

Bouwstenen voor de Richtlijn

Restauratievoegmortels

voor restauratie van
zwaar regenbelast historisch metselwerk
gemetseld in 'kalk'

dr. ir. Caspar Groot / Jos Gunneweg

Delft, september 2012

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

Inhoudsopgave

- 1. Algemeen**
 - toepasbaarheid
 - status en procedure
 - context
 - doel
- 2 Vooronderzoek**
 - algemeen – moment in het proces
 - typologie bestaande metselmortel
 - typologie bestaande baksteen
 - aanwezigheid oorspronkelijk (doorgestreken) voegwerk
 - uithakwijze en overige aspecten evt. vorige voegherstelbeurt
 - bepaling zoutbelasting
 - monsterneming – aantal monsters
 - geleidbaarheidsproef
 - mate van zoutbelasting uit geleidbaarheidsproef
- 3 Karakteristiek en eisen**
 - karakteristiek
 - eisen en grenswaarden
- 4. Voorbeeldrecepturen - eisen mortelstoffen**
 - voorbeeldrecepturen
 - eisen mortelstoffen
 - toetsing specificaties zanden
- 5. Verwerking**
 - bouwplaats gemengde mortels
 - prefab-mortels
 - seizoensaspect
- 6. Winterstop**
 - algemeen

Bijlage

testprotocollen - niet standaard testmethoden

- praktijktest verwerkbaarheid
- druksterkebepaling volgens VUP
- berekenen thermische spanningscoëfficiënt na bepalen thermische uitzettingscoëfficiënt en dynamische e-modulus
- vries-/dooiproef aangepast protocol
- bepaling fijnheidsmodulus
- model formulier verwerkbaarheidsproef

aanpak vochtproblematiek massief metselwerk

1. Algemeen

toepasbaarheid

Deze bouwstenen hebben betrekking op voegmortels voor het hervoegen van opgaand werk 'zacht' historisch metselwerk in baksteen of natuursteen (zone 4), dan wel het hervoegen van dergelijk werk na een eerdere niet duurzaam of compatibel gebleken voegmortel en/of uitvoeringswijze.

Met zacht metselwerk wordt bedoeld in kalkmortel opgetrokken zwaar regenbelast massief, veelal zoutbelast, metselwerk (c.1300-1850; Kastelen, kasteelruïnes, stadspoorten, bakstenen molenrompen, kerkgebouwen en kerktorens tot aan de Neogotiek etc.)

Het voegtype is: 'platvol'.

Historisch metselwerk met andere karakteristieken valt uitdrukkelijk buiten deze bouwstenen.

status en procedure

Deze bouwstenen vormen de basis voor een in ontwikkeling zijnde richtlijn. In de komende tijd zal op basis van de bouwstenen een concept richtlijn door de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE opvolger van de vroegere RDMZ), TU Delft en vertegenwoordigers van onderzoeksinstituten en marktpartijen in de sector worden uitgewerkt.

De concept richtlijn zal worden voorgelegd voor commentaar aan een grote groep potentiële gebruikers. Met name zullen alle in Nederland op de markt zijnde producenten en importeur van restauratie voegmortels worden benaderd en om een reactie worden gevraagd. Indien zij dit wensen zullen zij in de gelegenheid worden gesteld hun eventuele commentaar mondeling bij de RCE en de onderzoekers toe te lichten.

Na eventuele aanpassing en bespreking in een daartoe door de RCE in te stellen commissie, kan de richtlijn – in een nader te bepalen vorm – worden afgerond en geformaliseerd.

De bouwstenen kunnen vooruitlopend daarop al worden gebruikt voor bijvoorbeeld het opstellen van een bestek.

context

De bouwstenen voor de richtlijn mortel en steen zijn onderzoeksresultaten van het deelproject van het onderzoeksproject "Aanpak Vochtproblematiek massief Metselwerk", cluster III deelonderzoek *voegmortels voor het hervoegen van opgaand werk van zwaar regenbelast, in kalkmortels gemetseld, oorspronkelijk doorgestreken massief metselwerk in baksteen of natuursteen (zone 4).*

Dit onderzoeksproject wordt in opdracht van de Monumentenwacht Nederland uitgevoerd onder supervisie van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE) door TU Delft, faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen. Onderzoekers zijn dr. ir. C.J.W.P. Groot en J. Gunneweg, bij dit deelonderzoek geassisteerd door mw. A. Visbeen.

Eerder werd afgesloten het onderzoek Cluster I met de deelonderzoeken (i) "Kwaliteitseisen restauratiebaksteen" en (ii) "Kwaliteitseisen metselmortels in kalk". Op grond hiervan werden de bouwstenen voor de richtlijn Mortel & Steen opgesteld met een publicatie in maart 2007. Daarnaast vonden onderzoeken plaats naar "Detectie" en "Injectie" (cluster II) en een speciaal op molens gericht onderzoek "Bouwkundige detailleringen bakstenen windmolens".

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

Inmiddels zijn ook gereed de rapportages “Voegherstelmortels”, “Inboetwerk”, “Transversaalscheuren” en “Uitvoeringswijze voegwerkherstel”. De laatstgenoemde rapportages vormen samen met “Bouwkundige detailleringen bakstenen windmolens”, het zgn. cluster III van het “Totaalonderzoek Aanpak vochtproblematiek massief metselwerk”.

doel

Gedurende de laatste decennia komen regelmatig vrij kort na restauratie van zwaar regenbelast massief metselwerk in monumenten waterdichtheids problemen voor. Ook komt voor dat vrij kort na een uitgevoerde hervoegebeurt, bij nachtvorst, de voegen worden uitgedrukt.

Een belangrijk deel van de problematiek is terug te voeren op fouten in de keuze van de gebruikte voegmortels en op onvoldoend vakmanschap tijdens de uitvoering, met name zich uitend in een verkeerde manier om de voegen uit te hakken.

