

DIAGNOSTYKA PRZECIWPÓŻAROWA BUDYNKÓW

dr inż. Paweł Sulik
Instytut Techniki Budowlanej

Artykuł przedstawia podstawowe informacje pozwalające na ocenę wybranych elementów konstrukcyjnych i ogólnobudowlanych w zakresie bezpieczeństwa pożarowego budynku. Szczególną uwagę poświęcono materiałom konstrukcyjnym, tj. stali, betonowi, elementom murowym i zespolonym, powszechnie stosowanym we współczesnym budownictwie.

○ cena w zakresie bezpieczeństwa pożarowego budynków nie jest zagadnieniem jednowymiarowym czy banalnym. Dotyczy ona wielu aspektów, które wynikają z drugiego wymagania podstawowego [1], które narzuca, by obiekty budowlane w przypadku zagrożenia pożarem zachowały nośność przez określony w przepisach czas [2], ograniczały rozprzestrzenianie się dymu i ognia w obiekcie, uniemożliwiały jego rozprzestrzenianie na sąsiednie budynki, pozwalały na ewakuację osób zagrożonych oraz prowadzenie akcji ratowniczej. Nieprzypadkowo jako pierwsza wymieniona jest nośność, co nierozdzielnie wiąże się ze spełnieniem kryteriów odporności ogniowej. Niespełnienie kryterium nośności oznaczałoby zawalenie się fragmentu lub całego obiektu, utrudniłoby lub uniemożliwiło ewakuację i rozprzestrzeniło ogień.

Problemy z diagnozowaniem czy oceną elementów budowlanych w kontekście spełnienia wymagań pożarowych polegają na tym, że zazwyczaj podczas normalnego użytkowania budynków nie jesteśmy w stanie ocenić, czy dany element ma deklarowane cechy ogniowe czy nie. Bardzo trudno określić, jaką odporność ogniową mają np. drzwi przeciwpożarowe [3] bez ich zbadania (spalenia), (rys. 1). Podobnie jest z wielkością złożonych układów, tj. ze świetlikami, z bramami, elementami warstwowymi, kablami itp. Jedynie w niektórych przypadkach jesteśmy

w stanie powiedzieć o materiale, że jest niepalny, np. na podstawie wykazu zawartego w decyzjach Komisji Europejskiej publikowanych w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej [4]. Podobnie jest z odpornością ogniową, którą w wybranych sytuacjach, dzięki Eurokodom, jesteśmy w stanie szacować obliczeniowo, np. w przypadku prostych elementów drewnianych [5], betonowych [6] czy stalowych [7], i to nie zawsze, jak pokazują doświadczenia badawcze.

Z uwagi na specyfikę cech ogniowych, które możemy podzielić na trzy podstawowe grupy: reakcję na ogień, rozprzestrzenianie ognia, odporność ogniową, precyzyjne ich sprawdzenie na obiekcie ma po pierwsze zawsze charakter niszczący (trzeba wybrany element lub jego fragment spalić), po drugie jest możliwe do zgrubnego oszacowania (zazwyczaj bez określenia klasy, wyjątek stanowią niektóre elementy konstrukcyjne, np. betonowe) lub bez doświadczenia badawczego – niemożliwe do oszacowania. Nieprzypadkowo też dla wyrobów z cechą ognioodporności, bardzo często zaliczanych do pierwszego systemu oceny stałości właściwości użytkowych, wymagana jest obowiązkowa certyfikacja, co wskazuje na dużą odpowiedzialność, jaką się przypisuje tego typu wyrobom.

Wziąwszy pod uwagę tak dużą różnorodność materiałów i elementów budowlanych, w referacie ograniczono się do zaprezentowania kilku charakterystycznych części oceny bezpieczeństwa pożarowego elementów budowlanych, z pominięciem czynnych zabezpieczeń przeciwpożarowych (czujki, tryskacze, DSO itp.).

