



Reynchemie

RC Chaulage

Mesurage de perméabilité de l'eau et de la vapeur

DI : 2013.11921

Demandeur : Reynchemie nv / s.a., M. Kris Reynaert

Date de la demande : 19-03-2013 (via courriel)

Exécution : Département Labo, Cellule Monuments

Rapport : Roel Hendrickx, Roald Hayen, Hilde De Clercq

Date : 17-09-2013

Ce rapport ne peut être divulgué que dans sa totalité. Aucune graphique / image ne peut être reprise sans l'autorisation de l'auteur. Sauf accord contraire établi, KIK se réserve le droit exclusif sur tous les droits d'auteur sur la totalité de l'enquête, tel il est prévu par la législation.

1 Introduction

1.1 Énoncé du problème

Étant donné que les propriétés de transport d'humidité d'une couche de chaux sont de grande importance pour l'application réussie, le producteur Reynchemie nv/sa a chargé KIK de mesurer les propriétés du produit RC Chaulage en labo. Selon la fiche technique, RC Chaulage est "un mortier de chaux à base de chaux hydraulique naturelle de St. Astier et d'additifs appropriés. RC Chaulage comprend 0% de ciment et approche ainsi le mieux la technique durable traditionnelle d'antan. RC Chaulage fonctionne comme couche structurelle sur des briques et du béton pour éventuellement les repasser avec des peintures à la chaux."

De la communication avec le fabricant, il est entendu que le produit se compose de $\pm 30\%$ de NHL 3.5, $\pm 70\%$ de remplissage et $\pm 2\%$ d'acrylique.

1.2 Méthode de recherche

Les deux propriétés examinées sont :

1. L'influence d'une couche de chaux sur l'absorption d'eau de la brique ;
2. La perméabilité pour la vapeur d'eau de la couche de chaux.

Pour les deux tests le produit a été posé sur un porteur. Pour les tests d'absorption on a utilisé un type de brique de grande absorption amplement caractérisé dans (Hendrickx & Roels, 2011), notamment Rouge espagnole de Wienerberger. Cette brique possède une résistance mécanique relativement basse, est de porosité moyenne (un peu supérieure à 30%) et est relativement semblable à de nombreuses briques historiques utilisées dans la maçonnerie de monuments belges. Pour les tests de perméabilité de vapeur on a utilisé des plaques de silicate de calcium du producteur Xella.

2 Mesurage des caractéristiques d'absorption

2.1 Mesurage sur briques sans RC Chaulage

Un total de cinq briques, séchées à l'avance à 105°C pendant au moins 24 heures. Elles furent ensuite pesées une fois sèches et mises en contact du côté extensible avec une surface libre d'eau. Vu que l'absorption d'eau se déroule très rapidement, l'influence du séchage latéral est limitée et les briques n'ont pas été scotchées aux bords latéraux. L'augmentation de poids fut ensuite contrôlée pendant environ 45 minutes.

Les résultats, montrés sur la Figure 1, montrent une évolution typiquement bilinéaire, qui mène à un coefficient moyen d'absorption de $0,52 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ et un taux de saturation capillaire d'humidité de 198 kg/m^3 . Ces valeurs correspondent parfaitement aux propriétés connues de la brique et la variation est basse. Les résultats correspondent également parfaitement à la courbe simulée qui est obtenue avec le paquet de logiciel Delphin 5.6.8, qui sera utilisé plus loin dans l'analyse des résultats.

