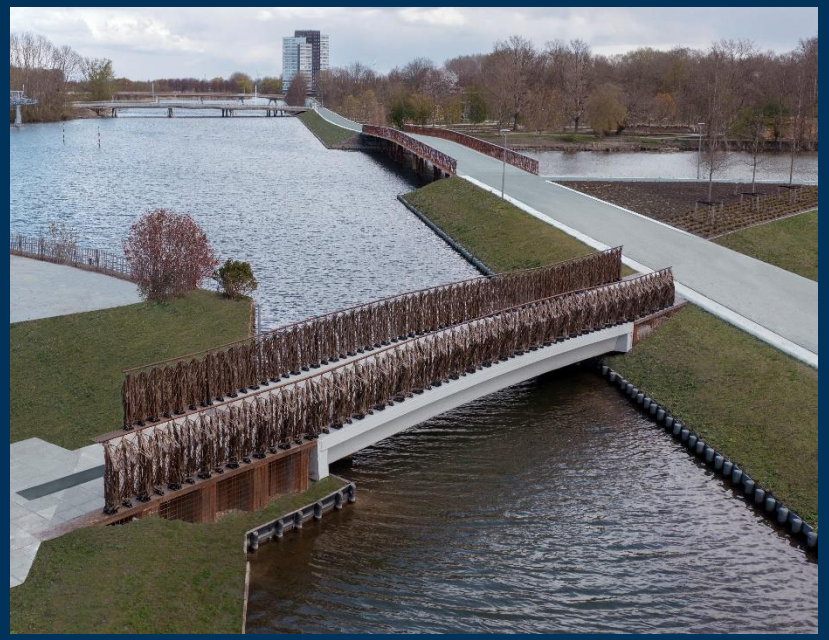
BOUWQ



Vlascomposietbrug Floriade

Materiaaleigenschappen en toetscriteria constructieve veiligheid Omgevingsvergunning

Marcel de Best

Juni 2022

BouwQ

Korte kennismaking met BouwQ

Uitgevoerde materiaalproeven vlascomposiet

Bepaling toetscriteria voor vlascomposiet

Uitgevoerde toets voor omgevingsvergunning

Korte toelichting toegepast Structural Health Monitoring systeem

BOUWQ

Kwaliteitsborging in de bouw

Technical Inspection service (TIS)

Kennismaking met BouwQ

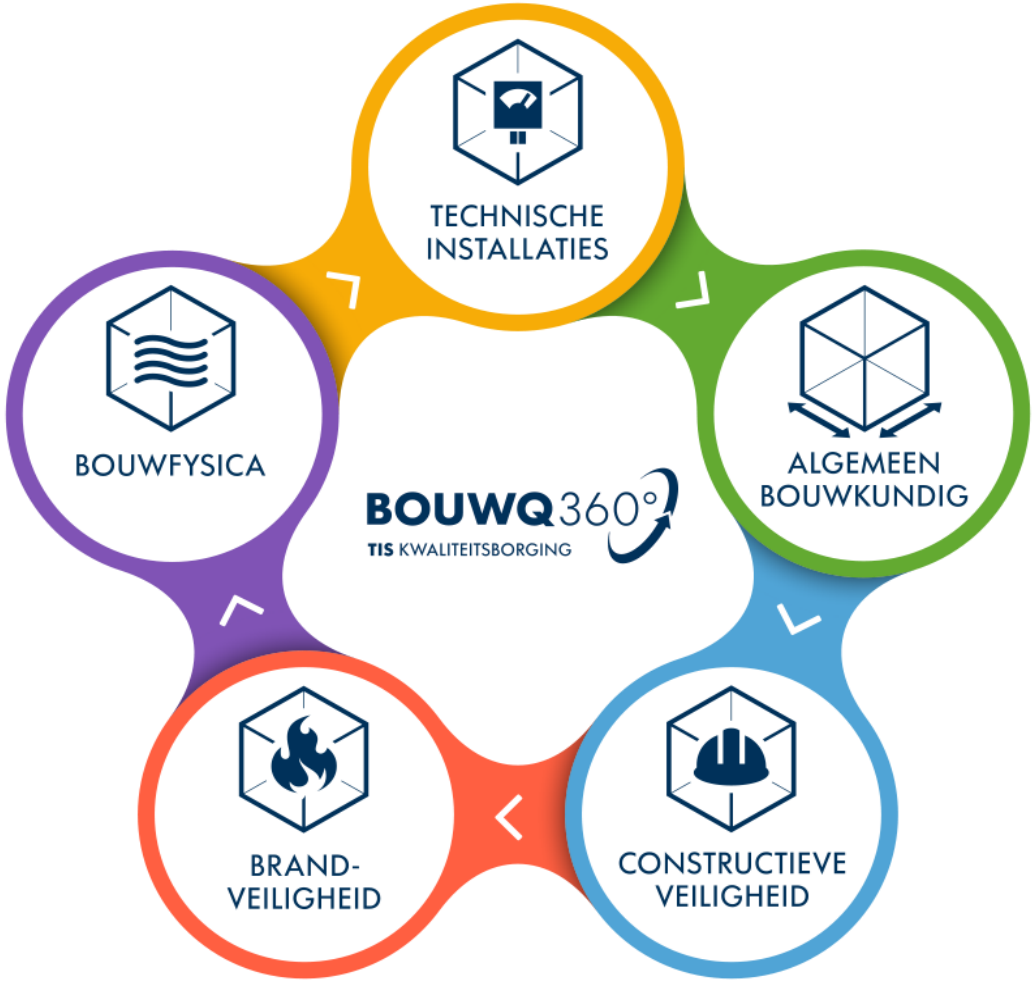
- **BouwQ** is al sinds 2003 een Private Kwaliteitsborger
- **BouwQ** is een Technical Inspection Service (TIS)
- **BouwQ** voert volledig onafhankelijke toetsingen uit
- **BouwQ** voert risicoanalyses uit en toetst ook risicogestuurd
- **BouwQ** toetst zowel op wettelijke als privaatrechtelijke eisen
- **BouwQ** heeft 3 founding fathers:
  - Specialistische kennis en escalatiemogelijkheid

