



State-of-the-art Bestekteksten Composietbruggen

TETRA project C-Bridge

Deze Whitepaper werd opgesteld in het kader van het TETRA project C-Bridge en geeft een State-of-the-art van bestekteksten voor vezelversterkte kunststof bruggen. Dit overzicht werd opgesteld op basis van verschillende interviews van bouwprofessionelen met uitgebreide praktische ervaring met het materiaal in deze context en een diepgaande analyse van voorbeeldbestekteksten in de context van de CUR96:2019.



AANSPRAKELIJKHEID

De Universiteit Gent, WTCB en degenen die aan deze Whitepaper hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid nagestreefd bij het samenstellen ervan. Toch kan niet worden uitgesloten dat de inhoud onjuistheden bevat. De gebruiker van deze publicatie aanvaardt daarvoor het risico. De Universiteit Gent en WTCB sluiten, mede ten behoeve van de auteurs, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van informatie uit deze Whitepaper.

De bestekteksten waarnaar gerefereerd wordt en welke volledig opgenomen zijn in bijlage van deze Whitepaper, dienen *niet* als “typebestektekst(en)” maar enkel als inspiratiebron voor potentiële Vlaamse voorschrijvers. Deze werden opgemaakt op basis van de toenmalige kennis van de desbetreffende voorschrijver en houden rekening met de diverse en vaak specifieke randvoorwaarden van het bouwproject waar deze van toepassing op zijn.

TOELATING TOT BRUIKLEEN

De auteurs geven de toelating dit document voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van het document te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de bepalingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit dit document.

VLAAMSE CONTEXT

Aangezien gebruik gemaakt wordt van de Nederlandse CUR-aanbevelingen, kunnen bepaalde begrippen gebruikt in de aanbevelingen anders vertaald worden in dit document om te passen binnen de Vlaamse context.

- *Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) – Gebruiksgrenstoestand (GGT)*

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	4
2	Interview met enkele voorschrijvers in Nederland	4
2.1	Gemeente Rotterdam	4
2.2	Provincie Groningen	11
3	Analyse van bestekteksten versus CUR96 aanbevelingen	14
3.1	Definitie van composieten	14
3.2	Het ontwerp	15
3.3	Duurzaamheid	21
3.4	Materiaalproeven	22
3.5	Verbindingen	24
3.5.1	Lijmverbindingen	24
3.5.2	Mechanische verbindingen	24
3.6	Realisatie	27
3.7	Beheer, onderhoud & inspectie	31
4	Conclusie	32
	Bijlage A : Presentatie WD Schutte Gemeente Rotterdam	33
	Bijlage B : Bestek van Gemeente Rotterdam, “Vervangen brug M144 aan de Ringvaartweg”, 2-W-11935-19.....	33
	Bijlage C : Presentatie R. Renting Provincie Groningen	33
	Bijlage D : Bestek van Provincie Drenthe, “Reconstructie N371; Vervangen Pijlebrug te Meppel”, 1533	33
	Bijlage E : Bestek en Ontwerpnota van Provincie Drenthe, “Vervangen sluisdeuren, Sluis Peelo en Nieuwebrugsluis”, 1622	33
	Bijlage F : Bestek Gemeente Amsterdam, “Brug Elzenhagensingel”, AI 2018-0281	33
	Bijlage G : Bestek Gemeente Rotterdam, “Aanbrengen van 3 bruggen Hofwijk”, 2-081-17	33
	Bijlage H : “Bijkomende proeven op de stroomopwaartse composieten brug te brugge binnen kader van tetra project C-Bridge”	33

LIJST MET FIGUREN

Figuur 1: Overzicht van enkele van de VVK-bruggen in Rotterdam (cf. slide 38 uit Bijlage A)	4
Figuur 2: Overzicht van voornaamste productietechnieken gehanteerd voor de productie van VVK-bruggen in Nederland (cf. slide 10 uit Bijlage A)	6
Figuur 3: Indicatieve waarden qua mechanische prestaties voor gemiddeld glasvezelpolyesterlaminaat in vergelijking met klassieke materialen zoals staal en beton (cf. slide 11 uit Bijlage A).....	6
Figuur 4: Pelbelastingen en hoe hier rekening mee gehouden kan worden in het ontwerp van verbindingen in composietbruggen (cf. slide 30 uit Bijlage A).....	8
Figuur 5: Foto van de brug over de Exercitiesingel te Rotterdam met een artistieke leuning die ook uit composieten is vervaardigd (cf. slide 42 uit Bijlage A).....	9
Figuur 6: Voorbeeld van een belastingsproef uitgevoerd op een brugdek in de fabriek (cf. slide 39 uit Bijlage A).....	10
Figuur 7: Foto's van de testopstellingen (<i>links</i>) de ILLS test en (<i>rechts</i>) de trektest (cf. slide 17 uit Bijlage C).....	12
Figuur 8: Foto's van enkele imperfecties vastgesteld door RR in afgewerkte producten (cf. slides 34 en 35 van Bijlage C)	13
Figuur 9: Foto's van enkele visuele controles (<i>boven</i>) schikking en oriëntatie van de vezellagen (<i>onder</i>) onvolledige impregnatie met de hars zichtbaar als (<i>links</i>) droge vezels of (<i>rechts</i>) verschillende kleurtinten (cf. slides 38 en 39 van Bijlage C).....	14

1 INLEIDING

Gezien de grote nood aan informatie met betrekking tot het voorschrijven van vezelversterkte kunststoffen (VVK) voor de bruggenbouw, werd de ervaring uit Nederland hieromtrent gebundeld in deze Whitepaper. Naast enkele voorbeeld bestekteksten te doorgronden werden ook enkele voorschrijvers met ruime ervaring met dit nieuw bouw materiaal geïnterviewd om te peilen naar hun concrete ervaringen en aanbevelingen voor de Vlaamse voorschrijvers die hun eerste stappen in de VVK-wereld zetten.

In wat hieronder volgt zal eerst een samenvatting gegeven worden van de verschillende interviews die werden gevoerd met voorschrijvers in Nederland met geruime ervaring met VVK's. Vervolgens zullen de CUR96 specifieke aanbevelingen naast de verschillende, ontvangen voorbeeld bestekteksten uit Nederland worden geplaatst. Er dient hierbij benadrukt te worden dat zeker niet alle opgemerkte aspecten in de CUR96 door de voorschrijvers in alle bestekken werden opgenomen. Er dient immers steeds gekeken te worden naar de specificiteit van het voorliggend bouwproject alsook andere randvoorwaarden. Bijkomend dient ook rekening gehouden te worden met de toenmalige kennis van de voorschrijver, evenals het feit dat de CUR96 zeer recent werd herzien.

In deze Whitepaper wordt hoofdzakelijk de focus gelegd op voetgangers- en fietsersbruggen in VVK, uitbreiding naar bv. verkeersbruggen is niet uitgesloten mits uiteraard bepaalde beperkingen en aanpassingen van de bepalingen.

2 INTERVIEW MET ENKELE VOORSCHRIJVERS IN NEDERLAND

2.1 Gemeente Rotterdam

De gemeente Rotterdam heeft reeds geruime ervaring met vezelversterkte kunststoffen in de bruggenbouw, specifiek voor voetgangers- en fietsersbruggen. William Schutte (WS) van de afdeling "Stadsontwikkeling" van de Gemeente Rotterdam heeft ons uitgebreid te woord gestaan tijdens een interview dat doorgegaan is op 28 januari 2020. Hijzelf heeft in de afgelopen jaren de aanbesteding en opvolging van een groot aantal vezelversterkte kunststof bruggen voor zijn rekening genomen. Gezien zijn uitgebreide ervaring in de materie wordt hij ook geregeld gevraagd om hier lezingen over te geven in Nederland. Ter ondersteuning van het gesprek gebruikt hij een PowerPoint Presentatie die hij opgesteld heeft voor een gastcollege binnen een universitaire opleiding rond dit topic. Deze presentatie kan integraal in Bijlage A van deze Whitepaper worden teruggevonden.

>110 Bruggen in 9 jaar!

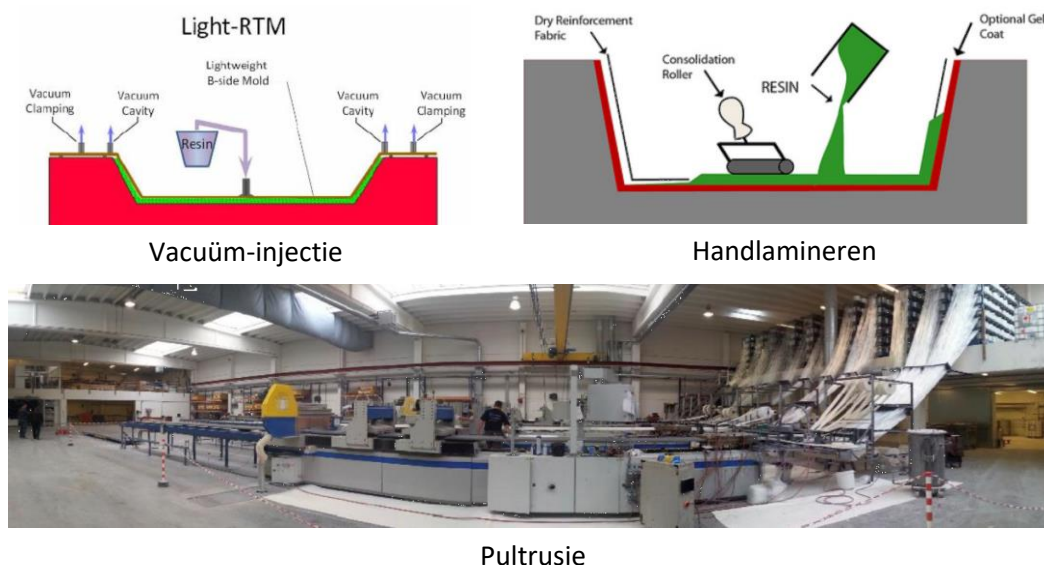


Figuur 1: Overzicht van enkele van de VVK-bruggen in Rotterdam (cf. slide 38 uit Bijlage A)

Gemeente Rotterdam heeft d.d. van dit interview een zeer groot aantal dergelijke bruggen op haar grondgebied. De afgelopen jaren zijn er ook zeer veel bijgekomen. WS geeft aan dat er in 9 jaar alleen al in Rotterdam meer dan 110 van dergelijke bruggen bijgekomen zijn.