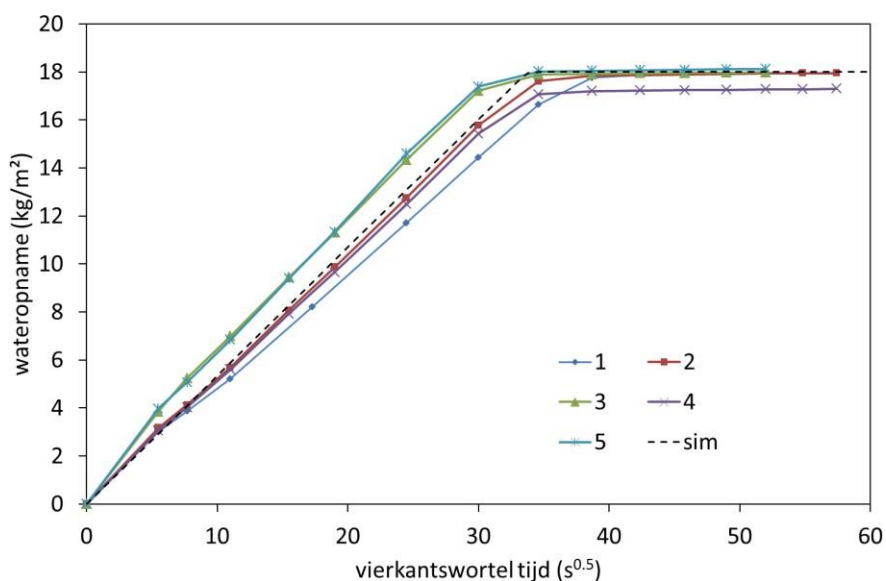


Figure 1. Courbes d'absorption de la brique sans RC Chaulage, ensemble avec une courbe simulée ("sim") obtenue avec le programme de simulation Delphin (ligne pointillée noire).

2.2 Application de RC Chaulage

RC Chaulage a toujours été préparée selon les prescriptions du fabricant, plus en particulier 500 gr de poudre sèche a été mélangée avec 140 g d'eau du robinet. Comme la brique utilisée est très absorbante (coefficient d'absorption de $0,52 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$), il fut décidé de pré-mouiller les briques séchées en tenant le côté à traiter pendant un bref moment en contact avec une surface d'eau. Pour l'échantillon 1 se fut le cas pendant 10 secondes. Étant donné que la maniabilité n'était pas idéale, on a augmenté ce temps jusqu'à 30 s pour l'échantillon 2 et finalement à 60 s pour les autres 3 échantillons. La pré-humidification avant l'application de la seconde couche s'est avérée moins nécessaire : 10 s de contact avec l'eau ont été maintenues ici.

RC Chaulage a été appliquée avec une brosse plate en 2 couches avec 24 heures de temps d'attente. Pendant le temps d'attente et pendant 7 jours après l'application de la seconde couche, les briques ont été gardées dans une enceinte climatique à 20°C et 95% RV pour hydrater de forme optimale la chaux hydraulique (Figure 2).

Ensuite et pendant 3 jours elles ont été posées dans un entourage riche en CO_2 pour la carbonatation de la chaux présente. Ensuite elles ont été gardées dans des circonstances de laboratoire jusqu'à l'exécution du test à un âge de 28 ± 2 jours.



Figure 2. Conditionnement humide des échantillons dans une enceinte climatique, jusqu'à 7 jours après la pose de la seconde couche.

Pour être certains que la RC Chaulage adhère bien et dispose d'une épaisseur acceptable, tous les échantillons de test ont été cassés au milieu après la fin du test. La Figure 3 montre une vue sur les surfaces de rupture, d'où l'on peut conclure que la couche s'adhère bien visuellement à la brique, mais varie plutôt en épaisseur.

La table 1 donne des valeurs moyennes, qui varient entre 2,0 et 2,5 mm La fiche technique mentionne 2-4 ms.



Figure 3. Échantillon de 1 à 5 (de gauche à droite) après le test, cassés au milieu pour mesurer la couche de chaux. La hauteur des échantillons est approximativement de 8,5 cm.

Table 1. Épaisseur moyenne des couches de chaux.

échantillon n	Épaisseur moyenne de la chaux (mm)
1	2.50
2	2.00
3	2.40
4	2.25
5	2.25

2.3 Mesurage sur des briques avec RC Chaulage

La Figure montre l'aspect des échantillons avant que ceux-ci ne soient traités à travers le côté de traitement en contact avec l'eau. L'absorption évolue dans ce cas plus lentement que sans la chaux (argile (Figure 5)). Nous observons qu'au début il y a une phase d'absorption lente qui dure de 5 à 15 minutes. Dans la seconde phase la vitesse d'absorption augmente et une seconde phase linéaire est atteinte, qui évolue de la même forme raide, ou de forme moins raide, que dans le cas de la brique sans RC Chaulage. Finalement on atteint un quasi-maximum après 25 minutes à 25 heures. Cette variation est énorme et est difficilement en rapport avec l'épaisseur des couches. Les échantillons 1 et 2 avaient en effet au milieu la couche la plus épaisse de chaux (kalei), mais absorbent néanmoins rapidement. Toutefois cela ne nous permet pas d'expliquer les grandes différences.



