

# BAKSTEEN- EN METSELMORTEL- KEUZE voor zwaar regenbelast massief opgaand metselwerk

In het recente verleden is bij de nieuwbouw van bijvoorbeeld molens gebleken dat het realiseren van niet-lekkend massief metselwerk niet eenvoudig is. Al haalde men er het meest deskundige advies bij dan liep het toch nog mis. Ook bij het herstel van massief opgaand mestelwerk (bijvoorbeeld bij inboeten) bleek vaak, betrekkelijk korte tijd na oplevering, schade te ontstaan. Kennis en kunde op het gebied van het hygrische gedrag van massief metselwerk lijken niet sterk ontwikkeld te zijn in de huidige bouwpraktijk of wellicht verloren te zijn gegaan.

E

igenlijk is dit niet verwonderlijk; immers, in moderne bouw doet het er niet toe of metselwerk lek is. Het wordt tenslotte goeddeels toegepast als buitenblad in een spouwconstructie: en dit voorblad mag lek zijn, omdat de spouw er voor is om het doorgeslagen vocht te laten verdampen.

Anders is de situatie bij het historische metselwerk. Sinds enige tijd is het besef gegroeid dat meer inzicht in de vochtthuishouding van massief metselwerk sterk zou kunnen bijdragen aan duurzaamheidsverhoging van het gebouwde erfgoed in Nederland. In deze context is o.a. het project 'Aanpak Vochtproblemen in Massief Metselwerk' in uitvoering. In dit project wordt onderzoek gedaan

## SAMENVATTING

Vochtproblemen in massief historisch metselwerk komen veelvuldig voor. Bekend is dat er hier veel oorzaken voor kunnen zijn. In dit artikel is de aandacht in het bijzonder gericht op de keuze van baksteen en metselmortel met het oog op het voorkomen of oplossen van vochtproblemen in massief opgaand metselwerk, dat zwaar regenbelast is. Zowel via veldstudies als laboratoriumonderzoek is getracht een beter inzicht te krijgen in het hygrische gedrag van baksteen, metselmortel en metselwerk, en de gewenste uitvoeringspraktijk. Op grond van resultaten voortkomend uit het onderzoek worden concrete aanbevelingen gedaan over de gewenste hygrische eigenschappen van baksteen en metselmortel voor nieuwbouw en herstel van zwaar regenbelast massief metselwerk.





1 LINKS: VERVUILDE ZICHTZIJDE METSELWERK MOLEN AEOLUS TE VLAARDINGEN. ONDER: LEGVLAK (ZOOL) EN DE BUITENZIJDE (ZICHT) VAN EEN STEEN VAN MOLEN DE HOOP TE ROZENBURG.



naar oorzaken van en oplossingen voor dit veel voorkomende probleem.

Bekend is zowel uit praktijkervaring als experimenteel onderzoek dat er veel oorzaken kunnen zijn voor vochtproblemen [1,2]; te noemen zijn, materiaaleigenschappen van metselstenen en metselmortel en de compatibiliteit tussen steen en voeg, vakmanschap, constructie en ontwerp, de invloed van beschermende maatregelen op de vochtuithouding en de effecten van scheuren. In dit artikel is de aandacht voornamelijk gericht op de keuze van baksteen en mortel voor nieuwbouw en restauratie van zwaar regenbelast massief metselwerk.

### Steenkeuze: globale en eenvoudige hygrische karakterisering

Steenachtige bouwmaterialen vallen onder de zgn 'poreuze media'. De porositeit komt voor bouwmaterialen zoals natuursteen, beton, baksteen en mortels op verschillende wijzen tot stand, maar wezenlijk voor deze materialen is dat ze via capillaire werking vocht op kunnen nemen, en via verdamping (droging) weer vocht kunnen afstaan. De balans tussen vocht opneming- en drooggedrag van het metselwerk onder uiteenlopende omgevingscondities bepalen het al dan niet optreden van vochtdoorslag/lekkage.

Van oudsher werd baksteen, zonder dat daar numerieke criteria aan ten grondslag lagen, dmv klinken op het gehoor uitgesorteerd op doorbakkenheid (hardheid/porositeit) in een opklimmende reeks van 'rood', via 'har-grauw' tot 'kelderklinker' (met de daarbij

behorende toepassingsgebieden). Door een permanente terugkoppeling met de bouwpraktijk bleek dit eeuwenlang een bruikbare methode van kwaliteitsbeheersing.

Om echter op een gekwantificeerde manier iets over vocht opneming en droging te kunnen zeggen, is klinken niet genoeg; is het noodzakelijk vocht opname- en drooggedrag te karakteriseren. Bekende en eenvoudige vocht opnamekarakterisering zijn de Initiële Wateropzuiging (IW) en de Vrijwillige Wateropneming (VW). De initiële wateropzuiging wordt bepaald door de steen via een vlak van de steen, bij 5 mm dompeling, water op te laten zuigen gedurende 1 minuut; de vrijwillige wateropneming wordt bepaald door een steen gedurende 48h onder te dompelen in water; voor de details over de uitvoering en uitwerking van deze eenvoudige proeven zie [3].