Elementy konstrukcyjne

Diagnostykę przeciwpożarową budynków stosunkowo najłatwiej przeprowadzić dla podstawowych elementów konstrukcyjnych. Wśród podstawowych materiałów konstrukcyjnych – takich jak: beton, stal, ceramika, silikaty, drewno – tylko drewno jest materiałem palnym i zazwyczaj w badaniach reakcji na ogień uzyskuje klasę D. Po odpowiednim zaimpregnowaniu środkami uniepalniającymi możliwe jest uzyskanie klasy B. Pozostałe wymienione materiały są materiałami niepalnymi, klasy A1, przy czym, jeżeli w betonie występuje więcej niż 1% części organicznych, to trzeba to potwierdzić badaniami. Intuicyjnie słowo „niepalny” odczytujemy jako „bezpieczny pożarowo”, co niestety nie jest prawdą. Jakkolwiek takie materiały nie będą stanowiły paliwa dla ognia, czyli nie będą go podtrzymywały, to wykonane z nich elementy wcale nie muszą zachować się bezpiecznie w ogniu. Dotyczy to w szczególności stali, a w jeszcze większym stopniu stopów aluminium, które w temperaturze ok. 700°C się topią. Stal co prawda w typowym pożarze (rys. 2) się nie stopi, jednakże bardzo szybko ulegną redukcji jej wytrzymałość i moduł sprężysto-



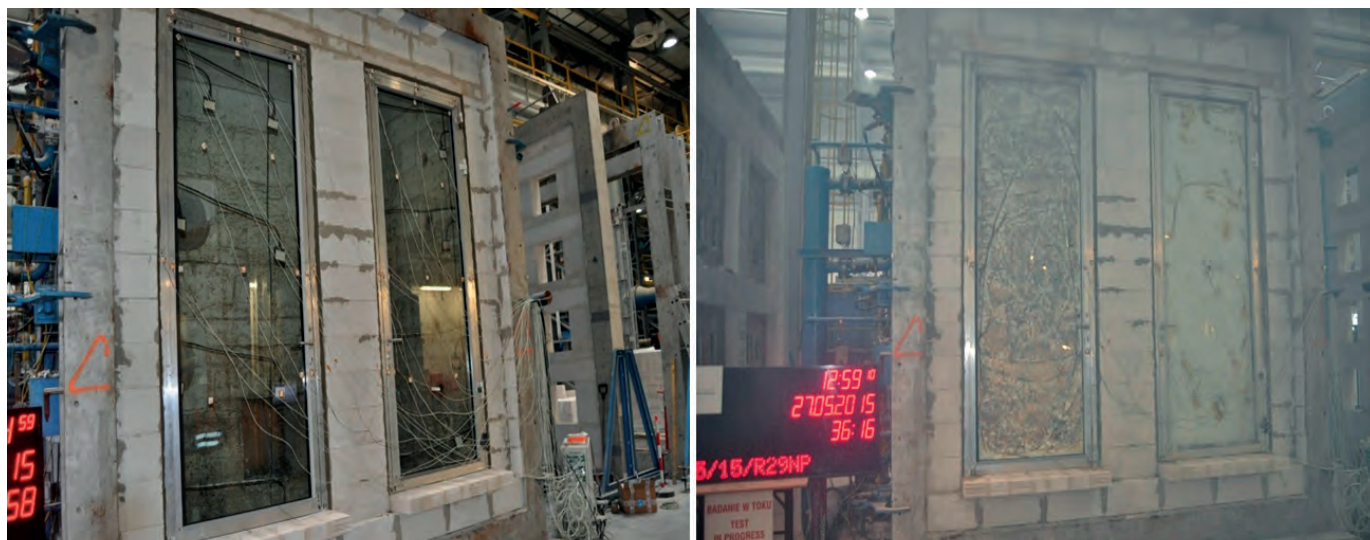
ści (rys. 3), powodując duże deformacje i w konsekwencji utratę nośności. W zasadzie jedynie bardzo mało wyężone elementy stalowe, a więc nieekonomicznie zaprojektowane, mogą być zastosowane bez biernego zabezpieczenia ogniochronnego i wykazać się odpornością ogniową rzędu R30. W przypadku poprawnie wykonanego projektu konstrukcji stalowej należy zakładać brak odporności ogniowej konstrukcji i stosować zabezpieczenia ogniochronne, najczęściej w formie farb pęczniejących lub mas natryskowych. Istotną zaletą konstrukcji stalowych jest duża zbieżność między wynikami badań i obliczeniami wg EC3, co zostało potwierdzone w ramach badań porównawczych zorganizowanych przez EGOLF. Opisany w pracy [8] przypadek dotyczył dwóch belek HEB 300, wykonanych ze stali S460, o rozpiętości 4200 mm, obciążonych dwiema siłami, w 1/3 rozpiętości z każdej strony od podpory (łącznie dwie siły po 100 kN). Nośność ogniową belki wyznaczono trzema metodami: wg EC3, wykorzystując analizę numeryczną oraz przeprowadzając badanie odporności ogniowej na piecu poziomym (rys. 4). Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Porównanie wynikowej odporności ogniowej belki zginanej HEB 300

