

Aandachtspunten bij toepassing
van ultra-hogesterktebeton

Let op bij ontwerpen met UHSB



Cruciaal voor een haalbaar project of innovatieve oplossing in ultra-hogesterktebeton (UHSB) is een constructief ontwerp op het scherpst van de snede. Dit is alleen mogelijk met voldoende kennis van het materiaal, de voorschriften en de achterliggende mechanica. Daarbij is voortdurend onderzoek noodzakelijk. Ook geldt een aantal specifieke aandachtspunten bij de toepassing van UHSB. In het navolgende een toelichting op enkele van die aandachtspunten.

Onderzoek

Hoewel de markt voor ultra-hogesterktebeton een nichemarkt is, lijken steeds meer partijen (overhaast) deze markt te willen betreden. Het gevaar dat hierin schuilt, is dat er fouten kunnen worden gemaakt omdat niet voldoende onderzoek is gedaan naar de mogelijkheden van het materiaal en de consequenties van zeer slanke ontwerpen. Vezelversterkt UHSB is een compleet ander materiaal dan traditioneel beton en zelfs heel anders dan hoge- of zeer-hogesterktebeton. Wat in het laboratorium goed lijkt te werken, kan zich in de praktijk en op de lange duur geheel anders gedragen. De onderzoeken die voldoende zijn voor beton dat binnen de voorschriften valt, zijn dit niet voor vezelversterkt UHSB. Het juiste onderzoek is cruciaal om het materiaal op een veilige manier te kunnen en mogen gebruiken.

Normen

De afgelopen 10 tot 15 jaar is met name in Denemarken, Duitsland, Frankrijk en de VS zeer veel onderzoek gedaan naar de toepassing van (vezelversterkt) UHSB. In toenemende mate worden projecten gerealiseerd over de hele wereld. De voorschriften lopen achter op deze ontwikkeling. In verschillende landen worden stappen ondernomen om ontwerpregels op te stellen, zoals in Japan en Australië en door de fib (Fédération internationale du béton). De meest uitgebreide norm is momenteel de Franse AFGC uit 2013. Deze norm is echter vooral geschikt voor een beperkt type betonsoorten met een combinatie van staalvezels en voorspanning. De meest praktische benadering is door gebruik te maken van de voorschriften voor normaal beton uit de Eurocode, aangevuld met grondige

Ervaringen UHSB

Sinds 2008 is Pieters Bouwtechniek zeer actief met het ontwerp en de engineering van projecten in ultra-hogesterktebeton. Er zijn in die periode meer dan 250 ontwerpen uitgewerkt. Vanaf 2009 zijn de eerste projecten in uitvoering gegaan (foto 1) [1,2]. Momenteel is een team van vijf constructeurs en drie modelleurs actief met de uitwerking van lopende projecten. In het begin bestonden de projecten vooral uit balkons en trappen voor nieuwbouw. Tegenwoordig wordt steeds meer renovatie gedaan, waarbij bijvoorbeeld balkons worden vergroot of kantoren worden getransformeerd naar woningen met balkons. Ook is in 2012 de inframarkt betreden met het Bruggensysteem Delft, waarvan in 2014 de eerste brug is opgeleverd (foto 2) [3]. Daarnaast worden continu nieuwe oplossingen ontwikkeld, zoals een recent gepatenteerde nokverbinding.

Kennis die hierbij nodig is, heeft Pieters Bouwtechniek uitgewerkt door eigen onderzoek en ervaring, maar vooral ook door de samenwerking met het Deense Hi-Con. Dit bedrijf doet al tientallen jaren onderzoek naar vezelversterkt UHSB en heeft zijn eigen gepatenteerde mengsel Compact Reinforced Composite (CRC). Dit materiaal is het meest volledig gedocumenteerde UHSB op de markt, waarmee het goed mogelijk is te rekenen aan constructies. Zodoende zijn (kostbare) beproevingen meestal niet noodzakelijk.



documentatie van de eigenschappen. Vooral daar waar wordt afgeweken van de standaard regels en rekenmethodieken. Om veilige constructies te ontwerpen, moet men daarbij goed bekend zijn met de aspecten waarop het gedrag van UHSB afwijkt van dat van normaal beton.

