en de waterlijsten (Fig. 20 rechts). De gevel werd geïnspecteerd omdat stukken mortel op de openbare weg vielen en ook tijdens de inspectie kwamen grote delen mortel los. Dergelijke overhangende en kwetsbare reparaties brengen risico's met zich mee, zeker als bij het aanbrengen geen verankeringen zijn gebruikt.

Rotterdam, Atlantic huis

Het Atlantic Huis is ontworpen door architect P.G. Buskens in art-decostijl en gebouwd tussen 1928 en 1930 ; het is een van de eerste bedrijfsverzamelgebouwen in Nederland.

In het verleden zijn de natuurstenen 'borstweringen' aan de bovenzijde over grote oppervlakken afgewerkt met mortel, zie figuur 21. Een typisch voorbeeld van een meestal weinig duurzame toepassing van reparatiemortel.



Basement van rode zandsteen en hoekblokken van ledesteen hersteld met reparatiemortel

Fig. 19: Dwarstransept van de Domkerk in Utrecht, basement en geveldeel



Natuurstenen waterlijst met oudere mortelreparaties

Fig. 20: Voorgevel in van een negentiende-eeuws winkel-woonhuis in Amsterdam



'Borstweringen' die over de volledige breedte zijn afgewerkt met mortel.

Fig. 21: Atlantic huis in Rotterdam

Breda, de Grote of Onze-Lieve-Vrouwekerk

Midden jaren negentig zijn natuurstenen elementen van de vijftiende-eeuwse kerk, zoals deze kruisbloemen van zandige kalksteen (Ledesteen), vermoedelijk uit de bouwtijd, hersteld met een reparatiemortel. Het doel van de architect van de reparaties was om de oorspronkelijk natuursteen te beschermen met een soort 'paraplu' van mortel (het gebruik van reparatiemortel werd beschouwd als tijdelijke maatregel voor een periode van 20 jaar).

In 2005, circa acht tot tien jaar na het aanbrengen van de mortel, kwamen bepaalde reparaties weer los, zie figuur 22. Andere mortelreparaties uit de jaren negentig bleken overigens nog wel in goede staat. De reparaties waren uitgevoerd in Monulit. Het is de vraag of deze reparatie goed is uitgevoerd, of Monulit voldoende compatibel is en of dergelijke kwetsbare en door weer en wind belaste onderdelen zich goed lenen voor herstel met reparatiemortel.



Fig. 22: Natuurstenen elementen met mortelreparaties van de grote kerk in Breda

4. Discussie en conclusies

Uit de casuïstiek, verzameld door archiefonderzoek, enquêtes, interviews, bezoek aan case studies en eigen ervaring van de onderzoekers blijkt dat reparatiemortels het meest worden gebruikt voor het herstel van natuursteen. Voor baksteen worden reparatiemortels minder vaak gebruikt, waarschijnlijk omdat beschadigde baksteen meestal makkelijker en goedkoper kan worden vervangen. Daarnaast kan het gebruik van reparatiemortels bij natuursteen ook worden verklaard doordat het vaak meer decoratieve (geprofileerde) elementen betreft of beeldhouwwerk waaraan meer cultuurhistorische waarden zijn verbonden. Behoud van oorspronkelijk materiaal inclusief een mogelijk aanwezige oppervlakte bewerking, speelt dan een grotere rol. Ook kunnen de kosten voor het vervangen van dergelijke elementen relatief hoog zijn ten opzichte van plaatselijk herstel een reparatiemortel. Een ander voordeel van reparatie met mortel ten opzichte van inboeten (inschieten) van een stukje natuursteen is dat

makkelijker de vaak onregelmatige vorm van de schade kan worden gevolgd waardoor de reparatie relatief klein kan blijven.

Reparaties die vooral om esthetische redenen worden uitgevoerd kunnen ook technisch wel een positief effect hebben. Ze kunnen vochtindringing beperken en daardoor verder verval vertragen en zo bijdragen aan het behoud van het oorspronkelijke natuursteen. Echter, als de mortel qua technische eigenschappen onvoldoende compatibel is, kan het ook een negatief effect hebben op de instandhouding.

Door veroudering, vervuiling en het ontstaan van patina kan de beleving van de reparatie wel veranderen. Reparaties kunnen zich sterker gaan aftekenen of juist minder gaan opvallen. Van invloed daarbij is ook of is gerepareerd met op kleur gebrachte mortels (met pigment of met toeslagstoffen) of dat reparaties zijn geretoucheerd. Oudere reparaties die technisch nog voldoen maar qua kleur storend zijn gaan afwijken, kunnen relatief eenvoudig worden geretoucheerd, wat in de praktijk ook wordt gedaan. Naast de kleur van de reparatie is ook de oppervlakte structuur, de wijze van afwerken en de mate waarin die aansluit bij het omliggende materiaal, heel belangrijk voor de beleving. De kleur van reparaties kan naderhand relatief makkelijk worden aangepast, de oppervlaktestructuur echter niet.

Er zijn gunstige en duidelijk minder gunstige toepassingen te onderscheiden. Vooral ten aanzien van de plek van de reparatie in de gevel, bijvoorbeeld in het vlak of aan de onderzijde van een waterlijst. Weinig duurzaam blijken reparaties te zijn waarbij grote vlakken, evenwijdig aan het oppervlak, worden gevuld of aangesmeerd met mortel. Zeker in situaties waar blokken met staand leger toegepast en waar ook sprake is van delaminatie. Ook risicovol zijn overhangende, uitkragende reparaties, zoals waterlijsten. Reparaties van traptreden met mortel gaan meestal ook niet lang mee.

Uit het onderzoek blijkt dat indien reparaties zorgvuldig worden uitgevoerd met een goed passende mortel ze vrij lang mee kunnen gaan, meer dan 20 jaar en geregeld ook aanzienlijk langer. Esthetisch gezien kunnen ze ook een bevredigend resultaat geven.

Meer technisch informatie over eigenschappen van reparatiemortels, criteria voor het maken van een keuze en aanbevelingen wordt gegeven in de bijdrage van Barbara Lubelli in deze syllabus.

Eind 2018 komt de gehele onderzoeksrapportage over reparatiemortels beschikbaar via de site van Monumentenkennis.

<https://www.monumentenkennis.nl/1/home.htm>

En het onderzoek naar steenreparatiemortel:

<https://www.monumentenkennis.nl/57/ons-werk/lopend-onderzoek/steenreparatie.html>

5. Dankwoord

Met dank aan Ernst des Bouvrie voor de tekst en grafieken van paragraaf 3.1. en aan Barbara Lubelli voor haar bijdrage aan dit artikel.

STEENREPARATIEMORTELS: CRITERIA VOOR HET MAKEN VAN EEN KEUZE

B. Lubelli¹, R.P.J. van Hees¹, T. Nijland²

¹ Faculteit Bouwkunde, Technische Universiteit Delft, Delft

² TNO, Delft

Abstract

Steenreparatiemortels zijn mortels die in de conserveringspraktijk worden gebruikt om ontbrekende delen van baksteen of natuursteen in metselwerk of beeldhouwwerk aan te vullen. In de Nederlandse conserveringspraktijk worden steenreparatiemortels regelmatig gebruikt met wisselende resultaten, zowel qua compatibiliteit met het bestaande als qua (technische) duurzaamheid van de reparatiemortel zelf. Naast zelf samengestelde mortels zijn de laatste decennia ook verschillende geprefabriceerde steenreparatiemortels beschikbaar. De ruime keuze en de vaak schaarse informatie over mortelsamenstelling, -eigenschappen en -gedrag maken het moeilijk voor de gebruiker om een geschikte mortel te kiezen.

Dit artikel beschrijft de resultaten van een nog lopend onderzoek opgezet binnen het samenwerkingsverband MonumentenKennis (TNO, TU Delft, RCE) met als uiteindelijke doel criteria te formuleren voor de keuze van een steenreparatiemortel in de praktijk. Als eerste worden eisen aan steenreparatiemortels uit de literatuur besproken. Op basis van de uitkomsten van een laboratoriumonderzoek, interviews met experts en bezoeken aan case studies worden aangepaste keuzecriteria voorgesteld. Daarnaast worden suggesties gegeven hoe de samenstelling van een mortel aangepast kan worden om aan de gestelde eisen te voldoen.

1. Inleiding

Steenreparatiemortels zijn mortels die in de conserveringspraktijk worden gebruikt om ontbrekende delen van baksteen, of natuursteen of terracotta aan te vullen (figuur 1). Het doel van de reparatie kan functioneel (voorkomen van verdergaand verval) en/of esthetisch (verbeteren van de uitstraling of het uitzicht) van aard zijn.



Fig. 1: Steenreparatiemortels aangebracht op natuursteen en baksteen (Oude Kerk te Delft)

In de Nederlandse conserveringspraktijk zijn steenreparatiemortels regelmatig gebruikt met wisselende resultaten zowel qua compatibiliteit met het bestaande als qua (technische) duurzaamheid van de reparatiemortel zelf [1]. Naast zelf samengestelde mortels (regelmatig gebruikt door restauratoren en beeldhouwers), worden in de laatste decennia ook verschillende geprefabriceerde mortels toegepast. Van deze producten is vaak weinig bekend [2]. Daarnaast zijn bestaande richtlijnen voor het kiezen van een steenreparatiemortel niet

makkelijk toepasbaar in de praktijk. Alles bij elkaar genomen zorgt dit ervoor dat het voor de gebruiker moeilijk is om een geschikte steenreparatiemortel te kiezen.

In het kader van het samenwerkingsverband MonumentenKennis is onderzoek uitgevoerd naar het gebruik en gedrag van steenreparatiemortels met als uiteindelijke doel criteria te formuleren voor de keuze van een geschikte mortel, zulks afhankelijk van de situatie. De bestaande richtlijnen en eisen uit de literatuur zijn het uitgangspunt geweest van dit onderzoek (§ 2). Deze eisen zijn kritisch bekeken in het licht van de uitkomsten van nieuw laboratoriumonderzoek, interviews met experts en bezoeken aan case studies. Op basis daarvan worden aangepaste criteria voorgesteld voor de keuze van een steenreparatiemortel, bedoeld voor professionals werkzaam in de praktijk (§ 3). Ter aanvulling worden suggesties gegeven hoe de samenstelling en applicatie van steenreparatiemortels aangepast kan worden om te voldoen aan de gestelde eisen (§ 4).

2. Literatuuroverzicht van eisen aan de eigenschappen van steenreparatiemortels

Het conceptuele kader voor het kiezen van een steenreparatiemortel wordt in [3] geschetst. Hierin worden vanuit een restauratiefilosofische kader met begrippen zoals bijvoorbeeld authenticiteitswaarde, via het vaststellen van compatibiliteits-, herbehandelbaarheids- en reversibiliteitseisen, meer specifieke functionele en technische eisen aan de eigenschappen van steenreparatiemortels geformuleerd. Hierin staat het concept van compatibiliteit (van de steenreparatiemortel met de ondergrond) centraal. Een totale interventie in het bestaande, inclusief het daarbij toe te passen nieuwe materiaal, is compatibel indien deze geen technische en/of esthetische schade veroorzaakt aan het al aanwezige, te behouden historische materiaal; het nieuwe materiaal moet tegelijkertijd zelf zo duurzaam mogelijk zijn. De compatibiliteitseis veronderstelt dat zowel eigenschappen van de nieuwe mortel als van de ondergrond bekend zijn. Anders is de compatibiliteit van de interventie immers niet te beoordelen.

Compatibiliteit is ook het startpunt van eisen voor steenreparatiemortels zoals die eerder zijn geformuleerd door andere onderzoekers en in diverse richtlijnen.

Een poging om specifieke eisen te formuleren is gedaan in het WTA Merkblatt 3-11-97/D : Steinerganzung mit Restauriermortern [4]. De gestelde eis is simpel en hetzelfde voor alle genoemde technische eigenschappen (E-modulus, druksterkte, capillaire wateropname, waterdampdiffusieweerstand, thermische en hygrische uitzetting): deze moeten kleiner of gelijk zijn aan die van de ondergrond. Ook kleur en textuur moeten vrijwel gelijk zijn aan die van de ondergrond. Er wordt geen tolerantie van acceptabele afwijkingen gegeven (wat discussie over en evaluatie van dergelijke afwijkingen moeilijk maakt).

In 1997 formuleren Sasse en Snethlage technische eisen voor steenreparatiemortels [5], die later worden verder verwerkt in [6], waarin de auteurs de acceptabele afwijking tussen de eigenschappen van de steenreparatiemortel en die van de ondergrond definiëren (tabel 1). De eigenschappen die door deze auteurs worden genoemd komen voor het grootste deel overeen met de eigenschappen die al genoemd zijn in het WTA Merkblatt 3-11-97/D; als extra eigenschap wordt de hechtsterkte van de mortel genoemd. Deze moet lager zijn dan de treksterkte van de ondergrond zodat, als de mortel loskomt, de breuk in de mortel zal plaatsvinden en zo geen schade aan de ondergrond veroorzaakt wordt.

Delgado-Rodrigues & Grossi [7] formuleren eisen voor verschillende soorten conserveringsinterventies, waaronder het gebruik van steenreparatiemortels, in de vorm van incompatibiliteitsrisico's die nog acceptabel worden geacht (tabel 2). Sommige compatibiliteitseisen worden meer specifiek beschreven (droging wordt bijvoorbeeld "drogingsindex" genoemd) en de samenstelling van de mortel (bindmiddel en toeslag) wordt ook meegenomen in het bepalen van de compatibiliteitsscore. Daarnaast worden eigenschappen van de mortel genoemd die relevant zijn voor de toepassing in de praktijk, zoals verwerkbaarheid, open tijd, verharding onder droge als natte condities, maar zonder waarden aan deze eigenschappen te koppelen.

Tabel 1: Eisen aan steenreparatiemortel in vergelijking met de eigenschappen van de ondergrond (bron:[6])

Materiaaleigenschappen	Symbol	Reparatiemortel
Dynamische E-modulus	E	≤80%
Druksterkte	β_{CS}	≤60%
Hydrische uitzetting	$\alpha_{hydrisch}$	50-100%
Thermische uitzetting	$\alpha_{thermisch}$	50-150%
Waterabsorptiecoëfficiënt	W	50-100%
Waterdampdiffusieweerstandsgetal	μ	50-100%
Hechtsterkte	β_{POS}	0,5-0,8

De aanpak van Delgado-Rodrigues & Grossi is vooral interessant omdat er een weging aan de verschillende factoren wordt gegeven. De som van alle “scores” voor de verschillende eisen (hier genoemd “compatibiliteitsindicatoren”) die zo ontstaat geeft een totaaloordeel over de compatibiliteit van de mortel en maakt zo de vergelijking tussen verschillende mortels eenvoudiger.

Tabel 2: Beoordeling van de compatibiliteit van steenreparatiemortels (bron: [7])

Criteria	Compatibiliteitsindicatoren	Compatibiliteitsrisico's (beoordelingsscore) ^a
Chemische en mineralogische samenstelling	Type bindmiddel (S & R)	Soortgelijk → 0 Verschillend → 10
	Type aggregaat (S & R)	Soortgelijk → 0 Verschillend → 5
Porositeit	Porositeit (S & R)	[0,9Ns < Nr < 1,1Ns] → 0 [0,7Ns < Nr < 0,9Ns] → 5 [Nr < 0,7Ns] → 10
Visuele eigenschappen	Totaal kleurverschil (ΔE^*) (S & R)	Lager dan 3 → 0 Tussen 3 en 5 → 5 Hoger dan 5 → 10
Thermische eigenschappen	Thermische uitzettingscoëfficiënt (ϵ) (S & R)	[0,9 $\epsilon_s \leq \epsilon_r \leq 1,1\epsilon_s$] → 0 [1,1 $\epsilon_s \leq \epsilon_r \leq 1,5\epsilon_s$] → 5 [$\epsilon_r \geq 1,5\epsilon_s$] → 10
Mechanische eigenschappen	Treksterkte	Waarden minder dan 10% verschil → 0
	Druksterkte	Waarden tussen 10 en 50% hoger → 5
	Elasticiteitsmodulus (S & R)	Waarden meer dan 50% hoger → 10
Waterabsorptie	Waterabsorptiecoëfficiënt	Waarden minder dan 10% verschil → 0
	Waterdampdoorlaatbaarheid	Waarden tussen 10 en 50% hoger → 5
	Drogingsindex (S & R)	Waarden meer dan 50% hoger → 10
Aanwezigheid van zouten	Zoutgehalte (S)	Vrij van zouten → 0 Weinig zouten → 5 Veel zouten → 10

S, substraat (ondergrond); R, reparatiemortel

^a Bij de beoordeling worden de waardes 0, 5 en 10 gekoppeld aan respectievelijk lage, gemiddelde en hoge risico's, maar elke waarde tussen 0 en 10 kan worden toegepast.

Isebaert en co-auteurs [8] maken gebruik van het genoemde werk van Snethlage, maar passen sommige eisen aan en voegen andere eisen toe (bijvoorbeeld aan de poriegrootteverdeling, die volgens hun vergelijkbaar moet zijn aan die van de steen). De korrelgrootteverdeling van de toeslag en minerale componenten van de mortel worden ook genoemd, maar hieraan worden geen eisen gesteld. Als laatste wordt het gedrag van de mortel in verouderingstesten met betrekking tot biologische groei (opmerkelijk genoeg niet m.b.t. andere factoren) genoemd: de mortel dient op een vergelijkbare manier als de steen te verouderen (tabel 3). Daarnaast stellen de auteurs een volgorde voor waarin het belang van elke eigenschap bij het bepalen van de mortelcompatibiliteit wordt vastgesteld: eigenschappen hoger in de rangschikking zijn volgens de auteurs van meer belang. Op deze manier zou het mogelijk zijn om al in het beginstadium van de planning van een interventie de belangrijkste

eigenschappen te testen, indien nodig de samenstelling van de mortel aan te passen en vervolgens de testen te herhalen totdat een geschikte mortel is gevonden. Dit geldt echter alleen in het geval van een situatie waarin de mortel zelf wordt samengesteld en er voldoende budget en tijd beschikbaar zijn.

Tabel 3: Kritische eigenschappen in de ontwikkeling van een reparatiemortel (bron: [8]).

Rangschikking	Eigenschap	Symbol	Test-methode	Aanbeveling	
1	Korrelgrootteverdeling	-		<i>c</i>	(b)
1	Minerale componenten	-		<i>c</i>	(b)
2	Waterabsorptiecoëfficiënt	WAC	EN 1015-18	50-100%	(a)
2	Waterdampdiffusieweerstand	μ		50-100%	(a)
2	Totale open porositeit	$P\%$	EN 1936	> 80%	(b)
2	Poriegrootteverdeling		micro-CT	<i>d</i>	(b)
3	Kleurverschil	ΔE	CIE L a b	50-150% [100%]	(b)
4	Dynamische E-modulus	Edyn	UPV	20-100% [60%]	(a)
4	Hechting	R_a	EN 1015-12	0,5-0,8%	(a)
5	Thermische uitzettingscoëfficiënt	α	TMA	50-150% [100%]	(a)
5	Hygrische uitzettingscoëfficiënt	H		<i>d</i>	(b)
6	Druksterkte	R_c	EN 1015-11	20-100% [60%]	(a)
6	Treksterkte	R_f	EN 105-11	<i>c</i>	(b)
7	Verouderingstesten	-		<i>d</i>	(b)

Waarden tussen haakjes geven de aanbevolen waarde na 1 jaar aan (a) waarden uit [5]; (b) Waarden voorgesteld door de auteurs. (c) Waarden van minder belang. (d) De waarde is vergelijkbaar met die van de steen.

Uit het hierboven gegeven overzicht van eisen uit de beperkte literatuur wordt het volgende duidelijk:

- Eisen genoemd in de bestaande literatuur zijn vaak vrij algemeen. Soms worden waarden wel gespecificeerd, maar vaak met een (vrij grote) range van mogelijke afwijkingen van de morteleigenschappen in vergelijking met de ondergrond.
- Enkele van de eisen zijn moeilijk te beoordelen, omdat de gerelateerde eigenschappen niet in één enkele waarde samen te vatten zijn (bijvoorbeeld de poriegrootteverdeling).
- Sommige eigenschappen en eisen zijn aan elkaar gerelateerd, zodat het meten van alle genoemde eigenschappen om de compatibiliteit van de mortel te beoordelen soms overbodig lijkt (de poriegrootteverdeling is bijvoorbeeld voornamelijk het resultaat van de samenstelling van de mortel en beïnvloedt zelf weer de waterabsorptie en droging van de mortel). Dergelijke eigenschappen zijn vooral van belang bij het bepalen van de samenstelling van een mortel bedoeld om bepaalde eigenschappen te bereiken.
- Het kwantificeren van eisen impliceert dat bepaalde eigenschappen, zowel van de ondergrond als van de mortel, bekend moeten zijn om de compatibiliteit van de mortel te kunnen beoordelen en dus een keuze te kunnen maken. Daarnaast moeten deze waarden volgens dezelfde (liefst standaard) procedure gemeten worden (of worden aangegeven in technische productbladen in het geval van geprefabriceerde mortels) om een vergelijking mogelijk te maken. In de praktijk komt dit zelden voor.
- Indien men de gelegenheid zou hebben om alle eigenschappen te meten, zoals in het laboratoriumonderzoek binnen MonumentenKennis is gedaan, zou men waarschijnlijk tot de conclusie komen dat geen van de geteste mortels tegelijkertijd aan alle eisen kan voldoen. Het is dus belangrijk om in elke situatie prioriteiten te stellen en de verschillende eisen tegen elkaar af te wegen om tot een keuze te komen.
- Een laatste belangrijke beperking van de eisen vermeld in literatuur en richtlijnen is tenslotte het feit dat de voorgestelde grenswaarden niet uit gericht en systematisch onderzoek komen, maar het resultaat zijn van op zich waardevolle en jarenlange ervaring waarvan helaas weinig

gepubliceerd is. Op dit moment bestaat er voor zover ons bekend geen systematische validatie van deze grenswaarden.

3. Criteria voor de keuze van steenreparatiemortels

Hieronder wordt het keuzeproces m.b.t het gebruik van steenreparatiemortels in kaart gebracht en worden criteria voorgesteld voor de keuze van een compatibele mortel.

3.1. Wel of niet een steenreparatiemortel gebruiken?

Voordat een steenreparatiemortel kan worden gekozen, moet eerst worden overwogen of in de specifieke situatie het toepassen van een steenreparatiemortel de voorkeur heeft boven andere oplossingen, zoals het inboeten van nieuwe natuursteen of baksteen of zelfs geen interventie. Bij deze overweging komen verschillende aspecten aan bod: het doel van de interventie, de functie van de steen in zijn context, de omgevingscondities en belastingen etc. In tabel 4 worden, op basis van ervaring van de auteurs en van de geïnterviewde experts, situaties geïdentificeerd waarbij het risico van falen van een reparatiemortel hoger wordt geacht dan gemiddeld. In sommige gevallen worden suggesties gedaan om de risico's in een specifieke situatie te vermijden of te verminderen. Het optreden van (meerdere van) deze situaties kan ook een reden zijn om geen steenreparatiemortels toe te passen.

Tabel 4: Toepassingen die het risico van falen van een reparatiemortel kunnen vergroten

		Situaties die risicovol zijn	Suggesties om het risico van falen te vermijden ofwel verminderen
veiligheid		De reparatiemortel kan bij falen een veiligheidsrisico met zich meebrengen	Geen mortel toepassen OF de reparatiemortel extra aan de ondergrond te bevestigen, b.v. met koperen pennetjes EN/OF de staat van conservering van de reparatiemortel regelmatig controleren
gebruik		De reparatiemortel moet een belasting kunnen dragen	Geen mortel toepassen OF de reparatiemortel extra aan de ondergrond te bevestigen EN/OF een reparatiemortel met een hoge mechanische sterkte toe te passen
reparatie	omvang van de reparatie	Vlakkvullende reparatie (80-100% van het oppervlak van steen/baksteen blok)	Geen mortel toepassen OF extra aandacht aan de compatibiliteitseisen besteden
	vorm van de reparatie	De reparatie loopt op nul uit	Geenmortel toepassen OF de vorm van de reparatie gunstiger te maken
	dikte van de reparatie	De reparatie is meer dan 20 mm dik	Geen mortel toepassen OF de reparatie extra aan de ondergrond te bevestigen, b.v. met koperen pennetjes, en te wapenen om krimp tegen te gaan
ondergrond	type ondergrond	Het gaat om een moeilijk te repareren ondergrond, qua fysische en/of esthetische eigenschappen (b.v. tufsteen) figuur 2	Geen mortel toepassen OF extra aandacht aan de compatibiliteitseisen besteden
	schade ondergrond	De ondergrond vertoont afschilfering, delaminatie of exfoliatie	Geen mortel toepassen OF de ondergrond tot op de gezonde steen weg hakken
omstandigheden	Zoutbelasting	De ondergrond heeft een hoge zoutbelasting en/of vertoont zoutschade	Geen mortel toepassen OF de ondergrond ontzouten EN/OF extra aandacht aan de technische compatibiliteitseisen besteden
	vochtbelasting	De ondergrond heeft een erg hoge vochtbelasting	Geen mortel toepassen OF de vochtbron aan te pakken EN/OF extra aandacht aan de technische compatibiliteitseisen besteden



Fig. 2: Toepassing van steenreparatiemortel op tufsteen: kleur en textuur wijken duidelijk af van de ondergrond

3.2. Keuze van een geschikte steenreparatiemortel

Wanneer overwogen wordt om een steenreparatiemortel toe te passen, moet gezocht worden naar een mortel die compatibel is met de ondergrond en tegelijkertijd zo duurzaam mogelijk is. Compatibiliteit omvat zowel esthetische als technische eisen.

3.2.1. Esthetische compatibiliteit en hoe deze kan bereikt worden

Voor wat betreft de esthetische compatibiliteit worden de eisen voornamelijk gesteld aan kleur en textuur van de mortel. Deze eigenschappen moeten gekozen worden in afstemming met die van de ondergrond; vanwege ethische redenen moet het tegelijkertijd duidelijk blijven dat het een reparatie is en niet het originele materiaal. Het blijft dus moeilijk rigide waarden te koppelen aan esthetische eisen, zoals bijvoorbeeld een maximale afwijking van de kleur van de mortel met die van de ondergrond. Daarnaast blijft bij elke esthetische beoordeling een subjectieve component bestaan, zoals ook blijkt uit onderzoek naar de beleving van interventies (inclusief mortels) aan natuursteen [9], [10]. Daarnaast zullen mortels en steen vrijwel altijd verschillend verouderen, waardoor de esthetische eigenschappen met de tijd meer of minder uiteen kunnen gaan lopen.

3.2.2 Technische compatibiliteit

Naast enkele eisen die aan de steenreparatiemortel zelf kunnen worden gesteld (de mortel moet een minimale sterkte hebben om een mogelijke belasting te kunnen weerstaan), hebben de meeste technische eisen betrekking op de compatibiliteit met de bestaande ondergrond. De belangrijkste aspecten van technische compatibiliteit zijn:

- Vochttransport: de mortel moet de droging van de ondergrond zo min mogelijk vertragen; tegelijkertijd moet deze niet sneller dan de ondergrond absorberen. In bestaande richtlijnen wordt deze eis aan verschillende, aan elkaar gerelateerde eigenschappen (WAC, waterdampdiffusieweerstand, porositeit, poriegrootteverdeling) gesteld, waarbij soms grenswaarden voor de acceptabele afwijking gegeven worden (zie tabellen 1-3). Deze eisen zijn in de meeste gevallen moeilijk te verifiëren zonder de beschikbaarheid van een ruime tijdsspanne en aanzienlijk budget. Bepaling van de waterabsorptie en droging op ondergrond en combinatie ondergrond-mortel is een simpele alternatieve methode om de keuze tussen verschillende mortels in de praktijk te vergemakkelijken.
- Hechting: de mortel moet, bij het loskomen, de ondergrond niet beschadigen; daarnaast moet de mortel een goede hechting met de ondergrond hebben, dat wil zeggen loskomen bij een

zo hoog mogelijk kracht. Om dit te bepalen kan een hechtproef, zoals beschreven in de EN1015-12 1996 [11] uitgevoerd worden.

- Elasticiteits-modulus: de reparatiemortel moet meer flexibel zijn dan de ondergrond om geen belemmering voor vervorming van de ondergrond te zijn. Dit betekent dat de reparatiemortel een lagere E-modulus moet hebben dan de ondergrond. Het meten van de dynamische E-modulus heeft de voorkeur boven de gewone statische E-modulus, omdat de eerstgenoemde eenvoudiger en niet-destructief te meten is.
- Hygrische en thermische uitzetting: de thermische uitzetting is in het geval van anorganische bindmiddelen laag, en dus niet erg relevant; epoxy en acrylaten hebben een hogere thermische uitzetting [12]. De hygrische uitzetting moet zo veel mogelijk in de buurt van die van de ondergrond komen (50-150% [6]). De initiële krimp staat niet expliciet in bestaande richtlijnen. Toch is het belangrijk deze ook in de beoordeling mee te nemen aangezien hij kan leiden tot falen op jonge leeftijd.
- Chemische compatibiliteit: de reparatiemortel mag geen oplosbare zouten of andere schadelijke componenten bevatten en niet tot het ontstaan van schadelijke componenten leiden door een reactie met de ondergrond.

4. Hoe kan aan de eisen voldaan worden?

De samenstelling en verhouding van de verschillende mortelcomponenten bepalen de eigenschappen van een mortel. In het geval van geprefabriceerde steenreparatiemortels is de samenstelling door de producent bepaald. Door de producent wordt vaak een soort van modulair systeem aangeboden: zo wordt bijvoorbeeld telkens hetzelfde type bindmiddel en aggregaat gebruikt, maar worden op basis van de te repareren ondergrond de korrelgrootteverdeling van dat aggregaat en/of type/hoeveelheid toeslagstoffen veranderd om een betere compatibiliteit te bereiken. In het geval van zelf samengestelde mortels, kan de gebruiker de samenstelling aanpassen, afhankelijk van de situatie.

In onderstaande paragrafen wordt ingegaan op de manier hoe aan de genoemde eisen kan worden voldaan.

4.1. Hoe kan aan de esthetische eisen worden voldaan

Esthetische eisen betreffen voornamelijk kleur en textuur.

Om de kleur van de mortel af te stemmen op die van de ondergrond, kan de samenstelling van de mortel aangepast worden:

- het type bindmiddel: kalk of wit cement maken het makkelijker om een licht gekleurde ondergrond na te bootsen.
- het aggregaat: de kleur van het aggregaat kan gekozen worden om de kleur van de mortel op die van de ondergrond af te stemmen (figuur 3). Eventueel kan materiaal van de ondergrond gemalen worden en als aggregaat gebruikt om de gewenste kleur te bereiken.
- De pigmenten: natuurlijke of synthetische pigmenten kunnen aan de mortel toegevoegd worden om deze op de gewenste kleur te brengen. Natuurlijke pigmenten hebben de voorkeur, omdat synthetische pigmenten vaak een te sterke, onnatuurlijke kleur geven [6]. Nadeel van pigmenten is dat de kleur minder stabiel kan zijn op de langere termijn.

Bij het bepalen van de kleur van een steenreparatiemortel moet ook rekening gehouden worden met het feit dat de reparatiemortel op het moment dat deze wordt aangebracht, nat is; de kleur zal dus anders zijn dan wanneer de mortel droog is.