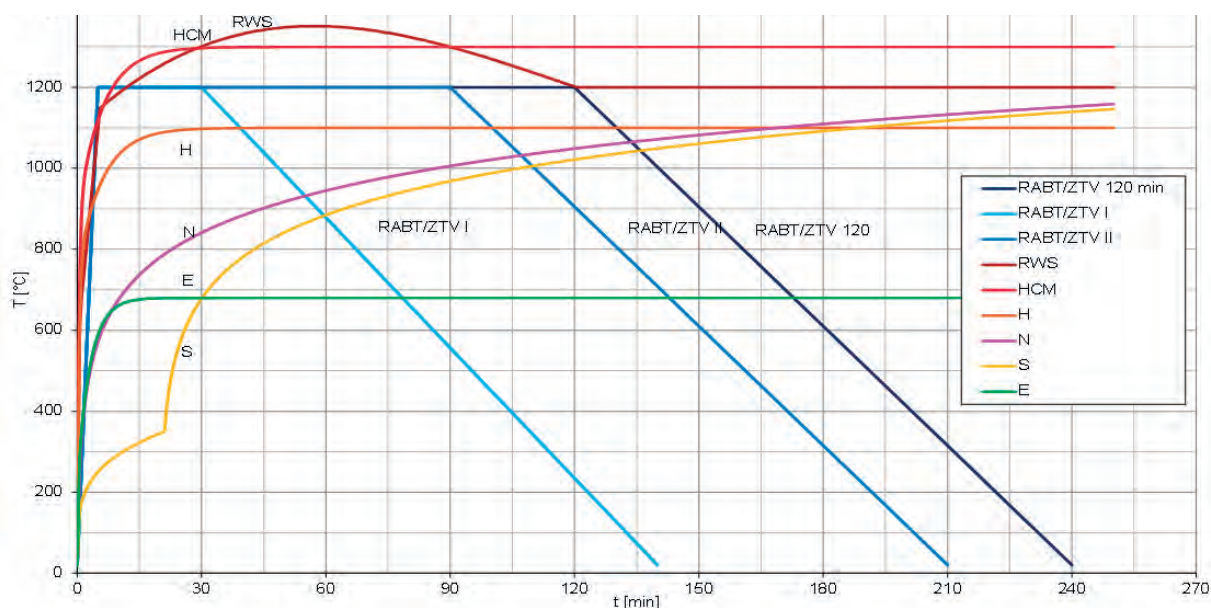
	Badania wg PN-EN 1365-3 i klasyfikacja wg PN-EN 13501-2	Obliczenia wg PN-EN 1993-1-2	Analiza numeryczna
Czas do zniszczenia	33 min 15 s	29 min 55 s	29 min 0 s
Klasa odporności ogniowej	R 30	R 20	R 20

Nieco odmienna sytuacja występuje w konstrukcjach betonowych. Związane jest to z cechami izolacyjnymi betonu, który w przypadku konstrukcji żelbetonowych stanowi naturalną ochronę dla stali zbrojeniowej, również w sytuacji ogniowej, co powoduje, że w znacznej części przypadków konstrukcja żelbetonowa broni się sama przed działaniem pożaru. Takie cechy betonu wynikają z procesów zachodzących w nim podczas ogrzewania, do których zaliczamy:

- 100°C – odparowywanie wody,
- 100°C ÷ 300°C – odpryskiwanie termiczne betonu; im beton szczelniejszy, tym większe odpryski,



Rys. 1. Widok nienagrzewanej powierzchni aluminiowych profilowych drzwi jednoskrzydłowych (o wysokości > 3 m), o deklarowanej odporności ogniowej EI 30 przed badaniem w zakresie odporności ogniowej i po badaniu (źródło: archiwum ITB)



