



Bartłomiej Papis*

PROCES TLENIA W MATERIAŁACH BUDOWLANYCH

W artykule przedstawiono krótki opis zjawiska tlenia oraz źródła jego powstawania. Opisano zaproponowaną metodykę badań zjawiska tlenia. Przedstawiono wyniki badań, którymi objęto trzy materiały budowlane. Zaproponowano modyfikacje zastosowanej metodyki badań oraz kryteriów oceny zjawiska tlenia.

1. Informacje ogólne

Zjawiskom tlenia i żarzenia należy się większa uwaga ze względu na fakt, że pożary poprzedzone tymi procesami rozwijają się w sposób niezauważalny, powodując duże zniszczenia.

Proces tlenia jest podobny do spalania płomieniowego – podobnie jak tam, ciepło wytwarzane w procesie utleniania jest transportowane do sąsiednich elementów w materiale. W przypadku tlenia tworzy się front tlenia lub fala tłąca, rozchodząca się w materiale z odpowiednią szybkością. Spalaniu bezpłomieniowemu ulegają substancje, które pod wpływem ogrzewania wytwarzają w warstwie sztywnej, porowatą, węglistą strukturę. Należą do nich głównie substancje pochodzenia roślinnego, takie jak papier, tkaniny celulozowe, trociny, płyty pilśniowe, kauczuk lateksowy oraz wiele termoutwardzalnych tworzyw sztucznych, szczególnie w formie pianek [1–3].

Zaobserwowano, że jeżeli substancja pod wpływem ciepła wykazuje jakąkolwiek tendencję do mięknienia, topnienia, kurczenia lub sublimacji, to nie ma skłonności do tlenia.

Spalanie płomieniowe i spalanie bezpłomieniowe (tlenie) w zależności od warunków spalania mogą występować kolejno po sobie, jednocześnie, lub jedno z nich może być przyczyną drugiego. Przykładem spalania bezpłomieniowego w warunkach pożaru może być tlenie zwęglonej pozostałości popirolitycznej palnej substancji stałej [1]. Tlenie może pojawić się także w początkowym stadium pożaru, kiedy moc źródła zapalenia jest zbyt mała, aby w czasie pirolizy ciała stałego wydzieliła się dostateczna

* dr inż. – Zakład Badań Ogniwych ITB

ilość fazy lotnej zdolnej do zapalenia się płomieniowego. Zasadniczo tlenie, w odróżnieniu od spalania płomieniowego, przebiega wolniej w niższych temperaturach, z jednoczesnym wydzielaniem się większych ilości produktów niecałkowitego utlenienia węgla [4].

Jeżeli temperatura substancji jest niska, reakcja utlenienia przebiega wolno; stężenie tlenu na powierzchni ciała stałego nie różni się więc od stężenia tlenu w atmosferze. W takim przypadku przebieg utlenienia zależy będzie od kinetyki reakcji. Jest to spalanie kinetyczne.

Jeśli temperatura ciała stałego będzie wysoka, szybkość reakcji utlenienia wzrośnie, stężenie tlenu na powierzchni obniży się i proces utlenienia stanie się zależny od dopływu tlenu z zewnątrz. W wyniku tego szybkość spalania na granicy faz zacznie zależeć od procesów dyfuzji. W tym przypadku zachodzi spalanie dyfuzyjne.

Dotychczasowe opracowania naukowe nie opisują w pełni mechanizmu tlenia, czynników warunkujących występowanie tego zjawiska, szybkości jego rozprzestrzeniania i rodzaju tworzących się produktów reakcji. Zaobserwowano, że w produktach tlenia przeważają związki niecałkowitego utlenienia węgla. Tworzący się tlenek węgla i inne gazy powiększają obszar reakcji spalania bezpłomieniowego.

