



# Stappenplan Composietbruggen

TETRA project C-Bridge

Deze Whitepaper werd opgesteld in het kader van het TETRA project C-Bridge en geeft een overzicht van de chronologisch te doorlopen stappen om tot een vezelversterkte kunststof brug te komen. Dit overzicht werd opgesteld op basis van de verschillende Whitepapers opgesteld in het kader van het TETRA project C-Bridge. Deze Whitepaper vat de voornaamste bevindingen samen in een overzichtelijke flowchart die de bouwprofessional zal ondersteunen om tot een goede VVK realisatie te komen.



## 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.

## 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 .....	3
2	Stappenplan voor een VVK brug .....	3
2.1	(pre-)Aanbestedingsfase .....	4
2.2	Ontwerpfase .....	8
2.3	Productie & uitvoeringsfase .....	10
2.4	Uitbatingsfase .....	12
3	Referenties .....	15

## LIJST MET FIGUREN

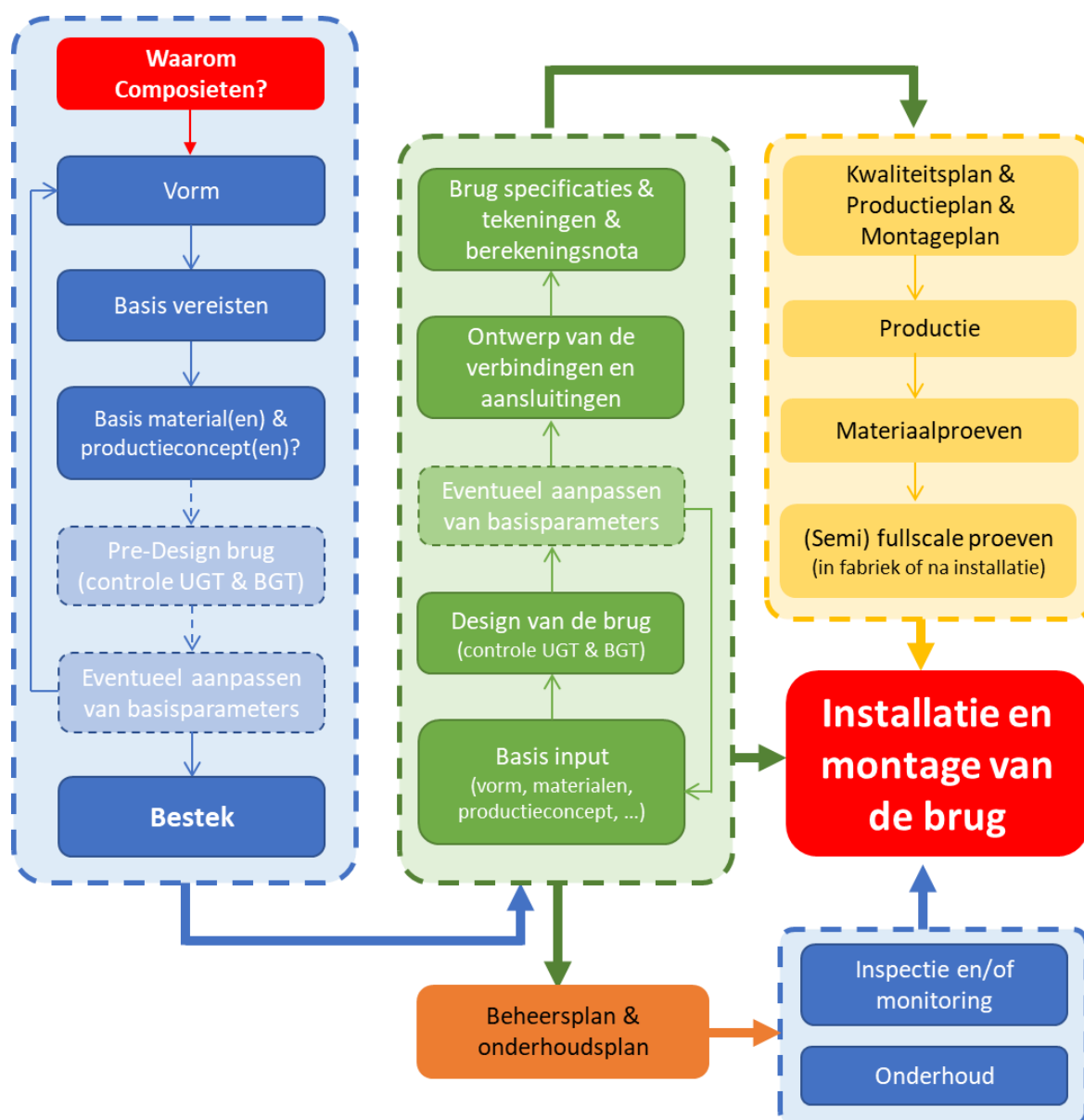
Figuur 1:	Stappenplan VVK bruggen.....	3
Figuur 2:	Stappenplan (pre-) aanbestedingsfase .....	4
Figuur 3:	Bevestiging van leuningen aan een VVK dek.....	5
Figuur 4:	Stappenplan ontwerpfase .....	8
Figuur 5:	Productie en uitvoeringsfase.....	10
Figuur 6:	Stappenplan uitbatingsfase.....	12
Figuur 7:	Enkele van de NDT's en de defecten die ze kunnen detecteren in VVK constructies .....	13
Figuur 8:	Voorbeeld van een Hand Held Electronic Tap Tester Unit.....	13

