

# Toksyczność środowiska pożarowego w budynkach a bezpieczna i skuteczna ewakuacja ludzi

Dr inż. Waldemar Jaskółowski, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Zakład Spalania i Teorii Pożarów, Warszawa

## 1. Wprowadzenie

W przedstawionym materiale omówiono wybrane problemy związane z oceną toksyczności środowiska pożarowego podczas pożarów w budynkach. Na podstawie analizy literatury przedmiotu (dokumentów prawnych, norm i innych źródeł) można stwierdzić, że problem oceny toksyczności środowiska pożarowego jest problemem ciągle nierozwiązanym. Ostatnie zmiany w klasyfikacji materiałów ze względu na reakcję na ogień nie uwzględniły toksyczności. Zważywszy na problem należy mieć nadzieję, że w niedługim czasie ten obszar wiedzy inżynierskiej z zakresu bezpieczeństwa pożarowego doczeka się nowych uregulowań, uwzględniających problemy, o których mowa w przedmiotowym artykule.

## 2. Toksyczność środowiska pożarowego – terazniejszość

W wyniku powstania pożaru następuje cały szereg zagrożeń dla ludzi, infrastruktury technicznej znajdującej w jego strefie oddziaływania. Zagrożenia związane z pożarem są wynikiem reakcji chemicznych związanych z powstawaniem gazowych produktów rozkładu termicznego i spalania (dymu), zjawisk fizycznych z tworzeniem się i rozprzestrzenianiem strefy spalania, wymianą ciepła i masy w samym budynku (pomieszczeniu) oraz w obrębie sąsiednich pomieszczeń, które tworzą tzw. środowisko pożarowe.

Zapewnienie bezpieczeństwa ludzi podczas pożaru dotyczy w równym stopniu mieszkańców, użytkowników, gości, widzów itp., a także zastępów Państwowej Straży Pożarnej (PSP) biorących udział w działaniach związanych z prowadzeniem akcji ratowniczej. Głównym źródłem kształtującym kryteria bezpieczeństwa pożarowego są regulacje prawne. Na podstawie § 207 ust. 1 Rozporządzenia ministra infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [1] można stwierdzić, że zostanie zapewniony

właściwy poziom bezpieczeństwa pożarowego wtedy gdy zastosowany zespół rozwiązań techniczno-budowlanych w budynku i urządzeniach z nim związanych, zapewnia w razie pożaru:

- nośność konstrukcji przez czas wynikający z właściwych przepisów,
- ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia i dymu w budynku,
- ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia na sąsiednie budynki,
- możliwość bezpiecznej i skutecznej ewakuacji (osoby znajdujące się wewnątrz mogły opuścić obiekt budowlany lub być uratowane w inny sposób),
- bezpieczeństwo ekip ratowniczych.

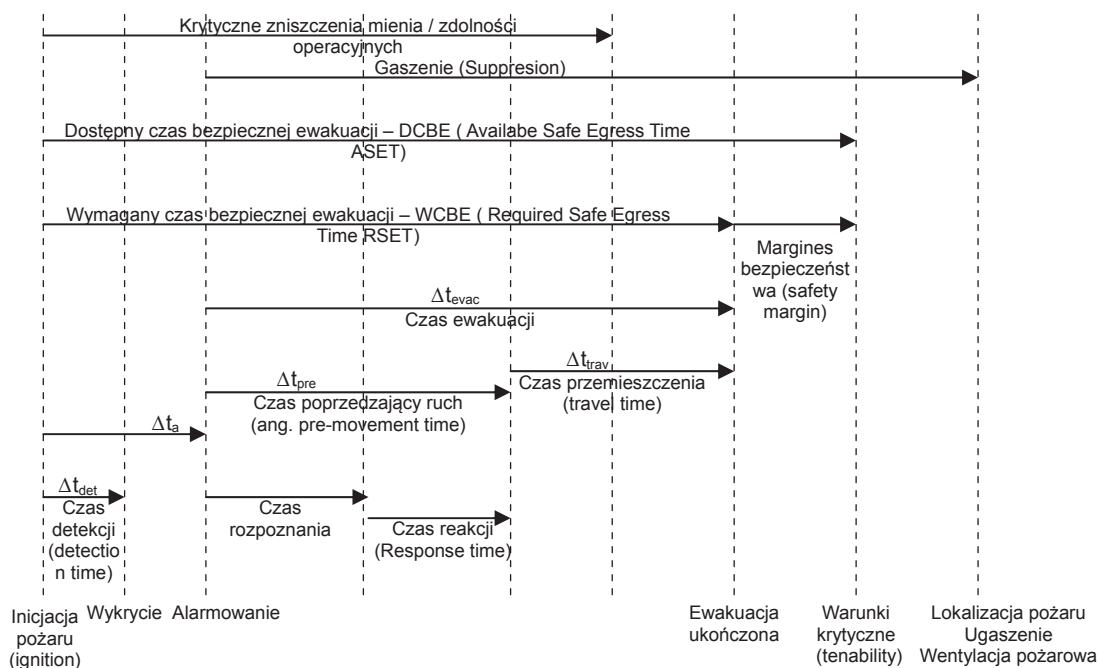
Powyższe wymagania zostały potwierdzone w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z 9 marca 2011 r. [2] ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające Dyrektywę 89/106/EWG [3].

