

ml. bryg. dr Marzena PÓŁKA
dr inż. Paweł SULIK
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego
SGSP

ANALIZA WYBRANYCH PARAMETRÓW POŻAROWYCH WEŁNY MINERALNEJ I UKŁADÓW WEŁNA MINERALNA-TYNKI CIENKOWARSTWOWE

W artykule omówiono wpływ zastosowanego rozwiązania ociepleniowego wykończonego tynkami mineralnymi, silikatowymi oraz silikatowo-silikonowymi, z warstwą ociepleniową wykonaną z wełny mineralnej na wybrane parametry pożarowe układu.

The study deals with the influence of external insulation composite systems with rendering (mineral, silicate, silicate-silicone) based on mineral wool on selected fire parameters.

W Polsce co roku ginie około 500 osób w pożarach budynków, z czego większość to ofiary inhalacji dymem i toksycznymi produktami spalania [1]. W przypadku pożarów w budynkach głównymi czynnikami, które ograniczają zdolność do ewakuacji ludzi, są:

- produkty spalania drażniące wzrok i górne drogi oddechowe,
- ograniczony zasięg widzialności oraz intensywność wydzielania ciepła przez materiały,
- ilość ciepła wypromieniowanego przez warstwę gorącego dymu itp. [2–6].

Jednym z parametrów pożarowych określającym dynamikę wzrostu pożaru z materiałów jest szybkość wydzielania ciepła (HRR – z ang. Heat Release Rate). HRR określa moc pożaru i decyduje o temperaturze górnej warstwy oraz o strumieniu masy gazów wpływających i wypływających [7–9]. Stąd też celem autorów niniejszego artykułu było badanie szybkości wydzielania ciepła przez wybrane materiały izolacyjne w funkcji gęstości zewnętrznego strumienia cieplnego.

W wielu obiektach budowlanych do wykonywania izolacji termicznej ścian wykorzystuje się wełnę mineralną. Stosuje się ją w izolacjach wentylowanych

(np. w przypadku okładzin kamiennych, stalowych itp.), jak i w technologii bezspoinowych systemów ociepleniowych (ETICS – z ang. External Thermal Insulation Composite Systems).



Rys. 1. Widok odkrywki ocieplenia typu ETICS wykonanego na ścianie wielokondygnacyjnego budynku mieszkalnego. Materiał termoizolacyjny – wełna mineralna

Źródło: oprac. własne.

W bezspoinowych systemach ociepleń izolację pokrywa się warstwą kleju z zatopionym zbrojeniem wykonanym z siatki z włókna szklanego stanowiącego podłoże pod tynk, najczęściej fakturowy (rys. 1). Warstwy te wpływają na parametry pożarowe określonego układu użytkowego w różnych ekspozycjach cieplnych. Cienka i lekka warstwa tynku zabezpiecza wełnę mineralną przed wpływami atmosferycznymi, a jednocześnie nadaje budynkowi estetyczny wygląd. Wyroby na bazie wełny mineralnej wbudowane w elementy budowlane przyczyniają się w znaczny sposób do oszczędności energii, wzrostu komfortu cieplnego i akustycznego oraz bezpieczeństwa pożarowego budynku [10, 11]. Jest to, wzięwszy pod uwagę wymagania [15], warunek niezbędny przy realizacji współczesnych budynków.

1. Opis materiału badawczego

Do badań parametrów pożarowych wykorzystano jeden typ wełny mineralnej typu lamela wykończony następującymi tynkami:

- tynkiem silikatowo-silikonowym (2 rodzaje),

- tynkiem silikatowym oraz
- tynkiem mineralnym.

Wymienione tynki, z uwagi na swoje cechy (dobra dyfuzja pary wodnej oraz korzystne właściwości z zakresu reakcji na ogień) należą do najczęściej stosowanych w układzie z wełną mineralną w systemach ETICS.

