

Normy dla Tworzyw sztucznych wzmacnianych włóknem (FRP)

Inż. technik Kees van IJseleuijden PMSE

Inż. Liesbeth Tromp

Kompozyt

- ☐ Kto ma (miał) wykonaną z niego deskę surfingową?
- ☐ Kto ma wykonaną z niego łódź?
- ☐ Kto miał do czynienia z tworzywem sztucznym w konstruowaniu?
- ☐ Kto chciałby taki materiał zastosować?

Prezentacja

- ☐ Czym jest tworzywo sztuczne i czym różni się od tradycyjnych materiałów?
- ☐ CUR i Eurocode, dlaczego?
- ☐ Dlaczego lepiej wybrać tworzywo sztuczne i co stanowi o atrakcyjności tego materiału?

Stal vs FRP

składnik	stal	FRP
profile	standardowy IPE, HEA, itd	Pultrusie: IPE, box, profile C
plyty	plyta stalowa lub ortotropowa	plyta FRP lub sandwich
material	S235; S355; itd.	GVK, CVK, Hybride
E-moduł E	izotropowy, E we wszystkich kierunkach taki sam	anizotropowy, E we wszystkich kierunkach różny, podatny
rozszerzalność (termiczna)	we wszystkich kierunkach tak samo	we wszystkich kierunkach różnie, zależne od włókna
połączenie	śruby i spawanie	śruby (jeżeli są potrzebne) sklejanie, wstrzykiwanie

Czym jest kompozyt?

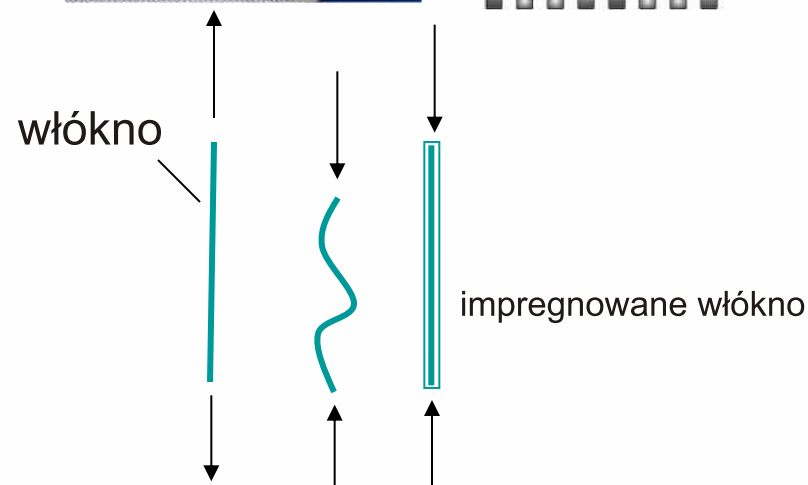
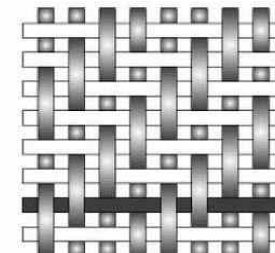
- (Tworzywo sztuczne) Kompozyt= tworzywo sztuczne wzmocniane włóknem
=włókno + żywica = matrix

Jaką rolę pełni włókno?

- Właściwości mechaniczne: sztywność, wytrzymałość (nacisk i ciśnienie)

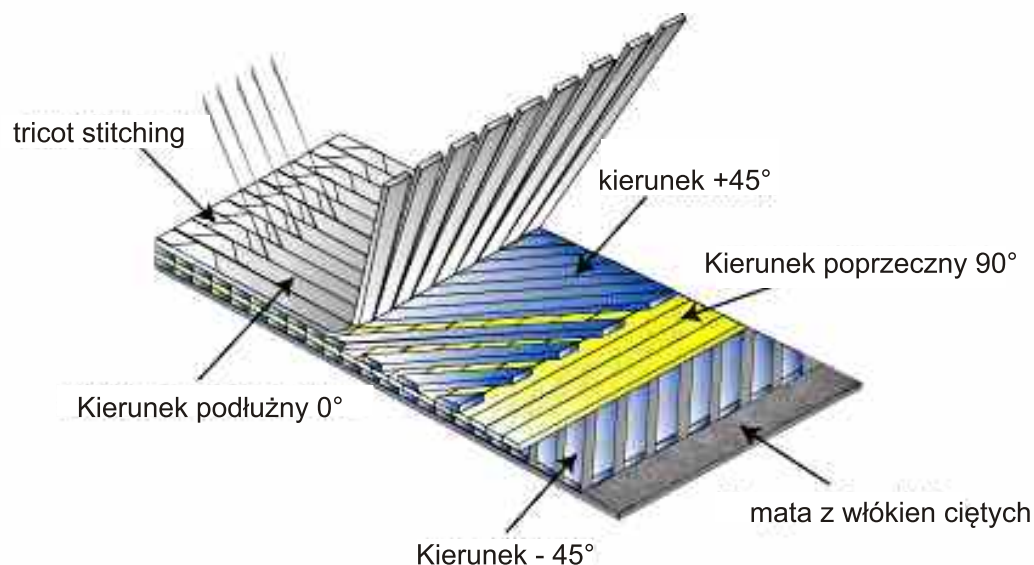
Jaką rolę pełni żywica?

- Wzmacniają trwałość włókna
- Nasycanie do powstania laminatu
- Właściwości chemiczne (UV, wilgoć, substancje chemiczne, odporność na wysokie temperatury)

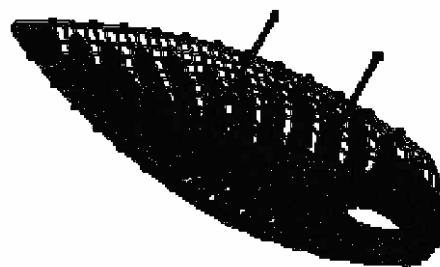


Orientacja włókien / Laminat

Rodzaje	Opis
Jednokierunkowa (0° lub 90°)	425 – 2400g/m ²
Dwuosiowa ($\pm 45^\circ$)	250 – 1200g/m ² kombinacja i taśma możliwa
Dwuosiowa (0° / 90°)	300 – 1700g/m ² kombinacja możliwa
Trójosiowa (0° / $\pm 45^\circ$) ($-45^\circ/90^\circ$ / $+45^\circ$)	600 – 1800g/m ² kombinacja możliwa
Czteroosiowa (0° / -45° / 90° / $+45^\circ$)	600 – 2400g/m ² kombinacja możliwa



Iniekcja

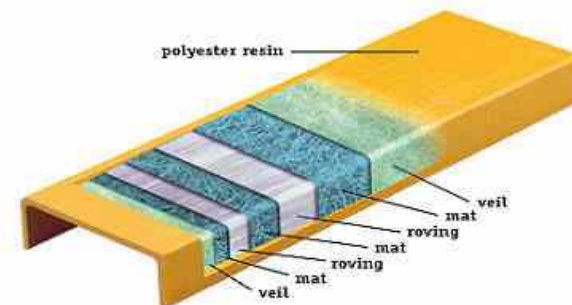
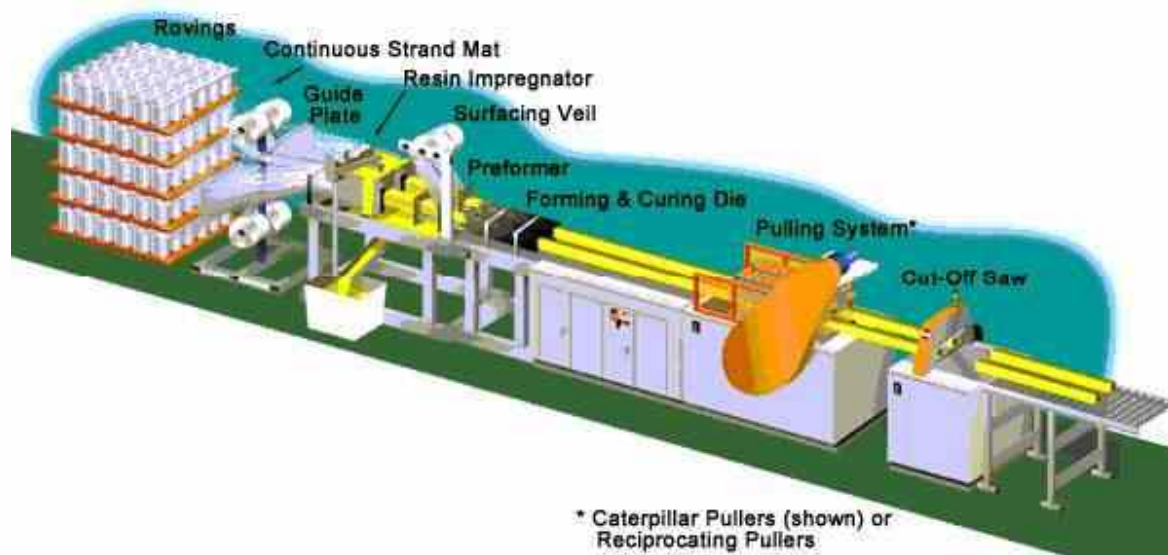