De textuur van de mortel wordt voornamelijk door de keuze van het aggregaat (korrelvorm, -grootte en hoeveelheid) en de afwerking van het oppervlak bepaald (figuur 4).

Ook de condities tijdens uitharding spelen een rol: een zeer geringe hoeveelheid kalkuitbloei beïnvloedt de kleur onherroepelijk, waardoor verschillende dagproducties verschillend kunnen

uitpakken; vorming van een dunne bindmiddel huid op het oppervlak (die later makkelijk verdwijnt) eveneens.

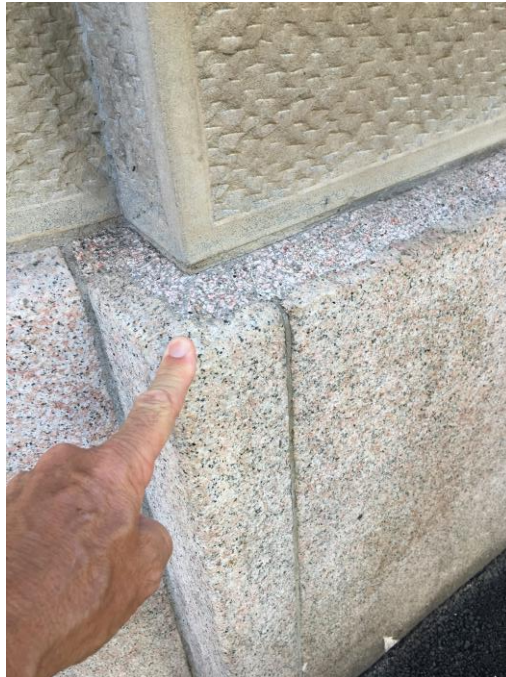


Fig. 3: De kleur van het aggregaat en samenstelling van de steenreparatiemortel zijn gekozen om de kleur van de mortel zo goed mogelijk op die van de ondergrond af te stemmen

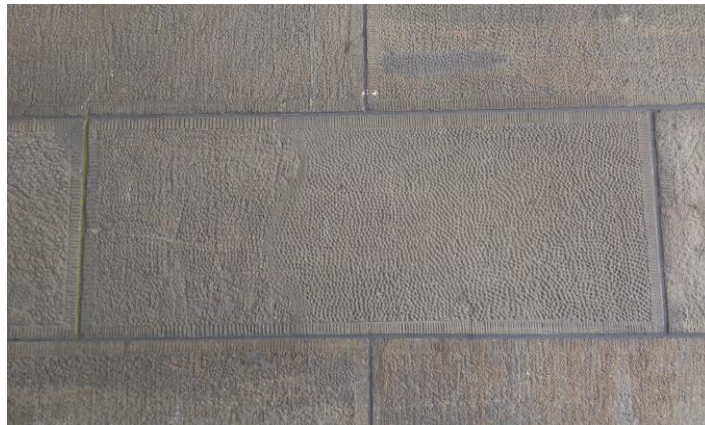


Fig. 4: De steenreparatiemortel is herkenbaar, maar ook esthetisch compatibel met de natuursteen (Centraal Station Amsterdam)

4.2. Hoe kan aan de technische eisen worden voldaan ?

De vochttransporteigenschappen van een mortel worden bepaald door de poriegrootteverdeling en de manier waarop de poriën met elkaar verbonden zijn.

De poriegrootteverdeling van een mortel omvat meestal zowel fijne als grove poriën (figuur 5): de fijne poriën zijn aanwezig in het bindmiddel (tot ongeveer 1 μ , afhankelijk van het type bindmiddel), de grovere poriën zijn de ruimtes tussen de zandkorrels. Poriën in het capillaire bereik (tussen ongeveer 1 en 100 μ m [13]) bepalen de capillaire absorptie. Grovere poriën

absorberen sneller dan fijnere poriën, terwijl die laatste vocht langer vast houden; droging wordt door de aanwezigheid van kleine poriën dus vertraagd.

Door de verhouding bindmiddel en aggregaat te variëren kan de hoeveelheid en maat van grove poriën beïnvloed worden: meer bindmiddel betekent, bij dezelfde korrelgrootte van het aggregaat, meer fijne en minder grove poriën. Daarnaast speelt de korrelgrootte van het aggregaat ook een rol: een goed verdeelde korrelgradering geeft, bij dezelfde bindmiddel/aggregaat verhouding, een lagere porositeit.

Naast de poriegrootteverdeling van de mortel bepaalt de onderlinge verbondenheid van de poriën de snelheid van het indringen van water, het vochtfront. Dit wordt ook door het hulp- en vulstoffen en lichtgewicht aggregaat beïnvloed, componenten die in sommige geprefabriceerde steenreparatiemortels voorkomen.

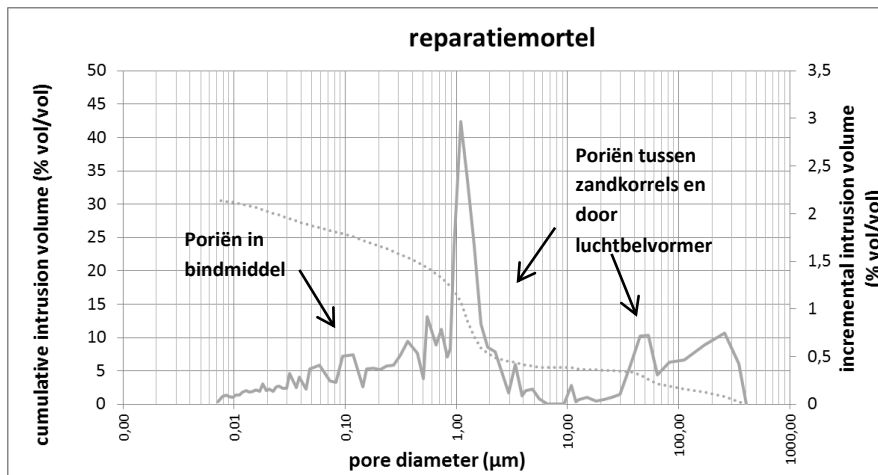


Fig. 5: Voorbeeld van poriegrootteverdeling van een geprefabriceerde steenreparatiemortel zoals gemeten met kwikporosimetrie

De hechting van de mortel aan de ondergrond wordt voornamelijk bepaald door het bindmiddeltype: cement, epoxy en acrylaat geven een sterkere hechting dan kalk [12]. De hoeveelheid bindmiddel speelt ook een rol: een te schrale mortel zal meestal een mindere hechting hebben. Het gebruik van sommige additieven, zoals bijvoorbeeld acrylaten, kan de hechting van de reparatiemortel aan de ondergrond versterken.

De mechanische sterkte van de mortel wordt voornamelijk bepaald door het bindmiddel en aggregaat type en hun verhouding. Bindmiddelen op basis van cement zijn sterker dan die op kalkbasis. Kwartszand is sterker dan gebroken kalksteen; lichtgewicht aggregaten (bijvoorbeeld perliet, bims of geëxpandeerde klei, etc.) zijn zwakker dan zand. De elasticiteitsmodulus wordt sterk bepaald door het type bindmiddel: luchtkalk geeft de meest flexibele mortel, terwijl Portland cement de meest stijve mortels genereert.

De thermische uitzetting is alleen relevant voor epoxy- en acrylaatmortels [12]. De hygrische uitzetting is vooral van belang bij ondergronden die zelf een bovengemiddeld grote hygrische uitzetting hebben, zoals tufsteen.

De initiële krimp wordt o.a. beïnvloed door de hoeveelheid bindmiddel en water gebruikt in het mengsel (hoe meer water hoe meer krimp): te vette mortels hebben vaak een hoge initiële krimp. Het toepassen van additieven zoals luchtbelvormers of plastificeerders vermindert de waterbehoefte en daarmee de initiële krimp van de mortel.

De chemische compatibiliteit van een mortel wordt voornamelijk beïnvloed door het type bindmiddel. Zo kan cement bijvoorbeeld relevante hoeveelheden alkali aanvoeren, die vervolgens tot het ontstaan van zoutschade kunnen leiden [14]. De aanwezigheid van sommige typen zout in de ondergrond vraagt om extra aandacht in de keuze van het type bindmiddel: cement met een hoog gehalte aan tricalciumalumiinaat ($3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$) kan bijvoorbeeld, in de aanwezigheid van chloriden en water, tot het ontstaan van Friedels zout leiden; dit zout neemt meer ruimte in dan de oorspronkelijke verbinding, waardoor de mortel zwelt.

Naast de samenstelling zijn de applicatie en nabehandeling van de mortel van belang om het gewenste resultaat te bereiken. Bij voorbeeld, kan het te lang nat blijven van de mortel tot uitloging leiden, wat zowel uit esthetisch als technisch oogpunt niet gewenst is; andersom, kan een te snelle droging krimp scheuren veroorzaken (figuur 6).



Fig. 6: Krimpscheuren in steenreparatiemortel

5. Discussie en conclusies

Dit (nog niet geheel afgeronde) onderzoek had als doel criteria te formuleren om de keuze van een geschikte steenreparatiemortel in de praktijk te vergemakkelijken, dat wil zeggen een die compatibel is met de ondergrond.

Uit dit onderzoek blijkt dat het in de praktijk moeilijk kan zijn om tot de keuze van een compatibele reparatiemortel te komen op basis van de eisen uit de literatuur. Hiervoor zijn verschillende redenen, onder andere het grote aantal eigenschappen van ondergrond en reparatiemortel die bekend moeten zijn om op deze wijze tot een keuze te komen en het gebrek aan tijd en/of budget om deze te bepalen.

Om de keuze van een reparatiemortel in de praktijk te ondersteunen zijn in dit onderzoek de volgende stappen gezet:

- identificeren van situaties waar het risico van falen van een reparatiemortel hoger wordt geacht dan gemiddeld (zie §3.1);
- selecteren van een beperkt aantal relevante eisen en gerelateerde eigenschappen (zie § 3.2).
- aanwijzingen geven om de samenstelling van de reparatiemortel aan te passen om aan de gestelde eisen te voldoen (zie § 3.2).

In een vervolgonderzoek is het wenselijk om:

- enkele eenvoudige testen te ontwikkelen en valideren om de compatibiliteit van de reparatiemortels te bepalen.
- de aangegeven eisen verder te valideren door onderzoek naar hun effect op de duurzaamheid van de mortel, zowel met versnelde testen in het laboratorium als door inspecties in de praktijk.

6. Dankwoord

De auteurs willen Michiel van Hunen (RCE), Hendrik-Jan Toolbom (RCE) en Wido Quist (TUDelft) danken voor hun bijdrage aan de discussie.

7. Referenties

- [1] M. van Hunen, "Reparatiemortels, waarnemingen in de praktijk en een enquête onder verwerkers," in *Syllabus van de WTA studiedag "Reparatie van steenachtige materialen,"* 2018.
- [2] R. P. J. van Hees and B. Lubelli, "Keuze van steenreparatiemortels in historische gebouwen: geen eenvoudige zaak," in *Symposium MonumentenKennis - Kennis van de Gevel,* 2017, p. 47 - 57.
- [3] K. Van Balen, I. Papayianni, R. Van Hees, L. Binda, and A. Waldum, "Introduction to requirements for and functions and properties of repair mortars," *Mater. Struct. Constr.,* vol. 38, no. 282, pp. 781–785, 2005.
- [4] WTA, "Merkblatt 2-9-04/D -Sanierputssysteme (Renovation mortar systems)," 2005.
- [5] Sasse H. and Snethlage R., "Methods for the evaluation of stone conservation treatments," in *Dahlem Workshop 'Saving our architectural heritage: the conservation of historic stone,* 1997, pp. 223–243.
- [6] S. Siegesmund and R. Snethlage, Eds., *Stone in architecture - Properties, Durability,* 4th ed. Springer, 2011.
- [7] J. D. Rodrigues and A. Grossi, "Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions," *J. Cult. Herit.,* vol. 8, no. 1, pp. 32–43, 2007.
- [8] A. Isebaert, L. Van Parys, and V. Cnudde, "Composition and compatibility requirements of mineral repair mortars for stone - A review," *Constr. Build. Mater.,* vol. 59, pp. 39–50, 2014.
- [9] W. Quist, R. van Hees, S. Naldini, and T. G. Nijland, "De beleving van schade en reparaties aan natuursteen," *Prakt. Instandhouding Monum.,* vol. 30, 2007.
- [10] W. J. Quist, T. de Kock, T. G. Nijland, R. P. J. van Hees, and V. Cnudde, "Conservering van witte steen: verbetering of versplilde moeite? De beleving van interventies in Vlaanderen en Nederland," *Geol. Surv. Belgium Professional Pap.,* vol. 1, no. 316, pp. 5–14, 2014.
- [11] NEN-EN, "NEN-EN 1015-12 -Beproevingmethoden voor mortel voor metselwerk - Deel 12: Bepaling van de hechting aan de ondergrond van verharde pleistermortels." 2016.
- [12] J. Válek *et al.*, "Functional Requirements for Surface Repair Mortars for Historic buildings (Draft RILEM publication, RILEM TC 243-SGM)." 2017.
- [13] B. Meng, "Moisture-transport-relevant characterization of pore structure," in *Proceedings of the 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone,* 1992, pp. 387–396.
- [14] A. Arnold and K. Zehnder, "Salt weathering on monuments," *La conservazione dei monumenti nel bacino del Mediterraneo: influenza dell'ambiente costiero e dello spray marino sulla pietra calcarea e sul marmo: atti del 1o simposio internazionale, Bari 7-10 giugno, 1989 = The conservation of monuments in the Mediter.* pp. 31–58, 1990.

HET BELGISCH ROOD MARMER VAN HET STADHUIS VAN ANTWERPEN: RESTAURATIE NA RESTAURATIE

Tanaquil Berto, Sam Huysmans, Laurent Fontaine en Roald Hayen
Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium

1. Inleiding

Het stadhuis van Antwerpen (Figuur 1) is het ontwerp van meerdere kunstenaars-architecten [1]. Onder hen speelt Cornelis Floris de Vriendt (Cornelis II Floris, °1514 - †1575) ongetwijfeld de belangrijkste rol. Hij zou als bouwmeester van 1561 tot 1565 de leiding hebben genomen over de werken [2, 3]. Het stadhuis wordt beschouwd als het belangrijkste vroeg renaissancemonument in de Lage Landen en is sinds 1999 opgenomen in de werelderfgoedlijst van Unesco [4, 5].

Oorspronkelijk werden de gevels opgetrokken uit verscheidene steensoorten waaronder Obernkirchener zandsteen, Naamse kalksteen, Belgische blauwe hardsteen en het rood marmer van Baelen (ontginningen rond Limbourg). Verder werd er ook nog het rood marmer van Rance voor de kolommen van het middenrisaliet en Avendersteen (Pierre d'Avesnes) voor het beeldhouwwerk in de zwikken toegepast [6].



Fig. 1: Stadhuis Antwerpen anno 2003 © KIK-IRPA, Brussel - X000252

Het onderwerp van deze uiteenzetting is het door het KIK (Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium, Brussel) uitgevoerde onderzoek naar de behandelingsmogelijkheden van het fragmenterend rood marmer toegepast voor de gevelbekleding van de onderste bouwlaag van het stadhuis. Het doel van dit onderzoek was om de meest geschikte behandelingsmethode vast te leggen die de bekleding in het rode marmer voor verdere degradatie behoedt. Daarnaast was er ook de vraag om te bepalen welke methode en materialen het meest geschikt zijn om de gehele bekleding in zijn oorspronkelijke intense marmerkleur en strakke uitwerking met cassettes terug te brengen.

Het huidige rood marmer werd immers reeds meerdere malen gerestaureerd en vandaag vertonen alle oude invullingen scheuren aan de contouren waardoor ze loskomen van het marmer. In vele gevallen zijn de invullingen reeds verdwenen en is een lacune met grillig breukvlak te zien op een verder strak uitgevoerde rood marmeren gevel. Het marmer is bovendien vervuild en vertoont een grauw aspect met verlies van glans en verbleking van het oppervlak. Een dikke, vervuilde waslaag is aanwezig over het gehele oppervlak en draagt bij tot het grauwe aspect van het marmeroppervlak. Op de meer beschermde zones zoals in de dagkanten van de boogvormige poortjes is het oorspronkelijk gepolijst en gesatureerde marmeroppervlak nog zichtbaar.

2. Materiële geschiedenis van het rode marmer

Voor de oorspronkelijke rustica plint, die de gehele onderste bouwlaag bekleedde, werd het rood marmer van Baelen toegepast. Dit geveldeel bestond aanvankelijk uit relatief kleine blokken uitgewerkt in cassettes met een frijnslag [7]. De voegen in kalkmortel tussen deze blokken werden rood geschilderd waardoor de illusie van grote monolieten ontstond [8] (Fig. 2). In de jaren 1860-1870 werd echter de bestaande 16^{de}-eeuwse marmerbekleding integraal vervangen door een bekleding van grote blokken rood marmer van Beauchâteau (Vanscherpenzeel-Thim, 1863 [9]). Het oppervlak van deze marmerbekleding, met een dikte van ongeveer 50 cm, werd uitgewerkt met vlak gepolijste cassettes [10].



Fig. 2: Stadhuis Antwerpen, Opname Desplanques 1852, (vóór de vervanging van het rode marmer)

Vandaag wordt het rood marmer van Beauchâteau in de onderste bouwlaag van het stadhuis gekenmerkt door de aanwezigheid van een groot aantal ingevulde lacunes. De oudste invullingen dateren uit de jaren 1960, dus amper 100 jaar na plaatsing van het rood marmer van Beauchâteau.

Het lastenboek dat naar aanleiding van deze restauratie werd opgemaakt, omschrijft de werkzaamheden als volgt: *“Vervolgens het restaureren van de kwetsuren, naar gelang het geval, hetzij met hetzelfde marmer als het bestaande, afkomstig uit de originele groeven, en*

vloeibaar marmer, het geheel daarna hervlakken en polijsten tot eierschaalgladheid [11].” De herstellingen werden dus ofwel uitgevoerd met inzetstukken rood marmer afkomstig van de groeve van Beauchâteau; ofwel met “vloeibare marmer” waarmee hoogstwaarschijnlijk herstellingen op basis van polyester werden bedoeld. Ook wordt de graad van afwerking bepaald waarbij gepolijst moest worden tot “eierschaalgladheid” waarmee vermoedelijk een satijnglans werd beoogd.

De huidige invullingen zijn quasi allen op basis van kunsthars en door hun donkerdere tint te onderscheiden van het marmer (Fig. 3 links). Dit kleurverschil is te wijten aan een verdonkering van het kunsthars enerzijds, en de verbleking van het marmer anderzijds. De op kleur gebracht kunstharsen vertonen vandaag een roodbruine ofwel grijsbruine tint. Hierin zien we kleine (<4 mm), witte en rode steenfragmenten (vermoedelijk marmer) dat als vulmiddel aan het kunsthars werd toegevoegd. Daarnaast zien we ook grotere marmerstukken, tot meer dan 1 dm² groot, die in het kunsthars zijn ingebed. Vermoedelijk betreft het hier recuperatiemateriaal van losgekomen marmerfragmenten van de huidige gevel (Fig. 3 rechts), maar ook fragmenten van marmer van Baelen werden waargenomen.

Kunstharsen waren in deze periode nog in volle ontwikkeling en deze eerste generatie kunstharsen werd gekenmerkt door een aanzienlijke krimp tijdens het uithardingsproces [12].



Fig. 3: Links: Kunsthars met marmerfragmenten toegepast als herstelmortel
Rechts: Grotere fragmenten marmer in kunsthars

Deze eigenschap alsook de incompatibiliteit van kunsthars met marmer in een buitenomgeving leidde in de daaropvolgende jaren tot vele onderhoudsherstellingen waarbij er hoogstwaarschijnlijk eerst met polyesterharsen en vervolgens met epoxyharsen werd gewerkt.

3. Het rode marmer: Marmer van Beauchâteau

Om de mineralogische samenstelling en structurele eigenschappen van het marmer beter te begrijpen werd petrografisch onderzoek uitgevoerd. Het rood marmer van Beauchâteau (riffkalksteen) is een compacte kalksteen die voornamelijk is samengesteld uit witte fossielen/adere omgeven door een roze grondmassa. Donkerrode kleihoudende tussenlaagjes (met een dikte van maximaal enkele mm, komen volgens een grillig patroon in de kalksteen voor. Dit zijn grillige onregelmatigheden, gelijkaardig aan stylolieten, en komen vermoedelijk min of meer evenwijdig aan het groefleger in het marmer voor. Het materiaalverlies kan toegeschreven worden aan de aanwezigheid van deze natuurlijk voorkomende

onregelmatigheden in de kalksteen (Figuur 4). Deze werden ook duidelijk waargenomen in de slijpplaatjes (een zeer dun plakje materiaal van 30-45 μm dikte, zie Fig. rechts) van het marmer van het stadhuis en van stalen die werden genomen van het afvalmateriaal van de groeve Beauchâteau (5).

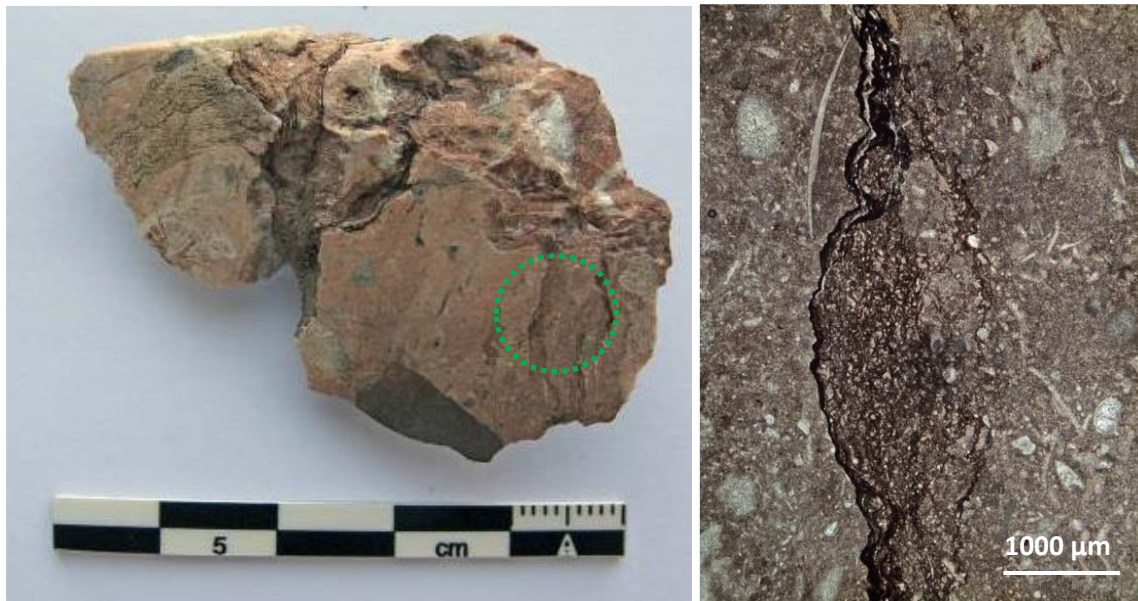


Fig. 4: Links: macro afbeelding van een losgekomen fragment van het rood marmer (zuidwestgevel stadhuis) met aanduiding van staalname (groene cirkel) voor het slijpplaatje. Rechts: optisch-microscopisch beeld (natuurlijk licht, transmissiemodus) van het slijpplaatje waarop donkerrode kleihoudende tussenlaagjes kunnen worden waargenomen



Fig. 5: Luchtfoto van de groeve Beauchâteau (Senzeilles, 2004) © Pierres et Marbres de Wallonie

4. Oorzaak van het materiaalverlies van het rood marmer

Zoals alle bouwmaterialen in een buitenomgeving wordt de marmerbekleding in de onderste bouwlaag van het stadhuis blootgesteld aan dagelijkse temperatuurverschillen (verschil in dag- en nachttemperatuur) en verschillen in relatieve vochtigheid (RV). De kleihoudende tussenlaagjes, die in de slijpplaatjes duidelijk werden waargenomen, verhogen lokaal de hygrische (en in mindere mate thermische) uitzetting van de anders weinig uitzetbare grondmassa van het rood marmer, wat aanzienlijke interne spanningen in het materiaal veroorzaakt. Dilatatiemetingen (= lengteverandering uitgedrukt in millimeter/meter) bij

hygrische variaties hebben aangetoond dat kleirijke zones 4 tot 5 (!) keer meer uitzetten dan de kleiarne zones. Dit evolueert tot de vorming van microscheuren, barsten en tenslotte materiaalverlies in de vorm van materiaal dat loskomt op deze onregelmatigheden in de natuursteen.

De resultaten van de X-stralen diffractie (*X-Ray Diffraction of XRD*) hebben uitgewezen dat de kleifractie van de kleihoudende lagen voornamelijk uit illiet (met een miniem aandeel aan kaolinit) bestaat. Hoewel illiet (en kaolinit) geen zwellende kleimineralen [13] zijn, veroorzaakt het grote aandeel klei in de tussenlaagjes een ander mechanisme van zwelling: de zogenaamde interparticulaire osmotische zwelling (*inter-particle osmotic swelling*, zie Ruedrich et al., 2011 [14]) waarbij de zwelling geïnduceerd wordt door de adsorptie van watermoleculen tussen de kleipartikels (in plaats van absorptie van watermoleculen binnen de kristalstructuur van kleipartikels – zogenaamde *intra-crystalline swelling*). Het voorkomen van kleihoudende tussenlaagjes verhoogt dus plaatselijk het waterabsorptievermogen van de anders weinig poreuze kalksteen ten opzichte van relatieve vochtigheid (en regen). Voorafgaand onderzoek in het kader van andere projecten van het KIK heeft uitgewezen dat de aanwezigheid van kleihoudende laagjes door herhaaldelijke absorptie-droging cycli, en daardoor geïnduceerde zwelling-krimp cycli, een compacte kalksteen op lange termijn kan fragmenteren (Fontaine et al., 2015 [15]). Bovendien, kan het vloeibare water dat aanwezig is in de kleihoudende laagjes, uitzetten tot ijs en dus vorstschade veroorzaken.

De waargenomen schade aan de bekleding in rood marmer is dus te wijten aan de samenstelling van het materiaal zelf (aanwezigheid van regelmatig voorkomende kleihoudende tussenlaagjes) gekoppeld aan de inwerking van water (zowel dagelijkse hygrische variatie als regenwater en vorst), en in mindere mate de inwerking van oppervlaktetemperatuurschommelingen.

5. Onderzoek naar de aangewezen methode en producten voor de restauratie

5.1. Onderzoek naar een geschikte herstmortel

Aangezien waterinfiltratie in de kleihoudende tussenlaagjes aan de basis ligt van het schademechanisme, dient het rood marmer maximaal tegen waterinfiltratie beschermd te worden om verder materiaalverlies te beperken. Daarnaast dienen de lacunes die werden gevormd ten gevolge van fragmentatie weer opgevuld met een herstmortel. De breukvlakken bevatten immers kleirijke zones en de waterafloop (neerslag) in deze lacunes is slecht. Daarnaast is er uiteraard ook het visueel storende aspect van de lacunes. Het invullen van de lacunes verbetert dus de waterafloop van neerslag, de bescherming tegen vocht in de kleirijke zones en het esthetische aspect in zijn geheel. Het gebruik van kunstharsen of andere organische bindmiddelen werd op voorhand reeds uitgesloten vanwege de incompatibiliteit in een buitenomgeving met het rode marmer. Een minerale herstmortel leek dus het meest aangewezen. Op basis van een aantal testen in labo naar uitvoerbaarheid (visuele integratie, verwerkbaarheid, polijstbaarheid) werd een commerciële minerale herstmortel op basis van zinkoxide/chloride, die op kleur kan worden gebracht, naar voor geschoven. Zinkmortel is een minerale mortel samengesteld uit natuursteengranulaat en een mineraal bindmiddel van zinkoxide (poeder) en zinkchloride (vloeistof) volgens welbepaalde verhoudingen. Door vermenging van het poeder en de vloeistof ontstaat er een anorganisch polymeer dat uithardt. Een herstmortel op basis van cement/luchtkalk was voorzien als alternatieve optie maar zowel bij de labotesten als de proeftesten in-situ bleek de verwerkbaarheid en praktische toepassing ervan onvoldoende. De herstmortel op basis van zinkoxide/chloride voldeed aan de selectiecriteria, zijnde de fysische en chemische compatibiliteit, herneembaarheid en reversibiliteit. De dilatatiecoëfficiënten (thermische, hygrische en hydrische dilatatie) werden in labo onderzocht en vielen binnen de toegelaten afwijkingen op het rode marmer. Daarnaast werd er ook een trektest (Dynatest 2,5kN) uitgevoerd op het marmer. Hierbij bleek de mortel voldoende aan het marmer te hechten: waarden tot 0,9 kN werden gemeten. Bij een hogere trekkracht loste de zinkmortel op het hechtvlak zonder dit te beschadigen (reversibiliteit). De

esthetische integratie en de verwerkbaarheid, twee criteria die eveneens een belangrijke rol spelen in de bepaling van de behandelingsmogelijkheden, werden in-situ verder getest in de vorm van een proefrestauratie.

5.2. Onderzoek naar een geschikt waterwerend product

Twee commerciële waterwerende producten werden geselecteerd en op stalen aangebracht om de werking en effectiviteit te bepalen (door middel van waterabsorptie). Ook de veroudering (duurzaamheid) van deze producten werden onderzocht door middel van een verouderingscabine (Ci4000 Xenon Weather-Ometer - Atlas Electric Devices Co). Naast deze testen werd ook de verwerkbaarheid en visuele impact van het product op zowel het marmer als de herstmortel nagegaan. Hydrofoberingsproducten met een siloxaangehalte van 7 gew.% (minimaal 5 gew.%) leken voor de toepassing op de kleihoudende tussenlagen het meest aangewezen.

5.3. Onderzoek naar een geschikte beschermlaag voor het herstelde marmeroppervlak en de invullingen

Een afwerkingslaag heeft enerzijds een beschermende functie van het marmer tegen graffiti en vocht en anderzijds een esthetische functie gezien het gehele oppervlak (marmer en invullingen) er een homogene glanswaarde mee verkrijgt. Enerzijds zijn er de wassen die op zich een zekere graad van glans geven (afhankelijk van de toepassing) en anderzijds zijn er de anti-graffiti producten die in principe geen invloed mogen hebben op het esthetische aspect en dus de glansgraad van de drager. Een aantal wassen en anti-graffitiproducten werden getest op duurzaamheid en veroudering aan de hand van Karstenpijpmetingen bekomen voor en na een aantal cyclussen van de behandelde stalen in de verouderingscabine (Ci4000 Xenon Weather-Ometer - Atlas Electric Devices Co). Een commercieel verkrijgbare anti-graffiti op basis van was kwam als meest geschikte uit deze testen.

6. Pilootproject, de proefrestauratie

De proefrestauratie werd uitgevoerd op een testzone in de zuidwestelijke zijgevel van het stadhuis op de hoek van de Suikerrui en de Grote markt. De testzone (2,67 m²) omvatte verschillende schadebeelden die als representatief werden beschouwd voor de schadebeelden in de gehele marmerbekleding in rood marmer. In deze testzone werden de in het labo onderzochte materialen met de beste resultaten getest op verwerkbaarheid, reversibiliteit en esthetische compatibiliteit. Deze proefrestauratie gaf eveneens de gelegenheid iedere stap van de restauratiebehandeling nauwkeurig te beschrijven in functie van de restauratiecampagne, aangezien de meeste producten buiten hun toepassingsgebied (zoals omschreven in de technische fiches) werden aangewend.