Wełna mineralna użyta do badań wyprodukowana została ze skał bazaltowych i z produktu ubocznego metalurgii – żużła wielkopiecowego [10]. Podstawowe parametry fizykochemiczne użytej do badań wełny mineralnej przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka fizykochemiczna włókien wełny mineralnej [10]

Włókna wełny mineralnej	Skład chemiczny (% wagowy)
Krzemionka (wyrażona jako SiO ₂)	34 do 45
Al ₂ O ₃	15 do 24
Fe ₂ O ₃	2 do 11
Mieszanina: CaO + MgO	20 do 35
Na ₂ O + K ₂ O	1 do 7
Średnica średnia włókna	3 do 6 μm

Tynki użyte do badań to wyprawy zewnętrzne (elewacyjne), cienkowarstwowe o grubości 2–4 mm, aplikowane na warstwę podkładową, zbrojoną siatką z włókna szklanego – bazujące na cemencie jako spoiwie, stosowane głównie jako warstwy wierzchnie w systemach ocieplania. Ich granulacja wynosiła od 1–5 mm. Nałożone były na wełnę w postaci dwóch warstw – warstwa bazowa + tynk właściwy. Tynki zastosowane w badaniach można też stosować bezpośrednio na betonie lub tynkach cementowych i cementowo-wapiennych [11].

Do badań użyto tynki:

- **mineralne** – oparte na spoiwie wapiennym i cementowym. Są to suche mieszanki składników mineralnych, tj. kruszyw naturalnych np. kwarcu, perlitu, wapienia lub mielonego marmuru, odpowiednio dobrane, aby udział poszczególnych frakcji zapewnił zaprawie powierzchniową spoistość;
- **silikatowe** (krzemianowe) – produkowane na bazie szkła wodnego i kruszywa marmurowego. Mają bardzo niski opór dyfuzyjny, dzięki czemu ściana nie jest zagrożona kondensacją pary wodnej we wnętrzu materiału konstrukcyjnego lub też w warstwach termoizolacji;
- **silikonowe** – w tych tynkach spoiwem jest żywica krzemooorganiczna. Powłoka wykonana z tynku silikonowego jest wyjątkowo trwała i odporna zarówno na czynniki chemiczne, jak i mechaniczne, charakteryzuje się ona dużą paroprzepuszczalnością.

Do badań użyto dwa warianty tynku silikatowo-silikonowego, które mają pośrednie właściwości jednego i drugiego tynku. Różnica pomiędzy wariantami tynków silikatowo-silikonowych wynika z zastosowania innej granulacji (uziarnienia), czyli średnicy użytego kruszywa:

- tynk silikatowo-silikonowy I – 2,5 mm,
- tynk silikatowo-silikonowy II – 1,6 mm.

2. Metoda badawcza

Badanie szybkości wydzielania ciepła i dymu z analizowanych materiałów, poddanych działaniu kontrolowanego, zewnętrznego strumienia promieniowania cieplnego, przeprowadzono metodą kalorymetru stożkowego, zgodnie z normą ISO 5660:2002 [12]. Wyznaczenie parametrów pożarowych za pomocą kalorymetru stożkowego (rys. 2) polega na pomiarze stężenia tlenu w gazach spalinowych i szybkości przepływu tych produktów w przewodzie kominowym.



Rys. 2. Kalorymetr stożkowy
znajdujący się w Pracowni Zakładu Spalania i Teorii Pożarów
w Szkole Głównej Służby Pożarniczej

Ilość zużytego tlenu w połączeniu ze stałą 13,1 MJ pozwala na dokładne oszacowanie udziału produktów spalania w szybkości wydzielania ciepła w warunkach pożarowych [13, 14].

Badania cech pożarowych różnych wariantów materiałów kompozytowych oraz wełny mineralnej przeprowadzano w kalorymetrze stożkowym produkcji firmy FTT (Fire Testing Technology) z Wielkiej Brytanii, dostępnym w Zakładzie Spalania i Teorii Pożarów w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Próbki badanych materiałów poddano działaniu strumienia cieplnego kolejno 50 i 70 kW/m². Przy wyborze mocy promieniowania cieplnego w celu wyznaczenia cech pożarowych badanych materiałów zastosowano ekspozycję cieplną symulującą II fazę pożaru wg standardowej krzywej „temperatura pożaru – czas spalania”. Inicjacja reakcji spalania odbywała się sposobem zapłonu pilotowego. Zapłonu lotnych produktów rozkładu termicznego dokonano za pomocą zapalnika iskrowego. W badaniach zastosowano poziome ustawienie próbek materiałów badanych w stosunku do radiatora (rys. 3).