symulacja



- Iniekcja żywicy pod folią z różnicą ciśnienia 1 bar
- Nie ma ograniczeń co do wymiarów przekroju (grubość jest istotna)
- Duża wolność formy, kombinacje materiałów są możliwe

Poltruzja



- ☐ Zautomatyzowany proces do produkcji profili pryzmatycznych
- ☐ Ograniczone pomiary przekroju
- ☐ Włókna głównie w kierunku wzdłużnym

Właściwości mechaniczne

1.3 Stress - Strain Diagrams

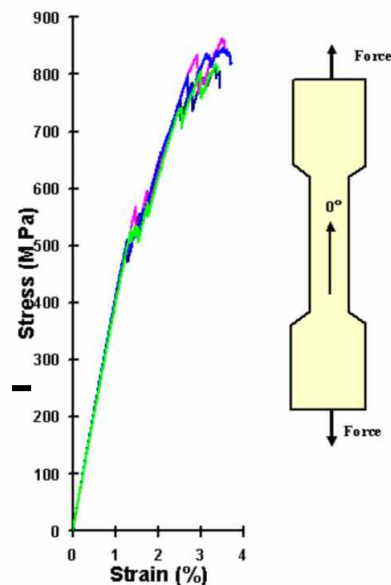
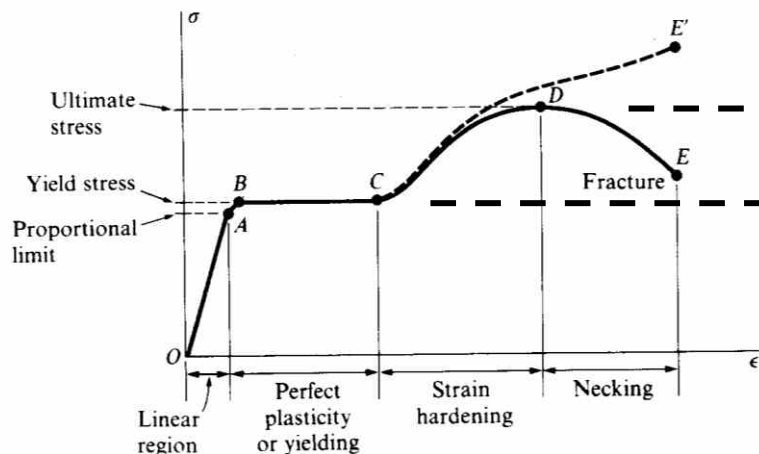


Figure 4-1.5 Tensile-induced damaged stress-strain curves for the unidirectional $[0^\circ]_{24-ply}$ composites at 75°C.

UD Glas

	Moduł rozciągania GPa	Wytrzymałość MPa	Nacisk przy awarii (%)	Gęstość
☐ Stal 36:	210	400	0.2	7.85
☐ Szkło UD, Vf 50%	37.7	565	1.5	1.88
☐ Szkło QI	18.6	222	1.2	1.88
☐ Węgiel UD Vf 60%	135	1500	1.05	1.56
☐ 0/90 Węgiel Vf 50%	70	600	0.85	1.5

Gdzie kompozyt znajduje zastosowanie?



Lekkie

- ☐ Samoloty (części wewnętrzne i konstrukcyjne)
- ☐ Środki transportu (pociągi, autobusy)
- ☐ Opakowania
- ☐ Transport kosmiczny
- ☐ Sprzęt sportowy
- ☐ Czasowe konstrukcje
- ☐ Itd.

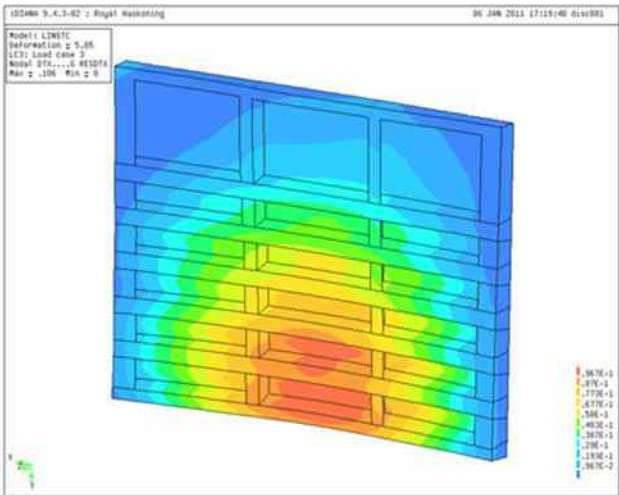
Wątpliwości związane z innowacyjnymi, nowymi materiałami



Projekt Lightweight Structures



Projekt Royal Haskoning



Projekt Royal Haskoning,
Lightweight Structures i
Ballast Nedam



Dlaczego zwykle wybieramy stal lub beton?

- 2007 Hollandse brug (rok budowy 1969) nie wytrzymała obciążeń po ok. 40 latach



- 2009 Renowacja 8 stalowych mostów (zbudowane w latach: 1967 do 1976 i 1990) po ok. 40 latach materiał nie jest odporny na zmęczenie.



Wiele projektów zostało zrealizowanych na podstawie obecnych wytycznych FRP -

- ☐ 1996 EUROCOMP Design Code
Structural Design of Polymer Composites
- ☐ NL: 2003 CUR 96 **Tworzywa sztuczne wzmacniane włóknem w konstrukcjach publicznych**
- ☐ UK: 2005 BD90/05 Design of FRPBridges and Highway Structures
- ☐ USA: 2008 AASHTO: GuideSpecification for Design of FRP Pedestrian bridges

