

prof. dr hab. inż. Marian Abramowicz*
dr hab. inż. Robert Kowalski, prof. PW**

Projektant konstrukcji obiektu i rzeczoznawca do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych – wzajemne powiązania

Structural engineer and fire engineer – mutual connections

Streszczenie. W artykule poruszono najistotniejsze problemy współdziałania projektanta konstrukcji budowlanych z pożarnikiem, występujące podczas projektowania konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe. Zwrócono uwagę, iż aktualnie obszar współpracy przedstawicieli obu specjalności jest zbyt ograniczony. Wskazano potrzebę utworzenia nowej dyscypliny naukowej Inżynieria Bezpieczeństwa Pożarowego, lepszego kształcenia inżynierów budownictwa w dziedzinie ochrony przeciwpożarowej, modyfikacji zaleceń podanych w przepisach techniczno-budowlanych dotyczących wymaganej odporności ogniowej elementów konstrukcji, sprecyzowano zakres informacji, jakie powinien otrzymywać projektant konstrukcji od pożarnika, niezbędnych do przeprowadzenia analizy konstrukcji w wyjątkowej sytuacji projektowej pożaru.

Słowa kluczowe: projektowanie konstrukcji, warunki pożarowe, pożar, odporność ogniowa.

Abstract. In this paper the most important problems of cooperation between structural engineer and fire engineer occurring in Poland during structural designing for fire safety are discussed. Currently the field of cooperation between representatives of both specialisations is too limited. Thus there is a necessity for creation of new scientific field - Fire Safety Engineering and improvement of education level of civil engineers in the field of fire protection. Legislation in the field of required fire resistance of structural elements should be modified. Data which structural engineer should receive from fire engineer for structural designing for fire safety is described.

Keywords: structural designing, fire conditions, fire, fire resistance.

Obecnie w Polsce i w Europie nikt nie ma już wątpliwości, iż nierozłączną częścią wszelkich procesów budowlanych, na etapie projektowania, realizacji oraz użytkowania obiektów jest ich odpowiednie zabezpieczenie na wypadek pożaru. Obiekty budowlane powinny być wykonane i zaprojektowane w taki sposób, aby w razie pożaru [1]:

- (1) nośność konstrukcji została zachowana przez określony czas;
- (2) powstawanie i rozprzestrzenianie się ognia i dymu w obiektach było ograniczone;
- (3) rozprzestrzenianie się ognia na sąsiednie obiekty było ograniczone;
- (4) osoby znajdujące się wewnątrz mogły opuścić obiekt lub być uratowane w inny sposób;
- (5) uwzględnione było bezpieczeństwo ekip ratowniczych.

Wymienione wymagania podano blisko ćwierć wieku temu w Dyrektywie Rady Wspólnot Europejskich [2]. Kilka lat później wprowadzono je do polskiego Prawa budowlanego [3, 4], a ostatnio, w praktycznie niezmienionej formie zostały ostatecznie potwierdzone w rozporządzeniu nr 305/2011 Parlamentu Europejskiego [1]. Pożarów, podobnie jak i wielu innych niekorzystnych zdarzeń losowych, nie da się w pełni wyeliminować, ale w przypadku wystąpienia pożaru w obiekcie rzeczywiście spełniającym pięć wymienionych wymagań nie powinno być ofiar w ludziach, a straty materialne powinny być ograniczone. Z tego punktu wi-

wienia wymagania dotyczące zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego obiektów budowlanych można uznać za kompletne. Autorów artykułu zastanawia jednak, czy nie byłoby zasadne rozważenie, aby w wysoko rozwiniętej i bogatej Unii Europejskiej wprowadzić bardziej rygorystyczne wymagania dotyczące wczesnego ostrzegania o zainicjowaniu pożaru we wszystkich obiektach, w których mogą spać ludzie.

Zgodnie z ustawą [5] odpowiednie przygotowanie obiektu budowlanego na wypadek pożaru spoczywa na właścicielu, zarządcy lub użytkowniku. W praktyce istotne czynności związane z zapewnieniem ochrony przeciwpożarowej są jednak wykonywane albo kontrolowane przez przedstawicieli Państwowej Straży Pożarnej lub innych inżynierów pożarnictwa mających stosowne przygotowanie merytoryczne. Obszar biernej ochrony przeciwpożarowej konstrukcji budowlanych, w którym ściśle zająmają się specjalności inżynierii lądowej i pożarnictwa, jest bardzo szeroki i nie do końca wypełniony wiedzą naukowo-techniczną. W artykule podjęto próbę poruszenia najistotniejszych problemów współdziałania projektanta konstrukcji budowlanych z pożarnikiem, występujących podczas projektowania konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe, „widzianych oczami konstruktora”.

Przygotowanie nowego obiektu budowlanego na warunki pożarowe

W świetle aktualnych polskich przepisów [6, 7], przygotowanie nowego obiektu budowlanego na wypadek pożaru odbywa się na etapie projektowania, w wyniku uzgodnienia projektu budowlanego

* Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego;

** Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

pod względem ochrony przeciwpożarowej [7]. Czynności tej dokonuje, posiadający stosowne przygotowanie zawodowe, rzeczoznawca ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych. Zgodnie z zapisami [7] podstawę uzgodnienia mają jednak stanowić dane przedstawione w projekcie budowlanym, określone przez projektanta obiektu. Funkcją rzeczoznawcy, który *uzgodnienie projektu ... potwierdza przez ostemplowanie i podpisanie projektu* została zatem, wg rozporządzenia [7], sprowadzona do roli biernego arbitra. Praktyka projektowa ostatnich lat wymusiła zweryfikowanie tej patologii. Obecnie, coraz częściej, w projektowaniu nawet średnio skomplikowanych obiektów budowlanych bierze aktywny udział rzeczoznawca ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych, a niekiedy nawet przejmuje rolę głównego projektanta obiektu z uwagi na ochronę przeciwpożarową.

