



# COMPOSITIETEN IN DE BRUGGENBOUW

## AANDACHTSPUNTEN VOOR BESTEKTEKSTEN

Petra Van Itterbeeck  
Adjunct Labo hoofd  
Labo Structuren & Bouwsystemen  
WICB

## INHOUDS TAFEL

---

- Inleiding
- Welke richtlijnen zijn ter beschikking?
- Definitie van composieten?
- Algemene eisen?
- Aandachtspunten bij het design?
- Verbindingen?
- Aandachtspunten bij de uitvoering/kwaliteitsborging?
- Testen of niet?
- Beheer, onderhoud en inspectie?

# INLEIDING

- **Kennisopbouw in NL > 1000 bruggen**

- Aanbestedende overheden
  - Rotterdam > 110 bruggen in slechts 9 jaar
  - Groningen
  - Amsterdam
- Producenten
- Bezoek aan diverse bruggen
- Diepgaande analyse van bestekteksten



- **Kennisopbouw in BE (voor 2018 slechts 5 bruggen, nu > 27 bruggen in Vlaanderen)**

- PIO-project start 01/2019 : Canadabridgen MOW-EBS & de Vlaamse Waterweg

- **Diepgaande literatuurstudie** (CUR96, CIRIA,...)



3

## BESTEKTEKSTEN

## WELKE RICHTLIJNEN?

### Europese documenten / guidelines:

- ✓ **CUR 96:2017**
- ✓ JRC-document
- ✓ EUROCOMP
- ✓ DB9005
- ✓ CIRIA (composites UK)
- ✓ DNV-OS-C501
- ✓ BÜV
- ✓ CNR-DT 205/2007 (Gepultrudeerde elementen)
- ✓ LRFD (Gepultrudeerde elementen)



## UGT & GGT berekeningen



4

# BES TEKTEKSTEN

# DEFINITIE VAN COMPOSITIETEN

## BASIS MATERIALEN

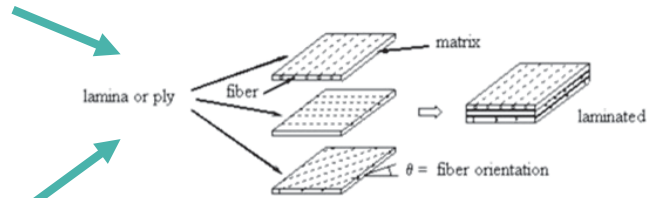
### Vezels (fibers)

Glas, aramide, koolstof, basalt, etc.



### Hars (thermoset, thermoplast)

Polyester, vinylester, epoxy, etc.



CUR 96 §1.1 p11, §2.4.1 p27

#### Aandachtspunten:

- **Thermoharder** = onverzadigde polyester-, vinylester- of epoxyhars
- Vezelvolumepercentage van ten minste 15%
- **glasvezels:** E en R type
- **koolstofvezels:** HS, HT, IM of HM type

Elektrisch geleidend  
Galvanische corrosie

5

# BES TEKTEKSTEN

# DEFINITIE VAN COMPOSITIETEN

## VERTALING NAAR BESTEK

Bron: Rotterdam, "Vervangen brug M144 aan de Ringvaartweg" 2019

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

Bron: Groningen, "Vervangen Pijlebrug te Meppel" 2013

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

#### Glas of koolstofvezels:

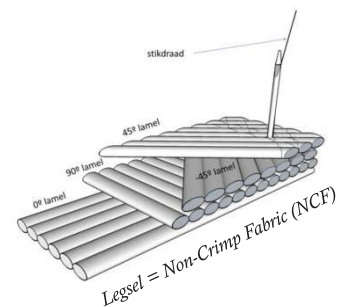
- productbladen van de leverancier aantonen (leverancier PPG of gelijkwaardig)
- alleen legfels en uni directioneel materiaal gebruiken (geen weefsels of mat)
- alleen 0-90 +/-45 of UD gebruiken, of combinaties van deze materialen

