

**SCIENTIFIC
STUDIES**
Monographs

**PRACE
NAUKOWE**
Monografie

Jadwiga Fangrat

Spalanie a bezpieczeństwo pożarowe budynków

Combustion and Fire Safety of Buildings



Instytut Techniki Budowlanej

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor naczelny
Zastępcy redaktora naczelnego

Sekretarz
Członkowie

prof. dr hab. inż. LECH CZARNECKI, dr h.c.
prof. dr inż. LESŁAW BRUNARSKI
dr hab. inż. JADWIGA FANGRAT, prof. Instytutu
dr MICHAŁ GAJOWNIK
prof. dr hab. inż. JACEK NURZYŃSKI
mgr inż. JAN SIECZKOWSKI
dr inż. EWA SZEWCZAK
dr inż. SEBASTIAN WALL

Recenzenci:

dr hab. inż. RYSZARD GETKA
prof. dr hab. inż. HALINA PAWLAK-KRUCZEK
dr hab. inż. WOJCIECH WĘGRZYŃSKI, prof. Instytutu
prof. dr hab. inż. PIOTR WOLAŃSKI, dr h.c.

Redakcja
dr MICHAŁ GAJOWNIK

Opracowanie komputerowe
AnnGraf ANNA SZELĄG

Graficzne opracowanie rysunków nr 1.5, 2.6, 3.3, 3.8, 4.14, 4.17, 4.22, 6.2, 6.4, 7.1
inż. Marek Gębarzewski

© Copyright by Instytut Techniki Budowlanej
Warszawa 2025

*Czterysta siedemdziesiąta siódma pozycja
„Prac Naukowych ITB”*

ISBN 978-83-249-8682-8, 978-83-249-8683-5 (PDF)

Wydawca i Autorzy dolożyli wszelkich starań, aby publikowane informacje pochodziły z rzetelnych źródeł. Wydawca nie ponosi odpowiedzialności ani też nie zaciaga zobowiązań w wyniku wykorzystania przez użytkowników treści niniejszej publikacji. W szczególności nie ponosi odpowiedzialności w stosunku do czytelników i/lub strony trzeciej za jakiegokolwiek poniesione straty, wydatki i szkody bezpośrednie i pośrednie, łącznie z utratą zysku i innych korzyści majątkowych, które mogły powstać lub być związane bezpośrednio lub pośrednio z treściami opublikowanymi, w tym ewentualnymi błędami lub pominięciami zawartymi w publikowanych materiałach.

 Instytut Techniki Budowlanej

Dział Wydawnictw Naukowych
00-611 Warszawa, ul. Filtrowa 1, tel.: 22 843 35 19
e-mail: wydawnictwa@itb.pl, www.itb.pl

*Autorka wyraża serdeczne podziękowania za cenne uwagi
Recenzentom, Panu Profesorowi Lechowi Czarneckiemu,
Panu mgr. inż. Janowi Sieczkowskiemu, współpracownikom
z Zakładu Badań Ogniwych ITB oraz innym osobom,
które przyczyniły się do wydania monografii,
a także Rodzinie za cierpliwość i wyrozumiałość okazaną
podczas pracy nad tym dziełem.*

SPIS TREŚCI

<i>Streszczenie</i>	9
<i>Abstract</i>	11
Podstawowe określenia	13
1. Wstęp	19
Bibliografia do rozdziału 1	25
2. Budynek a pożar	27
2.1. Wprowadzenie	27
2.2. Przepisy bezpieczeństwa pożarowego dla budynków	30
2.3. Systematyka funkcjonalna budynków	32
2.4. Pożar w pomieszczeniu	36
2.5. Scenariusze pożaru w budynku	45
2.5.1. Informacje wstępne	45
2.5.2. Rola i znaczenie scenariuszy pożaru	47
2.5.3. Drzewo zdarzeń	50
2.5.4. Wybrane scenariusze pożarów projektowych	51
2.6. Pożar elewacji budynku	54
Bibliografia do rozdziału 2	57
3. Procesy spalania w pożarze	63
3.1. Wprowadzenie	63
3.2. Zapłon/zapalenie	64
3.3. Określanie parametrów materiałowych w procesie spalania	74
3.4. Chemiczne aspekty spalania polimerów	75
3.5. Wybrane zagadnienia promieniowania cieplnego	83
3.5.1. Sposoby transportu ciepła	83
3.5.2. Podstawowe prawa rządzące promieniowaniem cieplnym	85
3.5.3. Oddziaływanie promieniowania z ciałem stałym lub ciekłym	89
3.5.4. Radiacyjny przepływ ciepła	91
3.5.5. Analiza układu płyta promieniująca – pozioma powierzchnia ciała stałego	93
3.6. Rozprzestrzenianie płomienia po powierzchni ciał stałych	94
3.7. Spalanie bezpłomieniowe	126
3.7.1. Charakterystyka procesu	126
3.7.2. Inicjacja tlenia i żarzenia	133
3.7.3. Propagacja samopodtrzymującego się tlenia	135
3.7.4. Przejście od tlenia do żarzenia i do spalania płomieniowego. . .	138
Bibliografia do rozdziału 3	144
4. Charakterystyka wyrobów budowlanych w zakresie bezpieczeństwa pożarowego	163
4.1. Wprowadzenie	163
4.2. Metody eksperymentalne powiązane z systemem Euroklas	165