Wat zeggen deze karakterisering over de vocht opname in een muur?

Initiële Wateropzuiging (IW) is een maat voor de snelheid waarmee vocht wordt opgenomen door de steen (uitgedrukt in  $\text{kg/m}^2/\text{min}$ ). Als classificatie van de initiële wateropzuiging van bakstenen, kan worden gehanteerd, zwakzuigend:  $\text{IW} < 1$ ; matig zuigend:  $1 < \text{IW} < 2.5$ ; sterk zuigend:  $\text{IW} > 2.5$

De vrijwillige wateropneming (VW) is een maat voor de vocht opname-capaciteit (de buffering) van de steen (uitgedrukt in massa % of volume %). De VW-waarden liggen tussen 5 en 35 vol %.

Te begrijpen valt dat vooral de snelheid waarmee water door metselwerk wordt geabsor-

beerd van belang is voor de hoeveelheid vocht die wordt opgenomen. Daarbij moet men bedenken dat het absorberen van vocht (via capillaire werking) minder energie vergt dan droging (via verdamping); maw vochtabsorptie gaat snel en drogen langzaam.

Informatie over drogen wordt in feite het gemakkelijkst verkregen via weging (gewichtsverlies als functie van de tijd). Wel is belangrijk dat de droogproef zo wordt ingericht, dat het droogproces iets met de werkelijkheid te maken heeft; bij een muur betekent dit dat droging meestal in één richting plaatsvindt.

### De snelheid van vocht opname: IW-waarden

Aan de hand van historische bouwwerken, die geen vochtproblemen vertonen is een beeld verkregen van de initiële wateropzuigwaarden die in de praktijk voorkomen. Deze bouwwerken bestonden uit zes molens en twee utiliteitsgebouwen.

De initiële wateropzuigwaarden zijn bepaald aan het legvlak (de zool) en aan de aan het weer blootgestelde buitenzijde (de zichtzijde), zie figuur 1.

#### Figuur 1

De zool is schoongemaakt van mortelresten en geeft bij de bepaling van de Initiële Wateropzuiging een indruk van het opzuigingsnelheid van de steen op het moment van verwerking destijds. De zichtzijde is de buitenzijde van de steen, die in de loop van de tijd een ander opzuiggedrag heeft gekregen onder invloed van vervuiling, mogelijke toepassing van vochtremmende middelen etc.

Uit de resultaten in figuur 2 (volgende pagina) is op te maken dat de IW-waarden aan de zoolzijde voor vier van de zes molens hoog tot zeer hoog zijn. Tevens blijken de IW-waarden aan de zichtzijde van het metselwerk bijzonder veel lager zijn dan die aan de zoolzijde: de IW-waarden aan de zichtzijde zijn  $\sim 0.5$  tot  $0.3$  zo hoog als die aan de zoolzijde. Dit is van belang omdat de toetreding van regen in de molenromp vanuit de zichtzijde plaatsvindt. In feite betekent dit dat, wat betreft de stenen, de vocht opname met een gematigde opzuigkracht (IW-waarden van  $\sim 1.5$ - $3.0$ ) plaatsvindt.

Meestal is niet duidelijk hoe de vocht overlastsituatie bij de molens is geweest gedurende de eerste tientallen jaren na bouw. Waren ze toen lek, of had men er minder last van omdat er goed gelucht werd en men niet te

**2 Initiele Wateropzuiging**

		Zool*	Zicht**
		kg/m <sup>2</sup> /min	kg/m <sup>2</sup> /min
1	DSM, Delft	1910	2.2
2	De Roos, Delft	1727	4.3
3	TU-Delft, Delft	1910	2.8
4	Aeolus, Vlaardingen	1793	2.8
5	Molen 7, Kinderdijk	1738	6.1
6	De Hoop, Zierikzee	1850-76	5.5
7	De Hoop, Rozenburg	1887	6.3
8	Windlust, Achthuizen	1852	3.3

\*Zool: binnenzijde /  
legzijde

\*\*Zicht: verweerde  
buitenzijde / strekzijde

kieskeurig was? Of zijn ze in de loop van de jaren waterdicht geworden? Of is de invloed van de voeg-steenovergang (barrière) op de waterdichtheid toch groter dan het effect van de porositeit van de steen op de vochtdoorslag?

**Reiniging**

Een interessante conclusie uit deze vocht-huishoudingsanalyse is tevens dat gevelreiniging tot vochtproblemen kan leiden: immers door reiniging zal de snelheid van vocht-opname drastisch toe kunnen toenemen (verhoging van de IW-Waarde).

