

**Autor:** Patryk Deniziak

Temat: Nośność stalowych słupów złożonych z kształtowników giętych na zimno o przekroju poprzecznym otwartym z dodatkowymi gałęziami przylgowymi.

## STRESZCZENIE

W niniejszej pracy opisano zagadnienie wzajemnej współpracy gałęzi przylgowo złożonego słupa wykonanego z kształtowników wykonanych w technologii gięcia na zimno. Przedstawiono proces przygotowania eksperymentu laboratoryjnego wykonanego w skali naturalnej, przebieg badań oraz sposób wykonania modelu numerycznego w programie Abaqus. Wyniki analizy numerycznej porównano z wynikami eksperymentu. Na tej podstawie dokonano walidacji modelu numerycznego. Przeprowadzono także obliczenia parametryczne wykraczające poza zakres ograniczony eksperymentem.

W pierwszym rozdziale opisano sposób pozyskiwania materiału konstrukcyjnego jakim jest stal oraz przedstawiono technologiczny proces produkcji kształtowników giętych na zimno. Zaprezentowano klasyfikację prętów złożonych oraz zwrócono uwagę na różnicę między wzmacnianiem prętów pod obciążeniem a projektowaniem elementu rozbudowanego już na etapie pierwszego montażu. Dostrzeżono, iż zależności stosowane przez lata dla konstrukcji wykonanych elementów walcowanych na gorąco nie mogą być stosowane podczas oceny nośności elementów smukłościennych. Motywacją do podjęcia analizy opisanego zagadnienia był brak badań podobnych problemów oraz brak wytycznych projektowych, literaturowych oraz normowych w ujęciu do współpracy smukłościennych gałęzi ściskanego słupa odcinkowo, przylgowo złożonego.

W rozdziale drugim przedstawiono stan wiedzy w zakresie wymiarowania konstrukcji giętych na zimno oraz dokonano przeglądu najnowszych badań w zakresie nośności stalowych konstrukcji przylgowo złożonych.

Trzeci rozdział zawiera tezę oraz cel i zakres opracowania. Przedstawiono w formie schematu blokowego kolejne etapy pracy.

W czwartym rozdziale opisano wybór elementów przeznaczonych do badań laboratoryjnych. Przedstawiono ich teoretyczną nośność wyznaczoną na podstawie obliczeń normowych oraz analiz wstępnego modelu numerycznego. Na podstawie analizy otrzymanych wyników zaprojektowano i przedstawiono program badań eksperymentalnych.

W rozdziale piątym przedstawiono badania osiowego rozciągania próbek materiałowych, których celem było znalezienie zależności naprężenia-odkształcenia dla badanej stali. Wyznaczono i graficznie zaprezentowano na wykresie naprężenia inżynierskie oraz rzeczywiste, które posłużyły do odtworzenia zachowania materiału w modelu numerycznym.

W szóstym rozdziale zaprezentowano przebieg badań laboratoryjnych polegających na osiowym ściskaniu przylgowo złożonych, cienkościennych słupów stalowych. Szczegółowo opisano miejsce oraz stanowisko badań, a także użyty sprzęt pomiarowy. Rozdział zakończono podsumowaniem prezentującym wyniki badań eksperymentalnych.

Rozdział siódmy rozpoczęto opisem różnic między wykonanymi analizami numerycznymi. Do modelu MES dodawano kolejno nieliniowości: nieliniowość materiałową, geometryczną oraz kontakt między elementami. Wyniki obliczeń zaprezentowano w formie tabelarycznej. Następnie porównano otrzymaną ścieżkę równowagi z analogiczną zależnością pochodzącą z eksperymentu laboratoryjnego. Porównano także otrzymany z obliczeń numerycznych rozkład naprężeń w poszczególnych gałęziach z rozkładem odczytanym podczas badań. Dzięki walidacji modelu MES możliwe było wykonanie kolejnych parametrycznych obliczeń bez konieczności wykonywania kosztownych badań laboratoryjnych. Wykorzystano także metodę pasm skończonych w celu wyznaczenia zależności naprężeń krytycznych od długości półfali postaci wyboczenia.

W rozdziale ósmym zaprezentowano zestawienie wyników eksperymentalnych oraz obliczeń normowych. Różnicę wyników, mającą niekorzystny wpływ na poziom niezawodności analizowanego słupa, skorygowano proponując autorską modyfikację procedury normowej.

Pracę wieńczy rozdział dziewiąty, w którym przedstawiono wnioski i podsumowanie rezultatów pracy. Przedstawiono także kierunki dalszych badań.

**Author:** Patryk Deniziak

**Title:** Resistance of steel built-up cold-formed open section columns with additional closely-spaced chords.

## Abstract

This paper presents closely-spaced built-up cold-formed steel (CFS) column chords performance. The examined CFS column chords cooperation is a subject of this PhD thesis study. A process of laboratory, natural scale experiment preparation and the experiment results are shown. Additionally, the numerical model of the column is presented. Abaqus software numerical results are compared with laboratory experiment what is the basis for a validation process. Further parametric analyses are reported.

**First chapter** presents a production method of structural steel and thin-walled element forming stages. Built-up element classification is shown. A difference between strengthening of existing bars and designing of originally built-up elements is highlighted. Author noticed the existing Eurocode rules for built-up hot-rolled sections are not suitable for thin-walled structures. The lack of this problem considerations and code regulations is a main motivation to undertake precise research of piecewise built-up CFS column chords performance.

**Second chapter** shows state of knowledge in the field of CFS elements stability and introduces a review of the latest research concerning closely-spaced built-up CFS columns.

The dissertation thesis, aim and scope of the study is presented in a **third chapter**. Further steps are illustrated using a block diagram.

**Fourth chapter** shows cross-section selection for laboratory research purposes. Selected elements resistance is predicted according to the Eurocode rules and initial Finite Element Method (FEM) model. Based on obtained results the laboratory experiment program was designed.

In order to find stress-strain relation for analysed steel axial tensile coupon tests were conducted. Results are presented in **fifth chapter**. Engineering and true stresses are shown on a graph. Obtained results serve to model the material properties and its plastic behaviour.

**Sixth chapter** presents axial built-up CFS columns compression laboratory tests. Author describes laboratory equipment and a research station in detail. The chapter is summarised with test results.

**Seventh chapter** describes differences between conducted FEM analyses. Three nonlinearities were added to the model. Author considered material, geometrical and boundary condition nonlinearity. Results of these analyses were shown in a table. Experimental and numerical load-deflection curves and stress distributions in the chords were compared. Due to FEM model validation further parametric study was possible without preparation of costly experiments.

**Eighth chapter** shows the comparison of experimental and code based results. Possible difference in results is adjusted by author's modification of the standard procedure.

The paper ends with **ninth chapter** that shows conclusions and summary of obtained results. The trends of further research were also presented.