## 1 INLEIDING

Op basis van de verschillende ervaringen opgedaan in het Tetra-project C-Bridge, die gebundeld werden in verschillende Whitepapers (zie ook §4), werd een stappenplan ontwikkeld voor de realisatie van vezelversterkte kunststof (VVK) bruggen, welke een leidraad kan vormen voor toekomstige bouwprofessionelen met weinig of geen VVK ervaring. 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 STAPPENPLAN VOOR EEN VVK BRUG

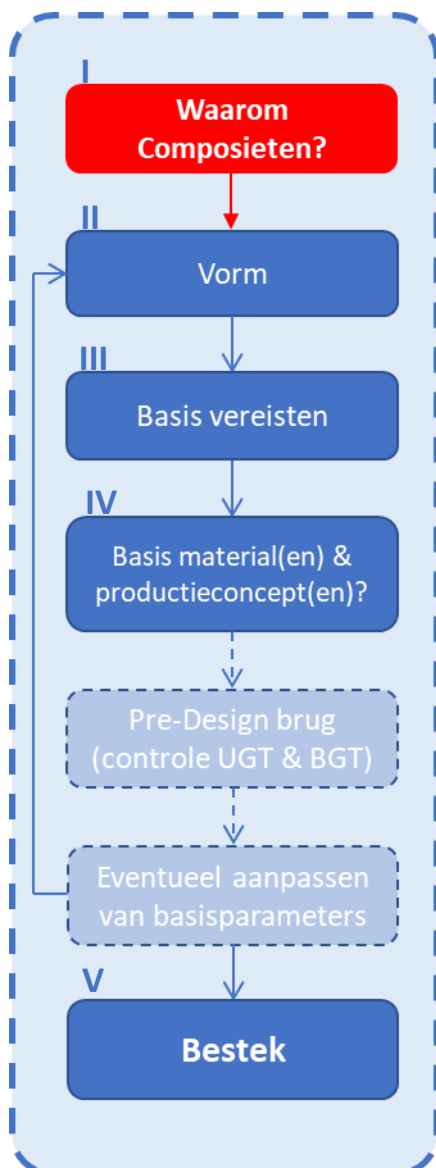
In Figuur 1 kan het voorgestelde stappenplan voor de realisatie van VVK bruggen teruggevonden worden in flowchart vorm. In wat hieronder volgt wordt elk onderdeel van deze flowchart kort toegelicht en worden ook de nodige referenties aangereikt voor verdere, diepgaande informatie.



Figuur 1: Stappenplan VVK bruggen

## 2.1 (pre-)Aanbestedingsfase

De stappen die doorlopen dienen te worden in de aanbestedingsfase worden overzichtelijk weergegeven in Figuur 2 en bestaan uit vijf basis stappen, die hieronder kort toegelicht worden.



Figuur 2: Stappenplan (pre-) aanbestedingsfase

### I. Waarom composieten?

Eerst dient men de afweging te maken of binnen de gegeven context een vezelversterkte kunststof brug een waardig alternatief vormt. Men dient immers realistisch te zijn, een volledig composieten (vezelversterkte kunststof) brug zal op materiaal-niveau steeds duurder zijn dan een vergelijkbare brug in traditionele bouwmaterialen zoals beton, staal of hout. Evenwel dient men het geheel te bekijken. Zo kunnen in een heel aantal gevallen VVK een belangrijk voordeel bieden hetzij op korte termijn (hergebruik van bestaande funderingen of minder zware nieuwe funderingen, snelle plaatsing, enz.) hetzij op lange termijn (o.a. minder onderhoud, langere levensduur, enz.) en bijgevolg ook globaal gezien financieel competitief zijn. U vindt meer over dit topic in de **Whitepaper "Waarom composieten"**.

### II. Vorm

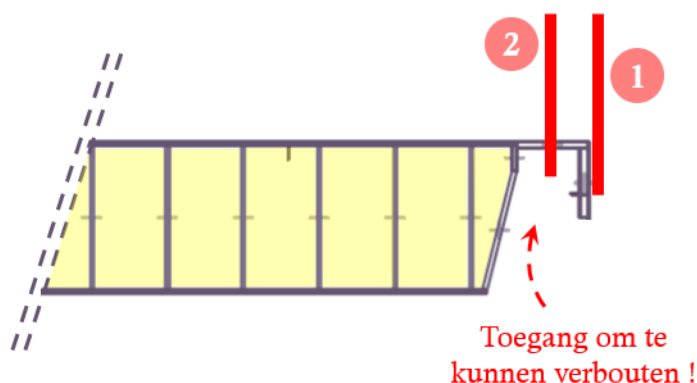
Wanneer de piste van een VVK brug weerhouden wordt, dient men bij het vastleggen van de vormgeving steeds rekening te houden met de eigenheid van composieten, bijvoorbeeld de typische opbouw, alsook de productiewijze van VVK's. De belangrijkste aandachtspunten zijn:

- (1) *Vermijden van scherpe hoeken*, dit kan immers leiden tot vezelplooien of zelfs vezelbreuk.
- (2) *Vermijden van 'te' beperkte hellingsgraden/peil*, men dient immers rekening te houden met een zekere tolerantie op het afgewerkte product. De warmteontwikkeling in de sectie tijdens de uitharding van een component kan immers verschillen van locatie tot locatie (door geometrie, schaal, aanwezigheid van isolatieblokken in de sectie, enz.), waardoor de componentvorm kan veranderen door 'spring-in' of 'spring-out' na het ontmallen van de component. Indien hier onvoldoende rekening mee wordt gehouden in het ontwerp kan dit tot afwateringsproblemen van het brugdek leiden. Dit laatste kan dan enkel met een extra

afhellende toplaag opgevangen worden, waarvan de levensduur sowieso minder is dan deze van het composietdek zelf.

*(Er dient bij de bepaling van de minimale hellingsgraad, bijkomend uiteraard ook rekening gehouden te worden met de lange termijn effecten, waarbij bv. de stijfheid van de VVK kan afnemen in de tijd. Dit aspect wordt tevens behandeld in de Whitepaper 'Ontwerpmethodes en softwarematige analysetechnieken')*

- (3) *Leg het uitzicht van de brug vast, en niet de contour.* Men moet immers rekening houden met hoe een VVK wordt geproduceerd alsook hoe verbindingen worden gerealiseerd. Om slechts één voorbeeld te geven, voor de bevestiging van leuning aan een composieten brugdek wordt vaak een overhangende rand voorzien (zie Figuur 3). Verankeringen kunnen immers moeilijk in de massa gerealiseerd worden (zoals bij bv. bij beton). Een composietdek is geen massief volume maar een volume bestaande uit (relatief) dunne huiden (en lijven) met interne holttes of isolatieblokken ertussen. Voor verbouting van bijvoorbeeld een leuning is een toegankelijke ruimte noodzakelijk en dit kan bv. gerealiseerd worden door een overhangende rand te voorzien.



Figuur 3: Bevestiging van leuning aan een VVK dek.

### III. Basis vereisten

In het algemeen dient als **basis voor het ontwerp** van VVK brugconstructies de **Eurocode NBN EN 1990:2002** gehanteerd te worden. In de aanbestedingsfase dient bepaald te worden:

- (1) *welk het voorziene gebruik en de beoogde levensduur is van het kunstwerk met bijhorende eisen naar uiterste grenstoestand (UGT) en Gebruiksgrenstoestand (GGT), bv. doorbuigingseis en trillingseisen;*
- (2) *aan welke omgevingsinvloeden en eventuele accidentele belastingen het kunstwerk mogelijk zal worden blootgesteld tijdens zijn voorziene levensduur, dit heeft immers een invloed op de duurzaamheid van een VVK-constructie, waarbij (naast ontwerpmatige aannames) eventueel bijkomende maatregelen dienen gedefinieerd te worden om componenten bijkomend te beschermen, en*
- (3) *welke de randvoorwaarden zijn qua inspectie, onderhoud en herstellingen gedurende de levensduur van het kunstwerk.*

De aanbesteder dient er zich van bewust te zijn dat om de *duurzaamheid van een VVK-constructie te kunnen garanderen* met volgende aspecten rekening dient te worden gehouden:

- a. Functie
- b. Omgevingsinvloeden
- c. Opbouw, eigenschappen en performantie van de materialen

- d. Geschiktheid van de verificatiemethoden
- e. Type verbindingen
- f. Kwaliteit en niveau van beheersing van de uitvoering
- g. Gepland onderhoud tijdens de levensduur
- h. Toepassing van beschermende maatregelen die aantasting van een eigenschap voorkomen of beperken,
- i. In het ontwerp opgenomen achteruitgang (vermindering) van een materiaal eigenschap over de levensduur ten gevolge van langetermijneffecten die kunnen optreden, dit kan o.a. onder de vorm van conversiefactoren voor bv. stijfheid en sterkte.

