

Metselen met natte of droge stenen?

Experimentele bepaling van watertransport tussen voeg en baksteen

Roel Hendrickx, Koenraad Van Balen, Dionys Van Gemert, Staf Roels

Katholieke Universiteit Leuven, Departement burgerlijke bouwkunde

1. ABSTRACT

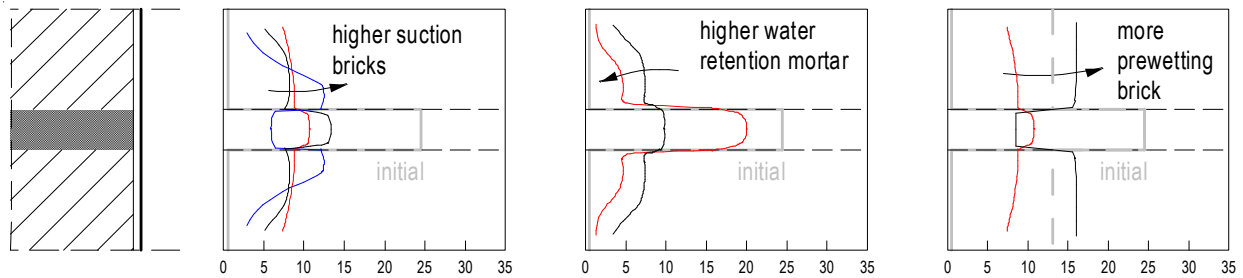
Baksteen blijft een veel toegepast materiaal in de hedendaagse bouwpraktijk, zowel voor dragende structuren als voor parementwerk. Naast een aantal nieuwere technieken, zoals het zogenaamde lijmen van baksteen of het werken met dunne voegen, behoudt de traditionele metseltechniek met brede voeg zijn belang. Naargelang natte of droge bakstenen worden gebruikt, en afhankelijk van de eigenschappen van baksteen en mortel en van het weer, zal het vochttransport tussen beide materialen een verschillend verloop en mogelijk ook een verschillende evenwichtstoestand vertonen. Dit beïnvloedt in belangrijke mate de eigenschappen van het verharde composiet, met name de hechting. In deze paper worden experimentele technieken besproken voor het meten van een aantal van die eigenschappen. Op basis van een bestaande proef voor waterretentie wordt een nieuwe methode ontwikkeld om de desorptie-coëfficiënt van mortel te meten. Een methode gebaseerd op verzwakking van X-stralen wordt voorgesteld om vochttransport tijdens het proces in twee dimensies op te volgen.

2. INLEIDING EN DOEL

Volgens de gangbare “goede praktijk” worden bakstenen best bevochtigd alvorens ze te gebruiken. Zo zou een beter contact met de voeg verkregen worden, wat een betere waterdichting en hogere mechanische weerstand oplevert. De Eurocode 6 vermeldt in deze context dat de stenen “een vochtgehalte moeten hebben dat geschikt is om de voorgeschreven aanhechting met de mortel te bereiken. De stenen mogen ondergedompeld worden in water om het watergehalte op het juiste peil te brengen als dit nodig is.” Verder lezen we over de mortel: “de consistentie van de mortel dient op passende wijze geregeld te worden, rekening houdend met de materiaaleigenschappen van de stenen (NBN ENV 1996-1-1 2002).” Deze richtlijnen zijn niet toevallig vaag en laten de uiteindelijke invulling over aan het oordeel van de metser of werfleider. Ze zijn overigens ook deels in tegenspraak met de vroegere Belgische norm, die stelt dat “Sterk capillair zuigende bakstenen vooraf moeten natgemaakt worden, behoudens gebruik van waterweerstandend middel. De metselstenen moeten lichtjes natgemaakt worden, zonder dat het water er afstroomt; het steenoppervlak moet er vochtig tot droog uitzien. Het natmaken door onderdompeling is geen goede praktijk (NBN B24-401 1981).”