W literaturze istnieją dwa modele opisujące proces tlenia. Pierwszy z nich to model stworzony przez A. Moussa [1], [5]. Razem ze swoim zespołem badał on proces tlenia materiałów celulozowych, dochodząc do wniosku, że rozchodzącą się w materiale falę tłącą można podzielić na trzy strefy:

I – obszar pirolizy, w którym obserwuje się szybki wzrost temperatury i wydzielenie lotnych produktów spalania w powietrzu z macierzystego materiału;

II – strefę powstawania węglistej substancji, w której temperatura osiąga maksimum, zahamowany jest proces wydzielania widzialnych produktów spalania, rozpoczyna się żarzenie materiału;

III – obszar powstawania porowatej pozostałości zwęglonej i (lub) popiołu, charakteryzujący się zanikiem żarzenia i spadkiem temperatury [1], [3].

Drugim znanym modelem opisującym propagację fali tłącej jest model F. Williamsa. Model ten jest uogólniony, w przeciwieństwie do modelu Moussa, który dotyczył materiałów celulozowych. Model Williamsa opiera się na fundamentalnym równaniu rozprzestrzeniania spalania:

$$V = \frac{q''}{d \Delta H} \quad (1)$$

gdzie: V – szybkość rozprzestrzeniania się tlenia,

q'' – rzeczywista energia strumienia ciepła przypadająca na powierzchnię spalania,

d – gęstość paliwa,

ΔH – zmiana entalpii cieplnej w przemianie chemicznej, tj. ilość ciepła potrzebna do ogrzania jednostki masy paliwa od temperatury otoczenia do temperatury zapalenia.

Proces tlenia może być zapoczątkowany w różny sposób. Tlenie może być następstwem ugaszonego spalania płomieniowego. Może się również rozpocząć pod wpływem działania zewnętrznego źródła, na przykład tłącego się papierosa, może także wystąpić pod wpływem intensywnego działania źródła ciepła, na przykład pianka lateksowa może ulegać tleniu lub zapaleniu od palącej się żarówki 40 W.

Istotny wpływ na pojawienie się procesu tlenia może mieć też skłonność materiału do samonagrzewania się. Jeżeli szybkość wydzielania ciepła wewnątrz masy substancji jest większa niż straty ciepła na powierzchni, wtedy temperatura wewnątrz substancji wzrośnie, doprowadzając do tlenia wewnątrz masy.

Temperatura tlenia jest parametrem określającym podatność materiału na zachodzenie w nim procesów egzotermicznych, mogących doprowadzić do spalania bezpłomieniowego.

Temperatura tlenia jest parametrem zależnym od:

- grubości warstwy materiału tłącego się,
- ruchu i wilgotności powietrza,
- wielkości cząstek tłęcej się substancji,
- składu substancji,
- wielkości powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych materiału,
- stężenia tlenu w atmosferze,
- sposobu i szybkości ogrzewania materiału.

2. Ocena procesu tlenia w materiałach budowlanych

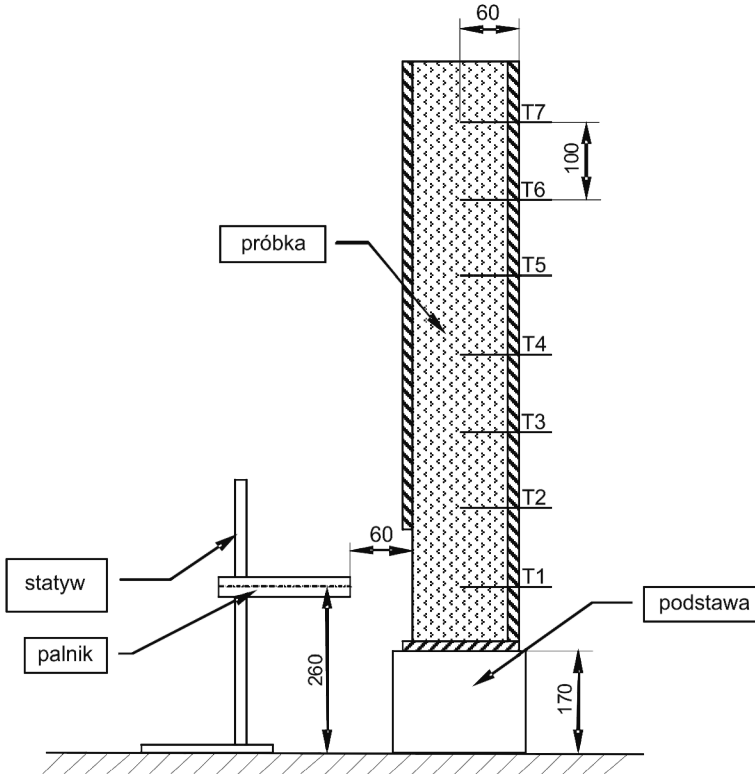
Obecnie nie istnieje metoda oceny tlenia materiałów budowlanych.