**Nie są kompletne,
potrzebne są nowe wytyczne!!**

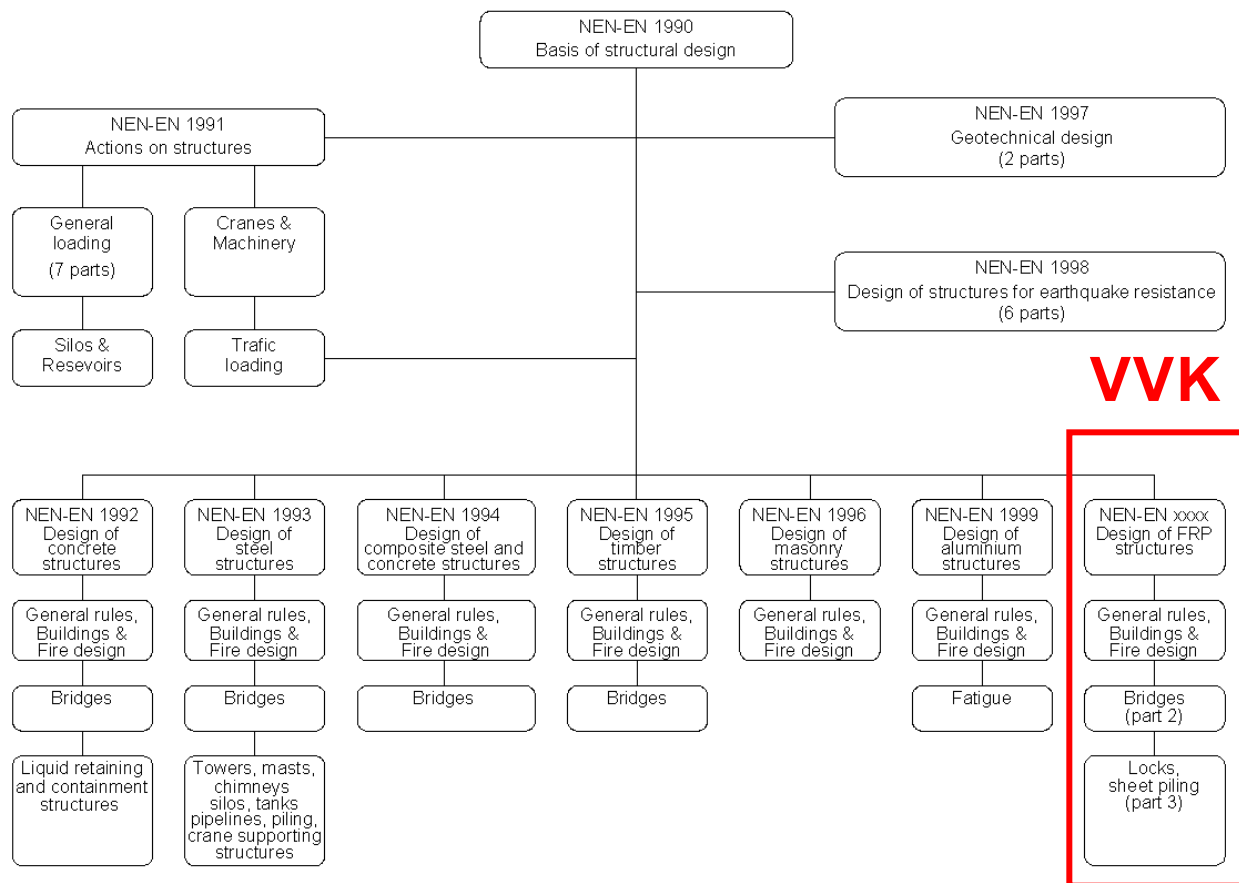
Potrzeba nowych wytycznych!

- ☐ Dostępne dla wszystkich
- ☐ Rozpoznawalne
- ☐ Równowartościowe
 - ☐ Wiarygodne

Jak możemy to osiągnąć?

- ☐ Projekt na podstawie metod opisanych w Eurocode
- ☐ Uwaga: Wytyczne lub normy FRP nie są wystarczające, aby konstruktor znający się na stali i betonie mógł wykonywać projekty z FRP. Studia lub szkolenia w tym kierunku są potrzebne.

Projekt Eurocode



2010: Start CUR Zalecenia 96+

KONSTRUKCJE Z TWORZYW SZTUCZNYCH

ZALECENIA CUR

'konstrukcje nośne z tworzyw sztucznych wzmocnianych włóknem 'Rijkswaterstaat DI, Gemeenten, FiberCore, Bijl Profielen, Lightweight Structures, DSM, PPG, WMC, Technoconsult, Biinc, Breijn i Royal Haskoning



Komisja uzupełniona później o: NEN, Witteveen + Bos; Movares; Arcadis; Teijin; CTC; Solico

Normy dla FRP

Strona 16
28 marca 2013

Podejście

- ☐ Faza 1: Inwentaryzacja (gotowa w 100%)
 - ☐ Aeronautyka
 - ☐ Offshore
 - ☐ Przemysł wiatrowy
 - ☐ Przemysł jachtowy

- ☐ Faza 2a: Napisanie zaleceń na podstawie Eurocode (95%)
- ☐ Faza 2b: Nauka na podstawie zrealizowanych projektów (gotowe w 60%)
 - ☐ Czego brakuje?
 - ☐ Czym jest pewność?

Rozdziały CUR96+

Rozdział	Odpowiedzialny za wykonanie
1 Ogólne	Royal HaskoningDHV/Kees van IJselmuiden
2 Podstawy projektu i obliczenia	Royal HaskoningDHV/Kees van IJselmuiden en Liesbeth Tromp
3 Materiały	DSM/José Maria Rodriguez
4 Trwałość	Biinc/Ben Drogd
5 Obliczenia konstrukcyjne	Royal HaskoningDHV/Ernst Klamer
6 Projektowanie konstrukcji metodą stanów granicznych	Solico/Eric van Uden + CTC/Peter Joosse
7 Stany graniczne użytkowości	FiberCore/Jan Peeters
8 Opisanie poszczególnych elementów	Royal HaskoningDHV/Liesbeth Tromp + INHolland/Rogier Nijssen
9 Połączenia	Royal HaskoningDHV/Liesbeth Tromp

Nowe CUR, co się zmieniło?

Metoda produkcji	Współczynnik częściowy dla materiału	
	utwardzony laminat	nietwardzony laminat
Włókna do wstrzykiwania	1,6	1,9
Laminowanie ręczne (lay-up)	1,4	1,7
Próżniowe wstrzykiwanie lub pod ciśnieniem	1,2	1,4
Nawijanie włókien ciągłych	1,1	1,3
Prepreg gen	1,1	1,3
Poltrusie	1,1	1,3

Uwaga: utwardzenie oznacza, że przed gotowością konstrukcji nośnych wszystkie zalecenia zostały zrealizowane. Może zostać dokonane poprzez obróbkę termiczną.

- Dodanie węgla
- Bardziej rozpoznawalny podział
- Zrozumiałe o jakie testy chodzi
- Rozszerzona kontrola
- Konstrukcje sandwich
- Połączenia
- szczegóły

		szkło		węgiel ⁿ		
		E-glas	R-glas	HS	IM	HM
		wartości charakterystyczne	wartości charakterystyczne	wartości charakterystyczne	wartości orientacyjne	wartości orientacyjne
ciężar właściwy (kg/m ³)	Poisson ratio ν_1	0,238	0,2	0,3	0,32	0,35
	Stijfheid E_{11} (MPa)	73100	86000	238000	350000	410000
	Rekgrens ϵ_{11} (%)	3,8	4	1,5	1,3	0,6
	Sterkte σ_{11} (MPa)	2750	3450	3600	4500	4700
ciężar właściwy w kierunku włókna	Poisson ratio ν_2	0,238	0,26	0,02	0,01	0,01
	Stijfheid E_{22} (MPa)	73100	86000	15000	10000	13800
	Rekgrens ϵ_{22} (%)	2,4	2,4	0,9	0,7	0,45
	Sterkte σ_{22} (MPa)	1750	2000	135	70	60
ciężar właściwy w kierunku włókna	Rekgrens ϵ_{12} (%)	2,4	2,4	0,9	0,6	0,45
	Sterkte σ_{12} (MPa)	1750	2000	2140	2100	1850
	Modulus G_{12} (MPa)	3000	34600	50000	35000	27000
	Rekgrens γ_{12} (%)	5,6	5,6	2,4	3	3,8
ściananie	Sterkte τ_{12} (MPa)	1700	1950	1200	1100	1000
	α (10^{-6} K^{-1})	5 - 0	3	-0,4	-0,6	-0,5

Przykładowe projekty

Obiekt	Strony
1 Most Dronten	FiberCore / Gmina Dronten
2 Most Oosterwolde	FiberCore / Witteveen+Bos
3 Mosty w Rotterdamie (9)	Bijl Profielen / Gmina Rotterdam
4 Most kolejowy	Bijl Profielen / Gmina Den Haag
5 Spieringsluis	RWS
6 Śluzy Ter Apel	FiberCore/ prowincja Groningen i Drenthe
7 Sklepienie peronów Zoetemeer	Solico / Movares
8 Most A27	Breijn / FiberCore
9 Elementy brzegowe	Smit Kunststoffen / Royal Haskoning



