

Mariusz MAŚLAK¹
Małgorzata SNELA²

ALTERNATYWNE METODY IDENTYFIKACJI CHARAKTERYSTYK MOMENT – OBRÓT ODNIESIONYCH DO WARUNKÓW POŻARU

W pracy porównano dwie alternatywne techniki obliczeniowe pozwalające na wiarygodną specyfikację miarodajnych do warunków pożaru rozwiniętego charakterystyk moment – obrót. Charakterystyki tego typu są obiektywną miarą zmieniającej się wraz z rozwojem pożaru podatności stalowego węzła konstrukcji nośnej. Analizę przeprowadzono na przykładzie typowego węzła rygiel – słup. W pierwszym przypadku relacje skojarzone z zadaną temperaturą elementów budowano zgodnie ze znaną *a priori* charakterystyką odpowiadającą temperaturze pokojowej, w drugim zaś poprzez uogólnienie klasycznej metody składnikowej, aby ewentualne wpływy termiczne zostały uwzględnione w każdym potencjalnym modelu zniszczenia składników węzła. Wykazano, że porównywane metody nie są równoważne. Pierwsza z nich nie uwzględnia bowiem niezależnej redukcji wytrzymałości śrub w temperaturze pożarowej, co staje się szczególnie istotne, gdy temperatura węzła osiąga wartość większą od $\Theta = 400^{\circ}\text{C}$.

Słowa kluczowe: rama stalowa, podatność węzła, pożar rozwinięty, metoda składnikowa, charakterystyka moment – obrót

1. Wprowadzenie

Podatność węzłów stalowej konstrukcji nośnej narasta w warunkach pożaru wraz ze wzrostem temperatury składających się na nią elementów. Oznacza to, że węzły projektowane jako nominalnie sztywne po poddaniu ich ekspozycji ogniowej stają się w efekcie węzłami podatnymi. Ponadto stopień tej podatności zmienia się w czasie. Fakt ten, jakkolwiek intuicyjnie oczywisty, nie był dotychczas uwzględniany w praktyce inżynierskiej. Jest to tym dziwniejsze, że wpływ malejącej sztywności węzłów istotnie zmienia wynikowe oszacowanie nośności ustroju odniesione do założonej chwili pożaru. Ilościowe wyniki określające

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Mariusz Maślak, Politechnika Krakowska, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24, mmaslak@pk.edu.pl

² Małgorzata Snela, Politechnika Lubelska, m.snela@pollub.pl

wagę pominięcia tego typu efektu w globalnej analizie bezpieczeństwa konstrukcji prowadzonej w celach porównawczych metodami pierwszego i drugiego rzędu można znaleźć np. w pracy [2].

Miarodajna ocena odporności ogniowej konstrukcji nośnej nie będzie wiarygodna nawet z zastosowaniem odpowiednio złożonych modeli numerycznych, jeśli w rozważaniach zapomni się o zmianie charakteru pracy węzłów krępujących generowane termicznie odkształcenia. Z tego względu należy rozwijać odpowiednie algorytmy postępowania, pozwalające na efektywną analizę potencjalnego zachowania się ustroju nośnego w pożarze. W części dotyczącej opisu zmian sztywności węzłów z reguły opierają się one na uogólnieniu klasycznej metody składnikowej. Mogą się jednak różnić w szczegółach, co w rezultacie prowadzi do znacząco różnych wyników.

Celem niniejszej pracy jest porównanie dwóch podejść zalecanych do stosowania w praktyce. Pierwsze z nich opiera się na wykorzystaniu znanej *a priori* charakterystyki moment – obrót, wyznaczonej w odniesieniu do rozpatrywanego węzła przy założeniu podstawowej sytuacji projektowej. W tym przypadku poszukiwane relacje skojarzone z sytuacją pożaru przy założonych wartościach temperatury węzła są wyznaczane przez odpowiednią korektę takiej wyjściowej charakterystyki. Algorytm tego typu postępowania został szczegółowo opisany przez autorów w pracach [3] i [4], na podstawie sugestii zawartych w publikacji [7]. Drugie podejście (alternatywne względem pierwszego) opiera się na uwzględnieniu wpływu temperatury już na etapie analizy potencjalnych mechanizmów zniszczenia, skojarzonych z poszczególnymi elementami węzła, a następnie na składaniu tych mechanizmów zgodnie z kanonem klasycznej metody składnikowej. Do dalszych rozważań wybrano typowy węzeł rygiel – słup z wystającą blachą czołową.