Figure 4. Échantillon 1 avec couche de chaux avant le mesurage d'absorption d'eau. Pendant ce mesurage les côtés latéraux ont été imperméabilisés. Le dessus de la brique, recouvert de RC Chaulage, a été mis en contact avec de l'eau.

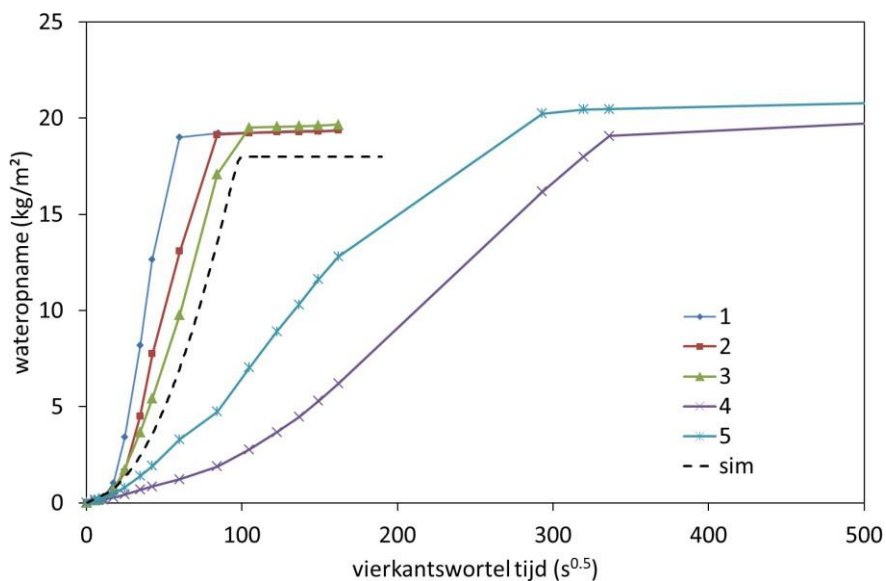


Figure 5. Courbes d'absorption de la brique avec RC Chaulage, ensemble avec une courbe simulée (ligne pointillée noire).

L'influence est le mieux visualisée par une comparaison de la situation sans et avec de la chaux, tel il est repris pour 1 échantillon spécifique (échantillon 2) dans la Figure 6. Le ralentissement ajouté de l'absorption d'eau par l'effet de la couche de chaux est dans ce cas d'environ 400 s (20 x 20), ce qui revient à 7 min. Il est également remarquable que le maximum soit supérieur dans la situation avec la chaux. D'une part, la chaux elle-même dispose de nombreux pores, qui peuvent expliquer une augmentation de quelques pourcents, mais il est également possible que par le flux réduit de l'eau, moins d'air ne reste enfermé dans les pores de la brique, de sorte que celle-ci finalement se remplisse avec davantage d'eau. D'une part la chaux elle-même a de nombreuses pores, qui peuvent expliquer une augmentation de quelques pourcents, mais il est également possible que par le flux ralenti de l'eau, moins d'air ne soit enfermé dans les pores de la brique, de telle façon que celle-ci finalement se remplisse davantage d'eau.

