

bryg. dr hab. Marzena PÓŁKA, prof. SGSP
dr hab. Marek KONECKI
st. kpt. dr inż. Norbert TUŚNIO
Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Zastosowanie danych z kalorymetru stożkowego do analizy wpływu środka ogniochronnego materiału polimerowego ulegającego spalaniu na zmiany zadymienia w przestrzeni ograniczonej

Omówienie
LEAD

W pracy analizowano wpływ wybranych środków ogniochronnych na parametry emisji energii cieplnej i dymu z materiałów polimerowych określone za pomocą kalorymetru stożkowego oraz na parametry strefy zadymienia w układzie pomieszczeń. Jako materiał badawczy wybrano konstrukcyjne materiały polimerowe niemodyfikowane i modyfikowane ogniochronnie, takie jak drewno dębowe, żywice epoksydowe na bazie Epidianu 5 oraz materiały wyposażeniowe, jak pianki poliuretanowe. Na podstawie przeprowadzonych analiz uzyskano pozytywną korelację między parametrami otrzymanymi za pomocą kalorymetru stożkowego a parametrami zadymienia modelowanego jedno- i dwustrefowo dla prostego układu dwóch pomieszczeń.

Słowa kluczowe: środki ogniochronne drewna, szybkość wydzielania ciepła, dym, zasięg widzialności.

1. Wprowadzenie

Ograniczenie widzialności utrudnia lub uniemożliwia ewakuację ludzi z budynku. Redukcja zasięgu widzialności przez dym jest często pierwszym czynnikiem zagrożenia człowieka w czasie pożaru, jeszcze przed jego oddziaływaniem termicznym. Zmniejszenie poczucia zagrożenia podnosi wydolność organizmu ludzkiego w środowisku objętym pożarem, co pozwala m.in. na uniknięcie paniki i podjęcie zorganizowanej, skutecznej akcji ratowniczo-gaśniczej. Zgodnie z danymi statystycznymi [3] ponad 80% wypadków śmiertelnych w czasie pożarów spowodowane jest zagrożeniem stwarzanym przez dym.

Dotychczas prowadzono badania emisji dymu z materiałów polimerowych naturalnych i sztucznych, ograniczając się w większości przypadków do pomiaru gęstości optycznej dymu i wielkości pochodnych w warunkach oddziaływania

strumienia promieniowania cieplnego o zadanej wartości [1, 3]. Badano własności dymotwórcze materiałów w zależności od rodzaju spalania [1], stężenia tlenu [5], składu i budowy chemicznej materiału [5, 6], dodatków ogniochronnych [2, 7, 9–11]. Wciąż mało jest publikacji naukowych analizujących związki między danymi emisji energii cieplnej i dymu w małej skali ze stopniem zadymienia przestrzeni ograniczonych.

Niniejsza praca miała na celu analizę wartości zasięgów widzialności w dymie w wybranym modelu pomieszczeń za pomocą modelu jedno- i dwustrefowego pożaru wykorzystując dane z kalorymetru stożkowego. Jako materiały ulegające spalaniu wybrano materiały polimerowe takie jak drewno, żywice epoksydowe na bazie Epidianu 5 (Ep 5) oraz syntetyczne pianki poliuretanowe. Wybór ten był uzasadniony szerokim wykorzystaniem tych materiałów w budownictwie ogólnym. Badano materiały modyfikowane i niemodyfikowane ogniochronnie. Dokonano analizy wpływu środka ogniochronnego materiału palnego na zmiany środowiska pożaru w układzie dwóch pomieszczeń.

2. Część eksperymentalna

W pracy określono za pomocą metody w małej skali kalorymetru stożkowego następujące parametry palne: szybkość ubytku masy w czasie spalania, szybkość wydzielania ciepła na jednostkę powierzchni materiału HRR (Heat Release Rate) (kW/m^2), parametr emisji dymu – powierzchnia ekstynkcji właściwej – SEA (Specific Extinction Area) (m^2/kg). SEA oznaczający efektywną, pochłaniającą światło powierzchnię cząstek dymu w m^2 powstałych w czasie rozkładu termicznego i spalania 1 kg materiału. Ponadto oznaczono emisje wybranych gazowych produktów rozkładu – CO i CO₂.

Badania wykonano dla wszystkich próbek materiałów niemodyfikowanych i modyfikowanych ogniochronnie.

2.1. Opis materiałów do badań

Drewno dębowe i stosowane impregnaty ogniochronne

Do badań eksperymentalnych zostały wykorzystane próbki drewna dębowego, o gęstości 0,62–0,69 g/cm^3 pozyskane z tartaku. Wybór impregnatów do badań wynikał z najczęściej kupowanych i stosowanych w budownictwie w Polsce preparatów ogniochronnych do drewna. Jako impregnaty ogniochronne do drewna użyto następujące środki:

- **Fobos M-4** (producent: Zakłady Chemiczne Luboń sp. z o.o.), mieszanina soli nieorganicznych z niewielkim dodatkiem soli organicznych. Środek działa ogniochronnie na zasadzie endotermicznego pochłaniania ciepła w czasie rozkładu i obniżenia stężenia tlenu oraz gazów palnych w strefie ognia.
- **Uniepal-Drew** (producent: PPH „ADW” sp. z o.o.), lakier poliuretanowy wodorozcieńczalny. Środek działa ogniochronnie na zasadzie endotermiczne-

go pochłaniania ciepła w czasie rozkładu, obniża szybkość wydzielania ciepła, nie zwiększa czasu do zapłonu.

