

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Wzmacnianie konstrukcji autobusu miejskiego z wykorzystaniem wzmacniaczy taśmowych CFRP

Łukasz Dopierala^{1,2}

¹ Solaris Bus & Coach sp. z o.o ,

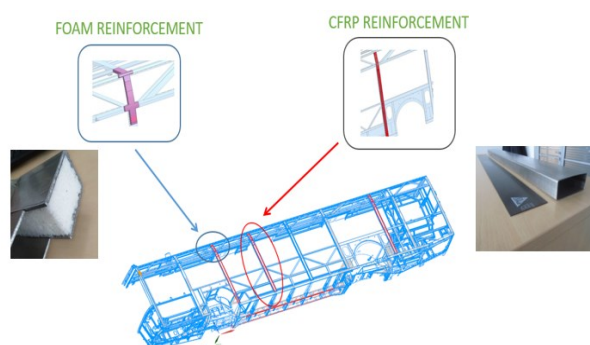
² Zakład Wytrzymałość Materiałów i Konstrukcji, Politechnika Poznańska
email: lukasz.dopierala@solarisbus.com, lukasz.dopierala@doctorate.put.poznan.pl

STRESZCZENIE: W dzisiejszych czasach przemysł motoryzacyjny stoi przed poważnym wyzwaniem technologicznym, ponieważ producenci pojazdów muszą utrzymywać niską masę pojazdów w celu zmniejszenia zużycia energii i wpływu na środowisko. Nowa koncepcja konstrukcji autobusu wzmocniona taśmą z polimeru wzmocnionego włóknem węglowym (ang. Carbon Fiber Reinforced Polymer - CFRP) i pianki poliuretanowej lub epoksydowej stosowanej jako lokalne wzmocnienie sprawia, że nowa lekka konstrukcja jest bardziej użyteczna w autobusach elektrycznych, wodorowych i CNG. Przedmiot badań koncentruje się na opracowaniu i przeanalizowaniu konstrukcji kompozytowej (hybrydowa konstrukcja belkowa, struktura warstwowa złącze), która będzie połączeniem konstrukcji autobusu z CFRP oraz stali nierdzewnej i/lub pianki z konstrukcją autobusu ze stali nierdzewnej (rys.1).

SŁOWA KLUCZOWE: CFRP-stal, wzmocnienie, klej

1. Wstęp

Kompozyty CFRP są często stosowane do wzmacniania betonu i konstrukcji budowlanych. Zastosowanie materiałów CFRP rozszerzyło się również na przemysł motoryzacyjny. W dzisiejszych czasach producenci pojazdów muszą osiągać jak najmniejszą masę pojazdu w celu zmniejszenia zużycia energii i wpływu na środowisko. Materiały CFRP oraz pianki poliuretanowej lub epoksydowej mogą powodować znaczną poprawę lokalnej odpowiedzi strukturalnej poprzez znaczny wzrost miejscowej sztywności i wytrzymałości.

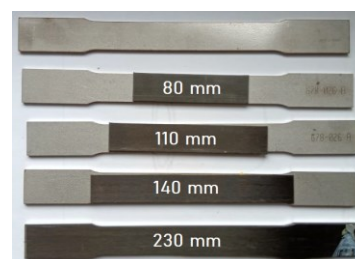


Rys. 1. System lokalnych wzmocnień CFRP oraz FOAM

2. Statyczna próba rozciągania

Próbki (rys.2) do badań powstały z połączenia dwóch materiałów: stali i taśm wykonanych z kompozytu CFRP. Właściwości materiałowe pokazano w tabeli 1. Statyczną próbę rozciągania przeprowadzono na uniwersalnej

maszynie ZWICK Z100/Roell. Zdjęcia z badań pokazano na rys. 3.