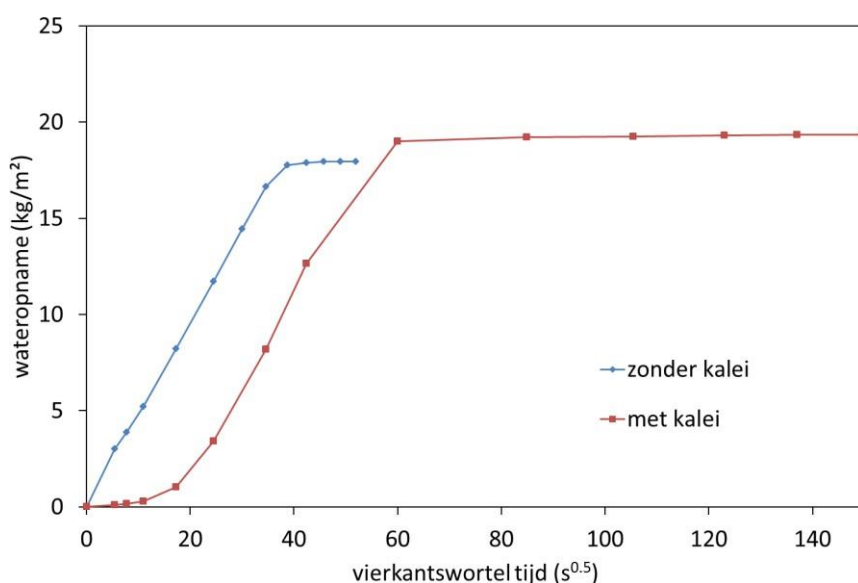


Figure 6. Comparaison d'absorption sans et avec RC Chaulage pour l'échantillon 2.
Reynchemie - RC kalei

La première phase lente d'absorption d'eau est caractéristique pour la couche de chaux elle-même. Le coefficient moyen d'absorption pendant cette phase est de $0,019 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0.5}$ avec une variation de 28%. En d'autres termes, cela signifie environ 27 fois plus lent que la brique-même. Cette valeur se trouve dans les environs du mortier de ciment ou de pierres naturelles d'absorption basse ou moyenne (par exemple Lime stone). Des mortiers purs de chaux absorbent beaucoup plus rapidement : la matière ajoutée acrylique est vraisemblablement responsable de cette différence.

Vu que l'absorption d'eau dans la seconde phase dispose d'environ la même pente que celle du sous-sol sans argile-kalei, nous pouvons également considérer la couche de chaux comme une couche extra de brique d'une certaine épaisseur, qui se porte exactement de la même façon. Un calcul nous porte vers une épaisseur imaginaire de la brique d'en moyenne environ 5 cm (dérivé pour $\Delta t = 400 \text{ s}$). Cette approximation est basée sur la théorie de (Hall & Hoff, 2002).

3 Mesurage de la perméabilité à la vapeur

3.1 Mesurage sur des plaques sans chaux

La résistance contre la diffusion de vapeur ("valeur sd") d'une couche de finition est mesurée de forme standard en utilisant une plaque relativement ouverte à la vapeur d'un matériau de référence, qui est d'abord mesuré sans la couche de chaux, et ensuite avec la couche. Plus la résistance à la vapeur de ce matériau est basse (le porteur), plus précise est la définition de l'influence d'une couche de finition sur la résistance à la vapeur. Pour ces tests, nous avons opté pour faire usage de plaques de silicate de calcium, un matériau isolant en mousse minérale, qui est très doux, poreux et ouvert à la vapeur. Il s'agit de plaques de la firme Xella qui sont sciées à une épaisseur de 22 à 24 mm dans un diamètre d'environ 117 mm (Figure 7).



Figure 7. Plaque sciée de matériau d'isolation de silicate de calcium.

Le mesurage de la résistance à la vapeur se fait dans un test nommé "dry cup"-test (Figure 8). Ici le matériau est amené entre un environnement plus humide (hors du pot) et un environnement plus sec (dans le pot) et le flux de vapeur est mesuré d'humide à sec. Cela correspond avec l'augmentation de poids dans le pot. La situation sèche est atteinte en utilisant du gel silice, ce qui résulte en une humidité relative ("RV") de 2.5 à 7 %, alors que la situation hors du pot est de 50 %

RV est et correspond aux conditions dans l'enceinte climatique. Après une brève période de transition, le flux de vapeur atteint une phase linéaire. A partir de ces points le flux et la résistance sont calculés, à base de la norme européenne EN-ISO 12575:2001.



