

Proefresultaten metselwerk geëvalueerd

Invloed DPC-folie op schuifsterkte

Vochtschermen in gemetselde wanden worden doorgaans met een DPC-folie gerealiseerd. De dwarskrachtcapaciteit van de wand neemt hierdoor echter aanzienlijk af. In Eurocode 6 is voorgeschreven dat de schuifsterkte moet worden bepaald door middel van proeven. Als alternatief kan gebruik worden gemaakt van een formule op basis van de initiële schuifsterkte f_{vko} en de Coulombse wrijving. De waarde van f_{vko} moet worden bepaald uit experimenteel onderzoek, uit een database van proefresultaten of uit tabel 3.4 in EC6. Of de vereenvoudigde berekeningsmethode ook van toepassing is op metselwerk met DPC-folie is niet expliciet vermeld. Om meer duidelijkheid te brengen in deze problematiek is aan de TU Eindhoven een experimenteel onderzoek verricht.

In het experimentele onderzoek zijn de mechanische eigenschappen van baksteen metselwerk met en zonder DPC-folie onderling vergeleken. Er werden 6 series van elk 4 kleine metselwerkproefstukken beproefd respectievelijk volgens EN 1052-3 (zonder DPC-folie) en EN 1052-4 (met DPC-folie). Voor seismisch belast metselwerk zijn deze proeven in principe niet van toepassing [2].

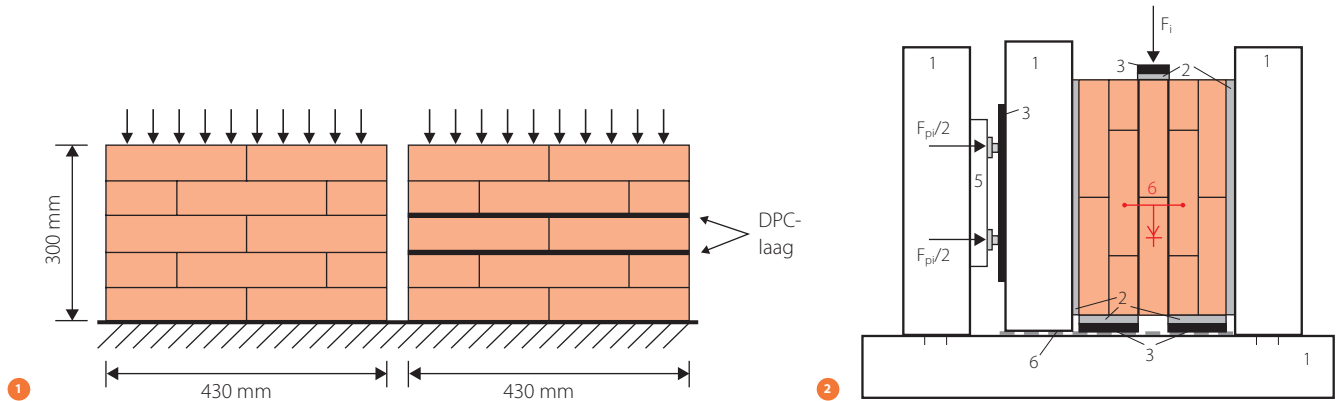
Proefstukken

De Europese normen bepalen dat het afschuifvlak tussen de 400 en 700 mm lang moet zijn en dat de hoogte-breedteverhouding groter moet zijn dan 2. Bovendien moet minimaal één stootvoeg per laag aanwezig te zijn. De proefstukken waren 2 stenen lang en 5 lagen hoog (430 x 300 x 96 mm³, zie fig. 1). De mortel was een droge pre-mixed mortel van sterkteklasse M 7.5 - type II/III, volgens de Nederlandse norm NEN 3835:1991. De experimenteel bepaalde gemiddelde druksterkte bedroeg 14 N/mm², wat overeenstemt met een sterkteklasse M10-M20 volgens tabel 3.4 in EC6. Voor de gemiddelde treksterkte werd een waarde van 3,7 N/mm² gemeten.