2. Charakterystyka moment – obrót opisująca zachowanie się węzła w podstawowej sytuacji projektowej

Do utworzenia charakterystyki moment – obrót kwantyfikującej podatność węzła w podstawowej sytuacji projektowej wybrano podejście zalecane przez normę PN-EN 1993-1-8 [6]. Jeśli przyłożony w węźle obliczeniowy moment zginający M_{Ed} nie przekracza wartości $(2/3)M_{Rd}$, gdzie M_{Rd} jest obliczeniową nośnością tego węzła identyfikowaną ze względu na czyste zginanie, to przyjmuje się, że sztywność rozpatrywanego węzła jest stała i równa jego sztywności początkowej S_{ini} . Jeżeli jednak zachodzi nierówność $(2/3)M_{Rd} < M_{Ed} \leq M_{Rd}$, to sztywność węzła zmienia się nieliniowo zgodnie z regułą $S = S_{ini}/\mu$, gdzie

$$\mu = \left(\frac{1,5M_{Ed}}{M_{Rd}} \right)^{2,7}. \text{ Oznaczając przez } k_i \text{ sztywności kolejnych sprężyn modelujących}$$

oddziaływanie składników węzła i stosując klasyczne podejście metody składnikowej, uzyskuje się oszacowanie:

$$S_{ini} = \frac{Ez^2}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i}} \quad (1)$$

gdzie E jest modułem sprężystości podłużnej stali, z której wykonano elementy węzła, natomiast z ramieniem działania sił momentu M_{Ed} zginającego węzeł.

3. Charakterystyka moment – obrót odniesiona do warunków pożaru budowana na podstawie znanej *a priori* charakterystyki kojarzonej z podstawową sytuacją projektową

Założmy, że rozpatrywany węzeł został poddany ekspozycji ogniowej. Poszukuje się zatem pęku relacji moment – obrót, z których każda będzie odniesiona do określonej temperatury węzła Θ . Jeżeli stopień redukcji w temperaturze pożarowej charakterystycznej granicy plastyczności stali, z której są wykonane elementy konstrukcyjne, wyraża współczynnik $k_{y,\Theta} = f_{y,\Theta}/f_y$, natomiast stopień redukcji modułu sprężystości podłużnej tej stali współczynnik $k_{E,\Theta} = E_{\Theta}/E$ (szczegółowe wartości obu tych współczynników skojarzone z wartościami temperatury stali Θ podano w normie PN-EN 1993-1-2 [5]), to zachodzi zależność [4]:

$$S_{ini,\Theta} = \frac{k_{E,\Theta} E z^2}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i}} = k_{E,\Theta} S_{ini} \quad (2)$$

oraz [7]

$$M_{Rd,\Theta} = k_{y,\Theta} M_{Rd} \quad (3)$$

co jest bezpośrednią konsekwencją akceptacji upraszczającego założenia o identyczności stopnia redukcji siły w poszczególnych sprężynach w danej temperaturze, czyli:

$$F_{i,Rd,\Theta} = k_{y,\Theta} F_{i,Rd} \quad (4)$$

Założenie takie w praktyce nie jest spełnione ze względu na różne zachowanie się w pożarze wyspecyfikowanych w modelu elementów struktury węzła oraz śrub łączących te elementy, co postaramy się wykazać w dalszej części pracy. Formuły (2) i (3) pozwalają na wyznaczenie obrotu węzła. W szczególności przy liniowej relacji moment – obrót otrzymuje się:

$$\phi_{\theta} = \phi_{ini,\theta} = \frac{M_{Rd,\theta}}{S_{ini,\theta}} = \phi_{ini} \frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \quad (5)$$

natomiast w zakresie nieliniowym

$$\mu_{\theta} = \left(\frac{1,5M_{Ed}}{M_{Rd,\theta}} \right)^{2,7} = \frac{\mu}{(k_{y,\theta})^{2,7}} \quad (6)$$

co daje

$$S_{\theta} = \frac{S_{ini,\theta}}{\mu_{\theta}} = k_{E,\theta} (k_{y,\theta})^{2,7} \frac{S_{ini}}{\mu} \quad (7)$$

oraz

$$\phi_{\theta} = \frac{M_{Rd,\theta}}{S_{\theta}} = \phi_{ini} \frac{\mu}{k_{E,\theta} (k_{y,\theta})^{1,7}} \quad (8)$$