#### 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

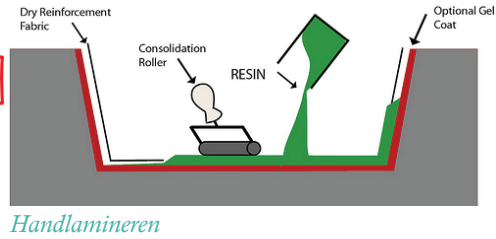
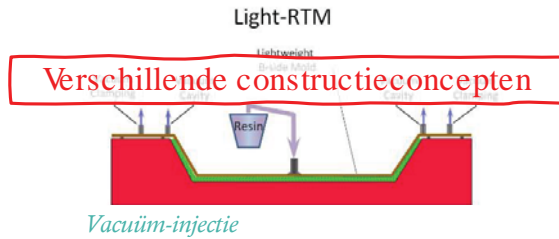


6

## BES TEKTEKSTEN

## DEFINITIE VAN COMPOSITIETEN

### PRODUCTIETECHNIIEKEN



7

## BES TEKTEKSTEN

## ALGEMENE EISEN

### BASIS

- ontwerp gebaseerd op grenstoestanden, met de in EN 1990 en EN 1991 voorgeschreven belastingen en belastingscombinaties.
- CUR-Aanbeveling 96:2017 Vezelversterkte kunststoffen in bouwkundige en civieltechnische draagconstructies
- EN 13706 Reinforced plastics composites – Specifications for pultruded profiles
- JRC EUR 23984 Design of Lightweight Footbridges for Human Induced Vibrations

8

# BES TEKTEKSTEN

# ALGEMENE EISEN

## INDICATIEVE WAARDES

Voorbeelden uit enkele bestekteksten uit Nederland

	Rotterdam	Groningen	Amsterdam
<b>Ontwerplevensduur</b>			
Brugdek	50j	100j	100j
Slijtlaag	10j	3j	15j
<b>Doorbuigingseis</b>	$\frac{l}{100}$	$\frac{l}{300}$	$\frac{l}{100}$
<b>Trillingseis</b>	TC2 CL2	/	> 4 Hz

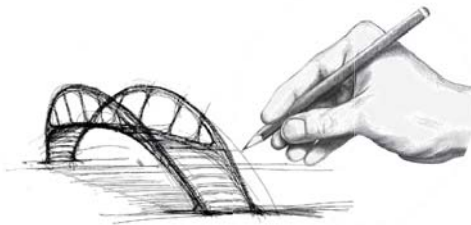
**OPGEPAST:** GGT is vaak maatgevend voor het design !

9

# BES TEKTEKSTEN

# AANDACHTSPUNTEN DESIGN

## EIGENHEID COMPOSITIEBRUGGEN



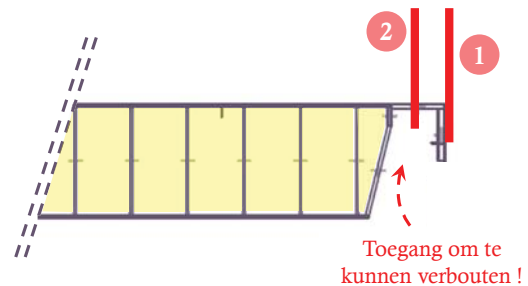
Dient aangetoond te worden dat **mechanische eigenschappen en geometrische toleranties worden gerealiseerd**, ten minste beoordeeld in meest ongunstige locatie in constructie (*rekeninghoudend met: invloed van additieven en productieproces en afname van eigenschappen gedurende de levensduur*)

10



### Hou rekening met productieproces en montage mogelijkheden !

bv. Geen te beperkte krommingen voor waterafvoer, aansluiting met tussensteunpunten, montage leuningen, geen te scherpe hoeken (vezelbreuk of plooiën), enz.



11

### Kwaliteitsborging – door proeven ondersteund ontwerp

#### 1. Sterkte van de huid:

- Treksterkte in overspanningsrichting
- Druksterkte in overspanningsrichting
- Treksterkte in dwarsrichting
- Druksterkte in dwarsrichting

(incl. E-modulus en breukrek)