Provincie
Groningen/Drenthe en
FiberCore



Breijn en FiberCore

Prezentacja CUR96+



Ostateczny program “Revised CUR96 recommendation FRP Composite Structures”
3 maja 2013 RWS-Westraven Building , Griffioenlaan 2, 3526LA Utrecht, Holandia
IABSE-WC8 FRP Structures & CUR Infra CUR 96+&Eurocode WG4 FRP

10:00 – 12:00 Eurocode WG4 FRP (jedynie na zaproszenie Luigi Ascione)

12:45 Rejestracja

13:00 Otwarcie & Powitanie

13:05 Lisbeth Tromp, Royal Haskoning DHV – wprowadzenie, Basis of Design, Calculation Principles and Materials

13:30 Dyskusja

13:45 Eric van Uden, Solico – Design in Profiles

14:00 Peter Joosse, CTC Group – Designing in Shells

14:15 Jan Peeters, FiberCore-Europe – Designing at the Serviceability Limit State

14:30 Rogier Nijssen

14:45 Dyskusja

15:00 Przerwa, przekąski

15:30 Powitanie

16:50 Dyskusja

17:00 Zamknięcie

17:05 Napoje

18:00 Zakończenie

Eurocode

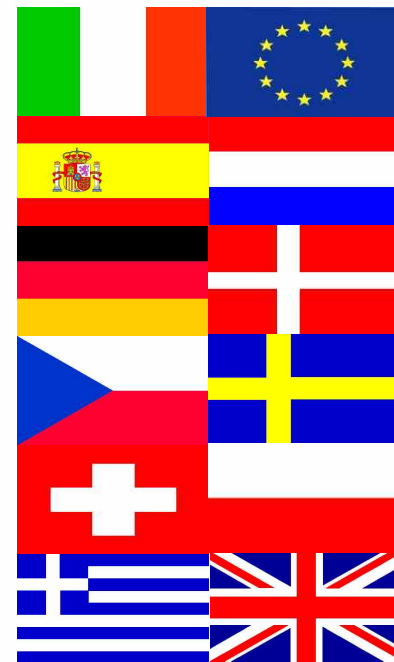
1. ~~Wzmocnienie istniejących konstrukcji~~
2. ~~Zbrojenie betonu~~
3. Całkowicie nowe konstrukcje z FRP



FiReCo

Eurocode TC/250 WG4

☐	Luigi Ascione,	<i>CHAIRMAN</i>	Włochy
☐	Eugenio Gutierrez		Włochy
☐	Carlo Paulotto		Hiszpania
☐	Pawel Poneta		Polska
☐	Miroslav Cerny		Czechy
☐	Patrice Godonou		Szwecja
☐	Morten Gantriis Sorensen		Norwegia
☐	Jan Knippers		Niemcy
☐	Matthias Oppe		Niemcy
☐	Thomas Keller		Szwajcaria
☐	Toby Mottram		Anglia
☐	T Triant		Grecja
☐	Kees van IJselmuiden		Holandia



Komisja z Holandii

- ☐ Ane de Boer
- ☐ Rolph Holthuijsen
- ☐ Kees van IJselmuiden
- ☐ Albert ten Busschen
- ☐ Jan Peeters
- ☐ Frits van den Boogaard
- ☐ José-Maria Rodriguez
- ☐ Piet Leegstra
- ☐ Rogier Nijssen
- ☐ Jos ter Laak

RWS

NEN

RHDHV

VKCN / PolyProducts

FiberCore

Breijn

DSM

PPG

WMC

VKCN / CTC

przewodnicząca
sekretarz
przedstawiciel

Planowanie

- ☐ CUR96+ gotowy w 2013
- ☐ Draft Eurocode Fiber Reinforced Polymer (FRP) gotowy w 2015
- ☐ Ocena Eurocode FRP gotowa w 2018
- ☐ Wprowadzenie Eurocode FRP najwcześniej w 2020



Projekt Royal Haskoning, Kombinacja KWS – VHB i Delft Composites

Dlaczego Holandia powinna wziąć udział w Eurocode?

- ☐ Wiedza
- ☐ Innowacyjne produkty
- ☐ Zleceniodawcy
- ☐ Innowacyjne biura inżynierskie
- ☐ Najwięcej mostów z tworzyw sztucznych na mieszkańca na świecie
- ☐ Holandia jest liderem w tej dziedzinie

W jakiej sytuacji wybrać tworzywo sztuczne?

- ☐ Wybór w oparciu o funkcję
- ☐ Wybór w oparciu o właściwości materiału
 - ☐ Ciężar
 - ☐ Wytrzymałość
 - ☐ Odporność na zmęczenie
 - ☐ Zarządzanie i utrzymanie
- ☐ Nadanie formy
- ☐ Dostępna przestrzeń
- ☐ Koszty

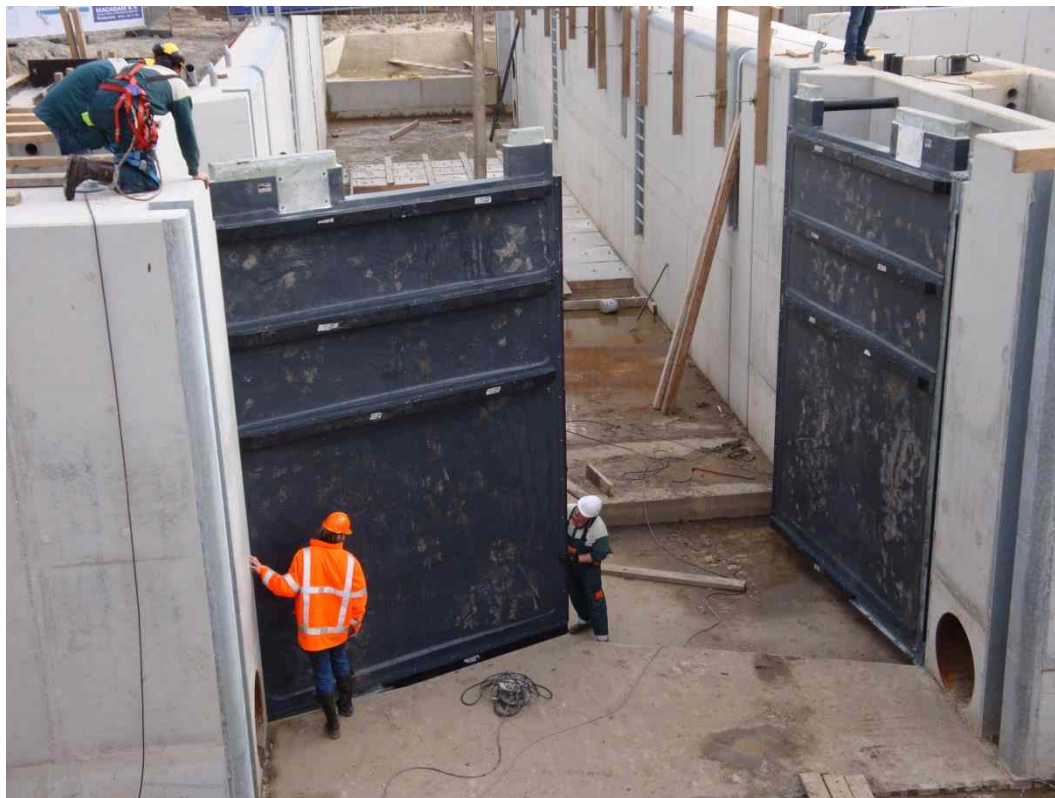
Tak naprawdę z tworzywa sztucznego możemy stworzyć przepiękne, solidne i trwałe konstrukcje!

Projekt w oparciu o właściwość => Zakładanie fundamentów ze stali



Movares, Heijmans,
FiberCore

Projekty w oparciu o funkcję



Wrota śluzy Prowincja Groningen/Drenthe i FiberCore

Szansy w innowacji, projekt w oparciu o nadanie formy



ROYAL HASKONING
Enhancing Society

gemeente harderwijk



the DRAGONFLY 

Szanse w innowacji, nadaniu formy i kosztach.

