

Versterken van betonnen constructies

Prof. dr. ir. S. Matthys

Universiteit Gent, Vakgroep Bouwkundige Constructies

Laboratorium Magnel voor Betononderzoek, Technologiepark-Zwijnaarde 904, 9052 Gent, België

<Stijn.Matthys@ugent.be>

Op grond van sociale en economische belangen wordt vereist dat het hedendaagse 'bouwkundige patrimonium' (gebouwen, bruggen, utiliteitsbouw) betrouwbaar en functioneel is. Echter, veranderingen in de functie en de intensiteit van het gebruik, beschadigingen, enz., noodzaken naast onderhoud, herstellingen en versterkingen. Bovendien zijn er een groot aantal waardevolle oude gebouwen en structuren (bouwkundig erfgoed), welke met behoud van de originele structuur en karakteristieken, hedendaagse woon- of gebruiksfuncties moeten kunnen vervullen. Het belang van geoptimaliseerde versterkingstechnieken is dan ook groot.

Herstellen en versterken van constructies

In de meeste geïndustrialiseerde landen is de hedendaagse bouwkundige infrastructuur (bruggen, wegen, utiliteitsbouw, enz.) in zeer belangrijke mate uitgebouwd. Het onderhouden, herstellen en versterken van structurele elementen is dan ook van groot belang en brengt jaarlijks belangrijke investeringen met zich mee. Zo gaat in Europa, volgens bepaalde schattingen [1], jaarlijks minstens 50% van de bouwkundige investeringen naar de renovatie van bestaande structuren.

Noodzaak

De noodzaak om bestaande constructies te herstellen en versterken bestaat vanwege diverse redenen. Deze kunnen als volgt onderverdeeld worden (zie ook figuur 1):

- Verandering in functie en gebruik: het aanbrengen van openingen (vb. voor het plaatsen van leidingen en liftkokers), herbestemming van lokalen, toenemende belasting en frequentie van gebruik, enz. Een voorbeeld van dit laatste is de overbelasting van bruggen ten gevolge van de in realiteit soms veel hogere aslasten en verkeersbezetting ten opzichte van deze in het ontwerp voorzien.

- Uitwendige beschadiging door mechanische invloeden: impact-belasting, explosie, sleet, heien van palen dicht bij bestaande gebouwen, bronbemaling, aardbeving, enz. Dikwijls doen bepaalde van deze fenomenen zich plots voor en kan de schade enorm zijn.
- Uitwendige of inwendige beschadiging door omgevingsinvloeden: corrosie van wapening, vriesshade, alkali-silica-reactie, inwerking van agressieve reagentia, brandschade, enz.
- Onvoorziene beschadiging door menselijke fouten (vb. doorboren van wapening of voorspanwapening bij het aanbrengen van signalisatie).
- Veranderingen in normen en ontwerprichtlijnen waardoor structurele elementen niet langer de beoogde veiligheidsmarges bezitten conform deze nieuwe normen.
- Fouten bij het ontwerp (foutieve detaillering, conceptiefouten en berekeningsfouten) of de uitvoering. Deze resulteren bijvoorbeeld in een foutieve hoeveelheid en positie van de wapeningen.

Bovenvermelde aspecten geven aanleiding tot gebreken in de constructie, die de structurele integriteit in gevaar brengen of de functionaliteit (bruikbaarheid) sterk doet afnemen. Het is belangrijk erbij stil te staan dat naargelang hun aard, deze gebreken zich

langzaam of plots kunnen voordoen en dat zij zich al dan niet zichtbaar manifesteren. Het feit dat bepaalde gebreken niet zichtbaar zijn, is o.a. te wijten aan krachtenherverdeling, afbouw van piekspanningen door ductiliteit van materialen en veiligheidsfactoren welke in de berekeningen voorzien zijn.



Fig. 1 - Oorzaken

Beoordeling

Het belang van een goede beoordeling van de staat van bestaande constructies, eventueel aangevuld met een meer gedetailleerde opvolging van het mechanisch (en ook soms fysisch) gedrag – de zogenaamde monitoring – is een aspect dat onlosmakelijk verbonden is met het herstellen en versterken van constructies. De beoordeling moet toelaten onderliggende oorzaken van gebreken te achterhalen en aldus op zinvolle wijze onderhoud, herstelling en versterking te plannen. Voor belangrijke constructies wordt meer en meer uitgegaan van een doorgedreven beoordeling, in het kader van een goed beheer (decision-making), evaluatie van resterende levensduur en afschatting van de impact op de resterende levensduur en kwaliteit van een renovatie-interventie.