W Polsce działania rzeczoznawców ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych są w praktyce przeważnie ograniczone do wprowadzenia takich rozwiązań, aby były spełnione wymagania przepisów techniczno-budowlanych [4]. Wyzwania stawiane nowoczesnym obiektom coraz częściej powodują jednak konieczność zastosowania rozwiązań nieprzewidzianych w tych przepisach. Uzgodnienie projektu zawierającego rozwiązania wykraczające poza ramy przepisów (uzyskanie tzw. odstępstwa albo wprowadzenia rozwiązań zastępczych lub zamiennych) może być dokonane po przedstawieniu przez projektanta lub inwestora postanowienia właściwego organu (najczęściej komendanta wojewódzkiego Państwowej Straży Pożarnej) [7].

W obszarze projektowania konstrukcji budowlanych jeszcze do niedawna bazowano w Polsce na wymaganiach podanych w prostych instrukcjach [8, 9]. Ich stosowanie było wygodne, ale dokonana prognoza odporności ogniowej konstrukcji mogła odbiegać od rzeczywistości. Do radykalnej zmiany w projektowaniu konstrukcji budowlanych z uwagi na warunki pożarowe doprowadziło dopiero wprowadzenie norm oznaczonych symbolem PN-EN (tzw. Eurokodów). W normie [10] podano m.in. ogólne wymagania dotyczące rozpatrywania pożaru jako wyjątkowej sytuacji projektowej (obliczeniowej). W normie [11] przedstawiono podstawowe informacje na temat oddziaływań spowodowanych pożarem, a w częściach norm dotyczących poszczególnych rodzajów konstrukcji [np. 12 – 14] podano uproszczone metody projektowania, jak również podstawy do stosowania zaawansowanych metod analitycznych. Z przykrością należy jednak zauważyć, iż o ile można już mówić o upowszechnieniu Eurokodów w środowisku naukowym i eksperckim inżynierii lądowej, o tyle w mniejszych jednostkach projektowych normy te nie są jeszcze powszechnie stosowane i np. prognoza odporności ogniowej elementów konstrukcji żelbetowych jest wtedy dokonywana na podstawie instrukcji [15].

Obszar powiązania działań rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych i projektanta konstrukcji

Praktycznie jedyną platformą, na której podczas projektowania obiektów budowlanych zajął się obszary działania rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych i projektanta konstrukcji, są „Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” [4]. Na podstawie podanych tam (jak również innych) przepisów rzeczoznawca ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych powinien doprowadzić do tego, aby projektowany obiekt budowlany spełniał ostatnie cztery z pięciu wymagań podanych na początku artykułu [1]. Spełnienie pierwszego wymagania, aby *nośność konstrukcji została zachowana przez określony czas* spoczywa jednak na projektancie konstrukcji. Bazą do jego działania są informacje przedstawione w tabeli [4], w której w za-

Wymagane klasy odporności ogniowej elementów budynku [4]

Klasa odporności pożarowej budynku	Klasa odporności ogniowej elementów budynku					
	główna konstrukcja nośna	konstrukcja dachu	strop	ściana zewnętrzna	ściana wewnętrzna	przekrycie dachu
A	R 240	R 30	REI 120	EI 120	EI 60	RE 30
B	R 120	R 30	REI 60	EI 60	EI 30	RE 30
C	R 60	R 15	REI 60	EI 30	EI 15	RE 15
D	R 30	–	REI 30	EI 30	–	–
E	–	–	–	–	–	–

leżności od klasy odporności pożarowej budynku są podane wymagane klasy odporności ogniowej poszczególnych jego części lub elementów.

Zdaniem autorów, w polskiej praktyce projektowej tabela jest jedynym obszarem rzeczywistego powiązania działań rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych i projektanta konstrukcji. Ten pierwszy właściwie zawsze przejmuje na siebie określenie klasy odporności pożarowej budynku lub jego stref, a więc sprecyzowanie części *danych wejściowych do tabeli*. Dalsze działania, mające na celu doprowadzenie do takich rozwiązań, aby poszczególne fragmenty lub elementy konstrukcji miały wymaganą odporność ogniową, są już jednak domeną projektanta konstrukcji. Z naszych doświadczeń wynika, że projektant konstrukcji zazwyczaj pozostaje jednak osamotniony w podejmowaniu kluczowych decyzji dotyczących kwalifikowania elementów projektowanego obiektu do poszczególnych kolumn tabeli. W praktyce na pytania kierowane do rzeczoznawców do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych projektant uzyskuje jedynie odpowiedzi będące cytacjami fragmentów tej tabeli. Taki sposób postępowania jest daleki od nowoczesnych trendów stosowania inżynierii bezpieczeństwa pożarowego i jak najszybciej należałoby podjąć działania, aby został zastąpiony rzeczywistą współpracą.