- **Ogniochron/Impreguator F40 P** (producent: Przedsiębiorstwo Altax sp. z o.o.), mieszaniny soli nieorganicznych. Środek działa ogniochronnie na zasadzie endotermicznego pochłaniania ciepła w czasie rozkładu i obniżenia stężenia tlenu oraz gazów palnych w strefie ognia.
- **Prevento Sprayer** (producent: firma Febbex). Środek działa ogniochronnie na zasadzie endotermicznego pochłaniania ciepła w czasie rozkładu i obniżenia stężenia tlenu oraz gazów palnych w strefie spalania.

Pianki poliuretanowe i stosowane środki ogniochronne

Do badań wykorzystano piankę poliuretanową wytworzoną w Zakładach Chemicznych „Zachem” w Bydgoszczy. Materiałem wyjściowym do produkcji pianki był poliuretan wytworzony z izocyjanianu o dwóch grupach izocyjanianowych w cząsteczce – TDI (diizocyjaniantoluilenu), żywicy polieterowej, wody oraz dodatków (katalizatorów: aminowego i cynoorganicznego oraz środków powierzchniowo czynnych). Do modyfikacji ogniochronnej pianki poliuretanowej użyto:

- **Fyrol PNX LE**, środek produkowany przez firmę ICL Industrial Products. Głównym składnikiem jego jest oligomer typu poliestru fosforowego. Dodatkowo w skład środka wchodzi kwas fosforowy i tlenek fosforu (V). Działanie ogniochronne polega na zmniejszeniu ilości tworzącego się dymu podczas procesów spalania materiałów polimerowych.
- **Grafit ekspandujący**, modyfikowany, pochodzenia naturalnego, wytwarzany jest z rudy grafitowej w procesie wzbogacania i rafinacji, a następnie poddany działaniu silnych utleniaczy. Podczas tego procesu zachodzi interkalacja sieci krystalicznej grafitu atomami innego pierwiastka. W czasie ogrzewania zachodzi uwolnienie interkalatu, zerwanie wiązań międzypłaszczyznowych i eksfoliacji kryształów grafitu wskutek czego tworzą się nanoagregacje grafenowe. Grafit ulega silnej ekspansji objętościowej i przechodzi w elastyczny i izolacyjny materiał zwany ekspandem grafitowym o powierzchni właściwej rzędu 100 m²/g. Jako dodatek, powoduje wzrost odporności ogniowej materiałów.

Materiał epoksydowy utworzony z Epidianu 5 i stosowane środki ogniochronne

Do analiz użyto niemodyfikowaną utwardzoną żywicę epoksydową (Epidian 5, Ep 5) oraz próbki żywicy modyfikowanej ogniochronnie. Epidian 5 to żywica o stosunkowo małej masie cząsteczkowej, wyprodukowana przez Zakłady Chemiczne „Organika–Sarżyna” w Nowej Sarżynie. Do modyfikacji ogniochronnej materiału epoksydowego użyto:

- **Apyral** to nazwa handlowa minerału zawierającego wodorotlenki glinu (III). Zasada działania opiera się w szczególności na zwęglaniu powierzchni mate-

riału poddanego działaniu strumienia ciepłego. W obecności źródła zapłonu wodorotlenku glinu zaczyna ulegać reakcji rozkładu z wydzielaniem wody, co w konsekwencji tworzy warstwę szklistą na powierzchni materiału epoksydowego. Para wodna schładza powierzchnię materiału i rozcieńcza gazowe palne produkty rozkładu. Powstająca warstwa zwęglona działa ochronnie przed promieniowaniem ciepłym oraz dostępem tlenu z powietrza a także ogranicza uwalnianie palnych produktów rozkładu termicznego i spalania.

- **Fyrol PNX** jest środkiem ogniochronnym zawierającym atomy fosforu, nie zawierającym halogenów. Dzięki dużej masie cząsteczkowej posiada niski stopień parowania oraz blokuje emisje lotnych związków organicznych w warunkach pożarowych. Działanie ogniochronne jest głównie fizyczne, poprzez tworzenie bariery ochronnej (warstwy zwęglonej) na powierzchni materiału.
- **Nanorurki węglowe** są to stosunkowo nowoodkryte nanomateriały węglowe, których powstawanie odbywa się na poziomie atomowym, a ich właściwości nie są do końca poznane. W materiale epoksydowym, w czasie spalania, przyczyniają się do powstawania struktur skarbonizowanych na powierzchni materiału polimerowego.