Qua omgevingsinvloeden kunnen onderstaande aspecten een invloed hebben op de duurzaamheid en ontwerplevensduur van de VVK constructie en dienen deze dus in het ontwerp van een VVK brug beschouwd te worden:

- a. Omgevingsinvloeden tijdens de levensduur, o.a.
  - i. UV
  - ii. Temperatuur
  - iii. Waterdamp, water, chemicaliën
- b. Tijdsafhankelijke effecten tijdens de levensduur
  - iv. Kruip
  - v. Slijtage
  - vi. Vermoeiing
- c. Accidentele belastingen, o.a.
  - vii. Brand
  - viii. Blikseminslag
  - ix. Impact
  - x. Explosie
  - xi. Transportfase
  - xii. Installatie/montage fase
  - xiii. Inspectie en onderhoud

*Onderdelen die onderhevig zijn aan degradatie, mechanische slijtage of vermoeiing dienen zo ontworpen te zijn dat inspectie, onderhoud en herstelling adequaat kunnen worden uitgevoerd. Alle componenten moeten toegankelijk zijn voor inspectie tijdens gebruik en onderhoud. Wanneer dit onpraktisch is, moet het ontwerp de geschikte beschermingsmaatregelen voorzien zodat de structurele achteruitgang als gevolg van degradatie een laag risico vormt.*

Voor concrete integratie van bovenstaande duurzaamheidsaspecten in het ontwerp (bv. conversiefactoren) en/of bijkomende maatregelen welke kunnen getroffen worden om de VVK constructie extra te beschermen, verwijzen we naar de CUR96 en het CIRIA C779 document, alsook de **Whitepaper "State-of-the-art Bestekteksten composietbruggen" van het Tetra project C-Bridge.**

*Doorbuigings- evenals trillingseisen dienen vastgelegd te worden door de aanbestedende overheid in functie van het voorziene gebruik. Deze dient zich er wel van te vergewissen dat voor VVK voetgangers- en fietserbruggen de gebruiksgrenstoestand (GGT) vaak de maatgevende ontwerptoestand is, welke de dimensionering/prijs van het kunstwerk sterk zal beïnvloeden! Op basis van de **rekentool ontwikkeld door het C-Bridge team** kan een eerste inschatting van impact van de parameterkeuzes gemaakt worden en kunnen deze eventueel bijgesteld worden (stappen in het licht blauw en met streeplijnen omgeven in Figuur 2).*

#### IV. Basis materialen & productieconcepten

De voorschrijver alsook de uitvoerder dient zich ten volle te vergewissen van de basismaterialen en productieconcepten beschikbaar op de Europese markt voor de productie van VVK brugconstructies.

- Voor een oplijsting van verschillende types harsen, vezeltypes alsook vezelarchitecturen (weefsels/stiksels en matten) die worden gebruikt, wordt verwezen naar de **Whitepaper 'Kennisvergaring en vertaling (State-of-the-art)'** (§1.1 t.e.m. 1.3).
- Voor de productietechnieken en productconcepten wordt eveneens verwezen naar de **Whitepaper Kennisvergaring en vertaling (State-of-the-art)** (§1.4) alsook de **Whitepaper 'State-of-the-art Bestekteksten voor composiet bruggen'**.

Een duidelijke definitie van wat verstaan wordt onder composieten is zeker aangewezen alsook welke onderdelen (bv. brugdek, leuning, enz.) onder deze definitie vallen.

*De aanbesteder dient er zich van bewust te zijn dat de CUR96 van toepassing is 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 en koolstofvezels met een thermohardende matrix van onverzadigd polyester-, vinylester- of epoxyhars.*

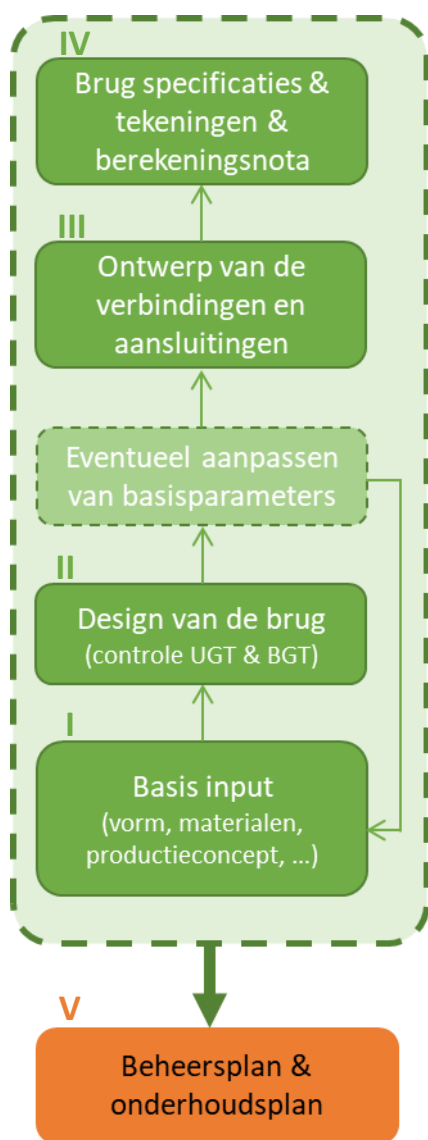
#### V. Bestekteksten

Alle voorgaande doorlopen stappen dienen vervolgens vertaald te worden naar een bestek. Voor de opbouw en aandachtspunten voor het bestek wordt verwezen naar de **Whitepaper 'State-of-the-art Bestekteksten voor composiet bruggen'**. In bijlage van deze Whitepaper kunnen eveneens enkele voorbeeldbestekteksten teruggevonden worden uit Nederland.