WS benadrukt dat elke persoon die een bestektekst dient op te maken voor dergelijk type bruggen zich zeer bewust moet zijn van de materialen, productiewijzen, alsook productconcepten die op de markt aanwezig zijn. Gezien de veelheid aan oplossingen dient de voorschrijver ook best duidelijk te omschrijven in het bestek wat onder composieten wordt verstaan, wat is toegelaten en wat niet. De keuze dient hierbij rekening te houden met de randvoorwaarden van het project alsook de eigenheid van de composieten (o.a. faalmechanismen die specifiek zijn aan composieten). In slide 4 t.e.m. 11 wordt een overzicht gegeven van de basismaterialen, de opbouw van een composiet, de mechanische prestaties, belangrijke composiet laminaat principes alsook de productiewijze. Belangrijkste aandachtspunten die hierbij naar voor werden gebracht door WS, zijn de volgende:

- (1) Een VVK bestaat typisch uit een gelaagde opbouw van vezellagen (met elk een specifieke vezelrichting). Het geheel wordt geconsolideerd met een hars. Binnen de bruggenbouw wordt hoofdzakelijk gewerkt met:
 - a. *Thermohardende harsen* waarbij polyester, vinylester en epoxy de meest courante zijn;
 - b. *Glasvezels*; daarnaast wordt ook aramide, koolstof en basalt gebruikt, waarbij glas in de meeste gevallen de goedkoopste van de vezelalternatieven is.
- (2) Een VVK wordt getailord in functie van de toepassing. De opbouw van het laminaat is dus uniek voor elke toepassing (aantal vezellagen, vezelrichting in elke laag, enz.).
- (3) In hoofdzaak worden 3 productiewijzen op de Nederlandse markt toegepast, nl.
 - a. *Handlaminatie*:
Hierbij worden de vezellagen handmatig geplaatst in een mal en wordt de hars er handmatig ingerold.
 - b. *Vacuüm-injectie*:
Hierbij worden de vezellagen volledig in de mal geplaatst, het geheel wordt afgedekt met een folie die luchtdicht wordt gemaakt en vacuüm wordt getrokken. Via één of meerdere injectiepunten wordt de hars vervolgens geïnjecteerd. Doordat de folie tijdens dit injectieproces vacuüm wordt getrokken verspreidt de hars zich gelijkmatig over de volledige component. De productiecontrole/kwaliteitscontrole is bijgevolg typisch hoger dan deze bereikt via handmatige laminatie.
 - c. *Pultrusie*:
Bij pultrusie worden vezelbundels (en eventueel ook vezelmatten) door een impregneerbak getrokken (een bak met vloeibare kunsthars vermengd met verharder, eventueel kleurstoffen en allerlei additieven) waarna ze via geleiders door een verhitte matrijs worden getrokken. Hierdoor wordt een profiel gevormd (met een specifieke sectie, bv. I-profiel of een geprofileerde plaat) en uitgehard. Aan het einde van de lijn wordt het element op de gevraagde lengte versneden. Bij deze productiemethode bevinden de vezels zich hoofdzakelijk in één richting. Zeer hoge vezelvolume fracties kunnen worden bereikt in deze hoofdrichting (tot 70% in gewicht). De productiecontrole/kwaliteitscontrole is typisch hoger dan de vorige 2 productiemethodes.
- (4) Zuiver indicatieve waarden qua mechanische prestaties voor een gemiddeld glasvezelpolyesterlaminaat dat volgens WS doorsnee gebruikt wordt in de bruggenbouw, kunnen teruggevonden worden in Figuur 3.



Figuur 2: Overzicht van voornaamste productietechnieken gehanteerd voor de productie van VVK-bridgen in Nederland (cf. slide 10 uit Bijlage A)

	GFRP ⁽¹⁾	Staal S235	Beton C53/65
Max. rek	1.2% ⁽²⁾	0.1% ⁽³⁾	1.80‰ ⁽⁴⁾
E-modulus [MPa]	33 000	210 000	38 000
Treksterkte [MPa] ⁽⁵⁾	396	235	1.94
Druksterkte [MPa]	240	235	35.3
Thermisch uitzetting [K^{-1}]	$11.2 \cdot 10^{-6}$	$12.0 \cdot 10^{-6}$	$12.0 \cdot 10^{-6}$
Eigen gewicht [kN/m^3]	18	77	24.5

¹ Gem. glasvezelversterkt polyesterlaminaat

² First ply failure

³ Vloeigrens

⁴ Elastische rek bij f_{cd}

⁵ Gerelateerd aan max. rek

Figuur 3: Indicatieve waarden qua mechanische prestaties voor gemiddeld glasvezelpolyesterlaminaat in vergelijking met klassieke materialen zoals staal en beton (cf. slide 11 uit Bijlage A)

Later in de presentatie haalt WS evenwel ook aan dat eenzelfde algemene productiewijze evenwel niet noodzakelijk hetzelfde product betekent. Zo vermeldt hij in het interview dat een voorschrijver zich steeds bewust moet zijn van de productconcepten die op de (actuele) markt aanwezig zijn en hier rekening mee moet houden in zijn of haar bestek. In slides 24 t.e.m. 30 geeft WS een overzicht van de huidige markt (begin 2020) in Nederland en wat elk product specifiek maakt. In hoofdzaak gaat het over 4 commercieel beschikbare productconcepten en 1 productconcept, genaamd Baltico, dat nog in de ontwikkelingsfase is. Van de 4 commerciële productconcepten zijn er 3 gebaseerd op het vacuüm infusie procedé en 1 op de pultrusie productietechniek. Alhoewel de 3 vacuüm infusie producten met eenzelfde basisproductiewijze worden geproduceerd, is de opbouw/samenstelling van de dekcomponenten toch uniek. Zo worden verschillen gezien in:

- De aanwezigheid van isolatieblokken in de sectie of niet.

- De vezelopbouw/schikking, waarbij bij één product de vezels door de specifieke schikking van de vezellagen, continu doorlopen van de bovenhuid, over de lijven (tussen de isolatieblokken) naar de onderhuid en er dus vezels in de connectie aanwezig zijn tussen huiden en lijven. Bij een ander product worden de vezellagen gedrapeerd over de isolatieblokken en zijn er bijkomende (afzonderlijke) vezellagen voor boven- en onderhuid, waardoor er een hars (lijm) gedomineerde verbinding is tussen huiden en lijven.
- Vacuüm infusie in één geheel of per onderdeel (lijven en huiden afzonderlijk) waarbij het dek vervolgens wordt samengesteld en de verbindingen tussen de onderdelen via verlijming gebeurt in de fabriek.

Volgens WS dient een potentiële voorschrijver zich ook bewust te zijn van de voor- en nadelen van composieten binnen de toepassing, de overeenkomsten met meer klassieke bouwmaterialen zoals staal, gewapend beton en hout. Daarnaast moet de voorschrijver zich ook bewust zijn van enkele composiet-eigen aspecten. Dit alles wordt gepresenteerd in slides 14 t.e.m. 18 van Bijlage A.

De *voornaamste voordelen* van composieten binnen de bruggenbouw zijn volgens WS:

- Het lichte gewicht
- Grote prefab onderdelen zijn mogelijk (zelfs ganse bruggen die in één stuk geleverd kunnen worden)
- Zeer snelle installatie, zeker binnen een stedelijke context als deze van Rotterdam is dit een groot voordeel
- Er is weinig onderhoud vereist

Een YouTube filmpje, dat iets verder in de slides is opgenomen, illustreert de snelle plaatsing van een (geprefabriceerde) composieten brug over de Spaanse bocht in Rotterdam.

<https://youtu.be/yYegp0ihzZk> (ingevoegd in slide 37 van Bijlage A)

Als *voornaamste nadelen/aandachtspunten* geeft WS dan weer volgende aspecten aan:

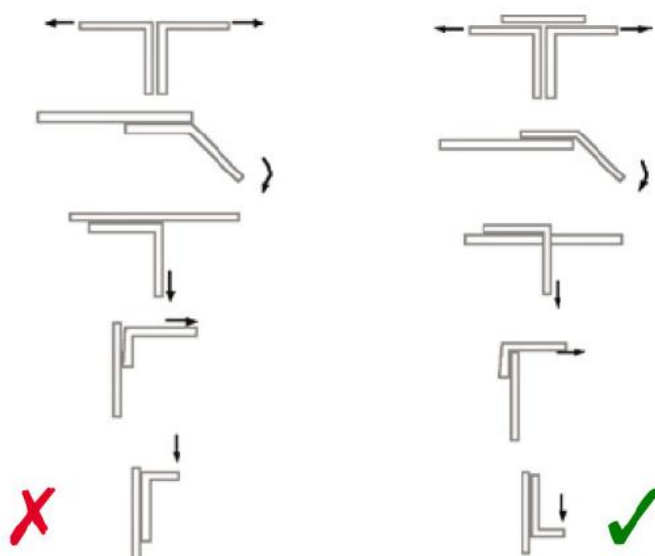
- Introductie van hoge krachten alsook hoge permanente lasten vergt extra aandacht
- Gespecialiseerd werk
- Hogere bouwkosten (vooral materiaalkost is hoger)
- Testen zijn noodzakelijk (proef ondersteund ontwerp)

Als *voornaamste overeenkomsten met meer klassieke bouwmaterialen* worden volgende aspecten aangehaald:

- Lokale instabiliteiten kunnen optreden zoals bij staalprofielen
- Bout- en lijmverbindingen zijn mogelijk (vergelijkbaar met verbindingen in staalconstructies)
- Vermoeiing kan optreden (zoals bij staal)
- Kruip moet ook in overweging genomen worden (cf. gewapend beton en hout)
- Anisotroop gedrag (cf. hout)

Composiet-eigen aspecten waar een potentiële voorschrijver zich volgens WS ook van bewust dient te zijn en mogelijks ook extra aandacht aan dient te besteden binnen het bestek en de opvolging zijn:

- *Temperatuursafhankelijkheid* van de matrix; bij hogere werkingstemperaturen nemen stijfheid en sterkte af. De glastransitie temperatuur van de hars vormt hierbij een belangrijke parameter.
- Er *geen vóór gedefinieerde materiaaleigenschappen* zijn; elke realisatie is uniek en getailord in functie van de toepassing.
- Door de typische gelaagde opbouw van een composiet kunnen er zich *specifieke faal mechanismen* voor doen door het overschrijden van *interlaminare spanningen* (tussen de lamina, lagen van de composiet).
- Composieten worden gekenmerkt door een *lineair elastisch gedrag tot breuk*; er is dus *geen plastisch traject*.
- *Afschuifvervormingen* kunnen belangrijk zijn.
- Door het geringe gewicht vormen *trillingen* (dynamische belastingen) een aandachtspunt.
- Iets later in de presentatie (slide 30 in Bijlage A) wordt ook de *pelbelasting(en)* aangehaald als een aandachtspunt dat zeker ook in de bestekken aan bod zou moeten komen. Hiermee kan bv. in de detaillering van lijm/hars verbindingen rekening gehouden worden.



Figuur 4: Pelbelastingen en hoe hier rekening mee gehouden kan worden in het ontwerp van verbindingen in composietbruggen (cf. slide 30 uit Bijlage A)

Voor toepassingen in de civiele techniek (waaronder bruggen) beroept WS zich op volgende richtlijnen en normen voor het ontwerp, nl.:

- (1) NEN-EN 1990
- (2) NEN-EN 1991
- (3) CUR 96 aanbeveling
- (4) EN 13706 (productnorm voor pultrusie producten)
- (5) Fiberline Design manual
- (6) JRC 23984 EN

De Gemeente Rotterdam heeft in het verleden zelf ook een uitgebreide **milieustudie** uitgevoerd om composieten in de bruggenbouw te kunnen vergelijken met andere klassieke bouwmaterialen. In deze

studie werden een groot aantal facetten in rekening genomen (o.a. bouwtijd en hinder, onderhoud, levensduurkosten, funderingen, enz.). Enkele details hieromtrent kunnen teruggevonden worden in de slides 20 en 21 van Bijlage A. Deze studie gaf aan dat, ondanks de hogere typische materiaalkost, **composieten op milieuvlak** – indien al de facetten over de ganse levensduur van bruggen in rekening worden gebracht – ook **concurrentieel zouden kunnen zijn met de meer klassieke bouwmaterialen binnen de bruggenbouw**.

