

# DOBÓR KRYTERIÓW OCENY NOŚNOŚCI WĘZŁÓW RUSZTOWAŃ BUDOWLANYCH

## Streszczenie

W ramach rozprawy doktorskiej przeanalizowano aktualny stan wiedzy na temat rusztowań budowlanych. Przegląd obejmował zarówno normy odnoszące się do rusztowań, jak również badania laboratoryjne prowadzone przez krajowe oraz zagraniczne jednostki naukowe. W normach szczegółowo zostały opisane procedury wykonywania badań całych układów rusztowań ramowych, jak również ich elementów składowych. Przedmiotem badań prowadzonych przez inne ośrodki badawcze są głównie rusztowania ramowe lub rusztowania rurowo-złączkowe. W przypadku rusztowań modułowych badania laboratoryjne oraz analizy numeryczne obejmują zagadnienia stateczności całych konstrukcji. W literaturze przedmiotu nie odnaleziono badań zachowania węzłów rusztowań pod wpływem różnych form obciążenia, odnoszących się do węzłów rusztowań, w których połączony jest uzyskiwane poprzez wbicie klina w otwór rozety.

Badania laboratoryjne rozpatrywanego węzła przeprowadzono na autorskich uchwytach, umożliwiających obciążenie węzła dowolną formą obciążenia niezależnie od producenta oraz użytego materiału, na ogólnodostępnych prasach wytrzymałościowych. Prosta budowa i minimalna liczba elementów, ulegających zniszczeniu w znacznym stopniu ograniczyła koszty badań, jak również czas ich wykonania. Węzeł poddawano obciążeniu w postaci: siły normalnej  $N_x$ , siły tnącej w płaszczyźnie poziomej  $V_y$ , siły tnącej w płaszczyźnie pionowej  $V_z$ , momentu zginającego w płaszczyźnie pionowej  $M_y$ , momentu zginającego w płaszczyźnie poziomej  $M_z$  oraz momentu skręcającego  $M_x$ . Uzyskane dane pozwoliły na określenie dopuszczalnych obciążeń węzła jak również charakteru uzyskiwanego połączenia. W przypadku zginania w płaszczyźnie poziomej oraz skręcania, połączenie należy traktować jako przegubowe, natomiast w przypadku zginania w płaszczyźnie pionowej połączenie ma charakter połączenia półsztywnego o sztywności 3374kNcm/rad. Dla rozpatrywanego systemu rusztowania nie stwierdzono wyraźnych luzów w początkowej fazie obciążania. Analizując poszczególne formy zniszczenia węzła wskazano jego newralgiczne elementy, co może stanowić dane porównawcze w analizach uszkodzeń, występujących w rzeczywistych konstrukcjach. Przeprowadzono również badania mające na celu określenie charakterystyk materiałowych poszczególnych elementów węzła. Każdy z elementów wykazał inne charakterystyki materiałowe, a w szczególności głowica rygla będąca odlewem.

Analizy numeryczne przeprowadzone w programie Abaqus dostarczyły informacji na temat wrażliwości modelu na parametry początkowe analizy związane ze zjawiskiem tarcia, jak również głębokością wbicia klina. Wskazano również wpływ niedokładności wykonania połączenia na zachowanie węzła. Połączenie uzyskiwane w rozpatrywanym systemie rusztowań nie jest typowym połączeniem występującym w konstrukcjach stalowych. Te same elementy rusztowania są wykorzystywane wielokrotnie w różnych konfiguracjach, dlatego też w ramach rozprawy przeprowadzono szereg analiz wielokrotnego obciążenia węzła. Przeanalizowano zarówno wielokrotne wbicie klina jak również wielokrotne obciążenie węzła głównymi formami obciążenia w postaci siły  $N_x$ ,  $V_z$  oraz momentu  $M_y$ . Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że wielokrotne wbicie klina w otwór rozety, przy założeniu stałej siły wbicia, nie powoduje zmiany geometrii w obrębie klina oraz rozety a tym samym nie wpływa negatywnie na jakość uzyskanego połączenia. Natomiast obciążenie węzła na poziomie 60% obciążeń dopuszczalnych zarówno w przypadku siły  $N_x$  jak i momentu  $M_y$  powoduje zmiany w geometrii rozety wpływające na jakość połączenia. Ponowne obciążenie węzła nawet w niewielkim zakresie obciążenia może powodować wysunięcie klina, a tym samym wzrost przemieszczeń na kierunku zadanego obciążenia.