- Wyraźne zaoszczędzenie na kosztach realizacji w porównaniu z innymi złożonymi projektami.



Projekt Joris Smith Royal Haskoning

Obecny stan i rozwój

- ☐ Realizacja norm/wytycznych (Eurocode i CUR96+)
- ☐ Stymulowanie wiedzy o materiałach i techniki produkcji w obecnych szkołach wyższych i szkołach kształcących
 - ☐ Pultrusion
 - ☐ Infusion
 - ☐ Sandwich
- ☐ Dodatkowa szkolenia dla działających konstruktorów, ale także dla kierowników projektu, osób zarządzających i utrzymujących konstrukcje.
 - ☐ Kurs PAO „Budowanie z tworzyw sztucznych i kompozytów” (wiosna)
 - ☐ Kurs PAO „Tworzywa sztuczne w publicznych konstrukcjach i budownictwie” (jesień)



Normy dla FRP



Funkcjonalne projekty mogą być naprawdę piękne

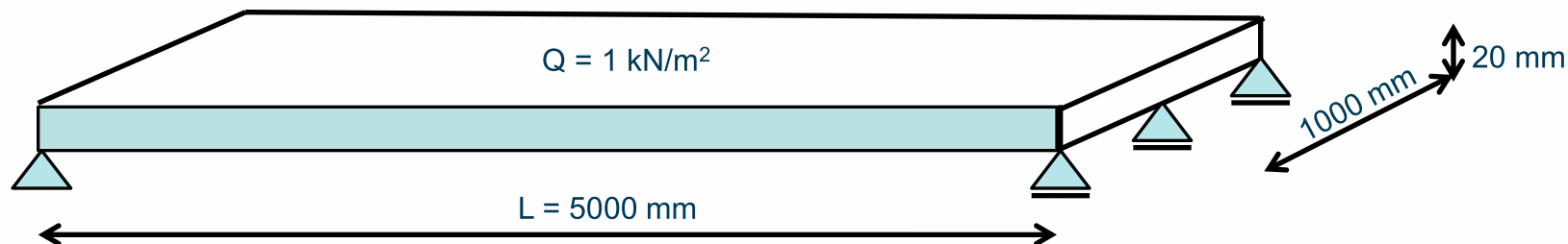


Wraz z wytycznymi jesteśmy
w stanie stworzyć więcej!!



