

BETON – PEŁNA OCHRONA PRZECIWPÓŻAROWA I BEZPIECZEŃSTWO

INFORMATOR



To warto wiedzieć!

Beton – pełna ochrona przeciwpożarowa i bezpieczeństwo

Stowarzyszenie Producentów Cementu
Kraków 2007

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej publikacji nie może być reprodukowana, przechowywana w systemie odzyskiwania danych ani przekazywana w żadnej formie, ani w żaden sposób, drogą elektroniczną, mechaniczną, poprzez kserokopię, nagrywanie albo w inny sposób, bez uprzedniej pisemnej zgody ze strony Stowarzyszenia Producentów Cementu w Polsce.

Brozura stanowi tłumaczenie „Comprehensive fire protection and safety with concrete” za zgodą European Concrete Platform ASBL. Redaktor: Jean-Pierre Jacobs, 8 rue Volta, 1050 Brussels.

Wszelkie informacje zawarte w niniejszym dokumencie European Concrete Platform ASBL oraz Stowarzyszenie Producentów Cementu w Polsce uznają za dokładne w chwili oddania go do druku. Informacje te są przedstawiane w dobrej wierze.

Informacje dotyczące dokumentów European Concrete Platform nie powodują odpowiedzialności prawnej jej Członków. Mimo że celem jest, by podawane tu informacje były terminowe i dokładne, European Concrete Platform ASBL nie może tego zagwarantować. W przypadku informacji o błędach, zostaną one poprawione.

Opinie odzwierciedlone w niniejszym dokumencie są opiniami autorów, a European Concrete Platform ASBL oraz Stowarzyszenie Producentów Cementu w Polsce nie mogą być pociągane do odpowiedzialności za żadne z poglądów tu wyrażanych.

Wszelkie porady lub informacje ze strony European Concrete Platform ASBL oraz Stowarzyszenie Producentów Cementu w Polsce są przeznaczone dla specjalistów mogących ocenić znaczenie i ograniczenia treści tej publikacji oraz biorących odpowiedzialność za ich stosowanie. Nie przyjmuje się żadnej odpowiedzialności (w tym za zaniedbanie) w związku z żadnymi stratami wynikającymi z takich porad lub informacji.

Podziękowania dla European Concrete Platform ASBL

© Copyright: Stowarzyszenie Producentów Cementu, 2007

Zdjęcie na okładce: Dzięki uprzejmości Rastra Corporation, USA

Konsultacja merytoryczna: dr inż. Grzegorz Woźniak
Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Badań Ogniwowych

Redakcja: Zbigniew Pilch

Wydawca:



Stowarzyszenie Producentów Cementu

ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków

tel. +48 12 423 33 55

tel./fax +48 12 423 33 45

e-mail: wydawnictwo@polskicement.pl

<http://www.polskicement.pl>

DTP AM-STUDIO, Kraków
www.am-studio.com.pl

Korekta KARBO Korekty, Kraków

Druk Drukarnia Skleniarz, Kraków

1. BETON ZAPEWNIĄ PEŁNĄ OCHRONĘ PRZECIWPÓŻAROWĄ

BETON
chroni
życie osób
i mienie

Doskonałe i udowodnione właściwości w zakresie odporności ogniowej konstrukcji z betonu zapewniają ochronę osób, mienia i środowiska w przypadku pożaru. Materiał ten skutecznie spełnia cele określone w legislacji europejskiej, na czym korzystają wszyscy, od użytkowników budynków, przez właścicieli, firmy i mieszkańców, po ubezpieczycieli, urzędy regulacyjne i strażaków. **Niezależnie od wykorzystania w budynkach mieszkalnych, magazynach przemysłowych, czy tunelach, beton można zaprojektować zgodnie ze specyfikacją tak, by zachował swoje właściwości nawet w najbardziej ekstremalnych sytuacjach pożarowych.**

Codziennie przykłady i międzynarodowe statystyki dowodzą, że beton ma dobre właściwości ogniochronne, więc właściciele budynków, ubezpieczyciele, czy organy regulacyjne mogą wybierać beton przed innymi materiałami budowlanymi. Wprowadzając do specyfikacji beton można być pewnym, że dokonano się właściwego wyboru, gdyż nie powoduje on wzrostu obciążenia ogniowego, zapewnia osłoniętą przed ogniem drogę ewakuacji, powstrzymuje rozprzestrzenianie się ognia między strefami pożarowymi i opóźnia utratę nośności konstrukcji, w większości przypadków zapobiegając całkowitemu zawaleniu budynku. **W porównaniu z innymi, często używanymi materiałami budowlanymi, beton oferuje nadrzędne osiągi w aspekcie kryteriów bezpieczeństwa, z dużą łatwością i ekonomicznym charakterem zastosowania.**

Stosowanie betonu w budynkach i budowlach oferuje doskonałą poziom ochrony i bezpieczeństwa pożarowego:

- Beton jest niepalny i nie zwiększa obciążenia ogniowego.
- Beton cechuje się wysoką odpornością ogniową i powstrzymuje rozprzestrzenianie się ognia.
- Beton stanowi skuteczną tarczę ogniową, zapewniając bezpieczną drogę ucieczki dla osób i ochronę dla strażaków.
- Beton nie wytwarza żadnego dymu ani gazów toksycznych, więc zmniejsza ryzyko dla osób.
- Beton nie powoduje kapania roztopionych cząstek, które mogą przenosić ogień.
- Beton ogranicza pożar, więc zmniejsza ryzyko zanieczyszczenia środowiska.
- Beton sam w sobie stanowi ochronę przeciwpożarową – brak potrzeby stosowania dodatkowych zabezpieczeń.

- Beton wytrzymuje ekstremalne warunki pożarowe, co sprawia, że jest idealny dla magazynów o wysokim obciążeniu ogniowym.
- Dobre osiągi betonu podczas pożaru ułatwiają gaszenie i zmniejszają ryzyko zawalenia.
- Beton łatwo naprawić po pożarze, więc można szybciej przywrócić działalność.
- Na beton nie ma wpływu woda stosowana do gaszenia pożaru.
- Nawierzchnie betonowe wytrzymują ekstremalne warunki pożarowe w tunelach.

To prosty wybór – i dalekosiężne rezultaty

Kompleksowe podejście

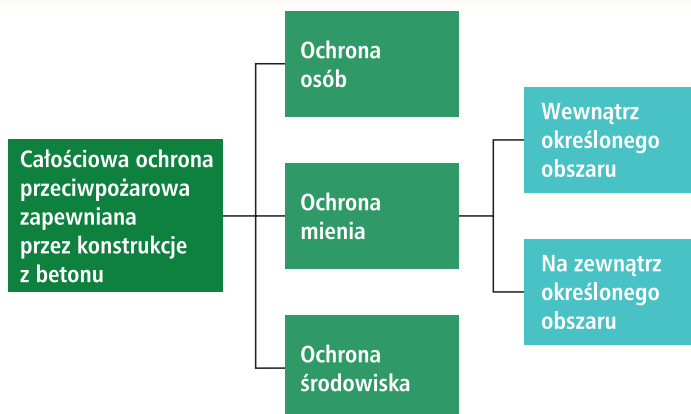
Zmniejszenie liczby zgonów w wyniku pożaru oraz skutków strat pożarowych wymaga kompleksowego podejścia do bezpieczeństwa pożarowego. W 1999 r. World Fire Statistics Centre zaprezentowało Grupie Roboczej ONZ ds. Mieszkalnictwa raport łączący w sobie międzynarodowe dane na temat pożarów budynków (Neck U., 2002). Badanie 16 krajów uprzemysłowionych dowiodło, iż w typowym roku, liczba ofiar pożarów wynosiła 1 do 2 osoby na 100.000 mieszkańców, a łączny koszt strat pożarowych wynosił 0,2 do 0,3% produktu krajowego brutto (PKB), zob. tabela 5.1.

Musimy być przygotowani na możliwy wybuch pożaru w większości budynków, jak i na jego skutki dla życia osób i ich mienia. Celem jest zapewnienie, by budynki i konstrukcje mogły chronić zarówno osoby, jak i mienie przed pożarem. Mimo że normy bezpieczeństwa pożarowego są pisane z uwzględnieniem obydwu tych celów, często bezpieczeństwu osób nadaje się priorytet. Jednakże właściciele prywatni, towarzystwa ubezpieczeniowe i organy władzy krajowej mogą czerpać korzyści z bezpieczeństwa pożarowego dotyczącego innych aspektów, np.: ekonomicznego przetrwania, przechowania danych, ochrony środowiska oraz zachowania krytycznej infrastruktury. Wszystkie te czynniki bierze się pod uwagę w przepisach europejskich i krajowych dotyczących bezpieczeństwa pożarowego, zob. rys. 1.1.

Ochrona pożarowa konstrukcji musi spełniać trzy warunki:

- **Ochrona osób** w celu ochrony życia i zdrowia ludzi;
- **Ochrona mienia** w celu ochrony towarów i innego mienia w płonących budynkach mieszkalnych i komercyjnych, jak i bu-

PRZECIWPÓŻAROWA



Rys. 1.1. Złożone podejście do bezpieczeństwa pożarowego (Dzięki uprzejmości Neck U., 2002)

dynkach przyległych; do tego należy dodać znaczną ochronę konstrukcji budowlanych;

- **Ochrona środowiska** w celu minimalizacji niekorzystnych skutków dla środowiska w wyniku działania dymu i gazów toksycznych, jak i skażonej wody do gaszenia ognia.

Konstrukcje betonowe pozwalają na osiągnięcie trzech celów. Niepalność i wysoka odporność ogniowa oznaczają, że beton zapewnia całościową ochronę pożarową dla osób, mienia i środowiska.

Tabela 1.1 porównuje naturalne właściwości ogniochronne betonu z innymi materiałami budowlanymi, okazuje się, że są znacznie lepszymi w zakresie kluczowych właściwości.

Tabela 1.1. Podsumowanie właściwości niezabezpieczonych materiałów budowlanych w pożarze

Niechroniony materiał budowlany	Wytrzymałość ogniowa	Palność	Udział w obciążeniu ogniowym	Szybkość wzrostu temperatury w przekroju	Samoistna (Naturalna) ochrona przeciwpożarowa	Możliwość naprawy po pożarze	Ochrona dla osób i strażaków
Drewno	niska	wysoka	duży	bardzo mała	bardzo mała	zero	mała
Stal	bardzo mała	zero	zero	bardzo duża	mała	mała	mała
Beton	wysoka	zero	zero	mała	duża	duża	duża



Rys. 1.2. W tym pożarze magazynu we Francji strażacy mogli schować się za ścianą z betonu i podejść do pożaru na tyle blisko by ugasić ogień. (Dzięki uprzejmości DMB/Fire Press – Revue soldats du feu magazine, France)



Rys. 1.3. Wieże North Galaxy Towers w Brukseli. Ten 30-piętrowy budynek z żelbetu spełnia bieżące surowe wymogi odporności ogniowej (REI 120); słupy wykonano z betonu wysokiej wytrzymałości C80/95. (Dzięki uprzejmości ER-GON, Belgium)



Rys. 1.4. Betonowe tunele i powierzchnie dróg wytrzymają ekstremalne warunki pożarowe panujące w tunelach. Tunel Cointe (połączenie E25-E40) w Liege, w Belgii, zastosowanie betonowej nawierzchni w celu zwiększenia bezpieczeństwa tunelu.

2. WŁAŚCIWOŚCI BETONU W WARUNKACH POŻAROWYCH

BETON nie pali się, nie produkuje dymu ani nie wydziela gazów toksycznych, zapewnia też ochronę przed rozprzestrzenianiem się ognia

Istnieją dwie kluczowe cechy decydujące o skuteczności zachowania betonu podczas pożaru: po pierwsze jego podstawowe właściwości jako materiału budowlanego, a po drugie funkcjonalność konstrukcji. Beton jest materiałem niepalnym (nie pali się) i cechuje się niskim tempem wzrostu temperatury w przekroju (działa jak osłona ogniowa), co oznacza, że w większości konstrukcji beton może być stosowany bez dodatkowego zabezpieczenia ogniochronnego. Wiele z właściwości ogniochronnych betonu ma charakter stały, niezależnie od tego, czy konstrukcja jest wykonana z betonu zwykłego czy lekkiego, albo czy są to bloczki betonowe czy beton komórkowy. Zasadniczo żaden inny materiał nie stanowi równie pełnego przypadku właściwości pod względem bezpieczeństwa pożarowego (zob. tabela 1.1).

Beton jest niepalny

Betonu nie można po prostu podpalić jak innych materiałów w budynku. Jest odporny na działanie materiałów tłących się, które mogą osiągać bardzo wysokie temperatury, na zapłon lub ponowny zapłon, a płonące towary nie mogą spowodować zapalenia się betonu. Tak więc ze względu na niepalność, beton nie emituje żadnego dymu, gazów ani oparów toksycznych podczas pożaru. W przeciwieństwie do plastików i metali nie będzie też powodować kapania roztopionych cząstek, które mogłyby prowadzić do zapłonu. **Beton w żaden sposób nie może przyczynić się do wybuchu i rozprzestrzeniania się ognia, ani zwiększać obciążenia ogniowego budynku.**

Autorytatywne dowody na właściwości ogniowe betonu zawarto w normach europejskich. Wszystkie materiały budowlane zostały sklasyfikowane w aspekcie ich reakcji na ogień i odporności ogniowej, określając czy materiał taki może być stosowany i kiedy należy zastosować dodatkowe zabezpieczenie ogniochronne. W oparciu o europejską dyrektywę w sprawie produktów budowlanych, norma EN 13501-1:2002: *Klasyfikacja ogniowa produktów i elementów budowlanych* dzieli materiały na siedem klas o oznaczeniach A1, A2, B, C, D, E i F, zgodnie z ich reakcją na ogień.