Rys. 3. Sposób umieszczenia próbki w komorze spalania kalorymetru

3. Wyniki badań materiałów kompozytowych w wybranej ekspozycji cieplnej

Wyniki badań właściwości termofizycznych i termokinetycznych badanych materiałów kompozytowych i samej wełny mineralnej w zastosowanych ekspozycjach cieplnych przedstawiono w tabelach 2 i 3 oraz na rys.rys. 4–7.

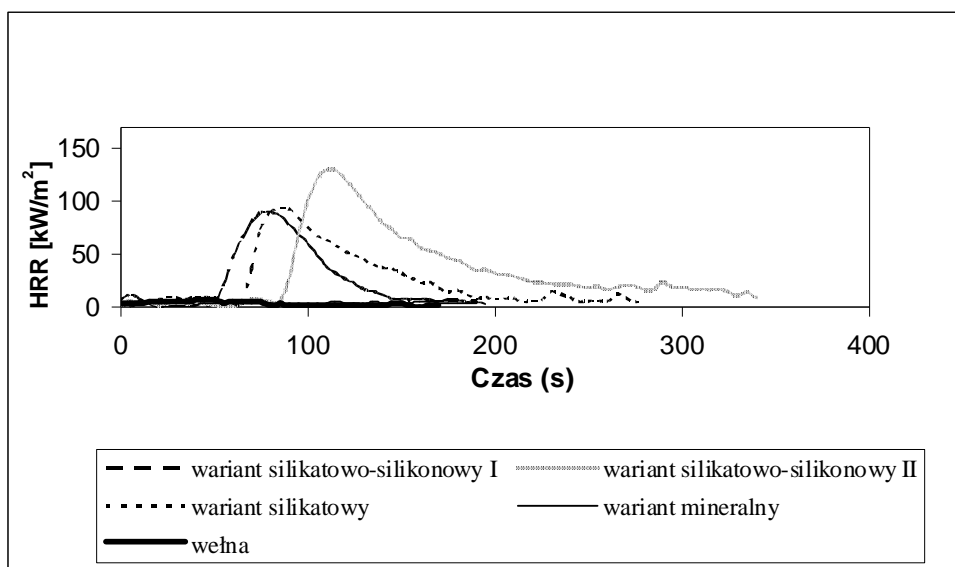
Tabela 2. Własności termokinetyczne różnych wariantów materiałów kompozytowych oraz wełny mineralnej przy różnych ekspozycjach cieplnych i w warunkach zapłonu pilotowego

NAZWA MATERIAŁU	HRRmax [kW/m ²]	HRRśr [kW/m ²]	SEAśr [m ² /kg]	MLRśr [g/m ² ·s]	COśr [kg/kg]	CO ₂ śr [kg/kg]
Zewnętrzny strumień ciepła 50 kW/m²						
wełna mineralna + tynk silikatowo- -silikonowy I	89,55	33,75	153,85	0,019	0,0799	2,38
wełna mineralna + tynk silikatowo- -silikonowy II	129,52	33,90	266,64	0,015	0,1031	2,75
wełna mineralna + tynk silikatowy	93,32	30,89	144,78	0,016	0,0953	2,25
wełna mineralna + tynk mineralny	7,03	4,28	17,21	0,011	0,0064	1,68
wełna mineralna	7,60	3,99	12,51	0,004	0,3602	2,30
Zewnętrzny strumień ciepła 70 kW/m²						
wełna mineralna + tynk silikatowo- -silikonowy I	107,82	28,33	177,56	0,017	0,0615	2,34
wełna mineralna + tynk silikatowo- -silikonowy II	160,36	40,06	312,69	0,019	0,0787	3,01
wełna mineralna + tynk silikatowy	119,12	29,12	188,44	0,019	0,0653	2,31
wełna mineralna + tynk mineralny	9,52	5,32	20,15	0,015	0,0179	1,77
wełna mineralna	7,07	3,12	10,23	0,008	0,2717	2,33

Tabela 3. Własności termofizyczne różnych materiałów kompozytowych oraz wełny mineralnej przy różnych ekspozycjach cieplnych i w warunkach zapłonu pilotowego