Z powyższego wynika, że stan bezpieczeństwa pożarowego budynku określony jest przez stan środowiska (z uwagi na jego oddziaływanie na ludzi) oraz stan konstrukcji (z uwagi na zdolność do przenoszenia obciążeń).

Możliwość bezpiecznej i skutecznej ewakuacji jest jednym z najistotniejszych celów bezpieczeństwa pożarowego.

Przyjętym ogólnym kryterium bezpieczeństwa życia ludzi w pożarach budynków i obiektów budowlanych, z punktu widzenia efektywnej ewakuacji, jest to aby dostępny czas bezpiecznej ewakuacji (DCBE) był większy niż czas wymagany czas do bezpiecznej ewakuacji (WCBE) (rys. 1).

Możliwy czas ewakuacji to przedział czasowy pomiędzy zapoczątkowaniem pożaru a momentem kiedy warunki środowiska budynku osiagają stan krytyczny uniemożliwiając bezpieczną, a zarazem skuteczną ewakuację. Stan krytyczny jest charakteryzowany danymi wartościami parametrów pożaru odnoszących się do:



**Rys. 1.** Czasy składowe WCBE i DCBE. Źródło: PD 7974-6:2004 *The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings – Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)*

- emisji produktów rozkładu termicznego i spalania,
- temperatury pożaru,
- poziomu promieniowania cieplnego,
- stężenia tlenu,
- zasięgu widzialności.

Na skuteczną i bezpieczną ewakuację ludzi z budynków ma wpływ bardzo wiele czynników. Oprócz cech indywidualnych ludzi (osobowość, świadomość, zdolność: percepcji, poruszania się, wiedza i doświadczenie, bariera językowa), charakterystyki budynku (wyposażenie w techniczne systemy zabezpieczeń ppoż, ilość ludzi przebywających w obiekcie, kubatury, punktu zbornego przewidzianego w procedurze ewakuacyjnej) na ewakuację mają wpływ cechy pożarowe charakteryzujące elementy wykończenia wnętrza. Muszą one spełniać określone wymagania w zakresie właściwości termokinetycznych, dymotwórczych, toksycznych.

Z analizy przyczyn wypadków śmiertelnych podczas pożarów w obiektach budowlanych wynika jednoznacznie, około 80% ofiar pożarów stanowią ludzie ginący wskutek oddziaływania produktów toksycznych powstałych podczas rozkładu termicznego i spalania. Źródłem emisji gazów toksycznych są wyroby budowlane, które składają się przynajmniej w części z materiałów szeroko rozumianych jako palnych. Z punktu widzenia bezpieczeństwa pożarowego najważniejsza jest I faza rozwoju pożaru.