Figure 8. Dry cup avec au fond du pot un gel de silice blanc et en haut sous le couvercle vissant le matériau de plaque, avec joint en caoutchouc mousse et une bande en caoutchouc butyle.

Les résultats pour les plaques sans chaux sont mentionnés dans la Figure 9. Après une période de transition initiale d'un peu moins d'un jour, suit une phase linéaire avec de très petites variations, qui se maintient pendant quelques jours, jusqu'à ce que la pente finalement se réduise légèrement. De la pente de la phase linéaire suit un chiffre de moyenne de résistance à la diffusion de vapeur μ de 2.19 avec un coefficient de variation de 12%. La valeur sd moyenne est de 0,051 m. C'est la longueur d'une couche fictive d'air qui a une identique résistance à la vapeur que la plaque.

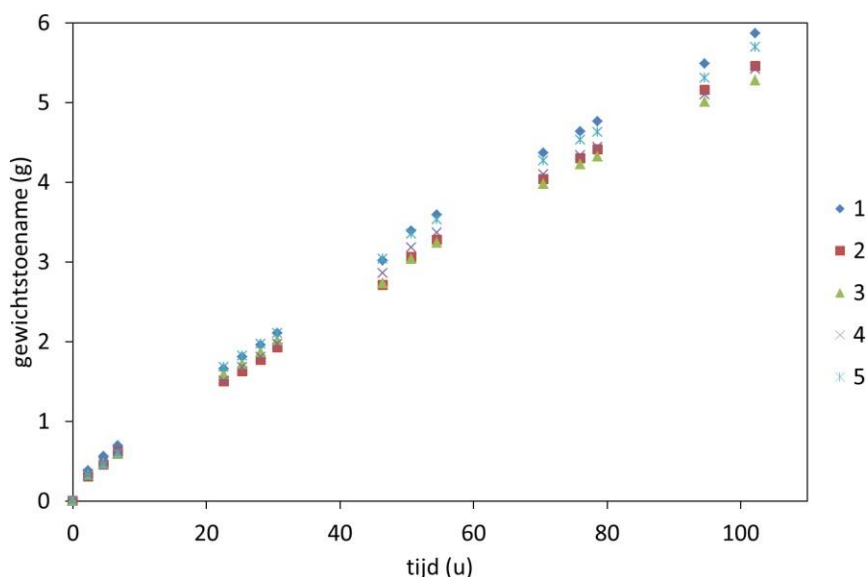


Figure 9. Augmentation de poids de dry cups dans le test avec des plaques de silicate de calcium sans chaux RC.

3.2 Application de chaux

Les plaques aussi sont humidifiées avant d'y appliquer la chaux.

On y a observé que les plaques, contrairement à d'autres produits de silicate de calcium, étaient dans une certaine mesure hydrofuges. Elles absorbaient lentement et pouvaient sans problème continuer à flotter sur une surface d'eau. Le fabricant a confirmé qu'on a ajouté des additifs hydrofuges à ce produit. Le contact avec l'eau a été maintenu pendant 10 s, mais ceci a probablement peu d'influence. La façon d'appliquer était en outre la même que pour la brique. Malgré les caractéristiques hydrofuges, il n'y a eu aucun problème avec l'adhésion de la couche de chaux, probablement grâce aux additifs acryliques.

3.3 Mesurage sur les plaques avec RC Chaulage

Sur la Figure 10 sont reproduits les résultats des tests dry cup avec RC Chaulage. Il est évident que l'augmentation de poids est légèrement inférieure. Vu que la différence est assez minime, on a supposé qu'il y avait possiblement un problème avec le colmatage des plaques, qui était pourvu de bandes de caoutchouc mousse. Pour éviter cela, on a réalisé une seconde série de tests (Figure 11) où on a prévu à la partie supérieure une double imperméabilisation : avec du caoutchouc mousse et avec une bande plastique de butyle élastique. Cela mène en effet à une augmentation de poids un peu plus lente et à une variation extrêmement basse.