4.2.1. Ciepło spalania	165
4.2.2. Niepalność	168
4.2.3. Mały płomień	169
4.2.4. Pojedynczy płonący przedmiot.	170
4.2.5. Strumień krytyczny	174
4.2.6. Pożar w narożu pomieszczenia	176
4.2.7. Rozprzestrzenianie ognia na powierzchni ścian zewnątrznych	178
4.3. Ocena wyrobów budowlanych w zakresie reakcji na ogień	180
4.4. Właściwości ogniowe wyrobów budowlanych w systemie Euroklas . .	190
4.4.1. Wyniki badań własnych	190
4.4.2. Dualizm oceny wyrobów stosowanych w budynkach	198
Bibliografia do rozdziału 4	200
5. Empiryczna analiza parametrów materiałowych	203
5.1. Wprowadzenie	203
5.2. Szybkość wydzielania ciepła	204
5.3. Koncepcja modyfikowanego ciepła spalania	208
5.4. Modyfikowane ciepło spalania w kalorymetrze stożkowym	217
Bibliografia do rozdziału 5	219
6. Paradygmat bezpieczeństwa pożarowego budynków	221
6.1. Wprowadzenie	221
6.2. Koncepcja paradygmatu bezpieczeństwa pożarowego budynków	224
6.3. Elementy składowe paradygmatu	227
6.4. Anomalie paradygmatu	234
Bibliografia do rozdziału 6	235
7. Zakończenie	241
Bibliografia w porządku alfabetycznym	245
Załącznik. Określenie charakterystyk radiacyjnych	275

SPALANIE A BEZPIECZEŃSTWO POŻAROWE BUDYNKÓW

Streszczenie

Niniejsza monografia naukowa jest poświęcona zagadnieniom bezpieczeństwa pożarowego obiektów budowlanych, ze szczególnym uwzględnieniem niezorganizowanych i niekontrolowanych procesów spalania występujących w pożarach. Zwrócono w niej przede wszystkim uwagę na zagadnienia materiałowe analizowane ze względu na bezpieczeństwo pożarowe budynków oraz na zjawiska fizyczne i chemiczne towarzyszące pożarom. Przedstawiono poszerzone spojrzenie na problemy bezpieczeństwa pożarowego analizowane z uwzględnieniem wymagań zrównoważonego budownictwa, szczególnie jego uwarunkowań materiałowych.

W pracy spalanie traktuje się jako jeden z kilku czynników kształtujących bezpieczeństwo pożarowe budynków. Podano wnioski dotyczące roli procesów spalania w ocenie reakcji na ogień wyrobów budowlanych – zwłaszcza o zwiększonej zawartości dodatków organicznych (tzn. palnych), pochodzących np. z recyklingu – wpływających bezpośrednio na poziom bezpieczeństwa budynków.

Znaczna część publikacji jest poświęcona reakcji na ogień materiałów i wyrobów stosowanych w budownictwie. Zawiera wyniki autorskich badań i analiz przy zastosowaniu między innymi europejskich metod normowych, w szczególności: ciepła spalania, niepalności, pojedynczego płonącego przedmiotu (ang. *Single Burning Item* – SBI), płyty promieniującej oraz kalorymetru stożkowego, rozprzestrzeniania ognia przez ściany oraz dodatkowo metody badania w narożu pomieszczenia (ang. *Room Corner*). Jest to swoiste podsumowanie autorskich prac badawczych prowadzonych na przestrzeni lat. W efekcie przedstawiono empiryczną i teoretyczną analizę różnych wielkości charakteryzujących zachowanie się wyrobu budowlanego w warunkach pożaru.

Stwierdzono, że już same wyniki badania ciepła spalania bardzo dobrze charakteryzują wyroby, co może mieć dużo szersze niż dotychczas zastosowanie jako pierwsza metoda przesiewowa do wstępnej oceny wyrobów budowlanych ze względu na właściwości ogniowe, a w dalszej konsekwencji do oceny potencjalnego zagrożenia pożarowego powodowanego przez te wyroby po ich zastosowaniu w budynku. Ponadto zaproponowano nowatorską koncepcję modyfikowanego ciepła spalania. Przedstawiono szereg obserwacji i wniosków o znaczeniu badawczym i inżynierskim, stanowiących także inspirację do dalszych prac poznawczych.

W rozdziale szóstym podjęto istotne i aktualne dla współczesnego bezpieczeństwa pożarowego zagadnienie paradygmatu, czyli przyjętego sposobu postępowania.

Elementy składowe paradygmatu bezpieczeństwa pożarowego budynków, tworzące złożoną strukturę (system), przedstawiono graficznie w celu zobrazowania wzajemnych powiązań i oddziaływań między nimi. Wskazano i przedyskutowano istotne anomalie paradygmatu w systematycznym podejściu do bezpieczeństwa pożarowego w krajach Unii Europejskiej. Przedstawiony paradygmat jest uniwersalny ponieważ zawiera wspólne atrybuty charakterystyczne dla środowiska bezpieczeństwa pożarowego i ich interpretacji oraz sposobu realizacji przez podmioty bezpieczeństwa pożarowego. Zanalizowano elementy paradygmatu oraz jego rolę i znaczenie w rozwoju nauki o bezpieczeństwie pożarowym, a w szerszym ujęciu wpływ na rozwój budownictwa. Rola i znaczenie paradygmatu bezpieczeństwa pożarowego budynków w rozwoju nauki o bezpieczeństwie pożarowym wiążą się ściśle z rozwojem zrównoważonego budownictwa, nie tylko w skali regionalnej, lecz także lokalnej. Są to dwa zagadnienia spójne i powinny być traktowane łącznie. Z przedstawionej analizy wynika konieczność zmiany podejścia do zagadnień bezpieczeństwa pożarowego budynków. Kolejnym wyzwaniem determinującym zmianę paradygmatu jest rozwój technologii sztucznej inteligencji. Jednak opisany w pracy paradygmat ma na tyle uniwersalny i ogólny charakter, że wskazane anomalie nie będą wymagały jego zmiany, lecz uzupełnienia.

COMBUSTION AND FIRE SAFETY OF BUILDINGS

Abstract

This scientific monograph is devoted to the fire safety of building objects, with particular emphasis on the issues of unorganized combustion processes. It primarily drew attention to material issues analyzed for the sake of fire safety of buildings and to physical and chemical phenomena accompanying fires. An extended look at fire safety problems analyzed taking into account the requirements of sustainable construction, especially its material conditions, was presented.

