

# Verduurzamen met alternatieve wapenings-technieken

De betonindustrie staat voor de grote opgave om te verduurzamen. Een belangrijk aspect hierbij is het slim toepassen van betonmengselsamenstellingen, zodat er in de basis zo min mogelijk (Portland-)cement wordt gebruikt. Ook het aandeel dat door wapeningsstaal wordt gerealiseerd op de uitstoot mag niet genegeerd worden: de inschatting is dat dit zorgt voor circa 21 procent van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot. Reden genoeg om ook aan dit aspect meer aandacht te besteden.

Er zijn al alternatieven beschikbaar. Zo hoeft beton niet per se met regulier betonstaal gewapend te worden, maar zijn er voor diverse ontwerpdoeleinden ook andere wapeningsvormen mogelijk, zoals constructieve macrovezels of vezelwapeningsstaven (Fiber Reinforced Polymer, FRP) in verschillende materialen. Voor deze materialen zijn al jaren rekenregels beschikbaar in diverse Fib Model Codes en (inter-) nationale richtlijnen. Aan de nieuwe Eurocode voor betonconstructies, die in principe al gereed is, zullen ook nieuwe rekenregels worden toegevoegd voor het ontwerpen met staalvezel en FRP.

## Kilo's reduceren

Bij dit onderzoek wordt met name gekeken naar de toepassing van constructieve staal- en basaltvezel, eventueel gecombineerd met wapeningsstaven van regulier betonstaal of basalt tot een hybride wapeningsontwerp. De constructieve vezel heeft daarbij als doel om het aantal kilo's wapeningsstaven te reduceren en de scheurwijdtebeheersing en stijfheid positief te beïnvloeden. De basaltstaven hebben als positieve eigenschap dat deze een zeer hoge sterkte hebben en niet corroderen. Daarom kan er ook minder wapening nodig zijn omdat scheurwijdte minder beheerst hoeft te worden. De toepassing van beide wapeningen heeft dus ook veel potentie in bijvoorbeeld agressieve milieus.

## Aanleiding

De aanleiding voor het onderzoek was dat Voorbij Prefab, naast hun conventionele dunne wanden voor de woningbouw met een enkel wapeningsnet in het midden, ook dikke wanden wil produceren met een dubbelwapeningsnet aan de voor- en achterzijde van de platen. De productie daarvan past echter niet in het geautomatiseerde fabrieksproces. In samenwerking met Bekaert en ABT is de toepassing van constructieve macrovezel in de wanden onderzocht om zo een wapeningsnet te kunnen besparen zonder capaciteit in te leveren, terwijl het huidige productieproces zo goed mogelijk wordt geborgd. Omdat hiermee ook veel kilo's stalen wapening bespaard worden, is dit een potentiële win-win.

## Aanpak

Omdat het rekenen aan dergelijke materialen nog niet is opgenomen in de Eurocode, is besloten om balktesten uit te voeren om de materiaaleigenschappen voor deze specifieke toepassing te bepalen. Er is gekozen om de prestatie van verschillende macrovezels vast te



Figuur 1: Proefopstelling vierpuntsbuigproeven



Figuur 2: Storten van beton uit de stortmachine bij Voorbij Prefab (links) en mallen met basaltwapeningsstaven (rechts)

stellen, te weten een hoogwaardige staalvezel en een basaltvezel. Deze zijn voor dit onderzoek getest aan de hand van een gestandaardiseerde driepuntsbuigproef op balken met een zaagsnede volgens de NEN-EN 14651. Omdat de vezelprestatie van constructieve vezels sterk afhankelijk is van de betonsterkte, het type en het vezelgehalte, is onderscheid gemaakt in de volgende configuraties:

- 15 kg/m<sup>3</sup> 5D staalvezel;
- 30 kg/m<sup>3</sup> 5D staalvezel;
- 10 kg/m<sup>3</sup> basaltvezel.