Op vraag van de stad en onder leiding van dhr. Lode De Clercq, werden er parallel aan de proefrestauratie met herstmortel eveneens door een externe firma, testen uitgevoerd waarbij nieuwe stukken marmer als prothesen in de lacunes werden ingepast.

Op een andere testzone werd deze optie als restauratietechniek uitgetest in drie verschillende lacunes waarbij marmer van Vodelée werd ingezet aangezien het marmer van Beauchâteau niet meer beschikbaar is. (zie verder 6.6. Invullingen van de lacunes met toepassing van steenprotheses).

6.1. Voorbereidingen

Eerst werden alle oude herstellmortels mechanisch weggehaald. De oude invullingen kwamen zeer makkelijk los gezien deze door interne spanningen al grotendeels afgescheurd waren van het marmer. Er werd een shadebeeld van de proefzone opgemaakt en bij het in kaart brengen van de invullingen en lacunes bleek dat tot 17% van deze testzone lacunair was.

Vervolgens werd de gevel gereinigd met stoom onder lage druk. Oude waslagen en verontreiniging beïnvloeden en verhinderen immers de werking en hechting van de restauratieproducten. In de lacunes, achter de herstellmortels en in de oude waslagen werd eveneens vastgezet vuil waargenomen.

6.2. Kleurbepaling

Alvorens het opnieuw invullen van de lacunes was het van groot belang dat de variëteit aan kleurtinten van het marmeroppervlak visueel waarneembaar was. De kleur van de herstellmortel alsook van het marmer voor de steenprothese worden immers afgestemd op de kleurtinten van het omliggende marmeroppervlak. Ongeacht de toegepaste techniek (zinkmortel of steenprothese) is het vooraf schuren of polijsten van het marmer hierbij dus noodzakelijk (Fig. 6). Zo wordt het oorspronkelijk marmercoloriet van kleur en tekening (aders, fossielen, ...) zichtbaar vastgelegd. Zo kunnen de invullingen esthetisch geïntegreerd worden en tot op het niveau van het marmeroppervlak afgewerkt worden.



Fig. 6: Kleurverschil na het opschuren van het marmer. Na het schuren (zone links) krijgt het marmer zijn karakteristieke dieprode kleur terug

Het marmer wordt actueel gekenmerkt door een doffe grijsroze kleur waarbij de tekening van aders, calciervlekken en fossielen in het geheel verdwijnen. Bij het polijsten van het marmer komt opnieuw een diep, bordeauxrode kleur naar boven. Dit verklaart eveneens het grote kleurcontrast tussen de kunstharsrestellingen die hoogstwaarschijnlijk verdonkerd zijn onder invloed van UV en het verbleekte marmer. Deze verbleking van het marmer is gelieerd aan de verwerking van het oppervlak. Oorspronkelijk was het oppervlak immers gepolijst en het polijsten van steen zorgt ervoor dat het oppervlak glad wordt waardoor er meer licht in de materie kan dringen als bij een ruw oppervlak. De materie zelf wordt hierdoor beter zichtbaar en intrinsieke aspecten als kleur en textuur komen hierbij optisch veel intenser (donkerder en

feller) in beeld. Door verwerking verruwt het gladde oppervlak en bij een ruw oppervlak wordt meer licht verstrooid met minder indringing van het licht in de materie als gevolg, de kleuren van deze materie worden bleker, vervagen of verdwijnen zelfs volledig wanneer de verstrooiing van het licht zeer sterk is [16].

Oorspronkelijk waren deze invullingen dus veel beter geïntegreerd. We kunnen bovendien met zekerheid stellen dat het steenoppervlak tijdens de vorige restauratiecampagne eveneens werd opgeschuurd gezien de hoeken van de cassettes soms slordige afrondingen vertonen en er ook golvende oppervlakken worden waargenomen. Dit zijn slechte uitvoeringen die niet tijdens de nieuwe restauratiecampagne mogen herhaald worden. Voor de hoeken en de randen van de cassettes en de vlakken tussen de cassettes werd een pneumatisch schuurapparaat met een klein polierpad gebruikt.

6.3. Behandeling van de kleihoudende tussenlaagjes

Na het verwijderen van de oude herstellingen werden de kleihoudende tussenlaagjes zichtbaar in de lacunes. De kleihoudende tussenlaagjes tekenen zich af als donkerrode tot bruine grillige lijnen en werden behandeld met het waterwerend product op basis van oligomere siloxanen met een siloxaangehalte van 7 gew.%. Het product werd zeer lokaal en enkel op de kleihoudende tussenlagen aangebracht met een penseel. Zo werd vermeden dat het product op de rest van het breukvlak terecht komt, hetgeen de hechting van de herstelmortel zou kunnen beperken.

6.4. Invullingen van de lacunes met zinkmortel

Er werd gestart met twee door een fabrikant aangeleverde standaardkleuren: een terracottakleurig en een wit-crèmekleurig zinkoxidepoeder. Om de verschillende nuances in het kleurspectrum van het marmer te imiteren werden aan deze 'basiskleuren' ijzeroxide rood en ijzeroxide zwart pigment toegevoegd (Fig. 7).

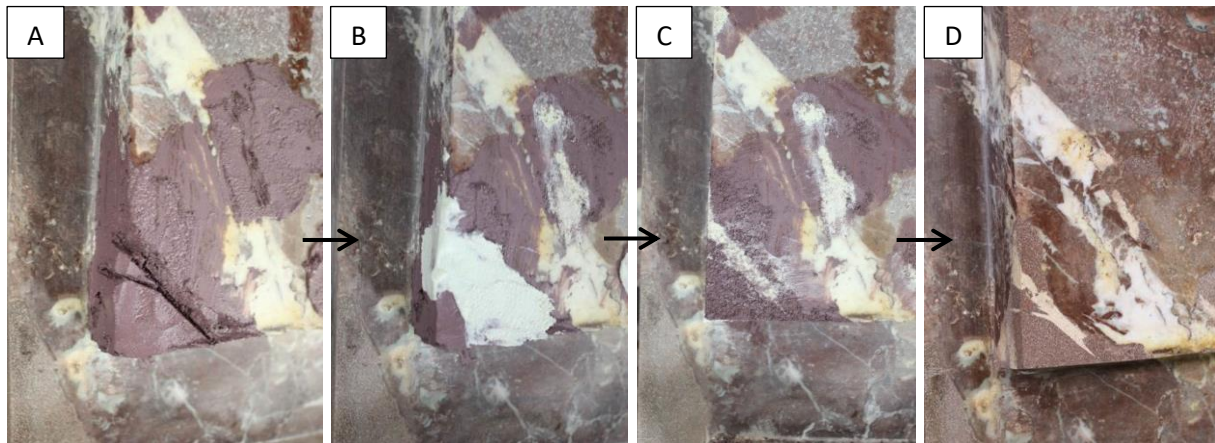


Fig. 7: Met pigment aangekleurde zinkoxidemortelstalen

De mortelspecie werd op de breukvlakken in de lacunes aangebracht en dit zonder toepassing van extra verankeringen en zonder voorbereiding van het breukvlak. De trektesten hebben immers aangetoond dat de hechting van de zinkoxidemortel op het marmer voldoende hoog is. Bovendien betreft het enkel invullingen in dieper gelegen delen. Daarnaast is het inboren

van doken een irreversibele ingreep die trillingen veroorzaakt waarbij fragmenten langs zwakke kleirijke zones in het marmer kunnen afbreken.

De grotere lacunes kunnen niet in één keer worden ingevuld vanwege de snelle uitharding van de mortel, bij het aanbrengen wordt er steeds op gelet dat er een goed contact met het breukvlak is en dat er geen luchtballen aanwezig zijn. De mortel moet hiervoor de juiste consistentie hebben (exacte mengverhouding volgens technische fiche), zodat deze steeds degelijk aangedrukt kan worden. Op deze manier wordt ook de compactheid van het marmer het best benaderd.



Figuur 8



Fig. 9: Afschrappen van de lederharde mortel met behulp van een getande spatel



Fig. 10: Invulling met zinkmortel aangevuld met kleine roodbruine marmerfragmenten (1,8 – 2,5 mm)

Afgelijnde, anders getinte zones en kleurschakeringen worden geïmiteerd door inkepingen en vormen in de lederharde mortel weg te snijden met een scherpe spatel en vervolgens met een anders getinte mortel weer in te vullen (Fig. 8). De mortel wordt enkele millimeter in overdikte aangezet (boven het aangrenzende marmeroppervlak). Tijdens de beginfase van de uitharding (na een tiental minuten, afhankelijk van de omgevingstemperatuur) kan de massa vlakgeschaapt worden met een getande spatel of ander gereedschap (Fig. 9). De tanden van de spatel zorgen ervoor dat de massa wordt afgedund en niet van de drager wordt

losgetrokken. Er werden eveneens testen uitgevoerd waarbij de mortel werd vermengd met marmerfragmenten (1,8 – 2,5 mm groot) (Fig. 10). Deze granulaten geven een variatie in de egale kleur van de mortel waardoor de invulling visueel beter integreert. Ook de grotere marmerfragmenten, die in de kunsthars invullingen zaten, kunnen opnieuw gerecupereerd worden en ingebed worden in de zinkoxidemortel. Na minimaal 24 uur, afhankelijk van temperatuur en RV, kan de mortel geschuurd worden tot de gewenste afwerkingsgraad. Hoe fijner het schuren hoe intenser de kleuren. Zinkoxidemortel kan geschuurd worden tot een satijnglans. De invullingen blijven altijd zichtbaar van nabij, maar integreren zeer goed in het geheel vanop afstand. Zowel de zinkoxidemortel als het marmer werd gepolijst tot Mesh P400. Voor de uitvoering van de restauratie van het rood marmer werd geadviseerd om vijf op kleur gebrachte zinkoxidemortels (drie rode, één grijze en één witte) te laten aanmaken door een fabrikant.

6.5. Afwerking en bescherming van het gerestaureerde gevelvlak

Na volledige afwerking van de invullingen werd het ingevulde marmeroppervlak in zijn geheel behandeld met een waterwerend product met een siloxaangehalte van 7 gew.%. Het product werd vooral opgenomen door de zinkoxidemortelinvullingen en de kleirijkere zones van het marmer. Overtollig product dat niet werd opgenomen door de steen of mortel werd met een doek weggenomen. Tenslotte werd een anti-graffiti product aangebracht op basis van was. Een geringe saturatie en toename van glans was zichtbaar maar niet als storend beoordeeld. Deze beschermingslaag dient op regelmatige basis hernomen te worden.

6.6. Invullingen van de lacunes met toepassing van steenprotheses

(Onderstaande tekst werd opgemaakt op basis van ontvangen nota's van dhr. Lode De Clercq en de aangestelde uitvoerende firma)

Het marmer van Beauchâteau is niet meer beschikbaar. De groeve werd geklasseerd als geologisch monument en door het Waals gewest erkend als natuurgebied met grote biologische waarde [17] waardoor ontginning niet meer mogelijk is. Daarom werd geopteerd voor het marmer van Vodecée (carrière des Maquettes).

Deze groeve exploiteerde tot voor kort nog een zogenaamde lens uit het Frasniaan. Er werden vooral koralen in gesignaleerd. In deze groeve komen een grote verscheidenheid aan variaties en schakeringen voor (Royal, Byzantin, Griotte, ...), hetgeen van pas komt voor de selectie van het marmer voor de lacunes in het stadhuis.

Om de mogelijkheden van deze restauratietechniek te testen werden twee soorten lacunes geselecteerd: enerzijds een kleine lacune met geringe diepte (op enkele plaatsen slechts enkele millimeters) en anderzijds een grote lacune aan een hoek van een cassette. Deze techniek kan niet worden toegepast op kleine lacunes (kleiner dan 4 x 4 x 0,5 cm).

Vorbereiding: Allereerst wordt het marmer in de groeve geselecteerd op kleur en tekening. Daartoe worden met een kleine slijpmachine vlakjes afgeslepen en geprepareerd met microkristallijne was (wet effect). Na de selectie worden de blokken overgebracht naar de steenhouwerij.

De breukvlakken van de lacunes worden gereinigd. De steenprothese kan enkel uitgewerkt worden met een minimale dikte aan de randen van 5 mm. Daarom is het noodzakelijk de lacune te bewerken zodat de randen niet tot de nulpas uitlopen maar uitgediept worden tot meer dan 5 mm door middel van een frees of met een bijtel. Dit wil zeggen dat er origineel materiaal weggenomen moet worden. Er kan geopteerd worden dit niet te doen, maar dan ontstaat er een zeer brede voeg tussen het originele marmer en het nieuwe passtuk, die op zich dan ook weer ingevuld dient te worden. Het uitdiepen van de randen gebeurt uiteraard voor het inscannen van het breukvlak.

Vervolgens wordt de lacune ingescand met een *handheld* 3D laserscanner. Deze handscan resulteert in een puntenwolk en vormt de basis voor het 3D model. De lacune en dus ook de

puntenwolk vormen de negatieve vorm. Deze gegevens worden omgezet naar een positief digitaal 3D model dat later in het marmer tot een passtuk gemaakt wordt. Deze digitale verwerking (scan, modelering door de tekenaar en het uiteindelijke digitale 3D model) moet voldoende gedetailleerd zijn zodat het uiteindelijke passtuk mooi aansluit op de lacune. Daarnaast dient er ook rekening gehouden te worden met de lijmdikte (kunsthars of minerale mortel) om het passtuk te kunnen fixeren. De uitwerking van het zichtbare vlak wordt zodanig opgemaakt dat het zo goed mogelijk aansluit bij het omliggende gevelvlak. Het digitale model wordt ingevoerd in de CNC (Computer Numerical Control) robot en uitgefreesd in het geselecteerde stuk marmer. De op maat gefreesde marmerprothese wordt na goedkeuring ingepast, waar nodig manueel bijgewerkt door een marmerbewerker en vervolgens verlijmd [18] (zie Fig. 11 met marmerprothese in het bovendeel van de cassette). Verankeringen kunnen na overleg worden geplaatst, in het bijzonder voor stukken waarbij voldoende draagkracht nodig is (bijvoorbeeld volledige cassettes). Hierbij wordt geopteerd voor een glasvezelwapening. Dit kan enkel toegepast worden wanneer het passtuk voldoende dikte heeft. De voeg werd bij deze testfase gedicht met enerzijds op kleur gebrachte epoxymortels en anderzijds een op kleur gebrachte hydraulische kalkmortel/kalklijm. Na uitharding wordt het geheel geschuurd en gepolijst tot de gewenste glansgraad (Mesh P400) en afgedund tot op het niveau van het marmer oppervlak (Figuur 11).



Fig. 11: Steenprothese met epoxy lijmmaad. De marmerkeuze van de steenprothese integreert niet met de donkerrode tint van het te herstellen rood marmer

7. Het financiële aspect

Het geveldeel in rood marmer beslaat ongeveer 240 m². Wanneer we het percentage aan lacunes in proefzone 1 doortrekken over de volledige gevel komen we op 40 m² aan lacunair oppervlak dat ingevuld dient te worden. Een exacter beeld van het aantal, de grootte en de vorm van de lacunes kan pas verkregen worden wanneer alle oude invullingen worden verwijderd.

Tijdens de proefrestauratie werd een tijdsraming van de meest tijdrovende interventie per m² opgemaakt. Voor de invullingen met zinkmortel werd een werkdag/m² gerekend (aanmaken en aanbrengen van de zinkmortel, imitatie van de marmertekening, afschrappen van het oppervlak en schuren tot op het niveau van het marmer), waarbij vermoedelijk ongeveer € 30 kost aan zinkmortel per m² wordt verbruikt. Alle voorafgaande behandelingen en het naderhand aanbrengen van de beschermingslagen wordt hierbij niet meegerekend.

Voor de aanvullingen door middel van steenprotheses worden verschillende prijzen gehanteerd. Zo wordt er een onderscheid gemaakt tussen lacunes kleiner of groter dan 10 cm². De uitwerking van het zichtvlak van de steenprothese speelt ook een rol in de prijsbepaling. Hierbij is er een verschil tussen vlak werk, gebogen werk, meervoudig geprofileerd werk, enzovoorts. Waarbij de totaalprijs voor de aanmaak, plaatsing en afwerking varieert tussen € 1260 en € 1800 per prothese (raming volgens prijsbepaling van de aangestelde firma voor de uitvoering van de proef steenprotheses).

Alle voorbereidende behandelingen zoals weghalen van de oude invullingen, reinigen van het marmer en polijsten van het marmer zijn noodzakelijk bij beide restauratieopties. Dit is ook zo voor de waterwerende behandeling en anti-graffitibehandeling na afwerking van de invullingen of protheses. Voor deze werkzaamheden werd geen prijsraming opgemaakt.

8. Conclusie

De proefrestauratie heeft aangetoond dat het invullen van de lacunes zowel aan de hand van herstelmortels als met steenprotheses mogelijk is, maar dat bij de toepassing van een steenprothese aanzienlijk negatieve aspecten zijn verbonden betreffende de bevestiging van het stuk, de vulling en de afwerking van de lijmmaad, de keuze van het 'nieuwe' marmer, de esthetische integratie en bovenal de kostprijs.

Op basis van de proefrestauratie met marmeren passtukken werden de bekomen resultaten als onvoldoende beschouwd om deze techniek te kunnen aanbevelen voor de restauratie van het rood marmer. Een marmeren steenprothese komt uiteraard wel in aanmerking voor het vervangen van een cassette in zijn geheel.

Het invullen van de lacunes met zinkoxidemortel bleek op alle vlakken het meest aangewezen, daarboven kunnen deze invullingen te allen tijde hernomen worden zonder het marmer hierbij op enige wijze te beschadigen.

Het resultaat van de restauratie van het geveldeel in rood marmer zal gezien de complexiteit van de behandeling echter afhankelijk zijn van de kwaliteit van de uitvoering van de verschillende ingrepen. De globale restauratiewerkzaamheden aan het stadhuis van Antwerpen werden aangevat in april 2018 en zullen in 2020 afgerond worden. De restauratie van het geveldeel in rood marmer maakt onderdeel uit van deze campagne en zou worden aangevat in het voorjaar 2019. In overleg met Onroerend Erfgoed en de bevoegde architecten werd beslist dat het KIK de restauratiewerkzaamheden van het rood marmer zal opvolgen.

Indien alle verschillende behandelingsonderdelen zorgvuldig en correct worden uitgevoerd en indien een jaarlijkse monitoring plaatsvindt, kan een esthetisch en duurzaam resultaat verwacht worden. Het blijft echter een feit dat het marmer niet geschikt is voor toepassing in buitenomgeving. Bij de jaarlijkse monitoring dient enerzijds de staat van conservering van het marmer en de invullingen opgevolgd te worden en anderzijds dient de staat van conservering van de twee beschermingslagen geëvalueerd. Met name de beschermingslaag op basis van was dient tijdig hernomen te worden omdat deze een beperkte duurzaamheid heeft en bij het verdwijnen ervan zal dit naast het verlies van de beschermende functie eveneens effect hebben op de

glans en het bijbehorende optische effect van kleuren en texturen van het oppervlak. Bij het hernemen van deze beschermlaag dient ook steeds de waterwerende eigenschap van het oppervlak geëvalueerd.

Zo worden de risico's op verruwing met verbleking van het oppervlak enerzijds en nieuwe fragmentatie van het marmer anderzijds maximaal beperkt.

9. Eindnoot

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van het architectenbureau Origin Architecture & Engineering, deel van het ontwerpteam Huis van de Stad [19]. Uitvoering van de studie: 2016-2017.

KIK-verslag (Dossiernummer 2017.13450): *Onderzoek voor de conservatie van het geveldeel in Belgische rode marmer van het Stadhuis van Antwerpen*. KIK-IRPA, Brussel 8 maart 2017. Sam Huysmans, Tanaquil Berto, Laurent Fontaine en Roald Hayen.

Deze studie is een interdisciplinaire samenwerking tussen het labo monumenten en monumentale decoratie en het conservatie-restauratieatelier steensculptuur van het Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium.

10. Referenties

- [1] Het begrip architect had toen een bredere betekenis. Architecten waren vaak ambachtslui (beeldhouwers, steenhouders) die in staat waren eigenheid en kennis van de architectuurregels over te dragen op het gebouw. Naast Cornelis Floris worden ook o.a. Nicolo Scarini, Willem Paludanus, Loys du foys, Domien de Waghemakere als ontwerpers vermeld.
- [2] Antoinette Huysmans, Jan Van Damme, Carl Van de Velde en Christine Van Mulders. *Cornelis Floris 1514 – 1575. Beeldhouwer, architect, ontwerper*. (1996) p.117-118
- [3] De Clercq, Maclot, Van Ginneken. *Bouwhistorische studie van het stadhuis aan de Grote Markt in Antwerpen (Grote Markt 1, 1^e Afd. Sectie A nr.1433) in functie van herbestemming en restauratie*. Onuitgegeven studie voor de Stad Antwerpen/Dienst Patrimoniumbeheer. (2012) p.35-44
- [4] *Inventaris Onroerend Erfgoed, Stadhuis van Antwerpen* (17 oktober 2018) <https://inventaris.onroerenderfgoed.be/erfgoedobjecten/4032>
- [5] *Unesco, Belfries of Belgium and France* (17 oktober 2018) http://whc.unesco.org/en/list/943/multiple=1&unique_number=1100
- [6] De Clercq et al. (2012) p. 533-540
- [7] De Clercq et al. (2012) p. 604
- [8] De Clercq et al. (2012) p. 552-553
- [9] Vanscherpenzeel-Thim (1863). Catalogue des roches et produits minéraux du sol de la Belgique. In: Exposition universelle de Londres en 1862, p. 175-226
- [10] De Clercq et al. (2012) p. 560
- [11] De Clercq et al. (2012) p. 605
- [12] De Clercq et al. (2012) p. 604-609
- [13] Kleimineralen gekenmerkt door een watertoegankelijke kristalstructuur (intrakristallijne zwellings).
- [14] Ruedrich J., Bartelsen T., Dohrmann R. and Siegesmund S., 2011. Moisture expansion as a deterioration factor for sandstone used in buildings. *Environmental Earth Sciences* 63: 1545-1564.
- [15] Fontaine L., Hendrickx R. and De Clercq H., 2015. Deterioration mechanisms of the compact clay-bearing limestone of Tournai used in the Romanesque portals of the Tournai Cathedral (Belgium). *Environmental Earth Sciences* 74: 3207-3221.

- [16] T. Berto en L. Fontaine. 2014 Marmer en albast, twee glansrijke steensoorten toegelicht. Postprints 7de BRK-APROA/Onroerend Erfgoed Colloquium, Glans in de conservatie-restauratie. pp. 88 - 93
- [17] De Ceukelaire M., Doperé F., Dreesen R., Duser M., Groessens E. *Belgisch marmer*. (2014) Academia Press, p. 145
- [18] Conform de voorschriften van het WTCB (TV148 – Het verlijmen van steen en marmer) met een vorstbestendige, geschikte steenlijm die in staat is om volgende mechanische eigenschappen te borgen: - Buigvastheid DIN 5345250 – 60 N/mm² - Trekvastheid DIN 5345520 – 30 N/mm² - E-modulus 5500-6000 N/mm²
- [19] Ontwerpteam *Huis van de Stad* is: HUB architecten, restauratiearchitecten Origin Architecture & Engineering, Bureau Bouwtechniek, Daidalos Peutz, RCR, BAS en FPC.

NATUURSTEENHERSTEL EN -MORTELS: EEN VERHAAL VAN NUANCES

**Wouter Callebaut
Callebaut Architecten**

1. Inleiding

In de wereld van de restauratiepraktijk zijn vervangmortels gaandeweg een wezenlijk onderdeel geworden en vandaag de dag zijn ze zelfs onontbeerlijk bij natuursteenrestauraties. Waar de eerste commerciële producten een hoog pioniersgehalte hadden, met nog vele gebreken, maakten de eigen mengelingen door restaurateurs vaak het hoofddeel uit voor diverse proefrestauraties. Achteraf bleken hier echter grote vraagtekens op te duiken omtrent duurzaamheid en algemene toepasbaarheid. Ondertussen hebben we dankzij de diverse onderzoeksinstellingen gekende producten met generieke samenstellingen die hun nut in labo-omstandigheden en op de werf bewezen hebben. De evolutie gaat door en de vertrouwde mortels worden momenteel aangevuld met een nieuwe generatie producten die kwalitatief nog dichter bij de stenen aanleunen waar ze tussenin geïntegreerd zullen worden.

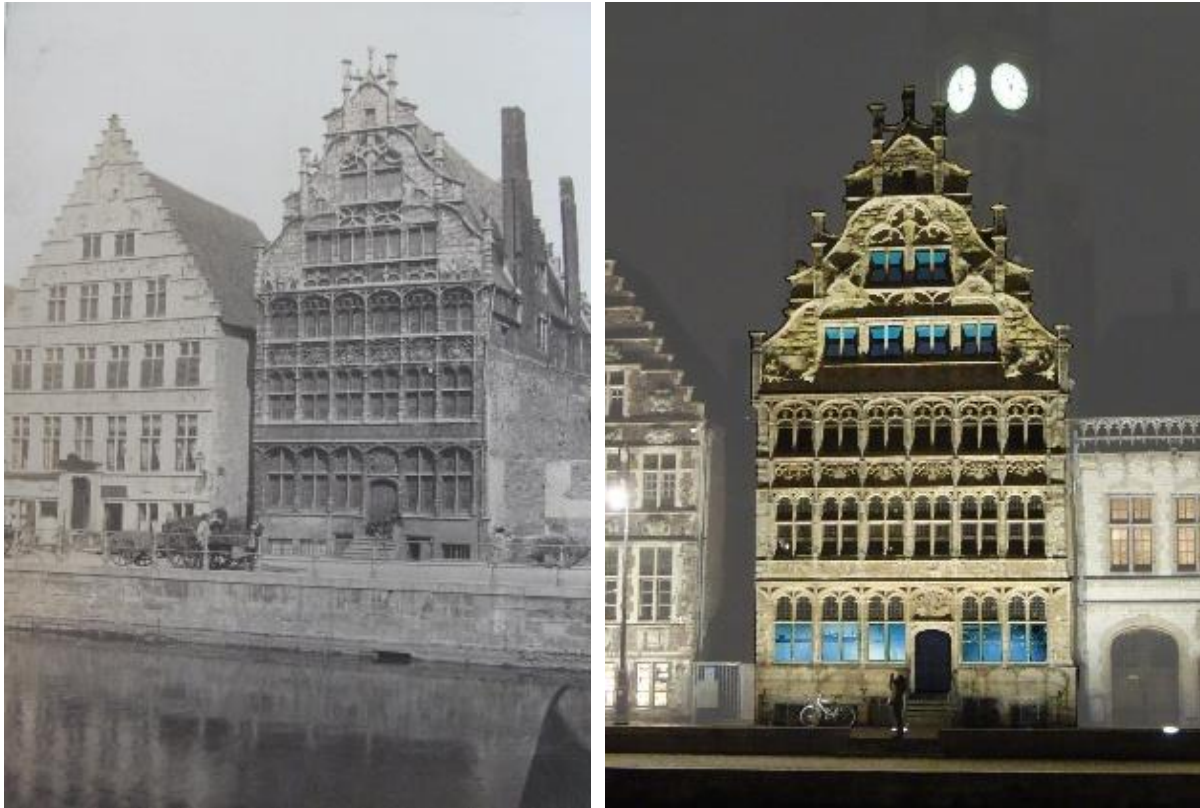
De alsmaar meer gekende kwaliteiten en kenmerken van de mortels en de natuurstenen maakt dat de toepassingen van mortels en de diversiteit hiervan de restauratiepraktijk ook een bredere waaier aan mogelijkheden geeft, mits er voldoende kennis over de materialen in situ is.

Het groeiende besef in de restauratiewereld van minimale restauratie-ingrepen en maximaal behoud van origineel materiaal in situ maken dat het gebruik van mortels in een sterk stijgende lijn ligt. De keuze voor louter steenvervangingen wordt tegenwoordig afgewisseld met enerzijds een grondig vooronderzoek van de bestaande steen naar mogelijke verduurzaming van het origineel materiaal en anderzijds wordt vervanging alsmaar meer vervangen door plaatselijk bijwerken, behoud van patina, verlijmingen, interne verankeringen e.d. Alle voorgaande ingrepen zijn vandaag de dag ook uitvoerig gedocumenteerd en wetenschappelijk vaak teruggekoppeld. Kortom een zegen voor de restauratiepraktijk die momenteel strijdt voor betaalbare maar tevens kwaliteitsvolle uitvoeringsmethoden met maximaal respect voor het cultuurhistorisch erfgoed.

Toch is er nog een groot aantal valkuilen in het gebruik van de mortels. Niet alleen op technisch, maar ook op esthetisch vlak. Diverse mortels zijn niet geschikt voor stenen met te lage sterktekenmerken. De mortels hebben vaak andere capillariteitskenmerken met een bijkomend kleurverschil bij vochtige omstandigheden, een opzuigend effect van naastgelegen stenen, en een grotere kans op afduwing of vorstschade. Sommige mortels hebben een zekere dikte nodig waardoor de stenen mogelijk voor een stuk meer afgekapt dienen te worden. De verankeringsmethode geeft bij diverse stenen dan weer problemen naar gelaagdheid, hechtingen, en dergelijke. Er zijn de diverse patina's van stenen met een breed kleurenpalet ten opzichte van de homogeneren kleurenwaaier van mortels. Kortom een heel aantal randvoorwaarden die het gebruik ook limiteren en die moeten ingezet worden in een afwegingskader in de ruimere restauratievisie over het monument.

Aan de hand van de basisrestauratievisie wordt het inzetten van de mortels met bovenstaande randvoorwaarden een matrix waarbij uitvoerder, architect en werfbestuur telkens de afweging moeten maken tussen behoud (niets doen), verstevigen of vervangen van de natuursteen, en bijwerken met mortels. Aan de hand van twee recente praktijkvoorbeelden worden de nuances en afwegingen op deze uitvoeringsmatrix toegelicht. Een eerste voorbeeld is het "Huis van de Vrije Schippers" aan de Graslei te Gent. Een zestiende-eeuws gebouw met een originele Balegemse gevel in Brabantse Gotiek en een van de laatste originele gevels aan de Graslei. In dit project is de zoektocht naar maximaal behoud afgewogen tegenover de zware pathologie van de Balegemse steen, die gevoelig is voor onder andere schilfering, erosie en

meelzakvorming. Het behoud werd ook afgewogen tegen het zwaar verlies van figuratieve onderdelen van de gevel. Deze typisch "spreekende gevel" had Christoffel Van den Berghe voor ogen bij de uitvoering in 1531 van een Brabantse Gotiek gevel.



Het "Predikherenklooster" aan de Tinelsite te Mechelen is een tweede voorbeeld. Dit zeventiende-eeuwse kloosterpand was bij aanvang van het project in 2012 een ruïne door jarenlange verwaarlozing. Met betrekking tot de gevelopbouw, plannen en gebruik heeft het project twee belangrijke verhalen te vertellen. Dit van een ca. 150 jaar gebouwd en gebruikt klooster en van een ca. 150 jaar gebruikt legergebouw als opslag, kazerne, hospitaal. Ondanks de ruïneuze staat, zijn deze twee verhalen duidelijk te herkennen in de gevel, en kunnen deze naast elkaar blijven bestaan.