**Mortelkeuze**

Daar waterdichtheid niet alleen bepaald wordt door de hygrische eigenschappen van de steen, maar ook door de al dan niet vocht-kerende werking van de voegen, werd het effect van de mortel op de waterdichtheid nader onderzocht. Daartoe is een onderzoek-programma opgesteld waarin het gedrag van

**2** INITIËLE WATEROPZUIGINGSWAARDEN AAN ZOOL- EN ZICHTZIJDE VAN STENEN TOEGEPAST IN MASSIEF METSELWERK ZONDER VOCHTPROBLEMEN. STEENMONSTERS 2 EN 4 T/M 8 ZIJN VAN HISTORISCHE MOLENS. MONSTER 1 EN 3 ZIJN VAN RESP. EEN FABRIEKSGEBOUW (VOORMALIG GIST EN SPIRITUS) EN EEN TU DELFT GEBOUW (VOORMALIG MIJNBOUWKUNDE).

mortels, op zich en in combinatie met bakstenen, nader kon worden geanalyseerd. Hierbij werd eerst de verwerkbaarheid getest: de mogelijkheid tot goed 'vol en zat'werken en het maken van 'doorstrijkwerk' (d.i.

dichtstrijken van de voegen met de uitstekende metselmortel). Deze onderzoeken mondden uit in de bestudering van het vochtdoorslag- en lekgedrag van een tweetal proefmuren, die berekend werden.

Het onderzoek is op de volgende wijze toegepast:  
– Via de beoordeling van de verwerkbaarheid van een 15-tal mortels werden 3 zeer goed verwerkbare en een referentiemortel (een cementmortel met een slechte verwerkbaarheid) uitgekozen voor verder onderzoek (voor de beschrijving van een praktische beoordeling van de verwerkbaarheid zie [3]). Van het 4-tal mortels werden de volgende eigenschappen bepaald: druksterkte, vervormingsgedrag, hygrische uitzetting/krimp, vrijwillige vocht-opneming (porositeit) en vocht-opname- resp. drooggedrag van metselwerk; hieruit werd een mortelkeuze gemaakt voor de beregeningsproeven. Om vochtdoorslag- en lekgedrag te bestuderen werden 2 muren gebouwd met 2 verschillende steen-

typen en het geselecteerde morteltype; hierop werden beregeningsproeven uitgevoerd.

Op basis van de verwerkbaarheid werden de onderstaande kalkmortels A,B en C geselecteerd. Als referentiemortel werd gekozen een metselcement mortel (mortel X).  
Overzicht beproefde mortels:

**Zeer goed verwerkbaar en doorstrijkbaar**

Mortel A Schelpkalkmortel;

kalk:zand verhouding 1:2

Mortel B Licht hydraulische kalkmortel;

kalk:zand verhouding 1:2

Mortel C Steenkalk-tras basterdmortel;

kalk:tras:zand verh. 5:1:12

**Referentiemortel:**

Mortel X Metselcement mortel MC10;

MC:zand verhouding 1:3

**Morteleigenschappen**

Uit het TNO-onderzoek [4] kwam naar voren dat de schelpkalkmortel (A) en zwakke steenkalk-tras basterd mortel (C) een zeer langzame sterkte-ontwikkeling lieten zien. Na 90 dagen werd een druksterkte van slechts 1 N/mm<sup>2</sup> gehaald. De hydraulische kalkmortel (B) en de metselcement mortel (X) hebben een snelle sterkte-ontwikkeling (bouwtempo) en bereikten na 14 dagen eindsterkten van resp 5 en 10 N/mm<sup>2</sup>.

**3**

METSEL 'BEERTJES' AANZICHT VAN BUITENMUUROPPERVLAK, VAN WAARUIT VOCHTABSORPTIE EN DROGING PLAATSVINDT; DE ANDERE 5 ZIJDEN ZIJN MET PLASTIC BEKLEED OM DROGING VANUIT DIE ZIJDEN TE VOORKOMEN.



Met betrekking tot de vervormingscapaciteit (zonder breuk) scoorde de steenkalk- en schelpkalkmortels het best; de hydraulische kalkmortel bevond zich wat vervormbaarheid tussen de kalkmortels en de cementmortel. De drogingskrimp als gevolg van verlies van water uit de specie was het grootst bij de schelpkalkmortel en zwakke steenkalk-tras basterd mortel. Deze krimp was bij de mortels met cement en hydraulische kalk nagenoeg afwezig. Bij de verharde mortels vertoonde de hydraulische mortels juist de grootste hygrische zwellung en krimp.

**Waterabsorptie- en drooggedrag van metselwerk**

Om een indruk te krijgen van het vocht-opnamegedrag en het drooggedrag werden metselwerk'beertjes' gemetseld. De beertjes bestaan uit 3 lagen metselwerk van 3 stenen per laag (zie figuur 3). Ze zijn opgebouwd uit 2 typen stenen, een matig-zuigende (IW-waarde 2.3) en een sterk-zuigende steen (IW-waarde 3.5), ieder vermetseld met de 4 verschillende metselmortels. De proef-

stukken vormen een deel van een muur. De in figuur 3 naar boven gerichte zijde van de beertjes is de zichtzijde van de muur. Vanuit deze zijde wordt tijdens de proef (en ook in de werkelijkheid) vocht opgenomen en vocht afgestaan (gedroogd); het vocht passeert steen en waar mogelijk mortelstootvoegen. De andere 5 zijden zijn met plastic bekleed om vochttransport (droging) in deze richtingen te voorkomen.