Van een dergelijk vezelgehalte was de verwachting dat deze constructief nog voldoende zou presteren, en er nog steeds sprake zou zijn van een prima verwerkbaarheid zonder veel aan het betonmengsel te hoeven aanpassen. Daarnaast zijn er vierpuntsbuigproeven uitgevoerd op balken van 150 x 150 x 1000 mm, waarbij onderscheid is gemaakt in de volgende wapeningsconfiguraties:

1. 2\*2Ø6 staven betonstaal B500 B (referentie);
2. 2\*2Ø6 staven basaltwapening;
3. 30 kg/m<sup>3</sup> 5D staalvezel (fiber-only);
4. 10 kg/m<sup>3</sup> basaltvezel (fiber-only);
5. 30 kg/m<sup>3</sup> 5D staalvezel + 2\*2Ø6 betonstaal (hybride);
6. 30 kg/m<sup>3</sup> 5D staalvezel + 2\*2Ø6 basaltwapening (hybride);
7. 10 kg/m<sup>3</sup> basaltvezel + 2\*2Ø6 basaltwapening (hybride).

Deze tests zijn uitgevoerd om meer te leren over het bezwijk- en scheurgedrag van dergelijke balken, en om te beoordelen wat het effect is van hybride wapening hierop.

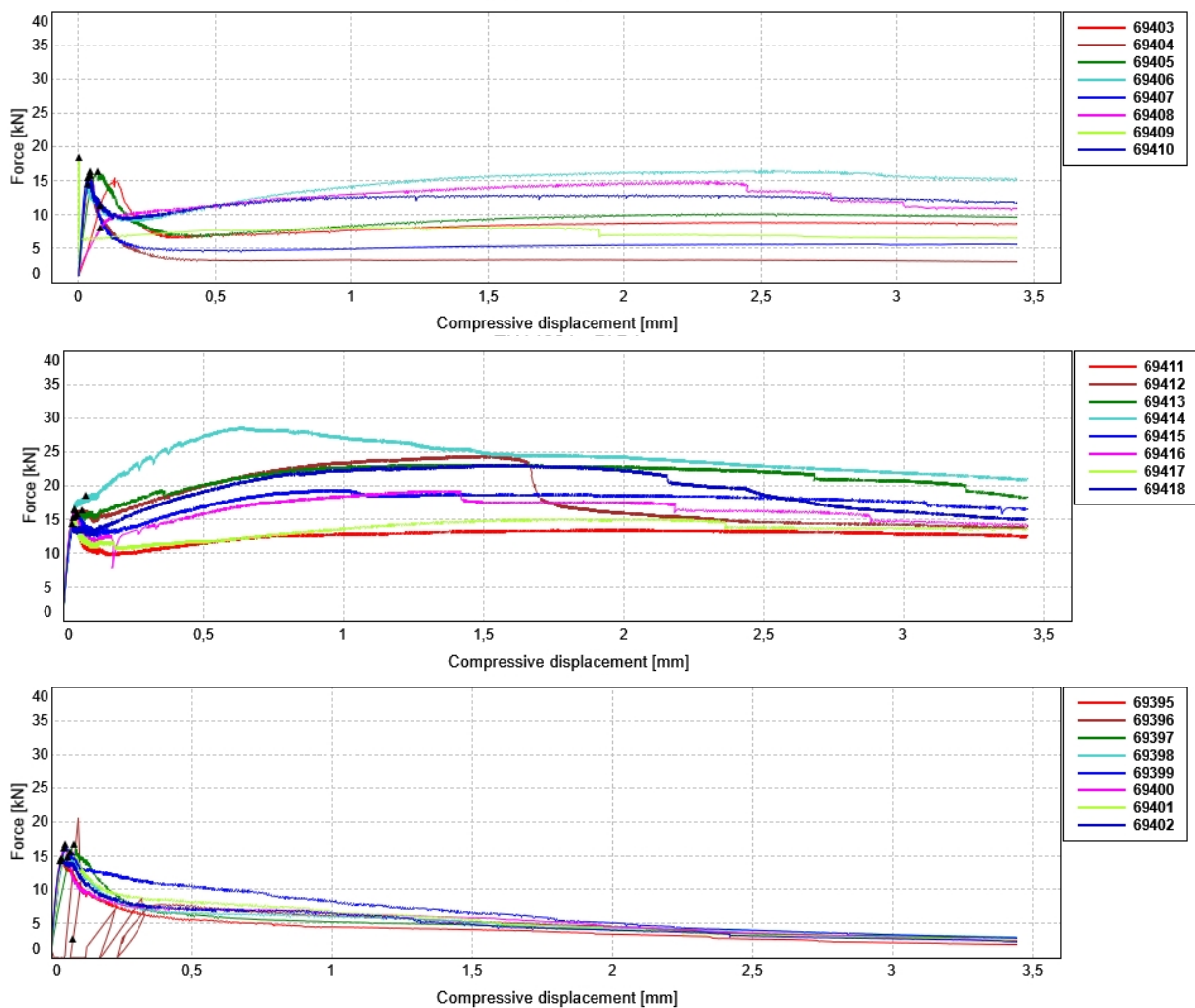
### Resultaten driepuntsbuigproeven

Per wapeningsconfiguratie zijn acht balken geproduceerd en getest ter bepaling van de vezelprestatie. De mallen zijn gevuld met (vezel)beton, dat is gemixt in de stortmachine in de fabriek van Voorbij.

De resultaten van de driepuntsbuigproeven zijn weergegeven in figuur 3. Daarbij valt op dat:

- De balken met 15 kg/m<sup>3</sup> staalvezel spreiding in de resultaten hebben en dat de capaciteit niet meer toeneemt tot boven het scheurmoment;
- De balken met 30 kg/m<sup>3</sup> staalvezel meestal buighardening gedrag vertonen;