Het uitgangspunt in de gewonnen internationale Open Oproep was om de buitenschil en de historische elementen van het gebouw terughoudend te restaureren en het ruïneuze karakter te behouden. Dit wil zeggen het gebouw bouwfysisch terug in orde zetten zonder wezenlijk te raken aan het karakter van de huidige toestand en zonder esthetisch te restaureren of terug te gaan naar vroegere perioden. De restauratievisie ging over het behoud van de twee verhaallijnen.

De besproken matrix hierboven was een duidelijk instrument om de restauratievisie op punt te stellen en voor de uitvoerder een handig middel om de uitvoering tot een goed einde te brengen.



2. Huis Vrije Schippers te Gent – Gevel in Ledesteen in de Brabantse Gotiek

2.1. Historiek

Tot 1530 (gedurende minder dan een jaar) was het betreffende pand eigendom van de molenaarsgilde, genaamd 'De Windas'. Die naam verwijst naar een zogenaamde takel om zakken graan naar boven te tillen. Op dat moment had het gebouw een ander vooraanzicht dan het huidige: bronnen maken melding van een eikenhouten façade, die evenwel even hoog was als de huidige voorgevel.

In 1530 werd het huis door de deken van de gilde der Vrije Schippers gekocht en het pand werd in opdracht van de Vrije Schippers verbouwd. Deze verbouwing resulteerde in een dubbelhuis met een voorgevel van zes traveeën en drie bouwlagen met een leien zadeldak, gedateerd '1531' op de banderol boven de deur.

Een nieuwe gevel moest opgetrokken worden uit 'vlaemschen schoonenen en de reynen ordune' waarmee witte zandige kalksteen uit Balegem of omstreken werd bedoeld, naar ontwerp van bouwmeester Christoffel van den Berghe. Het gevelontwerp – in Brabantse gotiek – vertoont een sterke overeenkomst met de gevel van het Metselaarshuis, dat vier jaar eerder door dezelfde bouwmeester werd ontworpen.

In 1668 werd het gildehuis verkocht en sinds 1668 wisselde het gebouw nog meermaals van eigenaar, functie en inrichting. Het pand doorstond de bedreiging van de Franse Revolutie, en bleef tot op heden quasi intact.

In de periode van Franse Revolutie werden de wapenschilden in de borstwering op het tweede verdiep ingepleisterd, maar begin negentiende eeuw werden deze schilden terug vrij gemaakt door Goetghebuer.

In 1892 beschrijft een expertiseverslag kort het pand: hierin wordt onder andere gesproken over salons in empirestijl, gotische stijl ed. Er wordt ook gesproken van twee kelders, waarvan één verhuurd wordt en een onderkelderd achterhuis met keuken en bergplaatsen. In 1897 werd het schippershuis eigendom van de staat voor 70.000BF, die het kocht van toenmalig eigenaar Willem Verspeyen.

Reeds van bij de aankoop in 1897 werd het Schippershuis als voorbeeld gezien voor het nieuw op te richten Postgebouw naar ontwerp van Louis Cloquet. Bij de nieuwbouw werd gekozen voor een overwegend neogotische stijl om zo de harmonische aansluiting met het Schippershuis te maken. Het Schippershuis werd op zijn beurt ingericht als hulpkantoor van het postgebouw.

Kort daarop volgde de restauratie van de voorgevel (in 1904) en de aanpassing van het interieur in neogotische stijl (1907-1911).



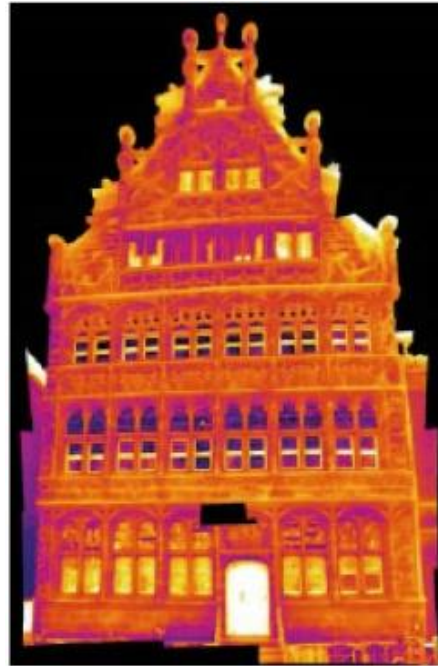
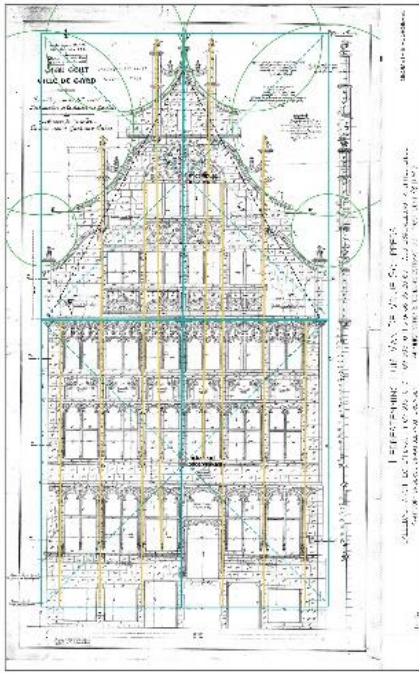
2.2. Ontwerp

Het Huis van de Vrije Schippers zal in de toekomst gaan functioneren als Havenhuis en ontmoetingsplaats voor 'North Sea Port'. Met deze herbestemming komt de haven terug naar zijn originele locatie.



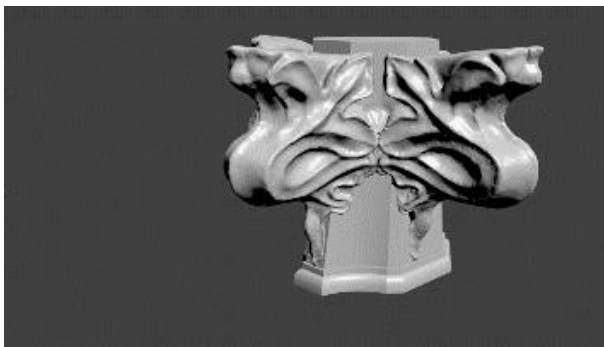
2.3. Vooronderzoeken

In het vooronderzoek werden alle onderdelen die aan bod kwamen besproken. Dit waren in hoofdzaak: pathologie en carteringskaart, archiefonderzoek, natuursteenonderzoek met labo-analyses (sterkte, petrografie, mortels), DRMS-metingen, Fourier transform infrarood spectroscopy, sclerometertesten op grid, waterabsorptietesten, GPR-metingen (snelheidsmetingen) en scheuronderzoeken.



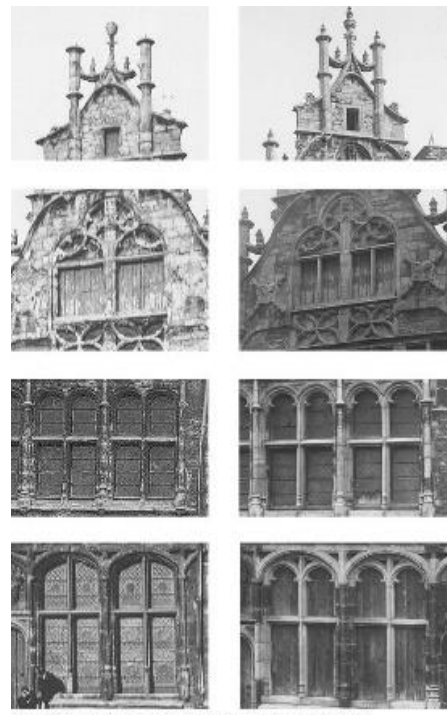
2.2. Restauratievisie gevels en uitvoeringen op de werf – natuursteenrestauratie

In dit onderdeel wordt dieper ingegaan op de visie rond gebruik van mortels en steenvervanging in een chronologisch verhaal van de gevelrestauratie.



Bestaande toestand 2012 Nieuwe toestand 2018

Loden bescherming



Vergelijking voor restauratie (links) en na restauratie (rechts)

2.5. Conclusie

De restauratie van de Bourgondische gevel heeft als grootste waarde aangetoond dat het perfect mogelijk is om met nieuwe Ledesteen te restaureren, met voldoende kwaliteit en kwantiteit aan stenen. Los van de twee nieuwe cartouches is alles met Ledesteen gerestaureerd indien behoud niet meer mogelijk was. Het kleurenpalet van de steen en de figuratieve tekeningen van de gevel maken dit terug een eenheid in het totale beeld van de Graslei te Gent. Verder was er ook de zoektocht naar correlaties tussen destructieve en niet-destructieve onderzoeken. De hoop was om voor toekomstige onderzoeken de ingewerkte geroeste verbindingen of holten en scheuren te kunnen traceren zonder destructieve werken te moeten uitvoeren. Deze hoop bleek ijdel en is nog toe aan verdere onderzoeken.



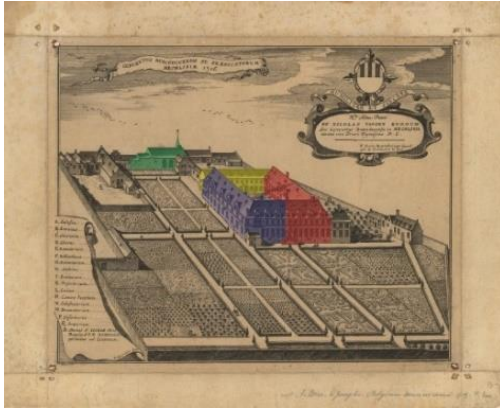
3. Predikherenklooster te Mechelen – Ruïneuze toestand conserveren

3.1. Historiek

Kloosterfase

De Predikheren vestigden zich in Mechelen in 1651 na vele omzwervingen vanuit 's-Hertogenbosch vanwege de Godsdienstoorlogen. Het Predikherenklooster werd gebouwd tussen 1657 en 1689. De dominicanen hanteerden een aantal richtlijnen, om onder andere een sobere architectuur te gebruiken. Daarom is het klooster opgebouwd uit een sobere baksteenarchitectuur gecombineerd met witte natuursteen. Het klooster is opgebouwd uit vier vleugels met centraal een pandhof. Rond de pandhof lag de pandgang, een galerij die in verbinding stond met zowel het pandhof als de gemeenschappelijke ruimten. Rondom het klooster lag een kloostertuin.

Door hun beperkte financiën moesten de Mechelse predikheren de bouw van hun klooster faseren over vier grote bouwcampagnes, die in totaal bijna 80 jaar in beslag namen. Alles wijst er overigens op dat de paters niet alleen instonden voor het ontwerp, maar ook voor (een deel van) de bouwwerken.



Militaire fase

In de nasleep van de Franse Revolutie, in 1796, moesten de kloosterlingen het klooster verlaten en kwam het klooster in handen van de Mechelse Commissie der Burgerlijke Godshuizen. In 1802 werden hierin oude behoeftige mannen onderbracht, die zeven jaar later weer moesten verhuizen aangezien het gebouw een nieuwe bestemming kreeg als militair hospitaal.

Het complex werd langdurig, van 1809 tot 1975, gebruikt voor militaire doeleinden door zowel de Fransen als het Verenigd Koninkrijk der Nederlanden. Het klooster bleef fungeren als militair hospitaal en de kerk als artilleriesmagazijn zonder enig respect voor het historische karakter.

In 1946 woedde er een felle brand in de kerk en hoewel er in 1953 een nieuw dak werd voorzien kreeg de kerk geen nieuwe functie. Na de Tweede Wereldoorlog werd het klooster in gebruik genomen door het Royal Army Ordnance Corps (RAOC), dat er een opleidingscentrum voor het onderhoud van materiaal voor transmissietroepen onderbracht. In 1950 nam ook de 10^{de} Compagnie Transmissie er haar intrek. Deze situatie bleef bestaan tot in 1975, toen de soldaten en het RAOC naar Peutie verhuisden. Sindsdien stond het leeg en is het vervallen tot ruïne met enorm grote zwam- en houtwormaantastingen en waterschade.



3.2. Ontwerp

Samen met restaurant, leslokalen en vergaderinfrastructuur is het klooster herbestemd tot een nieuwe bibliotheek van de eenentwintigste eeuw. Uitgaande van het behoud van het monument is de bibliotheek met zijn grootste ruimten voorzien in de zolder die als een passiefvolume aanzien kan worden bovenop het complex. De prachtige kapconstructie heeft een hoge erfgoedwaarde en zal de gehele site opladen.



3.3. Vooronderzoeken

Dankzij de vooronderzoeken rond de materiaaleigenschappen van bak- en natuursteenherstel zijn diverse matrixen opgesteld omtrent het herstel van binnen- en buitengevels.



3.4. Restauratievisie gevels en uitvoeringen op de werf

Het beeld van het Predikherenklooster voorafgaand aan restauratie wordt overheerst door de ruïneuze toestand. Dit beeld wordt bepaald door vele lagen. Enerzijds sporen van verval, verwaarlozingen en anderzijds diverse aanpassingen en verbouwingen. Het heterogene beeld is karakteristiek voor het gebouw en vormt de basis voor het restauratieontwerp. Alle ingrepen zijn gericht op het behoud van het historisch materiaal en het leesbaar houden van de verschillende tijdlagen. Er wordt niet teruggegrepen naar een bepaalde periode en daarom wordt ook niet gereconstrueerd.

Bij de restauratie van de buitengevels wordt enkel het technisch noodzakelijke gedaan. Deze benadering doet het meeste recht aan het huidige karakter van het monument. De verschillende lagen, verbouwingen, materialen en dergelijke worden getoond.

De binnenhofgevels worden meer verfijnd en esthetisch gerestaureerd. Storende aanpassingen door de militairen (verkleinen raamopening en bijgevoegde schouwen) worden hier verwijderd.



3.5. Eindresultaat

Als conclusie bij de restauratie van het Predikherenklooster kan gesteld worden dat door de conservering van de ruïneuze toestand van de gevels de verschillende bouwfases behouden en zichtbaar gebleven zijn. Dit was een technisch arbeidsintensief gegeven voor alle partijen. Het amalgaam van bouwsporen de geschiedenis van het complex. De wedstrijdvraag om een bibliotheek te ontwerpen in het klooster en een 'plek te maken om op verhaal te komen' heeft hierdoor zelf educatieve en architecturale meerwaarde gegeven door zelf een verhaallijn toe te voegen.

4. Eindconclusie

Bij beide ontwerpvragestukken bleek het nodig om uitgebreid vooronderzoek aan natuur- en baksteen en proefrestauraties om de pathologie van de bestaande toestand en de mogelijkheden van ingrepen naar duurzaamheid te kunnen inschatten. Voor beide projecten werd het KIK ingezet met Hilde Declercq, Tanaquil Berto en Sebastiaan Godts als belangrijkste adviseurs. Voor het "Huis van de Vrije Schippers" werd het onderzoeksteam voor de natuursteen uitgebreid met Delphine Vandevoorde voor de waterabsorptieproeven, Tim De Kock en Veerle Cnudde van de Universiteit Gent.

Beide projecten tonen in hun afwerkingsfase nu al wat de alternatieve restauratiemethoden van herstel kunnen zijn voor waardevolle historische gevels. Van de verscheidenheid aan mogelijkheden moet gebruik worden gemaakt in de zoektocht naar behoud en herbestemming van het verleden. Specifiek voor de steen zullen de nuances van het gebruik van mortels en

natuursteen telkens in de afwegingsmatrix van het specifieke project moeten afgewogen worden om een technisch gedegen oplossing te vinden, waarbij recht wordt gedaan aan wat het monument vanuit het verleden vertelt. Enkel de tijd en de veranderde tijdsgeest zullen de gestelde aannames evalueren op hun kwaliteit in de volgende restauratiecampagnes. Een consequente totaalvisie moet uiteindelijk het monument een esthetisch en technisch sterk verhaal geven. Op deze manier kan het door de gemeenschap blijvend geapprecieerd worden als erfgoed. Dit is de enige bijkomende garantie voor de volgende generaties aan wie dit wordt overdragen, dat dit monument zal overleven en in ere zal gehouden blijven.

HOE GAAT HET AGENTSCHAP ONROEREND ERFGOED OM MET HET GEBRUIK VAN KUNSTSTEEN IN DE RESTAURATIE

Heleen Schroyen
Agentschap Onroerend Erfgoed

1. Inleiding

Het agentschap Onroerend Erfgoed startte in 2018 een onderzoeksproject op, over het gebruik van kunststeen (ook wel artificiële steen of imitatiesteen genoemd) in erfgoedcontext. In dit project wordt getracht om door middel van literatuur- en casusonderzoek een antwoord te geven op een aantal vragen. Eén onderdeel van het onderzoek handelt over het gebruik van kunststeen als vervanging van natuursteen en brengt de huidige ervaringen in kaart. Praktijkervaring leert ons immers dat er sporadisch kunststeen als vervanging van beschadigde natuursteen wordt toegepast bij de restauratie van beschermde monumenten. In deze bijdrage worden de **tussentijdse resultaten** voorgesteld. Op basis hiervan zal het agentschap in 2019 een richtlijn opstellen om te bepalen in welke gevallen vervanging door kunststeen aanvaardbaar is. Zo speelt het agentschap in op een mogelijke stijgende vraag van deze uitvoeringstechniek.

De bevindingen die ik vandaag voorstel worden nog verder uitgewerkt en ook besproken met de betrokkenen in het veld (architecten, uitvoerders en specialisten bouwtechnisch advies). Ook de respons van vandaag nemen we graag mee op.

2. Kunststeen ter vervanging van natuursteen: onderzoek naar de randvoorwaarden

2.1. Definitie kunststeen

De definitie van 'kunststeen' gehanteerd in deze publicatie is: Een monolithische (ornamentale) blok die men bekomt door een mortelsamenstelling in een bekisting te gieten, na de harding te ontkisten en het oppervlak te bewerken (wassen, krabben, bekappen,...). Hierdoor krijgt de steen het uitzicht van (bewerkte) natuursteen.

Er wordt in deze fase van het onderzoek niet dieper ingegaan op de mogelijke samenstellingen van kunststeen. Dit kan gaan van een aangepaste betonsamenstelling tot een mortel op minerale basis al dan niet met natuursteenkorrels als toeslagstof.

2.2. Afbakening en doel

Het doel van het onderzoek is een richtlijn te ontwikkelen om te bepalen in welke gevallen vervanging van natuursteen door kunststeen aanvaardbaar is in de context van beschermde monumenten, en dus met behoud van de erfgoedwaarden. De richtlijn zal geen kant-en-klare oplossing bieden voor iedere restauratie. Elke case is specifiek en vraagt maatwerk en hiertoe uitgewerkte detailoplossingen.

Om natuursteen te vervangen in beschermde monumenten heb je toelating nodig volgens de bepalingen van het Onroerenderfgoedbesluit. Het agentschap begeleidt de werken en dus de uitvoering van de eerder genomen en goedgekeurde opties.

De richtlijn wordt opgemaakt voor beschermde monumenten maar kan ook een nuttig instrument zijn voor waardevol niet-beschermd onroerend erfgoed.

2.3. Aanpak en procesverloop

Er zijn vier sporen gevolgd in het onderzoek:

- De screening van de internationale charters en conventies, de interne afspraken natuursteenherstel van het agentschap en de module natuur- en baksteenherstel van de opleiding restauratievakman. Kunnen de richtlijnen uit deze documenten vertaald worden in hanteerbare voorschriften? En kan aan de hand hiervan richting geven worden aan de visie over het gebruik van kunststeen in de restauratie?
- Onderzoek naar de betekenis van de erfgoedwaarden van het natuursteengebruik in beschermde monumenten. Hoe onderzoek je deze waarden? En hoe worden ze vertaald?
- De screening van enkele restauratieprojecten. In deze beschermde monumenten werd beschadigde natuursteen vervangen door kunststeen. Wat was de restauratievisie? Hoe verliep het beslissingsproces? Wat waren de criteria?
- Onderzoeksproject: de restauratie van de torenspitsen van de Sint-Martinuskerk te Aalst in kunststeen.

De resultaten hiervan zijn in een interne werkgroep besproken.¹ In deze gesprekken werden de documenten, de casestudies en de waardenbepalingen geanalyseerd en de randvoorwaarden voor een restauratie met kunststeen geregistreerd.

2.4. Voorlopige onderzoeksresultaten

2.4.1. Het gebruik van kunststeen in restauratie?

Bij de start van het onderzoek werd nagegaan hoe het gebruik van kunststeen als restauratietechniek kadert binnen de restauratievisie van het agentschap. We haalden hiervoor uitgangspunten uit volgende charters en conventies:

Charter van Venetië (artikel 10):²

- Indien voor de consolidering van een monument de **traditionele technische middelen niet toereikend** blijken te zijn, mag een beroep worden gedaan op alle **moderne** conserverings- en constructiemethoden, waarvan de doeltreffendheid wetenschappelijk is aangetoond en door de ervaring is verzekerd.

Conventie van Granada (artikel 17.3):³

- the possibilities afforded by **new technologies** for identifying and recording the architectural heritage and combating the deterioration of materials as well as in the fields of scientific research, **restoration work** and methods of managing and promoting the heritage.

Burra Charter (artikel 4.2):⁴

- Traditional techniques and materials are preferred for the conservation of significant fabric. In some circumstances **modern techniques** and **materials** which offer substantial conservation benefits may be appropriate.

Het agentschap hanteert steeds de principes “behoud gaat voor vernieuwing” en “minimale interventie”. Ook de interne afspraken van het agentschap voor natuursteenherstel gaven een

¹ Met dank aan de interne leden van het projectteam en klankbordgroep voor hun input en reflectie: C. Boes, I. Debacker, I. De Schepper, W. Hulstaert, D. Nuytten, N. Thiels en E. Vandeweghe.

² <https://www.stichtingerm.nl/doc/Charter%20van%20Veneti%c3%ab%20-%20restauratieladder.pdf> (geraadpleegd op 14 augustus 2018).

³ <https://www.coe.int/en/web/conventions/full-list/-/conventions/rms/090000168007a087> (geraadpleegd op 14 augustus 2018).

⁴ <http://australia.icomos.org/wp-content/uploads/The-Burra-Charter-2013-Adopted-31.10.2013.pdf> (geraadpleegd op 16 augustus 2018)

houvast,⁵ evenals de module natuur- en baksteenherstel van de opleiding restauratievakman moderne bouwchemie.⁶

De documenten werden samengelegd, vergeleken en besproken. Er werden zo enkele hanteerbare uitgangspunten vastgelegd die de randvoorwaarden bepalen voor het gebruik van kunststeen in de restauratie:

- **Uitgangspunt:** Kunststeen kan als alternatief voorgesteld worden als de bestaande steensoort vervangen moet worden en niet meer beschikbaar is in de originele kwaliteit, maatvoering en kleur.
- **Uitgangspunt:** De toepassing van kunststeen mag geen schade aan het omliggende materiaal teweegbrengen. Dit laatste dient met de nodige gegevens beargumenteerd te worden.

Dan restte nog de vraag: dient de toepassing van kunststeen zich duidelijk af te tekenen? Met andere woorden dient de herstelling met kunststeen duidelijk zichtbaar gemaakt worden als een hedendaagse ingreep? Praktijkervaring in Vlaanderen leert ons dat er gestreefd wordt naar een visuele compatibiliteit.

- **Uitgangspunt:** De kunststenen elementen benaderen zo goed mogelijk de kleur, structuur, textuur en maatvoering van de bestaande steen. Het verschil is niet zichtbaar voor een leek, maar wel voor een professional. De ingreep dient daarbij voldoende gedocumenteerd te worden, om verwarring te vermijden.

2.4.2. Het stappenplan voor de opmaak van de restauratievisie

De vervanging van beschadigde natuursteen door kunststeen kadert steeds binnen een volledige natuursteen-restauratievisie voor een monument. De opmaak hiervan gebeurt tijdens de ontwerpfase. Uit bovenstaande blijkt al dat het belangrijk is om bij het ontwikkelen van de restauratievisie een duidelijk beeld te hebben van de materiaal- en de bouwtechnische toestand. Dit inzicht ligt, samen met de kennis van de erfgoedwaarden aan de basis van de gekozen restauratieopties. Tijdens het case-gericht onderzoek zijn hiernaast nog enkele bijkomende overwegingen gedetecteerd.

Voor de opmaak van de restauratievisie onderscheiden we dus de opeenvolgende stappen:

1. Het onderzoek naar de erfgoedwaarden
2. De materiaal – en bouwtechnische analyse
3. Bijkomende overwegingen

2.4.2.1. Onderzoek naar de erfgoedwaarden

Onroerend erfgoed wordt beschermd omdat het van algemeen belang is voor de gemeenschap: het bezit bepaalde erfgoedwaarden die het individuele belang overstijgen. Het behoud van die waarden, en dus van dat erfgoed, wordt door een bescherming gegarandeerd.

- **Uitgangspunt:** Het behoud van de erfgoedwaarden staat steeds voorop.

In het beslissingsproces voor het gebruik van kunststeen ter vervanging van natuursteen moeten we ons daarom eerst een oordeel kunnen vormen over de waarde en de betekenis van het natuursteengebruik in het monument. Zo kan afgewogen worden of een vervanging van het materiaal afbreuk doet aan de aanwezige erfgoedwaarden.

⁵ ROBIJNS K. 2012: Restauratiefilosofie: bestaat zo iets? Natuursteenrestauratie in Vlaanderen. Wat is de praktijk in: DE CLERCQ H., VAN GEMERT D. & VAN HEES R. (ed.), *Natuursteen natuurlijk!?*, Aarschot.

⁶ VANHELLEMONT Y., VAN PEER W. & VERNIMME N. (ed), Opleiding restauratievakman moderne bouwchemie, Module natuur- en baksteenherstel, Brussel.

In het Onroerendergoeddecreet worden 13 erfgoedwaarden opgesomd: de archeologische, architecturale, artistieke, culturele, esthetische, historische, industrieel-archeologische, technische, ruimtelijk-structurende, sociale, stedenbouwkundige, volkskundige en wetenschappelijke waarde.⁷ Deze waarden worden niet afzonderlijk beschouwd, het is het globale oordeel dat het uitgangspunt vormt van de evaluatie. De erfgoedwaarde van een relict of geheel wordt steeds bepaald door het wegen van meerdere waarden, in combinatie met vijf criteria. In het Onroerendergoedbesluit zijn de selectiecriteria opgenomen: zeldzaamheid, herkenbaarheid, representativiteit, ensemblewaarde en contextwaarde.⁸

Het gebruik van materialen, dus ook natuursteen, in een beschermd monument heeft meestal betrekking op volgende vijf waarden:⁹

- “Een onroerend goed heeft **architecturale waarde** als het getuigt van een fase of aspect van de (landschaps)architectuur of de bouwkunst in het verleden. Het kan gaan om typologie, stijl, oeuvre of materiaalgebruik.”
- “Een onroerend goed heeft **historische waarde** als het getuigt van een (maatschappelijke) ontwikkeling, gebeurtenis, figuur, instelling of landgebruik uit het verleden van de mens.”
- “Een onroerend goed heeft **artistieke waarde** als het getuigt van het kunstzinnige streven van de mens in het verleden.”
- “Een onroerend goed heeft **technische waarde** als het de ontwikkeling van de (cultuur)techniek in het verleden illustreert. Het gaat om technische toepassingen als illustratie van zowel traditionele als innovatieve technieken en materialen.”
- “Een onroerend goed heeft **wetenschappelijke waarde** als het potentie heeft voor kennisontwikkeling en kenniswinst over een bepaald thema, periode of fenomeen, als het een bijzondere bijdrage geleverd heeft op dat vlak of als het een typevoorbeeld is.”

In de beschermingsbesluiten en -dossiers worden deze erfgoedwaarden benoemd en geduid. Om een volledig zicht te krijgen op deze erfgoedwaarden, kan echter een aanvullende analyse met waardenstelling nodig zijn. Dit kan aan de hand van bouwhistorisch onderzoek en een analyse van de gebruikte materialen.¹⁰ De erfgoedwaarden worden daarbij vertaald in erfgoedelementen en -kenmerken. Erfgoedelementen zijn de structurele en visuele componenten die de eigenheid van het onroerend erfgoed bepalen en die de waarden vormen die aan de grondslag liggen van een bescherming.¹¹ Het gebruik van natuursteen in de gevels is een voorbeeld van een erfgoedelement. De erfgoedkenmerken zijn bijvoorbeeld: typologie, stijl, cultuur, datering,

Aan de hand van dit onderzoek kan ook nagegaan worden of er een gradatie in de erfgoedwaardering opgemaakt moet worden. Is het gebruik van de verschillende erfgoedelementen in natuursteen bepalend of ondersteunend voor de erfgoedwaarden?

Uit de analyse van de erfgoedwaarden blijkt ook vaak dat men een onderscheid kan maken in parementwerk, geornamenteerd werk (pinakels, lijsten, balustrades) of (vrijstaand) beeldhouwwerk, omdat deze in verschillende mate kunnen bijdragen tot de erfgoedwaarden. Beeldhouwwerk heeft bijvoorbeeld vaker een artistieke waarde dan parementwerk.

Ook de historische vervangingen (materiële authenticiteit) worden in kaart gebracht. Men kan zich voor een mogelijke toepassing van kunststeen ook baseren op de visies en beslissingen van de historische restauratiecampagnes. De te vervangen elementen kunnen reeds vernieuwd zijn in een andere natuursteensoort, of later toegevoegd. De materiële waarde van

⁷ Onroerendergoeddecreet, artikel 2.1

⁸ Onroerendergoedbesluit, artikel 4.1.5

⁹ De definities zijn opgenomen in het MB van 17 juli 2015 tot vaststelling van de inventarismethodologie voor de inventaris van bouwkundig erfgoed.

¹⁰ Zie ook: BECUWE F., DEBONNE V. & LENAERTS T. 2017: *Gebouwde Histories, Handleiding voor bouwhistorisch onderzoek*, Handleiding agentschap Onroerend Erfgoed, Brussel.

¹¹ Onroerendergoeddecreet, artikel 2.1

deze elementen kan dan ondergeschikt zijn, waardoor een vervanging in kunststeen verdedigbaar is.¹²

Een gedetailleerde intekening en waarden-inventarisatie van de gebruikte natuursteensoorten brengt de resultaten van de erfgoedwaardering in kaart.¹³ Dit document vormt tevens de overgang naar de materiaal- en bouwtechnische analyse.

2.4.2.2. Materiaal- en bouwtechnische analyse

Uit de uitgangspunten bleek dat vervanging door kunststeen kan overwogen worden als de natuursteen niet herstelbaar is en vervangen moet worden, en niet meer beschikbaar is in de originele kwaliteit, maatvoering en kleur.

Het is dus belangrijk om naast de erfgoedwaarde de bewaringstoestand van het onroerend goed te kennen en de rol van de natuursteen hierin. Hoe gaaf bleef de natuursteen bewaard? Is het element nog herstelbaar? In hoeverre heeft de bewaringstoestand van de natuursteen invloed op de fysieke toestand van de rest van het gebouw (is het een constructief element of louter decoratief)?

Een gedetailleerde opmeting en een materiaal- en bouwtechnische analyse brengen de natuursteensoorten, bewaringstoestand, schadefenomenen en herstelbaarheid in kaart en bieden inzicht in de constructieve logica en de materiaaltechnische toestand. Ongekende natuursteensoorten kunnen door labo-analyses gedetermineerd worden.

