

**Keuze van steenreparatiemortels voor historische gebouwen
geen eenvoudige zaak**

van Hees, Rob; Lubelli, Barbara

Publication date

2016

Document Version

Final published version

Published in

Syllabus Symposium MonumentenKennis

Citation (APA)

van Hees, R., & Lubelli, B. (2016). Keuze van steenreparatiemortels voor historische gebouwen: geen eenvoudige zaak. In *Syllabus Symposium MonumentenKennis: Kennis van de Gevel* (pp. 47-57)

Important note

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

Copyright

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

Takedown policy

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

Keuze van steenreparatiemortels voor historische gebouwen: geen eenvoudige zaak

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

Inleiding

Steenreparatiemortels worden gebruikt voor het aanvullen van een ontbrekend deel van het originele materiaal. Dat laatste kan verloren zijn gegaan door een mechanische belasting of door bijvoorbeeld aantastingsprocessen waarbij vocht, vorst en of zouten een rol spelen. Het ontbrekende deel wordt dan aangevuld met een mortel met een passende kleur en textuur. De gebruikte mortel is als het ware 'kneedbaar', zodat aanpassing aan de gewenste vorm eenvoudig mogelijk is. Gewoonlijk gaat het om kleinschalige ingrepen, waarbij individuele stenen, details en delen van ornamenten of beelden worden behandeld. In de kleinschaligheid, de individuele benadering en de 'boetseerbaarheid' liggen de voornaamste verschillen met andere ingrepen waarbij mortel wordt toegepast, zoals hervoegwerk, vervangen van pleisterwerk en dergelijke.

Steenreparatie heeft zich ontwikkeld van het eenvoudig vullen van gaatjes (Fig. 1) tot een specialistische conserveringstechniek.



Fig. 1. Steenreparatie: meer dan het vullen van gaatjes in natuursteen.

Steenreparatiemortels worden zowel toegepast voor het aanvullen van ontbrekende delen aan natuurstenen beelden en ornamenten als voor het weer aanvullen van een verloren geraakt oppervlak van stenen uit het parament, zowel in natuursteen als baksteen. Ook voor beton worden reparatiemortels toegepast; in dit artikel blijft betonreparatie echter buiten beschouwing.

Bij het qua kleur en textuur afstemmen van de reparatiemortel op het bestaande materiaal, dient veelal de samenstelling te worden aangepast aan het ondergrondmateriaal.

In deze bijdrage artikel worden voorbeelden besproken en wordt ingegaan op eisen te stellen aan de reparatiemortel.

Overwegingen voor toepassing van een steenreparatiemortel

Alvorens een steenreparatiemortel in de praktijk toe te passen wordt vaak een afweging gemaakt tussen een steenreparatiemortel en het compleet vervangen van de steen. Overwegingen, die bij de afweging om een reparatiemortel toe te passen een rol kunnen en moeten spelen zijn onder andere (cf. Ashurst & Ashurst, 1988):

- Behoud van meer origineel materiaal, dan bij vervanging het geval zou zijn.
- Minder schade aan het kwetsbare, omgevende, originele materiaal.
- Vermijden dat belangrijke onderdelen moeten worden vervangen en dus verwijderd.
- De reparatiemortel kan worden ontworpen en samengesteld als een zelfopofferend materiaal.
- Het totaal materiaaloppervlak dat moet worden aangevuld of vervangen speelt een rol.

Beperkende factoren kunnen zijn:

- Visuele indruk van een mortelreparatie ten opzichte van een steenvervanging.
- Zijn het benodigde vakmanschap en de kennis voorhanden om een reparatie van hoge kwaliteit daadwerkelijk uit te voeren ?
- Is er nog voldoende, op eenvoudige wijze verkrijgbare vervangende steen uit dezelfde groeve voorhanden ?

Overigens kan er onder omstandigheden ook voor worden gekozen om helemaal niet in te grijpen.

