ODPORNOŚĆ OGNIOWA CZĘŚCIOWO ZABEZPIECZONYCH STROPÓW ZESPOLONYCH (FRACOF) – PRZEWODNIK PROJEKTOWANIA

SPIS TREŚCI

	Str. nr
STRESZCZENIE	iii
1 WSTĘP	1
1.1 Krajowe przepisy w Zjednoczonym Królestwie	3
1.2 Krajowe przepisy we Francji	3
2 PODSTAWY PROJEKTOWANIA	5
2.1 Bezpieczeństwo pożarowe	5
2.2 Typy konstrukcji	5
2.3 Strefy projektowe stropów	9
2.4 Kombinacje oddziaływań	10
2.5 Ekspozycja pożarowa	11
3 ZALECENIA DLA ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH	15
3.1 Strefy projektowe stropów	15
3.2 Płyty i belki stropowe	16
3.3 Szczegóły zbrojenia	20
3.4 Projektowanie niezespolonych belek skrajnych	23
3.5 Słupy	24
3.6 Węzły	25
3.7 Stateczność ogólna budynku	28
4 PODZIAŁ NA STREFY POŻAROWE	29
4.1 Belki powyżej ścian o odporności ogniowej	29
4.2 Stateczność	30
4.3 Szczelność i izolacyjność	31
5 PRAKTYCZNY PRZYKŁAD	32
5.1 Projektowanie płyty zespolonej na warunki pożarowe	37
5.2 Szczegóły dotyczące zbrojenia	47
5.3 Projektowanie belek obwodowych na warunki pożarowe	47
5.4 Zabezpieczenie ogniochronne słupów	48
POWOŁANIA	49

STRESZCZENIE

Badania ogniowe w dużej skali prowadzone w wielu krajach oraz obserwacje pożarów rzeczywistych w budynkach pokazały, iż zachowanie w pożarze budynków o konstrukcji zespolonych ram stalowych jest dużo lepsze aniżeli wskazywałyby badania odporności ogniowej pojedynczych elementów. Jest jasne, iż w nowoczesnych stalowych budynkach szkieletowych występują duże rezerwy odporności ogniowej oraz że standardowe badania odporności ogniowej elementów niezamocowanych nie dostarczają zadowalających wskaźników zachowania takich konstrukcji.

Poniższa praca prezentuje przewodnik stosowania uproszczonej metody projektowania, wykorzystanej w oprogramowaniu FRACOF, który został opracowany w wyniku obserwacji i analizy programu badań ogniowych budynków w dużej skali, przeprowadzonego w BRE Cardington w latach 1995 i 1996. Zalecenia mają charakter konserwatywny i są ograniczone do konstrukcji podobnych do zbadanych, tj. budynków o konstrukcji nieprzechyłowych ram stalowych ze stropami zespolonymi. Przewodnik pozwala projektantom analizować zachowanie całych budynków oraz pozwala ustalać, które elementy mogą pozostać niezabezpieczone przy równoczesnym utrzymaniu poziomu bezpieczeństwa równoważnego poziomowi ustalonemu metodami tradycyjnymi.

Biorąc pod uwagę, iż wielu inżynierów bezpieczeństwa pożarowego uwzględnia obecnie pożary naturalne, w pracy uwzględniono równolegle z modelem pożaru standardowego, model pożaru naturalnego. Obydwa modele są wyrażone w Eurokodzie 1 w formie krzywych temperatura – czas.

Dodatkowo, w stosunku do przewodnika projektowania zawartego w tej publikacji, opracowany został oddzielny dokument Podstawy Inżynierskie, który przedstawia szczegóły badań ogniowych i analizy metodą elementów skończonych, przeprowadzone w ramach projektu FRACOF oraz szczegóły badań w Cardington, przeprowadzonych w 8-kondygnacyjnym budynku. Dokument Podstawy Inżynierskie pomoże czytelnikowi zrozumieć podstawy zaleceń projektowych podanych w niniejszej pracy.

1 WSTĘP

Zalecenia projektowe podane w pracy są oparte na zachowaniu zespolonych płyt stropowych obserwowanym w rzeczywistych pożarach budynków oraz w badaniach w pełnej skali[1,2,3]. Zalecenia mają konserwatywny charakter i można je traktować, jako równoważne zaawansowanym metodom podanym w Eurokodach.

W stosunku do elementów wielokondygnacyjnych budynków, w krajowych przepisach budowlanych stawiane są wymagania w zakresie odporności ogniowej. Odporność ogniowa może być ustalona na podstawie standardowych badań odporności ogniowej lub obliczeń zgodnych z uznanymi normami, szczególnie EN1991-1-2[4], EN 1993-1-2[5] i EN 1994-1-2[6]. W standardowych badaniach ogniowych pojedyncze, izolowane i niezabezpieczone belki z profili I lub H, mogą uzyskać tylko 15 do 20 minut odporności ogniowej. Dlatego stało się powszechną praktyką zabezpieczanie stalowych belek i słupów przy użyciu ogniochronnych płyt, natrysków albo powłok pęczniejących, lub też w przypadku stropów o małej grubości albo o konstrukcji z kątowników, poprzez zabetonowanie elementów konstrukcyjnych w stropie.

Badania pożarów naturalnych w dużej skali[7] przeprowadzone w wielu krajach jasno pokazały, że zachowanie stropów zespolonych z niezabezpieczonymi elementami stalowymi jest znacznie lepsze niż wskazują wyniki standardowych badań pojedynczych elementów. Dane pochodzące z pożarów rzeczywistych wskazują, iż w szeregu przypadkach stosowana jest nadmierna ilość zabezpieczeń. Szczególnie badania ogniowe w Cardington dały możliwość zbadania zachowania konstrukcji rzeczywistych w pożarze oraz oceny odporności ogniowej niezabezpieczonych konstrukcji zespolonych w warunkach rzeczywistych.

Ponieważ zalecenia projektowe podane w pracy odnoszą sie do ogółu pożarów strefowych, mogą w prosty sposób być wykorzystywane w warunkach pożaru standardowego, jak pokazano w przeprowadzonym w ramach projektu FRACOF badaniu stropu w skali naturalnej. Jest oczywiste, iż taka możliwość daje ogromną korzyść inżynierom przy projektowaniu na warunki pożarowe wielokondygnacyjnych budynków stalowych.

Jeżeli krajowe przepisy budowlane pozwalają na projektowanie budynków na warunki pożarowe zgodnie z metodami opartymi na właściwościach użytkowych, metoda projektowania podana w przewodniku może być stosowana w celu wykazania odporności ogniowej konstrukcji bez zabezpieczenia. W niektórych krajach takie podejście może wymagać specjalnej zgody krajowych władz budowlanych.

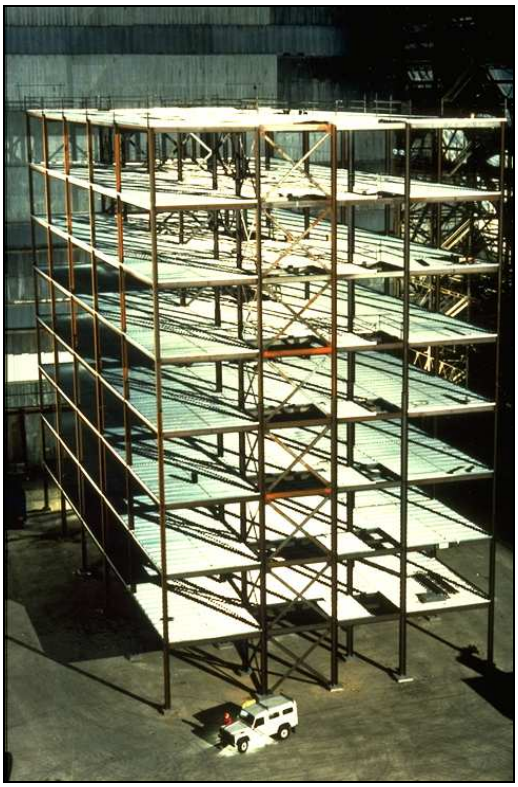
Zalecenia podane w pracy można postrzegać jako poszerzenie zasad inżynierii pożarowej dziedzinę obszarze właściwości konstrukcyjnych oraz jako rozwinięcie koncepcji projektowania z uwagi na warunki bezpieczeństwa pożarowego. Jest celowym zamierzeniem, aby projekty realizowane zgodnie z podanymi zaleceniami, zapewniały przynajmniej ten poziom bezpieczeństwa

który jest wymagany przez krajowe przepisy, prowadząc równocześnie do redukcji kosztów budowy.

Dodatkowo, w stosunku do odporności ogniowej dla standardowej krzywej temperatura – czas, zostają przedstawione zalecenia dla budynków zaprojektowanych na warunki pożaru naturalnego. Pożar naturalny może być zdefiniowany w oprogramowaniu FRACOF przy wykorzystaniu krzywej parametrycznej temperatura – czas, podanej w EN 1991-1-2. Uwzględnia się wielkość strefy, powierzchnie otworów oraz ilość materiałów palnych. Jako alternatywę, oprogramowanie FRACOF dopuszcza wczytywanie krzywych temperatura – czas z pliku tekstowego, pozwalając na wykorzystywanie wyników z innych modeli pożarów.

Zalecenia dotyczą ram zespolonych, zasadniczo podobnych do ośmio-kondygnacyjnego budynku badanego w Cardington, przedstawionego na Rys. 1.1. i Rys. 1.2.

Przedstawiane zalecenia projektowe stanowią przewodnik dla użytkowników oprogramowania FRACOF, dostępnego do bezpłatnegoezpłatnego pobrania ze strony *www.arcelormittal.com/sections*.



Rys. 1.1 Budynek badawczy Cardington przed zabetonowaniem stropów

Rys. 1.2 Widok niezabezpieczonej konstrukcji stalowej

1.1 Krajowe przepisy w Zjednoczonym Królestwie

Przepisy budowlane w Anglii i Walii uległy zmianie w roku 1991, przechodząc od zasad nakazowych do zasad opartych na właściwościach użytkowych. Wymaganie ustawowe mówi „Budynek powinien zostać zaprojektowany i wzniesiony w taki sposób, aby w przypadku pożaru jego nośność została zachowana przez rozsądny okres czasu." Zatwierdzony Dokument B[(8)] podaje praktyczny przewodnik dotyczący wymagania ustawowego i stwierdza „Podejście oparte na inżynierii bezpieczeństwa pożarowego, uwzględniające łącznie wszystkie środki bezpieczeństwa pożarowego, może stanowić alternatywne podejście do bezpieczeństwa pożarowego."

Przepisy w Szkocji i przepisy w Północnej Irlandii zostały ostatnio zmienione i obecnie, podobnie jak Zatwierdzony Dokument B, opierają się na „rozsądku" zezwalając na stosowanie podejścia opartego na inżynierii bezpieczeństwa pożarowego.

1.2 Krajowe przepisy we Francji

Francuskie przepisy w zakresie odporności ogniowej wprowadziły w roku 2004 wymagania oparte na właściwościach użytkowych, jako dodatek do wymagań nakazowych. Ustawowe wymaganie stwierdza, że *konstrukcja budowlana powinna być zaprojektowana i wzniesiona w taki sposób, że w przypadku pożaru jej stateczność będzie zachowana przez cały czas trwania pożaru pod warunkiem zastosowania scenariusza rzeczywistego.* Rozporządzenie Ministerialne z 21 marca 2004 podaje praktyczne wytyczne w odniesieniu do wymagania ustawowego i stwierdza, że podejście do odporności ogniowej oparte na inżynierii bezpieczeństwa pożarowego, które uwzględnia pożar naturalny może stanowić uprawnioną alternatywę pod warunkiem, że

- scenariusz pożarowy został zaakceptowany przez komisję bezpieczeństwa pożarowego,
- uprawnione laboratorium dokonało sprawdzenia analizy w zakresie inżynierii bezpieczeństwa pożarowego,
- w indywidualnej dokumentacji zostaną zapisane określone warunki dotyczące przyszłej eksploatacji budynku.

2 PODSTAWY PROJEKTOWANIA

Poniższy Rozdział podaje przegląd zasad i założeń leżących u podstaw opracowania uproszczonej metody projektowania; bardziej szczegółowe informacje zostały podane w towarzyszącym dokumencie Podstawy Inżynierskie[7]. Scharakteryzowano także typy konstrukcji, których dotyczy przewodnik projektowania.

Przewodnik projektowania został opracowany na podstawie wyników badań ogniowych, badań w temperaturze normalnej oraz analizy metodą elementów skończonych.

2.1 Bezpieczeństwo pożarowe

Zalecenia projektowe zawarte w uproszczonej metodzie projektowania, zostały opracowane w taki sposób, aby spełnić podstawowe wymagania bezpieczeństwa pożarowego:

- W stosunku do stanu obecnego, nie może wystąpić wzrost ryzyka dla życia mieszkańców, ekip gaśniczych oraz osób przebywających w pobliżu budynku
- Na kondygnacji objętej pożarem nie mogą wystąpić nadmierne deformacje mogące spowodować zmiany stref pożarowych. Oznacza to, że pożar będzie zlokalizowany w strefie, w której powstał i nie ulegnie rozprzestrzenieniu poza tę strefę ani w poziomie ani w pionie.

2.2 Typy konstrukcji

Wytyczne podane w uproszczonej metodzie projektowania można stosować tylko do stalowych budynków szkieletowych z zespolonymi belkami i płytami stropowymi, spełniających następujące warunki:

- stężone ramy nie ulegają wyboczeniu przy przechyłach bocznych,
- ramy o połączeniach zaprojektowanych wg prostych modeli węzłów,
- zespolone płyty stropowe zawierające podkład stalowy, pojedynczą warstwę siatki zbrojeniowej oraz beton zwykły lub lekki, zaprojektowane zgodnie z EN 1994-1-1[9],
- belki stropowe zaprojektowane jako zespolone ze stropem zgodnie z EN 1994-1-1.

Wytyczne **nie mogą** być stosowane do:

- stropów wykonanych z prefabrykowanych płyt stropowych,
- belek wewnętrznych zaprojektowanych jako niezespolone ze stropem (belki skrajne stropu mogą być niezespolone),
- belek z otworami użytkowymi.

