

Opiniodawca prof. dr inż. **Władysław Bogucki**  
Redaktor mgr inż. **Andrzej Staniszewski**

Praca dotyczy projektowania konstrukcji budowlanych: stalowych, betonowych i drewnianych na wymaganą odporność ogniową. Scharakteryzowano stany graniczne konstrukcji w warunkach pożaru i omówiono właściwości materiałów w wysokiej temperaturze, dające podstawę do obliczeń odporności ogniowej konstrukcji. Podano zasady obliczeń odporności ogniowej konstrukcji i zalecenia projektowe. Praca jest bogato ilustrowana. Jest ona przeznaczona dla inżynierów – projektantów konstrukcji, a ponadto może też być wykorzystana przez studentów i pracowników wyższych uczelni.

Przytoczone w pracy Polskie Normy są aktualne w chwili druku. Należy sprawdzić ich aktualność przed stosowaniem.

The work deals with design of building structures of steel, concrete and timber for required fire resistance. The limit states of structures in case of fire have been characterized as well as the high temperature properties of materials, giving the basis for calculating the fire resistance of structures, have been described.

The calculation principles and design recommendations were discussed too. The work is fully illustrated. It is designed for structural engineers, it may also be used by students and technical university lecturers.

Книга посвящена проектированию строительных конструкций: стальных, бетонных и деревянных на требуемую огнестойкость. Охарактеризованы предельные состояния конструкций в условиях пожара и обговорены высокотемпературные свойства материалов как основа расчетов огнестойкости конструкций. Излагаются принципы расчетов огнестойкости и проектные указания. Книга предназначена на инженеров-проектантов конструкций, но ней могут пользоваться тоже студенты и преподаватели политехнических институтов.

© Copyright by Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 1988

Okładkę, wyklejki i stronę tytułową projektował  
**Piotr Jaworowski**

Redaktor techniczny **Bogumila Sajek**

Korekta techniczna **Maria Witzak**

Tytuł dotowany przez Ministra Edukacji Narodowej

Arkady, Warszawa 1988. Wydanie I.  
Format B5. Nakład 3180 egz. Ark. wyd. 18,4  
Ark. druk. 14,5 (19,29/A). Oddano do składania IX.1987 r.  
Podpisano do druku X.1988 r. Druk ukończono w XII.1988 r.  
Symbol BI/21757. Cena zł. 480,- U-50  
Drukarnia im. Rewolucji Październikowej w Warszawie  
Zam. 4933/11/87.

ISBN 83-213-3376-1

## Spis treści

|  |    |
|--|----|
| <b>Wykaz ważniejszych oznaczeń</b> . . . . .   | 7  |
| <b>Wstęp</b> ( <i>M. Kosiorek, J.A. Pogorzelski</i> ) . . . . .  | 9  |
| <b>1. Podstawy bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji budowlanych</b> ( <i>M. Kosiorek, J.A. Pogorzelski</i> ) . . . . .                            | 13 |
| 1.1. Przebieg pożaru w pomieszczeniu . . . . .   | 13 |
| 1.1.1. Charakterystyka ogólna . . . . .  | 13 |
| 1.1.2. Przebieg pożaru w II i III fazie . . . . .  | 15 |
| 1.1.3. Oszacowanie temperatury pożaru wg zaleceń CEB . . . . .   | 18 |
| 1.1.4. Równoważny czas trwania pożaru . . . . .  | 25 |
| 1.2. Normowe badania odporności ogniowej . . . . .   | 27 |
| 1.3. Stany graniczne z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe . . . . .  | 31 |
| 1.4. Bezpieczeństwo pożarowe konstrukcji . . . . .   | 34 |
| 1.4.1. Obliczeniowe metody oceny zachowania się konstrukcji w pożarze . . . . .  | 34 |
| 1.4.2. Działanie pożaru wg norm krajowych . . . . .  | 36 |
| 1.4.3. Działanie pożaru wg badań własnych i literatury . . . . .   | 39 |
| 1.4.4. Zasady ustalania obciążeń w obliczeniach i badaniach odporności ogniowej . . . . .  | 43 |
| 1.4.5. Zasady ustalania obliczeniowych parametrów materiałów . . . . .   | 44 |
| <b>2. Właściwości fizyczno-mechaniczne materiałów budowlanych w warunkach pożaru</b> ( <i>M. Kosiorek, K. Pilich, J.A. Pogorzelski</i> ) . . . . . | 46 |
| 2.1. Wprowadzenie . . . . .  | 46 |
| 2.2. Właściwości stali w podwyższonej temperaturze . . . . .   | 47 |
| 2.2.1. Właściwości mechaniczne . . . . .   | 47 |
| 2.2.2. Wpływ jednokrotnego wygrzania stali na jej właściwości mechaniczne w temperaturze 20°C . . . . .  | 55 |
| 2.2.3. Zależności „naprężenia-odkształcenia” . . . . .   | 56 |
| 2.2.4. Właściwości reologiczne . . . . .   | 59 |
| 2.2.5. Rozszerzalność termiczna . . . . .  | 63 |
| 2.3. Właściwości betonów w podwyższonej temperaturze . . . . .   | 64 |
| 2.3.1. Metody badań . . . . .  | 64 |
| 2.3.2. Badania metodami analizy termicznej . . . . .   | 66 |
| 2.3.3. Wytrzymałość na ściskanie . . . . .   | 68 |
| 2.3.4. Wytrzymałość na rozciąganie . . . . .   | 72 |
| 2.3.5. Odształcalność . . . . .  | 72 |
| 2.3.6. Relaksacja termiczna . . . . .  | 77 |
| 2.4. Właściwości drewna w podwyższonej temperaturze . . . . .  | 78 |
| 2.4.1. Piroliza drewna . . . . .   | 78 |
| 2.4.2. Właściwości mechaniczne . . . . .   | 81 |