De niet herstelbare en dus te vervangen natuursteen wordt aangeduid op gevelplannen. Zo bekomt men een overzicht van het volume en de positie van de te vervangen delen. Betreft het parementwerk, geornamenteerd werk (pinakels, lijsten, balustraden) of betreft het (vrijstaand) beeldhouwwerk? Dit heeft belang voor de nodige bewerkbaarheid, duurzaamheid en technische compatibiliteit van het vervangmateriaal. Bij parementwerk spelen bijvoorbeeld ander criteria dan bij vrijstaande ornamenten.

Ook moet er in het vooronderzoek aangegeven worden of dezelfde steensoort (vooral qua kwaliteitseisen en afmetingen) nog verkrijgbaar is. Zo niet dan breng je ook de mogelijke compatibele natuursteensoorten (technisch, esthetisch en historisch) in kaart.

2.4.1.3. Bijkomende overwegingen

Bovenstaand stappenplan vormt de basis in de ontwikkeling van de restauratievisie. Tijdens het onderzoeksproject zijn er echter enkele bijkomende overwegingsprincipes vastgesteld die de keuze voor de toepassing van kunststeen beïnvloeden. Deze zijn bijkomstig aan de resultaten uit de erfgoedwaardering en de materiaal- en bouwfysische analyse, en dienen samen met het agentschap voor elke case besproken en beargumenteerd te worden.

Hogere kwaliteitseisen en duurzaamheid

De historische natuursteensoort is beschikbaar in de nodige afmetingen, maar de levensduur ervan voldoet niet meer aan de gewenste verwachtingen, zoals bij het gebruik van vorstgevoelige steen voor vrijstaand geprofileerd werk. Door de vervanging niet meer in natuursteen te voorzien, maar te opteren voor kunststeen kan de levensduur van de ingreep verlengd worden.

¹² Tip: Quist W.J. heeft in zijn proefschrift '*Vervanging van witte Belgische steen, materiaalkeuze bij restauratie*' onder andere onderzoek gedaan naar de argumenten in het keuzeproces van de historische natuursteenvervangingen (Nederlandse context). Hij onderzocht daarbij ook de rol van duurzaamheid en compatibiliteit van de natuursteenkeuzes in historische restauraties. In het criterium compatibiliteit onderscheidde hij daarbij historische, esthetische en technische. Ook de criteria beschikbaarheid, kostprijs en bewerkbaarheid werden in kaart gebracht.

¹³ Je kan hiervoor de richtlijnen hanteren van het 'EN 16096 Conservation of cultural property. Condition survey and report on built cultural heritage'.



Fig. 1: Sint-Martinuskerk Aalst: Herstelling hogels met kunststeen © agentschap Onroerend Erfgoed

Voorbeeld case: Het gebruik van kunststeen bij de restauratie van de torenspitsen van de Sint-Martinuskerk te Aalst. De uiterst slechte toestand van de Euvillesteen waaruit de pinakels en de hogels gebeeldhouwd zijn dwong het projectteam ertoe een alternatieve oplossing te zoeken. Verschillende opties werden afgewogen. Er werd in dit proefproject voor een kunststeen gekozen, onder andere omdat er verwacht werd dat deze een grotere duurzaamheid bezit.

Soms dient een herstelling te voldoen aan bepaalde normen. Indien de kwaliteiten van de natuursteen niet voldoen kan er overwogen worden om kunststeen toe te passen.



Fig. 2: Centraal station Antwerpen: montage van de elementen in kunststeen¹⁴

Voorbeeld case: Normeringen, in het bijzonder voor de veiligheid van de reizigers, bepaalden mee de materiaalkeuze bij de restauratie van het ontvangstgebouw van het Centraal station in Antwerpen.¹⁵ Daar werden de verdwenen torentjes en het monumentale uurwerk uitgevoerd in kunststeen (beton) in plaats van de authentieke Vinalmontsteen.

Repetitie

Het repetitieve karakter van de te vervangen natuursteenelementen kan ook een rol spelen in het keuzeproces. Het gieten van nieuwe stukken kunststeen is interessant bij te herhalen elementen. De gemaakte mallen kunnen immers meermaals gebruikt worden. Het gebruik van kunststeen kan daarbij ook een positieve invloed hebben op de productietermijn.

¹⁴ Bron: PETERS S. 2013: Gietwerk: Siliconen en EPS gietmallen voor monumentale ornamenten in kunststeen. Casestudie: Centraal Station Antwerpen, *Handboek Onderhoud, Renovatie en Restauratie Afl. 56*, III, 71.

¹⁵ Mondelinge informatie van Peeters S. op (15 juni 2018)



Fig. 3: Onze-Lieve-Vrouwkathedraal te Antwerpen: onderdelen in kunststeen © Steenmeijer Architecten BVBA

Voorbeeld case: De nokken en balustrades van de Onze-Lieve-Vrouwkathedraal te Antwerpen uit Euvillesteen waren volledig geërodeerd. Gezien de grote mate van repetitie van deze toegevoegde elementen uit de 19^{de} -eeuwse restauratiecampagne, werd beslist om kunststeen te gebruiken. De kleur werd op maat gemaakt en stemt overeen met die van nieuw bekapte Euville. Na het gietwerk werden de onderdelen manueel bijgewerkt. De besparing was significant. Het gietwerk heeft toegelaten om het oorspronkelijke uitgangspunt na te streven, zonder op de vormgeving en kwaliteit van het werk in te boeten. Bovendien gaf dit een tijdsbesparing van minstens 2 jaar.¹⁶

Kunststeen is echter niet per definitie een goedkoper alternatief.



Fig. 4: Sint-Antonius-a-Paduakerk te Antwerpen: Testen op de natuursteen / uitgenomen monelen en negblokken die niet herbruikt kunnen worden. Delen die wel herbruikt konden worden, werden gesorteerd en terug geplaatst © Steenmeijer Architecten BVBA

Voorbeeld case: Voor de vervanging van de monelen van de Sint-Antonius-a-Paduakerk te Antwerpen werden zowel natuursteen als kunststeen overwogen. Uit de inventarisatie van de te vervangen natuurstenen elementen, bleken deze zeer divers. Een vervanging in

¹⁶ STEENMEIJER R. 2012: Zin en onzin van kunststeen ter vervanging van natuursteen in: DE CLERCQ H., VAN GEMERT D. & VAN HEES R. (ed.), *Natuursteen natuurlijk!?*, Aarschot.

natuursteen of in kunststeen kwam neer op eenzelfde kostprijs en uitvoeringstermijn. Men heeft daarom geopteerd voor natuursteen.¹⁷

3. Voorlopig besluit

De toepassing van kunststeen past binnen de restauratieprincipes van het agentschap mits rekening houdend met volgende uitgangspunten:

- Het behoud van de erfgoedwaarden staat steeds voorop.
- De bestaande natuursteen is niet herstelbaar en vervanging is noodzakelijk. Kunststeen kan daarbij als alternatief worden voorgesteld als de bestaande steensoort niet meer beschikbaar is in de originele kwaliteit, maatvoering en kleur.
- De toepassing van de kunststeen brengt geen schade toe aan het omliggende materiaal.
- De kunststenen elementen benaderen de kleur, structuur, textuur en maatvoering van de bestaande steen zo goed mogelijk.

Daarnaast zijn er enkele criteria die enkel in overweging kunnen genomen worden per case en in overleg met het agentschap. Zoals de wens om een verbetering na te streven wat betreft de technische kenmerken en duurzaamheid. Daarnaast kan ook het repetitieve karakter van de te vervangen elementen invloed hebben op het keuzeprocess.

De waardenbepaling van de natuursteen, de materiaal - en bouwfysische toestand en bijkomende overwegings-principes bepalen dan samen de natuursteen-restauratievisie. Deze verduidelijkt de beslissing om een deel van de beschadigde natuursteen al dan niet te vervangen door kunststeen. Dit gebeurt steeds in nauw overleg met het agentschap.

4. Vervolg

De resultaten die ik in dit artikel bespreek, worden verder aangevuld en uitgewerkt. Ook externe belanghebbenden worden daarbij nog bevroegd. We nemen op het einde van het onderzoek de resultaten mee in onze adviezen en toelatingen. Hiervoor maken we in 2019 een richtlijn op. Deze zal gepubliceerd worden op onze website.

Omdat de toepassing van kunststeen een vrij jonge uitvoeringstechniek is, is verder onderzoek naar veroudering (beeld en kwaliteit) noodzakelijk. Hoe de kunststeen verouderd en hoe dit zich verhoudt ten aanzien van de bestaande natuursteen heeft immers ook impact op de erfgoedwaarden. Dit aspect is nu nog onderbelicht. Er wordt nagegaan of dit mee opgenomen kan worden in het onderzoeksproject.

5. Bronnen

BAEK M., DE CLERG L., DEKEYSER L., SNAET J., TOURNEUR F. & VERDONCK A. 2010: *Steen & co*, Brussel.

PETERS S. 2013: Gietwerk: Siliconen en EPS gietmallen voor monumentale ornamenten in kunststeen. Casestudie: Centraal Station Antwerpen, *Handboek Onderhoud, Renovatie en Restauratie Afl. 56*, III, 51-74.

QUIST W.J. 2011: *Vervanging van witte Belgische steen, materiaalkeuze bij restauratie*, doctoraatsproefschrift Technische Universiteit Delft, Delft.

ROBIJNS K. 2012: Restauratiefilosofie: bestaat zo iets? Natuursteenrestauratie in Vlaanderen. Wat is de praktijk in: DE CLERCQ H., VAN GEMERT D. & VAN HEES R. (ed.), *Natuursteen natuurlijk!?*, Aarschot.

STEENMEIJER R. 2012: Zin en onzin van kunststeen ter vervanging van natuursteen in: DE CLERCQ H., VAN GEMERT D. & VAN HEES R. (ed.), *Natuursteen natuurlijk!?*, Aarschot.

¹⁷ Mondelinge informatie van Reyskens S. en Steenmeijer R. (5 september 2018).

S.N. 2007: *Verweerde natuurstenen sierelementen vervangen door gietmortel*, onuitgegeven nota agentschap Onroerend Erfgoed.

VANHELLEMONT Y., VAN PEER W. & VERNIMME N. (ed), Opleiding restauratievakman moderne bouwchemie, Module natuur- en baksteenherstel, Brussel.

TOEPASSING STEENREPARATIEMORTELS AAN DE GROTE OF O.L.V. KERK TE BREDA EN DE SINT-JANSKATHEDRAAL TE 's HERTOGENBOSCH

Ben Massop
Restauratiearchitectuur BBM

1. Inleiding

Reparatiemortels worden al jaren gebruikt. Voor zover bekend worden reparatiemortels vanaf ca. 1900 toegepast. Vanwege de beperkte levensduur van de reparatiemortels is er weinig bekend van toepassingen van reparatiemortels uit het verleden. Pas nadat de reparatiemortels als product op de markt gebracht worden, is meer bekend over de samenstelling en toepassingen van de mortels.

Met name de reparatiemortels ten behoeve van het herstellen van natuursteen zijn door de jaren heen veelvuldig gebruikt. De toepassingen van natuursteen in Nederland waren erg kostbaar omdat de natuursteen uit omliggende landen aangevoerd moest worden. De reparaties van beschadigingen of verwerings gebeurden veelal d.m.v. mortelreparaties en/of het inschieten van blokjes natuursteen in plaats van het vervangen van het volledige natuursteen blok of baksteen.

Het toepassen van een reparatiemortel was dan een goedkoop en dankbaar alternatief. De mortels laten zich makkelijk modelleren zodat zij ook voor profielwerk en in beperkte mate voor beeldhouwwerk geschikt zijn.

De meeste reparatiemortels hebben een beperkte levensduur van ca. 20 tot 30 jaar. Van belang is dat de samenstelling van de mortel het bestaande materiaal (natuursteen en/of baksteen) zo goed mogelijk moet benaderen.

Om schade aan het oorspronkelijke materiaal zoveel mogelijk te beperken, dient de samenstelling van de toe te passen reparatiemortel zoveel mogelijk het materiaal waarop de reparatiemortel wordt toegepast te benaderen. De volgende criteria zijn hiervoor van toepassing:

- de porositeit,
- de hardheid,
- de kleur,
- de patinering.

In de onderstaande paragrafen zullen de meest voorkomende types reparatiemortels, die in de restauratie worden toegepast worden toegelicht vanuit het eigen perspectief.

1.1. Types reparatiemortels

De reparatiemortels zijn onder te verdelen in twee perioden namelijk de oudere types die verouderd zijn en niet meer worden toegepast en de types die tegenwoordig nog verkrijgbaar zijn.

1.1.1. Types reparatiemortels toegepast in het verleden

Cementgebonden, door steenhouwer of metselaar zelf samengestelde reparatiemortels

Deze reparatiemortels werden op de bouwplaats door de steenhouwer en/of de metselaar samengesteld. De reparatiemortels varieerden sterk in samenstelling. Vaak werd de mortel waarmee de bakstenen en natuursteen blokken werden gemetseld ook gebruikt als reparatiemortel.

Vanaf de jaren 50 tot en met begin jaren 80 van de vorige eeuw was de toepassing van zelfbereide reparatiemortels gemeengoed (figuur 1). Men hield geen of weinig rekening met de eigenschappen van de steen waarop de reparatiemortel werd toegepast. De sterkte van de

mortel varieerde van een harde weinig poreuze cementgebonden mortel “sterk werk” tot een zachte onsamenhangende zeer poreuze cementgebonden mortel. In de jaren 70 en 80 van de vorige eeuw werd veelal luchtkalk en/of Darax (middel voor het verlagen van de oppervlaktespanning van het water) toegevoegd om de verwerkbaarheid van de mortel te bevorderen.

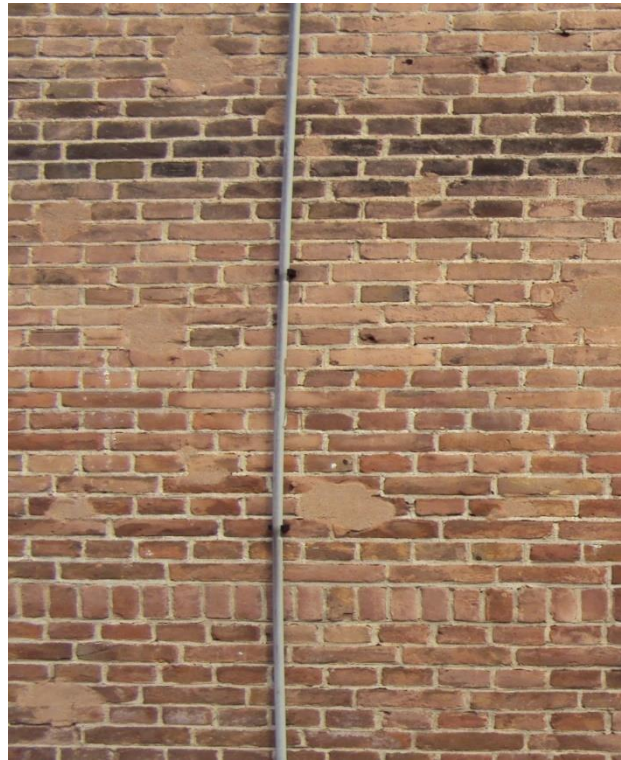


Fig 1: Toepassing van een op kleur gebrachte cementgebonden reparatiemortel ca. 1950; zuidgevel GRASSO 's Hertogenbosch

Minéros

Minéros reparatiemortel werd in de jaren 20 in Duitsland ontwikkeld en in Nederland in de jaren 60 tot 80 van de vorige eeuw toegepast. De reparatiemortel wordt in Duitsland onder de naam Minéros 2000 nog veelvuldig als een universele reparatiemortel gebruikt. De reparatiemortel was zeer geschikt voor het herstellen van profiellijsten, afdekkers en beeldhouwwerk. Het werd toegepast op zowel zandsteen- als kalksteen oppervlakken. Grotere oppervlakken (met relatief veel massa werden voorzien van verankeringen en “wapening”. Deze bestond uit koperen schroeven met daartussen opgespannen koperdraad. De mortel was slijtvast en dicht (toepassing op tegels). Dit had echter als nadeel dat m.n. bij toepassingen op een zandsteen oppervlak de onderliggende laag van de zandsteen sneller opgeofferd werd als de reparatiemortel.

Alja

Alja is een mineraal gebonden reparatiemortel, speciaal ontwikkeld voor het herstellen van natuursteen. Deze natuursteenherstelmortel is in de jaren 70 en 80 van de vorige eeuw veelvuldig toegepast voor het herstel van verschillende types zandsteen en kalksteen.

1.1.2. Actuele types van reparatiemortels

Mineraal gebonden reparatiemortels - Jahn

De fa. Jahn is sinds 1976 producent en leverancier van gespecialiseerde mineraalgebonden restauratiemortels. De fa. Jahn heeft een eigen laboratorium waar hun producten verder ontwikkeld worden en/of aangepast aan de specifieke eisen van een project. Men levert standaard natuursteenreparatiemortels, die op verzoek aangepast kunnen worden op kleur en structuur. Verder kunnen specifieke producten ontwikkeld worden die geheel zijn toegesneden op de eisen die gesteld worden aan de aanwezige natuursteentypes van individuele projecten.

Jahn M70 standaard natuursteenherstelmortel

Jahn M70 natuursteenherstelmortel is een zuiver minerale 1-component mortel. Jahn M70 natuursteenherstelmortels zijn in verschillende types te leveren nl.

- zandsteenreparatiemortel (middel en fijn),
- kalksteenreparatiemortel,
- tufsteenreparatiemortel,
- mergelreparatiemortel,
- hardsteenreparatiemortel,
- marmerreparatiemortel.

Eigenschappen:

Alle types Jahn standaard natuursteenmortels zijn:

- Mineraalgebonden.
- vochtresistent (vochtregulerend, dat wil zeggen dat vrij vochttransport vanuit de natuursteen ondergrond kan plaatsvinden zonder dat er schade aan de natuursteenreparatiemortel ontstaat).
- Vorstresistent.
- zoutresistent (zoutregulerend, dat wil zeggen dat in de natuursteen aanwezige zouten kunnen uittreden zonder dat hierdoor schade aan de natuursteenreparatiemortel ontstaat).

Voordelen:

- De mortel is voor verschillende types natuursteen ontwikkeld. Doordat de natuursteenreparatiemortel specifiek voor het type natuursteen is ontwikkeld en dus ook de kenmerkende eigenschappen daarvan bezit zal er minder gemakkelijk schade aan de natuursteen optreden.
- Omdat de samenstelling 100% uit minerale componenten bestaat, is de toepassing van het product niet milieubelastend.
- Doordat de natuursteenreparatiemortels vocht-, vorst- en zoutbestendig en vochtregulerend zijn, hebben deze invloeden geen gevolgen voor de duurzaamheid van de mortels.
- De oppervlakken van de natuursteenreparatiemortels kunnen dezelfde oppervlaktebewerkingen ondergaan als de natuursteen waarop de mortel wordt toegepast.

Nadelen:

- De toegepaste natuursteenreparatiemortels vertonen een sterke neiging tot ontkleuren. Het tijdsbestek waarin ontkleuring plaatsvindt, is afhankelijk van het type mortel en van de weersinvloeden. De mortels verkleuren dan naar een lichtgrijze cementkleur en vormen daardoor vaak een visuele dissonant in de architectuur van het object. Door het oppervlak in te kleuren met een mineraalverf, is dit probleem voor langere tijd te ondervangen.

Jahn S70 natuursteenreparatiemortel.

De Jahn S lijn is speciaal ontwikkeld om aan de specifieke eisen van individuele projecten te kunnen voldoen. Aan de hand van monsters worden de specifieke natuursteen reparatiemortels samengesteld. De mortels voldoen dan aan de visuele en fysische specificaties van de aanwezige natuursteen.

Voordelen:

- Het ontwikkelde product voldoet aan alle waarden en eisen die gesteld worden aan de aanwezige te herstellen natuursteen.

Nadelen:

- Hoge ontwikkelingskosten voor een beperkte toepassing.
- Risico dat de natuursteenrestauratiemortel zich op termijn fysisch anders gedraagt dan de aanwezige steen omdat men geen langjarige toepassingservaring heeft.

Jahn, Kalx natuursteenherstelmortel.

Jahn Kalx natuursteenherstelmortel is een zuiver minerale mortel. De toepassing van Jahn Kalx natuursteenherstelmortel is bedoeld voor poreuze kalkgebonden natuursteen elementen. De mortel kan worden toegepast voor zowel kleinere als grote reparatieoppervlakken.

Eigenschappen:

Jahn Kalx natuursteenmortel heeft de volgende eigenschappen:

- mineraalgebonden,
- hoge dampdiffusie,
- bescheiden mechanische waarden,
- weersbestendig,
- kan tot 0 mm worden verwerkt.

Voordelen

- Doordat de hardheid van de mortel beperkt is, is de mortel goed mechanisch te bewerken en te modelleren.
- De oppervlakken van de natuursteenreparatiemortels kunnen dezelfde oppervlaktebewerkingen ondergaan als de natuursteen waarop de mortel wordt toegepast.
- De mortel kan door middel van uitstrijken en/of bewerken van het oppervlak teruggebracht worden tot het oppervlak van de oorspronkelijke steen. Hierdoor treedt nauwelijks materiaalverlies op van de oorspronkelijke steen.
- Omdat de samenstelling 100% uit minerale componenten bestaat, is de toepassing van het product niet milieubelastend.

Nadelen

- De natuursteenreparatiemortel kan niet op zoutbelaste ondergronden worden toegepast.
- De mortel is gevoelig voor mechanische belastingen en mag daardoor niet mechanisch belast worden.

Mineraal gebonden reparatiemortels - Remmers

De fa. Remmers Bouwchemie heeft verschillende steen- en natuursteenreparatiemortels in haar pakket. Voor dieperliggende en grotere beschadigingen is een universele grondeermortel ontwikkeld. Er kunnen in hoofdzaak drie types worden onderscheiden:

- Restauratiemortel
Restauratiemortel is een universele reparatiemortel bedoeld voor natuursteen, baksteen, beton en kunststeen.
- Restauratiemortel SK

Restauratiemortel SK is een minerale natuursteenreparatiemortel. Deze mortel kan ook worden toegepast op baksteen, kunststeen en beton.

- Restauratiemortel ZF

Restauratiemortel ZF is een cementvrije, minerale natuursteenreparatiemortel. Deze mortel kan ook worden toegepast op baksteen, kunststeen en beton. Deze mortel is alleen geschikt voor het herstellen van zachtere minerale ondergronden (ondergronden met een lage sterkte).

De bovenstaande mortels zijn universeel dat wil zeggen dat zij standaardproducten zijn die geleverd worden. Het is mogelijk op aanvraag en d.m.v. het verstrekken van een natuursteenmonster een op kleur en korrelopbouw aangepaste mortel te verkrijgen (de toegepaste types bindmiddelen blijven ongewijzigd). De restauratiemortels bevatten met uitzondering van Restauratiemortel ZF, een aandeel cement. De restauratiemortel ZF bevatten natuurlijke hydraulische kalk (NHL), puzzolaan en wit kalkhydraat. Bovenstaande mortels zullen niet verder worden besproken omdat zij in deze cases niet zijn toegepast.

Mineraal gebonden reparatiemortels - Mergelreparatiemortel

Mergelreparatiemortels worden, behoudens de levering door de fa. Jahn, door de natuursteenhersteller, steenhouwer of metselaar zelf samengesteld. De samenstelling bestaat in hoofdzaak uit mergelgruis, mergelmeel en een hydraulische kalk. Vaak worden reststukken van bestaande te vervangen aanwezige mergelblokken als vulstof toegepast. Hiertoe dienen wel eerst de uitgeloopte bestanddelen te worden verwijderd. Dit heeft als voordeel dat men dan de oorspronkelijke kleur en structuur van de aanwezige te repareren blokken beter kan benaderen.

Het aandeel bindmiddel dient ter plaatse proefondervindelijk te worden vastgesteld.

Anorganisch (Chemisch) gebonden reparatiemortels - Monulit

Monulit is een 2-componentenreparatiemortel, bestaande uit het anorganische bindmiddel zinkoxidechloride en een minerale toeslagstof, meestal een natuursteenpoeder van de steensoort waarin de restauratie moet plaatsvinden. Monulit kan op alle natuursteensoorten worden toegepast met uitzondering van steensoorten met een te dichte kristalstructuur (marmers en granietsorten e.d.). Monulit natuursteenreparatiemortels zijn in verschillende standaardtypes te leveren.

- Balegem geel, Balegem (Ledesteel),
- Hardsteen licht, hardsteen donker,
- Chauvigny,
- Euville licht, Euville standaard en Euville donker,
- Gobertange,
- Massangis roche jaune,
- Mergel (Maastrichter),
- Savonnière licht, Savonnière donker,
- Terra cotta.

Op aanvraag kunnen, aan de hand van meegeleverde monsters, een groot aantal natuursteensoorten op maat geïmiteerd worden (in hoofdzaak kalksteensoorten).

Eigenschappen:

Alle types Monulit standaard natuursteenreparatiemortels zijn:

- anorganisch + mineraalgebonden,

- vochtresistent (vochtregulerend, dat wil zeggen dat vrij vochttransport vanuit de natuursteen ondergrond kan plaatsvinden zonder dat er schade aan de natuursteenreparatiemortel ontstaat),
- vorstresistent,
- zoutresistent.

Voordelen:

- De mortel is voor verschillende types natuursteen ontwikkeld. Doordat de natuursteenreparatiemortel specifiek voor het type natuursteen is ontwikkeld en dus ook de kenmerkende eigenschappen daarvan bezit zal er minder gemakkelijk schade aan de natuursteen optreden.
- Omdat de samenstelling voor een groot deel uit minerale componenten bestaat en het anorganische deel een zout vormt met het minerale toeslagmiddel, is de toepassing van het product niet of nauwelijks milieubelastend.
- Doordat de natuursteenreparatiemortels vocht-, vorst- en zoutbestendig en vochtregulerend zijn, hebben deze invloeden geen gevolgen voor de duurzaamheid van de mortels.
- De oppervlakken van de natuursteenreparatiemortels kunnen dezelfde oppervlaktebewerkingen ondergaan als de natuursteen waarop de mortel wordt toegepast.

Nadelen:

- Om de mortel op juiste wijze te verwerken, moet de mortel op een verdiepte ondergrond worden aangebracht. Hierdoor gaat een beperkte hoeveelheid van het oorspronkelijke "gezonde materiaal" verloren.
- Omdat bij het samenstellen van het product een zout ontstaat, dient men rekening te houden met kans op corrosie van onbehandeld ijzer. Men dient extra voorzichtig te zijn bij mortelreparaties waarbij reparaties rond ijzeren onderdelen moeten plaatsvinden.
- Door de in de mortel aanwezige vrije zouten is er, met name ter plaatse van de reparaties binnen, een verhoogde kans op verkleuringen van de mortelreparaties omdat deze zouten vocht vasthouden. (Buiten speelt dit niet of in mindere mate omdat de zouten uit de mortelreparaties worden uitgespoeld en met het regenwater worden afgevoerd).
- Doordat we te maken hebben met een 2-componentenproduct, betekent dit dat de samen te voegen componenten in de juiste verhouding moeten worden samengevoegd. De 2-componenten moeten goed tot een homogene massa worden gemengd.
- Men kan slechts kleinere hoeveelheden aanmaken; op het moment dat het bindingsproces op gang komt, mag men het product niet meer verwerken.
- Het oppervlak moet met de vloeistofcomponent worden voorbehandeld tot verzadiging van het oppervlak optreedt. Er mag geen vloeistof op het oppervlak achterblijven (Dit benadeelt de hechting van de reparatiemortel).

Kunststof gebonden reparatiemortels - Akepox (fa Akemi)

Akepox heeft een uitgebreid assortiment van epoxylijmen. Deze lijmen worden veel gebruikt in de natuursteen industrie en restauratie, voor de verlijming van breuken, als vulmiddel en voor verankeringen. Akepox is een 2-componentenlijm op basis van epoxyhars met een gemodificeerde polyaminverharder. De Akepoxlijmen zijn verkrijgbaar in een lage viscositeit tot hoge viscositeit. Bij het verlijmen van schone breuken wordt gekozen voor een lijm met lage viscositeit.

Bij het herstellen van natuursteen reparaties is een pastavormige epoxylijm, Akepox 2030, het meest geschikt. Akepox 2030 is een crèmige, pasta-achtige oplosvrije 2-componenten lijm epoxylijm. De Akepox 2030 kan, in combinatie met kleurpasta's en vulmiddelen, alleen worden toegepast als natuursteenreparatiemortel voor natuursteensoorten met een zeer grote dichtheid. Denk daarbij aan bijv. hardsteen, Doorniksesteen, Balegemsesteen (alleen voor toepassing van vloertegels of zerken) graniet- en trachietsoorten.

Eigenschappen:

- relatief snelle doorharding,
- goed inkleurbaar,
- Laat zich goed mengen met verschillende mineralen (natuursteen poeders, grid etc.),
- vochtresistent / vochtdicht,
- zeer geringe krimp,
- zeer weersbestendig,
- goed vormvast,
- goede hechting op lichtvochtige steen.

Voordelen:

- De epoxymortel is zeer geschikt voor reparaties van natuursteen vloeren die zowel zwaar mechanisch- als vochtbelast worden
- Doordat de epoxy natuursteenreparatiemortels vocht-, vorst- en zoutbestendig zijn, is de toepassing duurzaam.

Nadelen:

- De oppervlakken van de natuursteenreparatiemortels laten zich door de taaiheid van het materiaal moeilijk bewerken.
- Omdat de samenstelling voor een groot deel uit chemische componenten bestaat is, is de toepassing van het product milieubelastend.
- De epoxymortels mogen niet toegepast worden bij poreuze natuursteensoorten.
- Bij verlijmingen dient rekening gehouden te worden met het condenseren van vocht op het voegvlak tussen de epoxymortel en de natuursteen.

2. Toepassing van reparatiemortels bij de Sint Janskathedraal ('s Hertogenbosch)

De Sint Janskathedraal is door de eeuwen heen zowel aan de binnenzijde als de buitenzijde gerestaureerd. Hierbij zijn grote hoeveelheden authentiek materiaal verloren gegaan. Met name in de periode van ca. 1860 tot 1970 zijn grote hoeveelheden natuursteen vervangen. De katholieke eucharistieviering mocht weer openlijk in de kerk plaatsvinden. De kerk had gedurende ca. 200 jaar geen of nauwelijks onderhoud gehad. Het gebouw moest weer de grandeur van weleer uitstralen. In 1858 werd een grootse restauratie van het exterieur en interieur gestart, die tot 1940 zou duren. Het geheel vervangen van de steen was toen een gangbare wijze van restauratie. Er werden niet of nauwelijks afwegingen gemaakt of blokken hersteld konden worden. Vanaf ca. 1970 tot 1979 werd onder architect Tering en de adviseur natuursteen Slinger de noordbeuk van het schip aangepakt. Tijdens deze restauratie veranderde de restauratiefilosofie en werden meer afgewogen beslissingen genomen met betrekking tot de keuze de blokken te vernieuwen of te repareren. Nog steeds werden grote delen van de zandsteen blokken vervangen in de zwarte basalt-lava. De zandsteen beelden en ornamenten werden hersteld, chemisch behandeld en teruggeplaatst. Deze meer behoudende werkwijze werd in de periode 1980 tot heden steeds consequenter doorgevoerd. Hierdoor werd de toepassing van restauratiemortels steeds belangrijker.