At work, combustion is treated as one of several factors shaping the fire safety of buildings. Conclusions are given on the role of combustion processes in the assessment of reaction to fire of construction products – especially those with an increased content of organic additives, i.e. combustible additives derived from e.g. recycled – directly affecting the level of safety of buildings.

A significant part of the publication is devoted to the reaction to fire of materials and products used in construction, in particular it contains the results of original research and analyses using, among others, European standard methods, in particular: heat of combustion, non-flammability (*Single Burning Item* – SBI), tests using the radiation plate and cone calorimeter, fire propagation through walls and additionally using the *Room Corner* method. It is a kind of summary of the author's research work carried out over the years. As a result, an empirical and theoretical analysis of various quantities characterizing the behavior of a construction product under fire conditions was presented.

It was found that the results of the heat of combustion test are very useful to characterize such products, which may have a much wider application than before as the first screening method for the initial assessment of construction products in terms of fire properties, and consequently for the assessment of the potential fire hazard caused by these products after their use in the building. In addition, a novel concept of modified heat of combustion was proposed. A number of observations and conclusions of research and engineering significance are presented, which are also an inspiration for further cognitive work.

The sixth chapter discusses the issue of the adopted way of seeing in this field, i.e. the paradigm, which is important and current for contemporary fire safety. The components of the fire safety paradigm of buildings forming

a complex structure (system) are presented graphically to illustrate the mutual connections and interactions between them. Significant paradigm anomalies in the systematic approach to European Union fire safety are identified and discussed. The presented paradigm is universal and its universality lies in having certain common attributes characteristic of the fire safety environment and their interpretation and the way they are implemented by fire safety entities. The subject of the analysis are elements of the paradigm, as well as its role and importance in the development of fire safety science, and in a broader sense on the development of construction. The role and importance of the fire safety paradigm of buildings in the development of fire safety science is closely related to the development of sustainable construction not only on a regional but also on a local scale. These are two coherent issues and should be treated inseparably. The presented analysis shows the need to change the approach to fire safety issues of buildings. Another challenge determining the paradigm shift is the development of artificial intelligence technologies. However, the paradigm described in the paper is so universal and general that the anomalies indicated will not need to be changed, but supplemented.

PODSTAWOWE OKREŚLENIA

Poniżej podano wybrane podstawowe określenia i definicje związane z bezpieczeństwem pożarowym budynków stosowane w niniejszej monografii, zaczerpnięte z literatury przedmiotu [1.1 – 1.5] i dokumentów normatywnych [1.6 – 1.8].

Bezpieczeństwo pożarowe budynku – zespół cech związanych z usytuowaniem budynku, zastosowaniem rozwiązań architektonicznych, użytymi materiałami, wyrobami i elementami oraz wyposażeniem w środki techniczne wpływające na ograniczenie możliwości powstania pożaru, jego rozwój i skutki.

Budynek – obiekt budowlany trwale związany z gruntem, wydzielony z przestrzeni za pomocą przegród budowlanych, posiadający fundament i dach.

Droga ewakuacyjna – droga stanowiąca część systemu ewakuacyjnego od wyjścia z pomieszczenia do wyjścia na zewnątrz budynku lub do innej strefy pożarowej.

Euroklasa – umowne określenie nieformalne, stosowane w Polsce do oceny (klasyfikacji) wyrobów budowlanych, dokonywanej na podstawie dokumentów normatywnych opracowanych przez Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN, fr. *Comité Européen de Normalisation*) w zakresie reakcji na ogień. Klasa ta, zdefiniowana w normie PN-EN 13501, oznacza najogólniej czy i jak szybko pali się wyrób budowlany oraz ile energii przy tym wytwarza.

Indeks tlenowy, wskaźnik tlenowy – parametr określający palność substancji, oznaczany symbolem OI, podawany w ułamku objętościowym lub w procentach. Wyraża zdolność materiału (tworzywa) do podtrzymywania spalania w znormalizowanych warunkach w temperaturze otoczenia (25°C). Zdolność ta oznaczana jest przez minimalne stężenie tlenu w mieszaninie tlenu z azotem, przy którym próbka tworzywa – badanego w określonych warunkach (umocowana pionowo w kolumnie pomiarowej) – podtrzymuje spalanie płomieniowe. Im wyższa wartość tego indeksu (procentowe stężenie tlenu), tym materiał trudniej podtrzymuje spalanie. Metoda nie ma zastosowania do określania właściwości ogniowych wyrobów budowlanych, natomiast jest rozpowszechniona w przemyśle chemicznym, w pracach technologicznych dotyczących opracowania nowych tworzyw sztucznych.

Izolacyjność ogniowa I – zdolność elementu konstrukcji do wytrzymania oddziaływania ognia tylko z jednej strony, bez przeniesienia ognia w wyniku

znacznego przepływu ciepła ze strony nagrzewanej na stronę nienagrzewaną (wyrażana w minutach).

Klasa odporności ogniowej elementów budynku – kombinacja charakterystyk skuteczności działania, przedstawiana za pomocą symboli, np. REI30, E120, którym przyporządkowano konstrukcję lub element konstrukcji ze względu na odporność pożarową budynku; liczba w symbolu oznacza minuty.

Klasa odporności pożarowej budynku – symbol (oznaczany jako A, B, C, D lub E), któremu przyporządkowano wymagania dotyczące właściwości ogniowych materiałów i elementów budynku.

Klasa reakcji na ogień – określenie wskazujące, czy materiał dostarcza paliwo do pożaru w fazie przed rozgorzeniem; przyporządkowuje materiał lub wyrób do odpowiedniej grupy w określonych warunkach badania i według umownego podziału.

