

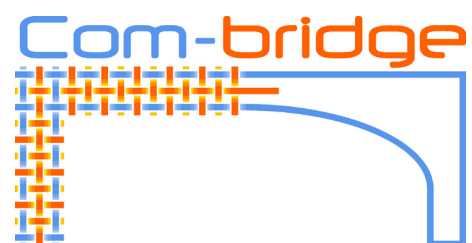


KATALOG TYPOWYCH PRZĘSEŁ MOSTÓW DROGOWYCH Z KOMPOZYTÓW FRP





Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju



Tytuł projektu:	Innowacyjny most drogowy z kompozytów FRP
Akronim:	Com-bridge
Przedsięwzięcie pilotażowe:	Demonstrator+
Data rozpoczęcia:	01.11.2013
Data zakończenia:	31.03.2017
Koordynator:	Mostostal Warszawa S.A.
Strona internetowa:	www.com-bridge.pl

PROJEKT DOFINANSOWANY PRZEZ NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU

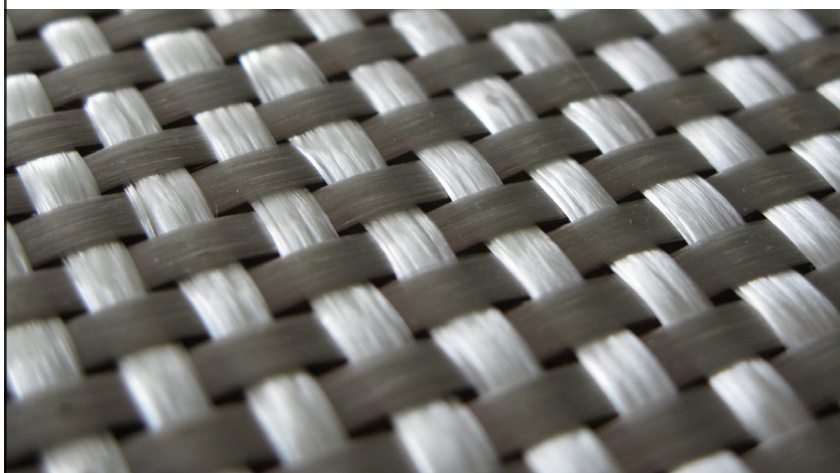
ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA:

- 1 -
CZYM JEST KOMPOZYT FRP?
- 2 -
CEL, ZAKRES I ZAŁOŻENIA DO OBLICZEŃ
- 3 -
CHARAKTERYSTYKA BELEK I PŁYT POMOSTOWYCH
- 4 -
NOMOGRAMY
- 5 -
RYSUNKI TECHNICZNE
- 6 -
PRZYKŁADOWE ROZWIĄZANIA OBIEKTÓW
- 7 -
EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA I EKOLOGICZNA
- 8 -
KONSORCJUM
- 9 -
NAGRODY I WYRÓŻNIENIA

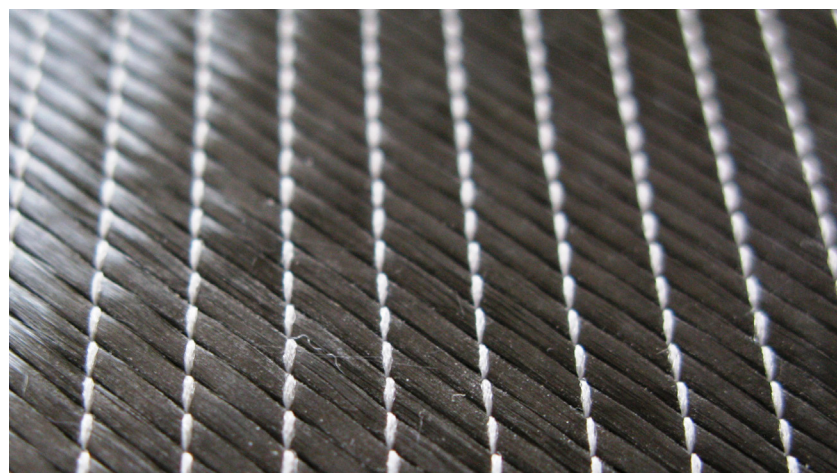
CZYM JEST KOMPOZYT?

Termin kompozyt pochodzi od łacińskiego słowa *compositus*, który znaczy "złożony".

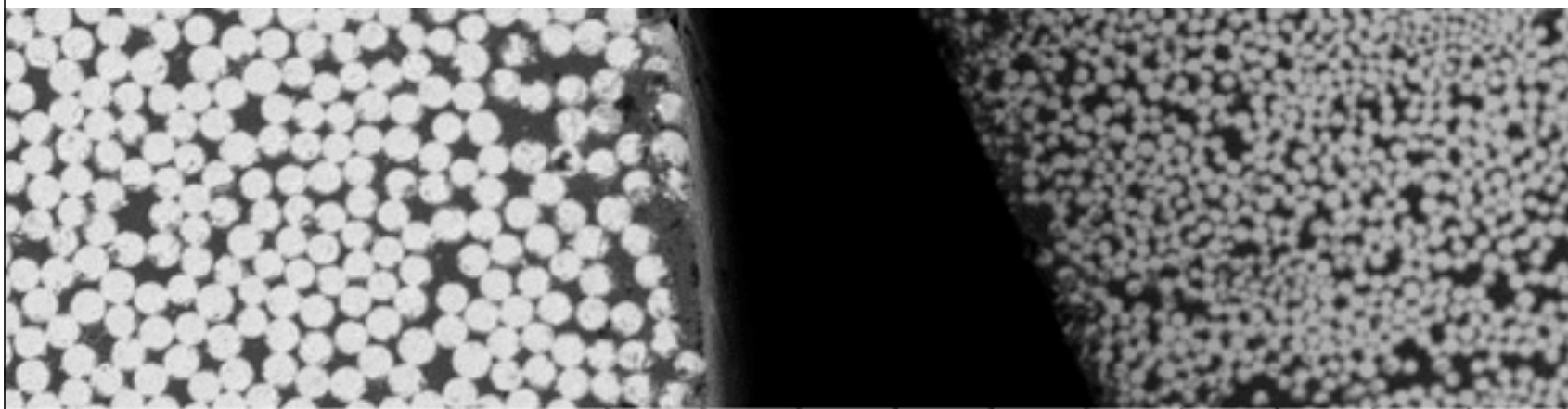
W budownictwie takich materiałów używamy od tysięcy lat. Przykładem mogą być cegły wykonane z gliny oraz słomy lub beton. Ten ostatni jest tworzony z kruszywa (wzmocnienia) oraz cementu stanowiącego spoiwo. W przypadku materiałów wykorzystywanych do budowy mostów Com-bridge stosujemy kompozyty włókniste o osnowie polimerowej, czyli kompozyty FRP (ang. fiber-reinforced polymer). W tego typu materiałach rolą ciągłych włókien jest zapewnienie pożądanej wytrzymałości i sztywności. Udział polimerów w całkowitej nośności kompozytu jest znikomy - w stosunku do włókien, zarówno wytrzymałość na rozciąganie jak i moduł sprężystości żywicy są mniejsze o mniej więcej 2 rzędy wielkości. Nie mniej jednak, matryca (osnowa) polimerowa jest bardzo ważna dla pracy kompozytu. Służy ona jako spoiwo, zapewnia ochronę włókien (m.in. przed czynnikami środowiskowymi) oraz pozwala na redystrybucję obciążenia pomiędzy poszczególnymi włóknami.



Tkanina z włókna szklanego



Tkanina z włókna węglowego



TM3000_4230

2012-09-25

11:48 N

D7,0

x100

1mm

Obraz SEM prętów kompozytowych: po lewej pręt szklany (GFRP), po prawej bazaltowy (BFRP)

Pierwsze przemysłowe zastosowania takich materiałów to płytki z bakelitu zbrojonego tkaniną bawełnianą wykorzystywane w elektrotechnice na początku XX wieku. Pod koniec II wojny światowej zaczęto stosować kompozyty zbrojone włóknem szklanym (zastosowania militarne). W latach 50. opracowano przemysłowy sposób produkcji żywicy poliestrowej, co umożliwiło stosowanie kompozytów na szeroką skalę. Kolejne przełomowe wydarzenia to opracowanie włókna węglowego w 1961 roku oraz aramidowego w 1972. Charakteryzują się one niższą masą oraz dużo lepszymi parametrami mechanicznymi niż włókna szklane.

Światowe zużycie kompozytów systematycznie rośnie. Początkowo były one stosowane w przemyśle lotniczym, kosmicznym i wojskowym. Następnie upowszechniły się w branży stoczniowej, sportowej i samochodowej. Od początku lat 90. obserwuje się dynamiczny wzrost zużycia kompozytów w budownictwie. Są to zarówno elementy wzmacniające (np. taśmy węglowe), elementy wyposażenia (profile okienne, mała architektura) jak i główne elementy konstrukcyjne.



Pierwszym polskim mostem drogowym z kompozytów FRP jest most w Błazowej. Został oddany do użytkowania w 2015 roku. Jest on również światowym rekordzistą pod względem rozpiętości przęsła dla konstrukcji tego typu! Drugim w pełni kompozytowym obiektem drogowym jest most w Nowej Wsi, zbudowany w 2016 roku. Obiekty powstały w ramach projektu Com-bridge. W mostach wykorzystano zalety kompozytów do których należą:

- wysoka odporność na korozję,
- wysoka wytrzymałość,
- mały ciężar jednostkowy,
- niskie koszty utrzymania,
- wysoka odporność na zmęczenie,
- możliwość dowolnego kształtowania przekroju.