|  |     |
|--|-----|
| 2.5. Właściwości termiczne materiałów budowlanych w podwyższonej temperaturze                    | 83  |
| 2.5.1. Przewodność cieplna materiałów  | 84  |
| 2.5.2. Ciepło właściwe materiałów  | 88  |
| <b>3. Pola temperatury w elementach konstrukcji (J.A. Pogorzelski, Z. Twardowska)</b>            | 90  |
| 3.1. Wprowadzenie  | 90  |
| 3.2. Pola temperatury w nieosłoniętych elementach konstrukcji stalowych                          | 93  |
| 3.3. Pola temperatury w osłoniętych elementach konstrukcji stalowych                             | 101 |
| 3.4. Pola temperatury w elementach konstrukcji betonowych  | 110 |
| <b>4. Odporność ogniowa konstrukcji stalowych (M. Kosiorek, J.A. Pogorzelski, Z. Twardowska)</b> | 120 |
| 4.1. Założenia metod obliczeniowych  | 120 |
| 4.2. Stan graniczny nośności elementów rozciąganych  | 122 |
| 4.3. Stan graniczny nośności elementów ściskanych  | 123 |
| 4.3.1. Charakterystyka wyników badań słupów w podwyższonej temperaturze                          | 123 |
| 4.3.2. Obliczenie elementów ściskanych w podwyższonej temperaturze                               | 129 |
| 4.4. Stan graniczny nośności elementów zginanych   | 133 |
| 4.4.1. Kryteria oceny stanu granicznego  | 133 |
| 4.4.2. Określanie temperatury krytycznej   | 140 |
| 4.5. Zabezpieczenia ogniochronne konstrukcji   | 141 |
| 4.5.1. Charakterystyka ogólna  | 141 |
| 4.5.2. Zabezpieczenia ogniochronne farbami pęczniejącymi   | 145 |
| 4.5.3. Osłony ogniochronne z materiałów płytowych  | 150 |
| 4.5.4. Ogniochronne izolacje natryskowe i tynki  | 156 |
| 4.5.5. Ogniochronne sufity podwieszane   | 161 |
| 4.5.6. Zasady doboru zabezpieczeń ogniochronnych konstrukcji                                     | 163 |
| <b>5. Odporność ogniowa konstrukcji żelbetowych (M. Kosiorek, K. Pilich)</b>                     | 167 |
| 5.1. Mechanizmy zniszczenia konstrukcji w warunkach pożaru                                       | 167 |
| 5.1.1. Zniszczenie powierzchni elementów   | 167 |
| 5.1.2. Praca elementów i konstrukcji w podwyższonej temperaturze                                 | 173 |
| 5.2. Analityczna ocena odporności ogniowej   | 182 |
| 5.2.1. Charakterystyka ogólna  | 182 |
| 5.2.2. Elementy statycznie wyznaczalne   | 185 |
| 5.2.3. Belki ciągłe  | 191 |
| 5.3. Zalecenia konstrukcyjne   | 193 |
| <b>6. Odporność ogniowa konstrukcji drewnianych (M. Kosiorek, K. Pilich, J.A. Pogorzelski)</b>   | 201 |
| 6.1. Specyfika konstrukcji drewnianych   | 201 |
| 6.2. Odporność ogniowa ustrojów prętowych  | 202 |
| 6.3. Analityczna ocena odporności ogniowej   | 206 |
| 6.3.1. Parametry projektowe przyjmowane do obliczeń  | 206 |
| 6.3.2. Elementy zginane  | 210 |
| 6.3.3. Elementy ściskane   | 211 |
| 6.3.4. Elementy rozciągane   | 216 |
| 6.4. Zalecenia konstrukcyjne dla ustrojów prętowych  | 217 |
| 6.5. Odporność ogniowa przegród  | 220 |
| 6.5.1. Czynniki warunkujące odporność ogniową przegród   | 220 |
| 6.5.2. Odporność ogniowa ścian   | 222 |
| 6.5.3. Odporność ogniowa stropów   | 224 |
| Wykaz piśmiennictwa  | 227 |