Problemy z określeniem wymaganej odporności ogniowej konstrukcji

Najwięcej praktycznych problemów powoduje rozpatrywanie konstrukcji dachowych. Projektantowi konstrukcji, mającemu pełną świadomość wagi podejmowanych przez siebie decyzji oraz ich wpływu na bezpieczeństwo ludzi, bardzo trudno jest się pogodzić z faktem, iż takie elementy konstrukcyjne, jak np. dźwigar dachowy o dużej lub nawet średniej rozpiętości, płatwie o dużej rozpiętości, struktura przestrzenna lub powłoka, mogłyby nie być zakwalifikowane jako główna konstrukcja nośna budynku. Zniszczenie wymienionych elementów może być przecież przyczyną zagrożenia ludzi lub olbrzymich strat materialnych. Należy jednak również zauważyć odmienny aspekt rozpatrywanego problemu. Otóż w wielu przypadkach potraktowanie wszelkiego rodzaju dużych konstrukcji dachowych jako głównej konstrukcji nośnej, a w konsekwencji zapewnienie, aby miały one nośność ogniową określoną wymaganiami podanymi w kolumnie 2. tabeli, rozumianą jako możliwość pełnienia funkcji nośnej przez wymagany czas pod działaniem pożaru standardowego, najczęściej prowadziłyby do wprowadzenia bardzo drogich rozwiązań, które często, z ekonomicznego punktu widzenia, mogłyby spowodować wykluczenie zasadności realizacji niektórych inwestycji. Forsowanie takich rozwiązań nie jest uzasadnione. Warto jednak przypomnieć zapis znajdujący się w normie [11], w pewnym stopniu mogący usprawiedliwiać zbyt zachowawcze stanowisko niektórych projektantów konstrukcji. Podano tam, że *w konstrukcjach, w stosunku do których władze krajowe ustalają wymagania w zakresie odpor-*

ności ogniowej konstrukcji, można przyjmować, że odpowiedni pożar obliczeniowy jest pożarem standardowym, jeżeli nie ustalono inaczej.

Spotykaną niekiedy w praktyce patologią jest również wywieranie przez inwestora presji na projektanta konstrukcji, aby bez przeprowadzenia jakiegokolwiek analizy przyjmował zamiast wartości podanych w kolumnie 2. wartości z kolumny 3. tabeli, ponieważ *najprawdopodobniej i tak nie będzie pożaru*. Postępowanie takie należy ocenić jako bezwzględnie niedopuszczalne. O ile w Polsce rzeczywista weryfikacja projektu i sposobu wykonania konstrukcji na działanie obciążeń powodowanych grawitacją występuje zawsze i nie budzi żadnych wątpliwości, to nie docenia się oddziaływań środowiskowych. Po tragedii, jaka miała miejsce w styczniu 2006 r. w Katowicach, w której życie straciło 65 osób, w Polsce nikt poważny nie pozwolił już sobie na zignorowanie oddziaływania pochodzącego od ciężaru śniegu. Niekiedy można nawet zaobserwować niezasadnione wymagania różnego rodzaju służb nakazujących odśnieżanie dachów „do zera”, co często może być przyczyną spowodowania istotnych uszkodzeń pokrycia połaci, lub nawet nakazywanie odśnieżania balkonów i tarasów. W Polsce nadal nie docenia się jednak innych oddziaływań środowiskowych, takich jak pożar, wiatr lub spływająca woda. Występujące ostatnio regularnie przypadki zerwania dachów przez wiatr często mają swoją przyczynę w tym, że dachy nie były odpowiednio zaprojektowane na działanie wiatru. Tragedia mająca miejsce w kwietniu 2009 r. w Kamieniu Pomorskim, w której życie straciły 23 osoby, była w ogólnym rozumieniu spowodowana tym, że budynek, w którym powstał pożar, nie spełniał drugiego i czwartego z wymagań, jakie powinny spełniać wszelkie obiekty budowlane [1].

W Polsce, na szczęście, jak dotychczas nie było dużej katastrofy spowodowanej przedwczesnym zawaleniem się konstrukcji narażonej na warunki pożarowe. Naszym zdaniem nie oznacza to jednak, że wszystkie polskie obiekty budowlane spełniają pierwsze wymaganie [1], aby w przypadku pożaru *nośność konstrukcji została zachowana przez określony czas*.

Bardzo dobrym, praktycznym rozwiązaniem projektowania dużych konstrukcji dachowych na warunki pożarowe, doskonale wpisującym się w nowoczesne trendy inżynierii bezpieczeństwa pożarowego, jest **przyjęcie do analizy oddziaływań termicznych spowodowanych pożarem**, ustalonych na podstawie przesłanek o podłożu fizycznym [11 – 14] (tzw. pożar rzeczywisty). Zagadnienie to będzie omówione szerzej w dalszej części artykułu. Problemy projektowania dachów na warunki pożarowe zostały również ostatnio poruszone w pracy [16], w której wyrażono m.in. pogląd, że np. kratownice stalowe, których zniszczenie następuje *do wewnątrz*, nie powodując zagrożenia bezpieczeństwa ludzi i ekip ratowniczo-gaśniczych, powinny być traktowane nie jako główna konstrukcja nośna obiektu, lecz jedynie jako konstrukcja dachu. Umożliwiłoby to racjonalne wykorzystanie wielu typowych konstrukcji hal.