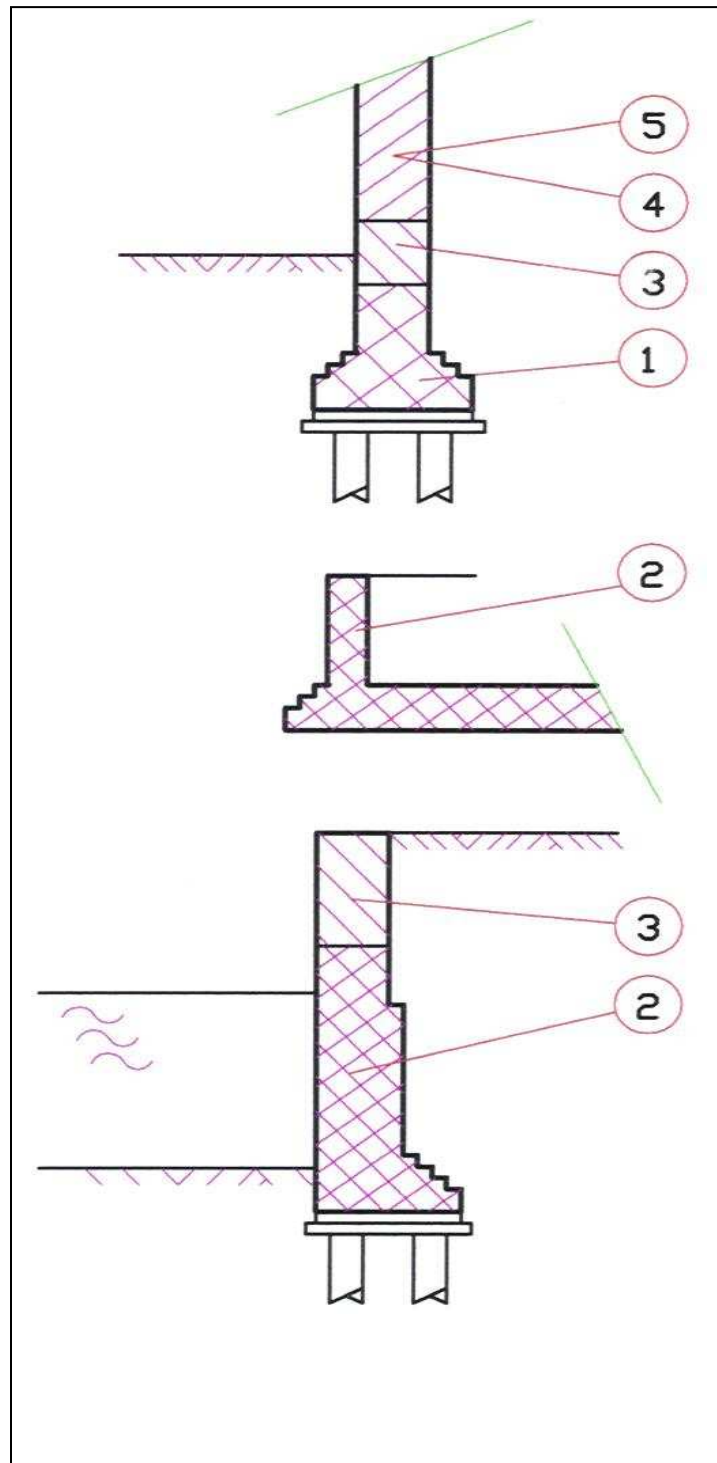
Doel van de te ontwikkelen richtlijn is het bieden van houvast aan de restauratiepraktijk m.b.t. baksteenkwaliteit, bindmiddelkeuze en recepturen van mortels *op basis van kalk* die worden toegepast bij de restauratie van zwaar regenbelast opgaand volle wand (= massief) metselwerk van monumentale bouwwerken, die bovendien zoutbelast zijn. Te denken is aan fabrieksgebouwen, watertorens, vuurtorens, vestingwerken, kerktorens en west-gevels van kerkgebouwen, rompen van bakstenen windmolens etc. Oorspronkelijk meestal uitgevoerd met ‘doorgestreken’ voegen.

Voor de voegmortels worden algemene eisen gegeven voor zowel bouwplaatsgemengde mortels als pre-fab mortels. Tevens worden een aantal voorbeeldrecepturen gegeven voor bouwplaatsgemengde mortels met de eisen voor de mortelstoffen. Ook wordt een schets gegeven van het uit te voeren vooronderzoek en is er een voorlopige aanbeveling m.b.t. een ‘winterstop’ die voor de hier gegeven traag uithardende mortels in acht dient te worden genomen.

Er is een bijlage toegevoegd met de beschrijving van enige testprotocollen die niet in de standaard normbladen voorkomen maar specifiek nuttig zijn bij het verifiëren van de eisen bij de hier toe te passen restauratievoegmortels, waaronder een praktijktest verwerkbaarheid.

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

tabel 1.
toepassingsgebieden/
baksteenqualiteiten/
morteltypen



aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

tabel 2 schema zones massief metselwerk

Zone	Toepassingsgebied (zie aanduidingen op principetekening)	voorbeelden	aanbevolen restauratie baksteen kwaliteit	aanbevolen restauratie mortel type
1	funderingen	de aanleg en de voet van de muur	R 6 (Rood)	A (niet hydraulisch)
2	Waterkerend werk onder water	Kelders; kademuren onder de waterlijn; bij poldermolens: wielbak, opleider en krimp	R 1 (Kelderklinker)	E (sterk hydraulisch)
3	Permanent vochtig werk	Trasramen, kademuren boven de waterlijn, grondkerende muren; bij poldermolens: waterloopsmuren	R 2 (Trasraamklinker)	D (gematigd hydraulisch)
4	Opgaande muren met hoge regenbelasting e/o bijzondere verwerende omstandigheden* - gem. dikte minimaal 40 cm ; WF 2 steens; IJF 2 ½ steens: R 3 ----- - gem. dikte vanaf 45 cm; WF 2 ½ steens; IJF 3 steens: R 4	Watertorens, kerk- en vuurtorens, molens, hoge solitair gelegen gebouwen met rechthoekige plattegrond *beh. Middeleeuwse zeer dikke muren; en muren in zgn 'veldbrand steen'.	R 3 (Gevelklinker) ----- R 4 (Hardgrauw)	C (licht hydraulisch) C (licht hydraulisch)
5	Opgaande muren zonder hoge regenbelasting	Alle overige opgaande muren	R 5 (boerengrauw)	B (zwak hydraulisch)
6	binnenmuren	Dragend en niet dragend	R 6 (Rood)	A (niet hydraulisch)

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

2. Vooronderzoek ten behoeve van keuze restauratie voegmortel

- Algemeen – moment in het proces

De uitgebreidheid van het onderzoek hangt af van:

- De betekenis van het te restaureren object voor het cultureel erfgoed.
- De omvang van de interventie.
- De complexiteit van het geconstateerde probleem (om adequate maatregelen te nemen en toekomstige problemen te voorkomen is het van groot belang de oorzaken van de problemen te kennen).

Wanneer een deskundige raadplegen?

Nader in te vullen in overleg t.b.v. vaststelling concept richtlijn

Wanneer men tot het oordeel komt dat het om een groot en/of complex project gaat met meer dan alleen voegherstel, en besluit een deskundige te raadplegen is het aan te raden dit vooronderzoek te doen verrichten in de fase van het aanbestedingsklaar maken van het werk.

Bij een klein project, met alleen voegherstel, kan het hierna te beschrijven minimale vooronderzoek ook direct na de aanbesteding worden uitgevoerd.

- Typologie bestaande metselmortel

Voor het bepalen van het toe te passen morteltype dient men de samenstelling van de oude metselmortel te hebben onderzocht. Gaat het inderdaad om een 'kalkmortel'?

Bij een project van enige culturele betekenis (*nader te definiëren in concept richtlijn*) worden van de oude mortel minimaal de volgende karakteristieken bepaald:

- a) type bindmiddel
 - b) type aggregaat (bijv. zand) en korrelverdeling
 - c) bindmiddelaggregaat verhouding *)
 - d) zoutbelasting.
- *) *voorzichtigheid is geboden bij interpretatie van de bindmiddel / aggregaat verhouding omdat de oude bindmiddelen een andere fijnheid en zuiverheid hadden dan de huidige.*

Bij projecten van geringe omvang en geringe culturele betekenis mag op visuele wijze de typologie van de legmortel worden vastgesteld. Hier worden zo mogelijk wel enkele brokken ongeschonden mortel uit de muur genomen en door de eigenaar / beheerder of de directie bewaard om als referentie te kunnen dienen voor wat betreft de typologie bepaling.

- Typologie bestaande baksteen

Wanneer uitsluitend voegwerk aan de orde is, kan worden volstaan met op visuele wijze, aangevuld met krassen en kloppen, vast te stellen of de bakstenen de eigenschappen hebben die algemeen bij in kalk gemetselde muren voorkomen, zacht tot matig hard, matig zuigend, matig poreus.