2.1. Toegepaste types restauratiemortels

In de periode vanaf ca. 1970 tot heden zijn verschillende types restauratiemortels toegepast, namelijk:

Periode 1970 tot 1980

In deze periode zijn twee types restauratiemortels algemeen toegepast.

a. Cementmortels

- De cementmortels zijn over het algemeen toegepast op Bentheimer- en Udelfanger zandsteen (figuur 2)
- De cementmortels zijn ook toegepast t.b.v. de reparaties van de zerken en vloertegels van hardsteen, Doornikse steen en Noir de Mazy (figuur 3)
- Tijdens de huidige restauratie is een deel van de cementgebonden reparatiemortels gehandhaafd in combinatie met nieuwe herstellingen, omdat gebleken was dat de reparaties nog in goede staat verkeerden en geen schade aanrichten aan het omliggende zandsteen (Hierdoor kon het oorspronkelijke traceringsblok behouden blijven) (figuur 4).

b. Minéros (hiervan is jammerlijk geen figuur beschikbaar)

Het is bekend dat tijdens de restauratie van de borstwering van de Plebanie op de bovenzijde van de zandsteen afdekkers grote hoeveelheden Minéros (gewapend met koperen schroeven en koperdraad) zijn aangetroffen. Omdat het herstel van de balustrade ook in de jaren 1970 tot 1980 heeft plaatsgevonden is het aannemelijk dat de Minéros reparatiemortel ook voor het herstel van natuursteen van de Sint Jan is toegepast.



Fig. 2: Herstel Udelfanger zandsteen met een harde cementgebonden mortel

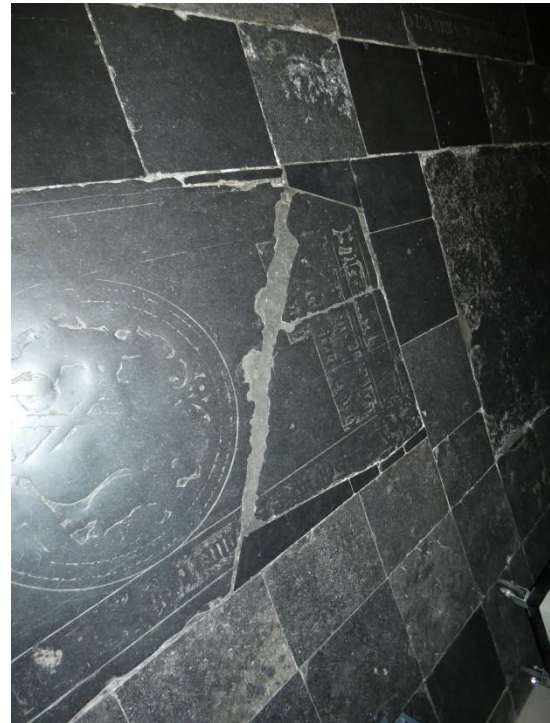


Fig. 3: Reparaties zerk met harde cementgebonden mortel



Fig. 4: Cementgebonden reparatie van balustrade element (periode 1970-1980) vanwege goede kwaliteit besloten tot handhaving. De visuele dissonant van de mortelreparatie werd geaccepteerd omdat deze zich aan de gootzijde van de balustrade bevindt

Periode 1980 tot heden

In deze periode zijn de nieuwe generatie reparatiemortels toegepast nl.:

a. Jahn M70 type zandsteen

Werd tijdens de restauratie 1997 tot heden toegepast voor de reparaties van Bentheimer- en Udelfanger zandsteen (figuur 5 en 6).

b. Jahn M70 type tufsteen

- Het herstellen van tufsteen blokken om goed voegwerk mogelijk te maken en inwatering te voorkomen (figuur 7). Jahn mortels hebben de neiging te ontkleuren. Om dit te voorkomen zijn de mortelreparaties op belangrijke esthetische plaatsen met een mineraalverf ontstoord (figuur 7).
- Het herstellen van tufsteen blokken ten behoeve van het conserveren van de oorspronkelijke reliëfs en hogels met wortelstokken op de luchtbogen, door middel van het IBACH Voltränkung procedé. Omdat Jahn M70 mortel een reparatiemortel welke alleen uit minerale bestanddelen bestaat, is deze mortel bij uitstek geschikt voor reparaties van blokken welke het Voltränkung procedé moeten ondergaan (figuur 8).

c. Jahn M70 type kalksteen

- Deze reparatiemortel is toegepast voor herstellingen aan in hoofdzaak Ledesteen, St. Joire en Euville, kalksteen elementen aan de oostzijde van de kerk (figuur 9 en 10).
- De herstellingen met natuursteenreparatiemortels ter plaatse van het zuidertransept en de zuidbeukgevels van het schip tijdens de restauratieperiode 2010-2011 zijn zeer intensief uitgevoerd. De reparaties met reparatiemortels en het deels vervangen van zeer slechte kalksteenblokken was bedoeld als overbruggingsperiode tot een grootschalige restauratie over ca. 20 jaar.

d. Jahn Kalx (was in de periode rond het jaar 2000 nog in ontwikkeling)

- Tijdens de restauratieperiode 1979-2011 is Jahn Kalx natuursteen reparatiemortel op diverse plaatsen toegepast. Omdat de reparatiemortel nog in ontwikkeling was, deden zich de volgende problemen voor:
 - de hechting op de ondergrond was niet optimaal.
 - de verwerking verliep moeizaam (te nat – te droog).
 - tijdens droging van grotere oppervlakken trad krimp op.
 - bewerken van het oppervlak na droging was erg moeizaam.

Bij de opvolgende generaties van de kalkreparatiemortels zijn bovenstaande problemen niet meer aan de orde. De mortel is vooral geschikt voor zachtere natuursteensoorten als bijvoorbeeld Avendersteen. De Avendersteen komt bij de Sint Jan alleen als restanten ter plaatse de Broederschapskapel voor.



Fig. 5 en 6: Reparaties met reparatiemortels van zandsteen blokken. Duidelijk is de ontkleuring van de Jahn M70 natuursteenherstelmortel zichtbaar



Fig. 7: Reparaties van tufsteen met M70 tufsteen reparatiemortel en ontstoord met mineraalverf



Fig. 8: Reparaties van authentiek tufsteen reliëfblok t.b.v. IBACH Voltränkung procedé



Fig. 9 en 10: Reparaties van kalksteen met M70 kalksteen natuursteenreparatiemortel. De reparaties zijn hier op grond van technische noodzaak uitgevoerd, zodat het voegwerk kan worden aangebracht en de afwatering verzekerd is

2.2. Toepassingscriteria

Welke criteria moet men hanteren om te besluiten of een blok gerepareerd moet worden met een reparatiemortel, dat een blok(je) moet worden ingeschoten of dat men besluit tot volledige vervanging.

Bovenstaande afwegingen vormen bij iedere restauratie c.q. onderhoudsperiode een dilemma. Ook bij de huidige restauratie van de gevels en contraforten van de noordbeuk en kapellen van het schip. Vaak was het gebruikelijk een restauratie cyclus van 50 jaar te hanteren. Dit leidde ertoe dat blokken die, door plaatselijke reparaties, ca. 20 tot 30 jaar meekonden vervangen werden. De discussies die plaatsvinden op de steiger met betrekking tot handhaven en repareren of vervangen zijn tegenwoordig meer afgewogen en worden niet meer alleen op een resterende levensduur van 50 jaar afgewogen. Het accent is veel meer komen te liggen op het zoveel mogelijk handhaven van bestaand werk. Het is moeilijk vast te stellen wat de grens is met betrekking tot repareren met een reparatiemortel, het handhaven van oude reparaties en het inschieten of het aanhelen van natuursteen blokjes of het volledig vervangen van het blok. Veelal moet deze beslissingen genomen worden op basis van ervaring. Van groot belang bij de afweging van de toepassing van reparatiemortels is:

- dat de reparatie moet bijdragen aan een goede technische staat van het betreffende blok.
- dat de reparatie moet bijdragen aan een goede technische staat van het omliggende voegwerk, waardoor schade aan het blok en het voegwerk en blokken in de directie omgeving wordt voorkomen (figuur 9 en 10).

3. Toepassing van reparatiemortels bij de Grote of O.L.V. kerk te Breda

De Grote of O.L.V. kerk te Breda is tijdens de reformatie (midden 16^e eeuw) in handen gekomen van de Hervormde Gemeente. In tegenstelling tot de St. Janskathedraal te 's Hertogenbosch, is de Grote kerk tot heden ten dage in handen gebleven van de Hervormde Gemeente. De kerk is door de reformatie niet meer afgebouwd. Dit betrof in hoofdzaak de balustrades, wimbergen van de balustrades, de pinakels en de heilige beelden die in de nissen van de baldakijns ontbreken. De Hervormde gemeente vormde een kleine enclave in het overwegend katholieke Breda. Het onderhoud en in stand houden van de kerk was dan ook een moeizaam proces. De kerk raakte sterk in verval en dit leidde ertoe dat de kerk in de periode 1908- 1968 een grote restauratie onderging. Hierbij zijn grote hoeveelheden authentiek materiaal verloren gegaan. Wat betreft het natuursteen van het interieur is men

behouder geweest. Hier betreft het in hoofdzaak de kerkvloer en het herstel van epitafen en grafmonumenten. Ook hier heeft men ervoor gekozen alle natuursteen, welke als slecht werd beoordeeld, geheel te vervangen. Als vervangingssteen kwamen verschillende natuursteensoorten in aanmerking nl.

- Bestaande oorspronkelijke soorten:
 - Brusselse steen (een zandige kalksteen).
 - Ledesteen (een zandige kalksteen).
- Nieuw toegepaste kalksteensoorten.
 - Franse kalksteen soorten als: St. Joire, Euville en Coutarnoux

Tijdens de restauratie in de periode 1993-1997 zijn ook enkele nieuwe natuursteensoorten geïntroduceerd nl.

- Portlandstone.(afkomstig van het Engelse schiereiland Portland).
- Tepla trachiet afkomstig uit Tsjechië.

Van de toegepaste Franse kalksteen steen uit de periode 1908-1968 was vooral de steen uit de periode 1914-1940 matig van kwaliteit. Goede natuursteen was als gevolg van de Eerste Wereldoorlog en de daarop volgende Wederopbouw in België en Frankrijk moeizaam verkrijgbaar. Men kocht restpartijen op en klaagde over de matige kwaliteit van de steen. Tijdens opnames in 1993 door architectenburo v. Stigt bleek dat zowel het exterieur en het interieur toe waren aan een grote restauratiebeurt.

3.1. Toegepaste types restauratiemortels

In de periode 1908-1968 zijn reparatiemortels vrijwel niet toegepast. Tijdens de restauratieperiode 1993-1997 werden restauratiemortels zeer intensief toegepast.

Periode 1993 tot 1997

In deze periode zijn twee types restauratiemortels algemeen toegepast.

a. Unilit

Omdat het exterieur en interieur, met uitzondering van de kerkvloer, van de kerk voornamelijk uit kalksteen blokken bestaat, is gekozen voor Unilit natuursteen- reparatiemortel als universeel toe te passen reparatiemortel (figuur 11 en 12 exterieur en figuur 13 interieur).

b. Akepox 2030

De vloeren van de Grote kerk bestaan uit verschillende soorten natuursteen nl.

- De vloeren van het middenschip, viering, koor, beuken van het schip en koor, Niervaart kapel en de kooromgang bestaan met uitzondering van enkele zerken van Ledesteen uit donkere kalksteensoorten als, hardsteen, Doornikse steen en Noir de Mazy.
- De vloeren van de noord- en zuidkapellen van het schip, de doopkapel, de heilige grafkapel en de Prinsenkapel zijn gelegd in een dambord patroon van tegels van Ledesteen en Noir de Mazy (ca. 200x200mm) (figuur 14).



Fig. 11: Oppervlakteherstel Monulit natuursteen-Reparatiemortel. Door de vlakken volledig te vullen is men doorgeschoten in de toepassing van reparatiemortel. Het Monulit oppervlak vertoont na 20 jaar nog geen vertering



Fig. 12: Conserveren en modelleren hogel wimberg



Fig. 13: Reparaties met Monulit kalksteen reparatiemortel



Fig. 14: Ledesteen tegels i.c.m Noir de Mazy (dambordpatroon)



Fig. 15 en 16: Reparatie van zerken van Doornikse steen De randen van de steen schilferen af waardoor de verwerking van de stenen sneller toeneemt

3.2. Toepassingscriteria

De vraag stelt zich welke criteria men moet hanteren om te besluiten of een blok gerepareerd moet worden met een reparatiemortel, of een blok(je) moet worden ingeschoten, of dat men besluit tot volledige vervanging.

Bovenstaande afwegingen vormen bij iedere restauratie c.q. onderhoudsperiode een dilemma. Bij de restauratie van de natuursteen van interieur en exterieur speelden bovenstaande afwegingen geen overheersende rol.

Vanwege het beperkte restauratiebudget was afgesproken zoveel mogelijk conserverend te restaureren. Dat betekende automatisch dat het vervangen van blokken alleen zou plaatsvinden als dit niet anders kon, bv. bij gevaar voor de omgeving (De grote pinakels en kruisbloemen op de balustraden). Alle overige natuursteen blokken dienden zoveel mogelijk conserverend gerestaureerd te worden. Dat wil zeggen alleen plaatselijk repareren door middel van mortelreparaties en/of het plaatselijk inschieten van natuursteen blokjes. Van belang was dat het exterieur wind- en waterdicht gehouden kon worden en verder verval voor de komende 20 jaar werd stilgezet. Voor de binnenzijde gold voor de natuursteen van het casco, met uitzondering van de vloeren, hetzelfde. Dit betekende dat de mortelreparaties de voorkeur genoten boven het inschieten van blokken. Dit leidde soms tot onwenselijke herstellingen (figuur 11). Het beeldhouwwerk werd met de reparatiemortel opnieuw gemodelleerd (als het ware voorzien van een 2^e huid). Deels uit esthetische overwegingen omdat m.n. de hogels van de wimbergen sterk achteruit gingen waardoor de hogels op korte termijn verwijderd moeten worden. Dit betekende dat het aanzicht van de kerk sterk verarmde (figuur 12).

Het interieur van de kerk werd volledig aangepakt. De vloeren werden uitgenomen. De vloer van het middenschip die in 1968 verhoogd met nieuwe hardsteen tegels werd aangebracht, werd incl. de betonnen ondervloer verwijderd. De gehele vloer werd opnieuw (reversibel) gelegd volgens het legpatroon van 1824 (laatst bekende betrouwbare inventarisatie). De zerken en tegels werden hersteld met Akepox 2030 reparatiemortel. De randen van de Doornikse zerken en tegels werden dicht gezet en gefixeerd om verdere degeneratie van de steen te voorkomen. Kapotte zerken en tegels werden gelijmd en de lagunes gevuld met de

reparatiemortel. Voor iedere zerk en tegel werden aparte mortelsamenstellingen aangemaakt om de bestaande zerk zoveel mogelijk te benaderen. In de loop der jaren is de epoxymortel verkleurd zodat het verschil tussen de oorspronkelijke steen en de reparatiemortel zich nu aftekent (figuur 15 en 16). Destijds heeft men voor een epoxymortel gekozen in plaats van voor een minerale mortel omdat ten behoeve van de exploitatie van de kerk een slijtvaste duurzame afwerking nodig was. De duurzaamheid van de reparatiemortel is gebleken. De reparaties vertonen vrijwel negens slijtage of mechanische schade.

4. Voor- en nadelen

De toepassing van natuursteenreparatiemortels heeft zowel voor- als nadelen.

Voordelen:

- Aankoop en verwerking goedkoper dan inschieten van blok of vervangen van de steen.
- De verwerking van de natuursteen reparatiemortels is eenvoudiger dan het vervangen van de natuursteen.
- Het oppervlak van een natuursteen reparatiemortel laat zich gemakkelijk bewerken c.q. modelleren.
- Bij de verwerking van de natuursteen reparatie mortel wordt geen of slechts een fractie het oorspronkelijke materiaal opgeofferd.
- Reparatiemortels op basis van epoxy zijn zeer sterk en slijtvast.

Nadelen:

- De aanhechting aan het oppervlak is vaak matig, waardoor verankeringen moeten worden aangebracht.
- De levensduur van de mortelreparatie is beperkt.
- Omdat de mortel een samenstelling van bindmiddel, vulmiddel en pigmenten is, kunnen problemen optreden zoals ontkleuring, waardoor de mortelreparatie een dissonant in het beeld van het gebouw wordt.
- De mortels patineren niet mee of patineren anders dan het oppervlak van de steen waarop de mortel is aangebracht.
- De natuursteen reparatiemortel kan een ander vochthuishouding hebben dan de natuursteen waardoor verkleuringen optreden.

STEENHERSTEL: MOGELIJKHEDEN EN RESTRICTIES

**Delphine Vandevoorde
Rephine Stoneworks**

1. Inleiding

Natuursteen wordt van oudsher gebruikt voor het oprichten van gebouwen tot het sculpteren van beelden. Dit komt voornamelijk omwille van het duurzame en onvergankelijke karakter van natuursteen. Echter, niets is eeuwig durend en ook natuursteen verweert. De oorzaken van deze verwerking zijn erg divers en de verweringsprocessen kunnen zowel biologisch, fysisch als chemisch van aard zijn. En de herstellmogelijkheden voor verweerde stenen zijn op zijn minst even divers. Daarom wil deze paper een overzicht geven van technieken en materialen voor steenherstel, en dit specifiek vanuit de praktijk bekeken. Hierbij is deze praktijk gebaseerd op soms (eeuwenoude) kennis omtrent de materialen, materiaal-technisch wetenschappelijk onderzoek en praktijkervaring.

Omdat steenherstel een erg breed begrip is, zal deze paper zich beperken tot het steenherstel van natuursteen, in België gebruikt, in gebouwen en monumenten. Deze paper richt zich tot alle actoren (architecten, bouwheren, instanties zoals onroerend erfgoed,...) die in hun dagelijkse praktijk geconfronteerd worden met verweerde natuursteen en de vraag tot herstel. Deze paper is niet gericht op het voeren van een vakgespecialiseerde dialoog tussen steenrestauratoren onderling. Voor het restaureren van natuurstenen beeldhouwwerken of natuurstenen elementen met erfgoedwaarde worden namelijk vanuit de E.C.C.O. Professional Guidelines zeer specifieke deontologische en materiaal-technische eisen opgelegd die een gespecialiseerde aanpak vereisen. Voor de behandeling van dergelijke kunstvoorwerpen wordt de uitvoering door een gediplomeerde restaurator vereist, die vanuit zijn opleiding reeds getraind is in het selecteren van de meest optimale behandeling en materiaal. Niettegenstaande dit een zeer interessante dialoog is, wordt dit aspect van steenherstel hier buiten beschouwing gelaten.

Deze paper beperkt zich tevens tot steenherstel van de in Vlaanderen meest frequent gebruikte natuursteensoorten (Ledesteen, Gobertange, blauwe hardsteen, Avesnessteen, Savonnièressteen, Euville,...). Steenherstel wordt beschreven vanuit de ervaring van een steenrestaurator die voornamelijk actief is in Vlaanderen en met een slechts beperkte ervaring in steenherstel van steensoorten die meer frequent in Nederland voorkomen (Bentheimer, Tufsteen, ...).

Wanneer steenherstel aan de orde is, dienen in eerste instantie het schadepatroon, de mogelijke schadeoorzaken en de vereisten voor de restauratie vastgelegd te worden. Enkel op basis daarvan kan een geschikte restauratiebehandeling bepaald worden. Deze paper is op dezelfde manier gestructureerd. Eerst zal de analyse van het schadepatroon en de schadeoorzaken besproken worden. Daarna zullen de mogelijke restauratiebehandelingen overlopen worden met elk hun mogelijkheden en restricties. Ten derde zal een case study van de restauratie van de kapel Onze Lieve Vrouw Troost Ter Warande te Sint-Kruis Winkel aangewend worden ter illustratie.

2. Steenverwerking: steensoort, schadepatronen en -oorzaken, vereisten

Om een zo duurzaam mogelijke restauratie te bekomen dient de oplossing materiaal-technisch zo compatibel mogelijk te zijn met de originele steen, aangepast te zijn aan de schadeoorzaak en te voldoen aan vereisten op zowel materiaal-technisch vlak als op esthetisch vlak. Het uitgangspunt voor restauratie is dat het vrijwaren van het originele materiaal tegen beschadiging steeds primeert ten opzichte van nieuw toegevoegd materiaal.

2.1. Identificatie steensoort

Hoe compatibeler het bijgevoegde materiaal ten opzichte van het originele, hoe kleiner de impact van het ene materiaal op het andere zal zijn en hoe beter de symbiose tussen beide materialen en hoe duurzamer de restauratie. We denken hier aan factoren zoals hardheid, elasticiteit, permeabiliteit, watertransport,... Indien bijvoorbeeld een harde en weinig poreuze mortel op een zachte poreuze steen wordt toegepast, zullen door de materiaal-technische verschillen de materialen anders gaan reageren, zal er spanning tussen beide ontstaan, zal er verdere verwerking van de steen onder de mortel plaatsvinden en zal op termijn de mortel afgestoten worden of zal de steen (versneld) worden aangetast. Om dit te voorkomen is een **goede kennis van de te restaureren steen** vereist en dient in eerste instantie de vraag gesteld te worden met welke steensoort men te maken heeft. Identificatie van de meest courante steensoorten is op zich niet moeilijk. In België zijn de meest voorkomende steensoorten Blauwe hardsteen, Ledesteen, Gobertange, Massangis, Savonnières, Euvilles, Saint Maximin, Avesnessteen,... Voor typische kenmerken, tips en 'trics' voor identificatie, eigenschappen,...wordt naar naslagwerken zoals Gent...Steengoed!, Natuursteen in Vlaanderen, Natuursteen in Limburg,... verwezen (cf. referentielijst). Een andere optie is de steen te laten identificeren door hierin gespecialiseerde instanties. Afhankelijk van de complexiteit kost een steenidentificatie gemiddeld enkele honderden euro. Het identificeren of het op zijn minst situeren van de steensoort is belangrijk omdat de typische materiaal-technische kenmerken van deze steensoort bepalend zullen zijn voor de keuze van de restauratiebehandeling.

2.2. Schadefenomenen

Ten tweede dient de **schade aan de steen** geregistreerd te worden. Is de steen gebroken, gebarsten, schilfert deze af, is er granulaire decohesie, ... De ICOMOS ISCS Illustrated Glossary on stone deterioration patterns geeft een gestructureerd overzicht van mogelijke schadefenomenen met hun specifieke benaming (Gratis te downloaden op <http://iscs.icomos.org/glossary.html>) en kan hiervoor een leidraad vormen. Hiervoor kan ook de schade-atlas van het MDCS systeem gebruikt worden (vrij te gebruiken in het Nederlands en het Engels op <https://mdcs.monumentenkenis.nl/damageatlas>).

Eens de schade in kaart gebracht is, dient de schadeoorzaak achterhaald te worden. Is er een steenblok van een mindere kwaliteit gebruikt, is het door de opstelling in het gebouw, is de schade te wijten aan een lekkende dakgoot, aan een vroegere behandeling van de steen, ...? Het wegnemen van de schadeoorzaak is primordiaal alvorens aan het steenherstel te beginnen. Indien dit niet mogelijk is, dient dit bij de keuze van de behandeling mee in rekening gebracht te worden.

2.3. Vereisten

Ten derde moet men zich afvragen welke de vereisten voor de behandeling zijn. Welke schade is nefast voor het behoud van de steen, welke schade is niet nefast maar werkt esthetisch storend, tot welke graad van afwerking wenst men te gaan, zullen nog andere behandelingen zoals schilderen volgen,...? Deze vereisten kaderen binnen de restauratievisie van het volledige gebouw of monument.

Kortom, in eerste instantie dient voldoende tijd genomen te worden om het geheel grondig ter plaatse te analyseren. Welke is de steensoort, welke is de schade en wat is de schadeoorzaak, kan de oorzaak weggenomen worden en wat zijn de vereisten voor de restauratie. Eens dit duidelijk in kaart gebracht is volgt daar bijna automatisch een gefundeerde en duurzame restauratiebehandeling uit. Het probleem is echter dat deze analyse meestal pas kan gemaakt worden wanneer de werken reeds in uitvoering zijn en het

gebouw of monument in de stellingen staat en eventueel ontmanteld is, maar dat deze kennis bij het opstellen van het bestek meestal nog niet voldoende gekend is.

3. Restauratieopties

In dit hoofdstuk zal dieper ingegaan worden de verschillende restauratieopties, gaande van meest ingrijpend naar minst ingrijpend op het originele materiaal. Voor elke optie zal besproken worden wanneer deze kan toegepast worden, met welk materiaal en wat de technische vereisten van de uitvoering zijn. Betreffende de technische uitvoering wordt verwezen naar de Opleiding restauratie vakman moderne bouwchemie, Module Natuur- en baksteenherstel van het VIOE als basis. De technische uitvoering hieronder beschreven spitst zich toe op vaak voorkomende praktische problemen in de praktijk.

3.1. Steenvervanging

Wanneer

Wanneer een steen te erg beschadigd is of reeds van oorsprong van slechte kwaliteit is, bestaat soms geen andere optie dan deze te vervangen. Dit komt omdat de steen in te slechte staat is waardoor er geen duurzame restauratie meer gegarandeerd kan worden of omdat de steen een bedreiging vormt inzake veiligheid (stabiliteit van de constructie, gevaar voor vallende brokstukken, ...).

Materiaalkeuze

Materiaal-technische compatibiliteit is vereist omdat de steen deel uitmaakt van een groter geheel. Hierbij zullen de vereisten zoals watertransport, thermische uitzettingscoëfficiënt, elasticiteit, kleur, manier van verweren, ... van het geheel bepalend zijn. Voor de keuze van een compatibele vervangsteen geldt in vele gevallen het principe dat de steen door dezelfde steensoort kan vervangen worden, dit omdat deze in de meeste gevallen nog beschikbaar is. Indien dit niet het geval is, is het kiezen van een geschikte steensoort niet altijd eenvoudig. Daarom is identificatie van de originele steensoort en het inwinnen van advies bij hierin gespecialiseerde instanties aan te raden. Dit kan bij het KIKIRPA, universiteiten (Bv. UGent, Geologie PProGress groep) of onafhankelijke onderzoekslabo's. Afhankelijk van de situatie en de steensoort kost een dergelijke identificatie met advies tussen een paar honderd euro tot maximaal 1000 euro en is dit financieel meestal geen aderlating binnen een groter project.

Het kiezen van een vervangsteen is een problematiek die vooral bij Ledesteen of Balegemse steen speelt, daar de ontginning van nieuwe Ledesteen beperkt is. De Kock T. bespreekt in zijn onderzoek dat sinds het einde van de 19^e eeuw de steensoort op regelmatige basis vervangen is. In de vervangreeks zien we soms nieuwe of recuperatie Ledesteen. Toch is de steen zowel in Vlaanderen als in Nederland ook op grote schaal vervangen door buitenlandse steensoorten (zie bv. Quist et al. 2013, De Kock et al. 2014). Rond de 19^e-20^e eeuwwisseling waren poreuze witstenen uit Frankrijk erg in trek als vervangsteen of aanvullende nieuwbouwsteen, o.m. de oölitische en bioklastische kalkstenen uit de Lorrainestreek met o.a. St. Joire, Reffroy, Savonnières en Euville. In de eerste helft van de 20^e eeuw infiltreerde ook de steen uit Massangis en Coutarnoux dit marktsegment. Terwijl de vervanging van Ledesteen in België evolueert naar een bijna exclusief gebruik van Massangis, lijkt de Nederlandse markt zich verder gediversifieerd te hebben met invloeden uit Duitsland en Engeland. De afgelopen decennia wordt de keuze voor het vervangmateriaal standvastiger in vraag gesteld en wordt de situatie meer projectmatig beoordeeld. Hierbij komen ook andere stenen terug in het daglicht die meer geologische affiniteit vertonen met de Ledesteen, zoals de St Maximin en varianten uit het Île de France.

Een vaak voorkomend voorbeeld van een niet altijd compatibele keuze is het gebruik van Massangis Roche Jaune (Claire) als vervangsteen. Dit is kwalitatief een zeer goede en

duurzame steen voor buiten gebruik en dit vormt een veilige keuze. Maar indien de originele steen een zwakkere kalksteensoort is (bv. Savonnières, Avesnes,...) heeft het geen zin een hardere, beter bestende steen in een zachter, fragieler geheel te gaan voegen. De Massangis zal niet bijdragen tot de sterkte van de fragielere constructie en zal niet mee verweren en er op termijn visueel uitspringen. Er dient rekening mee gehouden te worden dat de originele omringende steen verder zal verweren en het vervangen van enkele steenblokken met betere fysische eigenschappen geen meerwaarde geeft. Men kiest beter voor een zachtere steen die meer compatibel is en samen met het geheel op termijn gaat verweren.

Technische uitvoering

Wanneer men een steen gaat vervangen kan dit door deze in te metsen of deze in het geheel te gaan verlijmen. Wanneer men deze verlijmt is het van belang deze steeds met rvs-doken aan het geheel te verankeren. Een bijkomend advies is om minstens twee verschillende lijmsoorten te gaan gebruiken. Indien één van de twee lijmsoorten faalt, al dan niet op termijn, biedt de tweede lijmsoort nog veiligheid. Lijmsoorten die gecombineerd kunnen worden zijn bv. chemisch anker voor de doken en epoxy voor de breukvlakken, epoxy voor de breukvlakken en en PU lijm aan het oppervlak om vergeling te voorkomen,... In veel gevallen wordt gebruik gemaakt van chemisch anker. Deze lijm is ontworpen voor een snelle verlijming van rvs-doken of verankeringen in steen, maar is niet ontworpen om steen aan steen te verlijmen. Deze is hiervoor te hard en te bros en wordt tijdens uitharding te warm, hetgeen kan leiden tot het falen van de verlijming. Aangezien dit een heel makkelijk en snel product is voor verlijming met een grijze kleur wordt dit product vaak verkeerd toegepast voor verlijming van steen op steen of zelfs voor het opvullen van lacunes of voegen.

3.2. Inzetstukken (bouchons)

Wanneer

Er wordt voor integratie van stenen inzetstukken in de originele steen geopteerd wanneer de steen nog in goede staat is, maar er lokaal lacunes of verzwakte delen zijn. Het gebruik van een inzetstuk is aangewezen wanneer de lacune te groot is voor herstel met een mortel, wanneer een meer duurzame oplossing gewenst is dan steenherstelmortels of in geval van bv. overhangende delen die moeilijk aan te zetten zijn in mortel.

Materiaalkeuze

Hierbij gelden dezelfde principes als voor steenvervanging. De steenkeuze voor het inzetstuk dient zo gelijkend of compatibel mogelijk te zijn met de originele steen. In veel gevallen kunnen stenen die vervangen worden binnen eenzelfde project opnieuw gebruikt worden om inzetstukken uit te halen.