TNO innovation for life

Deltares Enabling Delta Life

WHEN YOU NEED TO BE SURE SGS

Integrale beoordeling van de bouwkwaliteit



Bewezen Performance

- Wegen en kunstwerken RWS en provincie
  - Nieuwbouw
  - Renovatie / levensduur

Bewezen Performance

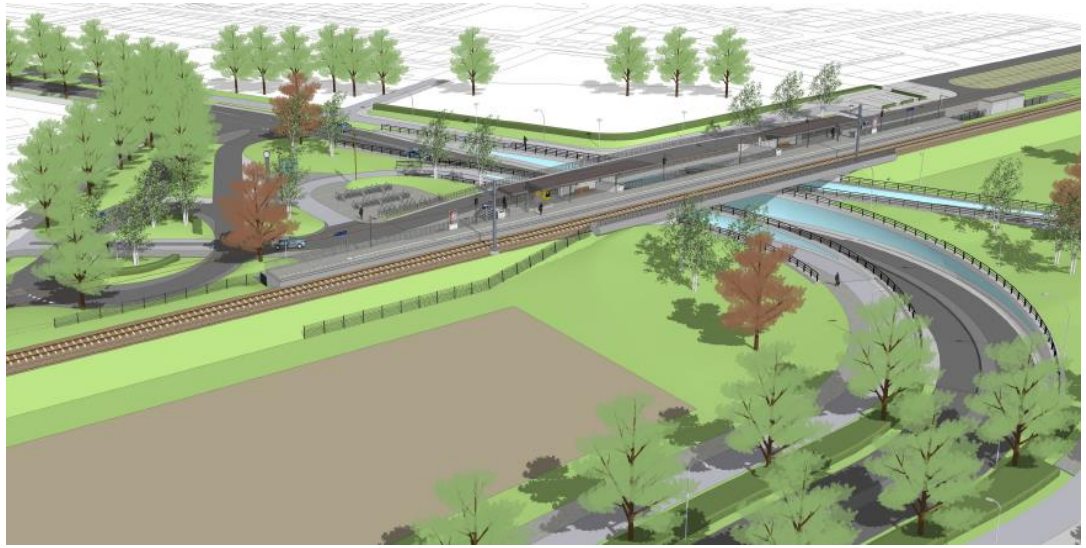
- Beweegbare en stalen bruggen

Bewezen Performance

- Stationsgebieden – ProRail

Bewezen Performance

- Onderdoorgangen – ProRail



Bewezen Performance

- Utiliteitsbouw

Bewezen Performance

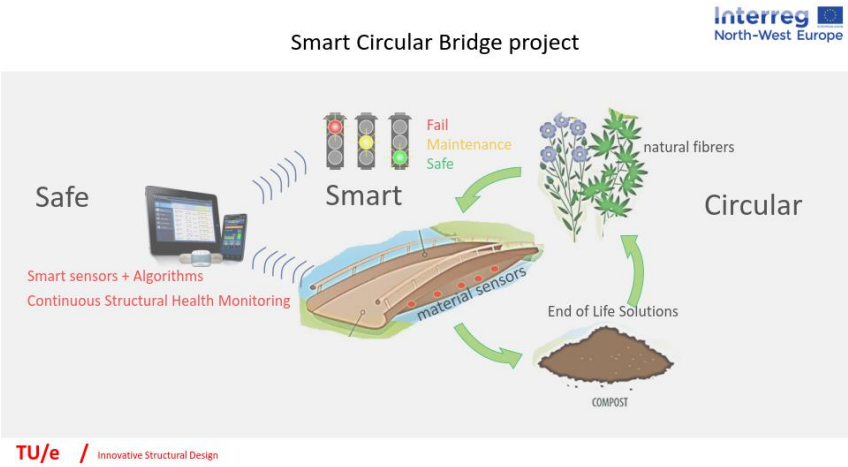
- Constructieve Toets - Vergunningsverlening