De problemen die gekoppeld worden aan een slechte waterhuishouding zijn van verschillende aard. Als het water te snel en/of in te grote hoeveelheid uit een hydraulische mortel wordt weggezogen, kan het zijn dat er niet voldoende water meer aanwezig is om de hydratatie van de hydraulische componenten volledig te laten plaatsvinden, met verminderde sterkte tot gevolg. Qua verwerking kan er ook een probleem optreden doordat de mortel fel verstijft bij waterverlies, zodat het moeilijk wordt om de baksteen te plaatsen: de steen zuigt zich vast. Anderzijds kunnen zich ook problemen voordoen die veroorzaakt worden door een heel trage afgifte van water of zelfs een omgekeerde stroming van baksteen naar mortel: in dat geval verstijft de mortel onvoldoende tijdens het metselen en kan het zijn dat de bakstenen drijven in de mortel, wat nauwkeurig werken onmogelijk maakt. Verschillende auteurs gaan er ook van uit dat bindmiddelpartikeltjes meegevoerd worden door de waterstroom. In het geval van een stroming van voeg naar steen, zou door dit mechanisme een goede hechting kunnen ontstaan. Bij een omgekeerde stroming

kan dan weer een zwakke, bindmiddelarme zone ontstaan bij het contactvlak. De richting van de stroming kan uiteraard veranderen tijdens het metselproces: aanvankelijk van voeg naar steen, maar na het bereiken van een tijdelijk evenwicht eerder omgekeerd.



Figuur 1. Invloed van zuiging van de baksteen, waterretentie van de mortel en het voorbevochtigen van baksteen op het vochtgehalte na 20 uur bij 20°C en 95%RV. (naar Groot 1993)

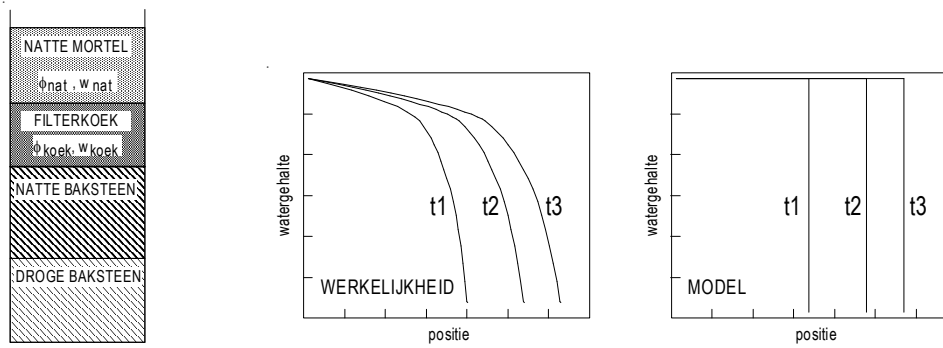
Uit onderzoek met neutronentransmissie, waarbij het vochtgehalte in baksteen en mortel wordt opgevolgd, blijkt dat een sterker zuigende baksteen een lager vochtgehalte in de mortel veroorzaakt en grotere concentratiegradiënten in de steen zelf (Figuur 1) (Groot 1993). Een hogere waterweehouding of waterretentie van de mortel heeft tot gevolg dat de baksteen trager en ook minder bevochtigd wordt. Het vooraf bevochtigen van de baksteen zorgt voor een hoger watergehalte van het systeem en daardoor een verschillende evenwichtstoestand, mogelijk met hoger vochtgehalte in de baksteen dan in de voeg.

