

Marek Konecki*
Andrzej Kolbrecki**
Bartłomiej Papis***

BADANIA PARAMETRÓW EMISJI CIEPŁA I DYMU WYBRANYCH MATERIAŁÓW WYKOŃCZENIOWYCH METODĄ SBI

W artykule przedstawiono wyniki badań emisji ciepła i dymu z wybranych materiałów budowlanych przy zastosowaniu metody SBI. Wykonano analizę niepewności pomiarowych mierzonych wielkości oraz przedyskutowano różnice w wartościach parametrów emisji ciepła i dymu materiałów lignocelulozowych.

1. Wprowadzenie

Podstawową metodą badania wyrobów budowlanych, z wyłączeniem podłóg, opracowaną specjalnie na potrzeby systemu klasyfikacji CEN (Europejskiego Komitetu Normalizacji) – euroklasy według PN-EN 13501-1 – jest metoda SBI średniej skali (ang. *Single Burning Item*, zgodna z PN-EN 13823 [2]).

Metodą tą, zastosowaną do określania – obok parametrów klasyfikacyjnych – zależności szybkości wydzielania ciepła od czasu objęto materiały wykończeniowe i materiały różnych zastosowań. Dane te mogą być wykorzystane jako dane wejściowe do korelacji doświadczalnych oraz do strefowych i polowych (CFD) modeli pożaru.

Badanie przeprowadzono w pomieszczeniu zamkniętym, z podłogą w kształcie kwadratu o boku 3 m i wysokości 2,4 m (rys. 1). Testowany wyrób został umieszczony w narożniku pomieszczenia.

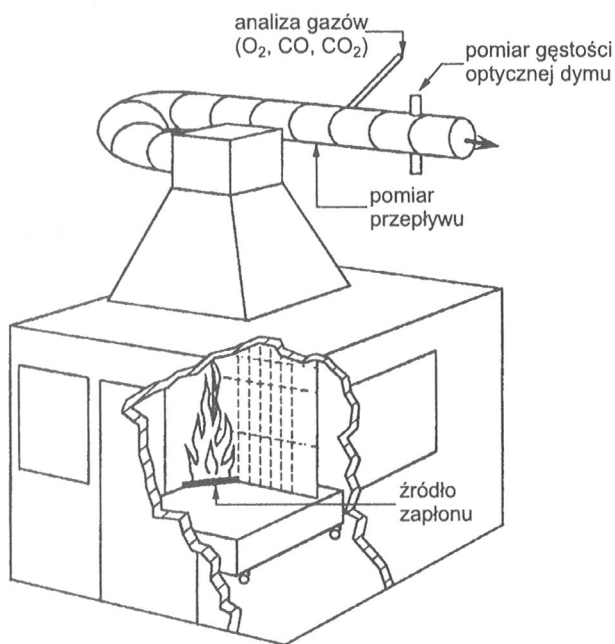
Próbka materiału/wyrobu miała wymiary: krótkie skrzydło – 0,5 m × 1,5 m (szer. × wys.), długie skrzydło – 1,0 m × 1,5 m (szer. × wys.). Próbki zamocowano bezpośrednio do podkładu z płyty krzemianowo-wapniowej o grubości 12 cm i gęstości 870 kg/m³.

* dr hab. – profesor w Szkole Głównej Służby Pożarniczej

** dr inż. – adiunkt w Zakładzie Badań Ogniwych ITB

*** mgr inż. – asystent w Zakładzie jw.

Źródło ognia stanowił palnik piaskowy o trójkątnym przekroju i powierzchni $0,031 \text{ m}^2$, zasilany propanem, o mocy $30,7 \text{ kW} \pm 2 \text{ kW}$, umieszczony u dołu naroża z zamocowaną próbką. Czas oddziaływania źródła zapłonu wynosi 1260 s. Powstające w czasie testu produkty rozkładu termicznego i spalania były odprowadzane za pomocą systemu wentylacyjnego i następnie badane przy zastosowaniu analizatorów gazowych oraz układu optycznego mierzącego osłabienie natężenia wiązki światła białego. W pierwszym rzędzie mierzone są stężenia tlenu, dwutlenku węgla oraz gęstość optyczna ośrodka gazowego. Ustalano przepływ objętościowy w przewodzie wentylacyjnym na $0,600,05 \text{ m}^3/\text{s}$. System akwizycji danych umożliwiał dokładność odczytu stężeń gazów O_2 i CO_2 co najmniej na 100 ppm (0,01%). Temperatura w przewodzie wentylacyjnym była określana z dokładnością $0,5^\circ\text{C}$. Szczegółowe dane techniczne wraz z wymaganiami dotyczącymi kalibracji układu pomiarowego i dokładnością oznaczanych wielkości są zawarte w normie [2].