Dźwigary mostu zostały wykonane z żywicy epoksydowej zbrojonej włóknem szklanym oraz węglowym. Rolą ciągłych włókien jest zapewnienie pożądanej wytrzymałości i sztywności. Udział polimerów w całkowitej nośności kompozytu jest znikomy - w stosunku do włókien, zarówno wytrzymałość na rozciąganie, jak również moduł sprężystości żywicy są mniejsze o mniej więcej 2 rzędy wielkości. Nie mniej jednak, matryca (osnowa) polimerowa jest bardzo ważna dla pracy kompozytu. Służy ona jako spoiwo, zapewnia ochronę włókien (m.in. przed czynnikami środowiskowymi) oraz pozwala na redystrybucję obciążenia pomiędzy poszczególnymi włóknami.

DŹWIGAR: typ I

Podstawowe parametry:

Materiał: włókno szklane,
żywica epoksydowa,
pianka PVC.

Wysokość całkowita dźwigara: 716 mm
Szerokość górą: 1380 mm
Szerokość dołem: 336 mm

PŁYTA POMOSTU: kompozytowa

Podstawowe parametry:

Materiał: włókno szklane,
żywica epoksydowa,
szywna pianka PUR.

Grubość: 13 cm
Zespolenie z dźwigarem: połączenie klejone

DŹWIGAR: typ II

Podstawowe parametry:

Materiał: włókno szklane,
włókno węglowe,
żywica epoksydowa,
pianka PVC.

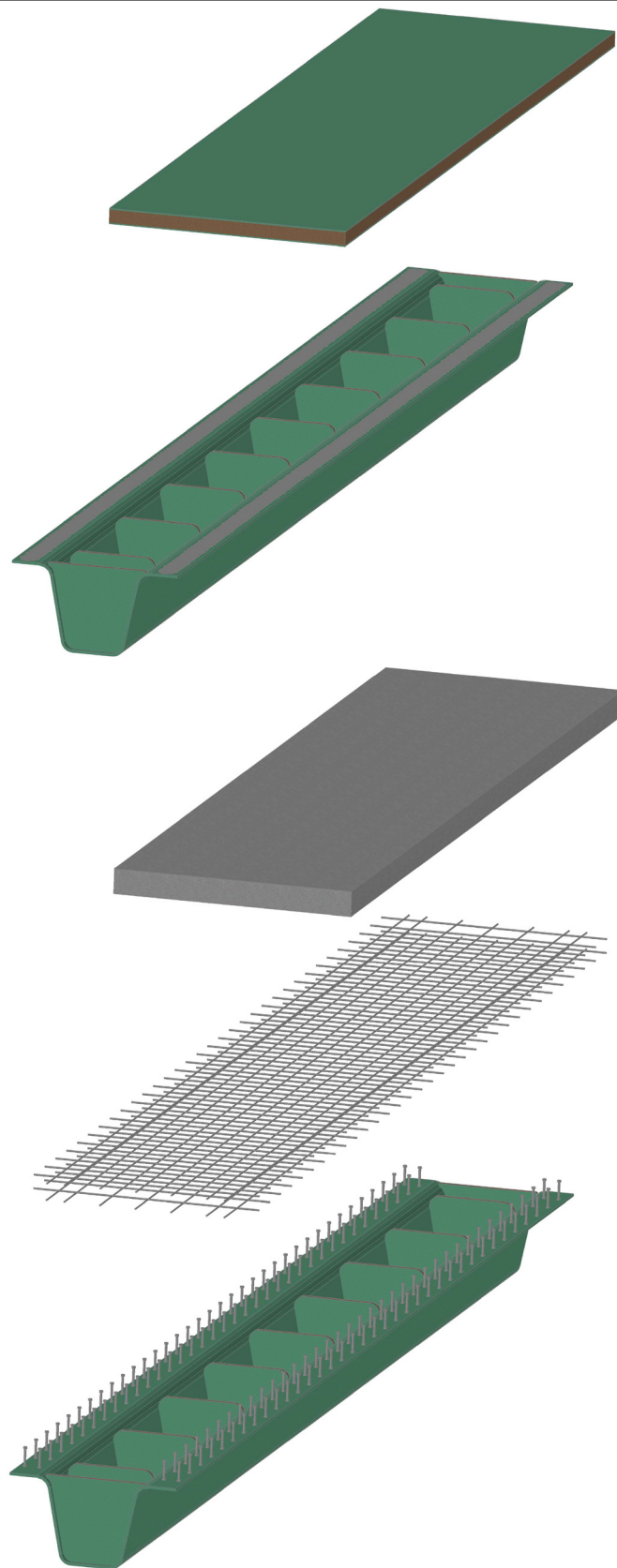
Wysokość całkowita dźwigara: 1025 mm
Szerokość górą: 1953 mm
Szerokość dołem: 621 mm

PŁYTA POMOSTU: betonowa

Podstawowe parametry:

Materiał: beton lekki lub zwykły
Zbrojenie: pręty kompozytowe
(włókno szklane, żywica poliestrowa lub epoksydowa)

Grubość płyty: 18 cm
Zespolenie z dźwigarem: sworznie stalowe
(przyklejone do spodniej części pasów górnych dźwigarów)



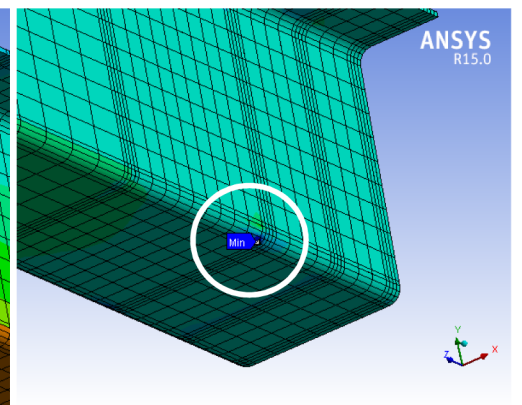
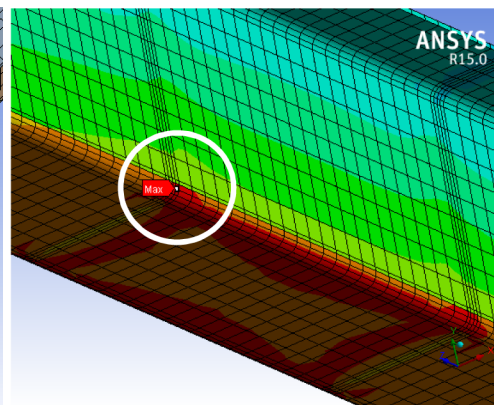
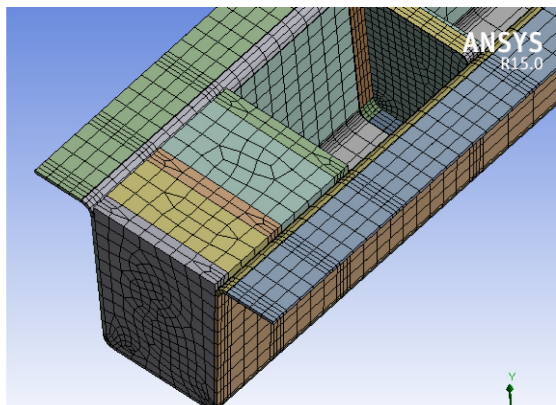
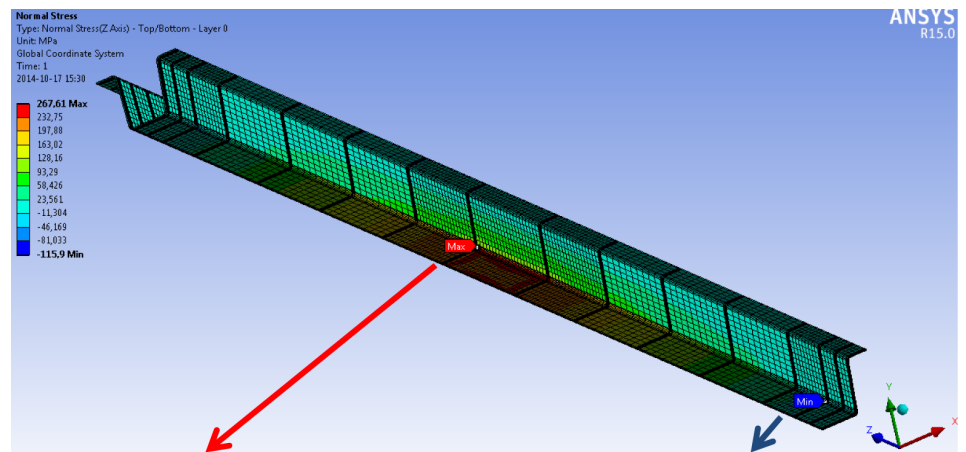
CEL I ZAŁOŻENIA KATALOGU

Katalog obejmuje przykładowe rozwiązania przęseł mostów drogowych wykonanych z kompozytów FRP. Przedstawiono trzy rodzaje typowych konstrukcji nośnych obiektów kompozytowych.