#### 2. ILSS van de huid:

- ILSS in overspanningsrichting
- ILSS in dwarsrichting

#### 3. $T_g$ van de huid

#### 4. Vezelvolumefractie bepaling

door afbranden van de matrix



**GROENE:** Dient minimum **STEEDS** bepaald te worden volgens CUR96 zelfs indien reeds bepaald voor andere projecten.

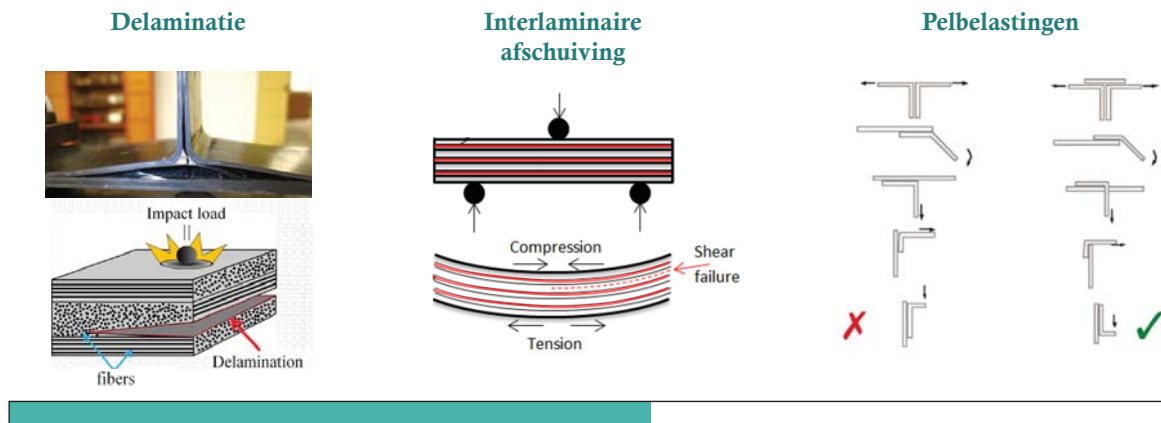
Indien **bijkomende** proeven van voorgaande projecten worden gebruikt:

**Randvoorwaarden:**

- zelfde hars en vezels, hetzelfde proces en onder zelfde omstandigheden geproduceerd!
- Voor hars gedomineerde eigenschappen: vezel met eenzelfde sizing gebruikt !
- Ander vezelvolumegehalte mag, indien hiervoor gecorrigeerd!

12

- *Toetsing in verschillende richtingen (ook deze zonder vezelversterking):*  
Beschouwen van bezwijkvormen tussen lagen!



13

- *Omgevingsinvloeden versus prestaties*

### Impact op materiaal eigenschappen:

- ✓ Thermische effecten afname van stijfheid en sterkte
- ✓ Water(damp) en chemicaliën afname van sterkte en stijfheid
- ✓ Quasi-blijvende belastingen en voorspanning optreden van kruip, spanningsrelaxatie en kruipbreuk

### Andere impact:

- ✓ UV blootstelling verkleuring en verbrossing van het oppervlak
- ✓ Wrijving
- ✓ Vermoeiing
- ✓ Brand ontwikkeling van rook, gassen en evacuatie tijd
- ✓ Impact en stootbelastingen vooral in combinatie met vermoeiing
- ✓ Vandalisme

### Maatregelen:

- Reductiefactoren (CUR96)
- Keuze van materialen (hars)
- Gelcoat, topcoat, laklaag, UV-bestendige hars, UV-absorbers
- Brandvertragende harsen, brandvertragende vulstoffen of aanbrengen van brandvertragende coating
- Periodieke reiniging of anti-fouling coating (tegen algengroei)
- Wrijving werken met opofferlaag en/of slijtage laag

14





**Thermische belastingeffecten (CUR96:** belastingen die ontstaat door verhinderd aanbeveling om thermisch model voor staaldek te gebruiken)

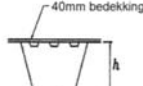
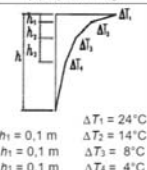
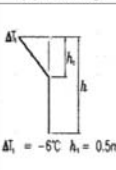
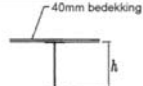
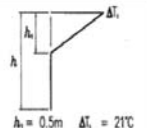
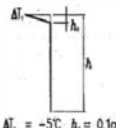
Tabellen uit NBN EN 1991-1-5

Tabel 6.1 — Aanbevolen waarden voor de lineaire temperatuurverschilcomponent voor verschillende dektypen voor weg-, voetgangers- en spoorwegbruggen

Dektype	Boven warmer dan onder	Onder warmer dan boven
	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)
Type 1: Stalen dek	18	13
Type 2: Staal-betondek	15	18
Type 3: Betonnen dek: betonnen kokerligger betonnen ligger betonnen plaat	10	5
	15	8
	15	8

