

Wymagania z zakresu rozwiązań konstrukcyjnych stropów budynków mieszkalnych ze względu na bezpieczeństwo pożarowe

Stropom stawiane są wysokie wymagania w zakresie bezpieczeństwa pożarowego, szczególnie gdy są elementami dróg ewakuacyjnych.

Wymagania ze względu na bezpieczeństwo pożarowe

Podstawowym dokumentem określającym wymagania z zakresu bezpieczeństwa pożarowego dla stropów budynków mieszkalnych jest rozporządzenie [N1], w którym w dziale VI określono ogólne wymagania z zakresu bezpieczeństwa pożarowego dla budynków.

Kluczowe informacje zamieszczono już w pierwszym paragrafie tego działu (§ 207 [N1]), w którym wymaga się, aby budynek, a więc i stropy, był zaprojektowany i wykonany w sposób ograniczający możliwość powstania pożaru, a w razie jego wystąpienia zapewniający: nośność konstrukcji przez czas wynikający z rozporządzenia, ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia i dymu w budynku (...), możliwość ewakuacji ludzi, a także żeby uwzględniono bezpieczeństwo ekip ratowniczych.

Biorąc pod uwagę, że stropy, w szczególności na drogach komunikacyjnych, są elementem dróg ewakuacyjnych, wymagania im stawiane w zakresie bezpieczeństwa pożarowego są wysokie. Podobnie jak inne wymagania ogniowe zależą one od klasyfikacji budynku.

W świetle § 209 [N1] budynki mieszkalne należą do kategorii zagrożenia ludzi ZL IV i możemy je podzielić na: niskie (N) – o wysokości do 4 kondygnacji nadziemnych włącznie; średniowysokie (SW) – o wysokości od 4 do 9 kondygnacji nadziemnych włącznie; wysokie (W) – o wysokości od 9 do 18 kondygnacji nadziemnych włącznie; wysokościowe (WW) – powyżej 55 m nad poziomem terenu.

W zależności od grupy wysokości budynki mieszkalne zgodnie z § 212 [N1] muszą spełnić wymagania odpowiedniej klasy odporności pożarowej: (N) – klasa D, (SW) – klasa C, (W) – klasa B, (WW) – klasa B, przy czym wyłączone są z tego (§ 213 [N1]) jednorodzinne budynki mieszkalne, do trzech kondygnacji nadziemnych włącznie, dla których nie są stawiane wymagania w zakresie klasy odporności pożarowej. Klasie odporności pożarowej budynku przypisana jest klasa odporności ogniowej elementów budynków, co w przypadku stropów oznacza spełnienie następujących wymagań: klasa D – REI 30, klasa C – REI 60, klasa B – REI 60, gdzie: R – oznacza nośność ogniową, E – szczelność ogniową, I – izolacyjność ogniową. Należy zastrzec, że w przypadku kiedy stropy budynków mieszkalnych pełnią jednocześnie funkcję głównej konstrukcji nośnej, należy spełnić wymagania dodatkowe: klasa D – R 30, klasa C – R 60, klasa B – R 120. W przypadku klasy C i D wydaje się, że wymagania są tożsame i spełnienie kryterium np. REI 30 oznacza jednocześnie spełnienie kryterium R 30. Nie jest to prawdą, ponieważ kryterium REI oznacza oddziaływanie pożaru standardowego z jednej strony, w przypadku stropów od dołu, przy odpowiednim wyteżeniu stropu (poziomie obciążenia), natomiast kryterium R oznacza oddziaływanie standardowego pożaru z dwóch stron jednocześnie przy założonym obciążeniu stropu, w przypadku stropów – od góry i dołu, co jest wymaganiem znacznie ostrzejszym i trudniejszym do uzyskania. W opinii autora artykułu nakładanie na stropy kryterium R przy jednoczesnym spełnieniu kryterium REI z merytorycznego punktu widzenia nie ma racjonalnego uzasadnienia.