Toksyczność środowiska pożarowego jest jednym z najważniejszych, a może najważniejszym aspektem,

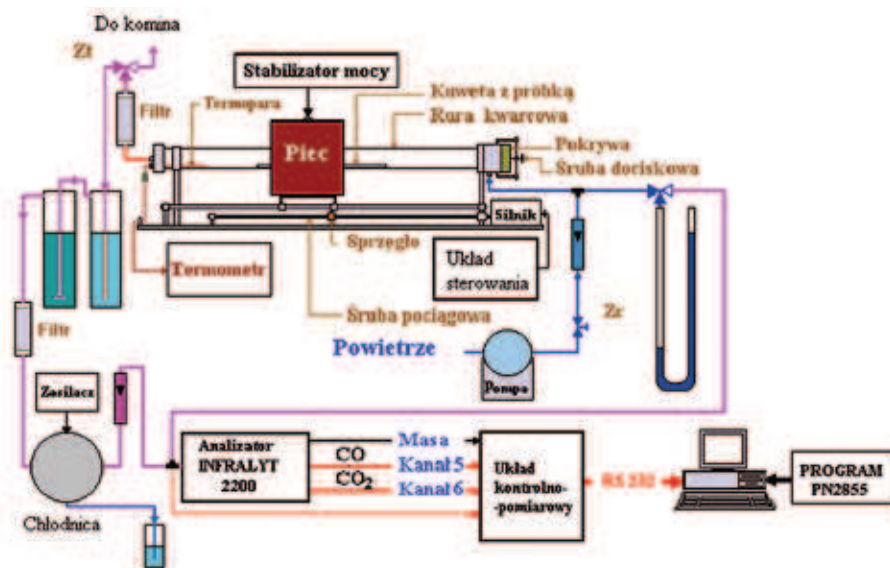
który wymaga analizy i oceny z punktu widzenia bezpieczeństwa pożarowego.

O toksyczności środowiska pożarowego decyduje wiele czynników, które można określić jako materiałowe i pozamateriałowe.

W odniesieniu do elementów wykończenia wnętrza w zakresie wymagań dot. toksyczności są określone czytelne wymagania (kryteria). W § 258. 1. rozporządzenia [2] stwierdza się że, „w strefach pożarowych ZL I, ZL II, ZL III i ZL V stosowanie do wykończenia wnętrza materiałów łatwo zapalnych, których produkty rozkładu termicznego są bardzo toksyczne lub intensywnie dymiące, jest zabronione” oraz w pkt. 2. „Na drogach komunikacji ogólnej, służących celom ewakuacji, stosowanie materiałów i wyrobów budowlanych łatwo zapalnych jest zabronione”. Taka konstrukcja wymagań prawnych powoduje, że realizacja celu zawartego we właściwych przepisach odnoszących się do elementów wykończenia wnętrza i toksyczności środowiska pożarowego jest nieskomplikowana jeśli chodzi o realizację przez inwestorów, użytkowników etc.

„Wystarczy” przeprowadzić badania z wykorzystaniem metodyki pomiarowej opisanej w normie PN – 88/B-02855 [7], których celem będzie uzyskanie odpowiedniej klasyfikacji (umiarkowanie toksyczny, toksyczny, bardzo toksyczny) materiału (wyrobu).

Zasada metody polega na ilościowym, chemicznym oznaczaniu wybranych selektywnie produktów rozkładu termicznego i spalania (CO, CO<sub>2</sub>, HCN, HCl, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>).

**Rys. 2.**

Schemat stanowiska do oznaczania toksyczności produktów rozkładu termicznego i spalania materiałów budowlanych. Źródło: Sychta Z., Instrukcja do stanowiska „Metoda wydzielenia toksycznych produktów podczas rozkładu termicznego i spalania materiałów”

Rodzaj badanych gazów zasadniczo nie odbiega od innych określonych w normach europejskich i światowych. Badanie przeprowadza się w trzech zakresach temperatur: 450, 550 i 750°C. Schemat stanowiska oraz prezentację zamieszczono na rys. 2.

Przeprowadzenie procedury badawczej, uzyskanie wymaganych rezultatów i przyjęcie założenia, że produkty toksyczne w czasie potencjalnego pożaru nie stanowią istotnego problemu jest daleko niewystarczające. Analiza tego aspektu środowiska pożarowego wymaga wielopłaszczyznowego podejścia do tej problematyki. Trzeba na początku powiedzieć, że jest ona niezwykle trudna do realizacji i powoduje dużo problemów nie tylko w Polsce, ale i w innych krajach europejskich.

