© by Wydawnictwo CNBOP-PIB

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.9

dr hab. inż. **Mariusz Maślak**, prof. PK[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 17.01.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 23.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Miarodajna gęstość obciążenia ogniowego strefy pożarowej – wartość nominalna z pojedynczej inwentaryzacji czy raczej statystycznie uzasadniona wartość charakterystyczna

Authoritative Fire Load Density Value at a Building Compartment – Nominal Value Taken From a Single Inventory or, Alternatively, a Characteristic Value Statistically Deduced

Достоверное значение плотности пожарной нагрузки в пожарной зоне – номинальное значение с одиночной инвентаризации или скорее статистически обоснованное характеристическое значение

ABSTRAKT

Cel: Przedstawiono dwa alternatywne podejścia do specyfikacji miarodajnej wartości gęstości obciążenia ogniowego strefy pożarowej. Gęstość ta zależy od nagromadzonych w rozpatrywanej strefie materiałów palnych i determinuje intensywność pożaru, który w tej strefie może rozgorzeć. Za miarodajną uznaje się wartość reprezentatywną dla założonego charakteru użytkowania strefy. Decyduje ona o prognozie poziomu bezpieczeństwa w pożarze, w tym w szczególności o ryzyku zniszczenia mieszczącej się w badanej strefie konstrukcji nośnej.
Metody: Oszacowanie miarodajnej gęstości obciążenia ogniowego odniesionej do konkretnej strefy pożarowej będzie wiarygodne tylko wtedy, jeśli dokona się go na podstawie specjalistycznej i zindywidualizowanej inwentaryzacji zgromadzonych w tej strefie materiałów palnych. Miarą poszukiwanej wartości będzie w takim przypadku wartość nominalna uzyskana bezpośrednio z pomiarów. Wartość tę trzeba jednak powiązać jednoznacznie nie tylko z samą badaną strefą, ale i z chwilą przeprowadzenia obserwacji. Z tego względu bardziej uniwersalną miarą wydaje się być wartość charakterystyczna, wyliczona jako odpowiedni kwantyl rozkładu prawdopodobieństwa gęstości traktowanej jako zmienna losowa. Tego typu postępowanie uwzględnia zmienność statystyczną wartości gęstości zinwentaryzowanych w strefach o podobnym sposobie użytkowania. Uzyskaną wartość interpretuje się zatem jako miarodajną dla strefy pożarowej określonego typu, nie zaś jako tę kojarzoną ze strefą badaną w konkretnym budynku.
Wyniki: Omówiono metody prowadzenia inwentaryzacji, sposób interpretacji uzyskanych wyników oraz ograniczenia wpływające na malejącą z czasem wiarygodność oszacowania wyznaczonego w sposób bezpośredni. Rozważania te skonfrontowano z procedurą obliczeń probabilistycznych, prowadzącą do specyfikacji statystycznie uzasadnionej wartości charakterystycznej losowej gęstości, reprezentatywnej dla stref pożarowych o podobnym sposobie użytkowania.
Wnioski: Tradycyjny sposób postępowania oparty na zindywidualizowanej inwentaryzacji pojedynczej strefy pożarowej wydaje się żmudny i mało praktyczny. Każda zmiana sposobu użytkowania strefy, a nawet samo tylko uzupełnienie zgromadzonych w niej materiałów palnych, prowadzi do zakwestionowania wiarygodności wyliczonego wcześniej oszacowania. Z tego względu w pracy rekomenduje się zastosowanie podejścia opartego na obliczeniach probabilistycznych, bardziej uniwersalnego i dającego wyniki o zweryfikowanej wiarygodności.

Słowa kluczowe: pożar, obciążenie ogniowe, gęstość, inwentaryzacja, wartość charakterystyczna, kwantyl, prawdopodobieństwo, ryzyko
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Aim: To identify two alternative approaches for the specification of a reliable value, which describes fire load density in building compartments. Such density depends on the accumulation of combustible materials in an area under consideration and determines the intensity of a fire, which may flare up at the facility. A reliable value is recognised as one representing the accepted nature of utilization for given premises. It determines the estimated level of safety during a fire incident, specifically in connection with the risk of destruction of load bearing structures.
Methods: Estimation of an authoritative fire load density measure applicable to a given facility is credible only if it is carried out on the basis of a specialist and individual inventory of flammable materials accumulated within. The magnitude of the sought value will, in such a case, be the nominal value obtained from direct measurements. However, this value must be unambiguously connected, not only with the facility under examination, but also linked to the time of the performed observation. For this reason a more universal measure may be a characteristic value

[1] Politechnika Krakowska / Cracow University of Technology; mmaslak@pk.edu.pl;

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.9

calculated as an appropriate quantile of a probability distribution for random fire load density. Such an approach takes into account statistical changes in density values inventoried in facilities with similar utilisation. Identified values are interpreted as authoritative for a specified fire zone type and not as one associated with a zone studied in the specific building.
Results: Examined methods used for the conduct of inventory, interpretation approach for derived results and limitations, which over time decrease the credibility of estimates determined by direct intervention. These reflections were confronted with probabilistic calculation methods, which lead to statistical specification of characteristic values of random fire load density, which were representative for facilities with a similar utilisation pattern.
Conclusions: The conventional procedure, based on an individualized inventory for discrete premises appears arduous and impractical. Each change in the use of such a facility or a simple addition of combustible materials stored inside the premises, leads to questions about the credibility of previously calculated estimates. For this reason, the study recommends an application of a more universal approach, based on probabilistic calculations, which provides credible results.

Keywords: fire, fire load, density, inventory, characteristic value, quantile, probability, risk
Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Представлены два альтернативных подхода для спецификации/определения достоверного значения плотности пожарной нагрузки в пожарной зоне. Эта нагрузка зависит от накопления в данной зоне горючих материалов и влияет на интенсивность пожара, который в этой зоне может появиться. Достоверным значением называют репрезентативное значение для конкретного способа использования данной зоны. Оно обусловливает результат прогноза уровня безопасности во время пожара, в частности, риск разрушения находящейся в этой зоне несущей конструкции.
Методы: Оценка достоверного значения пожарной нагрузки относительно конкретной пожарной зоны возможна только в случае, если она проведена на основе специализированной и индивидуальной инвентаризации накопленных в данной зоне горючих материалов. Значение, которое необходимо найти в этом случае будет номинальным, полученным непосредственно из измерений. Это значение, однако, нужно однозначно связывать не только с самой исследуемой зоной, но и с моментом проведения наблюдений. Поэтому, более универсальной мерой представляется характеристическое значение, рассчитанное как соответствующий квантиль распределения вероятности нагрузки, рассматриваемой как случайная величина. Этот тип учитывает статистическую изменчивость значений нагрузки в инвентаризированных зонах при аналогичном способе использования. Полученное значение считается как достоверное для определенного типа пожарной зоны, а не как связнное с зоной, исследуемой в конкретном здании.
Результаты: Рассмотрены методы проведения инвентаризации, способ интерпретации полученных результатов и ограничения, которые влияют на снижающуюся вероятность оценки, проведенной прямым путем. Эти соображения были сопоставлены с процедурой вероятностных расчетов, благодаря которой возможно получить статически обоснованое характеристическое значение случайной нагрузки, свойтвенное для пожарных зон аналогичного способа использования.
Выводы: Традиционный способ поведения, основанный на индивидуальной инвентаризации одной пожарной зоны, представляется трудным и не практичным. Любое изменение способа использования зоны или даже только увеличение в ней количества горючих материалов ставит под сомнение достоверность расчетов ранней оценки. По этой причине в статье рекомендуется использовать подход, основанный на вероятностных расчетах, который является более универсальным и дает достоверные результаты.