Najwyższym możliwym oznaczeniem jest A1 (materiały niepalne), a Komisja Europejska opublikowała wiążący wykaz zatwierdzonych

materiałów dla tej klasyfikacji, obejmujący różne rodzaje betonu, jak i mineralnych składników betonu. **Beton spełnia wymogi klasy A1, gdyż jego składniki mineralne są efektywnie niepalne** (tj. nie ulegają zapaleniu w temperaturach zwykle występujących podczas pożaru).

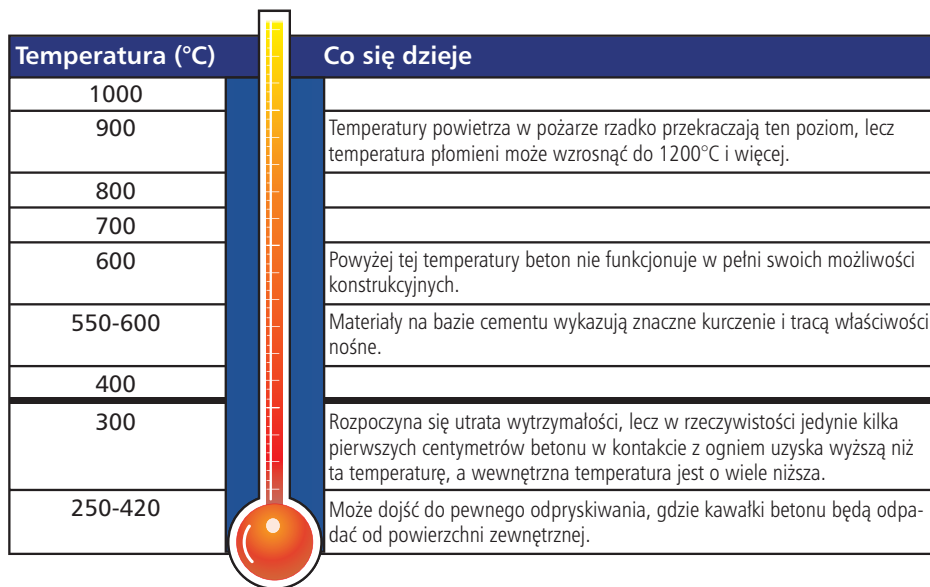
Beton jest materiałem ochronnym

Beton cechuje wysoki stopień skuteczności ogniochronnej i w większości zastosowań można go opisać jako ognioodporny w przypadku odpowiedniego zaprojektowania. Beton jest bardzo skuteczną osłoną ogniową. Masa betonu daje dużą zdolność magazynowania ciepła. Jego porowata struktura zapewnia też niską szybkość wzrostu temperatury w przekroju. Właściwości te powodują niskie tempo wzrostu temperatury, co umożliwia wykorzystanie betonu jako skutecznej przegrody ogniowej.

Ze względu na niskie tempo wzrostu temperatury w przekroju elementu betonowego, strefy wewnętrzne nie osiągają takich samych wysokich temperatur jak powierzchnia narażona na kontakt z płomieniami. Badanie ogniowe belek z betonu wg normy ISO 834 przeprowadza się na elementach o szerokości 160 mm i wysokości 300 mm eksponowanych z trzech stron na działanie ognia przez jedną godzinę. Podczas gdy na głębokości 16 mm od powierzchni uzyskano temperaturę 600°C, na głębokości 42 mm od powierzchni osiągała ona połowę tej wartości – 300°C – co stanowi gradient temperatury 300°C na głębokości zaledwie 26 mm betonu! (Kordina K., Meyer-Ottens C., 1981). Wskazuje to wyraźnie w jaki sposób względnie niska szybkość wzrostu temperatury betonu zapewnia dobrą ochronę wewnętrznych stref materiału.

Nawet w dłuższym okresie czasu, wewnętrzna temperatura betonu pozostaje stosunkowo niska, co pozwala na utrzymanie nośności i właściwości przegrody ogniowej w zastosowaniach **jako element oddzielający**.

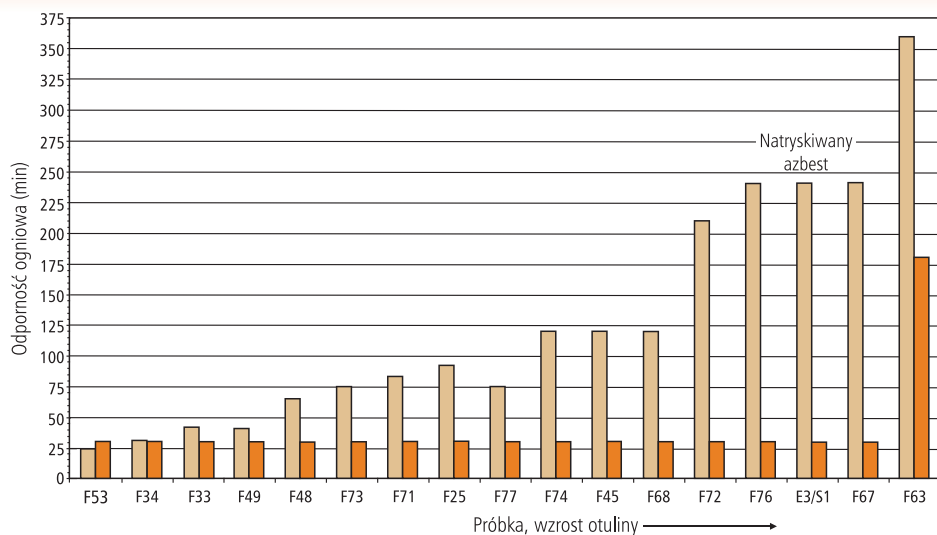
W przypadkach wystawienia na działanie wysokich temperatur podczas pożaru, ma miejsce wiele zmian fizycznych i chemicznych. Zmiany te przedstawiono na rys. 2.1, odnoszącym poziomy temperatur w betonie (nie temperatur płomieni) do zmian jego właściwości.



Rys. 2.1. Beton podczas pożaru – procesy fizyczne (Khoury G., 2000)

Odpryskiwanie betonu

Odpryskiwanie stanowi część normalnej reakcji betonu na wysokie temperatury występujące podczas pożaru. Tak więc dla normalnych budynków i zwykłych pożarów (np. biur, szkół, szpitali, mieszkalnych), normy projektowe, jak Eurokod 2 uwzględniają już efekt odpryskiwania dla takich zastosowań. Fakt, iż beton odpryskuje jest zawarty w normach projektowych, z wyjątkiem tuneli i pożarów węglowodorowych (omawianych w rozdziale 4 – Ochrona osób). Na przykład analiza wyników badań będących podstawą do tworzenia brytyjskiego kodu projektowego dla konstrukcji betonowych (BS 8110) wykazała, że normy te zakładały określone okresy odporności ogniowej i w wielu wypadkach były bardzo konserwatywne (Lennon T., 2004). Rys. 2.2 przedstawia porównanie między wynikami badań ogniowych stropów a wynikami według normy BS 8110. Wiele z próbek wykazało odpryskiwanie w badaniach ogniowych, więc fakt, że większość płyt wykraczało poza zakładane osiągi stanowi wyraźny dowód na uwzględnienie odpryskiwania w normach projektowych, co nie ma poważnego wpływu na odporność ogniową w przypadku zwykłych pożarów.



Rys. 2.2. Porównanie zmierzonej (kolor beżowy) i zakładanej (kolor pomarańczowy) wytrzymałości ogniowej w zależności od grubości otuliny (Na podstawie Lennon T., 2004).

Beton zapewnia skuteczność przegród ogniowych

Beton chroni przed wszystkimi szkodliwymi skutkami pożaru i okazał się tak niezawodnym materiałem, że jest powszechnie stosowany do zapewnienia stabilnych oddzieleni przeciwpożarowych w dużych budynkach przemysłowych i wielopiętrowych. Dzielenie te duże budynki na strefy pożarowe eliminuje się ryzyko całkowitych szkód w przypadku pożaru – stropy i ściany z betonu zmniejszają obszar pożaru poziomo (poprzez ściany) i pionowo (przez stropy). Beton zapewnia więc moż-



Rys. 2.3. Prefabrykowane ściany oddzieleni przeciwpożarowych w budynkach magazynowych (Dzięki uprzejmości BDV, Niemcy)

liwość montażu bezpiecznych elementów oddzielających w sposób łatwy i ekonomiczny, których właściwości oddzielające są naturalne i nie wymagają żadnych dodatkowych materiałów ogniochronnych ani konserwacji.

Beton łatwiej naprawić po pożarze

Większość konstrukcji betonowych nie ulega zniszczeniu podczas pożaru, a więc jedną z głównych zalet betonu jest możliwość jego łatwej naprawy po pożarze, minimalizując tym samym wszelkie niedogodności i koszty. Skromne obciążenia podłoża i względnie niskie temperatury występujące w większości pożarów budynków oznaczają, że nośność betonu utrzymuje się zarówno podczas, jak i po pożarze. Z tych powodów często jedynym wymaganym działaniem jest proste wyczyszczenie powierzchni. Prędkość napraw i rehabilitacji materiałów stanowi ważny czynnik minimalizacji strat firmy po poważnym pożarze, co jest zdecydowanie korzystniejsze niż wyburzenie i ponowna budowa obiektu.

Analiza przypadku 1

Pożar wieżowca we Frankfurcie w Niemczech (1973)

W nocy 22 sierpnia 1973 r. wybuchł poważny pożar na 40. piętrze pierwszego wieżowca we Frankfurcie. Pożar szybko zajął piętro 38. i 41. oraz górne piętro bliźniaczego budynku 140-metrowego wieżowca. Cała pionowa i pozioma konstrukcja nośna tego budynku była wykonana z żelbetu, z systemem stropów w kształcie podwójnych teowników.

Ponieważ nie podłączono właściwie instalacji hydrantów, gaszenie można było rozpocząć dopiero dwie godziny od wybuchu pożaru. Trzy godziny później pożar opanowano. W sumie gaszenie ognia trwało około ośmiu godzin (Beese G., Kürkchübasche R., 1975).

Wszystkie elementy konstrukcyjne okazały się odporne na oddziaływanie pożaru, mimo ekspozycji na działanie płomieni przez okres około czterech godzin. W wielu miejscach odnotowano odpryskiwanie betonu, a w kilku przypadkach zbrojenie było nie tylko widoczne, lecz w pełni eksponowane. Na szczęście konstrukcja nie zawaliła się podczas pożaru i nie było później konieczne wyburzanie całych pięter – co byłoby niebezpieczne na wysokości ponad 100 m nad ziemią. Można

było naprawić większość elementów na miejscu, ponownie wykorzystując materiał i wzmacniając zbrojenie oraz torkretując beton.

Łatwość remontu tego budynku po pożarze stanowi typowy przykład wysokiej odporności ogniowej konstrukcji betonowych oraz sposobu naprawy konstrukcji w sposób bezpieczny.



Rys. 2.4. Pożar budynku we Frankfurcie (Dzięki uprzejmości DBV, Niemcy)



Rys. 2.5. Przykład elementów betonowych po pożarze wskazujących na odpryski. (Dzięki uprzejmości DBV, Niemcy)



Rys. 2.6. Naprawa elementów torkretowaniem (natryskiwaniem betonu) (Dzięki uprzejmości DBV, Niemcy)

3. PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI Z BETONU Z UWAGI NA BEZPIECZEŃSTWO POŻAROWE

**Konstrukcje betono-
we łatwo
spełniają
wszystkie
wymogi kra-
jowe i euro-
pejskie**

Właściwy projekt i dobór materiałów są kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego. Niniejszy rozdział wyjaśnia główne zagadnienia projektowe dotyczące pożarów.

Projektowanie bezpiecznych pożarowo budynków

Dawniej wymogi bezpieczeństwa pożarowego określał krajowy rząd, lecz obecnie opierają się one na europejskich dyrektywach, normach i wytycznych. Określono cztery główne cele, które należy spełnić podczas projektowania budynku, aby zapewnić jego bezpieczeństwo pożarowe. Beton spełnia wszystkie te wymagania dotyczące bezpieczeństwa pożarowego, z zachowaniem łatwości zastosowania, korzyści ekonomicznych i wysokiej niezawodności. Główne wymogi przedstawiono na rys. 3.1, a tabela 3.1 przedstawia przykłady spełniania tych wymogów w przypadku konstrukcji betonowych i wykazuje pełne funkcje ochronne konstrukcji betonowych.