### 3. Toksyczność środowiska pożarowego – przyszłość

Dotychczas nie udało się w UE wypracować jednej powszechnej metody badawczej do analizy składu chemicznego i ilości tworzących się produktów w trakcie pożaru (spalania), [8]. Przyjęta w ostatnich latach tzw. Europejska Klasyfikacja Ogniowa [9] wyrobów (materiałów) budowlanych (w Polsce wprowadzona normą PN ISO 13501) zmieniła diametralnie podejście do oceny właściwości pożarowych wyrobów budowlanych. Ogólnie można stwierdzić, że klasyfikacja materiałów budowlanych z wyłączeniem materiałów wykończeniowych stosowanych na podłogi opiera się na podstawie właściwości termokinetycznych, dymotwórczych oraz ocenie zdolności do tworzenia kropli. Analiza tego dokumentu utwierdza w przekonaniu, że problem oceny toksyczności nie został przez ten dokument rozwiązany i pozostaje zasadniczo ten sam od lat. Jak podejść w praktyce do problematyki toksyczności środowiska pożarowego z udziałem różnych materiałów budowlanych? Analiza toksyczności

środowiska pożarowego powinna składać się zasadniczo z dwóch etapów:

1. Analizy składu chemicznego i ilości tworzących się produktów rozkładu termicznego i spalania.
2. Oceny stopnia toksyczności powstałych produktów w odniesieniu do ludzi.

Analiza składu chemicznego i ilości tworzących się produktów rozkładu termicznego i spalania nastęrcza wiele problemów. W warunkach pożarowych tworzy się wiele produktów w różnych ilościach. Nie jest praktycznie możliwe zidentyfikowanie i oszacowanie ilości wszystkich produktów powstałych podczas spalania.

Dlatego też przyjęto w Polsce i na świecie szacowanie toksyczności uwzględniając wybrane związki chemiczne. Do najważniejszych podlegających ocenie należą: CO, CO<sub>2</sub>, HCN, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, HCl, HBr, HF, formaldehyd oraz akroleina. W niektórych źródłach wskazuje się na dodatkowe związki chemiczne (toksykanty), do których można zaliczyć: aldehydy, akrylonitryl, amoniak, tlenki fosforu, siarkowodór, dwusiarczek węgla, kwas mrówkowy, fenol, benzen, toluen oraz styren [7, 10, 11]. Analizą można objąć także inne dodatkowe produkty, które wg wiedzy inżynierskiej powinny być nią objęte. Produkty toksyczne powstające podczas pożaru można sklasyfikować według fizjologicznych efektów, które powodują w ludzkim organizmie na [12]:

- duszące,
- drażniące.

Efektom oddziaływania produktów rozkładu termicznego i spalania w czasie pożaru może być [13, 14]:

1. Ograniczenie zdolności do skutecznej ewakuacji.
2. Ograniczenie prędkości poruszania się w zagrożonym obiekcie lub zmianę zachowania się człowieka prowadzącą do wyboru dłuższej drogi ewakuacyjnej. Jest to wynikiem:

- zaburzeń neurofizjologicznych spowodowanych oddziaływaniem gazów narkotycznych powodujących

zmiany w układzie nerwowym oraz układzie oddechowym,

- zmian psychologicznych w organizmie ludzkim będących rezultatem ograniczonej percepcji w postrzeganiu zagrożenia.