De Gemeente Rotterdam is zich bewust van de huidige recyclagemogelijkheden (pyrolyse en verwerking in cement) maar ziet hier ook nieuwe ontwikkelingen en mogelijkheden. Zo haalt WS een studie aan bij een Nederlandse Universiteit, waarbij stukken (versneden composietlaminaten) na de sloop worden gebruikt om nieuwe composieten mee te vervaardigen, waarbij de slooponderdelen via een hars worden geconsolideerd tot een nieuwe VVK (cf. fotoreeks op slide 23 van Bijlage A).

WS toont ook enkele sprekende voorbeelden van composieten in de bruggenbouw van voetgangersbruggen tot verkeersbruggen, beweegbare bruggen en hybride bruggen (waarbij een stalen draagstructuur werd gecombineerd met een composieten dek. (cf. slides 32 t.e.m. 36 in Bijlage A).

In het bijzonder wordt even stilgestaan bij de brug over de Exercitiesingel te Rotterdam (cf. slides 41 en 42 in Bijlage A). Met deze brug werd getracht het trillingsaspect ontwerpmatig op te vangen door te werken met inklemmingen in de landhoofden. Dit vergde extra aandacht bij het ontwerp van het dek ter hoogte van de landhoofden zodat deze inklemmende verbindingen met de landhoofden konden worden gerealiseerd (want hier worden hoge krachten lokaal ingeleid in de composiet). Dit leidde tot de slankste composietbrug ter wereld (1:68) – op het moment van het interview – met een gewicht van slechts 6,1 ton. WS organiseerde ook enkele proefcampagnes om de impact op het trillingsgedrag van o.a. de leuning (die in de dynamische studie hoofdzakelijk buiten beschouwing worden gelaten) en de inklemmingen in de landhoofden te evalueren. Deze werden vastgelegd in een YouTube filmpje dat via onderstaande link geconsulteerd kan worden.

<https://youtu.be/uBUiFdNCiq8> (ingevoegd in slide 41 van Bijlage A)



Figuur 5: Foto van de brug over de Exercitiesingel te Rotterdam met een artistieke leuning die ook uit composieten is vervaardigd (cf. slide 42 uit Bijlage A)

Aan het einde geeft WS aan dat hij nu reeds zo veel ervaring heeft opgedaan met composietbruggen van verschillende producenten, dat hij hierdoor ook minder uitgebreide belastingsproeven uitvoert. WS benadrukt wel dat coupontesten (materiaalproeven, in zelfde productiecondities) wel steeds noodzakelijk zijn (zoals voorgeschreven door de CUR 96). Evenwel voorziet hij dit wel nog steeds als een mogelijkheid die hij opneemt in de bestekteksten om zeker ook rekening te houden met het feit dat een nieuw product zou worden voorgesteld, waarmee hij nog geen ervaring heeft. Hij geeft ook aan dat ze vaak ook een reeks bruggen aanbesteden en dat ze dan in het bestek voorzien dat één brug (naar keuze van de aanbestedende overheid) kan geselecteerd worden voor beproeving. Deze

belastingsproeven kunnen perfect worden uitgevoerd in de fabriek met geïdealiseerde oplegging (zoals geïllustreerd in Figuur 6). WS geeft hierbij wel aan dat het heel belangrijk is om ook in het bestek op te nemen dat de inschrijver dient te voorspellen welke de doorbuiging en/of eigenfrequentie is en dat de voorschrijver ook in het bestek dient op te nemen welke afwijking toegelaten is en welke de consequentie is van een te grote afwijking van de meetwaarde ten opzichte van deze voorspelde waarde. (zie ook details opgenomen in een voorbeeld bestektekst van Gemeente Rotterdam hieromtrent, cf. §3.4 van deze Whitepaper)



Figuur 6: Voorbeeld van een belastingsproef uitgevoerd op een brugdek in de fabriek (cf. slide 39 uit Bijlage A)

In Bijlage B kan een voorbeeld van een bestektekst teruggevonden worden die ons ter beschikking werd gesteld door WS (en Gemeente Rotterdam). Deze bestektekst dient uiteraard enkel als inspiratiebron en dient steeds binnen de specifieke context van het beschouwde kunstwerk geanalyseerd te worden. Ze steunt op de kennis en ervaring van de Gemeente Rotterdam op het moment van de aanbesteding.

2.2 Provincie Groningen

Provincie Groningen heeft ook reeds enige ervaring met vezelversterkte kunststoffen in sluizen en bruggenbouw. Remco Renting (RR) van de Provincie Groningen heeft ons uitgebreid te woord gestaan tijdens een interview dat is doorgegaan op 27 januari 2020. Hijzelf heeft de aanbesteding en opvolging van enkele vezelversterkte kunststofkunstwerken voor zijn rekening genomen in de afgelopen jaren. Gezien zijn uitgebreide ervaring in de materie wordt hij ook geregeld gevraagd om hier lezingen over te geven in Nederland. Ter ondersteuning van het gesprek gebruikt hij een PowerPoint Presentatie welke hij opgesteld heeft voor een lezing binnen een opleiding van PAO (Techniek en Management) rond composietbruggen. Deze presentatie kan integraal teruggevonden worden in Bijlage C van deze Whitepaper.

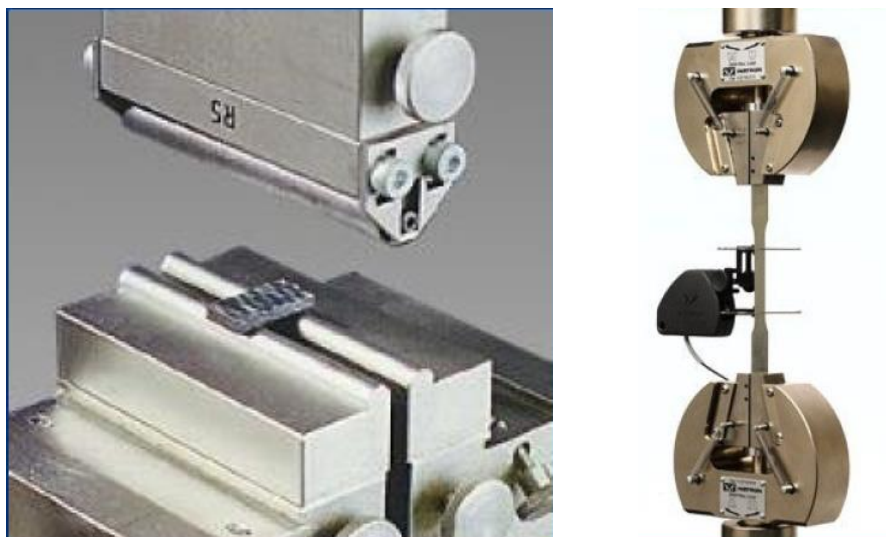
RR geeft aan dat het belangrijk is voor voorschrijvers van composietbruggen om zich ervan bewust te zijn dat het, aangezien er normen ontbreken voor het design van dergelijke kunstwerken, om een proeven ondersteund ontwerp gaat. Waarbij met proeven (op materiaal niveau) de spreiding van bepalende (cruciale) materiaalkarakteristieken wordt bepaald, en dit in functie van de specifieke productiewijze alsook de concrete condities van productie gelinkt aan het beschouwde kunstwerk. Dit wordt uitgebreid toegelicht in slides 4 t.e.m. 8 Bijlage C. Zo neemt RR standaard volgende materiaalproeven op in zijn bestekken (zie ook slide 17 t.e.m. 19 van Bijlage C):

- (1) Sterkte van de huiden
 - a. Treksterkte in overspanningsrichting
 - b. Druksterkte in overspanningsrichting
 - c. Treksterkte in dwarsrichting
 - d. Druksterkte in dwarsrichting
- (2) Interlaminar shear strength (ILSS) van de huid¹
 - a. ILSS in de overspanningsrichting
 - b. ILSS in de dwarsrichting
- (3) Glastransitie temperatuur (T_g)²
- (4) Vezelvolumefractie bepaling door afbranden van de matrix.

Deze oplijsting komt in grote lijnen overeen met de gevraagde proeven in de CUR96. In bijlage B van de CUR96 kan meer gevonden worden over de proeven (o.a. proefnormen, steekproefgrootte, rapportage, enz.).

¹ "Bij deze proef wordt de schuifsterkte tussen de middelste lamellen van een proefstuk bepaald (interlaminar shear strength). Dit is een eenvoudige proef, waarvoor wel een driepunts buighulpstuk nodig is. In het laminaat heerst een schuifspanning die tussen de middelste lagen het hoogst is. Deze lagen zullen van elkaar afschuiven en het resultaat zegt iets over de weerstand tegen delaminatie en daarmee ook wat over de mate waarin de uitharding van de hars succesvol is." (Omschrijving: citaat afkomstig van VKCN-publicatie, R.P.L. Nijssen, "Composieten: Basiskennis" editie 2015, §7-2.2.4, ISBN 978-90-77812-51-8)

² "De glasovergangstemperatuur (T_g), is de temperatuur waarbij een hars overgaat van de 'glasachtige' toestand (stijf en bros, d.w.z. weinig plastische vervorming bij breuk) naar de 'rubberachtige' toestand (slap en taai). Gebruik van een composiet in de buurt van of boven deze temperatuur wordt afgeraden. Het effect van overschrijden van de glasovergangstemperatuur is bij thermoplasten vele malen sterker dan bij thermoharders, maar wordt bij beide door het versterkingsmateriaal gereduceerd. De glasovergangstemperatuur hangt af van de omstandigheden tijdens het uitharden (bij thermoharders). Een hogere glasovergangstemperatuur kan bereikt worden door de uitharding bij een hogere temperatuur en bij een langere periode van verwarming te laten plaatsvinden." (Omschrijving: citaat afkomstig van VKCN-publicatie, R.P.L. Nijssen, "Composieten: Basiskennis" editie 2015, §1-5, ISBN 978-90-77812-51-8)



Figuur 7: Foto's van de testopstellingen (*links*) de ILLS test en (*rechts*) de trektest (cf. slide 17 uit Bijlage C)

Provincie Groningen vond het ook belangrijk bij het eerste project met composieten om sterk in te zetten op kennisvergaring en hier ook het nodige testbudget voor te voorzien. Zo werden in het verleden volgende uitgebreide proefcampagnes uitgevoerd:

- (1) Beproeving van grotere proefstukken ontnomen uit een composieten component in relatie met de constructie van een sluis te Emmen in Nederland. (cf. slide 9 t.e.m. 14 in Bijlage C) Hierbij werd ervaring opgedaan met composiet/sandwich specifieke faalmechanismen (zoals o.a. afschuiving in de huiden (ILSS), knik en afschuiving in de dwarsverbindingen, enz.) enkele foto's kunnen teruggevonden worden in Bijlage C (slides 12 en 13)
- (2) Uitgebreide beproeving op ware schaal op korte en lange termijn binnen het kader van de constructie van een beweegbare verkeersbrug te Meppel, waarbij o.a. volgende aspecten uitvoerig werden beproefd (cf. slides 20 t.e.m. 31):
 - a. Eigenfrequentie
 - b. Doorbuiging
 - c. Kruipproef
 - d. Impactproef
 - e. Vermoeiingsproef
 - f. Diverse verbindingen
 - g. Enz....