Rys. 1. Schemat ideowy stanowiska badawczego SBI [2]
Fig. 1. Scheme of SBI apparatus [2]

2. Mierzone wielkości

Oddziaływanie płomienia źródła ognia na materiał zorientowany pionowo w konfiguracji narożnika powoduje rozprzestrzenianie płomienia w kierunku pionowym i poziomym. Jednym ze znanych modeli opisującym rozprzestrzenianie płomienia jako wypadkową obu prędkości przesuwanego się frontu rozkładu termicznego i spalania jest model Quintiere – Cleary [3], pozwalający na obliczenie sumarycznej szybkości wydzielania ciepła. W modelach Messerschmidta [4], Hansena [5, 6] bazujących na tzw.

efektywnej powierzchni wydzielania ciepła, wykorzystuje się do obliczeń \dot{Q} z materiału badanego szybkość wydzielania ciepła z jednostki powierzchni oznaczoną w teście kalorymetru stożkowego.

Na podstawie zasady zużycia tlenu określa się wielkości takie jak szybkość wydzielania ciepła \dot{Q} , całkowite ciepło wydzielone *THR* (ang. *Total Heat Rate*) i inne, oraz obliczane są wskaźniki *FIGRA* (ang. *Fire Growth Rate*) i *SMOGRA* (ang. *Smoke Growth Rate*), charakteryzujące szybkość przyrostu emisji ciepła i dymu z materiału lub wyrobu.

Oznaczane były następujące wielkości:

- $\dot{Q}(t)$ – całkowita szybkość wydzielania ciepła z próbki materiału badanego i palnika, kW, z zależności

$$\dot{Q}(t) = E \dot{V}_{298}(t) Y_{O_2}^a \left[\frac{\Phi(t)}{1 + 0,105 \phi(t)} \right] \quad (1)$$

gdzie: E – ciepło wydzielone na jednostkę objętości tlenu zużytego w temperaturze 298 K, równe 17 200, kJ/m³,

$\dot{V}_{298}(t)$ – przepływ objętościowy systemu wentylacyjnego w temperaturze 298 K, m³/s,

$Y_{O_2}^a$ – ułamek molowy tlenu w otoczeniu, [-],

$\phi(t)$ – współczynnik zużycia tlenu określony wzorem

$$\phi = \frac{Y_{O_2}^0 (1 - Y_{CO_2}) - Y_{O_2} (1 - Y_{CO_2}^0)}{Y_{O_2}^0 (1 - Y_{CO_2} - Y_{O_2})} \quad (2)$$

gdzie: $Y_{O_2}^0, Y_{CO_2}^0$ – początkowe wartości stężeń tlenu i CO₂ wyrażone jako ułamek molowy, [-],

Y_{O_2}, Y_{CO_2} – wartości stężeń tlenu i CO₂ po czasie t wyrażone jako ułamki molowe, [-].

- $\dot{Q}(t)$ – szybkość wydzielania ciepła z próbki materiału badanego, obliczana jako całkowita szybkość wydzielania ciepła $\dot{Q}(t)$ minus średnia szybkość wydzielania ciepła przez palnik $\dot{Q}_{av\text{ burner}}$, kW.

- $\dot{q}_{I\text{ pik}}$ i $\dot{q}_{II\text{ pik}}$ – szybkości wydzielania ciepła w I i II maksimum krzywej $\dot{Q} = \dot{Q}(t)$ w przypadku materiału palnego i palnika, kW.

- *THR* (600) – całkowite wydzielone ciepło z próbki materiału badanego, MJ, w pierwszych 600 s okresu ekspozycji, wyznaczone z zależności

$$THR_{600s} = \frac{3}{1000} \sum_{300s}^{900s} \{ \max [\dot{Q}_{pr}(t), 0] \} \quad (3)$$

gdzie: $\dot{Q}_{pr}(t)$ – szybkość wydzielania ciepła z próbki materiału w okresie 300 s ≤ t ≤ 900 s, kW,

max (a,b) – maksimum dwóch wartości a i b.

Współczynnik 3 wprowadzono, ponieważ jeden punkt danych był dostępny co 3 s.

- **FIGRA** – parametr szybkości rozwoju pożaru, W/s, określany ze wzoru

$$FIGRA = 1000 \times \max \left[\frac{\dot{Q}_{av}(t)}{t - 300} \right] \quad (4)$$

gdzie $\dot{Q}_{av}(t)$ – średnia wartość $\dot{Q}(t)$ dla materiału palnego, kW.

- **SMOGRA** – parametr szybkości zadymienia, m^2/s^2 , obliczany z zależności

$$SMOGRA = 10000 \times \max \left[\frac{SPR_{av}(t)}{t - 300} \right] \quad (5)$$

gdzie: $SPR_{av}(t)$ – średnia wartość szybkości wydzielania dymu (ang. *Smoke Production Rate*) z materiału $SPR(t)$, m^2/s ,

$\max [a(t)]$ – maksymalna wartość $a(t)$ w podanym czasie.