De toestand (staat van conservering) van de ondergrond

De aard van de ondergrond, dat wil zeggen materiaalsoort en eigenschappen alsmede de staat van conservering van de ondergrond, onder andere samenhang, eventuele laagvorming en dergelijke dienen als eerste te worden vastgesteld. Er moet duidelijk zijn of de ondergrond voldoende samenhang heeft om als basis te dienen voor een reparatiemortel. Verder zijn eigenschappen als capillair gedrag (waterabsorptiecoëfficiënt), porositeit en poriegrootteverdeling van belang. Tenslotte dient ook de eventuele aanwezigheid van oplosbare zouten te worden onderzocht.

Markt en materiaalkeuze

Wanneer wordt overwogen om te kiezen voor steenreparatie in plaats van voor steenvervanging, kan verder nog worden gekozen voor een zelf samen te stellen mortel of voor een van de commerciële producten die op de markt worden aangeboden. In Nederland zijn bekende producten:

*Jahn M70 steenreparatiemortel*¹: De fabrikant meldt in zijn documentatie dat de mortel bedoeld is voor reparatie van natuursteen en voor wat betreft zijn fysische eigenschappen kan worden aangepast aan de ondergrond. Er wordt een breed gamma aan natuursteensoorten genoemd, variërend van mergel tot tufsteen, kalksteen, hardsteen en marmer. Eigenschappen: soortelijk gewicht 1500-2000 kg m⁻³, dynamische E-modulus² van ca. 10-20 kN mm⁻², druksterkte ca. 6 – ca. 35 N mm⁻², lineaire uitzettingscoëfficiënt 0,01–0,04 %, telkens afhankelijk van het ondergrond-steentype. De

samenstelling wordt niet vermeld; het feit dat de mortel verhard is na 28 dagen, wijst op cement als bindmiddel.

Remmers Funcosil steenreparatiemortel^g: De mortel is volgens de documentatie geschikt voor zowel zandsteen als natuursteen in het algemeen en kan qua kleur en korrelgrootte worden aangepast. Verder wordt aangegeven dat de druk- en hechtsterkte zo weinig mogelijk afwijken van die van de ondergrond. Eigenschappen: soortelijke gewicht ca. 1700 kg m^{-3} , druksterkte 8-13 N mm^{-2} na 28 dagen, afhankelijk van het type; E-modulus ca. 8 kN mm^{-2} . De documentatie vermeldt niet de samenstelling; het feit dat cijfers als de druksterkte na 28 dagen worden gegeven, wijst op cement als bindmiddel.

Monulit steenreparatiemortel^f: De mortel is volgens de documentatie geschikt voor de restauratie van natuursteen (behalve voor dichte soorten als marmer en graniet), baksteen en terracotta. De mortel kan worden aangepast aan korrelgrootte en hardheid van de ondergrondsteen. Eigenschappen: soortelijke gewicht 2200 kg m^{-3} , druksterkte 6,5-12,5 N mm^{-2} , E-modulus 8,5-16 kN mm^{-2} , thermische uitzettingscoëfficiënt $8,5 \cdot 10^{-6} \text{ m m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. De documentatie vermeldt niet de exacte samenstelling. Wel wordt vermeld dat de mortel na 24 uur bewerkbaar is.

Daarnaast zijn er in Nederland en Europa nog veel andere producten op de markt. In tabel 1 wordt een overzicht gegeven.

Voordeel van de 'commerciële' producten ten opzichte van een 'op maat gemaakte' reparatiemortel is dat er sprake is van een constant product en een min of meer bekende 'verwerkbaarheid', waardoor in principe minder kans op uitvoeringsfouten door de verwerker bestaat. Ook zijn deze producten vaak qua kleur nog enigszins aanpasbaar. Nadeel is dat de compatibiliteit wellicht niet altijd optimaal is. Wat dat laatste betreft is het bij 'op maat gemaakte' steenreparatiemortels in theorie mogelijk het materiaal optimaal af te stemmen op de te repareren ondergrond.