De beoordeling kan gebeuren in functie van de principes voor de herstelling en versterking van betonconstructies, zoals voorgesteld in de

normreeks EN 1504 ‘Producten en systemen voor de bescherming en herstelling van betonconstructies’. Een overzicht is gegeven in tabel 1 [2].

Tabel 1 – Principes

Nr.	Code	Principe
1	[PI]	Protection against ingress (bescherming tegen indringing)
2	[MC]	Moisture control (controle vochthuishouding)
3	[CR]	Concrete restoration (betonherstelling)
4	[SS]	Structural strengthening (structurele versterking)
5	[PR]	Physical resistance (fysische afscherming)
6	[RC]	Resistance to chemicals (weerstand tegen chemische stoffen)
7	[RP]	Preserving or restoring passivity (behoud & herstel wapeninspassivering)
8	[IR]	Increasing resistivity (verhogen specifieke electr. weerstand)
9	[CC]	Cathodic control (controle kathodische zones)
10	[CP]	Cathodic protection (kathodische bescherming)
11	[CA]	Control of anodic areas (controle anodische zones)

Structurele versterking

Voor het versterken van structurele betonelementen kunnen een aantal verschillende technieken aangewend worden [3] naargelang de specifieke situatie en de aard van de constructie. Deze technieken kunnen in de volgende vier groepen opgedeeld worden (de onderverdeling aangehouden in [2] voor [SS] (tabel 1) is in onderstaand overzicht tussen haakjes aangegeven).

- (1) Wijziging van de doorsnede
 - vervangen en/of toevoegen van wapening binnen de oorspronkelijke betondoorsnede of in een extra betonlaag (SS 4.1);
 - aanwending van uitwendig gelijkde wapening (SS 4.3) en van wapening gelijkde

in geboorde openingen of gezaagde groeven (SS 4.2);

- toepassing van spuitbeton of opgegoten betonzones (SS 4.4);
- aanwending van geprefabriceerde gewapende of voorgespannen betonelementen (SS 4.4).

(2) Voorspanning

- nagenoeg steeds als uitwendige voorspanning met nagerekte wapening (SS 4.7).

(3) Verandering van het draagsysteem, waaronder

- door middel van opgelegde vervormingen (vb. tussensteunpuntsverlaging van een hyperstatische balk);
- inbouwen van een supplementaire draagstructuur;
- schoren van raamwerken.

(4) Stabilisatie, waaronder

- injectie of opvullen van scheuren en holtes (SS 4.5 en 4.6);
- grondankers.

Een nieuwe generatie materialen voor de versterking van betonconstructies

Voor de versterking van betonconstructies wordt in Europa (zowel als internationaal) sinds het begin van de jaren 1990 meer en meer gewerkt op basis van vezelcomposietwapening (fibre reinforced polymer (FRP) wapening). Deze hoogwaardige composieten, aanvankelijk ontwikkeld in de lucht- en ruimtevaartindustrie, vormen in vele gevallen een bijzonder aantrekkelijke en innovatieve oplossing. Dit dankzij de eenvoud waarmee ze aangewend kunnen worden en de hoogwaardige materiaaleigenschappen. Als dusdanig is hun gebruik een interessant alternatief voor bestaande versterkingstechnieken, maar blijken zij bovendien aanleiding te geven tot een ruimer toepassingsgebied (waar andere versterkingstechnieken praktisch nog moeilijk toepasbaar zijn).

De volgende versterkingstechnieken op basis van vezelcomposieten kunnen toegepast worden:

- de uitwendig gelijkde wapening;
- de uitwendige voorspanning;
- de in groeven of geboorde openingen gelijkde wapening;
- de gespoten vezelcomposieten.

Dankzij deze nieuwe generatie materialen en samenvallend met de groeiende belangstelling in renovatie, kent de versterking van betonconstructies de laatste jaren een belangrijke heropleving.