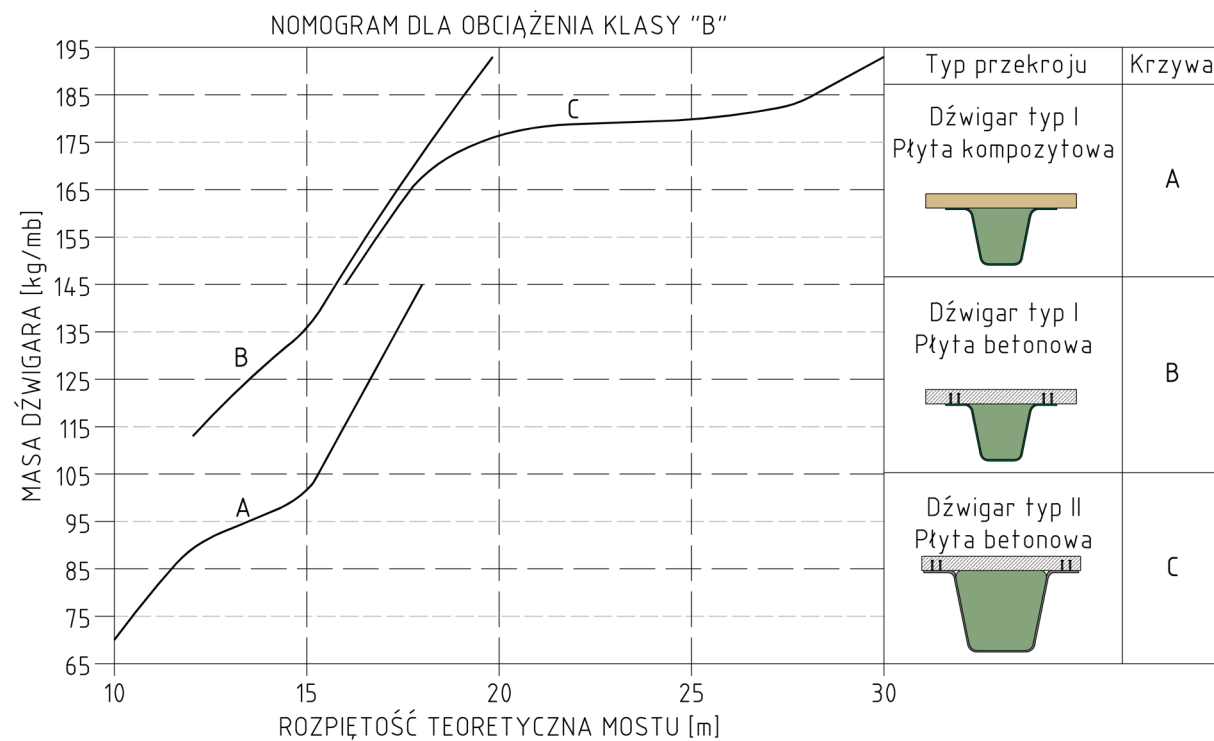
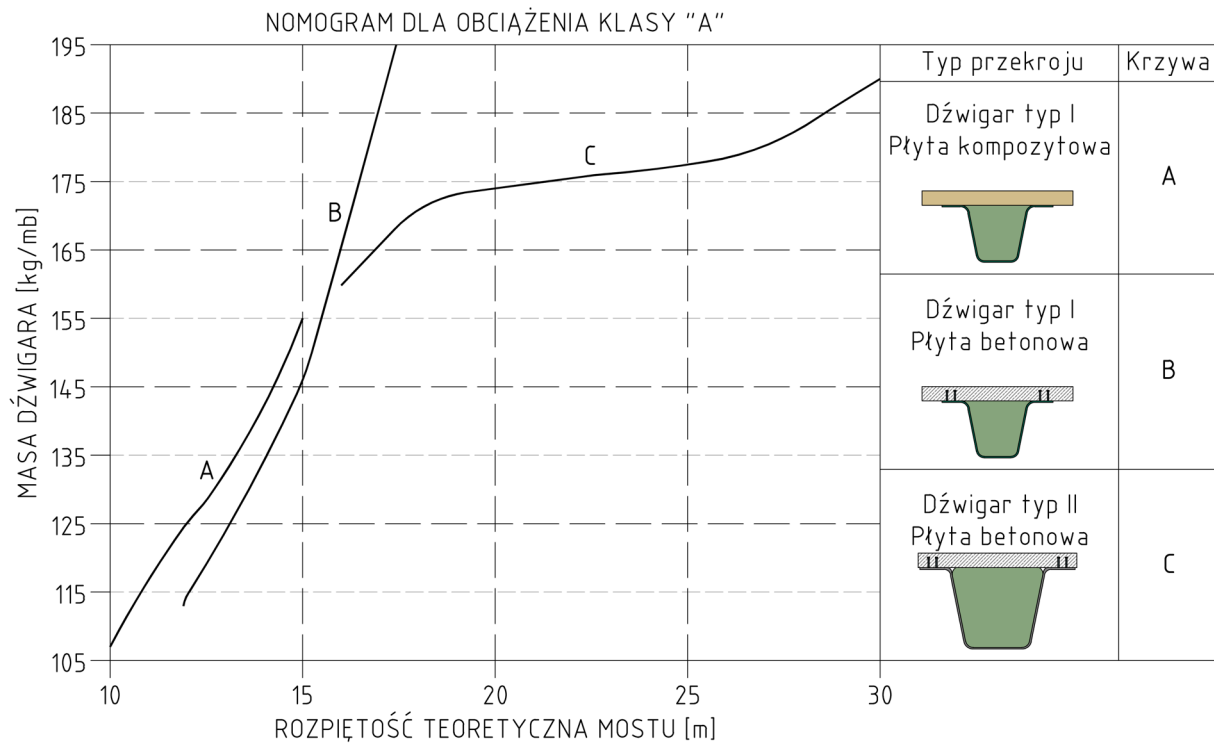
Założenia do obliczeń

Główne założenia do obliczeń przedstawiono poniżej:

- obiekty obliczano na klasę obciążenia „A” i „B” wg PN-85/S-10030,
- przyjęto ugięcia dopuszczalne o wartości $L/300$,
- w obliczeniach założono przekrój jezdni o dwóch pasach ruchu po 3,00 m z obustronnym chodnikiem o szerokości 1,50 m,
- przyjęto zakresy rozstawu dźwigarów wg nomogramów:
 - max 1,6 m dla krzywej A,
 - max 1,9 m dla krzywej B,
 - max 2,4 m dla krzywej C.
- schemat statyczny: belka swobodnie podparta,
- obliczenia przeprowadzono dla dwóch typów dźwigarów oraz dwóch typów płyt pomostu; analizie zostały poddane trzy przekroje będące kombinacją dźwigarów i płyt pomostu,
- analizę wykonano w oparciu o metodę elementów skończonych (MES),
- wynikiem analiz są nomogramy pokazujące masę dźwigara w zależności od rozpiętości i konstrukcji przęśla.



