

Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury



**ANALIZA EFEKTYWNOŚCI WZMACNIANIA
STALOWYCH BELEK CIENKOŚCIENNYCH TYPU
SIGMA KOMPOZYTAMI CFRP**

DYSERTACJA DOKTORSKA

mgr inż. Ilona Szewczak

Praca napisana pod kierunkiem:
dr hab. inż. Katarzyny Rzeszut

Lublin 2020

Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiono analizę efektywności wzmacniania stalowych belek cienkościennych typu sigma kompozytami CFRP, opartą na wynikach badań laboratoryjnych i obliczeń numerycznych. Omówiono proces przygotowania i prowadzenia badań laboratoryjnych, obejmujących stalowe belki cienkościenne typu sigma o dwóch różnych wysokościach przekroju, oraz sposób opracowania modeli numerycznych w programie Abaqus. Wyniki badań laboratoryjnych porównano z wynikami badań numerycznych. Dodatkowo zakres badań laboratoryjnych rozszerzono o analizę efektywności wzmocnienia stalowych belek cienkościennych typu sigma taśmami stalowymi, a badania numeryczne wzbogacono o analizę efektywnej długości zakotwienia taśm CFRP.

Praca składa się z dziewięciu rozdziałów. Pierwszy rozdział zawiera wprowadzenie, w którym przedstawiono podstawowe informacje dotyczące stalowych elementów cienkościennych profilowanych na zimno tj. definicję, zakres zastosowania oraz wybrane zagadnienia dotyczące ich analizy. Ponadto omówiono podstawowe kwestie dotyczące materiałów kompozytowych CFRP, podkreślając zalety i wady wykorzystania ich do wzmacniania konstrukcji stalowych.

Rozdział drugi stanowi przegląd literatury w zakresie aktualnego stanu wiedzy w dziedzinie badań stalowych elementów cienkościennych oraz wzmacniania stalowych konstrukcji cienkościennych taśmami CFRP. Przedstawiono w nim także opublikowane badania naukowe dotyczące wpływu długości zakotwienia taśm CFRP na nośność układu wzmocnienia.

W rozdziale trzecim opisano genezę tematu pracy omawiając przyczyny, dla których podjęto tematykę badań związaną ze wzmacnianiem stalowych belek cienkościennych typu sigma taśmami CFRP. Wskazano cel i zakres pracy oraz postawiono tezy rozprawy.

W rozdziale czwartym zamieszczono przegląd literatury dotyczący nowoczesnych i tradycyjnych metod pomiarowych wykorzystywanych w badaniach laboratoryjnych. Ponadto zwrócono uwagę na metody pomiaru wstępnych imperfekcji geometrycznych elementów stalowych oraz opisano metody pomiarowe wykorzystane w niniejszej pracy.

Rozdział piąty zawiera program badań. Na schematach blokowych przedstawiono kolejne czynności i metody dotyczące sposobów wykonywania badań naukowych (laboratoryjnych i numerycznych), które autorka zaplanowała w celu udowodnienia postawionych w pracy tez.

W rozdziale szóstym opisano pierwszą część badań laboratoryjnych, na którą składają się badania materiałowe oraz badania pilotażowe. Opisano sposób przygotowania próbek do badań, przebieg badań oraz omówiono uzyskane wyniki.

Rozdział siódmy zawiera opis drugiej części autorskich badań laboratoryjnych, składających się z trzech etapów. Opisano w nim zakres badań, sposób przygotowania próbek, model stanowiska badawczego, a także przedstawiono wyniki badań i sformułowano wnioski.

W kolejnej części pracy scharakteryzowano modele numeryczne analizowanych belek. Ponadto przedstawiono w niej rezultaty symulacji komputerowych oraz porównano wyniki badań doświadczalnych i analiz numerycznych.

W rozdziale dziewiątym podsumowano rozprawę doktorską. Przedstawiono w nim wnioski wynikające z przeprowadzonych badań laboratoryjnych i numerycznych oraz omówiono kierunki dalszych badań. Na końcu zamieszczono zestawienie pozycji literaturowych przywołanych w pracy.

Summary

In this dissertation an analysis of the reinforcement efficiency of sigma thin-walled cold-rolled steel beams using CFRP tapes was performed. In addition, the process of preparing and conducting laboratory tests including steel thin-walled sigma beams with two different cross-section heights, and the method of developing numerical models in the Abaqus program was presented. The results of laboratory tests were compared with the results of numerical tests. Moreover, the scope of laboratory tests was expanded through the analysis of the efficiency of strengthening sigma steel thin-walled beams using steel tapes, and the numerical tests were enriched by the analysis of the effective length of anchoring CFRP tapes.

The dissertation consists of nine chapters. The first chapter contains an introduction, which presents basic information about cold-formed steel thin-walled elements, i.e. definition, scope of their application and selected issues concerning analysis of such elements. In addition, basic information on CFRP composite materials was discussed, highlighting the advantages and disadvantages of using them to reinforce steel structures.

The second chapter provides an overview of the literature concerning the current state of knowledge in the field of testing thin-walled steel elements and strengthening them using CFRP tapes.

The third chapter describes the genesis of the topic of the thesis, discussing the reasons for which research related to the reinforcement of sigma thin-walled steel beams with CFRP tapes were undertaken. The purpose and scope of the work were indicated and the theses were formulated.

The fourth chapter contains an overview of the literature concerning modern and traditional methods of measurement used in the laboratory tests. Particular attention was paid to methods for measuring of initial geometrical imperfections of steel elements and the measurement methods used in this work were described.

The fifth chapter presents the research program. The block charts show the subsequent actions and methods related to scientific research (laboratory test and numerical analysis), which the author planned in order to prove the theses stated in the dissertation.

Chapter six describes the first part of the laboratory tests, which consists of material coupon tests and full scale pilot tests. The method of preparing samples for tests, the scope of tests and the obtained results were described.

Chapter seven contains a description of the second part of the full scale laboratory tests, consisting of three stages. It describes the scope of research, method of sample preparation, model of the test stand, as well as the results of research.

In the next part of the work, numerical models referring to the tested beams are characterized. In addition, the results of numerical simulations were presented and the results of experimental tests and numerical analyzes were compared.

Chapter nine summarizes the doctoral dissertation. It presents the conclusions resulting from laboratory and numerical analyses, and discusses the directions of further research. At the end there is a list of literature references cited in the paper.