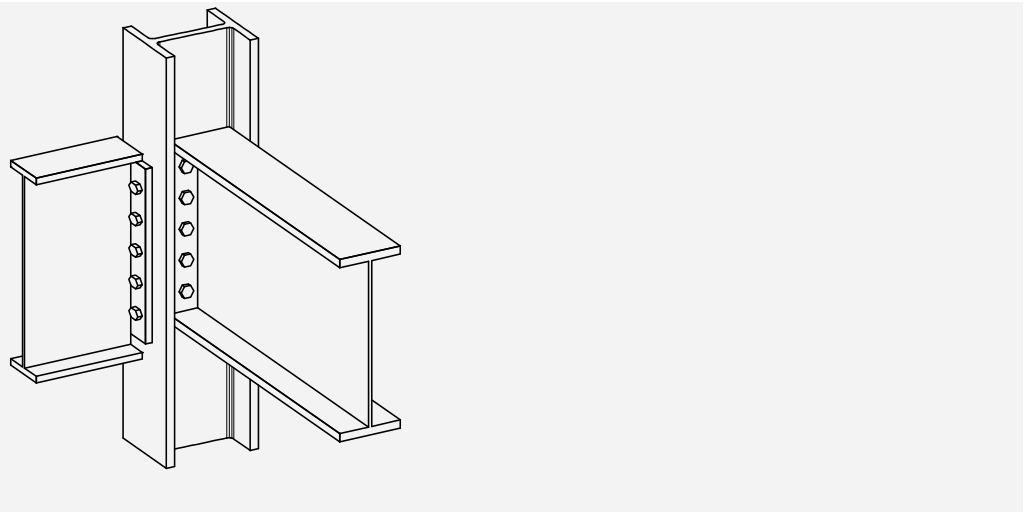
2.2.1 Proste modele połączeń

Modele połączeń wykorzystywane w wytycznych zakładają, że momenty zginające nie są przenoszone przez połączenie. Połączenia te są znane pod nazwą „prostych”.

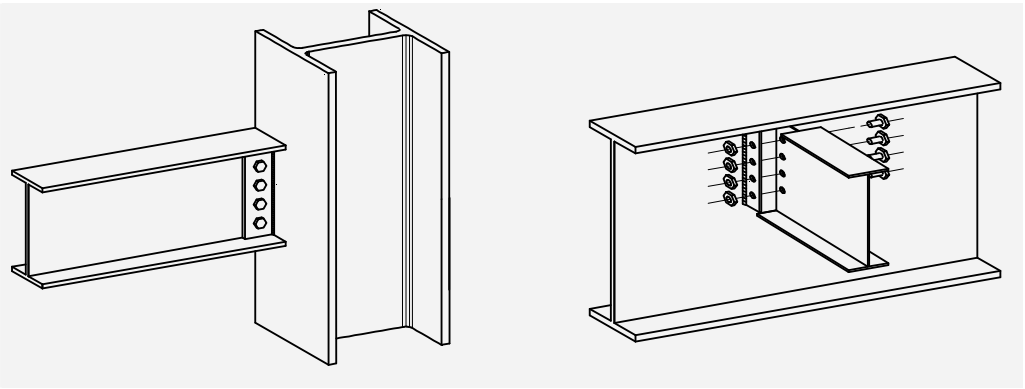
Połączenia belek ze słupami, które mogą być uważane za “proste”, zawierają następujące elementy składowe:

- Podatne blachy czołowe (Rys. 2.1)
- Blachy zakładkowe (Rys. 2.2)
- Nakładki z kątowników (Rys. 2.3)

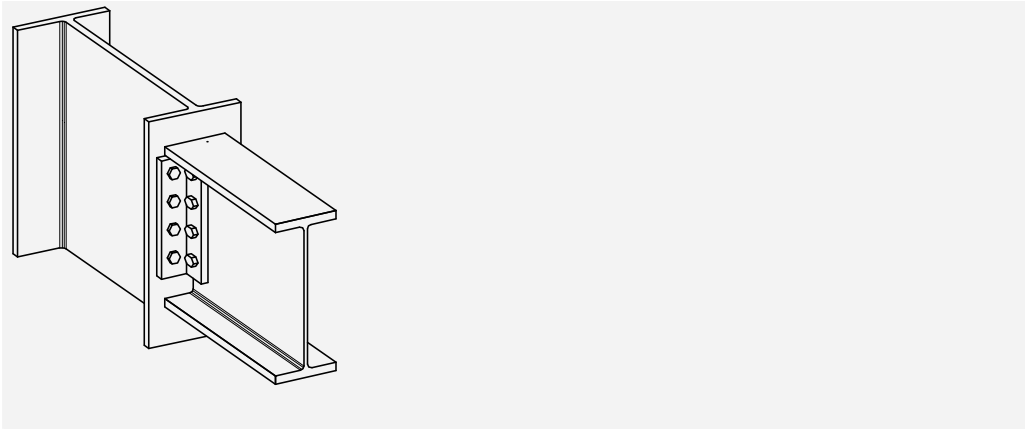
Dalsze informacje dotyczące projektowania elementów składowych “prostych” połączeń podano w Rozdziale 3.6.



Rys. 2.1 Przykład węzła z połączeniami na podatne blachy czołowe



Rys. 2.2 Przykłady węzłów z połączeniami na blachy zakładkowe



Rys. 2.3 Przykład węzła z nakładkami z kątowników

2.2.2 Płyty i belki stropowe

Zalecenia projektowe podane w niniejszych wytycznych można stosować do deskowań z blach profilowych o wysokości do 80 mm przy grubości betonu powyżej deskowania od 60 do 90 mm. Nośność deskowania stalowego jest pomijana w metodzie projektowania na warunki pożarowe, lecz jego obecność zapobiega odpryskiwaniu betonu na spodniej stronie płyty stropowej. Ten rodzaj konstrukcji stropu pokazano na Rys. 2.4.

Metoda projektowania może być stosowana zarówno dla izotropowych jak i ortotropowych siatek zbrojeniowych, tj. siatek o jednakowych lub innych powierzchniach przekroju w kierunkach prostopadłych. Gatunek stali siatek zbrojeniowych należy określać zgodnie z EN 10080. Ponieważ metoda projektowania wymaga stosowania stali ciągliwej w celu umożliwienia dużych przemieszczeń płyt, należy stosować stal Klasy B lub Klasy C. Oprogramowanie FRACOF może być stosowane tylko w przypadku zgrzewanych siatek zbrojeniowych i nie uwzględnia więcej niż jednej warstwy zbrojenia. **Nie jest** wymagane stosowanie prętów zbrojenia w żebrach płyt zespolonych.

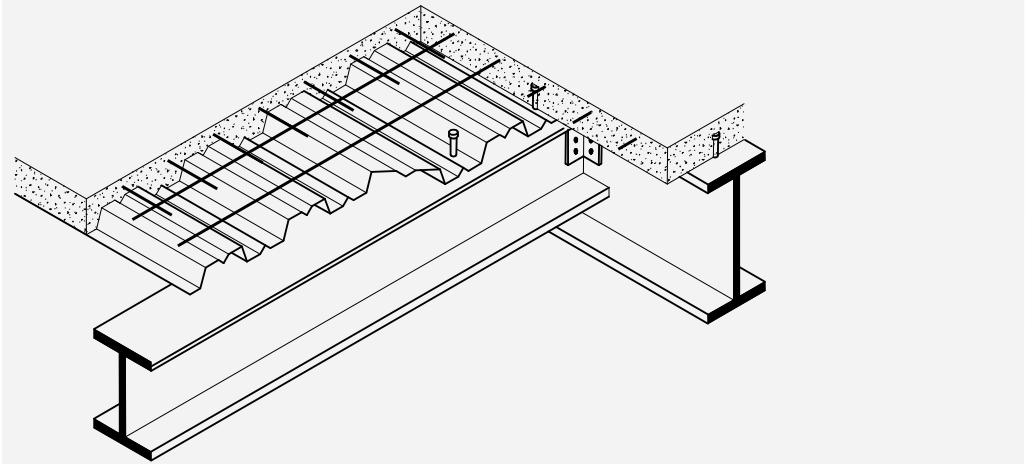
Oprogramowanie uwzględnia stosowanie typowych prefabrykowanych siatek serii A i B wg norm brytyjskich[11,12] (Tablica 2.1) oraz pewnych typów siatek zgodnych z normami francuskimi[13,14] (Tablica 2.2) i powszechnie stosowanych na francuskim rynku budowlanym. Oprogramowanie FRACOF dopuszcza także stosowanie wymiarów zgrzewanego zbrojenia zdefiniowanych przez użytkownika.

Tablica 2.1 Prefabrykowane siatki wg BS 4483[11]

Symbol siatki	Wymiar siatki (mm)	Ciężar (kg/m^2)	Druty podłużne		Druty poprzeczne	
			Wymiar (mm)	Pole (mm^2/m)	Wymiar (mm)	Pole (mm^2/m)
A142	200x200	2.22	6	142	6	142
A193	200x200	3.02	7	193	7	193
A252	200x200	3.95	8	252	8	252
A393	200x200	6.16	10	393	10	393
B196	100x200	3.05	5	196	7	193
B283	100x200	3.73	6	283	7	193
B385	100x200	4.53	7	385	7	193
B503	100x200	5.93	8	503	8	252

Tablica 2.2 Prefabrykowane siatki powszechnie stosowane na rynku francuskim

Symbol siatki	Wymiar siatki (mm)	Ciężar (kg/m^2)	Druty podłużne		Druty poprzeczne	
			Wymiar (mm)	Pole (mm^2/m)	Wymiar (mm)	Pole (mm^2/m)
ST 20	150x300	2.487	6	189	7	128
ST 25	150x300	3.020	7	257	7	128
ST 30	100x300	3.226	6	283	7	128
ST 35	100x300	6.16	7	385	7	128
ST 50	100x300	3.05	8	503	8	168
ST 60	100x300	3.73	9	636	9	254
ST 15 C	200x200	2.22	6	142	6	142
ST 25 C	150x150	4.03	7	257	7	257
ST 40 C	100x100	6.04	7	385	7	385
ST 50 C	100x100	7.90	8	503	8	503
ST 60 C	100x100	9.98	9	636	9	636



Rys. 2.4 Widok przekroju typowego stropu zespolonego

Jest ważne, aby określić wymiary belki stosowanej przy budowie płyty stropowej, ponieważ ma to wpływ na zachowanie płyty w warunkach pożarowych. Dla każdej z belek stropowych, projektant będzie potrzebował szczegółów dotyczących wymiarów, gatunku stali oraz stopnia połączenia na ścinanie. Interfejs oprogramowania FRACOF umożliwia użytkownikowi dokonanie wyboru z predefiniowanej tablicy, zawierającej typowe dwuteowe profile brytyjskie, europejskie oraz amerykańskie.

2.3 Strefy projektowe stropów

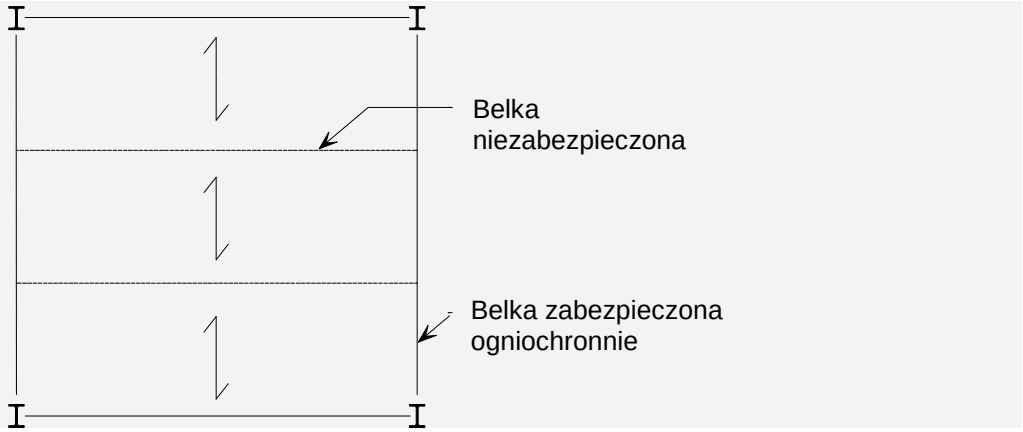
Metoda projektowania wymaga od projektanta wydzielenia w płycie stropowej pewnej liczby stref projektowych, jak pokazano na Rys. 2.5. Belki na obwodzie tych stropowych stref projektowych należy zaprojektować w taki sposób, aby osiągnęły odporność ogniową wymaganą dla płyt stropowych i dlatego zwykle wymagają zabezpieczenia ogniochronnego.

Strefa projektowa stropu powinna spełniać następujące kryteria:

- Każda strefa powinna mieć kształt prostokąta.
- Każda strefa powinna być ograniczona belkami na obwodzie.
- Belki wewnątrz jednej strefy powinny być rozpięte tylko w jednym kierunku
- Wewnątrz strefy projektowej nie powinny znajdować się słupy; mogą być zlokalizowane wzdłuż obwodu strefy projektowej stropu.
- Dla czasów odporności ogniowej przekraczających 60 minut lub w przypadku stosowania parametrycznych krzywych temperatura – czas, słupy powinny zachować ograniczenie przesuwu za pomocą przynajmniej jednej zabezpieczonej ogniochronnie belki w każdym z prostopadłych kierunków.

Wszystkie belki położone wewnątrz strefy mogą pozostać niezabezpieczone, pod warunkiem, iż można wykazać za pomocą oprogramowania FRACOF, że odporność ogniowa strefy projektowej stropu jest odpowiednia. Wymiary oraz rozstaw tych niezabezpieczonych belek nie są krytyczne dla zachowania konstrukcji w warunkach pożarowych.

Przykład pojedynczej strefy projektowej stropu podano na Rys. 2.5.



Rys. 2.5 Przykład strefy projektowej stropu

2.4 Kombinacje oddziaływań

W celu weryfikacji stanu granicznego w warunkach pożaru należy wykorzystywać kombinacje oddziaływań dla wyjątkowych sytuacji projektowych podane w punkcie 6.4.3.3 oraz w Tablicy A1.3 normy EN 1990[15]. Dla przypadku niekorzystnie działających obciążeń stałych oraz braku sił sprężających, rozważana kombinacja obciążeń jest następująca:

$$\sum G_{\mathrm{k},j,\mathrm{sup}} + A_{\mathrm{d}} + (\psi_{1,1} \text{ or } \psi_{2,1})Q_{\mathrm{k},1} + \sum \psi_{2,i} Q_{\mathrm{k},i}$$

Gdzie:

$G_{\mathrm{k},j,\mathrm{sup}}$	Niekorzystnie działające obciążenie stałe
A_{d}	Wiodące oddziaływanie wyjątkowe
$Q_{\mathrm{k},1}$ i $Q_{\mathrm{k},i}$	Obciążenia zmienne, odpowiednio podstawowe i kolejne
$\psi_{1,1}$	Współczynnik dla wartości częstej wiodącego obciążenia zmiennego
$\psi_{2,i}$	Współczynnik dla wartości prawie stałej i-tego obciążenia zmiennego

Stosowanie współczynników $\psi_{1,1}$ lub $\psi_{2,1}$ wraz z $Q_{\mathrm{k},1}$ powinno być określone w odpowiednim Załączniku Krajowym. Aby ustalić, które współczynniki zastosować, należy korzystać z Załącznika Krajowego odpowiedniego dla kraju, w którym wzniesiony zostanie budynek.