Kijkend naar tabel 1 valt een aantal zaken op:

1. Het gegeven dat het meest door producenten wordt vermeld is de sterkte; met name de druksterkte; daarnaast vermelden sommigen de buigtreksterkte of de treksterkte; daarin bestaat echter geen eenduidigheid.
2. Veel producenten geven ook de E-modulus (als maat voor de stijfheid) op; echter vaak gaat het om de dynamische E-modulus en de statische en dynamische E-modulus zijn niet zonder meer vergelijkbaar (zie hieronder).
3. Verder is het aantal witte vlekken in de tabel groot. Dit laat zien hoe weinig eenduidig de producenten opereren bij het verstrekken van gegevens over hun reparatiemortel(s).
4. Sommige gegevens, zoals het toegepaste bindmiddel, worden vaak niet vermeld; uit bijkomende gegevens kan dan soms met enige moeite worden afgeleid dat het om cement zou moeten gaan; kennelijk vermelden producenten dit gegeven liever niet.
5. Bij de meeste producenten ontbreken gegevens over porositeit, krimp en waterabsorptie, toch belangrijke eigenschappen wanneer het gaat om het verwachte gedrag.

- Vaststellen van de schade-oorzaak
- Wegnemen van de schade-oorzaak, zoals eventuele vocht- en zoutbronnen

Vervolgens moet overwogen worden of voor reparatie of vervanging dan wel voor niet ingrijpen wordt gekozen en in geval van de keuze voor een reparatiemortel of een commercieel product dan wel een op maat samengestelde reparatiemortel zal wordt toegepast en of voor enkele reparatiematerialen proefvlakken worden gemaakt.

Optimale afstemming reparatiemortel op ondergrond

Vooropgesteld dat het doel niet is om door middel van een extreem contrast de reparatie zichtbaar te houden, zal in het algemeen worden gestreefd naar een technisch en esthetisch compatibele ingreep. Dat wil in technische zin zeggen dat de ingreep niet mag leiden tot een versnelde aantasting van het originele materiaal en dat de ingreep zelf zo duurzaam mogelijk moet zijn (Van Hees et al. 2002); in esthetische zin betekent het dat kleur en textuur van de reparatie moeten passen bij die van het originele materiaal.

Voor een optimale afstemming op de ondergrond moet met name worden voldaan aan de volgende eisen:

- Kleur en textuur overeenkomend met die van de ondergrond.
- Drooggedrag en waterabsorptie ongeveer gelijk aan die van de ondergrond.
- Thermische en hygrische uitzetting: idem.
- Porositeit: idem.
- Sterkte en stijfheid: geringer dan die van het origineel.
- Krimpscheurtjes dienen te worden vermeden.
- Er dient voldoende hechting aan de ondergrond te zijn.

Samenstelling

De juiste samenstelling en verhouding van de verschillende mortelonderdelen bepaalt in hoeverre aan de genoemde eisen wordt voldaan.

Om aan de genoemde eisen te voldoen kan gevarieerd worden met de verschillende onderdelen van de mortel.

De belangrijkste zijn bindmiddelen, toeslag (vulmiddel c.q. zand), additieven (zoals plastificeerders) en toeslagstoffen (zoals pigmenten).

Bindmiddel: Het bindmiddel bepaalt in grote mate de mechanische en fysische eigenschappen en tevens voor een belangrijk deel de esthetische. In tabel 2 is een kwalitatieve vergelijking gemaakt tussen bindmiddeltype voor een aantal (vooral) technische eisen.

Cement zorgt voor grotere stijfheid (E-modulus) en hogere sterkte dan (lucht)kalk. Hydraulische kalk en kalk-tras geven een hogere sterkte en stijfheid dan luchtkalk en een lagere dan cement. Donkergrijze portlandcement is esthetisch moeilijk in lijn te brengen met een witte kalksteen, terwijl kalk minder goed zal aansluiten op zandsteen.

Een bijzonder bindmiddel in dit verband is Romeins cement, ook wel Parker's cement, een uit de 19^e eeuw daterend en onlangs weer herontdekt snel verhardend bindmiddel, qua samenstelling een natuurlijk hydraulisch cement, dat op aanzienlijk lagere

Tabel 1. Overzicht steenreparatiemortels, zoals internationaal op de markt aangeboden (gebaseerd op Van Hees 2016, RILEM Technical Committee 243-SGM, 2016).