Klasa rozprzestrzeniania ognia – określenie przyporządkowujące element budynku do odpowiedniej grupy ze względu na rozprzestrzenianie ognia w określonych warunkach badania i według umownego podziału.

Kryterium izolacyjności ogniowej *I* – kryterium określane na podstawie wyników badania odporności ogniowej, według którego oceniana jest zdolność elementu oddzielającego do ograniczenia przechodzenia ciepła.

Kryterium nośności ogniowej *R* – kryterium, według którego ocenia się zdolność elementu lub konstrukcji do przenoszenia określonych oddziaływań podczas odpowiedniego badania odporności ogniowej.

Kryterium szczelności ogniowej *E* – kryterium, według którego ocenia się zdolność elementu oddzielającego do zapobiegania przechodzenia płomieni i gorących gazów.

Nośność ogniowa *R* – zdolność elementu konstrukcji do wytrzymania oddziaływania ognia (przy określonych oddziaływaniach mechanicznych) na jedną lub więcej powierzchni, przez określony czas, bez utraty stabilności konstrukcji lub jej nośności.

Odporność ogniowa – zdolność obiektu do spełnienia w ustalonym czasie (np. w ciągu 120 min) wymagań stateczności i/lub szczelności, i/lub izolacyjności ogniowej, i/lub innych oczekiwanych warunków określonych w normowym badaniu odporności ogniowej.

Ogień – samopodtrzymujące się spalanie, zaplanowane w sposób przemysłowy w celu dostarczenia użytecznych efektów, którego rozmiary w czasie i przestrzeni są kontrolowane.

Palność – zdolność materiału lub wyrobu do palenia się płomieniem w określonych warunkach.

Parametry pożaru – wielkości charakteryzujące środowisko pożaru, będące funkcjami przestrzeni i czasu.

Podłoże palne – część powierzchni budynku, mebla lub innej struktury o właściwościach palnych.

Pożar – **1)** proces spalania materiałów palnych w czasie i miejscu do tego nieprzeznaczonym; **2)** niekontrolowany, samoistny proces spalania materiałów organicznych i nieorganicznych; **3)** niekontrolowane w czasie i przestrzeni, samopodtrzymujące się spalanie; **4)** niekontrolowany proces spalania, występujący w miejscu do tego nieprzeznaczonym, rozprzestrzeniający się w sposób niekontrolowany, powodujący zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi i zwierząt oraz straty materialne; towarzyszy mu występowanie czynników szkodliwych, m.in.: płomień, wzrost temperatury, dym, wybuchy, iskry, toksyczne produkty spalania, a w konsekwencji, np. naruszenie konstrukcji budowlanych i urządzeń technologicznych, zniszczenie upraw lub lasów.

Reakcja na ogień – zachowanie się materiału lub wyrobu podczas rozkładu zachodzącego w określonych warunkach w wyniku oddziaływania ognia.

Rozgorzenie – **1)** faza przejściowa w rozwoju pożaru w pomieszczeniu, w którym powierzchnie narażone na promieniowanie cieplne osiągają temperaturę zapłonu w zasadzie jednocześnie, a ogień rozprzestrzenia się szybko, w całej przestrzeni, obejmując całe pomieszczenie, przedział lub zamknięty obszar; **2)** przejście powierzchni materiałów palnych do stanu całkowitego udziału w pożarze w obrębie wydzielonej przestrzeni.

Rozprzestrzenianie ognia – rozprzestrzenianie płomieni po powierzchni lub wewnątrz elementu budynku.

Samozapłon (lub samozapalenie) – zapoczątkowanie spalania w wyniku samoinicjujących się procesów egzotermicznych.

Scenariusz pożaru – szczegółowy opis warunków, łącznie ze środowiskiem, jednej lub więcej faz pożaru, od czasu przed zapłonem do czasu po zakończeniu spalania, w pożarze rzeczywistym o określonym usytuowaniu lub jego symulacji w skali rzeczywistej.

Spalanie – **1)** egzotermiczna chemiczna reakcja syntezy, zdolna do samoczynnego przemieszczania się w przestrzeni wypełnionej substratami; wywiązywanie się ciepła i zdolność do propagacji jest istotną cechą wyróżniającą proces spalania od innych „zwykłych” reakcji chemicznych; **2)** reakcja egzotermiczna substancji z utleniaczem; zazwyczaj spalanie emituje spaliny, którym towarzyszą płomień i/lub widzialne światło.

Strefa pożarowa – **1)** budynek albo jego część oddzielona od innych budynków, lub innych części budynku elementami oddzielenia przeciwpożarowego, które zapewniają, że pożar nie przeniesie się do wewnątrz lub na

zewnątrz wydzielonej przestrzeni; **2)** przestrzeń wydzielona przez przegrody o wymaganej klasie odporności ogniowej w taki sposób, aby w określonym czasie pożar nie przeniósł się na zewnątrz lub do wewnątrz wydzielonej przestrzeni; **3)** zamknięta strefa, która może być wewnątrz podzielona, oddzielona od przylegających przestrzeni w budynku elementami konstrukcyjnymi o określonej odporności ogniowej.

Szczelność ogniowa E – zdolność elementu oddzielającego, wystawionego na działanie ognia z jednej strony, do przeciwstawienia się przechodzeniu płomieni i gorących gazów lub wystąpieniu płomieni na nienagrzewanej stronie przez wyznaczony czas w normowym badaniu odporności ogniowej. Może być oceniana jako kryterium szczelności ogniowej E . Cecha ta jest wymagana od elementów pełniących funkcję oddzielającą w czasie pożaru. Przegrody, które nie spełniają kryteriów szczelności ogniowej mogą powodować zapalenie materiału lub przedmiotu będącego w sąsiedztwie przegrody, albo po stronie przeciwnej do działania ognia.