Wartości współczynników ψ odnoszą się do kategorii obciążeń zmiennych, z którymi są stosowane. Wartości zalecane w Eurokodzie dla współczynników ψ są podane w Tablicy A1.1 normy EN 1990; wartości te są albo potwierdzane albo zmieniane w odpowiednim Załączniku Krajowym. Wartości współczynników ψ dla budynków w Zjednoczonym Królestwie oraz we Francji podano w Tablicy 2.3. W przypadku stropów o obciążeniu rozłożonym, w punkcie 6.3.1.2(8) normy EN 1991-1-1[16] podano następujące wartości zastępczych obciążeń równomiernie rozłożonych dla przestawnych ścianek działowych:

Przestawne ścianki działowe o ciężarze własnym ≤ 1,0 kN/m długości ściany: q_k = 0,5 kN/m^2

Przestawne ścianki działowe o ciężarze własnym ≤ 2,0 kN/m długości ściany: q_k = 0,8 kN/m^2

Przestawne ścianki działowe o ciężarze własnym ≤ 3,0 kN/m długości ściany: q_k = 1,2 kN/m^2.

Przestawne ścianki działowe o ciężarze własnym większym niż 3,0 kN/m długości należy uwzględniać biorąc pod uwagę ich położenie.

Zalecane przez Eurokod wartości zmiennych obciążeń użytkowych na stropy są podane w Tablicy 6.2 EN 1991-1-1; wartości te również mogą być modyfikowane przez odpowiedni Załącznik Krajowy. W Tablicy 2.4 przedstawiono wartości zalecane wg Eurokodu oraz wartości podane w Załącznikach Krajowych w Zjednoczonym Królestwie oraz we Francji dla obciążeń użytkowych stropów w obiektach biurowych.

Tablica 2.3 Wartości współczynników ψ

Obciążenie	Wartości zalecane przez Eurokod		W.Brytania - wartości wg Zał. Krajowego		Francja - wartości wg Zał. Krajowego	
	ψ_1	ψ_2	ψ_1	ψ_2	ψ_1	ψ_2
Powierzchnia domowa, biurowa oraz ruchu pojazdów, gdzie : 30 kN < ciężar pojazdu ≤ 160 kN	0.5	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3
Powierzchnia magazynowa	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8
Inne*	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6

* Nie uwzględnia się obciążeń klimatycznych

Tablica 2.4 Obciążenie użytkowe stropu w budynku biurowym

Kategoria powierzchni obciążonej	Wartości zalecane przez Eurokod		W.Brytania - wartości wg Zał. Krajowego		Francja - wartości wg Zał. Krajowego	
	q_k (kN/m^2)	Q_k (kN)	q_k (kN/m^2)	Q_k (kN)	q_k (kN/m^2)	Q_k (kN)
B – Powierzchnia biurowa	3.0	4.5	2.5* lub 3.0**	2.7	3.5 – 5.0	15.0

* Powyżej parteru

** Parter lub poniżej parteru

2.5 Ekspozycja pożarowa

Zalecenia podane w uproszczonej metodzie projektowej można stosować do budynków, w których elementy konstrukcyjne są poddawane oddziaływaniom wg standardowej krzywej temperatura - czas lub wg krzywej parametrycznej temperatura – czas, zdefiniowanym w EN 1991-1-2. Można także stosować model zaawansowany w celu ustalenia krzywej temperatura – czas dla scenariusza pożaru naturalnego. Uzyskana krzywa temperatura – czas

może stanowić dane wejściowe do programu FRACOF w formie pliku tekstowego.

We wszystkich przypadkach należy przestrzegać postanowień dotyczących środków ewakuacji zawartych w przepisach krajowych.

2.5.1 Odporność ogniowa

Badania ogniowe w Cardington przeprowadzono wykorzystując zarówno pożary rzeczywiste (‘naturalne’) jak i niestandardowe pożary przy opalaniu gazem. Badania nie były prowadzone w warunkach krzywej standardowej temperatura – czas, która jest wykorzystywana przy określaniu okresów odporności ogniowej podawanych w przepisach krajowych, zatem wartości temperatury rejestrowane w tych badaniach były interpretowane do warunków odpowiadających standardowej krzywej temperatura – czas.

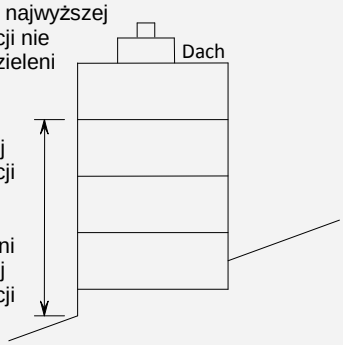
Zalecane czasy odporności ogniowej dla elementów konstrukcyjnych w różnych typach budynków, zawarte w przepisach krajowych, podano w Tablicy 2.5 i Tablicy 2.6. Elementy konstrukcyjne w większości dwukondygnacyjnych budynków wymagają 30 minut odporności ogniowej zaś w większości budynków o wysokości pomiędzy 3 a 6 kondygnacji – 60 minut odporności ogniowej.

Poniższe zalecenia dotyczą budynków, w których elementom konstrukcyjnym stawiane są wymagania co najwyżej 120 minut odporności ogniowej. Przyjmując, iż wymagania te są spełnione, budynki zespolone o konstrukcji ram stalowych zachowają stateczność przez ten czas odporności ogniowej, jeśli w każdej strefie panować będą warunki zgodne ze standardową krzywą temperatura – czas[(1)].

Można uznać, iż wszystkie budynki o konstrukcji zespolonych ram stalowych ze stropami zespolonymi, uzyskują 15 minut odporności ogniowej bez stosowania zabezpieczeń ogniochronnych. W tym przypadku nie obowiązują żadne specjalne zalecenia.

Tablica 2.5 Streszczenie wymagań w zakresie odporności ogniowej zawartych w Zatwierdzonym Dokumencie B dla Anglii i Walii

	Odporność ogniowa (min) w zależności od wysokości najwyższej kondygnacji (m)				
	<5	**≤18**	**≤30**	**>30**	
Mieszkalny (bez funkcji gospodarczych)	30	60	90	120	Wysokość najwyższej kondygnacji nie obejmuje zieleni na dachu
Biurowy	30	60	90	120*	Wysokość najwyższej kondygnacji mierzy się od górnej powierzchni najwyższej kondygnacji do parteru po najniższej stronie budynku
Sklepy, handel, miejsca zebrań, wypoczynek,	30	60	90	120*	
Parkingi zamknięte	30	60	90	120*	
Parkingi otwarte	15	15	15	60	



Dla większości grup Zatwierdzony Dokument B zezwala na redukcję odporności ogniowej z 60 do 30 minut lub z 90 do 60 minut.

* Wymagane są tryskacze, lecz odporność ogniowa stropu może wynosić tylko 90 minut.

Tablica 2.6 Streszczenie wymagań w zakresie odporności ogniowej podanych w Przepisach francuskich

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Mieszkalny (bez funkcji gospodarczych)</td><td>< 2 kondygnacji</td><td colspan="2">2 kondygnacje < … ≤ 4 kondygnacji</td><td>4 kondygnacje < … ≤ 28 m</td><td>28 m < H < 50 m</td><td>> 50 m</td></tr>
<tr><td>R15</td><td colspan="2">R30</td><td>R60</td><td>R90</td><td>R 120</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="3">Parter</td><td>Wysokość najwyższej kondygnacji ≤ 8 m</td><td>Wysokość najwyższej kondygnacji > 8 m</td><td>Wysokość najwyższej kondygnacji > 28 m</td></tr>
<tr><td colspan="2">Biuro[1]</td><td colspan="4">0</td><td>R60</td><td>R 120</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Sklepy, handel, zebrania i wypoczynek</td><td>< 100 osób</td><td colspan="4">0</td><td>R60</td><td rowspan="3">R120</td></tr>
<tr><td>< 1500 osób</td><td colspan="4">R30</td><td>R60</td></tr>
<tr><td>> 1500 osób</td><td colspan="3">R30</td><td>R60</td><td>R90</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">Parter</td><td>> 2 kondygnacje</td><td colspan="3">Wysokość najwyższej kondygnacji > 28 m</td></tr>
<tr><td colspan="2">Parkingi zamknięte</td><td colspan="2" rowspan="2">R30</td><td rowspan="2">R60</td><td colspan="3" rowspan="2">R90</td></tr>
<tr><td colspan="2">Parkingi otwarte</td></tr>
</table>

Uwaga: 1. Biura niedostępne dla osób niezatrudnionych

H jest wysokością najwyższej kondygnacji

2.5.2 Pożar naturalny (krzywa parametryczna temperatura – czas)

Oprogramowanie FRACOF pozwala na uwzględnienie oddziaływania pożaru naturalnego na strop poprzez wykorzystanie krzywej parametrycznej temperatura – czas zgodnej z EN 1991-1-2 Załącznik A[(4)]. Należy zauważyć, że jest to załącznik informacyjny a jego stosowanie może nie być dozwolone

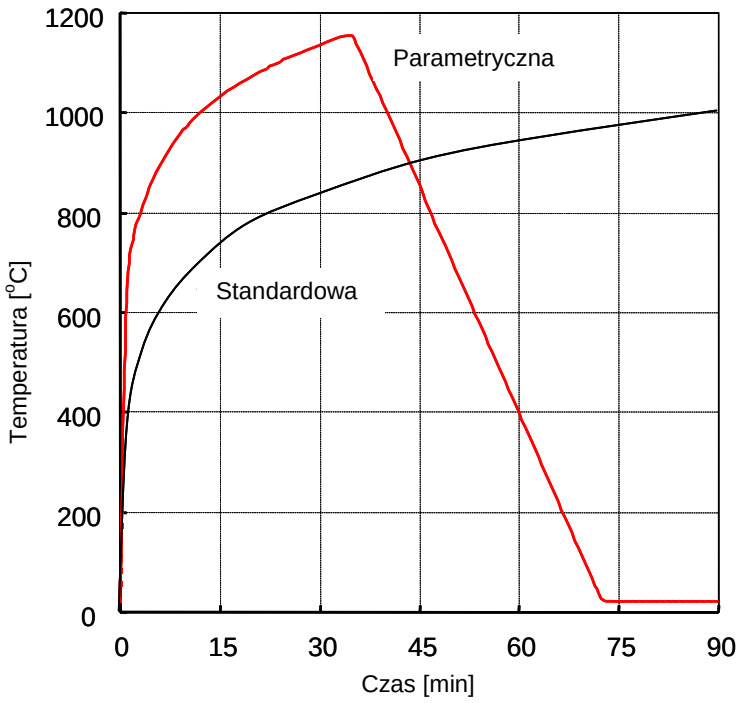
w niektórych krajach europejskich, takich jak Francja. Przed przeprowadzeniem końcowych prac projektowych, projektant powinien dokonać sprawdzenia właściwego Załącznika Krajowego.

Wykorzystując krzywą parametryczną, oprogramowanie definiuje temperaturę w strefie, uwzględniając:

- Rozmiar strefy
  - Długość strefy
  - Szerokość strefy
  - Wysokość strefy
- Wysokość i powierzchnię okien
  - Wysokość okien
  - Długość okien
  - Procent otworów
- Ilość materiałów palnych i ich rozkład w strefie
  - Obciążenie ogniowe
  - Wskaźnik spalania
  - Szybkość spalania
- Właściwości termiczne elementów obudowy strefy

Temperatura pożaru parametrycznego będzie zawsze wzrastać szybciej niż pożaru standardowego we wczesnych fazach, lecz wraz ze spalaniem materiałów palnych temperatura ta będzie gwałtownie spadać. Wzrost temperatury pożaru standardowego postępuje równomiernie w nieskończoność.

Krzywą standardową temperatura – czas oraz typową krzywą parametryczną temperatura – czas pokazano na Rys. 2.6.



Rys. 2.6 Porównanie typowej krzywej parametrycznej oraz krzywej standardowej temperatura – czas.

3 ZALECENIA DLA ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH

3.1 Strefy projektowe stropów

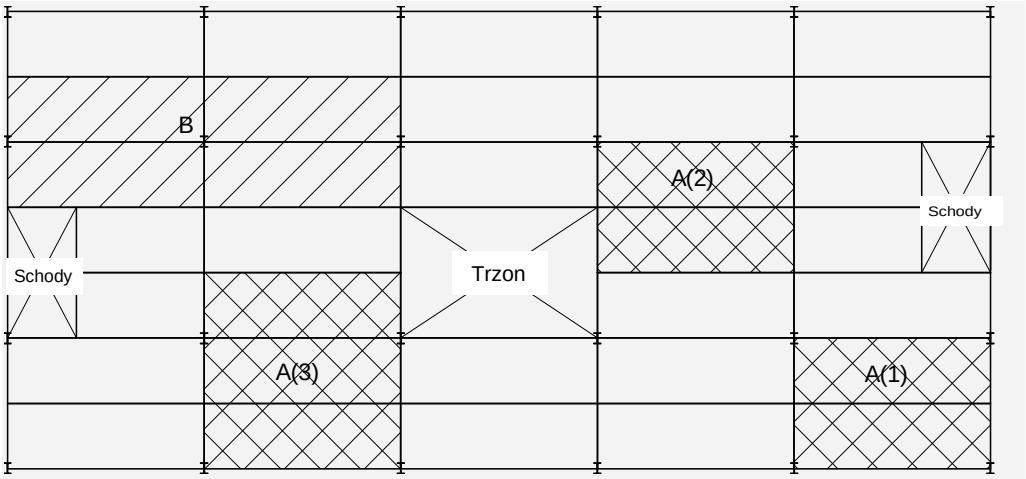
Każdy strop powinien być podzielony na strefy projektowe spełniające kryteria podane w Rozdz. 2.3.

Podział stropu na strefy projektowe pokazano na Rys. 3.1. Strefy oznaczone „A" pozostają w zakresie oprogramowania FRACOF a ich nośność w warunkach pożarowych można ustalić stosując to oprogramowanie. Strefa „B" nie jest objęta zakresem oprogramowania, ponieważ obejmuje słup, zaś belki w strefie nie są rozparte w tym samym kierunku.