4. Charakterystyka moment – obrót odniesiona do warunków pożaru – podejście oparte na uogólnieniu metody składnikowej

Rozpatrzenie możliwych schematów zniszczenia odniesionych do poszczególnych składników węzła i ich uogólnienie na przypadek pożaru prowadzi do zanegowania założenia danego formułą (4). Zachodzi wprawdzie zależność:

$$M_{Rd,\theta} = \sum_i h_i F_{i,Rd,\theta} \quad (9)$$

gdzie h_i jest ramieniem działania sprężyny modelującej i -ty składnik węzła, niemniej jednak nie zawsze wartość siły $F_{i,Rd,\theta}$ maleje wraz z temperaturą proporcjonalnie do czynnika $k_{y,\theta}$. W szczególności analiza zachowania się króćca teowego odpowiadającego pracy blachy czołowej pokazuje, że znaczący wpływ na reakcję tego składnika w pożarze ma również stopień redukcji wytrzymałości śrub opisany współczynnikiem $k_{b,\theta} = (f_{ub,\theta}/f_{ub}) \neq k_{y,\theta}$ [5]. Zwróćmy uwagę, że obliczeniową nośność śruby na rozciąganie odniesioną do warunków pożaru wyznacza się z zależności:

$$F_{i,Rd,\theta} = k_{b,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}} F_{i,Rd} \quad (10)$$

przy czym $\gamma_{M2}=1,25$, natomiast $\gamma_{M,fi}=1,0$. Jeśli zatem wyznacza się nośność badanego króćca ze względu na zerwanie śrub, to przy n śrubach zachodzi:

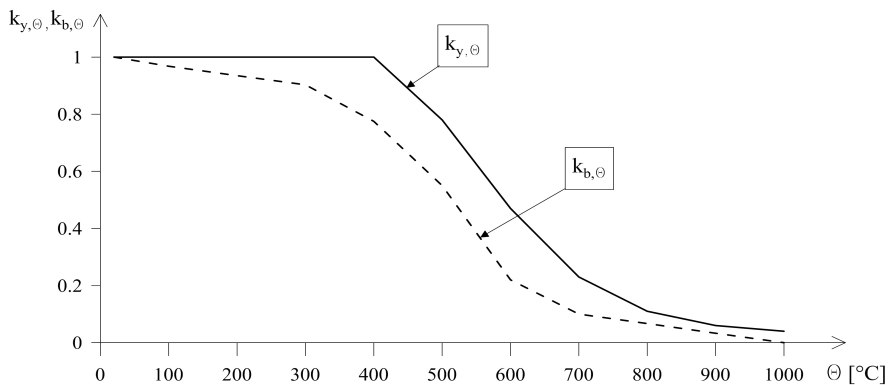
$$F_{T3,Rd,\theta} = \sum_{i=1}^n F_{t,Rd,\theta,i} = \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}} \sum_{i=1}^n k_{b,\theta,i} F_{t,Rd,i} \quad (11)$$

Łączny wpływ redukcji granicy plastyczności stali i wytrzymałości śrub skojarzonych z wpływem temperatury pożarowej uwidacznia się przy szacowaniu nośności tego samego króćca z uwzględnieniem możliwości zerwania łączników z równoczesnym uplastycznieniem pasów. Wówczas otrzymuje się:

$$F_{T,2,Rd,\theta} = \frac{2M_{pl,2,Rd,\theta} + n \cdot \sum F_{t,Rd,\theta}}{m+n} = \frac{2k_{y,\theta} M_{pl,2,Rd} + n \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}} \sum_{i=1}^n k_{b,\theta,i} F_{t,Rd,i}}{m+n} \quad (12)$$

Interpretację wielkości geometrycznych m i n podano w pracy [6].

Różnice ilościowe pomiędzy współczynnikami redukcyjnymi $k_{y,\theta}$ i $k_{b,\theta}$ odniesionymi do tych samych wartości temperatury stali pokazano na rys. 1. (na podstawie danych szczegółowych zestawionych w normie [5]). Jak widać, osłabienie śrub z narastającą w pożarze temperaturą materiału przebiega znacznie szybciej niż odpowiadające mu osłabienie elementów konstrukcyjnych tworzących węzeł.

