



Odporność ogniowa słupów zespolonych stalowo-betonowych z rur wypełnionych betonem – dostępne metody obliczeń

Mgr inż. Wojciech Szymkuć, Politechnika Poznańska

1. Wprowadzenie

Obecnie stosowane podejście z załącznika H normy PN-EN 1994-1-2 [2], służącego do obliczania nośności ogniowej słupów zespolonych z rur wypełnionych betonem, jest krytykowane ze względu na wyniki otrzymywane po stronie niebezpiecznej [4, 9, 13]. Z tego powodu poprawka PN-EN 1994-1-2:2008/A1:2014-06 wprowadza ograniczenie smukłości względnej do wartości mniejszych niż 0,5. Procedura normowa jest ponadto czasochłonna i różni się znacząco od metod stosowanych do obliczania nośności w warunkach normalnych. Idea unifikacji, chęć poprawienia procedury oraz aktualne prace komitetów CEN nad kolejną wersją Eurokodów, prowadzą w ostatnich latach do nowych propozycji wysuwanych m.in. przez [4, 5, 7]. Proponowane metody wykorzystują parametry takie jak np. masowość przekroju i smukłość względna. Jednocześnie nie wymagają one od projektanta obliczania dokładnego pola temperatur wewnątrz przekroju, co znacząco ułatwia i przyspiesza obliczenia. W tym kontekście warto zwrócić uwagę na ogłoszenie wiosną 2015 roku przez Europejski Komitet Normalizacyjny naboru wniosków do realizacji zadania SC4.T4 *Develop new rules for composite columns (concrete filled tubes) in fire*. Wynikiem prac zespołu ma być raport z poprawioną metodą obliczania nośności omawianych słupów – konieczną ze względu na opisane wcześniej ograniczenie zakresu stosowania załącznika H normy [2].

W artykule opisane są zjawiska zachodzące wewnątrz przekroju słupa z rury wypełnionej betonem, z uwzględnieniem zarówno wzrastającej temperatury, jak i wywołanej przez nią degradację parametrów wytrzymałościowych. W głównej części zestawiono wyniki testów laboratoryjnych przeprowadzonych w ostatnich 25 latach [10–12, 14] oraz wyniki obliczeń otrzymane z wykorzystaniem wybranych metod.

Uzupełnieniem artykułu jest omówienie założeń autora przy analizach numerycznych dotyczących poruszanego tematu odporności ogniowej słupów z rur wypełnionych betonem [16, 17]. Jak wykazały doświadczenia

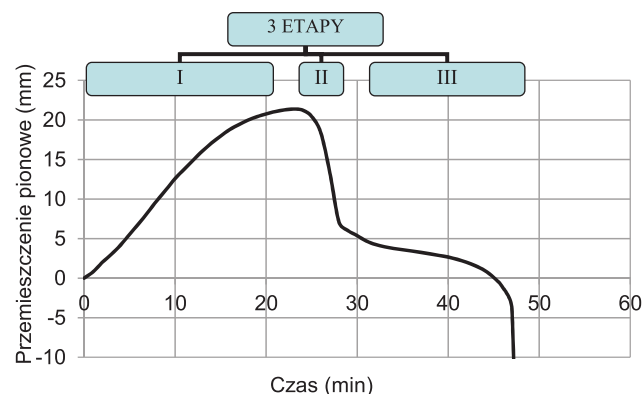
np. przy wyznaczaniu odporności ogniowej konstrukcji stalowych, analizy numeryczne mogą dać bardzo dużą zbieżność wyników uzyskanych w sposób numeryczny i eksperymentalny [15].