Środek ogniochronny – środek poprawiający właściwości użytkowe materiału lub wyrobu, spowalniający działanie pożaru.

Środowisko pożaru – przestrzeń budynku (strefa) objęta pożarem; środowisko pożaru określane jest przez temperaturę, strumień ciepła, stężenie dostępnego tlenu, gazowych produktów rozkładu termicznego i spalania oraz stężenie cząstek dymu.

Techniczne środki zabezpieczeń przeciwpożarowych – urządzenia, sprzęt, instalacje lub rozwiązania budowlane, służące do zapobiegania powstawaniu i rozprzestrzenianiu się pożaru.

Temperatura zapłonu – minimalna temperatura, w której w określonych warunkach badania może być zapoczątkowane spalanie.

Właściwości ogniowe wyrobów budowlanych – odpowiedź obiektu poddanego określonej oddziaływaniu ognia; cechy określające zachowanie wyrobów budowlanych pod wpływem ognia w zdefiniowanych (znormalizowanych) warunkach badań ogniowych, wykonywanych w celu oceny wyrobów w zakresie ich zdolności do zapłonu, szybkości palenia się, ilości wydzielanego ciepła i dymu oraz tworzenia płonących kropeł i odpadających części; te parametry mają kluczowe znaczenie dla możliwości wystąpienia i rozwoju pożaru i są związane z określeniem reakcji na ogień wyrobu budowlanego.

Wyrób – materiał, do wykonania którego konieczna jest praca ludzka¹.

¹ Stosuje się w odniesieniu do przepisów o wprowadzaniu wyrobów do obrotu lub udostępniania na rynku Europejskiego Obszaru Gospodarczego (EOG).

Wyrób budowlany – wyrób wytworzony w celu wbudowania, zainstalowania lub zastosowania w sposób trwały w obiekcie budowlanym.

Wyrób niepalny – wyrób, który podczas badań w określonych warunkach nie ulega procesowi spalania, zdefiniowanemu przez znormalizowane kryteria.

Wyrób palny – wyrób, który nie został zaliczony do materiałów niepalnych według umownych, znormalizowanych kryteriów.

Zagrożenie pożarowe – **1)** prawdopodobieństwo (możliwość) powstania pożaru; **2)** możliwość zranienia osób i zwierząt lub uszkodzenia mienia w wyniku działania ognia.

Zapalenie (zapłon) – zapoczątkowanie spalania materiałów (substancji) przez źródło energii cieplnej (źródło zapalenia).

Źródło zapalenia (zapłonu) – czynnik inicjujący zapalenie (zapłon).

1. WSTĘP

Ogień towarzyszy ludzkości od zarania dziejów, przechodząc przemianę od wroga do przyjaciela i odwrotnie. Niezwykle sugestywnie opisał ten proces van Loon w swojej książce pt. *The Story of Mankind*, wydanej po raz pierwszy w 1921 r., a wznawianej systematycznie do czasów współczesnych [1.1]. Życie człowieka pierwotnego często było zagrożone wielkimi niekontrolowanymi pożarami lasów. Będąc w niemal śmiertelnej pułapce pożarów, człowiek prehistoryczny doszedł do wniosku, że ogień można wykorzystać do obróbki cieplnej pożywienia i ogrzewania jaskini, więc nauczył się go kontrolować. Wówczas pożar, który był wrogiem człowieka, stał się jego przyjacielem. Niestety, to odkrycie spowodowało na człowieka nowe niebezpieczeństwo – niechciane i niekontrolowane spalanie (tj. pożar) w jego miejscu zamieszkania. Początkowo ten problem był raczej niewielki. Kiedy jednak ludzie przenieśli się z jaskiń do domów wykonanych z materiałów palnych (m.in. drewna, słomy, liści) problem z czasem narastał. Bliskie sąsiedztwo domów w rozrastających się przez lata ludzkich siedliskach, osadach, siolach i miastach, znacznie zwiększyło zagrożenie powstaniem masowych katastrofalnych pożarów obszarów zabudowanych. Relacje z takich pożarów podają dawne i współczesne źródła historyczne, na przykład pożar Rzymu za panowania Nerona w roku 64, kiedy to miasto spłonęło niemal doszczętnie. W średniowieczu praktycznie każde większe miasto doświadczyło jednego lub kilku dużych pożarów. W kolejnych wiekach do znanych przykładów katastrofalnych pożarów miejskich zaliczamy wielki pożar Londynu w 1666 r., który w ciągu kilku dni zniszczył prawie dwie trzecie powierzchni miasta, ale pochłonął tylko kilka ofiar śmiertelnych (rys. 1.1) [1.2]. Poza Europą wymienić można wielki pożar Tokio, który miał miejsce w 1657 r. (rys. 1.2) [1.3], [1.4], trwał 3 dni i szacuje się, że pochłonął 60-70% zabudowań i ponad 100 tysięcy ofiar śmiertelnych.

Wielkie pożary miast miały miejsce również w XX wieku, nie tylko podczas działań wojennych. W 1923 r. w wyniku trzęsienia ziemi w Japonii niemal cała nizina Kantō stanęła w ogniu, w tym miasta Tokio i Jokohama (rys. 1.3) [1.5]. Tysiące pożarów w połączeniu z silnym wiatrem i uszkodzeniem linii wodociągowych – co uniemożliwiało akcję gaśniczą – spowodowało zniszczenie dwóch trzecich Tokio i niemal całej Jokohamy. W wyniku katastrofy życie straciło ok. 142 tys. ludzi, w tym 5 tys. dzieci. Pożary zniszczyły m.in. Cesarską Bibliotekę Uniwersytecką, która w swoich zbiorach miała jedno z najstarszych i najrzadszych książek na świecie.