Rys. 2. Przykłady próbek – próba rozciągania

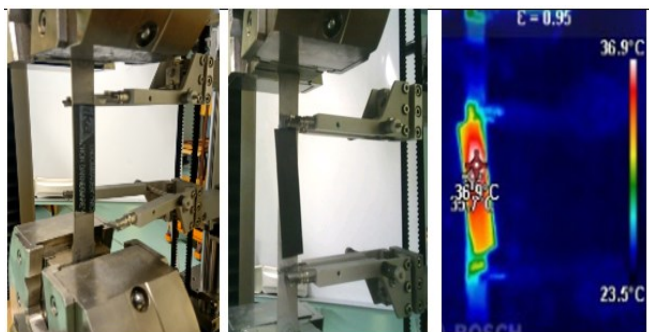
Tabela 1 przedstawia właściwości stali, CFRP oraz kleju użytego do wykonania próbek.

Tabela 1. Właściwości stali, CFRP oraz kleju

Materiał	E [GPa]	ν [-]	G [GPa]	R_m [MPa]	A [%]
1.4003	197,8	0,31	80,2	467	20
CFRP	170	0,02	74,0	3100	1,8
Klej	2	0,4		30	3

Wyniki rozciągania próbki bazowej zostały następnie porównane z próbkami stal-CFRP. W wyniku badań otrzymano wykresy siły w funkcji wydłużenia. Dla próbek częściowo oklejonych taśmą CFRP (80 mm) badamy ogólną wytrzymałość stali, wartości R_m są zbliżone dla próbek bez wzmocnień oraz próbek wzmocnionych częściowo CFRP, nieznacznej zmianie ulega wartość granicy plastyczności Re . Natomiast gdy taśmą CFRP zostaje naklejona na całą długość próbki stalowej, obserwujemy kilkukrotny wzrost wartości siły przy

mniejszej wartości wydłużenia. Podczas badania próbka stalowa nie uległa zniszczeniu, natomiast taśma CFRP uległa rozwarstwieniu.



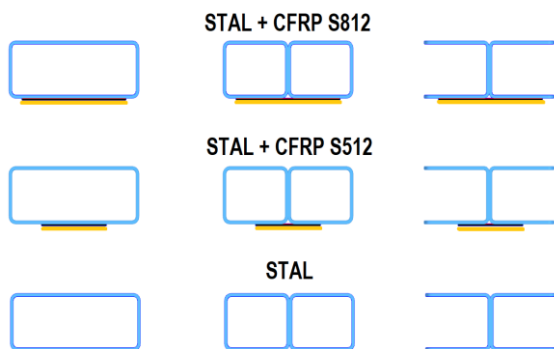
Rys. 3. Stal-CFRP 80 mm

3. Próba 3 punktowego zginania

Przeprowadzono próbę zginania trzy punktowego dla:

- belki zamkniętej 40x100 - 800 mm grubość ścianki 2 mm
- belki podwójnej 2x 40x50 - 800 mm grubość ścianki 2 mm
- belki otwartej 2xC 40x50 - 800 mm grubość ścianki 2mm

Przekroje oraz miejsce naklejania taśm CFRP pokazano na rys.4. Badane były belki bez wzmocnienia oraz wzmocnione. Taśma CFRP szerokości 80 mm oraz 50 mm została przyklejona klejem epoksydowym do badanych belek i umieszczona w strefie rozciągania.



Rys. 4. Przekroje badanych próbek, miejsce wzmocnień.

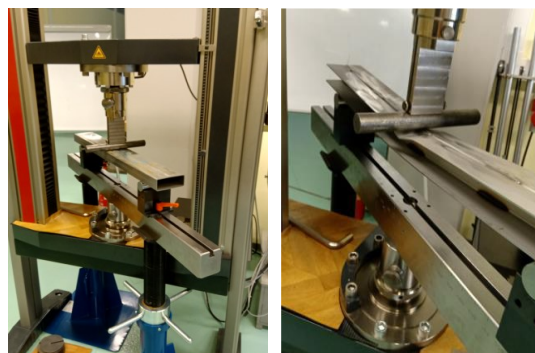
Próbie zginania 3 punktowego przeprowadzono z wykorzystaniem uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej ZWICK Z100/Roell rys.9, rys.10 pracującej w zakresie 0,2-100 kN. Celem badań było wyznaczenie wartości siły maksymalnej (rys.8) oraz zbadanie czy badany przekrój wpływa na działania taśmy CFRP.