Ключевые слова: пожар, пожарная нагрузка, плотность, инвентаризация, характеристическое значение, квантиль, вероятность, риск
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wprowadzenie

Obciążenie ogniowe strefy pożarowej Q[MJ] jest zwykle interpretowane jako ilościowa miara energii, która przy zgromadzonych w tej strefie materiałach palnych, stanowiących potencjalne paliwo, uwolni się w czasie trwania antycypowanego dla niej pożaru. Wraz ze współczynnikiem otworów O [$m^{0,5}$], charakteryzującym geometrię rozpatrywanej strefy i kwantyfikującym możliwość wymiany gazów spalinowych z otoczeniem, czyli w efekcie jej wentylacji, decyduje zatem o przebiegu takiego miarodajnego pożaru, a ściślej o szybkości uwalniania ciepła *HRR* (*heat release rate*), co bezpośrednio przekłada się na efektywną intensywność spalania. W praktyce projektowej dokładna specyfikacja całkowitej wartości tej energii może posłużyć do oszacowania zmieniającego się podczas pożaru poziomu bezpieczeństwa użytkowników danej strefy jedynie po jednoznacznym określeniu sposobu rozmieszczenia w niej materiałów palnych. Należy sprecyzować, czy są one rozlokowane w sposób równomierny na całej powierzchni, czy raczej pogrupowane, generując przy tym lokalne maksima znacznie przewyższające uśredniony poziom odniesienia. Z tej przyczyny wartość obciążenia ogniowego lepiej wyrazić w odniesieniu do powierzchni podłogi (*floor*) analizowanej strefy pożarowej A_f[m^2], określając gęstość obciążenia ogniowego q_f[MJ/m^2]. Zgodnie z powyższym:

$$q_f = \frac{Q}{A_f} \tag{1}$$

Gęstość q_f trzeba w sensie ilościowym odróżniać od gęstości q_t[MJ/m^2] odniesionej do powierzchni wszystkich przegród (*total*) ograniczających strefę pożarową A_t[m^2] (to znaczy zarówno podłogi, jak i stropu i ścian). Obie wielkości w literaturze przedmiotu stosowane są wymiennie, niemniej jednak zawsze zachodzi relacja:

$$q_f = q_t\left(\frac{A_t}{A_f}\right) \text{ przy czym } q_t = \frac{Q}{A_t} = \frac{Q}{2A_f + HC} \tag{2}$$

gdzie H oraz C są odpowiednio wysokością i obwodem strefy pożarowej.

Istnieją co najmniej dwa jakościowo różne podejścia do specyfikacji miarodajnej dla analizy bezpieczeństwa w pożarze wartości gęstości obciążenia ogniowego q_f (a także odpowiadającej jej gęstości q_t). Pierwsze opiera się na przeprowadzeniu szczegółowej inwentaryzacji przypisanej do analizowanej strefy i wyznaczeniu wartości nominalnej q_{fn}, drugie natomiast na wykorzystaniu statystycznie uzasadnionej wartości charakterystycznej q_{fk} zidentyfikowanej dla założonego rozkładu prawdopodobieństwa gęstości q_f potraktowanej jako zmienna losowa i oszacowanej w odniesieniu do jednorodnej i reprezentatywnej populacji stref pożarowych o podobnym sposobie użytkowania. Prezentacja i porównanie obu podejść stanowi podstawowy cel artykułu.

2. Specyfikacja wartości nominalnej gęstości obciążenia ogniowego na podstawie szczegółowej inwentaryzacji strefy pożarowej

Zgodnie z normą PN-B-02852:2001 [1], a także z załącznikiem E do normy PN-EN 1991-1-2 [2], w celu oszacowania wartości obciążenia ogniowego Q należy zinwentaryzować zgromadzone w rozpatrywanym pomieszczeniu (ściślej – w strefie pożarowej) materiały palne, dla każdego z nich podać masę m_i[kg] oraz przypisać im efektywne ciepło spalania $H_{u,eff,i}$[MJ/kg] (*effective calorific value*). W konsekwencji, przy n uwzględnianych materiałach, otrzymuje się:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} m_i H_{u,eff,i} \ \left[\mathrm{MJ}\right] \tag{3}$$

Przymiotnik „efektywne" wiąże się z nieidealnymi warunkami spalania w pożarze, gdy zachodzi redukcja $H_{u,eff,i} = \chi_i H_{u,i}$, przy czym $\chi i \leqslant 1$. Warunki idealne panują bowiem jedynie w laboratoryjnym badaniu kalorymetrycznym, w którym mierzy się ciepło spalania netto $H_{u,i}$[MJ/kg] (*net calorific value*). W praktyce inżynierskiej współczynnik χ_i jest z reguły zaniedbywany w obliczeniach (patrz na przykład [2]), co można uzasadnić trudnością w jednoznacznym ustaleniu jego wartości, niemniej jednak tego typu uproszczenie prowadzi do niepotrzebnego przeszacowania wyznaczonej z zależności (3) wartości Q, choć trzeba przyznać, że jest to ustalenie po stronie bezpiecznej. Poza tym należy podkreślić, że oszacowania energii Q dokonuje się przy założeniu, że uwzględniane w bilansie materiały są idealnie suche. Jeżeli tak nie jest, a wilgotność i-tego materiału liczona w procentach jego suchej masy wynosi u, to trzeba dokonać korekty zgodnie z formułą:

$$H_{u,i} = H_{u0,i}\left(1 - 0{,}01u\right) - 0{,}025u \tag{4}$$

gdzie wartość $H_{u0,i}$ dotyczy materiału idealnie suchego.

Miarą kwantyfikacji wielkości Q jest obecnie jednostka energii specyfikowana w układzie SI, czyli MJ. W starszych opracowaniach można spotkać się z jednostkami typu kaloria, a nawet z kilogramami suchego, znormalizowanego drewna. Przeliczenie tak skalibrowanych wartości na takie, które są wyrażone w jednostkach obowiązujących obecnie, generuje wiele niejednoznaczności, zwłaszcza przy dużej różnorodności uwzględnianych w analizie materiałów. Szczegółowe omówienie tych kwestii wymaga jednak odrębnego opracowania. Interesującym wprowadzeniem w to zagadnienie zdaniem autora są prace [3] i [4].