2. Słupy zespolone w warunkach pożarowych

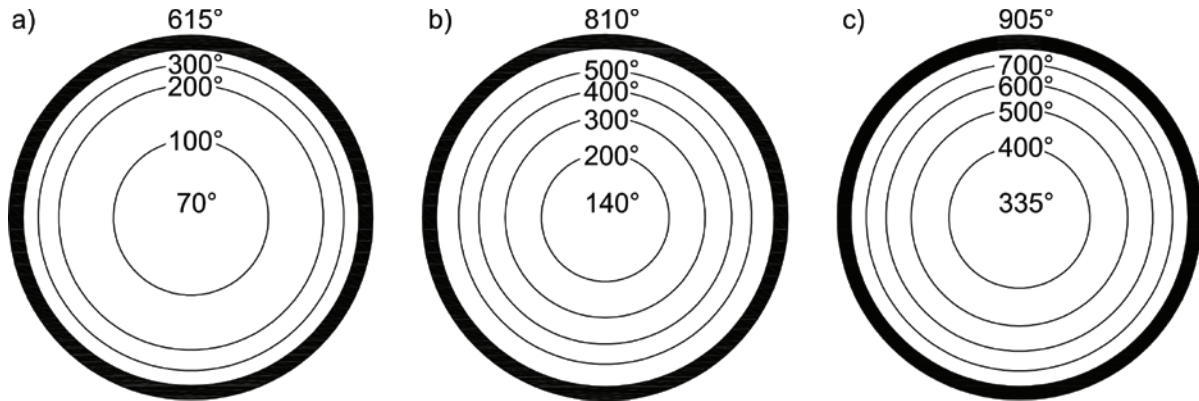
Niniejszy rozdział ma na celu opisanie zachowania słupów zespolonych z rur wypełnionych betonem w warunkach pożarowych. W czasie trwania pożaru można zaobserwować 3 etapy, które opisano poniżej (rys. 1).

- Etap I: Wydłużenie rury pod wpływem temperatury. Temperatura rury stalowej jest większa niż temperatura betonu wewnątrz przekroju (rys. 2).
- Etap II: Wyczerpanie nośności rury stalowej, wybooczenie rury.
- Etap III: Dalszy czas odporności ogniowej jest zapewniany przez betonowy rdzeń oraz ewentualne pręty zbrojeniowe lub zabetonowane kształtowniki.

W I i II etapie, w związku z wydłużeniem rury większym niż wydłużenie betonowego rdzenia, całe obciążenie jest przenoszone przez rurę stalową. Należy zwrócić uwagę na to, że gdy obciążenie w warunkach pożarowych będzie większe niż nośność rury stalowej w temperaturze



Rys. 1. Wydłużenie przykładowego słupa z rury wypełnionej betonem w czasie trwania pożaru



Rys. 2. Izotermi oraz temperatury rury i betonu w przekroju słupa o średnicy $D = 159 \text{ mm}$ i grubości ścianki $t = 6 \text{ mm}$, po: a) 20, b) 40 i c) 60 minutach działania ognia

20°C, etapy te nie będą rozróżnialne – wydłużenie rury i betonowego rdzenia będą sobie równe. Słup, którego zachowanie pokazano na rysunku 1, jest obciążony siłą 200 kN, podczas gdy nośność rury stalowej wchodzącej w jego skład, wynosi w warunkach normalnych 832 kN (zgodnie z PN-EN 1993-1-1).

3. Modele uproszczone

W rozdziale przytoczono podstawowe założenia wybranych metod obliczeniowych słupów z rur wypełnionych betonem. Metody zaczerpnięto z norm i literatury.

3.1. Eurokod 1994-1-2

Procedura obliczeniowa słupów zespolonych zawarta jest w załączniku H normy EN 1994-1-2: Prosty model obliczeniowy dla profili zamkniętych wypełnionych betonem narażonych na działanie ognia po obwodzie słupa zgodnie ze standardową krzywą temperatura-czas. Do jej zastosowania konieczne jest określenie pola temperatury wewnątrz przekroju słupa (rys. 2). Przy obliczaniu rozkładu temperatury można pominąć opór cieplny na granicy między rurą stalową a betonowym rdzeniem, co za tym idzie ciepło szybciej przechodzi między stalą a betonem. W związku z tym obliczona temperatura rury jest niższa niż w rzeczywistości, a temperatura betonu – wyższa. Przy dokładnym rozwiązaniu, takie uproszczenie obniża uzyskiwane czasy odporności ogniowej średnio o kilka procent [16], jest natomiast łatwiejsze w implementacji. Po obliczeniu temperatur ustala się maksymalne obciążenie osiowe, przy czym stosuje się tutaj podejście krokowe. Przekrój dzieli się na szereg równoległych warstw, dla każdej z nich ustala się pole powierzchni, moment bezwładności oraz średnią temperaturę. Następnie w zależności od temperatury określa się parametry wytrzymałościowe betonu i stali. Nośność elementu w warunkach pożarowych jest określona zależnością:

$$N_{fi, Rd} = N_{fi, cr} = N_{fi, pl, Rd} \quad (1)$$

przy czym:

$$N_{fi, cr} = \pi^2 \cdot (E_{i, \theta, \sigma} \cdot I_i) / (l_\theta)^2 = \pi^2 \cdot (E_{a, \theta, \sigma} \cdot I_a + E_{c, \theta, \sigma} \cdot I_c + E_{s, \theta, \sigma} \cdot I_s) / (l_\theta)^2 \quad (2)$$

$$N_{fi, pl, Rd} = A_i \cdot \sigma_{i, \theta} = A_a \cdot \sigma_{a, \theta} + A_c \cdot \sigma_{c, \theta} + A_s \cdot \sigma_{s, \theta} \quad (3)$$

gdzie

i – materiał i (a – stal konstrukcyjna (rura), c – beton, s – stal zbrojeniowa),

$N_{fi, cr}$ – siła krytyczna (suma poszczególnych materiałów i warstw betonu o różnych temperaturach),

$N_{fi, pl, Rd}$ – wytrzymałość przekroju (suma poszczególnych materiałów i warstw betonu o różnych temperaturach),

l_θ – długość wyboczeniowa słupa w sytuacji pożarowej,

$\sigma_{i, \theta}$ – naprężenie w materiale i , w temperaturze θ .

Nośnością słupa po określonym czasie będzie wartość $N_{fi, pl, Rd}$, gdy dla pewnego odkształcenia ε i powiązanych z nim $E_{i, \theta}$ oraz $\sigma_{i, \theta}$, znajdzie równość $N_{fi, cr} = N_{fi, pl, Rd}$. Wraz ze wzrostem odkształceń ε , wartość $N_{fi, cr}$ będzie maleć przez redukcję siecznego modułu Younga $E_{i, \theta, \sigma}$ (zależności naprężenie-odkształcenie stali i betonu w podwyższonych temperaturach są w dużej mierze nieliniowe [2]). Z kolei $N_{fi, pl, Rd}$ będzie wzrastać, gdyż zwiększanie ε w kolejnych krokach wiąże się z większymi naprężeniami $\sigma_{i, \theta}$. Metoda pozwala na wyznaczenie nośności elementu po dowolnym czasie, tak długo, jak dysponujemy odpowiadającym polu temperatury. Przyjmuje się idealną współpracę między stalą a betonem, co sprowadza się do założenia równości odkształceń poszczególnych materiałów:

$$\varepsilon = \varepsilon_a = \varepsilon_c = \varepsilon_s \quad (4)$$

gdzie ε to odkształcenie osiowe słupa, natomiast ε_a , ε_c oraz ε_s oznaczają odpowiednio odkształcenia stali konstrukcyjnej, betonu i zbrojenia. Jest to uproszczenie niezgodne z pracą takiego słupa w warunkach pożarowych,



którą schematycznie przedstawia rysunek 1. Jak zaznaczono we wstępie, niepoprawność metody z normy [2] jest powodem niniejszego studium. Wyniki szczegółowych analiz można znaleźć w pracach [4, 9, 13]. Wśród krajów, które zdecydowały się w swoich załącznikach krajowych już wcześniej odrzucić możliwość stosowania załącznika H, są m.in. Finlandia, Francja i Wielka Brytania, każdorazowo sugerując przy tym zmodyfikowaną procedurę obliczeń, odpowiednio w [3, 4, 18].