Dla belki pojedynczej zamkniętej z naklejoną taśmą CFRP o szerokości 80 mm następuje jedynie 4,8% wzrost siły maksymalnej (18,4kN) w porównaniu do belki nie wzmocnionej (17,5kN).

Z kolei dla belki podwójnej C wzmocnionej CFRP możemy zaobserwować wzrost siły maksymalnej odpowiednio o 9,7 % gdy zastosowaliśmy taśmę o szerokości 50 mm i o 6,7% dla taśmy o szerokości 80 mm, w porównaniu do belki bez wzmocnienia (18,02kN)

Belki podwójne mają około dwukrotnie większą sztywność zginania (34,02kN wartość dla belki bez wzmocnienia)

w porównaniu z prostym profilem zamkniętym (17,5kN) czy otwartym (18,02kN).



Rys.10. Widok stanowiska badawczego

4. Podsumowanie

Możliwość zastosowania nowych materiałów w przemyśle autobusowym obejmuje szereg zagadnień. Statyczna próba rozciągania oraz próba 3 punktowego zginania stanowią jedynie wybrane z analizowanych zagadnień.

Najważniejszą korzyścią dla środowiska jest zmniejszenie masy pojazdu w stosunku do obecnie stosowanych rozwiązań, co skutkuje mniejszym zużyciem energii przez autobus.

Wnioski z przeprowadzonych badań:

Wniosek 1

Stateczna próba rozciągania - brak norm dedykowanych do badań połączeń metal-CFRP. W przypadku próbek częściowo wzmocnionych badamy ogólną wytrzymałość stali np. bark wpływu na parametr R_m badanej stali

Wniosek 2

Próba zginania 3 punktowego wyraźnie pokazuje wpływ przekroju belek na aktywację działania taśmy CFRP

Badania zostały przeprowadzone w ramach Programu Doktoranckiego Wdrożeniowy Ministerstwa Edukacji i Nauki realizowanego w latach 2020-2024 (Umowa nr DWD /4 /22 /2020) oraz projektu „Hybrid beams” w ramach Programu M-ERA.NET2 2019/2/2020, współfinansowanego przez NCBR.

Literatura

- [1] Pawlak A., Górny T., Dopierała Ł., Paczos P. *The use of CFRP for structural reinforcement – literature review*, Metals 2022 MDPI
- [2] Dopierała Ł., Paczos P., Pawlak A., Smoczyński M. and Cep R. *Investigation of mechanical properties of CFRP-steel connection in static tensile test*, Metals 2022 MDPI
- [3] Vaclavik J., Dopierała Ł., Walczak B., Hejman M., *Load Carrying Capacity of the Hybrid Beam*, EAN2021 59 conference on experimental stress analysis Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering Litomyšl, 2021 ISBN 978-80-01-06884-7
- [4] Bocciarelli, M., Colombi, P., Fava, G., Poggi, C. *Prediction of debonding strength of tensile steel/CFRP joints using fracture mechanics and stress based criteria*, Engineering Fracture Mechanics 76 (2009) 299–313
- [5] Bocciarelli, M., Colombi, P., Fava, G. & Poggi, C. 2014, *Some issues on the strengthening of steel structures with fibre-reinforced polymer materials*, Australian Journal of Structural Engineering, Vol. 15, No. 4, October, 337-354.
- [6] Dawood, M., Rizskala, S., *Bond and splice behavior of CFRP laminates for strengthening steel beams*, <https://www.researchgate.net/publication/252419022>