Rys. 2. Krzywe nagrzewania temperatura – czas (E – zewnętrzna, S – powolne nagrzewanie, N – normowa, standardowa, H – węglowodorowa, HCM – zmodyfikowana węglowodorowa, RWS – tunelowa, RABT – niemiecka tunelowa)

- 100°C ÷ 800°C – dehydratacja (odwadnianie) składników zaczynu cementowego C-S-H,
- 350°C ÷ 900°C – początek przemian zachodzących w kruszywie: żwir – 350°C, krzemianowe – 570°C, wapienne – 650°C, bazaltowe – 700°C,
- 400°C ÷ 600°C – rozkład wodorotlenku wapnia $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na CaO i H_2O ,
- 374°C – punkt krytyczny wody,
- 573°C – przemiana kwarcu odmiany α w odmianę β ; jest to proces endotermiczny, któremu towarzyszy gwałtowne zwiększenie objętości materiału – mniejsza odporność na działanie ognia betonów krzemianowych,
- 700°C ÷ 800°C – rozkład węgla wapnia CaCO_3 na CaO i CO_2 ,
- 1350°C – temperatura topnienia betonu.

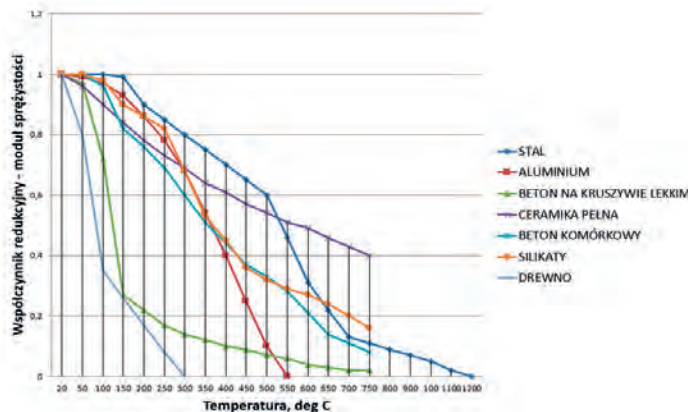
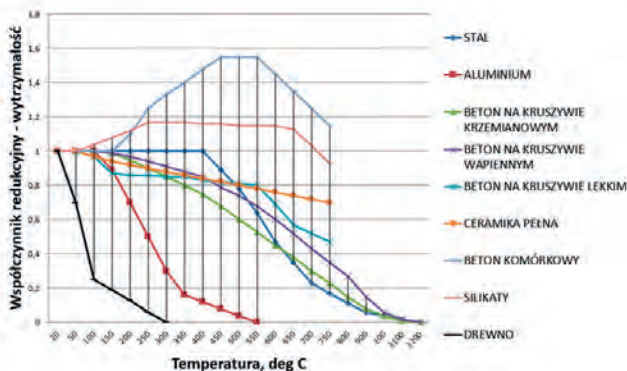
Część ogniowa EC2 przewiduje trzy podstawowe metody szacowania odporności ogniowej (tabelaryczna, uproszczona izotermy 500°C lub strefowa oraz zaawansowana bazująca na odpowiedzi termicznej i mechanicznej konstrukcji), przy czym najczęściej, z uwagi na łatwość korzystania, stosowana jest metoda tabelaryczna (tabela 2). Należy jednakże pamię-

tać, że zawarte w ogniowej części EC2 tablice mają wiele ograniczeń, które każdorazowo należy sprawdzić.

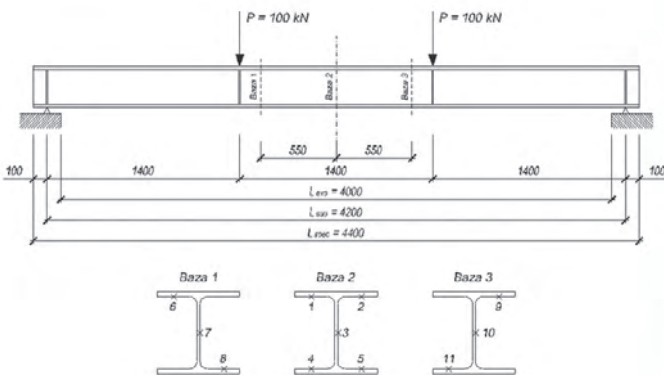
Generalnie jednak stosowanie EC2 do weryfikacji odporności ogniowej typowych elementów żelbetonowych daje bezpieczne przybliżenie. Monitorowanie bezpieczeństwa pożarowego elementów żelbetonowych ogranicza się do utrzymania ich właściwego stanu technicznego. Szczególnie niebezpieczne są wszelkiego typu odpryski betonu lub głębsze zarysowania, dające bezpośredni dostęp do zbrojenia.