Jako $SPR(t)$ próbki badanego materiału przyjmuje się całkowitą szybkość wydzielania dymu $SPR_{total}(t)$ minus średnia SPR palnika, SPR_{av} bumer.

Jeżeli $t > 312$ s, to:

$$SPR(t) = SPR_{total}(t) - SPR_{av} \text{ bumer}$$

$$SPR_{total}(t) = \frac{\dot{V}(t)}{L} \ln \left[\frac{I}{I(t)} \right] \quad (6)$$

gdzie: $\dot{V}(t)$ – przepływ objętościowy w przewodzie wentylacyjnym, m^3/s ,

L – długość drogi optycznej światła przez przewód wentylacyjny, przyjmowana jako równa średnicy przewodu wentylacyjnego, m,

I i $I(t)$ – początkowa transmitancja światła i transmitancja po czasie t , %.

- **TSP (600)** – całkowite wydzielanie dymu (ang. *Total Smoke Production*) z próbki badanego materiału, m^2 , w czasie 600 s okresu ekspozycji ($300 \text{ s} \leq t \leq 900 \text{ s}$), obliczane następująco:

$$TSP(600) = 3 \sum_{300s}^{900s} \{ \max [SPR(t), 0] \} \quad (7)$$

3. Analiza niepewności średnich wyników badań

Do wyznaczenia niepewności rozszerzonych wyników badań parametrów emisji ciepła i dymu wykorzystano metodykę zawartą w Poradniku ITB [7].

W tablicy 1 przedstawiono wyniki obliczeń złożonych niepewności standardowych $u_c(y)$ i niepewności rozszerzonych U_p w przypadku spalania płyty wiórowej. Zbliżone wyniki otrzymuje się w badaniach pozostałych materiałów.

Obliczenia wykonano zgodnie z podaną w Poradniku [7] metodyką, określając następujące wielkości:

- niepewności standardowe $u(x_j)$ typu B, przyjęte ze wzoru:

$$u(x_j) = \frac{\delta x_j}{\sqrt{3}} \cong 0,58 \delta x_j = 0,58 \delta_{wzgl.} x_j \quad (8)$$

Niepewności standardowe poszczególnych wielkości x_i – zmiennych losowych występujących we wzorach (1–7) wynosiły odpowiednio $u(E) = 497, \text{ kJ/m}^3$; $u(\dot{V}_{298}) = 0,029, \text{ m}^3/\text{s}$; $u(Y_{O_2}) = 0,0002, [-]$; $u(Y_{CO_2}) = 0,0002, [-]$; $u(f) = 0,06, \%$; $u(L) = 0,06, \text{ mm}$.

- Składowe złożonej niepewności standardowej $u_i(y)$

$$u_i(y) = \left[\frac{\partial y}{\partial x_i} \right] u(x_i) \quad (9)$$

Poszczególne pochodne cząstkowe złożonych wielkości wyjściowych $y, \frac{\partial y}{\partial x_i}$, obliczono, stosując wzory (1–7).

- Złożone niepewności standardowe $u_c(y)$

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)} = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)} \quad (10)$$

- Wypadkowa liczba swobody i współczynnik rozszerzenia

W badaniach parametrów emisji ciepła i dymu przyjmuje się, że oznaczane wielkości y są zmiennymi losowymi, mającymi rozkład normalny. Przedziały ufności mogą być oszacowane za pomocą statystyk rozkładu t_p , zależnych od przyjmowanego poziomu ufności p oraz od liczby stopni swobody $\nu = n - 1$, gdzie n oznacza liczbę wyników. Do szacowania wartości współczynnika rozszerzenia k_p wykorzystano tablicę statystyk rozkładu t-Studenta [7], przyjmując $k_p = t_p$.

Niepewności standardowe zostały wyznaczone dla $n = 5$ pomiarów, w związku z tym wykorzystano rozkład t-Studenta do określenia współczynnika rozszerzenia k_p , którego wartość przyjęto jako równą 2,8 dla poziomu ufności $p = 0,95$.

- Niepewności rozszerzone (całkowite) U_p

$$U_p = k_p u_c(y) \quad (11)$$

Niepewność rozszerzona (całkowita) U_p jest wielkością wyznaczającą z założonym poziomem ufności przedział: $y - U_p, y + U_p$, od którego oczekuje się, że obejmie określoną część rozkładu wartości, które można przypisać wynikowi badań y [7].