Suma ręczna

□ Obliczenie ugięcia płyty



$$I = 1/12 * 1000 * 20^3 = 66.67 * 10^4 \text{ mm}^4$$

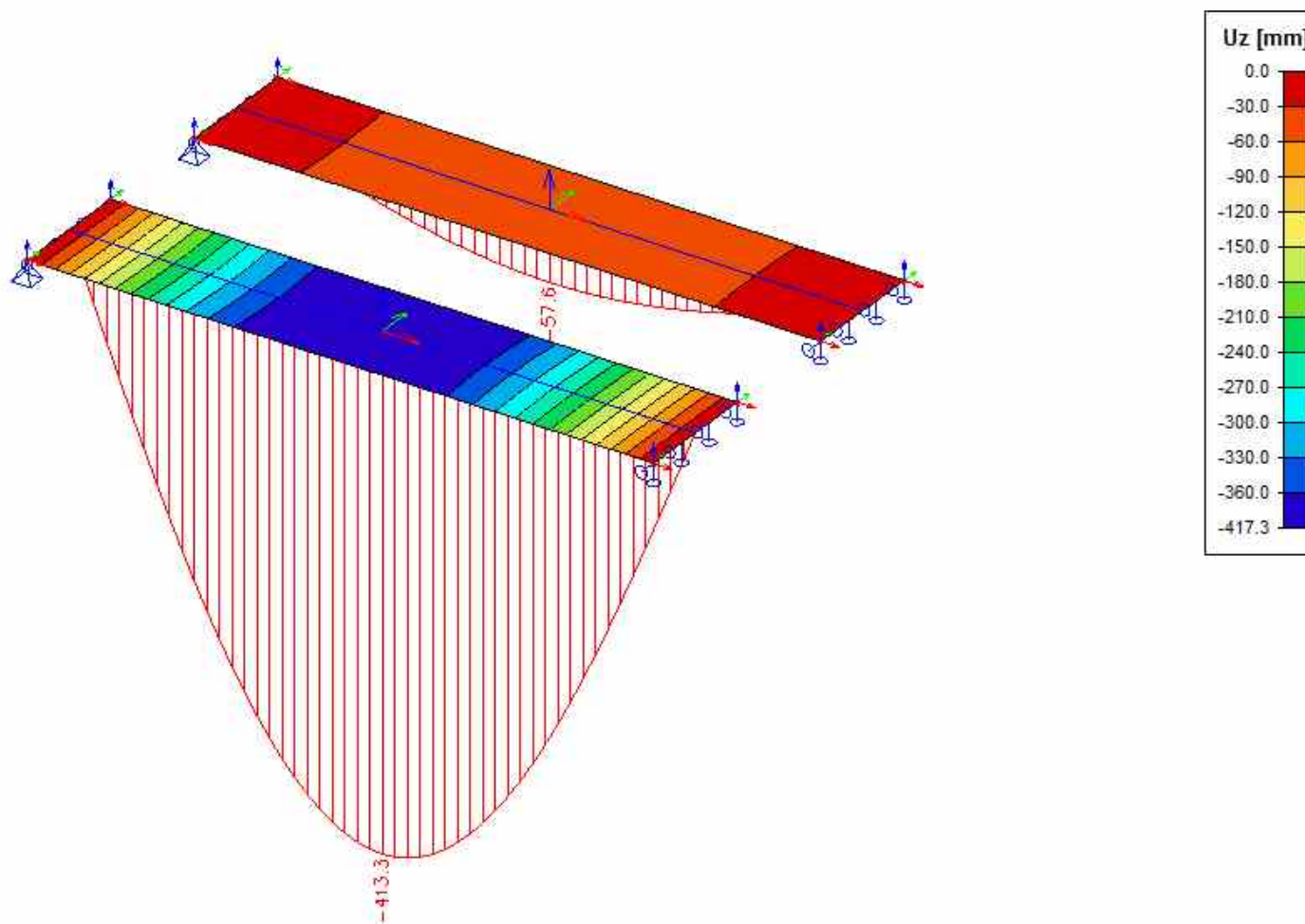
$$E_{FRP} = 29.424 \text{ GPa}$$

$$w_{FRP} = 5/384 * Q * L^4 / E * I = 414.8 \text{ mm}$$

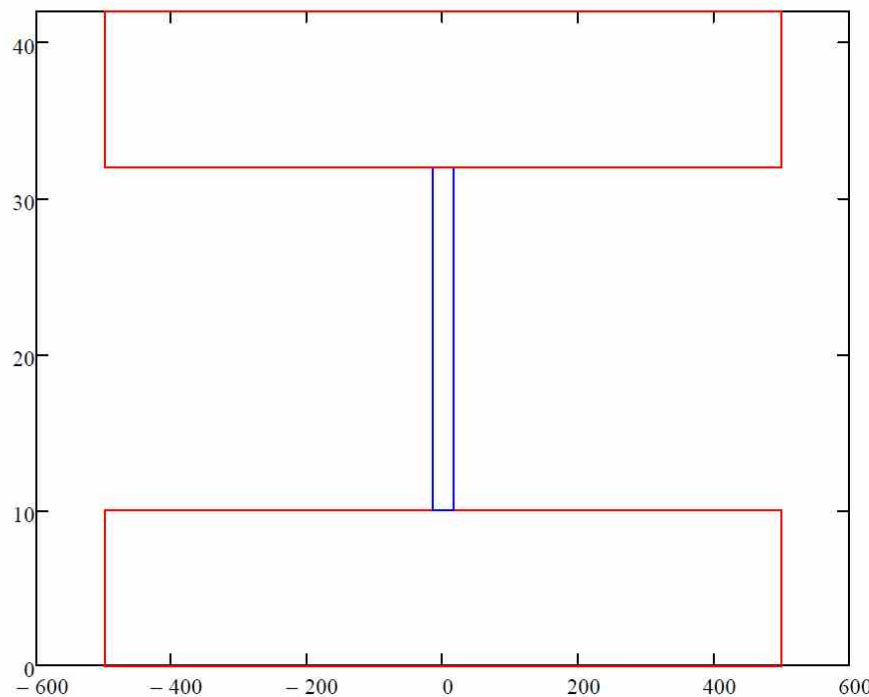
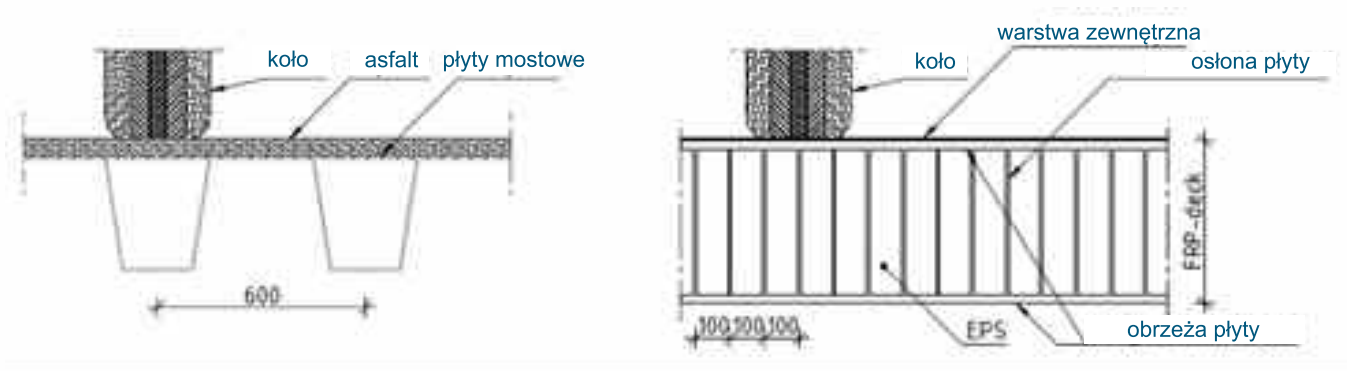
$$E_{stal} = 210 \text{ GPa}$$

$$w_{stal} = 29.424 / 210 * 414.8 = 58.1 \text{ mm}$$

Suma SCIA, ugięcie FRP i stali



FRP dopasowane do ugięcia



Normy dla FRP

Strona 36
28 marca 2013

$$q = 1 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$EI = 1.369 \times 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm}^2$$

$$EA = 5.283 \times 10^8 \text{ N}$$

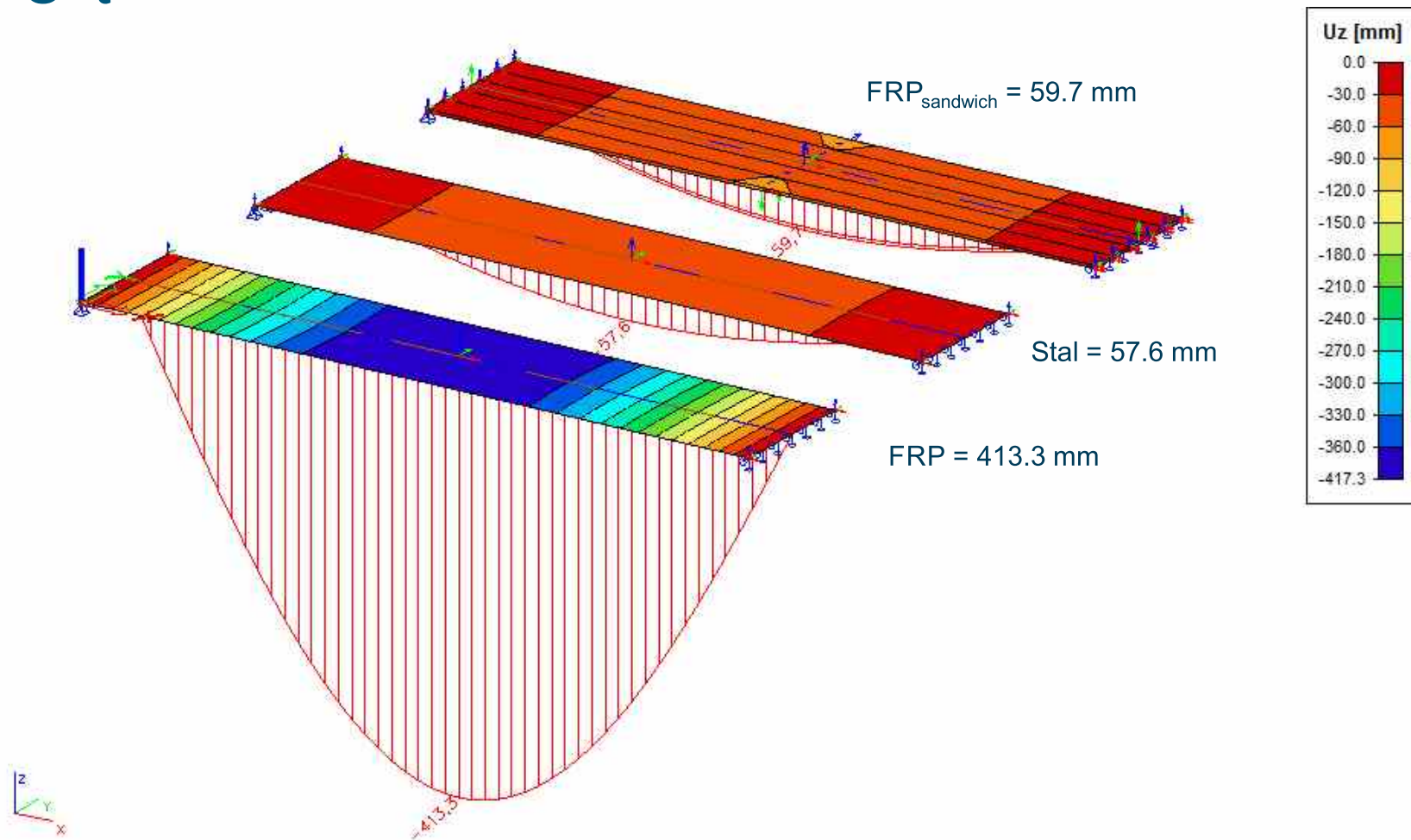
Obliczenie ugięcia elementów konstrukcji na 2 punktach podparcia

$$w_{\text{tot}} := \frac{\gamma_c \cdot 5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} + \frac{\gamma_c \cdot \eta \cdot q \cdot L^2}{8 \cdot GA} \quad w_{\text{tot}} = 59.641 \cdot \text{mm}$$

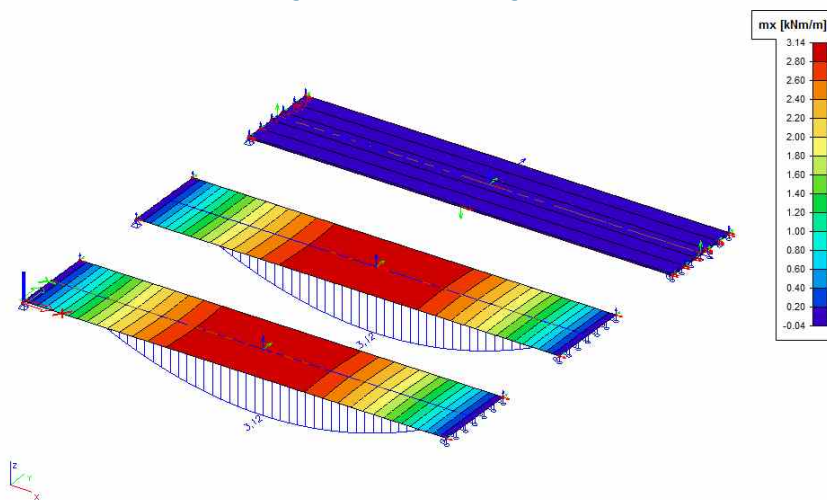
$$w_M := \frac{\gamma_c \cdot 5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} \quad w_M = 59.449 \cdot \text{mm}$$

$$w_{GA} := \frac{\gamma_c \cdot \eta \cdot q \cdot L^2}{8 \cdot GA} \quad w_{GA} = 0.192 \cdot \text{mm}$$