Reductiefactor druksterkte

Binnen NEN-EN 1992-1-1 (Eurocode 2) mag beton met een sterkte tot C90/105 worden toegepast. Artikel 3.1.7 geeft aan welke spanning-rekrelatie mag worden gebruikt en definieert daarbij een reductiefactor η voor de brosheid bij hogere beton-

Artikel 3.1.7. NEN-EN 1992-1-1 (Eurocode 2)

(3) Er mag een rechthoekige spanningsverdeling (zoals gegeven in figuur 3.5) zijn aangenomen. De factor λ die de nuttige hoogte van de drukzone definieert en de factor η , die de effectieve sterkte definieert, volgen uit:

$$\lambda = 0,8 \quad \text{voor } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (3.19)$$

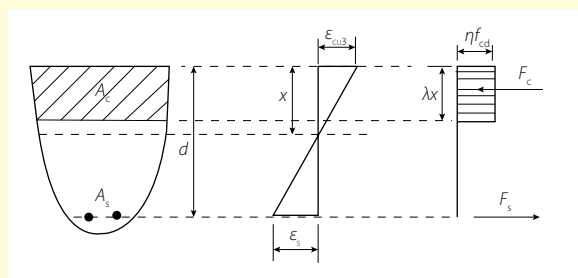
$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50) / 400 \quad \text{voor } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (3.20)$$

en

$$\eta = 1,0 \quad \text{voor } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (3.21)$$

$$\eta = 1,0 - (f_{ck} - 50) / 200 \quad \text{voor } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (3.22)$$

Opmerking: als de breedte van de drukzone afneemt in de richting van de uiterste vezel onder druk, behoort de waarde ηf_{cd} met 10% te zijn verminderd.



Figuur 3.5 Rechthoekige spanningsverdeling

sterkteklassen. Voor een beton met een cilinderdruksterkte van 90 MPa resulteert deze factor in een reductie van 20% op de sterkte (zie kader). Ook bij UHSB zou de sterkte moeten worden gereduceerd in verband met de brosheid. Als we voor het gemak dezelfde formule aanhouden, leidt dit bij een UHSB met een cilinderdruksterkte van bijvoorbeeld 150 MPa tot een reductie van wel 50%. Om te mogen afwijken van deze reductie is uitgebreid materiaalonderzoek nodig.

Duurzaamheid

Ultra-hogesterktebeton wordt vaak gebruikt om zeer slanke constructies te ontwerpen. Hiervoor is het meestal noodzakelijk de dekking op de wapening te reduceren tot onder de in NEN-EN 1992-1-1 art. 4.4.1 voorgeschreven waarden. Om corrosie van de wapening te voorkomen, is het noodzakelijk dat het materiaal voldoende dicht is. Bij slanke constructies die worden belast op buiging met een relatief hoge variabele belas-



3

ting ontstaan microscheuren die op lange termijn groter worden. Documentatie moet aantonen dat aantasting door carbonatatie en chloriden ook in belaste toestand voldoende traag optreedt. Het is dus noodzakelijk scheurvorming en -beheersing op lange termijn te onderzoeken en documenteren. Zowel de vezels als het zelfhelende gedrag spelen hierbij een rol, die bij normaal beton niet voorkomen.

Een goed voorbeeld waarbij de langetermijneigenschappen van een innovatieve oplossing niet voldoende zijn onderzocht, zijn de Kwaaitalvloeren uit de periode rond 1960. Hierbij werd calciumchloride toegevoegd om het beton sneller te laten uitharden. Dit leverde op korte termijn een verdubbeling van de dagproductie op, maar leidde op de lange termijn tot corrosie van de wapening. Een complete bedrijfstak houdt zich tot op de dag van vandaag bezig met de renovatie van vele duizenden woningen met dit type vloeren.