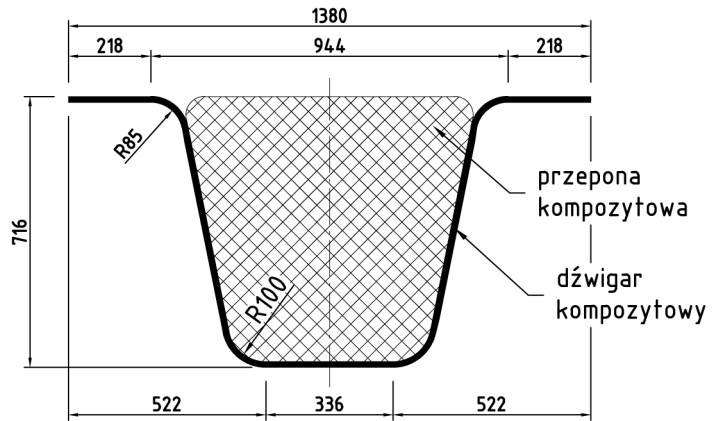
NOMOGRAMY DO WYBORU TYPU DŹWIGARA



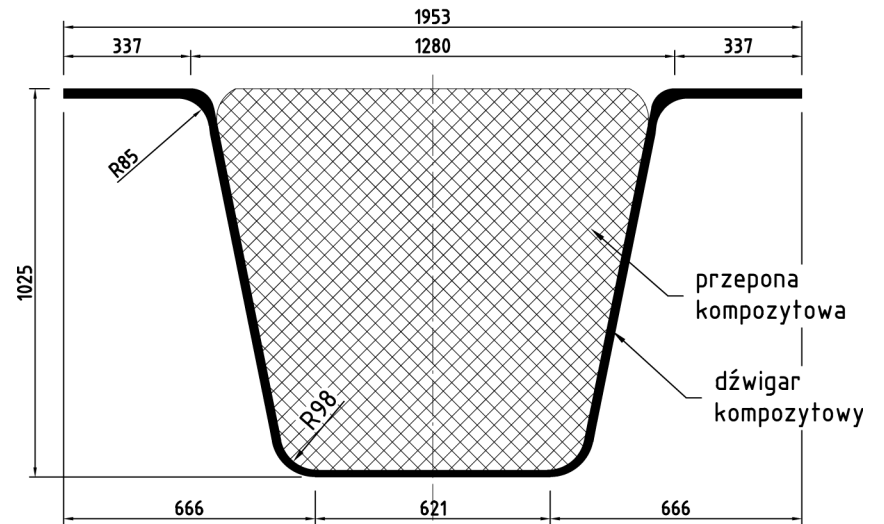
RYSUNKI TECHNICZNE

RYSUNKI GABARYTOWE DŹWIGARÓW I PŁYTY KOMPOZYTOWEJ

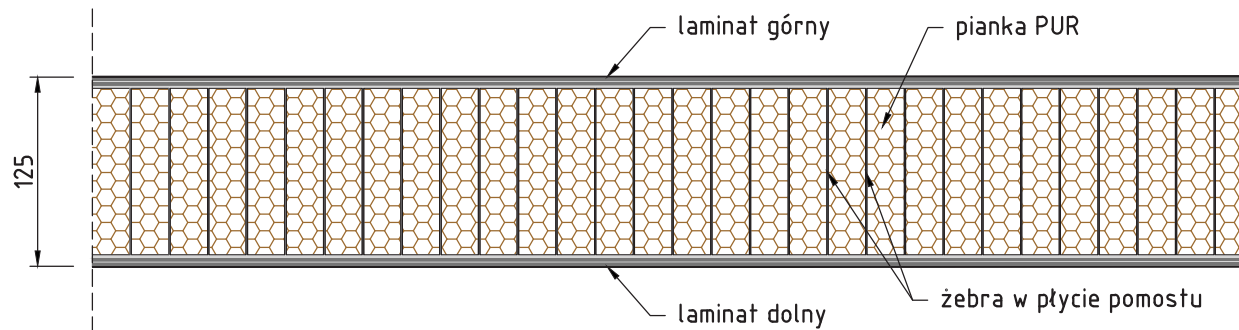
PRZEKRÓJ POPRZECZNY
BELKA TYP I
SKALA 1:20



PRZEKRÓJ POPRZECZNY
BELKA TYP II
SKALA 1:20

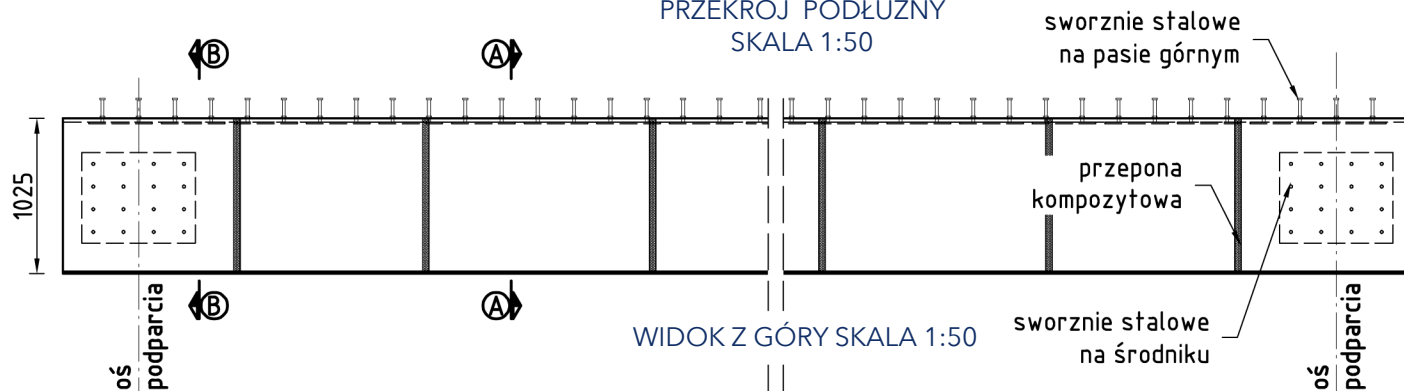


PŁYTA KOMPOZYTOWA
SKALA 1:5

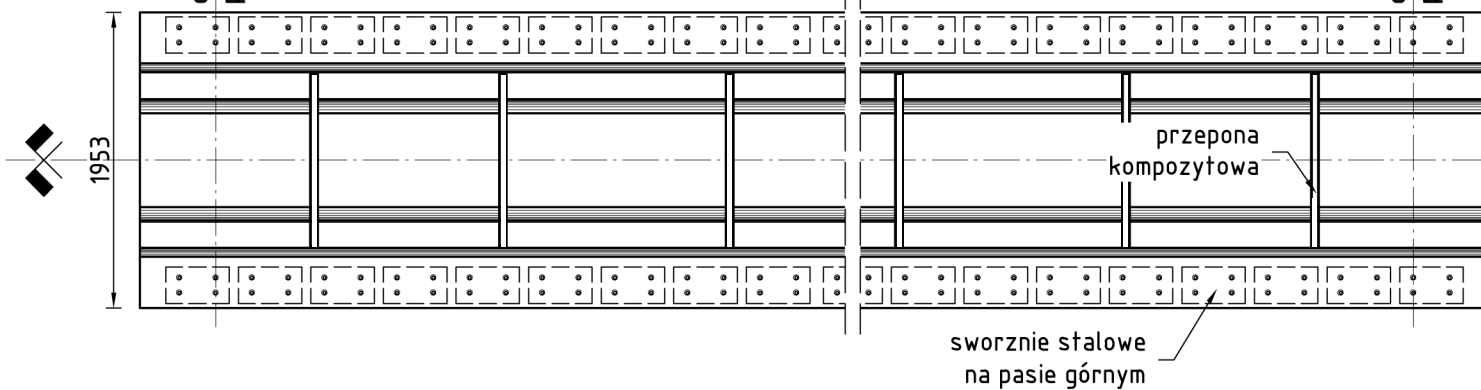


RYSUNEK BELKI DO ZESPOLENIA Z PŁYTĄ BETONOWĄ I POPRZECZNICĄ ŻELBETOWĄ

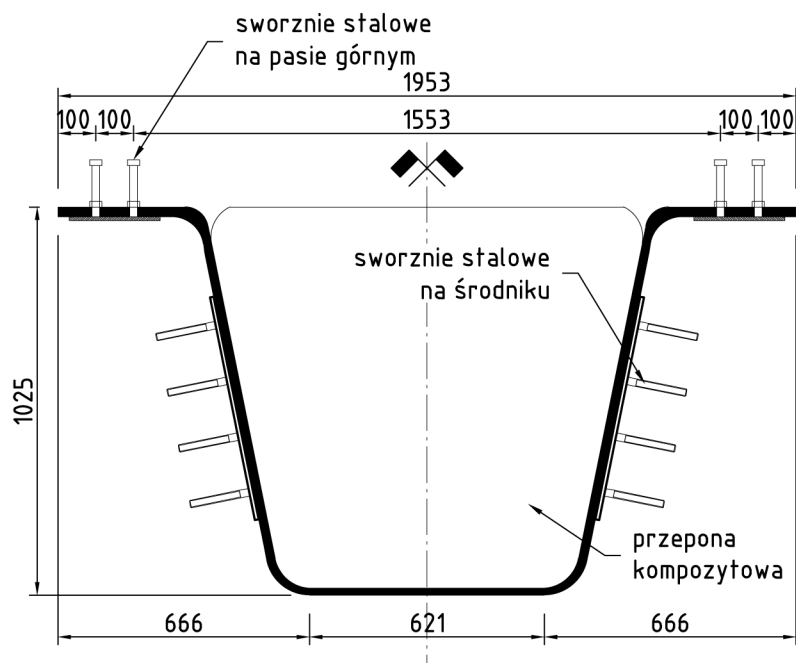
PRZEKRÓJ PODŁUŻNY
SKALA 1:50



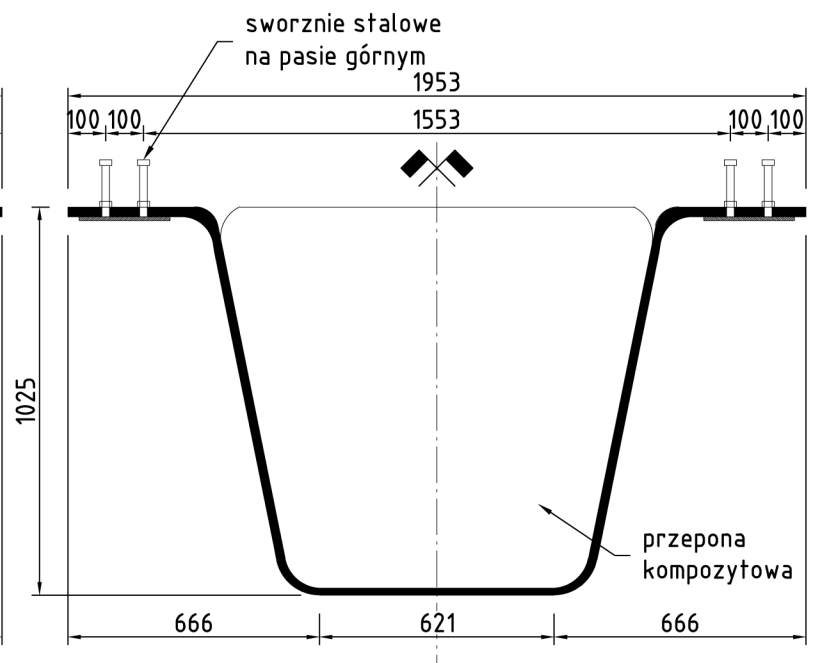
WIDOK Z GÓRY SKALA 1:50



PRZEKRÓJ B - B
SKALA 1:20

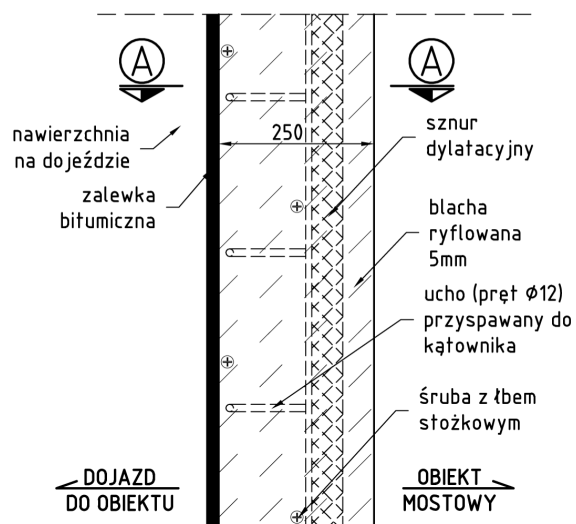


PRZEKRÓJ A - A
SKALA 1:20

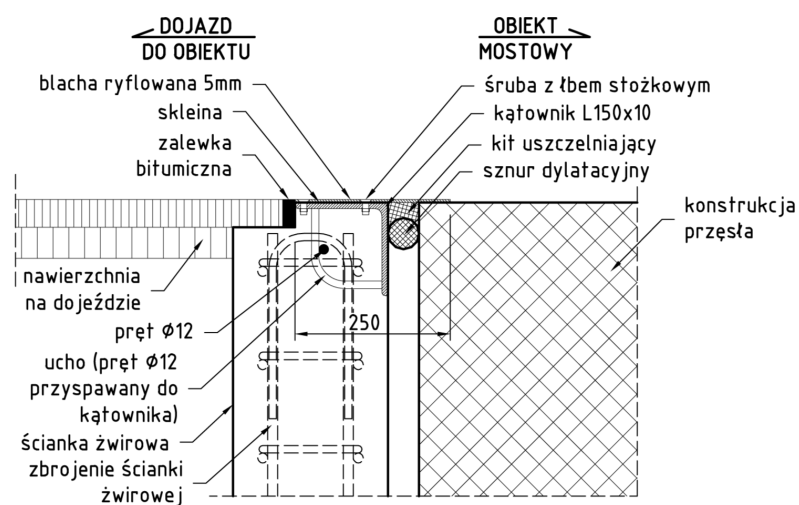


SZCZEGÓŁ DYLATACJI (DLA PŁYTY KOMPOZYTOWEJ)