## 2.2 Ontwerpfase

Tijdens de ontwerpfase dient zowel het basisontwerp opgemaakt te worden (bepaling van de concrete opbouw van de composiet onderdelen) alsook de detaillering van de verbindingen, plaatsen waar spanningsconcentraties kunnen optreden (o.a. hijspunten) en aansluitingen met andere elementen. De stappen die doorlopen dienen te worden in de ontwerpfase worden overzichtelijk weergegeven in Figuur 4 en bestaan uit vijf basisstappen die hieronder kort toegelicht worden.



Figuur 4: Stappenplan ontwerpfase

### I. Basis input

In eerste instantie wordt een aftoetsing gemaakt van het bestek t.a.v. commercieel beschikbare oplossingen (productconcepten) alsook materiaalcombinaties en opbouwen (zie ook §2.1 stap IV). Deze vormen de input alsook de randvoorwaarden voor het design welk in de volgende stap zal worden uitgevoerd.

### II. Design van de brug

In deze stap zal de laminaatopbouw bepaald worden in functie van het gekozen productieconcept en -techniek en dit rekening houdend met alle basisvereisten opgenomen in het bestek (cf. §2.1 stap III). Meer informatie hieromtrent kan gevonden worden in de **Whitepaper 'Ontwerpmethodes en softwarematige analysetechnieken'**. Deze Whitepaper bespreekt de analytische berekening van een fietsers- en voetgangersbrug vervaardigd uit een VVK aan de hand van een rekenvoorbeeld voor een realistische situatie. In dit rekenvoorbeeld werd de CUR96:2019 gebruikt als basis voor de berekeningen. Meer informatie in verband met de CUR96 kan teruggevonden worden in de **Whitepaper 'Richtlijnen en Normen'**. In verband met de klassieke laminaattheorie, die de basis vormt voor de CUR96, de sterktecriteria en de schadefenomenen kan bijkomende informatie gevonden worden in de **Whitepaper Kennisvergaring en vertaling (State-of-the-art)** (specifiek in § 1.5 tot 1.7). Een eerste inschatting van het materiaalgebruik voor een composietbrug kan tevens gemaakt worden aan de hand van een handige **rekentool** welke ontwikkeld werd binnen het C-Bridge project.

Het spreekt voor zich dat het ontwerp van een constructie vaak een iteratief proces is, waarbij eventuele aanpassingen van de basisparameters doorgevoerd dienen te worden, om tot een optimaler ontwerp te komen. (stap in het licht groen en met streeplijnen omgeven in Figuur 4)

### III. Ontwerp van de verbindingen en aansluitingen

Onderdelen van de constructie waar zich spanningsconcentraties kunnen voordoen (van productie over installatie tot gebruik) o.a. ter hoogte van lijmverbindingen, boutverbindingen, oplegpunten, hijspunten, enz. vereisen extra aandacht en detaillering in de ontwerpfase.

Er kunnen verbindingen met andere materialen alsook verbindingen met andere composietonderdelen gerealiseerd dienen te worden. Het laatste dient tot een minimum beperkt te worden aangezien deze de constructie ingewikkelder, zwaarder alsook duurder maken.

De algemene werking en aandachtspunten voor lijmverbindingen en mechanische verbindingen worden toegelicht in de **Whitepaper Kennisvergaring en vertaling (State-of-the-art)** (specifiek in § 1.13.1 en 1.13.2). Voor de details met betrekking tot het ontwerp van deze verbindingen wordt verwezen naar de CUR 96:2019 en het EuCIA-document. Extra inspiratie kan ook gehaald worden uit andere documenten zoals o.a. het CIRIA-document. (cf. **Whitepaper 'Richtlijnen en Normen'**)

Men dient bij de detaillering ook rekening te houden met de thermische werking, alsook de aanwezigheid van een temperatuursgradiënt in VVK brugdekken. Dit dient in het bijzonder beschouwd te worden bij de aansluiting met andere materialen, die mogelijk een andere thermische uitzettingcoëfficiënt bezitten dan het VVK, alsook tussen VVK onderdelen onderling (bv. ter hoogte van de aansluiting tussen afzonderlijke VVK dekelementen waar de thermische werking kan leiden tot schade aan de slijtlaag alsook beschadiging van het VVK dek zelf).

### IV. Brugspecificaties, tekeningen & berekeningsnota

Alle doorlopen stappen in de ontwerpfase dienen grondig gedocumenteerd te worden onder de vorm van o.a. een berekeningsnota, globale en detailtekeningen, enz.

Er dienen ook concrete specificaties opgemaakt te worden voor de productie en montage van de brug (bv. specifieke gelaagde opbouw van de VVK onderdelen, specificaties naar uitvoering van verbindingen, enz.), zodat de uitvoering cf. de design veronderstellingen kan worden uitgevoerd.