Tablica.1. Niepewności pomiarowe parametrów emisji ciepła i dymu w przypadku spalania płyty wiórowej

Table 1. Uncertainties of measurements of heat and smoke parameters during chipboard testing

Wielkość y , jednostka	Wartość średnia x_i	Złożona niepewność standardowa $u_c(y)$	Niepewność rozszerzona (całkowita), U_p	Niepewność rozszerzona (całkowita %), $100 U_p / x_i$
q_{1pik} , kW	98	3,8	10,6	10,8
q_{11pik} , kW	150	8,6	24,0	16,0
FIGRA, W/s	441	15,7	44,0	10,0

Wielkość y , jednostka	Wartość średnia x_i	Złożona niepewność standardowa $u_c(y)$	Niepewność rozszerzona (całkowita), U_p	Niepewność rozszerzona (całkowita %), $100 U_p / x_i$
THR (600), MJ	22,9	0,8	2,2	9,6
SMOGR _A , m ² /s ²	8,8	0,4	1,1	12,5
TSP (600), m ²	125	4,9	13,7	11,0

Przyczynki do niepewności rozszerzonej pomiaru szybkości wydzielania ciepła, związane z niepewnością określenia wartości ciepła wydzielonego na jednostkę objętości tlenu zużytego E oraz przepływ objętościowy systemu wentylacyjnego \dot{V}_{298} , są dużo większe niż niepewności określenia stężeń tlenu i CO₂.

Z powodu małych stężeń CO w produktach spalania, jego wpływ na szybkość wydzielania ciepła został pominięty jako nieistotny.

Otrzymane w niniejszej pracy niepewności rozszerzone były porównywalne z innymi danymi [5] oraz z wynikami oceny precyzji metody badawczej SBI (dane porównawcze dotyczące powtarzalności i odtwarzalności) zawartymi w normie [2].

4. Materiały do badań

Do badań parametrów dynamicznych emisji ciepła i dymu wybrano materiały obecnie powszechnie stosowane jako materiały budowlane wykończeniowe i różnych zastosowań.

Wykaz materiałów, ich skład oraz wybrane właściwości fizyczne i termochemiczne przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Wybrane właściwości fizyczne i termochemiczne badanych materiałów
Table 2. Selected physical and thermophysical parameters for tested materials

Wyrób / materiał	Opis składu materiału / producent	Grubość mm	Gęstość powierzchniowa, kg/m ²	Gęstość kg/m ³	Współczynnik efektywności spalania β^* [-]
1	2	3	4	5	6
Wyroby / materiały różnych zastosowań					
1. Płyta poliwęglanowa	struktura jednokomorowa, AKYVER SUN TYPE – „Kaysersberg” Francja	10	1,4	140	0,93
2. Płyta gipsowo-kartonowa	zgodnie z normą [8] – „Knauff sp. z o.o., Warszawa	12	9,5	790	0,18
Wyroby / materiały wykończeniowe					
1. Płyta pilśniowa porowata	zgodnie z normą 9 – „Koniecpolskie Zakłady Płyt Pilśniowych SA”	10	2,4	240	0,98

1	2	3	4	5	6
2. Płyta OSB (płyta o włóknach orientowanych, ang. <i>Oriented Strand Board</i>)	zgodnie z normą [9] – „Kronopol” sp. z o.o., Żary	20	13,1	660	0,85
3. Sklejka liściasta	zgodnie z normą [9] – „Biaform” SA, Białystok	10	6,9	690	0,94
4. Płyta MDF (ang. <i>Medium Density Fibreboard</i>)	zgodnie z normą [9] – „Kronospan” sp. z o.o., Mielec	20	14,0	700	0,79
5. Płyta wiórowa	zgodnie z normą [9] – „Prospan” Zakłady Płyt Wiórowych, Wieruszów	12	8,8	730	0,87
6. Drewno dębowe (boazeria)	zgodnie z normą [10] – (75% celuloza, 25% lignina)	10	7,8	780	0,92
7. Płyta pilśniowa twarda	zgodnie z normą [9] – „Koniecpolskie Zakłady Płyt Pilśniowych” SA	5	4,8	960	0,98
* $\beta = \Delta m / m$ określono przy oddziaływaniu strumienia promieniowania cieplnego o gęstości 50 kW/m ² na powierzchnię materiału równą 0,0088 m ² ; Δm oznacza całkowity ubytek masy próbki materiału w czasie spalania, a m jego masę początkową.					

5. Omówienie wyników badań

Niżej w tablicach 3 i 4 przedstawiono wyniki badań parametrów emisji ciepła i dymu z wybranych dwóch grup materiałów: materiałów różnych zastosowań oraz materiałów wykończeniowych.