Technische uitvoering

Voor het invoegen van een inzetstuk gaat men de lacunes uitzagen tot op de gezonde steen. Hierbij kan gekozen worden om deze recht op recht uit te zagen, of deze eerder met een organische vorm uit te zagen die de lacune volgt. Het inzetstuk wordt in dezelfde vorm uitgezaagd. Soms wordt het inzetstuk iets groter gemaakt aan het oppervlak, waarbij deze gelijk met het oppervlak geschuurd wordt na verlijming. Indien mogelijk dient het inzetstuk steeds verankerd te zijn aan de originele steen met een rvs-dook. De verlijming van het inzetstuk staat momenteel vaak ter discussie. Voor de verlijming wordt het inzetstuk meestal volledig ingelijmd met een steenkleurige epoxy. De overtollige epoxy aan de voeg wordt dan samen met de steen tot op niveau geschuurd na uitharding van de lijm. Dit zorgt ervoor dat de voeg tussen de steen en het inzetstuk onmiddellijk opgevuld is. Het nadeel van deze techniek echter is dat de epoxyvoeg een barrière voor vochttransport gaat vormen. Dit kan leiden tot het ontstaan van vorstschade in de steen langs de voeg en het loskomen van het

inzetstuk op termijn. Vaak is dit esthetisch ook niet de meest geschikte oplossing. De epoxy heeft nooit dezelfde kleur en hetzelfde aspect als de steen. Op termijn kan de epoxy vergelen en zal deze ook niet mee vervuilen en verweren met de steen. Hierdoor zal deze steeds sterker zichtbaar worden. Een alternatief voor deze manier van verlijmen is het inlijmen van de doek met een chemisch anker, het verlijmen van het inzetstuk met enkele dotten epoxy die niet tot aan het oppervlak uitpuilen en het aanvoegen van de voegnaad rond het inzetstuk met een op kleur gebrachte kalkmortel, waarbij de kalkmortel zo ver mogelijk in de diepte geïnjecteerd wordt. Dit is zowel materiaal-technisch als esthetisch meer compatibel en duurzamer. Echter, dit vereist meer handelingen.

3.3. Mortels

Wanneer

Steenherstmortels worden toegepast voor het herstel van kleinere lacunes of ontbrekende delen, al dan niet rond breuknaden, op een steen met een goede conservatiestaat. Algemeen kan gesteld worden dat steenherstel met mortels minder duurzaam is dan het gebruik van inzetstukken of steenvervanging en dat de levensduur ervan, afhankelijk van de situatie, beperkt is. Dit werd waargenomen door het WTCB op plaatsbezoeken van werven vanaf een 10 jaar na datum van de ingreep.

Materialen

De meest voorkomende mortels zijn cementgebonden, kalkgebonden, kant en klare mortels op basis van kalk, zinkoxide mortels ('minerale mortel') en kunstharsgebonden mortels (op basis van epoxy, PU-lijm,...). Elk van deze mortels heeft zijn specifiek toepassingsgebied met voor- en nadelen, mogelijkheden en restricties. Hieronder zal getracht worden de mortels op deze verschillende vlakken met elkaar te vergelijken.

a. Cementmortel

Cementmortel heeft door zijn snelle uitharding sinds zijn ontstaan het gebruik van kalkmortels en de kennis hieromtrent stilletjes verdreven. In sommige gevallen kan het gebruik van een cementmortel voor steenherstel geschikt zijn, zoals bv. voor herstel van een kunststeen op basis van cement of herstel van blauwe hardsteen¹, maar toevoeging van een zekere hoeveelheid kalk is hierbij steeds favorabel. Voor steenherstel van zachtere natuursteensoorten is het gebruik van cement niet aangewezen en dit omwille van volgende redenen:

- cement is in de meeste gevallen te sterk en hard ten opzichte van de originele steen
- cement is weinig elastisch en flexibel om bewegingen of zettingen van de natuursteen op te vangen
- cement is weinig poreus en dampdoorlatend, waardoor het vocht in de steen kan gaan vasthouden
- de aanwezigheid van sulfaten in de steen kan met het aluminaat uit het cement leiden tot de vorming van zwellende verbindingen (zoals ettringiet)

In veel gevallen leiden deze factoren tot het verzwakken van de steen onder de uitgeharde cementmortel en het loskomen van de herstelling met beschadiging van de onderliggende

1 Blauwe hardsteen of petit granit is bij natuursteenherstel een buitenbeentje. Door zijn hardheid en lage porositeit kent deze een specifiek gebruik in sterk belaste zones (plinten, trappen, dorpels,..). Ook de kleur is zeer specifiek. Hierdoor stelt deze steensoort andere vereisten bij natuursteenherstel. Zo kan hier bv. wel cement aangewend worden met toevoeging van granulaat van blauwe hardsteen, is toevoeging van harsdispersies wel aangewezen, maar zijn zinkoxide mortels minder aangewezen door de donkere aftekening van chloriden rond de aanvulling bij vochtig weer. Steenherstel van blauwe hardsteen is quasi een topic op zich, waardoor er in deze paper niet verder op ingegaan zal worden.

steen tot gevolg. Voor zwaar vochtbelaste delen zoals bv. in kelders kan het gebruik van een kalktrasmortel een goed alternatief bieden.



Fig. 1: Steenherstel van Avesnessteen door overpleistering met cementmortel. Loskomen van de mortel en verwerking van de steen achter de mortel

b. Kalkmortel

Een kalkmortel bestaat uit kalk als bindmiddel en zand (of steengruis) als granulaat. De kalk kan luchtkalk zijn (hardt uit door carbonatatie onder invloed van CO_2) of hydraulische kalk (hardt uit door zowel carbonatatie als hydratatie onder invloed van H_2O). Verder kunnen puzzolanen, pigmenten en andere toeslagstoffen bijgevoegd worden, maar hier zal niet verder op ingegaan worden. In sommige gevallen worden synthetische stoffen zoals een harsdispersie toegevoegd.

Technische uitvoering

Aanmaak

De basis van het recept voor kalkmortel is 1 deel hydraulische kalk: 2 à 3 delen zand of 1 deel luchtkalk (vette kalk): 3 à 4 delen zand. In een buitensituatie en voor grotere invullingen wordt hydraulische kalk gebruikt, al dan niet met een toevoeging van luchtkalk. Belangrijk is om steeds zuivere natuurlijke hydraulische kalk te gaan gebruiken zonder toevoegingen (bv. St. Astier, Boehm, Wasselone,...) die correct en droog bewaard werd. De kalksoort en het type kan gekozen worden in functie van zijn hardheid (hydrauliciteit NHL) of in functie van het gewenste kleur. Qua zand kan een goed compacterend rijnzand, lommelzand, geel zand, ... gebruikt worden. Wit zand en duinzand zijn minder geschikt (zouten). Ook dit dient geselecteerd te worden in functie van de toepassing. Kalk en zand worden droog samengevoegd en gemengd. Daarna wordt het water toegevoegd en dient de specie langdurig (min 20 min) gemengd te worden tot een homogene massa. Hoe langer de mortel gemengd wordt, hoe plastischer. De hoeveelheid water is ook afhankelijk van de toepassing. De mortel is ongeveer 4 uur optimaal verwerkbaar. In sommige gevallen kan een harsdispersie in de mortel toegevoegd worden. Dit verhoogt de plasticiteit en het aanheven van de mortel en zorgt voor een snellere uitharding. Echter, in een uitgeharde mortel zorgt dit voor een veel hogere hardheid en verlaagde water(damp)doorlaatbaarheid. Het heeft dus voordelen bij de verwerking, maar niet zozeer een positieve invloed op de uitgeharde mortelsamenstelling.

Voorbereiding

Gebruik van een kalkmortel vereist meer voor- en nazorg dan gebruik van zinkoxide of kunstharsgebonden mortels. Het draagvlak van de steen moet in goede staat, proper, en stofvrij zijn. In sommige gevallen is het noodzakelijk om de steen eerst te gaan consolideren met steenversteviger. Het nadeel hierbij is dat de solventen van de steenversteviger de steen tijdelijk waterafstotend maken. Er dient gewacht te worden tot dit neveneffect verdwenen is alvorens kalkmortel kan aangebracht worden om te voorkomen dat de mortel door het waterafstotende effect niet goed aanhecht. Bij grotere lacunes dienen rvs verankeringsstaven in het oppervlak aangebracht te worden als bijkomende verankering van de mortelmassa aan de steen. Het gebruik van rvs-draad als netwerk tussen de verankeringsstaven is bij kalkmortel af te raden. Ervaring leert dat dit het stevig aandrukken van de mortel tegen de steen verhindert en de mortel kan doorsnijden bij het zich zetten van de mortel bij droging. Uitgebreid onderzoek naar de invloed van verankeringsmateriaal en de keuze van de meest geschikte verankering bij verschillende mortels ontbreekt echter. Om te voorkomen dat de steen te veel water uit de mortel opzuigt bij het aanbrengen en de hechting door uitdroging verbroken wordt, dient de steen grondig bevochtigd te worden met water alvorens de mortel aan te brengen.

Aanbrengen

Om een te snelle uitdroging aan het breukvlak te voorkomen zal eerst een aanbrandlaag aangebracht worden. Dit is een laag van enkele mm van dezelfde kalkmortel maar in meer vloeibare vorm. Eens de aanbrandlaag ietwat aangetrokken is kan nat in nat de kalkmortel aangemodelleerd worden. Hoe droger de mortel, hoe geringer de krimp zal zijn bij droging en hoe kleiner de kans op krimpscheuren. Indien tijdens de droging krimpscheuren zouden optreden kunnen deze in die fase nog makkelijk dichtgezet worden. De mortel kan ruim aangebracht worden en tegen het einde van de dag kan de mortel eenvoudig in vorm gesneden worden. Na een eerste droging kan de mortel ook in vorm geschuurd worden, dit nog tot makkelijk twee weken na het aanbrengen. Op dat moment is de mortel nog erg zacht en kost dit geen enkele moeite. Het aanbrengen van kalkmortel vereist wel de nodige ervaring van de uitvoerder. Het kleeft niet zomaar aan het oppervlak. Indien de mortel niet correct is aangebracht valt deze er tijdens droging terug af. Maar eens gedroogd kan men zeker zijn van een goede aanhechting. Met kalkmortel kunnen ook geen te grote volumes in één keer aangezet worden. Na de eerste droging dient de bovenste film op de mortel afgehaald te worden en kan na bevochtiging verder mortel aangezet worden.

Nazorg

Na de eerste drogingsfase begint de uitharding door carbonatatie en hydratatie. Om de hydratatie te bevorderen is het frequent licht bevochtigen van de mortel aangewezen.

Voordelen

Kalkmortels hebben een aantal zeer positieve materiaaleigenschappen ten gunste van de compatibiliteit met de natuursteen:

- hoge elasticiteit en vervormingscapaciteit. Kunnen vervormingen opvangen zonder te scheuren.
- zelfherstellend vermogen. Niet gecarbonateerde kalk is oplosbaar in water en kan doorheen de mortel migreren, zich in scheuren afzetten en deze bij uitharding dichten.
- hoge waterdampdoorlaatbaarheid en compatibele hygrische eigenschappen (d.i. waterabsorptie en drooggedrag ten gevolge van een compatibele porie-grootteverdeling en totale porositeit) tussen steen en mortel. Het water kan van de steen naar de mortel migreren zodat verweringsprocessen in de mortel zullen plaatsvinden. Zelfopofferend karakter ten opzichte van de steen.
- zachter dan een cementmortel.
- mineralogisch sterk gelijkende samenstelling als natuursteen. In combinatie met de compatibele hygrische eigenschappen leidt dit tot een gelijklopende vervuiling en

verwerking waardoor de invullingen op termijn esthetisch in het geheel geïntegreerd blijven.

- volledig op maat aan te passen volgens de materiaal-technische en esthetische eigenschappen van de originele steen
- Goedkoop: +/- 0,25 à 0,50 euro/dm³.

Nadelen

- Kennis van het materiaal en ervaring zijn vereist van de uitvoerder
- Lange uithardingsperiode
- vorstgevoelig. De mortel dient aangebracht te worden ten laatste 40 dagen voordat de vorst zou kunnen opkomen.
- Intensievere voor- en nazorg.

c. Zinkoxide mortels

Zinkoxide mortels bestaan uit twee componenten, het zinkoxide poeder waaraan gemalen natuursteen en pigmenten zijn toegevoegd en de zinkchloride vloeistof. Wanneer beiden bijeen gemengd worden verhardt dit tot een vaste mortel na ongeveer 10 min. De mortel bestaat voorgemengd in standaardtypes voor de meest courante natuurstenen, maar kan op vraag ook op basis van een steenstaal aangepast worden.

Aanmaak

Het poeder en de vloeistof dienen in verhouding (afhankelijk van de fabrikant) gemengd te worden en direct aangebracht te worden. Door de snelle uitharding dienen steeds opnieuw kleine hoeveelheden gemengd te worden. Het is aan te raden handschoenen en een stofmasker te gebruiken omdat de liquide bijtend is en het fijne stof dat vrijkomt bij het mengen irritatie van de luchtwegen kan veroorzaken.

Vorbereiding

Ondergrond dient in goede staat te zijn, proper, en stofvrij. Indien de steen eerst geconsolideerd werd, heeft het waterafstotende neveneffect hier in mindere mate een invloed omdat dit geen watergedragen mortel is. Het is echter wel aan te raden te wachten tot de steenversteving voldoende uitgehard is, hetgeen minstens drie weken duurt, omdat er geen aanvullingen op een verzwakt oppervlak kunnen aangehecht worden. Bij grotere lacunes dienen rvs verankeringstaven in het oppervlak aangebracht te worden als bijkomende verankering. Tussen de verankeringstaven kan rvs-draad als netwerk verweven worden. Omdat zinkoxide mortel wel aan metaal kleeft, hecht de mortel zich op dat netwerk vast. In geval van een poreuze steen dient het oppervlak bevochtigd te worden met de zinkchloride vloeistof alvorens de mortel aan te brengen.

Aanbrengen

Het aanbrengen dient snel te gebeuren. Het voordeel van de snelle uitharding is dat grotere volumes op een kortere termijn stapsgewijs kunnen opgebouwd worden. Het aanbrengen kan tot iets boven niveau gebeuren, waarna de mortel na een halfuur na het aanbrengen kan bijgesneden worden. Indien men langer wacht hardt de mortel volledig uit en dient deze mechanisch op vorm gekapt of geslepen te worden, hetgeen veel arbeidsintensiever is. De mortel kleeft makkelijk, dus er is minder ervaring vereist voor het aanbrengen.

Nazorg: geen

Voordelen

- snelle uitharding waardoor snelle opbouw van grotere volumes mogelijk is
- minder kennis en ervaring vereist van de uitvoerder
- slechts een vorstvrije periode van 48 uur noodzakelijk
- minder voor- en nazorg

Nadelen

- Mineralogisch gezien is deze mortel sterk verschillend van de samenstelling van de steen. Hierdoor is deze minder compatibel met de steen op materiaal-technisch vlak.
- harder en lagere water(damp)doorlaatbaarheid dan de zachtere steensoorten. Hierdoor gaat de steen preferentieel verweren in plaats van de mortel.
- weinig verwerking en quasi geen aanhechting van vervuiling ten opzichte van de steen. Op termijn kunnen invullingen hierdoor in het oog beginnen springen.
- risico voor de gezondheid van de uitvoerders
- De zinkchloride dringt in de steen en is een zout met een hygroscopisch karakter. Er zal geen schadelijke kristallisatie optreden, maar bij vochtig weer zal dit zout vocht vasthouden hetgeen een donkere aftekening rond de invulling geeft. Dit spoelt op lange termijn uit, maar kan visueel erg storend werken, zeker in geval van blauwe hardsteen.
- Duur: +/- 10 à 15 euro/dm³.

d. Kant en klare mortels op basis van kalk

Dit zijn steenherstelmortels met kalk als bindmiddel, maar reeds kant en klaar met granulaat en pigmenten vermengd. Meestal bevatten deze mortels onbekende toevoegingen zoals bv. harsdispersies of dergelijke. Er bestaan verschillende types mortels voor verschillende toepassingen.

Aanmaak

Er dient enkel water in de juiste verhouding toegevoegd te worden om de mortel te kunnen gebruiken. De mortel is (afhankelijk van de fabrikant) langer verwerkbaar dan een zinkoxide mortel, maar niet zo lang als kalkmortel.

Vorbereiding

Idem als voor kalkmortel.

Aanbrengen

Idem als voor kalkmortel, maar werkt makkelijker. Er dient geen aanbrandlaag voorzien te worden en de mortel kleeft makkelijker. Na een eerste droging kan de mortel bijgesneden worden en kunnen mortelresten makkelijk met water afgewassen worden.

Nazorg: Afhankelijk van de voorschriften van de fabrikant.

Voordelen

- Leunt qua voordelen dicht aan bij kalkmortel, maar er is minder kennis en ervaring van de uitvoerder vereist.
- Is op waterbasis.

Nadelen

- Toevoegingen in de mortels zijn niet gekend
- Kostprijs: 5 à 10 euro/dm³.

e. Kunstharsgebonden mortels

Dit zijn mortels met een kunsthars (epoxy, PU,...) als bindmiddel en toevoeging van steengruis en pigmenten voor het bekomen van een aansluitend uitzicht. Algemeen zijn deze mortels materiaal-technisch weinig compatibel met de steen (hardheid, elasticiteit, water(damp)doorlaatbaarheid, verwerking,...) en zijn deze minder geschikt voor buitengebruik (vergeling, bros worden,...). Maar in een aantal specifieke gevallen kunnen deze een goede oplossing bieden. De specifieke eigenschappen van de mortels zijn afhankelijk van de soort

kunsthars. Omdat deze mortels enkel in specifieke gevallen toegepast worden en niet zo geschikt zijn voor buitengebruik zal hier niet verder op ingegaan worden.

f. Vergelijking

Karakteristiek	Kalkmortel	Zinkoxide mortel	Kalkmortel kant en klaar
Bindmiddel	Kalk	zinkoxide-chloride	Kalk (kan zowel hydraulisch als luchtkalk)
Granulaat	Zand of steengruis	steengruis	steengruis
Toevoegingen	Pigment puzzolanen ...	Pigment	Pigment onbekende synthetische toeslagstoffen
Aanmaak	Op maat Grote hoeveelheden	Kant en klaar Kleine hoeveelheden	Kant en klaar Grottere hoeveelheden
verwerkingstijd	4h	10 min	+/- 30 min -1h
Vorbereiding	Stabiele ondergrond Voorbevochtigen Zelf samen te stellen	Stabiele ondergrond Voorbevochtigen Kant en klaar	Stabiele ondergrond Voorbevochtigen Kant en klaar
Aanbrengen	Moeilijk, vereist ervaring Aanbrandlaag Stapsgewijs voor grotere volumes Bijmodelleren vanaf eerste droging tot weken erna.	Makkelijk Snel grote volumes Bijmodelleren na 15 min. Erna mechanisch	Makkelijk Stapsgewijs voor grotere volumes maar sneller dan kalkmortel Bijmodelleren tot enkele uren na het aanbrengen. Erna mechanisch
Nazorg	Bevochtigen	Geen	Afhankelijk
Compatibiliteit	Goede compatibiliteit qua hardheid, elasticiteit, waterdampdoorlaatbaar- heid, flexibiliteit, esthetisch, verwerking, zelfopofferend	Minder compatibel, niet zelfopofferend	Goede compatibiliteit, matig zelfopofferend
Kostprijs: – Duurtijd verwerking – materiaal	Idem +/- 0,25 à 0,50 eur/dm ³	Idem +/- 10 à 15 eur/dm ³	Idem +/- 5 à 10 eur/dm ³
Vorstgevoelige uitharding	Ja	nee	Ja
Overige voor- en nadelen	+ Zelfherstellend vermogen – lange uithardingsperiode	– chlorideindringing – gezondheidsrisico	+ waterbasis – toevoegingen niet gekend

Uit bovenstaande blijkt duidelijk dat elke mortel zijn voor- en nadelen heeft en de keuze van de mortel steeds afhankelijk zal zijn van de situatie. Echter, er is nog één, vaak doorslaggevend argument dat niets met de materiaal-technische kenmerken te maken heeft,

met name de garantie die op de herstelling kan geboden worden. Bij elk gebruikt materiaal wordt een technische fiche vereist, en hoe meer garantie er op het product geboden kan worden, hoe beter. Wanneer men een kalkmortel op maat samenstelt vertrekt men vanuit het principe dat de mortel preferentieel moet verweren en zo de originele steen moet vrijwaren. Met andere woorden, de enige garantie die kan geboden worden is dat de mortel eerst gaat verweren. Bij kant en klare mortels echter zou de fabrikant in een erg slecht daglicht komen te staan indien hij garandeert dat zijn mortel het gaat begeven. Integendeel, de fabrikant durft zelfs met de garantie te zwaaien dat zijn mortel niets zal miskomen. Echter, hij kan onmogelijk garant staan voor de kwaliteit van de originele steen. Kortom, de eis van de opdrachtgever om technische fiches en garanties leidt ertoe dat kant en klare mortels vaak te duurzaam gemaakt worden ten opzichte van de steen, hetgeen indruist tegen het principe van het behoud van het originele materiaal. En deze vraag tot garantie zal jammer genoeg bij de keuze van de restauratiebehandeling vaak de voorkeur krijgen boven een goede materiaal-technische compatibiliteit.

4. Case study: Steenherstel van de kapel Onze Lieve Vrouw Troost Ter Warande in Sint-Kruis Winkel

Ter illustratie van de bovenstaande theoretische benadering, zal hieronder het steenherstel binnen de restauratie van de kapel Onze Lieve Vrouw Troost Ter Warande te Sint-Kruis Winkel toegelicht worden. Dit project betreft de restauratie van de volledige kapel onder leiding van:

- Bouwheer: Kerkfabriek Heilig Kruis, Sint-Kruis Winkel, Voorzitter Dhr. Etienne Geirnaert
- Architect: Architectenbureau DD&, Dhr. Hugo Deleu en Mevr. Evan Van Nuffel
- Stadsbestuur Gent, Dhr. Willem Remue
- Algemene aannemer: Arthur Vandendorpe NV, Projectleiding Dhr. Simon Callebert, Steenrestauratie: Dhr. Rik Slabbinck en Mevr. Delphine Vandevorde.

In de gevels waren verschillende natuurstenen elementen aanwezig die herstel vereisten, met name de halfronde boog van de topgevel (1), de bovenste waterlijst (2), de onderste waterlijst (3) de raamomlijstingen en de 15 statiekapelletjes (4) en de hoekblokken (5)



Fig. 2: Voorgevel van de kapel voor restauratie met aanduiding van de te restaureren elementen: opgevel (1), de bovenste waterlijst (2), de onderste waterlijst (3) de raamomlijstingen en de 15 statiekapelletjes (4) en de hoekblokken (5)

Elk element kende zijn specifieke problematiek, schadefenomenen en vereisten voor restauratie. Dit heeft geleid tot verschillende restauratiebehandelingen. Het vooropgestelde principe was het bekomen van een zo duurzaam mogelijke restauratie van de kapel, maar dit met het maximale behoud van de originele elementen en materialen. Hieronder zal voor elk element de problematiek en de aangewende oplossing voor het steenherstel besproken worden.

4.1. Halfronde boog

De dekstenen van de halfronde boog bestonden uit Ledesteen. De blokken werden bij een vorige noodingreep ingecementeerd, waardoor de stenen verstikt werden en volledig kapot gevoren waren. Bijgevolg bestond geen andere oplossing dan deze te vervangen. Gezien de grote volumes was het niet mogelijk hier voldoende en betaalbare nieuwe of recuperatie Ledesteen voor te vinden. Daarom werd geopteerd om de boog te vervangen door Massangis Roche Jaune Claire, hetgeen gezien de blootstelling in de gevel een veilige keuze was. Men heeft het principe gehanteerd om alles wat vervangen werd boven de bovenste waterlijst te vervangen met Massangis Roche Jaune Claire om een duidelijk onderscheid zichtbaar te maken tussen oud en nieuw.



Fig. 3: Steenvervanging van de halfronde boog met Massangis Roche Jaune Claire

Eén van de krullen op de hoek van de boog was nog in relatief goede staat. Daarom werd geopteerd om deze opnieuw te integreren als historische getuige. Eens op zijn plaats werd het duidelijk dat het contrast van de verweerde Ledesteen te groot was met de nieuwe Massangis. Daarom werd uiteindelijk beslist deze ook te vervangen en de originele steen binnen in de kerk te bewaren als getuige.



Fig. 4: Levering van nieuw gekapte stenen



Fig. 5: Integreren van originele Ledesteen als historische getuige

4.2. Bovenste waterlijst

Deze waterlijst bestond uit Ledesteen en had als waterlijst duidelijk goed zijn werk gedaan. Maar door de blootstelling was deze zeer sterk verweerd. Een bijkomend probleem was dat de queue slechts 2 cm diep in het metselwerk zat en dit een gevaar vormde voor de stabiliteit. Er werd beslist deze lijst volledig te vervangen met Ledesteen. Aangezien het hier om kleinere volumes ging, kon hiervoor voldoende recuperatiesteen gevonden worden. In het midden van de waterlijst werd de best geconserveerde van de originele blokken als historische getuige geïntegreerd.



Fig. 6: Steenvervanging van de bovenste waterlijst met gerecupereerde Ledesteen

4.3. Onderste waterlijst

Deze lijst bestond ook uit Ledesteen, maar was gezien zijn positie in de gevel in minder slechte staat dan de bovenste. Daarom kon deze behouden worden, mits het uitvoeren van steenherstel. Het zou optimaal geweest zijn om dit met inzetstukken te doen, maar daarvoor was onvoldoende budget voorhanden. Het alternatief was deze te herstellen met steenherstmortel, waarbij voor een zinkoxidemortel gekozen werd. Over de volledige waterlijst zal vermoedelijk nog een loden slab aangebracht worden ter bescherming van de lijst. Ongeacht het soort gebruikte mortel is het nu reeds gekend dat deze restauratie maar een beperkte houdbaarheid heeft. Maar het belangrijkste aan deze ingreep is dat deze zowel de steen als de gevel vrijwaart. De invullingen en de loden slab voorkomen dat er water in de lacunes blijft staan, hetgeen tot vorstschade zou kunnen leiden van de steen. Het vervolledigen van de waterlijst maakt de waterlijst weer functioneel en gaat het metselwerk van de gevel beschermen.



Fig. 7: Onderste waterlijst voor restauratiebehandeling



Fig. 8: Onderste lijst na restauratie met zinkoxide steenherstelmortel (mortel dient nog opgeschuurd te worden om het juiste kleur te bekomen)

4.4. Raamomlijstingen en kapellen

De raamomlijstingen bestaan uit Ledesteen en de statiekapellen uit Avesnessteen. Zowel de raamomlijstingen als de kapellen waren oorspronkelijk geschilderd en zouden opnieuw geschilderd worden. In de raamomlijstingen waren oppervlakkige schollen afgesprongen en waren er, voornamelijk in de bovenste boog, grote storende lacunes. Bij deze restauratie was het concept om enkel grote storende of materiaal-technisch gevaarlijke lacunes te herstellen tot een visueel evenwicht bekomen werd. Het was niet de bedoeling de stenen er terug als nieuw te laten uitzien. Daarom werden hier de schaduwlijnen hersteld door invulling van de lacunes met kalkmortel. Na het aanbrengen van de grondlaag werd geëvalueerd welke oppervlakkige lacunes nog visueel storend werkten. Deze werden uitgeplamuurd, waarna het geheel verder geschilderd werd met een matte verf met een grove korrel om het karakter van de natuursteen te accentueren.

Bij de kapellen waren er enkele hoeken van de bovenste profilering die afgebroken waren of reeds vroeger slordig en met een gipshoudende mortel hersteld waren. Deze oude herstellingen werden verwijderd en de hoeken van de profielen werden aangevuld met kalkmortel. Gezien het relatief grote overhangende volume werden deze invullingen stapsgewijs opgebouwd.



Fig. 9: Raamomlijsting voor restauratie en na het aanbrengen van de rvs doken



Fig. 10: Raamomlijsting na aanvulling met kalkmortel. De mortel is nog niet uitgedroogd waardoor de kleur nog te donker is



Fig. 11: Lacune in de lijst van één van de statiekapellen



Fig. 12: Lacune tijdens het aanzetten van de mortel



Fig. 13: Lacune na aanvulling

4.5. Hoekblokken

Het onderste deel van de hoekblokken bestond uit Ledesteen en deze waren slechts licht verweerd. De bovenste vijf hoekblokken waren uit Avesnessteen, waarbij deze zachte stenen door blootstelling sterk geërodeerd waren. Maar op zich waren de steenblokken nog stabiel. Als bescherming voor deze steenblokken werd ervoor geopteerd deze met een zelfopofferende kalkmortel te gaan uitpleisteren. In eerste instantie werd de licht verpoederende steen geconsolideerd met ethylorthosilicaat. De Avesnessteen is dermate zacht dat een lichte consolidatie van het breukvlak vereist is om aanhechting van de mortel of een verlijming mogelijk te maken. Gezien de zachtheid van de steen werd een pleister samengesteld op basis van hydraulische kalk en luchtkalk (vette kalk) met toevoeging van zowel zand als fijn marmmermeel als granulaat. Deze werd erg vloeibaar op het oppervlak aangestroken. Dit resulteert in een erg zachte en poreuze mortel, die een optimale compatibiliteit met de steen biedt. Het nadeel is dat deze mortel minder goed bestand is in een buitensituatie. Maar in die zin is deze mortel een zelfopofferende mortel die de conservatie van de Avesnessteen vrijwaart en zijn levensduur verlengt. De mogelijkheid bestaat dat de hoekblokken nog geschilderd worden, maar dit staat momenteel nog ter discussie.