Kolejne uszczegółowienie przepisów (§ 217 [N1]) dotyczy stropów w budynkach zawierających dwa mieszkania, którym stawia się wymaganie REI 30.

Bardzo istotne ograniczenie stawiane stropom związane jest z przypadkiem, kiedy pełnią one dodatkowo funkcję oddzielenia przeciwpożarowego. Paragraf 232 [N1] nakazuje, by takie stropy były wykonane z materiałów niepalnych, co zgodnie z załącznikiem nr 3 pkt 1 [N1] oznacza możliwość stosowania jedynie materiałów klasy reakcji na ogień: A1; A2-s1, d0; A2-s2, d0; A2-s3, d0.

Analiza przedstawionych przepisów wskazuje na konieczność spełnienia przez stropy budynków mieszkalnych w zakresie bezpieczeństwa pożarowego wymagań przede wszystkim z zakresu odporności ogniowej, a jedynie w przypadku stropów stanowiących oddzielenie przeciwpożarowe stawiane jest

dotąd dodatkowe wymaganie dotyczące wykonania stropów z materiałów niepalnych. Teoretycznie oznaczałoby to, że istnieje możliwość wykonywania poza oddzieleniami przeciwpożarowymi stropów z materiałów palnych, które mają wymaganą odporność ogniową, np. drewnianych. W rzeczywistości stosowanie drewna do konstruowania stropów w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych natrafia na bardzo trudną do przekroczenia barierę wynikającą po części z doświadczeń historycznych (wojna, zniszczenia i wypalenia stropów palnych), konstrukcyjnych, trwałościowych oraz formalnych. Paragraf 216 pkt 2 [N1] stanowi m.in., że stropy w budynkach powinny być nierozprzestrzeniające ognia, a w określonych warunkach dopuszcza się stosowanie rozwiązań słabo rozprzestrzeniających ogień, np. w przypadku budynków mieszkalnych o jednej kondygnacji nadziemnej. W tym momencie natrafiamy na podstawowy problem interpretacyjny. Rozprzestrzenianie ognia dotyczy elementów budynku i bada się je przede wszystkim dla dachów i ścian zewnętrznych. W pozostałych przypadkach, dla których brak jest odpowiedniej normy badawczej, zgodnie z załącznikiem nr 3 pkt 2 [N1] cechą rozprzestrzeniania ognia dla elementów przypisuje się na podstawie klasy reakcji na ogień elementów składowych. I tak za nierozprzestrzeniające ognia elementy budynku uważa się elementy wykonane z wyrobów klasy reakcji na ogień: A1; A2-s1, d0; A2-s2, d0; A2-s3, d0; B-s1, d0; B-s2, d0 oraz B-s3, d0 lub stanowiące wyrób o klasie reakcji na ogień: A1; A2-s1, d0; A2-s2, d0; A2-s3, d0; B-s1, d0; B-s2, d0 oraz B-s3, d0, przy czym warstwa izolacyjna elementów warstwowych powinna mieć klasę reakcji na ogień co najmniej E. Za elementy słabo rozprzestrzeniające ogień uważa się elementy wykonane z wyrobów klasy reakcji na ogień: C-s1, d0; C-s2, d0; C-s3, d0 oraz D-s1, d0, lub stanowiące wyrób o klasie reakcji na ogień: C-s1, d0; C-s2, d0; C-s3, d0 oraz D-s1, d0, przy czym warstwa izolacyjna elementów warstwowych powinna mieć klasę reakcji na ogień co najmniej E.