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

Alleen bij bouwwerken uit de vroegste periode van baksteenbouw, met kloostermopstenen die een breed spectrum van deze karakteristieken vertonen, is het aan te bevelen een monster te nemen van de zachtste kwaliteit en daar de gebruikelijke hygrische testen en ook een druksterktewaarde bepaling op uit te voeren. Opdat men eventueel kan besluiten bij de te kiezen voegmortel een speciale receptuur te kiezen met zo laag mogelijke sterkte. Meestal zijn de bedoelde zachtste stenen echter zo sterk gedegradeerd dat ze door nieuwe ingeboet moeten worden, die vrijwel altijd wat harder zullen zijn en zal deze vraag zich niet voordoen.

- Aanwezigheid oorspronkelijk (doorgestreken) voegwerk

Vaststellen of en hoeveel oorspronkelijk voegwerk (meestal aan de oostzijde) aanwezig is. Zowel uit cultuurwaarde oogpunt als puur vanwege bouwfysische overwegingen verdient het aanbeveling dit zo veel mogelijk te respecteren.

- Uithakwijze en overige aspecten evt. vorige voegherstelbeurt

Vastleggen door fotograferen en schetsen op welke wijze en hoe diep en hoe breed het uithakwerk bij een vorige voegherstelbeurt is gedaan. Dit zodat bij het nu na te streven dieper uithakken, de huidige voeghaker kan aantonen dat een eventueel aanwezige brede ondiepe slijpsleuf al aanwezig was, hetgeen nog al eens een discussiepunt oplevert.

Ook dient globaal te worden nagegaan in hoeverre er eerder inboetmetselwerk is uitgevoerd gemetseld in cementmortels. Dit zal daar ter plaatse het dieper uithakken van de voegen bemoeilijken welke complicerende factor tevoren bekend moet zijn.

- Bepaling zoutbelasting

Algemeen

Voor restauratie *voeg* mortels is een verfijnder beeld nodig van de zoutbelasting dan voor restauratie *metsel* mortels waar tegelijk ook de stenen worden vervangen door nieuwe, niet zoutbelaste stenen.

Er dient allereerst op het object door nauwkeurig waarnemen en fotografisch vastleggen van bepaalde verschijnselen, visueel te worden bepaald of er zoutgerelateerde schaden zijn.

De mate van zoutbelasting kan op verschillende manieren worden vastgesteld. In de onderzoekspraktijk worden de geleidbaarheidsproef en de hygrische absorptieproef uitgevoerd.

De geleidbaarheidsproef geeft een klasse-indeling (niet, matig, sterk zoutbelast). Deze proef wordt ook veel gebruikt door de mortelleveranciers. Bij de hygrische absorptieproef worden de resultaten gerelateerd aan praktijkkennis over de mate van zout belasting.

- Monsterneming – aantal monsters

Er zijn twee of drie elementen: de baksteen, en de oude metselmortel, in de meeste gevallen ook een min of meer recente voeg die vervangen moet worden.

Voor de zoutbelasting zijn alleen van belang de baksteen en oude metselmortel die apart bemonsterd moeten worden.

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

- **Plaatselijk voegherstelwerk**

Bij klein herstelwerk, op de plek waar gewerkt moet worden: 2 monsters, 1 van de steen en 1 van de oorspronkelijke metselmortel, te nemen achter de evt. aanwezige te verwijderen reparatievoeg en op een diepte tot ca. 7 cm. Geen mengmonster van maken.

- **Algeheel voegherstelwerk, niet complex**

Bij groter herstelwerk, waar evt. sprake kan zijn van optrekkend vocht of evt. het object vroeger door inundatie of overstroming in het zoute water heeft gestaan, minimaal 8 t.w.: aan de voet, ~ 50 cm boven het maaiveld, aan de westzijde, idem aan de oostzijde gruismonster steen + gruismonster oorspronkelijke metselmortel.

- **Grotere en/of complexere objecten**

Bij grotere en/of complexere objecten, waarbij eventueel een deskundige wordt ingeschakeld, meer gruismonsters nemen al naar gelang de situatie vereist.

- Geleidbaarheidsproef

Bepalen zoutbelasting d.m.v. geleidbaarheidsproef van de genomen monsters.

De huidige gestandaardiseerde eenheid is **mS/m (mili Siemens per meter)** .

De vroeger gehanteerde waarde: **µS/cm** (*micro siemens per centimeter; nb. = mS/m * 10*)

- Mate van zoutbelasting uit geleidbaarheidsproef:

- | | |
|--------------------------------------|-------------------|
| • < 50 mS/m (500 µS/cm) : | niet zoutbelast . |
| • 50 – 100 mS/m (500 – 1000 µS/cm) : | matig zoutbelast |
| • > 100 mS/m (> 1000 µS/cm) : | sterk zoutbelast |

3. Karakteristiek en eisen

- Chemische zoutresistentie en mechanische en fysische compatibiliteit

Voor optimaal compatibele voegmortelrecepturen in zoutbelast werk met duurzaam gunstig ademend vermogen, met dien verstande dat bij geleidbaarheidswaarden **> 100 mS/m (> 1000 μ S/cm)** = **sterk zoutbelast**, de kans aanwezig is op mogelijk fysische verwerking mortel op termijn (opofferingsgezindheid t.o.v. oorspronkelijke metselmortel en de steen) maar met behoud van de ademende eigenschappen en dus optimaal behoud van het totale authentieke muurwerk.

- karakteristiek

- Goed verwerkbaar voor vullen diepe voegen.
- Hoge vervormingscapaciteit.
- Matige sterkte.
- Matige thermische uitzettingscoëfficiënt.
- Ademend vermogen (gunstige waterabsorptie- en droogcoëfficiënt).
- Vorstbestand.
- Chemisch zoutresistent.
- Vrij van mortelhulpstoffen.

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

- eisen – grenswaarden

Na interpretatie van alle testuitslagen en de praktijksituaties uit het onderzoek worden voor de volgende parameters grenswaarden gedefinieerd.

- **Verwerkbaarheid :** $\geq 5^{1/2}$
(praktijktest z. bijlage 'testprotocollen niet standaard testmethoden')
- **Druksterkte :** $3 - 6 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$
(volgens VUP; z. bijlage 'testprotocollen niet standaard testmethoden'
bij de bindmiddelen NHL resp. puzzolane mortels = CL + T al dan
niet cementversterkt.; overige bindmiddelen/bindmiddelencombinaties
volgens NEN-EN 1015- 11: Bepaling buigtreksterkte en druksterkte verharde mortel')
- **Thermische spanningscoëfficiënt $\alpha \times E$:** $< 100 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$
(berekenen na bepalen thermische uitzettingscoëfficiënt α en
dynamische E-modulus, z. bijlage 'testprotocollen niet standaard testmethoden')
- **Vrijwillige wateropneming** **25-30 % (v/v)**
(volgens EN 771-1 bijlage C)
- **Waterabsorptie coëfficiënt WAC :** **0,3 – 0,9 kg/(m²·√min)**
(volgens NEN-EN 1015-18, protocol voor niet- restauratiemortels;
uitgevoerd aan prisma's na NUH of VUP)
- **Vorstbestandheid:**
 - geen deformatie voegmortel
 - geen afzanding voeg,
 - geen uitdrukken voeg (holle klank)
 - geen spleetvorming
 - geen vorstschade aan achterliggende metselmortel

(vriesdooiproef aangepast protocol. z. bijlage
'testprotocollen niet standaard testmethoden')
- **Chemische zoutresistentie :** **chloriden- en sulfaatresistent bindmiddel (-combinatie)**
- **Fysische zoutresistentie :** **zo hoog als compatibel mogelijk,**
binnen de grenzen van mechanische en
fysische compatibiliteit zoals uitgedrukt in de
hierboven gegeven parameters en grenswaarden
- **Vrij van waterrepellant:** **WAC > 0,3 kg/m²·√min.**
- **Vrij van luchtbelvormer:** **luchtgehalte natte mortelspecie < 5%**
(volgens NEN-EN 1015-7 'Bepalen luchtgehalte
mortelspecie – methode A)
- **Winterstop:** **bepalen categorie LWS of MLWS**
volgens karakterisering par. 6.