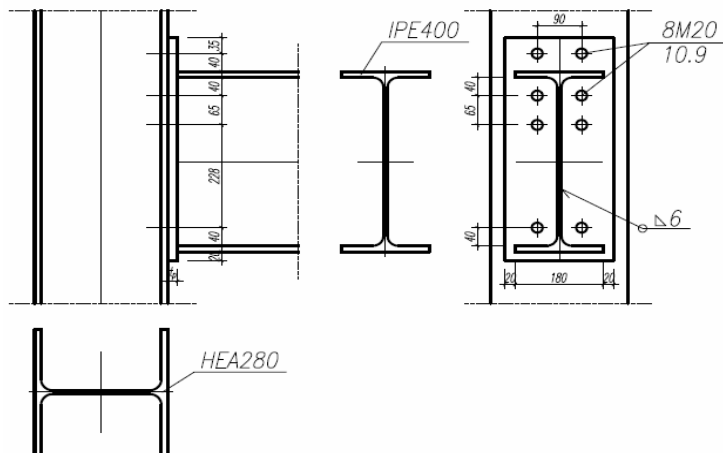


Rys. 1. Relacja pomiędzy redukcją w pożarze granicy plastyczności stali i redukcją wytrzymałości śrub na rozciąganie, na podstawie danych zestawionych w normie [5]

Fig. 1. Relation between the reduction ratio in yield limit of structural steel exposed to fire and the analogous reduction ratio in tension resistance of the heated bolts, based on data compiled by the standard [5]

5. Przykład numeryczny

Szczegółowej analizie odniesionej do sytuacji pożaru poddano węzeł pokazany na rys. 2. [1]. Jest to klasyczny podatny doczołowy węzeł typu rygiel – słup z blachą wystającą (*end-plate connection*). Przyjęto, że elementy węzła wykonano ze stali S235, dla której $f_y = 235$ MPa. Ponadto założono, że w temperaturze pokojowej $E = 210$ GPa. W rozpatrywanym węźle zastosowano śruby M20 klasy 10.9, co w podstawowej sytuacji projektowej przekłada się na wytrzymałość na zerwanie trzpienia łącznika równą $f_{ub} = 1000$ MPa oraz na granicę plastyczności materiału śruby określaną na poziomie $f_{yb} = 900$ MPa.



Rys. 2. Schemat węzła rozpatrywanego w pracy

Fig. 2. Scheme of the joint considered in the example

Rozważono trzy warianty węzła zróżnicowane ze względu na grubość blachy czołowej t_p i grubość pasa słupa t_{fc} . Zestawienie podstawowych wymiarów charakteryzujących rozpatrywane warianty zamieszczono w tab. 1.

Tabela 1. Warianty węzła rozpatrywane w pracy

Table 1. Options of the joint considered in the example

Wariant	t_p [mm]	t_{fc} [mm]	M_{Rd} [kNm]
Węzeł A	20	13	154
Węzeł B	20	13+7	154
Węzeł C	12	13	137

Jak łatwo zauważyć, węzeł A jest nietypowy z punktu widzenia praktyki inżynierskiej, pas słupa jest bowiem w tym przypadku wyraźnie cieńszy niż połączona z nim blacha czołowa. Różnicę tę skompensowano w wariantcie B do-

datkową blachą o grubości 7 mm, wzmacniającą pas słupa i wyrównującą jego grubość z grubością blachy czołowej. W wariancie C stosunkowo małej grubości pasa słupa towarzyszy również cienka blacha czołowa. Pocienienie blachy czołowej w porównaniu z tą rozpatrywaną w wariancie A skutkuje oczywiście obniżeniem obliczeniowej nośności węzła. Poza tym nośność węzła w wariancie B jest identyczna z otrzymaną w wariancie A, ponieważ o jej wartości w obu przypadkach decydują te same składniki (składnikiem miarodajnym do jej oszacowania w żadnym z tych wariantów nie jest pas słupa). Warianty A i B różni jednak wartość sztywności początkowej przypisanych do nich węzłów.