Rys. 1.1. Autor nieznany.
Wielki pożar Londynu
w 1666 r. z widokiem
na London Bridge
(po lewej), St. Paul's
Cathedral (w środku)
i Tower of London
(po prawej),
(domena publiczna) [1.2]

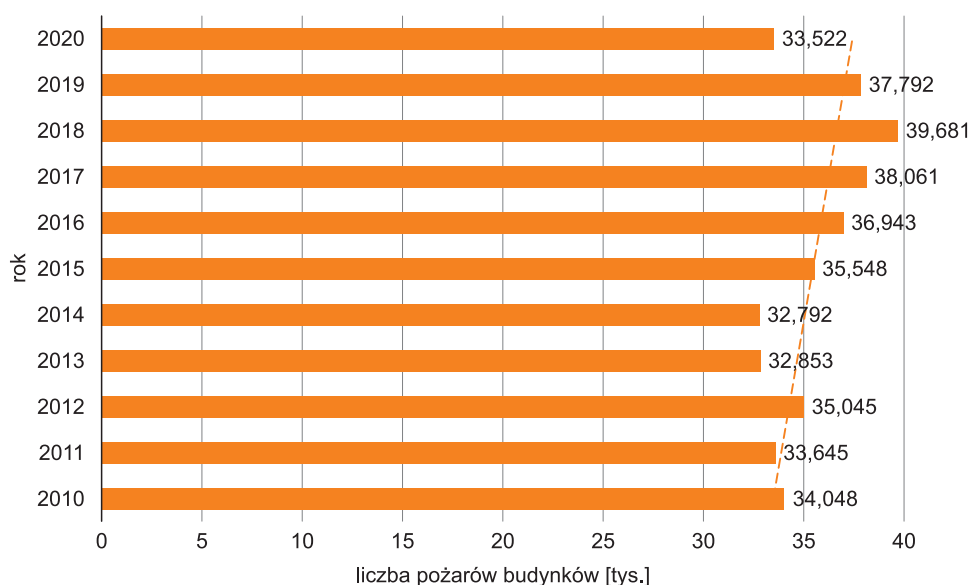


Rys. 1.2. Kōshun Tashiro: Wielki pożar ery Meireki w Edo
(obecnie Tokio) w 1657 r. (domena publiczna) [1.4]



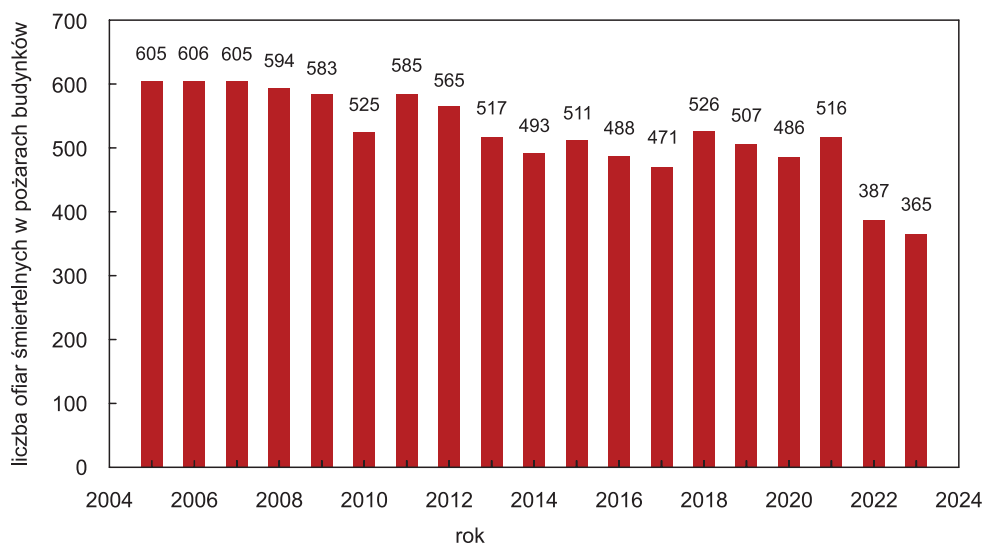
Rys. 1.3. Zniszczenia po trzęsieniu ziemi i pożarach w Jokohamie w 1923 r.
(fot. Wikimedia Commons) [1.5]

Pożary towarzyszą nam również współcześnie, a dane statystyczne wskazują, że przyczyną około 90% pożarów jest działanie człowieka. Pomimo rosnącej świadomości zagrożenia, coraz większych nakładów na edukację i ochronę przeciwpożarową, a także pomimo postępu techniki i rosnących kosztów zabezpieczeń przeciwpożarowych, liczba pożarów w budynkach (rys. 1.4) wzrasta, a liczba ofiar znacząco nie maleje (rys. 1.5). Straty spowodowane pożarami to średnio około 1% produktu krajowego brutto rocznie w krajach europejskich, w tym również w Polsce.



Rys. 1.4. Liczba wszystkich pożarów w budynkach w latach 2010-2020
(linia przerywana obrazuje trend); dane statystyczne KG PSP
[źródło: www.kgpsp.gov.pl, dostęp: 20.10.2021]²

² Po 2020 r. zaczęto prezentować dane statystyczne w formie komunikatów prasowych KG PSP, w których nie podaje się całkowitej liczby pożarów budynków ani liczby pożarów budynków magazynowych, podaje się natomiast liczbę pożarów w budynkach mieszkalnych oraz całkowitą liczbę ofiar śmiertelnych w pożarach bez wyszczególnienia ofiar w pożarach budynków [źródło: <https://www.gov.pl/web/kgpsp/statystyczne-podsumowanie>; dostęp: 05.11. 2024].