2.2. Metoda badawcza

Parametry emisji energii cieplnej i dymu z materiałów polimerowych określano za pomocą kalorymetru stożkowego produkcji firmy FTT (Fire Testing Technology) z Wielkiej Brytanii będącym w posiadaniu laboratorium Zakładu Spalania Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Procedurę pomiarową przeprowadzono zgodnie z normą ISO 5660:2002 cz. 1 (Badania ogniowe – Reakcja na ogień – Metoda badania szybkości wydzielania ciepła „Fire tests – reaction to fire – rate of heat release from building products. Cone calorimeter method”). Pomiary wykonano przy zewnętrznym strumieniu ciepła 30 kW/m^2 .

Wartości wybranych parametrów palności otrzymane za pomocą kalorymetru stożkowego pokazano w tabelach 1 i 2.

Wyniki badań wskazują na wpływ dodatków ogniochronnych poszczególnych materiałów na emisje energii cieplnej i dymu w czasie ich spalania.

W pracy określono, które z badanych środków ogniochronnych powodują zwiększenie generacji energii cieplnej i dymu. Drewno modyfikowane ogniochronnie zwiększa emisję cząstek dymu, niezależnie od dodatku. Wpływ na zmiany emisji ciepła jest zróżnicowany (tabela 1). W przypadku materiału epoksydowego, środki ogniochronne obniżają emisje ciepła i dymu. Szczególnie jest to widoczne w przypadku dodatku Fyrolu PNX oraz mieszaniny Fyrolu PNX z Apyralem. Dodatki do pianki poliuretanowej powodują znaczne obniżenie HRR_{max} . Dodatek grafitu obniża znacznie emisje dymu, PNXEL nieznacznie ją podwyższa (tabela 2).

Tabela 1. Maksymalna szybkość wydzielania ciepła HRR_{max} oraz średnia powierzchnia ekstynkcji właściwej SEA_{sr} dla drewna i pianki poliuretanowej, modyfikowanych i bez modyfikacji ogniochronnej

Table 1. The maximum heat release rate HRR_{max} and average values of SEA_{sr} for wood and polyurethane foam, unmodified and modified with flame retardants

Badany materiał	HRR_{max} [kW/m ²]	SEA_{sr} [m ² /kg]
drewno dębowe	193,91	16,76
drewno dębowe+Fobos (p)*	236,13	78,33
drewno dębowe+Fobos (n)**	185,54	51,23
drewno dębowe+Uniepal (p)	186,52	45,23
drewno dębowe+Uniepal (n)	224,82	47,89
drewno dębowe+Prevento (p)	208,12	27,67
drewno dębowe+Prevento (n)	215,27	32,29
drewno dębowe+Ognioochron (p)	181,40	49,44
pianka poliuretanowa	189,18	318,55
pianka poliuretanowa+ grafit	136,51	193,40
pianka PNCEL	113,85	334,02

* nakładanie środka pędzlem, ** nakładanie środka metodą natrysku.

Tabela 2. Maksymalna szybkość wydzielania ciepła HRR_{max} oraz średnia powierzchnia ekstynkcji właściwej SEA_{sr} dla materiału epoksydowego modyfikowanych i bez modyfikacji ogniochronnej

Table 2. The maximum heat release rate HRR_{max} and average values of SEA_{sr} for epoxy material, unmodified and modified with flame retardants

Nazwa materiału	HRR_{max} [kW/m ²]	SEA_{sr} [m ² /kg]
UEp 5	1242	904
UEp5+5%Apyral	908	834
UEp5+10%Apyral	890	844
UEp5+3%Fyrol PNx	797	774
UEp5+5%Fyrol PNx	669	723
UEp5+5%Apyral+5%Fyrol PNx	663	762
UEp5+0,1%Nanorurki	802	869

3. Szacowanie zasięgu widzialności za pomocą modelu jednostrefowego

Zakładając emisję cząstek dymu w warunkach dynamicznych pożaru określaną za pomocą parametru SEA otrzymano równanie pozwalające na szacowanie zasięgu widzialności w dymie [8]:

$$Z(t) = \frac{C V}{SEA_{sr} [m_p \quad m(t)]} \quad (1)$$

gdzie: C oznacza stałą, dla przedmiotów świecących światłem odbitym, $C = 3,0$.
V – objętość przestrzeni zadymionej [m³],

m_p – masa początkowa próbki [g],

$m(t)$ – masa próbki w danym czasie.

Założono, że materiały polimerowe spalały się w układzie pomieszczeń o objętości 114,40 m³ (pomieszczenie biurowe z korytarzem) (rys. 2). Założono stałą powierzchnię spalania materiału równą 1 m², grubość materiału równą grubości próbki w kalorymetrze stożkowym oraz warunki spalania takie jak w kalorymetrze stożkowym.

Niżej podano wyniki obliczeń czasu osiągnięcia krytycznego zasięgu widzialności równego 5 m.

