

mgr inż. Aleksandra Magdalena Pawlak

Rozprawa doktorska

Streszczenie

Badania cienkościennych słupów ceowych o niestandardowych przekrojach poprzecznych

Promotor: dr hab. inż. Piotr Paczos, prof PP

Promotor pomocniczy: dr Marcin Rodak

Streszczenie

Konstrukcje cienkościennie zyskują coraz większą popularność wśród projektantów i konstruktorów ze względu na ich wysoką wytrzymałość i przy jednocześnie niskiej masie. Ustroje cienkościennie znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu m.in. w budownictwie lądowym, przemyśle samochodowym, budowie maszyn czy lotnictwie.

Niniejsza praca poświęcono jest badaniu wytrzymałości oraz odporność na utratę stateczności cienkościennych słupów ceowych o niestandardowym kształcie przekroju poprzecznego. Do badań i analiz zastosowano metody doświadczalne i numeryczne. Ponadto przedstawiono rozwiązanie analityczne opierające się na procedurach zawartych w normie EUROKOD 3 i na zasadzie minimalnej całkowitej energii potencjalnej. Rozprawa doktorska składa się z ośmiu rozdziałów.

Celem niniejszej rozprawy doktorskiej to:

- analiza wytrzymałości cienkościennych słupów ceowych o niestandardowych kształtach przekroi poprzecznych,
- wyznaczenie sił maksymalnych przy których doszło do zniszczenia słupów,
- analiza wyboczenia ogólnego, miejscowego i dystorsyjnego oraz wyznaczenie sił krytycznych i odpowiadającym im postaci wyboczenia,
- porównanie wyników otrzymanych trzema metodami: analityczną, numeryczną (FSM, MES) oraz doświadczalną,
- zestawienie wyników w postaci tabel i wykresów.

W niniejszej rozprawie doktorskiej przedstawiono najważniejsze osiągnięcia w zakresie wytrzymałości i stateczności konstrukcji cienkościennych. Na podstawie wykonanego przeglądu literaturowego stwierdzono, że w ostatnich latach, wśród naukowców wzrosło zainteresowanie konstrukcjami cienkościennymi. Artykuły naukowe i monografie cytowane w niniejszej pracy odnoszą się do badań stateczności i wytrzymałości konstrukcji cienkościennych. Przedmiotem badań w tych

pracach są kształtowniki o klasycznych, niezbyt skomplikowanych kształtach przekroi poprzecznych. W niniejszej rozprawie doktorskiej zajęto się analizą i badaniem słupów posiadających zmodyfikowane kształty przekroi poprzecznych. To innowacyjne podejście do kształtów przekroi poprzecznych pozwoliło określić wpływ modyfikacji tego kształtu na wytrzymałość, stateczność oraz nośność graniczną ściskanych słupów ceowych.

W rozdziale drugim dokonano opisu badanych słupów ceowych uwzględniając kształty i wymiary ich przekroi poprzecznych. Słupy wykonane zostały w technologii formowania na zimno z jednego arkusza blachy. Ponadto wykonano statyczną próbę rozciągania, która umożliwiła wyznaczenie właściwości mechanicznych blachy, z której wykonane zostały słupy.

W kolejnych rozdziałach opisano rozwiązanie analityczne, które oparte było na procedurach zawartych w normie EUROKOD 3 oraz zasadzie minimalnej całkowitej energii potencjalnej. Następnie opisano badania doświadczalne, które wykonano z zastosowaniem metody tensometrycznej oraz metody optycznej. Na końcu opisano badania numeryczne przeprowadzone przy pomocy metody elementów skończonych oraz metody pasm skończonych.

Na podstawie przeprowadzonych badań określono wartości sił krytycznych, sił maksymalnych, przy których słupy uległy zniszczeniu. Ponadto na podstawie metody optycznej zidentyfikowano postacie utraty stateczności słupów.