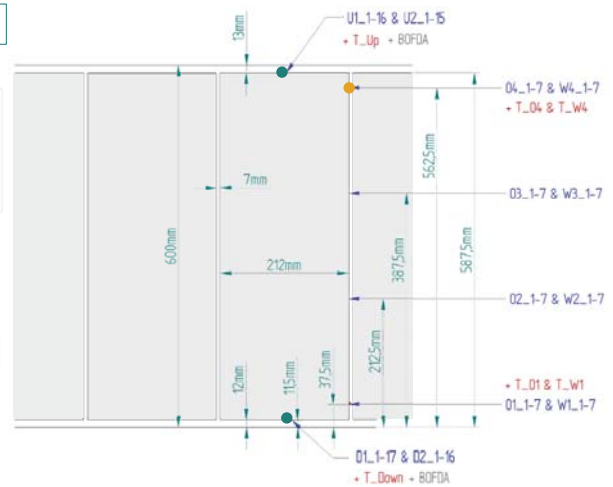
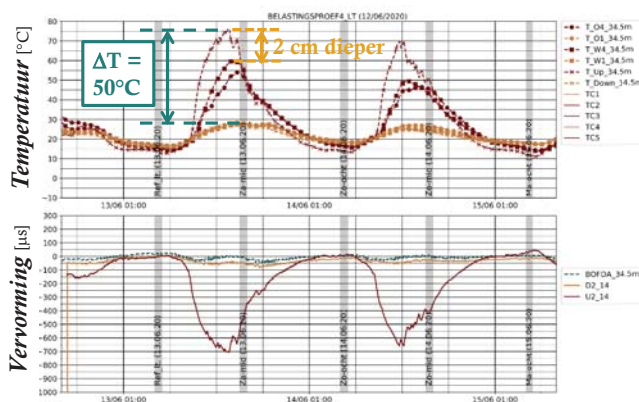
OPMERKING 1 De waarden in de tabel zijn de bovengrenswaarden van de lineair veranderlijke temperatuurverschilcomponent voor representatieve brugvormen.

OPMERKING 2 De waarden in de tabel zijn gebaseerd op een slijtlaag met een dikte van 50 mm voor weg- en spoorwegbruggen. Voor andere slijtlaagdiktes behoren deze waarden met een factor  $k_{sl}$  te zijn vermenigvuldigd. De aanbevolen waarden voor de factor  $k_{sl}$  worden gegeven in tabel 6.2.

Constructietype	Temperatuurverschil ( $\Delta T$ )	
	(a) Opwarming	(b) Afkoeling
 1a. Stalen dek op stalen kokerliggers	 $\Delta T_1 = 24^\circ\text{C}$ $\Delta T_2 = 14^\circ\text{C}$ $\Delta T_3 = 8^\circ\text{C}$ $\Delta T_4 = 4^\circ\text{C}$	 $\Delta T_1 = -6^\circ\text{C}$ $h_1 = 0.5\text{m}$
 1b. Stalen dek op stalen vakwerk- of vollwandliggers	 $\Delta T_1 = 21^\circ\text{C}$	 $\Delta T_1 = -5^\circ\text{C}$ $h_1 = 0.1\text{m}$

Figuur 6.2.a — Temperatuurverschillen voor dektype 1: stalen dekken

Canadabrug 48 uursmeting uitgevoerd juni 2020



## BES TEKTEKSTEN

## AANDACHTSPUNTEN DESIGN

### LOKALE TEMPERATUURS WERKING

Het effect van **thermische spanning** moet worden beschouwd voor alle verbindingen en interfaces.  
(speciaal geval: voor verbinden van VVK met materiaal met andere thermische uitzettingscoëfficiënt)