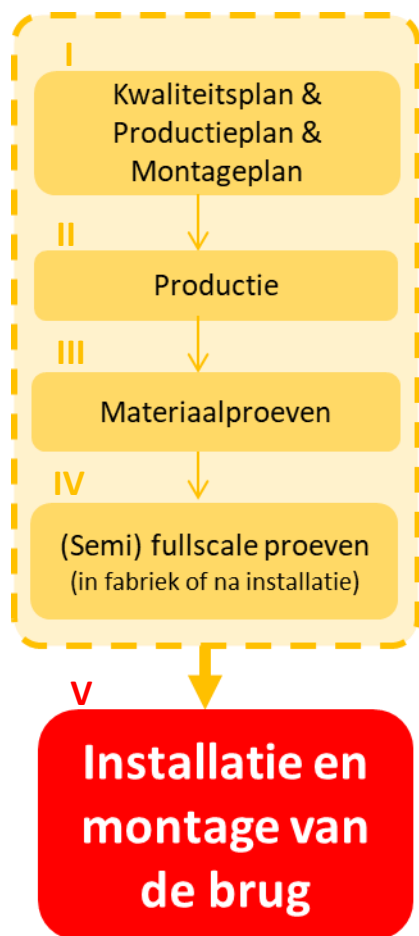
De ontwerper dient te identificeren welke onderdelen van de constructie gevoelig(er) zijn aan omgevingsinvloeden allerhande (oa. weersinvloeden, brand, enz.) alsook welke delen gevoelig(er) kunnen zijn aan wrijving/slijtage. Op basis hiervan dienen eventueel bijkomende beschermingsmaatregelen voorzien te worden (o.a. coatings, additieve toevoegen aan de matrix, enz.).

### V. Beheersplan en onderhoudsplan

De ontwerper dient ook, – naast de identificatie van de onderdelen van de constructie die gevoelig(er) zijn aan omgevingsinvloeden en wrijving/slijtage –, te identificeren welke faalmechanismen mogelijk tijdens de levensduur van het kunstwerk kunnen optreden (o.a. impact, intra- en/of interlaminaire schade, onthechting, enz.). Op basis van deze diepgaande analyse dient de ontwerper ook een gepast inspectie, onderhouds- en herstellingsplan voor het kunstwerk op te stellen. (cf. **Whitepaper 'State-of-the-art Bestekteksten voor composiet bruggen'**).

## 2.3 Productie & uitvoeringsfase

De productie en uitvoeringsfase bestaat uit vijf concrete stappen, die geïllustreerd worden in Figuur 5.



Figuur 5: Productie en uitvoeringsfase

### I. Kwaliteitsplan, productieplan en montageplan

Voorafgaand aan de productie dient een kwaliteitsplan voor de productie, evenals een productieplan opgemaakt te worden. De montage aspecten dienen ook voorafgaandelijk in een montageplan opgenomen te worden. Dit alles om er voor te zorgen dat de geproduceerde en geïnstalleerde brug overeenstemt met de ontwerpnota en -tekeningen.

Voor meer details wordt verwezen naar de *Whitepaper 'State-of-the-art Bestekteksten voor composiet bruggen'*.

### II. Productie

Vervolgens kan overgegaan worden tot de productie van de brug volgens een vooropgesteld kwaliteits- en productieplan met eventuele stop- en/toezichtspunten, waarbij een onafhankelijke of externe partij een controle dient uit te voeren. (cf. *Whitepaper 'State-of-the-art Bestekteksten voor composiet bruggen'*).

Er dient een verslag opgemaakt te worden van al de kwaliteitscontroles tijdens de productie evenals een afwijkingrapport, indien er afwijkingen werden vastgesteld.

### III. Materiaalproeven

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

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

Deze proeven dienen uitgevoerd te worden op proefstukken, die uit hetzelfde materiaal als de brug zelf, alsook onder identiek dezelfde productie randvoorwaarden geproduceerd zijn. (cf. *Whitepaper 'State-of-the-art Bestekteksten voor composiet bruggen'*).

In functie van de details van de ontwerpnota zijn mogelijk nog andere materiaalproeven vereist. Deze dienen geïdentificeerd te worden in het kwaliteitsplan. Deze materiaaleigenschappen kunnen eventueel ook gestaafd worden op basis van resultaten van proeven uitgevoerd in het kader van voorgaande projecten. (cf. *Whitepaper 'State-of-the-art Bestekteksten voor composiet bruggen'*).

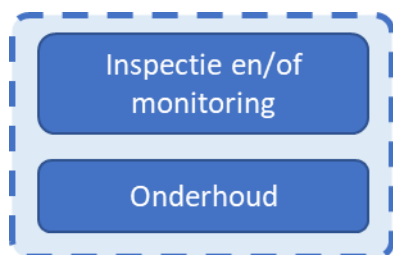
**IV. (semi-) Full scale proeven**

In het bestek kunnen mogelijk ook enkele proeven op composiet onderdelen en/of full scale proeven op de ganse brug of brugdek voorzien zijn. Deze proeven kunnen hetzij in de fabriek (met ideale opleggingen) hetzij in-situ uitgevoerd worden. In de ontwerpfase dient een voorspelling gemaakt te worden van het resultaat van deze proeven, welke als aftoetsingswaarden worden gebruikt. (zie ook *Whitepaper 'State-of-the-art Bestekteksten voor composiet bruggen'*).