Vezelcomposietwapening

Dankzij uitgesproken voordelen zoals een hoge axiale sterkte, een uitstekende corrosieweerstand en een laag soortelijk gewicht, zijn vezelcomposiet- of 'fibre reinforced polymer' (FRP) materialen als structurele wapening in de betonbouw uitgegroeid tot een veelbelovende materialengroep. De aangewende vezelcomposietwapeningen zijn opgebouwd uit sterke, dunne, continue vezels van niet-metallische aard ingebed in een matrix (harsbinder, vulstoffen en additieven). Voor de vezels wordt veelal uitgegaan van koolstofvezels, aramidevezels en glasvezels. Men spreekt respectievelijk van CFRP, AFRP en GFRP. De harsbinder bestaat meestal uit epoxy. Figuur 2 geeft een uitvergroot beeld van een CFRP (de diameter van één vezel bedraagt ongeveer 7 μm).

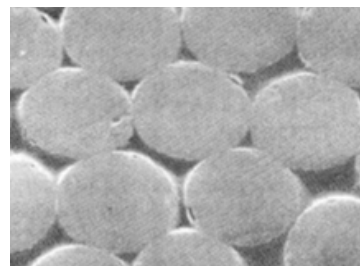


Fig. 2 – Uitvergroting CFRP

Voor aanwending als uitwendig gelijmde wapening, bestaan de FRP elementen uit dunne prefab strippen en laminaten, die reeds uitgehard zijn, of uit legfels en weefsels, die in situ geïmpregneerd (wet lay-up) worden en uitharden (fig. 3). De vezels zijn parallel en (overwegend) unidirectioneel georiënteerd. Laminaten, legfels of weefsels met vezels in twee of meer richtingen worden eveneens toegepast. Het spanning-vervorming gedrag van FRP en staalwapening voor uitwendige verlijming, wordt vergeleken in figuur 4. Aangezien vezelcomposieten een materialengroep op zich vormen, met soms sterk uiteenlopende eigenschappen (zelfs voor een zelfde type vezel), zijn de curven indicatief. Meestal wordt, gezien hun uitstekende eigenschappen, gebruik gemaakt van CFRP.

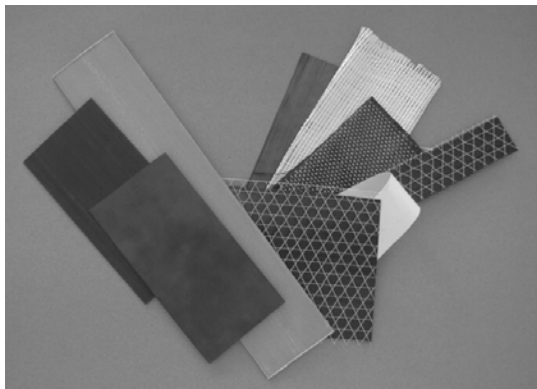


Fig. 3 – Prefab (links) en wet lay-up (rechts) FRP

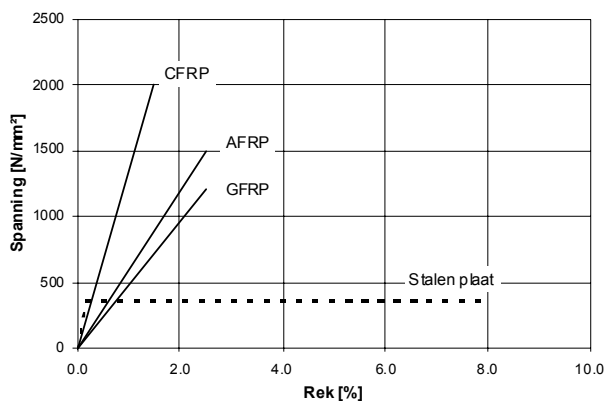


Fig. 4 – Spanning-rek gedrag

Uitwendig gelijmde wapening

Deze versterkingstechniek bestaat erin dat bijkomende wapening wordt aangebracht aan een bestaande constructie met het doel hetzij de draagkracht ervan te herstellen of te verhogen, hetzij om aan bepaalde eisen in verband met de gebruikstoestand te voldoen. De wapening wordt uitwendig aan de betonconstructie bevestigd door middel van een structurele verlijming (indien nodig kunnen bijkomende mechanische verankerungen voorzien worden).

De gangbaar aangewende basistechniek voor gelijmde wapening bestaat in de manuele toepassing van de wapening, waarbij de aanhechting wordt verwezenlijkt door middel van de polymerisatie van een twee-componenten lijm (meestal epoxy) die kan uitharden bij omgevingstemperatuur.