W tablicach tych podano również klasyfikację w zakresie reakcji na ogień według normy [2]. Zgodnie z Instrukcją ITB [11] przyporządkowującą klasom w zakresie reakcji na ogień określenia dotyczące stopnia palności, klasy A2-s1 i B-s1 odpowiadają materiałowi niezapalnemu, klasy D-s2, D-s3 oraz E – materiałowi łatwo zapalnemu; d0 oznacza brak płonących kropli/cząstek w badaniu.

Parametr *FIGRA* określający szybkość wzrostu \dot{Q} oraz całkowite ciepło wydzielone *THR*, charakteryzują emisje ciepła z materiałów. Analogicznie parametry *SMOGR* i *TSP* – emisje dymu. Widać zróżnicowanie w całkowitej energii wydzielonej w czasie 600 s od początku spalania, określone za pomocą parametru *THR* (600) – tablice 3 i 4. Płyta pilśniowa porowata i twarda mają największe wartości *THR*, co koresponduje z największymi wartościami *FIGRA*. Boazeria dębowa i sklejka, mające nieco mniejsze wartości *FIGRA*, spalają się z wydzieleniem również dużych sumarycznych ilości ciepła, stąd wysokie wartości *THR*.

W przypadku materiałów lignocelulozowych wartości *FIGRA* oraz całkowitej ilości ciepła *THR* (600) korespondują ze średnią prędkością bocznego rozprzestrzeniania płomienia v_f (tabl. 3). Większym ilościom sumarycznego ciepła wydzielonego w ciągu 10 min odpowiadają większe wartości v_f .

Tablica 3. Wyniki emisji ciepła i dymu z materiałów różnych zastosowań
Table 3. Values of heat and smoke parameters for different application products

Materiał	q_{1pik} kW	q_{11pik} kW	<i>FIGRA</i> W/s	<i>THR</i> (600) MJ	<i>SMOGRA</i> m ² /s ²	<i>TSP</i> (600) m ²	v_f cm/s	Klasa w zakre- sie reakcji na ogień [2]
Płyta gipsowo- kartonowa	2,5	–	9,7	0,8	9,6	21,7	1,0	A2-s1, d0
Płyta poliwęglanowa*	5,7	–	8,9	0,6	3,2	2,4	0	B-s1, d0
* badanie z pustką powietrzną 40 mm								

Tablica 4. Wyniki emisji ciepła i dymu z materiałów wykończeniowych
Table 4. Values of heat and smoke parameters for finishing products

Materiał	q_{1pik} kW	q_{11pik} kW	<i>FIGRA</i> W/s	<i>THR</i> (600) MJ	<i>SMOGRA</i> m ² /s ²	<i>TSP</i> (600) m ²	v_f cm/s	Klasa w zakre- sie reakcji na ogień [2]
Płyta pilśniowa porowata	245	250	1663	78,8	47,0	590	5,0	E
Płyta pilśniowa twarda	211	169	514	56,7	32,0	398	4,4	D-s3
Płyta wiórowa	98	150	441	22,9	8,8	125	2,4	D-s2
Sklejka liściasta	142	208	423	39,6	13,4	158	3,5	D-s2
Płyta MDF	105	–	423	27,6	9,6	140	2,2	D-s2
Drewno dębowe (boazeria)*	210	–	372	54,1	28,7	298	3,9	D-s3
Płyta OSB	95	–	353	25,7	7,8	120	1,7	D-s2
* badanie z pustką powietrzną 10 mm								

Prędkość rozprzestrzeniania płomienia po powierzchni materiałów stałych, v_L , grubych termicznie, wynika z ogólnego równania rozprzestrzeniania płomienia [12], które można zapisać w postaci proporcjonalności

$$v_L \propto \frac{1}{k \rho c (T_{ig} - T_0)^2} \quad (12)$$

gdzie: ρ – gęstość materiału, kg/m^3 ,
 c – ciepło właściwe materiału, kJ/kgK ,
 k – współczynnik przewodnictwa cieplnego, W/mK ,
 T_{ig} – temperatura zapłonu materiału, K ,
 T_0 – temperatura początkowa, K .

Płyta wiórowa, płyta MDF i OSB mają zbliżone *THR*, a także zbliżone wartości v_L . W tabelicy 5 podano podstawowe właściwości termofizyczne badanych materiałów lignocelulozowych, określające przenikanie energii cieplnej przez materiał i szybkość akumulacji ciepła.