Biorąc pod uwagę, że niezabezpieczone drewno zazwyczaj posiada klasę reakcji na ogień D, oznacza to formalny zakaz stosowania drewna do konstruowania stropów budynków mieszkalnych, z wyłączeniem budynków jednorodzinnych, o których wspomniano wyżej, którym nie są stawiane wymagania pożarowe. Nie jest jednocześnie uwzględniany fakt, że sam strop jako element oddzielający, składający się z wielu warstw, w tym konstrukcyjnej z drewna, może być nierozprzestrzeniający ognia przy weryfikacji badawczej według dostępnych metod. Takie podejście oznacza, że z punktu widzenia bezpieczeństwa pożarowego w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych stosuje się stropy niepalne, przede wszystkim żelbetowe (monolityczne, prefabrykowane, mieszane, np. typu filigran, sprężone) oraz stropy gęstożebrowe [2]. Teoretycznie istnieje możliwość stosowania również stropów stalowych (stal ma klasę reakcji na ogień A1) [3], jednakże ze względu na niewystarczającą odporność ogniową konstrukcji stalowych i konieczność ich dodatkowego zabezpieczenia z przyczyn praktycznych oraz ekonomicznych tego typu rozwiązania nie są tak rozpowszechnione jak rozwiązania betonowe.

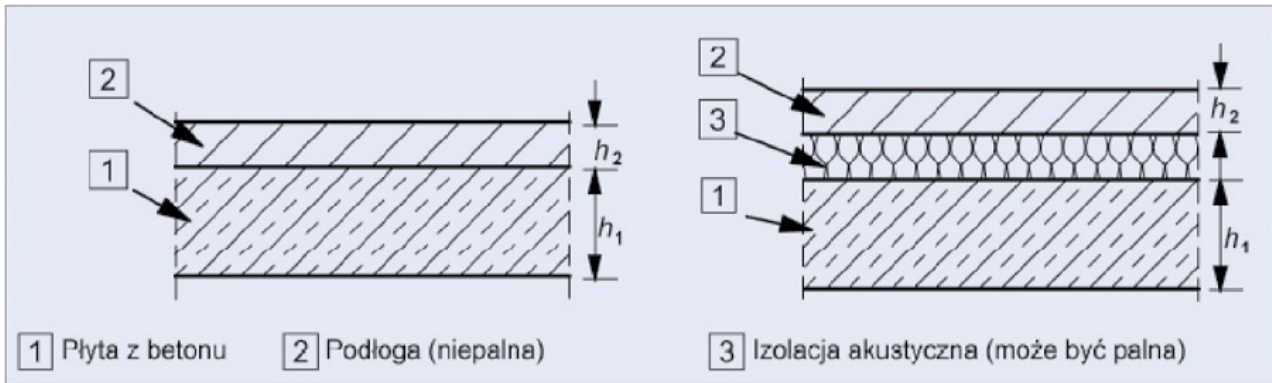
Metody oceny stropów budynków mieszkalnych ze względu na bezpieczeństwo pożarowe

Metody obliczeniowe

Przystępując do weryfikacji parametrów ogniowych stropów budynków mieszkalnych, możemy wykorzystać jedną z kilku metod. Najdokładniejszą z nich jest metoda oparta na fizycznym badaniu ogniowym elementu wielkowymiarowego, ze wszystkimi realnie występującymi warstwami oraz obciążeniami [1]. Uzyskany wynik odpowiada rzeczywistej odporności ogniowej elementu i zazwyczaj jest korzystniejszy od wyników otrzymanych na drodze obliczeniowej.

Pozostałe metody oceny opierają się na metodach obliczeniowych przedstawionych w Eurokodach przypisanych poszczególnym rodzajom konstrukcji. W przypadku elementów żelbetowych jest to norma PN-EN 1992-1-2 [N2], która przewiduje do oceny odporności ogniowej elementów trzy metody: tabelaryczna, uproszczona oraz ogólna.

Najprostsza w zastosowaniu jest metoda tabelaryczna, która uwzględnia najczęściej występujące w praktyce rozwiązania stropów (rys. 1). Bazą dla tej metody są doświadczenia badawcze zebrane z wielu ośrodków i pewnego rodzaju uśrednienie uzyskanych w nich wyników.