Na Rys. 3.2 zilustrowano pojedynczą strefę stropu pokazując oznaczenia belek wykorzystane w oprogramowaniu FRACOF. Przy projektowaniu w warunkach normalnych zakłada się, iż obciążenia stropu są przejmowane przez belki drugorzędne, które z kolei opierają się na belkach głównych.

Przy projektowaniu na warunki pożarowe zakłada się, iż w stanie granicznym pożaru nośność niezabezpieczonych belek wewnętrznych ulega znaczącej redukcji, pozostawiając strop zespolony jako element rozpięty w dwóch kierunkach, swobodnie podparty wzdłuż obwodu. W celu zapewnienia, iż w stropie powstanie oddziaływanie membranowe, oprogramowanie FRACOF oblicza moment przyłożony do każdej belki obwodowej, jako rezultat oddziaływań na strefę projektową stropu. Aby w praktyce utrzymać pionowe podparcie na obwodzie strefy projektowej stropu, oprogramowanie oblicza stopień wykorzystania nośności oraz temperaturę krytyczną belek obwodowych. Zabezpieczenie ogniochronne tych belek należy projektować na podstawie temperatury krytycznej i wymaganego czasu odporności ogniowej dla płyty stropowej zgodnie z przepisami krajowymi. Temperaturę krytyczną i stopień wykorzystania nośności dla każdej z belek obwodowych określa się dla stron A – D strefy projektowej stropu, jak pokazano na Rys. 3.2.

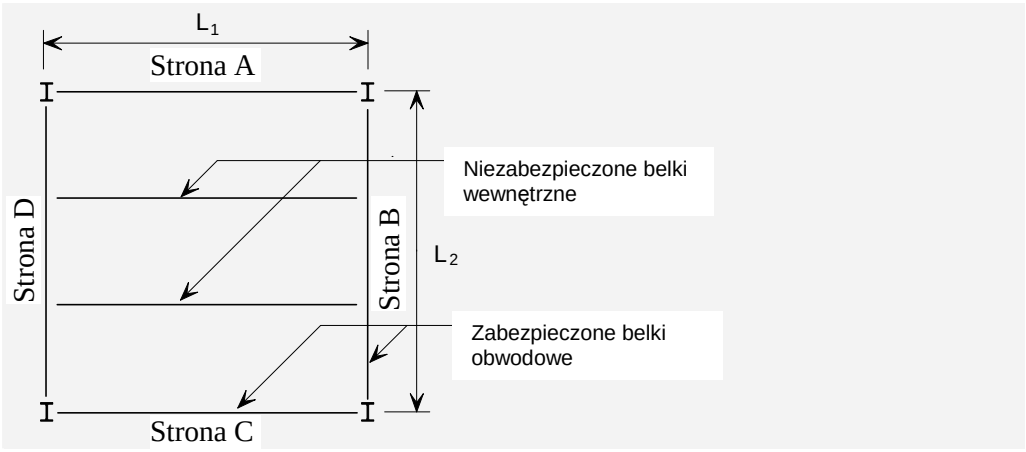
Zgodnie z uwagami w Rozdziale 2.2.2, ograniczenie stosowania oprogramowania FRACOF polega na tym, iż w przypadku odporności ogniowej 60 minut lub więcej, granice strefy powinny pokrywać się z siatką słupów a belki na brzegu wymagają zabezpieczenia ogniochronnego. Dla odporności ogniowej 30 minut ograniczenie to nie obowiązuje, a granice strefy nie muszą przebiegać wzdłuż siatki słupów. Przykładowo, strefy A2 i A3 w Tablicy 3.1 mają słupy tylko w dwóch narożach i można je traktować, jako strefy projektowe stropu wymagającego nie więcej niż 30 minut odporności ogniowej.



Oznaczenia

A: Te strefy można projektować stosując FRACOF
B: Poza zakresem FRACOF
A(1) Dowolny czas odporności ogniowej
A(2) & A(3) jedynie 30 minut odporności ogniowej

Rys. 3.1 Możliwe strefy projektowe stropu



Rys. 3.2 Definicja rozpiętości 1 (L_1) i rozpiętości 2 (L_2) oraz układ belek dla strefy projektowej stropu w budynku o wymaganej odporności ogniowej 60 minut lub więcej.

3.2 Płyty i belki stropowe

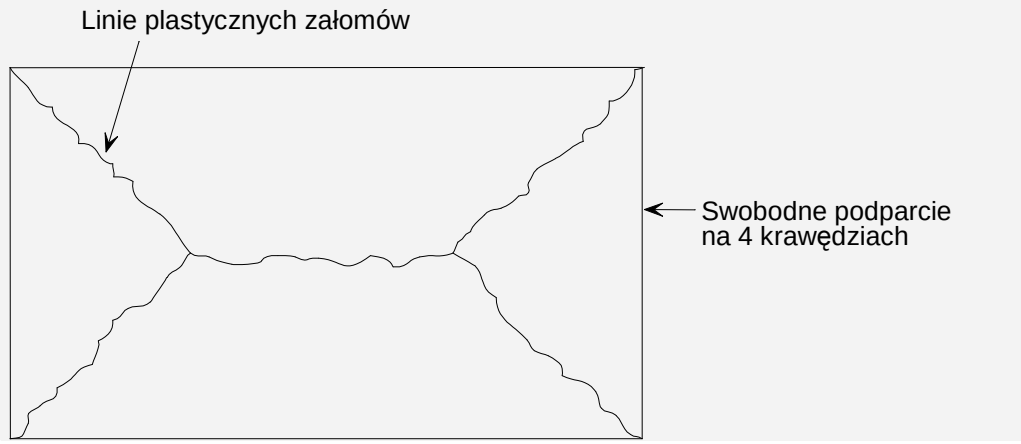
Oprogramowanie FRACOF pozwala obliczać nośność płyt stropowych i niezabezpieczonych belek w stanie granicznym w warunkach pożarowych. Ponieważ uproszczona metoda projektowa zaimplementowana w programie zakłada, iż płyta będzie miała właściwe podparcie wzdłuż obwodu, oprogramowanie, na podstawie nośności strefy projektowej stropu, oblicza także temperaturę krytyczną dla każdej belki obwodowej.

3.2.1 Projektowanie płyty stropowej na warunki pożarowe

Nośność zespolonej płyty stropowej

Obliczając nośność każdej strefy projektowej stropu, wyznacza się oddzielnie nośność płyty zespolonej oraz niezabezpieczonych belek. Zakłada się, iż płyta

nie zachowuje ciągłości wzdłuż obwodu strefy projektowej stropu. Obciążenie, które może być przeniesione przez płytę zespoloną wewnątrz strefy projektowej z uwagi na zginanie, oblicza się na podstawie mechanizmu dolnego oszacowania, przyjmując układ linii plastycznych załomów pokazany na Rys. 3.3.



Rys. 3.3 Układ linii załomów przyjęty w obliczaniach nośności płyty

Nośność obliczana dla mechanizmu dolnego oszacowania ulega podwyższeniu w wyniku uwzględnienia korzystnego efektu rozciągających oddziaływań membranowych przy dużych przemieszczeniach. Ta poprawka wzrasta wraz z ugięciem pionowym płyty aż do zniszczenia spowodowanego zrywaniem zbrojenia wzdłuż kierunku krótkiej rozpiętości, lub zniszczenia przy ściskaniu betonu w narożach płyty, zgodnie z Rys. 3.4. Ponieważ metoda projektowa nie pozwala przewidzieć punktu zniszczenia, ugięcie uwzględniane przy obliczaniu poprawki jest oparte na konserwatywnym oszacowaniu ugięcia płyty, uwzględniającym możliwość powstania termicznej krzywizny płyty oraz odkształcenia zbrojenia, jak pokazano poniżej

$$w = \frac{\alpha(T_2 - T_1)l^2}{19.2h} + \sqrt{\left(\frac{0.5 f_y}{E_a}\right)\frac{3L^2}{8}}$$

Ugięcie spowodowane wydłużeniem zbrojenia jest również ograniczone poprzez wyrażenie

$$w \le \frac{\alpha(T_2 - T_1)l^2}{19.2h} + \frac{l}{30}$$

gdzie

$(T_2 - T_1)$ jest różnicą temperatury pomiędzy górną a dolną powierzchnią płyty

L jest dłuższym wymiarem strefy projektowej stropu

l jest krótszym wymiarem strefy projektowej stropu

f_y jest granicą plastyczności siatki zbrojeniowej

E jest modułem sprężystości stali

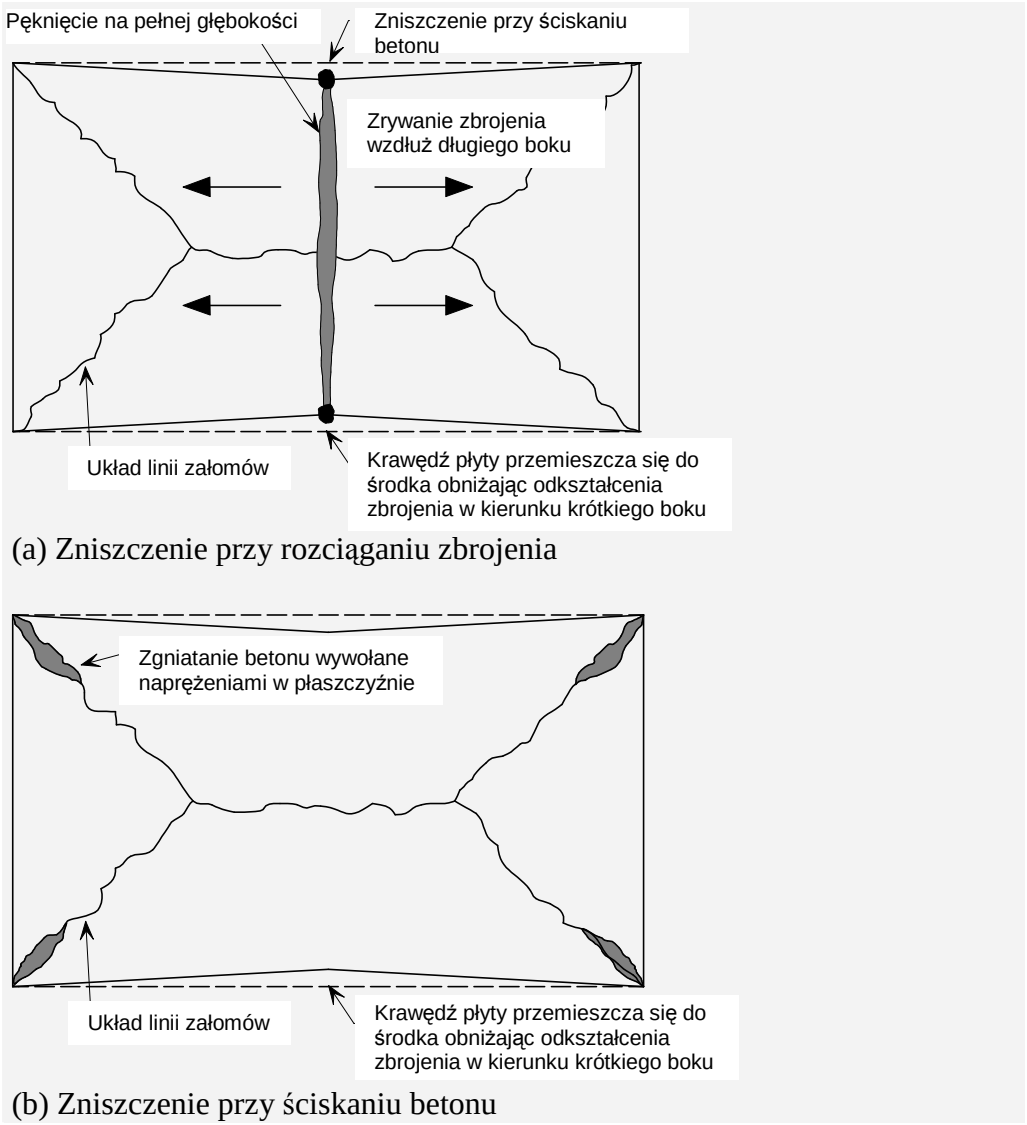
h jest całkowitą grubością płyty zespolonej

α jest współczynnikiem rozszerzalności termicznej betonu

Wszystkie dostępne wyniki badań pokazują, iż podana wartość ugięcia zostanie przekroczona zanim płyta ulegnie zniszczeniu. Stąd wynika, iż nośność przewidywana przez metodę projektową jest bezpieczna w porównaniu z wartością rzeczywistą.

Całkowite ugięcie płyty jest również ograniczone poprzez następujące wyrażenie:

$$w \leq \frac{L+l}{30}$$



Rys. 3.4 Mechanizm zniszczenia spowodowany zrywaniem zbrojenia

W celu ustalenia łącznej nośności całego systemu należy zsumować resztkową nośność na zginanie niezabezpieczonych belek zespolonych z podwyższoną nośnością płyty.

Szczelność i izolacyjność płyty zespolonej

Oprogramowanie FRACOF nie sprawdza bezpośrednio warunków izolacyjności i szczelności płyty. Projektant powinien zapewnić wystarczającą grubość płyty, aby uzyskać zgodność z zaleceniami podanymi w EN1994-1-2.

W celu zapewnienia szczelności płyty zespolonej przez czas trwania pożaru oraz stworzenia warunków do rozwinięcia oddziaływań membranowych, należy zadbać o właściwe ulokowanie i zakłady siatki zbrojeniowej. Jest to szczególnie ważne w obszarze niezabezpieczonych belek oraz wokół słupów. Dalsze informacje na ten temat podano w Rozdz. 3.3.

3.2.2 Projektowanie na warunki pożarowe belek wzdłuż obwodu strefy projektowej stropu

Belki wzdłuż obwodu stref projektowych stropu, oznaczonych jako A do D na Rys. 3.2, powinny uzyskiwać odporność ogniową wymaganą dla płyt stropowych, tak aby zapewnić wymagane pionowe podparcie na obwodzie strefy projektowej stropu. W efekcie, belki te są zwykle zabezpieczane ogniochronnie.