Een voorbeeld van een versterking met gelijmde koolstofvezelcomposietwapening is gegeven in figuur 5. De techniek op zich werd ontwikkeld in het midden van de jaren zestig aan de hand van gelijmde staalplaten [4]. De allereerste toepassing met gelijmde vezelcomposietwapening dateert van 1987. De commerciële doorbraak volgde rond 1993, voornamelijk in Zwitserland en vervolgens in meerdere Europese landen.



Fig. 5 – Versterking Tannberg brug (Oostenrijk)

Hoewel aanvankelijk verwacht werd dat de toepassing van gelijmde vezelcomposieten voornamelijk betrekking zou hebben op de

Tabel 2 – Typische kenmerken gelijmde wapening

	PREFAB (PRE-CURED)	WET LAY-UP (IN-SITU CURING)
<i>Vorm</i>	Strippen en laminaten	Legsels en weefsels
<i>Dikte</i>	Ongeveer 1.0 tot 1.5 mm	Ongeveer 0.1 tot 0.5 mm
<i>Lijm</i>	Thixotrope lijm voor de aanhechting	Lijm met lage viscositeit voor de impregnatie en aanhechting
<i>Vezelvolumen</i>	Ongeveer 70 %	Ongeveer 30 % (na impregnatie)
<i>Aanwending</i>	Eenvoudige verlijming van de geprefabriceerde elementen	Verlijming en impregnatie van de FRP (vormgeving in-situ)
<i>Toepasbaarheid</i>	Indien niet voorgevormd enkel voor vlakke oppervlaktes	Ongeacht de vorm, hoeken dienen afgerond te worden
<i>Aantal lagen</i>	Meestal 1 laag, meerdere lagen mogelijk	Meestal meerdere lagen
<i>Oppervlakte oneffenheid</i>	De prefab elementen en de thixotrope lijm laten een zekere oneffenheid toe	Dikwijls is een uitvlakmortel nodig i.v.m. onthechting door oneffenheden
<i>Eenvoud in gebruik</i>	Eenvoudig toepasbaar, betere kwaliteitsgarantie (prefab systeem)	Zeer flexibel in gebruik, meer noodzaak aan kwaliteitscontrole
<i>Kwaliteitscontrole</i>	Verkeerde toepassing of slechte uitvoering = verlies aan composietwerking tussen de FRP EBR en de betonconstructie, gebrekkige lange-duur integriteit van het systeem, enz.	

versterking van bruggen, blijkt dat vele toepassingen ook relateren tot gebouwen, waaronder ook historische gebouwen. De hoeveelheid aangewende vezelcomposietwapening varieert daarbij naargelang het project van enkele meters tot meerdere kilometer. In hoofdzaak betreft het de verlijming op beton en in mindere mate op baksteen, hout of metaal.

De uitwendig gelijmde vezelcomposietwapening wordt toegepast op diverse constructie-elementen waaronder balken, platen, kolommen en wanden, maar ook schoorstenen, gewelven en silo's. Het betreft o.a. de versterking in buiging en/of dwarskracht van balken (fig. 6b), de versterking van platen in de positieve en negatieve momentenzone (fig. 6e,g), de versterking rond aangebrachte openingen (fig. 6c), omwikkeling en buigversterking van kolommen (fig. 6f) en de dwarskracht en buigversterking van wanden (fig. 6a,d).

Systemen voor gelijmde vezelcomposietwapening bestaan uit de FRP wapening die aangebracht wordt en de structurele lijm nodig

voor de verlijming op de dragende constructie. Gezien de vele mogelijkheden inzake materiaalcomponenten, vorm en toepassingstechniek, zijn diverse systemen beschikbaar. Een overzicht van de belangrijkste eigenschappen en enkele typische kenmerken van 'prefab' en 'wet lay-up' systemen is gegeven in tabel 2. Een illustratie van beide systemen tijdens het aanbrengen is gegeven in figuren 7 en 8.