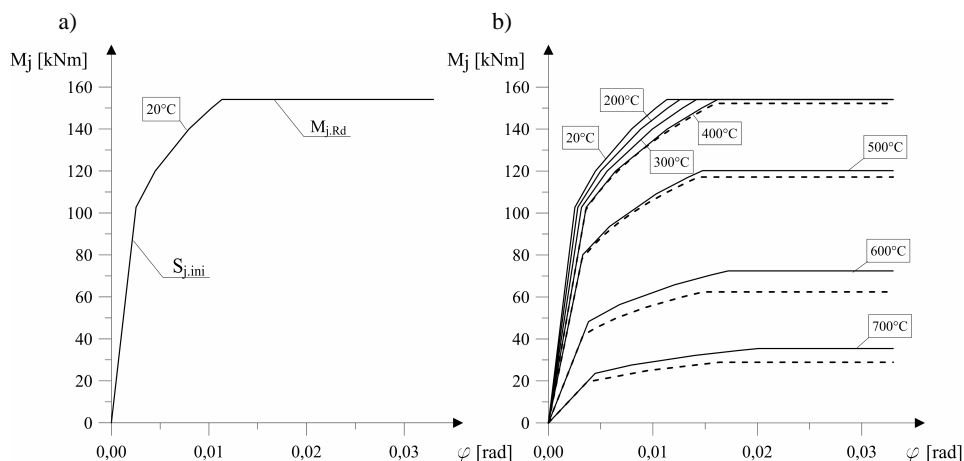
Wyniki obrazujące charakterystyki moment – obrót uzyskane dla rozpatrywanych węzłów i odniesione do sytuacji pożaru rozwiniętego zestawiono na rys. 3. i 4. Linia ciągłą zaznaczono te, które wynikają z zastosowania algorytmu prezentowanego w rozdziale 3. niniejszej pracy, natomiast linią przerywaną te, które są rezultatem uogólnienia metody składnikowej (rozdział 4.).

6. Interpretacja uzyskanych wyników

Porównanie charakterystyk moment – obrót otrzymanych po analizie węzła wyspecyfikowanego w wariancie A wskazuje na znaczne różnice ilościowe pomiędzy prognozowanymi wartościami podatności. Jak widać, oszacowane wyniki zależą od sposobu jej kwantyfikacji (rys. 3.). W tym przypadku przy stosunkowo sztywnej blasze czołowej czynnikiem decydującym o nośności węzła w pożarze staje się początkowo środek słupa, ale jedynie do momentu osiągnięcia przez stal w węźle temperatury $\theta = 400^{\circ}\text{C}$. Zwróćmy uwagę, że jest to graniczny poziom temperatury, od którego formalnie rozpoczyna się redukcja granicy plastyczności stali f_y (rys. 1.). Dopiero od tej chwili szybko postępujące z dalszym wzrostem temperatury osłabienie materiału, z którego wykonano elementy węzła, sprawia, że decydujące w ocenie nośności połączenia jest zachowanie coraz bardziej podatnej ze względu na ekspozycję ogniową blachy czołowej. Jest ona jednak – zwłaszcza w początkowej fazie pożaru – jeszcze na tyle sztywna, że jej zniszczenie w zasadniczym stopniu jest determinowane zerwaniem śrub stanowiących element myślowo wyizolowanego z węzła króćca teowego, nie zaś potencjalnym uplastycznieniem blachy czołowej. Ponieważ (jak pokazano w rozdziale 4. niniejszego opracowania) o stopniu redukcji nośności śruby w temperaturze pożarowej przy tym modelu zniszczenia decyduje współczynnik $k_{b,\theta}$, ilościowo różny od współczynnika $k_{y,\theta}$ przypisanego do materiału węzła (patrz zależność (11)), a następnie wraz z dalszym wzrostem temperatury stali wzajemna interakcja obu tych współczynników (zgodnie ze wzorem (12)), różne muszą być wynikowe oszacowania prognozowanej podatności.

Analogiczne wyniki uzyskano w analizie węzła rozpatrywanego w wariancie B. Różnice ilościowe pomiędzy relacjami otrzymanymi przy zastosowaniu każdej z opisanych wcześniej metod identyfikacji podatności były nie mniej znaczące. Wynika to z tego, że zarówno grubość blachy czołowej, jak i zrówna-