W wypadku oceny konstrukcji żelbetonowej po pożarze niezwykle istotne jest oszacowanie temperatury, do jakiej nagrzał się beton. Należy założyć, że graniczną temperaturą jest 500°C, a powyżej następują już nieodwracalna degradacja betonu i znaczne osłabienie jego parametrów wytrzymałościowych, np. przyczepności do stali konstrukcyjnej (rys. 5 i 6).

W wypadku elementów murowych mamy do czynienia z dużą ich różnorodnością (ceramika, silikaty, beton komórkowy itp.). Generalnie w odniesieniu do elementów niedrażonych, np. betonu komórkowego [10], ce-



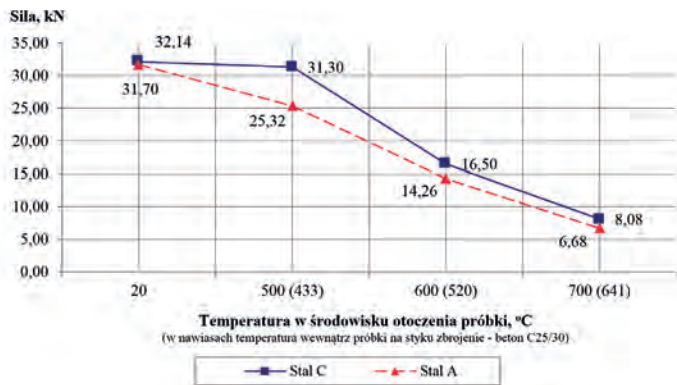
Rys. 3. Redukcja wytrzymałości i modułu sprężystości dla wybranych materiałów konstrukcyjnych w zależności od temperatury (źródło: archiwum ITB)



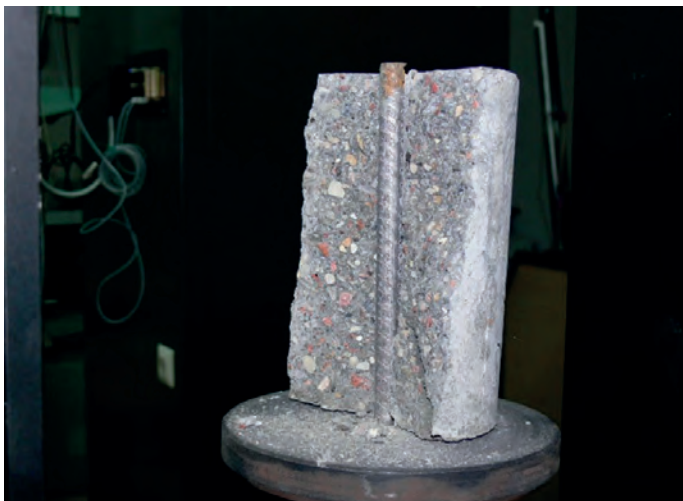
Rys. 4. Schemat statyczny badanej belki stalowej oraz widok elementu próbnego przed badaniem (źródło: archiwum ITB)

Tabela 2. Minimalne wymiary przekroju żelbetonowych płyt stropowych swobodnie podpartych wg EC2

Klasa odporności ogniowej	Minimalne wymiary, mm			
	Grubość płyty h_s , mm	Odległość środka ciężkości zbrojenia a		
		Zbrojenie 1-kierunkowe	Zbrojenie 2-kierunkowe	
			$l_y / l_x \leq 1.5$	$1.5 \leq l_y / l_x \leq 2$
REI 30	60	10	10	10
REI 60	80	20	10	15
REI 90	100	30	15	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50



Rys. 5. Redukcja siły wrywającej pręt $\phi 10$, przyczepności stali do betonu w zależności od temperatury (źródło: opracowanie własne)