Rys. 1. Układy warstw płyt żelbetowych rozpatrywanych w metodzie tabelarycznej

Oszacowanie odporności ogniowej stropów żelbetowych przy użyciu tablic jest stosunkowo niekłopotliwe, należy jedynie pamiętać o spełnieniu warunków przypisanych dla danego rodzaju stropu.

Przedstawione w tabeli 1 wartości dla płyty monolitycznej swobodnie podpartej obowiązują pod następującymi warunkami:

- minimalna grubość płyty h_s spełnia kryteria szczelności i izolacyjności (EI)
- warstwy wykończeniowe podłogi mają wpływ na funkcję oddzielającą proporcjonalnie do ich grubości
- jeśli wymagane jest spełnienie tylko kryterium nośności R, to grubość płyty można przyjmować zgodnie z wymaganiami PN-EN 1992-1-1 [N3] przy projektowaniu w warunkach normalnych.

Standardowa odporność ogniowa	Minimalne wymiary [mm]			
	Grubość płyty h_s [mm]	Odległość osiowa a		
		jednokierunkowe	dwukierunkowe	
			$L_y/L_x \leq 1,5$	$1,5 \leq L_y/L_x \leq 2$
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

L_x i L_y są przęsłami dwukierunkowo zbrojonej płyty (kąt prosty między kierunkami zbrojenia), przy czym L_y jest dłuższym przęsłem.
Dla płyt sprężonych należy powiększyć odległość osiową zgodnie z pkt 5.2 (5) [N2].
Odległość osiowa a w kolumnie 4 i 5 od lewej strony dla płyt dwukierunkowo zbrojonych odnosi się do płyt podpartych na wszystkich czterech krawędziach. W przeciwnym razie należy je traktować jako płyty rozpięte w jednym kierunku.
* Zwykle decydująca jest otulina wymagana przez [N3].

Tabela 1.

Płyty monolityczne swobodnie podparte

W przypadku monolitycznych płyt ciągłych minimalne odległości osiowe i grubości, podane w tabeli 1 dla przypadku $L_y/L_x \leq 1,5$, mają również zastosowanie do jedno- lub dwukierunkowo zbrojonych płyt ciągłych.

Należy jednak pamiętać o spełnieniu następujących warunków:

- redystrybucja momentów nie przekracza 15%
- zapewniono minimalne zbrojenie górne $A_s \geq 0,005 A_c$ nad podporą pośrednią, w każdym przypadku gdy:
 - stosuje się zbrojenie obrabiane na zimno
 - w płytach ciągłych dwuprzęsłowych, gdzie postanowienia projektowe zgodne z Eurokodem [N3] i/lub odpowiednia konstrukcja nie zapewniają ograniczenia zginania na końcowych podporach
 - nie ma możliwości redystrybucji efektów obciążenia w kierunku poprzecznym do kierunku przęsła.

W układach płytowo-słupowych, dla płyt płaskich, zależność między odpornością ogniową a wymiarami płyty, pod warunkiem spełnienia poniższych warunków, przedstawiono w tabeli 2:

- redystrybucja momentów nie przekracza 15% w temperaturze otoczenia
- dla klas odporności ogniowej REI 90 i wyższych przynajmniej 20% całkowitego zbrojenia górnego, w każdym kierunku ponad podporami pośrednimi, wymaganego przez normę [N3], powinno być ciągłe na

całej długości przęśła (zbrojenie to należy lokować w pasie nad słupami)

- minimalnych grubości płyty nie można zmniejszać (np. przez uwzględnienie warstw wykończeniowych stropów)
- odległość osiowa a oznacza odległość osiową zbrojenia bliższego powierzchni.

W przypadku płyt żebrowych Eurokod [N2] również przewiduje stosowanie metod tabelarycznych, przy czym dla danej klasy odporności ogniowej uwzględnia się szerokość żeber oraz odległość osiową zbrojenia żebra, a także podobnie jak poprzednio grubość płyty i odległość osiową zbrojenia w płycie.