Program FRACOF wyznacza obliczeniowy efekt oddziaływań na belki obwodowe oraz nośność na zginanie belki w temperaturze normalnej w celu obliczenia stopnia wykorzystania nośności dla każdej belki obwodowej. Obliczenia te są zgodne z zaleceniami podanymi w EN 1993-1-2 §4.2.4, jak pokazano poniżej.

$$\mu_0 = \frac{E_{\mathrm{fi,d}}}{R_{\mathrm{fi,d,0}}}$$

gdzie

$E_{\mathrm{fi,d}}$ jest obliczeniowym efektem oddziaływań na belkę w warunkach pożarowych

$R_{\mathrm{fi,d,0}}$ jest obliczeniową nośnością belki w czasie t=0

Po obliczeniu stopnia wykorzystania nośności, oprogramowanie pozwala wyznaczyć temperaturę krytyczną dolnych półek belek obwodowych. Ta temperatura krytyczna jest podawana w zbiorze wyników programu FRACOF w celu wykorzystania przy ustalaniu zabezpieczenia ogniochronnego każdej z belek obwodowych w strefie projektowej stropu. Szczegóły metody obliczeń można znaleźć w opracowaniu Podstawy Inżynierskie FRACOF[7].

W przypadku belek obwodowych położonych pomiędzy dwoma sąsiednimi strefami projektowymi, do projektowania zabezpieczenia ogniochronnego belek obwodowych, należy stosować niższą temperaturę krytyczną spośród wyznaczonych dla przyległych stref projektowych. Metoda projektowania belki obwodowej należącej do dwóch stref projektowych została przedstawiona w Przykładzie w Rozdz. 5.3.1.

Ustalając szczegóły zabezpieczenia ogniochronnego belek obwodowych, dostawca zabezpieczenia musi znać wskaźnik przekroju zabezpieczanego elementu oraz okres wymaganej odporności ogniowej i temperaturę krytyczną elementu. Większość renomowanych producentów dysponuje oceną swojego wyrobu dla wielu temperatur, zgodnie z EN 13381-4[17] dla materiałów nie reaktywnych lub EN 13381-8[18] dla materiałów reaktywnych (pęczniejących). Tablice projektowe zabezpieczeń ogniochronnych, które wiążą wskaźnik przekroju z grubością zabezpieczenia, bazują na pojedynczych wartościach

temperatury przyjmowanej do oceny. Temperatura ta powinna być niższa lub równa temperaturze krytycznej elementu.

3.3 Szczegóły zbrojenia

Granica plastyczności i ciągliwość stali zbrojeniowej powinna być określona zgodnie z wymaganiami EN 10080. Wartość charakterystyczna granicy plastyczności zbrojenia wg EN 10080 będzie wynosić pomiędzy 400 MPa i 600 MPa, w zależności od krajowego rynku. W celu zapewnienia należytej ciągliwości pozwalającej na powstanie oddziaływań membranowych, należy stosować stal Klasy B lub C.

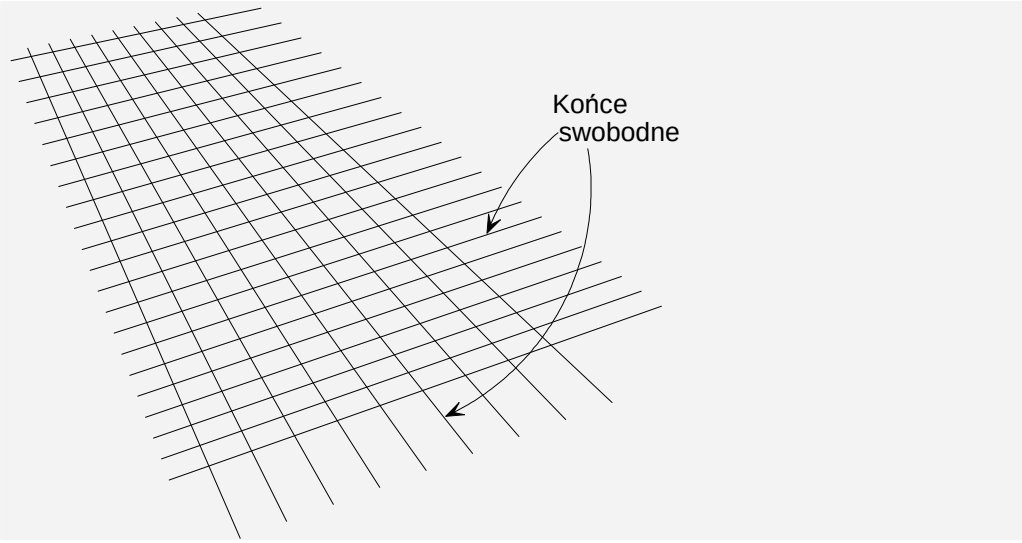
W większości krajów mogą nadal funkcjonować krajowe normy zbrojenia, jako nie sprzeczne informacje uzupełniające (NCCI), ponieważ szeroki zakres gatunków stali nie został uwzględniony w EN 10080.

W płytach zespolonych podstawową funkcją zbrojenia jest zapobieganie pękaniu betonu. Z uwagi na to siatka zbrojenia powinna być umieszczana możliwie blisko powierzchni betonu, przy zachowaniu minimalnej grubości otuliny zbrojenia wymaganej z uwagi na właściwą trwałość zgodnie z EN 1992-1-1[19]. W warunkach pożarowych położenie siatki będzie wpływało na temperaturę siatki oraz ramię sił przy obliczaniu nośności na zginanie. Zwykle uzyskuje się odpowiednie właściwości ogniowe stosując siatkę w odległości 15 ÷ 45 mm poniżej górnej powierzchni betonu.

W Rozdziale 3.3.1 zamieszczono ogólne informacje dotyczące szczegółów zbrojenia. Dalsze wytyczne i informacje można znaleźć w EN 1994-1-1[9] i EN 1994-1-2[6] lub w dokumentach krajowych takich jak podano w pozycji [20].

3.3.1 Szczegóły siatek zbrojeniowych

Typowe wymiary arkuszy siatek zbrojeniowych wynoszą 4,8 m x 2,4 m i dlatego wymagają stosowania zakładów w celu uzyskania ciągłości zbrojenia. Należy zatem określić wystarczający zakład oraz prowadzić odpowiednią kontrolę na budowie w celu zapewnienia realizacji szczegółowych wymagań. Zalecane długości zakładów podano w rozdz. 8.7.5 EN 1992-1-1[19]; można je także ustalać na podstawie Tablicy 3.1. Minimalna długość zakładu siatki zbrojeniowej powinna wynosić 250 mm. Najlepiej, gdy siatka posiada „swobodne końce”, jak pokazano na Rys. 3.5, gdyż unika się nakładania prętów w zakładach. Zawsze lepiej zamawiać ekonomiczne „prefabrykaty gotowe do montażu” aby zmniejszyć odpady.



Rys. 3.5 Siatka o końcach swobodnych

Tablica 3.1 Zalecane długości zakładów rozciąganych oraz zakotwień w siatkach zgrzewanych

Typ zbrojenia	Typ pręta/drutu	Klasa betonu					
		LC 25/28	NC 25/30	LC 28/31	NC 28/35	LC 32/35	NC 32/40
Pręt o średnicy d stal gatunku 500	żebrowany	50d	40d	47d	38d	44d	35d
6 mm druty							
	żebrowany	300	250	300	250	275	250
7 mm druty							
	żebrowany	350	300	350	275	325	250
8 mm druty							
	żebrowany	400	325	400	325	350	300
10 mm druty							
	żebrowany	500	400	475	400	450	350

Uwagi :

Zalecenia można bezpiecznie stosować przy projektowaniu zgodnie z EN 1992-1-1.

Jeśli zakład wypada nad belką a minimalna otulina jest mniejsza niż podwojony rozmiar zbrojenia, długość zakładu należy powiększyć stosując mnożnik 1,4.

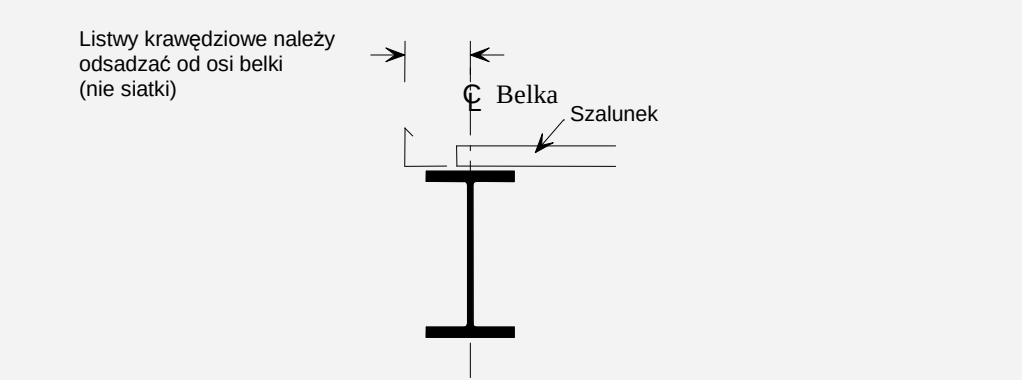
Żebrowane pręty / druty są zdefiniowane w EN 10080.

Minimalna długość zakładu/zakotwienia dla prętów i siatek powinna wynosić odpowiednio 300 mm i 250 mm.

3.3.2 Szczegółowe wymagania dla krawędzi zespolonych płyt stropowych

Szczegóły zbrojenia na krawędzi stropowej płyty zespolonej mają istotny wpływ na pracę belek skrajnych oraz płyty stropowej w warunkach pożarowych. Poniższe wytyczne są oparte na najlepszych praktycznych zaleceniach wykorzystywanych przy projektowaniu i wykonawstwie zespolonych płyt stropowych, w celu spełnienia wymagań w warunkach

normalnych. Metoda projektowania na warunki pożarowe oraz wytyczne przedstawione w tym dokumencie zakładają, iż stropy zespolone wykonano zgodnie z tymi zaleceniami.

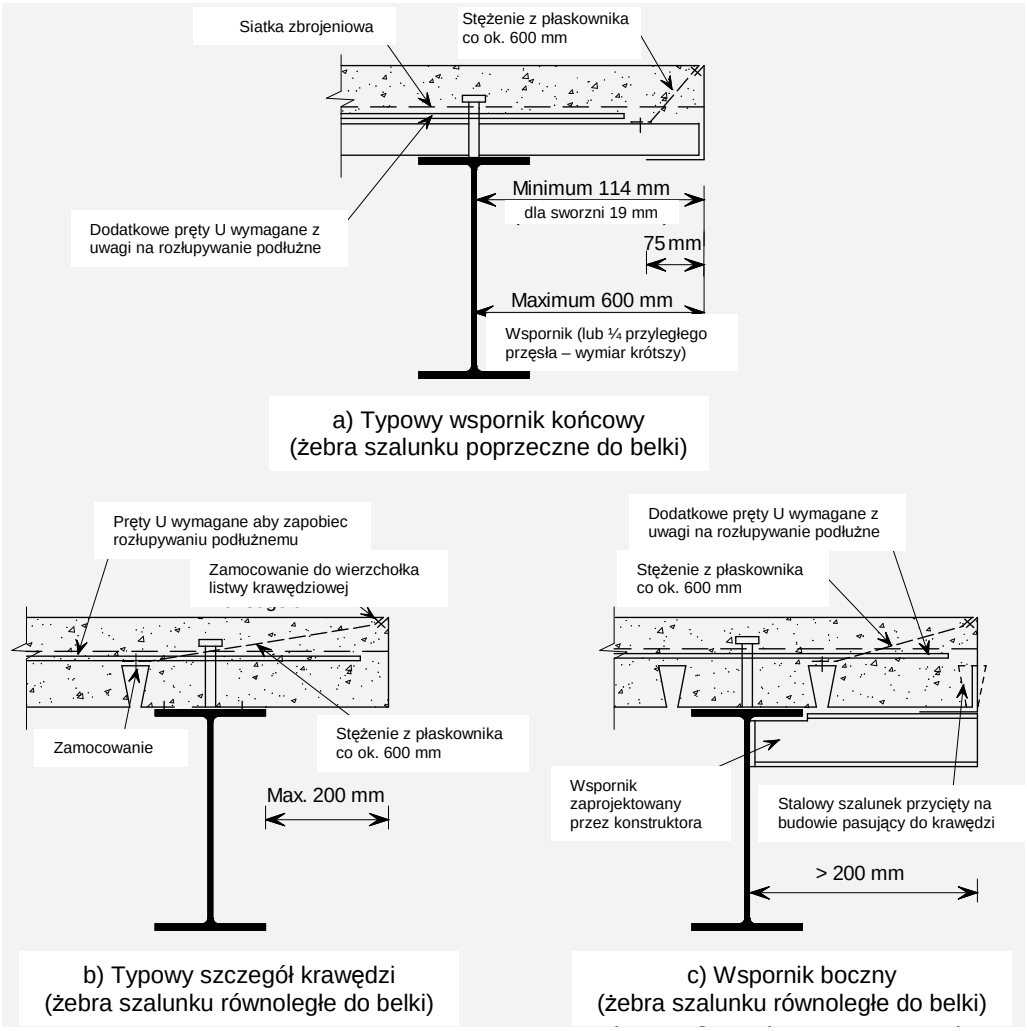


Rys. 3.6 Odsadzenie listew krawędziowych

Krawędź stropu zespolonego jest zwykle formowana przy użyciu "listew krawędziowych" wykonanych z cienkościennych galwanizowanych profili stalowych mocowanych do belki w taki sam sposób jak szalunek, por. Rys. 3.6. W tych przypadkach, gdy belka skrajna została zaprojektowana jako zespolona z płytą betonową, wymagane są pręty zbrojeniowe z profili U w celu zapobieżenia podłużnemu rozłupywaniu płyty betonowej. Przy stosowaniu omawianej metody projektowej, pręty zbrojeniowe zapewniają także właściwe zakotwienie belki skrajnej w płycie.

Niektóre typowe detale krawędzi płyty, obejmujące dwa kierunki deskowania, pokazano na Rys. 3.7. W przypadku, gdy żebra deskowania przebiegają poprzecznie nad belką skrajną i są zakończone krótkimi wspornikami, listwa krawędziowa może być zamocowana w sposób pokazany na Rys. 3.7(a). Wysunięcie wspornika powinno wynosić nie więcej niż 600 mm, zależnie od grubości płyty i zastosowanego typu szalunku.

Bardziej skomplikowany jest przypadek gdy żebra deskowania przebiegają równolegle do belki skrajnej a wykończona płyta powinna być wysunięta na krótką odległość, pozbawiając podłużną krawędź blachy podparcia jak na Rys. 3.7(b). Gdy wysunięcie płyty wynosi więcej niż w przybliżeniu 200 mm (zależnie od określonych detali), listwa krawędziowa powinna być rozparta pomiędzy końcowymi belkami przymocowanymi do belek skrajnych, jak pokazano na Rys. 3.7(c). Końcowe belki są zwykle oddalone od siebie mniej niż 3 m i powinny być zaprojektowane i zwymiarowane przez konstruktora, jako część całej konstrukcji stalowej.