De DPC-folie werd tussen twee lagen mortel gelegd met een totale dikte van 12,5 mm. Als DPC-folie is een polyethyleen folie van het type DIBA gebruikt met een dikte van 500 µm en een breedte van 100 mm. Om de ruwheid van het oppervlak te vergroten had de folie aan beide zijden een gewafelde structuur (ribbels van 40 x 10 mm, zie foto 2). De proefstukken zijn direct na het vervaardigen afgedekt met plastic, om uitdrogen tijdens het verharden te voorkomen. Door het aanbrengen van vier natte stenen bovenop elk proefstuk werd een voorbelasting van $4,0 \times 10^{-3}$ N/mm² geïntroduceerd.

ir. Gabi Bertram,
 Leerstoel Steenconstructies
 TU Eindhoven
 prof.ir.-arch. Dirk Martens
 Leerstoel Steenconstructies
 TU Eindhoven, Bureau Dirk
 Martens bvba, Zingem (B)

- 1 Proefstukken met voorbelasting (bakstenen: 206 x 96 x 50 mm³)
- 2 Schema van de proefopstelling
- 3 Foto DPC-folie met gewafeld oppervlak



Proefopstelling

De opstelling werd gebouwd met HE160B staalprofielen in een Schenk-Trebel 100 kN drukbank. De voordruk werd aangebracht met twee hydraulische cilinders (4 ton, 15 mm uitslag), die werden aangestuurd met een handpomp. De proefstukken werden 90° gedraaid in de opstelling geplaatst, conform EN 1052-3:2002 (fig. 3 en foto 4 en 5). Ter vergelijking werden de proefstukken met DPC-folie ook volgens deze norm beproefd.

Uitvoering proeven

De proefstukken zijn tussen de 2 en 38 dagen na vervaardigen beproefd. Voor drie verschillende voorspanniveaus (ongeveer 0,2, 0,6 en 1,0 N/mm²) werd een kracht-vernemingdiagram bepaald (fig. 6). De schuifspanning werd verhoogd met ongeveer 0,2 N/mm² per minuut terwijl de vervorming continu werd gemeten met een LVDT.

Na een aanloopfase neemt de dwarskrachtcapaciteit tot aan de eerste scheurvorming nagenoeg lineair toe. Bij de proefstukken met DPC-folie neemt de opneembare schuifkracht niet meer toe na scheurvorming (fig. 6a), wat wijst op een beperkte hechting tussen mortel en DPC-folie. In deze fase blijft de belasting

constant bij toenemende vervorming, die overeenkomt met de wrijvingsweerstand tussen de mortel en de DPC-folie. Het metselwerk zonder DPC-folie (fig. 6b) laat een verdere toename van de belasting na de eerste scheur zien, tot de tweede en derde scheur.

Proefresultaten

Per proefstuk werd de wrijvingsweerstand (f_{fri} in N/mm²), de schuifsterkte (f_{vi} in N/mm²) en de voorspanning (f_{pi} in N/mm²) berekend:

$$f_{fri} = \frac{F_{fri}}{2 \cdot A_i}, \quad f_{vi} = \frac{F_{i,max}}{2 \cdot A_i} \quad \text{en} \quad f_{pi} = \frac{F_{pi}}{A_i}$$

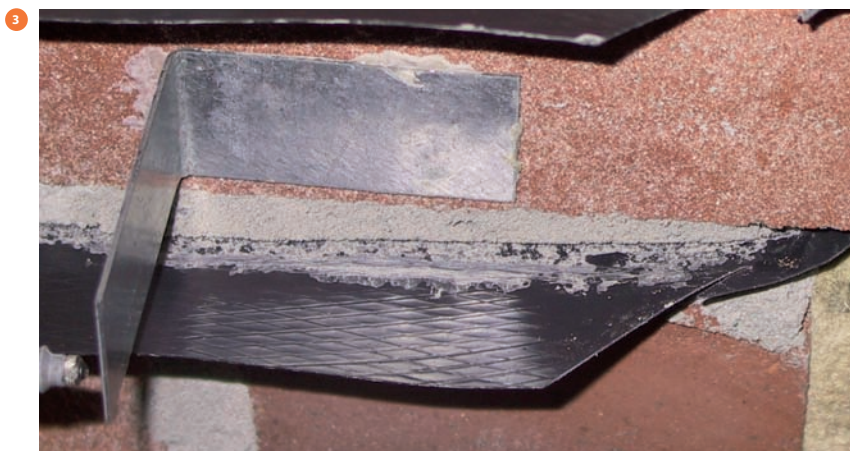
waarin:

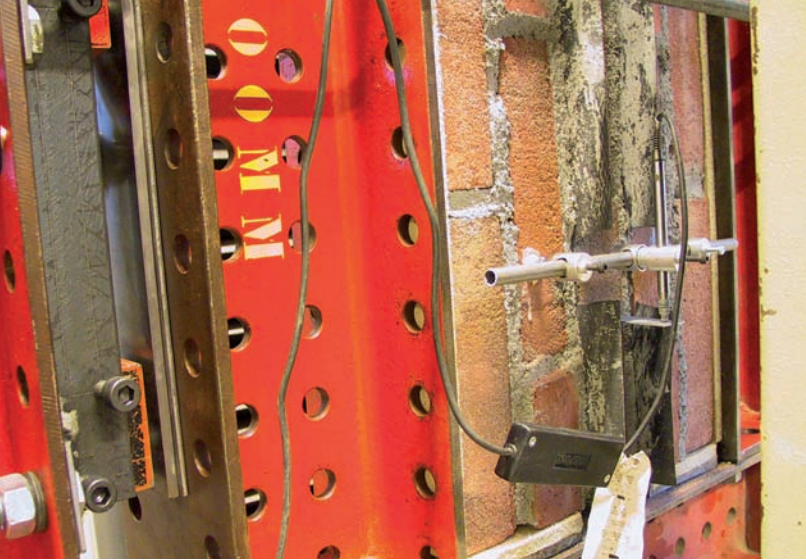
- A_i is doorsnede van het proefstuk [mm²]
- F_{fri} is wrijvingsweerstand gemeten tijdens de proef [kN]
- $F_{i,max}$ is de maximale kracht gemeten tijdens de proef [kN]
- F_{pi} is voordruk [kN]

In tabel 1 is een overzicht gegeven van de gemiddelde waarde van de gemeten wrijvingsweerstand en schuifsterkte voor de proefstukken met en zonder DPC-folie.

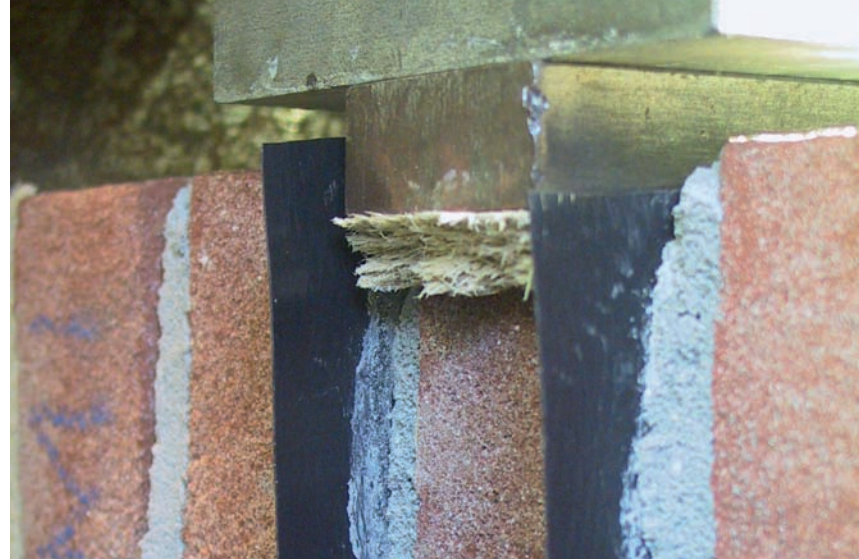
Tabel 1 Gemiddelde waarde van de schuifsterkte (f_v) en de wrijvingsweerstand (f_{fr})

