

STRESZCZENIE

ANALIZA WPLYWU USZKODZEŃ EKSPLOATACYJNYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI RUSZTOWAŃ NA ICH NOŚNOŚĆ

W ramach rozprawy doktorskiej przeanalizowano aktualny stan wiedzy na temat uszkodzeń eksploatacyjnych konstrukcji stalowych. Szczególną uwagę poświęcono rusztowaniom budowlanym. Dokonano opisu badań laboratoryjnych i symulacji komputerowych prowadzonych przez inne ośrodki badawcze. W literaturze przedmiotu nie odnaleziono ani badań, ani symulacji zachowania elementów konstrukcyjnych rusztowań z uszkodzeniami eksploatacyjnymi.

W przeprowadzonych w ramach pracy badaniach wykazano występowanie wielu różnych typów uszkodzeń ramowych rusztowań budowlanych. Opisane w pracy to takie, które występowały bardzo często na wielu obiektach, więc można stwierdzić, że są charakterystycznymi dla danego elementu. Dokonano klasyfikacji i zwrócono uwagę na uszkodzenia mogące mieć istotny wpływ na nośność rusztowań oraz bezpieczeństwo ich użytkowania. Dokonano zestawienia liczbowego uszkodzeń na poszczególnych obiektach, z którego wynika, że niemal 70% konstrukcji rusztowań jest wznoszona także z elementów, które stwarzają zagrożenie dla ich nośności lub bezpieczeństwa użytkowania. W ramowych rusztowaniach budowlanych, głównymi elementami nośnymi są stojaki ram. W elementach tych, podczas eksploatacji występuje największe wyęźnienie elementu powodowane obciążeniem pionowym i poziomym. W związku z tym, w pracy wykonano analizę wpływu uszkodzeń stojaków na nośność rusztowania.

Badania laboratoryjne podzielono na dwie grupy. Pierwszą grupą badań jest obciążenie wycinka stojaka o długości 40 cm, osiowa siłą ściskającą lub rozciągającą. W badaniach tych określano wpływ uszkodzenia w postaci punktowego wgięcia rury na nośność elementu. Próba rozciągania pozwoliła na stwierdzenie, że uszkodzenia o przyjętym do badań zakresie wielkości mają zaniedbywalny wpływ na nośność elementu. Natomiast podczas próby ściskania wykazano zmniejszenie nośności rury. Druga grupa badań laboratoryjnych została wykonana na całych ramach. W badaniach tych analizowano wpływ uszkodzenia w postaci łukowego wygięcia stojaka na nośność elementu. Podczas badań stwierdzono, że defekt o tej samej wielkości, zlokalizowany w płaszczyźnie ramy, powoduje znacznie mniejsze obniżenie nośności niż taki sam, w którym przemieszczenie wywołane deformacją jest prostopadłe do płaszczyzny ramy.

Wszystkie przeprowadzone w laboratorium badania znalazły swoje odwzorowanie w modelach numerycznych. Przeprowadzone analizy numeryczne na modelach wycinków stojaków ramy złożonych z elementami powłokowych wykazały, że wyniki uzyskiwane z obliczeń, w których uszkodzenia w postaci punktowego wgięcia są modelowane tylko i wyłącznie poprzez uwzględnienie geometrii uszkodzenia, nie w pełni odwzorowują zachowanie rzeczywistego elementu poddanego obciążeniu. Dlatego w pracy zaproponowane zostały metody wprowadzenia zmian grubości elementów w modelu numerycznym. Przeprowadzone symulacje numeryczne całych ram wykazały, że wgięcia stojaków są istotne dla nośności rusztowań, a przede wszystkim następuje wzrost momentów zginających i w konsekwencji wzrost naprężeń normalnych. Analizy numeryczne pełnych ram, poza odwzorowaniem badań laboratoryjnych, rozszerzono o warianty, w których badano: wpływ wielkości uszkodzenia, sposobu zamocowania stojaków ramy oraz charakterystyk geometrycznych i materiałowych stojaków. Przeprowadzone obliczenia wykazały, że połączenie pomiędzy ramami z zastosowaniem trzpieni można traktować jako połączenie sztywne.