**V. Montage en installatie van de brug**

De brug wordt gemonteerd en geïnstalleerd volgens het vooropgesteld plan (cf. stap I). Om optimaal rekening te houden met de productietoleranties van het brugdek (zie ook §2.1 stap II) is het aangewezen om aansluitingen met andere elementen te voorzien na productie, zoals bv. gaten voor de bevestiging van de leuning aan het VVK dek alsook correcte positionering van tussensteunpunten bij een hyperstatische brug.

## 2.4 Uitbatingsfase



Figuur 6: Stappenplan uitbatingsfase

Zoals reeds aangehaald dient op basis van de ontwerpstudie een beheers-, inspectie- en onderhoudsplan opgemaakt te worden. Dit plan dient eventueel aangevuld te worden met enkele uitvoerings-/productie gerelateerde aspecten.

Diegene die belast is met de monitoring en/of inspectie van de brug dient op de hoogte te zijn van de mogelijke schademechanismen die kunnen optreden. Hiervoor wordt verwezen naar de **Whitepaper Kennisvergaring en vertaling (State-of-the-art)**. Deze kunnen hoofdzakelijk opgedeeld worden in volgende categorieën:

- (1) *Slijtage/wrijving, welke visuele oppervlakteschade oplevert;*
- (2) *mechanische schadefenomenen die kunnen optreden in de laminaten, zowel intra- als interlaminair (cf. § 1.7 van de voornoemde Whitepaper);*
- (3) *overige schademechanismen ten gevolge van omgevingscondities (cf. § 1.12 van de voornoemde Whitepaper);*
- (4) *schadefenomenen in de verbindingen o.a. ten gevolge van pelspanningen in lijmverbindingen, stuikdruk, afschuifbreuk, enz. in mechanische verbindingen (cf. § 1.13 van voornoemde Whitepaper);*
- (5) *schade ten gevolge van een impactbelasting, die vaak niet zichtbaar is aan het oppervlak maar tot scheuren en delaminaties in de diepte van het laminaat of de constructie kan leiden (cf. § 1.10 van voornoemde Whitepaper);*
- (6) *schadefenomenen gelinkt aan het constructieconcept o.a. bij sandwichpanelen het los komen van de huiden van het kernmateriaal, knikken van de huiden, enz. (cf. § 1.3 van voornoemde Whitepaper).*

Verschillende Niet Destructieve Technieken (NDT) zijn voor handen om VVK constructies te inspecteren op voornoemde schadefenomenen. In het CIRIA document C779 en NCHRP report 564 kunnen o.a. onderstaande technieken teruggevonden worden, waarvan diegene met WP vermelding in detail toegelicht worden in de **Whitepaper Kennisvergaring en vertaling (State-of-the-art) § 1.8.8:**

- (1) Visuele inspectie (WP)
- (2) Akoestische impact test (o.a. hammer taptest)
- (3) Thermografie (WP)
- (4) "Shearography" (WP)
- (5) Utrasone inspectie (WP)
- (6) Radiografie (WP)
- (7) Akoestische emissie (WP)
- (8) Modale parameter methode
- (9) Belastingsproef

Voor de eerste 5 technieken wordt in het CIRIA C779 document een handige overzichtstabel gepresteerd, die aangeeft welke defecttypes met elk van deze technieken gedetecteerd kunnen worden.

Defect type	Inspection techniques							
	Acoustic testing	Laser shearography	Thermography	Visual	Ultrasonic depth	Ultrasonic A <sup>1</sup>	Ultrasonic B <sup>2</sup>	Ultrasonic C <sup>3</sup>
Delamination	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cracking	✓	~		✓				
Disbond	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Void	✓	~	✓	~	✓	✓	✓	✓
Impact (BVID) <sup>4</sup>	✓	✓	✓	✓	✓			
Porosity		✓	✓	✓	✓			
Inclusion	✓	~	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Erosion		✓	✓	✓	✓	✓		✓
Core disband	✓							
Core crushing	✓							
Matrix cracking								
Fibre breakage								
Kissing bond			~					
Environmental ingress		~	✓	✓				
Crazing				✓				

#### Notes

- 1 A-scan is for a single point image
- 2 B-scan is for a single line image
- 3 C-scan is for a 2D image
- 4 Barely visible impact damage

Figuur 7: Enkele van de NDT's en de defecten die ze kunnen detecteren in VVK constructies



Voor de akoestische hamer techniek wordt de structuur lokaal aangeslagen met een 'Hand Held Electronic Tap Tester Unit', cf. Figuur 8. Door een verschil in weerklink kunnen delaminaties en holtes gedetecteerd worden.