Tabela 3. Krytyczne czasy redukcji widzialności dla badanych materiałów w układzie modelowym pomieszczeń

Table 3. The critical times of visibility reduction for the tested materials in the model system of compartments

Badany materiał	Czas krytyczny zasięgu widzialności [s]	Badany materiał	Czas krytyczny zasięgu widzialności [s]
drewno dębowe	94	Ep5	64
drewno dębowe+Fobos (pędzel)	52	Ep5 + Apyral 5%	88
drewno dębowe+Fobos (natrysk)	70	Ep5 + Apyral 5% + Fyrol PNX 5%	60
drewno dębowe+Uniepal (pędzel)	32	Ep5 + Apyral 10%	82
drewno dębowe+Uniepal (natrysk)	80	Ep5 + Fyrol PNX 3%	70
drewno dębowe+Prevento (pędzel)	102	Ep5 + Fyrol PNX 5%	74
drewno dębowe+Prevento (natrysk)	88	Ep5 + Nanorurki 0,1%	86
drewno dębowe+Ogniochron (pędzel)	68	Pianka poliuretanowa+ grafit	8
pianka poliuretanowa	6	Pianka PNXEL	8

Wyniki obliczeń analitycznych wskazują, że czasy krytyczne redukcji zasięgu widzialności są funkcją głównie: objętości pomieszczeń, składu chemicznego materiału ulegającego rozkładowi termicznemu i spalaniu, szybkości emisji dymu z materiału, masowej szybkości spalania i warunków oświetlenia przedmiotów znajdujących się w ośrodku zadymionym,

Drewno dębowe niemodyfikowane ogniochronnie osiągnęło najdłuższy czas krytycznej redukcji widzialności w modelowanym układzie pomieszczeń. Próbki drewna zaimpregnowane środkami ogniochronnymi wykazały znacznie mniejsze wartości zasięgów widzialności w dymie w analizowanym układzie pomieszczeń.

Najodpowiedniejszym środkiem ogniochronnym dla próbek testowanych ze względu na wartości zasięgów widzialności okazał się Prevento Speryer (nanoszony pędzlem), natomiast najgorszym Uniepal Drew. Wartości zasięgów widzialności w dymie dla pianek poliuretanowych były bardzo małe co potwierdza, że stanowią w pożarach istotne zagrożenie jako elementy wyposażenia wnętrz, szczególnie w budynkach ZL.

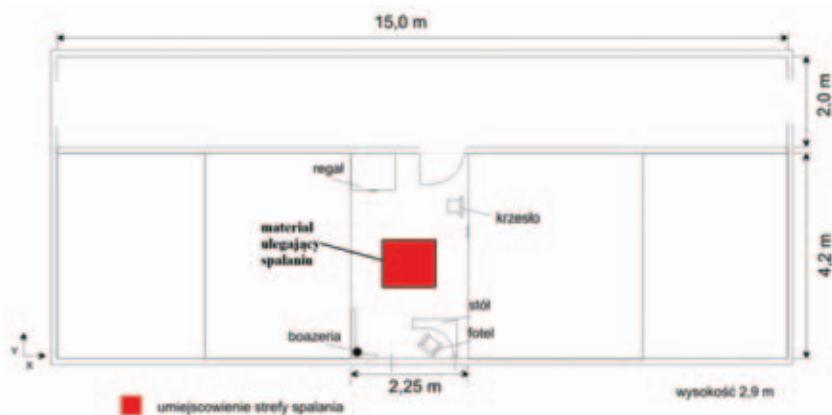
Dodatki antypirenów zmieniają indywidualnie charakterystykę rozkładu żywic epoksydowych. Najkorzystniejszym antypirenem z uwagi na wartości zasięgu widzialności zaobserwowano dla Apyralu i Nanorurek w porównaniu do innych materiałów. Działanie Fyrolu jest mniej korzystne mimo, że obniża średnią emisję dymu i znacznie redukuje generację ciepła (tabela 1) co związane jest z najmniejszą szybkością ubytku masy.

4. Symulacja zadymienia za pomocą modelu dwustrefowego

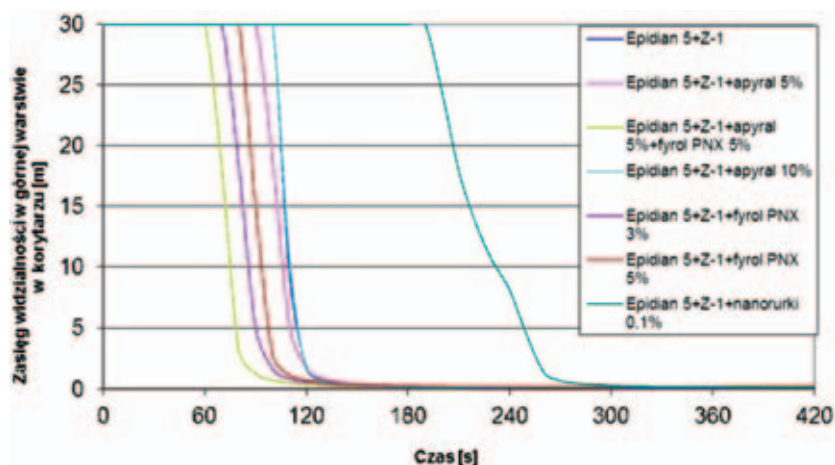
Założono, że analizowane w pracy materiały ulegały spalaniu w warunkach stałej powierzchni spalania (pożaru) równej 1 m^2 i ułożone zostały w środku geometrycznym podłogi pomieszczenia (rys. 1). Rozkład termiczny i spalanie następowały pod wpływem stałego strumienia ciepła o mocy 30 kW/m^2 . Dane charakteryzujące emisję ciepła z każdego materiału oraz dane emisji różnych produktów spalania (cząstek dymu oraz produktów gazowych) przyjęto jako dane otrzymane uprzednio za pomocą metody małej skali geometrycznej kalorymetru stożkowego przy założeniu spalania się 1 m^2 materiału. Przyjęto tworzenie się układu dwustrefowego pożaru opisywanego za pomocą programu CFAST [4].