3.2. Fiński załącznik krajowy do Eurokodu 1994–1–2

Fiński załącznik krajowy wprowadza prostą modyfikację, polegającą na wyznaczeniu wytrzymałości przekroju $N_{fi, pl, Rd}$ oraz efektywnej sztywności $(EI)_{fi, eff}$. W dalszej kolejności wyznacza się odpowiadające im wartości siły krytycznej, smukłości względnej i współczynnika wybożenia χ , jak dla krzywej wybożeniowej c . Norma podaje także prosty wzór, służący uwzględnieniu wpływu mimośrodowego obciążenia, w którym redukuje się otrzymaną dla obciążenia osiowego nośność w warunkach ogniowych $N_{fi, Rd}$.

Norma pozostawia projektantów z nieokreślonymi współczynnikami zmniejszającymi sztywność poszczególnych składowych elementu, przy czym podaje, że powinny one być kalibrowane tak, aby wynik odpowiadał wartościom uzyskanym z testów. Jest to metoda zbliżona do procedur znanych z Eurokodów, jednakże zawiera ona wyłącznie pewne wytyczne co do sposobu postępowania, bez określenia istotnych szczegółów. Bez czasochłonnego studium, prowadzi to do jej częściowej nieużyteczności. Mimo to, została ona przytoczona, ponieważ te same założenia są wykorzystywane w innych zaproponowanych metodach, opisanych w kolejnych podrozdziałach [4, 18]. Fiński załącznik krajowy [3] określa wprost, że zakres stosowania metody ograniczony jest do słupów będących elementami konstrukcji usztywnionych, w odróżnieniu od innych metod. Ograniczenie to jest to oczywiste w momencie, gdy przyjrzeć się słupom badanym dotychczas w laboratoriach – żaden z nich nie miał możliwości poziomego przesuwu węzłów.

3.3. Espinos et al. [7–9]

W latach 2010–11 na Universitat Politècnica de València (UPV) przeprowadzono największe od początku lat 90 badania nad zachowaniem słupów zespolonych stalowo-betonowych z rur wypełnionych betonem. Przetestowano w sumie 40 słupów o identycznej geometrii i warunkach zamocowania, z których 16 było obciążonych osiowo, 24 mimośrodowo. Różniły się klasą betonu (C30/37 lub C90/105), obecnością lub brakiem zbrojenia i włókien polipropylenowych oraz poziomem obciążenia. Rezultatem tych szeroko zakrojonych badań było m.in. zaproponowanie procedury obliczeniowej służącej obliczaniu słupów zespolonych obciążonych osiowo.

Algorytm obliczeń jest zasadniczo zbliżony do Eurokodu,

tj. wykorzystuje się znane z wymiarowania w warunkach normalnych wartości takie jak smukłość względna $\bar{\lambda}$, parametr krzywej niestateczności φ , czy współczynnik wybożenia χ . Jednocześnie nie ma konieczności określania pól temperatur wewnątrz przekroju. Koncepcją wykorzystywaną także w innych uproszczonych metodach jest określenie temperatury odpowiednio rury stalowej oraz równoważnej temperatury betonu. Podobne podejście proponuje Bergmann w swoim doktoracie [5]. Analogiczna metoda została zaproponowana przez tych samych autorów dla słupów ze zbrojeniem oraz słupów o przekroju eliptycznym [8, 9].