#### 4. Długotrwałe zmiany psychologiczne

Badania składu i ilości produktów toksycznych można podzielić na dwie grupy. Pierwsza dotyczy testów w małej skali, w których przy pomocy odpowiedniej aparatury generowane produkty spalania są filtrowane i przepuszczane przez szereg czujników mierzących wartości szukanych parametrów. Druga natomiast dotyczy testów w dużej skali, w których mierzone wartości są przeprowadzane w zaadaptowanych rzeczywistych warunkach. Te jednak stosowane są znacznie rzadziej ze względu na koszty związane z ich realizacją. Ilość i skład chemiczny produktów rozkładu termicznego i spalania tworzących się podczas spalania wyrobów budowlanych w warunkach pożarowych jest pochodną nie tylko właściwości fizycznych i chemicznych tego materiału, ale także innych czynników pozamateriałowych, do których można zaliczyć przede wszystkim warunki w jakich przebiega pożar (rodzaj spalania, wentylacja, geometria pomieszczenia).

Zmienna dynamika rozwoju (fazy pożaru), efekty wzajemnego oddziaływania produktów spalania (synergizmu, sumujące) to kolejne czynniki, które wpływają na skład i ilość gazów pożarowych. Na przykład podczas spalania pianki poliuretanowej, w temperaturze 4000°C w produktach spalania przeważają izocyjaniany i nityle. W wyższych temperaturach dominującym produktem jest HCN. Jeszcze w wyższych temperaturach, przeważają tlenki azotu. Podczas całkowitego spalania tworzyw sztucznych zawierających jedynie C, H i O powstaje tylko CO<sub>2</sub> i woda. Niecałkowite spalanie tej samej grupy materiałów diametralnie zmienia skład gazów pożarowych. Wtedy przewagę zyskują: CO, węglowodory, aldehydy i cząstki stałe [15]. Powyższy przykład dowodzi, że temperatura i stężenie tlenu istotnie determinują skład produktów rozkładu termicznego.

Od chwili zainicjowania pożaru może on przebiegać w różny sposób uzależniony od warunków środowi-

skowych, a także od fizycznego rozmieszczenia materiałów palnych. Jednakże można ustalić ogólny model rozwoju pożaru pomieszczenia, gdzie ogólna krzywa temperatura – czas wykazuje trzy fazy oraz dodatkowo fazę zanikania (rys. 3). Faza pierwsza, tzw. rozkład bezpłomieniowy, jest początkową fazą pożaru, z małym wzrostem temperatury w pomieszczeniu, przed spalaniem się ustalonym płomieniem. Podczas trwania tej fazy głównymi zagrożeniami są wytwarzające się dymy oraz toksyczne produkty rozkładu materii. Faza druga, tzw. rozwijający się pożar, rozpoczyna się zapaleniem, a kończy wykładniczym wzrostem temperatury w pomieszczeniu objętym pożarem. W czasie trwania tej fazy głównymi zagrożeniami są rozprzestrzenianie się płomienia, wydzielanie ciepła oraz dymu i toksycznych lotnych produktów rozkładu materii. Faza trzecia, tzw. pożar całkowicie rozwinięty, zaczyna się, gdy powierzchnia całej zawartości palnej pomieszczenia ulega rozkładowi w takim stopniu, że następuje nagłe zapalenie w całym pomieszczeniu, któremu towarzyszy gwałtowny i duży wzrost temperatury – rozgorzenie. Pod koniec fazy trzeciej materiały palne i tlen w znacznym stopniu są zużyte i przez to temperatura zmniejsza się z szybkością zależną od przewietrzania i charakterystyki przenoszenia ciepła przez system. To jest znane jako faza zanikania pożaru. Każda z faz charakteryzuje się tym, iż z materiałów tworzą się różne mieszaniny rozkładu, a te z kolei mogą wpływać na toksyczność lotnych produktów rozkładu materii wytworzonych w danej fazie trwania pożaru.

Dzięki klasyfikacji faz pożaru (tab. 1) można wybrać odpowiednie warunki do stosowania w próbach w skali laboratoryjnej, w celu uzyskania możliwie najlepszej zbieżności z pożarami w pełnej skali. Jednakże pożar obejmuje szereg złożonych i wzajemnie powiązanych zjawisk fizycznych i chemicznych. Powoduje to znaczną trudność w symulowaniu wszystkich aspektów pożaru w aparaturze o skali laboratoryjnej. Ten problem prawidłowości modelu pożaru jest jednym z najtrudniejszych problemów technicznych związanych ze wszystkimi badaniami pożarowymi, nie tylko w odniesieniu do szacowania toksyczności środowiska pożarowego.