Rys. 1.5. Liczba ofiar śmiertelnych w budynkach kategorii ZL w latach 2005-2023; dane statystyczne KG PSP

[źródło: www.kgpsp.gov.pl, dostęp: 20.10.2021 i 06.09.2024]³

Współczesne wymagania cywilizacyjne związane z ideą ograniczonego wykorzystania zasobów naturalnych znalazły swoje odzwierciedlenie również w budownictwie, które jest dużym sektorem gospodarki. Przykładowo, we współczesnej Europie na rynek budowlany przypada 10% PKB oraz 7% siły roboczej. Budynki stanowią największą część końcowego zużycia energii w Unii Europejskiej (42%), a także emitują około 35% wszystkich tzw. gazów cieplarnianych [1.6]. Wiąże się z tym konieczność poszukiwania przyjaznych dla środowiska naturalnego rozwiązań technicznych w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej oraz w urządzeniach infrastruktury.

Znalazło to swój formalny wyraz w postaci dodatkowego wymagania podstawowego nr 7, pt. „Zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych”, którego realizacja będzie wymagała wyznaczenia wskaźników umożliwiających przełożenie wymagań formułowanych wobec obiektów na zakres wymagań odnoszonych do cech i właściwości wyrobów tam wbudowanych. Nowe wymaganie podstawowe i nowe rozwiązania wytyczają kierunki prac badawczych i normalizacyjnych w obszarze określonym wcześniej przez sześć następujących wymagań podstawowych dla obiektów budowlanych:

³ Patrz przypis 2.

1. Nośność i stateczność,
2. Bezpieczeństwo pożarowe,
3. Higiena, zdrowie i środowisko,
4. Bezpieczeństwo użytkowania i dostępność obiektów,
5. Ochrona przed hałasem,
6. Oszczędność energii i ochrona ciepła.

Zakres i kształt aktów normatywnych, związanych ze spełnieniem wymagania podstawowego nr 2 „Bezpieczeństwo pożarowe” – czyli przyjęty wcześniej system Euroklas [1.6 – 1.12] – na skutek wdrażania zasad zrównoważonego budownictwa będzie się zmieniał [1.13]. Europejska strategia zrównoważonego rozwoju (ang. *Sustainable development*), a szczególnie związane z nią dokumenty CEN, przykładowo raporty [1.14 – 1.16], wskazują na konieczność zmiany podejścia do zagadnień bezpieczeństwa pożarowego obiektów budowlanych, przede wszystkim ze względu na:

- rozwój nowych, oszczędnych metod i technik konstrukcyjnych, wynikający z konieczności ograniczenia ilości odpadów powstających na placach budowy,
- zmiany klimatyczne wpływające na budownictwo (np. wzrost obciążenia wiatrem, redukcja CO₂),
- ograniczenie zużycia zasobów naturalnych (np. wody, kruszyw naturalnych),
- zwiększenie grubości izolacji oraz zwiększenie szczelności obudowy budynków, a także wzrost udziału wyrobów i systemów złożonych (wielomateriałowych, wielowarstwowych), wynikający z konieczności spełnienia zwiększonych wymagań efektywności energetycznej,
- wzrost zastosowania materiałów odpadowych (recykling), które z reguły charakteryzują się zwiększoną zawartością części organicznych (tzn. palnych),
- konieczność kontrolowania zagrożenia pożarem (inaczej „poziomu bezpieczeństwa pożarowego”), który nie zawsze jest adekwatny do wyników badań materiałów i elementów składowych poszczególnych wyrobów budowlanych,
- konieczność zastosowania wyników badań w skali geometrycznej, większej niż dotychczas stosowanej w systemie Euroklas, przykładowo do elewacji budynków,
- względy ekonomiczne (wzrost kosztów producenta/wykonawcy),
- negatywne oddziaływanie pożarów na środowisko naturalne, przede wszystkim przez wydzielenie do atmosfery CO₂ i innych toksycznych związków oraz zanieczyszczenie wody.

Jak wcześniej wspomniano, spełnienia wymagań wynikających z bezpieczeństwa pożarowego nie można całkowicie oddzielić od innych wymagań podstawowych, jakimi są nośność i stateczność konstrukcji (mechaniczna).

W powyższe rozważania wpisuje się problematyka „nowego podejścia” do przyjętej w Europie filozofii bezpieczeństwa pożarowego według systemu oceny (klasyfikacji) ogniowej wyrobów budowlanych, zdefiniowanym w normie PN-EN 13501-1 [1.9]. Ustalenie optymalnego poziomu bezpieczeństwa pożarowego obiektów budowlanych projektowanych i wznoszonych według zasad zrównoważonego rozwoju wymaga powtórnego, krytycznego spojrzenia na przyjęte wartości liczbowe częściowych współczynników bezpieczeństwa oraz zasady ustalania obciążeń (inaczej przyjęte wcześniej Euroklasy), przy zachowaniu dotychczasowego poziomu bezpieczeństwa akceptowalnego w polskiej praktyce inżynierskiej. Służyć temu ma syntetyczna analiza problemu bezpieczeństwa pożarowego budynku w powiązaniu z procesami spalania zachodzącymi podczas pożaru, którym objęte są wyroby budowlane o podwyższonej zawartości części organicznych (pochodzących z recyklingu lub zastosowanych z powodu zwiększonych wymagań izolacyjności cieplnej). Zagadnienie to jest przedmiotem niniejszej pracy.

Badania związane ze zrównoważonym rozwojem stanowią pionierską dziedzinę nauki. Pojęcie „zrównoważonego rozwoju” jest najczęściej spotykanym określeniem występującym w opracowaniach o charakterze prognostycznym, np. Brudtland [1.17] definiuje zrównoważony rozwój poprzez aspekty etyczno-ekologiczne. Zagadnienia te są również zawarte w dokumentach Organizacji Narodów Zjednoczonych [1.18].