Figuur 8: Voorbeeld van een Hand Held Electronic Tap Tester Unit

Bij de “*modale parameter methode*” wordt de gegeven structuur voorzien van een reeks versnellingsopnemers of optische vezels (die bij hoge frequentie uitgelezen kunnen worden) en worden de modale parameters (frequenties en vormen) bepaald op bepaalde momenten. Dit kan door voorgeschreven dynamische testen uit te voeren of de respons van de brug onder dagdagelijkse excitaties (bv. voetgangersstromen) te evalueren. Veranderingen in de dynamische respons van een structuur worden gebruikt om de structurele toestand te evalueren. Zo zullen stijfheidswijzigingen optreden naar aanleiding van schade/defecten in de brug wat vervolgens zal leiden tot veranderingen in de dynamische respons van de structuur. Een opmeting van de oorspronkelijke (onbeschadigde) structuur is hierbij zeer nuttig. Ook het opstellen van een gedetailleerd eindige elementen model kan toelaten om de locatie van het defect te achterhalen. Het spreekt voor zich dat deze inspectie techniek een hoge graad van expertise vereist van de gebruiker. Doordat optische vezels eenvoudig (en onzichtbaar) ingebouwd kunnen worden in de VVK structuur kan dit ook een interessante monitoringstool zijn om via artificiële intelligentie in te zetten binnen een bredere Structural Health Monitoringscontext. Dit laatste wordt specifiek voor de Canada-brug te Brugge onderzocht door de KU Leuven binnen het kader van het door Vlaio gesubsidieerd *COOCK project ‘OV Monitoring’*. Meer informatie omtrent dit COOCK project kan teruggevonden worden via <https://ovmonitoring.be>

Een vereenvoudigde methode om een eerste inschatting te krijgen van de evolutie van de frequentie van de eerste verticale buigingsmode met behulp van de accelerometer in de smartphone wordt beschreven in de *Whitepaper “Opleveringsproeven”*. Hiermee kan op een eenvoudige manier reeds de vermindering van de stijfheid worden ingeschat.

NCHRP report 564 is hierbij een zeer nuttig document voor professionelen belast met de monitoring en inspectie van VVK bruggen. Dit rapport bevat een handleiding voor de in-service inspectie van VVK brugdekken, evenals de documenten en het onderzoek die aanleiding hebben gegeven tot het opstellen van deze handleiding.

### 3 CONCLUSIE

In deze Whitepaper werd, in het kader van het Tetra project C-Bridge, een stappenplan voorgesteld voor de realisatie van VVK bruggen. De samengebrachte kennis is gebaseerd op de huidige state-of-the-art die beschikbaar is in internationale referentiedocumenten en bestekteksten, internationale ervaringen met VVK bruggen, alsook op de resultaten van bijkomende proeven en experimenten op VVK bruggen gevoerd in en buiten het kader van het C-Bridge project.

Dit stappenplan kan een leidraad vormen voor bouwprofessionelen (opdrachtgevers, ontwerpers, aannemers fabrikanten) die met VVK aan de slag wensen te gaan in de bruggenbouw. De samengebrachte kennis en het stappenplan is in essentie opgemaakt voor (of gefocust op) voetgangers- en fietsbruggen, maar kan eventueel ook aangewend worden voor andere toepassingen (bv. verkeersbruggen, ..), zij het wel dat er dan andere en/of bijkomende eisen gesteld dienen te worden, naargelang het geval.

UGent en WTCB hopen met deze Whitepaper bijgedragen te hebben tot een beter inzicht in het ontwerp, de realisatie en het onderhoud van VVK bruggen en de toepassing ervan in Vlaanderen. Waarbij de gouden regel is dat om tot een goede en kost-efficiënte VVK brug te komen het essentieel is om in alle facetten van het proces – van bij het prille idee, tijdens de schrijffase van de bestek bepalingen, bij het opmaken van het ontwerp, ... tot in de beheer fase – steeds de eigenheid en de aandachtspunten van VVK in het achterhoofd te houden. **Denken en doen in VVK en ‘niet’ beton, hout of staal vertalen naar VVK!**

## 4 REFERENTIES

### **Whitepapers opgesteld binnen het kader van het Tetra-project C-Bridge:**

*Kennisvergaring en vertaling (State-of-the-art)*

*Waarom composieten?*

*State-of-the-art Bestekteksten composietbruggen*

*Richtlijnen en Normen*

*Ontwerpmethodes en softwarematige analysetechnieken (incl. Excel ontwerp rekentool)*

*Opleveringsproeven*

### **Andere internationale literatuur:**

*CUR96 – Vezelversterkte kunststoffen in bouwkundige en civieltechnische draagconstructies (2019)*

*EuCIA – Prospect for guidance on the design of FRP structures (2018)*

*CIRIA C779 – Fibre-reinforced polymer bridges – guidance for designers (2018)*

*NCHRP report 564 – Field inspection of in-service FRP bridge decks (2006)*