

SZACOWANIE TEMPERATURY KRYTYCZNEJ STALOWYCH RAM PRZECHYŁOWYCH W POŻARZE ROZWIĘTYM Z UWZGLĘDNIENIEM ZMIENIAJĄCEJ SIĘ PODATNOŚCI WĘZŁÓW

Streszczenie

Oszacowanie temperatury krytycznej w sposób jednoznaczny determinuje odporność pożarową ramy stalowej. Wyznaczenie jej wartości wymaga jednak opracowania procedur obliczeniowych uwzględniających specyfikę reakcji konstrukcji stalowej na działanie temperatury pożarowej, a zatem i odmienne od tych tradycyjnie rozpatrywanych potencjalnie możliwych do realizacji sposobów jej zniszczenia. W sytuacji pożaru, z uwagi na realizację wpływu wysokiej temperatury na właściwości stali, maleje sztywność poszczególnych składników węzła, wpływając tym samym na zmianę sztywności połączenia jako całości, co rzutuje na pracę całego ustroju nośnego. Podatność węzłów zmienia się również w rezultacie złożonej interakcji oddziaływań pomiędzy poszczególnymi składnikami węzła. Efekt ten, ze względu na trudności obliczeniowe, nie był jak dotąd uwzględniany w procedurach rekomendowanych w profesjonalnej literaturze przedmiotu. W pracy wykazano jednak, że jego pomijanie może prowadzić do znacznego przeszacowania prognozowanej odporności ustroju nośnego. Niezbędnym stało się więc opracowanie odpowiedniej procedury obliczeniowej pozwalającej na uwzględnienie rzeczywistego zachowania się węzłów w pożarze.

W rozprawie doktorskiej przedstawiono i przeanalizowano metody pozwalające na utworzenie dedykowanej dla węzła eksponowanego na temperaturę pożarową charakterystyki moment-obrót opisującej jego zachowanie pod wpływem pożaru rozwiniętego. Pierwszy z rekomendowanych modeli pozwala na specyfikację odniesionych do warunków pożaru relacji moment zginający – obrót węzła na podstawie znanej a priori relacji tego typu skojarzonej z podstawową sytuacją projektową. W pracy wykazano jednak, że tego typu procedura nie musi prowadzić do bezpiecznego oszacowania poziomu bezpieczeństwa w pożarze, zwłaszcza wtedy gdy jest prowadzona w oparciu o założenie, zgodnie z którym w warunkach pożaru nośność połączenia maleje proporcjonalnie do stopnia redukcji granicy plastyczności stali z której wykonano węzły natomiast sztywność tych węzłów – proporcjonalnie do stopnia redukcji modułu sprężystości podłużnej specyfikowanego dla tej stali. Takie uproszczenie jest niemiarodajne, nie da się bowiem pominąć wpływu jaki na zachowanie się badanych węzłów ma redukcja właściwości mechanicznych śrub zastosowanych w połączeniu.

Drugi dyskutowany w pracy model opiera się na uogólnieniu na przypadek pożaru klasycznej metody składnikowej. W rozprawie doktorskiej zaprezentowano procedury umożliwiające analizę modeli zniszczenia poszczególnych składników węzła z uwzględnieniem wpływu temperatury na ich zachowanie. Efektem przeprowadzonych analiz są zamieszczone w rozprawie i szczegółowo skomentowane przykłady obliczeniowe, w których uwzględniono nie tylko czyste zginanie elementów łączonych w węzłach ale także interakcję zginania ze ściskaniem i/lub ze ścinaniem.

W pracy opisano i skomentowano również podstawowe zasady formułowania modeli numerycznych odniesionych do sytuacji pożaru. Zaproponowano także własne modele, które pozwalają na prześledzenie redystrybucji sił wewnętrznych w ramie stalowej eksponowanej na temperaturę pożarową i które stanowią uzupełnienie omawianych wcześniej modeli analitycznych. Pozwalają przy tym na wzajemne skonfrontowanie wyników uzyskanych

przy zastosowaniu obydwu podejść a zatem na weryfikację i walidację rekomendowanych wcześniej procedur.

Zawarte w tekście rozprawy przykłady obliczeniowe ilustrują i przybliżają zaproponowane procedury. Szczególne znaczenie wydają się mieć te spośród nich, w których dokonano próby uwzględnienia zmieniającej się podatności węzłów na uzyskane oszacowanie odporności ogniowej ramy. Dotyczą one najpierw zachowania się belki stalowej o ograniczonej zdolności do wydłużenia, a następnie również do obrotu w podatnym węźle. Odrębna grupa modeli to te, które pozwalają na analizę zachowania się w pożarze ramy potraktowanej jako całość. Stanowią one podstawę do próby specyfikacji w przyszłości zasad prowadzenia na tym polu analizy typu globalnego, w miejsce powszechnie stosowanych jak dotąd rozważań o charakterze jedynie lokalnym, dla których wyniki w lepszym lub gorszym stopniu próbuje się interpretować jako te odnoszone formalnie do całego ustroju nośnego.