Rys. 3.1. Konstrukcja powinna: A – zachowywać nośność; B – chronić ludzi przed szkodliwym dymem i gazami; C – chronić ludzi przed temperaturą; D – ułatwiać interwencję strażaków (Dzięki uprzejmości The Concrete Centre, Wielka Brytania)



Rys. 3.2. Ochrona zapewniana przez konstrukcję betonową – zob. pkt D na rys. 3.1 (DMB/Fire Press – Revue soldats du feu magazine, Francja)

Przy projektowaniu konstrukcji należy uwzględnić pięć wymogów określonych w tabeli 3.1, stanowiących podstawę dla metod projektowania elementów konstrukcji z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe, ujętych w Eurokodach (np. EN 1992–1–2 (Eurokod 2) *Projektowanie konstrukcji betonowych – Projektowanie na warunki pożarowe*).

Tabela 3.1. Wymogi bezpieczeństwa pożarowego i ich związek z betonem

Cel	Wymóg	Zastosowanie betonu
1. Zmniejszenie zasięgu pożaru	Ściany, podłogi i stropy muszą być wykonane z materiału niepalnego.	Beton jako materiał jest obojętny i niepalny (klasa A1).
2. Zapewnienie stabilności nośnych elementów konstrukcji przez określony przedział czasu	Elementy powinny być wykonane z materiału niepalnego i posiadać wysoką odporność ogniową.	Beton jest niepalny i ze względu na swoją niską przewodność cieplną zachowuje w większości swoją wytrzymałość podczas typowego pożaru.
3. Ograniczenie wydzielania oraz rozprzestrzeniania się ognia i dymu	Przegrody ogniowe pionowe i poziome powinny być niepalne i posiadać wysoką odporność ogniową.	Oprócz powyższego, adekwatnie zaprojektowane połączenia z wykorzystaniem betonu zmniejszają podatność na ogień i w pełni wykorzystują jego ciągłość strukturalną.
4. Pomoc w ewakuacji osób i zapewnienie bezpieczeństwa ekip ratowniczych	Drogi ewakuacji powinny być wykonane z materiału niepalnego i posiadać wysoką odporność ogniową, aby mogły być używane bez zagrożenia w dłuższym okresie czasu.	Rdzenie betonowe są bardzo solidne i zapewniają wysoki poziom wytrzymałości. Wylewanie w szalunku jest skuteczną metodą budowy takich konstrukcji.
5. Ułatwienie interwencji ratowników (strażaków)	Elementy nośne powinny mieć wysoką odporność ogniową w celu umożliwienia skutecznego gaszenia pożaru; płonące elementy nie powinny kapać.	Elementy nośne zachowują integralność przez długi okres czasu, a beton nie wytwarza żadnego topiącego się materiału.

Konstrukcje zaprojektowane według Eurokodu 2 muszą spełniać następujące kryteria ochrony pożarowej: Nośność (R), Szczelność (E) oraz Izolacyjność (I). Te trzy kryteria wyjaśniono w tabeli 3.2. Litery oznaczeń R, E oraz I są stosowane wraz z liczbami odnoszącymi się do odporności w minutach w odniesieniu do pożaru standardowego według ISO. Tak więc ściana nośna odporna na działanie ognia przez 90 minut zostanie sklasyfikowana jako **R 90**; a nośna ściana oddzielająca będzie sklasyfikowana jako **RE 90**; natomiast nośna ściana oddzielająca zapewniająca, izolacyjność ogniową będzie mieć oznaczenie **REI 90**.

Tabela 3.2. Trzy główne kryteria ochrony przeciwpożarowej, adaptowane z Eurokodu 2, Cz. 1-2.

Oznaczenie	Stany graniczne	Kryterium
Résistance (R) <i>Zwane też:</i> Odpornością ogniową Nośnością	Stan nośności Konstrukcja musi zachować nośność.	Odporność z uwagi na kryterium nośności konstrukcji powinna być gwarantowana przez określony okres czasu. <i>Czas w jakim zachowywana jest nośność elementu w warunkach pożaru, określony wytrzymałością mechaniczną pod obciążeniem.</i>
Etanchéité (E) <i>Zwane też:</i> Szczelnością, Zatrzymaniem płomieni, Oddzieleniem	Stan szczelności Konstrukcja musi chronić osoby i mienie przed działaniem płomieni, szkodliwym dymem i gorącymi gazami.	Nie następuje utrata szczelności, stąd uniemożliwienie przedostania się płomieni i gorących gazów na drugą stronę. <i>Czas w jakim, oprócz wytrzymałości ogniowej, zachowywana jest zdolność elementu do stanowienia przegrody ogniowej, określona szczelnością połączeń w kontakcie z płomieniami i gazami.</i>
Isolation (I) <i>Zwane też:</i> Izolacyjnością Ekranowaniem ciepła Oddzieleniem	Stan izolacyjności Konstrukcja powinna osłaniać osoby i towary przed działaniem wysokich temperatur.	Nie następuje utrata izolacyjności, stąd ograniczenie wzrostu temperatury po drugiej stronie. <i>Czas w jakim, oprócz nośności ogniowej i szczelności ogniowej, zachowana jest zdolność elementu do ekranowania pożaru, określana dozwolonym wzrostem temperatury po drugiej stronie.</i>
Każdy z powyższych stanów granicznych jest określany w minutach w następujących przedziałach czasowych: 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360.		

Uwaga: Litery R, E, I pochodzą z terminów francuskich; tak też zostały włączone do Eurokodu w uznaniu faktu ich pierwszego wprowadzenia we Francji.

Analiza przypadku 2

Badania ogniowe w pełnej skali w szkieletowym budynku z betonu

Właściwości betonu w odniesieniu do kryteriów R, E oraz I zostały poddane próbie podczas przeprowadzania badania ogniowego w pełnej skali (zob. rys. 3.3.) na próbnym budynku betonowym w niezależnym ośrodku Building Research Establishment (BRE) w Cardington w Anglii w 2001r. (Chana P. i Price B., 2003). Rezultaty testu zostały podsumowane przez BRE w następujący sposób.

„Próba wykazała doskonałe zachowanie budynku zaprojektowanego zgodnie z wymaganiami określonymi w Eurokodzie 2. Budynek spełnił kryteria nośności, izolacyjności oraz szczelności w warunkach pożaru naturalnego i przyłożonych obciążeń. Strop zachował właściwości nośne bez przeprowadzania napraw po pożarze.”



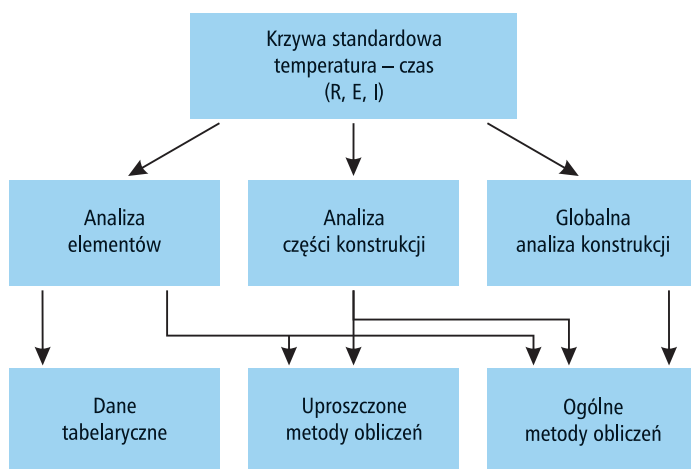
Rys. 3.3. Badanie ogniowe budynku szkieletowego w BRE (Dzięki uprzejmości Building Research Establishment, Wielka Brytania)

Stosowanie Eurokodu 2

Eurokod 2 Cz. 1-2: *Projektowanie na warunki pożarowe*, dotyczy projektowania konstrukcji z betonu na warunki pożarowe włączając w to rozdziały na temat pożaru jako oddziaływania wyjątkowego, aspektów biernej ochrony pożarowej oraz ogólnego bezpieczeństwa pożarowego, zgodnie z kategoriami omówionych wyżej kryteriów R, E, I.

Jak przedstawiono na rys. 3.4, Eurokod 2 umożliwia inżynierom wymiarowanie konstrukcji i weryfikację jej odporności ogniowej z zastosowaniem jednej z trzech metod:

1. Określenie minimalnych wymiarów przekroju oraz otuliny betonowej zgodnie z **tabelami**.
2. Wymiarowanie przekroju elementu **metodą uproszczoną** w celu ustalenia pozostałego nieuszkodzonego przekroju w funkcji krzywej temperatury wg ISO.
3. Wymiarowanie z zastosowaniem **ogólnych metod obliczeń** jako funkcji naprężeń termicznych i zachowania elementu pod wpływem ciepła.



Rys. 3.4. Procedura projektowania odporności ogniowej konstrukcji

Oprócz generycznych klauzul na temat projektowania na warunki pożarowe, mających zastosowanie w całej Europie, Państwa Członkowskie EU mogą same ustalać wartości ważnych parametrów lub procedur we własnych Załącznikach Krajowych. Ważne jest, by projektanci konsultowali te Załączniki w celu zapewnienia, iż stosują podejście właściwe dla danego kraju, w którym pracują lub dla którego przygotowują projekt. Dokumenty z zaleceniami, jak Naryanan N. i Goodchild C.H., 2006, skupiający się na projektach brytyjskich, mogą stanowić użyteczne prace referencyjne dla projektantów pragnących aktualizować lub poprawić swoje zrozumienie przepisów Eurokodu 2. Kompleksowe instrukcje Denoël J-F./Febelcem (2006) na temat projektu bezpieczeństwa pożarowego również są użyteczne i zawierają wyczerpujący opis różnych metod projektowania w ramach Eurokodów.

4. OCHRONA OSÓB

Beton pozwala chronić życie i zwiększa bezpieczeństwo użytkowników i strażaków

Bardzo często pożar zagraża życiu osób. Ten fakt stanowi podstawę do poprawy bezpieczeństwa pożarowego i zmusza nas do projektowania budynków zdolnych do ochrony osób i ich mienia przed zagrożeniem pożarowym. Budynki i konstrukcje z betonu zapewniają ochronę osób przed pożarem mającą chronić zarówno życie, jak i zdrowie, zgodnie z przepisami europejskimi w sprawie bezpieczeństwa pożarowego. Rozdział 2 niniejszej publikacji wyjaśniał zachowanie betonu podczas pożaru, a także sposób funkcjonowania jego właściwości materiałowych w aspekcie odporności ogniowej.

Ochrona osób zależy od naturalnej solidności betonu, jego niepalności oraz właściwości ekranowania ciepła w celu zapewnienia nośności budynków podczas pożaru. Umożliwia to przetrwanie osób i ich ewakuację, pozwala na bezpieczną pracę strażaków, a ponadto zmniejsza wpływ pożaru na środowisko powodowany produktami spalania – niniejszy rozdział wyjaśni w jaki sposób.

Konstrukcje betonowe zachowują nośność podczas pożaru

W projektowaniu bezpieczeństwa pożarowego funkcje elementów konstrukcji można określić jako nośne, oddzielające i/lub izolujące (R, E, I), którym zazwyczaj przypisuje się wartości liczbowe (w minutach, od 15 do 360) odpowiadające okresowi, przez jaki dany element ma spełniać te funkcje (zob. rozdział 3). W przypadku pożaru konstrukcja musi wykazywać cechy przynajmniej w stopniu wymaganym przepisami prawa, lecz, dodatkowo, zachowanie nośności konstrukcji przez możliwie długi okres czasu jest oczywiście pożądane dla celów ratowania, ewakuacji i gaszenia pożaru. Jest to szczególnie ważne w większych kompleksach i budynkach wielopiętrowych. Szkielet betonowy ma spełnić te wymagania ogólnej stabilności w warunkach pożarowych, a w wielu przypadkach rezultaty są lepsze od oczekiwań. Niepalność i mniejszy wzrost temperatur betonu oznaczają, że beton nie będzie się palić, a jego wytrzymałość nie ulegnie obniżeniu w warunkach typowego pożaru budynku. Ponadto, naturalna odporność ogniowa betonu działa jak długotrwała bierna ochrona – beton jest jedynym materiałem budowlanym, który nie musi polegać na

aktywnych środkach ochrony pożarowej, jak tryskacze, dla swojej wytrzymałości ogniowej.

Ochronę zapewnianą przez beton widać najlepiej na przykładzie zachowania Windsor Tower w Madrycie podczas katastrofального pożaru w lutym 2005 r. Betonowe słupy i rdzenie zapobiegły zawaleniu się 29-piętrowego budynku, a mocne betonowe belki powyżej 16. piętra utrzymały pożar powyżej tego poziomu przez okres siedmiu godzin, jak przedstawiono w analizie przypadku nr 3.

