

WTA

STUDIEDAG - 24 november 2023 - BRUSSEL

Duurzaam behoud van massief baksteenmetselwerk in monumenten

Inschatting van het vorstschaderisico van historisch baksteenmetselwerk

Filip Descamps, Daidalos Peutz bouwfysisch ingenieursbureau, Leuven

Situering

De evolutie naar een koolstofneutrale samenleving vormt voor het onroerend erfgoed een cruciale uitdaging. De mogelijkheid tot een verhoging van de thermische isolatiekwaliteit van historisch metselwerk is in vele concrete situaties een noodzaak, maar ook een uitdaging. De evaluatie van de vorstbestendigheid van historisch metselwerk vormt daarvan een deelaspect. We geven in deze nota aan hoe we in concrete projecten omgaan met de analyse van het vorstschaderisico.

Het risico op vorstschade aan een baksteen wordt bepaald door drie deelfactoren: (i) de reële vochtbelasting van de baksteen, (ii) de hygrische eigenschappen (en de heterogeniteit ervan) en (iii) de sterkte-eigenschappen van de baksteen (en zijn voorgeschiedenis). We gaan hier in op de eerste twee deelaspecten.

Reële vochtbelasting van de baksteen

Bevochtiging van verticaal baksteenmetselwerk gebeurt door slagregen. Het is de horizontale component van de wind die grote en kleinere regendruppels op een gevel doet terechtkomen.

In ons klimaat is bij hevige regen en wind de zuidwestwind sterk overheersend, en is de vochtbelasting op geveloriëntaties tussen zuiden en westen veel hoger dan op andere geveloriëntaties.

Bij zeer hevige slagregen wordt het regenwater niet langer door de baksteen capillair opgezogen, en stroomt het langs de gevel af. Op niet-capillaire gevelmaterialen stroomt het regenwater ook bij lagere regenintensiteit af. Deze afstroming zorgt voor een veel snellere vervuiling van deze gevelmaterialen (sterk afgespoelde 'propere' zones, en vervuilde zones door lokale afzetting van pollutie) dan het geval is bij baksteenmetselwerk. Bij een goede detaillering met overstekende goten en met correcte druiplijstdetaillering patineert baksteenmetselwerk, eerder dan te vervuilen. In ons regenachtig klimaat zijn druiplijsten daarbij cruciaal: ze voeren afstromend regenwater een viertal centimeter voor de gevel af, waar het recht naar beneden valt omdat tegen de gevel aan de horizontale windsnelheid nul is. Het ontbreken van druiplijsten zorgt ervoor dat onderliggend metselwerk sterk belast wordt met afstromend regenwater, wat de risico op vorstschade sterk verhoogt ([Figuur 1](#)). Het corrigeren van een onaangepaste detaillering is daarom noodzakelijk. Opstijgend vocht ([Figuur 2](#)), lekkende regenpijpen en lekkende goten bovenop het metselwerk zijn belangrijke oorzaken van een verhoogde vochtbelasting.

Ook op hoeken en vooral dakranden is de slagregenbelasting groter. Een dakranddetaillering met overstek biedt soelaas ([Figuur 3](#)).

Een hoge vochtbelasting door onaangepaste detaillering moet onvermijdelijk aangepakt worden voor er sprake kan zijn van de verbetering van de isolatiekwaliteit van baksteenmetselwerk.

Bescherming van baksteenmetselwerk tegen slagregen

Historisch gezien gebeurde de bescherming van baksteenmetselwerk met kalei- en pleisterlagen. Deze bescherming beperkt de wateropname in het vlak van de wand, maar door de toegenomen hoeveelheid afstromend regenwater zijn de eisen aan een correcte detaillering des te belangrijker om versnelde vervuiling te voorkomen. Bij onvoldoende onderhoud en scheurvorming in de beschermingslaag ontstaat een situatie waarbij slagregen het metselwerk binnendringt via scheuren en onvolmaaktheden in de beschermingslaag. De beschermingslaag bemoeilijkt in dat geval onvermijdelijk de droging van het metselwerk en zorgt zo voor een verhoogd vochtgehalte (en vorstschaderisico) voor de baksteen (Figuur 4).