Do podstawowych sposobów zbierania danych wykorzystywanych przy inwentaryzacji rozpatrywanej strefy pożarowej należą:

- metoda bezpośredniego ważenia (*direct weighing method*) – zgodnie z którą masy zidentyfikowanych materiałów palnych ustala się poprzez proste zważenie, a następnie przypisuje im odpowiednie wartości ciepła spalania,
- metoda inwentaryzacji pośredniej (*inventory method*) – w tej metodzie poszukiwane wartości masy określa się, dokonując pomiaru objętości rozmaitych przedmiotów zawierających materiały palne, a następnie dobiera się dla nich miarodajną gęstość, co pozwala na oszacowanie masy, a w dalszej kolejności następuje przypisanie poszczególnych wartości ciepła spalania,
- metoda kwestionariusza (*questionnaire method*) – zidentyfikowane materiały palne oraz wartość ich masy ustala się na podstawie danych zestawionych w kwestionariuszu dostarczonym do specjalisty przez bezpośredniego użytkownika pomieszczenia,
- metoda analizy fotograficznej (*real estate website review*) – szacowanie rodzajów materiałów palnych oraz ich masy odbywa się na podstawie dostarczonych zdjęć lub filmów ze strefy pożarowej.

Ze względu na odpowiednią wiarygodność przepisy normy [5] dopuszczają do stosowania jedynie te metody gromadzenia danych, w których wymagany jest bezpośredni udział specjalisty w przeprowadzaniu pomiaru. Należy zwrócić uwagę, że w przypadku metody kwestionariusza, ekspert analizuje dane zebrane przez osoby postronne, niekoniecznie kompetentne w ocenie. Z drugiej strony zastosowanie filmów i/lub fotografii ma ze swej natury również bardzo ograniczoną wiarygodność. Najlepszy nawet film pokazuje bowiem jedynie wycinek rzeczywistości. Tym bardziej trudno o miarodajną ocenę masy czy objętości badanego przedmiotu. Obie metody zalecane przez normę [5], to znaczy zarówno metoda ważenia, jak i metoda inwentaryzacji pośredniej, mają wiele ograniczeń. Po pierwsze w praktyce trudno zważyć wiele zgromadzonych w badanej strefie materiałów palnych. W szczególności dotyczy to niektórych elementów wbudowanych w konstrukcję nośną. Z drugiej strony w przypadku palnych obiektów ruchomych znacznie łatwiej oszacować masę niż objętość. Jak postąpić na przykład z krzesłem, w którym niektóre części wykonano z metalu, a inne z tworzywa sztucznego? Uwzględniając wszystkie przywołane powyżej ograniczenia, przyjmuje się, że optymalnym sposobem postępowania jest metoda łącząca inwentaryzację pośrednią z ważeniem.

Opierając się na rekomendacjach normy [5], przy inwentaryzowaniu realnego obciążenia ogniowego charakteryzującego rozpatrywaną strefę pożarową dokonuje się rozróżnienia na:

- gęstość obciążenia ogniowego stanowiącego ruchomą zawartość strefy pożarowej (*contents fire load*, *movable fire load*) – do tego obciążenia zalicza się na przykład meble, książki, dywany, zasłony;

Tabela 1. Wyniki estymacji parametrów próby statystycznej otrzymanej z analizy gęstości obciążenia ogniowego pomieszczeń biurowych (według [7])
Table 1. Results of estimated parameters characterizing the statistical sample obtained from an analysis of random fire load density in offices (according to [7])

	Metoda inwentaryzacji pośredniej / Indirect inventory method	**Metoda ważenia / Weighing method**	**Metoda kombinowana łącząca inwentaryzację z ważeniem / Merged method combining inventory and weighing**
Wartość średnia z próby / sample mean $\overline{q_f}\ \left[\mathrm{MJ/m^2}\right]$	852	530	557
Odchylenie standardowe z próby / sample standard deviation $\sigma_{qf}\ \left[\mathrm{MJ/m^2}\right]$	484	257	286

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.9

- gęstość obciążenia ogniowego wbudowanego w strefę pożarową (*fixed fire load*) – dot. palnych elementów konstrukcyjnych oraz na przykład materiałów wykorzystanych do wykończenia podłóg, ścian, sufitów itp.

Jak zaznaczono powyżej uzyskana z inwentaryzacji wartość gęstości obciążenia ogniowego rozumiana jest jako wartość nominalna q_{fn}, specyficzna dla analizowanej strefy pożarowej.

3. Idea statystycznego szacowania wartości miarodajnego kwantyla losowej gęstości obciążenia ogniowego strefy pożarowej

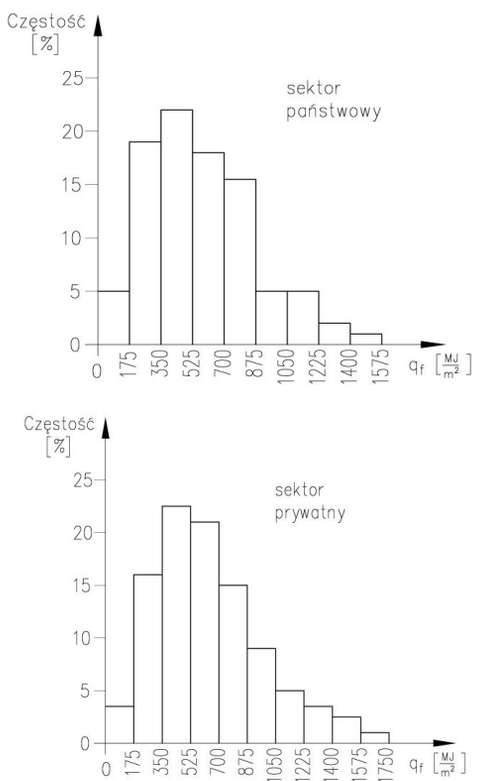
Praktyczne zastosowanie zależności (3) w przypadku analizy stanu bezpieczeństwa w pożarze odniesionej do konkretnego budynku, ze strefami pożarowymi o zróżnicowanym charakterze, jest niewątpliwie żmudne, a poza tym mało przydatne z uwagi na możliwe zmiany sposobu użytkowania poszczególnych pomieszczeń, a nawet na wysoce prawdopodobną wymianę pojedynczych mebli czy palnych elementów wystroju wnętrz w trakcie użytkowania rozpatrywanego obiektu. Z tego względu postuluje się na tym polu zamianę klasycznego podejścia deterministycznego na rozważania o charakterze analizy statystycznej z elementami zarządzania ryzykiem (*risk management*). Zmiana tego typu sprowadza się do zastąpienia wartości q_{fn}, specyfikowanej indywidualnie dla każdego rozpatrywanego przypadku, odniesioną do tej wielkości wartością charakterystyczną q_{fk}, wyznaczaną jako statystycznie uzasadniony kwantyl odpowiedniego rozkładu prawdopodobieństwa. W tym celu dokonuje się pogrupowania stref pożarowych stanowiących przedmiot analizy na strefy o podobnym charakterze, w szczególności o tej samej funkcji lub o analogicznym sposobie użytkowania, a następnie każdej z tak wyodrębnionych grup przypisuje odpowiednie wartości q_{fk}. Wyznaczenie wartości poszukiwanego kwantyla wymaga określenia typu rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej, którą jest gęstość obciążenia ogniowego q_f, wartości centralnej tego rozkładu oraz co najmniej jednego parametru rozrzutu. Pierwszym krokiem do umożliwienia przeprowadzenia takiej analizy musi być jednak zgromadzenie jednorodnej i wiarygodnej populacji danych odniesionych do każdej z wyodrębnionych grup. Okazuje się, że sposób ich zbierania ma zasadniczy wpływ na uzyskane wyniki [6]. Różnice ilościowe uzyskane z badania tej samej grupy stref pożarowych przy zastosowaniu każdej z wymienionych wcześniej metod są często bardzo znaczące. Przykładem jest na przykład porównanie wyników otrzymanych różnymi metodami dla tych samych pomieszczeń biurowych, zaczerpnięte z raportu [7] i pokazane w tabeli 1. Liczebność próby statystycznej wynosiła w tym przypadku $N = 103$. Na takie zróżnicowanie wyników po raz pierwszy zwrócił uwagę C. Culver [8].