Standardowa odporność ogniowa	Minimalne wymiary [mm]	
	Grubość płyty h_s	Odległość osiowa a
REI 30	150	10*
REI 60	180	15*
REI 90	200	25
REI 120	200	35
REI 180	200	45
REI 240	200	50

Tabela

* Zwykle decydująca jest otulina wymagana przez [N3].

2. Płyty płaskie (układy płytowo-słupowe)

Do uproszczonych metod oceny należą metoda izotermi 500°C oraz metoda strefowa. W metodzie izotermi 500°C przyjmuje się uproszczoną hipotezę, mówiącą, że beton w całości traci swe właściwości wytrzymałościowe po przekroczeniu temperatury 500°C, poniżej zaś tej temperatury zachowuje pełną wytrzymałość.

Zbrojenie rozpatruje się normalnie, uwzględniając redukcję wynikającą z jego temperatury.

Położenie izotermi 500°C zaleca się określać na podstawie analizy termicznej lub za pomocą typowych map izoterm (profilu temperatury), zamieszczonych w normie [N2].

Ostatnim typem metod obliczeniowych są zaawansowane metody obliczeń, wymagające zarówno odpowiedniego przygotowania merytorycznego, jak i niezbędnego wyposażenia. Eurokod [N2] podaje jedynie ogólne jej zasady:

- Analiza powinna realistycznie odzwierciedlać zachowanie stropów w pożarze, uwzględniając zjawiska wynikające ze zmiany właściwości termicznych i wytrzymałościowych materiałów wraz z temperaturą.
 - Zaleca się opracowanie i korzystanie z dwóch modeli konstrukcji:
 - modelu odpowiedzi termicznej
 - modelu odpowiedzi mechanicznej.
 - Model mechaniczny powinien, poza wpływem temperatury na właściwości betonu i stali, uwzględniać także efekty oddziaływań pośrednich pożaru, tzn. wzrost sił wewnętrznych i naprężeń w warunkach ograniczenia możliwości deformacji, a także ewentualne duże przemieszczenia elementów, plastyczną redystrybucję sił wewnętrznych i efekty pełzania.
 - Wykorzystywana metodyka analizy i obliczeń powinna znaleźć uzasadnienie i potwierdzenie w rezultatach badań.
 - W ujęciu praktycznym opracowanie i aplikacja zaawansowanych modeli obliczeniowych konstrukcji w warunkach pożarowych oznacza komputerowe symulacje wykonywane na numerycznych modelach konstrukcji przy wykorzystaniu systemów nieliniowej analizy konstrukcji, wcześniej poddanych walidacji ze względu na zgodność rozwiązań numerycznych z wynikami badań ogniowych.
- Podsumowując tę część artykułu, należy zaznaczyć, że z obliczeniowych metod określania odporności ogniowej żelbetowych stropów budynków mieszkalnych najprościej jest skorzystać z metody tabelarycznej, która w znakomitej większości przypadków (poza stropami kanałowymi) pozwala na bezpieczne oszacowanie odporności ogniowej stropu. W szczególnych przypadkach można skorzystać z bardziej zaawansowanych metod obliczeniowych.



Fot. 1a. Strop gęstożebrowy na belkach sprężonych, rozpiętość w świetle podpór 424 cm, grubość 36,5 cm, pustaki betonowe o wysokości 20 cm i szerokości 53 cm. Strona Fot. 1b. Strop jak na fot. 1a po 120 min oddziaływania standardowego nienagrzewana, widok przed badaniem



Fot. 1c. Strop jak na fot. 1a po 120 min oddziaływania standardowego. Widok od strony nagrzewanej (od strony pieca). Widoczne odpadnięcie dolnych ścianek pustaków