19

## BES TEKTEKSTEN

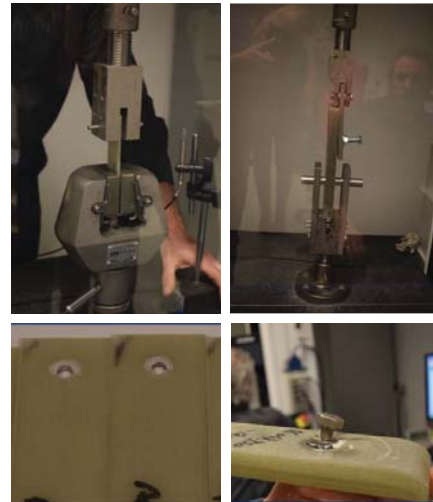
## AANDACHTSPUNTEN DESIGN

### LOKALE TEMPERATUURS WERKING



20

- **Verbindingen moeten robuust ontworpen 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, **moet een tweede draagweg zijn voorzien 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 mag achterwege blijven indien gebruik wordt gemaakt van testgegevens van eerdere uitgevoerde, gevalideerde testen op vergelijkbare verbindingen, getest onder vergelijkbare belastingscondities.
- **Verbindingen moeten zo min mogelijk worden blootgesteld aan water(damp)** en worden beschermd tegen vochtindringing.



21

### LIJMVERBINDING

**Volgende aspecten dienen gespecificeerd te worden en zo constant mogelijk worden uitgevoerd:**

- *Gebruikte materialen*
- *Oppervlaktebehandeling*
- *Aanbrengmethode en uitharding van lijm*
- *Geometrie van de lijmverbinding*

**Pelspanningen** (trekspanningen loodrecht op het gelijmde vlak) in lijm- of lamineerverbindingen **moeten door de geometrie van de lijmverbinding worden voorkomen of geminimaliseerd.**

→ **primaire belasting afschuiving!**

### BOUTVERBINDING

**Volgende aspecten dienen gespecificeerd te worden:**

- *Omschrijving van het laminaat (material, opbouw, dikte)*
- *Verbindingsmiddel (type, material, boutdiameter(s), type sluitringen, type bus)*
- *Geometrie van de verbinding (overlappende, # bouten, randafstanden, voorspanning, enz.)*

Er mag **niet gerekend worden op sterkte winst door voorspannen van bouten** anders dan de kracht die ontstaat door "handvast" aandraaien, **tenzij door middel van testen is aangetoond** dat (...). (incl. relaxatie over levensduur...)

22

Bron: Rotterdam, "Vervangen brug M144 aan de Ringvaartweg" 2019

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

- Composiet:

- Gelijmde verbindingen dienen te voldoen aan berekende krachten op deze lijmvbindingen.;
- Hierbij dient rekening te worden gehouden met mogelijke pelefecten en trekspanningen in de lijmvbinding onder de voorgeschreven belastingen en met meest ongunstige belastingconfiguratie;
- In geval een lijmvbinding noodzakelijk is voor de hoofdraagweg 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 lijmvbindingen 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 hoofdraagweg 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;

23

Bron: Groningen, "Vervangen Pijlebrug te Meppel" 2013

De zijkanten van het brugdek moet bestaan uit een verticaal glad vlak van 30cm hoog waar de leuningen d.m.v. een boutverbinding tegenaan gemonteerd kunnen worden.

Bij het verlijmen van de composiet brugdek constructie aan de stalen dwarsdragers moet de lijmlaag middels een vacuüminjectieproces worden aangebracht. Het verlijmen van composiet brugdelen onderling in de hoofdraagconstructie moet zoveel mogelijk worden voorkomen. Indien verlijmen onvermijdelijk is of door het gekozen productieproces niet wenselijk moet de lijmvbinding 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 verbindingvlakken 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. Stukspanningen 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 hoofdraagconstructie wordt toegepast moet deze op sterkte worden aangetoond en beproefd zoals omschreven in par. 4.3.1.4