Analiza przypadku 3

Windsor Tower, Madryt, Hiszpania (2005)

Ten kosztujący 122 mln euro pożar podczas remontu dużego wieżowca w dzielnicy finansowej Madrytu stanowi doskonały przykład zachowania tradycyjnych betonowych konstrukcji szkieletowych w warunkach pożaru. Zbudowany w latach 1974-1978 wieżowiec Windsor Tower miał 29 pięter biurowych, pięć poziomów podziemnych oraz dwa „poziomy techniczne” powyżej 3. i 16. piętra. W chwili projektowania, hiszpańskie normy budowlane nie wymagały stosowania tryskaczy, lecz wkrótce zostało to zmienione, stąd remont budynku, aby mógł on spełniać wymagania obowiązujących przepisów. Zakres prac obejmował montaż izolacji ogniochronnej na wszystkich stalowych słupach obwodowych, dodanie nowej fasady, nowe zewnętrzne schody ewakuacyjne, nowe wersje alarmu i systemów wykrywania pożaru, a także dodanie dwóch nowych pięter. W chwili pożaru, międzynarodowa firma księgową zajmowała 20 pięter budynku, a dwa piętra oddano hiszpańskiej firmie prawniczej. Budynek był zasadniczo prostokątny, o wymiarach 40 m x 26 m od 3. piętra wwyż. Konstrukcja szkieletowa wykorzystywała beton o zwykłej wytrzymałości w centralnym rdzeniu, słupach i stropach; większość fasady obejmowała obwodowe słupy betonowe, lecz najważniejszą cechą wieżowca były dwa betonowe „piętra techniczne”. Te dwa piętra „techniczne” z mocnym podłożem, każde charakteryzujące się ośmioma bardzo wysokimi belkami betonowymi (o wymiarach 3,75 m wysokości; odpowiadającymi wysokości całego piętra), zaprojektowano jako masywne belki transferowe, zapobiegające progresywnemu zawaleniu się budynku w wyniku spadających z góry elementów konstrukcji.

Pożar wybuchł późno w nocy, prawie dwa lata od rozpoczęcia remontu; budynek był pusty. Najpierw zajęły 21. piętro i szybko się rozprzestrzenił w górę poprzez otwory wykonane w trakcie remontu

oraz przez fasadę (między słupami obwodowymi a fasadą ze szkła i stali), a także w dół przez opadające płonące resztki fasady wpadające do okien niżej. Wysokość, rozmiar i intensywność płomieni oznaczały, że strażacy mogli jedynie starać się opanować pożar i chronić przyległe budynki, więc ogień szalał przez 26 godzin, obejmując prawie wszystkie piętra (zob. rys. 4.2).

Kiedy pożar ostatecznie ugaszono, budynek był zupełnie wypalony powyżej 5. piętra, większość fasady uległa zniszczeniu, a także zachodziły obawy, że cały budynek się zawali. Jednakże przez cały czas trwania pożaru, aż do ostatecznego wyburzenia konstrukcja się utrzymała; wyłącznie fasada i piętra powyżej górnego betonowego „piętra technicznego” uległy zawaleniu. Bierna odporność słupów betonowych i rdzenia pozwoliła zapobiec pełnemu zawaleniu się budynku, jednakże rola dwóch „pięter technicznych” okazała się tu kluczowa, szczególnie tego powyżej 16. piętra, które utrzymało ogień przez ponad 7 godzin. Dopiero później, po poważnym zawaleniu się elementów, spadające szczątki spowodowały przeniesienie ognia na poziomy niżej, które się zapaliły, lecz tu znów straty ograniczyły się do pięter powyżej niższego „piętra technicznego” na poziomie 3.

Stanowi to mocny dowód, iż mocne stropy betonowe umieszczone w regularnych odstępach mogą zminimalizować ryzyko zawalenia się budynku i zapobiegać rozprzestrzenianiu się ognia. Jedyne śledztwo na temat pożaru wieżowca Windsor zostało przeprowadzone przez hiszpańskich badaczy z Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (Intemac). To niezależne śledztwo skupiało się na odporności ogniowej i resztkowej nośności konstrukcji po pożarze (Intemac, 2005). Wśród rezultatów badania Intemac, raport z 2005 r. stwierdza, że:

„Konstrukcja betonowa wieżowca Windsor zachowała się bardzo dobrze w trudnych warunkach pożarowych i lepiej niż można byłoby się spodziewać, gdyby ściśle zastosowano się do obowiązujących przepisów dla konstrukcji betonowych. Potwierdzono potrzebę właściwego zabezpieczenia ogniowego elementów stalowych w celu zagwarantowania ich zachowania w warunkach pożaru. Uwzględniając zachowanie tych elementów na piętrach zabezpieczonych ogniochronnie, można przyjąć, chociaż nie można tego stwierdzić z absolutną pewnością, iż gdyby pożar wybuchł po zabezpieczeniu pożarowym górnych pięter, nie doszłoby do ich zawalenia, a cały ten wypadek najprawdopodobniej spowodowałby znacznie mniej zniszczeń”.

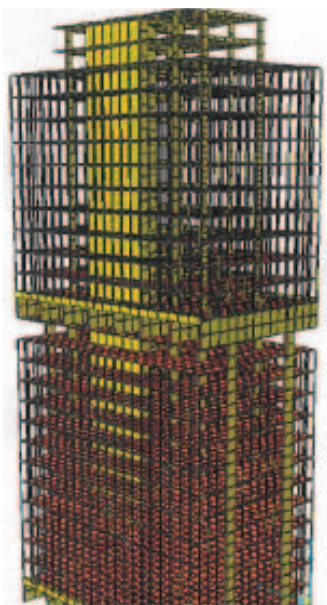
Hiszpańskie centrum badawcze Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), we współpracy z Hiszpańskim



Rys. 4.1. Pożar Windsor Tower w Madrycie (Dzięki uprzejmości IECA, Hiszpania)



Rys. 4.2. Fasada ponad poziomem technicznym na piętrze 16 została zupełnie zniszczona. (Dzięki uprzejmości IECA, Hiszpania)



Rys. 4.3. Plan wskazujący lokalizację poziomu technicznego (Dzięki uprzejmości OTEP i CONSTRUCCIONES ORTIZ, Hiszpania)

Institutem Cementu i Jego Zastosowań (IECA), zbadało elementy konstrukcji żelbetowej z Windsor Tower. Badania obejmowały studia mikrostruktury tych elementów z wykorzystaniem analizy termicznej oraz mikroskopu elektronowego. Zaobserwowano, że temperatura wewnątrz elementów betonowych osiągnęła 500°C w odległości 5 cm od powierzchni ekspozowanej na działanie ognia. Wynik ten odpowiada mocy pożaru w Windsor Tower i dobrym właściwościom otuliny betonowej, zgodnie z normami projektowymi dla bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji betonowych.

Beton zapewnia bezpieczną ewakuację i gaszenie pożaru

Fakt, iż konstrukcje betonowe zachowują nośność w warunkach pożaru jest szczególnie ważny dla bezpiecznej ewakuacji osób przebywających w budynku i dla czynności gaśniczych. Betonowe klatki schodowe, podłogi, stropy i ściany zapobiegają rozprzestrzenianiu się ognia i działają jak solidne przegrody, zapewniając tym samym bezpieczną drogę ucieczki i dostęp dla zespołów ratowniczych. Betonowe drogi ewakuacji charakteryzują się solidnością i szczelnością niespotykaną w przypadku innych materiałów budowlanych, niezależnie od zastosowań w budynku mieszkalnym lub zatłoczonych miejscach jak centra handlowe, teatry i biurowce. Zastosowanie betonu oznacza również brak dodatkowego zagrożenia dla strażaków. Elementy nośne i działowe budynku wykonane z betonu zapewniają ochronę dla strażaków nawet wewnątrz płonącego budynku. Jedynie w tych warunkach można przeprowadzać takie działania przy zmniejszonym ryzyku. Zalecenia National Institute of Standards and Technology (NIST) po zawałeniu się wież World Trade Centre mają tu zastosowanie, jak widać w analizie przypadku nr 4.

Przeciwnie ekstremum tej gamy w stosunku do wieżowców stanowią tunele, gdzie beton również może odegrać ważną rolę w ratowaniu osób – zob. analiza przypadku nr 5.

Analiza przypadku 4

Budynki World Trade Centre, Nowy Jork (2001)

Bez wątpienia, badania przeprowadzone przez National Institute of Standards and Technology (NIST) po katastrofie World Trade Centre w Nowym Jorku, we wrześniu 2001 r. stanowią jeden z najbardziej znaczących i wpływowych raportów w historii na temat bezpieczeństwa budynków (więcej informacji na ten temat zob. <http://wtc.nist.gov/>). Ostateczny zestaw raportów, łącznie sięgający 10.000 stron, został opublikowany w 2006 r., po trzyletnich badaniach pożaru oraz bezpieczeństwa budynku i pożarowego tego, co opisano jako najgorsza katastrofa budowlana w historii, w której zginęło ponad 2.800 osób. Większość z tych osób żyła w chwili zawalenia obydwu budynków. NIST przebadał czynniki prowadzące do prawdopodobnych przyczyn zawalenia dwóch wieżowców o konstrukcji stalowej i zaproponował 30 zaleceń dla kodów, norm i wytycznych w dziedzinie projektowania konstrukcyjnego i bezpieczeństwa osób. Wśród wielu zaleceń NIST znajdują się:

- **Większa integralność konstrukcji;** w tym zapobieganie progresywnemu zawaleniu konstrukcji i przyjmowanie akceptowanych w danym kraju norm badawczych.
- **Większa odporność ogniowa konstrukcji;** potrzeba szybkiego dostępu i ewakuacji, wypalenie bez częściowego zawalenia, redundancja systemów ochrony pożarowej, przegrody ogniowe, a także zdolność do przetrzymania maksymalnie wiarygodnego scenariusza pożaru bez zawalenia.
- **Nowe metody projektowania z uwagi na odporność ogniową konstrukcji:** w tym wymóg, by nieopanowane pożary budynków powodowały wypalenie bez częściowego lub zupełnego zawalenia budynku.
- **Lepsza ewakuacja z budynku:** w celu utrzymania integralności i zmniejszenia liczby ofiar.
- **Lepsza aktywna ochrona pożarowa:** alarm, systemy komunikacji i gaśnicze.
- **Lepsze technologie i procedury reakcji awaryjnych.**
- **Zaostrzenie przepisów w sprawie tryskaczy i dróg ewakuacji w obecnych budynkach.**

Dr Shyam Sunder, prowadzący badania z ramienia NIST, uwzględnił wyjątkowe okoliczności, prowadzące ostatecznie do zawalenia wież, lecz wyjaśnia, iż zespół NIST był w stanie wypracować wiele priorytetowych, realistycznych, właściwych i możliwych do osiągnięcia zaleceń

zorientowanych na osiągnięcie w wyniku przeprowadzonej analizy oraz badań. Beton może z łatwością spełnić wszystkie te zalecenia.

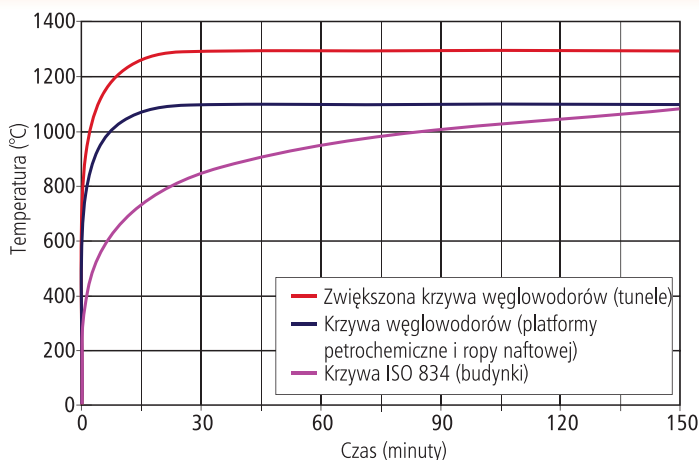
Ponadto, raport Amerykańskiego Stowarzyszenia Inżynierów (ASCE) w sprawie uderzenia samolotu w budynek Pentagonu, który został zaatakowany w tym samym czasie, stwierdza, iż konstrukcja z żelbetu miała wpływ na zapobieżenie dalszym uszkodzeniom budynku (ASCE, 2003). Stwierdza on, że „ciągłość, redundancja systemów oraz sprężystość konstrukcji przyczyniła się do wytrzymałości budynku,” zalecając, by właściwości takie nadawać budynkom w przyszłości, w szczególności w przypadkach, gdzie ryzyko progresywnego zawalenia uznaje się za istotne.

Analiza przypadku 5

Zwiększenie bezpieczeństwa pożarowego w tunelach

W Europie działa ponad 15.000 kilometrów tuneli drogowych i kolejowych, stanowiących część naszej infrastruktury transportowej, które są szczególnie ważne w regionach górskich, lecz również w coraz większym stopniu w dużych miastach, gdzie tunele mogą służyć rozładowaniu ruchu drogowego. Problemem jest natomiast fakt, iż wypadki pojazdów mogą tam powodować bardzo poważne pożary, a pożary w tunelach zazwyczaj osiągają bardzo wysokie temperatury ze względu na płonące paliwo i pojazdy, nawet do 1350°C, lecz zazwyczaj około 1000-1200°C. Szczytowe temperatury występują szybciej w tunelach w porównaniu z pożarami budynków, głównie ze względu na obecność węglowodorów w benzynie i oleju napędowym, lecz również ze względu na zamkniętą przestrzeń (zob. rys. 4.4).