Czarnecki i Kaproń [1.19] stwierdzają, że zrównoważone budownictwo stanowi w inżynierii rzadki przykład tematyki badawczej, gdzie inspiracja podjęcia badań wynika z idei przewodniej, nie zaś z praktyki. Odczytanie idei (przeprowadzenie badań i studiów) ma w konsekwencji ukierunkować działalność inżynierską. Uniwersalność idei zrównoważonego rozwoju wykreowała kilka zasadniczych kierunków badawczych, a przede wszystkim:

- materiałowe uwarunkowania zrównoważonego rozwoju budownictwa,
- energetyczne uwarunkowania zrównoważonego rozwoju budownictwa,
- oddziaływanie budowli na środowisko naturalne (ekologia),
- oddziaływanie budowli na środowisko wewnętrzne (mikroklimat).

Najbardziej rozbudowane są dwa pierwsze kierunki badawcze. Dobrą ilustracją w tym względzie jest praca Gertisa [1.20]. Konsekwencją przyjęcia zrównoważonego rozwoju, jako głównej wytycznej postępu, jest powstanie nowej przestrzeni badawczej dotyczącej materiałowych uwarunkowań tego rozwoju, w tym również zasygnalizowanych wcześniej kwestii związanych z bezpieczeństwem pożarowym budynków. Przestrzeń ta obejmuje dotychczasowe obszary badawcze:

- kryteria użyteczności materiału budowlanego,
- metody oceny przydatności,

- modyfikację materiałów i nowe rozwiązania materiałowe,
- zachowanie się materiału w warunkach użytkowania,

a także aspekty ekologiczne, zagospodarowanie odpadów (recykling wykorzystanych wyrobów budowlanych dla potrzeb budownictwa) oraz ich wtórne wykorzystanie.

Z samego tylko porównania ilości wytwarzanych odpadów i produkowanych materiałów budowlanych wynika, że w najbliższych dziesięcioleciach zagospodarowanie odpadów w budownictwie stanie się wyzwaniem cywilizacyjnym, podobnie jak naprawy i modernizacje istniejących zasobów, a także związane z tym potrzeby materiałowe.

Bibliografia do rozdziału 1

- [1.1] VAN LOON H.: *The Story of Mankind*. Wilder Publications, 2018.
- [1.2] TRUEMAN CH.: *The Great Fire of London of 1666* [online], <http://www.historylearningsite.co.uk/stuart-england/the-great-fire-of-london-of-1666/> [dostęp: 20.07.2020].
- [1.3] SANSOM G.: *A History of Japan: 1615–1867*. Stanford: Stanford University Press, 1963.
- [1.4] https://www.wikiwand.com/en/Great_fire_of_Meireki [dostęp: 20.07.2020].
- [1.5] GOLLY R.: *Mądry Japończyk po szkodzie* (cz. 1) [online]. „Przegląd pożarniczy”, <https://www.ppoz.pl/zajrzyj-do-srodka/za-granica/1407-madry-japonczyk-po-szkodzie-cz-1> [dostęp: 20.07.2020].
- [1.6] COM 860 (2007) Komunikat Komisji Europejskiej do Rady, Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów. Inicjatywa rynków pionierskich, Bruksela, wersja ostateczna z 21.12.2008 r.
- [1.7] Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich z 21 grudnia 1998 r. w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych państw członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych (89/106/EWG), Bruksela, 1998.
- [1.8] Commission Decision of 8 February 2000 implementing Council Directive 89/106/EEC as regards the classification of reaction to fire performance of construction products (notified under document number C(2000) 133).
- [1.9] PN-EN 13501-1 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków. Część 1: Klasyfikacja na podstawie badań reakcji na ogień.
- [1.10] FANGRAT J.: *Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych w CEN na przykładzie materiałów niepalnych*. [W:] Materiały XLVI Konferencji Naukowej KILiW PAN i KN PZITB. Tom 3. Wrocław: Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2000, s. 91-98.

- [1.11] FANGRAT J.: *Europejska klasyfikacja wyrobów budowlanych w zakresie reakcji na ogień*. [W:] Materiały konferencji „SECUREX 2000”, Poznań, 2000, s. 303-308.
- [1.12] FANGRAT J.: *Wdrażanie klasyfikacji ogniowej wyrobów budowlanych w zakresie reakcji na ogień*. [W:] Materiały konferencji „SECUREX 2001”, Poznań, 2001, s. 117-125.
- [1.13] TWOREK J.: *Aspekty zrównoważonego budownictwa w nowym rozporządzeniu dotyczącym wprowadzania na rynek EU wyrobów budowlanych (CPR): Informator o zrównoważonym budownictwie nr 25*. [W:] Zrównoważone Budownictwo: Serwis Instytutu Techniki Budowlanej. Warszawa: ITB, 2011, s. 1-3.
- [1.14] CEN/BT/WG 206 N 105 Rev „Final Report from CEN/BT/WG 206 CEN contribution to the EC lead market initiative on sustainable construction to CEN/BT”, Bruksela, wersja ostateczna z 02.09.2010.
- [1.15] COM 264 (2001) final Commission Communication „A sustainable Europe for a better world: A European strategy for Sustainable Development”.
- [1.16] European Commission – IP/12/869 Construction: unleashing the potential of low energy buildings to restore growth.
- [1.17] Report of the World Commission on Environment and Development. G. H. Brundtland Commission, General Assembly Resolution nr 42/187, United Nations, 1987.
- [1.18] United Nations Conference on Environment and Development (UNCED). Rio-Declaration, Agenda 21 and other documents. Rio de Janeiro, 1992.
- [1.19] CZARNECKI L., KAPROŃ M.: *Zrównoważone budownictwo jako zadanie badawcze*. [W:] 54. Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB. Tom 4, Krynica, 2008, s. 207-220.
- [1.20] GERTIS K.: *Realistyczne rozważania zamiast wyideologizowanych życzeń: budynki niskoenergetyczne czy niskoentropowe?* [W:] Konferencja ITB: Budownictwo spełniające wymagania zrównoważonego rozwoju, Warszawa: ITB, 2002.