- De balken met 10 kg/m<sup>3</sup> basaltvezel nog restcapaciteit behouden, maar dat deze afneemt naar mate de vervorming toeneemt. Dit komt hoogstwaarschijnlijk doordat een groot deel van de vezels gebroken is tijdens het mengen van het beton. Wanneer deze vezels bij het reeds gemixte beton gedoseerd worden, zal de prestatie naar verwachting beter zijn.

Voor al deze vezels geldt dus dat er rekening gehouden mag worden met een zekere trekcapaciteit na scheuren. Hierdoor is het mogelijk om de hoeveelheid wapeningsstaven te reduceren of eventueel zelfs wapeningsstaven weg te laten. Daarnaast kan dit bij andere toepassing ook een significante reductie van benodigde arbeid geven.



Figuur 3: Testresultaten driepuntsbuigproeven volgens NEN-EN 14651 op fiber-only balken met 15 kg/m<sup>3</sup> SD staalvezel (boven), 30 kg/m<sup>3</sup> SD staalvezel (midden) en 10 kg/m<sup>3</sup> basaltvezel (onder) (Bron Bekaert)

### Resultaten vierpuntsbuigproeven

De bezwijkmomenten van alle balken met wapeningsstaven en hybride wapening zijn weergegeven in figuur 4 en 5. De bezwijklasten zijn weergegeven in figuur 6. Uit de resultaten blijkt het volgende:

De fiber-only balken hadden de minste capaciteit. De balken met staalvezel vertoonden nog bending-hardening gedrag, waarbij er meerdere scheuren ontstonden voor bezwijken;

- De balken met regulier betonstaal of met basaltwapeningsstaven hadden een gelijkwaardige capaciteit. Dit komt doordat de vloeispanning van het reguliere betonstaal hoog was en de basaltwapeningsstaven uit het beton worden getrokken;
- De verankeringslengte van basaltwapening is langer. Er ontstaan minder scheuren. Door de lage elasticiteitsmodulus zijn de scheuren wijder;
- De hybride gewapende balken hebben een hogere capaciteit. Daarnaast zijn er meer scheuren ontstaan met een kleinere scheurafstand en scheurwijdte.