Bewezen Performance

- Floriade Expo 2022

Rol BouwQ binnen project Smart Circular Bridge

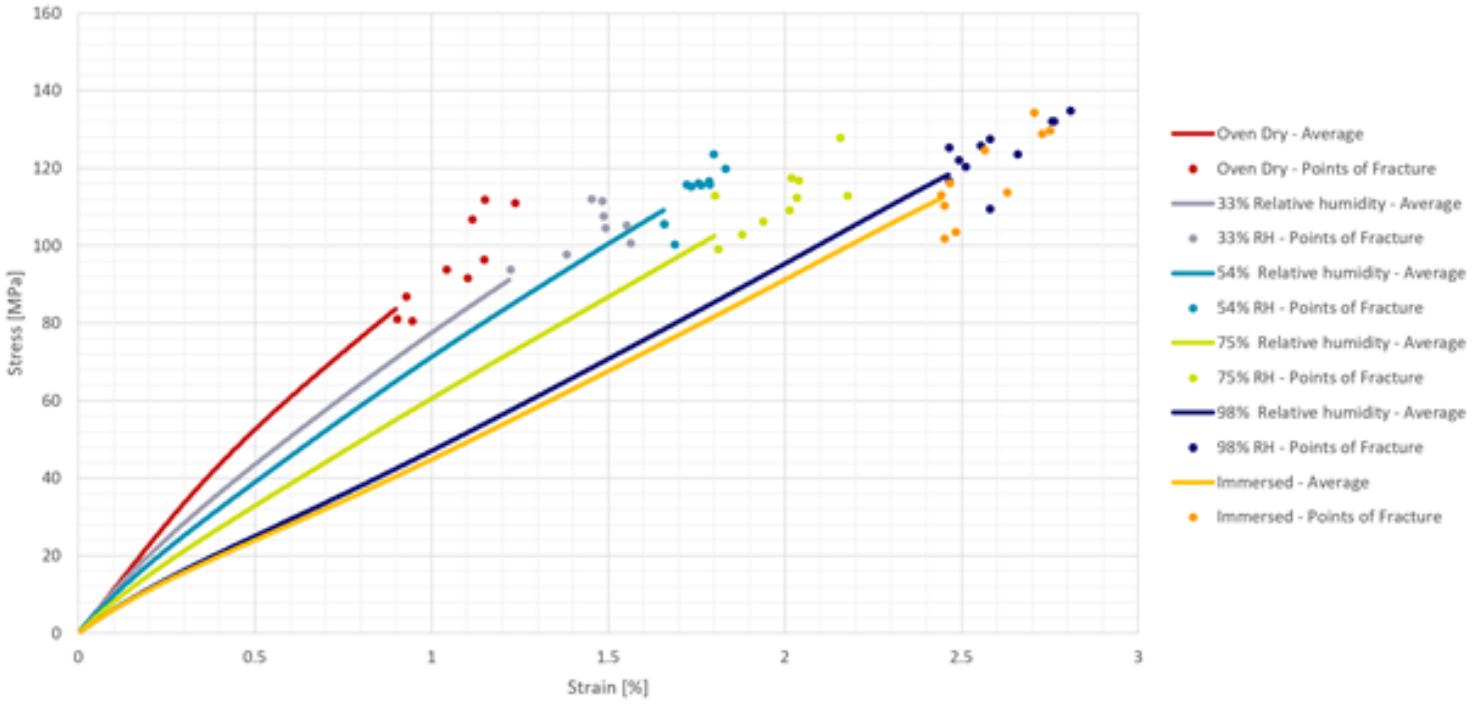
Vaststellen en vastleggen wat de minimale vereisten zijn aan materiaalgegevens, ontwerp en monitoringsysteem om aan het publiekrechtelijk vereiste veiligheidsniveau te voldoen.

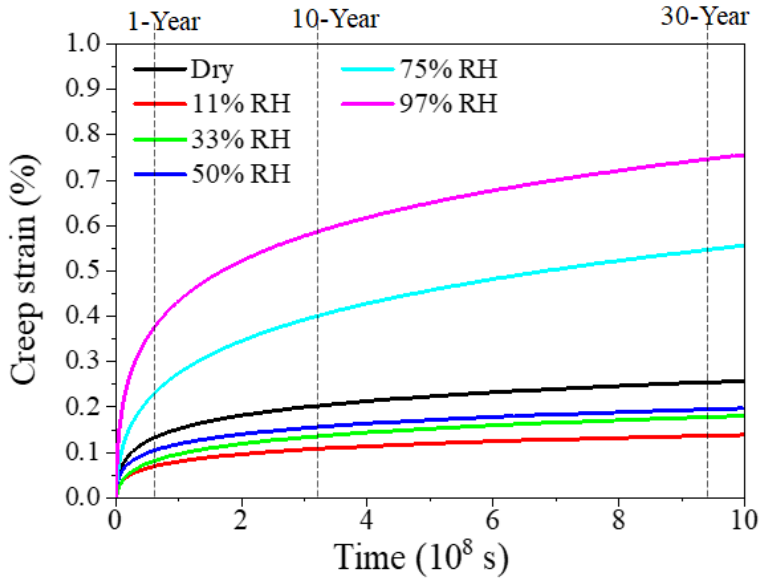


Uitgevoerde materiaalproeven vlascomposiet

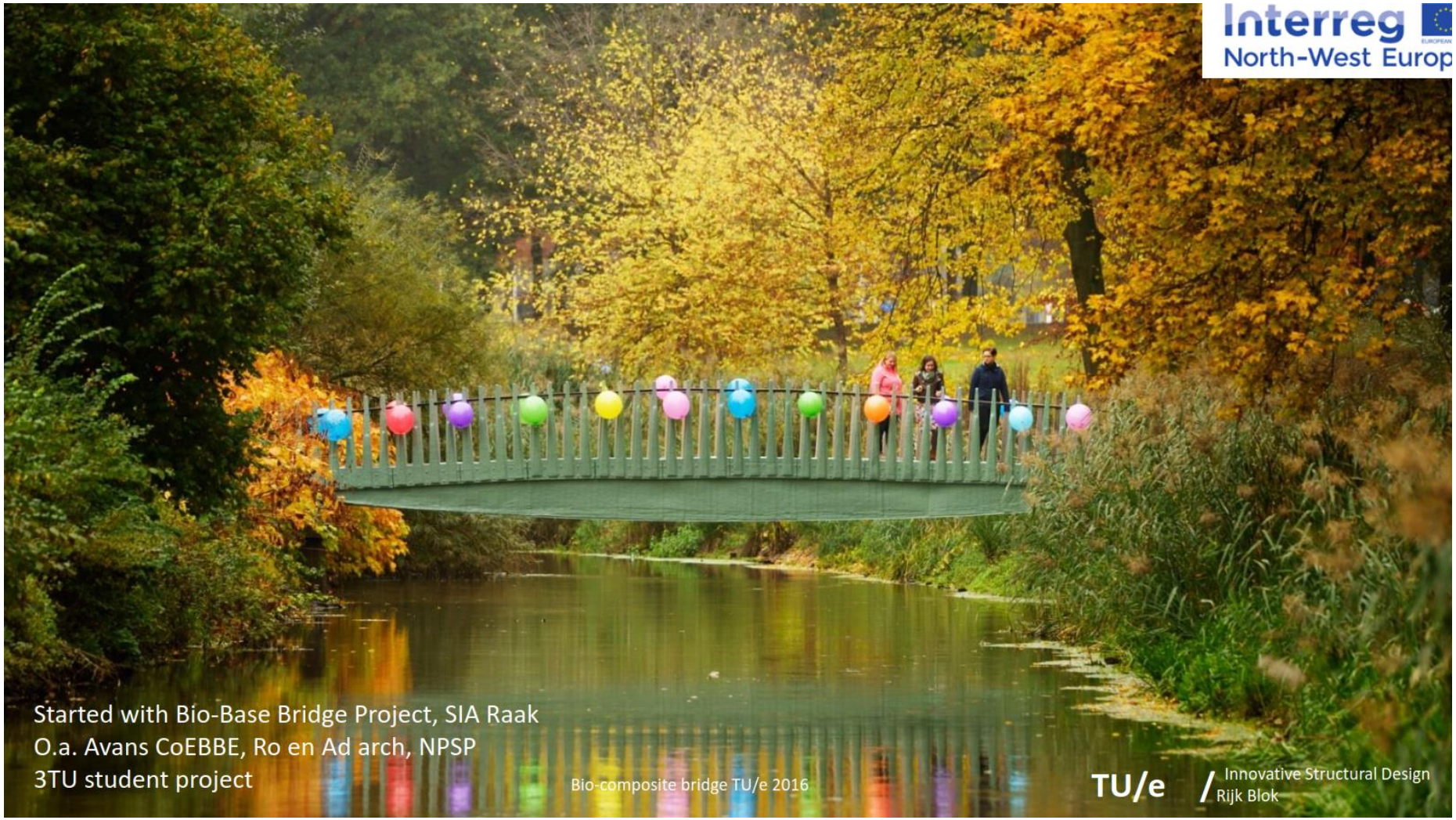
(TU/e, KULeuven, FiberCore, Com&Sens, FibR)