3.4. Bergmann [5, 6]

Zaproponowana metoda wyróżnia się tym, że poza okrągłymi słupami zespolonymi z rur wypełnionych betonem ze zbrojeniem lub bez niego, pozwala na określenie nośności słupów z rdzeniem z kształtowników stalowych. Nie wymaga ona określania pola temperatur wewnątrz przekroju, co wiąże się z uproszczeniem obliczeń, przy jednoczesnym ograniczeniu do analizy oddziaływania ognia według krzywej standardowej temperatura-czas. Stosunkowo istotnym ograniczeniem w polskich warunkach, jest zakres stosowania możliwy dla klas odporności ogniowej R30, R60, R90. Ma to swoje źródło w wymaganych przez niemieckie przepisy odpornościach ogniowych. Metoda bazuje na właściwościach materiałowych z Eurokodu, przy czym dla poszczególnych klas odporności podaje dodatkowe współczynniki, służące określeniu średniej temperatury lub wytrzymałości danego materiału. Jej dokładny opis można znaleźć w opublikowanym doktoracie [5] lub w artykule [6] w skróconej wersji.

3.5. Wang, FIRESOFT [18]

W 2014 roku opublikowano raport [18], który nakreśla podstawy metody zaproponowanej przez Wang. Rozwiązanie bazuje na obliczonych temperaturach wewnątrz przekroju, przy czym jest ono udostępniane za darmo pod postacią oprogramowania FIRESOFT. Na szczególną uwagę zasługuje możliwość określenia zarówno nośności słupów w warunkach pożarowych po 30, 60, 90 i 120 minutach, ale także określenie czasu odporności ogniowej przy zadanym obciążeniu. Program można wykorzystać do ustalenia pola temperatur wewnątrz przekroju, co może być użyteczne przy innych metodach.

3.6. Inni autorzy

Należy zaznaczyć, że przytoczone wcześniej procedury nie są jedynymi dostępnymi w literaturze. Na szczególną uwagę zasługują tutaj zaproponowane przez Kodura [11] pod postacią prostego równania, Hana [10], które bazuje na określeniu stosunku obciążenia w warunkach pożarowych do nośności w warunkach normalnych (na podstawie chińskich wytycznych), czy też zaproponowane w Japonii przez ANUHT [1]. Opis tych


Tabela 1. Zakres stosowania wybranych metod obliczenia omawianych słupów

	FRT (min)	D_{max} (mm)	Mimośród	Max l_{θ} (m) lub smukłość	Zbrojenie	HSC
Eurokod [2]	≤ 120	400	tak	4,5 m	tak	nie
Finlandia [3]	b/d	b/d	tak	b/d	tak	b/d
Espinos [7]	30, 60, 90, 120	508	nie	10 m	tak	nie
Bergmann [5]	30, 60, 90	580	nie	b/d	tak	nie
Wang [18]	≤ 120	508	tak	$\bar{\lambda} \leq 2,0$	tak	nie
Han [10]	≤ 180	2000	tak	$\lambda = 15-80$	nie	nie
Kodur [11]	≤ 120 (180)*	410	nie	4,0 (4,5)* m	tak	nie
ANUHT [1]	b/d	b/d	nie	b/d	nie	b/d
Aribert [4]	30, 60, 90, 120	610	tak	30-d	tak	nie

FRT – czas odporności ogniowej (fire resistance time)

* wartość w nawiasie dotyczy słupów ze zbrojeniem

l_{θ} – długość wyboczeniowa w warunkach pożarowych

HSC – beton wysokiej wytrzymałości

b/d – brak danych

D – średnica zewnętrzna rury

$\bar{\lambda}$ – smukłość względna według Eurokodu 4

$\lambda = 4L/D$

FRT $\leq n$ oznacza, że metoda pozwala na obliczenie czasu odporności ogniowej dla dowolnego obciążenia, a nie nośności dla wybranej klasy (jak np. R30).