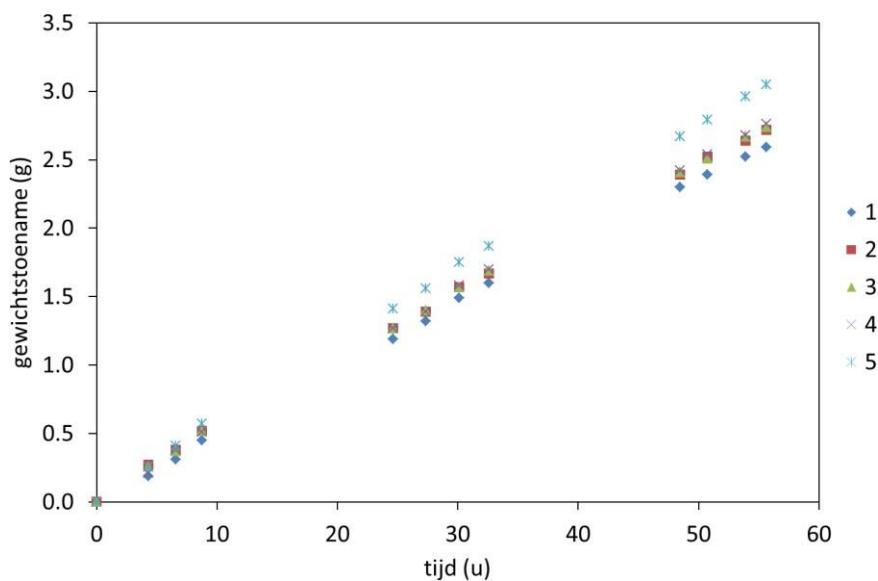


Figure 10. Augmentation de poids de dry cup dans le test avec des plaques de silicate de calcium avec RC Chaulage, série 1.

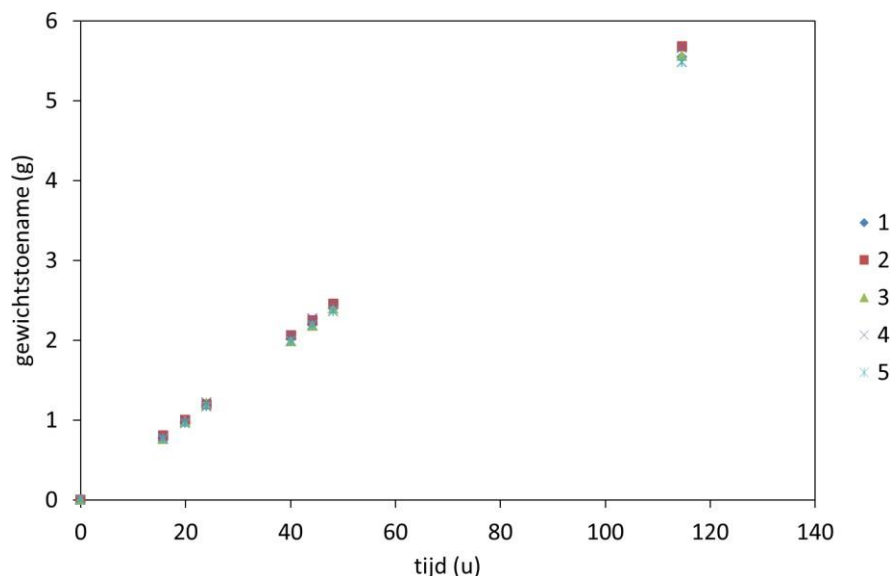


Figure 11. Augmentation de poids de dry cups dans le test avec des plaques de silicate de calcium avec de la chaux, série 2.

Un aperçu des valeurs obtenues est donné dans la Table 2. La valeur sd pour la chaux peut être considérée égale à la différence moyenne des deux séries : 0,023 m. D'autre part on pourrait également avancer que la situation sans la chaux est la plus similaire aux résultats de la série 1, d'où on déduirait que $0,066 - 0,051 = 0,015$ m est le résultat le plus correct. Considéré statistiquement, on peut avancer que la valeur s d'une couche de RC Chaulage de 2 à 2,5 mm avec grande probabilité (intervalle de fiabilité 95% est inférieur à 0,031 m.