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

4. Voorbeeldrecepturen - eisen mortelstoffen

Voorbeeldrecepturen

De volgende recepturen voldoen aan de uitgangspunten en eisen zoals in par. 2. gesteld.

Recepturen

(verhoudingen volumedelen)

- VB 02 - MLWS 6 NHL 3,5 : 1 HOC : 17 Z
- VB 03 – MLWS 3 NHL 2 : 1 HOC : 10 Z
- VB 04 – LWS 1 NHL 3,5 : 2,5 Z *
- VB 06 – MLWS 3 NHL 2 : 1 HOC : 10 Z

De afkortingen **LWS** (lange winterstop) en **MLWS** (middellange winterstop) verwijzen naar de aanduidingen in par.7. winterstop.

** deze cementvrije receptuur met NHL 3,5 hardt traag uit waardoor winterstop categorie LWS. Gewenste sterkte wordt pas na ca. 180 d bereikt; zal bij versnelde uithardingsproef (VUP) op ca. 60% daarvan komen.*

Definities en eisen mortelstoffen

BINDMIDDELEN

Luchtkalk Kalk CL 70

gehydrateerde luchtkalk, met een actief kalkhydraatgehalte van > 70% volgens de kalknorm EN 459-1 CL 90- S, vrij van mortelhulpstoffen.

Natuurlijke Hydraulische Kalk NHL, sterkteklassen 2 / 3,5 / 5

gehydrateerde natuurlijke hydraulische kalk

volgens de kalknorm EN 459-1 NHL 2 - S. resp. 3,5 - S, resp. 5 – S, vrij van mortelhulpstoffen.

Bij voorkeur blijken mineralogische analyses geen chloriden en sulfaten bevattend en met een laag gehalte aan aluminiumoxide ($\text{Al}_2\text{O}_3 < 1,5\%$) en blijken de uitslagen van genormeerde tests sulfaat en chloridenresistent.

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

Tras

*Rijnse Tras met een minimaal sulfaat (SO_3) gehalte:
Trassmehl volgens DIN 51043.*

Hoogovencement HOC

*Hoogovencement sterkte 42,5 N met een slakgehalte van 66-80% en 20 -34%
portlandcementklinker, hoge sulfaatresistentie, begrensd alkaligehalte
volgens de cementnorm EN 459-1 CEM III/B 42,5 N HSR LA, vrij van mortelhulpstoffen.*

ZAND

*Rondkorrelig rivierzand , voegzand 0 - 1mm; fijnheidsmodulus FM 1,0 – 2,0
bepaald na granulometrische zeeftest
Voor bepaling zie bijlage testprotocollen - niet standaard testmethoden.*

Het vrije luchtgehalte van het zand dient zo hoog mogelijk te zijn, minimaal $\geq 34\%$ doch uit het onderzoek is gebleken dat binnen de gegeven bandbreedte voor de fijnheidsmoduluswaarden aan deze voorwaarde v.w.b. het vrije luchtgehalte wordt voldaan.

*Om op kleur te komen is evt. bijmengen van zilverzand en/ of evt. bergzand of zavelzand
toelaatbaar mits granulometrie en fijnheidsmodulus in belangrijke mate blijven voldoen aan de
bovenvermelde waarden.*

*Wanneer bij opzetten proeven op kleur gekozen wordt voor een mengzand verdient het
aanbeveling dit mengzand te testen op granulometrie en fijnheidsmodulus.*

*In zoutbelaste situaties bij grotere werken verdient het aanbeveling evt. toe te passen
bergzand of zavelzand in een kortdurende test op ASR risico te testen.*

Pigmenten

minerale mortelpigmenten

Alleen wanneer met behulp van de zanden niet de gewenste kleur kan worden bereikt is evt.
bijmengen van mortelpigmenten toelaatbaar. Mits ASR neutraal, van een gerenommeerd
fabrikaat en tot maximaal de door de fabrikant aangegeven dosering.

Toevoeging granulaten (gritjes)

granulaat van marmer, basalt of schelpengrit of geselecteerde grote zandkorrels

Om evt. een gewenste grovere textuur te bereiken is bijmengen hiervan toelaatbaar, tot max. $\sim 3\%$ [v/v] op het totale volume van zand + bindmiddel, mits het voegzand dat als basis wordt gebruikt aan de gewenste specificaties voldoet.

Water

Schoon leidingwater.

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

5. Verwerking

Bouwplaats gemengde mortels

voornatten muur

Voornatten muur minimaal 1 dag tevoren. Sterk zoutbelaste muren terughoudend voornatten i.v.m. mogelijk risico migratie en uitkristallisatie zouten in het hechtvlak.

aanmaken mortel

Mortel aardvochtig aanmaken met dwangmenger goed gekneet. Bij fijne kalk zo nodig op de traditionele manier met de schoenen in de kuip het water beter door de mortel verdelen.

nazorg

Verse werk beschermen tegen uitdroging of regen. Bij niet cementversterkte mortels (LWS) minimaal 5 dagen achtereen – bij sterk drogend weer, zo nodig ook in het weekend – het werk licht nanevelen; geen 'levend water' (dit kan evt. door afdekken met jute zakken die geregeld nat worden gehouden).

Bij cementversterkte mortels (MLWS) gedurende 5 dagen om de andere dag – bij sterk drogend weer, zo nodig ook in het weekend (dit kan evt. door afdekken met jute zakken die geregeld nat worden gehouden).

Nb: Bij evt. bindmiddelcombinatie portlandcement + luchtkalk, verse werk beschermen tegen uitdroging of regen en 1 x nanevelen, daags na inzetten voegen.

prefab-mortels

Bij afwijking van de hierboven gestelde uitgangspunten gelden de voorschriften van de producent / leverancier.

seizoensaspect

Zie par. 7. Winterstop.

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

6. Winterstop

- algemeen

Deze voorlopige aanbevelingen winterstop metsel- en voegmortels compatibel met oorspronkelijk 'in kalk' gemetselde muren zijn uitgewerkt op basis van een verkennend onderzoek. De aard van het onderwerp vraagt om een meer diepgaand onderzoek gevolgd door een algemeen aanvaarde landelijke richtlijn voor de winterstop bij het uitvoeren van restauratie metsel- en voegwerk bij verschillende sterktes en sterkte ontwikkelings grafieken restauratiemortels.

- mortels categorie **LWS** (lange winterstop) en categorie **MLWS** (middellange winterstop)

Bij de traag uithardende restauratie metsel- en voegmortels – mortelhulpstoffenvrij, zoals in dit document aan de orde, moet voor wat betreft de winterstop onderscheid worden gemaakt in 2 categorieën: *zonder* en *met* versterking OPC / HOC / HSGM genoemd resp. LWS en MLWS.

Nb. Bouwvorstschaderisico is eenmalig!

Voor de mate van een evt. cementversterking in de bepaling van de receptuur daarom altijd uitgaan van de te verwachten eindsterkte in relatie tot de (blijvende) compatibiliteitseis en het metsel/voegseizoen daar op afstemmen; niet andersom! de eenmalig te behalen winst in metselperiode kan gauw teniet worden gedaan door het verlies aan duurzaamheid in de periode daarna.