Er zijn verschillende theoretische invalshoeken mogelijk om het probleem te beschrijven. Daarvan is de meest succesvolle methode die van het onverzadigde watertransport. Zowel baksteen als mortel worden gekarakteriseerd als poreus materiaal met een bepaalde waterdoorlatendheid K en vochtgehalte w . De wet

van Richardson (een vorm van de wet van Darcy) $\frac{\partial w}{\partial t} = \nabla K(w) \nabla \Psi$ beschrijft de stroming als functie

van de permeabiliteit en de gradiënt van de capillaire potentiaal Ψ . Die potentiaal hangt af van hoogte, eigenschappen van de poriën en vochtgehalte. Een gelijkaardige vergelijking kan geschreven worden als functie van de diffusiviteit, naargelang de gemeten grootte. Elk probleem kan numeriek opgelost worden met kennis van de volledige waterretentiecurve en hygroscopische curve van beide materialen, de initiële vochtgehaltes en de randvoorwaarden. De waterretentiecurve geeft de capillaire zuiging als functie van het watergehalte; de hygroscopische curve geeft het evenwichtsvochtgehalte als functie van relatieve vochtigheid. Het eerste probleem voor een dergelijke aanpak is dat voorlopig geen methodes bekend zijn om de nodige eigenschappen van verse mortel te meten. We moeten dus noodgedwongen werken met eenvoudiger theorieën, ofwel steunen op een reeks aannames. Een tweede probleem zit in de inhomogeniteit van de materialen: een gewone baksteen heeft door temperatuursverschillen bij het bakproces en/of door het bezanden niet dezelfde eigenschappen aan het oppervlak als in het midden, en het blijkt ook dat het contactvlak tussen beide materialen een aanzienlijke bijkomende hydraulische weerstand creëert.

Een vereenvoudigd model van Hall en Hoff reduceert het proces tot één dimensie en beschrijft het als een filterproces ofwel als het ontwateren van slib, met een filterkoek als resultaat, gecombineerd met een scherp-front-model. Er wordt verondersteld dat de mortel opgedeeld is in een verdichte zone (vastestoffractie ϕ_{koek}) in contact met de baksteen en een natte zone boven een bepaald grensvlak (vastestoffractie ϕ_{nat}). In het substraat bestaat een bevochtigde zone en een zone op initieel watergehalte. Over alle vier de zones zijn het watergehalte (w) en de transporteigenschappen ($K(w)$) constant (Figuur 2a en 2b) (Hall en Hoff 2002, Collier 2007).



Figuur 2a en 2b. Principeschetsen scherp-front-model voor ééndimensionaal watertransport van een mortel naar een poreuze ondergrond (2a naar Collier 2007).

Indien men de sorptiecoëfficiënt van de baksteen S , zoals gedefinieerd in het model, kan meten, en ook de desorptiecoëfficiënt R van de mortel bij een zuiging die overeenkomt met die van het substraat aan het front, kan men aantonen dat:

$$\frac{1}{A^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{S^2}$$

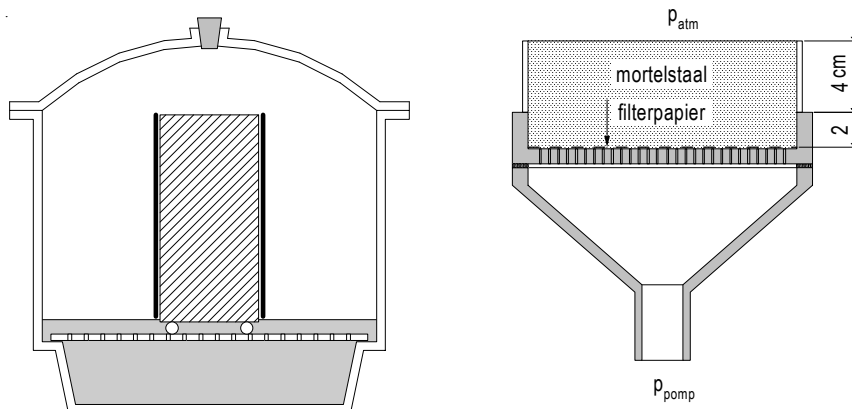
waarbij A de overgangssorptiecoëfficiënt is tussen beide materialen (Collier 2007). De coëfficiënten zijn zodanig gedefinieerd dat de getransporteerde hoeveelheid water een wortel-tijd verloop hebben:

$i = X\sqrt{t}$ waarin i staat voor waterhoeveelheid in mm waterkolom en X voor parameter A , R of S .