Nie ma możliwości kontroli poziomu wyężenia elementów w trakcie użytkowania konstrukcji rusztowania. Dlatego też opracowano parametr w postaci granicznej głębokości wbicia klina na poziomie 5,5mm świadczącej o co najmniej jednokrotnym obciążeniu węzła do wartości granicznej. Parametr ten może zostać wykorzystany przez użytkowników jako parametr określający przydatność elementu do dalszego użytkowania.

Przeprowadzone badania oraz analizy numeryczne mają na celu zwiększenie poziomu wiedzy na temat newralgicznych elementów rusztowań budowlanych jakimi są ich węzły. Uzyskane informacje wpłyną pozytywnie na poziom bezpieczeństwa zarówno w trakcie projektowania konstrukcji jak i wielokrotnego użytkowania tych samych elementów.

## **SELECTION OF CRITERIA FOR ESTIMATION OF LOAD-BEARING CAPACITY OF SCAFFOLDING JOINTS**

### **Abstract**

As part of dissertation, the current state of knowledge on scaffolds was analyzed. The review included standards relating to scaffolds as well as laboratory tests conducted by national and foreign scientific units. The standards describe in detail the procedures for testing

façade scaffold systems and their components. The research carried out by other research centers are mainly focused on façade scaffolds or tube-coupler scaffolds. In the case of modular scaffolds the main subject of laboratory tests and numerical analysis is a stability analysis of whole structures. So far, in the professional literature there was no mention about laboratory test which would include the various load forms of scaffold node in which the connection would be obtained by driving a wedge into the rosette hole.

Laboratory tests were carried out using typical testing machine and author-invented grip handle which allows to load a node by any form of load, regardless of the manufacturer and the used material. Simple structure and minimal number of damaged elements reduced the research cost and time significantly. The node was subjected to load in the form of: normal force  $N_x$ , shearing force in the horizontal plane  $V_y$ , shearing force in the vertical plane  $V_z$ , bending moment in the vertical plane  $M_y$ , bending moment in the horizontal plane  $M_z$  and torque  $M_x$ . The obtained data allowed to determine the load-bearing capacity of the node as well as the nature of the connection. In the case of bending in the horizontal plane and torque, the joint should be treated as a hinge, while in the vertical plane the connection is a semi-rigid connection with a stiffness of 3374kNcm/rad. In the case of analyzed scaffolding node there was no looseness observed in the initial loading phase. Analyzing various forms of the node damage the critical elements were indicated, what may be used as comparative data in the analysis of damages occurring in real structures. The laboratory tests of material characteristics of individual node components was also carried out. Every node element have different material characteristics especially the ledger end because it was made by molding.

Numerical analyzes carried out in the Abaqus program provided information on the model's sensitivity to the initial parameters of the analysis related to the phenomenon of friction, as well as the depth of the wedge insertion. The influence of inaccuracy of the node execution or assembly on node behaviour was also indicated. The connection obtained in the considered scaffolding system is not a typical connection of steel structures. The same scaffolding elements are used repeatedly in various configurations, therefore a series of multiple load tests of node were carried out. Both repetitive wedge insertion as well as multiple loading of the node with the main loads in the form of normal force  $N_x$ , shearing force in the vertical plane  $V_z$  and bending moment in the vertical plane  $M_y$  were performed. Based on the analyzes it was found that multiple wedge insertion into the rosette, assuming constant insertion force, does not change the geometry of the wedge and rosette and thus does not affect negatively the quality of the obtained connection. However, node load at the level of 60% of permissible load, both in the case of  $N_x$  force and moment  $M_y$ , causes changes in

the geometry of the rosette affecting the quality of the connection. The re-loading of the node, even in a small load range, may lead to wedge slipping of the rosette, and therefore increase displacements in the direction of the load.

There is no possibility to control the level of effort in elements during use of the scaffold structure. Therefore, a parameter was developed in the form of a wedge depth of 5.5mm showing that node was loaded by the limit value at least one time. This parameter can be used by users as a parameter determining the usefulness of the element in further use.

The conducted laboratory tests and numerical analysis are aimed at increasing the level of knowledge about the critical elements of scaffolds, which are their nodes. The obtained information or may have a positive impact on the level of security both during the design of the structure and the repeated use of the same elements of scaffolding.