W Europejskim Komitecie Normalizacyjnym w Grupie Roboczej WG 4 w ramach Komitetu Technicznego TC127 istnieje grupa zadaniowa zajmująca się opracowaniem metodyki oceny procesu tlenia w materiałach/wyrobach budowlanych.

Oceny procesu tlenia można dokonywać w różny sposób. Głównym kryterium oceny tego procesu powinna być temperatura tłącego się materiału, ponieważ właśnie ze względu na wysoką temperaturę, panującą w tłym się materiale, tlenie jest tak niebezpiecznym zjawiskiem, prowadzącym do tragicznych w skutkach pożarów. Kryterium dodatkowym może być zasięg i powierzchnia zniszczeń badanego materiału oraz czas trwania procesu tlenia w materiale.

W Laboratorium Badań Ogniwych Instytutu Techniki Budowlanej trwają prace nad opracowaniem metodyki oceny wyrobów budowlanych pod kątem ich podatności na tlenie. Podczas badań oceniany materiał jest poddawany oddziaływaniu płomienia palnika gazowego typu TECLU zasilanego propanem w ilości 0,6 l/min. Próbkę do badań umieszcza się w specjalnym pojemniku wykonanym z niepalnych płyt krzemianowo-wapniowych, zgodnych z PN-EN 13238. W próbce materiału umieszczone są termoelementy mierzące temperaturę podczas badania.

Konfigurację palnika i próbki oraz położenie termoelementów przedstawiono na rysunku 1. Na fotografii 1 pokazano stanowisko do badań znajdujące się w Laboratorium Zakładu Badań Ognioowych Instytutu Techniki Budowlanej w Warszawie.



Rys. 1. Konfiguracja palnika i próbki w przeprowadzanych badaniach
Fig.1. Configuration of burner and specimen in tests

a)



b)



Fot. 1. Stanowisko pomiarowe do badań tlenia i żarzenia materiałów budowlanych (a) i układ zasilania palnika (b).

Photo 1. Apparatus for glowing and smoldering tests (a) and gas supply system (b)

Metodyka badań jest dopiero w fazie opracowywana i badań próbnych, jednak przeprowadzono już pierwsze wstępne badania. Materiały wyspecyfikowane do badań przedstawiono w tablicy 1.

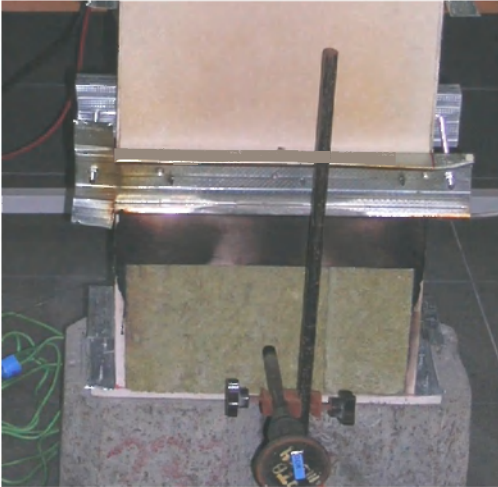
Tablica 1. Materiały wytypowane do badań na potrzeby tematu