Table 2. Aperçu de valeurs sd obtenues dans les différentes situations Sd

	Valeur-sd	Coefficient de variation
sans chaux	0,051 m	12%
avec chaux, série 1	0,066 m	5%
avec chaux, série 2	0,081 m	3%
Différence moyenne (valeur pour RC Chaulage)	0,023 m	
Différence plus petite (valeur pour RC Chaulage)	0,015 m	

Pour les deux résultats compte que la résistance à la vapeur est très minime. Les résultats sont d'ailleurs obtenus après une procédure de correction pour la résistance de la quantité d'air entre le gel de silice et la plaque, qui est exigé selon la norme pour de tels systèmes ouverts à la vapeur.

Avec ce résultat, RC Chaulage tombe dans la catégorie de systèmes de peinture ouverts à la vapeur. Le numéro de résistance à la diffusion de vapeur μ est de 7 à 15, ce qui est normal pour des mortiers de chaux. On peut donc avancer que l'additif acrylique a une influence fort inférieure sur l'ouverture à la vapeur qu'à l'absorption d'eau liquide.

4 Brève analyse physique du système en couches

Le mesurage de l'ouverture à la vapeur est relativement simple et demande peu d'explication, mais il est utile pour analyser l'absorption d'eau du système de brique RC Chaulage pour une conception typique dans une maçonnerie historique.

La théorie de l'absorption d'eau à travers des systèmes de couches est amplement décrite dans la littérature (Hall & Hoff, 2002). Quand l'eau traverse successivement des matériaux A (longueur L) et B, avec des coefficients d'absorption A_A et A_B , une porosité f_A et f_B et une perméabilité saturée K_A et K_B , on peut trouver l'absorption d'eau i (mm/s) comme :

$$i = -LY + A_B \sqrt{t + L^2 X}$$

$$Y = f_B \frac{K_A}{K_B} f_A$$

$$X = \left(\frac{f_B}{A_B} \right)^2 \left(\frac{K_B}{K_A} \right)^2 - \left(\frac{f_A}{A_A} \right)^2$$

Dans ce cas toutes les propriétés du matériau B (brique) sont connues, et nous pouvons définir les paramètres de RC Chaulage de telle façon, que la courbe obtenue corresponde bien avec les résultats mesurés. Cela a été exécuté pour les résultats de l'échantillon 3 (Figure 12). On peut en déduire un coefficient d'absorption de RC Chaulage qui est environ 10 fois inférieur à celui de la brique et une perméabilité de 2 grandeurs d'ordre inférieures. L'ajustement est bon pour la seconde phase, mais avec ce modèle il était impossible de faire ajuster bien la première phase. Il s'agit donc d'un calcul analytique fort simplifié avec une quantité de prémisses.

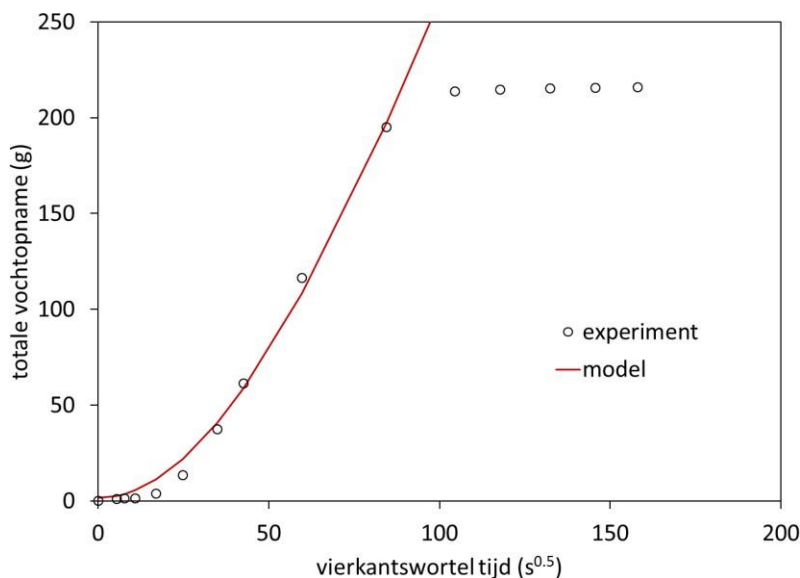


Figure 12. Courbe du modèle de Hall et Hoff, adaptée aux résultats expérimentaux de l'échantillon 3, avec RC Chaulage.