24



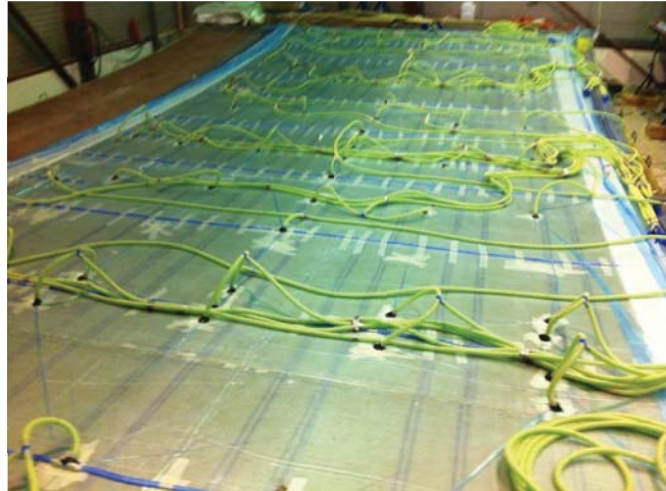
- De **procedures** voor productie, uitvoering en montage **schriftelijk** vastgelegd.
- **Ervaring en expertise** personeel is heel belangrijk (*uitvoering & (extern) toezicht*)
- **Kwaliteitsplan** dient vastgelegd te worden vóór de productie:
  - vereiste relevante karakteristieke eigenschappen
  - uit te voeren testen
  - uitvoerings- en ontwerpaspecten (vb. materialen, details, enz.)
  - kwaliteitsplan voor de productie
- **Kwaliteitssysteem**
  - Materiaalcontrole (oa. opslagcondities)
  - Procescontrole (oa. malcontroles, stop- en bijwoonpunten, omgevingscondities, vezellegging, uitharding)
  - Eindcontrole (oa. materiaal- en productiekwaliteit, geometrie)
- **Verslag van de kwaliteitscontrole(s)**

De volgende parameters moeten **ten minste worden gecontroleerd en beheerst in de voorbereiding van de productie, tijdens of na de productie** van VVK-delen:

- *lektheid van de mal en folieafdichting (vacuumprocessen);*
- *temperatuur en druk gedurende het proces (impregnatie en uitharding);*
- *(relatieve) luchtvochtigheid;*
- *aantal lagen en totale laminaatdikte;*
- *posities van lameleinden (splices), overlaptengtes;*
- *vezelorientatie, en vezelrechtheid (alignement en plooi);*
- *vezelspanning (pultrusie en wikkelen);*
- *vezelbenutting en de mogelijkheid tot luchtinsluiting;*
- *gehalte lucht/gasinsluitingen, vuil;*
- *vezelvolumegehalte;*
- *uitharding, bijvoorbeeld door meting Barcol hardheid;*
- *de hechting tussen huden en kern over het gehele oppervlak (sandwich constructies).*

### KWALITEITSCONTROLES Productieproces

1. Gebruikte vezels
  - ✓ *Richting*
  - ✓ *Opbouw*
2. Gebruikte harsen
  - ✓ *Recept*
  - ✓ *Mengverhouding*
  - ✓ *Bereiding*
3. Productie methode
  - ✓ *Omgevingscondities*
  - ✓ *Mal en folieafdichting*
  - ✓ *Vulling / luchtinsluitsels*
  - ✓ *Voorschriften fabrikanten*



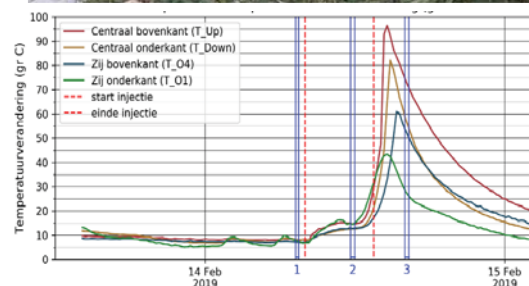
### KWALITEITSCONTROLES Productieproces

3. Productie methode
  - ✓ *Uithardingsproces (curing)*

Volgens specificaties van de harsleverancier.

De **uithardingstemperatuur** moet worden **beoordeeld over de gehele constructie** door metingen op een aantal representatieve punten.

Sommige harssystemen kunnen uitgehard worden bij kamertemperatuur. → **Verificatie bereiken van de vereiste glasovergangstemperatuur ( $T_g$ ) !**

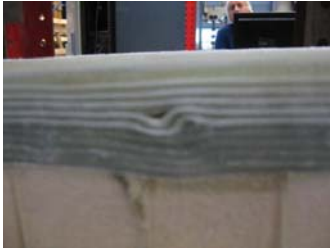




**KWALITEITSCONTROLES**  
**Productieproces**

4. Eindproduct

- ✓ Imperfecties
- ✓ Toleranties



**KWALITEITSCONTROLES**  
**Productieproces**

4. Eindproduct

- ✓ Imperfecties
- ✓ Toleranties



Bron: Rotterdam, Aanbrengen 3 bruggen Hofwijk" 2017 – Meervoudig onderhandse procedure