Naszym zdaniem w pełni uzasadnione jest przyjęcie mało rygorystycznych wymagań dotyczących nośności ogniowej (np. kolumna 3. tabeli) do projektowania na warunki pożarowe głównych konstrukcji nośnych dachów w obiektach, z których ludzie mogą być bardzo szybko ewakuowani lub przebywać jedynie sporadycznie, pod warunkiem zagwarantowania, że konstrukcja narażona na warunki pożarowe nie zniszczy się w sposób zagrażający otoczeniu. Oczywiście wydaje się jednak, iż podjęcie takiej decyzji na podstawie arbitralnego wyboru kolumny 3. zamiast kolumny 2. z tabeli zawsze będzie przyczyną wielu kontrowersji. **Najlepszym rozwiązaniem byłoby zatem jak najszybsze zastąpie-**

nie tabeli zupełnie nową. Powinny być w niej jednoznacznie podane wymagania dotyczące odporności ogniowej poszczególnych elementów i rodzajów konstrukcji w taki sposób, aby projektanci konstrukcji nie mieli wątpliwości, jakie dane mają przyjąć do przeprowadzonych analiz, a rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych nie musieli arbitralnie rozstrzygać niepotrzebnych sporów między projektantem a inwestorem. Zasadne i zgodne z trendami rozwoju inżynierii bezpieczeństwa pożarowego byłoby również umieszczenie w nowej tabeli zapisów na temat rozpatrywania tzw. pożaru rzeczywistego, a nie tylko nominalnego (najczęściej standardowego). Przy okazji wyrażenia postulatu o zastąpienie tabeli nową, chcemy zasugerować wprowadzenie do niej odporności ogniowej 90 i 180 min, jak to zostało uczynione np. w Eurokodzie [12].

Podczas wykorzystywania tabeli pewne wątpliwości mogą powstać przy kwalifikowaniu elementów belkowych. Belki lub podciągi potraktowane jako główna konstrukcja nośna budynku muszą mieć znacznie większą odporność ogniową, niż gdyby potraktowano je jako elementy stropu. Wydaje się jednak, iż ten problem sprawia mniej kłopotów projektantom i dlatego jego znaczenie praktyczne jest mniej istotne.

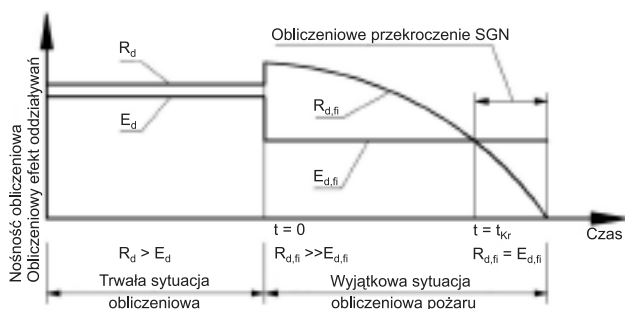
Projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe

Jak już wspomiano, projektant konstrukcji zazwyczaj rozpoczyna jej projektowanie z uwagi na warunki pożarowe od ustalenia podstawowych danych wejściowych. Należy do nich wymagana odporność ogniowa poszczególnych części konstrukcji lub jej elementów, najczęściej w dziedzinie nośności (R), rzadziej szczelności (E) lub izolacyjności (I). Informacje na temat wartości tych parametrów są pozyskiwane przez projektanta z tabeli. Z podanych do niej wyjaśnień [4] wynika, że np. nośność ogniowa powinna być określona *zgodnie z Polską Normą dotyczącą zasad ustalania klas odporności ogniowej elementów budynku*. Niestety trudno jest jednoznacznie wskazać taką normę. W świetle aktualnych wymagań możliwe są dwie zasadnicze drogi postępowania. Pierwszą jest **określenie odporności ogniowej elementów na podstawie badań**. Sposób ten jest niewątpliwie najbardziej wiarygodny, ale kosztowny, a ponadto jego zastosowanie jest możliwe tylko w odniesieniu do konstrukcji typowych, powtarzalnych, o niezbyt dużych wymiarach. Opisy normowe badań odporności ogniowej elementów budynku są szerokie (np. [17, 18]) i zagadnienia te nie będą omawiane w tym artykule.

W przypadku braku możliwości lub stwierdzenia niezasadności przeprowadzenia badań eksperymentalnych odporności ogniowej elementów projektowanej konstrukcji, dobrą alternatywą jest **prognozowanie tego parametru na podstawie zaleceń Eurokodów** [np. 12 – 14]. Są w nich podane zarówno proste sposoby szybkiego określenia nośności ogniowej elementów konstrukcyjnych, np. z tabel [12], a także uproszczone metody analityczne oraz podstawowe założenia metod zaawansowanych. Proste sposoby mogą być z powodzeniem stosowane do projektowania zwykłych obiektów, np. budynków mieszkalnych lub biurowych. Jednak podczas projektowania konstrukcji obiektów, w których występuje szczególne zagrożenie bezpieczeństwa ludzi lub obiektów o szczególnym znaczeniu gospodarczym czy obiektów nowatorskich, nietypowych, prognoza odporności ogniowej konstrukcji uzyskana z wykorzystaniem prostych metod może okazać się zbyt mało dokładna. Wtedy zasadne jest rozpatrywanie pożaru jako wyjątkowej sytuacji projektowej konstrukcji, w której sprawdzane są sta-

ny graniczne nośności. W praktyce są też stosowane metody polegające na łączeniu badań i analiz teoretycznych.