Metody badawcze

Najlepszą i najdokładniejszą metodą wyznaczenia odporności ogniowej stropów budynków mieszkalnych jest badanie laboratoryjne. Metodę określenia odporności ogniowej stropów opisano w normach PN-EN 1365-2:2014 Badania odporności ogniowej elementów nośnych – Część 2: Stropy i dachy [N4] oraz PN-EN 1363-1:2012 Badania odporności ogniowej – Część 1: Wymagania ogólne [N5], gdzie podano m.in. warunki nagrzewania panujące w piecu badawczym. Minimalny wymiar badanego stropu wynosi 3 m x 4 m. W przypadku badania nie ma znaczenia konstrukcja stropu i bardzo często badane są takie rozwiązania, których nie można oszacować metodą tabelaryczną, np. płyty kanałowe, stropy sprężone, stropy gęstożebrowe (fot. 1a-1c), a także żelbetowe pełne, jeśli chcemy uzyskać rzeczywistą, a nie szacunkową odporność ogniową. W przypadku tych ostatnich istotna jest zawartość wody w betonie, która wpływa na wiele zjawisk w betonie podczas oddziaływania temperatury, co ilustrują fot. 2a-2d przedstawiające rzeczywiste zachowanie płyty żelbetowej pełnej o wymiarach 3,2 m (szerokość) x 4,9 m (długość) x 15 cm (grubość), wykonanej z betonu C20/25 o zawartości wilgoci ok. 2,5% podczas badania odporności ogniowej wg scenariusza pożaru standardowego. Kolejne fotografie pokazują stronę nienagrzewaną płyty, na której przez większość część czasu trwania badania utrzymuje się woda, uwolniona z betonowego stropu.

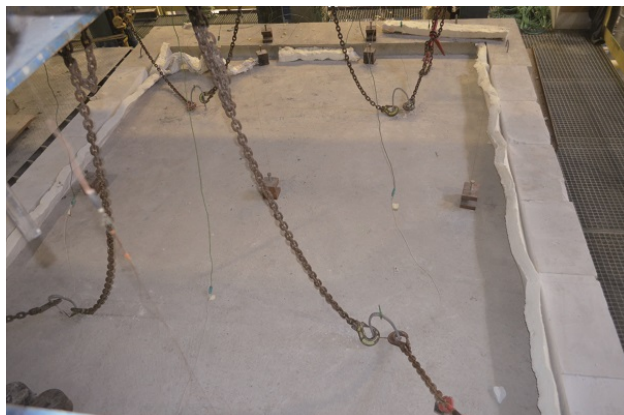
Wśród kryteriów oceny stropów w zakresie odporności ogniowej, w przypadku stropów omawianych w artykule, szczególne znaczenie ma nośność ogniowa R, która determinuje spełnienie pozostałych wymagań. Z pozostałymi kryteriami – to jest szczelnością E i izolacyjnością I ogniową – zazwyczaj podczas badania nie ma problemów. W przypadku stropów utrata nośności ogniowej następuje, gdy:

- przekroczone jest ugięcie: $D = L^2/(400 \cdot d)$ [mm],
- przekroczone jest szybkość narastania ugięcia: $dD/dt = L^2/(9000 \cdot d)$ [mm/min]

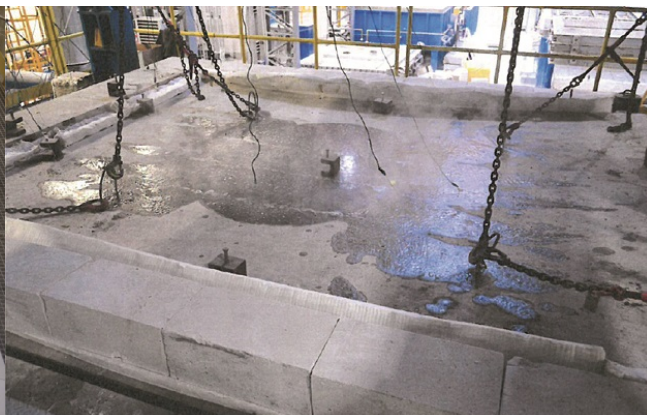
gdzie:

L - rozpiętość w osiach podpór [mm]

d - odległość od skrajnego włókna projektowej strefy ściskanej przekroju konstrukcyjnego w temperaturze normalnej do skrajnego włókna projektowej strefy rozciąganej w temperaturze normalnej [mm].