Dhr. RR geeft aan dat dergelijke uitgebreide beproeving (zoals gedaan binnen het kader van de beweegbare verkeersbrug te Meppel) uiteraard een goede, doch kostelijke en tijdrovende leerschool is. Voor toekomstige projecten gaat hij deze beproeving dan ook beperken. Hij behoudt evenwel nog een zekere mate van beproeving (naast materiaalproeven) om toch een veilig ontwerp te kunnen blijven garanderen. In slide 32 van Bijlage C geeft hij aan naast de materiaalproeven (zie vermelding hierboven) ook beproeving van de verbindingen (verlijmingen en boutverbindingen) en full-scale

testen (mits: sterk innovatief karakter) of controle van het eindproduct middels buigproeven³ op te nemen in toekomstige bestekteksten.

Aansluitend meldt RR dat onderdelen van de constructie waar zich spanningsconcentraties voordoen (o.a. ter hoogte van hijspunten, lijmverbindingen, boutverbindingen, oplegpunten, enz. – cf. enkele voorbeelden op slide 33 in Bijlage C) sowieso extra aandacht vereisen bij VVK.

Ook imperfecties in het afgewerkt product kunnen een impact hebben op de performantie van de constructies (o.a. vezelplooiën, niet doorlopende vezels, holtes, enz. enkele foto's van dergelijke imperfecties kunnen teruggevonden worden in Bijlage C in slides 34 en 35 alsook in Figuur 8).



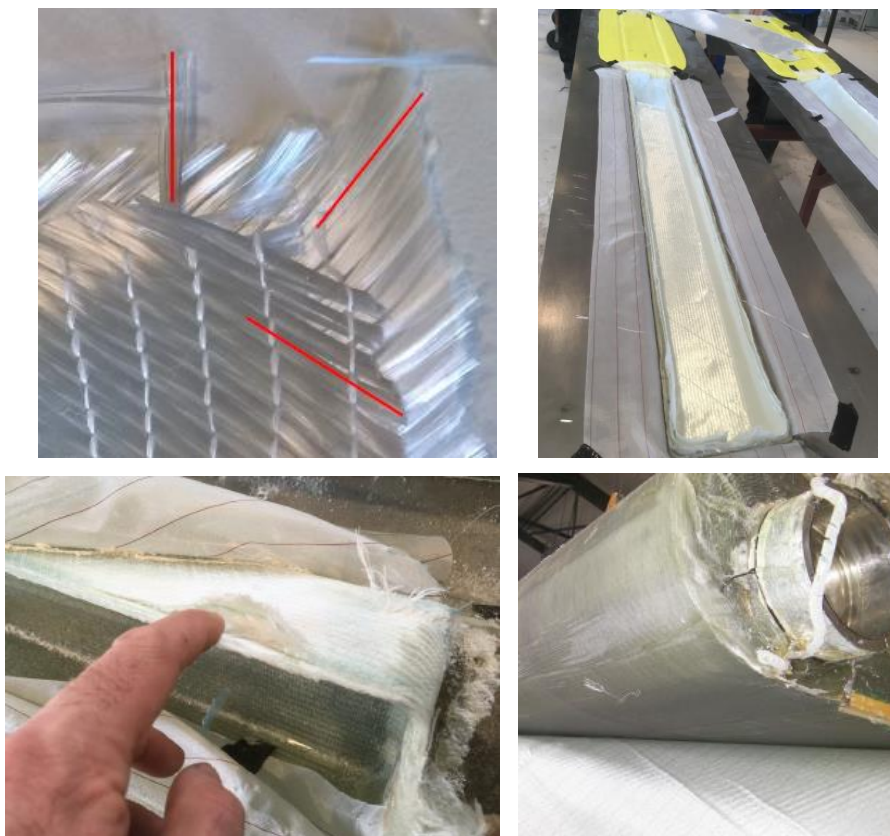
Figuur 8: Foto's van enkele imperfecties vastgesteld door RR in afgewerkte producten (cf. slides 34 en 35 van Bijlage C)

Om imperfecties in afgewerkte producten te beperken vindt RR een goede kwaliteitscontrole heel belangrijk, en neemt hij dan ook uitgebreide clausules hieromtrent op in de bestekteksten. Volgende aspecten vindt hij daarbij zeer belangrijk (cf. slides 36 t.e.m. 39):

- (1) Een fabricageplan dient op voorhand te worden opgesteld
- (2) Productieregistraties dienen bijgehouden te worden waarbij bijzondere aandacht gaat naar
 - a. Gebruikte vezels (type, richtingen, opbouw)
 - b. Gebruikte harsen (recept, mengverhouding, bereiding)
 - c. Productiemethode (omgevingscondities, voorschriften van de fabrikanten)
- (3) Visuele (onafhankelijke) controles, met bepaalde toezichts- en/of stoppunten. RR is zich er evenwel van bewust dat de uitgebreidheid van deze bijkomende, onafhankelijke controles ook moet geëvalueerd worden in functie van het voorliggend project. Hier hangt namelijk wel een zekere extra prijs aan vast, waar de voorschrijver zich van bewust dient te zijn. (cf. Figuur 9 en slides 38 en 39 van Bijlage C)

In Bijlagen D en E kunnen voorbeelden van bestekteksten teruggevonden worden voor diverse kunstwerken in VVK (specifiek een beweegbare verkeersbrug en sluisdeuren) die ons ter beschikking werden gesteld door RR (en Provincie Groningen). Deze bestekteksten dienen uiteraard enkel als inspiratiebron en moeten steeds binnen de specifieke context van het beschouwde kunstwerk worden geanalyseerd. Ze steunen op de kennis en ervaring van de Provincie Groningen op het moment van de aanbesteding.

³ Rekening houdend met de reële productiewijze en -condities.



Figuur 9: Foto's van enkele visuele controles (*boven*) schikking en oriëntatie van de vezellagen (*onder*) onvolledige impregnatie met de hars zichtbaar als (*links*) droge vezels of (*rechts*) verschillende kleurtinten (cf. slides 38 en 39 van Bijlage C)

3 ANALYSE VAN BESTEKTEKSTEN VERSUS CUR96 AANBEVELINGEN

Aangezien alle bestekteksten, die ons ter beschikking werden gesteld door de gemeente Rotterdam (Bijlage B), de provincie Groningen (Bijlagen D en E), alsook composietproducenten in Nederland (Bijlagen F en G), gebaseerd zijn op de CUR 96 aanbeveling, werd dit basisdocument (versie 2019) grondig doorgenomen en werden alle aspecten die mogelijk nuttig/noodzakelijk zijn om op te nemen in bestekteksten voor kunstwerken in VVK opgelijst. De voorbeeldbestekteksten werden vervolgens doorgenomen met deze achtergrondkennis en er werd nagegaan hoe bepaalde aspecten concreet in de diverse bestekken werden opgenomen. Het spreekt voor zich dat alle opgemerkte aspecten in de CUR96 niet in alle bestekken werden opgenomen door de voorschrijvers. Er dient immers steeds gekeken te worden naar de specificiteit van het voorliggend bouwproject, alsook andere randvoorwaarden (zoals bv. de toenmalige kennis van de voorschrijver, alsook evolutie van de CUR96). In wat volgt, wordt een weergave gegeven van deze diepgaande studie.

3.1 Definitie van composieten

De CUR96 (§1.1 p 11 en §2.4.1 p27) is van toepassing voor thermohardende vezelversterkte kunststoffen met een vezelvolumepercentage van ten minste 15%. De rekenregels (incl. partiële veiligheidsfactoren, karakteristieke waarden, materiaal- en conversiefactoren) zijn veelal uitsluitend vastgelegd voor VVK met een vezelversterking van glasvezels (type E en R) en koolstofvezels (type HS, HT, IM en HM) met een thermohardende matrix van onverzadigd polyester-, vinylester- of epoxyhars.

Het is dan ook belangrijk om duidelijk in het bestek aan te geven welke materialen in aanmerking komen, aangezien composieten een zeer ruim begrip is.

In voorliggende voorbeeldbestekteksten konden volgende concrete omschrijvingen in die zin teruggevonden worden:

In Bijlage B:

Onder composiet wordt in dit bestek verstaan een met glasvezel en/ of koolstofvezel versterkt thermohardende kunststofhars;

In Bijlage D:

Composiet delen: keuze, toetsing en bewijsvoering conform de niet-normatieve richtlijn CUR-96, met inachtneming van aanpassing van deze richtlijn.

Glas of koolstofvezels:

- productbladen van de leverancier aantonen (leverancier PPG of gelijkwaardig)
- alleen legfels en uni directioneel materiaal gebruiken (geen weefsels of mat)
- alleen 0-90 +/-45 of UD gebruiken, of combinaties van deze materialen

Hars:

- productbladen van de hars en de ingrediënten aantonen
- de hars dient door een van de volgende instanties te zijn gecertificeerd met een type approval: Det Norkse Veritas, Lloyds Register of Germanischer Lloyd
- samenstelling en mengverhoudingen registreren en aantonen

Niet dragend (verloren) kernmateriaal:

- niet rottend
- niet water absorberend

3.2 Het ontwerp

De CUR 96 (§2.1 p 23) geeft aan dat de fundamentele eisen in hoofdstuk 2 van EN 1990 van toepassing zijn, waarbij geldt:

- **ontwerp gebaseerd op grenstoestanden**, met de in **EN 1990** en **EN 1991** voorgeschreven belastingen en belastingscombinaties;
- voorgeschreven regels voor **weerstand**, **bruikbaarheid** en **duurzaamheid**;
- **aangetoond dient te worden dat mechanische eigenschappen en geometrische toleranties worden gerealiseerd**, ten minste beoordeeld in meest ongunstige locatie in constructie (rekening houdend met: invloed van additieven en productieproces en afname van eigenschappen gedurende de levensduur).

Naast dat men zich in het algemeen dient te houden aan de EN 1990, vindt men bijkomend in de CUR96 (§2.3 p25-27) dat men in het ontwerp ook volgende aspecten zeker niet uit het oog mag verliezen:

- **belastingeffecten door montage en installatie** (cf. EN 1991-1-6);
- **zettingen** (als opgelegde vervormingen, rekening houdend met kruip en relaxatie);
- **thermische belastingeffecten** (belastingen die ontstaan door verhinderende alsook impact op materiaaleigenschappen, aanbevelingen om het thermisch model voor staaldek te gebruiken);
- **water(damp) en chemicaliën** (afname van sterkte en stijfheid (langzaam en deels irreversibel) cf. tevens EN 13121 voor chemische resistentie van harsen);

- **brand** (eisen bv. met betrekking tot ontwikkeling van rook, gassen en de benodigde evacuatie tijd);
- **quasi-blijvende belastingen en voorspanning** (optreden van kruip, spanningsrelaxatie en kruipbreuk). Aandachtspunten in functie van het type vezels alsook harsdominantie ja of nee;
- **impact en stootbelastingen.**

Voor wat het toepassen van het thermisch model voor het staaldek op het VVK-brugdek betreft, dient hierbij wel een randbemerking gemaakt te worden. Er werd immers tijdens een 48 urenmeting, uitgevoerd op het VVK-brugdek te Brugge (Canadabrug), vastgesteld dat een temperatuurgradiënt van ± 50 °C werd ontwikkeld in het dek. Dit is hoger dan bij een staaldek, waarbij er bovendien vooral een sterke opwarming/afkoeling van de bovenkant van het dek plaatsvindt. Er dient hierbij opgemerkt te worden dat het gaat over een moment opname, nl. een éénmalige meting (in juni 2020), en een meting op slechts 1 type VVK-dek. Er kan dus geen algemeen geldende regel uit getrokken worden. In de wetenschappelijk literatuur (voornamelijk uit de VS) worden evenwel ook voor andere VVK-dektypen temperatuurgradiënten van rond de 60°C gemeld. In Bijlage H van deze Whitepaper kan meer informatie teruggevonden worden over de proefcampagnes uitgevoerd op de Canadabrug te Brugge binnen het kader van het Tetra-project C-Bridge, alsook een literatuurstudie met betrekking tot de temperatuurgradiënt aanwezig in VVK-brugdek elementen.