| Producent toepassing | Bindmiddel | Soort.gewicht | Sterkte | E- modulus | therm.uitz. | porositeit | krimp | WAC |
|--|---|--------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| | | kg m ⁻³ | N mm ⁻² | kN mm ⁻² | mm m ⁻¹ K ⁻¹ | % | mm m ⁻¹ | kg m ⁻² h ^{-1/2} |
| Jahn M70 zand- en kalksteen | waarsch. cement | 1500 | 1,5-2 (t) 10-18 (d) | 10-14 (dyn) | 0,1 | - | - | 6,8 |
| Jahn M100 terracotta | waarsch. cement | 1700 | 2,5-4,5 (t) 18-25 (d) | 14-20 (dyn) | 0,1 | - | - | |
| Remmers SK zand- en baksteen beton | waarsch. cement | 1700 | 8-13 (d) | 8 | - | - | -0,3 (7dg) -0,7 (28dg) | - |
| Remmers AC a3 zandsteen | acryl | | 6,1 (d) | 5,6 (dyn) | | | | 3,6 |
| St. Astier Lithomex | nat. hydr. kalk | | 7,3 (d) 2,4 (bt) | 7,7 | | | | |
| Acqua Petra C | cement | | 20-30 (d) | | | | | |
| Aqua Petra E | epoxy | | 35-65 (d) | | | | | |
| Bridevaux zandsteen | luchtkalk, tras- cement, additieven (<5% van bindm.) | | 4,8 (d) 1,9 (t) | 1,1 | | 40 | | 12,4 |
| Bridevaux zandsteen | luchtkalk, wit cement, additieven (<5% van bindm.) | | 7,6-11,2 (d) 2,1-4 (bt) | 4,1-6,7 | | 40-45 | | 12,4 |
| Sika beton mortel steen | epoxy | 2000 | 77 (d) 39 (bt) 2,4-3,6 (t) | | | | | |
| Monulit natuursteen baksteen | zinkoxide | 2150 | 6-12,5 (d) 3,5 (bt) | 8,5-16 15-24 (dyn) | 0,08 | | -0,01 | |
| Krusemark Mineros 2000 natuursteen | | | 9,1 (d) 3,3 (bt) | 2,2- 7,6 (dyn) | | 40 | | 0,85 |

Afkortingen: Rf /Rt – buigtrek- resp. treksterkte; Rc – druksterkte

Eisen aan steenreparatiemortels

Ontwerp en toepassing van de steenreparatiemortel dienen te passen binnen een benadering waarbij rekening wordt gehouden met algemene waarden en conceptuele, functionele en technische eisen (zie Van Balen et al, 2005). Verder dient, zoals bij andere instandhoudingsingrepen ook bij steenreparatie een aantal stappen vooraf te worden uitgevoerd ten einde een adequate ingreep te verzekeren. Het gaat dan in de eerste plaats om een vooronderzoek, dat de volgende stappen dient te omvatten:

- Opname van de aangetaste constructies en materialen en hun staat van conservering.
- Vaststellen van het type natuursteen of baksteen c.q. metselwerk.

Symposium Monumentenkennis | Kennis van de Gevel

temperatuur dan Portland cement wordt gefabriceerd en uitstekende eigenschappen heeft voor het maken van decoraties en reparaties.

Tabel 2. Eigenschappen toegepaste bindmiddelen (ontleend aan RILEM Technical Committee 243-SGM (2016)).

| Technische eigenschappen | Algemeen bindmiddel type | | | | | | |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------|----------------------------------|---|-----------|-----------|
| | Lucht-kalk | Hydraulische kalk / NHL | Tras-kalk | Natuurlijke en Romeinse cementen | Calcium-silicaat cementen (Portland-cement) | Epoxyhars | Acrylhars |
| Hechting | 3 | | | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Sterkte (druk-, buig-, trek) | 2 | | | 6 | 6 | 6 | 6 |
| E-modulus | 1 | | | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Weerstand waterpenetratie | 3 | | | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Weerstand tegen vriesdooicycli | 2 | | | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Thermische dilatatie | 1 | | | 1 | 1 | 6 | 6 |
| Waterdamptransport | 5 | | | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Esthetisch | Afhankelijk van specifieke eisen | | | | | | |

Toeslag: Het vulmiddel, dat wil zeggen het aggregaat of het 'zand' moet qua vorm, afmeting en kleur van de korrels overeenkomen met het origineel. Een evenwichtige korrelgradering helpt de krimp van de mortel te beperken.