Spalanie materiałów polimerowych, Epidianu oraz Epidianu z dodatkami, powoduje silny wzrost gęstości optycznej górnej warstwy dymu w korytarzu (rys. 2). Spalanie materiału Epidian 5+Z-1+Apyral 5%+Fyrol PNX 5% powoduje najszybszą redukcję zasięgu widzialności. Zasięg krytyczny z uwagi na ewakuację 5 m osiągany został po czasie ok. 80 s. Epidian 5+Z-1 ulega rozkładowi z generacją dymu, który osiąga gęstość odpowiadającą zasięgowi widzialności 5 m po ok. 120 s. Pozostałe dodatki (oprócz nanorurek) skracają ten czas.

W przypadku stosowania nanorurek, krytyczny poziom zadymienia osiągany został po ok. 260 s. We wszystkich przypadkach rozkładu termicznego i spalania następuje redukcja zbiegu widzialności do zera.



Rys.1. Schemat układu modelowego: pomieszczenie biurowe – korytarz
Fig.1. Diagram of the model: office space – the corridor

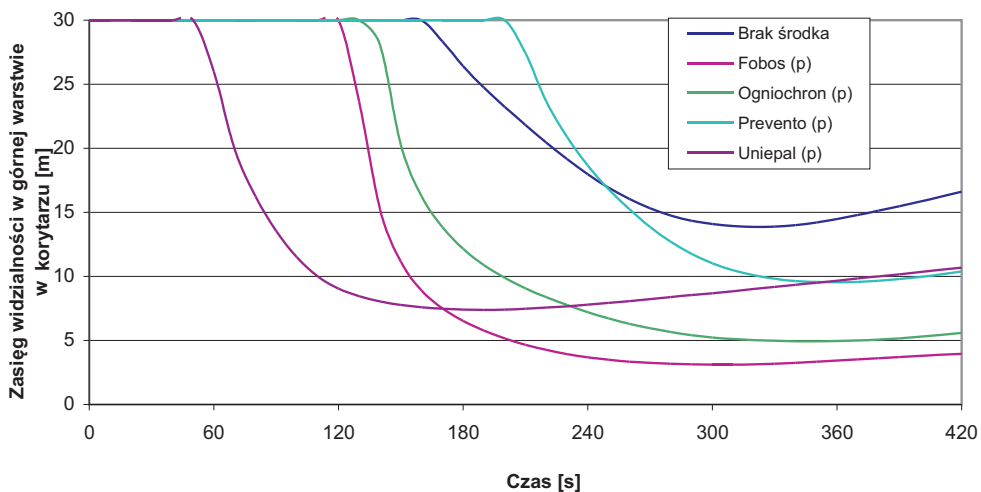


Rys. 2. Zasięg widzialności w górnej warstwie w korytarzu w funkcji czasu spalania materiałów polimerowych utworzonych z Epidianu 5, niemodyfikowanego i modyfikowanego ogniochronnie
Fig. 2. The range of visibility in the upper layer in the corridor as a function of combustion time of polymeric materials formed from Epidian 5, unmodified and modified with flame retardants

Spalanie pianki poliuretanowej czystej i pianki z dodatkami, powoduje silny wzrost gęstości optycznej górnej warstwy dymu w korytarzu, który następuje po bardzo krótkim czasie. Niezależnie od rodzaju badanego dodatku.

We wszystkich przypadkach zasięg widzialności równy 5 m został osiągnięty po ok. 20 s, po czym po czasie ok. 60 s maleje do ok. 1 m.

Modyfikacja ogniochronna drewna dębowego wybranymi antypirenami powoduje, silniejsze zadymienie korytarza niż w przypadku spalania materiału bez modyfikacji (rys. 3).



Rys. 3. Zasięg widzialności w górnej warstwie w korytarzu w funkcji czasu spalania drewna dębowego bez środka i zabezpieczonego przy użyciu pędzla
Fig. 3. The range of visibility in the upper layer in the corridor as a function of time combustion of oak wood samples modified with flame retardants way to brush and unmodified

W przypadku stosowania środków Uniepal i Prevento do próbek drewna nie następuje przekroczenie warunków krytycznych. Poziom 5 m w przypadku środka Fobos osiągniany jest po czasie równym 200 s, a w przypadku Ogniochronu po czasie 360 s. Metoda natrysku w stosunku do metody pędzla powoduje wydłużenie czasu osiągnięcia min. zasięgu widzialności dla środków Fobos i Uniepal. W przypadku Prevento metoda natrysku skraca w stosunku do metody pędzla czas osiągnięcia min. zasięgu widzialności.