### Potentie

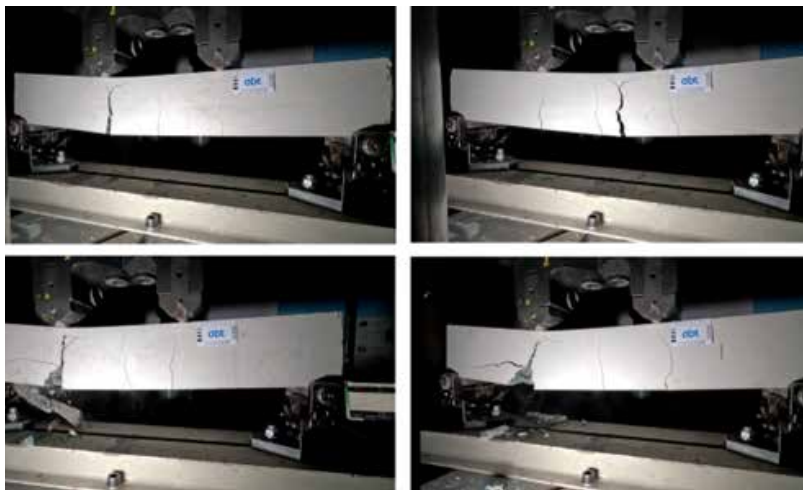
De testresultaten zijn veelbelovend en laten duidelijk het gedrag en potentie zien van de verschillende wapeningstechnieken. Op basis van deze tests wordt ingeschat dat wapeningsnetten in de beoogde wanden van Voorbij (groten)deels kunnen worden vervangen door staalvezels. Om praktische redenen zal verder onderzoek worden uitgevoerd voor een hybride ontwerp met een enkel net in het midden. Het aantal kilo's wapeningsstaal wordt daarmee significant gereduceerd.

Deze resultaten worden in het vervolg gebruikt om platen te produceren en te beproeven om aan de hand van 'Design-by-testing' aan te tonen dat een dergelijk ontwerp voldoet aan de gevraagde eisen. Daarnaast wordt door de productie van de platen ook ervaring opgedaan over bijvoorbeeld de afwerking van de vezelgewapende panelen. Ook zullen deze proeven gebruikt gaan worden binnen TBI om andere mogelijkheden te onderzoeken.

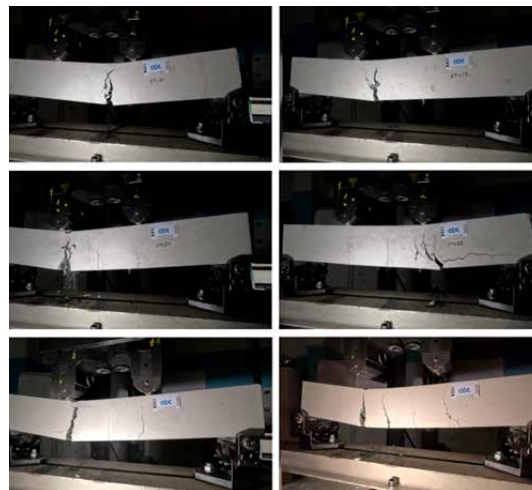
Omdat het gedrag van macrovezels van veel variabelen afhankelijk is en de materiaaleigenschappen van FRP-wapening in beton nog relatief beperkt beschikbaar zijn, waren deze tests nog noodzakelijk. Door het uitvoeren van proeven kan veel informatie vergaard worden over het gedrag van verschillende materialen.

Bij deze dan ook een oproep dit gewoon vaker te doen, zodat er meer kennis en ervaring wordt opgedaan. De aanvulling in de Eurocode is dan slechts nog een formaliteit en geen voorwaarde meer om het in een ontwerp toe te passen. Het kan nu immers ook al.