Tabela 2. Zestawienie danych analitycznych wybranych słupów

	d (mm)	t (mm)	l (mm)	BC	obciążenie (kN)	f_c (MPa)	FRT _{test} (min)
Lie et al. [12], $f_y = 350$ MPa:							
C04	141,3	6,55	3772	F-F	131	31	57
C06	168,3	4,78	3772	P-P	150	33	60
C09	168,3	6,35	3772	F-F	150	35	81
C11	219,1	4,78	3760	F-F	492	31	80
C15	219,1	8,18	3760	P-P	525	32	73
C20	273,1	5,56	3760	F-F	574	29	112
C22	273,1	5,56	3760	F-F	1000	27	70
C26	323,9	6,35	3734	F-F	1050	24	93
C30	406,4	12,70	3734	F-F	1900	28	71
Romero et al. [14], $f_y = 338$ MPa:							
03	159,0	6,00	3180	F-P	396	29	25
04	159,0	6,00	3180	F-P	198	36	42
05	159,0	6,00	3180	F-P	594	34	14

BC (warunki zamocowania): P – podpora przegubowa, F – utwierdzenie

metod można znaleźć w oryginalnych publikacjach lub raporcie [9]. Metoda zaprezentowana w pracy [4] bazuje na podziale betonowego rdzenia (minimum 5 warstw), ustaleniu ich średnich temperatur oraz wyznaczeniu zredukowanych parametrów wytrzymałościowych materiałów i nośności elementu. Zakres stosowania opisywanych metod umieszczono w tabeli 1.

4. Porównanie wyników obliczeń

Dane analityczne zestawiono w tabeli 2. Wyniki obliczeń według wybranych metod zestawiono w tabeli 3. Należy pamiętać, że wynikiem testów ogniowych jest czas odporności ogniowej elementu pod zadaniem obciążeniem,

np. słup C04: 57 minut przy obciążeniu 131 kN. W metodach, które nie pozwalają na obliczenie czasu odporności ogniowej (FRT), ale umożliwiają obliczenie nośności dla konkretnych standardowych odporności ogniowych (R30, R60, R90, R120), podany w kolumnie trzeciej czas został zaokrąglony do najbliższej standardowej wartości, $FRT_{zaokr} \in \{30, 60, 90\}$. Następnie, dla zaokrąglonego czasu odporności ogniowej wyznaczono nośność w kN. Nie jest to rozwiązanie dokładne, ale pozwala na zestawienie większej liczby wyników. Zdecydowano się na nie, gdyż w praktyce projektowej najistotniejsze jest spełnienie warunku odporności ogniowej dla określonego czasu wymaganego przez warunki techniczne jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.



Tabela 3. Zestawienie wyników obliczeń nośności lub czasu odporności ogniowej według wybranych metod oraz własnych analiz [16]

	Obciążenie (kN)	FRT _{test} (min)	FRT _{zakr} (min)	Espinos (kN)	Bergmann (kN)	ANUHT (kN)	Kodur (min)	Wang (min)	[16] (min)
C04	131	57	60	67	118	196	72	-	48
C06	150	60	60	34	159	305	34	25	79
C09	150	81	90	79	128	283	112	28	74
C11	492	80	90	221	350	487	111	23	68
C15	525	73	60	143	282	471	35	26	66
C20	574	112	120	436	R90: 658	688	172	29	125
C22	1000	70	60	867	667	735	125	24	59
C26	1050	93	90	968	829	926	177	31	105
C30	1900	71	60	2843	1928	1575	254	52	75
03	396	25	30	180	280	294	38	-	18
04	198	42	30	201	317	293	62	-	39
05	594	14	30	195	307	356	35	-	13

Zdecydowana większość z zaproponowanych metod powstała z użyciem analizy dostępnych wyników laboratoryjnych i polegała na określeniu zależności empirycznych, podobnie jak w przypadku metody A z Eurokodu 2, dotyczącej słupów żelbetowych. W niektórych przypadkach podjęto się też analizy opartej na modelach numerycznych.