Tablica 5. Właściwości termofizyczne badanych materiałów wykończeniowych [13]
 Table 5. Thermophysical parameters for tested finishing products [13]

Materiał	Grubość l m	Gęstość ρ kg/m^3	Współ- czynnik przewod- nictwa cieplnego k W/mK	Ciepło właściwe c kJ/kgK	Dyfuzyj- ność cieplna $a = \frac{k}{\rho c}$ m^2/s	Czas prze- nikania ter- micznego $t_p = \frac{\delta^2}{4a}$	Bezwład- ność cieplna $k \rho c$
Płyta pilśniowa porowata	0,01	240	0,05	2,51	$0,83 \cdot 10^{-7}$	301	$3,0 \cdot 10^4$
Płyta OSB	0,02	660	0,16	2,51	$0,96 \cdot 10^{-7}$	1042	$2,7 \cdot 10^5$
Sklejka liściasta	0,01	690	0,16	2,51	$0,92 \cdot 10^{-7}$	272	$2,8 \cdot 10^5$
Płyta wiórowa	0,012	730	0,16	2,51	$0,87 \cdot 10^{-7}$	414	$2,9 \cdot 10^5$
Płyta MDF	0,02	700	0,17	2,51	$0,96 \cdot 10^{-7}$	1042	$3,0 \cdot 10^5$
Płyta pilśniowa twarda	0,005	960	0,18	2,51	$1,74 \cdot 10^{-7}$	84	$4,3 \cdot 10^5$
Drewno dębowe	0,01	780	0,31*	2,51	$1,58 \cdot 10^{-7}$	158	$6,1 \cdot 10^5$

* wartość średnia k w poprzek i wzdłuż włókien

Płyta pilśniowa porowata wykazuje bezwładność cieplną o rząd wielkości mniejszą niż pozostałe materiały, co wyjaśnia największą wartość parametru szybkości rozwoju pożaru *FIGRA* z powodu największej szybkości kumulacji ciepła w materiale i prędkości rozprzestrzeniania płomienia po jego powierzchni (tabl. 4). Bezwładność cieplna pozostałych materiałów jest zbliżona.

Różnice w wartościach oznaczonych parametrów emisji ciepła i dymu tych materiałów wynikają z różnic w dyfuzyjności cieplnej. Płyta pilśniowa twarda i drewno dębowe mają największe wartości dyfuzyjności cieplnej i najmniejsze czasy przenikania termicznego. W tym przypadku stosunkowo mały czas przenikania termicznego prowadzi do szybszego przesuwania się frontu pirolizy wewnątrz materiału, ogrzewania drugiej powierzchni, jej zapłonu (w przypadku boazerii z drewna dębowego w obecności pustki powietrznej) i stosunkowo dużej prędkości rozprzestrzeniania płomienia.

Z obserwacji procesów spalania wynika, że główne procesy rozprzestrzeniania płomienia po powierzchni płyt są zróżnicowane i składają się z etapów: rozprzestrzeniania płomienia w górę narożnika składającego się z dwóch płyt materiału, ogrzewania powierzchni bocznych strumieniem ciepła od płomienia, początku rozprzestrzeniania bocznego i osiągnięcia maksymalnej powierzchni spalania oraz procesów pęknięcia materiału lub rozprzestrzeniania po nieekspozowanej stronie płyty (boazeria dębowa z pustką powietrzną) – III maksimum.

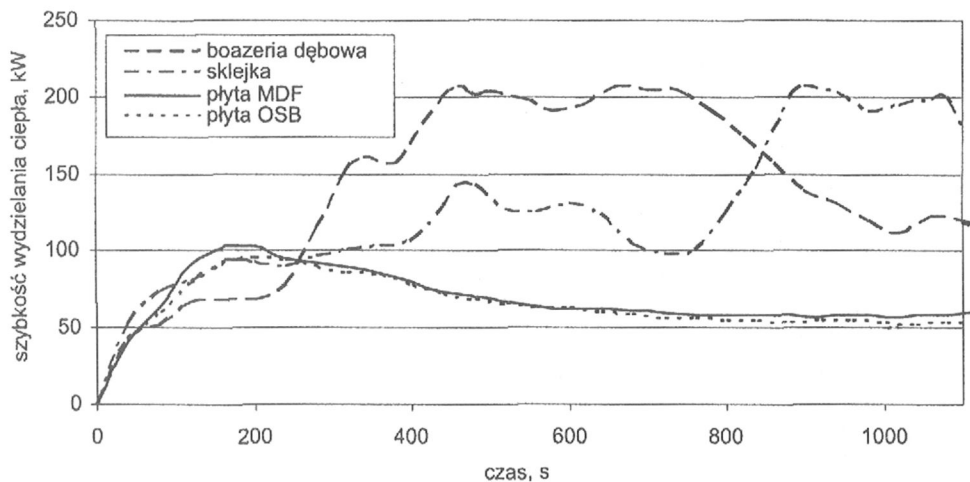
Procesom tym towarzyszy nierównomierne wydzielanie dymu.

Emisja ciepła i dymu z płyty MDF, płyty OSB i płyty wiórowej związana jest głównie z mechanizmami przenoszenia frontu płomienia w górę po powierzchni materiałów w układzie narożnikowym, natomiast w spalaniu pozostałych materiałów wykończeniowych dominują procesy emisji ciepła i dymu powodowane rozprzestrzenianiem bocznym i makroskopowymi procesami destrukcji termicznej.