Bijkomend vermeldt de CUR96 (§1.1 p11) ook de **toetsing in verschillende richtingen (ook deze zonder vezelversterking)**. Bezwijkvormen tussen lagen, zoals interlaminaire afschuiving, bezwijken door pelbelastingen en delaminaties dienen ook beschouwd te worden.

In het ontwerp dient volgens de CUR96 ten minste rekening gehouden te worden met volgende details (§9 p117-p119):

- verbindingen
- (geconcentreerde) krachtleidingen
- abrupte dikteveranderingen en stijfheidsovergangen
- gaten en uitsnijdingen
- laminaatopbouw
- splices (lamelleinden in een laminaat)
- bochtstralen
- combinaties van materialen in een laminaat of verbinding
- galvanische corrosie⁴
- slijtagebescherming of toeslagen
- imperfecties in het laminaat

Details moeten volgens de CUR96 ook zijn **ontworpen rekening houdend met alle mogelijk optredende geconcentreerde inleidende krachten tijdens fabricage, montage, gebruik en onderhoud van de VVK-constructie**. Tevens moet bij het ontwerp van details rekening worden gehouden met **spanningsconcentraties bij gaten en uitsnijdingen. Waar wrijving optreedt, moet VVK worden**

⁴ In het bijzonder een aandachtspunt bij gebruik van koolstofvezels.

beschermd tegen slijtage, bijvoorbeeld door een bescherming met een ander materiaal of het toepassen van een VVK-opofferlaag (§9 p117-p119).

In voorliggende voorbeeldbestekteksten konden volgende concrete omschrijvingen in die zin teruggevonden worden:

In Bijlage B:

1. De te berekenen, te tekenen en aan te brengen bruggen dienen te voldoen aan de op de Bestekstekeningen aangegeven vormgeving, afmetingen en niveau's. Hiervan mag niet worden afgeweken.
2. De te berekenen en te tekenen bruggen dienen te worden gedimensioneerd op de navolgende belastingen en randvoorwaarden:
 - De fiets-voetgangersbruggen moeten minimaal voldoen aan de belastingen conform NEN 1991-2 incl. NB.
 - De leuningen moeten minimaal voldoen aan een lijnlast van 3 kN/m1 volgens NEN-EN 1991-2 artikel 4.8.
 - Maximale zakking gedurende de levensduur van op staal gefundeerde bruggen 10 mm (gemeten t.o.v. de in het gebied geldende achtergrondzetting).
 - Maximale doorbuiging (directe respons) onder veranderlijke belasting dient kleiner of gelijk te zijn aan 1:100 van de overspanning;
 - Dilataties in de leuningen door aannemer te bepalen, leuning mag niet onder druk komen te staan t.g.v. van zakking onder maatgevende belastingcombinatie (BGT), Hierin dient kruip onder de permanente belasting en de directe respons onder de veranderlijke belasting te worden verdisconteerd.
 - Hoofddraagconstructie composiet, integraal dek.
3. Bij het berekenen van de bruggen dienen de volgende normen te worden gebruikt:
 - NEN-EN 1990/A.2 Grondslagen van het constructief ontwerp, bijlage A.2.Toepassing op bruggen,
 - NEN-EN 1991-1-1 Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigen gewicht, opgelegde belastingen voor gebouwen,
 - NEN-EN 1991-1-4 Algemene belastingen - Windbelasting,
 - NEN-EN 1991-1-5 Algemene belastingen - Thermische belasting,
 - NEN-EN 1991-1-6 Algemene belastingen - Belasting tijdens uitvoering,
 - NEN-EN 1991-2 Verkeersbelasting op bruggen,
 - NEN-EN 1992 Ontwerp en berekening van betonconstructies,
 - NEN-EN 1993 Ontwerp en berekening van staalconstructies - Algemene regels,
 - NEN-EN 1995-2 Ontwerp en berekening van houtconstructies - Deel 2: Bruggen
 - NEN-EN 1997 Geotechnisch ontwerp,
 - De CUR 96; 2003 Vezelversterkte kunststoffen in civiele draagconstructies,
 - JRC EUR 23984 EN Design of lightweight footbridges for human induced vibrations (2009) (TC2 en CL2),
 - NEN-EN 13706 Reinforced plastics composites - Specifications for pultruded profiles.

Tevens in Bijlage B:

4. In de berekeningen dienen de volgende levensduren te worden gehanteerd:

- funderingsconstructie (op staal / palen) 50 jaar;
- landhoofdconstructies 50 jaar;
- brugdekconstructies (draag- en dekconstructie) 50 jaar;
- leuningconstructies staal/hout 50/25 jaar;
- slijtlaag 10 jaar;

5. De berekeningen dienen eenduidig en op een dusdanige wijze te zijn opgebouwd dat de invoer en berekeningsresultaten (inclusief tussenstappen) zijn te toetsen (het krachten spel dient helder te zijn). In het geval van specifieke berekeningssoftware dient een schriftelijke toelichting te worden gegeven van de werking van het programma (berekeningsmethode). In de berekeningen dienen in een overzicht van de gehanteerde normen te zijn vermeld. Bij invoer van gegevens en / of gehanteerde toetsingswaarde moet de norm en het desbetreffende artikel waarop deze waarden zijn gebaseerd worden vermeld.

6. De berekeningen dienen minimaal de volgende gegevens/ berekeningen te bevatten en duidelijk te onderscheiden;

- alle oplegreacties;
- alle vervorming, zowel horizontaal als verticaal;
- bezwijkanalyse gebruikt materiaal;
- dynamische analyse;
- laminaatopbouw;
- gebruikte materialen;
- alle verbindingen dienen constructief aantoonbaar gemaakt te worden dat wordt voldaan aan het gestelde in deze besteksbrief.

Selectie uit Bijlage F:

57	COMPOSITCONSTRUCTIES
57 1	Algemeen
57 12	EISEN EN UITVOERING
57 12 02	PROGRAMMA VAN EISEN COMPOSIT BRUGGEN
01	Van de op de tekening aangegeven vormgeving, uiterlijk en hoofdafmetingen (lengte, breedte, hoogte van de bovenkant brugdek en doorvaarhoogte) mag niet worden afgeweken.
04	De maximale doorbuiging (directe respons) onder veranderlijke belasting dient kleiner of gelijk te zijn aan 1:100 van de overspanning.
05	De minimale eigenfrequentie van het dek >4,0 Hz (onbelast, zonder leuning).
07	Het brugdek dient integraal onderdeel uit te maken van de draagconstructie.
09	Het composiet moet bestaan uit thermohardende (kunststof)hars, versterkt met glas- of koolstofvezels. Het dek mag versterkt worden met inserts om een mogelijke inklemming van het dek op de landhoofden op een goede wijze mogelijk te maken, waarbij delamineren van de constructie is uitgesloten.
10	De hars voor het dek moet voor minimaal 20% bestaan uit bio-hars die niet ten kosten gaat van de voedselketen.
11	De composietbrug dient brandbestendig te zijn. Brand (onder andere brandstichting) mag geen bezwijkmechanisme zijn.
12	Vandalismebestendige constructies en materialen toepassen.
13	Niet corroderende materialen toepassen.
17	Tussen het constructieve composiete dek en de slijtlaag moet een 3 mm dikke alarmrode alarmlaag worden aangebracht die constructief niet meegenomen mag worden in de berekening. Minimaal 20% vezels in de alarmlaag.
18	Bochtstralen van de vezels moeten zo ontworpen worden dat ze niet leiden tot vezelbreuk en/of vezelplooiën.
23	Dilataties in de op/aan te bouwen staalconstructies dienen door aannemer te bepaald te worden; de op/aan te bouwen staalconstructies mogen niet onder druk komen te staan ten gevolge van zakking onder maatgevende belastingcombinaties (BGT). Hierin dient kruip onder de permanente belasting en de directe respons onder de veranderlijke belasting te worden verdisconteerd. SLS berekenen in overeenstemming met CUR 96.
26	Alle niet vervangbare onderdelen van het dek moeten 100 jaar meegaan.
28	Impactbelasting: - Resistent tegen een impactbelasting .

Wat betreft eisen naar toelaatbare doorbuigingen, trillingen, ontwerplevensduur (van dek en slijtlaag) zijn deze zeer variabel en afhankelijk van het voorliggend project. In de tabel hieronder wordt een overzicht gegeven van de verschillende opgenomen eisen hieromtrent in de verschillende voorbeeld bestekteksten.

	Bijlage B	Bijlage D*	Bijlage F
Bruikbaarheidsgrenstoestand			
Doorbuiging	l/100	l/300	l/100
Trillingen	TC2/CL2**	/	> 4 Hz
Ontwerplevensduur			
Brugdek	50 jaar	100 jaar	100 jaar
Slijtlaag	10 jaar	3 jaar	15 jaar

* *Betreft een beweegbare verkeersbrug, terwijl beide andere beschouwde voorbeeldbestekteksten betrekking hebben op voetgangers- en fietsersbruggen.*

** *Is een classificatie uit het JRC EUR 23984 EN document "Design of lightweight footbridges for human induced vibrations (2009)*

3.3 Duurzaamheid

De CUR 96 vermeldt (§1.1 p11 en §2.1.3.2 p24) ook dat er met omgevingscondities en tijdsafhankelijkheid niet enkel rekening moet gehouden worden in het ontwerp, maar ook in de materiaalkeuze, vezelrichtingen en oppervlaktebescherming.