4. Czynniki różnicujące rozkład próby statystycznej w ramach jednorodnej grupy badawczej

Wybrana do szacowania miarodajnej wartości gęstości obciążenia ogniowego technika statystycznej analizy danych generuje konieczność specyfikacji jednorodnych grup badawczych, to znaczy zbiorów grupujących poszczególne rodzaje stref pożarowych, o podobnym przeznaczeniu i sposobie użytkowania. Tego rodzaju podział musi być dokonywany bardzo starannie, ponieważ ma kluczowe znaczenie w finalnej ocenie bezpieczeństwa w pożarze. W literaturze przedmiotu można odszukać wiele rekomendowanych podziałów, często znacznie różniących się między sobą. Spośród nich trzeba jednak wyróżnić dwa, które znalazły się w aktach normatywnych powszechnie stosowanych w praktyce inżynierskiej. W aneksie E normy PN-EN 1991-1-2 [2] wyróżniono na tym polu: mieszkania, sale szpitalne, biblioteki, biura, klasy szkolne, sklepy i centra handlowe, kina i teatry oraz obiekty służące obsłudze komunikacyjnej (na przykład dworce kolejowe i autobusowe). Z drugiej strony w normie NFPA 557 [5] wydzielono:

- biura i pomieszczenia biznesowe (*office/business occupancies*),
- pomieszczenia kultu religijnego (*religious properties*),
- pomieszczenia związane z konsumpcją (*eating/drinking establishments*),
- pomieszczenia przeznaczone do edukacji (*educational buildings*),
- pomieszczenia do opieki nad chorymi (*facilities that care for the sick*),
- pomieszczenia przeznaczone do handlu (*stores/mercantile buildings*),
- pomieszczenia typu hotelowego (*places where people sleep other than homes*),
- inne obiekty użyteczności publicznej (*other public assembly buildings*).

Jak widać, w drugim przypadku nie wyróżnia się mieszkań jako osobnej grupy badawczej, co prawdopodobnie wynika ze specyfiki amerykańskich przepisów pożarowych.



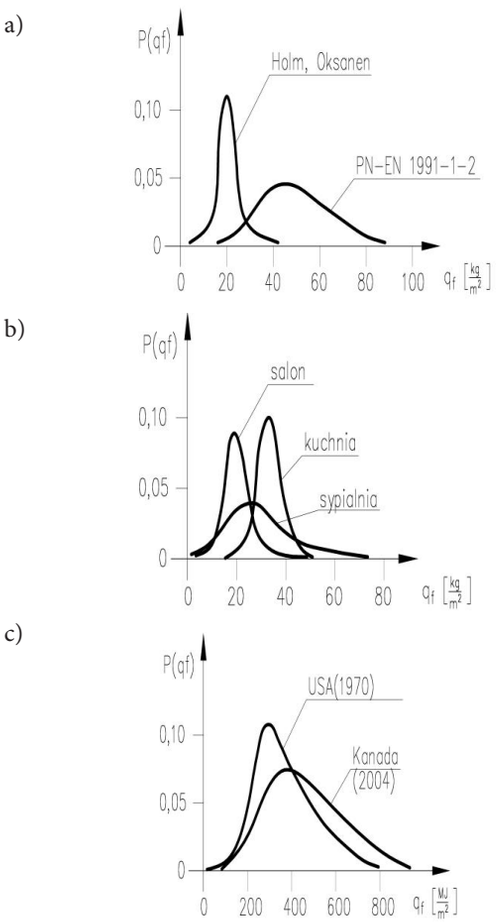
Ryc. 1. Histogramy losowej gęstości obciążenia ogniowego pomierzonej w pomieszczeniach biurowych, z lewej – w sektorze państwowym, z prawej – w sektorze prywatnym (według [8])

Fig. 1. Histograms of random fire load density measured in offices, left – in the public sector, right – in the private sector (according to [8])

Odpowiedniego uogólnienia i pogrupowania wymaga analiza rozpatrywanych materiałów palnych. Na ogół przypisuje się je do trzech (lub czterech) podstawowych grup, takich jak: papier oraz drewno (często łączone w jedną grupę jako materiały wytworzone na bazie celulozy), plastiki i tekstylia. Przytoczone powyżej podziały z oczywistych względów nie są doskonałe. Ze szczegółowej analizy pomieszczeń biurowych wynika na przykład, że należałoby rozróżnić typowe biura i sale konferencyjne przeznaczone na spotkania wielu osób [9]. Poza tym w [8] pokazano istotną różnicę pomiędzy

Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 121–129
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.9

skośnościami histogramów gęstości obciążenia ogniowego otrzymanych dla biur funkcjonujących w sektorze państwowym i prywatnym (ryc. 1). W oszacowaniach amerykańskich z końca lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku [8] raportuje się, że udział drewna i papieru w obciążeniu ogniowym pomieszczeń biurowych wynosił 99,8%. Podobną wartość (to znaczy dokładnie 98,7%) podaje S. Kumar [10] dla biur zlokalizowanych w Indiach w połowie lat dziewięćdziesiątych. Tymczasem najnowsze badania sprzed kilku lat, cytowane dla warunków amerykańskich przez E. Zaloka i J. Edufula [6], sugerują następujący podział: materiały celulozowe 70% (w tym papier 24% i drewno 46%), plastiki 22%, tekstylia 8%. Znaczący wzrost udziału plastiku to oczywisty efekt obecności we współczesnych pomieszczeniach biurowych komputerów, drukarek, telewizorów, odbiorników radiowych itp. Należy odpowiedzieć zatem na pytanie, czy oszacowania uzyskane kilkadziesiąt lat temu są nadal wiarygodne, zwłaszcza w dobie coraz szybszych przemian społecznych i kulturowych.