5. Modele numeryczne

Określanie czasu odporności pożarowej z użyciem rozwiązań numerycznych przebiega zazwyczaj przy założeniu, że zmiany przedstawione na rysunku 1 nie wpływają na temperatury. Dzięki temu jednostronnemu sprzężeniu w pierwszej kolejności wykonuje się analizy termiczne, celem określenia temperatur wewnątrz przekroju. Następnie temperatury przekazywane są do modelu mechanicznego, w którym w poszczególnych krokach czasowych wyznacza się odkształcenia i naprężenia w elemencie, przy stałym obciążeniu i zmiennej w czasie temperaturze. Istotne jest uwzględnienie zmiennych w czasie parametrów materiałowych, związanych z właściwościami termicznymi i wytrzymałością. Dokładne studium, oparte na zestawieniu wyników laboratoryjnych z wynikami analiz numerycznych umieszczono w pracy [16], gdzie uwzględniono 41 testów z ostatnich 25 lat na słupach m.in. o zróżnicowanej geometrii, poziomie i typie obciążenia. Dodatkowe analizy, oparte na modelu zaprezentowanym w [16], ale wychodzące poza zakres testów laboratoryjnych, przedstawione są w pracy [17]. Poddano tam analizie m.in. wpływ grubości ścianek rury stalowej, wytrzymałości betonu na ściskanie oraz granicy plastyczności stali konstrukcyjnej na odporność ogniową.

6. Podsumowanie

W artykule przytoczono dostępne w literaturze i normach metody obliczenia nośności ogniowej słupów zespolonych z rur okrągłych wypełnionych betonem. W ostatnim dwudziestopięcioletniu zrealizowano kilka programów badawczych, mających na celu określenie czasu odporności ogniowej tego typu elementów, z których część przywołano w niniejszym artykule. Przedstawione rezultaty obliczeń pokazują, że należy do nich podchodzić z rezerwą, a najlepiej przeprowadzić analizy mające na celu walidację przedstawionych algorytmów, porównując wyniki obliczeń z danymi z testów laboratoryjnych. Przedstawione wyniki pokazują większą bądź mniejszą wrażliwość metod na niektóre z parametrów, przede wszystkim smukłość elementu, ale także warunki zamocowania. Jednocześnie należy zaznaczyć, że model opisany w Eurokodzie 4, po pierwsze trudny w stosowaniu, po drugie daje niepoprawne wyniki dla słupów o smukłości względnej większej niż 0,5. Z tego powodu poprawka PN-EN 1994-1-2:2008/A1:2014-06 wprowadza ograniczenie smukłości względnej do wartości mniejszych niż 0,5. W niektórych przypadkach konieczne może być zastosowanie metod numerycznych.

PODZIĘKOWANIA

Publikacja powstała w ramach realizacji projektu „Inżynier Przyszłości. Wzmocnienie potencjału dydaktycznego Politechniki Poznańskiej”, nr POKL.04.03.00-00-259/12, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

BIBLIOGRAFIA

[1] Association of New Urban Housing Technology (ANUHT). Fire resistance design of non-insulated CFT columns – Guidelines, technical explanations and design examples (in Japanese), 2004



[2] EN 1994-1-2: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design, Comité Européen de Normalisation, Brussels, 2005

[3] SFS-EN 1994-1-2/NA: National annex to standard SFS-EN 1994-1-2 Eurocode 4: design of composite steel and concrete structures. Part 1-2: General rules. Structural fire design

[4] Aribert, J.M., Renaud, C., Zhao, B.: Simplified fire design for composite hollow section columns, Structures and Buildings, tom 161, 2008

[5] Bergmann, M., Zur Bemessung von Hohlprofilverbundstützen im Brandfall, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Bergische Universität Wuppertal, PhD Dissertation, 2013

[6] Bergmann, M., Hanswille, G., Näherungsverfahren für die Brandbemessung von Hohlprofil-verbundstützen, Stahlbau, tom 81 (11), str. 833-839, 2012

[7] Espinós, A., Romero, L.M., Hospitaler, A., Simple calculation model for evaluating the fire resistance of unreinforced concrete filled tubular columns, Engineering Structures, tom 42, str. 231-234, 2008

[8] Espinós, A., Romero, M.L., Hospitaler, A., Fire design method for bar-reinforced circular and elliptical concrete filled tubular columns, Engineering Structures, tom 56, str. 384-395