Fig. 14: Verweerde hoekblok in Avesnessteen (boven) en weinig verweerde Ledesteen (onder)



Fig. 15: Hoekblok na bepleistering

6. Referentielijst

- ASHURST J., ASHURST N. (1988). *Practical building Conservation, English Heritage Technical Handbook, Vol. 1 Stone masonry*. Gower Technical Press, Hants.
- ASHURST J., ASHURST N. (1988). *Brick, terracotta and earth*. English Heritage Technical handbook, Vol.2, Practical building Conservation, Gower technical Press.
- ASHURST J., ASHURST N. (1988). *Mortars, plasters and renders*. English Heritage Technical handbook, Vol.3, Practical building Conservation, Gower technical Press.
- ASHURST J., ASHURST N. (1988). *Stone masonry*. English Heritage Technical handbook, Vol.1, Practical building Conservation, Gower technical Press.
- ASHURST J., DIMES F. (1990). *Conservation of building and decorative stones*. Butterworth Heinemann.
- CALLEBAUT K.(2000). *State of the Art of Research/Diagnostics of Historical Building Materials in Belgium*. Procedures voor de restauratie van buitenmuren, Belgian Building Research Institute (BBRI).
- CALLEBAUT K. (2000). *Characterisation of historical lime mortars in Belgium : implications for restoration mortars*. Unpublished PhD thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven.
- CARMELIET J. (1997). *Vochttransport in historisch metselwerk*. Leuven.
- CNUUDE V., DEWANCKELE J., DE CEUKELAIRE M., EVERAERT G., JACOBS P., LALEMAN, M. C. (2009). *Gent ...steengoed!*, Academia Press, Gent.
- DAM J-P, HISETTE J-P (1970). *Witte natuursteen*. Technische voorlichting 80, WTCB.
- DE KOCK T., DEWANCKELE J., BOONE M., DE SCHUTTER G., JACOBS P. and CNUUDE V. (2014). *Replacement Stones for Lede Stone in Belgian Historical Monuments*. Edited by J Cassar, M G Winter, B R Marker, N R G Walton, D C Entwisle, and E N Bromhead. *Geological Society, London, Special Publications 391 (1)*. London: Geological Society Special Publications:31–46. <https://doi.org/10.1144/SP391.9>.
- DE ROY J., HOORNAERT L. (2010). *Het deontologisch gebruik van herstelmortels bij de restauratie van beeldhouwwerk*. Studiedag Versteend erfgoed, omgaan met herstelmortel en kunststeen, Studiedag Koninklijk Insituut voor Kunstpatrimonium, Brussel, 28 mei 2010.
- DIETENS M., Ritzen J. *Bindmiddelen en daarmee samengestelde producten, Kalk-gips-cementen-toeslagstoffen-hulpstoffen-niet gebakken kunstmatig samengestelde bouwelementen*. Wetenschappelijke Uitgeverij en Boekhandel p.v.b.a., Gent, 1965.
- DOMASLOWSKI W. (2003). *Preventive conservation of stone historical objects*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.
- DREESEN R., DUSAR M., DOPERE F. (2003). *Atlas natuursteen in Limburgse monumenten*. Provinciaal Natuurcentrum, Genk.
- DUSAR M., DREESEN R. (2009). *Natuursteen in Vlaanderen, versteend verleden*. Kluwer-Wolters België NV.
- E.C.C.O. (1994). Professional guidelines, General Assembly 1993.
- HAYEN R., DE CLERCQ H. (2010). *Versteend erfgoed, omgaan met herstelmortel en kunststeen*. Studiedag Koninklijk Insituut voor Kunstpatrimonium, Brussel, 28 mei 2010.
- HAYEN R., VAN BALEN K., VAN GEMERT D. (in druk). *The influence of production processes and mortar compositions on the properties of historical mortars*. Departement Burgerlijke Bouwkunde, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven.
- ICOMOS International Scientific Committee for Stone (ISCS) (2008). *Illustrated Glossary on stone deterioration patterns*. Ateliers 30 Impression, Champigny/Marne, France.
- MGR. SENCIE INSTITUUT (2005). *Belgische natuursteen in historische monumenten en hun vervangproducten bij restauratie in België en Nederland*. Leuven, 3 februari 2005.
- RAMGE P., KUHNE H.C. (2012). *Development of repair mortars for the restoration of natural stone in cultural heritage*. Concrete repair, rehabilitation and retrofitting III, Alexander et al., Londen.
- RIJKSDIENST VOOR MONUMENTENZORG (2003). *Het gebruik van kalkmortel*. Info restauratie en beheer, nr 37, Rijksdienst voor monumentenzorg, Zeist.

- RIJKSDIENST VOOR MONUMENTENZORG (2004). *Beton schade en analyse*. Info restauratie en beheer, nr 40, Rijksdienst voor monumentenzorg, Zeist.
- QUIST W J, T G Nijland, and R P J van Hees. 2013. *Replacement of Eocene White Sandy Limestone in Historical Buildings: Over 100 Years of Practice in the Netherlands*. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 46 (4):431–38. <https://doi.org/10.1144/qjegh2013-023>.
- VAN BALEN K. (1992). *Kenmerken van restauratiemortels*. Verslag symposium restaureren conserveren monumenten Eindhoven 14 april 1992.
- VAN BALEN K. (1997). *Gebruik van kalk voor mortels in de restauratie*. Centrum voor monumentenzorg en Laboratorium Reyntjes, Departement Burgerlijke Bouwkunde, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven.
- VAN BALEN K., VAN BOMMEL B., VAN HEES R., VAN HUNEN M., VAN RHIJN J., VAN ROODEN M. (2003). *Kalkboek, Het gebruik van kalk als bindmiddel voor metsel-en voegmortels in verleden en heden*. Rijksdienst voor monumentenzorg, Zeist.
- VANHELLEMONT Y., VAN PEER W., VERNIMME N. *Opleiding restauratie vakman moderne bouwchemie, Module Natuur- en baksteenherstel*. VIOE, Brussel.
- WENTINK H. (1995). *Kalk & Cement*. Stichting Projectbureau Industrieel erfgoed, Zeist.
- WTCB, TECHNISCH COMITE STEEN & MARMER (1997). *Natuursteen*. WTCB, TV-205, september 1997.

30 JAAR ERVARING MET HET AANHELEN MET RESTAURATIEMORTELS

Paul van Laere
Steenbeeldhouwer

1. Inleiding

Ik werk graag met restauratiemortel, omdat het een mooi en vaak ook beter antwoord is op de restauratievraag dan bijvoorbeeld inboeten met natuursteen. Bij het gebruik van restauratiemortel blijft er meer van het origineel behouden en de werkwijze met hakken in steen is vergelijkbaar!

De restauratiemortels waarmee ik werk zijn vooral voor zandsteen en kalksteen en zijn mortels op cement-of kalkbasis. Stapsgewijs pak ik een restauratie aan: ik bestudeer de schade, hoe was de originele situatie, hoe is de schade ontstaan, kortom de gevel lezen.



Fig. 1: Gereedschap voor aanbrengen en afwerken van restauratie mortels. Links: kleine troffel en paleerijzers van staal in verschillende maten. Rechts: getande, iets gebogen, gipsijzers om de vormen in te snijden

2. Voorhakken

Als de beginsituatie goed in beeld is, gaan we de steiger op en begin ik met het weghakken/voorhakken van de slechte delen, net zo ver tot ik op gezonde steen kom. Dat voorhakken doe ik met tandbeitels en met een niet te zware hamer, niet met de haakse slijper! Een tandbeitel levert een grove huid op waar de mortel beter aan hecht.

Tijdens dit voorhakken wil ik horen hoe hard de steen is, zien wat de structuur is en hoe het gruis eruitziet, welke verkleuringen in de steen zitten. Misschien kom je er wel achter dat de steen geïmpregneerd is, of juist niet. Dat is informatie die ik nodig heb om de juiste mortel voor te kunnen kiezen.

Als je zwaar beschadigde, ingewikkelde ornamenten moet restaureren is het verstandig om bij het weghakken van de slechte steen niet alles weg te halen, maar enkele referentiepunten van

het origineel te laten staan. Dit is belangrijk om te weten hoe dik je de mortel later moet aanbrengen. Foto's zijn leuk en praktisch, maar het blijft platte informatie.



Fig. 2: Bij het voorhakken niet te veel weghalen en referentie punten laten staan.

Omdat restauratieplekken nooit op nul mogen uitlopen moet je die plek wat dieper uithakken, zodat de mortel duidelijk aansluit op de randen. De mortel heeft immers wat volume nodig om goed te kunnen uitharden: de aangebracht mortel moet steeds een minimale laagdikte hebben.



Fig. 3: Mortelrestauratie van een balkon (Kneuterdijk, Den Haag).

3. Testen van de mortel

Als op de verpakking van de mortel “zandsteen restauratiemortel” staat, zegt mij dat niet zoveel. Er bestaan immers zó veel soorten zandsteen. Daarom lees ik de gebruiksaanwijzing die op de verpakking staat nog niet. Ik ga eerst in mijn atelier de mortel uitproberen: kijken hoe dik ik de mortel moet aanmaken (een consistentie vergelijkbaar met volle kwark), hoe dik ik de mortel kan opzetten, hoe snel die aantrekt en hard wordt, hoe snel het vocht van de mortel naar de steen trekt, hoe nat de ondergrond moet zijn enzovoort. Bedenk dat de mortel bij het aanbrengen nog vol water zit en dit een wisselwerking heeft met de zuigende kracht van de vochtige steen. Bovendien onderzoek ik of het granulaat in de mortel niet te zwaar is.

Ook onderzoek ik de kleur van de mortel en wil ik weten hoe die door de fabrikant is geproduceerd. Is dat gebeurd met pigmenten of is er gewerkt met verschillende kleuren zand? Dat laatste heeft mijn voorkeur. Vervolgens wil ik weten welke kleur ik overhoud na het drogen. En misschien is het allerbelangrijkste om te onderzoeken: welke huid blijft er achter als ik de vormen erin ga snijden? Soms heb je een grove huid nodig, bijvoorbeeld bij kalksteen. Dan is het zaak dat in de mortel wat grof granulaat verwerkt is, zoals bijvoorbeeld chamottekorrels. Immers tijdens het snijden komt die op onverwachte plekken naar buiten en vormt zo de huid

die ik zoek. Ik vind een grof afgewerkte restauratie vaak beter dan een precies op kleur gemaakte restauratie met een te fijne huid.

Nadat ik één en ander in mijn werkplaats heb uitgeprobeerd, lees ik de gebruiksaanwijzing op de verpakking. Ik kijk of de aanwijzingen kloppen en of ik deze mortel als basismateriaal met eventueel enkele aanpassingen kan gebruiken voor het eindresultaat dat ik wil bereiken. Dit omdraaien van handelen bespaart me een hoop extra werk. Stel je immers voor dat je later op een hoge steiger staat, en dan moet constateren dat je een niet-werkbare mortel hebt, en daar ter plekke geen materiaal hebt om te improviseren.

4. Water

Voordat ik de mortel aanbreng maak ik eerst de te restaureren plek heel zorgvuldig nat met een lagedruk handspuit. Vooral zandsteen en kalksteen zijn enorme watervragers. Je moet het flink nat maken, maar oppassen dat de steen niet verzadigd raakt dat het vocht van de mortel er niet meer bij kan. Want de steen moet bij het aanbrengen het water in de mortel kunnen opzuigen. Het transport van het water naar de steen zorgt voor de 'kleefkracht' bij het aanbrengen

5. Aanbrengen van de mortel

Meestal werk ik met twee of drie losse emmers met mortel, een hoofdkleur en twee steunkleuren. Dat doe ik om verkleuringen of gelaagdheid in de steen, nat in nat, te kunnen namaken. Echt duidelijke kleurlagen in de steen kan je namaken door in de aangebrachte basiskleur een reepje uit te snijden en dit te vullen met andere kleur mortel. Als je op zo'n plek later de vorm erin snijdt zit de kleur er door en door in.

Soms is het nodig om ter plekke een handje grof granulaat aan de mortel toe te voegen om na het wegsnijden een ruwe huid over te houden.

Ik breng de mortel aan met een breed paleerijzer. Liefst met een door het vele gebruik soepel geworden en iets verend paleerijzer dat op de juiste manier doorgeeft, hoe hard ik de mortel aanduw.

Zet de mortel vooral extra dik op als je bij de restauratie te maken hebt met ornamenten of figuren. Immers je bent steenhouwwerk aan het restaureren dat wil zeggen het teveel moet eraf genomen worden. Dat is van BUITEN naar binnen werken. Steenbeeldhouwers, houtsnijders maar ook zandkasteelbouwers zijn gewend om zo te denken en te werken!

Als de mortel ruim op de te restaureren plekken is aangebracht, moet je wachten, serieus wachten tot de mortel goed is aangetrokken. 'Leerhard', zoals pottenbakkers dat noemen.

Pas dan ga ik de vormen in de mortel snijden. Hoe meer weerstand de mortel geeft, hoe scherper je kan werken.

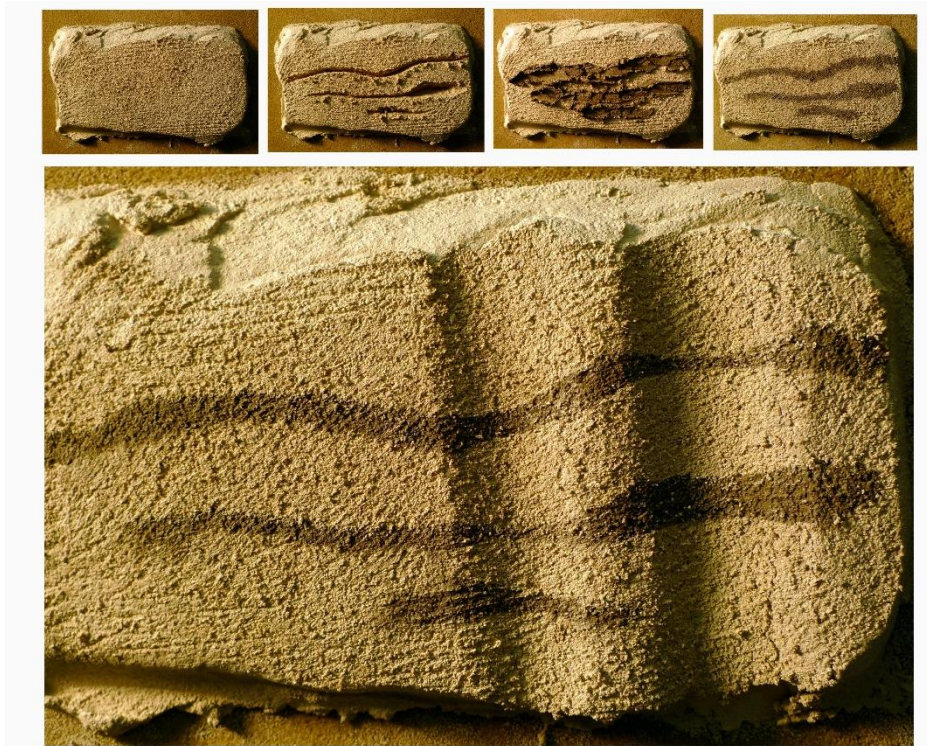


Fig. 4: Tijdens het aanbrengen verschillende kleurlagen invoegen

6. Snijden

Snijden doe ik bij voorkeur met getande gipsijzers, een soort harkjes, want glad gereedschap glijdt over de oneffenheden heen en de tandjes van het gipsijzer bijten erin en halen precies weg wat ik weg wil hebben. Ik pak het werk met oog voor detail in kleine stappen aan. Je kan goed de fout in gaan als je te snel klaar wilt zijn. Het teveel aan restauratiemortel snij je weg tot aan de originele na te maken huid.

Tijdens dit werk kijk ik steeds hoe de eindafwerking van de omliggende steen is gemaakt. Ik lees als het ware de huid van de omliggende steen en zie bijvoorbeeld met welke beitels is gewerkt, of de zandsteen is geschaafd of gehakt, en wat de breedte was van de beitel waarmee de frijnslag is aangebracht.

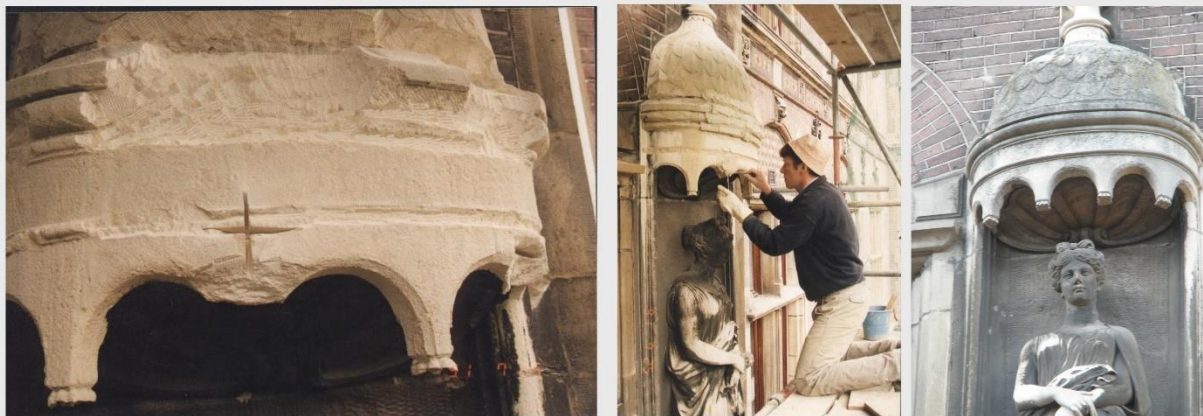


Fig. 5: 30 jaar geleden, restauratie baldakijn van kalksteen (Korte Poten, Den Haag).

Dit alles moet je namaken in de mortel. Er is me wel eens gevraagd om een frijnslag in de uitgeharde mortel te hakken. Maar dit werkt niet. Mortel breekt volkomen anders dan natuursteen. De eindafwerking van de steenhouwer die het origineel maakte, moet je zo dicht mogelijk zien te benaderen. Je valt namelijk direct door de mand als jouw restauratiewerk door het eerlijke strijklicht wordt beoordeeld.

7. Nawerken

Als het gerestaureerde deel helemaal klaar is, moet het werk langzaam uitharden. Vaak moet ik de volgende dag nog even terug de steiger op voor het na-natten.

Voorals je in de zon en in de wind hebt staat te werken. Er bestaan natuurlijk wel toevoegingen in mortels die het droogproces vertragen maar die verstoren het open karakter van de mortel, dus kijk daarmee uit.

Tot slot Een tip voor wie op zoek is naar een goede restaurateur: vraag of hij of zij lol had in het maken van zandkastelen, want dan weet je: dat is al enige ervaring met van buiten naar binnen werken.

Kijk in de gereedschapskist en vraag wat het favoriete gereedschap is en waarom. De handtekening van het vakmanschap van de restaurateur staat op zijn gereedschap en in de sporen die zijn restauratiewerk daarop heeft achtergelaten. Een certificaat is helaas immers niet altijd een garantie.

ADRESSENLIJST SPREKERS

Barbara Lubelli

Associate Professor

+31(0)639251157

b.lubelli@tudelft.nl

Delft University of Technology

Faculty of Architecture and the Built Environment

HA HERITAGE & ARCHITECTURE

Department AE+T PObox 5043 | 2600GA Delft | The Netherlands

Visiting address: Julianalaan 134 | 2628BL Delft | The Netherlands

Michiel van Hunen

Senior specialist Conservering en Restauratie

Restauratiekwaliteit, Erfgoed&Opleidingen en Erfgoed&Aardbevingen

Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap

Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed

Smallepad 5 | 3811 MG | Amersfoort

Postbus 1600 | 3800 BP | Amersfoort

T 033 421 72 85

F 033 421 77 99

M 06 22 92 17 14

m.van.hunen@cultureelerfgoed.nl

Heleen Schroyen

Architect - Erfgoedonderzoeker bouwkundig erfgoed

Agentschap Onroerend Erfgoed

T 02 553 64 08

M 0492 34 06 87

Schroyen, Heleen heleen.schroyen@vlaanderen.be

Wouter Callebaut

Atelier Callebaut-architecten bvba:

Sint-Gerolfstraat 32B

9031 Drogen

info@callebaut-architecten.be

T 09 395 10 10

F 09 395 10 11

Tanaquil BERTO

Cel Monumenten, Departement Laboratoria

Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium

KIK-IRPA

Jubelpark 1 BE-1000 Brussel

T : +32 2 73 96 768

E-mail : tanaquil.berto@kikirpa.be

www.kikirpa.be

Ben Massop

Restauratiearchitectuur BBM
Elftweg 2
4941 VP Raamsdonksveer
tel. 0162-512688
info@rabbm.nl

Paul van Laere

Steenbeeldhouwer
Laan van Meerdervoort 189b
2517 BA Den Haag
06-23806733
p.van.laere@planet.nl

Delphine Vandevoorde

Rephine Stoneworks - Conservatie/Restauratie
Eeklostraat 148
9030 Mariakerke
+32 486 41 42 90
vandevoordedelphine@yahoo.co.uk
www.rephinestoneworks.be

BESTUURSLEDEN

Voorzitter R. (Rob) P.J. van Hees
TU Delft
Faculty of Architecture and the Built
Environment
Heritage & Technology
PO Box 5043, 2600 AA Delft
T. secretary +31152781116
M. +31651833373
e-mail r.p.j.vanhees@tudelft.nl



Penningmeester W.J. (Wido) Quist
Technische Universiteit Delft
Faculteit Bouwkunde
Afdeling AE + T – Heritage & Architecture
Postbus 5043
2600 GA Delft
Julianalaan 134 (gebouw 8)
2628 BL Delft
T: +31152788496
M: +31639251159
E: w.j.quist@tudelft.nl



A.J. (Bert) van Bommel
Atelier Rijksbouwmeester
Korte Voorhout 7
NL-2511 CW DEN HAAG
Postbus 20952
NL-2500 EZ DEN HAAG
T +3188 115 81 08
M +3161509 37 49
E bert.vanbommel@rgd.minbzk.nl



Rijksvastgoedbedrijf
Ministerie van Binnenlandse Zaken en
Koninkrijksrelaties

D. (Dionys) Van Gemert
KU Leuven
Departement Burgerlijke Bouwkunde
Laboratorium Reyntjens
Kasteelpark Arenberg 40 bus 2448
B-3001 HEVERLEE
T +32 (0)16 32 16 54
M +32 (0)486 714 692
Dionys.vangemert@kuleuven.be



Y. (Yves) Vanhellefont
Wetenschappelijk en Technisch Centrum
voor het Bouwbedrijf
Avenue P. Holoffe 21
B-1342 LIMETTE
T + 32 (0)2 655 77 11
E Yves.vanhellefont@bbri.be



M. (Michiel) van Hunen
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en
Wetenschap
Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Smallepad 5 | 3811 MG | Amersfoort |
kamernummer 3.10
Postbus 1600 | 3800 BP | Amersfoort
T +31 033 421 72 85
M +31 06 22 92 17 14
m.van.hunen@cultureelerfgoed.nl



Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en
Wetenschap

N. (Nathalie) Vernimme
Onroerend Erfgoed
Herman Teirlinckgebouw
Havenlaan 88 bus 5
B-1000 BRUSSEL
T +32 (0)2 553 16 67
M +32 (0)475 814 291
E nathalie.vernimme@vlaanderen.be



onroerend
erfgoed

Agentschap van de Vlaamse overheid

E. (Els) Verstrynghe
KU Leuven
Departement Burgerlijke Bouwkunde
Kasteelpark Arenberg 40 bus 2448
B-3001 HEVERLEE
T +32 (0)16 321987
E els.verstrynghe@kuleuven.be



K. (Kris) Brosens
Triconsult N.V.
Lindekensveld 5
B-3560 LUMMEN
T +32 (0)13 52 36 61
E kris.brosens@triconsult.be





WETENSCHAPPELIJK-TECHNISCHE GROEP VOOR AANBEVELINGEN INZAKE BOUWRENOVATIE EN MONUMENTENZORG

www.wta-nl-vl.org

info@wta-nl-vl.org

KvK: 40398619

De WTA stelt zich voor

Er bestaat in binnen - en buitenland, versnipperd over vele bedrijven en instellingen, researchafdelingen en adviesorganen, een uitgebreid aanbod van kennis op het gebied van renovatie en instandhouding van het gebouwenpatrimonium. Van die kennis zou de bouwrenovatiemarkt en daarmee ook de zorg voor de monumenten meer kunnen profiteren dan nu het geval is, en dat eens te meer daar het zwaartepunt van die zorg geleidelijk verschuift van de traditionele restauratie naar renovatie en onderhoud en bovendien de “jonge” monumenten met een geheel eigen conserveringsproblematiek, in de zorg worden betrokken.

Probleem is echter dat dit grote kennisaanbod niet zo gemakkelijk is te overzien en zich bovendien steeds aanpast. Het adagium “bouwen is traditie” gaat steeds minder vaak op, en dat geldt evenzeer voor renovatie - en onderhoudstechnieken.

Kwaliteit, bruikbaarheid en actualiteit van kennis staan daarbij voorop. De Nederlands-Vlaamse afdeling van de WTA kan daarbij een belangrijke rol spelen. De WTA beijvert zich voor onderzoek en de praktische toepassing daarvan op het gebied van onderhoud aan gebouwen en monumentenzorg.

Daartoe worden bijeenkomsten van wetenschappers en praktijkdeskundigen georganiseerd, waar een specifiek probleem inzake onderhoud van gebouwen en duurzaamheid van gebruikte bouwmaterialen en methoden zeer intensief wordt onderzocht. In studiewerkgroepen op onder meer het terrein van **houtbescherming, oppervlaktetechnologie, metselwerk, natuursteen, statische/dynamische belastingen van constructies, versterking en consolidatie, monitoring** worden kennis en ervaringen uitgewisseld.

Resultaten worden vertaald in een richtlijn voor werkwijzen en behandelingsmethoden. Gezien de kwaliteit en de heterogene samenstelling van de werkgroepen, kunnen die richtlijnen, zogenaamde Merkblätter, beschouwd worden als objectief en normstellend. Zij worden in brede kring verspreid door middel van publicaties in de vakpers en in het tijdschrift “Bausubstanz” gepubliceerd dat aan alle leden 4x per jaar wordt toegestuurd.

Leden van de WTA kunnen aldus, door een actieve vertegenwoordiging in werkgroepen bijdragen aan de totstandkoming van dergelijke normstellende advisering.



WETENSCHAPPELIJK-TECHNISCHE GROEP VOOR AANBEVELINGEN INZAKE BOUWRENOVATIE EN MONUMENTENZORG

www.wta-nl-vl.org

info@wta-nl-vl.org

KvK: 40398619

In beginsel staat het lidmaatschap open voor allen die vanuit hun functie of belangstelling bij de bouw, restauratie en het onderhoud van gebouwen betrokken zijn. Werkgroepen worden samengesteld op basis van deskundigheid en ervaring van de participanten. Deelname is altijd vakinhoudelijk. Leden hebben het recht voorstellen te doen voor de op- en inrichting van nieuwe werkgroepen en gebruik te maken van door de WTA geleverde faciliteiten zoals een vakbibliotheek en enig administratieve ondersteuning.

Het betreft daarbij niet alleen advisering, maar ook het harmoniseren van de verschillende internationale technische regelgevingen. Hiertoe biedt de Nederlands-Vlaamse tak van WTA een uitstekende mogelijkheid.

Wanneer u belangstelling heeft voor de WTA of één van de hiervoor genoemde vakgebieden of werkgroepen kunt u met de WTA Nederland-Vlaanderen contact opnemen.

Kosten van het lidmaatschap bedragen: € 170,- per jaar per persoon.

Een ondersteunend lidmaatschap voor bedrijven en instellingen kost minimaal € 170,- tot € 610,- per jaar, al naargelang het aantal werknemers.

WTA Nederland - Vlaanderen

NEDERLAND

TU Delft – Faculteit Bouwkunde t.a.v. Wido Quist | Postbus 5043 | NL-2600 GA Delft

T: +31 (0)639251159 | E: w.j.quist@tudelft.nl

Bank: NL31ABNA427726158

VLAANDEREN

KULeuven t.a.v. Kristine Loonbeek | Kasteelpark Arenberg 40 bus 2448 | B-3001 Heverlee

T: +32 (0)16321654 E: Kristine.Loonbeek@kuleuven.be

Bank: BE52738027352709

COLOFON

Concept en eindredactie
WTA Nederland - Vlaanderen

© WTA en Auteurs 2018

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

De auteurs dragen zorg dat hun bijdrage geen inbreuk op auteursrechten inhoudt. Zij dragen de rechten op hun bijdrage over aan WTA NL/VL.

Foto's voorkanten: - Michiel van Hunen

Uitgever

WTA NEDERLAND – VLAANDEREN

De syllabi zijn beschikbaar in kleur (voor zover door de sprekers in kleur aangeleverd) op de website www.wta-nl-vl.org na de volgende studiedag

© 2018 ISBN/EAN: 978-90-79216-21-5

Nr	Lijst verschenen syllabi	Jaar	ISBN nummer
1	Stad beeld	1992	
2	Nieuwe ontwikkelingen	1993	
3	Restaureren & Conserveren	1994	
4	Kleur bekennen	1994	
5	Hout	1996	
6	Gevelreinigen	1996	
7	Kalk	1997	90-76132-01-1
8	Metaal	1997	90-76132-02-1
9	Kwaliteit in de restauratie	1998	90-76132-03-8
10	Natuursteen deel 1	1998	90-76132-04-6
11	Natuursteen deel 2	1999	90 76132-05-4
12	Mortels in de restauratie	1999	90-76132-06-2
13	Pleisters voor restauratie en renovatie	2000	90 76132-07-0
14	Bereikbaarheid van monumenten	2000	90-76132-08-9
15	Schoon van binnen	2001	90-76132-09-7
16	Glas in lood	2001	90-76132-10-0
17	Scheuren in metselwerk en pleisters	2002	90-76132-11-9
18	Biodegradatie	2002	90-76132-12-7
19a	Zouten in natuursteen- en baksteenmetselwerk	2003	90-76132-14-3
19b	Surface and structural consolidation of masonry		
20	Authenticity in the restoration of monuments	2003	90-76132-13-5
21	Kleur, Pigment en Verf in Restauratie	2003	90-76132-15-1
22	Graffiti op monumenten: een last of een lust	2004	90-76132-16-x
23	Isolatie en klimaatbeheersing van monumenten (Hoe) is het mogelijk?	2004	90-76132-17-8
24	Monumenten en water	2005	90-76132-18-6
25	Monitoring en Diagnose	2005	90-76132-19-4
25a	CD MDDS Damage Atlas	2005	geen
26	Valorisatie en Consolidatie van Monumentale Betonconstructies	2006	90-76132-20-8
27	Restauratie en onderhoud van monumentale gebouwen	2006	10: 90-76132-21-6
			13: 978-90-76132-21-1
28	Restauratie, onderhoud en beheer van monumenten	2007	978-90-76132-22-8
29	Herbestemming van Religieus Erfgoed	2007	978-90-79216-01-7
30	Zout en behoud? (nieuwe ontwikkelingen)	2008	978-90-79216-02-4
31	Beton behouden – theorie in de praktijk gezet	2008	978-90-79216-03-1
32	Ondergrondse Monumenten: Zichtbaar - Onzichtbaar	2009	978-90-79216-04-8
33	Interventies en hun consequenties	2009	978-90-79216-05-5
	Proceedings of the 1st WTA International PhD Symposium	2009	978-3-937066-14-1
34	Effect of Climate Change on Built Heritage	2010	978-3-937066-18-9
35	Gevelbehandeling van erfgoed: Erg of goed?	2010	978-90-79216-06-2

36	Scheuren, Scheefstanden, Verzakkingen (Instortingsgevaar?)	2011	978-90-79216-07-9
37	Jonge monumenten voor de huidige samenleving	2011	978-90-79216-00-0
38	Historische vensters: typologie, duurzaamheid, antiek glas, ramen, kozijnen	2012	978-90-79216-08-6
39	Natuursteen natuurlijk!?	2012	978-90-79216-09-3
40	Wand en plafondschilderingen	2013	978-90-79216-10-9
41	Bouwmaterialen en constructietechnieken in het Interbellum	2013	978-90-79216-11-6
42	Van Balie tot cachot, herbesteding van gebouwen	2014	978-90-79216-12-3
43	Impact van de "Grote" wereldoorlog(en) op ons bouwkundig erfgoed	2014	978-90-79216-13-0
44	Een toekomst voor monumentale onderwijsgebouwen – Leren van recente renovatie- en restauratieprojecten	2015	978-90-79216-14-7
45	Schade aan bouwkundig erfgoed door bewegingen in de ondergrond	2015	978-90-79216-15-4
46	Versterking van funderingen en monumenten in verband met bewegingen in de ondergrond	2016	978-90-79216-16-1
47	Optrekkend grondvocht	2017	978-90-79216-17-8
	Proceedings of the 4th WTA International PhD Symposium	2017	978-90-79216-19-2
48	Energetische ingrepen in monumenten: een duurzaam verhaal?!	2017	978-90-79216-18-5
49	Draagvermogen van historische constructies: een sterk verhaal	2018	978-90-79216-20-8
50	Reparatie van steenachtige materialen	2018	978-90-79216-21-5

1-19: niet meer beschikbaar

Vanaf 20: zie website www.wta-nl-vl.org