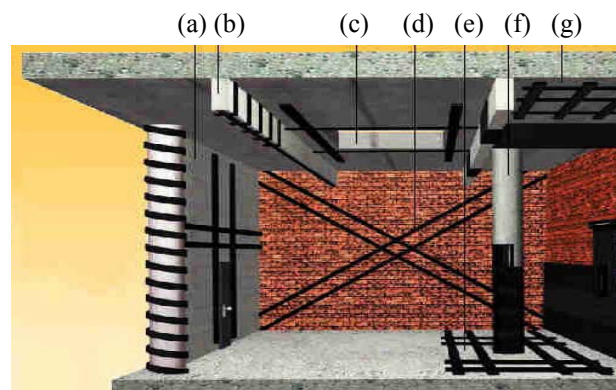


Fig. 6 – Toepassingsmogelijkheden



Fig. 7 – Toepassing ‘prefab’ systeem



Fig. 8 – Toepassing ‘wet lay-up’ systeem

Gelijmde wapening – afgeleide technieken

Gelijmde vezelcomposietwapening wordt gangbaar angewend volgens de basistechniek beschreven in de vorige paragraaf (manuele toepassing van continue vezelcomposietwapening door uitwendige verlijming met een structurele epoxylijm). Daarnaast bestaan er ook diverse specifieke of afgeleide technieken, zoals o.a. gerobotiseerd omwikkelen van kolommen en schoorstenen, het gebruik van prefab FRP schalen in combinatie met expansieve mortel, het gebruik van prepreg (pre-impregnated) FRP dat kan uitharden met behulp van verwarmingselementen of infrarood straling, voorgespannen strippen, FRP aangebracht in ondiepe sleuven in het betonoppervlak, ‘multidirectionele CFRP laminaten’ die kunnen verankerd worden met bouten, enz.

Eén van deze technieken, die de laatste jaren aan belang wint, betreft de aanwending van

voorgespannen composieten. De uitwendige voorspanwapening kan hierbij op twee wijzen opgevat worden: (1) als klassiek gelijmde vezelcomposietwapening tevens voorgespannen of (2) als een uitwendige trekker, waarbij de nagerekte vezelcomposietwapening niet verlijmd is met het beton. Waar methode (1) uitgaat van stripvormige (figuur 3, type prefab) vezelcomposieten, betreft methode (2) voorspanwapening op basis van vezelcomposieten hetzij in de vorm van draden of strengten, hetzij eveneens als stripvormige elementen.

Door middel van voorgespannen FRP, kunnen de hoogwaardige sterkte-eigenschappen van deze materialen over het algemeen beter benut worden, en kan een meer actieve bijdrage van het FRP bekomen worden bij gebruiksbelasting (bijvoorbeeld om scheuren te dichten of doorbuigingen te beperken). Anderzijds zal steeds een verankering nodig zijn aan de uiteinden van het voorgespannen composiet (figuur 9).



Fig. 9 – Toepassing voorgespannen FRP (Amsterdam, Nederland)

Het verhogen van de gebruiksbelasting op een constructie door middel van versterking met uitwendig gelijmde vezelcomposietwapening kent zekere grenzen. Bijvoorbeeld bij buiging omdat de drukzone van het beton de toegenomen spanningen (krachtenevenwicht: de bijkomende trekkracht van de uitwendige wapening geeft eveneens aanleiding tot een hogere drukresultante) niet meer kan weerstaan,

met verbrijzeling van het beton tot gevolg. In dit geval kan uitgegaan worden van een afstandhouder tussen de vezelcomposietwapening en het beton. Hierdoor wordt een grotere hefboomsarm gerealiseerd tussen de uitwendige wapening en de drukzone van het beton en worden aldus materiaalspanningen en doorbuigingen sterk beperkt. Dit principe werd, na voorafgaandelijk experimenteel onderzocht, o.a. toegepast bij de renovatie van het reptielengebouw van de Zoo Antwerpen [5] (figuur 10). Hierbij werd uitgegaan van een systeem bestaande uit CFRP stripjes met variabele dikte, multidirectionele vezels om boutverankeringen toe te laten en een balsa houten afstandhouder.



Fig. 10 – Versterking reptielengebouw (Antwerpen, België)

De versterking van constructies met gelijkde wapening gaat in principe uit van composieten op basis van continue vezels. Recent groeit ook de interesse naar het gebruik van korte vezels, welke in een gespoten vorm toegepast kunnen worden (figuur 11). Dit geeft aanleiding tot

specifieke voordelen met betrekking tot de aanwending (dit naar analogie met het gespoten beton). Deze versterkingstechniek wordt aangeduid als SFRP (sprayed fibre reinforced polymer) indien de vezels in een polymeermatrix zijn verwerkt. SFRP wordt reeds meerdere jaren toegepast bij renovatie van gewapend betonnen rioleringsbuizen. In Canada werd deze techniek in 2003 voor het eerst toegepast op een brug (Safe Bridge, Vancouver Island), voor een dwarskracht versterking [6].