[9] Espinós, A., Romero, M.L., Hospitaler, A., Research report: Development of a simple calculation model for evaluating the fire resistance of concrete filled tubular columns, Universitat Politècnica de Valencia, 2013

[10] Han, L.H., Zhao, X.L., Yang, Y.F., Feng, J.B., Experimental study and calculation of fire resistance of concrete-filled hollow steel columns, Journal of Structural Engineering, tom. 129 (3), str. 346-356, 2003

[11] Kodur, V.K.R., Performance-based fire resistance design of concrete-filled steel columns. Journal of Constructional Steel Research, tom 51 (1), str. 21-36, 1999

[12] Lie, T.T., Chabot, M., Experimental Studies on the Fire Resistance of Hollow Steel Columns Filled with Plain Concrete. Internal report nr 611, Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, Ottawa, 1992

[13] Renaud, C., Joyeux, D., Kruppa, J., Improvement and extension of the simple calculation method for fire resistance of unprotected concrete filled hollow columns. CIDECT research project 15Q-12/03, CTICM, France, 2004

[14] Romero, M., Moliner, V., Espinós, A., Ibañez, C., Hospitaler, A., Fire behavior of axially loaded slender high strength concrete-filled tubular columns, Journal of Constructional Steel Research, tom 67, str. 1953-65, 2011

[15] Sulik, P., Turkowski, P., Łukomski, M., Porównanie metod oceny odporności ogniowej konstrukcji stalowych, Materiały Budowlane, 11/2015, str. 62-64, 2015

[16] Szymkuć, W., Glema, A., Malendowski, M., Fire performance of steel tubular columns filled with normal strength concrete, Response of Structures Under Extreme Loading. Proceedings of the Fifth International Workshop on Performance, Protection & Strengthening of Structures Under Extreme Loading (PROTECT 2015), Michigan State University, czerwiec 28-30, 2015, East Lansing, USA

[17] Szymkuć, W., Glema, A., Malendowski, M., Wpływ wybranych parametrów na zachowanie i czas odporności ogniowej słupów zespolonych z rur okrągłych wypełnionych betonem, Monografia konferencji IKAR 2015: Innowacyjność, kreatywność i rozwój: budownictwo a środowisko, Wydawnictwo Zarządu Oddziału PZITB w Poznaniu, str. 77-91

[18] Wang, Y.C., Design Guide for Concrete Filled Hot Finished Structural Hollow Section (SHS) Columns, 2014

ZAMÓWIENIE PRENUMERATY Przeglądu Budowlanego na rok 2017

Wybieram: (proszę zakreślić)	ZWYKŁA	ULGOWA (dla indywidualnych członków PZITB, PIIB i studentów)
ROCZNA	<input type="checkbox"/> 252,00 zł*	<input type="checkbox"/> 126,00 zł*
ELEKTRONICZNA	<input type="checkbox"/> 75,00 zł*	

Zamówienia można składać **osobiście** lub **pocztą** – ul. Świętokrzyska 14 A, 00-050 Warszawa, **telefonicznie** 22 826-67-00 lub **e-mailem** reklama@przegladbudowlany.pl *

Ceny brutto (zawierają 5% VAT)

1. Imię i nazwisko/nazwa firmy

2. Nr telefonu kontaktowego

3. NIP (firmy)

4. Adres wysyłkowy

5. Okres prenumeraty

6. Oplata w kwocie (zł)

została przekazana w dniu

Prenumeratory otrzymają zamówione egzemplarze po dokonaniu wpłaty na konto:

PZITB ZARZĄD GŁÓWNY WYDAWNICTWO „PRZEGLĄD BUDOWLANY”
ul. Świętokrzyska 14 A, 00-050 Warszawa
Bank Millennium SA
90 1160 2202 0000 0000 5515 6488

Upoważniamy Państwa do wystawienia faktury VAT bez podpisu odbiorcy.

Podpis

Członkowie PZITB i PIIB prenumeratę na rok 2017 mogą zamówić bezpłatnie przez Okręgowe Izby Inżynierów Budownictwa.