Niezależnie od tego, czy prowadzona jest analiza pojedynczego elementu, części konstrukcji, czy całego złożonego systemu konstrukcyjnego, **sprawdzenie nośności w warunkach pożarowych sprowadza się do porównania obliczeniowego efektu oddziaływań (sił wewnętrznych) z obliczeniową nośnością konstrukcji.** Na rysunku przedstawiono poglądowo omówione parametry w trwałej sytuacji projektowej i w wyjątkowej sytuacji projektowej pożaru [19, 20]. W poprawnie zaprojektowanej i wykonanej konstruk-



Porównanie obliczeniowego efektu oddziaływań i nośności obliczeniowej w trwałej sytuacji projektowej oraz w wyjątkowej sytuacji projektowej pożaru [19, 20]

cji, w trwałej sytuacji projektowej obliczeniowy efekt oddziaływań (E_d) powinien być nieznacznie mniejszy od nośności obliczeniowej (R_d). Po „przejściu” do wyjątkowej sytuacji projektowej pożaru, na skutek zastosowania innych wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa, jak również częściowej redukcji obciążeń zmiennych, obliczeniowy efekt oddziaływań się zmniejsza ($E_d > E_{d,fi}$), a obliczeniowa nośność konstrukcji zwiększa ($R_d < R_{d,fi}$). W początkowej fazie pożaru, przy czasie jego trwania równym zeru, w konstrukcji występuje zatem stosunkowo duży obliczeniowy zapas bezpieczeństwa. W miarę upływu czasu działania pożaru, na skutek wpływu wysokiej temperatury pogarszają się właściwości wytrzymałościowe materiałów. Powoduje to, że nośność obliczeniowa konstrukcji zmniejsza się i po pewnym krytycznym czasie trwania pożaru jest równa obliczeniowemu efektowi oddziaływań ($R_{d,fi} = E_{d,fi}$). Konstrukcja znajduje się wtedy w obliczeniowym stanie granicznym nośności i dalsze działanie pożaru jest równoznaczne z obliczeniowym zniszczeniem konstrukcji. Czas trwania pożaru potrzebny do osiągnięcia obliczeniowego stanu granicznego nośności konstrukcji może być utożsamiany z jej nośnością ogniową określoną obliczeniowo.

W celu sprawdzenia stanu granicznego nośności elementu konstrukcyjnego, wydzielonej części konstrukcji lub całej konstrukcji w wyjątkowej sytuacji projektowej pożaru, **konieczne jest przeprowadzenie pięciu etapów analizy:**

- 1) określenie scenariusza pożaru oraz ustalenie odpowiadającego mu modelu pożaru obliczeniowego;
- 2) określenie oddziaływań, występujących w wyjątkowej sytuacji projektowej pożaru, a następnie obliczenie wywołanych przez nie sił wewnętrznych ($E_{d,fi}$);
- 3) określenie pola temperatury w wybranych przekrojach elementów po założonym czasie trwania przyjętego modelu pożaru;
- 4) uwzględnienie pogorszenia właściwości wytrzymałościowych materiałów, spowodowanego wpływem wysokiej temperatury;
- 5) obliczenie nośności w sytuacji pożaru ($R_{d,fi}$), w wybranych, najbardziej wyťažonych miejscach (przekrojach) konstrukcji, a następnie sprawdzenie warunków stanu granicznego nośności.

Drugi, czwarty i piąty etap analizy, to domena projektanta konstrukcji i nie będą szczegółowo omawiane w artykule. Pierwszy etap analizy – określenie scenariusza pożaru oraz ustalenie odpowiadającego mu modelu pożaru obliczeniowego jest natomiast szerokim polem do działania dla pożarnika (rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych). Jak wiadomo *typowy, modelowy* pożar rozpoczyna się od fazy rozwoju, następnie dochodzi do rozgorzenia, po którym występuje faza pożaru rozwiniętego, przechodząca po pewnym czasie w fazę studzenia (zaniku).

W fazie rozwoju temperatura pożaru nie osiąga wysokich wartości, a jego oddziaływanie na konstrukcję budynku jest zazwyczaj mało istotne. Pożar może jednak wtedy stanowić duże zagrożenie bezpieczeństwa ludzi oraz spowodować straty materialne wyposażenia budynku. Prognozowanie przebiegu i rozwoju pożaru w fazie przed rozgorzeniem ma bardzo istotne znaczenie z punktu widzenia ewakuacji ludzi ze stref ogarniętych pożarem, wyeliminowania możliwości zatrucia ludzi produktami spalania, ostrzeżenia o powstaniu pożaru i samoczynnego uruchomienia się wszelkiego rodzaju urządzeń przeciwpożarowych oraz dostępności obiektu budowlanego lub jego pomieszczeń dla ekip ratowniczo-gaśniczych. Analiza tych zagadnień, ale także modelowanie przebiegu pożaru w fazie jego rozwoju jest domeną pożarników oraz inżynierów różnego rodzaju instalacji. Problemy te nie będą poruszane w artykule.

Z punktu widzenia oddziaływania warunków pożarowych na konstrukcję obiektu budowlanego bardzo istotną rolę odgrywa to, czy pożar ma miejsce w małym, czy w dużym pomieszczeniu. W przypadku **pożarów w małych pomieszczeniach**, gorące produkty spalania gromadzą się pod sufitem, a skumulowane tam ciepło może być przekazywane przez promieniowanie do przedmiotów znajdujących się niżej, przy podłodze. W niekorzystnym przypadku, w bardzo krótkim czasie, np. od ok. 2 do 5 min, temperatura w pomieszczeniu może osiągnąć 500 – 600 °C i może wystąpić rozgorzenie, po którym następuje dalszy gwałtowny wzrost temperatury. Wtedy zazwyczaj jest już za późno na troskę o bezpieczeństwo ludzi, a pożar zaczyna stanowić zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji budynku.