**Figuur 3**

Opzuiging van water via het zichtvlak vond plaats gedurende 24 uur. De droging vanuit het zichtvlak, werd geregistreerd gedurende 35 dagen. De hygrische eigenschappen van de gebruikte metselstenen zijn verzameld in onderstaande tabel.

Initiële Wateropzuiging

Vrijwillige Wateropneming

	kg/m <sup>2</sup> /min	Vol %	Gew %
<b>Rood</b>	2,3	17,5	9,0
<b>Geel</b>	3,5	29,0	18,4

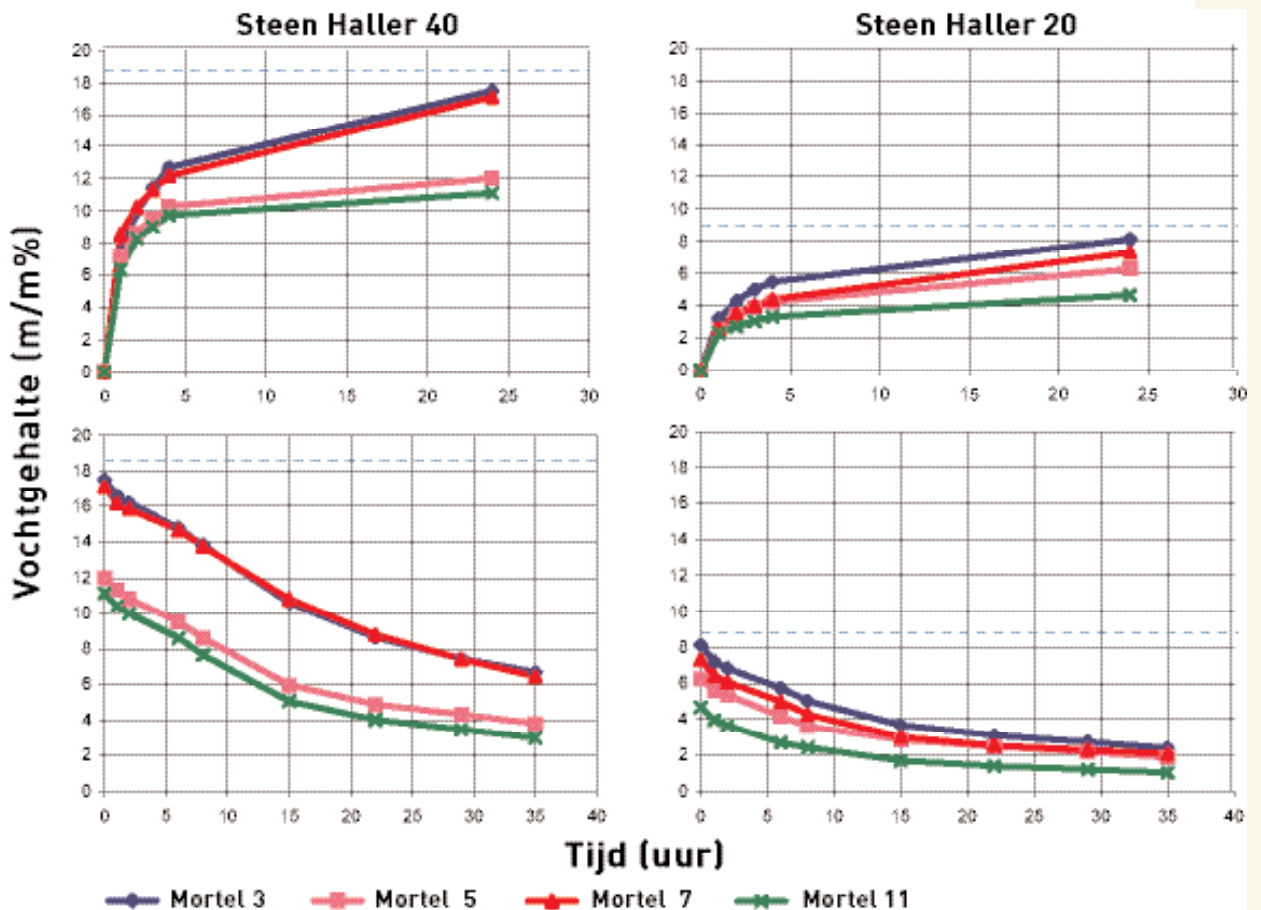
In figuur 4 worden de resultaten van de absorptie en droogproeven weergegeven.