Przy uogólnianiu na wyjątkową sytuację obliczeniową pożaru rozwiniętego różnego typu algorytmów i procedur specyfikowanych i zweryfikowanych dla podstawowej sytuacji projektowej jest bezwzględna konieczność uwzględniania różnego typu nieliniowości. W wielu przypadkach modele tego typu kryją w sobie założenia, o których na ogół się nie pamięta, a które nie mają przełożenia na sytuację związaną z pożarem obliczeniowym. W związku z powyższym w niniejszej pracy omówiono również podstawy uwzględniania nieliniowości w obliczeniach specyfikowanych dla sytuacji pożarowej.

EVALUATION OF STEEL SWAY FRAMES CRITICAL TEMPERATURE UNDER FULLY-DEVELOPED FIRE CONDITIONS WITH JOINTS' FLEXIBILITY INCREASING IN FIRE

Summary

Evaluation of critical temperature uniquely determines the fire resistance of a steel frame. However, in order to evaluate this value one has to develop the numerical procedures taking into account the specific reactions of steel structure to fire temperature, and thus different than traditionally considered, potentially possible destruction mechanisms. In fire conditions, due to the influence of high temperature on mechanical properties of steel, the rigidity of each joint component decreases, thus affecting the rigidity of the joint as a whole and in turn influencing the response of the bearing structure. The joint flexibility changes as a result of complex interaction between particular joint components as well. This phenomenon was not accounted for in the procedures recommended so far in the professional literature, due to the computational difficulties. In this work it was shown, that disregarding the phenomenon mentioned above may lead to substantial overestimation of fire resistance of considered structure. The development of appropriate computational procedure allowing for accurate modeling of real joint behavior in fire became indispensable.

The methods allowing for the development of a moment rotation characteristic dedicated to a joint exposed to fire temperature and describing it's behavior under the fully developed fire conditions have been presented and discussed in this doctoral thesis. The first of the recommended models allows for the specification of bending moment – joint rotation characteristics for the fire scenario based on the a priori known relationship specified for the persistent design situation. However, it has been shown in this thesis, that such procedure does not have to lead to the safe estimate of fire resistance, especially if it is conducted under the

assumption, that in the fire the bearing capacity of a joint is reduced in the same ratio as the yield limit of the steel of which the joint components were made, while the joint rigidity is reduced proportionally to the reduction in the longitudinal modulus of elasticity for the same steel. Such simplification is not authoritative, as the changes in mechanical properties of the bolts applied in the connection may not be disregarded during the analysis.

The second model discussed in the thesis is based on the generalization to the case of fire of the classical component method. The procedures allowing for an analysis of failure modes of particular joint components including the thermal influence affecting their behavior are presented in this thesis. Numerical results obtained, presented here and discussed in detail are a direct result of the analyses performed by the Author. In these examples not only pure bending but also bending-compression and bending-shear interaction have been considered.

Basic rules governing the development of numerical models relating to the fire scenarios are presented and commented in the thesis as well. Additionally, own models are presented by the Author. These models allow for the observation of the internal forces in the considered frame subjected to the fire temperature, and supplement the analytical models presented above. In addition, confrontation of the results obtained with application of the two approaches is possible, and thence one may verify and validate the procedures recommended previously.

The numerical examples contained in the thesis illustrate the proposed procedures and familiarize the reader with them. The examples in which an approach is made to estimate influence of changing joint rigidity on the determined fire resistance of a frame seem to be especially important. These examples pertain to the behavior of a steel beam with constrained longitudinal deformation and later on constrained rotation in a flexible joint. Models allowing for the fire analysis of the frame structure as a whole constitute a separate group of models. These models constitute a basis for a future attempt at a global analysis in this field, in place of the commonly applied so far deliberations of a local character, the results of which for better or worse are interpreted as results valid for the whole load bearing structure.

Taking into consideration various types of nonlinearities is a must when various algorithms and procedures specified for the persistent design scenario are generalized to the case of exceptional design situation of fully developed fire. In many cases such models contain hidden assumptions, which are easily forgotten, but do not hold in the case of a computational fire. Thus in this thesis basics of introducing nonlinearities into the calculations pertaining to the exceptional design scenario have been presented as well