Wykonane w pracy obliczenia całych konstrukcji rusztowań pokazują, jak duży wpływ na wielkość naprężeń normalnych mogą mieć uszkodzenia w postaci łukowego wgięcia stojaka ramy. W pracy wykazano, że w celu uzyskania wiarygodnej oceny wpływu uszkodzeń na konstrukcję rusztowania, obliczenia należy przeprowadzić z uwzględnieniem nieliniowości geometrycznej i materiałowej. W obliczeniach całej konstrukcji analizowano wpływ lokalizacji i liczebności uszkodzeń wprowadzonych do konstrukcji, normowych i rzeczywistych imperfekcji geometrycznych, normowych wariantów obciążenia oraz wysokości rusztowania na wielkość naprężeń normalnych.

Celem przeprowadzonych badań oraz analiz numerycznych jest zwiększenie poziomu wiedzy na temat wpływu uszkodzeń eksploatacyjnych na nośność głównych elementów konstrukcyjnych w rusztowaniach budowlanych. Uzyskane informacje wpłyną pozytywnie na poziom bezpieczeństwa zarówno na etapie montażu, eksploatacji, jak i projektowania konstrukcji.

SUMMARY

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF OPERATING DAMAGES OF SCAFFOLDING STRUCTURE ELEMENTS ON THE LOAD CARRYING CAPACITY

The current state of knowledge related to steel structures' operating damage was analyzed in the dissertation. Special attention was devoted to scaffoldings used in civil engineering. A description of the laboratory tests and computer simulations carried out by other researchers was presented. In the subject bibliography, neither research nor simulation of the behavior of structural elements of scaffolding with operating damage, was found.

Several different types of damage to frame scaffoldings were presented in the study. Described in the work are those that occurred very often on many objects, so you can say that they are characteristic of the element. A classification was made, and attention was paid to damage that could have a significant impact on the load carrying capacity of the scaffoldings and the safety of their use. A quantitative analysis of damage was performed on each object, which shows that almost 70% of the scaffolding structures is assembled with use of elements which pose a risk to its load carrying capacity or safety of use. Frame standards are the main supporting elements in the scaffolding structures. In the standards during operation, the highest effort of the element is caused by the vertical and horizontal loads. As a result, an analysis of the influence of the standard damage on the load capacity of scaffolding is carried out.

Laboratory studies are divided into two groups. The first test group is the load of the 40 cm standard section with axial compressive or tensile force. These studies determined the influence of a damage in the form of point inset in tube on the load carrying capacity of the element. The tension test made it possible to conclude that the damage in the accepted range of dimensions had neglectable influence the load carrying capacity of the element. However, a reduction of the load carrying capacity was observed during the compression test. A second group of laboratory tests was performed on the whole scaffolding frame. In these studies, the impact of damage in the form of an arc deflection of standard on the loading carrying capacity of the element was analyzed. During the tests it was found that a defect of the same magnitude located in the frame plane resulted in a

significantly lower load carrying capacity reduction than similar defect in which the displacement caused by deformation is perpendicular to the plane of the frame.

All tests carried out in the test lab found their representation in numerical models. The numerical analyses carried out on the sections of the frame standards modeled by the shell elements showed that the results obtained from calculations, in which the damage in the form point insets is modelled only by consideration of the local damage geometry, does not fully reflect the behavior of the real loaded element. Therefore, the methods for modification of thickness of elements in the numerical models were proposed in this work. Conducted numerical simulations of the entire frame showed that the deflections of the standards are important for the load carrying capacity of the scaffolding, and above all, they produce an increase in bending moments and consequently an increase in normal stresses. Numerical analyzes of full frames, in addition to the reflection of laboratory tests, were extended with variants in which the influence of the damage size, the way of frame standards mounting, and geometrical and material characteristics of the stands was investigated. The calculations showed that the connection between the frames with the use of mandrels can be treated as a rigid connection.

The calculations of the full scaffolding structures carried out in the work showed how much is the influence of the arch deflection of standards on the amount of normal stresses. The study showed that in order to obtain a reliable assessment of the impact of damage on the scaffolding structure, the calculation should be made considering geometric and material non-linearity. In calculations of the whole structure, the influence of location and number of damages introduced into the structure, standard and real geometrical imperfections, standard load variants and the scaffolding height, on the normal stress values were analyzed.

The purpose of the conducted research and numerical analyzes is to increase the level of knowledge on the influence of operational damage on the load carrying capacity of the main structural elements in scaffolding. The information obtained will have a positive impact on the level of security, both at the stage of assembly, operation and design of the scaffolding structures.