Ryc. 2. Rozkład prawdopodobieństwa losowej gęstości obciążenia ogniowego w przypadku mieszkań: a) porównanie rezultatów uzyskanych w badaniach *Holma* i *Oksanena* [12] z 1970 roku ze współczesną rekomendacją normy PN-EN 1991-1-2 [2], b) rozkłady uzyskane po wydzieleniu z mieszkania odpowiednio salonu, kuchni i sypialni (według [12]), c) porównanie rozkładów otrzymanych w badaniach amerykańskich z 1970 roku [13] i kanadyjskich z 2004 roku [14]

Fig. 2. The probability distribution of random fire load density for apartments: a) comparison of the results obtained by *Holm* & *Oksanen* [12] in 1970 with contemporary recommendation taken from the standard PN-EN 1991-1-2 [2], b) distributions obtained after separation from the apartments considered as a whole, living rooms, kitchens and bedrooms, respectively (according to [12]), c) comparison of distributions obtained from American research in 1970 [13] with these taken from Canadian studies carried out in 2004 [14]

Innym przykładem, który dobrze ilustruje niejednoznaczności w szacowaniu parametrów opisujących rozkład gęstości obciążenia ogniowego w jednorodnej próbie statystycznej, jest szczegółowa analiza pomieszczeń przeznaczonych na mieszkania. Autorzy pracy [11] cytują wyniki badań C. Holma i P. Oksanena [12] z początku lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Wskazują oni na zróżnicowanie rozkładu poszukiwanej gęstości, jeśli rozpatrywać osobno salon, sypialnię i kuchnię, nie zaś mieszkanie jako całość (ryc. 2a i 2b). Porównanie zaproponowanych rozkładów z rozkładem odniesionym do całego mieszkania i rekomendowanym współcześnie w normie [2] pokazuje, że w obecnych czasach obciążenie ogniowe mieszkań jest znacząco większe (ryc. 2a). Tego typu konstatacja znajduje potwierdzenie w porównaniu rozkładu uzyskanego w roku 1970 dla mieszkań zlokalizowanych w USA [13] z rozkładem znacznie późniejszym, otrzymanym w 2004 roku dla mieszkań zlokalizowanych w Kanadzie [14] (ryc. 2c).

Kolejnym czynnikiem determinującym rozkład gęstości obciążenia ogniowego jest powierzchnia strefy pożarowej. Na ogół wskazuje się [8], że obciążenie ogniowe Q strefy pożarowej rośnie wraz ze wzrostem powierzchni A_f jedynie do wartości mniej więcej równej $A_f = 30$ m^2, natomiast w pomieszczeniach większych znacząco maleje.

5. Kwestia dopasowania odpowiedniego rozkładu prawdopodobieństwa gęstości obciążenia ogniowego

Dostępność do odpowiedniego zbioru danych statystycznych, stanowiącego próbę jednorodną, pozwala na ich reprezentatywną analizę. W tym celu, po przypisaniu posiadanych wyników do zdefiniowanych wcześniej klas, a następnie po zbadaniu liczebności każdej klasy, konstruuje się histogram oraz dystrybuantę empiryczną badanej zmiennej. Podstawowym zadaniem oceniającego jest teraz jak najbardziej precyzyjne dopasowanie uzyskanego w ten sposób rozkładu empirycznego do jednego z ciągłych rozkładów prawdopodobieństwa opisanych przez matematyków. Na ogół korzysta się przy tym z metody momentów probabilistycznych, traktując momenty z próby (średnią i odchylenie standardowe) jako estymatory (najlepiej zgodne, nieobciążone i najbardziej efektywne) momentów rozkładu, do którego rozkład empiryczny jest przyrównywany. Można również zastosować graficzną metodę kolokacji w punkcie granicznym i dokonywać rektyfikacji dystrybuanty empirycznej na kolejnych siatkach probabilistycznych albo poszukiwać maksymalnej możliwej wiarogodności (*likelihood*), spośród tych które wyliczono przy przyrównywaniu rozkładu empirycznego do kolejnych rozkładów prawdopodobieństwa [15]. Zarówno S. Kumar z C.V.S.K. Rao [10], jak i A.C. Bwalya wraz z M. Sultanem i N. Benichou [16] informują o dobrym dopasowaniu uzyskanych z badań wyników do rozkładu lognormalnego. Tego typu stwierdzenie oznaczałoby, że logarytm naturalny losowej gęstości obciążenia ogniowego ma rozkład normalny. Z drugiej strony, z uwagi na to, że pożar jest zdarzeniem wyjątkowym, a przez to rzadkim, to znaczy takim, które nie powinno mieć miejsca częściej niż co najwyżej raz w czasie użytkowania budynku, postuluje się przypisywanie rozkładowi gęstości obciążenia ogniowego cech jednego z rozkładów zmiennych specyfikowanych jako wartości ekstremalne, w tym w szczególności rozkładu Gumbela [17] lub rozkładu Weibulla [18]. Wykazano przy tym, że dopasowanie do rozkładu empirycznego w przypadku obu tych rozkładów jest wystarczająco dobre, niemniej jednak rozkład Weibulla daje najlepsze dopasowanie (w sensie testu Kołmogorowa-Smirnowa) przy wykorzystaniu do zbierania danych metody inwentaryzacji pośredniej natomiast rozkład Gumbela – metody bezpośredniego ważenia. Poza tym za rozkładem typu ekstremalnego

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.9

przemawia obserwowana skośność otrzymywanych z inspekcji rozkładów empirycznych.

6. Normowa interpretacja wartości charakterystycznej gęstości obciążenia ogniowego

Zarówno w eurokodzie [2], jak i w normie [6] losowa gęstość obciążenia ogniowego strefy pożarowej q_f charakteryzowana jest rozkładem prawdopodobieństwa Gumbela. Oznacza to, że jej wartość charakterystyczna q_{fk} zdefiniowana została jako kwantyl tego rozkładu określony na poziomie prawdopodobieństwa nieprzewyższenia p. W celu wyspecyfikowania tej wartości należy najpierw wyznaczyć wartość średnią $\overline{q_f}$ i odchylenie standardowe σ_{qf} z próby, posługując się formułami:

$$\overline{q_f} = \overline{q_{f,f}} + \overline{q_{f,c}} \quad \text{oraz} \quad \sigma_{qf} = \sqrt{\sigma^2_{qf,f} + \sigma^2_{qf,c}} \tag{5}$$

w których gęstość $q_{f,f}$ związana jest z materiałami palnymi wbudowanymi w strefę pożarową (*fixed fire load*), natomiast gęstość $q_{f,c}$ z potencjalnym paliwem stanowiącym ruchome wyposażenie tej strefy (*contents fire load*). Kolejnym krokiem jest przeliczenie tych parametrów na odpowiadające im parametry rozkładu Gumbela, czyli modę $\tilde{q}_f$ (innymi słowy wartość najbardziej prawdopodobną w przyjętym do analizy okresie odniesienia) i gumbelowskie odchylenie standardowe u_{qf}. Stosując klasyczną metodę momentów probabilistycznych [15], otrzymuje się:

$$\tilde{q}_f = \overline{q_f} - 0{,}577\frac{\sqrt{6}}{\pi}\sigma_{qf} = \overline{q_f} - 0{,}45\sigma_{qf}$$

$$\text{oraz} \quad u_{qf} = \frac{\sqrt{6}}{\pi}\sigma_{qf} = 0{,}78\sigma_{qf} \tag{6}$$

przy czym współczynnik 0,577 jest tak zwaną stałą Eulera. Poszukiwany kwantyl q_{fk}, czyli taką wartość losowej gęstości q_f, która w losowej realizacji może zostać przewyższona z zadanym prawdopodobieństwem q (a to oznacza, że nie będzie ona przewyższona z prawdopodobieństwem $p = 1 - q$), wyznacza się z zależności:

$$\begin{aligned} q_{fk} &= \tilde{q}_f - u_{qf}\ln\left[-\ln(p)\right] = \\ &= \overline{q_f} - \frac{\sqrt{6}}{\pi}\sigma_{qf}\left\{0{,}577 + \ln\left[-\ln(p)\right]\right\} \end{aligned} \tag{7}$$