Bij de gele, sterk zuigende steen (zie linker grafieken) valt op dat de vochtopname van de proefstukken vermetseld met Schelpkalkmortel (A) en de zwakke steenkalk-tras basterd mortel (C) aanzienlijk hoger ligt dan bij de hydraulische kalkmortel (B) en de metselcement mortel (X). Na 24 uur zijn de proefstukken (A) en (C) nagenoeg verzadigd: vochtgehalte iets lager dan de vrijwillige wateropneming 18.4 % (m/m). Daarentegen is de vochtopname van de proefstukken (B) en (X) minder dan 2/3 van het beschikbare poriënvolume, 11-12 % (m/m).

Kennelijk werken de voegen in het laatste geval als een barrière voor het transport van vocht door het gehele proefstuk heen.

Het drogen van de proefstukken met Schelpkalk mortel (A) en de zwakke steenkalk-tras basterd mortel (C) gaat gedurende de eerste 15 dagen iets sneller dan bij de proefstukken met de hydraulische

**4**  
 RESULTATEN  
 ABSORPTIE- (BOVEN)  
 EN DROOGPROEVEN  
 (ONDER).  
 IN DE FIGUREN ZIJN  
 DOOR MIDDEL VAN  
 DE HORIZONTALE  
 GESTIPPELDE  
 LIJNEN VRIJWILLIGE  
 WATEROPNEMINGS-  
 WAARDEN:  
 18.4 (GEW %) VOOR  
 DE GELE STEEN  
 EN 9 (GEW %)  
 VOOR DE  
 RODE STEEN  
 AANGEGEVEN.



kalkmortel (B) en de metselcement mortel (X). Echter, na 2 weken is het vochtgehalte in de proefstukken (A) en (C) nog steeds ruim 10 % (m/m), terwijl de proefstukken (B) en (X) ongeveer op de helft daarvan liggen. Verondersteld mag worden bij wisselende regen- en droogcondities, dat het metselwerk met de kalkmortels in combinatie met sterkzuigende stenen gemiddeld structureel vochtiger zal zijn dan het metselwerk met de hydraulische bindmiddelen.

Het vochtgehalte in het metselwerk met matig zuigende stenen is voor alle mortels lager dan bij de sterk zuigende stenen (zie rechter grafieken). Het scherpe onderscheid in vochtopname tussen kalk en hydraulische mortels doet zich veel minder voor bij het metselwerk met matig-zuigende stenen. Wel is een zelfde volgorde in mate van vocht-opname te zien als bij de zwak-zuigende stenen en is de vochtopname van de proefstukken met hydraulische mortels 2/3 tot minder dan de helft van het beschikbare poriënvolume. Na 15 dagen drogen ligt het vochtgehalte voor alle proefstukken ruimschoots onder de helft van het beschikbare poriënvolume.

Verhoudingsgewijs is de absorptie-droog-situatie van de zuivere luchtkalkmortels in combinatie met de sterk-zuigende bakstenen opvallend ongunstig en bij de matig-zuigende stenen minder ongunstig.

Deze resultaten komen overeen met wat men in de praktijk constateert: zwak tot matig zuigende stenen toegepast met een hydraulische mortel, zoals toegepast in kerken, fabrieken en openbare gebouwen (zie figuur 2) in het begin van de 20e eeuw vertonen lage vochtgehalten en er is zelden sprake van doorslag. Bij molens gemetseld met sterk zuigende stenen en met kalkmortels worden aan de regenzijde hoge vochtgehalten gemeten en komt lekkage regelmatig voor.

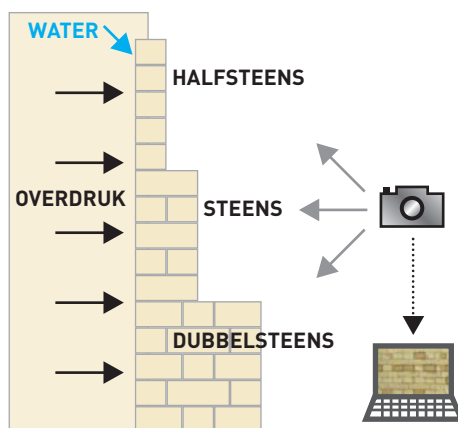
In aanmerking nemend niet alleen absorptie-drooggedrag, maar ook vervormingscapaciteit, druksterkte-ontwikkeling en initiële krimp dan presteert de hydraulische kalkmortel het beste. Verondersteld mag worden dat andere licht hydraulische mortels een vergelijkbaar gedrag zullen vertonen: dit zal nader geverifieerd moeten worden.