Temperatura środowiska rozwiniętego pożaru oraz czas jego trwania w małym pomieszczeniu zależą od obciążenia ogniowego pomieszczenia, jego geometrii, wentylacji oraz właściwości termicznych otaczających przegród. Rzeczywisty przebieg pożaru w małym pomieszczeniu jest jednak przeważnie łagodniejszy od określonego tzw. krzywą standardową [11]. Biorąc pod uwagę, iż model przyjmowany do obliczeń powinien odwzorowywać oddziaływanie pożaru na elementy konstrukcyjne „od strony bezpiecznej”, można stwierdzić, iż **krzywa standardowego przebiegu pożaru** [11] (a w pewnych przypadkach krzywa węglowodorowa) **jest modelem wystarczająco dobrym do projektowania konstrukcji małych pomieszczeń z uwagi na warunki pożarowe.**

W załączniku do normy [11] dotyczącym precyzyjnego prognozowania przebiegu pożaru w pomieszczeniu zastrzeżono, iż podane wzory są ważne, jeżeli wysokość pomieszczenia nie przekracza 4 m, a powierzchnia podłogi jest nie większa niż 500 m². Podane parametry można więc interpretować jako graniczne, opisujące małe pomieszczenie. Podaną wysokość należy jednak traktować orientacyjnie, a ograniczenie powierzchni podłogi pomieszczenia nie ma kluczowego znaczenia, ponieważ nawet w większym niewysokim pomieszczeniu jest możliwe wystąpienie *rozgorzenia lokalnego*. Naszym zdaniem odpowiedź na pytanie, jakie pomieszczenia, z punktu widzenia projektowania konstrukcji z uwagi na warunki

pożarowe, powinny być traktowane jako rzeczywiście małe, nie jest do końca jednoznaczna. Problem ten stwarza obszar do działania dla pożarników specjalizujących się w prognozowaniu przebiegu pożaru. Idąc dalej, można by nawet postawić **postulat wprowadzenia wymagań, aby rzeczoznawca do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych przekazywał projektantowi konstrukcji jednoznaczne informacje na temat, które pomieszczenia lub części projektowanego obiektu należy traktować jako małe.**

W przypadku **pożarów w dużych otwartych przestrzeniach** budynków użyteczności publicznej lub przemysłowych gorące produkty spalania nie gromadzą się pod sufitem, lecz mieszają z powietrzem znajdującym się wyżej. Sprawia to, że najczęściej temperatura panująca w otoczeniu elementów konstrukcyjnych znajdujących się wysoko nad źródłem ognia nie osiąga aż tak dużych wartości, jak w przypadku pożaru w małym pomieszczeniu. Projektowanie konstrukcji w dużych przestrzeniach z uwagi na warunki pożarowe stwarza zatem projektantom konstrukcji szczególnie dużo trudności, głównie dlatego, iż nie mają oni jednoznacznych informacji (danych) na temat oddziaływania pożaru, jakie powinni przyjąć do prowadzonych analiz. Nie tylko przeciętny, ale nawet doświadczony projektant (rzeczoznawca budowlany), najczęściej nie jest w stanie tego oszacować.

Wartość temperatury mogącej mieć rzeczywisty niekorzystny wpływ na elementy konstrukcyjne jest oczywiście zależna od materiałów, z których są one wykonane oraz od rodzaju (masywności) elementów. Można jednak zaryzykować uogólnienie, iż **niekorzystny wpływ temperatury pożarowej na bezpieczeństwo konstrukcji rozpoczyna się wtedy, kiedy osiąga ona wartość 300 – 400 °C.** Jest to zatem temperatura znacznie niższa od występującej w środowisku pożaru w pełni rozwiniętego.

Prognozowanie rzeczywistego przebiegu pożaru, a przede wszystkim temperatury panującej w otoczeniu poszczególnych elementów konstrukcyjnych dużego pomieszczenia, w którym wystąpił pożar, jest bardzo ważnym problemem, stwarzającym pole do działania dla pożarników specjalizujących się w prognozowaniu przebiegu pożaru. Tym bardziej że w Eurokodach (np. [11 – 14]) wprowadzono zalecenia rozpatrywania oddziaływań termicznych określonych na podstawie przesłanek o podłożu fizycznym (tzw. pożar rzeczywisty). Jednoznaczne podanie projektantowi konstrukcji informacji na temat, jakie może być oddziaływanie środowiska pożaru na poszczególne części konstrukcji lub jej elementy, niewątpliwie byłoby bardzo korzystne. Wówczas projektant konstrukcji:

- nie musiałby rozwiązywać problemów leżących poza obszarem inżynierii lądowej;
- miałby podstawy do racjonalnego, ekonomicznego zaprojektowania tych elementów konstrukcyjnych, które podczas pożaru nie będą mogły znaleźć się w warunkach tak surowych, jak np. określone pożarem standardowym;
- mógłby odpowiednio zaprojektować na wypadek pożaru te elementy konstrukcyjne, które mogą się znaleźć w warunkach szczególnie niekorzystnych.

W pewnym uproszczeniu można zatem postawić **postulat, aby projektant konstrukcji otrzymywał od rzeczoznawcy do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych dane na temat wartości temperatury panującej w otoczeniu poszczególnych elementów konstrukcyjnych oraz czasu, przez który może się utrzymywać ta temperatura.** Informacje takie mogłyby być wykorzystane w trzecim z wymienionych etapów projektowania konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe – określeniu pola temperatury w wy-

branych przekrojach elementów konstrukcyjnych lub fragmentach konstrukcji. Etap ten wymaga jednak przeprowadzenia obliczeń nieustalonego przepływu ciepła np. w przekroju elementu. Jest to zadanie pracochłonne, a ponadto nietypowe z punktu widzenia praktyki projektowania konstrukcji.