3. VOORUITGANG EN RESULTATEN

3.1. Meetmethodes

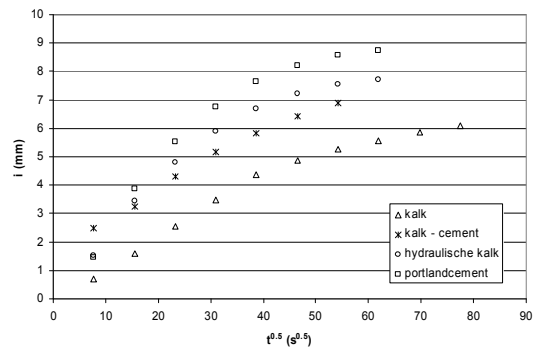
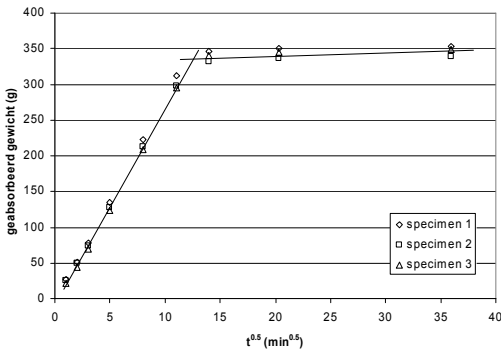
We meten S volgens een eenvoudige absorptieprocedure (Figuur 3) (Hall en Hoff 2002). De gevonden waarde heeft meer nut dan bijvoorbeeld het Hallergetal, dat meer beïnvloed wordt door overgangsfenomenen en randeffecten. Analoog stellen we een procedure voor om R te meten met een alternatieve versie van een door ASTM genormeerde proef (Figuur 4). Niet alleen een hoeveelheid weggezogen water na een bepaald tijdstip wordt gemeten, maar wel een reeks punten, die resulteren in een verloop van het gedesorbeerde water als functie van de tijd. Een onderdruk wordt d.m.v. een vacuümpomp aangebracht op een mortelstaal doorheen een geperforeerde trechter en een bevochtigd blad filterpapier. De gevonden waarden voor R variëren met de aangebrachte vacuümdruk volgen een empirische machtswet: $R = C \cdot P^n$ (Green et al. 1999).



Figuur 3 en 4. Principeschetsen van toegepaste meetmethodes voor sorptie-coëfficiënt van baksteen (3, links) en desorptie-coëfficiënt van mortel (4, rechts).

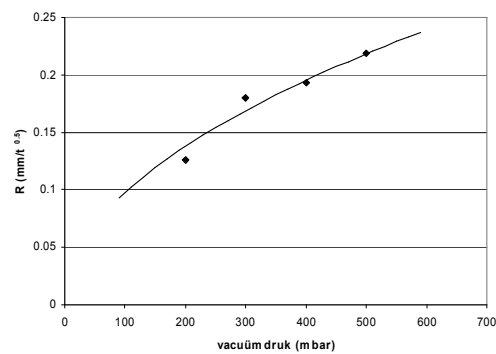
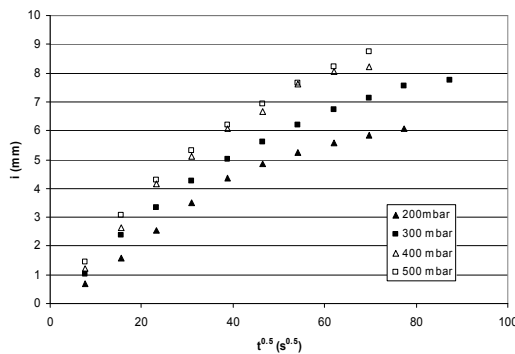
3.2. Absorptie van bakstenen en desorptie van mortel

Het verloop van een absorptieproef op bakstenen is meestal bilineair (Figuur 5). De helling van het eerste gedeelte komt overeen met de absorptiecoëfficiënt van het droge materiaal (S). De tweede rechte geeft het verloop weer als het vochtfront de bovenkant van de baksteen heeft bereikt. Het snijpunt tussen beide komt overeen met het capillair vochtgehalte, dat een bovengrens is voor toepassingen in de bouw bij atmosferische druk.