- **restauratiemortel categorie **LWS** (lange winterstop):**

Zonder OPC / HOC / HSGM : niet cementversterkte kalkgebaseerde mortels (CL, NHL, CI+tras):

- midden van het land :	begin oktober – half april	(w 39 – w 15)
- kustregio :	medio oktober – half april	(w 41 – w 15)

- **restauratiemortel categorie **MLWS** (middellange winterstop):**

Met OPC/HOC/ HSGM : met cement- of hoogovenslakgranulaatmeel versterkte kalkgebaseerde mortels (minimaal 0,15 dl OPC/HOC / HSGM op 1 dln CL, NHL, CI+tras [v/v] = minimaal % [m/m] OPC/HOC / HSGM op 100% [m/m] CL, NHL, CI+tras

- midden van het land :	begin november – eind maart	(w 44 – w 13)
- kustregio :	half november – begin april	(w 46 – w 14)

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

7. Toepassing in de praktijk

Bij de uitvoering van een concreet restauratieproject kan het voorkomen dat een aannemer bv. niet een van de in deze bouwstenen voor de richtlijn gegeven voorbeeldrecepturen wil toepassen maar de voorkeur heeft voor het toepassen van een bepaalde prefabmortel, waarvan wel de tot nu toe gebruikelijke parameters als druksterkte, damp diffusieweerstand bekend zijn maar de volgens deze bouwstenen voor de richtlijn eveneens van belang zijnde waterabsorptie coëfficiënt, e-modulus en de thermische spanningscoëfficiënt zijnde de vermenigvuldiging van de thermische uitzettingscoëfficiënt en de e-modulus, nooit eerder werden vastgesteld.

Het is van belang dat deze , volgens de in deze bouwstenen gegeven testprotocollen, alsnog worden bepaald.

Hier ligt een taak voor het bouwmanagement (opdrachtgever, architect, projectmanager) om dit procesmatig op een tijdig moment in te steken en het uitvoeren van die desbetreffende laboratoriumbepalingen te eisen, op kosten van ongelijk. Hierbij is wel daadkracht en consequent handelen vereist.

Na uitvoeren van het aanvullende laboratorium onderzoek op een door een aannemer ter goedkeuring aangeboden voegmortel , we noemen deze PF XX kan het handig zijn een tabel op te stellen waarin de resultaten worden vergeleken met de grenswaarden in deze bouwstenen voor de richtlijn.

Deze zou er (fictief) als volgt uit kunnen komen te zien.

vergelijking uitkomsten lab. tests prefab voegmortel PF XX met eisen bouwstenen richtlijn						
parameter	eenheid	eis	PF XX	voldoet		
chloride en sulfaatresistentie		binnen onderstaande grenswaarden zo optimaal mogelijk	volgens productinfo sulf en chl. resistent	ja		
verwerkbaarheid	dimensieloos	> 5,5	7	ja		
druksterkte	N/mm ²	3-6	17,5	nee		
vrijwillige wateropneming	% [v/v]	25-30	19	nee		
WAC	kg/m ² .min ^{-0,5}	0,3-0,9	0,1	nee		
Th spann. Coeff.	N/mm ² x 10 ⁻³	100	177	nee		
vries-dooiproef	dimensieloos	voeg niet los geen vorstschade legmortel	goed begin vorstschade	ja nee		
geschiktheidsbepaling: aan de grenswaarden voor ALLE 7 parameters moet worden voldaan !						
totaal oordeel				nee		

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

Hierbij kan op een objectieve manier de geschiktheid van een bepaalde prefab voegmortel voor toepassing in dit specifieke gebied , worden vastgesteld. In dit geval : ongeschikt.

Natuurlijk kunnen er situaties voorkomen waarbij de afwijkingen kleiner zijn en dus het oordeel geschikt/ongeschikt, minder duidelijk. Hierbij zal altijd de factor ervaring bij het bouwmanagement een rol blijven spelen om tot een afgewogen oordeel te komen.

Bijlage

testprotocollen niet standaard – testmethoden

- praktijktest verwerkbaarheid
- druksterkebepaling volgens VUP – Versnelde Uithardings Proef
- berekenen thermische spanning coëfficiënt na bepalen thermische uitzettingscoëfficiënt en dynamische e-modulus
- vries-/dooiproef aangepast protocol
- bepaling fijnheidsmodulus
- model formulier verwerkbaarheidsproef

Praktijktest beoordeling verwerkbaarheid restauratie voegmortels

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

Praktijktest beoordeling verwerkbaarheid restauratie voegmortels

Doel

Het beoordelen van de verwerkbaarheid van bouwplaatsgemengde en prefab restauratievoegmortels uit het oogpunt van de mogelijkheid om diep uitgehakte voegen geheel mee te kunnen vullen waarbij tevens wordt gelet op andere aspecten van verwerkbaarheid als smetrisico en geschiktheid om een 'dagproductie' mee te kunnen maken.

Scoort de mortel op het punt verwerkbaarheid slecht, is hij ongeschikt voor toepassing ook al zouden de in het laboratorium aan prisma's bepaalde fysische en hygrische eigenschappen voldoende zijn. Met een slecht verwerkbare mortel kunnen de voegen niet goed gevuld worden wat een primaire eis is. In wezen moet men in restauratiewerk bij diep uitgehakte voegen ook 'vol & zat' kunnen voegen.

En slecht verwerkbare mortel zal door de voegers op het werk ook ongemerkt aangepast worden. Hetzij door verschraling met zand of juist door toevoeging van extra kalk of hij zal een te hoge dosering aanmaakwater vragen en krijgen met risico van smet. Wat er dan nog overblijft van de oorspronkelijk bedoelde fysische en chemische eigenschappen wordt onduidelijk.

Ontwikkeling

De test is een variant op de praktijktest beoordeling verwerkbaarheid restauratie metselmortels die was ontwikkeld in het kader van het deelonderzoek Cluster I 'kwaliteitseisen steen & metselmortel voor restauratie zwaar regenbelast massief metselwerk gemetseld in kalkmortels'. Bij laboratoriumtests volgens de genormeerde tests conform de NEN-EN 1015 t.w. bepaling spreidmaat op de schoktafel, wordt alleen de mortel bekeken. Dit is voor restauratiewerk aan massief metselwerk waar de eis wordt gesteld 'vol en zat' werken en de mogelijkheid doorsrijkwerk te kunnen maken met een gegeven mortel-steen combinatie, onvoldoende. De verwerkbaarheid in zo'n situatie kan niet uit de bedoelde laboratoriumtests worden afgeleid.

In de ontwikkelde praktijktest wordt een oordeel gegeven over de verwerkbaarheid in een gesimuleerde praktijksituatie over een vooraf bepaalde combinatie 'mortel en steen'. Er werd een formulier ontwikkeld waarin de metselaar voor verschillende aspecten van verwerkbaarheid een rapportcijfer kon geven en ten slotte een cijfer als algemeen oordeel.

Voor voegmortels, die aardvochtig worden ingezet is de relevantie van bedoelde laboratoriumtest nog minder aanwezig dan voor de restauratie metselmortels.

De werkwijze en het beoordelingsformulier werden vertaald naar een situatie voor voegmortels.

Beoordeling door één of door drie ervaren restauratievoegers onder leiding onafhankelijke rapporteur

Wanneer de test wordt uitgevoerd in het kader van het ontwikkelen van een nieuwe mortelreceptuur kan worden volstaan met de uitvoering door één ervaren restauratievoeger.