Obliczenia nieustalonego przepływu ciepła można przeprowadzić za pomocą jednego z zaawansowanych programów Metody Elementów Skończonych (np. ABAQUS, LS DYNA, ANSYS). Określenie przewodzenia ciepła w materiale wydaje się zadaniem niezbyt skomplikowanym, a dane potrzebne do obliczeń, dotyczące właściwości termicznych materiałów można zaczerpnąć z Eurokodów, np. [12 – 14]. W praktyce **najwięcej problemów może sprawiać określenie strumienia ciepła przenikającego do wnętrza elementu przez jego powierzchnię.** Podstawowe dane służące do określenia ilości ciepła przekazywanego przez konwekcję i promieniowanie można zaczerpnąć z [11]. O ile konwekcyjny strumień ciepła wydaje się być w miarę prosty do określenia, to jednak określenie strumienia radiacyjnego na podstawie [11] może budzić wątpliwości, a wiadomo przecież, że w temperaturze pożarowej większość ciepła jest przekazywana przez promieniowanie.

Biorąc pod uwagę poruszone wyżej problemy, z punktu widzenia projektanta konstrukcji najbardziej korzystnym rozwiązaniem byłoby, aby jako dane do projektowania mógł on uzyskać np.:

- ekwiwalentny czas oddziaływania pożaru standardowego na poszczególne elementy lub części konstrukcji, lub w bardziej skomplikowanych przypadkach;
- rozkład w czasie temperatury panującej na powierzchni elementów, ale rozumianej jako warunek brzegowy, adekwatny do przeprowadzenia obliczeń nieustalonego przepływu ciepła w materiale.

Podsumowując, należy stwierdzić, iż **podczas projektowania konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe, w pierwszym i trzecim etapie analizy, projektant konstrukcji powinien otrzymać większe niż obecnie wsparcie od pożarnika.**

Stan obecny i przyszłość

Obecnie zarówno rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych, jak i inżynierowie budownictwa nie mają wystarczająco dobrego przygotowania merytorycznego w obszarze specjalności, z którą przychodzi im współpracować podczas projektowania obiektów budowlanych z uwagi na warunki pożarowe. Genezy tej sytuacji należy upatrywać w zaniedbaniach z przeszłości. W latach ubiegłych, poza nielicznymi wyjątkami, pożarnicy w obszarze budownictwa koncentrowali się jedynie na spełnieniu wymagań przepisów. Inżynierowie budownictwa, również poza nielicznymi wyjątkami, nie mieli natomiast nawet podstawowej wiedzy dotyczącej rozwoju i przebiegu pożaru oraz jego wpływu na konstrukcję. Należy jednak podkreślić, iż w ostatnich latach kształcenie inżynierów pożarnictwa w dziedzinie budownictwa i konstrukcji budowlanych poprawiło się. Z drugiej strony nie można jednak wymagać, aby inżynier pożarnictwa, oprócz posiadanej zasadniczej wiedzy, miał również szerokie podstawy do projektowania budowlanego. Skłania to do rozważenia postulatu wprowadzenia oddzielnej specjalności kształcenia, np. Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego. Jej absolwent, np. kosztem znacznego ograniczenia informacji z zakresu działań ratowniczo-gaśniczych, mógłby uzyskać wystarczająco szeroką wiedzę na temat projektowania budowlanego.

Można prognozować, iż wzrost troski o wyeliminowanie wszelkich zagrożeń powodowanych pożarem, wzrost *świadomości budowlanej* pożarników i świadomości niebezpieczeństw

niesionych przez pożar wśród inżynierów budownictwa oraz wzrastające wymagania stawiane współcześnie wznoszonym obiektom budowlanym, a także rosnące zagrożenia tych obiektów (np. terroryzm lub montowane w budynkach coraz bardziej skomplikowane instalacje i urządzenia) spowodują, że projektowanie konstrukcji budowlanych z uwagi na warunki pożarowe będzie nabierać coraz większego znaczenia. Wymusi to poszerzenie obszaru współpracy rzeczoznawcy do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych z projektantem konstrukcji oraz pogłębienie wiedzy inżynierów budownictwa z dziedziny inżynierii bezpieczeństwa pożarowego.

W Polsce, formalnie, w dziedzinie nauk technicznych nie istnieje dyscyplina naukowa Inżynieria Bezpieczeństwa Pożarowego. Funkcjonuje ona natomiast od wielu lat w krajach wysoko rozwiniętych. Wydaje się, iż nadchodzące zmiany wymuszą utworzenie nowej dyscypliny naukowej oraz specjalności inżynierskiej. Zwrócenie uwagi inżynierów budownictwa na problemy bezpieczeństwa pożarowego zostało w ostatnich latach spowodowane przez wprowadzenie Eurokodów. Należy jednak zauważyć, iż w programach kształcenia inżynierów budownictwa problemy bezpieczeństwa pożarowego obiektów budowlanych nadal nie zajmują należnego im miejsca. Sytuację tę należy jak najszybciej zmienić.