Fot. 2a. Strona nienagrzewana żelbetowej płyty o grubości 15 cm. Oddziaływanie standardowe od dołu. T = 0 min



Fot. 2c. Strona nienagrzewana żelbetowej płyty o grubości 15 cm. Oddziaływanie standardowe od dołu. T = 60 min



Fot. 2b. Strona nienagrzewana żelbetowej płyty o grubości 15 cm. Oddziaływanie standardowe od dołu. T = 30 min



Fot. 2d. Strona nienagrzewana żelbetowej płyty o grubości 15 cm. Oddziaływanie standardowe od dołu. T = 120 min

Podsumowanie

Przepisy z zakresu bezpieczeństwa pożarowego determinują rodzaj materiału, a tym samym i konstrukcję stropów stosowanych w budownictwie mieszkaniowym, innym niż jednorodzinne, gdzie wymagania pożarowe nie są określone i można wykorzystywać wszelkie rozwiązania konstrukcyjne, w tym i drewniane.

W stropach budynków wielorodzinnych można stosować materiały, które nie rozprzestrzeniają ognia, co znacznie zawęża wybór materiałów konstrukcyjnych. Największy udział mają stropy betonowe, w dowolnej konfiguracji zarówno prefabrykowane, jak i monolityczne, żelbetowe i sprężone, przy czym należy pamiętać, że stropy kanałowe czy z wypełnieniami, np. typu cobiax (fot. 3), ze względu na otwory mają zaburzony przepływ ciepła w elemencie i ich odporności ogniowej nie da się w prosty sposób oszacować - zaleca się zawsze badanie ogniowe. Drugą grupą stropów, dosyć często wykorzystywaną, są rozwiązania gęstożebrowe, z pustakami betonowymi lub ceramicznymi, dla których też każdorazowo należy wyznaczyć odporność ogniową na drodze badawczej. Stropy stalowe w budownictwie mieszkaniowym występują na tyle rzadko - głównie w adaptowanych na cele mieszkaniowe starych fabrykach i magazynach (mieszkaniach typu loft), które dodatkowo należy zabezpieczać ogniochronnie, co jest operacją podwyższającą koszty - że pominięto ich omówienie w tym artykule.



Fot. 3. Strop żelbetowy z wypełnieniami typu cobiax

dr inż. Paweł Sulik
Zakład Badań Ogniwych
Instytut Techniki Budowlanej
Zdjęcia: archiwum ITB

Normy i rozporządzenia

- N1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (z późniejszymi zmianami).
- N2. PN-EN 1992-1-2 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
- N3. PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- N4. PN-EN 1365-2:2014 Badania odporności ogniowej elementów nośnych – Część 2: Stropy i dachy.
- N5. PN-EN 1363-1:2012 Badania odporności ogniowej – Część 1: Wymagania ogólne.
- N6. PN-EN 13501-2+A1:2016 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków – Część 2: Klasyfikacja na podstawie badań odporności ogniowej, z wyłączeniem instalacji wentylacyjnych.

Literatura

- 1. P. Sulik, P. Wróbel, *Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru wg PN-EN 1991-1-2*, Materiały Budowlane, nr 10/2011.
- 2. G. Woźniak, P. Turkowski, *Projektowanie konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 2*, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2013.
- 3. P. Turkowski, P. Sulik, *Projektowanie konstrukcji stalowych z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 3*, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2015.