Tuilmuren zijn dikwijls zwaar regenbelast en drogen moeilijker dan gevelmetselwerk. Als ze in dezelfde baksteen zijn uitgevoerd als het gebouw, vormen ze een 'early warning' voor de vorstbestandheid van de baksteen (Figuur 5).

Hygrische eigenschappen en heterogeniteit

Historisch metselwerk is meestal erg heterogeen. Dit zorgt ervoor dat het inschatten van de fractie niet-vorstbestendige bakstenen heel moeilijk is (Figuur 7). Als de vorstbestendigheid van de verschillende - ogenschijnlijk gelijkaardige - bakstenen erg verschillend is, wordt het erg moeilijk om een correcte hoeveelheid vervangbakstenen te voorzien, en een correcte prijsinschatting te maken.

We trachten de heterogeniteit van de stenen in te schatten op basis van Karstenproeven (Measurement of water absorption under low pressure - Rilem Test Method - Test No. II.4). Onze ervaring leert dat Karstenproeven echter niet bruikbaar zijn om kandidaatstenen voor een meer doorgedreven vorstbestendigheidanalyse te selecteren.



Figuur 1. Onaangepaste druiplijstdetailering van een buitendorpel. Sterke bevochtiging en vervuiling van de zone onder de dorpel (Sint-Godelieveabdij, Brugge)



Figuur 2. Verhoogd risico op vorstschade (opstijgend vocht ter hoogte van de plint) (Sint-Godelieveabdij, Brugge)



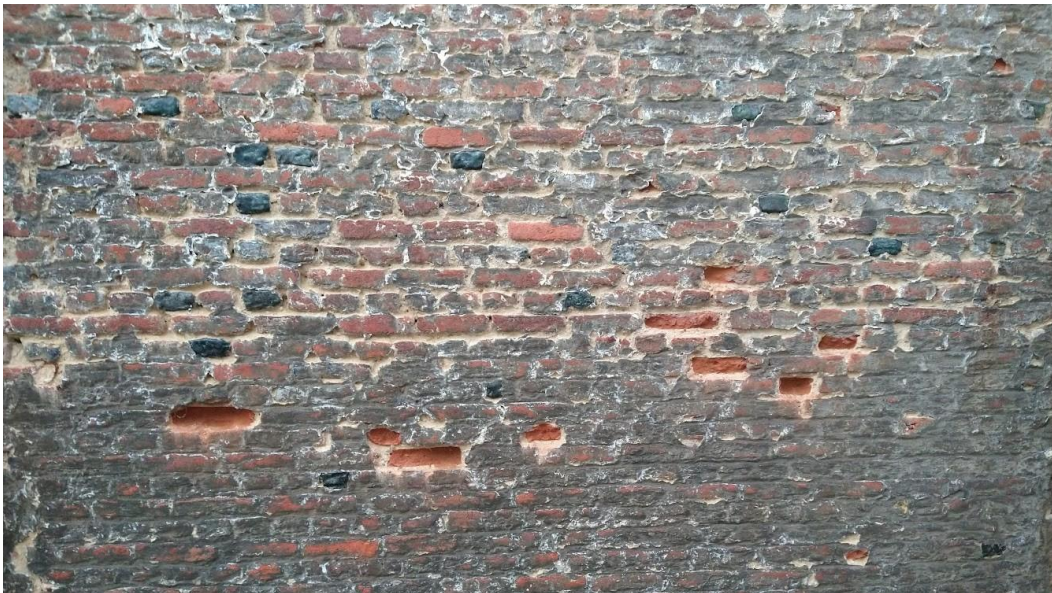
Figuur 3. Verhoogde vochtbelasting op een dakrand zonder druiplijst of overstekende goot (Steen, Antwerpen)