Invloed relatieve vochtigheid op materiaalgedrag





Eerste onderzoeksbrug TU/e



Overzicht materiaalonderzoek TU/e en KULeuven

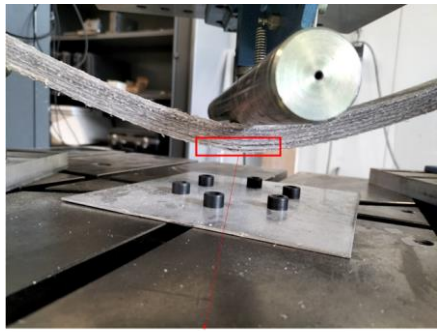
1. **Report SCB_Tensile Testing Report June, 2021**
   Laboratoriumtesten om de eigenschappen van de verschillende Vlasvezels in verschillende richting in combinatie met de Bio-Polyestherhars te bepalen.

2. **Report on the mechanical performance of the tensile tests performed on specimens from full height Almere bridge.**
   Er is een 1:1 productie model (Full Height production model0 gemaakt met de werkelijke balkhoogte met een lengte van 2,0 m. Hiermee is bepaald of de temperatuursontwikkeling tijdens de verharding gemonitord en is bekeken of curing plaatsvond in overeenstemming met eerder lab-testen op de polyestherhars. Van dit productie model zijn testsmaples gesneden (water-jet cutting) Die zijn getest op trek- (TU/e en buigsterkte (KULeuven) en stijfheid:

3. **Short beam Interlaminate shear tests**
   Ter bepaling van de Interlaminate Shear zijn er zogenaamde "short beam bending test" uitgevoerd om hiermee de interlaminaire schuifsterkte, te bepalen.

4. **Experimental Testing and results Large Scale struct Beam.** Er is een "Large Scale constructieve balk" geproduceerd met exact de lay-up en diktes van de flensen en het lijf, zoals voorzien zijn in het brugontwerp. Ligger bx l x h = 3,0 m x 0,6 m x 0,4 (Large scale structural test. In de ligger zijn FBG strain sensoren opgenomen. Deze test is belast in TU/e lab tot 80 kN waarbij de optredende rekenwaarden van de Normaalspanningen en schuifspanningen die voorzien zijn in de modellering van de brug ook in deze balk bereikt werden. De balk is niet verder belast om deze ook gedurende langere tijd in een buitenomgeving te monitoren.

5. **Bio-composite large scale beam model for the SCB Almere Fem Analysis and comparison with test.** Van de Large scale structural Model zijn tevens FEM analyses gemaakt. Hierbij zijn met behulp van de eerder verkregen waarden de gemeten FBG sensor strains vergeleken met de waarden van de FEM analyse en zijn de gemiddelde stijfheden van de balk teruggerekend en gecontroleerd



Failure happen in tension side

04-Mechanical Test Model

03-Full Height Specimen

Breukrek en -spanning

Overview and comparison strength and stiffness

Location	Strength tension Charac teristic fk	Design model Building Application fk	*resulting stresses model f ED*	IL Shear (short beam, indicative) $\tau_{ILS\ k}$	Stiffness Design Model E	Stiffness theor. Laminate with fiber layup E	Stifness samples from product. model E	Fiber Volume Fraction (design model 40%) FVF	Void ratio e	Stiffness Simpel FEM model of structural beam (h=400mm) E
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)	(GPa)	v/v	%	(GPa)
Top (Deck) Mouldside	98	50 fd= 12,5 MPa	9,2 (9,5 Wheel)	9,3	10	15,1	12,3	0,37	0,4 %	14
Bottom	112	50	9,9	7,3	10	14,2	9,9	0,38	3,25 %	12
Web general			2,6	(4,4)	8,5	11,9			3,0 %	6
Web top	47						6,8	0,329		
Web bottom	43						5,2	0,326		

Table 4.2 resulting Tensile failure strength and failure strain(From the report Samples talen from large scale production model; T1 and T6 are average values for the Flanges, T4 for the Webs).