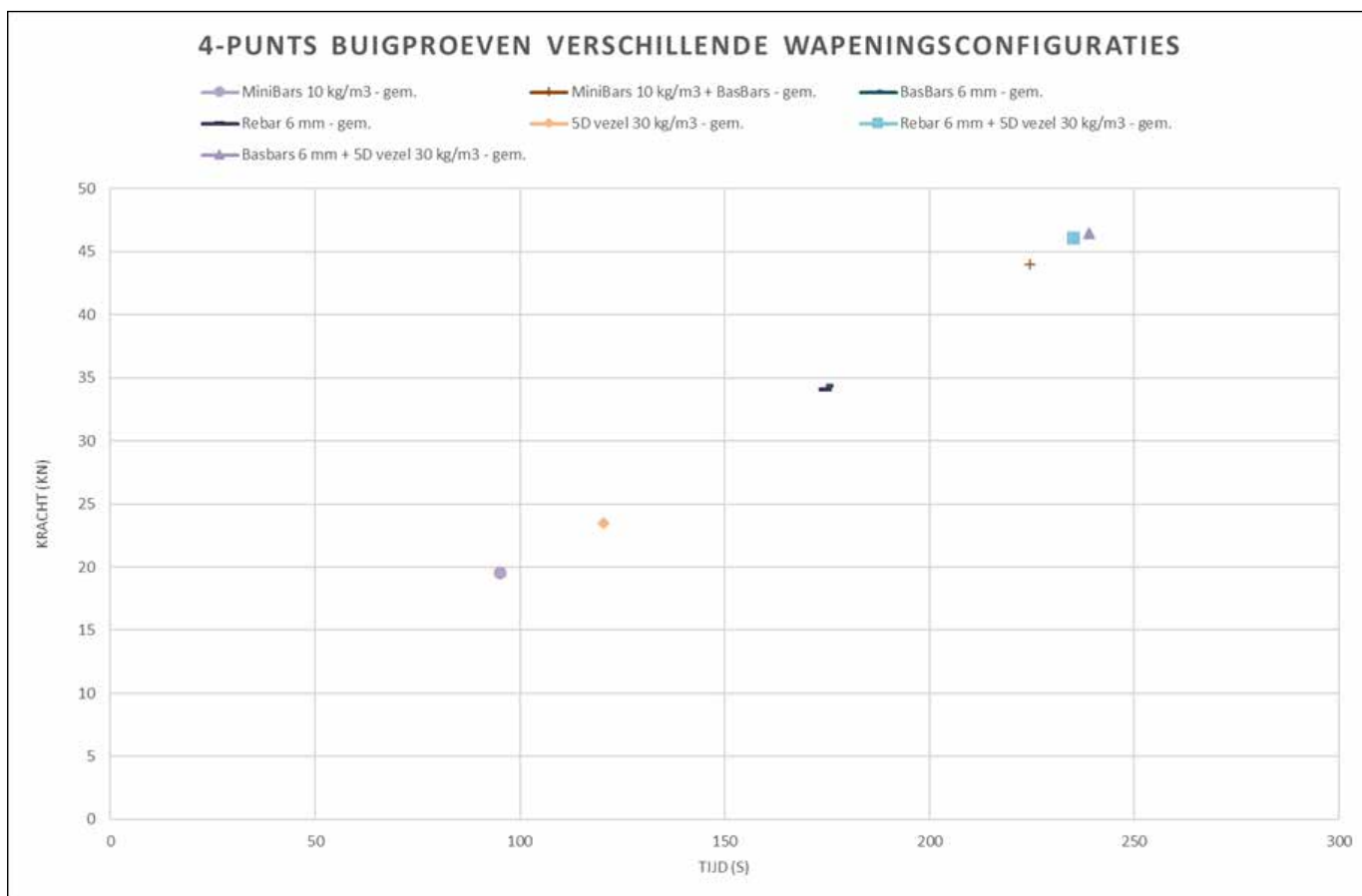
Jasper van Alphen, ABT



Figuur 4: Balktesten met wapeningsstaven vlak voor bezwijken. Enkel regulier betonstaal (boven) en basaltwapening (onder)



Figuur 5: Balktesten met hybride wapening vlak voor bezwijken. Regulier betonstaal met staalvezel (boven), basaltwapening met staalvezel (midden) en basaltwapening met basaltvezel (onder)



Figuur 6: Testresultaten vierpuntsbuigproeven. De fiber-only balken hebben de laagste capaciteit, de balken met staven hebben een gemiddelde capaciteit en de hybride gewapende balken hebben de hoogste capaciteit