Zgodnie z dynamiką procesów spalania, generacja dymu jest silną funkcją szybkości spalania i wraz z jej wzrostem następuje przyspieszenie emisji cząstek dymu z materiałów. W konsekwencji redukcja zasięgu widzialności jest procesem o największej dynamice wśród zjawisk składających się na pożar i w sposób naturalny stanowi największe zagrożenie przebiegu bezpiecznej ewakuacji ludzi w budynku.

5. Doświadczalne korelacje między danymi z kalorymetru stożkowego a parametrami zadymienia

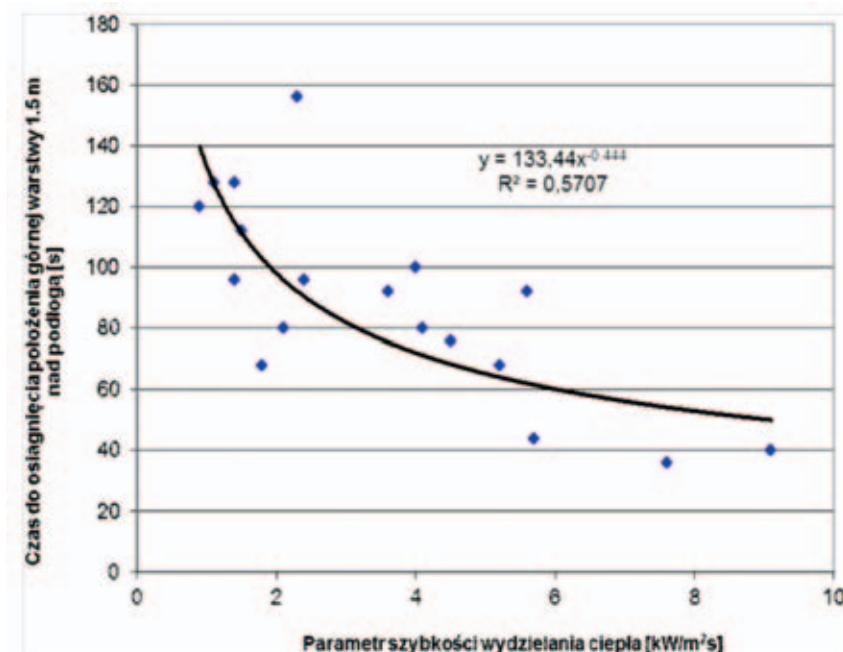
Obliczanie emisji dymu, którą mogą charakteryzować parametry określające własności optyczne dymu, na podstawie składu chemicznego i kinetyki reakcji spalania materiałów i wyrobów budowlanych nie jest aktualnie możliwe. Dlatego prognozowanie zadymienia pomieszczeń bazuje głównie na danych otrzymanych w badaniach małej skali np. kalorymetru stożkowego [9]. Teoria zjawisk niekontrolowanego spalania prowadzi do zależności między parametrami określającymi emisję energii cieplnej i dymu z materiału w warunkach pożaru a parametrami pożaru kontrolującymi stan zadymienia w układzie pomieszczeń.

Z danych doświadczalnych otrzymanych w metodzie kalorymetru stożkowego, przyjęto do charakterystyki dynamiki procesów emisji energii cieplnej parametr szybkości wydzielania ciepła $HRR_{I_{max}}/\Delta t_{I_{max}}$ określony stosunkiem szybkości wydzielania ciepła w maksimum pierwszego piksu do czasu jego osiągnięcia. Parametr $1/SEA_{sr}$ przyjęto jako parametr określający emisję dymu.

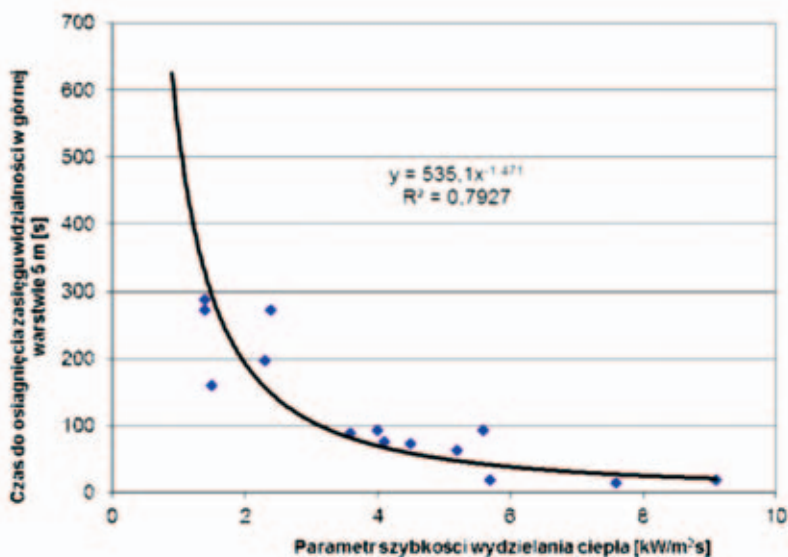
Otrzymane teoretycznie zależności korelacyjne między parametrami doświadczalnymi uzyskanymi w metodzie kalorymetru stożkowego i parametrami szybkości zadymienia wykorzystano w analizie regresji pozwalającej na ustalenie ilościowych związków między wymienionymi wielkościami.