Rys. 6. Sposób zniszczenia próbki betonowej podczas wyrywania pręta $\varnothing 10$ z betonu C25/30 w warunkach normalnych 20°C (z lewej) oraz po nagrzaniu do temperatury 700°C i ostudzeniu do 20°C (źródło: opracowanie własne)



Rys. 7. Zniszczenie ściany z pustaków o dużych drążeniach podczas badania odporności ogniowej (obliczeniowo REI 240, weryfikacja badawcza REI 45), z prawej: sposób „luszczenia” kolejnych warstw pustaków o dużej ilości małych drążań, widok po badaniu (źródło: archiwum ITB)

ramiki pełnej, bloczków betonowych, murowanych na zaprawie cementowo-wapiennej, normalnej grubości, tabelaryczne dane zawarte w ogniowej części EC6 pozwalają bezpiecznie oszacować nośność ogniową ściany. Odmienne przedstawia się sytuacja w wypadku elementów o dużych drążeniach pionowych. Znane są przypadki, kiedy, wykorzystując dane tabelaryczne z ogniowej części EC6, wyznaczano nośność ogniową na poziomie REI 240, a weryfikujące badanie w dużej skali dawało wynik REI 45 (rys. 7). Wskazuje to na możliwość znacznego przeszacowania rzeczywistych parametrów ogniowych ściany wykonanej z pustaków o dużych drążeniach. Znacznie łagodniej w sytuacji ogniowej zachowują się elementy o większej ilości drobnych drążań, które podczas badania odpadają, luszcząc się etapami, nie niszcząc od razu całej ściany.

Bardzo ostrożnie należy również podchodzić do obliczeń z uwagi na pożar wg EC4. Konstrukcje zespolone, ze względu na różnorodność materiału, bardzo różnie zachowują się w sytuacji ogniowej, dlatego też w ocenie autora, potwierdzonej badaniami, należy bardzo ostrożnie stosować zawarte w EC4 algorytmy wyznaczania odporności ogniowej. Ostatnie badania przeprowadzone w Laboratorium Badań Ogniowych w Pionkach wykazały rzeczywistą odporność ogniową na poziomie R45, zamiast deklarowanej R120. ■

Abstrakt. W referacie przedstawiono podstawowe informacje pozwalające na ocenę wybranych elementów konstrukcyjnych i ogólnobudowlanych w zakresie bezpieczeństwa pożarowego budynku. Szczególną uwagę

poświęcono materiałom konstrukcyjnym, tj. stali, betonowi, elementom murowym i zespolonym, powszechnie stosowanym we współczesnym budownictwie.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe budynków, odporność ogniowa, reakcja na ogień, rozprzestrzenianie ognia.

Literatura:

- [1] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (EU) nr 305/2011 z 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG..
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, z późn. zm.
- [3] Izydorczyk D., Sędlak B., Sulik P.: Problematyka prawidłowego odbioru wybranych oddzielań przeciwpożarowych. „Materiały Budowlane”, 11/2015, 62–64.
- [4] Sulik P., Roszkowski P.: Bezpieczeństwo pożarowe dachów: Reakcja na ogień i rozprzestrzenianie ognia przez dachy – cz. 1. „Inżynier Budownictwa”, 2015, 4, s. 104–109.
- [5] Woźniak G., Roszkowski P.: Projektowanie konstrukcji drewnianych z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 5. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2013.
- [6] Woźniak G., Turkowski P.: Projektowanie konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 2. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2013.
- [7] Turkowski P., Sulik P.: Projektowanie konstrukcji stalowych z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 3. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2015.
- [8] Sulik P., Turkowski P., Łukomski M.: Porównanie metod oceny odporności ogniowej konstrukcji stalowych. „Materiały Budowlane”, nr 11/2015, 62–64.
- [9] fib Model Code for Concrete Structures 2010, Ernst & Sohn, 2013.
- [10] Zapotoczna-Sytek G., Sulik P., Woźniak G., Abramowicz M.: Przegrody budowlane wykonane z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK), a bezpieczeństwo pożarowe. Dni betonu: Tradycja i nowoczesność, 8 Konferencja. Wisła, 13–15 października 2014 r., s. 803–814.