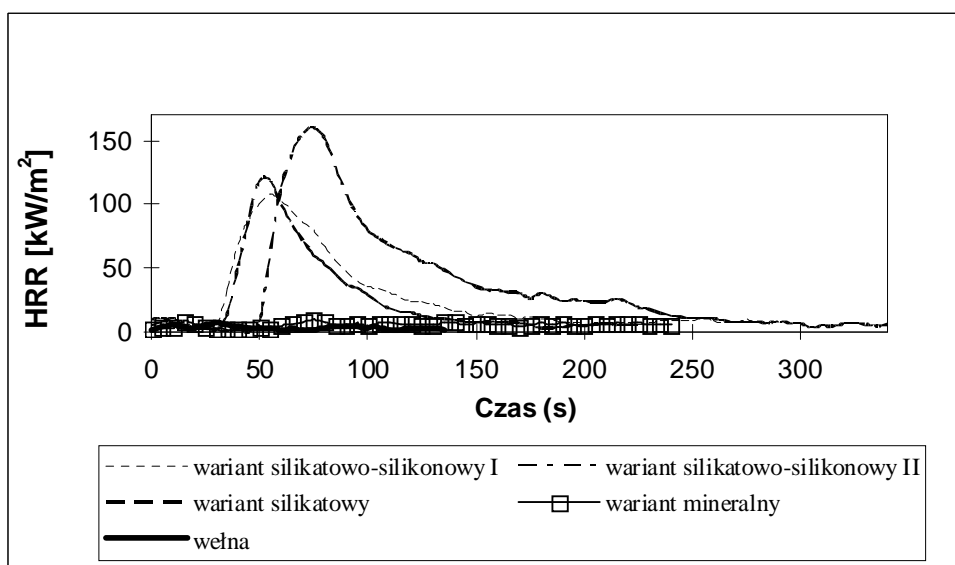
NAZWA MATERIAŁU	Czas do zapłonu, T_{zap} [s]	Czas do osiągnięcia HRR max [s]	Całkowite uwolnione ciepło, THR [MJ/m ²]	Średnie efektywne ciepło spalania, HOC _{śr} [MJ/kg]	Początkowa (końcowa) masa próbki [g]	Ubytek próbki [% wag.]
Zewnętrzny strumień ciepła 50 kW/m²						
wełna mineralna + tynk silikatowo- -silikonowy I	48	80	4,9	15,49	92,67 (89,77)	3,13
wełna mineralna + tynk silikatowo- -silikonowy II	85	110	11,7	20,18	100,9 (95,8)	5,05
wełna mineralna + tynk silikatowy	63	85	6,7	16,78	95,84 (92,24)	3,76
wełna mineralna + tynk mineralny	- *	10	1,2	3,97	119,47 (116,87)	2,18
wełna mineralna	- *	50	0,8	11,54	21,75 (21,15)	0,6
Zewnętrzny strumień ciepła 70 kW/m²						
wełna mineralna + tynk silikatowo- -silikonowy I	28	55	7,4	14,83	97,25 (92,85)	4,52
wełna mineralna + tynk silikatowo- -silikonowy II	47	75	11,6	18,64	98,54 (92,84)	5,78
wełna mineralna + tynk silikatowy	31	50	5,6	13,51	89,64 (86,04)	4,01
wełna mineralna + tynk mineralny	- *	75	1,3	3,13	112,83 (109,13)	3,28
wełna mineralna	- *	30	0,4	3,18	21,39 (20,29)	1,1

- * - brak zapłonu fazy gazowej



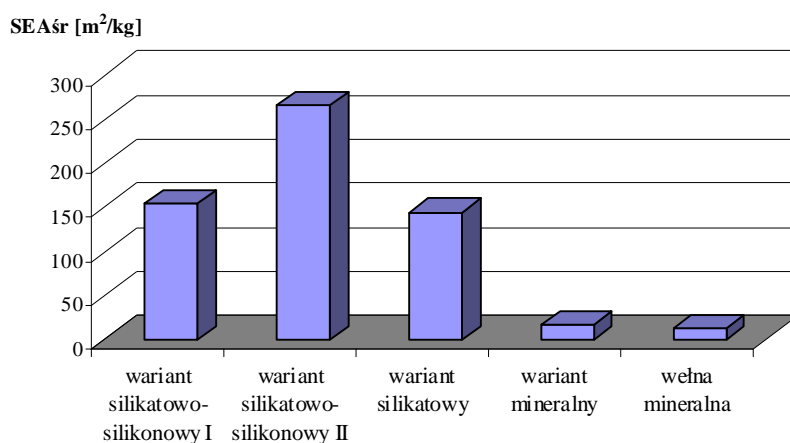
Rys. 4. Szybkość wydzielania ciepła (HRR) przez badane materiały kompozytowe i wełnę mineralną przy strumieniu ciepła 50 kW/m^2

Źródło: oprac. własne.