Figuur 5 en 6. Verloop van een absorptieproef op een baksteen type Vandersanden Finesse (5, links); Desorptiemetingen op mortels met verschillende bindmiddelen (6, rechts).

De desorptie van mortel vertoont ook aanvankelijk een lineair verloop met de helling gelijk aan de desorptie-coëfficiënt R (Figuur 7). De effect van de verschillende binmiddelen wordt duidelijk gemeten, met R het hoogst voor portlandcement en het laagst voor kalk. Gezien de beperkte dikte van het monster, evolueert het watergehalte naar een asymptotische waarde, waarbij de capillaire zuiging van het vaste mortelskelet precies even groot is als het aangelegde drukverschil. Dit evenwicht wordt niet bereikt binnen de tijdsduur van een proef door toenemende luchtdoorslag en beperkte capaciteit van de pomp, maar kan geschat worden door extrapoleren van een gefitte curve. De meetpunten na het lineaire gedeelte worden goed beschreven met een exponentiële functie van de vorm $y' = A(1 - \exp(-Bx'))$. Uitvoering van de proef bij verschillende drukken bevestigt het in de literatuur vermelde verband volgens een machtswet (Figuur 8). De bekomen curve laat toe om de zuiging van verschillende bakstenen te combineren met die bepaalde mortel in het eenvoudige model.

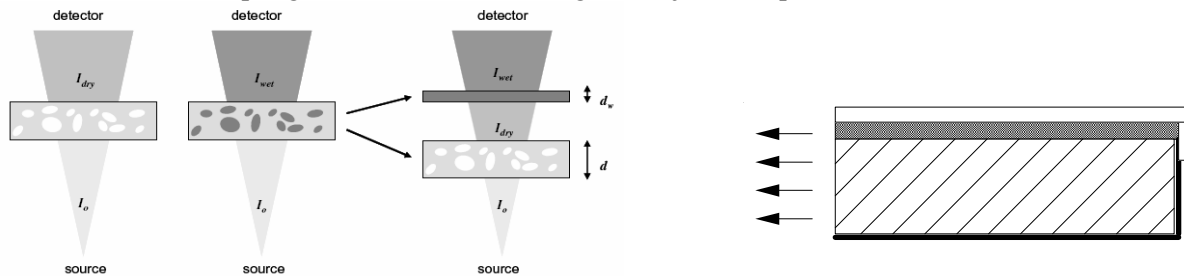


Figuur 7 en 8. Desorptieproef op mortel met kalk bij verschillende drukken (7, links); Berekende waarden voor R bij verschillende drukken voor mortel met kalk, gefit aan empirische functie: $R=9.75 \cdot 10^{-6} \cdot P^{0.50}$ (8, rechts).

3.3. Gekoppeld systeem baksteen-mortel: 2D-meettechnieken

Validatie van het eenvoudige 1D scherp-front-model om wateropname van mortel uit baksteen te berekenen, werd reeds uitgevoerd en beschreven in (Collier et al. 2007). We gaan hier verder in op andere recente methodes om watertransport in een baksteen-mortel systeem in 2D te volgen. Hoger vermelde resultaten van Groot werden bekomen door metingen van de transmissie van neutronen doorheen