**Rys. 3.** Różne fazy przebiegu pożaru w pomieszczeniach. Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN 60695-7-1:2010 Toksyczność lotnych produktów spalania – wytyczne ogólne [12]



**Tabela 1.** Ogólna klasyfikacja pożaru

Faza pożaru		Tlen %	Stosunek CO/CO <sub>2</sub>	Temp. °C	Natężenie promieniowania kW/m <sup>2</sup>
FAZA 1	Rozkład bezpłomieniowy				
	Tlenie (samopodtrzymujące)	21	Nie dotyczy	< 100	Nie dotyczy
	Bezpłomieniowy utleniający	5 do 10	Nie dotyczy	< 500	< 25
	Bezpłomieniowy (pirolityczny)	< 5	Nie dotyczy	< 1000	Nie dotyczy
FAZA 2	Pożar rozwijający się (palący się płomieniem)	10 do 15	100 do 200	400 do 600	20 do 40
FAZA 3	Pożar całkowicie rozwinięty (palący się płomieniem)				
	Względnie małe przewietrzenie	1 do 5	< 10	600 do 900	40 do 70
	Względnie duże przewietrzenie	5 do 10	< 100	600 do 1200	50 do 150

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN 60695-7-1:2010 Toksyczność lotnych produktów spalania – wytyczne ogólne oraz [12]

Należy podkreślić, że w stosowanych metodach badawczych, w trakcie badań toksyczności nie uwzględnia się spadku stężenia tlenu, które w warunkach pożarowych może powodować określone dysfunkcje organizmów żywych (np.: hipoksję). Reasumując, przy wyborze metod badawczych wyrobów budowlanych zaleca się, aby dla każdej rozważanej metody zadać sobie następujące pytanie:

- czy metoda badawcza odwzorowuje fazę pożaru będącą przedmiotem zainteresowania?
- czy rezultatem badań są wyniki, które będziemy mogli wykorzystać do oceny pod kątem bezpieczeństwa pożarowego?

Jeżeli odpowiedź na którekolwiek z tych pytań brzmi nie, to rozważana metoda wymaga modyfikacji albo należy rozważyć inną alternatywną metodę. Zastosowana metoda badawcza powinna ściśle odzwierciedlać określoną fazę rozwoju pożaru (tab. 1). Z tabeli tej można wybrać warunki do stosowania w próbach, w skali laboratoryjnej, w celu uzyskania możliwie najlepszej zbieżności z pożarami w pełnej skali. Trzeba mieć świadomość, że pożar obejmuje szereg złożonych i wzajemnie powiązanych procesów. Może rozwijać się na bardzo wiele sposobów zależnych głównie od źródła inicjacji pożaru, składu materiałów, ich ilości, orientacji i powierzchni, geometrii pomieszczenia, położenia i wielkości otworów wentylacyjnych. Rozwój pożaru odnosi się do wzrostu w czasie wartości parametrów opisujących pożar [16]. Biorąc pod uwagę powyższe, trudno jest symulować wszystkie aspekty pożaru z wykorzystaniem metod badawczych w skali laboratoryjnej.

Odrębnym problemem jest ocena toksyczności powstałych produktów spalania. Może ona być oparta na analizie chemicznej albo na wynikach testów na zwierzętach. Ta pierwsza ocena wymaga porównania otrzymanych wartości doświadczalnych z danymi zebranymi podczas badań na zwierzętach, analizy wypadków, pożarów z ofiarami śmiertelnymi. W obu

przypadkach wymagana jest ekstrapolacja. Reakcja zwierząt nie równa się reakcji ludzi. Ponadto, trzeba mieć świadomość, że osoby poddane oddziaływaniu toksycznych gazów należą często do różnych grup: młodzi, starsi, niepełnosprawni, pod wpływem alkoholu. Ich reakcje mogą się różnić i to trzeba wziąć pod uwagę. Poza tym zwierzęta wykorzystywane do celów eksperymentalnych są na ogół dorosłe i zdrowe. Na szczęście tylko w niektórych krajach (USA, Japonia, Chiny) do oceny toksyczności produktów spalania wciąż wykorzystuje się zwierzęta. W Europie ocena ta opiera się głównie na chemicznej analizie.