Rys. 3.7 Typowe detale krawędzi

3.4 Projektowanie niezespolonych belek skrajnych

Zwykle belki na krawędzi stropów projektuje się jako niezespolone. Wynika to z faktu, iż koszty związane ze spełnieniem wymagań dla zbrojenia na ścinanie poprzeczne są wyższe niż koszty zamontowania nieco cięższych belek niezespolonych. Przy projektowaniu na warunki pożarowe jest ważne, aby płyta stropu była właściwie zakotwiona w belkach skrajnych, jako że belki te będą się znajdować na krawędzi stref projektowych stropu. Chociaż nie jest to zwykle wymagane przy projektowaniu niezespolonych belek skrajnych na warunki normalne, przedstawiane wytyczne zalecają, aby sworznie ścinane były lokowane w rozstawie nie większym niż 300 mm oraz aby pręty zbrojeniowe o kształcie U były usytuowane wokół sworzni ścinanych, zgodnie z opisem w Rozdziale 3.3.2.

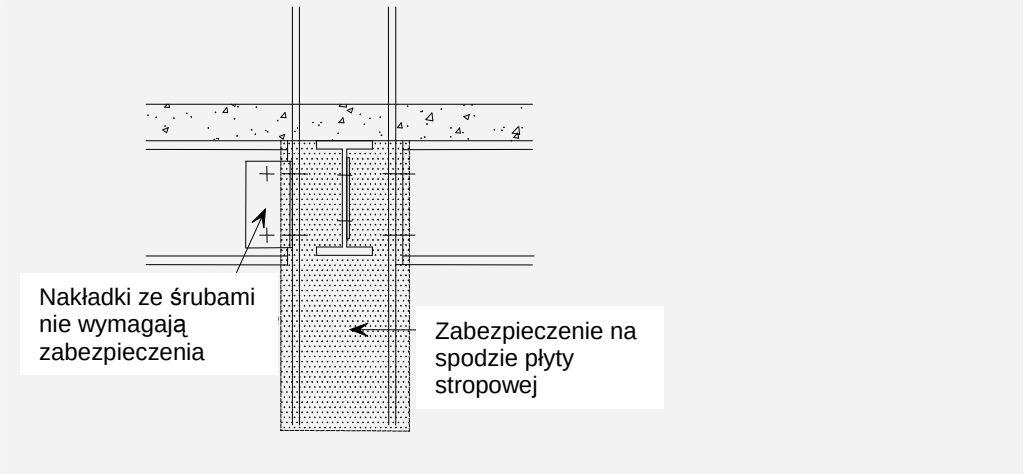
Belki skrajne często pełnią podwójną funkcję podparcia zarówno dla stropów jak i obudowy. Jest ważne, aby przemieszczenie belek skrajnych nie wpływało na stabilność obudowy, ponieważ mogłoby to zwiększyć niebezpieczeństwo dla ekip gaśniczych oraz innych osób w pobliżu. (Nie dotyczy to ryzyka związanego z wypadaniem szkła będącego skutkiem szoku termicznego, który

można zniwelować stosując specjalne materiały lub tryskacze). Nadmierne deformacje fasady mogłyby spowodować wzrost ryzyka, szczególnie w budynkach wysokich, obłożonych wymurówką, w wyniku obluzowania cegieł.

3.5 Słupy

Wytyczne projektowe podane w tym dokumencie opracowano biorąc pod uwagę konieczność ograniczenia zniszczeń konstrukcji i rozprzestrzeniania ognia do pojedynczej strefy pożarowej. Aby to osiągnąć, słupy (inaczej jest w przypadku najwyższej kondygnacji) powinny zostać zaprojektowane z uwagi na wymagany okres odporności ogniowej lub z warunku przetrwania określonego pożaru naturalnego (parametrycznego).

Zabezpieczenie ogniochronne powinno być nałożone na całej wysokości słupa, włącznie ze strefą połączeń (por. Rys. 3.8). Zapobiegnie to lokalnemu zgniataniu słupa oraz zapewni ograniczenie zniszczeń konstrukcji do jednej kondygnacji.



Rys. 3.8 Zakres zabezpieczenia ogniochronnego słupów

W badaniach w Cardington zabezpieczone słupy zachowywały się dobrze nie wykazując śladów zniszczenia. Jednak późniejsza analiza metodą elementów skończonych wskazała na możliwość przedwczesnej utraty nośności słupa w pewnych okolicznościach. Ustalono mechanizm[(22)] , w którym rozszerzalność stropów wywołuje momenty w słupach. Może to spowodować efekt obniżenia temperatury, w której słup ulega zniszczeniu.

Zaleca się, jako posunięcie bezpieczne, aby zabezpieczenie słupów na krawędzi płyty stropowej w budynkach o więcej niż 2 kondygnacjach zwiększyć poprzez zastosowanie grubości odpowiadającej temperaturze krytycznej 500^{o}C lub mniejszej o 80^{o}C w stosunku do temperatury krytycznej podanej w EN 1993-1-2, w zależności od tego, która z nich jest niższa.

Dla większości płytowych materiałów ogniochronnych, taka redukcja temperatury krytycznej nie spowoduje zmian, gdyż minimalna możliwa grubość płyt będzie wystarczająca.

3.6 Węzły

Zgodnie z uwagami w Rozdz. 2.2.1, wartości ustalone prezentowaną metodą projektową odnoszą się do ‘prostych’ węzłów takich jak zawierające podatne płyty czołowe, blachy zakładkowe i nakładki z kątowników.

Stalowe budynki szkieletowe poddawane badaniom w Cardington zawierały połączenia na podatne blachy czołowe oraz blachy zakładkowe. Chociaż w tych badaniach zaobserwowano częściowe lub całkowite zniszczenie niektórych węzłów w fazie studzenia, jednak nie doprowadziło to do zniszczenia konstrukcji.

W przypadku, gdy blacha ulegała oderwaniu na końcu belki, nie następowało zawalenie, ponieważ płyta stropowa przekazywała ścinanie na inne ścieżki obciążenia. Podkreśla to ważną rolę zespolonej płyty stropowej, którą można zrealizować poprzez stosowanie właściwych zakładów zbrojenia.

Nośność prostych węzłów należy sprawdzać stosując zasady podane w EN 1993-1-8 [(23)].

3.6.1 Klasyfikacja węzłów

Szczegóły węzłów powinny spełniać założenia przyjęte w modelu projektowym. W normie EN 1993-1-8 podano trzy klasyfikacje węzłów:

- Przegubowe
  - Węzły przenoszące siły ścinające, lecz nie przenoszące znaczących momentów.
- Częściowo - sztywne
  - Węzły, które nie spełniają kryteriów węzłów przegubowych ani sztywnych.
- Sztywne
  - Węzły, które zapewniają pełną ciągłość.

Norma EN 1993-1-8 §5.2 podaje zasady klasyfikacji węzłów na podstawie ich sztywności i wytrzymałości; należy również wziąć pod uwagę nośność węzła na obrót (ciągliwość).

Jak podano w Rozdziale 2.2.1, wartości ustalone uproszczoną metodą projektową zostały oparte na założeniu węzłów przegubowych (prostych). W celu zapewnienia, że węzeł nie przenosi znacznych momentów zginających, a zatem jest to węzeł ‘prosty’, musi on wykazywać wystarczającą ciągliwość zezwalającą na pewien stopień obrotu. Można to uzyskać wymiarując węzeł w taki sposób, aby spełniał ograniczenia geometryczne. Wytyczne w zakresie ograniczeń geometrycznych oraz wymiarów początkowych zapewniających wystarczającą ciągliwość węzła, podano w dokumentach Access-steel [(25)].

3.6.2 Blachy czołowe

Występują dwa podstawowe typy połączeń na blachy czołowe: o częściowej głębokości i o pełnej głębokości. Dokument SN013 zaleca stosowanie:

Blach czołowych o częściowej głębokości, gdy; $V_{Ed} \leq 0.75\ V_{c,Rd}$

Blach czołowych o pełnej głębokości, gdy; $0.75\ V_{c,Rd} < V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$

gdzie:

V_{Ed} jest obliczeniową wartością siły ścinającej przyłożonej do węzła

$V_{c,Rd}$ jest obliczeniową nośnością na ścinanie podpieranej belki.

Nośność elementów składowych węzła należy sprawdzać zgodnie z wymaganiami podanymi w EN 1993-1-8. W stałych i zmiennych sytuacjach projektowych należy dokonywać sprawdzenia następujących nośności obliczeniowych w temperaturze normalnej:

- Grupa śrub w blasze czołowej*
- Element podparcia w łożysku
- Ścinanie blachy czołowej (przekrój brutto)
- Ścinanie blachy czołowej (przekrój netto)
- Ścinanie blachy czołowej (ścinanie grupy śrub)
- Zginanie blachy czołowej
- Ścinanie środnika belki*

W zasadzie, należałoby dokonać wszystkich powyższych sprawdzeń. W praktyce jednak, dla zwykłych węzłów, sprawdzenia oznaczone gwiazdką będą zwykle krytyczne. Wytyczne w zakresie spełnienia wymagań EN 1993-1-8 są podane w dokumentach Access-steel [25].

Norma EN 1993-1-8 nie podaje żadnych wytycznych projektowania dla nośności wiązania blach czołowych. Wytyczne dla ustalania nośności wiązania blach czołowych podano w SN015[26].

3.6.3 Blachy zakładkowe

W blachach zakładkowych można stosować pojedyncze i podwójne pionowe linie śrub. SN014[26] zaleca stosowanie:

Pojedynczych pionowych linii śrub gdy ; $V_{Ed} \leq 0.50\ V_{c,Rd}$

Dwóch pionowych linii śrub gdy; $0.50\ V_{c,Rd} < V_{Ed} \leq 0.75\ V_{c,Rd}$

Stosowanie blach czołowych gdy; $0.75\ V_{c,Rd} < V_{Ed}$

gdzie:

V_{Ed} jest obliczeniową wartością siły ścinającej przyłożonej do węzła

$V_{c,Rd}$ jest obliczeniową nośnością na ścinanie podpieranej belki.

W stałych i zmiennych sytuacjach projektowych należy dokonywać sprawdzenia następujących nośności obliczeniowych blach zakładkowych w temperaturze normalnej:

- Śruby ścinane*
- Blacha zakładkowa w łożysku*
- Ścinanie blachy zakładkowej (przekrój brutto)
- Ścinanie blachy zakładkowej (przekrój netto)
- Ścinanie blachy zakładkowej (ścinanie grupy śrub)
- Zginanie blachy zakładkowej
- Wyboczenie blachy zakładkowej (LTB)
- Środnik belki nad podporą*
- Ścinanie środnika belki (przekrój brutto)
- Ścinanie środnika belki (przekrój netto)
- Ścinanie środnika belki (ścinanie grupy śrub)
- Podparcie elementów (ścinanie przy przebiciu) (Ten mechanizm nie dotyczy blach zakładkowych połączonych z półkami słupów)

W zasadzie, należałoby dokonać wszystkich powyższych sprawdzeń. W praktyce jednak, dla ‘zwykłych’ węzłów, sprawdzenia oznaczone gwiazdką będą zwykle krytyczne. Wytyczne w zakresie spełnienia wymagań EN 1993-1-8 są podane w dokumentach Access-steel [(27)].

Norma EN 1993-1-8 nie podaje żadnych wytycznych projektowania dla nośności wiązania blach zakładkowych. Dlatego alternatywne wytyczne, takie jak podane w SN018[(27)], mogą być stosowane dla ustalania nośności połączenia blach zakładkowych.

3.6.4 Nakładki z kątowników

Jakkolwiek w szkieletowej konstrukcji w Cardington nie stosowano węzłów z nakładkami z kątowników, SCI przeprowadził pewną liczbę badań ogniowych zespolonych i niezespolonych węzłów z takimi nakładkami[(28)]. Węzły składały się z dwóch stalowych kątowników połączonych śrubami ze środnikiem belki przy zastosowaniu dwóch śrub w każdym ramieniu kątownika. Kątowniki były połączone do półki słupa również za pomocą dwóch śrub. Stwierdzono, że węzły w warunkach pożarowych zyskały ciągliwość przy obrocie; nastąpiły duże obroty. Taka ciągliwość była spowodowana przegubami plastycznymi uformowanymi w ramieniu kątownika w pobliżu powierzchni słupa. W trakcie badania nie nastąpiło zniszczenie śrub.

Zespolony węzeł z nakładkami wykazał się lepszymi właściwościami w pożarze niż węzeł niezespolony.

Dla węzłów niezespolonych z nakładkami z kątownika zaleca się, aby pojedyncze pionowe rzędy śrub stosować tylko w przypadku:

$V_{Ed} \leq 0.50\ V_{c,Rd}$

Nośność obliczeniową węzła z nakładkami z kątownika należy sprawdzać wykorzystując reguły projektowania podane w Rozdziale 3 EN 1993-1-8. Tablica 3.3 EN 1993-1-8 podaje maksymalne i minimalne wartości odległości oraz rozstawów, które należy spełnić, uszczegóławiając położenie śrub.

3.6.5 Zabezpieczenie ogniochronne

W przypadku, gdy obydwa łączone elementy są zabezpieczone ogniochronnie, zabezpieczenie odpowiadające każdemu z elementów należy nałożyć na tych częściach blach i kątowników, które pozostają w kontakcie z elementem. Jeżeli tylko jeden element wymaga zabezpieczenia, blachy lub kątowniki w kontakcie z elementami niezabezpieczonymi mogą pozostać niezabezpieczone.

3.7 Stateczność ogólna budynku

W celu uniknięcia katastrofy w wyniku przechyłu, budynek powinien zostać stężony za pomocą ścian lub innego system stężeń. Ściany usztywniające murowane lub żelbetowe powinny zachowywać odpowiednią odporność ogniową.

Jeżeli stężenia odgrywają podstawową rolę dla zapewnienia ogólnej stateczności budynku, powinny zostać zabezpieczone do odpowiedniego poziomu.

W budynkach dwukondygnacyjnych możliwe jest zapewnienie stateczności ogólnej bez stawiania wymagań odporności ogniowej wszystkim elementom systemu stężeń. W wyższych budynkach wszystkie części systemu stężeń należy odpowiednio zabezpieczyć ogniochronnie.