47	43	<b>Informatie-overdracht</b>
47	43	01 <b>Fabricageprotocol Composit</b>
	01	In het fabricage protocol composit dient minimale de volgende zaken te worden vermeld : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Toe te passen materialen en hun verwerkbaarheid en (chemische)eigenschappen;</li> <li>- Kwalificaties in te zetten personeel;</li> <li>- Werkwijze waarbij omschreven wordt hoe gegarandeerd wordt dat:                 <ul style="list-style-type: none"> <li>- de vezels juist worden gepositioneerd en de juiste hoeveelheden worden aangebracht;</li> <li>- de constructie vlak is;</li> <li>- geen luchtsluiting plaatsvindt;</li> <li>- geen delaminatie optreedt.</li> </ul> </li> <li>- Hoe het uithardingsproces wordt beheerst;</li> <li>- Uithardingsgraad van de hars dient te worden verantwoord;</li> <li>- Type hars koppelen aan EN13121;</li> <li>- Aangeven postcuring ja/nee en temperatuur waarbij eventuele postcuring is gedaan;</li> <li>- Tg bepalen op basis van 'peak tan delta'</li> <li>- Tg bepalen op basis van DMA test;</li> <li>- Verantwoording interface tussen hars en vezels en tussen topcoat en laminaat;</li> <li>- 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.</li> <li>- Controle dikte van de gelcoat;</li> <li>- Controle Barcolhardheid;</li> <li>- Grondstoffen; types, batchnummers en controle houdbaarheidsdatum</li> <li>- Omschrijving kwaliteitsbewakingsproces;</li> <li>- Omschrijving beproeving volgens de CUR 96; 2013 (o.a bepaling Tg van de hars, Trektest en ILSS-test) te controle eindproduct.</li> </ul>
47	43	02 <b>Montageplan</b>
	01	Van de aannemer wordt een montageplan verlangd van de composit onderdelen.
	02	Dit montageplan composit 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.

31

Bron: Groningen, "Vervangen Pijlebrug te Meppel" 2013

### 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 gekijte 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 composit		X
controle van de harsinjectie voor het composit		X
maken van lijnverbindingen in het composit		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 draalpunten (assen / lagers)	X	
visuele inspectie en controle van gestraalde staalconstructie		X
controle van de 1 <sup>o</sup> conservering laag	X	
controle van de 2 <sup>o</sup> conservering laag		X
controle van de 3 <sup>o</sup> conservering laag	X	
controle van de 4 <sup>o</sup> conservering laag		X
visuele inspectie van de slijllaag	X	
testen van lijnankers		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 afwijkingrapport met daarbij een voorstel voor hoe met de afwijking moet worden omgegaan. Het afwijkingrapport moet ter goedkeuring bij de directie worden ingediend.

32

Bron: Groningen, "Vervangen Pijlebrug te Meppel" 2013

### 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 plooiën 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 plooiën 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/olie

De lekdschtheid 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.

###### Afwerken

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

33

Bron: Groningen, "Vervangen Pijlebrug te Meppel" 2013

#### 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.

34



**Canadabrug, Brugge**  
(dienstvoertuig, in situ)



**Gemeente Rotterdam**  
(vollast, in fabriek)

35

*Bron: Rotterdam, Aanbrengen 3 bruggen Hofwijk" 2017 – Meervoudig onderhandse procedure*

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.

36



Bron: Groningen, "Vervangen Pijlebrug te Meppel" 2013

VERTALING NAAR BESTEK

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 hoofd draagconstructie worden toegepast moeten hierop full-scale testen worden gedaan op bezwijken in uiterste grenstoestand en op vermoeling.

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.

37

MINIMUM VEREISTEN

**Beheersplan** dient minimum volgende aspecten te omvatten:

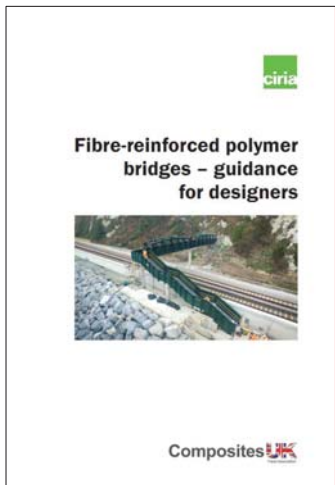
- punten welke geïnspecteerd dienen te worden
- hoe de inspectie dient uitgevoerd te worden
- Toetsingscriteria

**Onderhoudsplan** dient minimum volgende aspecten te omvatten:

- welke onderdelen onderhoud behoeven
- waaruit het onderhoud bestaat, met welke middelen en op welke wijze
- de frequentie waarmee dit onderhoud uitgevoerd moet worden

**Indien onderhoud is voorzien waarbij een oppervlaktebewerking wordt toegepast** zoals schuren of een andere mechanische bewerking dan moet hiermee in het ontwerp rekening worden gehouden, bv. door **toepassen van een opofferlaag** (eventueel ook aanbrengen van signaliseringslaag).