Table 1. Materials chosen for testing

Materiał	Gęstość kg/m ³	Grubość mm	Uwagi
Wełna mineralna	114	100	próbkę o wymaganych wymiarach wycięto z pojedynczej płyty
Wełna mineralna do wdmuchiwania	36	100	materiał w postaci granulatu, próbkę równomiernie rozłożono w skrzynce badawczej
Płyta piłśniowa miękka	212,1	12	próbkę o grubości 100 mm złożono z 9 płyt

Badanie rozpoczyna się od zanotowania przez aparaturę temperatury początkowej próbki na wszystkich termoelementach, okres ten trwa 5 minut. Po upływie tego czasu próbka poddawana jest oddziaływaniu płomienia palnika przez okres 20 minut. Następnie palnik jest wyłączany i mierzy się temperaturę wewnątrz próbki. Badanie jest zakończone w momencie, gdy wszystkie temperatury mierzone przez termoelementy wrócą do wartości początkowej. Na fotografiach 2–5 przedstawiono badane próbki, natomiast na rysunkach 2–4 – przebiegi temperatury otrzymane w czasie badań.

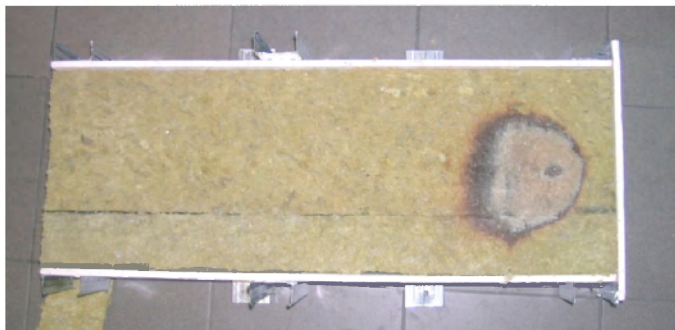
a)



b)



Fot. 2. Wełna mineralna – próbka przed (a) i w trakcie badania (b)
Photo 2. Mineral wool (specimen before and during test)



Fot. 3. Wełna mineralna (próbka po badaniu)
Photo 3. Mineral wool (specimen after the test)

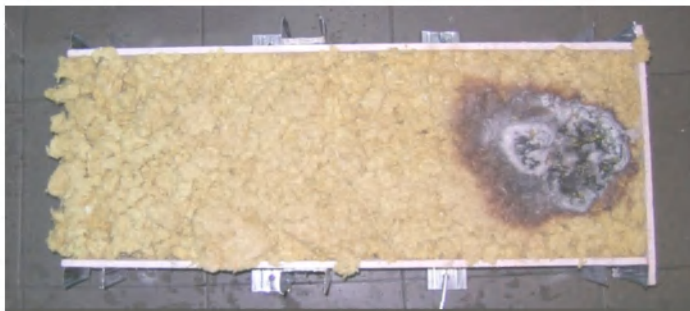
a)



b)



c)



*Fot. 4. Wełna mineralna do wdmuchiwania – próbka przed (a), w trakcie (b) i po badaniu (c)
Photo 4. Mineral wool for insufflate in wall – specimen before (a), during (b) and after the test (c)*

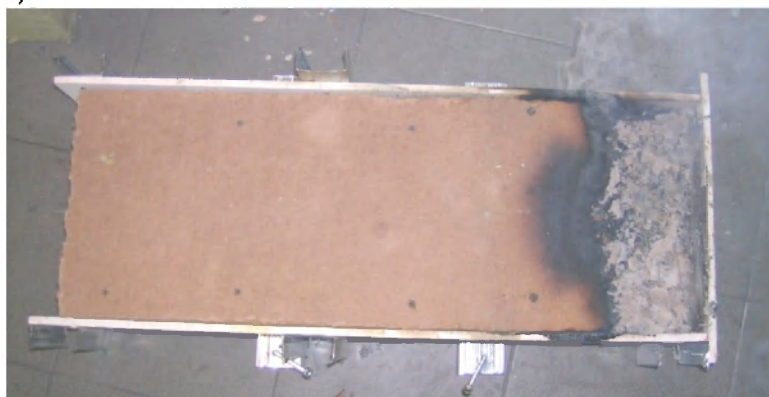
a)