Pewnym sposobem zapewnienia odporności ogniowej bez stosowania zabezpieczeń jest lokalizowanie systemu stężeń w strefie chronionej, jak klatka schodowa, trzon windowy lub rdzeń instalacyjny. Jest ważne, aby ściany ograniczające takie szyby miały odpowiednią odporność ogniową w celu zapobieżenia rozprzestrzenianiu pożaru. Belki stalowe, słupy i stężenia całkowicie zamknięte w szybach, można pozostawić bez zabezpieczenia. Inne konstrukcje wspierające ściany takich trzonów powinny posiadać odpowiednią odporność ogniową.

4 PODZIAŁ NA STREFY POŻAROWE

Przepisy obowiązujące w poszczególnych krajach wymagają, aby ściany oddzielające od siebie poszczególne strefy pożarowe zachowały stabilność, szczelność i izolacyjność przez wymagany czas odporności ogniowej.

Stateczność gwarantuje, że ściany nie ulegną zawaleniu. Dla ścian nośnych musi zostać zachowany warunek stanu granicznego nośności.

Szczelność oznacza odporność na przenikanie płomieni i gorących gazów.

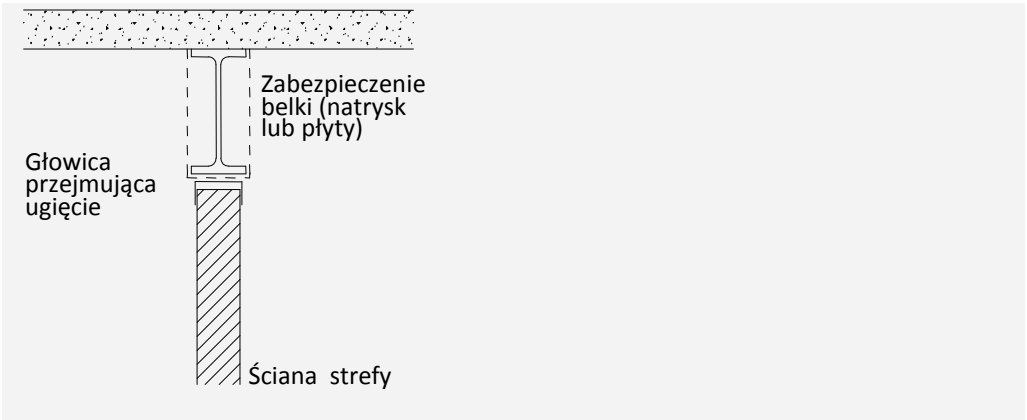
Izolacyjność to odporność na nadmierne przenikanie ciepła ze strony poddawanej oddziaływaniu ognia na stronę nienagrzewaną.

4.1. Belki powyżej ścian o odporności ogniowej

W przypadku, gdy belka stanowi część ściany charakteryzującej się odpornością ogniową, kombinowany element oddzielający ściana / belka musi posiadać wystarczającą izolacyjność, szczelność i stabilność. Dla uzyskania optymalnych właściwości ogniowych, ściany stref pożarowych powinny, gdziekolwiek to jest możliwe, być umieszczone poniżej belek, w jednej z nimi linii.

Belki w płaszczyźnie ściany

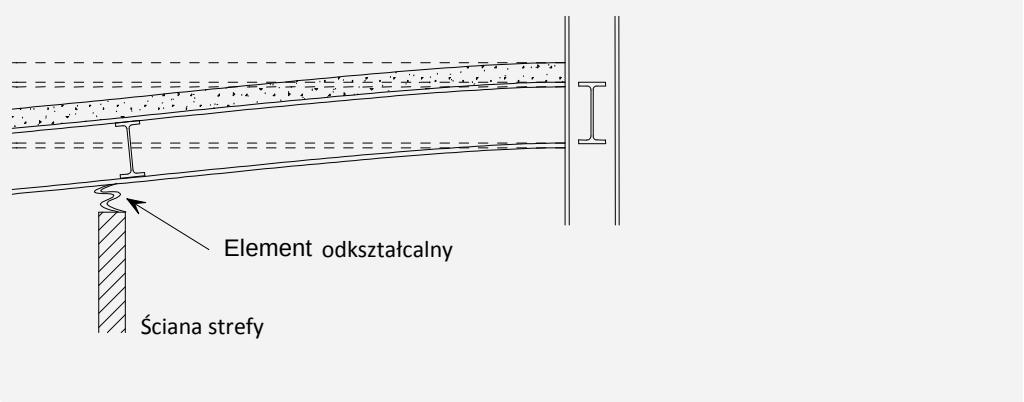
Badania w Cardington wykazały, że niezabezpieczone belki umieszczone w płaszczyźnie ścian stref pożarowych i ponad nimi (Rys. 4.1), nagrzewane tylko z jednej strony, nie odkształcają się w stopniu mogącym naruszyć szczelność całej strefy zaś uwzględnienie tolerancji przemieszczeń dla warunków normalnych jest wystarczające. Muszą być spełnione wymagania izolacyjności i konieczne jest zabezpieczenie od 30 do 60 minut; wszystkie pustki i otwory użytkowe należy zabezpieczyć przed przenikaniem ognia. Belki zabezpieczone powłokami pęczniejącymi wymagają dodatkowej izolacji, ponieważ istnieje prawdopodobieństwo, że temperatura po stronie nienagrzewanej przekroczy kryteria ustalone w normach badań odporności ogniowej[29,30].



Rys. 4.1 Belki powyżej i w linii ścian

Belki przecinające ściany

Badania w Cardington wykazały, że stabilność stropu może być zachowana nawet wtedy, kiedy niezabezpieczone belki ulegną dużym ugięciom. Jednakże kiedy ściany są umieszczone poza siatką słupów, duże ugięcia niezabezpieczonych belek mogą naruszyć szczelność strefy poprzez spowodowanie przemieszczeń i pęknięć w ścianach, przez które przechodzą. W takich przypadkach, belki należy zabezpieczyć albo zapewnić wystarczającą tolerancję przemieszczeń. Zaleca się, aby w ścianach przechodzących przez środkową połowę niezabezpieczonej belki istniała możliwość ugięcia o wielkości: rozpiętość / 30. Dla ścian przecinających końcowe ćwiartki belki, wielkość ta może zmniejszać się liniowo aż do wartości zero przy podporach końcowych. (Rys. 4.2). Ściana strefy pożarowej powinna obejmować również spód stropu.



Rys. 4.2 Deformacje belek przecinających ściany

4.2 Stateczność

W projektowaniu ścian dzielących kondygnację na więcej niż jedną strefę pożarową należy uwzględnić oczekiwane przemieszczenia konstrukcji, tak aby nie doszło do zawalenia ścian (stateczność). Kiedy belki są rozpięte w płaszczyźnie ściany i ponad nią, przemieszczenia, nawet niezabezpieczonych belek, mogą być małe i zwykła tolerancja dla ugięć powinna być wystarczająca. Jeżeli ściana nie znajduje się w linii belki, wówczas może być zmuszona do przeniesienia większego ugięcia stropu. W związku z tym zaleca się, aby ściany strefy pożarowej znajdowały się, jeśli to możliwe, w linii belek.

W pewnych przypadkach, tolerancje ugięć mogą wystąpić w formie przesuwnego połączenia. W innych przypadkach, potencjalne ugięcie może być zbyt duże i wymagane będzie zastosowanie swego rodzaju odkształcalnej zasłony, jak pokazano na Rys. 4.2.

Przy zachowaniu podziału na strefy pożarowe należy skonfrontować parametry mogących w nich wystąpić deformacji konstrukcji, z obowiązującymi w danym kraju zaleceniami.

4.3. Szczelność i izolacyjność

Belki stalowe ponad ścianami strefy pożarowej są częścią ściany i muszą posiadać takie same cechy oddzieleń jak ściana. Belka stalowa bez otworów będzie szczelna. Jednakże, gdy występują otwory użytkowe, muszą one być zabezpieczone przed przenikaniem ognia. To samo dotyczy wszystkich pustek ponad belkami zespolonymi.

Niezabezpieczona belka w płaszczyźnie ściany strefy pożarowej może nie posiadać wystarczającej izolacyjności i zazwyczaj wymaga nałożenia zabezpieczenia ogniochronnego. Zaleca się, aby wszystkie belki znajdujące się na granicach stref posiadały zabezpieczenie ogniochronne, jak pokazuje Rys. 4.1.

5 PRAKTYCZNY PRZYKŁAD

Rozdział ten zawiera praktyczny przykład oparty na rzeczywistych płytach stropowych, służący ilustracji zastosowania wyników otrzymanych przy pomocy oprogramowania FRACOF.

Rozważa się 4-kondygnacyjny budynek biurowy o stalowej konstrukcji szkieletowej. Zgodnie z wymaganiami Krajowych Przepisów Budowlanych budynek wymaga 60-minutowej odporności ogniowej.

Płyta stropowa na każdej kondygnacji składa się z zespolonej płyty stropowej zbudowanej z zastosowaniem trapezowego metalowego szalunku Cofraplus 60, betonu zwykłego i pojedynczej warstwy siatki zbrojeniowej. Płyta jest rozpięta pomiędzy 9-metrowymi drugorzędnymi belkami zaprojektowanymi tak, aby działać w zespoleniu z płytą stropową. Belki drugorzędne są z kolei oparte na zespolonych belkach głównych o rozpiętości 9 m i 12 m. Belki skrajne budynku zostały zaprojektowane jako niezespolone zgodnie z EN 1993-1-1.

Konstrukcję płyty stropowej pokazano na Rys. 5.1 do Rys. 5.4.

Rys. 5.1 przedstawia ogólny schemat konstrukcji stalowej w poziomie stropu wzdłuż pełnej szerokości budynku i dwie nawy wzdłuż jego długości. Założono, że ten ogólny schemat jest powtórzony w sąsiednich nawach wzdłuż długości budynku. Zastosowane słupy HD 320 x 158 zaprojektowano jako niezespolone zgodnie z EN 1993-1-1.

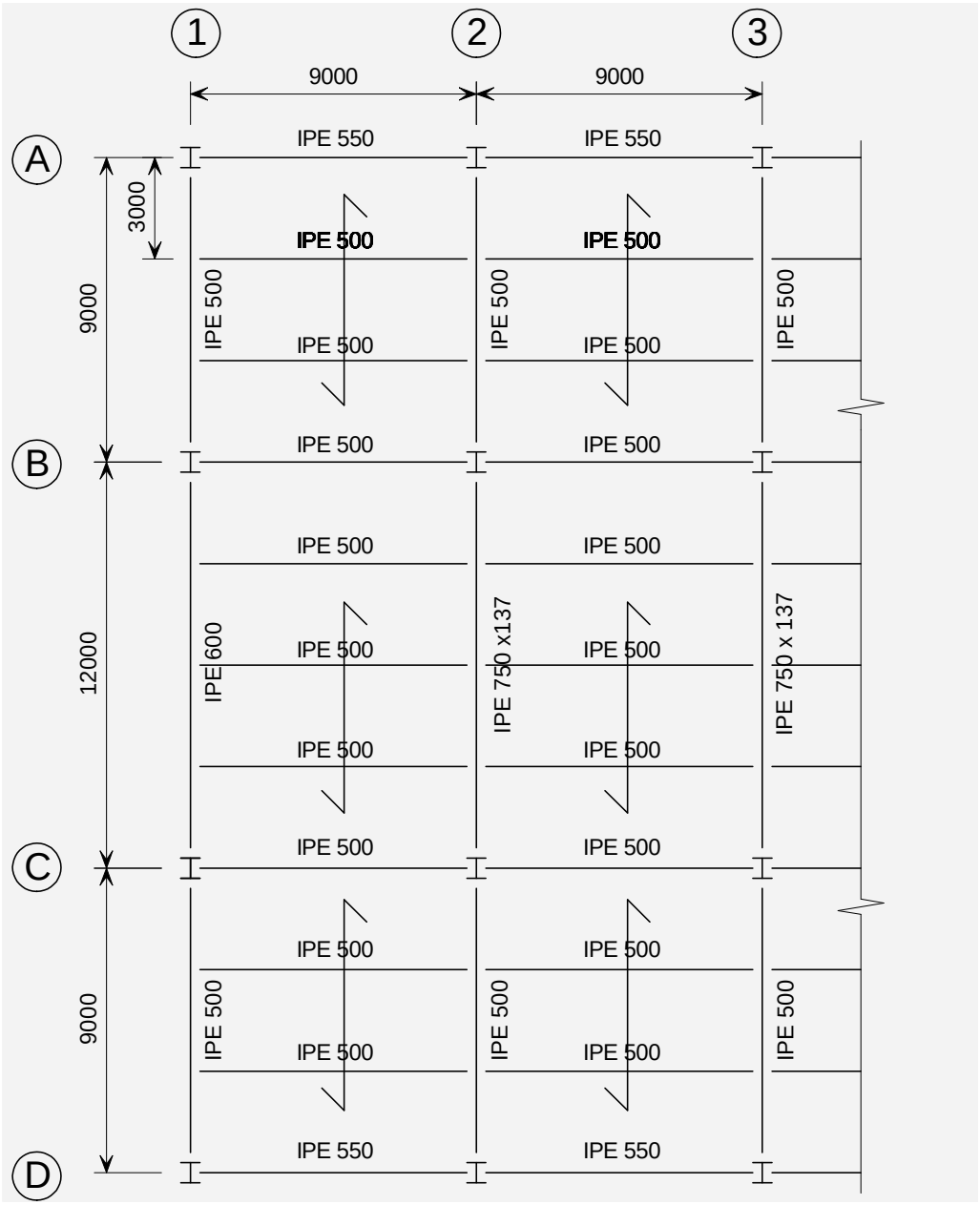
Przyjęto, że obciążenie stropu było następujące:

- Oddziaływanie zmienne wynikające z użytkowania: 4 kN/m^2
- Oddziaływanie zmienne wynikające z obciążenia lekkimi ścianami działowymi: 1 kN/m^2
- Oddziaływanie stałe wynikające z obciążenia sufitami i instalacjami: 0.7 kN/m^2
- Ciężar własny belki: 0.5 kN/m^2

W przypadku belek skrajnych uwzględniono w ich projekcie dodatkowe obciążenie od obudowy równe 2 kN/m.

Rozmiary belek wymagane w warunkach normalnych dla tych wielkości oddziaływań pokazano na Rys. 5.1. Belki wewnętrzne są belkami zespolonymi a stopień zespolenia dla każdej z nich podano w Tablicy 5.1.