| DPC-materiaal | voorspanning f_p [N/mm ²] | schuifsterkte f_v [N/mm ²] | wrijvingsweerstand f_{fr} [N/mm ²] | # |
|---------------|---|--|--|---|
| nee | 1,0 | 1,12 | 2,0 | 4 |
| | 0,6 | 0,91 | 1,5 | 5 |
| | 0,2 | 0,52 | 0,6 | 4 |
| ja | 1,0 | 0,48 | 0,9 | 4 |
| | 0,6 | 0,36 | 0,6 | 4 |
| | 0,2 | 0,17 | 0,2 | 4 |





4



5

Voor de evaluatie van de testresultaten zijn de individuele schuifsterkten voor de verschillende voorspanningen uitgezet (fig. 7) en zijn de trendlijnen bepaald door middel van lineaire regressie-analyse.

Volgens NEN 1052-3 en 1052-4 is de karakteristieke waarde van de initiële schuifsterkte f_{vko} :

$$f_{vko} = 0,8 f_{vo}$$

en is de karakteristieke hoek van interne wrijving α_k bepaald uit:

$$\tan \alpha_k = 0,8 \tan \alpha$$

waarin:

f_{vko} is bepaald uit de trendlijn voor een voorspanning gelijk aan nul

$\tan \alpha$ is de richtingscoëfficiënt van de trendlijn

De karakteristieke waarden en de vergelijkingen van de trendlijnen zijn weergegeven in tabel 2 en figuur 8.

Evaluatie

Volgens EC6 moet de karakteristieke schuifsterkte in principe worden bepaald door middel van proeven. Omdat het niet mogelijk is om voor elke situatie proeven uit te voeren is tevens de mogelijkheid geboden om de f_{vk} te berekenen aan de hand van de volgende formule:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d \geq 0,065 f_b \text{ en } f_{vlt}$$

waarin:

f_{vko} is de karakteristieke initiële schuifsterkte

f_{vk} is de karakteristieke schuifsterkte

σ_d is de rekenwaarde van de drukspanning loodrecht op de afschuifrichting

f_b is de druksterkte van de stenen

f_{vlt} is de grenswaarde voor f_{vk} bepaald in de nationale bijlage

Deze formule mag worden gebruikt voor metselwerk met mortel voor algemene toepassing, lijm mortel en lichtgewicht mortel voor zover de stootvoegen volledig zijn gevuld. Of deze formule ook mag worden toegepast voor metselwerk met DPC-folie is niet aangegeven. Wel is vermeld dat voor dergelijk metselwerk de karakteristieke initiële schuifsterkte moet worden bepaald volgens EN 1052-4 en voor metselwerk zonder DPC-folie volgens EN 1052-3. Bovendien is bepaald dat, bij ontbreken van proeven, de initiële schuifsterkte ook mag worden bepaald uit een databestand met proefresultaten of uit tabel 3.4 van EC6. Ook bij deze methode wordt metselwerk met DPC-folie niet expliciet uitgesloten.

In tabel 3.4 van EC6 wordt voor de initiële schuifsterkte (f_{vko}) van baksteen metselwerk met een mortel voor 'algemeen gebruik' en sterkteklasse M10-20 een waarde van 0,3 N/mm² gevonden, wat resulteert in:

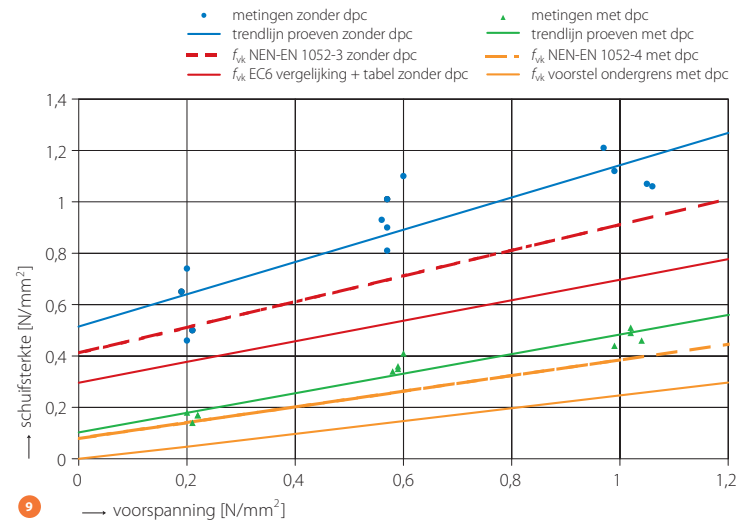
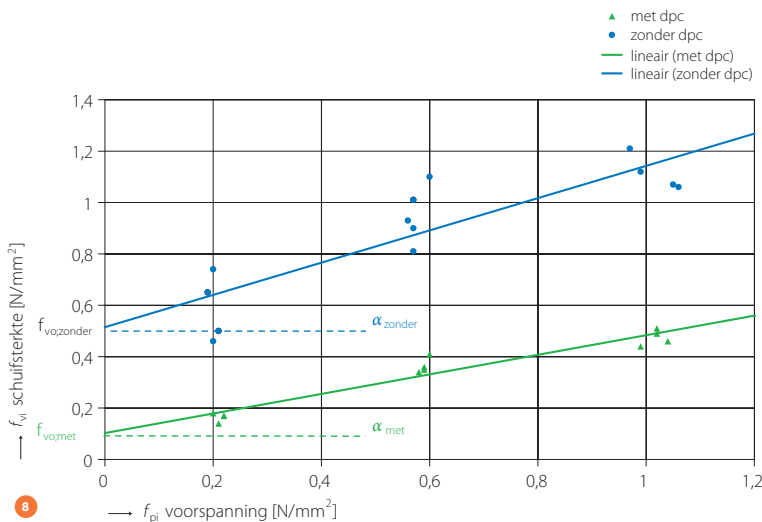
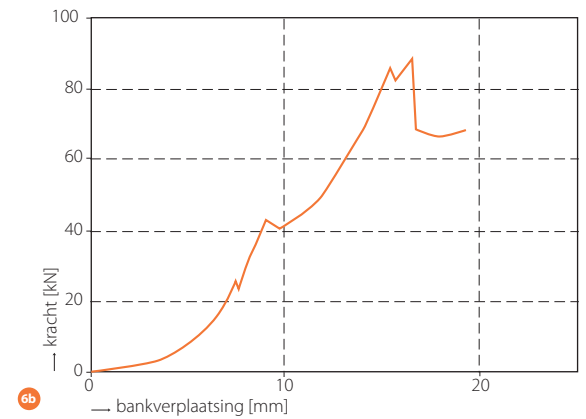
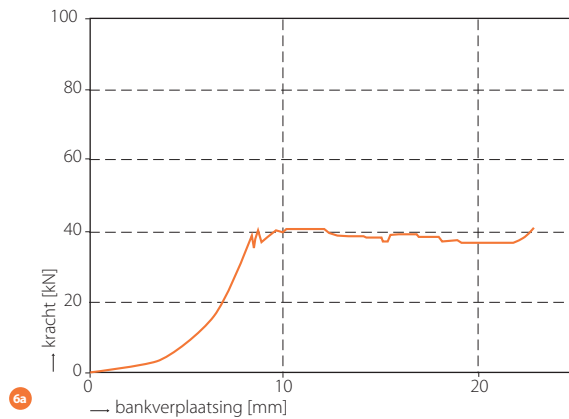
$$f_{vk} = 0,30 + 0,4 \cdot \sigma_d$$

In figuur 8 zijn verschillende relaties voor de karakteristieke schuifsterkte (f_{vk}) als functie van de voorspanning weergegeven. Zoals mag worden verwacht is voor metselwerk zonder DPC-folie de initiële schuifsterkte (f_{vko}) bepaald uit de tabel in EC6 lager dan de experimenteel bepaalde waarde (0,41 N/mm²). Ook de wrijvingscoëfficiënt in de vergelijking van EC6 is een conservatieve waarde (0,4) vergeleken bij de testresultaten (0,5). Dit geldt niet voor metselwerk met een DPC-folie waarbij de wrijvingscoëfficiënt uit de proeven 0,31 bedraagt. Dit betekent dat voor dergelijk metselwerk de formule in EC6 geen veilige benadering is en dus niet mag worden toegepast. Er moet worden opgemerkt dat voor DPC-materiaal met gladde oppervlaktestructuur de resultaten nog ongunstiger zullen zijn.