**Vochtdoorslag- en lekkage proeven (TNO)**

Na vervaardiging van de muren werden beregeningsproeven uitgevoerd. Daartoe werden de muren omkast (zie figuur 5) en vanuit de

5

ONDER: SCHEMATISCHE OPSTELLING VAN DE REGENPROEF (TOMAS WIJFFELS, TNO); RECHTS: DE PROEFMUREN MET MUURDIKTEN VAN BOVEN NAAR BENEDEN: 1/2-STEEN, 1-STEENS EN 2-STEENS. DE GELE STENEN ZIJN STERK ZUIGEND, DE GRIJZE STENEN MATIG ZUIGEND; ZICHTBAAR IN DE MUUR: BOORKERNGATEN VOOR NADER ONDERZOEK VAN DE VOEGSTEEN DOORSNEDEN.



kastzijde besproeid. Aan de voorzijden van de muren zijn bij de overgangen van 1/2-steen naar 1-steens en van 1-steens naar 2-steens goten aangebracht (zie figuur 5, rechts) om doorslaand lekvocht op te vangen.

**Figuur 5**

De 2 proefmuren werden ieder vervaardigd met een verschillend steentype, maar met één en dezelfde metselmortel: de geselecteerde hydraulische kalkmortel. De hygrische eigenschappen van de 2 steentypen staan in onderstaande tabel:

Initiële Wateropzuiging			
Vrijwillige Wateropneming			
	kg/m <sup>2</sup> /min	Vol %	Gew %
<b>Grijs</b>	1,5	13,1	6,8
<b>Geel</b>	5,9	32,1	21,9

De uitvoering van de regenproef is gebaseerd op NEN 2778 'Vochtwering gebouwen', met achtereenvolgens:

- 1 uur beregening zonder overdruk, 2 liter/m<sup>2</sup>/min.
- 89 uur beregening met overdruk 50 Pa, 12 liter/m<sup>2</sup>/uur.
- 1 uur beregening met overdruk 400 Pa, 2 liter/m<sup>2</sup>/min.



6A NA 1-UUR BEREGENING (ZONDER OVERDRUK). 38 MINUTEN NA DE AANVANG VAN DE BEREGENING WAS DE GELE (STERK ZUIGENDE) 1/2-STEENS MUUR REEDS VOLLEDIG DOORGESLAGEN. BIJ DE GELE 1-STEENS MUUR KOMT DUIDELIJK NAAR VOREN DAT DE STENEN (KOPPEN) DOORSLAAN.



Na 90 uur was de muur verzadigd. Tijdens het laatste uur is bepaald hoe groot de lekkage is bij een regenbelasting, 2 liter/m<sup>2</sup>/min bij met overdruk 400 Pa.

### Resultaten beregeningsproeven aan matig en sterk zuigende proefmuren

De doorslag van het water werd per camera geregistreerd en tevens gedurende het laatste uur gekwantificeerd door het op te vangen via gootjes aan de onderkant van de 1/2-steens en 1-steens muurtjes in containers. Hiermee wordt in feite de hoeveelheid lekwater bepaald.

Uit de cameraregistratie blijkt dat de 1/2-steens gele muur (sterk-zuigende stenen) volledig is doorgeslagen na 38 minuten, en de 1/2-steens grijze muur (matig-zuigende stenen) na 5.7 uur. Voor de 1-steens muur is dit na 5.7 uur (geel) en 22 uur (grijs), na 90 uur zijn de beide 2-steens muren grotendeels doorgeslagen, zie figuur 6.

#### Figuur 6

Figuur 6 geeft een indruk van het 'tekenen' van de muur, het is uiteraard van groter belang hoeveel lekwater door de muur gaat. Vochtdoorslagwaarden (lekkage) zijn bepaald bij een continue constante wateraanvoer van

2 liter/m<sup>2</sup>/min (=120 liter/m<sup>2</sup>/uur) en een overdruk van 400 Pa (een uitermate zware regen- en overdrukbelasting). Dit gebeurde gedurende 1 uur na verzadiging van de muur (na 90 uur). Figuur 7 laat zien dat de verschillen in lekwater zijn zeer aanzienlijk zijn.

#### Figuur 7 *Volgende pagina* Bespreking resultaten

Naast de verschillen in snelheid van vochtdoorslag bij de twee muren valt op, dat bij de grijze muur met de matig-zuigende stenen het vocht eerst door de voegen slaat (zie figuur 6b) terwijl bij de gele muur met de sterk-zuigende stenen het vocht bijna direct door de stenen (figuur 6a) slaat. Uit bestudering van slijpplaatjes blijkt dat er regelmatig een spleet is tussen mortel en grijze steen in het hechtvlak (tot 1mm), ondanks de zorg waarmee 'vol en zat' gemetseld is. Verondersteld mag worden dat de steen te langzaam vocht onttrekt uit de mortel, waardoor de mortel niet aantrekt aan de steen bij dit type mortel. Deze situatie kan verbeterd worden door toepassing stenen met een iets hogere IW-Waarde. Toch geldt voor de 1/2-steens en de 1-steens muren dat de lekkage bij de grijze muur duidelijk geringer is dan bij de gele muur. Kennelijk is de geringe vochtdoorlatendheid van de grijze steen in verge-

lijking met die van de gele steen doorslaggevend voor het totaal gedrag.