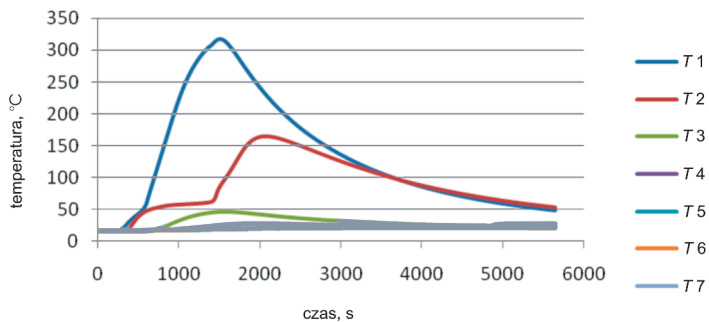
b)



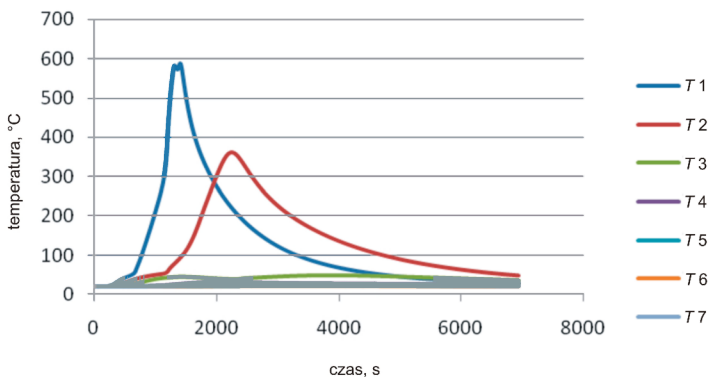
c)



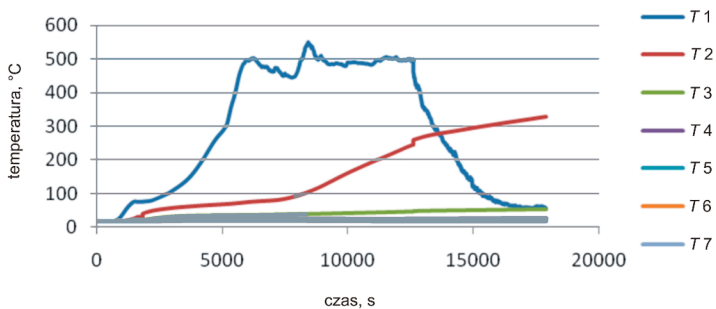
*Fot. 5. Płyta pilśniowa miękka – próbka przed (a), w trakcie (b) i po badaniu (c)
Photo 5. Fibreboard – specimen before (a), during (b) and after the test (c)*



Rys. 2. Przebiegi temperatury w badaniu wełny mineralnej
 Fig. 2. Temperature curves during test for mineral wool



Rys. 3. Przebiegi temperatury w badaniu luźnej wełny mineralnej
 Fig. 3. Temperature curves during test for mineral wool for insufflate in wall



Rys. 4. Przebiegi temperatury w badaniu płyty pilśniowej miękkiej
 Fig. 4. Temperature curves during test for fibreboard

3. Podsumowanie i wnioski

Analiza wyników przeprowadzonych badań prowadzi do wniosku, że proces tlenia obserwowany jest przy temperaturze 500°C i wyższej. Potwierdzają to wyniki badań płyty pilśniowej miękkiej oraz luźnej wełny mineralnej.