De korrelgradering van het zand en de bindmiddel-zandverhouding zijn van grote invloed op de porositeit en poriegrootteverdeling.

Behalve kwartzand kunnen ook gebroken kalksteen, glasdeeltjes, vulkanische materialen als bims, perliet en dergelijke als aggregaat worden toegepast; de sterkte en de soortelijke massa worden er mede door bepaald.

Additieven: Additieven kunnen de eigenschappen van zowel de verse als de verharde mortel beïnvloeden. Toepassing van luchtbelvormers of plastificeerders vermindert de waterbehoefte en daarmee uiteindelijk de krimp van de mortel, terwijl ook de vorstbestandheid wordt verbeterd.

Overige toevoegingen: Dit zijn bijvoorbeeld pigmenten. Deze worden toegevoegd om de kleur van de verharde mortel aan te passen aan de ondergrond.

Laagdikte

De laagdikte van een reparatie is in de eerste plaats afhankelijk van de aantastingsdiepte. Daarbij gaat het om de diepte vanaf het oppervlak tot de nog gezonde steen. Wanneer de aantasting erg diep is zal in meerdere lagen, van maximaal 15-20 mm, moeten worden gewerkt. Moeten verschillende lagen worden toegepast dan

kan gekozen worden voor per laag verschillende grootten van aggregaat. De diepste laag heeft daarbij het grofste aggregaat.

Voorbeelden uit de praktijk

De figuren in dit hoofdstuk tonen een aantal praktijktoepassingen. Hiermee wordt tegelijk ook een aantal praktijkproblemen gesignaleerd. De voorbeelden laten ook duidelijk zien hoe moeilijk het is in de praktijk tot 'onzichtbare' oplossingen te komen.

Mogelijke problemen:

- Het niet goed aanpassen van kleur en textuur; figuur 6 laat bijvoorbeeld zien hoe moeilijk dat kennelijk bij tufsteen is.
- Geringe duurzaamheid van de toegepaste pigmenten.
- Verandering in uiterlijk en kleur als gevolg van nat worden of ongelijkmatig drogen.
- Technische incompatibiliteit tussen ondergrond en reparatie. Dit kan resulteren in onthechting (o.a. als gevolg van te groot verschil in thermische of hygrische uitzetting, krimp van de reparatiemortel), zie figuur 4 en zelfs tot snellere verwerking van het oorspronkelijke materiaal (Fig. 7).
- Slechte uitvoeringskwaliteit. Dit kan resulteren in vroegtijdige onthechting en dergelijke.

In de figuren hieronder komt een aantal van de gesignaleerde problemen aan de orde.



Fig. 2. Natuursteenreparatie. Detail van de aansluiting.



Fig. 3. Baksteenreparatie. Detail van de aansluiting.