Specimen group	Stress*	Strain*
T.1	105,9 (±3. 96)	1,69 (±0. 095)
T.6	118.9 (±3. 47)	1,63 (±0. 11)
T.4.Top	57,04 (±5. 26)	1,38 (±0. 14)
T.4.Bottom	54,56 (±6. 17)	1,43 (±0. 11)

* Average with its standard deviation in brackets

- Rekenwaarde breukspanning bepaald op ongeveer een 1/8 van karakteristieke sterkte (CUR 96 meest ongunstige factoren $\gamma_m \approx 4$ en ongunstige aanname over karakteristieke sterkte in initieel ontwerp van 50 MPa)
- Optredende spanningen bij maatgevende belastingcombinatie ontwerp zijn ongeveer 1/10 van karakteristieke sterkte

Statische belastingproef op het eindproduct

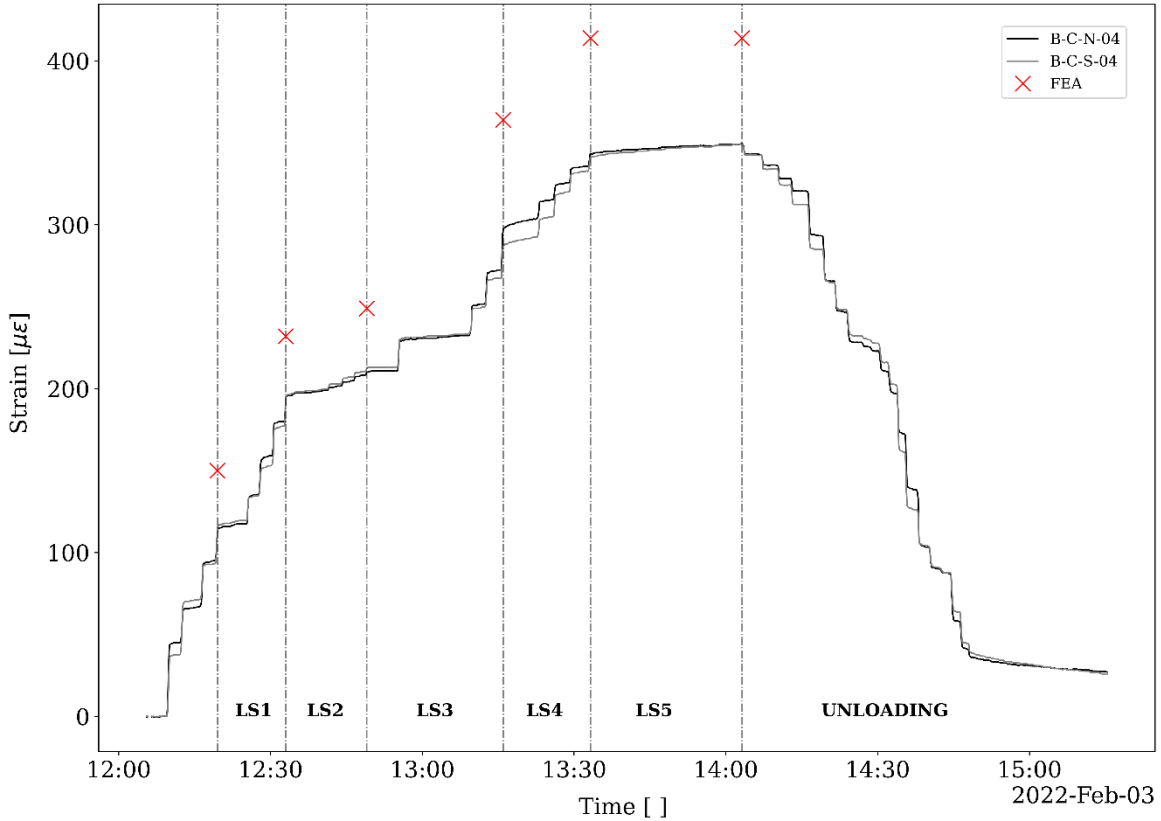
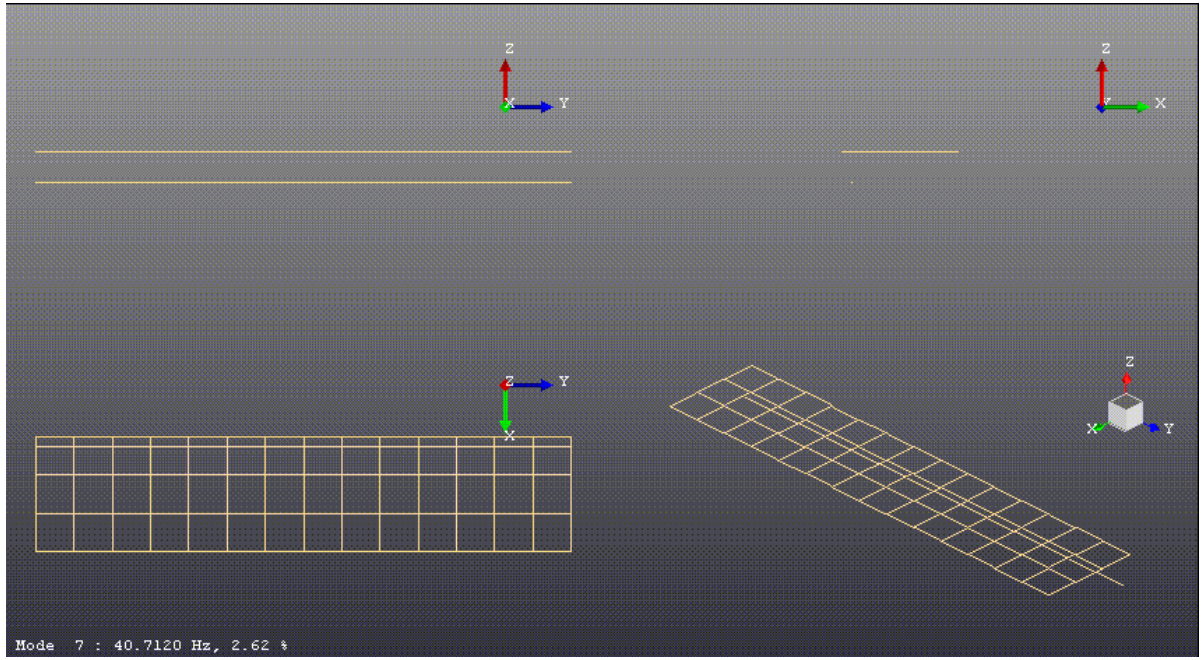