Fig. 11 – Toepassing van SFRP

Naast de klassieke polymeermatrix, eigen aan vezelcomposieten, kan ook uitgegaan worden van een cementmatrix (fibre reinforced cementitious composites). Dergelijke cementgebonden composieten worden toegepast met zowel korte als continue vezels en worden soms aangeduid met de term ‘textielbeton’. Vooral in Duitsland werd hierover reeds veel onderzoek verricht. Hoewel de efficiëntie over het algemeen een stuk lager is t.o.v. een polymeermatrix, heeft o.a. het onderzoek in [7] de haalbaarheid aangetoond van uitwendige versterking met vezelcomposieten op basis van een (al dan niet polymeer gemodificeerde) cementmatrix. De beoogde voordelen hebben betrekking op de lagere prijs van de cementmatrix, de meer dampopen structuur, de toepasbaarheid onder meer extreme condities en de mogelijke voordelen inzake brandweerstand.

Ontwerp

In vergelijking met het ontwerp van nieuwe betonconstructies, is dat van betonconstructies versterkt met uitwendig gelijmde wapening meer gecompliceerd. Om te beginnen, moet de bestaande toestand en het draagvermogen van de te versterken constructie nagegaan en geverifieerd worden. Oorzaken van gebreken moeten gekend zijn (zo zal bijvoorbeeld de corrosie van wapening veelal niet gestopt worden door de versterking met gelijmde wapening) en de nodige herstellingen moeten voorzien worden.

In het ontwerp van de uitwendige wapening worden de diverse bezwijk- en gebruiksgrensstoelstanden die kunnen optreden geverifieerd [8-10]. Hierbij wordt ook rekening gehouden met de initiële toestand van de (herstelde) constructie, tijdens het aanbrengen van de versterking. Bijkomend dienen eventueel een aantal bijzondere ontwerpaspecten (zoals brand, impact, vandalisme, enz.) en de accidentele ontwerptoestand nagegaan te worden. In deze laatste ontwerptoestand, wordt het accidenteel verlies van de uitwendige wapening verondersteld, wat overeenstemt met een onversterkte constructie onderworpen aan de belastingen van de versterkte constructie. Deze ontwerptoestand gaat de bezwijkgrens na indien geen of gereduceerde veiligheidscoëfficiënten toegepast worden.

Het wordt soms gesuggereerd dat de uitwendig gelijmde wapening enkel als zogenaamde secundaire wapening moet dienen, zodat bij accidenteel verlies van deze wapening de constructie niet (volledig) bezwijkt. Indien aan deze accidentele ontwerptoestand wordt voldaan is de veiligheid het grootst en dient veelal minder aandacht besteed te worden aan de bijzondere ontwerpaspecten zoals brand. Dit betekent echter ook dat de maximale versterkingsfactor gelimiteerd wordt, terwijl reeds voldoende aangetoond werd dat uitwendig gelijmde wapening ook als volwaardige wapening kan aangewend worden.

In elk geval wordt het ontwerp dusdanig opgevat dat het bezwijken van de versterkte

constructie dient voorafgegaan te worden door voldoende grote vervorming, welke bekomen worden na het vloeien van de inwendige (en eventueel de uitwendige staal-) wapening. Alternatief kan ook uitgegaan worden van de zeer grote veiligheid die gangbaar bekomen wordt tussen de gebruiksbelasting en de weerstandbiedende belasting.

Voor meer details over het ontwerp van gelijmde wapening voor de versterking in buiging, in dwarskracht of wringing en inzake het omwikkelen van kolommen, wordt verwezen naar [8-10].

Bij de ontwerpberekeningen komt hierbij de verificatie van de diverse onthechtingsmechanismen die kunnen optreden als één van de belangrijke aspecten naar voor. Oorzaken van onthechting zijn:

- gebrekkige aanhechting ten gevolge van lage uitvoeringskwaliteit;
- spanningsconcentraties in de verankeringszone (startend van het vrij uiteinde dient de kracht in de gelijmde wapening opgebouwd te worden, dit gaat samen met o.a. hoge schuifspanningen);
- de zogenaamde ‘concrete rip-off’, waarbij een dwarskrachtscheur (die preferentieel ontstaat aan het uiteinde van de gelijmde wapening) uitgroeit tot een onthechtingsvlak ter hoogte van de inwendige wapening;
- hechtspanningen (schuifspanningen) in het contactvlak ten gevolge van de composietwerking tussen het beton en de gelijmde wapening, evenredig met de variatie van de trekkracht in het composiet;
- scheuroverbrugging, vooral nadelig in het geval van een differentiële verticale verplaatsing van de scheurvlakken, welke een rechtstreekse en zeer nadelige afpelwerking met zich meebrengt.