38



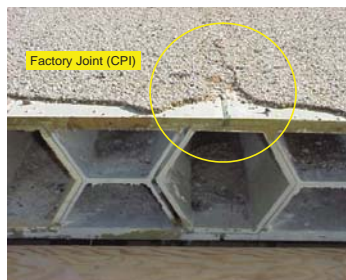
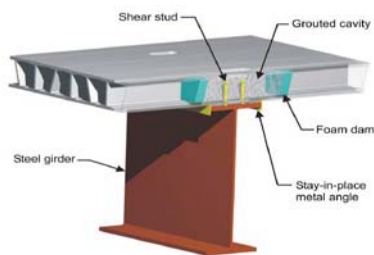
Welke technieken ?  
 Welke schade kan men detecteren?  
 Kosten?  
 Benodigde deskundigheid?

...



Context ?

- Hoofdzakelijk hybride constructies met dek uit composieten
- Productie technieken (*pultrusie, vacuüm injectie, hand-laminatie*)
- Verkeersbruggen





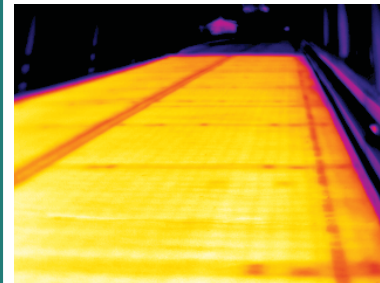
**Voorbeeld:**  
Evaluatie voor Hardcore Composites Inc. Sandwich vacuüm infusie

Inspection Method	What type of defects can be detected?	What type of defects cannot be detected?	Notes
Visual	Wear/degradation or delamination of top/bottom face sheet, blisters, impact cracks, freeze/thaw cycling damage, crazing, holes in the panel/crushed panels	Subsurface defects masked by the overlay, internal defects, internal defects in the solid core	1, 2, 5
Tap Test	Delamination of the wear surface, delamination of the face sheets from the core, crushed core, impact damage.	Most internal defects in the solid core	1, 2, 4
Ultrasonic	Delaminations, disbonds, resin variations, broken fibers, impact damage, moisture, cracks, voids, and subsurface defects.		6, 7
Acoustic Emission	Global monitoring to direct conventional NDE methods to the localized problem areas which contain defects, defect growth rate.	Defect configuration, type or size.	6
Thermography	Delaminations, disbonds, impact damage, moisture, and voids in the top and bottom face sheets.	Defects imbedded deep in the solid core	3, 5, 7
Shearography	Delaminations, disbonds, impact damage, and voids in the top and bottom face sheets.	Defects imbedded in the solid core, delaminations with in the solid core.	3, 5, 7
Radiography	Some delaminations and some disbonds depending on the orientation, voids, resin variations, broken fibers, impact damage, and cracks.	Planar defects which are oriented perpendicular to the source.	6, 7
Reverse-Geometry Digital X-Ray	Delaminations, disbonds, resin variations, broken fibers, fiber placement, impact damage, moisture, cracks, voids, defects in the core, real time 3D image.	Virtually none provided collector and source can be indexed together.	3, 6, 7
Load Test Method	Stiffness change in deck due to degradation.	Defect configuration, location, type or size	6



INSPECTIE

Hand-held elektronische tap tester unit



Thermography

**ciria**

**Fibre-reinforced polymer bridges – guidance for designers**

**Composites**

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**

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

INSPECTIE



**Dank u voor  
uw aandacht**

## 2 Whitepapers



**Denken en doen in VVK en  
'niet' beton, hout of staal  
vertalen naar VVK!**

**VRAGEN?**  
[pvi@bbri.be](mailto:pvi@bbri.be)