Pozostaje ustalić miarodajny poziom prawdopodobieństwa nieprzewyższenia p. W aneksie E do eurokodu [2] przyjęto, że wartość charakterystyczna q_{fk} jest takim wybranym poziomem losowej gęstości q_f, którego nieprzewyższenie w losowej realizacji jest gwarantowane z prawdopodobieństwem 80%, co oznacza że $p = 0{,}8$, a zatem $q = 1 - 0{,}8 = 0{,}2$. Tak arbitralne ustalenie budzi zastrzeżenia, bowiem w istocie wartość prawdopodobieństwa p powinna zostać wyspecyfikowana w oparciu o szczegółową analizę ryzyka zainicjowania pożaru. Niech T_r oznacza okres powrotu wartości charakterystycznej, to znaczy średni czas (liczony w latach) pomiędzy kolejnymi przewyższeniami wartości q_{fk}. Wtedy, przy założeniu że prawdopodobieństwo q nie zmienia się w czasie, zachodzi:

$$q = P\left(q_f > q_{fk}\right) = \frac{1}{T_r} \tag{8}$$

co daje:

$$p = P\left(q_f \le q_{fk}\right) = 1 - q = 1 - \frac{1}{T_r} \tag{9}$$

Wartość q powinna być równocześnie miarą prawdopodobieństwa zawodu, rozumianego z reguły jako wyczerpanie w pożarze możliwości bezpiecznego przenoszenia przyłożonych do konstrukcji obciążeń zewnętrznych wraz z obciążeniami generowanymi na skutek ograniczenia swobody odkształceń indukowanych termicznie. Nie każde jednak przewyższenie wartości charakterystycznej q_{fk} kończy się katastrofą ustroju nośnego. Jeżeli chcemy, aby prawdopodobieństwo q było miarą prawdopodobieństwa tego rodzaju katastrofy, spowodowanej przez pożar, który w danej strefie pożarowej został wcześniej zainicjowany, to musi być ono iloczynem prawdopodobieństwa zainicjowania pożaru q_{ini} oraz warunkowego prawdopodobieństwa awarii q_{fail}, przy warunku że awaria ta nastąpiła na skutek tego właśnie pożaru. Wartość prawdopodobieństwa q_{ini} określa się przez częstość występowania pożarów f_s, wyrażoną w liczbie pożarów na rok na metr kwadratowy strefy pożarowej o danym sposobie użytkowania. Chodzi przy tym o pożary istotne dla bezpieczeństwa ustroju nośnego, tak zwane *structurally significant fires*, nie zaś o drobne i lokalne incydenty pożarowe. Częstość ta powinna zostać ustalona na podstawie reprezentatywnych badań statystycznych. Jeżeli wielkość f_s zastąpi się wielkością f_{ss}, taką że $f_{ss} = f_s A_f$, gdzie A_f jest mierzoną w m^2 powierzchnią podłogi konkretnej strefy pożarowej, zlokalizowanej w interesującym nas budynku (patrz zależność (1)), to miarą częstości f_{ss} będzie liczba pożarów na rok. A zatem:

$$q_{ini} = \frac{1}{f_{ss}} = q_{ini,1} \tag{10}$$

Należy zauważyć, że w takim ujęciu prawdopodobieństwo $q_{ini} = q_{ini,1}$ należy interpretować jako prawdopodobieństwo odniesione do pojedynczego tak zwanego jednorocznego okresu jednostkowego, nie zaś do całego czasu użytkowania budynku. Oczywiście, jeżeli przyjąć, że wartość q_{ini} jest stała w czasie, a czas użytkowania wynosi m lat, to prawdopodobieństwo odniesione do tego czasu ma wartość $q_{ini,m}$, taką że:

$$q_{ini,m} = \left(q_{ini,1}\right)^m \tag{11}$$

Z drugiej strony, w przepisach normy [5] zakłada się, że miarą warunkowego prawdopodobieństwa q_{fail} jest ryzyko awarii ustroju nośnego w pożarze, który w rozpatrywanej strefie pożarowej został wcześniej zainicjowany. Ryzyko to oznacza się symbolem R_s i, przy braku szczegółowych danych, ustala na stałym poziomie $1 \cdot 10^{-6}$ na rok. Tak więc ostatecznie:

$$q = q_{ini,1} q_{fail} = \frac{R_s}{f_{ss}} \tag{12}$$

co po uwzględnieniu wzoru (8) pozwala zapisać, że:

$$T_r = \frac{f_{ss}}{R_s} \tag{13}$$

Kombinacja wzorów (7), (8), (9) i (13) prowadzi do oszacowania wartości charakterystycznej q_{fk} specyfikowanego w normie [5] w postaci:

$$q_{fk} = \overline{q_f} - \frac{\sqrt{6}}{\pi}\sigma_{qf}\left\{0{,}577 + \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{R_s}{f^*_{ss}}\right)\right]\right\} \tag{14}$$

Częstości f_{ss} miarodajne dla poszczególnych typów stref pożarowych oszacowano empirycznie jak następuje:

- biura i pomieszczenia biznesowe – 6 pożarów na milion m^2 na rok,
- pomieszczenia kultu religijnego – 6 pożarów na milion m^2 na rok,
- pomieszczenia związane z konsumpcją – 81 pożarów na milion m^2 na rok,
- pomieszczenia przeznaczone do edukacji – 10 pożarów na milion m^2 na rok,

- pomieszczenia do opieki nad chorymi – 16 pożarów na milion m^2 na rok,
- pomieszczenia przeznaczone do handlu – 16 pożarów na milion m^2 na rok,
- pomieszczenia typu hotelowego – 43 pożary na milion m^2 na rok,
- inne obiekty użyteczności publicznej – 10 pożarów na milion m^2 na rok.

Wartości te przed zastosowaniem ich w zależności (14) muszą zostać skorygowane do wartości $f^*_{ss} = \chi f_{ss}$ z uwagi na rodzaj konstrukcji i sposób jej zabezpieczenia przed ogniem. Współczynniki korekcyjne χ podano w odpowiednich tabelach przypisanych do poszczególnych typów miarodajnej strefy pożarowej. Przykładową tabelę odniesioną do pomieszczeń biurowych zamieszczono poniżej (tabela 2).