Ontwerprichtlijnen

De introductie van nieuwe materialen en de daarmee verbonden technieken noodzaakt aangepaste ontwerprichtlijnen. Dit aspect maakt een belangrijk deel uit van de uitgevoerde onderzoeksprojecten op het gebied

van de versterking van betonnen constructies met vezelcomposieten. Diverse documenten werden opgesteld door nationale of internationale commissies. Voor Europa is in het bijzonder *fib* (Fédération International du Béton) Bulletin 14 [9] van toepassing. Deze ontwerprichtlijn met als titel “Externally bonded FRP reinforcement for RC structures - Technical report on the design and use of externally bonded fibre reinforced polymer reinforcement (FRP EBR) for reinforced concrete structures” werd opgesteld door de werkgroep uitwendig gelijmde vezelcomposietwapening van *fib* Task Group 9.3 ‘FRP Reinforcement’. De Nederlandse CUR Aanbeveling 91 “Versterken van gewapendbetonconstructies met uitwendig gelijmde koolstofvezelwapening” [10] komt in belangrijke mate overeen met *fib* Bulletin 14. De auteur van dit artikel was in belangrijke mate betrokken bij de totstandkoming van deze twee documenten.

Kwaliteitscontrole

Ontwerp

De kwaliteitsboring van een versterkingsproject met gelijmde vezelcomposietwapening begint bij een goed ontwerp (en de bijhorende evaluatie van de oorspronkelijke staat van de te versterken constructie). Het ontwerp en de berekeningen worden dan ook toevertrouwd aan terzake bevoegde ontwerpers die uitgaan van de van toepassing zijnde ontwerprichtlijnen of normen (zie vorige paragraaf).

Materialen

De degelijkheid en de betrouwbaarheid van het werk kunnen sterk onderbouwd worden door bovendien uit te gaan van een certificatie van de aangeboden systemen (kit van materiaalcomponenten die samen het versterkingsstelsel uitmaken). Dit naar analogie met andere bouwmaterialen, waarbij kwaliteitsboring gekoppeld wordt aan productcertificatie (waaronder op Europees

niveau de CE markering die nu ook stilaan in de bouw wordt doorgevoerd).

In België is de ontwikkeling van een goedkeuringsleidraad [11] nagenoeg afgerond, die zal toelaten het ATG-label toe te kennen aan versterkingssystemen voor gelijmde wapening. Uiteraard is het van belang dat nationale productcertificaten onderling erkend worden. Vandaar de interesse om ook voor gelijmde vezelcomposietwapening te komen tot een productcertificatie op Europees niveau.

Vandaag is in diverse landen een dergelijke certificatie voor versterkingssystemen op basis van vezelcomposieten nog niet voor handen en wordt best een kwaliteitscontrole uitgevoerd van de producten aangeboden op de bouwplaats. Deze kwaliteitscontrole wordt opgelegd door het openbaar bestuur of de bouwheer (de noodzaak en omvang verschillen naargelang het belang van het project).

Uitvoering

Een goede werking van gelijmde wapening is enkel mogelijk indien de gelijmde verbinding wordt uitgevoerd volgens de regels van de kunst. Daarom is het zeer belangrijk dat de uitvoerende aannemer voldoende ervaring heeft in het herstellen van betonstructuren en in het uitvoeren van gelijmde verbindingen (diverse producenten van systemen voor gelijmde wapening certificeren zelf aannemers, waarbij onder andere een opleiding van de uitvoerders voorzien is). De van toepassing zijnde verwerkingsvoorwaarden moeten strikt nageleefd worden. Vooral de omgevingstemperatuur en de relatieve vochtigheid spelen een grote rol bij de uitharding en het hechtvermogen.