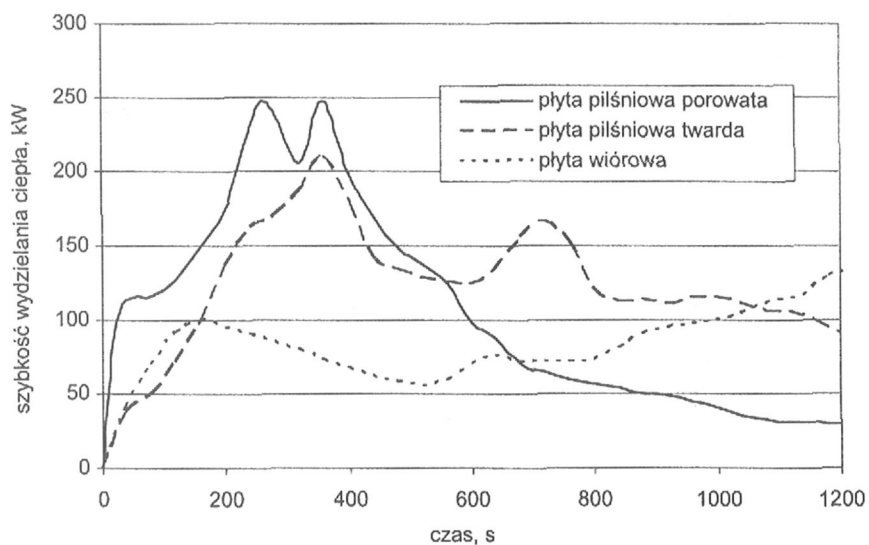
Otrzymano duże różnice w przebiegach funkcji $\dot{Q} = \dot{Q}(t)$ badanych materiałów lignocelulozowych. Na rysunkach 2 i 3 pokazano szybkość wydzielania ciepła \dot{Q} z wybranych materiałów palnych i źródła zapłonu w funkcji czasu, określoną jako średnia z trzech pomiarów (w przypadku płyty wiórowej jako średnia z pięciu pomiarów). Na rysunku 2 widać zbliżony charakter krzywych dotyczących płyt MDF i OSB z pojedynczym, dobrze określonym maksimum. Inny charakter przebiegów i kształt mają funkcje $\dot{Q} = \dot{Q}(t)$ odnoszące się do boazerii dębowej i sklejk, z kilkoma maksimumami o dwukrotnie większych wartościach \dot{Q}_{\max} . W przypadku tych dwóch ostatnich materiałów ilość wydzielonego sumarycznego ciepła Q jest dużo większa, co koresponduje z większą wartością parametru THR , określającego całkowitą ilość ciepła wydzielonego z samego materiału palnego w ciągu 600 s od zapalenia.

Na rysunku 3 pokazano wyniki zależności $\dot{Q} = \dot{Q}(t)$ dotyczące trzech materiałów różniących się znacznie gęstością powierzchniową. Nachylenie lewej gałęzi krzywych określa parametr $FIGRA$, który jest największy w przypadku płyty pilśniowej porowatej. Wszystkie krzywe mają po kilka maksimumów wskazujących na niejednorodność procesów rozkładu termicznego i spalania, związanych ze znacznymi zmianami prędkości rozprzestrzeniania płomienia, procesami zwęglania powierzchni i deformacją płaszczyzn próbk materiału w czasie spalania (pęknięcie i odpadanie).

Największy wzrost \dot{Q} (największą wartość parametru szybkości rozwoju pożaru $FIGRA$) obserwowano w czasie spalania płyty pilśniowej porowatej o najmniejszej gęstości powierzchniowej i bezwładności cieplnej (rys. 3).



Rys. 2. Szybkość wydzielania ciepła z wybranych materiałów wykończeniowych w funkcji czasu
 Fig. 2. Time-dependency of heat release rate for selected finishing products



Rys. 3. Szybkość wydzielania ciepła z wybranych materiałów wykończeniowych w funkcji czasu
 Fig. 3. Time-dependency of heat release rate for selected finishing products

6. Podsumowanie

Otrzymane przy zastosowaniu metody SBI wartości parametru *SMOGRA*, określającego szybkość emisji dymu w czasie spalania materiałów lignocelulozowych, są największe w przypadku płyty pilśniowej porowatej i twardej – w tym przypadku otrzymano również największe wartości parametru szybkości rozwoju pożaru *FIGRA*. Sklejka i płyta MDF mają tę samą wartość parametru *FIGRA*, ale różnią się znacznie średnią boczną prędkością rozprzestrzeniania płomienia v_f (na korzyść sklejki), co powoduje większą sumaryczną ilość wydzielonego ciepła *THR* (600) i większą wartość *SMOGRA* w przypadku sklejki. Boazeria dębowa (spalana z pustką powietrzną) wykazuje stosunkowo małą wartość *FIGRA*, ale wysoka wartość v_f powoduje również dużą ilość ciepła wydzielonego i wzrost parametru *SMOGRA*.