Tabela 2. Współczynniki χ redukujące częstość f_{ss} specyfikowane dla pomieszczeń biurowych (według [6])
Table 2. Coefficients χ reducing the frequency f_{ss} specified for offices (according to [6])

Typ konstrukcji / Type of construction	**Brak systemu alarmowego. Brak instalacji tryskaczowej / No alarm system. No sprinkler system**	**Brak systemu alarmowego. Zastosowana instalacja tryskaczowa / No alarm system. Applied sprinkler system**	**Zastosowano system alarmowy. Brak instalacji tryskaczowej / Applied alarm system. No sprinkler system**	**Zastosowano system alarmowy. Zastosowano instalację tryskaczową / An alarm system applied. Sprinkler system applied**
Odporna na ogień/ fire resistant	0,13	0,04	0,07	0,03
Chroniona przed ogniem, niepalna / protected, noncombustible	0,15	0,05	0,06	0,03
Niechroniona przed ogniem, niepalna / unprotected, noncombustible	0,19	0,07	0,10	0,05
Chroniona przed ogniem, zawierająca elementy palne / protected, containing combustible elements	0,21	0,03	0,10	0,04
Niechroniona przed ogniem, zawierająca elementy palne / unprotected, containing combustible elements	0,30	0,11	0,17	0,07
Rama drewniana chroniona przed ogniem / protected wood frame	0,30	0,13	0,18	0,08
Rama drewniana niechroniona przed ogniem / unprotected wood frame	0,37	0,12	0,20	0,07

Tabela 3. Oszacowania wartości charakterystycznej q_{fk}[MJ/m^2] rekomendowane w [2] (liczone jako górny kwantyl rozkładu *Gumbela* przy różnym poziomie prawdopodobieństwa nieprzewyższenia p)
Table 3. Estimates of the characteristic value q_{fk}[MJ/m^2] recommended in [2] (computed as an upper quantile of *Gumbel* probability distribution when various probability values of not exceeding p are assumed)

Sposób użytkowania strefy pożarowej / Fire zone facility utilization	**Średnia z próby / Sample mean q_f[MJ/m^2]**	**Odchylenie standardowe z próby / Sample standard deviation σ_{qf}[MJ/m^2]**	**q_{fk}[MJ/m^2] oszacowane jako górny kwantyl rozkładu *Gumbela* na poziomie: q_{fk}[MJ/m^2] estimated as the upper quantile for the Gumbel distribution at the level:**		
			p = 80%	p = 90%	p = 95%
Mieszkania / Residential accommodation (apartments)	780	234	948	1085	1217
Sale szpitalne / Hospital rooms	230	69	280	320	359
Pokoje hotelowe / Hotel rooms	310	93	377	431	484
Biblioteki / Libraries	1500	450	1824	2087	2340
Biura / Offices	420	126	511	584	655
Sale szkolne / School classrooms	285	85,5	347	397	445
Centra handlowe / Shopping centres	600	180	730	835	936
Kina, teatry / Cinemas, theatres	300	90	365	417	468
Budynki do obsługi komunikacyjnej w części dostępnej dla ruchu publicznego (np. dworce autobusowe lub kolejowe) / Transport communication buildings accessible by the public (e.g. bus terminals or railway stations)	100	100	122	139	156

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.9

Oszacowania wartości charakterystycznej q_{fk} rekomendowane w eurokodzie [2] jako górny kwantyl rozkładu Gumbela z prawdopodobieństwem nieprzewyższenia w losowej realizacji gwarantowanym na poziomie 80% zestawiono w tabeli 3. Dodatkowo podano w niej wartości odpowiadające podwyższonym wymogom bezpieczeństwa, to znaczy wyższym wartościom prawdopodobieństwa p (czyli odpowiednio 90% i 95%), zalecanym do stosowania przez wielu autorów. Należy jednak podkreślić, że w tym przypadku miarodajne do przeprowadzania analizy nośności w pożarze nie są wartości charakterystyczne q_{fk} a na ogół różne od nich (choć niekoniecznie większe) wartości obliczeniowe q_{fd}, otrzymywane przez przemnożenie wartości charakterystycznych przez współczynniki (mniejsze lub większe od 1) kwantyfikujące warunki prowadzenia akcji gaśniczej. Mają one interpretację współczynników warunków pracy i konsekwencji zniszczenia, znanych z klasycznego ujęcia metody stanów granicznych [21]. Szczegółowe omówienie tej kwestii wymaga jednak osobnego opracowania.

7. Uwagi końcowe

Niniejszy artykuł stanowi rozszerzoną wersję (poprzedzają go bowiem prace [19] i [20]) komentarza autora do stosowanych w praktyce inżynierskiej procedur specyfikacji reprezentatywnej wartości gęstości obciążenia ogniowego strefy pożarowej, miarodajnej do prognozowania realnego poziomu bezpieczeństwa w pożarze. W przypadku konkretnej strefy pożarowej zalecanym sposobem postępowania jest przeprowadzenie tradycyjnej inwentaryzacji, ponieważ daje ona w powszechnym odczuciu wynik najbardziej wiarygodny. Wynik ten reprezentuje wartość nominalną pochodzącą z pomiarów, a więc uwzględniającą materiały faktycznie zgromadzone w badanej strefie, a także ich zastane rozmieszczenie. Tego typu konstatacja nie zawsze musi być jednak prawdziwa. Wykazano bowiem, że sama technika prowadzenia inwentaryzacji ma zasadniczy wpływ na otrzymane oszacowanie. Jest on na tyle duży, że w żadnym razie nie może być bagatelizowany. Z tego względu naglącą potrzebą staje się opracowanie jednoznacznych wytycznych w tym zakresie, rekomendowanych do stosowania w krajowej praktyce projektowej. Zauważmy również, że ocena ilościowa uzyskana z inwentaryzacji, czyli w sposób bezpośredni, będzie wiarygodna w zasadzie tylko przez stosunkowo krótki czas, licząc od momentu jej przeprowadzenia. Jakakolwiek zmiana w sposobie użytkowania strefy pożarowej, a nawet samo tylko uzupełnienie zgromadzonych w tej strefie materiałów palnych, skutkuje bowiem zakwestionowaniem wyniku uzyskanego wcześniej. W świetle przytoczonych powyżej argumentów tradycyjna procedura postępowania wydaje się podejściem mało praktycznym i niewątpliwie żmudnym. Alternatywnym rozwiązaniem, rekomendowanym do stosowania w zaleceniach i przepisach dotyczących oceny bezpieczeństwa pożarowego, w tym w szczególności w normach [2] i [5], jest zastąpienie konwencjonalnego podejścia deterministycznego analizą o charakterze probabilistycznym. Pozwala ona na dobrze uzasadnione statystycznie kalibrowanie wartości charakterystycznej gęstości obciążenia ogniowego potraktowanej w tym przypadku jako zmienna losowa. Trzeba jednak uwzględnić fakt, że tego typu wartość miarodajna jest reprezentatywna raczej dla formalnie jednorodnej grupy stref pożarowych o określonym sposobie użytkowania, nie zaś dla konkretnej strefy pożarowej wyodrębnionej z budynku wybranego do analizy. Niemniej jednak wiarygodność uzyskanych w ten sposób wyników została wielokrotnie zweryfikowana eksperymentalnie, choć jest to oczywiście jedynie potwierdzenie o charakterze statystycznym. W rozważaniach na temat polecanej do stosowania w tym zakresie procedury probabilistycznej autor skłania się do rekomendowania algorytmu amerykańskiego, sformalizowanego w normie [5]. W odróżnieniu od analogicznego podejścia europejskiego [2] uwzględnia się w nim bowiem oszacowane na odpowiednio dużej próbie statystycznej ryzyko zawodu rozumianego jako przewyższenie w losowej realizacji wyspecyfikowanej wcześniej wartości charakterystycznej, różnicowane w zależności od sposobu użytkowania rozważanej strefy pożarowej, w tym także od rodzaju konstrukcji nośnej tworzącej i ograniczającej tę strefę oraz od sposobu jej ochrony przed bezpośrednią ekspozycją ogniową. Proste przenoszenie amerykańskich oszacowań ryzyka tego rodzaju na grunt europejski wydaje się jednak mocno ryzykowne. Inna jest bowiem specyfika rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych stosowanych na Starym Kontynencie, inne chyba również uwarunkowania kulturowe wpływające na sposób użytkowania budynków, inne także przepisy prawne. Poza tym z oczywistych względów, przede wszystkim natury ekonomicznej, trudno konstruować jednolite wymagania dla wszystkich, różniących się przecież znacznie między sobą, krajów europejskich. Wprowadzenie nieco bardziej rozbudowanej analizy ryzyka do algorytmu postępowania rekomendowanego w eurokodzie [2] wymagałoby zatem wcześniejszego przygotowania dostosowanego do realiów materiału statystycznego. Niewątpliwie poprawiłoby to wiarygodność uzyskiwanych oszacowań, choć z drugiej strony taka, stosunkowo niewielka, komplikacja procedury obliczeniowej mogłaby wywołać opór w środowisku specjalistów zajmujących się oceną bezpieczeństwa w pożarze. Czytelność interpretacji miarodajnej wartości charakterystycznej q_{fk} wymaga przy tym dodania dwóch założeń upraszczających. Po pierwsze trzeba przyjąć, że wartość ustalona z obliczeń statystycznych (lub w jakikolwiek inny merytorycznie uzasadniony sposób) jest równomiernie rozłożona na całej powierzchni rozpatrywanej strefy pożarowej, co w rzeczywistości na ogół nie jest prawdą. Po drugie zakłada się, choć jest to założenie konserwatywne, że wszystkie materiały brane pod uwagę przy ustalaniu tej wartości zostaną faktycznie spalone w pożarze, co niekoniecznie musi mieć miejsce.