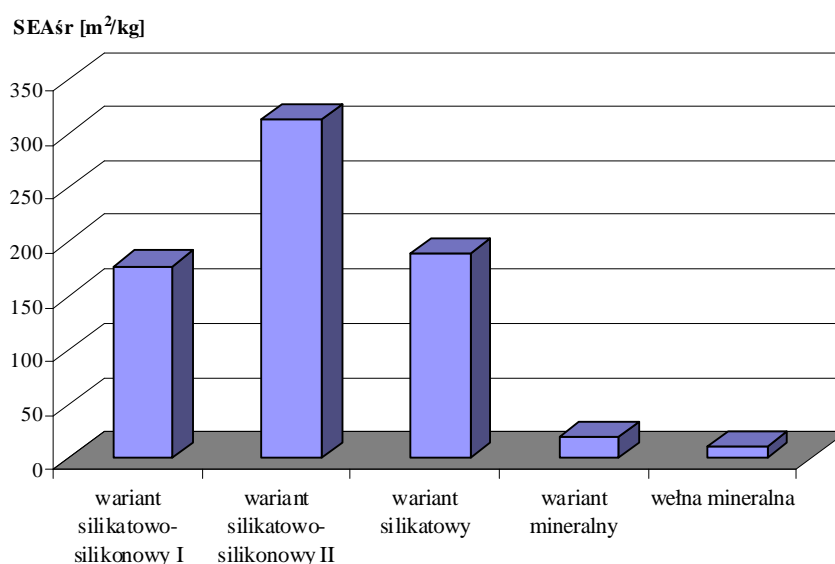


Rys. 5. Szybkość wydzielania ciepła (HRR) przez badane materiały kompozytowe i wełnę mineralną przy strumieniu ciepła 70 kW/m^2

Źródło: oprac. własne.



Rys. 6. Porównanie średniej wartości powierzchni ekstynkcji właściwej (SEAśr) badanych materiałów przy ekspozycji ciepła 50 kW/m^2



Rys. 7. Porównanie średniej wartości powierzchni ekstynkcji właściwej (SEAśr) badanych materiałów przy ekspozycji ciepła 70 kW/m^2

4. Analiza wyników badań

Przeprowadzone badania umożliwiają sformułowanie następujących wniosków:

- Krzywe szybkości wydzielania ciepła (HRR) dla badanych materiałów, których produkty rozkładu termicznego uległy zapłonowi pilotowemu (rys. 4 i 5) wykazały podobne przebiegi, tj. występowanie jednego maksimum (piku). Dwa badane materiały, tj. wełna mineralna oraz układ wełna z tynkiem mineralnym nie uległy spalaniu płomieniowemu ani bezpłomieniowemu.
- Wyraźny skokowy wzrost wartości HRR zaobserwowano po zapłonie wydzielonych palnych produktów lotnych dla określonych materiałów, w analizowanych ekspozycjach cieplnych, wartości HRR po osiągnięciu wartości HRR_{max} zmniejszają się z powodu spadku strumienia masy palnych produktów lotnych.
- Czas zwłoki do zapłonu produktów rozkładu termicznego jest funkcją ekspozycji cieplnej. Krótszy czas do zapłonu zaobserwowano w wyższej ekspozycji cieplnej (70 kW/m^2) w porównaniu ze strumieniem 50 kW/m^2 , niezależnie od rodzaju badanego materiału.
- W wyższych ekspozycjach cieplnych czasy do zapłonu odpowiednich próbek były krótsze w porównaniu z niższą ekspozycją ciepła o około 45%.
- Niezależnie od gęstości padającego na próbkę strumienia ciepła kompozyt wełna+ tynk silikatowo-silikonowy I miał najkrótszy czas do zapłonu pilotowego w porównaniu z takimż innymi kompozytów.
- Najdłuższy czas do zapłonu pilotowego wykazał kompozyt wełna+tynk silikatowo-silikonowy II.
- Czas do osiągnięcia HRR_{max} przy zmianie gęstości strumienia ciepła z 50 kW/m^2 na 70 kW/m^2 był krótszy o około 30–40%, niezależnie od rodzaju badanych materiałów.
- Analiza czasu do wystąpienia maksimum na krzywej HRR (pomiędzy 50 i 110 s dla próbek, w których wystąpił zapłon) prowadzi do stwierdzenia, że badane materiały, jeśli ulegną zapłonowi trwałemu, a warstwa tynku jest o odpowiedniej grubości, to mogą one stworzyć zagrożenie w przypadku pożaru.
- Wariant silikatowo-silikonowy II wykazał największą szybkość wydzielania ciepła spośród wszystkich próbek, w strumieniu 70 kW/m^2 HRR_{max} było większe o 33% od wariantu silikatowego i 40% od silikatowo-silikonowego I, natomiast w strumieniu 50 kW/m^2 od tych wariantów było większe o ok. 45%.
- Wartości maksymalnej szybkości wydzielania ciepła (HRR_{max}) przy ekspozycji strumienia ciepła 70 kW/m^2 były większe o około 20–30% w stosunku do strumienia 50 kW/m^2 , co oznacza, że kinetyka generacji ciepła jest funkcją ekspozycji cieplnej, na jaką narażona jest próbka i w wyższych ekspozycjach wydzielana jest większa ilość palnych produktów lotnych.
- Dla maksymalnej wartości szybkości wydzielania ciepła (HRR_{max}) badanych materiałów można zauważyć następującą zależność:
przy 50 kW/m^2 :