Monachijska Grupa Reasekuracyjna (2003) odnotowała, iż istnieje 20-krotnie większe prawdopodobieństwo wystąpienia pożaru w tunelu drogowym niż kolejowym, przy czym te ekstremalne pożary często pochłaniają ofiary śmiertelne – w kontakcie z dymem szacuje się, iż człowiek ma niecałe dwie minuty życia ze względu na fakt, iż wytwarzane gazy są bardzo toksyczne. Ponadto, w długich tunelach na odległych obszarach ogień może płonąć długo: w 2001r. w tunelu Mont Blanc pożar trwał przez zaskakująco długi czas 53 godzin. Faktycznie, duże katastrofy – jak w przypadku tunelu pod Kanałem La Manche (1996), tunelu Mont Blanc (1999) i St. Gotthard (2001), przyczyniły się do uświadomienia opinii publicznej tragicznych konsekwencji pożarów w tunelach i podkreśliły wady materiałów budowlanych oraz zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych. W rezultacie, urzędy regulacyjne



Rys. 4.4. Pożary w tunelach charakteryzują się bardzo wysokimi temperaturami. (Dzięki uprzejmości Denoël J-F / Febelcem, Belgia)

skupiły się na poprawie warunków ewakuacji i ratownictwa osób biorących udział w wypadkach w tunelach drogowych, ze szczególnym uwzględnieniem bezpieczeństwa, solidnej konstrukcji i stabilności.

Jednakże prawdopodobnie nie poświęcono wystarczającej uwagi materiałowi budowlanemu dróg i jego wpływu na obciążenie ogniowe, stąd istnieje potrzeba przybrania bardziej całościowego podejścia do projektowania tuneli z uwzględnieniem rozwiązania betonowego (CEMBUREAU, 2004). W przypadku pożaru w tunelach drogowych, niepalna i nietoksyczna nawierzchnia, taka jak betonowa, przyczynia się do bezpieczeństwa osób w pojazdach i ekip ratowniczych. Beton spełnia obydwa te kryteria, gdyż jest niepalny, nie zwiększa obciążenia ogniowego, nie ulega zmiękczeniu (a więc nie przeszkadza strażakom), nie ulega odkształceniu ani nie kapie, a także nie emituje szkodliwych gazów w kontakcie z ogniem, niezależnie od ekstremalnych warunków. Beton może być stosowany jako obudowa tunelu sam w sobie lub z izolacją termiczną, lecz może też być wykorzystywany jako nawierzchnia drogowa. Jest to szczególnie użyteczne, gdyż może zastąpić asfalt.

W porównaniu z asfaltem, beton oznacza:

- **Większe bezpieczeństwo:** beton jest niepalny i nie wydziela szkodliwych gazów (asfalt zapala się w temperaturze około 400-500°C i w ciągu kilku minut emituje duszące, rakotwórcze opary, dym, sadzę i substancje zanieczyszczające środowisko). W pożarze

tunelu Mont Blanc, 1200 m nawierzchni asfaltowej paliło się z siłą równą zapaleniu dodatkowych 85 pojazdów (CEMBUREAU, 2004).

- **Lepszą trwałość** nawierzchni, obiektów i konstrukcji: beton nie odkształca się w kontakcie z ciepłem, podczas gdy asfalt płonie, traci kształt fizyczny utrudniając ewakuację i czynności ratownicze.
- **Dłuższe okresy między konserwacją** w porównaniu z nawierzchnią asfaltową.
- **Lepsze oświetlenie**; beton ma jaśniejszy kolor, stąd zapewnia lepszą widoczność w normalnych warunkach operacyjnych i w sytuacjach awaryjnych.
- **Większą solidność** nawierzchni betonowych, co zmniejsza liczbę zamknięć tuneli i prac drogowych. Zamknięcia i objazdy powodują zanieczyszczenie środowiska, a prace drogowe stanowią zagrożenie dla robotników.

W swoich wyczerpujących wytycznych na temat zmniejszenia ryzyka w tunelach, międzynarodowe towarzystwo reasekuracyjne, Munich Re (2003, str. 20), stwierdza, że w tunelach drogowych należy rozważyć nawierzchnię z materiału niepalnego (np. beton zamiast asfaltu). Niektóre urzędy regulacyjne również uznały rolę betonu w bezpieczeństwie pożarowym tuneli. Od 2001r., dekret w Austrii wymaga, by dla wszystkich nowych tuneli drogowych o długości ponad jednego kilometra stosować nawierzchnię betonową. Na Słowacji również we wszystkich nowych tunelach stosuje się nawierzchnię



Rys. 4.5. Betonowe nawierzchnie wytrzymają ekstremalne temperatury występujące w pożarach tuneli.

Tunel Kinkempois (połączenie E25-E40) w Liege w Belgii, z nawierzchnią betonową.

betonową, a beton jest także zalecany dla nowych tuneli w Hiszpanii (CEMBUREAU, 2004).

Należy pamiętać, że pożary w tunelach będą najprawdopodobniej najbardziej ekstremalnymi pożarami. W przypadku występujących tu bardzo wysokich temperatur należy oczekiwać odpryskiwania powierzchni betonowych (zob. rozdział 2). Wiele badań poświęcono tworzeniu materiałów okładzinowych w celu minimalizacji efektów odpryskiwania powierzchni betonowych w kontakcie z poważnym pożarem (np. Khoury G., 2000). Istnieją wyraźne dowody na to, że dodanie elementarnych włókien polipropylenu do mieszanki betonowej stanowi skuteczne rozwiązanie i tworzy „oddychający” beton w sytuacjach pożaru, co sprawia, że zmniejsza się prawdopodobieństwo odpryskiwania materiału.

Beton zapobiega skażeniu środowiska

Podczas pożaru beton sam nie wytwarza dymu ani gazów toksycznych i może pomóc w zapobieżeniu rozprzestrzenianiu się szkodliwych dla środowiska pożarów i ich oparów. Zastosowanie przegród betonowych i ścian działowych oznacza, że wyłącznie ograniczona ilość towarów ulegnie zniszczeniu, co zmniejsza ilość produktów spalania, takich jak: dym, opary, gazy toksyczne i szkodliwe pozostałości. W przypadku pożaru, betonowe zbiorniki lub obwałowania mogą również stanowić bariery ochronne zapobiegające rozlewowi szkodliwych dla środowiska cieczy lub skażonej wody gaśniczej. Dodatkowo, podczas pożaru beton nie powoduje osadzania sadzy, którą trudno się czyścić i której usuwanie jest niebezpieczne.

Bezpieczeństwo pożarowe budynków mieszkalnych

Europejskie wymogi dotyczące bezpieczeństwa pożarowego omówione w rozdziale 1 obejmują bezpieczeństwo osób, ze szczególnym uwzględnieniem budynków mieszkalnych, ze względu na znaczne ryzyko – domy i budynki mieszkalne mogą być gęsto zaludnione, posiadać duże obciążenie ogniowe ze względu na meble i wyposażenie. Nie można również zapominać, że osoby w trakcie snu są narażone na większe ryzyko niż osoby świadome. Wszystkie te czynniki oznaczają, że sektor budownictwa mieszkaniowego zasługuje na szczególną

uwagę przy projektowaniu, z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe. To nie zawalenie konstrukcji po pożarze przyczynia się do większości zgonów w przypadku pożarów budynków mieszkalnych – to wdychanie dymu lub gazów z płonących materiałów oraz wynikająca z tego niezdolność do ewakuacji (Neck U., 2002).

W Europie sporządzono dwa ważne raporty wskazujące na podwyższone bezpieczeństwo pożarowe konstrukcji betonowych.

1. Porównanie bezpieczeństwa pożarowego drewna i betonu w budynkach mieszkalnych

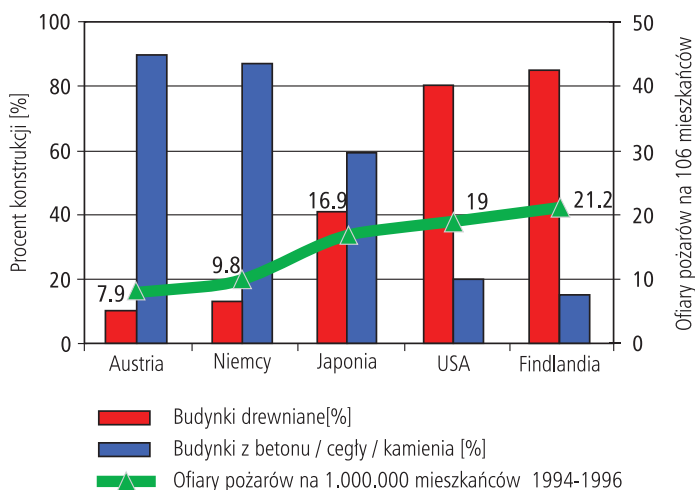
Porównując bezpieczeństwo pożarowe konstrukcji betonowych i drewnianych, Profesor Ulrich Schneider z Politechniki Wiedeńskiej określił siedem rodzajów ryzyka związanego z stosowaniem palnych materiałów budowlanych (jak drewno) w konstrukcji i obudowie budynku (Schneider U. i Oswald M., 2005); wyszczególniono je w Panelu 1.

Panel 1: Ryzyko stosowania palnych materiałów budowlanych

1. Zwiększenie obciążenia ogniowego.
2. Zwiększenie dymu i produktów rozkładu termicznego.
3. Większe ilości tlenu węgla.
4. Zapalenie elementów konstrukcyjnych.
5. Zapalenie w szczelinach konstrukcyjnych.
6. Niebezpieczeństwo tlącego się ognia i niezauważonego żarzenia.
7. Zwiększone niebezpieczeństwo rozgorzenia.

Schneider przebadał dalej statystyki zgonów w wyniku pożarów z różnych krajów i określił wyraźny związek między liczbą ofiar pożaru a materiałami budowlanymi stosowanymi w budynkach, jak pokazano na rys. 4.6. Jego szczegółowe badania dotyczące typowych konstrukcji drewnianych wykazały, że zawodność tych konstrukcji podczas pożaru może być powodowana zapaleniem i zawaleniem się elementów konstrukcyjnych i nie konstrukcyjnych oraz poprzez połączenia metalowe w ramach konstrukcji drewnianej, które ulegają topnieniu podczas oddziaływania ognia i tracą swoje właściwości nośne. Schneider zauważył też, że ogień znacznie rozprzestrzenił się na przyległe pomieszczenia i/lub mieszkania w przypadku zastosowania materiałów lub okładziny dREW-

nianej w ścianie zewnętrznej. Podsumowując, prof. Schneider opisuje konstrukcję drewnianą jako mającą „wiele słabych punktów w aspekcie bezpieczeństwa pożarowego” i zaleca: „Zasadniczo konstrukcje drewniane mogą być bezpieczne dzięki zastosowaniu systemów automatycznego gaszenia ognia lub niepalnych materiałów budowlanych dla wykonywania okładzin stanowiących zabezpieczenie ogniochronne wszystkich palnych powierzchni, jak określono w nowych wytycznych dla konstrukcji drewnianych” (Schneider U. i Oswald M., 2005).



Rys. 4.6. Liczba ofiar śmiertelnych w wyniku pożaru w zależności od rodzaju konstrukcji w pięciu dużych krajach (1994-1996) (TUW, Wiederl, Schneider U. i Oswald M., 2005)

2. Niezależna ocena szkód pożarowych

W Szwecji, Olle Lundberg podjął niezależne badania kosztów strat pożarowych w zależności od materiału budowlanego wykorzystanego do budowy domów, w oparciu o statystyki towarzystwa ubezpieczeniowego w Szwecji (Forsakringsforbundet). Badanie to ograniczało się do poważniejszych pożarów budynków wielorodzinnych, gdzie wartość ubezpieczanej konstrukcji przekraczała 150.000 euro, obejmując 125 pożarów w latach 1995-2004. (Stanowiły one 10% pożarów budynków wielorodzinnych, lecz 56% większych pożarów.) Wyniki badania wykazały, że:

- Średnie odszkodowanie przeliczone na pożar i na mieszkanie w budynkach drewnianych wynosi około pięciokrotność odszkodowań dla

domów z betonu/cegły/pustaków (ok. 50.000 euro w porównaniu z 10.000 euro)

- Prawdopodobieństwo wystąpienia dużego pożaru jest 11-krotnie wyższe w domu drewnianym niż domu z betonu/cegły/pustaków.
- Z łącznej liczby spalonych domów, 50% domów drewnianych nadawało się do wyburzenia, w porównaniu z zaledwie 9% domów betonowych.
- Wyłącznie w trzech przypadkach z 55 pożarów w budynkach betonowych ogień przeniósł się na przyległe mieszkania.
- Z łącznej liczby 55 pożarów, 45 miało miejsce na strychach i przy dachu; zazwyczaj ogień pojawia się w mieszkaniu położonym na górnym piętrze i rozprzestrzenia się na strych i dach (z drewna).

Badania te stanowią ważny dowód ryzyka związanego z konstrukcją drewnianą i podkreślają potrzebę uwzględnienia wszystkich korzyści bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji betonowych i ceglanych. Jak już omówiono, połączenie niepalności betonu oraz jego skuteczne właściwości osłony przed ogniem sprawiają, iż jest to najlepszy wybór dla bezpiecznych budynków mieszkalnych.