Wyniki badań najczęściej wyrażane są poprzez określenie stężenia gazu toksycznego [ $\mu\text{l/l}$  lub  $\text{g/m}^3$ ] lub emisji właściwej [ $\text{g/g}$ ]. Koncepcja szacowania toksyczności środowiska pożarowego opiera się głównie na określaniu w warunkach pożarowych:

1. Częstkowej Dawki Efektywnej FED (ang: fractional effective dose) odzwierciedlającej działanie gazów duszących (narkotycznych) (CO i HCN).
2. Częstkowego Stężenia Efektywnego FEC (ang: fractional effective concentration) charakteryzującego działanie gazów drażniących.

Skuteczna dawka cząstkowa określana skrótem FED (z ang. fractional effective dose) zostało zdefiniowane [10] jako stosunek stężenia i czasu przeznaczonego dla gazowych toksycznych produktów spalania w określonym czasie ekspozycji, którego skutkiem jest śmierć 50% badanych zwierząt narażonych na toksyczny czynnik w określonym czasie. Z kolei norma PN-EN 60695-7-1 [12] definiuje FED jako stosunek dawki narażeniowej duszącego środka toksycznego do takiej, przy której można spodziewać się określonego skutku narażonego podmiotu o przeciętnej wrażliwości. Podstawą modelu FED jest przyjęcie, że końcowe działanie gazów drażniących [CO i HCN] jest efektem sumowania udziałów cząstkowych otrzymanych przez podzielenie aktualnego stężenia przez stężenie przyjmowane jako kry-

tyczne. Jeśli taka suma osiągnie wartość 1, to przyjmuje się, że środowisko pożaru z uwagi na toksyczność jest wybitnie drażniące i powoduje skrajne skutki, które sprowadzają się do znacznego spowolnienia ewakuacji.

Matematycznie FED można wyrazić za pomocą następującego wzoru [11]:

$$X_{FED} = \sum_{i=1}^n \sum_{t_1}^{t_2} \frac{C_i}{(C \cdot t)_i} \Delta t \quad (1)$$

gdzie:

$C_i$  – średnie stężenie składnika  $i$  [ $\mu\text{l/l}$ ] lub [ $\text{g/m}^3$ ] w analizowanym przedziale czasowym [min.]

$(Ct)_i$  – maksymalne dopuszczalne stężenie składnika toksycznego umożliwiające bezpieczną ewakuację [ $\mu\text{l/l}$  lub  $\text{g/m}^3$ ]

$t$  – przyrost czasu [min.].

Gdy wartość FED w podanym wzorze (1) wynosi 1, przyjmuje się, że stężenie gazowych substancji toksycznych byłoby śmiertelne dla 50% narażonych na ich działanie zwierząt w określonym czasie ekspozycji na dany czynnik, co stanowi wartość  $LC_{50}$ .

W normie ISO 13571 ujęto wzór (2) dla gazów duszących, wedle którego określa się wartości FED [11]:

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{[\text{CO}]}{35,000 \mu\text{L/L} \cdot \text{min}} \Delta t + \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\exp([\text{HCN}]/43)}{220 \text{ min}} \Delta t \quad (2)$$

gdzie:

[CO] i [HCN] to ułamki objętościowe [ $\mu\text{l/l}$ ]

Obliczenia dla gazów drażniących są praktycznie analogiczne, z tym że wykorzystuje się chwilowe stężenie gazów, a nie wartość skumulowaną. W przypadku właśnie tych gazów skuteczna dawka FED wynosi 1, gdy przeciętny zdrowy człowiek w wyniku podrażnienia sensorycznego i/lub górnych dróg oddechowych staje się niezdolny do samodzielnej ucieczki [11]. Ogólne równanie (3) dla gazów drażniących:

$$FEC = \frac{f_{\text{HCl}}}{F_{\text{HCl}}} + \frac{f_{\text{HBr}}}{F_{\text{HBr}}} + \frac{f_{\text{HF}}}{F_{\text{HF}}} + \frac{f_{\text{SO}_2}}{F_{\text{SO}_2}} + \frac{f_{\text{NO}_2}}{F_{\text{NO}_2}} + \frac{f_{\text{acrolein}}}{F_{\text{acrolein}}} + \frac{f_{\text{form.}}}{F_{\text{form.}}} + \sum \frac{f_{\text{irritant}}}{F_{\text{irritant}}} \quad (3)$$