Uzyskano silną korelację między parametrem szybkości wydzielania ciepła a czasem do osiągnięcia położenia górnej warstwy 1,5 m nad poziomem podłogi korytarza (rys. 4) oraz czasem do osiągnięcia zasięgu widzialności 5 m w górnej warstwie w korytarzu (rys. 5). Otrzymano przewidziany teoretycznie charakter zależności funkcyjnych mimo różnic w wykładnikach potęgowych.

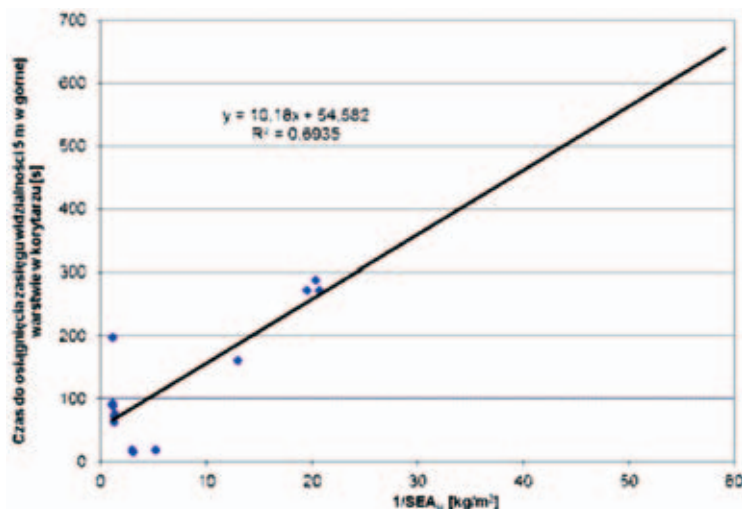
Związek między czasem osiągnięcia krytycznego zasięgu widzialności 5 m w górnej warstwie i parametrem emisji dymu pokazano na rys. 6. Otrzymano silną korelację.



Rys. 4. Korelacja między czasem do osiągnięcia położenia górnej warstwy 1,5 m nad poziomem podłogi korytarza a parametrem szybkości wydzielania ciepła z materiałów ulegających spalaniu
Fig. 4. The correlation between time to achieve the upper layer of 1,5 m above the floor corridor and the parameter of heat release rate of materials undergoing combustion



Rys. 5. Korelacja między czasem do osiągnięcia zasięgu widzialności 5 m w górnej warstwie w korytarzu a parametrem szybkości wydzielania ciepła z materiałów ulegających spalaniu
Fig. 5. The correlation between time to achieve the visibility range of 5 m in upper layer in the corridor and the parameter of heat release rate of materials undergoing combustion



Rys. 6. Korelacja między czasem do osiągnięcia zasięgu widzialności 5 m w górnej warstwie w korytarzu a parametrem emisji dymu z materiałów ulegających spalaniu

Fig. 6. The correlation between time to achieve the visibility range of 5 m in upper layer in the corridor and smoke parameter of materials undergoing combustion

W wyniku analizy regresji nieliniowej otrzymano następujące związki korelacyjne podane na rysunkach wyżej:

$$t(z \ 1,5m) = \frac{a}{\frac{HRR_{I_{max}}}{t_{I_{max}}}}{}^b \quad (8)$$

gdzie stałe: $a = 133,44$; $b = 0,444$ dla układu pomieszczenie – korytarz.

$$t(Z \ 5m) = \frac{c}{\frac{HRR_{I_{max}}}{t_{I_{max}}}}{}^d \quad (9)$$

gdzie stałe: $c = 535,1$; $d = 1,471$ dla układu pomieszczenie – korytarz.

$$t(Z \ 5m) = \frac{e}{SEA_{sr}} f \quad (10)$$

gdzie stałe: $e = 10,18$; $f = 54,582$ dla układu pomieszczenie – korytarz.

Otrzymane rodzaje zależności między parametrami materiałowymi i pożarowymi zadymienia mogą być wykorzystane do określenia granicznych „bezpiecznych” wartości parametrów emisji ciepła i dymu z materiałów oznaczanych metodą kalorymetru stożkowego. Niezbędne są dalsze badania większej liczby materiałów jak i szacowanie zadymienia dla różnych przestrzeni wewnętrznych budynku.