Analiza przypadku 6

Pożar budynku drewnianego, Colindale, Londyn (2006)

Podczas budowy dużego osiedla mieszkaniowego w północnym Londynie wybuchł pożar, który objął swoim zasięgiem kilka sześciopiętrowych budynków o konstrukcji drewnianej (zob. rys. 4.7.). Pożar trwał pięć godzin, a jego opanowanie wymagało zaangażowania 100 strażaków i 20. wozów strażackich. Świadkowie twierdzili, iż budynki uległy zniszczeniu w ciągu zaledwie kilku minut. Tuż po pożarze, pobliska stacja monitorowania jakości powietrza odnotowała znaczny wzrost toksycznych cząsteczek PM10, które mogą znacznie zaszkodzić osobom mającym problemy z oddychaniem. Z okolicznych terenów ewakuowano 2.500 osób, na dwie godziny zamknięto dużą arterię komunikacyjną, a miejscowy akademik ucierpiał w takim stopniu, że studenci nie mogli do niego wrócić. Na szczęście na osiedlu tym jeszcze nie zamieszkałi nowi mieszkańcy, a akademik był pusty podczas wakacji. Mimo to, szkody były znaczne. Miejscowi kontrolerzy budowlani wyrazili swoje zaniepokojenie, zauważając, że „w przypadku stropów betonowych pożar lokalizuje się w strefach pożarowych. W przypadku drewna, pali się do gołej ziemi” (Building Design, 21/07/06, str.1).

W chwili obecnej, przynajmniej jeden budynek mieszkalny tego osiedla ma być odbudowany – tym razem z betonu.

Rys. 4.7. Pożar w Colindale szalał przez pięć godzin w częściowo wybudowanych budynkach mieszkalnych o konstrukcji drewnianej, a jego opanowanie wymagało zaangażowania 100. strażaków i 20. wozów (Dzięki uprzejmości John-Macdonald-Fulton, Wielka Brytania)



Beton zapobiega rozprzestrzenianiu się ognia po trzęsieniach ziemi

Zagadnienia dotyczące projektów uwzględniających drgania sejsmiczne, stanowiące wymóg w niektórych krajach, nakładają na projektantów obowiązek zwrócenia uwagi na konkretny problem pożarów po trzęsieniach ziemi. Zagadnieniu temu poświęcono sporo uwagi w krajach takich jak Nowa Zelandia, gdzie stwierdzono, że konstrukcje betonowe są mało narażone na rozprzestrzenianie się ognia po trzęsieniach ziemi (Wellington Lifelines Group, 2002).

5. OCHRONA MIENIA I HANDLU

Beton chroni mienie – ochrona przeciwpożarowa z użyciem betonu oznacza bezpieczeństwo mienia i szybki powrót do działalności

Budynki i budowle betonowe mogą chronić osoby i mienie przed zagrożeniem pożarowym, lecz – co zrozumiałe – bezpieczeństwo osób stanowi priorytet, co widać zarówno na etapie projektowania, jak i w sytuacjach awaryjnych. Bezpieczeństwo pożarowe z powodów kontynuacji działalności, ochrony środowiska i utrzymania kluczowej infrastruktury jest też ważne dla właścicieli prywatnych, towarzystw ubezpieczeniowych oraz organów władzy. Czynniki te uwzględnia się w legislacji europejskiej w sprawie bezpieczeństwa pożarowego (zob. rozdział 1), przy czym jeden z trzech celów ochrony dotyczy konkretnie ochrony mienia, przyległych nieruchomości oraz utrzymania samego budynku.

Beton chroni przed i po pożarze

Łączny koszt pieniężny szkód pożarowych oszacowano jako 0,2 do 0,3% produktu krajowego brutto (PKB) rocznie (zob. tabela 5.1). Oczywiście dla krajów europejskich liczby te będą sięgać wielu milionów euro, lecz nie stanowi to właściwego wskaźnika potencjalnej skali skutków pożarów – (Denoël J-F./Febelcem 2006). W „Usine enterprise” (2004) stwierdza się, iż ponad 50% firm upada po większym pożarze. Dla przedsiębiorstw handlowych, jak magazyny, hotele, fabryki, biurowce i centra dystrybucji, pożary przerywają pracę i produktywność firm, a także powodują przerwę w obsłudze klientów. Powoduje to poważne problemy i może skończyć się utratą zleceń lub zamknięciem działalności. Jednakże skala skutków pożarów dla budynków o roli krytycznej dla infrastruktury może być jeszcze większa – budynki takie obejmują: szpitale, stacje kolejowe, ujęcia wody i elektrownie, budynki rządowe, jak również banki danych i zakłady telekomunikacyjne. Przerwy w pracy tego rodzaju budynków są niepożądane i mogą nieść katastrofalne skutki.

Tabela 5.1: Międzynarodowe dane statystyczne dotyczące pożarów budynków 1994-1996 r.

Kraj	Koszty bezpośrednie i pośrednie strat pożarowych (% PKB)	Zgony na 100.000 mieszkańców rocznie	Koszty środków ochrony pożarowej (% PKB)	Koszty szkód i środków zapobiegawczych (% PKB)
Austria	0,20	0,79	brak danych	brak danych
Belgia	0,40 (1988-89)	1,32	brak danych	0,61
Dania	0,26	1,82	brak danych	brak danych
Finlandia	0,16	2,12	brak danych	brak danych
Francja	0,25	1,16	2,5	0,40
Niemcy	0,20	0,98	brak danych	brak danych
Włochy	0,29	0,86	4,0	0,63
Norwegia	0,24	1,45	3,5	0,66
Hiszpania	0,12 (1984)	0,77	brak danych	brak danych
Szwecja	0,24	1,32	2,5	0,35
Szwajcaria	0,33 (1989)	0,55	brak danych	0,62
Holandia	0,21	0,68	3,0	0,51
Wlk. Brytania	0,16	1,31	2,2	0,32
USA	0,14	1,90	brak danych	0,48
Kanada	0,22	1,42	3,9	0,50
Japonia	0,12	1,69	2,5	0,34

Beton zapewnia bezpłatną ochronę przeciwpożarową

Może to być zaskoczeniem, gdyż globalne dane na temat kosztów ochrony przeciwpożarowej wskazują, iż około 2 do 4% kosztów budowy zazwyczaj wydaje się na środki ochrony przeciwpożarowej (zob. tabela 5.1), lecz w przypadku betonu, ochrona przeciwpożarowa stanowi integralną właściwość tego materiału, stąd dodatkowe korzyści. De facto, beton zapewnia rezerwę bezpieczeństwa pożarowego, która obowiązuje nawet po zmianie przeznaczenia budynku lub w przypadku zmian konstrukcyjnych.

Właściwości w zakresie bezpieczeństwa pożarowego betonu nie zmieniają się z upływem czasu i są stałe bez generowania kosztów konserwacyjnych.

Naturalne właściwości odporności ogniowej elementów betonowych sprawiają, że materiał ten pozwala na pełne zaspokojenie wymogów ochrony przeciwpożarowej w sposób ekonomiczny, a także powodują, że niewielkie przyszłe zmiany konstrukcji budynku nie będą miały wpływu na zgodność z przepisami bezpieczeństwa pożarowego. Jednakże w przypadku wystąpienia pożaru inwestycja w budynek betonowy naprawdę się opłaca. Niezależnie od miejsca – dom, czy praca – kontynuacja działalności socjalnej i gospodarczej stanowi priorytet, a w tym aspekcie właśnie zachowanie betonu podczas pożaru przynosi natychmiastowe i znaczne korzyści ekonomiczne:

- Właściwości odporności ogniowej betonu oznaczają, iż pożar powinien **ograniczać się do niewielkiej powierzchni**, pomieszczenia lub strefy, co minimalizuje zakres i skalę koniecznych napraw.
- **Prace naprawcze w budynkach betonowych strawionych przez pożar są zazwyczaj niewielkie**, proste i tanie, gdyż często zaledwie niewielkie powierzchnie betonowe wymagają naprawy – częściowe lub pełne wyburzenie stanowią rzadkie przypadki (zob. rozdział 2).
- **Betonowe ściany i stropy oddzielen przeciwpożarowych zapobiegają rozprzestrzenianiu się ognia**, więc przyległe pomieszczenia w zakładzie produkcyjnym, magazynie, biurze lub przyległe mieszkania w budynku mieszkalnym będą mogły dalej funkcjonować po zakończeniu działań ratowniczych, niezależnie od stanu obszaru objętego pożarem.
- W pomieszczeniach przemysłowych lub biznesowych, **betonowe ściany oddzielen przeciwpożarowych zapobiegają utracie cennego mienia**, maszyn, sprzętu lub towaru, a więc ograniczają wpływ pożaru na działalność i zmniejszają poziom roszczeń ubezpieczeniowych.
- Doświadczenie wskazuje, iż w budynkach betonowych **szkody spowodowane wodą** po wystąpieniu pożaru **są nieistotne**.

Niższe składki ubezpieczeniowe przy zastosowaniu betonu

Każdy pożar powoduje straty gospodarcze, a w większości przypadków to właśnie ubezpieczyciele płacą za szkody wywołane

pożarami. Z tego powodu, towarzystwa ubezpieczeniowe prowadzą kompleksowe i dokładne bazy danych na temat zachowania wszystkich materiałów budowlanych w warunkach pożarów – wiedzą też, że beton oferuje doskonałą ochronę pożarową, co znajduje odzwierciedlenie w obniżce składek ubezpieczeniowych. W całej Europie, składki ubezpieczeniowe dla budynków z betonu są niższe niż dla budynków wykonanych z innych materiałów (które zazwyczaj ulegają większym uszkodzeniom lub zupełnemu zniszczeniu przez ogień). W większości wypadków budynki betonowe klasyfikowane są jako najbardziej korzystna kategoria dla ubezpieczeń od pożaru, ze względu na udowodnioną ochronę przeciwpożarową i odporność ogniową. Oczywiście każde towarzystwo ubezpieczeniowe ma własne procedury i wykazy składek, które różnią się w zależności od kraju, lecz ze względu na dobre dane betonu, większość z nich oferuje zniżki dla właścicieli budynków z betonu. Przy obliczaniu składek ubezpieczeniowych ubezpieczyciele uwzględniają następujące czynniki:

- Materiał budowlany
- Rodzaj materiału dachowego
- Rodzaj działalności/wykorzystanie budynku
- Odległość od przyległych budynków
- Charakter elementów konstrukcyjnych
- Rodzaj systemu grzewczego
- Instalacje elektryczne
- Ochronę i środki zapobiegawcze.

Analiza przypadku 7

Składki ubezpieczeniowe dla magazynów we Francji

Niestety, na temat kosztów ubezpieczenia dostępnych danych jest niewiele, lecz istnieją pewne badania porównawcze. We Francji, CIMbéton (2006) opublikował podsumowanie oraz model kosztów ubezpieczenia w oparciu o poglądy ubezpieczycieli na temat jednopiętrowych magazynów/budynków przemysłowych. Badanie to wyjaśnia, iż składki ubezpieczeniowe są obliczane w oparciu o wiele czynników, w tym działalność prowadzoną w budynku i materiał budowlany. Materiał budowlany jest oczywiście ważny – konstrukcja, ściany zewnętrzne, ilość pięter, posycie dachu oraz wyposażenie są uwzględniane przy obliczeniach. Rezultaty wskazują wyraźnie, w jakim

zakresie beton otrzymuje preferencje w stosunku do innych materiałów, jak np. stal i drewno, dla wszystkich części budynku. Na przykład, wybór betonowego szkieletu i ścian dla jednopiętrowego magazynu oznacza możliwość 20% obniżki w stosunku do „standardowej”/średniej składki. Zmiana tego materiału na stalowy szkielet i opcję okładzin spowodowałaby wzrost składki „standardowej” o 10 do 12%, co daje przynajmniej 30% różnicy łącznie. Podejmując ostateczną decyzję o wysokości składki, ubezpieczyciel bierze też pod uwagę sprzęt zabezpieczający, środki ochrony przeciwpożarowej i środki gaśnicze, co obejmuje także wydzielenie stref przeciwpożarowych – opcję ochrony przeciwpożarowej, w której beton daje najlepsze wyniki.

Tabela 5.2. Składki ubezpieczeniowe dla magazynu o powierzchni 10.000 m² (jednopiętrowy bez wyposażenia); suma ubezpieczenia = 25 mln EURO (CIMbéton, 2006).

Konstrukcja	Roczna premia (bez podatku) = 50 000 EURO
Beton	40 000 EURO (20% poniżej średniej)
Stal	56 000 EURO (12% powyżej średniej)

Analiza przypadku 8

Zniszczenie rzeźni w Bordeaux (1997)

Ten spektakularny pożar wywołany przez zwarcie w suficie, rozprzestrzenił się bardzo szybko, obejmując powierzchnię 2000 m² w ciągu zaledwie 10 minut. Opanowanie sytuacji zajęło strażakom trzy godziny, a do tego czasu połowa z 9000 m² powierzchni budynku uległa kompletnemu spaleni. To niezwykle szybkie tempo rozprzestrzeniania się pożaru było wynikiem zapalenia się palnego materiału izolacyjnego w ścianach warstwowych w fasadzie budynku – strażacy



Rys. 5.1. Lekkie ściany warstwowe z blaszaną obudową zawiodły w tym pożarze rzeźni w Bordeaux (Francja), w styczniu 1997 r. Pożar objął cały budynek i zajął przyległe budynki. (Dzięki uprzejmości SDIS 33, Straży Pożarnej w Gironde, Francja)

nie mogli zapobiec rozprzestrzenianiu się ognia wzdłuż 130 m fasady (jak widać na rys. 5.1). Oczywiście podział budynku na strefy pożarowe betonowymi ścianami oraz zastosowanie paneli betonowych w fasadzie ograniczyłoby zasięg ognia.