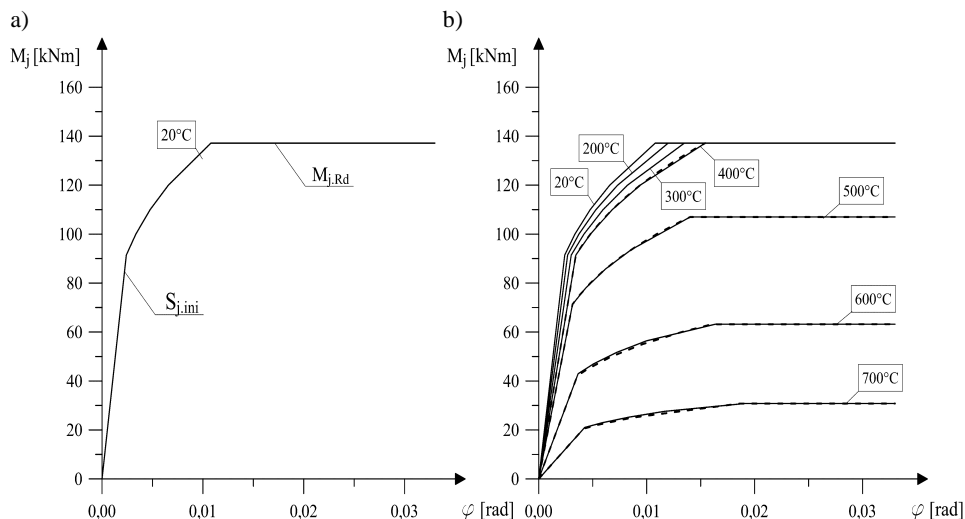
na z nią efektywna grubość pasa słupa były na tyle duże, że niejako wymuszały realizację w warunkach pożaru modelu zniszczenia króćca teowego determinowanego zerwaniem śrub. Oczywiście w porównaniu z węzłem z wariantu A inne było wynikowe nachylenie wykresu do osi poziomej, inna była bowiem wynikająca z założonej geometrii węzła jego początkowa sztywność $S_{j,ini,\theta}$.



Rys. 3. Charakterystyki moment – obrót uzyskane w odniesieniu do węzła rozpatrywanego w wariantcie A: a) charakterystyka wyjściowa opracowana przy założeniu podstawowej sytuacji projektowej, b) charakterystyki skojarzone z sytuacją pożaru; linia ciągła – charakterystyki otrzymane poprzez transformację charakterystyki opisującej zachowanie rozpatrywanego węzła w podstawowej sytuacji projektowej, linia przerywana – analogiczne charakterystyki zbudowane według uogólnionej metody składowej

Fig. 3. Moment – rotation characteristics obtained with respect to the joint analysed in option A: a) the initial characteristic specified assuming the occurrence of the persistent design situation, b) characteristics associated with a fire situation; the solid lines – characteristics obtained by the transformation of the characteristics describing the behaviour of the considered joint in persistent design situation, the broken lines – the analogous characteristics constructed by the generalized component method

Analiza prognozowanej podatności w warunkach pożaru odniesiona do węzła rozważanego w wariantcie C nie prowadzi jednak do zauważalnych różnic ilościowych. Otrzymane wyniki są identyczne, niezależnie od tego, którą z wymienionych na początku niniejszej pracy metod identyfikacji charakterystyk moment – obrót wykorzystano w praktyce (rys. 4.). Interpretacja tego typu stwierdzenia nie nastęrcza trudności. W tym przypadku zarówno grubość blachy czołowej, jak i odpowiadająca jej grubość pasa słupa były na tyle małe, że o ich zniszczeniu, niekoniecznie w warunkach pożaru, decydowało uplastycznienie pasa króćca teowego, nie zaś zerwanie nawet znacznie osłabionych przez ekspozycję ogniową trzpieni śrub.



Rys. 4. Charakterystyki moment – obrót uzyskane w odniesieniu do węzła rozpatrywanego w wariancie C: a) charakterystyka w podstawowej sytuacji projektowej, b) charakterystyki skojarzone z pożarem rozwiniętym (oznaczenia jak na rys. 3.)

Fig. 4. Moment – rotation characteristics obtained with respect to the joint analysed in option C: a) the initial characteristics relating to the persistent design situation, b) characteristics associated with a fully developed fire (the line markings are analogous to those presented in fig. 3)