Podsumowanie

Przeprowadzone obliczenia potwierdzają, że modele strefowe uśredniające parametry pożaru po strefach pożaru (objętościach kontrolnych) są wystarczająco dokładne do badań porównawczych wpływu różnych dodatków modyfikujących własności pożarowe materiałów palnych i do szeregowania ich z uwagi na potencjalne zagrożenie pożarowe związane ze wzrostem stopnia zadymienia. Dane emisji ciepła i dymu z kalorymetru stożkowego mogą być zastosowane do analizy wpływu środka ogniochronnego materiału polimerowego ulegającego spalaniu na zmiany zadymienia w przestrzeni ograniczonej układu pomieszczenie–korytarz. Rozszerzenie otrzymanych zależności na inne układy pomieszczeń wymaga dalszych badań. Dla większych przestrzeni wewnętrznych budynku należy spodziewać się większych wartości czasów krytycznych. Z tego względu zagrożenie dymem w założonym układzie modelowym należy uznać za bliskie maksymalnemu. Uzyskano dobrą korelację między parametrami otrzymanymi za pomocą kalorymetru stożkowego a parametrami zadymienia modelowanego jedno- i dwustrefowo dla różnych wartości szybkości wydzielania ciepła.

Wyniki analizy regresji zależności korelacyjnych danych kalorymetru stożkowego i parametrów zadymienia w układzie dwustrefowym pożaru wskazują na dobre korelacje między czasem do osiągnięcia położenia górnej warstwy 1,5 m nad poziomem podłogi korytarza oraz zasięgiem widzialności 5 m w górnej warstwie a parametrem szybkości wydzielania ciepła z materiałów ulegających spalaniu, definiowanym jako stosunek HRR I maksimum do czasu jego osiągnięcia.

Uzyskano przewidziany teoretycznie charakter funkcji mimo różnic w wykładnikach potęgowych otrzymanych zależności.

Otrzymano również dobrą korelację między parametrem emisji cząstek dymu określonym jako $1/SEA_{sr}$ a czasem do osiągnięcia zasięgu widzialności 5 m w górnej warstwie w korytarzu.

Uzyskane zależności umożliwiają szacowanie czasów osiągnięcia warunków krytycznych zadymienia dla układu pomieszczenie–korytarz z danych kalorymetru stożkowego. Tym samym jest możliwa wstępna ocena zagrożenia zadymieniem na podstawie badań zachowania się materiałów w warunkach symulujących pożar, w małej skali laboratoryjnej.

Literatura

- [1] Drysdale D., An introduction to Fire Dynamics, John Wiley and Sons, New York 1985.
- [2] Gao L., Wang D., Wang Y., Wang J., Yang B., A flame-retardant epoxy resin based on a reactive phosphorus-containing monomer of DODPP and its thermal and flame-retardant properties, *Polymer Degradation and Stability* 2008, nr 93, s. 1308–1315.
- [3] Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, American Institute of Chemical Engineers, Nowy Jork 1989.

- [4] Jones W.W., Peacock R.D., Forney G.P., Reneke P.A., CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6), NIST Special Publication 1026, Technical Reference Guide 2006, NIST Special Publication 1041, User's Guide.
- [5] Mulholland G.W., Smoke production and properties – SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA, USA, 1988.
- [6] Östman B.A.-L., *Smoke and Soot w Heat Release in Fires*, Elsevier Science Publ. Ltd. Nowy Jork 1992, s. 233–250.
- [7] Konecki M., Półka M., Analiza zasięgu widzialności w dymie powstałym w czasie spalania materiałów poliestrowych, *Polimery* 2006, nr 51(4), s. 46–53.
- [8] Półka M., The calculations of visibility range reduction in model scheme compartment – corridor, VŠB–Technická Univerzita – Ostrava, *Požarní ochrana* 2007, s. 491–501.
- [9] Tewarson A., Generation of Heat and Chemical Compounds in Fire, Section 1/Chapter 13 w SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA, USA, 1988.
- [10] Toldy A., Anna P., Csontos I., Szabo A., Marosi G., Intrinsically flame retardant epoxy resin – Fire performance and background – Part I, *Polymer Degradation and Stability* 2007, nr 92, s. 2223–2230.
- [11] Toldy A., Szabo A., Novak C., Madarasz J., Tóth A., Marosi G., Intrinsically flame retardant epoxy resin – fire performance and background – Part II, *Polymer Degradation and Stability* 2008, nr 90, s. 673–702.

Marzena PÓŁKA
Marek KONECKI
Norbert TUŚNIO

The Use of Data from the Conic Calorimeter to Analyze the Influence of the Polymer Material Fire Resistance Agent Undergoing Combustion on the Changes of Smoke Logging in the Limited Space

SUMMARY

The paper has analyzed the influence of selected fire resistance agents on the parameters of heat and smoke release from the polymer materials defined by the conic calorimeter and on the parameters of smoke logging zones in the rooms system. For the research material, the authors selected the polymer structural materials which are not modified and fire resistant modified such as : oak timber, epoxide resins on the basis of Epidian 5, and fitting materials such as polyurethane foams. On the basis of conducted analysis the positive correlation between the parameters obtained by the conic calorimeter and the parameters of one or two zones modeled smoke logging for the simple system of two rooms, has been obtained.

Keywords: wood fire resistance agents, heat release rate, smoke, range of visibility.