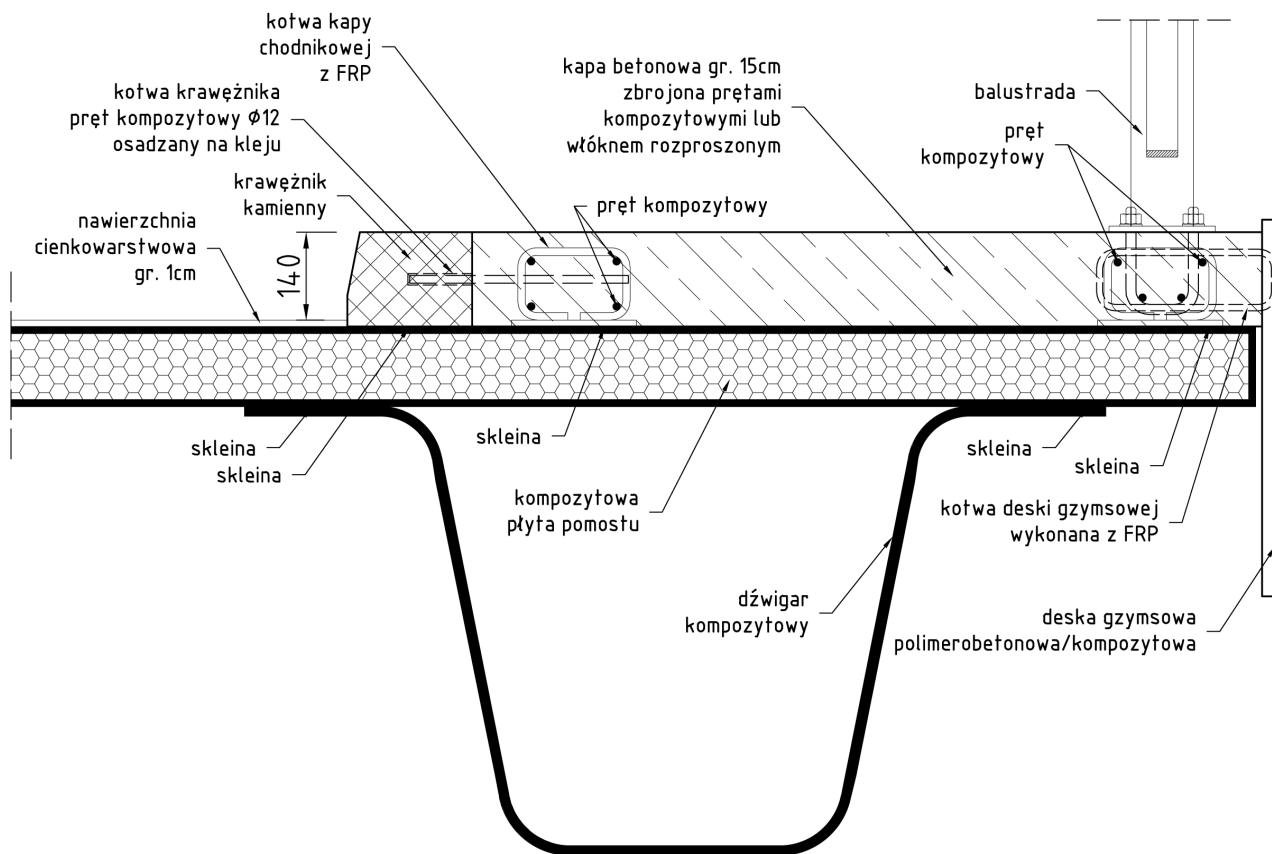
WIDOK Z GÓRY



PRZEKRÓJ A - A

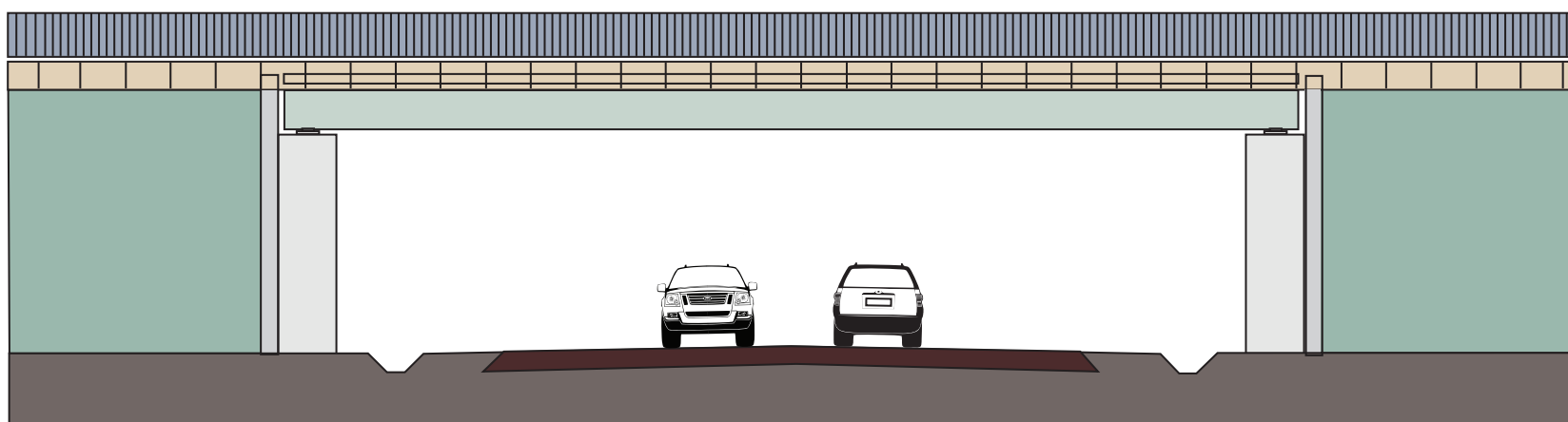
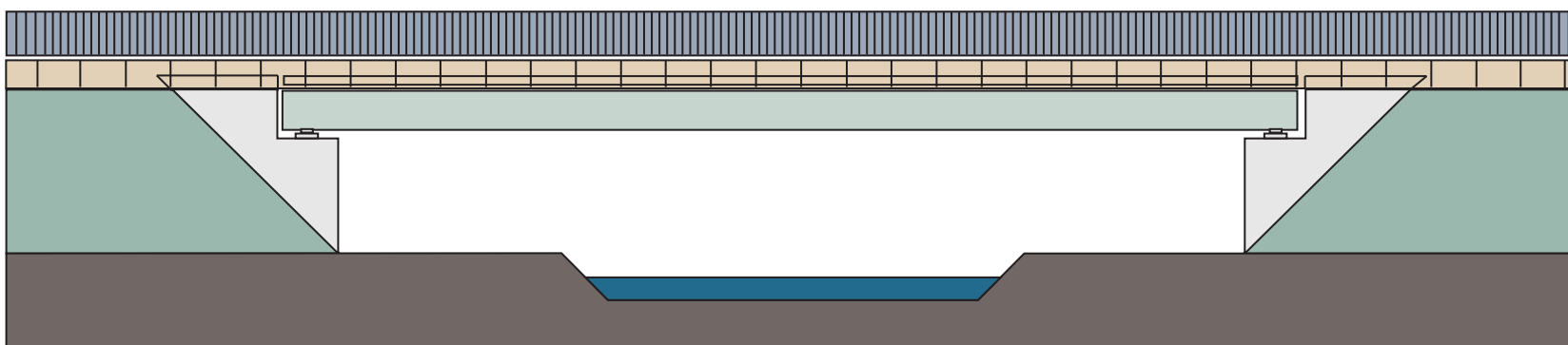
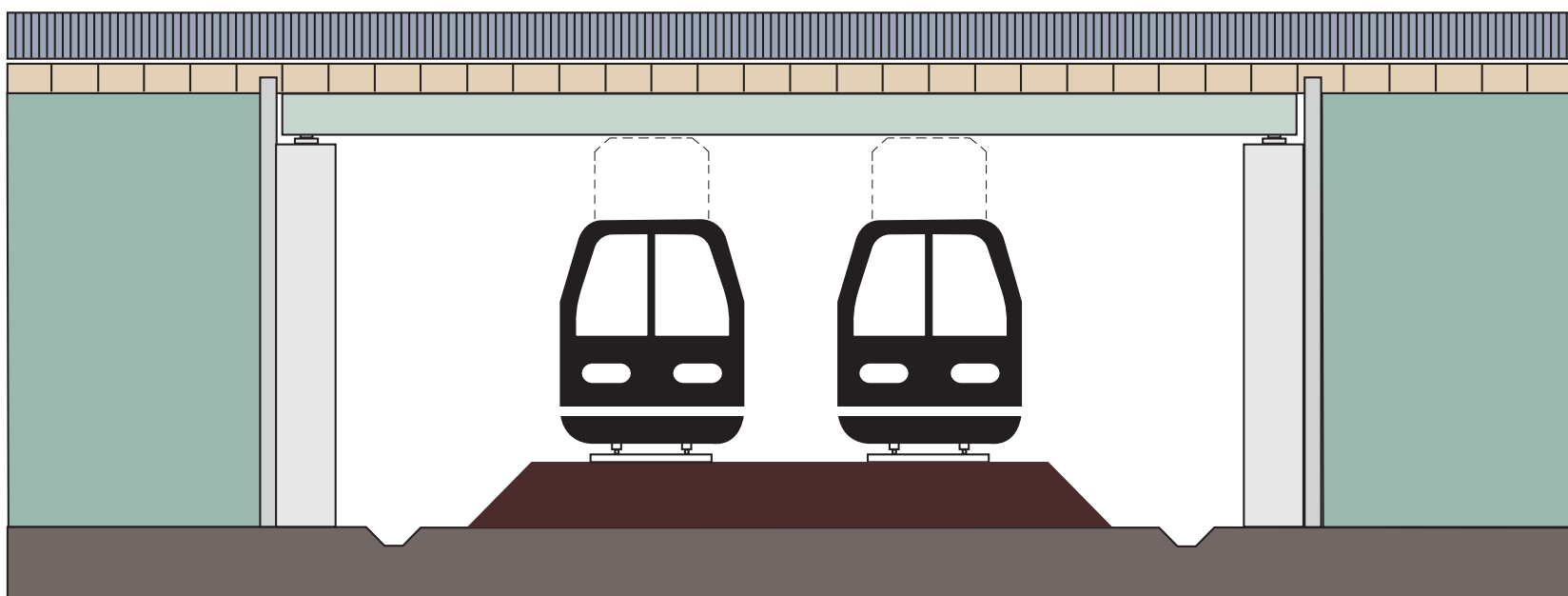