Figuur 4. Onvoldoende onderhoud van een beschermingslaag tegen slagregen (Klooster van de Rijke Klaren, Brussel)



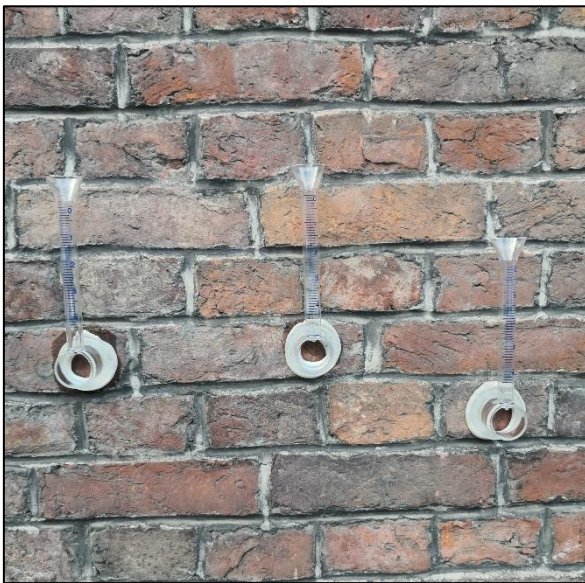
Figuur 5. Tuinmuren als 'early warning' voor het vorstschaderisico van de baksteen (Begijnhof, Lier).



Figuur 6. Heterogeniteit van historisch metselwerk. (onbekend).



Figuur 7. Uitgebreide nood aan vervanging van de baksteen (Convent Begijnhof, Antwerpen).



Figuur 8. Inschatting van de heterogeniteit van de baksteeneigenschappen (Paterskerk, Roeselare).



Figuur 9. Macro-scheuren in de baksteen vormen een belangrijk risico op vorstschade (Paterskerk, Roeselare).

Hygrische eigenschappen baksteen

densiteit 1500 – 2050 kg/m³

totale open porositeit 0.23 – 0.43 m³/m³

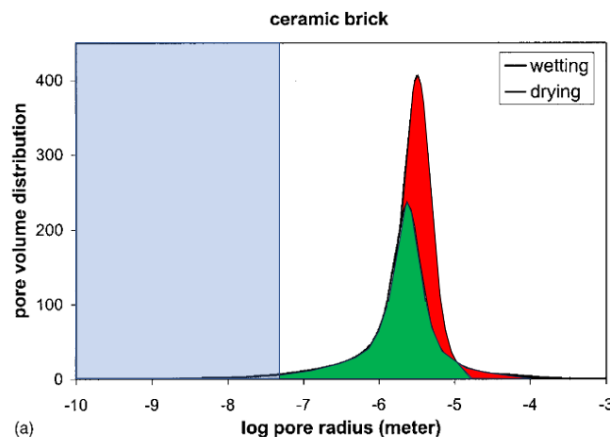
watergevulde porositeit bij capillair vochtgehalte 0.15 – 0.30 m³/m³

watergevulde porositeit bij capillair vochtgehalte / totale open porositeit (-)
0.60 – 0.80

water sorption coefficient
0.15 – 1.5 kg/m²s^{0.5}

Determination of the Moisture Capacity
of Porous Building Materials

JAN CARMELIET*† AND STAF ROELS



Figuur 10. Hygrische eigenschappen baksteen (Determination of the moisture capacity of porous building materials, Jan Carmeliet, Staf Roels, Journal of Building Physics, <https://doi.org/10.1106/109719602022835>)

Grosso modo bevat baksteen poriën met een poriënstraal tussen 10^{-8} m en 10^{-4} m. Afhankelijk van het type varieert de totale open porositeit in brede grenzen tussen 0.23 en 0.43 m³/m³. Baksteen bevat maar een kleine fractie poriën met een straal kleiner dan $5 \cdot 10^{-7}$ m en is daarom weinig hygroscoopisch.