Het doorslaggedrag van de 2-steens muurdikten wijkt af van kleinere muurdikten: beiden zijn na 90 uur beregening grotendeels doorgeslagen maar lekken niet. De daarop volgende zware beregening (2 liter/m<sup>2</sup>/min bij overdruk 400Pa) leidt in beide reeds verzadigde muren niet tot lekken. Dit duidt op een effectieve barrièrewerking van de mortel. In feite onderstreept dit resultaat het belang van de mortelkeuze (zie figuur 4). Opgemerkt moet worden dat de beregeningsproeven extreem zwaar waren: nagenoeg 4 dagen aan één stuk (zeer zware buien duren max enige uren) en 7x hogere intensiteit dan onder gemeten extreem hoge neerslagcondities [5]. Tevens wordt de invloed van het drogen op de vochtinhouding van de muur in deze proef niet in aanmerking genomen.

### Conclusies en aanbevelingen

#### *Nieuw massief metselwerk*

Uit de proeven komt naar voren dat zowel de hygrische eigenschappen als het type metselmortel grote invloed hebben op de vochtinhouding in de muur.

Zo blijkt dat:

– het vochtgehalte in muren met matig zuigende stenen structureel lager is dan in

## 6 VERLOOP VOCHTDORSLAG TIJDENS REGENPROEF

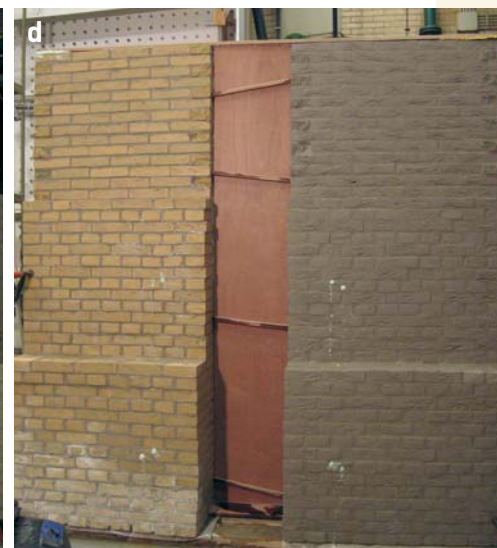
LINKS (GEEL) DE MUUR MET DE STERK ZUIGENDE STENEN, RECHTS (GRIJS) MET DE ZWAK ZUIGENDE STENEN



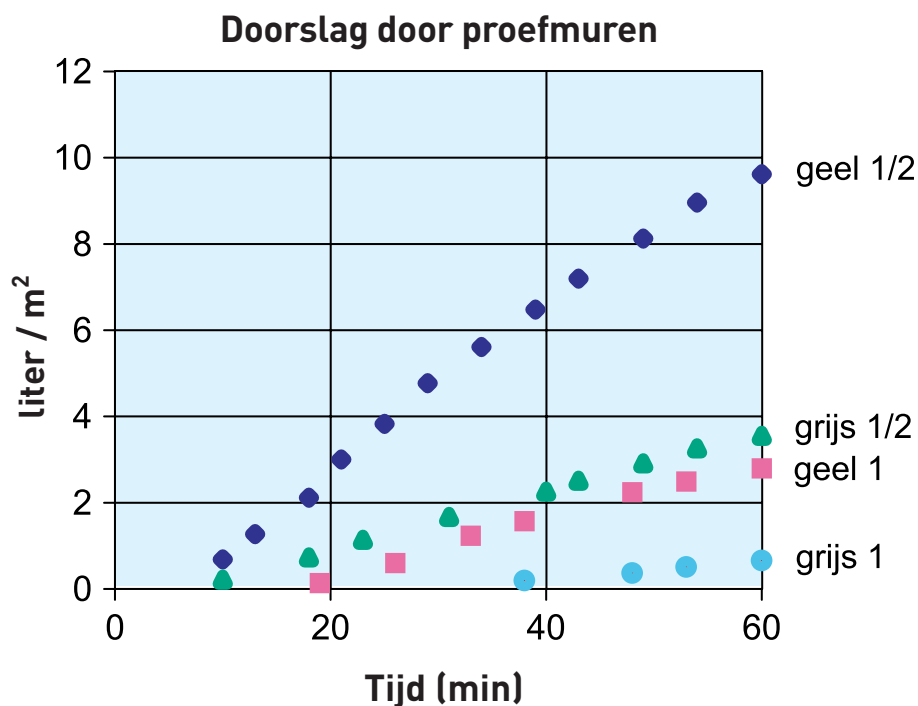
6B NA 2 UUR BEREGENING (MET 50 PA OVERDRUK) IN HET 1/2-STEENS GRIJZE (MATIG ZUIGENDE) METSELWERK IS DUIDELIJK TE ZIEN DAT DE VOEG (OF LIEVER HET HECHTVLAK STEENVOEG) DE ZWAKKE STEEN IS. DE TEKENING VAN DE GRIJZE STENEN VINDT PLAATS VANUIT LEKKAGE DOOR HECHTVLAKKEN.