przy 70 kW/m²:

- s-s II > silikatowy > s-s I > wełna > mineralny,
- s-s II > silikatowy > s-s I > mineralny > wełna,

gdzie:

- s-s II – wełna mineralna + tynk silikatowo-silikonowy II;
 - silikatowy – wełna mineralna + tynk silikatowy;
 - s-s I – wełna mineralna + tynk silikatowo-silikonowy I;
 - wełna – wełna mineralna;
 - mineralny – wełna mineralna + tynk mineralny.
- Dla tynku mineralnego w żadnym z zastosowanych natężeń strumienia promieniowania ciepła maksymalna szybkość wydzielania ciepła (HRR_{max}) nie przekroczyła 10 kW/m².
 - Wzrost ekspozycji cieplnych, przy których przeprowadzane były badania, nie wpływa w sposób decydujący na całkowitą ilość uwolnionego ciepła (THR) i średnie efektywne ciepło spalania (HOC_{śr}), gdyż ich maksymalne wartości osiągnięte zostały przy natężeniu strumienia promieniowania o wartości 50 kW/m².
 - Wartości SEA_{śr} wariantu silikatowo-silikonowego II są znacznie większe od pozostałych wariantów, dla przykładu przy 50 kW/m² od silikonowego o 71%, natomiast od silikatowo-silikonowego I o 83%, zaś przy 70 kW/m² odpowiednio o 63% i 73%.
 - Wartości HRR_{max} i SEA_{śr} wymienianych wyżej trzech wariantów przekroczyły co najmniej 12-krotnie wyniki uzyskane przez wariant mineralny i wełną mineralną.
 - Biorąc pod uwagę ilość wydzielonego CO z 1 kg materiału można zauważyć, że niezależnie od ekspozycji cieplnej najmniej CO wydzieliał kompozyt wełna + tynk mineralny i wełna mineralna.
 - Wydzielanie CO₂ nie zależy od ekspozycji cieplnej, utrzymywało się na podobnym poziomie niezależnie od rodzaju badanych materiałów.

5. Wnioski

Istotny wpływ na stan bezpieczeństwa pożarowego obiektów ma specyfika układów użytkowych materiałów budowlanych wykorzystywanych w procesie budowy. Dobór powyższych materiałów nie może być dziełem przypadku, stąd w niniejszej pracy przeprowadzono badania w celu sprawdzenia danych materiałów pod kątem szybkości wydzielania ciepła w określonych ekspozycjach cieplnych. Zwrócić należy uwagę na znajomość podstawowych cech pożarowych materiałów stosowanych w obiektach budowlanych, do których również należą wykorzystane w pracy materiały kompozytowe (wełna mineralna + tynk budowlany) odpowiedzialne za odpowiednią izolację ścian budynków.