Literatura

[1] PN-B-02852:2001 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Obliczanie gęstości obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru.

[2] PN-EN 1991-1-2. Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.

[3] Yii H.W., *Effect of surface area and thickness on fire load. Fire Engineering Research Report 2000/13*, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, March 2000, ISSN 1173-5996.

[4] Khorasani N.E., Garlock M., Gardoni P., *Fire load: Survey data, recent standards and probabilistic models for office buildings*, "Engineering Structures" 2014, 58, 152-165.

[5] NFPA 557 – Standard for determination of fire loads for use in structural fire protection design, 2012 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02169-7471, USA.

[6] Zalok E., Eduful J.,*Assessment of fuel load survey methodologies and its impact on fire load data*, "Fire Safety Journal", 2013, 62, 299-310.

[7] National Fire Protection Association (NFPA) – Validation of methodologies to determine fire load for use in structural fire protection – final report. The fire protection research foundation – research on support of the NFPA mission. Carleton University, May 2011.

[8] Culver C., *Characteristics of fire loads in office buildings*, "Journal of Fire Technology", 14(1), 1978, 51-60.

[9] VKF and AEAI – Note explicative de protection incendie – Evaluation en vue de la determination de la grandeur des compartiments coupe-feu. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF) and Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI), 2007.

[10] Kumar S., Rao C.V.S.K., *Fire loads in office buildings*, "Journal of Structural Engineering" 1997, 123(3), 365-368.
[11] Hietaniemi J., Mikkola E., *Design fires for fire safety engineering*, VTT Working Paper 139, VTT, Finland 2010.
[12] Holm C., Oksanen P., *Palokuorman määrä kerrostalojen asuinhuoneistoissa*, "Palontorjuntatekniikka" 1970, 2, 1-4.
[13] Campbel J.A., *Confinement of fire in buildings. Fire Protection Handbook*, NFPA Handbook, USA 1981.
[14] Bwalya A.C., *An extended survey of combustible contents in Canadian residential living rooms. Research Report No 176*, National Research Council, Ottawa, Canada 2004.
[15] Murzewski J., *Niezawodność konstrukcji inżynierskich*, Arkady, Warszawa 1989.
[16] Bwalya A. C., Sultan M., Benichou N., *A pilot survey of fire loads in Canadian homes*, Research Report No 159, National Research Council, Ottawa, Canada 2004.
[17] Ramachandran G., *Properties of extreme order statistics and application in fire protection and insurance problems*, Fire Safety Journal" 1982, 5(1), 59-76.
[18] Korpela K., Kushner J., *Fire loads in office buildings*, [in:] *Proceedings of the 3rd International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods*, Society of Fire Protection Engineers (SFPE), Bethesda, USA 2000.
[19] Maślak M., *Probabilistyczna interpretacja wartości charakterystycznej losowej gęstości obciążenia ogniowego strefy pożarowej*, „Materiały Budowlane" 2014, 10, 90-92.
[20] Maślak M., *Characteristic value of the random fire load density. Probability-based specification depending on the way how the building compartment is used*, [in:] *Proceedings of the International Conference "Applications of Structural Fire Engineering (ASFE 2015)*, F. Wald, I. Burgess, M. Jelčić Rukavina, D. Bjegović, K. Horová (eds.), Dubrovnik, Croatia, October 15-16, 2015, Czech Technical University in Prague, Czech Republic 2015, 68-73.
[21] Maślak M., *Trwałość pożarowa stalowych konstrukcji prętowych*, [w:] *Monografia 370*, Seria *Inżynieria Lądowa*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2008.

* * *

dr hab. inż. Mariusz Maślak, prof. PK – profesor nadzwyczajny w Katedrze Konstrukcji Metalowych na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Zajmuje się kształtowaniem, utrzymaniem i weryfikacją stanu bezpieczeństwa różnego typu stalowych ustrojów nośnych ze szczególnym uwzględnieniem zachowania się tego typu konstrukcji w warunkach ekspozycji ogniowej. Członek International Association for Fire Safety Science (IAFSS). Z ramienia Polski członek Technical Committee 3 (TC3): "Fire Safety" przy European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), a także członek Komitetu Technicznego CEN TC 250/SC3: „Evolution Group Eurocode 3, Part 1-2". W latach 2010-2014 członek Komitetu Zarządzającego Międzynarodowego Projektu Badawczego COST TU0904 „Integrated Fire Engineering and Response". Od roku 2014 członek Komitetu Zarządzającego Międzynarodowego Projektu Badawczego COST TU1402 „Quantifying the Value of Structural Health Monitoring. Kierownik grantu badawczego własnego N N506 243938 „Miary bezpieczeństwa i ich wzajemne relacje w wyjątkowej sytuacji projektowej pożaru rozwiniętego" (również w latach 2010-2014).