Brandwerendheid

Een ander belangrijk aspect om rekening mee te houden bij beton met hogere sterkte, is het gedrag bij brand. Als deze dichte betonsoorten worden verhit, ontstaat stoom die niet snel genoeg kan ontsnappen. Daardoor wordt druk opgebouwd die kan leiden tot afsnappen van het beton. Hoe hoger de treksterkte van het materiaal, hoe hoger de druk die kan ontstaan met zeer explosief afsnappen tot gevolg. Hoofdstuk 6 van NEN-EN 1992-1-2 gaat in op de brandwerendheid van hogesterktebeton. In artikel 6.2 staat aangegeven dat voor beton met een sterkte hoger dan C80/95 maatregelen moeten worden genomen om spatten te voorkomen



of dat met onderzoek moet kunnen worden aangetoond dat dit bij het toegepaste mengsel niet optreedt. Het is dus belangrijk voldoende kennis te hebben over eigenschappen zoals vochtgehalte, doorlatendheid en treksterkte van het beton tijdens brand. Bij bijvoorbeeld het Franse ultra-hogesterktebeton Ductal is het standaard mengsel zo dicht dat zelfs bij speciaal gedroogde elementen het niet mogelijk is explosief afspatten te voorkomen. Voor brand belaste toepassingen is een speciaal type beton, Ductal AF, ontwikkeld waarvoor de brandwerendheid wel kon worden behaald en gedocumenteerd.

Balkons behoren over het algemeen niet tot de hoofdconstructie, maar ook daarvoor geldt dat het belangrijk is om naar het gedrag bij brand te kijken. Meestal is er namelijk wel een WBDBO-eis waarmee rekening moet worden gehouden. Zelfs bij balkons dient dus aandacht te worden besteed aan brandwerendheid en het voorkomen van explosief afspatten van het beton.

Regels voor minimale afmetingen

De Eurocode NEN-EN 1992-1-1 geeft regels voor de minimale afmetingen van betonconstructies. Alleen als aan deze regels wordt voldaan, zijn de formules uit de voorschriften geldig.

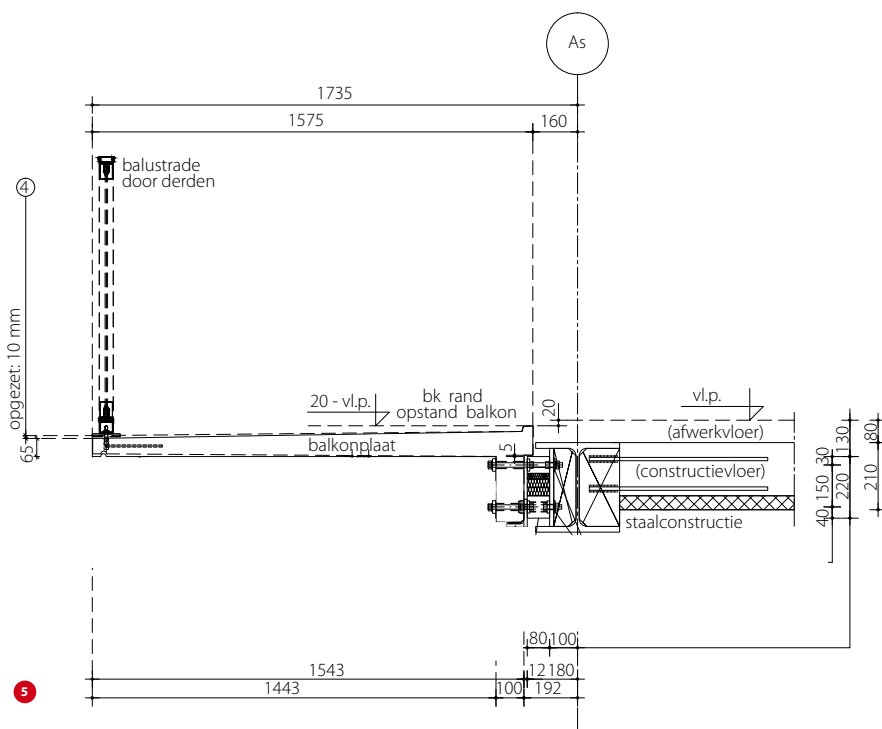
Enkele voorbeelden van minimale afmetingen:

- Art. 9.3: de plaatdikte h van massieve vloeren moet ten minste 80 mm bedragen.
- Art. 9.3.2: een plaat waarin dwarskrachtwapening is opgenomen behoort een hoogte te hebben van ten minste 200 mm.
- Art. 9.5: de kleinste dwarsafmeting van een kolom moet ten minste 200 mm bedragen.

- Art. 9.6.1: voor wanden voornamelijk onderhevig aan buiging uit het vlak gelden de regels voor platen.
- Art. 9.6.1: de dikte h van dragende wanden moet over het gehele wandoppervlak ten minste 100 mm bedragen. Bij toepassing van een dubbel wapeningsnet mag de wanddikte h niet kleiner zijn dan 120 mm.

Bij extreem slanke of dunne constructies in UHSB valt dus niet alleen het materiaal, maar ook de constructie zelf buiten de betonvoorschriften. Een goed voorbeeld hiervan zijn de balkons voor de strandvilla's in Almere (foto 4). Voor deze balkons is een nokverbinding ontwikkeld waardoor de balkons na het sluiten van de gevel konden worden aangebracht (fig. 5). De verbinding is ook bedoeld om binnen de spouw te worden toegepast, daarom zijn de nokken zo dun mogelijk gemaakt. De balkons voldoen met hun minimale dikte van 65 mm niet aan artikel 9.3 en ook de nokken vallen met hun dikte van 100 mm ver buiten de eis van 200 mm uit artikel 9.3.2. Met leverancier Hi-Con is onderzocht hoe het materiaal bij deze afmetingen de krachten verdeelt en welke rekenmethodiek veilig kan worden aangehouden. Grotendeels is dat de Eurocode, met een aantal afwijkingen om het materiaal effectief te kunnen gebruiken. Alle afwijkingen zijn onderzocht en met proeven onderbouwd.

Extra aandachtspunt is nog dat in de meeste rekenprogramma's niet op minimale afmetingen wordt getoetst. Het programma waarschuwt dus niet als een constructeur een constructie uitrekent met formules die daar niet voor geschikt zijn. Een ander aspect waar bij veelgebruikte rekenprogramma's niet naar



wordt gekeken, is de eigenfrequentie; iets wat voor slanke UHSB-constructies maatgevend kan zijn.

Aandachtspunten bij UHSB-gebruik

Constructeurs die UHSB willen toepassen in hun projecten moeten zich ervan bewust zijn dat dit materiaal buiten de huidige voorschriften valt en dat het zich op een aantal vlakken anders gedraagt dan normaal beton. Aandachtspunten zijn het gebruik van de voorschriften, reductie van de druksterkte, de duurzaamheid en de brandwerendheid. Alleen door gedegen onderzoek naar de materiaaleigenschappen op korte, maar vooral op lange termijn, kunnen veilige constructies op het scherpst van de snede worden ontworpen. Bij het beoordelen van voorstellen voor dit soort constructies is het van belang dat genoemde punten zijn onderkend en voldoende onderzocht en gedocumenteerd. ☒

LITERATUUR

- 1 Van Nalta, R., Hansen, T., Ultradunne balkons. *Cement* 2012/6.
- 2 Van Nalta, R.: Huize Het Oosten. *BV-Nieuws* 3, 2014.
- 3 Van Nalta, R., Van den Berg, C., Büdgen, J., UHSB voor kleinschalige bruggen. *Cement* 2015/4.