$f_{\text{HCl, HBr...}}$  – średnie stężenie produktów toksycznych [ $\mu\text{l/l}$ ]

form. – formaldehyd

acrolein – akroleina

irritant – inne gazy drażniące

$F$  – tabelaryczna wartość stężenia, która uniemożliwia bezpieczną ewakuację [ $\mu\text{l/l}$ ].

## 5. Podsumowanie

Analiza literatury uprawnia do stwierdzenia, że problem oszacowania toksyczności środowiska pożarowego w aspekcie bezpiecznej i skutecznej ewakuacji w budynkach jest niezmiernie trudny do realizacji. Oprócz problemów, o których mowa powyżej, dodatkowe trudności w oszacowaniu rodzaju i ilości toksyn wynikają z tego, że w pożarze jest ciągły ruch gazów na skutek różnicy ciśnień produktów spalania i otaczającej atmosfery. Dochodzi do tego, trudny do przewidzenia przebieg rozwoju pożaru. Skutki oddziaływań toksyn na organizm ludzki mogą być różne (niezależne, sumujące, synergistyczne i antagonistyczne). I wreszcie brak jest danych dotyczących skutków jednoczesnego oddziaływania temperatury, dymu i gazów toksycznych na organizm ludzki.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenia ministra infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75 z 2002 r. poz. 690 z późn. zm.)
- [2] 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 86/109/EWG (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L88 z dnia 4 kwietnia 2011 r.)
- [3] Dokument interpretujący do Dyrektywy 89/106/EEC dotyczącej wyrobów budowlanych. Wymagania podstawowe nr 2 „Bezpieczeństwo pożarowe, Warszawa 2003
- [4] PN-IEC 60364-3:2000. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Ustalanie ogólnych charakterystyk
- [5] PN-IEC 60364-4-482:1999. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Dobór środków ochrony w zależności od wpływów zewnętrznych – Ochrona przeciwpożarowa
- [6] PN EN 60695-1-30:2010: Badanie zagrożenia ogniowego – Część 1-30: Wytyczne oceny zagrożenia ogniowego wyrobów elektrotechnicznych – Procedury doboru wstępnego – Wytyczne ogólne
- [7] PN – 88/B-02855. Ochrona przeciwpożarowa budynków. Metoda badania wydzielania toksycznych produktów rozkładu i spalania materiałów
- [8] T. R. Hull, K.T. Paul, Bench-scale assessment of combustion toxicity—A critical analysis of current protocols, Fire Safety Journal 42 (2007) s. 340–365
- [9] PN-EN 13501-1+A1:2010. Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków – Część 1: Klasyfikacja na podstawie wyników badań reakcji na ogień
- [10] ISO 13344:2004. Estimation of the lethal toxic potency of fire effluent
- [11] ISO 13571:2007. Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data
- [12] PN EN 60695-7-1:2007, Badanie zagrożenia ogniowego. Część 7-1: Toksyczność lotnych produktów spalania. Wytyczne ogólne
- [13] ISO 19703: 2010. Generation and analysis of toxic gases in fire – Calculation of species yields, equivalence ratios and combustion efficiency in experimental fires
- [14] M. Kobes, I. Helsloot, B. de Vries, J. G. Post, Building safety and human behaviour in fire: A literature review, Fire Safety Journal 45 (2010), s. 1–11
- [15] R. T Hull., T. P Keith, Bench-scale assessment of combustion toxicity – A critical analysis of current protocols, Fire Safety Journal 42 (2007), s. 340 – 365
- [16] M. Konecki, Wpływ szybkości wydzielania ciepła i emisji dymu na rozwój pożaru w układzie pomieszczeń, SGSP, Warszawa 2007