

STRESZCZENIE

Przedmiotem rozprawy jest technologia wzmocnienia istniejących konstrukcji stalowych taśmami kompozytowymi CFRP. Podobnie jak w przypadku konstrukcji betonowych, technologia wzmocnienia za pomocą taśm CFRP jest przeznaczona do wzmocnienia belek (dźwigarów) stalowych w sytuacji obniżonej nośności belek wskutek uszkodzeń (korozja, pęknięcia) i/lub zwiększenia obciążeń użytkowych obiektu. Cele niniejszej rozprawy są bezpośrednio związane z podjętymi w pracy problemami badawczymi. Pierwszym problemem badawczym rozprawy była identyfikacja i ocena wpływu różnych czynników na nośność i sztywność wzmocnionych belek stalowych. Wobec braku jednolitych i powszechnie uznanych zasad projektowania przedmiotowej technologii wzmocnienia kolejnym problemem badawczym podjętym w rozprawie było opracowanie szczegółowych zasad analitycznej oceny nośności granicznej wzmocnionych belek na podstawie przeglądu piśmiennictwa oraz własnych analiz. Głównym problemem badawczym rozprawy była ilościowa ocena efektywności wzmocnienia belek stalowych (dźwigarów) za pomocą taśm CFRP przyklejanych w stanie biernym oraz wstępnie naprężonym. Ostatnim problemem badawczym rozprawy była ocena skuteczności wdrożenia nowego systemu wzmocnienia NPS II do konstrukcji stalowych.

W pierwszej części rozprawy przedstawiono przegląd stanu wiedzy, którego celem była identyfikacja i ocena wpływu różnych czynników (materiałowych, geometrycznych, technologicznych) na nośność i sztywność wzmocnionych belek stalowych. Do najczęściej badanych i omawianych czynników należały parametry materiałowe i geometryczne taśm CFRP, stopień wstępnego naciągu taśm (sprężenie belki) oraz parametry materiałowe i geometryczne belek stalowych. Opierając się na wynikach prac naukowych, podjęto próbę ilościowej oceny wpływu tych czynników na efektywność wzmocnienia belek. W kolejnej części przedstawiono szczegółowe zasady wyznaczania nośności granicznej belki stalowej wzmocnionej taśmami CFRP, przyklejonymi biernie i/lub w stanie wstępnie naprężonym do pasa dolnego belki. Analizę teoretyczną nośności belki wzmocnionej taśmami CFRP przeprowadzono dla kilku wariantów zniszczenia wzmocnienia, uwzględniono również stan graniczny sprężysty zginanej belki. Opracowane procedury zostały zweryfikowane w badaniach laboratoryjnych opisanych w czwartej części rozprawy. Opierając się na wynikach badań dokonano doświadczalnej oceny ilościowej nośności granicznej i sztywności wzmocnionych belek oraz efektywności wzmocnienia belek taśmami CFRP, zarówno w układzie taśm przyklejanych biernie, jak i wstępnie naprężonych. W badaniach laboratoryjnych ograniczono się do wybranych czynników, które na podstawie analizy piśmiennictwa uznano za mające największy wpływ na efektywność wzmocnienia. Piąta część rozprawy stanowi weryfikację analitycznych procedur wyznaczania nośności belki stalowej wzmocnionej taśmami CFRP. Obliczenia nośności przekroju belki na zginanie przeprowadzono dla belek, które wcześniej poddano badaniom w warunkach laboratoryjnych. Weryfikacja opisanych procedur analitycznych polegała na porównaniu wyników badań doświadczalnych z wynikami obliczeń oraz na ocenie różnic w porównywanych wartościach. Piąta część rozprawy zawiera również analizę parametryczną nośności granicznej belki stalowej wzmocnionej taśmami CFRP. Na podstawie uzyskanych wyników dokonano oceny wpływu wybranych parametrów wzmocnienia tj. modułu sprężystości taśmy CFRP, stopnia zbrojenia kompozytowego (liczba taśm i ich przekrój poprzeczny) oraz poziomu wstępnego naprężenia taśm na nośność graniczną wzmocnionej belki. Ostatnim etapem prac były badania efektywności wzmocnienia za pomocą wstępnie naprężonych taśm CFRP na istniejącym moście stalowym. Wybrano wzmocnienie aktywne belek ze względu na konieczny poziom wzmocnienia mostu. W ramach tego etapu wykonano badania przęsła mostu pod obciążeniem statycznym i dynamicznym w dwóch etapach: przed i po wzmocnieniu belek mostu taśmami CFRP. Ocenę nośności granicznej dźwigarów stalowych po wzmocnieniu, pozwalającą oszacować możliwy poziom ich