SZCZEGÓŁ KRAWĘŻNIKA I PŁYTY CHODNIKOWEJ (DLA PŁYTY KOMPOZYTOWEJ)

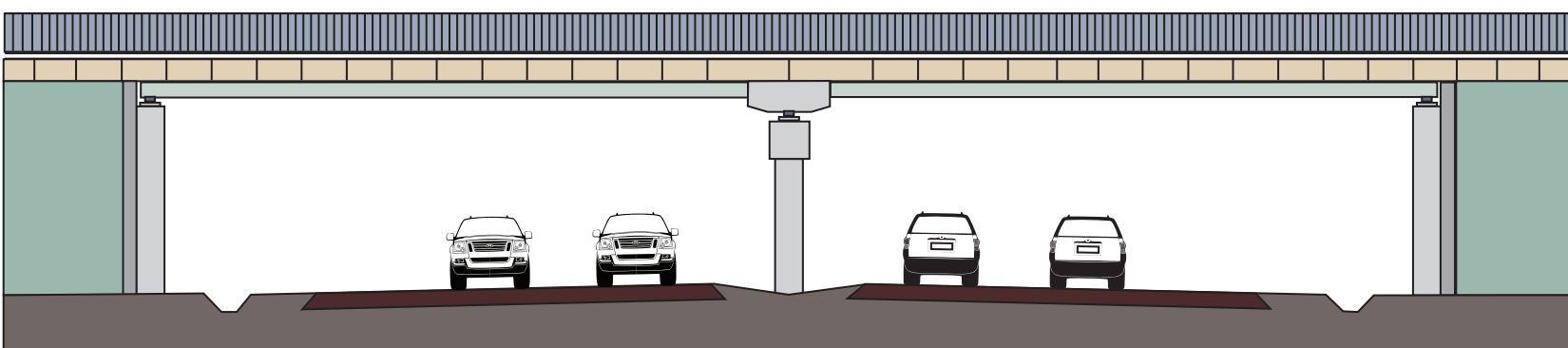
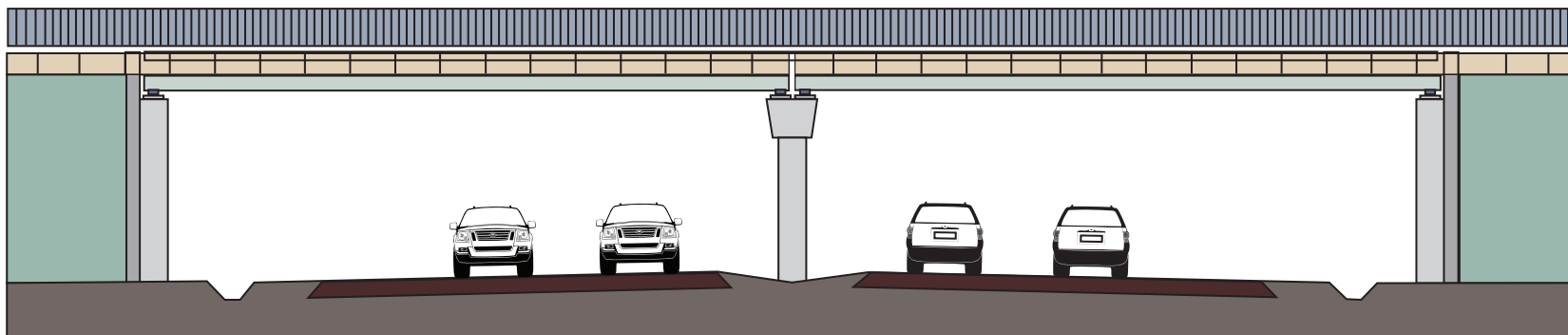


PRZYKŁADOWE PRZESŁA MOSTOWE Z DŹWIGARAMI KOMPOZYTOWYMI

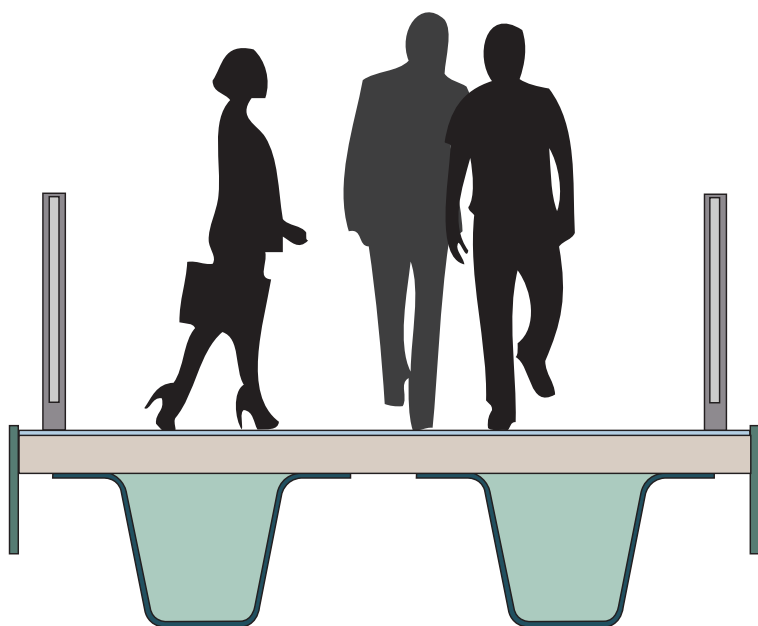
KONSTRUKCJA JEDNOPRZĘŚLOWA



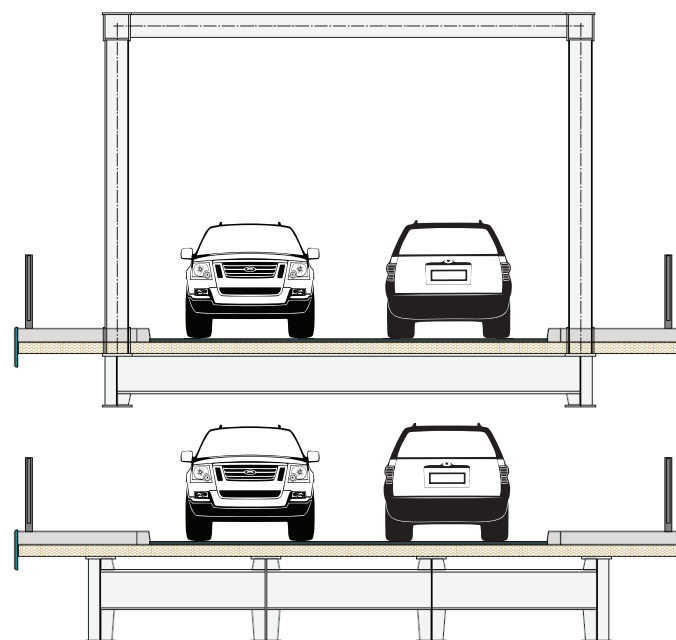
KONSTRUKCJA WIELOPRZĘŚŁOWA - NAD DWUJEZDNIOWĄ DROGĄ EKSPRESOWĄ



KŁADKA DLA PIESZYCH O KONSTRUKCJI KOMPOZYTOWEJ



ODCIĄŻENIE ISTNIEJĄCEJ KONSTRUKCJI STALOWEJ
- WYMIANA PŁYTY BETONOWEJ NA KOMPOZYTOWĄ



EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA I ŚRODOWISKOWA

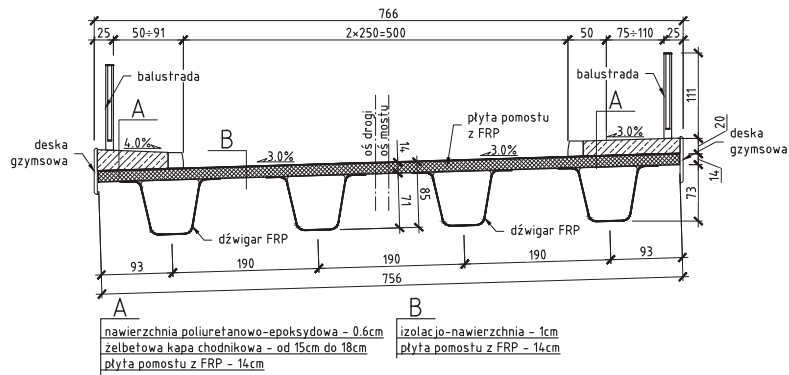
Mosty z kompozytów FRP to obiekty innowacyjne, nie stosowane dotychczas w krajowym budownictwie mostowym. Z tego względu ich koszt bezpośredni (wytworzenia i budowy) jest ok. 30% wyższy od kosztu budowy porównywalnych obiektów z materiałów konwencjonalnych. Jednakże jeżeli uwzględni się tzw. koszt obiektu w cyklu życia LCC (*ang. life cycle costing*), co jest już stosowane w standardach zamówień publicznych w wielu krajach świata, mosty kompozytowe okazują się bardzo konkurencyjne. Także obciążenie środowiskowe związane z ich budowa i eksploatacja w cyklu życia mostu jest mniejsze.