Analiza przypadku 9

Pożar w magazynie odzieżowym w Marsylii (1996)

Pożar rozprzestrzenił się bardzo szybko w magazynie odzieży i sprzętu sportowego, gdzie pracowało wtedy 40 osób personelu; w ciągu pięciu minut cały budynek stał w ogniu, a płonące towary generowały dużą ilość dymu i ciepła. W magazynie tym brak było tryskaczy i ścian oddzielenia przeciwpożarowych, a konstrukcja okazała się niestabilna w warunkach pożaru, co spowodowało kompletne zniszczenie, jak widać na rys. 5.2. Wiatr przyczynił się do rozprzestrzeniania pożaru, który zagrażał pobliskim magazynom położonym w odległości 10 m, z których trzeba było ewakuować ludzi. Przyległe budynki udało się uratować dzięki kurtynie wodnej zastosowanej przez strażaków.

Rys. 5.2. Widok lotniczy spalonego magazynu na północ od Rognac, w pobliżu Marsylii, wskazujący jak rozprzestrzenił się ogień w budynku, gdzie brak było betonowych ścian oddzielenia przeciwpożarowych. (Dzięki uprzejmości Straży Pożarnej SDIS 13, Bouches du Rhone, Francja)



Beton pomaga strażakom ratować mienie

Pomimo przepisów europejskich nakazujących ochronę osób, mienia i środowiska, w większości przypadków oczywistym i praktycznym priorytetem działań strażaków jest ochrona życia ludzkiego, więc procedury ich wchodzenia do płonącego budynku opierają się na ratowaniu osób w pierwszej kolejności, a ochrona mienia i środowiska znajdują się na drugim miejscu. Na przykład, strażacy mogą nie chcieć wchodzić do budynku jeżeli wszystkie osoby w nim przebywające zdążyły się ewakuować. Jednakże zawsze będą starać się podejść

możliwie blisko do budynku w celu skutecznego gaszenia pożaru. Fasady z betonu zapewniają ochronę pozwalającą na takie podejście. Po zapewnieniu bezpieczeństwa wszystkim osobom, które znajdowały się w budynku, strażacy mogą zająć się zapobieżeniem rozprzestrzeniania się ognia na przyległe tereny i oceną zagrożenia środowiska produktami spalania. To zrozumiałe podejście wzmacnia potrzebę umożliwienia ludziom bezpiecznej ewakuacji z budynku, przynajmniej w ramach ustawowego wymogu odporności ogniowej.

Badania we Francji wskazują, że na 13.000 pożarów rocznie, 5% ma miejsce w budynkach przemysłowych, a duży pożar może przynieść straty operacyjne rzędu 2 mln euro (CIMbéton, 2006). W budynkach tych mogą znajdować się bardzo palne towary obecne tam w dużych ilościach, co stanowi poważne ryzyko zawalenia się tych budynków w trakcie pożaru, o ile nie stosuje się skutecznie stref pożarowych w celu podziału towarów i w konsekwencji obciążenia ogniowego. Rozpatrzmy przykład właściciela magazynu pragnącego zminimalizować szkody towarowe w przypadku pożaru, który wie, iż straż pożarna będzie nalegać na gaszenie pożaru z bezpiecznej odległości, z zewnątrz. W takim przypadku poprzez zastosowanie betonu można uzyskać:

1. W zależności od rodzaju towaru i wielkości strefy pożarowej, obciążenie ogniowe w takich budynkach może być bardzo duże. Regularnie rozłożone, wewnętrzne betonowe ściany oddzielen przeciwpożarowych **zmniejszą ryzyko rozprzestrzeniania się pożaru** z jednego pomieszczenia do drugiego, stąd zminimalizują poziom poniesionych strat.
2. Przy jednopiętrowych, długich budynkach stanowiących jedną strefę pożarową, istnieje szczególnie duże ryzyko szybkiego i nagłego zawalenia dachu. **Ściany betonowe zachowują stabilność** i nawet w przypadku zawalenia belek dachowych, ściany nie powinny ulec zawaleniu zagrażając przyległym obszarom.
3. Ściany osłonowe z betonu zachowujące odporność ogniową (klasa REI 120) zapobiegają rozprzestrzenianiu się pożaru i chronią strażaków (zob. rys. 1.2). **Fasady betonowe umożliwiają strażakom podejście o ok. 50% bliżej do pożaru**, gdyż działają jak tarcza cieplna.
4. **Zewnętrzne ściany betonowe tak skutecznie zapobiegają rozprzestrzenianiu się ognia** między budynkami, iż w niektórych krajach (np. we Francji) przepisy pozwalają na zmniejszenie odległości między przyległymi budynkami w stosunku do wymogów dla innych materiałów.

5. **Dach betonowy jest niepalny** – o klasie reakcji na ogień A1, przy czym nie będą z niego kapać stopione cząstki.

Analiza przypadku 10

Międzynarodowy rynek kwiatów, Rungis, Paryż (2003)

Ten betonowy magazyn kwiatów i budynek opakowań o powierzchni 7200 m² w dużym stopniu przetrwał ogromny pożar w czerwcu 2003 r. Ściany i strop dobrze zniósł pożar generujący dużo ciepła i dymu, gdy zapaliły się materiały do wiązania i pakowania, a przy tym olejki aromatyczne w materiale roślinnym. Dym rozprzestrzenił się w całym południowym Paryżu, gdyż uległy zniszczeniu towary i sprzęt na obszarze 1600 m². Pomimo zawalenia się budynku na obszarze 100 m², pożar udało się zatrzymać na obszarze jego wybuchu, a pół roku później, pomimo przedłużających się ocen ubezpieczycieli, budynek wyremontowano i przywrócono do użytkowania.

Rys. 5.3. Zewnętrzny widok magazynu kwiatów w Rungis, działającego pół roku po pożarze (Dzięki uprzejmości CIMbéton, Francja)



Rys. 5.4. Uszkodzone wnętrze magazynu, szybko naprawione (Dzięki uprzejmości CIMbéton, Francja)



6. BETON A INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA POŻAROWEGO

Beton oferuje naturalną odporność ogniową, więc właściciele budynków nie muszą polegać na systemach aktywnych w celu ochrony osób i mienia

W jaki sposób działa inżynieria bezpieczeństwa pożarowego

Inżynieria bezpieczeństwa pożarowego to stosunkowo nowy sposób obliczania środków ochrony przeciwpożarowej w oparciu o metody bazujące na właściwościach użytkowych, a nie tabele danych. Jest ona wykorzystywana głównie dla dużych i złożonych konstrukcji jak: lotniska, centra handlowe, hale wystawowe i szpitale, w celu minimalizacji wymogów dla środków ochrony przeciwpożarowej. Brak jednej definicji dla tej dziedziny, chociaż ISO określa ją jako „Stosowanie metod inżynierskich opartych na zasadach naukowych w tworzeniu lub ocenie projektów w środowisku budowlanym poprzez analizę konkretnych scenariuszy pożarowych lub kwantyfikację ryzyka pożarowego dla grupy scenariuszy pożarowych” (ISO/CD).

Procedury projektowania stosowane w inżynierii bezpieczeństwa pożarowego uwzględniają następujące czynniki w celu obliczania wartości projektowej obciążenia pożarowego, na podstawie której można ocenić poszczególne elementy konstrukcji oraz ogólną możliwość wystąpienia pożaru powodującego uszkodzenia konstrukcji:

- Charakterystyczna gęstość obciążenia ogniowego na jednostkę powierzchni podłogi (wartości przedstawiono w EC1, Cz. 1-2).
- Oczekiwane obciążenie ogniowe powodowane przez spalanie zawartości (czynnik spalania).
- Ryzyko pożarowe ze względu na wielkość strefy pożarowej (duże strefy mają wyższy czynnik ryzyka).
- Prawdopodobieństwo wystąpienia pożaru, w oparciu o liczbę osób i sposób użytkowania (czynnik użytkowy).
- Warunki wentylacji i wydzielania ciepła.

Metoda obliczeń wykorzystuje następnie wszystkie aktywne środki ochrony przeciwpożarowej w budynku, które łączy się uzyskując pięty i ostatni czynnik obliczania obciążenia ogniowego, obejmujący:

- Automatyczne wykrywanie ognia (np. detektory ciepła, detektory dymu, automatyczne powiadomianie straży pożarnej)
- Automatyczne zwalczanie pożaru (np. tryskacze/wodne systemy gaśnicze, dostępność niezależnego źródła wody)

- Ręczne zwalczanie pożaru (np. zakładowa straż pożarna, zewnętrzne oddziały szybkiej interwencji /lokalny oddział straży).

Inżynieria bezpieczeństwa pożarowego w praktyce

Brak wspólnych reguł dla inżynierii bezpieczeństwa pożarowego, przyjazne dla użytkownika oprogramowanie nadal znajduje się w fazie rozwojowej, a także istnieją znaczne różnice w podejściu, doświadczeniu i poziomach akceptacji przez stosowne organy. Inżynieria bezpieczeństwa pożarowego musi być ostrożnie wykorzystywana przez ekspertów, przy właściwej ocenie założeń. Podnoszono poważne wątpliwości dotyczące ważności i dokładności obliczeń na podstawie rachunku prawdopodobieństwa, a krytycy wskazywali, iż wadliwe obliczenia mogą prowadzić do tragedii. Wyrażano też obawy, iż brak doświadczenia w stosowaniu tej inżynierii może prowadzić do nieporozumień w obliczeniach i osiągania błędnych rezultatów. Duża rozbieżność parametrów założeń leżących u podstaw obliczeń obejmuje, lecz nie ogranicza się do następujących aspektów:

- **Skuteczność straży pożarnej:** tu znów dane są uśrednione, lecz nie można ich stosować do wszystkich budynków – wyniki będą się tu różnić.
- **Zachowanie ludzi:** założenia dotyczą zachowania osób w sytuacjach awaryjnych, lecz istnieje tu duża rozbieżność związana z zachowaniem tłumu i drogami ewakuacji.
- **Niezawodność systemów tryskaczowych:** podaje się wartości średnie, lecz istnieje wiele systemów dostosowanych do wszystkich rodzajów budynków.
- **Podpalenia** (tj. przypadki zamiaru przestępczego) – ten temat nie został wystarczająco zbadany. Niektóre budynki i lokalizacje są bardziej narażone na działania przestępcze.

Niektóre statystyki działania systemów tryskaczowych wskazują na niski poziom niezawodności. Wyniki badań Febelcem (2007) i PCI (2005) z USA, gdzie stowarzyszenie National Fire Protection Association zauważyło 20% niesprawności systemów tryskaczowych w przypadku pożarów biurowców/szpitali, 17% w przypadku pożarów w hotelach, 13% pożarów w domach i 26% pożarów w budynkach użyteczności publicznej, prowadzą do krajowej średniej niesprawności systemów wynoszącej 16% (dane z 2001r.). Dane z Europy cytowane w tej samej

publikacji dają nieco lepszy obraz. Dane dotyczące skuteczności systemów tryskaczowych analizowane wg klasy ryzyka były następujące: Biura (małe ryzyko) 97,4% skuteczności, biznes (ryzyko średnie) 97,2% skuteczności, przemysł drzewny (duże ryzyko) 90,8% skuteczności.

Inne źródła wskazują, że wiele z tych awarii ma związek z działaniami osób uszkadzającymi głowice tryskaczy (np. powlekanie farbą, wieszanie rzeczy, etc). Mimo to, na skuteczność systemów tryskaczowych może mieć wpływ problem związany z interakcją systemów dymowych (wentylacyjnych) z systemami tryskaczy. Wiele badań wskazywało iż woda z tryskaczy chłodzi chmurę dymu, przeciwdziałając unoszeniu się w górę co powoduje utratę widoczności podczas ewakuacji (Heselden A.J.M., 1984; Hinkley P.L. i Illingworth M., 1990; Hinkley et al, 1992). Ponadto, unoszenie się chmury dymu wyciąganej przez automatyczne, mechaniczne systemy wentylacyjne uniemożliwia skuteczne opadanie kropeł wody z tryskaczy i gaszenie pożaru.



Rys. 6.1. Poważnie zdeformowana stalowa głowica stupa po pożarze (Dzięki uprzejmości Building Research Establishment, Wlk. Brytania)

Procedury projektowania stosowane w inżynierii bezpieczeństwa pożarowego opierają się na założeniu, iż włączenie różnych aktywnych środków ochrony przeciwpożarowej zmniejsza prawdopodobieństwo uszkodzeń konstrukcyjnych w wyniku pożaru; połączenie tych środków daje efekt sumaryczny, zmniejszając zakładaną gęstość obciążenia pożarowego w budynku. Taka metoda obliczeń zmniejsza więc w widoczny sposób konieczną ochronę przeciwpożarową w budynku. W wyniku tego, niektóre materiały budowlane, de facto słabo znoszące ogień i w pełni zależne od środków gaśniczych, mogą wydawać się dobrymi opcjami konstrukcyjnymi.