Indien echter een oordeel moet worden gegeven in een situatie dat een bouwjuridisch of commercieel belang in het geding is, is het verstandig een panel van drie ervaren restauratievoegers de test te laten uitvoeren in een laboratoriumsetting onder leiding van een onafhankelijke rapporteur en de eindcijfers te middelen. Een van de voegers aan te wijzen door de partij die de opdracht tot de proef heeft gegeven, de andere door de rapporteur en de derde door de eerste twee gezamenlijk. Geen van de voegers mogen in dienst zijn van het zelfde bedrijf.

De mortel(s) worden geanonimiseerd aangeboden in een zak voorzien van een nummer.

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

Werkwijze

Ga als volgt te werk:

Maken proefmuurtjes

Dit kan door één metselaar/voeger worden uitgevoerd in een laboratorium setting onder begeleiding van een onafhankelijke rapporteur, 4 à 5 weken voor de eigenlijke test.

- metsel proefmuurtjes halfsteens 4 lagen hoog x 2 strekken breed in steen en mortel overeenkomstig de eisen in de 'Bouwstenen voor de Richtlijn 'Restauratiebaksteen & Metselmortels voor restauratie van zwaar regenbelast historisch metselwerk' TU Delft faculteit Civiele Techniek & Geowetenschappen, Delft, maart 2007', per voeger, per te testen voegmortel één .
- De voegen worden plm. 25 mm diep uitgekrabd.
- Laat de muurtjes minimaal 4 weken uitharden waarbij gezorgd wordt voor voldoende nanevelen gedurende de eerste week na metselen, al naar gelang de aard van het bindmiddeltype in de gekozen metselmortel.
- Rapporteur maakt foto's en noteert de relevante data en bijzonderheden betreffende het maken van deze muurtjes.

Uitvoeren verwerkbaarheidstests

Dit wordt uitgevoerd in een laboratorium setting onder begeleiding van een onafhankelijke rapporteur. Door één metselaar-voeger in het geval van experimenteel bepalen van een geschikte receptuur. In het geval een bouwjuridisch of commercieel belang in het geding is wordt aanbevolen drie ervaren restauratievoegers in te schakelen.

- Proefmuurtjes voornatten met sprayflacon met nevelpompje.
- Rapporteur biedt voeger(s) de te testen mortel(s) aan in geanonimiseerde vorm in een zak met een nummer erop en reikt beoordelingsformulier(en) uit.
- Mortel(s) wordt(en) gestort in kleine mengkom en drooggewicht bepaald met een weegtoestel nauwkeurigheid 1 g. noteer.
- Hierna aanmaken en mengen gemaakt in de juiste consistentie (aardvochtig).
- Weeg en noteer en bepaal waterbehoefte in % [m/m].
- Na voldoende tijd tussen voornatten en voegen zet(ten) voeger(s) de voegen in , handmatig met passende voegspijker van het bord of van de bal en krachtig aangedrukt. Indien 2 verschillende mortels kunnen er 2 worden ingezet in één muurtje met het open laten van de middelste lintvoeg.
- Afwerken zoals voor dit soort werk gebruikelijk.
- Met viltstift nummercode desbetreffende voegmortel(s) op muurtje(s) noteren
- Rapporteur controleert door drukken met de duim op voegen en op kruisingen stoot- en lintvoegen of de vulling in orde is.
- Voeger(s) vult/vullen beoordelingsformulier(en) in.
- Rapporteur verzamelt formulieren en bepaalt het gemiddelde van het cijfer voor de algemene beoordeling .
- Rapporteur maakt een rapport op met de gebruikelijke vermeldingen , de namen van de voegers , het verloop van de proef, de bepaalde totaalcijfers en het gemiddelde daarvan en eventuele bijzonderheden, ondertekent. Voegt kopieën van de beoordelingsformulieren toe aan zijn rapport

model beoordelingsformulier ; laatste bijlage bij dit document

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk



opmetselen proefmuurtje



voegen



*voegwerk gereed na uitvoeren verwerkbaarheidsproef;
mortelnummers genoteerd*

Druksterktebepalingen VUP - Versnelde Uithardings Proef

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

Druksterktebepalingen VUP - Versnelde Uithardings Proef

*Gemodificeerde proef gebaseerd op Turkish Standard – TS 24 / Rilem CEM Bureau method juli 1985;
Aanmaken mortel, vulling prismamallen, buigtrek- en druksterktebepalingen en rapportage conform
[NEN-EN 1015 .11 'Bepaling van de buigtrek- en druksterkte van verharde mortel']*

Voor mortels met bindmiddeltypen :

Natuurlijke hydraulische kalk NHL resp. puzzolane mortels = luchtkalk CI +tras T al dan niet cementversterkt.

Doel

Voor deze t.o.v. cementmortels traag uithardende morteltypen geeft de voor cementmortels gebruikelijke bepaling op 28 dagen geen realistische indicatie van de eindsterkte. De VUP is erop gericht om de uitharding op hogere temperatuur, met het vasthouden van het vocht, zodanig te versnellen dat in een doorlooptijd van totaal 14 dagen een indicatie wordt verkregen van ca. 70% van de eindsterkte die anders pas na 90 – 180 d zou worden bereikt.

Werkwijze

Ga als volgt te werk

- Maak de mortel aan en stort en verdicht deze in stalen prismamal conform [NEN-EN 1015 .11 'Bepaling van de buigtrek- en druksterkte van verharde mortel']
- De prismamal dampdicht sealen zodanig dat bij een temperatuur van + 55 °C geen waterdamp kan ontsnappen. Bv. dmv passende glasplaat waarop een gewicht en evt. aanvullend afgeteekt met temperatuurbestendige tape, of als alternatieve manier een polyethyleen zak die met warmtebestendige tape strak om bovenzijde en zijanten van de mal wordt gewerkt.
- Bewaar 2 d in klimaatkamer 20 °C ± 2 °C .
- Plaats gesealde prismamal in oven 10 d 55 °C ± 2 °C
- Neem uit oven, pak mal uit en neem de prisma's uit de mal
- Laat prisma's 1 d drogen in oven 55 °C ± 2 °C
- Laten afkoelen
- Bepalen buigtreksterkte waarna druksterkte conform [NEN-EN 1015 .11] par. 8 en 9.
- Rapportage conform [NEN-EN 1015 .11] par. 10.

Berekenen thermische spanningscoëfficiënt voegmortels $\alpha \times E$

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

Berekenen thermische spanningscoëfficiënt voegmortels $\alpha \times E$ na bepalen thermische uitzettingscoëfficiënt en dynamische E- modulus

Doel

Bij bezonning van hervoegde donker verweerde gevels kunnen bij bepaalde voegmortels schade veroorzakende thermische spanningen ontstaan die groter zijn naarmate de thermische uitzettingscoëfficiënt van de mortel hoger is. Bij een materiaal met een lineaire uitzettingscoëfficiënt α , een (dynamische) elasticiteitsmodulus E en een temperatuursverhoging van $\Delta \varnothing$ zijn de spanningen een functie van $\alpha \cdot E \cdot \Delta \varnothing$ (het volledig tot ontwikkeling komen van de spanningen hangt af van de weerstand van het vormgevende materiaal)

$\alpha \times E$ is een materiaalgebonden spanningscoëfficiënt, die voor ieder voegmateriaal specifiek is en aangeeft hoe gevoelig het materiaal is voor opbouwen van spanningen in het metselwerk als gevolg van temperatuurstoename. In het onderzoek is voor deze spanningscoëfficiënt een bovengrens bepaald.