7. Uwagi końcowe

Zaprezentowana analiza pozwala stwierdzić, że algorytmy obliczeniowe porównywane w niniejszej pracy nie są równoważne. Wprawdzie wpływ redukcji wytrzymałości śrub pomijany w podejściu uproszczonym, opartym na tworzeniu charakterystyk moment – obrót na podstawie znanej *a priori* analogicznej charakterystyki odniesionej do podstawowej sytuacji projektowej, dotyczy jedynie niektórych składników węzła, to jednak brak uwzględnienia tego faktu w ogólnym bilansie oddziaływań w pożarze prowadzi do istotnego niedoszacowania (zaniżenia) podatności całego węzła, co z kolei przekłada się na zbyt optymistyczną ocenę jego nośności. Różnice ilościowe zaczynają być szczególnie znaczące, gdy temperatura węzła osiąga wartość $\Theta = 400^\circ\text{C}$. Wówczas osłabienie wytrzymałości śrub staje się już wyraźne, natomiast wpływ redukcji granicy plastyczności stali węzła jest jeszcze zanedbywalnie mały (rys. 1.). Różnice te narastają z postępującym wzrostem temperatury węzła. Zdaniem autorów uzasadniona wydaje się sugestia, aby zakres stosowalności uproszczonej metody szacowania podatności węzła w pożarze, opartej na wykorzystaniu łatwiejszej w identyfikacji analogicznej relacji odniesionej do podstawowej sytuacji projektowej, ograniczyć jedynie do węzłów o takich proporcjach i geometrii, dla których można założyć, że zniszczenie króćca teowego w wysokiej temperaturze nastąpi zawsze poprzez uplastycznienie jego pasa, tj. bez udziału ewentualnej

interakcji oddziaływań warunkowanej nośnością osłabionych łączników na ich zerwanie.

Literatura

- [1] Maślak M., Snela M.: Alternatywne podejścia do budowy odniesionych do warunków pożaru charakterystyk moment – obrót na przykładzie stalowego węzła rygiel – słup. Materiały Konferencji Naukowej „Konstrukcje Metalowe – ZK 2014”, Kielce-Suchedniów, 2-4 lipca 2014 r.
- [2] Maślak M., Snela M.: Influence of increasing joint flexibility on critical temperature of steel frame in fire. Zbirknik Naukowych Prac Ukrainського Instytutu Stalowych Konstrukcij imieni W.M. Szimanowskiego. Wipusk, nr 9/2012, s. 204-217.
- [3] Maślak M., Snela M.: Relacja moment – obrót w warunkach pożaru dla stalowego węzła rygiel – słup o znanej podatności. Budownictwo i Architektura, nr 12 (2), 2013, s. 237-244.
- [4] Maślak M., Pazdanowski M., Snela M.: Moment – rotation characteristics for flexible beam-to-column joint exposed to fire. Proc. of the 13th International Scientific Conference „VSU’ 2013”, Sofia, Bulgaria, June 6-7, 2013. „L. Karavelov” Civil Engineering Higher School, V. Stoyanov, M. Hamova, D. Partov (eds.). Sofia, Bulgaria, vol. 1, s. I-26÷I-31.
- [5] PN-EN 1993-1-2 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne. Obliczanie konstrukcji na wypadek pożaru.
- [6] PN-EN 1993-1-8 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-8: Projektowanie węzłów.
- [7] Simões da Silva L., Santiago A., Vila Real P.: A component model for the behavior of steel joints at elevated temperatures. Journal of Constructional Steel Research, nr 57, 2001, pp. 1169-1195.

Małgorzata Snela jest uczestnikiem projektu „Kwalifikacje dla rynku pracy – Politechnika Lubelska przyjazna dla pracodawcy” współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

ALTERNATIVE METHODS OF IDENTIFYING THE MOMENT – ROTATION CHARACTERISTICS RELATED TO THE FIRE CONDITIONS

S u m m a r y

Two alternative calculation techniques are compared in detail in the presented article. Both of them deal with the specification of moment – rotation characteristics, related to the fully developed fire conditions. Characteristics of this type are accepted as the objective measure of steel structural joint flexibility, increasing with the fire development. The analysis made on an example is related to the typical beam-to-column joint. The first approach allows to construct the relations being suitable for the assumed joint temperature if only the appropriate characteristic is known in advance, specified for the room temperature conditions; whereas the second one, based on the generalization of the classical component methodology, is connected to the consideration of potential temperature influence on each conclusive failure mode being identified for particular

joint members specified previously. As a conclusion it is shown that the compared techniques are not equivalent because the reduction of bolts resistance under fire conditions is neglected if only the first of these algorithms is used in practice. The quantitative difference between obtained results becomes particularly significant when the joint temperature exceeds the value $\Theta = 400^{\circ}\text{C}$.

Keywords: steel frame, joint flexibility, fully developed fire, component method, moment – rotation characteristics

Przestano do redakcji: 03.06.2014 r.

Przyjęto do druku: 02.12. 2014 r.

DOI:10.7862/rb.2014.132