proefstukken (Groot 1993). Brocken voerde gelijkaardige experimenten uit met gamma-stralen (Brocken et al. 1998). Onderzoekers van de KULeuven stelden recent voor om de verzwakking van X-stralen te gebruiken om dit proces op te volgen en voerden proeven uit met gescheurde materialen om de invloed van de scheuren op watertransport na te gaan (Roels en Carmeliet 2006). Het werkingsprincipe berust op het feit dat het aanwezige vocht een deel van de invallende X-stralen absorbeert. Men neemt achtereenvolgens foto's van het droge en het natte materiaal en neemt dan aan dat het verschil in uitgaande intensiteit te wijten is aan het aanwezige water, waarvan de hoeveelheid berekend kan worden uit de wet van Beer. Met een resolutie van ongeveer 1mm kan zo een beeld van het vochtgehalte doorheen het hele proefstuk, baksteen en voeg, bekomen worden. Verkennende proeven werden uitgevoerd op proefstukken met dikte 13mm en met de dimensies van een halve baksteen, aan alle zijden waterdicht behalve één zijde die open blijft voor verdamping (Figuur 10). De eerste resultaten tonen aan dat de hoeveelheid opgenomen water zoals verwacht ook benaderend een wortel tijd-verloop kent, en dat het vochtfront niet scherp afgetekend is maar eerder geleidelijk verloopt.



Figuur 9 en 10. Principe van verzwakking van X-stralen en berekening van vochtgehalte aan de hand van intensiteit van doorgaande straling (uit Roels en Carmeliet 2006) (9, links); geometrie van toegepaste proefstuk $L \times B \times H = 90 \times 50 \times 13 \text{ mm}^3$ met mortellaag 5mm dik, onderkant en rechterzijde waterdicht gecoat, bovenaan gedicht met plexiglas (10, rechts).

4. CONCLUSIES

Naar de praktijk blijven er tegenstrijdigheden over het gebruik van natte of droge bakstenen bestaan. We hebben enkele bestaande en enkele nieuwe technieken voorgesteld voor de karakterisering van materialen en het opvolgen van het watertransport in de tijd. De desorptie-proef op mortel is vrij eenvoudig en laat toe om mortels met uiteenlopende bindmiddelen te onderscheiden. Dezelfde proef kan een aanzet zijn voor volledige karakterisering van het materiaal, zodat het op termijn mogelijk wordt om het systeem mortel-baksteen numeriek te modelleren. De meetmethode met X-stralen voor het verloop van het watergehalte in de tijd maakt het mogelijk om een volledig beeld te krijgen van het proces en kan nuttig zijn om een model te valideren.

5. REFERENTIES

Brocken H.J.P., Spiekman M.E., Pel L., Kopinga K., Larbi J.A. 1998. Water extraction out of mortar during brick laying: a NMR study, *Materials and structures* 31: 49-57.

Carmeliet J. en Roels S. 2002. Determination of the moisture capacity of porous building materials, *Journal of thermal envelope and building science* 25: 209-237.

Collier N.C., Wilson M.A., Carter M.A., Hoff W.D., Hall C., Ball R.J., El-Turki A., Allen G.C. 2007. Theoretical development and validation of a sharp front model of the dewatering of a slurry by an absorbent substrate, *Journal of physics D: Applied physics* 40: 4049-4054.

Derluyn H., Janssen H., Carmeliet J. in druk. Experimental and numerical investigation of the hygric behaviour of mortar joints, 14th International brick and block masonry conference, Sydney, 17-20 februari 2008.

Green K.M., Carter M.A., Hoff W.D., Wilson M.A. 1999. The effects of lime and admixtures on the water-retaining properties of cement mortars, *Cement and concrete research* 29: 1746-1747.

Groot C. 1993. *Effects of water on mortar-brick bond*, doctoraatsthesis, T.U.Delft.

Janssen H., Derluyn H., Carmeliet J. 2007. Moisture transfer through mortar joints: interface resistances or hygric property changes?, Proceedings of the 12th symposium for building physics, Dresden, 29-31 maart 2007.

Hall C. en Hoff W.D. 2002. *Water transport in brick, stone and concrete*, Spon, Londen.

NBN B24-401:1981. *Uitvoering van metselwerk*, BIN, Brussel.

NBN ENV 1996-1-1: 2002. *Design of masonry structures. Part 1-1: general rules for buildings – rules for reinforced and unreinforced masonry with Belgian application document included*, CEN, Brussel.

Roels S. en Carmeliet J. 2006. Analysis of moisture flow in porous materials using microfocus X-ray radiography, *International journal of heat and mass transfer* 49: 4762-4772.