In rekening te brengen aspecten met betrekking tot duurzaamheid zijn volgens de CUR96 in het bijzonder (§2.1.3.2 p24 & §2.4.5 p31 - p34 & §3.3 p39 & §4.2 p51 - p53):

- chemische en fysische omstandigheden (UV, temperatuursinvloeden, damp, water en chemicaliën)
- tijdsafhankelijke invloeden (kruip, spanningsrelaxatie, slijtage)
- vermoeiing
- buitengewone belasting en belastingssituaties (impact, blikseminslag/statische oplading, combinatie van (impact)schade en vermoeiing, brand, vandalisme)
- inspectie en onderhoud

Een deel is opgenomen onder de vorm van conversiefactoren voor stijfheid en sterkte in het ontwerp in de CUR96 (o.a. temperatuur, (water)damp). De CUR96 voorziet evenwel ook bijkomende maatregelen die genomen kunnen worden, zoals:

- gelcoat, topcoat, laklaag, UV-bestendige hars, UV-absorbers, ... (UV)
- oppervlaktebescherming (coating of chemische barrièrelaag) en bij zaagsnede kopse kanten afwerken met een waterdichte coating (water(damp) en chemicaliën)
- T_g van de onversterkte hars moet minstens 20°C boven de maximale gebruikstemperatuur van de constructie liggen
- periodieke reiniging of anti-fouling coating (tegen algengroei bij blootstelling aan water(damp))
- toepassing van brandvertragende harsen, brandvertragende vulstoffen of aanbrengen van brandvertragende coating

In voorliggende voorbeeldbestekteksten kunnen oa. volgende concrete omschrijvingen in die zin teruggevonden worden:

In Bijlage B:

- De uiteinden van de composietonderdelen, bijv. zaagsnedes, dienen afgewerkt te zijn met hars. Zichtbare laminaat beëindigingen zijn niet toegestaan;
- Alle oppervlakken van de composietonderdelen dienen glad te zijn. Uitstekende vezels en schilfers zijn niet toegestaan;

In Bijlage F:

57 14 01 OMGEVINGSINVLOEDEN COMPOSITIE BRUGGEN

- 01 Het composietdek moet gedurende de levensduur van de brug beschermd zijn (eventueel te onderhouden) tegen de navolgende omgevingsinvloeden:
- Bestendig tegen UV (foto-oxidatieve veroudering)
 - Bestendigheid tegen vocht zoals zwellen en krimp onthechting vezelhars interface door hydrolyse (ycv = minimaal 1,1 en bij contact met grondwater 1,25)
 - Bestendig tegen windinvloeden (vermoeiing en abrasieve aantasting)
 - Bestand tegen regenwater (osmose en hydrolyse)
 - Bestand tegen doozouten
 - Bestand tegen sneeuw (-belasting)
 - Bestand tegen vorst (stukvriezen)
 - Bestand tegen temperatuur (-variaties, thermo-oxidatie, veroudering en vermoeiing). De DHDT dient ten minste 40 graden Celsius hoger te liggen dan de maximale gebruikstemperatuur.
 - Bestand tegen temperatuurgradiënten.

3.4 Materiaalproeven

De CUR96 detailleert een proef ondersteund ontwerp, waarbij minimaal volgende materiaaleigenschappen via proeven bepaald dienen te worden cf. Bijlage B van de CUR96 (binnen het kader van kwaliteitscontrole):

- treksterkte, elasticiteitsmodulus en breukrek (via trektest)
- interlaminaire schuifsterkte (via ILSS test)
- glasovergangstemperatuur (via T_g test)

Cf. §2.4.4.2 (p29) dient dit **steeds** bepaald worden (onder de productieomstandigheden zoals het geval in het beschouwd project), zelfs indien reeds bepaald voor andere projecten. In de CUR 96 wordt ook in dezelfde paragraaf aangehaald dat indien **bijkomende** proeven uit voorgaande projecten worden gebruikt, deze aan volgende randvoorwaarden dienen te voldoen:

- zelfde hars en vezels gebruiken, alsook hetzelfde proces en onder dezelfde omstandigheden geproduceerd
- voor hars gedomineerde eigenschappen (bv. druksterkte, sterkte dwars op een vezelrichting, afschuifsterkte en ILSS) dient vastgesteld te zijn dat op de vezel eenzelfde sizing is aangebracht.
- een ander vezelvolumegehalte mag gebruikt worden, maar dan dient hiervoor gecorrigeerd te worden.

In Bijlage B (§B.4) worden ook zeer kort constructietesten aangehaald. Zo geeft de CUR96 aan dat het (faal)gedrag van specifieke constructiedetails mag worden bepaald uit testen op full-scale proefstukken, geschaalde proefstukken en (sub)componenten. Bij de interpretatie van testresultaten moeten de effecten van schaling of afwijkingen ten opzichte van de werkelijke gebruikssituatie worden verdisconteerd. Er wordt ook aangehaald dat omgevingscondities (in het bijzonder temperatuur) niet verwaarloosbaar kunnen zijn en dus zeker steeds in rekening genomen dienen te worden.

In voorliggende voorbeeldbestekteksten konden o.a. volgende concrete omschrijvingen i.v.m. materiaalproeven en constructietesten teruggevonden worden:

In Bijlage G:

(zie ook uittreksel van Fabricage protocol van dit bestek voor korte vermelding materiaalproeven opgenomen in §3.6 van deze Whitepaper)

47 45 01 Proefbelasting

- 01 Indien de vooraf berekende doorbuiging en eigen frequentie met 10% of meer wordt overschreden dient de aannemer een beschouwing te doen waaruit blijkt dat de brug voldoet aan de gestelde criteria betreffende sterkte en comfort. Als de brug daar niet aan voldoet wordt deze niet afgenomen. Voordat een nieuwe brug mag worden geproduceerd dient de oorzaak te worden bepaald en mitigerende maatregelen dienen te worden verwerkt in een nieuw fabricageprotocol dat ter goedkeuring aan de directie wordt voorgelegd. Hetzelfde geldt indien de brug bezwijkt tijdens de proefbelasting.
- 02 De proefbelasting dient te worden uitgevoerd op brug P170 (aan te brengen in gebied Rozenburg).
- 03 De proefbelasting dient in de fabriek te worden uitgevoerd met gelijkmatig verdeelde belasting conform NEN-EN 1991-2 hst. 5
Gemeten moet worden in real time: doorbuiging zonder belasting, doorbuiging met belasting en eigen frequentie met en zonder belasting.
De opleggingen tijdens de proef moeten zuivere rolopleggingen zijn.
Vooraf dient de aannemer de doorbuiging van de belaste brug te voorspellen/ te berekenen en tijdens de proef te vergelijken met de gemeten doorbuiging.
Tevens dient de aannemer de eigen frequenties te voorspellen.
- 04 De aannemer dient van de gehele proefbelasting een duidelijke rapportage te maken en digitaal over te dragen aan de directie.

In Bijlage D:

4.3.1.4 Beproeving

Er moet worden aangetoond dat de uitgangspunten en berekeningen voor de materiaaleigenschappen van het composiet worden zijn gerealiseerd in het eindproduct.

Dit mag zijn aangetoond door:

- beproevingen op het eindproduct waarbij de proefstukken uit het eindproduct zelf worden gehaald.
of:
- beproevingen uit een vergelijkbaar proefstuk waarbij de het productieproces in overeenstemming met het eindproduct moet zijn. Van de proefstuk moet een fabricageplan worden gemaakt in overeenstemming met de eisen in deze omschrijving, waarbij tevens de kwaliteitscontrole wordt uitgevoerd in overeenstemming met het eindproduct.
of:
- full-scale test. Waarbij de buiging wordt gemeten bij een testload vergelijkbaar met de belasting in de bruikbaarheidsgrenstoestand en waarbij de eigenfrequentie van de brug wordt gemeten.

Indien lijm en of boutverbinding in de hoofdconstructie worden toegepast moeten hierop full-scale testen worden gedaan op bezwijken in uiterste grenstoestand en op vermoeiing.

Bij het uitvoeren van materiaalproeven moeten minimaal 5 proefstukken worden getest.

De beproevingen moeten conform de CUR-96 par. 10 worden uitgevoerd door een daar toe bevoegde instantie.

Indien materiaalproeven worden gedaan van een composietplaat (matrix met een aantal vezellagen opbouw) moeten dit trekproeven zijn die in de voornaamste vezelrichting en in dwarsrichting van de voornaamste vezelrichting worden uitgevoerd.

Indien materiaalproeven worden gedaan van een sandwich constructie moeten deze 3-punts buigproeven zijn.

Bij materiaalproeven moet tevens het gewichtspercentage van de glasvezel worden bepaald met een brandproef van de matrix.

3.5 Verbindingen

De CUR96 stelt in §8.1 (p97) dat **verbindingen robuust ontworpen moeten worden**, zoals bedoeld in artikel 2.1 van EN 1990. Indien er sprake is van bros bezwijken van een verbinding, zoals bij lijmverbindingen of bij boutverbindingen anders dan op vlaktedruk (= stuikdruk), **dient een tweede draagweg voorzien te zijn als bezwijken van de verbinding leidt tot (overschrijdend) bezwijken van de constructie. De werking van een verbinding moet door validatie of testen zijn aangetoond.** Testen zou evenwel achterwege mogen worden gelaten indien gebruik wordt gemaakt van testgegevens van eerder uitgevoerde, gevalideerde testen op vergelijkbare verbindingen, getest onder vergelijkbare belastingscondities.

Het effect van thermische spanning dient te worden beschouwd volgens de CUR96 (§8.1 p96) voor alle verbindingen en interfaces (in het bijzonder voor verbinden van VVK met materiaal met andere thermische uitzettingscoëfficiënt). Bovendien stelt de CUR 96 ook dat **verbindingen zo min mogelijk moeten worden blootgesteld aan water(damp)** en worden beschermd tegen vochtindringing.

3.5.1 Lijmverbindingen

In de CUR96 staan details over hoe het ontwerp van lijmverbindingen dient te worden uitgevoerd. Hieronder volgen enkele aandachtspunten waarvan een voorschrijver best op de hoogte is bij het opmaken van het bestek (cf. §8.2 p98 – p100), nl.:

- volgende eigenschappen hebben een invloed op de sterkte en dienen in het ontwerp te worden gespecificeerd:
 - o gebruikte materialen
 - o oppervlaktebehandeling (cf. ook specificaties producent)
 - o aanbrengmethode en uitharding van lijm (o.a. druk en omgevingscondities, dikte, ...) (cf. ook specificaties producent)
 - o geometrie van de lijmverbinding
- voorgaande parameters moeten in het lijmproces afdoende zijn geborgd en moeten zo constant mogelijk worden uitgevoerd;
- de lijmverbinding(en) moet(en) getoetst worden op:
 - o bezwijken van laminaat
 - o bezwijken van lijmverbinding (schuifspanning en pelspanning)
- pelspanningen (trekspanningen loodrecht op het gelijmde vlak) in lijm- of lamineerverbindingen moeten door de geometrie van de lijmverbinding worden voorkomen of geminimaliseerd (primaire belasting zijnde afschuiving) (cf. Bijlage G1 van de CUR96);
- bij warmtehardende lijmen of thermoplastische lijmen mag de temperatuur tijdens de uitharding de maximale gebruikstemperatuur van het laminaat niet overschrijden;
- de maximale gebruikstemperatuur van de lijm moet 20°C hoger liggen dan de maximale gebruikstemperatuur van de constructie.