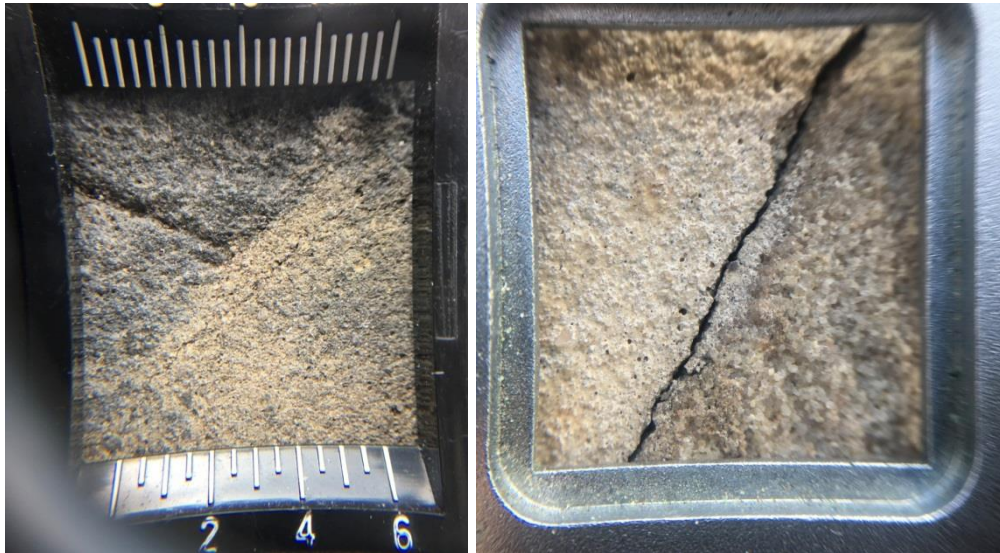


Fig. 4. Details natuursteenreparatie: beginnend krimpscheurtje (links) en mogelijk vervolg (rechts).



Fig. 5. Natuursteenreparatie: manifesteert zich op afstand als vlekken, van nabij als verschil in kleur en textuur ten opzichte van het oorspronkelijk materiaal (graniet).



Fig. 6. Reparatie van tufsteen. Links: zowel qua kleur als textuur weinig geslaagde toepassing. Rechts: afwijkende textuur.



Fig. 7. Natuursteenreparatie; na enige tijd is scheurvorming en onthechting opgetreden (zandsteen).

Conclusies

Bij toepassing van steenreparatiemortels gaat het in het algemeen om een kleinschalige aanpak van veelal individuele stenen.

Zowel in Nederland als in de rest van Europa is een redelijk breed marktaanbod beschikbaar van verschillende fabrikanten, met in principe de mogelijkheid de producten aan te passen aan verschillende natuursteensoorten.

Echter, door het ontbreken van eenduidige gegevens betreffende samenstelling en eigenschappen van de verschillende mortels, is de keuze niet eenvoudig. Vergelijken en op basis daarvan komen tot een zinvolle voorselectie is dan ook bijna onmogelijk.

In de praktijk blijkt dat door onjuiste keuzes en mogelijk onvoldoende voorbereiding c.q. vooronderzoek de compatibiliteit regelmatig geweld wordt aangedaan, met negatieve gevolgen voor de duurzaamheid van het geheel en het risico van verlies van historisch materiaal.

In principe kan overigens op basis van de in dit artikel beschreven eisen en uitgangspunten met betrekking tot mortels en mortelsamenstellingen ook tot maatoplossingen, c.q. het zelf samenstellen van een reparatiemortel, worden besloten.

Noten

¹ Zie <http://www.jahnmortars.nl/>, geraadpleegd 06-03-2015.

² De verhouding statische elasticiteitsmodulus/dynamische elasticiteitsmodulus (bepaald door middel van de resonantiefrequentie) ligt rond 0,77 voor E-moduli in het gebied tussen 2-8 GPa.

³ Zie <http://www.remmersbouwchemie.nl/fileadmin/>, geraadpleegd 06-03-2015.

⁴ Zie <http://rewah.com>, Monulit, geraadpleegd 21-08-2014.

Referenties

- Ashurst, J. & Ashurst, N., 1998. Practical building conservation. Volume 3, Plasters, mortars and renders. English Heritage Technical Handbook. Gower Publishing, Aldershot.
- Balen, K. van, Papayianni, I., Hees, R.P.J. van, Binda, L. & Waldum, A., 2005. RILEM TC 167-COM: Characterization of old mortars with respect to their repair. Introduction to requirements for and functions and properties of repair mortars. *Materials & Structures* 38:781-786.
- Hees, R.P.J. van, 2016. Steenreparatiemortels, eigenschappen, eisen en praktijkproblemen. In: . In: Nijland, T.G., red., *Mortels technisch en bouwhistorisch bekeken*. Syllabus TNO-NVMz studiedag, Delft, 20 januari 2016. TNO, Delft, 88-96.
- Hees, R.P.J. van, Pel, L. & Lubelli, B., 2002. Towards compatible repair mortars for masonry in monuments. In: Galan, E. & Zezza, F., red., *Proceedings of the 5th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin - Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities*. Swets & Zeitlinger, Lisse, 371-375.
- RILEM Technical Committee 243-SGM, 2016. Functional requirements for surface repair mortars for stone in historic buildings. Concept, oktober 2016.