Potwierdzono, że różnicowanie materiałów przy zastosowaniu samego parametru szybkości rozwoju pożaru *FIGRA* jest niewystarczające. Należy również brać pod uwagę całkowitą ilość ciepła wydzielonego w ciągu 10 min, *THR* (600) oraz średnią boczną prędkość rozprzestrzeniania płomienia v_f . W odniesieniu do tego ostatniego parametru, wartości v_f należy jednak z powodu przybliżonych wartości zasięgu frontu rozkładu termicznego traktować jako szacunkowe.

W przypadku materiałów lignocelulozowych główną przyczyną różnic w wartościach parametrów emisji ciepła i dymu są różnice w bezwładnościach cieplnych i czasach przenikania termicznego przez materiał. Powoduje to, że emisja ciepła i dymu z materiałów o największej grubości i o najdłuższym czasie przenikania termicznego: płyty MDF, płyty OSB i płyty wiórowej związana jest głównie z mechanizmami przenoszenia frontu płomienia w górę po powierzchni materiałów w układzie narożnikowym.

Podczas spalania pozostałych materiałów wykończeniowych (płyty pilśniowej twardej i porowatej oraz sklejki liściastej) dominują procesy emisji ciepła i dymu powodowane rozprzestrzenianiem bocznym i makroskopowymi procesami destrukcji termicznej. Drugi mechanizm prowadzi do większych ilości generowanego ciepła i dymu.

Stwierdzono, że na niepewność rozszerzoną pomiaru szybkości wydzielania ciepła największy wpływ ma niepewność określenia wartości ciepła wydzielonego na jednostkę objętości tlenu zużytego E oraz przepływ objętościowy systemu wentylacyjnego.

Bibliografia

- [1] PN-EN 13501-1 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków. Część 1: Klasyfikacja na podstawie badań reakcji na ogień
- [2] PN-EN 13823 Badania reakcji na ogień wyrobów budowlanych. Wyroby budowlane, z wyłączeniem podłogowych, poddane oddziaływaniu termicznemu pojedynczego płonącego przedmiotu
- [3] Cleary T. G., Quintiere J. G.: A Framework for utilizing fire property tests. Proceedings of the 3th International Symposium on Fire Safety Science. Elsevier Science Publishers, Barking 1991, s. 647–656

- [4] Messerschmidt B., Van Hees P., Wickstroem U.: Conference Proceedings, vol. 1, Interflam 99, 8th International Fire Science and Engineering Conference. Edinburgh, Scotland, Interscience Communications, London 1999, s. 11–22
- [5] Hansen A.S.: Prediction of heat release in the single burning test. *Fire and Materials*, 2002, vol. 26, s. 87–97
- [6] Hansen A. S., Hovle P. J.: Prediction of time to flashover in the ISO 9705 room corner test based on cone calorimeter test results. *Fire and Materials*, 2002, vol. 26, s. 77–86
- [7] Brunarski L.: Wyznaczanie niepewności wyników badań wytrzymałościowych. Instrukcja ITB 435/2008. Seria: Instrukcje, Wytyczne, Poradniki. ITB, Warszawa 2008
- [8] PN-EN 520:2004 (E) Płyty gipsowo-kartonowe. Definicje, wymagania i metody badań
- [9] PN-EN 13986:2002 Płyty drewnopochodne stosowane w budownictwie. Właściwości, ocena zgodności i znakowanie
- [10] PN-EN 12775:2002 Płyty z drewna litego. Klasyfikacja i terminologia
- [11] Przyporządkowanie określeniom występującym w przepisach techniczno-budowlanych klas reakcji na ogień według PN-EN, Instrukcja ITB 401/2004. Seria: Instrukcje, Wytyczne, Poradniki. ITB, Warszawa 2004
- [12] Wiliams F. A., Mechanisms of fire spread. 16th Symposium (international) on Combustion, 1977, s. 1281–1294, The Combustion Institute, Pittsburgh
- [13] Staniszewski B.: Wymiana ciepła, PWN, Warszawa 1980

TESTS OF HEAT AND SMOKE PARAMETERS FROM SELECTED FINISHING MATERIALS USING SBI TEST METHOD

Summary

The paper presents the heat and smoke results obtained in tests of selected building materials using SBI method. The uncertainty analysis of obtained results was presented. The test results of heat and smoke emission for cellulosic based materials has been shown and discussed.

Praca wpłynęła do Redakcji 12 I 2009 r.