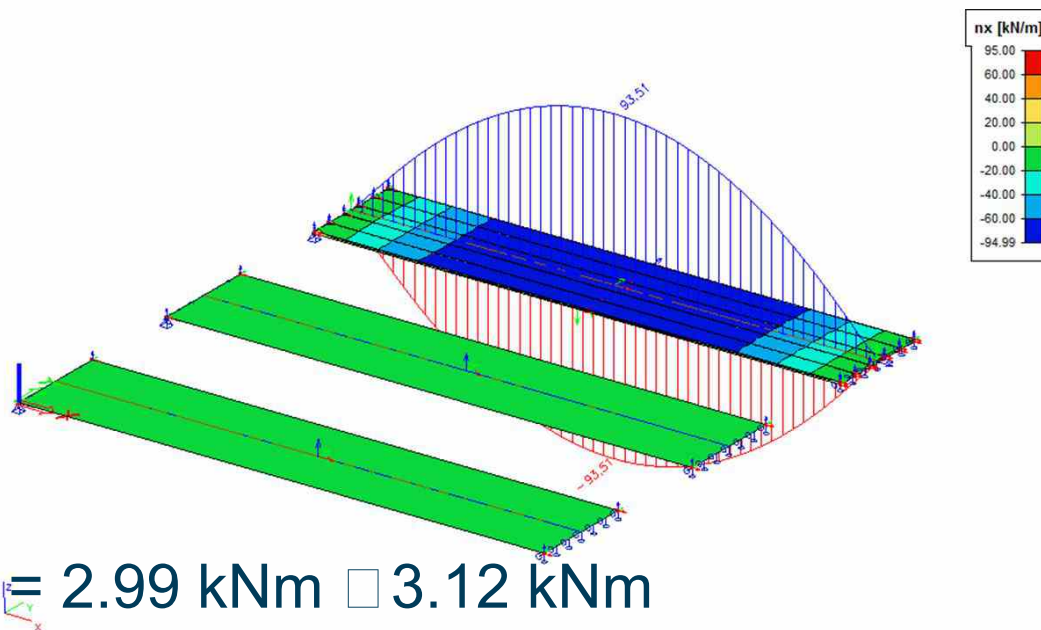
Ugięcie



Momenty w płycie

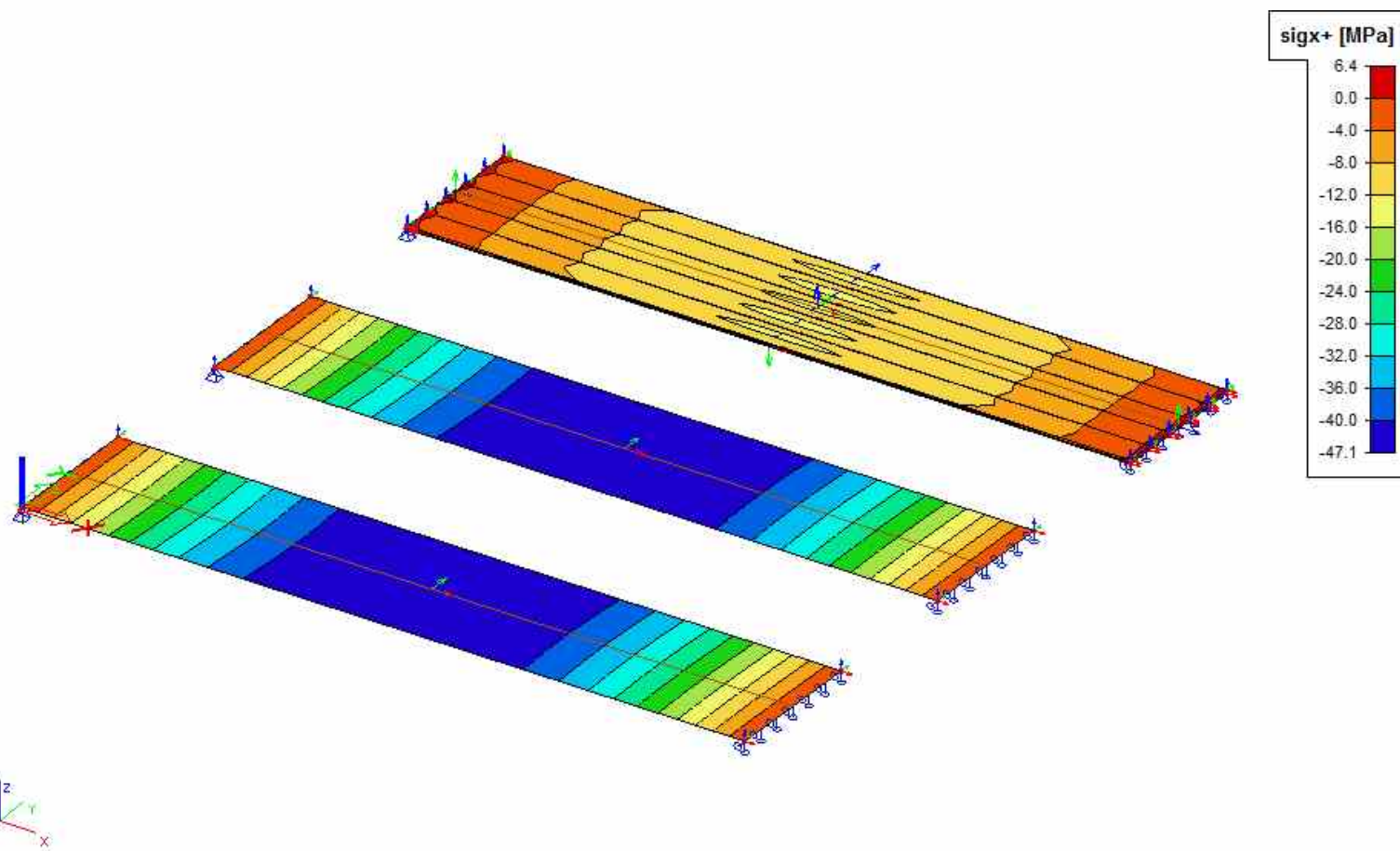


$$M = 1/8 * 1 * 5^2 = 3.1 \text{ kNm}$$



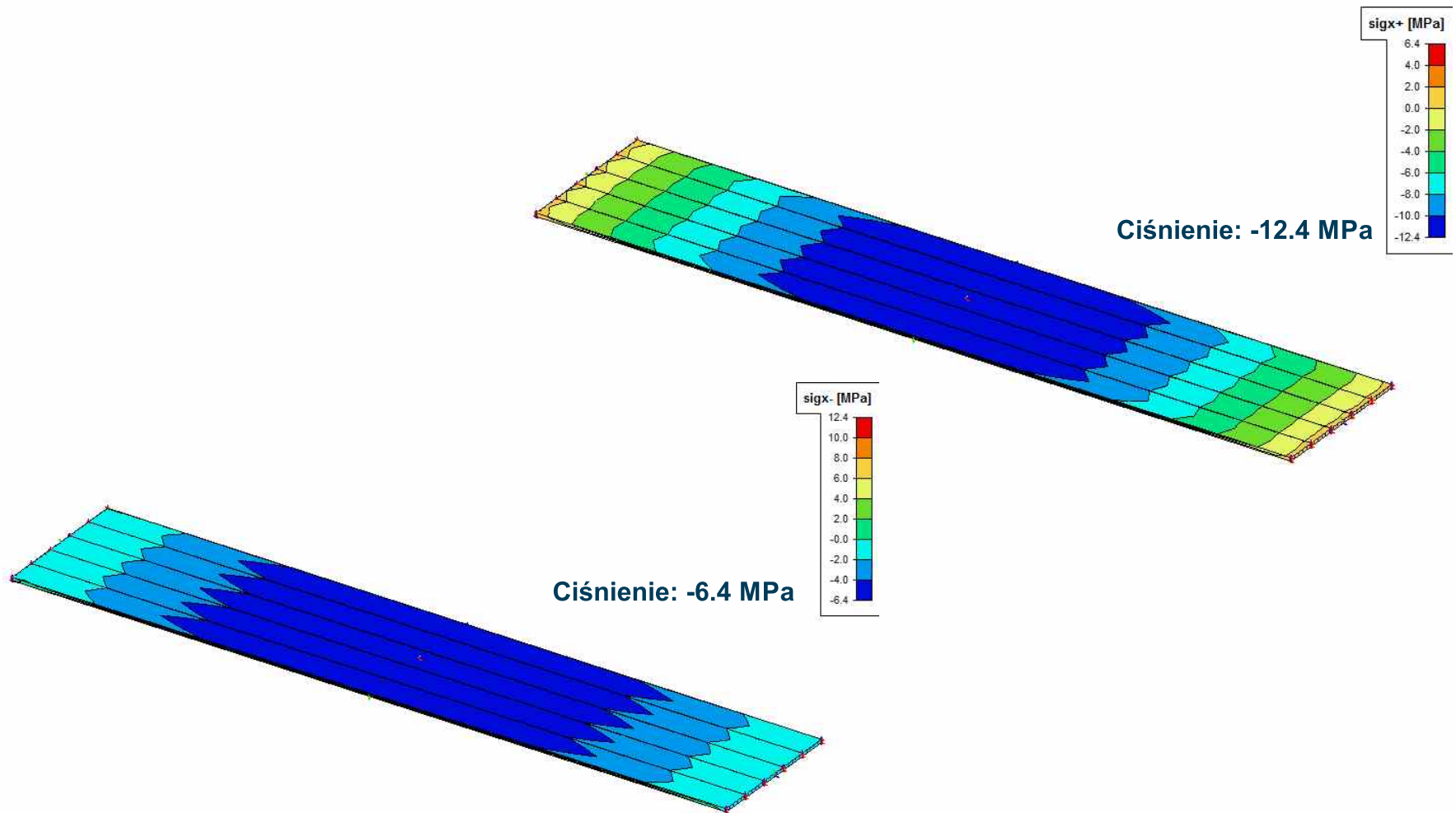
$$M = 93.51 \text{ kN} * 0.032 \text{ m} = 2.99 \text{ kNm} \square 3.12 \text{ kNm}$$

Naprężenia w płycie



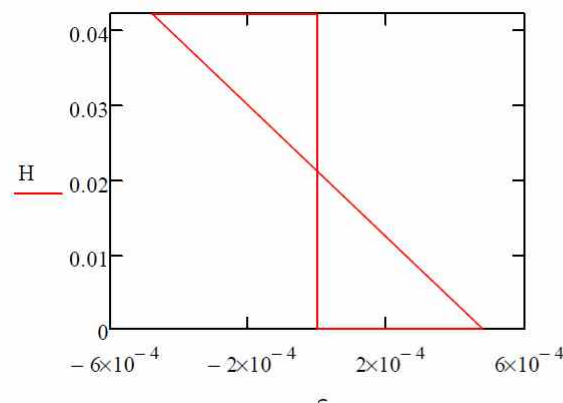
$$\sigma = 3.12 \cdot 10^3 / (1/6 \cdot 1000 \cdot 20^2) = 46.8 \text{ MPa}$$

Naprężenia w płycie FRP



Ręczna suma naprężeń

Obliczenia w płycie w miejscu naprężeń

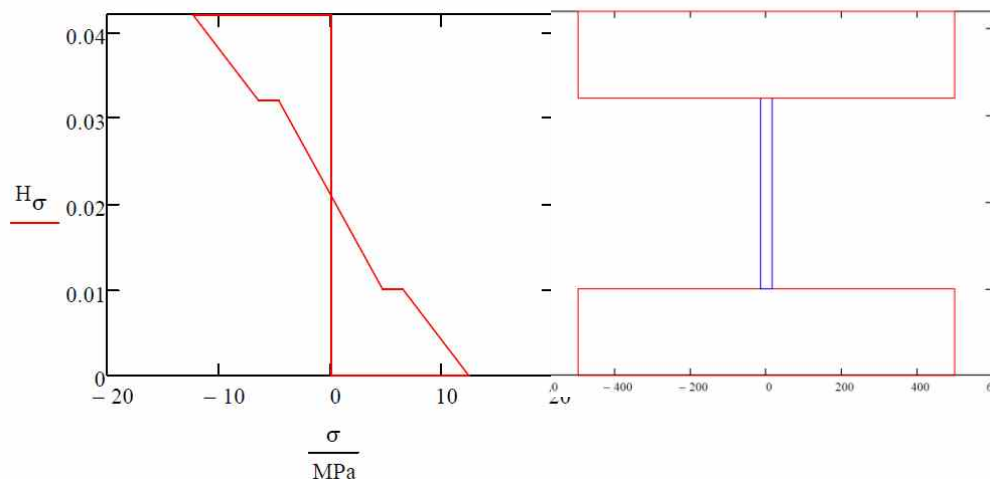


$$\epsilon_{10} := \frac{z_0 \cdot M}{EI} = 0.4794 \cdot 10^{-3}$$