6C NA 5.7-UUR BEREGENING (MET 50 PA OVERDRUK) NA 5.7 UUR IS DE 1-STEENS GELE MUURVOLLEDIG DOORGESLAGEN. DE GRIJZE 1-STEENS MUUR, NU NOG GEDEELTELIJK DROOG, SLAAT NA 22 UUR DOOR.



6D NA 90-UUR BEREGENING (MET 50 PA OVERDRUK) AAN HET EIND VAN DE PROEF IS OOK HET 2-STEENS METSELWERK (GEEL MINDER DAN GRIJS!) GROTENDEELS DOORGESLAGEN.



7

**LEKKAGE DOOR BEREKENING VAN DE PROEFMUREN.**

HET VOCHT IS OPGEVANGEN AAN DE ONDERKANT VAN DE 1/2-STEENS MUURGEDEELTEN EN AAN DE ONDERKANT VAN DE 1-STEENS MUURGEDEELTEN VAN DE 2 PROEFMUREN. DE 2-STEENS MUURGEDEELTEN SLAAN WEL DOOR MAAR LEKKEN NIET!

muren met sterk zuigende stenen, zie resultaten absorptie-droogproeven;

– het vochtgehalte in de muur en vochtdoorslag afhankelijk is van de barrièrewerking van de mortel;

– de barrièrewerking van de voeg sterk afhankelijk is van de aanwezigheid van hydraulische componenten in de mortel.

De barrièrewerking wordt effectief bij muurdikten > 1-steens;

– zuivere kalkmortels in deze proeven nauwelijks barrièrewerking vertonen;

– voor metselwerk met een goede vervormingscapaciteit en barrièrewerking licht hydraulische mortels geschikt zijn;

– spleetvorming tussen steen en voeg, als gevolg van onvoldoende afzuiging van het water in de mortel door de steen een belangrijke invloed heeft op de vochtdoorslag (goede aanpassing van hygrisch gedrag van steen en mortel in deze van groot belang);

– de beoordeling vooraf van de verwerkbaarheid van de mortel van essentieel belang is om 'vol en zat' te kunnen metselen met de mogelijkheid van doorstrijken (voor een praktische verwerkbaarheidsproef zie [3]).

Uitgaande van de voorafgaande conclusies en in aanmerking nemend dat in massieve muren veelal dunne muurdikten aanwezig

zijn (balkopleggingen, verlopende muurdikten etc.) wordt aanbevolen bij het realiseren van nieuw massief metselwerk bakstenen met een Initële Wateropzuiging (IW-waarde) van 1,7 tot 2,5 [kg/m<sup>2</sup>/min], type traditionele metselklinker/hardgraauw kwaliteit, in combinatie met een licht hydraulische kalkmetselmortelmortel, hetzij op basis van natuurlijke licht hydraulische kalk hetzij op basis van luchtkalk en tras toe te passen.

**Herstel van massief metselwerk**

Herstel van massief kalkmetselwerk (inboeten) vindt meestal plaats in metselwerk waar bij de stenen een matig zuigend zichtvlak (zie fig. 1 en 2) vertonen. De restauratiesteen dient vergelijkbaar hygrisch gedrag te vertonen: IW-Waarden: 1.7 tot 2.5 [kg/m<sup>2</sup>/min].

De mortel dient goed verwerkbaar en doorstrijkbaar te zijn (hervoegeen bij inboetwerk dient bij voorkeur te worden vermeden). De hygrische eigenschappen van de reparatiemortel dienen ongeveer gelijk te zijn aan die van de daarachter liggende oude metselmortel (i.v.m. drogen oude mortel); licht hydraulische mortels zijn zowel wat compatibiliteit als duurzaamheid veelal geschikt voor dit type metselwerk.

**Referenties**

– [1] Grimm C.T. (1982), *Water permeance of Masonry Walls: A Review of the Literature, in Masonry: Materials, Properties and Performance*, ASTM STP 778, J.G. Borchelt ed., American Society for testing and Materials, pp. 178-199.

– [2] Ramamurthy K. and K.B. Anand, (2001), *Classification of Water Permeation Studies on Masonry*, *Masonry International*, Vol. 14, No 3, pp.74-79.

– [3] Groot C. en Gunneweg J. (2007), *Bouwstenen voor de Richtlijn: Restauratiebaksteen en Metselmortel*, TU Delft, Faculteit CiTG, maart 2007.

– [4] Wijffels T. en Hermanns S. (2007), *Metselmortels voor waterdicht metselwerk. Eigenschappen van 4 mortels en resultaten van de regenproef*. TNO-Rapport 2007-D-R0482, Delft.

– [5] Groot C. en Gunneweg J. (2007), *Rapport Kwaliteitseisen Restauratiebaksteen en Metselmortels in Kalk*. TU Delft, Faculteit CiTG, maart 2007. □