3.5.2 Mechanische verbindingen

In de CUR96 staan eveneens details over hoe het ontwerp van mechanische verbindingen dient te worden uitgevoerd. Hieronder volgen enkele aandachtspunten waarvan een voorschrijver best op de hoogte is bij het opmaken van het bestek (cf. §8.3 p101 – p116), nl.:

- CUR 96 aanbevelingen is bedoeld voor bout (klinknagel) verbindingen geen schroefverbindingen daar deze aanleiding kunnen geven tot de initiatie van interlaminaire scheuren. Bouten in een boutgat mogen om dezelfde reden ook niet dragen op de schroefdraad, tenzij de schroefdraad wordt gevuld met een hard, drukvast materiaal, waarbij de kerfinitierende werking van de schroefdraad wordt voorkomen.
- Er mag niet gerekend worden op sterkte winst door het voorspannen van bouten anders dan de kracht die ontstaat door "handvast" aandraaien, tenzij door middel van testen is aangetoond dat dit ook gegarandeerd kan worden. (incl. relaxatie over levensduur)
- In ontwerp dient gestreefd te worden naar een hoge mate van opsluiting van laminaat, bijvoorbeeld door het toepassen van sluitringen en het gecontroleerd aandraaien via momentsleutel (door relaxatie is handmatig aandraaien op termijn niet voldoende). Toepassing van sluitringen in "handvast" aangedraaide boutverbinding kan de sterkte van de verbinding met een factor 2 doen toenemen.
- Volgende eigenschappen hebben een invloed op de sterkte en moeten in het ontwerp worden gespecificeerd:
 - o omschrijving van het laminaat (materiaal, opbouw, dikte)
 - o verbindingsmiddel (type, materiaal, boutdiameter(s), type sluitring, type bus)
 - o geometrie van de verbinding (breedte, overlappende lengte, # bouten, boutconfiguratie, wel of niet verzonken (incl. geometrie boutkop), randafstanden en breedte, asymmetrie, bout-gat tolerantie(s), gebruik sluitringen en/of voorspanning en/of bussen)
- Voorgaande parameters moeten in het assemblageproces afdoende geborgd zijn en moeten zo constant mogelijk worden uitgevoerd.
- Metalen bouten en ringen in boutverbindingen moeten worden uitgevoerd conform EN 1993-1-8 (staal) of EN 1993-1-4 (roestvaststaal).
- De boutverbinding(en) moet(en) getoetst worden op:
 - o bezwijken van bout (cf. EN 1993-1-4 of EN 1993-1-8)
 - o bezwijken van het laminaat (in en uit het vlak, nl. stuik, netto sectiebreuk, uitschuifbreuk, splijtbreuk, knik van het laminaat ter hoogte van drukzijde van het boutgat, interlaminaire afschuiving, alsook vermoeiing)
- **Metalen bevestigingsmiddelen met een beschermende bekleding** mogen in de buitenlucht toegepast worden **indien ze inspecteerbaar en vervangbaar zijn**. In andere gevallen dienen bevestigingsmiddelen in buitenlucht uit corrosiebestendig materiaal te worden uitgevoerd.
- **In het geval van koolstofvezelversterkte constructies moet een isolatie worden toegepast** om galvanische corrosie te voorkomen.

In voorliggende voorbeeldbestekteksten kunnen o.a. volgende concrete omschrijvingen in die zin teruggevonden worden m.b.t. de verbindingen:

In Bijlage B:

7. De toe te passen materialen dienen aan de volgende eisen te voldoen;

- Composiet;

- Gelijmde verbindingen dienen te voldoen aan berekende krachten op deze lijmvverbindingen.;
- Hierbij dient rekening te worden gehouden met mogelijke pelefecten en trekspanningen in de lijmvverbinding onder de voorgeschreven belastingen en met meest ongunstige belastingconfiguratie;
- In geval een lijmvverbinding noodzakelijk is voor de hoofddraagweg van een constructie dient een secundaire draagweg te worden voorzien;
- Gelijmde verbindingen mogen in het werk worden uitgevoerd. De verbindingen dienen in onder geconditioneerde omstandigheden te worden gemaakt, conform de productspecificaties van het lijmproduct. Indien condities niet zoals voorgeschreven kunnen worden geconditioneerd dient de kwaliteit van de lijmvverbindingen middels ten minste drie (3) proefstukken worden bewezen. Condities waaronder deze proefstukken worden gemaakt dienen gelijk te zijn aan de condities op het werk;
- Geboute verbindingen dienen te voldoen aan krachten. In geval een boutverbinding noodzakelijk is voor de hoofddraagweg van een constructie dient een secundaire draagweg te worden voorzien;
- Geboute verbindingen mogen in het werk worden uitgevoerd. Het boren, pasmaken en nabehandelen van de bewerkte onderdelen dienen onder geconditioneerde omstandigheden te worden gemaakt;

In Bijlage D:

Bij het verlijmen van de composiet brugdek constructie aan de stalen dwarsdraggers moet de lijmlaag middels een vacuüminjectieproces worden aangebracht. Het verlijmen van composiet brugdelen onderling in de hoofddraagconstructie moet zoveel mogelijk worden voorkomen. Indien verlijmen onvermijdelijk is of door het gekozen productieproces niet wenselijk moet de lijmvverbinding op sterkte worden aangetoond en beproefd zoals omschreven in par. 4.3.1.4

Blijvende boutverbindingen tussen constructieve onderdelen van de brug moeten dusdanig worden geborgd dat verbindingsvlakken verbonden blijven en bouten niet los kunnen raken (voldoende borging). Voorgespannen boutverbindingen moeten zodanig worden uitgevoerd dat kan worden gegarandeerd dat de klemspanning einde levensduur groter is dan de aangenomen waarden in de berekening. Stuikspanningen moeten zo laag gehouden worden dat er geen ovalisering van het gat optreedt. Boutverbindingen kleiner dan M12 zijn niet toegestaan. Bij het toepassen van verbindingen in het composiet voor bijvoorbeeld bouten, doken of hijsvoorzieningen mag een composietconstructie niet lek zijn. De kernen moeten ter plekke massief (volledig composiet) zijn bij doorgaande gaten voor boutbevestigingen. Boutverbindingen moeten te (de)monteerbaar zijn. Indien boutverbindingen in de hoofddraagconstructie wordt toegepast moet deze op sterkte worden aangetoond en beproefd zoals omschreven in par. 4.3.1.4

3.6 Realisatie

In de CUR96 kunnen volgende bepalingen met betrekking tot de realisatie worden teruggevonden:

- De procedures voor productie, uitvoering en montage moeten schriftelijk vastgelegd zijn.
- Personeel moet voldoende ervaring en expertise hebben in de materie.
- Kwaliteitsplan, voor de productie dient vastgelegd te worden:
 - o vereiste relevante karakteristieke eigenschappen
 - o uit te voeren testen
 - o uitvoerings- en ontwerpaspecten (vb. materialen, details, enz.)
 - o kwaliteitsplan voor de productie
- Productiecontrole dient volgende aspecten te omvatten:
 - o materiaalcontrole (oa. opslagcondities)
 - o procescontrole (oa. malcontroles, stop- en bijwoonpunten, omgevingscondities, vezellegging, uitharding)
 - o eindcontrole (oa. materiaal- en productiekwaliteit, geometrie)

Er dient ook een verslag opgemaakt te worden van al deze kwaliteitscontroles.

- VVK-constructies of componenten moeten worden uitgehard volgens specificaties van de harsleverancier. De uithardingstemperatuur moet worden beoordeeld over de gehele constructie door meting op een aantal vooraf vastgelegde en in een kwaliteitsplan vastgelegde representatieve punten. Dit is belangrijk voor het behalen van de gespecificeerde glastransitie temperatuur (T_g) in alle delen van de sectie van de constructie.
- Er dient aandacht besteed te worden aan het behalen van de geometrische toleranties en imperfecties dienen vermeden te worden.
- Specificatie voor de uitvoering van verbindingen (cf. vermeldingen §3.5.1 en §3.5.2 van deze Whitepaper).

In voorliggende voorbeeldbestekteksten kunnen o.a. volgende concrete omschrijvingen in die zin teruggevonden worden:

In Bijlage F:

4.1.3 Kwaliteitsborging.

Tijdens het gehele werk, dus vanaf de opdracht tot en met de oplevering, moet in het bedrijf een kwaliteitsdienst functioneren die onafhankelijk is van de productieafdelingen. Om de kwaliteit van het werk te bewaken en / of garanties te krijgen dat de gewenste kwaliteit aanwezig is dient de aannemer keuringen, controles en / of metingen te laten verrichten, zowel in de fabriek als ook op de bouwplaats. Deze werkzaamheden moeten worden uitgevoerd door daarvoor gekwalificeerd personeel en met daarvoor geschikte en geijkte apparatuur.

Tenzij anders overeengekomen of aangegeven in dit bestek moet de rapportage op een zodanig tijdstip geschieden dat de keuring, meting of controle van directiezijde geverifieerd kan worden. Indien uit de keuring blijkt dat niet voldaan wordt aan de bestek eisen of aan de door de directie goedgekeurde tekeningen, specificaties, procedures etc., dient de directie hierover direct te worden geïnformeerd.

Voordat met de productie van het werk wordt begonnen, moet de aannemer de directie een kwaliteitsborgingsplan verstrekken van door de aannemer zelf te verrichten keuringen tijdens het gehele bouwproces (tot deze keuringen moeten in ieder geval behoren de keuringen die in dit bestek vermeld zijn in de paragrafen 3.2, 3.3 en 4.4.10.1). De directie zal aan de hand van dit overzicht aangeven bij welke keuringen zij uitgenodigd wenst te worden. Er moet in ieder geval rekening gehouden worden met de volgende keuringen onderverdeeld naar bijwoon- en stoppunten. De directie moet minimaal 3 werkdagen voor de dag van een keuring op de hoogte gebracht worden van de te houden keuring.

omschrijving keuring	bijwoonpunt	stoppunt
controle materiaal voor de brugconstructie	X	
controle van de vezelleggingen voor het composiet		X
controle van de harsinjectie voor het composiet		X
maken van lijmverbindingen in het composiet		X
inmeten van de onderbouw (ankers, raakvlakken met bovenbouw)	X	
visuele inspectie van de staalconstructie in gehechte toestand	X	
controle lasonderzoek	X	
visuele inspectie van de volledig afgelaste staalconstructie		X
testen van luchtdichtheid van afgesloten ruimtes		X
inmeten van (onderdelen van) de bovenbouw	X	
visuele inspectie van montage draaipunten (assen / lagers)	X	
visuele inspectie en controle van gestraalde staalconstructie		X
controle van de 1 ^o conservering laag	X	
controle van de 2 ^o conservering laag		X
controle van de 3 ^o conservering laag	X	
controle van de 4 ^o conservering laag		X
visuele inspectie van de slijtlaag	X	
testen van lijmankers		X
voorspannen van voorspanankers	X	
visuele inspectie montage staalconstructie	X	
controle praktijkproeven bij inbedrijfstellen brug (SAT)		X

bijwoonpunt: De directie zal aangeven of ze aanwezig zal zijn. Het werk kan door gaan.

stoppunt: De directie moet hierbij aanwezig zijn. Het werk mag niet verder gaan dan na goedkeuring van de directie.

Wanneer tijdens de productie afwijkingen worden geconstateerd, hetzij door de aannemer zelf of door de directie, moet e.e.a. vastgelegd worden in een afwijkingsrapport met daarbij een voorstel voor hoe met de afwijking moet worden omgegaan. Het afwijkingsrapport moet ter goedkeuring bij de directie worden ingediend.

Vervolg in Bijlage F:

4.3 FABRICAGE.

4.3.1 Fabricage composiet brugdek

4.3.1.1 Fabricageplan.

De aannemer moet een fabricageplan maken die 1 week voordat de bestelling van de materialen plaats vindt moet zijn goedgekeurd door de directie. In het fabricageplan moeten minimaal de volgende onderdelen worden opgenomen:

- leggingsplan van de vezels waarin het aantal glasvezellagen is aangegeven inclusief de berekende huiddikten na uitharding;
- gehanteerde materiaaleigenschappen;
- toe te passen materialen van de vezel en matrixsamenstelling inclusief productbladen;
- de toe te passen hoeveelheden van de receptuur;
- de te berekende verwerkingstijd van de hars;
- vorm van de mal en geometrie van het eindproduct;
- kwaliteitscontrole van het productieproces.