W ramach projektu Com-bridge wykonano analizy LCCA (ekonomiczną) i LCA (środowiskową), porównując dwa zbudowane obiekty kompozytowe z rozwiązaniami konwencjonalnymi. Wyniki tych analiz przedstawiono na kolejnych stronach katalogu.



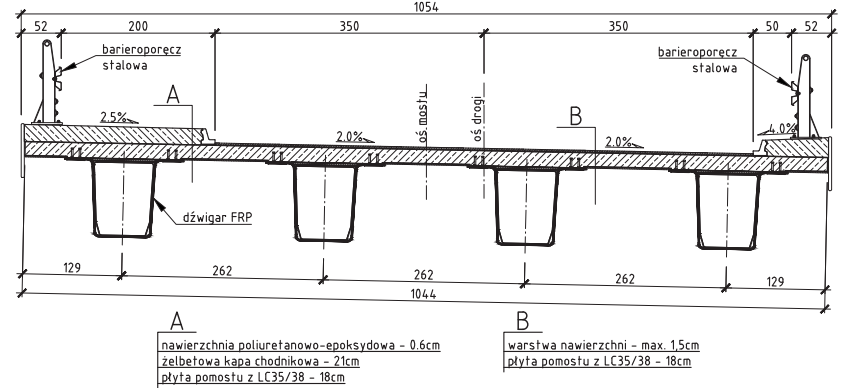
NOWA WIEŚ - ANALIZOWANE WARIANTY

Wariant I - Most z dźwigarami kompozytowymi

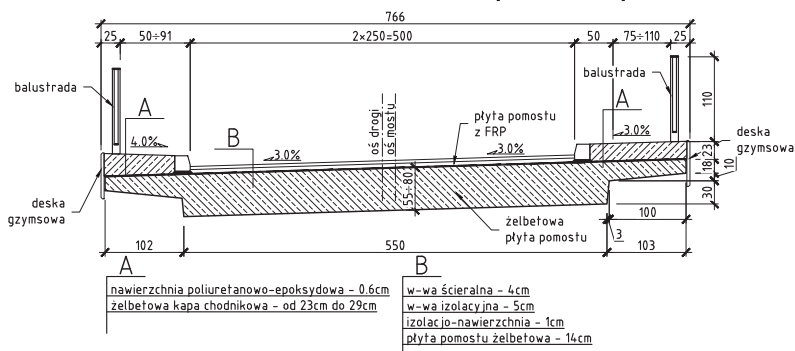


BŁAŻOWA - ANALIZOWANE WARIANTY

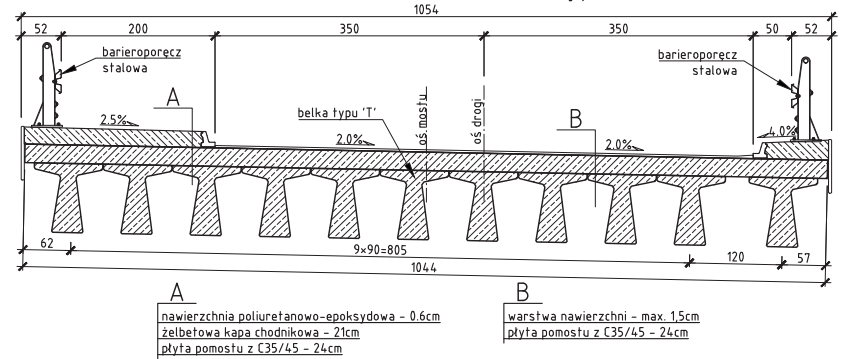
Wariant I - Most z dźwigarami kompozytowymi



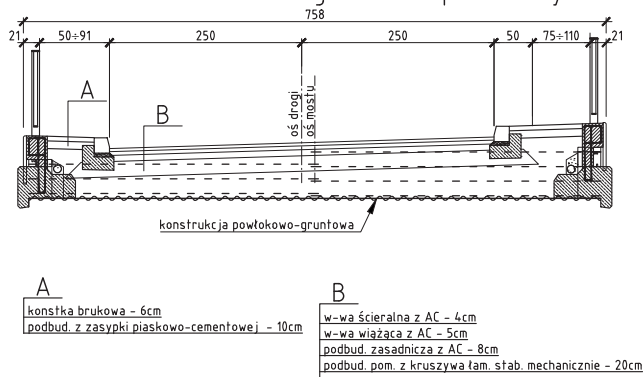
Wariant II - Most ramownicowy żelbetowy



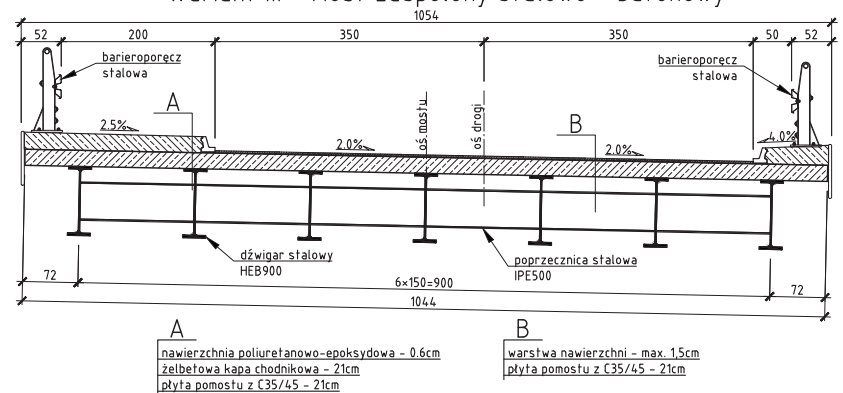
Wariant II - Most z belek typu T



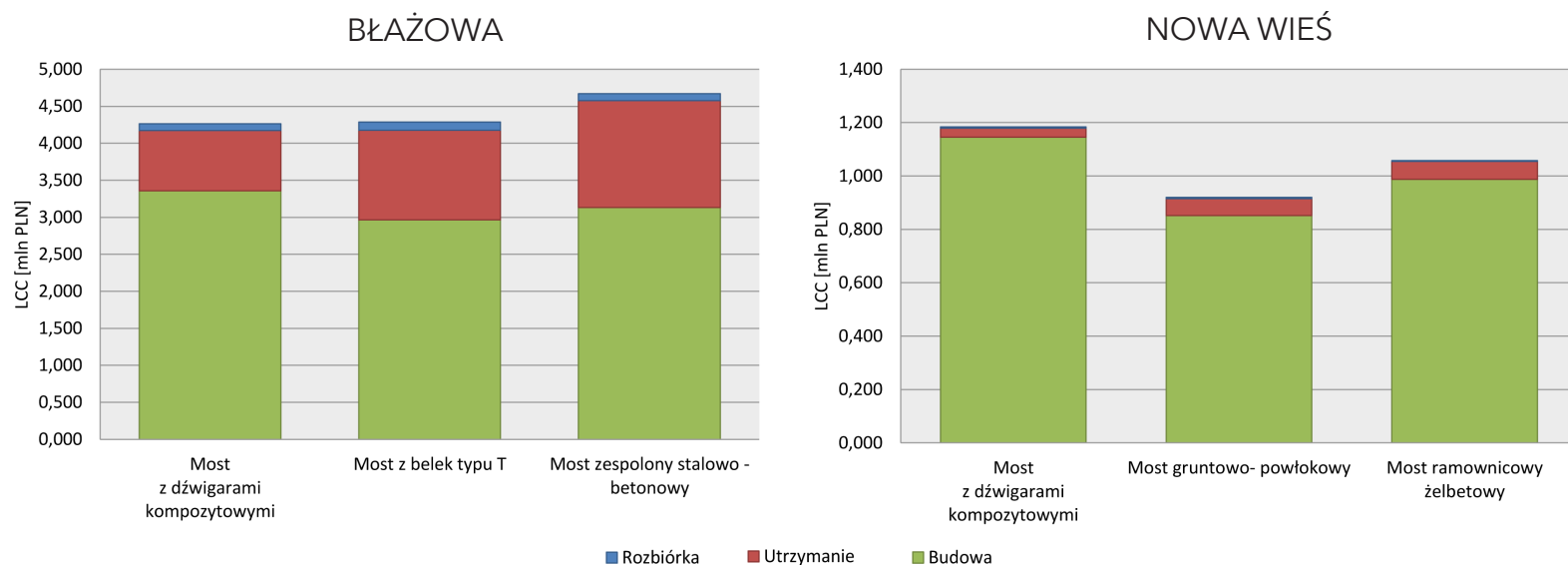
Wariant III - Most gruntowo-powłokowy



Wariant III - Most zespolony stalowo-betonowy



EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA - LCCA



		Błażowa					
		Wariant 1 - Most z dźwigarami kompozytowymi		Wariant 2 - Most z belek typu T		Wariant 3 - Most zespolony stalowo-betonowy	
		[mln PLN]	[%]	[mln PLN]	[%]	[mln PLN]	[%]
Koszty całkowite cyklu życia (LCC)		4,263	100	4,288	101	4,669	110
Płatnik	Inwestor	2,012	100	1,650	82	1,758	87
	Użytkownicy	2,244	100	2,630	117	2,902	129
	Koszty społeczne	0,007	100	0,008	110	0,009	118
Okres cyklu życia	Budowa	3,358	100	2,965	88	3,133	93
	Utrzymanie i administracja	0,814	100	1,212	149	1,443	177
	Rozbiórka	0,092	100	0,111	121	0,092	101