Praca jest zakończona dyskusją wyników oraz wnioskami, które wysunięto na podstawie przeprowadzonych badań i rezultatów tych badań. Stwierdzono, że niestandardowe kształty przekroi poprzecznych ściskanych słupów są znacznie sztywniejsze niż te klasyczne przekroje np. „*lipped channel*”. Modyfikacje kształtu przekroi poprzecznych powodują wzrost wartości sił krytycznych i sił maksymalnych. Ponadto w przypadku słupów posiadających podwójny arkusz blachy na półce, gdzie arkusz wewnętrzny ukształtowany jest w „skrzynki” lub trapezy, dochodzi do miejscowej utraty stateczności. W przypadku tego rodzaju kształtowników nie stwierdzono występowania interakcji pomiędzy postaciami wyboczenia.

Wykonane analizy mogą przyczynić się do popularyzacji i komercjalizacji niestandardowych kształtów przekrojów przyrzecznych cienkościennych słupów ceowych. Zrealizowane badania i analizy wniosły istotny wkład w rozwój teorii stateczności cienkościennych słupów.

Summary

Thin-walled structures are gaining more and more popularity among designers and constructors due to their high strength and at the same time low weight of the whole structure. Thin-walled structures are used in many industries including civil engineering, automotive, mechanical engineering and aviation.

The present work is devoted to the investigation of the strength and resistance to loss of stability of thin-walled channel columns with non-standard cross-sectional shape. Experimental and numerical methods were used for testing and analysis. In addition, an analytical solution based on the procedures contained in EUROKOD 3 and on the principle of minimum total potential energy is presented. The dissertation consists of eight chapters.

The purpose of this dissertation was:

- to analyse the strength of thin-walled channel columns with non-standard cross-sectional shapes,
- determination of the maximum forces at which the columns failed,
- analysis of general buckling, local buckling and distortional buckling, and determination of critical forces and corresponding forms of buckling,
- comparison of results obtained by three methods: analytical, numerical (FSM, FEM) and experimental (strain gauge and optical),
- compilation of results in the form of tables and graphs.

This dissertation presents the most important developments in the strength and stability of thin-walled structures. Based on the literature review performed, it was found that in recent years, interest in thin-walled structures has increased among researchers. The scientific articles and monographs cited in this dissertation relate to the study of stability and strength of thin-walled structures. The subjects of research in these works are sections with classical cross-sectional shapes that are not too complicated. The present work deals with the analysis and study of columns having modified cross-section shapes. This innovative approach to cross-section shapes made it possible to determine the effect of modification of this shape on the strength, stability and ultimate capacity of compression channel columns.

The second chapter describes the channel columns studied, taking into account the shapes and dimensions of their cross sections. The columns were made by cold-forming technology from a single sheet of steel. In addition, a static tensile test was performed to determine the mechanical properties of the sheet from which the columns were made.

The following sections describe the analytical solution, which was based on the procedures contained in EUROKOD 3 and the principle of minimum total potential energy. This is followed by a description of the experimental tests, which were performed using the strain gauge method and the

optical method. Finally, numerical studies performed using the finite element method and the finite strip method are described.

On the basis of the tests carried out, the values of critical forces, the maximum forces at which the columns failed, were determined. In addition, based on the optical method, the forms of loss of stability of columns were identified.

The paper is concluded with a discussion of the results and conclusions made on the basis of the research conducted and the findings of this study. It was found that non-standard shapes of cross-sections of compressed columns are much stiffer than those classical cross-sections, e.g. "lipped channel". Modifications of the shape of cross sections result in an increase in the values of critical forces and maximum forces. In addition, for columns having a double sheet on the flange, where the inner sheet is shaped into "boxes" or trapezoids, there is a local loss of stability. For these sections, no interaction between buckling forms was found.

The performed analyses can contribute to the popularization and commercialization of non-standard cross-sectional shapes of thin-walled channel columns. The realized research and analysis made a significant contribution to the development of the theory of stability of thin-walled columns.