

STRESZCZENIE

W ostatnich latach można zaobserwować bardzo dynamiczny rozwój konstrukcji stalowych wykonanych z kształtowników giętych na zimno o przekrojach poprzecznych otwartych. Pomimo szerokiego zastosowania tych elementów w różnego typu konstrukcjach stalowych, w tym dźwigarów kratownicowych, oraz pomimo faktu, że w ostatnich latach w tej dziedzinie wciąż pojawiają się nowe badania i normy, nadal nie wszystkie aspekty pracy tego typu konstrukcji zostały zbadane i wyjaśnione. Głównym celem pracy było określenie wpływu mimośrodowego przecinania się prętów skratowania na nośność węzła w ściskanym pasie kratownicy o przekroju kapeluszowym. Zakres pracy obejmuje badania doświadczalne segmentów kratownic wykonanych z kształtowników giętych na zimno o przekrojach poprzecznych otwartych w skali 1:1, walidację modelu obliczeniowego oraz wykonanie szeregu analiz numerycznych z uwzględnieniem różnych grubości kształtowników i różnych wartości mimośródów.

Przeprowadzone badania doświadczalne objęły statyczną próbę rozciągania stali oraz niszczące badania sześciu modeli kratownic w skali 1:1. Na podstawie próby jednoosiowego rozciągania próbek pobranych z modeli badawczych, dokonano identyfikacji stałych materiałowych oraz określono zależności σ - ϵ materiału stali, z której wykonano kształtowniki do budowy modeli badawczych.

Badania niszczące zostały poprzedzone wstępnymi analizami numerycznymi, których wyniki i wyciągnięte z nich wnioski pozwoliły na opracowanie projektu modelu i stanowiska badawczego. Wstępne badania niszczące, pierwszego modelu kratownicy, przeprowadzone na stanowisku badawczym nr 1 umożliwiły identyfikację błędów i wad w pierwotnym projekcie stanowiska oraz pozwoliły na ich wyeliminowanie podczas projektowania stanowiska badawczego nr 2. Właściwe badania eksperymentalne 5-ciu modeli kratownic w skali 1:1 przeprowadzono na stanowisku badawczym nr 2. Podczas badań rejestrowano wartość wprowadzanego do konstrukcji obciążenia oraz mierzono w wybranych punktach przemieszczenia i odkształcenia. Na podstawie badań niszczących uzyskano wartości obciążenia krytycznego oraz formy deformacji analizowanego węzła. Ponadto wyniki badań doświadczalnych stanowiły podstawę do wykonania walidacji modelu numerycznego.

Analizy numeryczne wykonano w programie MSC Marc wykorzystującym metodę elementów skończonych MES. Analizy przeprowadzono dla czterech różnych grubości ścianek kształtowników 1 mm; 1,5 mm; 2 mm i 4 mm. Dla każdego wariantu grubości ścianki uwzględniono trzy różne wartości mimośrodu dodatniego: $e_1=29$ mm, $e_2=103,92$ mm i $e_3=150$ mm. Dla wszystkich wariantów modeli przeprowadzono liniowo sprężystą analizę bifurkacyjną (LBA) w celu określenia obciążenia krytycznego oraz analizę geometrycznie i fizycznie nieliniową (GMNA) w celu określenia obciążenia granicznego oraz zidentyfikowania mechanizmów zniszczenia.

Na podstawie przeprowadzonych analiz określono mechanizm zniszczenia modelu kratownicy oraz zidentyfikowano warunki, przy których należy uwzględniać wpływ zginania na nośność węzła z mimośrodem dodatnim.

SUMMARY

During the last years, a very dynamic development of steel structures made of cold-formed open cross-sections has been observed. Despite the wide use of these elements in various types of steel structures, including lattice girders, and regardless of the fact that new research and standards have appeared in this field recently, many aspects concerning this type of structures have not been investigated and explained yet. The aim of this research is to establish the influence of eccentric crossing of the truss members on the load-carrying capacity of the hat-section chords in trusses. The scope of the work includes experimental research of truss sections made of cold-formed open cross-section at 1:1 scale, validation of the calculation model and carrying out a number of numerical analyses taking into account various thicknesses of the sections and different values of eccentrics.

Static steel tensile tests and destructive tests of six truss models in 1:1 scale were executed in the range of experimental research. On the basis of the uniaxial tension test of specimens taken from the research models, material properties were identified and the stress-strain relationship of the profiles material were made.

Destructive research was preceded by preliminary numerical analyses. Achieved results and conclusions allowed the development of the research model and the research station. Preliminary destructive testing of the first truss model carried out on the research station No. 1 enabled identification of faults and deficiencies in the original design of the research station and allowed them to be eliminated when the research station No. 2 was designed. The appropriate experimental studies of five truss models at 1:1 scale were carried out on research station No. 2. Values of the applied on the structure load were measured during the tests and the displacements and strains at selected points of the structure as well. Critical load values and the deformation pattern of the analyzed truss node were obtained on the basis of the destructive research. In addition, the experimental results provided the basis for validation of the numerical model.

Numerical analyses were performed in the MSC Marc program using FEM finite element method. The analyses were carried out for four different wall thicknesses of: 1 mm; 1,5 mm; 2 mm and 4 mm. For each variant of the wall thickness three different values of the positive eccentricity were taken into account: $e_1 = 29$ mm, $e_2 = 103,92$ mm and $e_3 = 150$ mm. For all model variants, a linear bifurcation analysis (LBA) was performed to determine the critical load and also a geometric and material nonlinear analysis (GMNA) to determine the ultimate load and to identify the destruction mechanisms.

On the basis of the analyses, the mechanism of destruction of the truss model was determined and also conditions that should be taken into account, under which the effect of bending on the load carrying capacity of the eccentric node were identified.