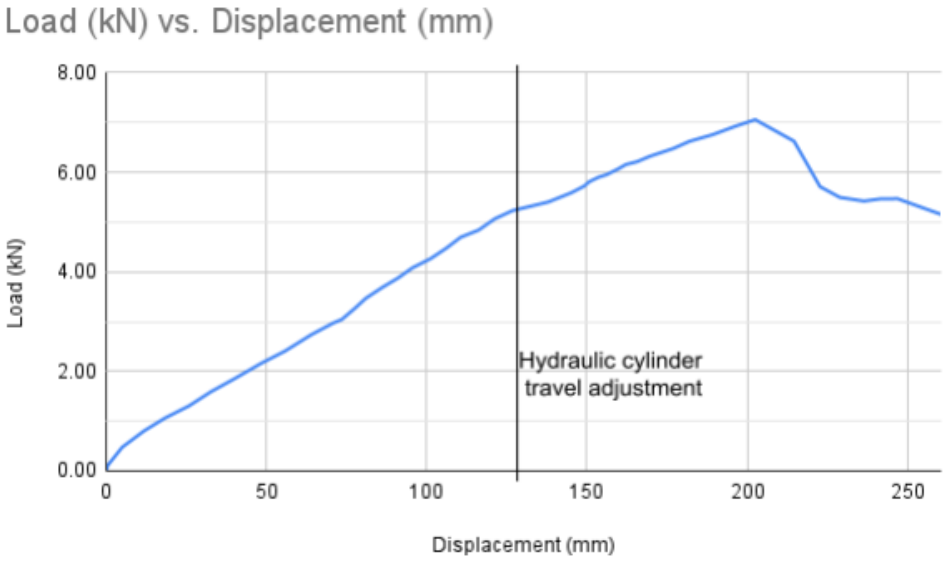
Fig. 6 Longitudinal strains in bottom: in situ vs. numerical values (tension)

Dynamische belastingproef op het eindproduct



Belastingproef op de leuning

Testing Setup

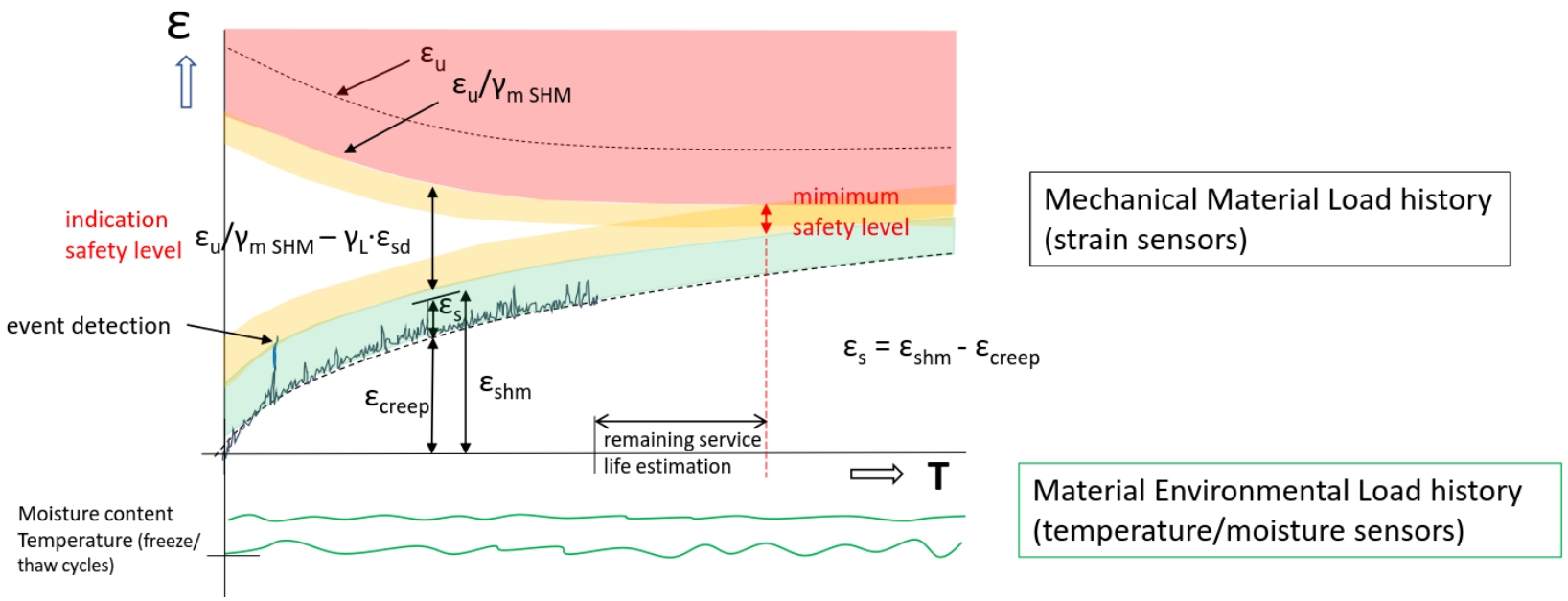


BouwQ

Bepaling toetscriteria voor vlascomposiet

Hoe zit het op de lange termijn?

