

# STRESZCZENIE

Maciej Adam Dybizbański

Rozprawa doktorska pt. „Zastosowanie jednokierunkowej tkaniny z włókna węglowego do wzmacniania cienkościennych belek stalowych typu sigma” przedstawia wyniki badań mających na celu analizę możliwości zwiększenia odporności na deformacje dystorsyjne belek stalowych poprzez odcinkowe zamknięcie przekroju poprzecznego za pomocą naklejanej tkaniny z włókna węglowego (CFT).

Pracę podzielono na siedem rozdziałów. Rozdział pierwszy zawiera przegląd literatury dotyczącej konstrukcji stalowych cienkościennych, zjawiska dystorsji, metod wzmacniania konstrukcji kompozytami CFRP, ze szczególnym uwzględnieniem aplikacji na elementach stalowych, oraz teorii belek cienkościennych. Rozdział drugi opisuje zastosowane materiały (stal S350GD, profile  $\Sigma 200 \times 70 \times 2$  i  $\Sigma 140 \times 70 \times 2.5$ , jednokierunkową tkaninę węglową oraz klej), a także szczegółowo przedstawia metodykę badań, obejmującą przygotowanie próbek, program badań doświadczalnych połączeń klejonych i belek stalowych (niewzmocnionych i wzmocnionych trzema sposobami naklejenia tkaniny) oraz założenia przyjęte do analiz numerycznych. Rozdział trzeci prezentuje wyniki badań doświadczalnych połączeń klejonych stal-klej-CFRP, koncentrując się na wyznaczeniu ich nośności, postaci zniszczenia oraz parametrów mechanicznych. W rozdziale czwartym szczegółowo omówiono wyniki badań laboratoryjnych belek stalowych typu sigma, poddanych czteropunktowemu zginaniu, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu wzmocnienia na nośność, sztywność, formy zniszczenia i ograniczenie dystorsji. Rozdział piąty poświęcony jest analizom numerycznym z zastosowaniem metody elementów skończonych (MES), w ramach których opracowano i zweryfikowano modele połączeń klejonych. Rozdział szósty zawiera analizę i dyskusję nad uzyskanymi wynikami badań doświadczalnych i numerycznych w świetle oceny efektywności proponowanych typów wzmocnienia. Efektem badań było zidentyfikowanie najbardziej korzystnego rozwiązania tj. typu 1 (naklejenie tkaniny tylko na zagięciach brzegowych półek) oraz przeprowadzenie pogłębianych analiz jego wpływu na mechanikę pracy badanych belek. W rozdziale siódmym podsumowano całość pracy, przedstawiając kluczowe wnioski potwierdzające tezę rozprawy o skuteczności zastosowanego wzmocnienia, wskazując oryginalne osiągnięcia pracy oraz perspektywy dalszych badań.

Wykorzystane metody badawcze obejmują badania doświadczalne (testy wytrzymałościowe 65 połączeń klejonych i 16 belek stalowych w schemacie czteropunktowego zginania) oraz analizy numeryczne z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES). Testy laboratoryjne przeprowadzono na klejonych połączeniach zakładkowych podwójnych (5 próbek) i pojedynczych (60 próbek). Ponadto, przeprowadzono pełnoskalowe testy laboratoryjne na cienkościennych belkach stalowych niewzmocnionych (4 próbki) oraz wzmocnionych (12 próbek). Pełnoskalowe badania przeprowadzono dla belek o przekroju poprzecznym typu sigma o wymiarach  $\Sigma 200 \times 70 \times 2$  i  $\Sigma 140 \times 70 \times 2.5$ , dla trzech różnych sposobów naklejenia tkaniny oraz dla dwóch różnych sposobów zamocowania na podporach (swobodna i zablokowana możliwość deplanacji przekroju poprzecznego na podporach).

Badania potwierdziły, że zastosowanie tkaniny z włókna węglowego, szczególnie w przypadku belek o przekroju  $\Sigma 200 \times 70 \times 2$ , istotnie zwiększa ich nośność i odporność na deformacje dystorsyjne.

# SUMMARY

Maciej Adam Dybizbański

The doctoral dissertation titled "Application of unidirectional carbon fibre textile for strengthening thin-walled steel sigma beams" presents the results of research aimed at analysing the possibility of increasing the resistance to distortional deformations of steel beams by means of segmental cross-section closure using an adhesively bonded carbon fibre textile (CFT).

The work is divided into seven chapters. Chapter One contains a literature review concerning thin-walled steel structures, the phenomenon of distortion, methods of strengthening structures with CFRP composites, with particular emphasis on applications to steel elements, and the theory of thin-walled beams. Chapter Two describes the materials used (S350GD steel,  $\Sigma 200 \times 70 \times 2$  and  $\Sigma 140 \times 70 \times 2.5$  profiles, unidirectional carbon textile, and adhesive), and details the research methodology, including specimen preparation, the experimental program for adhesive joints and steel beams (unreinforced and reinforced with three application methods), and the assumptions adopted for numerical analyses. Chapter Three presents the results of experimental tests on steel-adhesive-CFRP joints, focusing on determining their load-bearing capacity, failure modes, and mechanical parameters. Chapter Four discusses in detail the results of laboratory tests on sigma-type steel beams subjected to four-point bending, with particular emphasis on the influence of the reinforcement on load-bearing capacity, stiffness, failure modes, and the limitation of distortion. Chapter Five is devoted to numerical analyses using the Finite Element Method (FEM), within which models of the adhesive joints were developed and verified. Chapter Six contains a comprehensive analysis and discussion of the obtained experimental and numerical results, evaluating the effectiveness of the proposed strengthening types. The outcome of the research was the identification of Type 1 (application of the textile only to the edge stiffeners of the flanges) as the most beneficial solution, and the execution of in-depth analyses of its impact on the mechanical behaviour of the tested beams. Chapter Seven summarises the entire work, presenting key conclusions that confirm the dissertation's thesis on the effectiveness of the applied strengthening, highlighting the original achievements of the work, and outlining prospects for further research.

The research methods used include experimental investigations (laboratory strength tests of 65 adhesive joints and 16 steel beams in a four-point bending scheme) and numerical analyses using the Finite Element Method (FEM). Laboratory tests were conducted on adhesively bonded double lap joints (5 specimens) and single lap joints (60 specimens). Furthermore, full-scale laboratory tests were conducted on thin-walled steel beams, including unreinforced (4 specimens) and reinforced (12 specimens) beams. The full-scale tests were conducted for beams with two different cross-sections ( $\Sigma 200 \times 70 \times 2$  and  $\Sigma 140 \times 70 \times 2.5$ ), for three different methods of textile application, and for two different support conditions (with cross-section warping at the supports either permitted or prevented).

The research confirmed that the application of carbon fibre textile, especially when the reinforcement is applied to the edge stiffeners of the flanges, significantly increases the load-bearing capacity of sigma beams and their resistance to distortional deformations, with the  $\Sigma 200 \times 70 \times 2$  profile proving to be more responsive to the positive effects of strengthening.