## Wykaz ważniejszych oznaczeń

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| $A, A_t$                       | – pola powierzchni, odpowiednio otworów drzwiowych i okiennych, przegród otaczających pomieszczenie wraz z otworami, m <sup>2</sup>                                      |
| $B$                            | – szerokość przekroju poprzecznego belki drewnianej w temperaturze 20°C, m   |
| $E, E_0, E_s, E_{ig}$          | – współczynniki sprężystości stali w temperaturze 20°C, odpowiednio: współczynnik sprężystości, początkowy współczynnik, styczny współczynnik, sieczny współczynnik, MPa |
| $E^T, E_0^T, E_s^T, E_{ig}^T$  | – współczynniki sprężystości stali w temperaturze $T$ , odpowiednio: współczynnik sprężystości, początkowy współczynnik, styczny współczynnik, sieczny współczynnik, MPa |
| $F, F_a, F_{ac}, F_0$          | – pola powierzchni przekroju, odpowiednio: elementu, zbrojenia rozciąganego, zbrojenia ściskanego, belki drewnianej w temperaturze 20°C, m <sup>2</sup>                  |
| $F_a$                          | – obciążenia wyjątkowe, kN   |
| $G$                            | – obciążenie stałe, kN   |
| $G, G^T$                       | – współczynniki odkształceń postaciowych materiału odpowiednio w temperaturze 20°C i w temperaturze $T$ , °C   |
| $G_{ki}$                       | – wartość charakterystyczna obciążeń stałych, kN   |
| $H$                            | – ciepło spalania materiału, J/kg; wysokość przekroju poprzecznego belki drewnianej w temperaturze 20°C, m   |
| $K_v$                          | – wskaźnik ścinania elementu żelbetowego ( $K_v = M/Qh_0$ )  |
| $L$                            | – rozpiętość belki, m; długość słupa, m  |
| $M, M_{gr}, M_{gr}^T$          | – momenty zginające w przekroju, odpowiednio: moment zginający oraz momenty graniczne w temperaturze 20°C i w temperaturze $T$ , Nm                                      |
| $N, N_{gr}^T$                  | – nośność elementu i siła osiowa w słupie, kN; graniczna siła osiowa w temperaturze $T$ , kN   |
| $P, P_{kr}$                    | – obciążenia, odpowiednio: użytkowe lub całkowite, krytyczne w temperaturze 20°C, kN   |
| $Q$                            | – ciepło, J; obciążenie zmienne, kN  |
| $\dot{Q}$                      | – strumień ciepła, J/s   |
| $Q_{ki}, Q_u$                  | – wartość obciążeń, odpowiednio: charakterystycznych zmiennych, eksploatacyjnych, kN   |
| $R, R^T$                       | – charakterystyki mechaniczne materiału, odpowiednio w temperaturze 20°C i w temperaturze $T$  |
| $R_b, R_b^T, R_{bk}, R_{bk}^T$ | – wytrzymałości betonu na ściskanie w temperaturze 20°C i w temperaturze $T$ , odpowiednio obliczeniowa, charakterystyczna, MPa  |
| $R_e, R_e^T$                   | – fizyczne granice plastyczności stali, odpowiednio w temperaturze 20°C i w temperaturze $T$ , MPa   |
| $R_{ke}, R_{km}, R_{kt}$       | – wytrzymałości charakterystyczne drewna w temperaturze 20°C, odpowiednio: na ściskanie wzdłuż włókien, na zginanie, na rozciąganie, MPa                                 |
| $R_m, R_m^T$                   | – wytrzymałości stali na rozciąganie, odpowiednio w temperaturze 20°C i w temperaturze $T$ , MPa   |
| $R_p, R_p^T$                   | – granice plastyczności stali, odpowiednio w temperaturze 20°C i w temperaturze $T$ , MPa  |
| $R_{0,2}, R_{0,2}^T$           | – umowne granice plastyczności stali, odpowiednio w temperaturze 20°C i w temperaturze $T$ , MPa   |
| $R_{0,05}, R_{0,05}^T$         | – umowne granice sprężystości stali, odpowiednio w temperaturze 20°C i w temperaturze $T$ , MPa  |
| $S$                            | – obciążenie śniegiem, N/m <sup>2</sup>  |
| $\dot{T}$                      | – prędkość przyrostu temperatury, °C/s   |