- Goed beeld van materiaaleigenschappen aan begin levensduur constructie. Enig inzicht in verwacht kruip- en vermoeiingsgedrag
- Wat is de invloed van Uv-licht, degradatie van materiaal door (nog) onbekende oorzaken en werkelijk kruip- en vermoeiingsgedrag?
- Oplossing tweeledig: Ruime marge in materiaalfactoren en toepassing van een monitoringsysteem



Vereist voor veiligheid vs gewenst voor onderzoek

- Materiaaleigenschappen en ontwerp
- Enkele betrouwbare reksensoren voor statische metingen (met temperatuur en relatieve luchtvochtigheid ter correctie)
- Alarmwaardes waarbij brug te sluiten
- Periodieke belastingproeven en inspecties
- Vastlegging verantwoordelijkheden
- Dashboarding voor beheerder
- Periodieke rapportages aan beheerder

- Onderzoek vele varianten materiaal
- Veel sensoren voor rek, uitgebreide weerdata, versnellingsmeters
- Waarschuwingswaardes voor interessante data
- Deep Learning algoritmes voor interpretatie (kruip, vermoeiing, anders)
- Totaaloverzicht van alle sensordata
- Wetenschappelijke publicaties

Vastlegging toetscriteria

Engelstalig document met eisen en toelichting t.a.v. alle maatregelen om aan Bouwbesluit (gelijkwaardigheid) te voldoen

Project Smart Circular Bridges

for pedestrians and cyclists in a circular built environment

https://www.nweurope.eu/smartcircularbridge

Report title	:	Structural Health Monitoring as a means of demonstrating equivalence of structural safety level during the service life of flax composite bridges for pedestrians and cyclists
Author(s)	:	Marcel de Best, Rijk Blok
Company	:	BouwQ (on behalf of Gemeente Almere), TUe
Date	:	06-04-2022 rev 1.0
Mailing list	:	

Interreg North-West Europe Smart Circular Bridge

Project Smart Circular Bridges

for pedestrians and cyclists in a circular built environment

https://www.nweurope.eu/smartcircularbridge

Report title	:	Onderbouwing gelijkwaardigheid van het constructief veiligheidsniveau gedurende de levensduur van vlascomposiet voetgangersbrug Almere d.m.v. Structural Health Monitoring
Author(s)	:	Marcel de Best, Rijk Blok
Company	:	BouwQ (namens Gemeente Almere), TUe
Date	:	19-04-2022
Mailing list	:	

Nederlandstalig document met concrete invulling hiervan voor brug Almere (onderdeel van de vergunningsaanvraag)

BouwQ

Uitgevoerde toets voor omgevingsvergunning

Toetsing d.m.v. opstellen van schaduwberekening

Werk :
Werknummer :
Onderdeel :
Te toetsen document :
Toetser :

BOUWQ

Blad : 3 -
Datum : - -

UD-lamellen

$E_1 = (E_R + (E_f - E_R) \times V_f) \times Q_{UD}$

$Q_{UD} \approx 0{,}97$

lijfplaten $t = 15{,}0$ mm (op tekening $t = 20$ mm)

polyester: $E_R = 3550$ Mpa
$G_R = 1350$ Mpa
$\nu_{12R} = 0{,}38$

vlasvezel $\approx 24{,}1\%$ per richting
$E_f = 25000$ Mpa

$E_1 = (3550 + (25000 - 3550) \times 0{,}241) \times 0{,}97$

$E_1 = 8458$ Mpa $= E_2$

In rapport wordt 8450 Mpa aangehouden
$E_1 = E_2 = 8450$ } lijven

Onderplaat en bovenplaat

onderplaat; $t = 20$ mm (tekening $t = 22$)
bovenplaat; $t = 25$ mm (tekening $t = 27$)

$E_1 = 10.000$ Mpa
$E_2 = 6600$ Mpa

Werk :
Werknummer :
Onderdeel :
Te toetsen document :
Toetser :

BOUWQ

Blad : -
Datum : - -

compositie: $q_{eq.} = 14\,kN/m^3 \times 279375 \times 10^{-6} = 3{,}91$ kN/m'

Schuimvulling: $0{,}5\,kN/m^3 \times 0{,}285 \times 0{,}875 \times 11 = 1{,}37$

stijfloog : $1\,kN/m^2 \times 3{,}5 = 3{,}5$
leuning : $2 \times 0{,}6 = 1{,}2$

$\boxed{\Sigma q_{g+pm.} = 9{,}98\,kN/m'}$

$\delta = \dfrac{5 \times 9{,}98 \times 15000^4}{384 \times 361{,}8779 \times 10^{12}} = 18{,}2$ mm
(Rapport: 17,8 mm) } OK

$\boxed{V.B. = 5 \times 3{,}0 = 15\,kN/m'}$

$\delta(V.B.) = \dfrac{15}{9{,}98} \times 18{,}2 = 27{,}4$ mm
(Rapport: 29 mm) } OK

Combinaties

6.10 a) $q;d = 1{,}2 \times 9{,}98 + 1{,}2 \times 0{,}8 \times 15 = 26{,}4$ kN/m'

6.10 b) $q;d = 1{,}1 \times 9{,}98 + 1{,}2 \times 15 = 28{,}98$ kN/m'