*Deze thermische spanningscoëfficiënt kan worden berekend als achtereenvolgens zijn bepaald, 1) de dynamische E- modulus.
en 2) de thermische uitzettingscoëfficiënt.*

1. Werkwijze bepalen dynamische E - modulus

- Ga uit van 3 extra mortelprisma's vervaardigd en uitgehard bij het maken van prisma's voor de druksterkte bepaling volgens het toepasselijke protocol.
- Bepaal aan deze drie prisma's de dynamische E-modulus met een daartoe geëigend ultrasoon testapparaat met de uitlezing ingesteld op GN/m^2 en bereken het gemiddelde van de drie waarden $= E_{\text{dyn}}$ (noteer) .

2. Werkwijze bepalen thermische uitzettingscoëfficiënt

- Meetapparaatuur: digitale micrometer op statief met calibratiestaaf.
- Ga uit van de 3 mortelprisma's van proef 1 .
- Bewaar prisma's 3 d in klimaatkamer $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, RV $50\% \pm 3\%$.
- Lijm in klimaatkamer op de kopvlakken van elke prisma met warmtebestendige constructielijm een rvs kogel.
- Calibreer digitale micrometer met calibratiestaaf op nulstand.
- Bepaal lengte prisma zonder de kogels (= lengte prisma volgens lengte mal) = L [mm]
- Meet in klimaatkamer met digitale micrometer lengte prisma's over de kogels = L_0 [mm]
aanvangslengte (= lengte bij $(273 + 20)^\circ\text{K}$)
- noteer temperatuur = T_1
- Plaats prisma's in oven 4 d $55^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$
- Noteer temperatuur oven = T_2
- Neem prisma's uit oven en meet zo snel mogelijk de lengte op = L [mm]
(lengte bij $(273 + 55)^\circ\text{K}$)

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

- Bereken de thermische lineaire uitzettingscoëfficiënt per prisma met de formule:

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \frac{dL}{dT}$$

of bij constante uitzettingscoëfficiënt $\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$

α = lineaire uitzettingscoëfficiënt [m/(m.K)]

L = lengte [m]

L_0 = aanvangslengte [m]

$dL = L - L_0$ [m]

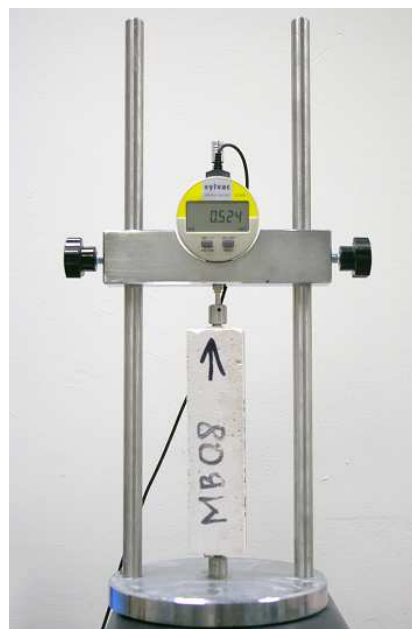
T = temperatuur [K]

$\Delta T = (273+55) - (273+20)$ [K]

- Bereken het gemiddelde van de drie prisma's en noteer: α_{gem} .
- Maak een rapport op met de gebruikelijke vermeldingen, het verloop van de proef, de gemeten waarden, de berekening en eventuele bijzonderheden en onderteken dit.



testopstelling met calibratie staaf
voor de vastlegging van de 0-stand



testopstelling met meting
uitzetting mortelprisma

3. Berekenen thermische spanningscoëfficiënt $\alpha \times E$

- Bereken met de formule $\alpha \times E = \alpha_{\text{gem}} \times E_{\text{dyn}}$ [uitgedrukt in N/mm² x 10⁻³]
Waarbij α uitgedrukt m/(m.K) en E uitgedrukt in N/mm² (MPa)

- Maak een rapport op met de gebruikelijke vermeldingen, het verloop van de proef, de gemeten waarden, de berekening en eventuele bijzonderheden en onderteken dit.

Vorst – dooi proef aangepast protocol

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

Vorst – dooi proef aangepast protocol

Doel

In historisch metselwerk zijn vaak kalkmortels toegepast. Extra zorg moet worden besteed aan het hervoege van historisch kalkmortelmetselwerk dat aan vorst kan worden blootgesteld. Er is nl een risico van vorstschade in de legmortel direct achter de (Her)voegmortel, tenzij de (her)voegmortel een uitstekend drogingsgedrag vertoont. In de praktijk is gebleken dat harde cementmortels het vochttransport vanuit de legmortel aanzienlijk kunnen vertragen, waardoor de legmortel gelegen achter de voeg nat blijft. Hierdoor kan een legmortel die eeuwenlang geen problemen heeft gekend door de toepassing van een verkeerd hervoegmateriaal vorstgevoelig worden en schade oplopen.

Ontwikkeling

De vorst-/dooibeproeving is gebaseerd op "Pointing Report nov. 2001, ENV4-CT98-706 paper 5.2" van Wijffels, Van Hees en Van de Klugt, deze methode is weer afgeleid van NEN 2872, "Beproeving van steenachtige materialen - Bepaling van de vorstbestandheid - Eenzijdige bevrozing in zoetwatermilieu". Anders dan bij de methode uit NEN 2872 is de duur van de totale vriesperiode, deze is 2x8 uur in plaats van 2x16 uur, daarnaast is tussen de periode van ontdooien in water en vriezen een droge geventileerde periode geïntroduceerd.

De vriesperiodes wisselen tussen -5°C en -15°C. Dooi en geschiedt in water van 20°C, waarna de monsters gedroogd worden in lucht van $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ en $(50 \pm 5) \% \text{ RV}$. De luchtverversing wordt versterkt door een ventilator, hierbij is gebruik gemaakt van de interne ventilator van de beproevingskast.

Oorspronkelijk werden de monsters bij de destijds gehanteerde methode voor de test geïmpregneerd met water onder 65% vacuüm, in het onderhavige geval is uitgegaan van 4 dagen dompelen in water van kamertemperatuur.

De wijze van het vervaardigen van de monsters en de beoordeling daarvan na de proef is verder uitgebreid in het onderzoek 'restauratievoegmortels voor massief metselwerk 'in kalk'. De proefstukken werden gezaagd uit ½ steens proefmuurtjes, niet uit samples van 2 stenen. Er werden stenen gebruikt die aan één strekzijde met een epoxy coating waren afgedekt. Dit om de drogende werking van de baksteen te elimineren en om de extreme situatie van hervoege na eerder hydrofoberen te simuleren, waarbij de drogong geheel 'door' de voeg moet plaats vinden.

Werkwijze

1. maken voegproefstukken

proefmuurtjes

- Van een voldoende aantal bakstenen één strekzijde afdekken met een 2 componenten epoxy betonverf. Ga zorgvuldig te werk en voorkom dat de verf over de randen op de legzijden loopt.
- Metsel een proefmuurtje zoals beschreven in 'Protocol praktijktest beoordeling verwerkbaarheid restauratie voegmortels', bij 'maken proefmuurtjes', al dan niet in combinatie met de uitvoering van deze test.
- Laat een ervaren restauratievoeger de voegen volgens de regelen der kunst inzetten zoals verder in genoemd protocol onder 'uitvoeren verwerkbaarheidstest' is beschreven.
- Laat het muurtje na uitvoeren voegwerk 4 weken uitharden onder klimaatcondities die voor de desbetreffende mortelreceptuur van toepassing zijn.

voegproefstukken

- Zaag uit het proefmuurtje minimaal 2 voegproefstukken van 4 lagen hoog en $2/3^\circ$ strek breed. Eén proefstuk ten behoeve van de uitvoering van de vorst – dooioproef en één als referentie voor de toestand vóór de proef.
- Bekleed het voegproefstuk aan 5 zijden met een polystyreen bak waartussen stroken neopreenrubber zijn aangebracht om verdamping via de zijanten te voorkomen. Voorzie de bodem van de bak van twee gaten van voldoende diameter om na dompelen van de voegproefstuk het water te kunnen laten weg lopen. Fixeer de zijden en de bodem van de bak met 2x 3 st. zgn. post elastieken.