Podsumowanie

Obecnie w Polsce podczas projektowania obiektów budowlanych z uwagi na warunki pożarowe rzeczoznawca do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych powinien zagwarantować, aby projektowany obiekt spełnił ostatnie cztery z pięciu wymagań, zgodnie z którymi muszą być zaprojektowane i wykonane obiekty budowlane. Spełnienie pierwszego wymagania, aby *nośność konstrukcji została zachowana przez określony czas*, spoczywa jednak na projektancie konstrukcji. Obszar zaleźniania się działań przedstawicieli obu specjalności wydaje się być jednak zbyt wąski.

Można prognozować, iż wzrost troski o wyeliminowanie wszelkich zagrożeń powodowanych pożarem oraz stale wzrastające wymagania stawiane współcześnie wznoszonym obiektom budowlanym wymuszają już niedługo poszerzenie obszaru powiązań przedstawicieli inżynierii pożarnictwa i inżynierii lądowej. Korzystne byłoby utworzenie nowej dyscypliny naukowej Inżynieria Bezpieczeństwa Pożarowego oraz takiej samej specjalności inżynierskiej. Jej reprezentant powinien mieć wystarczająco szeroką wiedzę w obszarze inżynierii pożarnictwa i inżynierii lądowej. W programach kształcenia na wydziałach budowlanych zdecydowanie więcej miejsca należy poświęcić problemom ochrony przeciwpożarowej.

Jak najszybciej należałoby opracować nowe zalecenia podane w Warunkach technicznych [4], na podstawie których przyjmuje się do projektowania wymagane klasy odporności ogniowej elementów lub części konstrukcji budowlanych (tabela). Przy okazji warto byłoby również wprowadzić zapisy (zgodne z zalecaniami Eurokodów) na temat rozpatrywania tzw. pożaru rzeczywistego, a nie tylko nominalnego (najczęściej standardowego) oraz „pośrednie” wartości odporności ogniowej, a mianowicie 90 i 180 min.

Należy się spodziewać, iż w przyszłości coraz większej wagi będzie nabierać projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe bazujące na rozpatrywaniu pożaru jako wyjątkowej sytuacji projektowej. Spowoduje to konieczność poszerzenia obszaru powiązań praktycznej współpracy rzeczoznawców ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych z projektantami konstrukcji. Z praktycz-

nego punktu widzenia projektanta konstrukcji najlepszym rozwiązaniem byłoby, aby do prowadzonych analiz otrzymywał on od rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych jednoznaczne informacje na temat:

- w jakich przypadkach konstrukcję należy zaprojektować na działanie pożaru nominalnego (np. standardowego); wydaje się to jednoznaczne z określeniem, które pomieszczenia należy traktować jako małe;

- jak postępować w przypadku projektowania konstrukcji znajdujących się nad dużymi otwartymi przestrzeniami; na podstawie analizy pożaru, przeprowadzonej przez inżyniera pożarnictwa, na bazie przesłanek fizycznych (tzw. pożar rzeczywisty), projektant konstrukcji powinien otrzymać jednoznaczne dane wystarczające do w miarę prostego określenia temperatury panującej w wybranych przekrojach elementów konstrukcyjnych lub miejscach konstrukcji.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z 9 marca 2011 r., ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG.
- [2] Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich z 21 grudnia 1988 r. w sprawie zbliżenia przepisów ustawowych, wykonawczych i administracyjnych państw członkowskich odnoszących się do wyrobów budowlanych (89/106/EWG).
- [3] Ustawa Prawo budowlane z 7 lipca 1994 r. wraz z późniejszymi zmianami.
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (Dz.U. nr 75, poz. 690) z późn. zm.
- [5] Ustawa o ochronie przeciwpożarowej z 24 sierpnia 1991 r. (Tekst ujednolicony; Dz.U. 2009 nr 178, poz. 1380).
- [6] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 25 kwietnia 2011 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz.U. 2012 poz. 462) z późn. zmianami.
- [7] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 16 czerwca 2003 r. w sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej (Dz.U. nr 121, poz. 1137) z późn. zmianami.
- [8] Instrukcja ITB 221/79: Wytyczne oceny odporności ogniowej elementów konstrukcji budowlanych.
- [9] Instrukcja ITB 291/909: Wytyczne projektowania konstrukcji stalowych z uwagi na odporność ogniową.
- [10] PN-EN 1990:2004; Eurokod. Podstawy Projektowania konstrukcji.
- [11] PN-EN 1991-1-2:2006; Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.
- [12] PN-EN 1992-1-2:2008; Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
- [13] PN-EN 1993-1-2:2008; Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-2: Reguły ogólne – Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.
- [14] PN-EN 1995-1-2:2008; Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych – Część 1-2: Postanowienia ogólne – Projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.
- [15] Projektowanie elementów konstrukcji żelbetowych i murowych z uwagi na odporność ogniową, Instrukcja ITB 409, Warszawa 2005.
- [16] Kosiorek M.: Analiza wybranych wymagań dotyczących bezpieczeństwa pożarowego. Materiały Budowlane nr 7/2014, str. 2-3.
- [17] PN-EN 1363-1: 2001: Badania odporności ogniowej. Część 1: Wymagania ogólne.
- [18] PN-EN 1365-2: 2002: Badania odporności ogniowej elementów nośnych. Część 2: Stropy i dachy.
- [19] Kowalski R.: Obliczeniowa ocena nośności zginanych elementów żelbetowych w sytuacji pożaru. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Prace naukowe. Budownictwo, zeszyt 149, 2008.
- [20] Kowalski R.: Bezpieczeństwo pożarowe konstrukcji żelbetowych w nowym ujęciu obliczeniowym. Inżynieria i Budownictwo nr 12/2006 str. 677 – 682.