Uzyskane kompleksowe wyniki badań cech pożarowych badanych materiałów wskazują, że:

1. Wartość szybkości wydzielania ciepła przez materiały palne jest funkcją rodzaju materiału i ekspozycji cieplnej.
2. Największą szybkość wydzielania ciepła spośród badanych materiałów, wykazywał kompozyt wełna+tynek silikatowo-silikonowy II. Można stwierdzić, że na właściwości pożarowe analizowanych układów wełna-tynek duży wpływ ma uziarnienie warstwy wierzchniej. Wzrost uziarnienia tynku powoduje większe wydzielanie ciepła z badanego kompozytu wełna+tynek silikatowo-silikonowy II.
3. Badana wełna mineralna i kompozyt wełna mineralna+tynek mineralny nie uległy zapłonowi pilotowemu w ekspozycji cieplej symulującej II fazę rozwoju pożaru.
4. Intensywność wydzielania dymu przez badane materiały zależała od rodzaju materiału i wartości gęstości zewnętrznego strumienia cieplnego. Najwięcej dymu w ekspozycji 70 kW/m^2 wydzielił kompozyt wełna mineralna+tynek silikatowo-silikonowy II.
5. Jedynym z przebadanych, rodzajem tynku, który nie pogorszył własności wełny mineralnej był tynek mineralny. Wszystkie pozostałe warianty materiałów kompozytowych uległy zapłonowi pilotowemu, a ich maksymalna szybkość wydzielania ciepła (HRR_{max}) wielokrotnie przewyższyła wartość uzyskaną ze spalania wełny mineralnej.
6. Zagrożenie pożarowe ze strony materiału kompozytowego wełna mineralna + tynek mineralny jest znikome, gdyż w nieznacznym stopniu przyczynia się do rozwoju środowiska pożaru.
7. Pozostałe materiały kompozytowe, tzn. wełna+tynek silikatowo-silikonowy I, wełna+tynek silikatowo-silikonowy II oraz wełna+tynek silikatowy w momencie, gdy ulegną zapłonowi trwałemu, spalają się płomieniowo aż do momentu wypalenia materiału palnego.

PIŚMIENNICTWO

1. J. Kielin: Strażackie porachunki. „Przegląd Pożarniczy” 2006, nr 8.
2. V. Babrauskas, S. J. Grayson: Heat Release in Fires. Chapman & Hall, London 1995.
3. Babrauskas S.V.: Ignition handbook. Fire Science and Technology Inc., 2003.
4. D.A. Purser, M. Bensilum: Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculation. „Safety Science” 2001, vol. 38, s. 157–182.
5. D. Drysdale: Introduction to Fire Dynamics. J. Willey&Sons Inc., New York 1985.
6. V. Babrauskas, W. Parker: Ignitability measurements with the cone calorimeter. „Fire and Materials” 1987.

7. D. Rasbabs, D. Drysdale: Theory of Fire and Fire Processes. „Fire and Materials” 1983.
8. D. A. Bluhme: ISO ignitability test and proposed ignition criteria. „Fire and Materials” 1987.
9. E. Mikkola, I. S. Wichman: On the thermal ignition of combustible materials. „Fire and Materials” 1989.
10. A. Dydycz: Tynki cienkowarstwowe na spoiwach organicznych. „Rynek Chemii Budowlanej” 2005, nr 11.
11. W. Drozdowski: Wełna mineralna. „Izolacje” 2003, nr 4.
12. ISO 5660: 2002. Reaction to fire test – Heat release, smoke production and mass loss rate. Part 1: Rate of heat release from building products. Part 2: Smoke production rate (dynamic measurement) – Cone calorimetric method.
13. W. Thornton: The relation of oxygen to the heat combustion of organic compounds. „Philosophical Magazine and J. Science” 1917, vol. 33, s. 196.
14. C. Huggett: Estimation of rate heat release by means of oxygen consumption measurements. „Fire and Materials” 1980, vol. 4, s. 61–65.
15. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 marca 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. 2009, nr 56, poz. 461.

S U M M A R Y

Marzena PÓŁKA

Paweł SULIK

ANALYSIS OF SELECTED FIRE PARAMETERS FOR EXTERNAL INSULATION COMPOSITE SYSTEMS WITH RENDERING BASED ON MINERAL WOOL

The paper describes influence of external insulation composite systems with rendering based on mineral wool on selected fire parameters. Three groups of rendering were tested: mineral, silicate and silicate-silicone plasters. Heat Release Rate connected with variable heat flux density was measured. Tests were carried out for 20 specimens. Only the SGSP laboratory equipments, among other things conical calorimeter made by Fire Testing Technology, were used for the tests. The conclusions based on received results were formulated.