W inżynierii bezpieczeństwa pożarowego odporność ogniową konstrukcji zapewnia się przez uwzględnienie systemu gaśniczego i stosowanego zabezpieczenia konstrukcji. Jednakże może to prowadzić do braku ochrony budynku, osób tam pracujących i jego zawartości. Przyczyny przedstawiono w Panelu 2.

Panel 2: Dlaczego strategie inżynierii bezpieczeństwa pożarowego mogą okazać się nieskuteczne?

System gaśniczy może być nieskuteczny ze względu na:

- awaryjność
- nieadekwatność do pożaru.

Zabezpieczenie ogniochronne może okazać się nieskuteczne ze względu na:

- awaryjność
- wiek
- pogorszenie stanu
- nieadekwatność do pożaru.

Na tym etapie odporność ogniowa konstrukcji będzie się sprowadzać do inherentnej wytrzymałości ogniowej materiałów tworzących konstrukcję, czyli betonu, drewna, cegły lub stali. W tym przypadku inżynieria bezpieczeństwa pożarowego może od razu zawieść, gdyż niechroniona stal i drewno nie zachowują nośności przy braku w pełni funkcjonujących systemów aktywnej ochrony przeciwpożarowej.

W normalnych przypadkach beton jest jedynym materiałem zapewniającym dobrą odporność ogniową bez pomocy systemów aktywnych; jest to bierny środek ochrony przeciwpożarowej, na którym można polegać w przypadku zawodności systemów aktywnych. Inżynieria bezpieczeństwa pożarowego może niedoceniać sprawdzonych i bezobsługowych systemów pasywnych, jak konstrukcje betonowe i może prowadzić do tragicznego w skutkach nadmiernego polegania na zawodnych systemach aktywnych, co może stanowić zagrożenie dla osób i mienia.

Beton zapewnia obecność ochrony przeciwpożarowej nawet w przypadku zmiany zastosowania budynku, gdyż materiał ten posiada naturalną odporność ogniową. W przypadku stosowania metod inżynierii bezpieczeństwa pożarowego dotyczą one jedynie sytuacji, gdy zmiany wykorzystania nie miały miejsca. Dzieje się tak, gdyż środki takie determinuje uwzględnienie sposobu użytkowania budynku. W przypadku zmian, np. obciążenia ogniowego, ochrona tryskaczami lub powłokami ogniochronnymi może się okazać niewystarczająca.

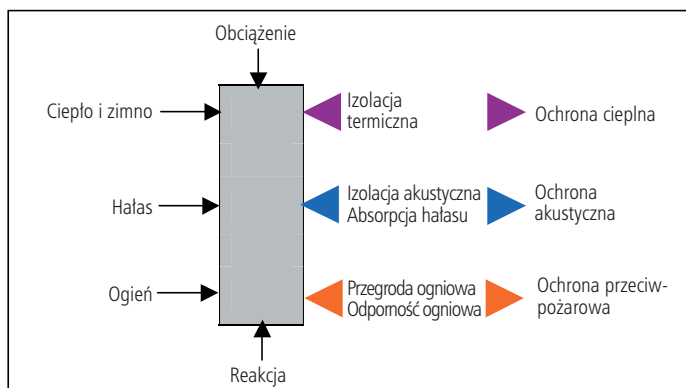
7. DODATKOWE KORZYŚCI Z BETONU

Beton zapewnia więcej niż pełną ochronę

Doskonałe i udowodnione właściwości betonu związane z odpornością ogniową zapewniają ochronę osób, mienia i środowiska w przypadku pożaru. Materiał ten skutecznie odpowiada wszystkim celom ochronnym określonym legislacją europejską, zapewniając korzyści dla wszystkich, od użytkowników budynków, właścicieli, biznesmenów i mieszkańców, po ubezpieczycieli, organy regulacyjne i strażaków. Niezależnie od miejsca stosowania – w budynkach mieszkalnych, magazynach przemysłowych, czy tunelach, beton można zaprojektować tak, by spełniał swoje zadanie nawet w najbardziej ekstremalnych sytuacjach pożarowych.

Beton posiada nie tylko nadrzędne właściwości odporności ogniowej, ale zapewnia też izolację termiczną i akustyczną.

Połączenie tych trzech właściwości pozwala projektantom na maksymalizację możliwych korzyści. Na przykład, umieszczenie przegrody betonowej między przyległymi strefami pożarowymi zapewnia konieczną ochronę przeciwpożarową, dodaje inercję cieplną pomagającą utrzymać temperaturę i zapewnia izolację akustyczną między tymi obszarami. Wszystko to jest możliwe przy wykorzystaniu zaledwie jednego materiału, bez potrzeby polegania na środkach aktywnych, dodatkowej izolacji, czy powłok ogniochronnych, prowadzenia częstych konserwacji lub remontów. Zdecydowanie beton zapewnia długotrwałe korzyści w tym względzie, lecz co ważniejsze, zapewnia też długotrwałe bezpieczeństwo pożarowe.



Rys. 7.1. Dodatkowe korzyści z betonu (Courtesy Neck U., 1999)

LITERATURA

- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (2003) The Pentagon building performance report, ASCE, Washington, USA. 64 pp.
- BEESE G. and KÜRCHÜBASCH R. (1975). Hochhaus Platz der Republik in Frankfurt am Main. Teil III Der Brand vom 22 August 1973. Beton- und Stahlbetonbau, 70 (1975) H. 8, S. 184/188. Germany.
- CEMBUREAU (2004). Improving fire safety in tunnels: the concrete pavement solution, CEMBUREAU, Brussels, Belgium. 8 pp.
- CHANA P. and PRICE B. (2003). The Cardington fire test, Concrete – the magazine of The Concrete Society, January, pp. 28 – 33. Camberley, UK.
- CEN EN 1991–1–2 (2002). Eurocode, Part 1–2: Actions on structures – General actions – Actions of structures exposed to fire. CEN, Brussels, Belgium.
- CEN (2004). EN 1992–1–2 (2004) Eurocode 2 Part 1–2: Design of concrete structures – General rules – Structural fire design. CEN, Brussels, Belgium.
- CEN (2002) EN 13501–1. Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests. CEN, Brussels, Belgium.
- CIMbéton (2006). Conception des bâtiments d'activités en béton: Murs séparatifs coupe-feu et façades à fonction d'écran thermique en béton (B67), CIMbéton, Paris, France. 111 pp.
- DENOËL J-F. (2006). Dossier ciment 37: La protection incendie par les constructions en béton, Febelcem, Brussels, Belgium. 20 pp (French, Dutch versions downloadable from www.febelcem.be).
- DENOËL J-F. (2007). Fire safety and concrete structures, Febelcem, Brussels, Belgium. 90 pp (French, Dutch versions downloadable from www.febelcem.be).
- HESELDEN A.J.M. (1984). The interaction of sprinklers and roof venting in industrial buildings: the current knowledge. BRE, Garston, UK.
- HINKLEY P.L. and ILLINGWORTH P.M. (1990). The Ghent fire tests: observations on the experiments, Colt International, Havant, Hants, UK.
- HINKLEY P.L., HANSELL G.O., MARSHALL N.R., and HARRISON R. (1992). Sprinklers and vent interaction, Fire Surveyor, 21 (5) pp. 18–23. UK.
- HORVATH S. (2002). Fire safety and concrete: fire safety and architectural design, CIMbéton, Paris, France. 13 pp. presented at 1st Advanced Seminar on Concrete in Architecture, Lisbon, Portugal.
- INTEMAC (2005). Fire in the Windsor Building, Madrid. Survey of the fire resistance and residual bearing capacity of the structure after fire, Notas de Información Técnica (NIT), NIT-2 (05), (Spanish and English). Intemac (Instituto Técnico de Materiales y Construcciones), Madrid, Spain. 35 pp.

- ISO/CD 23932. Fire safety engineering – General principles. (under development).
- KHOURY G. (2000). Effect of fire on concrete and concrete structures, Progress in Structural Engineering and Materials, Vol. 2, pp. 429–447.
- KORDINA K. and MEYER-OTTENS C. (1981). Beton-Brandschutz–Handbuck. Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf, Germany.
- LENNON T. (2004). Fire safety of concrete structures: background to BS 8110 fire design, Building Research Establishment (BRE), Garston, Watford, UK. 41 pp.
- LUNDBERG O. (2006) Brandrapport 2006, Undersökning av bränder i flerbostadshus, Available at: <http://www.betong.se/brandrapport2006.pdf> Betongforum, Danderyd, Sweden. 12 pp.
- MUNICH R.E. (2003). Risk management for tunnels, Munich Re group, Munich, Germany. 55 pp.
- NARYANAN N. and GOODCHILD C.H. (2006) Concise Eurocode 2, The Concrete Centre, Camberley, UK. 107 pp.
- NECK U. (1999). Comprehensive performance of precast concrete components through integrated utilization of the material and component properties. Proceedings of BIBM 16th International Congress of the Precast Concrete Industry in Venice. pp. 1-69-74. Milan, ASSOBETON, National Precast Concrete Association.
- NECK U. (2002). Comprehensive fire protection with precast concrete elements – the future situation in Europe, Proceedings of BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry. Session 5, 8 pp. Ankara, Turkish Precast Concrete Association. (CD only).
- NIST. Federal Building and Fire Safety investigation of the World Trade Centre disaster: Final report of the National Construction Safety Team on the co lapse of the World Trade Center Tower. NCSTAR 1
- SCHNEIDER U. and OSWALD M. (2005). Fire safety analysis in concrete and timber frame construction (German/English), Institute for Building Construction and Technology, Vienna University of Technology, Vienna, Austria. 42 pp.
- STOLLARD P. and ABRAHAM J. (1995). Fire from first principles: a design guide to building fire safety (2nd edition), E&FN Spon, London, UK. 192 pp
- SZOKE S.S. (2005). Are we protected from fire in buildings? PCI Journal, January – February 2005. PCI, United States.
- „Usine entreprise“ (Factory business) no. 3031, November 2004. Brussels, Belgium.
- WELLINGTON LIFELINES GROUP (2002). Fire following earthquake: identifying key issues for New Zealand. Wellington Lifelines Group, Wellington, New Zealand. 41 pp.

SPIS TREŚCI

1. BETON ZAPEWNIĄ PEŁNĄ OCHRONĘ PRZECIWPÓŻAROWĄ	3
Kompleksowe podejście	4
2. WŁAŚCIWOŚCI BETONU W WARUNKACH POŻAROWYCH	7
Beton jest niepalny	7
Beton jest materiałem ochronnym.....	8
Odpryskiwanie betonu	9
Beton zapewnia skuteczność przegród ogniowych	10
Beton łatwiej naprawić po pożarze	11
<i>Analiza przypadku 1</i>	
<i>Pożar wieżowca we Frankfurcie w Niemczech (1973).....</i>	11
3. PROJEKTOWANE KONSTRUKCJE Z BETONU Z UWAGI NA BEZPIECZEŃSTWO POŻAROWE.....	13
Projektowanie bezpiecznych pożarowo budynków	13
<i>Analiza przypadku 2</i>	
<i>Badania ogniowe w pełnej skali w szkieletowym budynku z betonu</i>	16
Stosowanie Eurokodu 2	16
4. OCHRONA OSÓB	18
Konstrukcje betonowe zachowują nośność podczas pożaru	18
<i>Analiza przypadku 3</i>	
<i>Windsor Tower, Madryt, Hiszpania (2005).....</i>	19
Beton zapewnia bezpieczną ewakuację i gaszenie pożaru	22
<i>Analiza przypadku 4</i>	
<i>Budynki World Trade Centre, Nowy Jork (2001)</i>	23
<i>Analiza przypadku 5</i>	
<i>Zwiększenie bezpieczeństwa pożarowego w tunelach</i>	24
Beton zapobiega skażeniu środowiska	27
Bezpieczeństwo pożarowe budynków mieszkalnych	27
<i>Analiza przypadku 6</i>	
<i>Pożar budynku drewnianego, Colindale, Londyn (2006).....</i>	30
Beton zapobiega rozprzestrzenianiu się ognia po trzęsieniach ziemi	31
5. OCHRONA MIENIA I HANDLU.....	32
Beton chroni przed i po pożarze	32
Beton zapewnia bezpłatną ochronę przeciwpożarową	33

Niższe składki ubezpieczeniowe przy zastosowaniu betonu	34
<i>Analiza przypadku 7</i>	
<i>Składki ubezpieczeniowe dla magazynów we Francji.....</i>	35
<i>Analiza przypadku 8</i>	
<i>Zniszczenie rzeźni w Bordeaux (1997).....</i>	36
<i>Analiza przypadku 9</i>	
<i>Pożar w magazynie odzieżowym w Marsylii (1996)</i>	37
Beton pomaga strażakom ratować mienie	37
<i>Analiza przypadku 10</i>	
<i>Międzynarodowy rynek kwiatów, Rungis, Paryż (2003)</i>	39
6. BETON A INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA POŻAROWEGO	40
W jaki sposób działa inżynieria bezpieczeństwa pożarowego ..	40
Inżynieria bezpieczeństwa pożarowego w praktyce	41
7. DODATKOWE KORZYŚCI Z BETONU	44
LITERATURA	45

ISBN: 978-83-913152-8-6



www.polskicement.pl