Zastosowana metodyka badań jest właściwa do oceny procesu tlenia. Dopracowania wymaga położenie i liczba termoelementów zamocowanych w badanym wyrobie. W przyszłości należy rozważyć zastosowanie termoelementów o mniejszej średnicy. Będą one szybciej reagować na zmiany temperatury w badanym materiale, co pozwoli na dokładniejszą ocenę. Należy także rozważyć zwiększenie liczby termoelementów, na przykład do dziewięciu termoelementów na każdym poziomie, umieszczonych w jednej linii z tyłu, w środku i z przodu badanego materiału. Umożliwi to ocenę procesu tlenia nie tylko wzdłuż długości próbki, ale także wzdłuż jej grubości. Pozwoli to także uniknąć takiej sytuacji, jak w przypadku wełny mineralnej, gdzie proces tlenia można było zaobserwować w materiale na głębokości do 25 mm, przez co wskazania na termoelementach były niższe niż w przypadku innych tłących się materiałów. Rozważenia wymaga także zastosowanie w badaniach innych oddziaływań. Proponuje się, aby w dalszych pracach podejmowanych w ramach tematu, do oceny podatności na tlenie materiałów zastosować także promieniowanie cieplne oraz elementy gorące (na przykład rozżarzony drut czy tłący się papieros). Pozwoli to na rozważenie różnych scenariuszy pożarowych.

Proponuje się, aby badanie było prowadzone w specjalnej komorze, w której będzie wymuszony ruch powietrza. Ma to na celu skrócenie czasu trwania badania oraz pozwoli na odprowadzenie produktów spalania na zewnątrz pomieszczenia, w którym prowadzone będą badania, oraz na zwiększenie bezpieczeństwa wykonywania badań. Ściany takiej komory powinny być przezroczyste, aby możliwe było obserwowanie przebiegu badania.

Jeśli chodzi o kryteria oceny procesu tlenia w materiałach/wyrobach budowlanych, to po przeprowadzeniu wstępnych badań takimi kryteriami mogą być:

- wartości temperatury na poszczególnych termoelementach,
- zasięg zniszczenia badanego materiału/wyrobu postępującego w górę próbki, ale także w głąb materiału,
- czas trwania całego procesu (od początku badania do momentu powrotu temperatury na termoelementach do wartości początkowej).

W dalszych pracach dotyczących zagadnienia tlenia należy wprowadzić do metody badawczej proponowane zmiany oraz przeprowadzić badania na większej liczbie materiałów.

Bibliografia

- [1] Materiały do zajęć laboratoryjnych dotyczących oznaczania temperatury tlenia pyłów według PN-94/C01200-12. Źródło:
http://www.sgsp.edu.pl/uczelnia/kdrg/zsitp/materialy_zsz/ozn_temp_tlenia_pylow.pdf
- [2] Ohlemiller T.J.: „Smoldering Combustion” SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 2nd Edition Chapter 11 section 2, pp. 171–179
- [3] Ohlemiller T.J.: „Smoldering Combustion propagation on solid wood” Fire Safety Science – proceedings of third international symposium pp. 565–574
- [4] Ohlemiller T.J.: „Smoldering combustions hazards on thermal insulations materials”, National Bureau of Standards, Washington D.C., August 1981
- [5] Ohlemiller T.J.: On the Criteria for Smoldering Ignition in the CFR 1632 Cigarette Test for Mattresses NIST, Technical Note 1601, November 2008

ASSESSMENT OF SMOLDERING PROCESS IN BUILDING MATERIALS

Summary

The paper shows a description of smoldering process in building materials. It includes a proposal of testing method and its description. The author shows and discusses the tests results for three different materials and proposes the criteria for assessment of smoldering process in building materials.

Praca wpłynęła do Redakcji 3 I 2011 r.