De kwaliteit van het werk wordt dan ook best onderbouwd door een procescertificatie van de uitvoering (naast de productcertificatie). Het betreft bijvoorbeeld de procescertificatie van betonhersteller, zoals van toepassing in een aantal landen. In [10,11] wordt bijvoorbeeld vereist dat aannemers over een dergelijk procescertificaat beschikken.

Besluit

Het versterken van constructies is van groot belang. Hiervoor komen diverse technieken in aanmerking. Voor de versterking van betonconstructies wordt in Europa (zowel als internationaal) sinds het begin van de jaren 1990 meer en meer gewerkt op basis van vezelcomposieten. Deze nieuwe generatie materialen voor de versterking van betonnen constructies kan worden toegepast onder de vorm van uitwendig gelijmde wapening, uitwendige voorspanning, wapening gelijmd in groeven in het oppervlak en gespoten vezelcomposieten. Het gebruik van vezelcomposietwapening voor versterking is efficiënt en economisch aantrekkelijk, vanwege de hoogwaardige materiaaleigenschappen en de flexibiliteit en eenvoud van toepassing.

Belangrijke ervaring en kennis op het gebied van gelijmde vezelcomposietwapening is voor handen, mede dankzij innovatief onderzoek in een aantal Europese onderzoeksinstituten (o.a. in Zwitserland en België). De aanwending van gelijmde vezelcomposietwapening is dan ook uitgegroeid tot een standaard techniek, met honderden toepassingen wereldwijd. Bovendien zijn ontwerprichtlijnen en initiatieven voor kwaliteitsborging op nationaal en internationaal niveau meer en meer ter beschikking (dit voor zowel het ontwerp, de kwaliteit van de aangeboden systemen en de kwaliteit van de uitvoering) [9-11].

Referenties

- [1] fib (2004), *Assessment and rehabilitation of concrete structures*, Technical Report – draft January 2004, fib Task Group 9.3, International Federation for Structural Concrete.
- [2] ENV 1504-9 (1997), *Producten en systemen voor de bescherming en herstelling van betonconstructies - Definities, eisen, kwaliteitsborging, conformiteitsbeoordeling - Deel 9: Algemene principes voor het gebruik van producten en systemen*, Comité Européen de Normalisation (CEN), Brussel, België.
- [3] FIP (1991), *Repair and strengthening of concrete structures*, Fédération Internationale

de la Précontrainte, FIP Guide to good practice, Thomas Telford, London, UK.

- [4] Meier U., Deuring M., Meier H. and Schwegler G. (1993), *FRP Bonded Sheets*, in *Fiber-Reinforced-Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures: Properties and Applications*, Elsevier, pp. 423-434.
- [5] Matthys S., Taerwe L., Janssens J., De Neef D. (2003), *Innovative strengthening of the reptile building in the Zoo of Antwerp*, Field Applications of FRP Reinforcement: Case Studies, Eds. S. Rizkalla, A. Nanni, ACI Fall 2003 Convention Boston, U.S.A, ACI-International SP-215, pp. 317-334.
- [6] ISIS (2004), *Sprayed FRPs for rehabilitation*, Innovator, Feb. 2004, the Canadian Network of Centres of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures, pp. 5.
- [7] Wiberg A. (2003), *Strengthening of concrete beams using cementitious carbon fibre composites*, Doctoral thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- [8] Matthys S. (2000), *Constructief gedrag en ontwerp van betonconstructies versterkt met uitwendig gelijmde vezelcomposietwapening – Structural Behaviour and Design of Concrete Members Strengthened with Externally Bonded FRP Reinforcement*, Doctoraatsproefschrift, Universiteit Gent, Faculteit Toegepaste Wetenschappen, Vakgroep Bouwkundig Constructies, Gent, België.
- [9] fib (2001), *Externally bonded FRP reinforcement for RC structures*, Technical Report on the Design and Use of Externally Bonded FRP Reinforcement (FRP EBR) for Reinforced Concrete Structures, fib Bulletin 14, fib Task Group 9.3, working party EBR, International Federation for Structural Concrete, Lausanne, Switzerland.
- [10] CUR (2002), *Versterken van gewapendbetonconstructies met uitwendig gelijmde koolstofvezelwapening*, CUR Aanbeveling 91, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Redactionele bijlag bij Cement, 4/2002.
- [11] BUtgb (2004), *Gelijmde wapening*, Goedkeurings- en certificeringsleidraad - draft versie februari 2004, Belgische unie voor technische goedkeuring in de bouw, LIN, Brussel, België.