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

2. uitvoering vorst - dooioproef

- Voer de proef uit in een computergestuurde vries- dooi kast die speciaal is ingericht op het uitvoeren van het type vorstbestandheidsproeven zoals beschreven in de genoemde NEN 2872.
- Dompel de proefstukken onder gedurende 4 dagen in water van kamertemperatuur.
- Voer de proef uit volgens het vries- dooi schema zoals is weergegeven in onderstaande tabel. Er worden 32 cycli van 48 uur toegepast.

	Type actie	Temperatuur [°C]	Tijd [h]	Conditie	Cycli
1	dwell	20	1	Leeglopen	6
2	dwell	20	7	Drogen	
3	ramp	-15	2	Vriezen naar -15°C	
4	dwell	-15	6	Vriezen bij -15°C	
5	step	20		Water	6
6	dwell	20	8	Water	
7	dwell	20	1	Leeglopen	
8	dwell	20	7	Drogen	
9	ramp	-5	2	Vriezen naar -5°C	6
10	dwell	-5	6	Vriezen bij -5°C	
11	step	20		Water	
12	dwell	20	8	Water	
13	end				Totaal 12



voorbereiding proefstukken voor vriesdooiproef bij TNO Bouw en Ondergrond

4 dagen dompelen voordat de vries-dooi proef begint



de proefstukken in vries-dooi kist

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

3. Beoordeling proefstukken na de test

Beoordeel proefstukken op :

- evt. losdrukken ; klankproef met een stalen voorwerp
- evt. deformatie of afzanden voegmortel ; visueel +fotografeer.

Zaag de proefstukken in de breedte door en dep voorzichtig het water eraf.

Beoordeel de open gezaagde zijden op:

- evt. spleetvorming, aantasting van de hechting van de voegen ; visueel +fotografeer.
- evt. vorstschade aantasting en hechting van de voegen; visueel +fotografeer.
- evt. vorstschade aan achterliggende metselmortel; visueel +fotografeer.

Maak een rapport op met de gebruikelijke vermeldingen , het verloop van de proef, de gemaakte foto's en de gedane waarnemingen op de hierboven genoemde beoordelingsaspecten.

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

Voorbeelden schade



voor de vries-dooi proef



na de vries-dooi proef; afzanding



Interface schade legmortel



Lichte vorstschade in legmortel achter voeg door slechte opvulling



Vorstschade: afzanding van de mortel



Begin van vorstschade in de legmortel achter de voeg; kalkuitbloei op buitenzijde voegmortel

Berekenen FM - fijnheidsmodulus zanden

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

Berekenen FM - fijnheidsmodulus zanden na bepaling van korrelverdeling dmv zeeftest

Doel

De korrelopbouw van een zand heeft o.m. invloed op het vrije luchtgehalte, wat mede de porositeit en daarmee het ademend vermogen van een voegmortel beïnvloedt. Eén-korrelig zand: hoog vrij luchtgehalte; goed gesorteerd (door de natuur) zand met korrelverdeling over meerdere fracties: lager vrij luchtgehalte. De fijnheidsmodulus (FM) geeft in één getal een indicatie over de fijnheid van een zand. Tevens is de FM een indicatie of het zand éénkorrelig is, lage FM, goed gesorteerd zand., hoge FM.

Indirect zegt de FM daarmee ook iets over het vrije luchtgehalte. Lage FM, hoog luchtgehalte, hoge FM, laag luchtgehalte.

Bijvoorbeeld sommige zilverzanden FM 0,97, luchtgehalte 43%; een zgn. 'vloerzand', FM 2,6, luchtgehalte 34%.

De berekening van de FM gaat in 2 stappen. Eerst de bepaling van de korrelverdeling d.m.v. een zeefanalyse, daarna de berekening, gebaseerd op de uitkomsten van een aantal specifieke zeeffracties.

Werkwijze

1. bepaling korrelverdeling

Deze bepaling wordt uitgevoerd volgens het protocol in NEN – EN 1015-1 'Beproevingmethoden voor mortel voor metselwerk, Deel 1 – Bepaling van korrelverdeling (door zeefanalyse)'

2. berekenen FM – fijnheidsmodulus

Bepaal de % cumulatieve zeefresten uit de bepaling uitgevoerd bij 1. : van grammen naar %.

Bereken :

$$FM = (\text{som procentuele cumulatieve zeefresten op zeven } 4 / 2 / 1 / 0,5 / 0,25 / 0,125) : 100$$

voorbeeld

ZAND 1				
< [mm]	rest [g] (meetres ultaat)	% rest	%rest cumm	
a	b		c	
6	0	0,00%	0,00%	
4	0	0,00%	0,00%	
2	0	0,00%	0,00%	
1	0,14	0,06%	0,06%	
0,5	1,5	0,69%	0,75%	
0,25	139,2	64,03%	64,79%	
0,125	75,1	34,55%	99,33%	
0,063	1,1	0,51%	99,84%	
< 0,063	0,35	0,16%		
(Σ a)	217,39	100,00%	164,94%	: 100 =
			fijnheidsmodulus	1,65
			max korreldiam.	0,5

Model formulier verwerkbaarheidsproef

aanpak vochtproblematiek m a s s i e f metselwerk

TU DELFT faculteit CITG project: bouwstenen richtlijn restauratievoegmortels	
BEOORDELING VERWERKBAARHEID VOEGMORTELS	
Ingevuld door m' metselaar - voeger:	mortel nr:
Mortel voor: platvol werk / knipwerk / snijwerk	
Waterdosering : toegevoegd om tot een goede verwerkbaarheid te komen: gr water op gr droge mortel	
Verwerkbaarheidsaspecten	Waardering: *
Consistentie / samenhang : prettig om van het bord of van de bal mee te werken	
Smeuigheid / plasticiteit: de specie zal voldoende smeuiig / plastisch zijn om ook dieper uitgehakte voegen geheel vol te kunnen werken	
zandgradering : is geschikt voor voegdikten 6 - 9 mm	
Watervasthoudend vermogen: specie houdt zijn water goed vast	
Plakken: de specie lost gemakkelijk van voegspijker of voegmes los en 'plakt' nauwelijks	
smetten: nauwelijks gevaar van smetten	
Opstijven : specie is lang genoeg verwerkbaar	
Productiviteitsaspect : mogelijk om flinke dagproductie mee te maken	
Textuur: de afgewerkte voeg heeft een aangename textuur	
TOTAALoordeel: algemene waardering verwerkbaarheid met het cijfer:	
EVT AANVULLENDE OPMERKINGEN:	
Ingevuld dd handtek:	

* geef cijfers 1 – 10.

de stellingen zijn positief geformuleerd: derhalve:

10 : zeer mee eens; excellent!

5 : matig;

1 : zeer slecht; totaal ongeschikt