$$\epsilon_{30} := \frac{(z_0 - h_1 - h_2 - h_3) \cdot M}{EI} = 0.25111 \cdot 10^{-3}$$

Rozciąganie obliczone pod względem naprężeń. Naprężenie u góry płyty górnej równe 12.4 Mpa, zgadza się.

Naprężenie u dołu płyty górnej wynosi 6.5 Mpa w przybliżeniu 6.4MPa

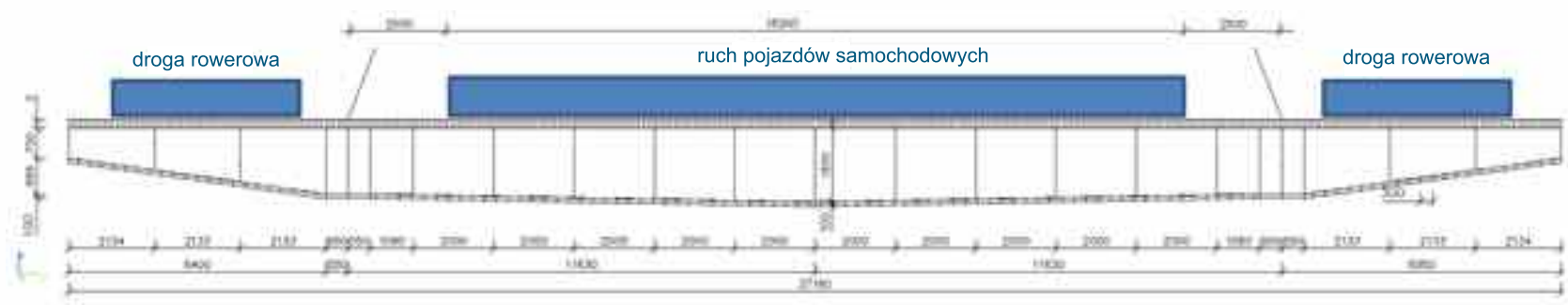


	1
3	-12.4
4	-6.5
5	-4.7
6	4.7
7	6.5
8	12.4
9	...

·MPa

Przyszłość?

- ❑ Ciężar nawierzchni 345 kg/m^2
- ❑ Szerokość nawierzchni pasów drogowych 18 m
- ❑ Droga rowerowa 2 razy 5 m
- ❑ Główne przęsło mostu 150 m



Pytania

Pytania?

Kees van IJselmuiden tel: +31 6 15963040

Liesbeth Tromp tel: +31 6 83530320