Tabel 2 Trendlijnen voor f_c en f_{vk} (volgens EN 1052-3 en 1052-4)

| DPC-materiaal | f_{vo} [N/mm ²] | $\tan \alpha$ [-] | trendlijn f_c [N/mm ²] | f_{vko} [N/mm ²] | $\tan \alpha_k$ [-] | trendlijn f_{vk} [N/mm ²] |
|---------------|-------------------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------|---|
| nee | 0,51 | 0,63 | $0,51 + 0,63 \cdot f_{pi}$ | 0,41 | 0,50 | $0,41 + 0,50 \cdot f_{pi}$ |
| ja | 0,10 | 0,38 | $0,10 + 0,38 \cdot f_{pi}$ | 0,08 | 0,31 | $0,08 + 0,31 \cdot f_{pi}$ |

- 4 Introductie van de voordruk en LVDT in de proefopstelling
- 5 Introductie schuifbelasting in de proefopstelling
- 6 Vervorming van de proefstukken onder afschuiving
 - a proefstuk met DPC
 - b proefstuk zonder DPC
- 7 Grafiek van de individuele tests en de trendlijnen
- 8 Trendlijnen voor de karakteristieke schuifsterkte (f_{vk})



Ondergrens met DPC-folie

Om niet steeds proeven te moeten uitvoeren voor de bepaling van de schuifsterkte voor metselwerk met DPC-folie, is het nuttig om een formule op te stellen die een ondergrens vormt voor de werkelijke schuifsterkte. Op basis van dit onderzoek kan voor DPC-folies van het type DIBA met gewafelde structuur, aangebracht tussen twee mortellagen met sterkteklasse M10-M20, de volgende ontwerpformule worden voorgesteld (fig. 8):

$$f_{vk} = 0,25 \cdot \sigma_d$$

Dit betekent dat de initiële schuifsterkte moet worden verwaarloosd en dat enkel kan worden gerekend op de wrijving tussen mortel en DPC-folie. De waarde van de wrijvingscoëfficiënt moet voor elk type folie experimenteel worden bepaald voor verschillende mortelsterkteklassen.

Om verkeerd gebruik van de ontwerpregels in EC6 te voorkomen, is het aangewezen om bij de eerstvolgende herziening van deze Europese norm een clausule op te nemen, waarin duidelijk wordt vermeld dat bij ontbreken van proefresultaten de vergelijkingen 3.5 en 3.6 uit de norm niet van toepassing zijn voor metselwerk met DPC-folie. ☒

LITERATUUR

- 1 Martens, D.R.W., Chapter 1, Typical masonry wall enclosures in Belgium and the Netherlands. Enclosure Masonry Wall Systems Worldwide, 2006.
- 2 CEN, EN 1996-1-1:2005, Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures. 2005.
- 3 Trajkovski, S., Totoev Y.Z., Shear Strength of Masonry Including Damp Proof course: Experimental Determination at Different Strain Rates. Proceedings of the 6th International Masonry Conference, N° 9, London, November 2002.
- 4 CEN, EN 1052-3:2002, Methods of test for masonry - Part 3: Determination of initial shear strength. 2002.
- 5 CEN, EN 1052-4:2000, Methods of test for masonry - Part 4: Determination of shear strength including damp proof course. 2000.
- 6 NEN, NEN 3835:1991, Mortels voor metselwerk van stenen, blokken of elementen van baksteen, kalkzandsteen, beton en gasbeton. 1991.
- 7 Martens, D.R.W., Bertram G., Shear strength of clay brick masonry including damp proof course. Proceedings 14th IB²MaC, Sydney 2008.