wzmocnienia, przeprowadzono za pomocą procedur analitycznych przedstawionych w trzeciej części rozprawy. Efektywność wzmocnienia przęsła mostu oceniono także z wykorzystaniem modelu numerycznego (MES) jego konstrukcji walidowanego na podstawie wyników badań mostu. Na podstawie zebranych wyników badań oraz analiz dokonano oceny skuteczności wdrożenia nowego systemu wzmocniania NPS II do konstrukcji stalowych w warunkach laboratoryjnych jak również na istniejącym obiekcie mostowym. Technologia wzmocniania belek stalowych na zginanie za pomocą taśm kompozytowych CFRP jest wystarczająco efektywna do praktycznych zastosowań w budownictwie a opracowane i zweryfikowane w rozprawie procedury analityczne wyznaczania nośności granicznej belek wzmocnionych taśmami CFRP mogą służyć do projektowania wzmocnienia w postaci taśm CFRP.

SUMMARY

The subject of the dissertation is the technology of strengthening the existing steel structures with CFRP composite strips. As in the case of concrete structures, the technology of reinforcement with the use of CFRP strips is intended to strengthen steel beams (girders) in the event of reduced load capacity of the beams due to damage (corrosion, fatigue cracks) and / or increase live loads of the object. The objectives of this dissertation are directly related to the research problems undertaken in the work. The first research problem of the dissertation was the identification and assessment of the influence of various factors on the ultimate load-carrying capacity and stiffness of the strengthened steel beams. Due to the lack of uniform and generally recognized principles of designing the discussed strengthening technology, another research problem undertaken in the dissertation was the development of detailed principles of analytical assessment of the ultimate load-carrying capacity of the strengthened beams based on a review of the literature and own analyzes. The main research problem of this dissertation was the quantitative evaluation of the effectiveness of the strengthening of steel beams (girders) with the use of both passive and active (pre-tensioned) CFRP strips. The last research problem of the dissertation was to assess the effectiveness of the implementation of the new NPS II strengthening system to steel structures.

The first part of the dissertation presents an overview of the state of the art, the aim of which was to identify and assess the impact of various factors (material, geometric, technological) on the ultimate load-carrying capacity and stiffness of the strengthened steel beams. The most frequently studied and discussed factors were the material and geometric parameters of CFRP strips, the level of prestress the strips (beam prestressing) and the material and geometric parameters of steel beams. Based on the research results, an attempt was made to quantify the impact of these factors on the effectiveness of beam strengthening. The next part presents detailed rules for determining the ultimate load-carrying capacity of a steel beam reinforced with CFRP strips passively and / or prestressed bonded to the bottom flange of the beam. The theoretical analysis of the ultimate load-carrying capacity of a beam strengthened with CFRP strip was carried out for several variants of strengthening failure, the elastic limit state of the bending beam was also considered. The developed procedures were verified based on the results of laboratory tests described in the fourth part of the dissertation. Based on the tests results, an experimental quantitative evaluation of the ultimate load-carrying capacity and stiffness of the strengthened beams and effectiveness of CFRP strengthening, both in the configuration of passively bonded as well as pre-tensioned strips was performed. Laboratory studies were limited to selected factors that, based on the literature analysis, were considered to have the greatest influence on the effectiveness of enhancement. The fifth part of the dissertation is the verification of analytical procedures for determining the load capacity of a steel beam reinforced with CFRP strips. Calculations of the bending capacity were carried out for beams that had previously been tested in laboratory conditions. The verification of the described analytical procedures consisted in comparing the results of experimental tests with the results of calculations and in assessing the differences in the compared values. The fifth part of the dissertation also contains a parametric analysis of the ultimate load-carrying capacity of the strengthened beams. Based on the obtained results, the assessment of the influence of selected strengthening parameters, i.e. the modulus of elasticity of the CFRP strip, the degree of composite reinforcement (the number of strips and their cross-section) and the level of

prestress the CFRP strips on the ultimate load-carrying capacity of the strengthened beam was made. The last stage of the research work was to test the effectiveness of the strengthening with prestressed CFRP strips on the existing steel bridge. The active strengthening of the beams was selected due to the required level of bridge enhancement. As part of this phase, the bridge span was tested under static and dynamic load condition in two stages: before and after strengthening the bridge beams with CFRP strips. The assessment of the ultimate load-carrying capacity of the steel girders after strengthening, allowing to estimate the possible effectiveness of the strengthening, was carried out using the analytical procedures presented in the third part of the dissertation. The effectiveness of the bridge span strengthening was also assessed computationally using the numerical model (FEM) of its structure validated based on the results of the bridge tests. Based on the collected test and analysis results, the effectiveness of the implementation of the new NPS II strengthening system to steel structures was assessed in laboratory conditions as well as in the existing bridge structure. The technology of strengthening steel beams with CFRP composite strips is effective enough for practical applications in construction and the analytical procedures for determining the ultimate load-carrying capacity of beams strengthened with CFRP strips, developed, and verified in the dissertation, can be used to design the CFRP strengthening.