Het kritisch vochtgehalte is dat vochtgehalte waarbij de poriën net capillair met elkaar in verbinding staan. Onder het kritisch vochtgehalte is het vochttransportmechanisme in hoofdzaak waterdamptransport, en erboven start het watertransport. Het capillair vochtgehalte is een kritisch vochtgehalte voor luchtstroming. Boven het capillair vochtgehalte wordt de lucht in de poriën in eilanden opgesloten en is er voor lucht niet langer een open connectie met de omgeving. Het capillair vochtgehalte is dat maximale vochtgehalte dat bereikt wordt door bevochtiging onder normale omstandigheden, met insluiting van lucht in de grootste poriën. Wanneer eerst onder vacuüm de lucht uit de baksteen wordt afgezogen, en daarna bevochtiging optreedt, dan wordt **alle** poriën met lucht gevuld. Dit vochtgehalte wordt het verzadigingsvochtgehalte genoemd.

De hypothese luidt: als het poriënvolume dat bij het capillair vochtgehalte nog niet watergevuuld is voldoende groot is, dan is er voldoende uitzettingsmogelijkheid voor ijsopbouw zonder krachtsontwikkeling (geen verhinderde vervorming) zodat er geen scheurvorming in de baksteen ontstaat.

De beoordelingen volgens

- de Maage-factor F_c (Bracka, A.; Rusin, Z. Comparison of pore characteristics and water absorption in ceramics materials with frost resistance factor F_c . Struct. Environ. 2012, 4, 15-19) en

- de g_c -waarde voor de bepaling van de vorstbestendigheid van gevelsteen uit de vervallen Belgische norm NBN B 23-002:1986 met addenda A1:1991 en A2:1996 (vervallen norm) zijn gebaseerd op deze hypothese.

Risicoinschatting

De eerste stap in onze inschatting van de vorstbestendigheid van baksteen in historisch metselwerk bestaat uit een visuele inspectie waarbij we ons volgende vragen stellen:

- Treedt op sterk vochtbelaste plaatsen (hoeken, maaiveldniveau, onder onaangepaste druiplijsten), of erger, in het vlak van de wand, nu al vorstschade op?
- Is er belangrijke macro-scheurvorming in de stenen, of tussen stenen en mortel?
- Is de heterogeniteit van de baksteeneigenschappen groot (Karstenproef)?

Als er op twee van deze drie vragen een positief antwoord komt, dan gaan rode knipperlichten branden.

In een tweede stap verwijderen we een aantal stenen (typisch een vijftal stenen per baksteensoort) waarop capillair en verzadigingsvochtgehalte, waterabsorptiecoëfficiënt en g_c -waarde worden bepaald. Uit de g_c -waarde wordt een vorstbestandheidsklasse afgeleid. We passen alleen binnenisolatie toe bij een classificatie 'normaal vorstbestand' of 'zeer vorstbestand' volgens NBN B 23-002.

De zwakte van deze aanpak is tweevoudig:

- Het correct inschatten van de impact van heterogeniteit is niet mogelijk omdat het aantal volgens de g_c -waarde geclassificeerde stenen zeer beperkt is. Alleen als de Karstenproeven een aanvaardbare heterogeniteit aantonen is de methode bruikbaar. Onze ervaring is dat hoe ouder de baksteen is, hoe groter de heterogeniteit is;
- De methode is eerder conservatief omdat ze geen rekening houdt met de mogelijkheid dat de baksteenmatrix de spanningen van de verhinderde vervorming zonder scheurvorming kan weerstaan. Een (in situ bruikbare) aanvullende methode om scheurvorming te detecteren (ultrasoon, of bepaling van de treksterkte) kan een belangrijke stap vooruit vormen.