$M;d = \frac{1}{8} \times 28{,}98 \times 15^2 = 815{,}06$ kNm

$V;d = \frac{1}{2} \times 28{,}98 \times 15 = 217{,}4$ kN

Borgen onafhankelijkheid en resultaat toetsing

- Verzoek van Gemeente Almere om, naast het opstellen van document met toetscriteria, tevens de constructieve toetsing voor de Omgevingsvergunning op ons te nemen
- Ter borging van een onafhankelijke toetsing besloten om een collega te laten toetsen die niet betrokken was bij het vaststellen van de criteria en bovendien ruime ervaring met ontwerp en toetsing van (composiet) bruggen heeft
- Resultaat toetsing: Dwarskrachtcontrole ontbreekt, te klein temperatuurverschil gerekend voor zomer-winter, vandalisme conform NEN-EN 1991-2 NB 5.7 (synchroon springende groep mensen) nog te beschouwen, fouten in funderingsadvies
- Aanvrager heeft hierop aangevuld, waarna akkoord is gegeven en vergunning verleend is. Vandalisme bleek in dit geval overigens niet maatgevend

Korte toelichting toegepast Structural Health Monitoring systeem

Sensoren in, op en bij de brug

- In totaal 82 reksensoren en 8 temperatuursensoren in de brug verwerkt
- 3 Versnellingsmeters op de brug en 1 weerstation ernaast
- Industriële voeding met UPS, 3G/4G verbinding met server, lokale backup data, optische splitter, diverse componenten voor sampling sensoren en D/A conversie
- Publiek dashboard is hier te zien

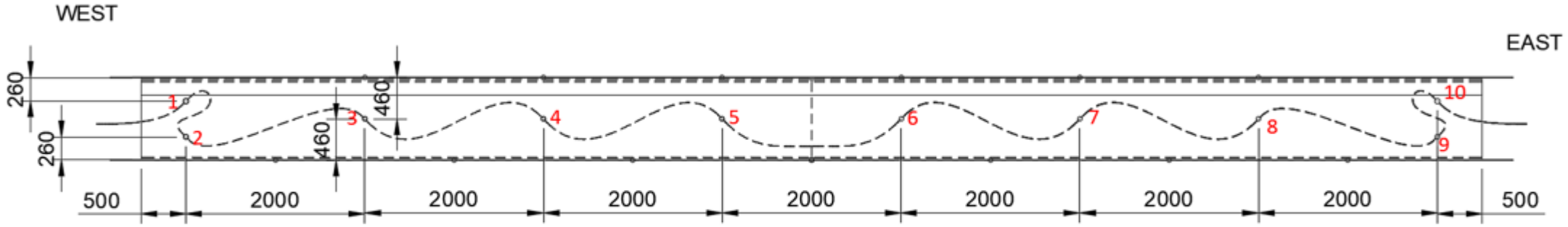


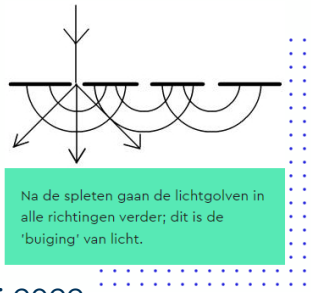
Figure 5-5: Naming convention and positioning for the web sensors lines. Each of the Web sensor lines has 10 sensors distributed along its length. Sensor 1 (normal side) is in the West (left on the drawing)

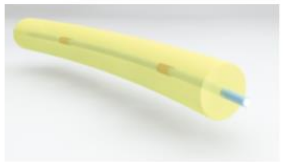
Werking optische Fiber Bragg Grating sensoren

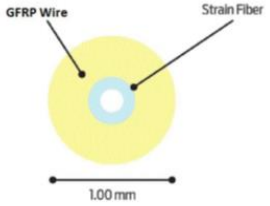
- Licht door tralies: iedere opening is een puntvormige lichtbron
- Middelbare school, interferentie van golven: uitdoven en versterken van frequenties
- Afstand tussen tralies verandert, uitgedoofde en versterkte frequenties veranderen mee
- Meerdere sensoren in één glasvezel mogelijk door bandbreedte per sensor te variëren
- Reksensor vast aan constructie, temperatuursensor niet

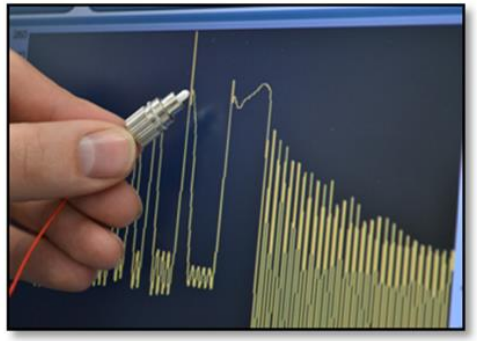
Wat doet de tralie?

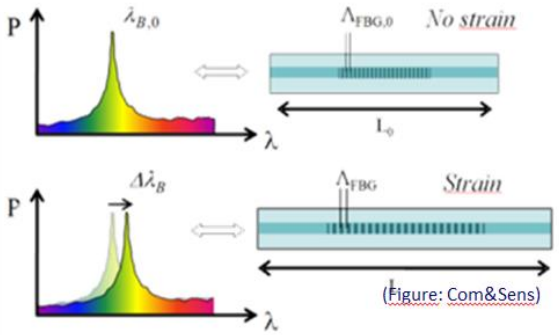
Het licht valt op een groot aantal spleten van de tralie. In de figuur hieronder is dit uitvergroot weergegeven. Één invallende lichtstraal is getekend. Iedere spleet fungeert nu als een lichtbron van waaruit het licht zich verspreid. Dat is aangegeven door vanuit een drietal spleten halve cirkels te tekenen die de toppen van de lichtgolven aangeven. Deze golven ontmoeten elkaar en zullen interferentie vertonen.











Shift in Spectrum is accurate measure for Strains

BOUWQ

Science Park Eindhoven 5228
5692 EG Son

T +31(0)499 36 54 40
E info@bouwq.nl
I www.bouwq.nl