

Politechnika Świętokrzyska
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Mechaniki, Konstrukcji
Metalowych i Metod Komputerowych

Doktorant: **mgr inż. Monika SIEDLECKA**
Promotor: **prof. zw. dr hab. inż. Zbigniew KOWAL**
Promotor pomocniczy: **dr inż. Leszek CHODOR**

NOŚNOŚĆ BIPOLARNIE SPREŻONYCH BLISKOGAŁĘZIOWYCH PRĘTÓW ŚCISKANYCH

STRESZCZENIE

Przedmiotem rozprawy jest stateczność i nośność bisymetrycznych, bipolarnie sprężonych bliskogałęziowych prętów ściskanych. W pracy pokazano, że możliwe jest zwiększenie nośności prętów bliskogałęziowych nie tylko przez zagęszczenie połączeń między gałęziami, lecz także poprzez wprowadzenie bipolarnej energii rozpychającej gałęzie. Bipolarne sprężenie polega na wprowadzeniu trwałego, symetrycznego, kontrolowanego przemieszczenia gałęzi ściskanego pręta bliskogałęziowego. Maksymalne przemieszczenie gałęzi względem siebie przewidziano w przekroju, w którym przy utracie stateczności klasycznego pręta bliskogałęziowego potencjalnie wystąpiłyby największe przemieszczenia między węzłami. Opracowana metoda jest szczególnie przydatna do zwiększania nośności bliskogałęziowych prętów ściskanych, zwłaszcza w tradycyjnych kratownicach dachowych oraz przekryciach strukturalnych w piramidowo-bocznym systemie montażu, szczególnie wykonanych ze stali nie-spawalnych. Przewidziana jest do zwiększenia nośności zarówno w trybie ekspertyz i remontów, jak i projektowania wzmacnionych prętów i słupów.

Dla wytypowanego do analiz bipolarnie sprężonego pręta bliskogałęziowego obustronnie przegubowo podpartego zaproponowano autorski opis geometrii. W celu poprawnego konstruowania takiego pręta, z warunku pracy konstrukcji w zakresie wytężeń sprężystych, określonych na podstawie hipotezy wytrzymałościowej Hubera-Misesa-Hencky'ego, wyprowadzono wzory do szacowania naprężen wstępnych, minimalnej długości strefy sprężenia oraz maksymalnej dopuszczalnej grubości elementu dystansowego. Następnie dla bipolarnie sprężonego pręta bliskogałęziowego analitycznie oszacowano charakterystyczną i obliczeniową nośność na ściskanie.

Zagadnienie nośności krytycznej pod ściskającym obciążeniem osiowym rozwiązano przy zastosowaniu metody energetycznej z minimalizacją funkcjonału według Rayleigha-Ritza. Przy budowie funkcjonału energii potencjalnej uстроju sztywność postaciowa bipolarnie sprężonego pręta bliskogałęziowego została opisana zmodyfikowanym, według autorskiego pomysłu, wzorem dla dwuzbieżnych liniowo prętów dwugałęziowych. Adaptacja wzoru polegała na rozbudowaniu go o amplifikację przemieszczeń i wskaźnik imperfekcji wstępnie wygiętego pręta ściskanego. Do obliczeń symbolicznych i numerycznych wykorzystano pakiet Mathematica® v. 10.1.

Uzyskano wysoką zgodność wyników otrzymanych drogą analityczną z symulacjami prowadzonymi metodą elementów skończonych przy wykorzystaniu komercyjnych programów Autodesk® Robot™ Structural Analysis Professional 2010 oraz ABAQUS/CAE v.6.14.



Wykazano, że wzrost nośności pręta bliskogałęziowego sprężonego bipolarnie można regulować poprzez zmiany grubości elementu dystansowego i/lub zakresu sprężenia. Ponadto przy optymalnie dobranej grubości elementu dystansowego i długości strefy sprężenia o nośności ściskanego pręta bliskogałęziowego sprężonego bipolarnie nie będzie decydować jego stateczność a nośność najbardziej wytężonego przekroju.

W pracy zamieszczone zostały wyniki wstępnych badań modelowych na wykonanych ze stopu aluminium klasycznych i bipolarne sprężonych prętach bliźniaczych o przekroju prostokątnym.

Na podstawie przeprowadzonych rozważań sformułowano wnioski oraz zlecenia pozwalające na poprawne konstruowanie bipolarne sprężonych prętów bliskogałęziowych.

BEARING CAPACITY OF BIPOLARLY PRESTRESSED CLOSELY-SPACED BUILT-UP STRUTS

ABSTRACT

This doctoral thesis concerns stability and resistance of bisymmetric, bipolarly prestressed built-up struts with closely spaced individual components. In the study it was shown that it is possible to enhance bearing capacity of closely-spaced built-up struts not only by increasing the number of connections between chords, but also by generating bipolar energy that pushes the chords apart. Bipolar prestressing involves utilizing a permanent, symmetric, controlled displacement of the chord of closely-spaced built-up strut. The maximum displacement of the chords with respect to each other was assumed in the section, in which at instability of the classical closely-spaced built-up strut, the greatest displacements between nodes would potentially occur. The method developed is particularly suitable for increasing bearing capacity of closely-spaced built-up struts in traditional roof trusses. That also refers to space structure roofing in pyramidal-lateral assembly system, especially that made of non-weldable steels. The capacity increasing method is applicable to structure rehabilitation and design of the strengthening of struts and columns.

In order analyse a selected bipolarly prestressed closely-spaced built-up strut that was pin-supported on two sides, a geometric description was developed by the author. To correctly construct such a strut, formulas were derived to estimate initial stresses, a minimal length of the prestressed zone and the maximum admissible thickness of the spacer. That was done on the basis of the condition of the structure performance in the range of elastic stress, specified in accordance with the Huber-Mises-Hencky strength hypothesis. Then, for bipolarly prestressed closely-spaced built-up strut, characteristic and design compression resistance was estimated in an analytical way.

The problem of buckling was solved using the energy method with a minimisation of functional acc. Rayleigh-Ritz. While constructing the functional of the potential energy of the system, shear stiffness of bipolarly prestressed closely-spaced built-up strut was described with a formula for linearly doubly convergent two-chord struts. The formula was modified by the author to include displacement amplification and imperfection index of initially bent strut. To carry out symbolic and numerical calculations, the Mathematica® v. 10.1 package was used.

High congruence of results obtained analytically with the FEM simulation results was found. The FEM analysis was performed using Autodesk® Robot™ Structural Analysis Professional 2010 and ABAQUS/CAE v.6.14 commercial software.

In the thesis, it was demonstrated that the bearing capacity increase of bipolarly prestressed closely-spaced built-up strut can be controlled by changing the thickness of the spacer and / or



the prestressing range. Additionally, with an optimally selected thickness of the spacer and length of the prestressing zone, bearing capacity of bipolarly prestressed closely-spaced built-up strut is decided by the bearing capacity of the most stressed cross-section, and not by the strut stability.

The thesis also provided the results of initial model investigations into classical and bipolarly prestressed twin struts. They were made from aluminium alloy and had a rectangular cross-section.

Based on the investigations, conclusions were drawn and recommendations for appropriate construction of bipolarly prestressed closely-spaced built-up struts were produced.

Maurice Giedtche