		Nowa Wieś					
		Wariant 1 - Most z dźwigarami kompozytowymi		Wariant 2 - Most gruntowo-powłokowy		Wariant 3 - Most ramownicowy żelbetowy	
		[mln PLN]	[%]	[mln PLN]	[%]	[mln PLN]	[%]
Koszty całkowite cyklu życia (LCC)		1,184	100	0,920	78	1,058	89
Płatnik	Inwestor	1,169	100	0,895	77	1,041	89
	Użytkownicy	0,015	100	0,026	173	0,016	110
	Koszty społeczne	0,000	100	0,000	179	0,000	111
Okres cyklu życia	Budowa	1,145	100	0,852	74	0,987	86
	Utrzymanie i administracja	0,034	100	0,064	187	0,067	195
	Rozbiórka	0,004	100	0,005	118	0,003	80

Z przedstawionych analiz wynika, że kompozytystosunku do pozostałych obiektów tracą w momencie budowania, ale znacznie zyskują w miarę ich użytkowania.

W związku z tym, jeśli na uwadze mamy ekonomię rozwiązania, szczególnie warto je budować na drogach o dużym natężeniu ruchu.

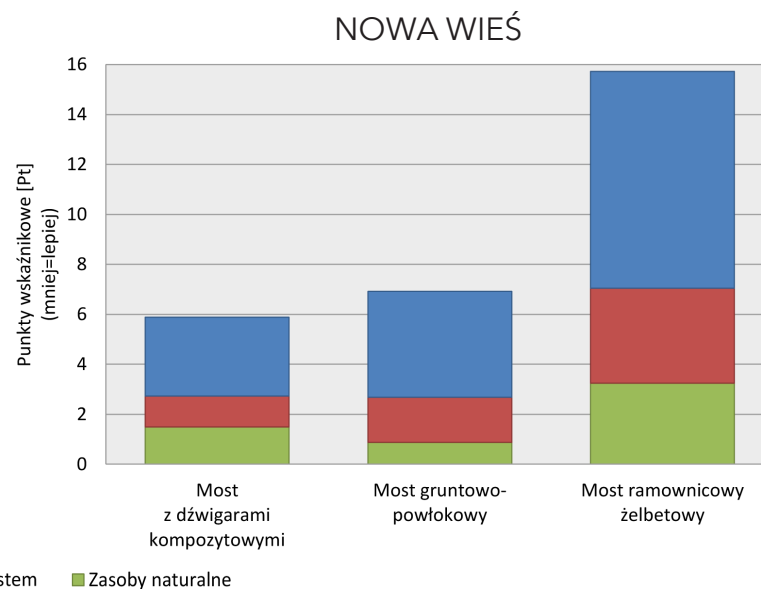
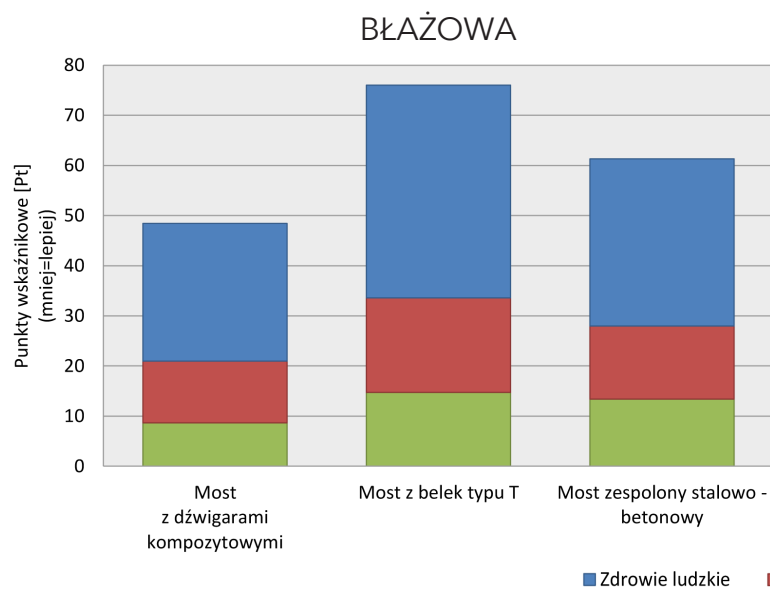
W takim przypadku mamy pewność, że koszty związane z okresem po wybudowaniu będą miały znaczny wpływ na całkowity koszt życia obiektu i zrekompensują wyższe nakłady poniesione na budowę.

EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA - LCA

Wyniki analizy LCA dowodzą, że pod względem oddziaływania na środowisko najbardziej korzystny jest most, którego ustrój nośny wykonany został z kompozytu FRP. Wykazał on najmniejszy wpływ w kategoriach zdrowie ludzkie, ekosystem oraz zasoby naturalne. Przeprowadzone analizy uwidoczniają fakt, że negatywny wpływ na środowisko związany jest z materiałochłonnością elementów konstrukcyjnych oraz ponownym wykorzystaniem materiałów z rozbiórki. Materiał kompozytowy charakteryzuje się dużą wytrzymałością przy stosunkowo niskiej masie. Powoduje to zminimalizowanie negatywnego oddziaływania na środowisko.

	Błażowa		
	Most z dźwigarami kompozytowymi	Most z belek typu T	Most zespolony stalowo - betonowy
Zdrowie ludzkie	27,40	42,40	33,30
Ekosystem	12,30	18,90	14,60
Zasoby naturalne	8,70	14,70	13,40
Suma	48,40	76,00	61,30

	Nowa Wieś		
	Most z dźwigarami kompozytowymi	Most gruntowo- powłokowy	Most ramownicowy żelbetowy
Zdrowie ludzkie	3,15	4,24	8,67
Ekosystem	1,24	1,81	3,80
Zasoby naturalne	1,49	0,87	3,25
Suma	5,88	6,92	15,72



KONSORCJUM

MOSTOSTAL WARSZAWA S.A.

Kontakt: Juliusz Żach
j.zach@mostostal.waw.pl

Lech Własak
l.wlasak@mostostal.waw.pl

www.mostostal.waw.pl

PROMOST CONSULTING Sp. z o.o. Sp. K.

Kontakt: Damian Kaleta
kaleta@promost.pl

www.promost.pl

POLITECHNIKA WARSZAWSKA, UCZELNIANE CENTRUM BADAWCZE "Materiały Funkcjonalne"

Kontakt: Rafał Molak
rmolak@inmat.pw.edu.pl

www.ucb.pw.edu.pl

POLITECHNIKA RZESZOWSKA, WYDZIAŁ BUDOWNICTWA, INŻYNIERII ŚRODOWISKA I ARCHITEKTURY

Kontakt: Tomasz Siwowski
siwowski@prz.edu.pl

www.zdim.portal.prz.edu.pl

Mostostal
WARSZAWA

PROMOST
CONSULTING

**Politechnika
Warszawska**

 **POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA

www.com-bridge.pl

NAGRODY I WYRÓŻNIENIA



TOP BUILDER 2017
Statuetka TOPBUILDER 2017 w kategorii "Inwestycje, usługi, badania" za "Most w Błazowej - pierwszy w Polsce most z kompozytów"



DZIEŁO MOSTOWE ROKU 2015
Nagroda za "Most kompozytowy w Błazowej k. Rzeszowa" przyznawana przez Związek Mostowców Rzeczypospolitej Polskiej (ZMRP)



DOBRY WZÓR 2016
Nagroda specjalna Agencji Rozwoju Przemysłu "Produkt Roku" oraz tytuł laureata konkursu w kategorii "Sfera Publiczna" przyznawany przez Instytut Wzornictwa Przemysłowego za "Most drogowy z kompozytów FRP"



KONKURS MOSTOWY IM. MAKSYMILIANA WOLFFA
Nagroda główna w kategorii "zrealizowany obiekt o rozpiętości poniżej 70 m" za most drogowy Com-bridge z kompozytów FRP w Błazowej k. Rzeszowa



POLSKI PRODUKT PRZYSZŁOŚCI - EDYCJA XIX
Nagroda główna w kategorii "Produkt Przyszłości Konsorcjum Jednostka Naukowa-Przedsiębiorca" za projekt "Most drogowy z kompozytów FRP"



BUDOWA ROKU 2015
Nagroda I stopnia za "Most drogowy z kompozytów FRP na rzece Ryjak w Błazowej k. Rzeszowa" przyznawana przez Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa (PZITB)



LAUR INNOWACYJNOŚCI 2016
Nagroda "Złoty Laur Innowacyjności 2016" za projekt "Most drogowy z kompozytów FRP"



OPRACOWANIE

Tomasz Siwowski
Damian Kaleta
Dominik Macheta
Juliusz Żach
Lech Własak

OPRACOWANIE GRAFICZNE

Natalia Kubicka - BRIKEN DESIGN LAB

WYDAWCA

Lion Team - Agencja Reklamowa
Podpromie 10
35-051 Rzeszów

MARZEC 2017

www.com-bridge.pl