Comme méthode d'analyse plus avancée, on peut également faire un calcul numérique du transport complet d'eau et de vapeur dans le système de couches. À cet effet on a utilisé le logiciel de Delphin 5.6.8, un logiciel développé à la TU Dresden (Nicolai, 2007). Dans le modèle une couche de chaux de 2,25 mm a été ajoutée à une brique de 8,5 cm d'épaisseur. Les résultats sans et avec

RC Chaulage sont repris ensemble avec les valeurs expérimentales dans la Figure 1 et Figure 5. Ici on voit qu'il est effectivement possible de faire une bonne approche du comportement, mais comme nous n'avons mesuré que quelques caractéristiques de l'la chaux, il était nécessaire d'évaluer nous-mêmes encore une série de paramètres supplémentaires. Si l'on suppose que la répartition de la taille des pores de l'la chaux est similaire à celle de la brique, nous découvrons ici que RC Chaulage aurait un coefficient d'absorption 3 fois inférieur à celui de la brique et une perméabilité de 2 ordres de grandeur inférieure.

Les deux méthodes d'analyse fournissent donc des informations utiles, confirment le type de matériau et le procédé, et donnent des indications pour la grandeur des paramètres.

5 Synthèse et discussion

L'application pose de RC Chaulage sur une surface très absorbante (brique) a une influence importante sur l'absorption d'eau : celle-ci est en effet ralentie avec une période typique de 7 minutes, mais maximum 2 ou 3 heures. RC Chaulage s'y comporte comme un épaissement imaginaire de la brique avec 5 cm. Par soi-même le coefficient d'absorption de RC Chaulage est relativement bas, ce qui peut être dû à l'influence de la matière additive acrylique. Dans une situation où ce matériau est apposé sur un mur de briques, RC Chaulage mène probablement à une répartition de la charge de pluie sur la surface, parce que les parties fort absorbantes (par exemple une brique mal cuite) ne sont plus accessibles pour une pluie battante. En outre cela cause probablement l'écoulement de l'eau de pluie, ce qui dans le cas de surfaces absorbantes se réalise à peine.

Sur des façades de pierre naturelle moins absorbante, RC Chaulage peut probablement réduire fortement la pression d'humidité sur les joints, également grâce à son effet de répartition.

Intuitivement il semble plus intéressant d'utiliser pour des façades fort absorbantes, un matériau moins contrastant comme couche de chaux, par exemple un matériau avec un dosage inférieur en additif.

En ce qui concerne la perméabilité de vapeur, RC Chaulage obtient un excellent résultat. Avec une valeur s_d ne dépassant pas 0,031 m, le produit se situe dans le groupe de systèmes de peinture très ouverts à la vapeur. On peut donc avancer que la diminution de conductivité de la vapeur pour une façade avec l'apport de RC Chaulage est beaucoup moins significative que la réduction d'absorption d'eau.

Le séchage d'un système combiné avec RC Chaulage est beaucoup plus complexe et ne faisait pas partie de cette étude. Basé sur les mesurages on peut s'attendre à un ralentissement plus ou moins important du procédé de séchage, mais possiblement celui-ci sera compensé par la réduction d'absorption d'eau.

6 Références

Hall, C., & Hoff, W. D. (2002). *Water transport in brick, stone and concrete*. Londres : Taylor & Francis.

Hendrickx, R., & Roels, S. (2011). *IWT Collectief onderzoek 399.576 nieuwe technieken ter remediëring van zoutbelast metselwerk. Rapport final KULeuven département de physique de la construction, Louvain*.

Nicolai, A. (2007). *Modelling and numerical simulation of salt transport and phase transition in unsaturated porous building materials*. Syracuse University.