4.3.1.2 Uitvoering.

Opslag en voorbereiding

De vezels en hars materialen moeten droog en in de daarvoor bestemde opslagcontainer worden opgeslagen. De glasvezels moeten goed droog zijn voordat deze worden aangebracht.

Mal

De mal moet dusdanig van vorm zijn dat er geen plooien in de vezelversterkingen kunnen ontstaan. De mal moet strak en glad zijn opdat er geen afdrukken van de mal in het eindproduct zijn te zien.

Legsels

De vezelversterking dient in de juiste volgorde te worden gelegd en gepositioneerd.

Er mogen geen plooien in de vezellagen zitten.

Overspannen van vezels over en in scherpe hoeken dient te worden voorkomen

Het aantal lagen en stapelvolgorde dient te worden geregistreerd en gecontroleerd.

Hars

De mengverhouding van de hars moet worden geregistreerd en gecontroleerd. Procescondities zoals tijd en temperatuur moeten worden vastgelegd.

Ontluchten van de hars wordt aanbevolen. Inmengen van lucht dient te worden vermeden.

Injectiepunten en afvoerkanaal

Eventuele harsinjectiekanalen in het product dienen aantoonbaar open te zijn voor injectie.

Afdekken/folie

De lektheid van de mal dient te worden geregistreerd en gecontroleerd met een meting van de druktoename gedurende 5 minuten met alle kranen gesloten. De druk mag gedurende 5 minuten niet afnemen.

Injectie

Tijdens de injectie moet er controle zijn op de harsstroom. De hars aanvoer mag niet opraken en mag niet worden onderbroken. Er mag geen lucht aangevoerd worden via het toestroomkanaal.

De periode tussen het einde van de injectie en het moment van uitharden dient zo bewaakt te zijn dat de kwaliteit van het laminaat gegarandeerd blijft en de vorming van luchtinsluitingen en vezel-matrix onthechting wordt voorkomen. Kleine droge plekken in laminaten mogen worden na geïnjecteerd.

Naharding

Het uitharden moet volgens de voorschriften van de hars producent gebeuren. Er mag past gelost worden na volledige uitharding van het product.

Vervolg in Bijlage F:

Afwerken

Het product moet na het aanbrengen van alle onderdelen en te boren gaten volledig worden voorzien van een coating.

4.3.1.3 Controle en kwaliteit van het productieproces

Tijdens het productieproces moet de directie in de gelegenheid worden gesteld om het productieproces te controleren. Er moeten de volgende stoppunten worden aangehouden:

- Begin eerste vezellegging;
- Laatste vezellegging, voor het sluiten van de mal, inclusief het injectiemoment;
- Maken van constructieve lijmverbindingen.

De directie wil in de gelegenheid worden gebracht om onder andere de volgende punten te controleren:

- opbouw van de vezels;
- toe te passen hulpmaterialen zoals injectieslangen, peelply laag, overloop hars etc.;
- luchtdichtheid van de mal;
- openheid van de injectiekanalen.

Tijdens de productie moet het productieproces worden gecontroleerd door een onafhankelijke kwaliteitsdienst. Dit mag een interne onafhankelijke kwaliteitsdienst zijn. Het productieproces moet worden bewaakt op de volgende punten:

- leggen van de vezels: juistheid van de opbouw;
- luchtdichtheid van de mal;
- aanmaken van de hars: mengverhoudingen, massa's, juiste inmenging;
- injectieproces: controle op voldoende aanvoer van de hars, tijdstippen en tijdsduur injectie, temperaturen en temperatuurverloop.

De te controle punten moeten worden vastgelegd in het fabricageplan.

Indien tijdens het injectieproces er uitval is van de hars moet het product als verloren worden beschouwd, bijvoorbeeld bij een stroomuitval daar waar geen noodstroomvoorziening is getroffen.

In Bijlage G:

47 43	Informatie-overdracht
47 43 01	Fabricageprotocol Composiet
01	<p>In het fabricage protocol composiet dient minimale de volgende zaken te worden vermeld :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Toe te passen materialen en hun verwerkbaarheid en (chemische)eigenschappen; - Kwalificaties in te zetten personeel; - Werkwijze waarbij omschreven wordt hoe gegarandeerd wordt dat: <ul style="list-style-type: none"> - de vezels juist worden gepositioneerd en de juiste hoeveelheden worden aangebracht; - de constructie vlak is; - geen luchtinsluiting plaatsvindt; - geen delaminatie optreedt. - Hoe het uithardingsproces wordt beheerst; - Uithardingsgraad van de hars dient te worden verantwoord; - Type hars koppelen aan EN13121; - Aangeven postcuring ja/nee en temperatuur waarbij eventuele postcuring is gedaan; - Tg bepalen op basis van 'peak tan delta' - Tg bepalen op basis van DMA test; - Verantwoording interface tussen hars en vezels en tussen topcoat en laminaat; - Productie-inrichting, verantwoording van verzorging van een constante temperatuur en minimaal te hanteren temperatuur van de productie-inrichting. Indien geen temperatuur wordt vastgesteld wordt een minimale temperatuur van 18 graden Celcius voorgeschreven. - Controle dikte van de gelcoat; - Controle Barcolhardheid; - Grondstoffen; types, batchnummers en controle houdbaarheidsdatum - Omschrijving kwaliteitsbewakingsproces; - Omschrijving beproeving volgens de CUR 96; 2013 (o.a bepaling Tg van de hars, Trektest en ILSS-test) te controle eindproduct.
47 43 02	Montageplan
01	Van de aannemer wordt een montageplan verlangd van de composiet onderdelen.
02	Dit montageplan composiet onderdelen wordt voor dit onderdeel aangemerkt als een gedetailleerd werkplan in de zin van paragraaf 26 lid 6 van de UAV 2012.
03	Het in te dienen werkplan dient minimaal 3 weken voordat de werkzaamheden starten ingediend te worden bij de directie ter goedkeuring. Zonder goedgekeurd werkplan mogen de montagewerkzaamheden niet starten.

3.7 Beheer, onderhoud & inspectie

In de CUR96 wordt ook aandacht besteed aan beheer, onderhoud en inspectie. In het bijzonder wordt volgende bemerking hieromtrent geformuleerd (§2.1.4 p24 en p25):

- **Onderdelen die gevoelig zijn voor corrosie, mechanische slijtage of vermoeiing** moeten zodanig ontworpen worden dat inspectie, onderhoud en herstelling mogelijk is.
- Indien de **constructie componenten bevat die vervangbaar zijn** (bv. opleggingen en voegovergangen), **dan moet de mogelijkheid van een veilige vervanging getoetst zijn als een tijdelijke ontwerpstoestand.**
- Indien onderhoud is voorzien waarbij een oppervlaktebewerking wordt toegepast zoals schuren of een andere mechanische bewerking, dient hier in het ontwerp rekening gehouden te worden, bv. door **toepassen van een opofferlaag** (eventueel ook aanbrengen van signaliseringslaag (ingekleurde laag)).

De CUR96 geeft ook aan dat een beheersplan en een onderhoudsplan opgemaakt dient te worden en dat deze minimum volgende aspecten dienen te omvatten:

- In het **beheersplan**:
 - o punten welke geïnspecteerd dienen te worden
 - o hoe de inspectie uitgevoerd dient te worden
 - o toetsingscriteria
- In het **onderhoudsplan**:
 - o welke onderdelen onderhoud behoeven
 - o waaruit het onderhoud bestaat, met welke middelen en op welke wijze
 - o de frequentie waarmee dit onderhoud uitgevoerd moet worden

4 CONCLUSIE

Gezien de grote nood aan informatie met betrekking tot het voorschrijven van vezelversterkte kunststoffen (VVK) voor de bruggenbouw in Vlaanderen, werd de ervaring uit Nederland hieromtrent, binnen het kader van het Tetra-project C-Bridge gebundeld in deze Whitepaper. De focus werd hierbij hoofdzakelijk gelegd op voetgangers- en fietsersbruggen in VVK, uitbreiding naar bv. verkeersbruggen is niet uitgesloten mits uiteraard bepaalde beperkingen en aanpassingen van de bepalingen.

Enkele Nederlandse voorschrijvers met ruime ervaring met dit nieuw bouw materiaal werden geïnterviewd, om te peilen naar hun concrete ervaringen en aanbevelingen voor de Vlaamse voorschrijvers die hun eerste stappen in de VVK-wereld zetten. Deze do's en don't, praktische ervaringen, aandachtspunten, enz. worden overzichtelijke samengevat in deze Whitepaper. Daarnaast worden de CUR96 (versie 2019) specifieke aanbevelingen naast enkele Nederlandse voorbeeldbestekteksten geplaatst om te evalueren hoe Nederlandse aanbesteders hier concreet in het verleden rekening mee hebben gehouden in hun bestekken. Er dient hierbij benadrukt te worden dat het niet het doel was om in deze Whitepaper een typebestektekst op te stellen noch te presenteren, evenwel de verschillende praktijkervaringen en "*lessons learned*" uit het buitenland overzichtelijk te bundelen, zodat Vlaamse bouwprofessionelen voldoende basiskennis en inspiratie hebben om zelf – met vertrouwen – een bestek te kunnen opstellen voor een dergelijk type brug, welk uiteraard aangepast is aan de specifieke context van het desbetreffende project. We verwijzen ook graag naar de **Whitepaper "Stappenplan Composietbruggen"** waar potentieel nieuwe voorschrijvers ook nuttige, bijkomende informatie kunnen terugvinden met betrekking tot het 'te volgen pad' in de aanloop naar het concreet schrijven van bestektekstbepalingen voor een VVK brug.

BIJLAGE A : PRESENTATIE WD SCHUTTE GEMEENTE ROTTERDAM

BIJLAGE B : BESTEK VAN GEMEENTE ROTTERDAM, "VERVANGEN BRUG M144 AAN DE RINGVAARTWEG", 2-W-11935-19

BIJLAGE C : PRESENTATIE R. RENTING PROVINCIE GRONINGEN

BIJLAGE D : BESTEK VAN PROVINCIE DRENTHE, "RECONSTRUCTIE N371; VERVANGEN PIJLEBRUG TE MEPEL", 1533

BIJLAGE E : BESTEK EN ONTWERPNOTA VAN PROVINCIE DRENTHE, "VERVANGEN SLUISDEUREN, SLUIS PEELO EN NIEUWEBRUGSLUIS", 1622

BIJLAGE F : BESTEK GEMEENTE AMSTERDAM, "BRUG ELZENHAGENSINGEL", AI 2018-0281

BIJLAGE G : BESTEK GEMEENTE ROTTERDAM, "AANBRENGEN VAN 3 BRUGGEN HOFWIJK", 2-081-17

BIJLAGE H : "BIJKOMENDE PROEVEN OP DE STROOMOPWAARTSE COMPOSITEN BRUG TE BRUGGE BINNEN KADER VAN TETRA PROJECT C-BRIDGE"