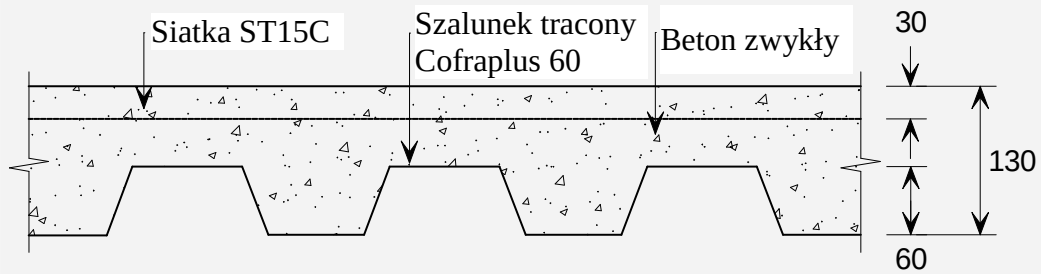
Rys. 5.2 przedstawia przekrój poprzeczny przez płytę zespoloną. Płytę wykonano z betonu zwykłego C25/30, całkowita jej grubość wynosi 130 mm. Płyta była zbrojona siatką ST 15C ze stali o granicy plastyczności 500 MPa. Pozwala to spełnić wymagania dla normalnych warunków projektowych, ale rozmiar siatki może wymagać zwiększenia, jeśli zachowanie w warunkach pożarowych będzie nieodpowiednie.



Rys. 5.1 Ogólny schemat konstrukcji stalowej w poziomie stropu

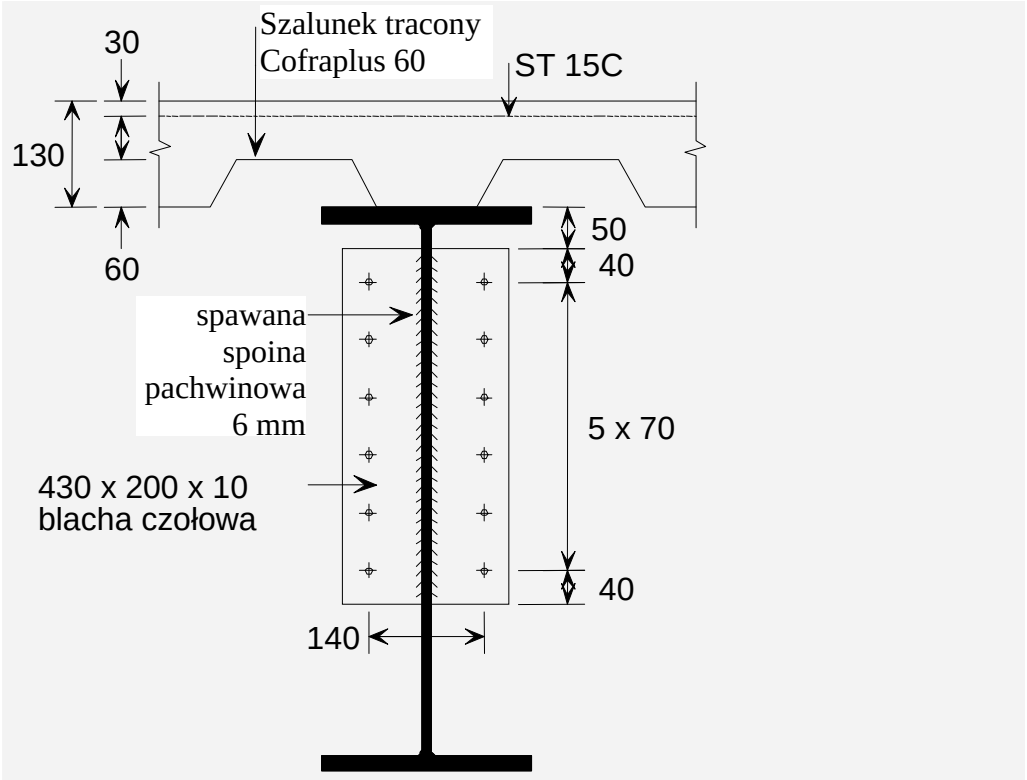
Tablica 5.1 Szczegóły belek

Kształtownik (S355)	Umiejscowienie belki	Rodzaj konstrukcji	Stopień zespolenia (%)	Liczba sworzni ścinanych na grupę i rozstaw
IPE 500	Drugorzędna belka wewnętrzna	Zespolona	51	1 @ 207mm
IPE 550	Drugorzędna belka skrajna	Niezespolona	N/A	
IPE 500	Belka główna wewnętrzna	Zespolona	72	2 @ 207mm
IPE 500	Belka główna skrajna	Niezespolona	N/A	
IPE 750 × 137	Belka główna wewnętrzna	Zespolona	71	2 @ 207 mm
IPE 600	Belka główna skrajna	Niezespolona	N/A	

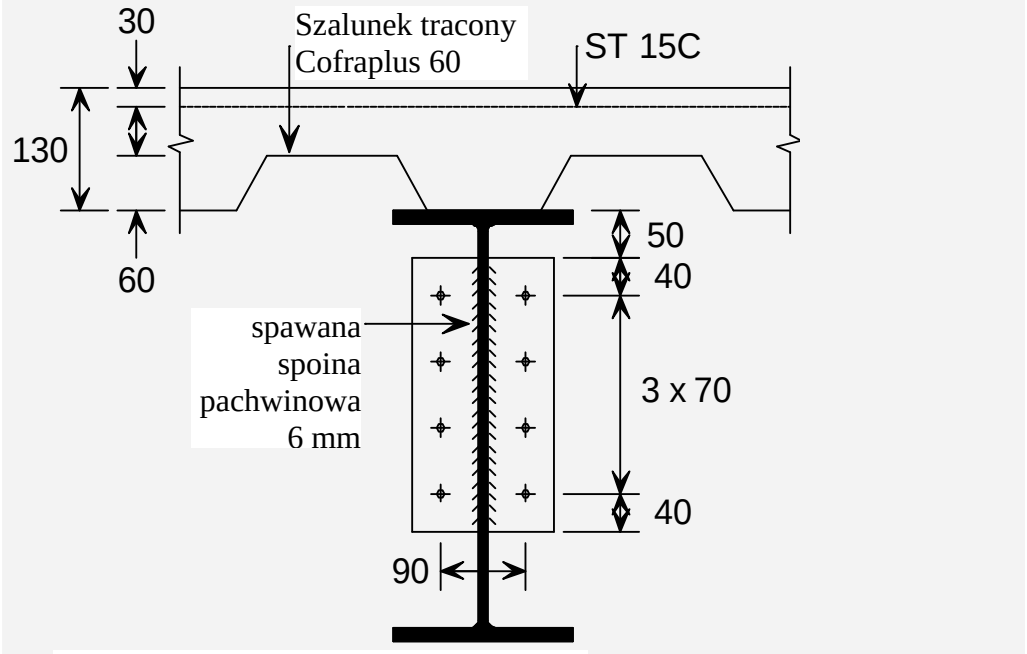


Rys. 5.2 Budowa płyty stropowej

We wszystkich złączach pomiędzy elementami głównej konstrukcji stalowej zastosowano podatne blachy czołowe zaprojektowane jako nominalnie przegubowe, zgodnie z EN 1993-1-8. Rys. 5.3(a) przedstawia połączenie belek głównych ze słupami. Połączenia belek drugorzędnych ze słupami pokazano na Rys. 5.3(b). Rys. 5.4 przedstawia połączenie pomiędzy belką drugorzędną i belką główną wykonane przy pomocy blachy czołowej.

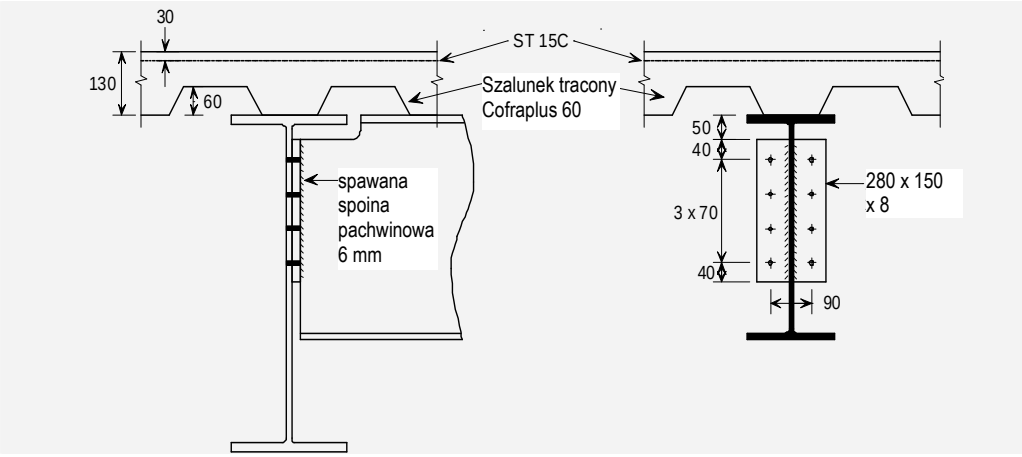


(a) Połączenie belki głównej ze słupem



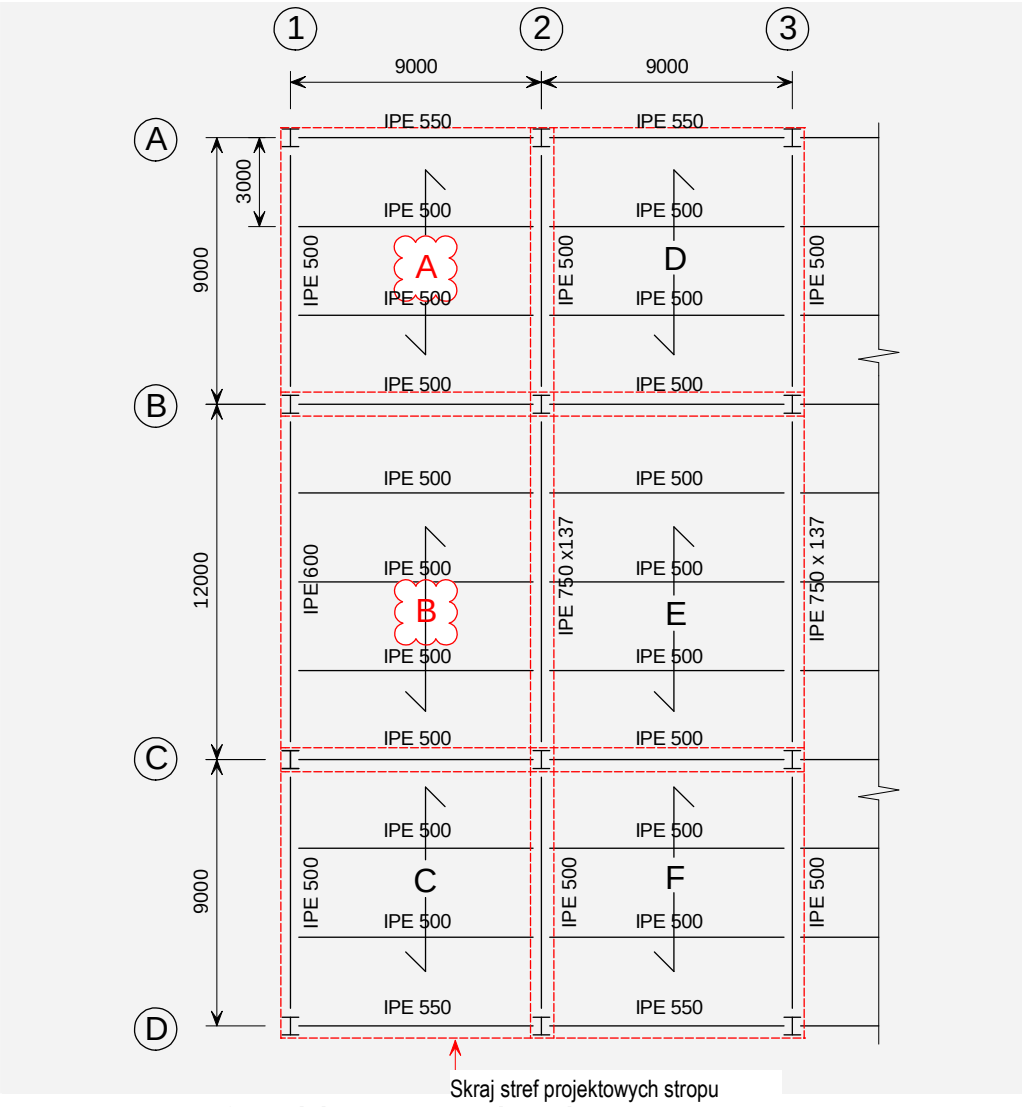
(b) Połączenie belki drugorzędnej ze słupem

Rys. 5.3 Połączenia belek ze słupami.



Rys. 5.4 Połączenie belki drugorzędnej z belką główną

Rys. 5.5 przedstawia płytę stropową podzieloną na strefy projektowe. Prawdopodobnie najbardziej niekorzystne warunki projektowe dadzą strefy projektowe stropów A i B. W dalszej części zostanie omówiony projekt obu tych stref.



Rys. 5.5 Strefy projektowe stropu (A – F)

5.1 Projektowanie płyty zespolonej na warunki pożarowe

Poniżej przedstawiono obliczenia sprawdzające przeprowadzone dla stref projektowych stropu, wymagane przy projektowaniu na warunki normalne. Jeśli zostanie wykazane, że konstrukcja jest nieodpowiednia dla warunków pożarowych, wówczas rozmiar siatki i/lub grubość płyty zostaną zwiększone, aby poprawić właściwości w warunkach pożarowych. Ponieważ strefa projektowa B wydaje się być bardziej krytyczna niż strefa projektowa A z uwagi na jej większą rozpiętość, w pierwszej kolejności program dokona obliczeń dla strefy projektowej B.

5.1.1 Strefa projektowa stropu B

Rys. 5.6 do Rys. 5.8 przedstawiają dane wejściowe i dane wyjściowe oprogramowania FRACOF dla strefy projektowej stropu B, która ma wymiary 9 m na 12 m przy rozmiarze siatki ST 15C. W obszarze tej strefy znajdują się 3 niezabezpieczone belki zespolone.

Na podstawie wyników obliczeń, nośność płyty wyznaczona jako dolne oszacowanie dla mechanizmu załomów plastycznych, wynosi 0.46 kN/m^2. Nośność ta jest podwyższona z uwagi na efekt oddziaływań membranowych, zapewniając płycie w 60-tej minucie nośność równą 2.83 kN/m^2. Współczynnik zwiększenia w 60 minucie został wyznaczony na podstawie ugięcia płyty wynoszącego 629 mm.

Nośność belek zespolonych jest dodawana do nośności płyty dając nośność całkowitą. Nośność belki jest wyznaczana na każdym kroku czasu na podstawie temperatury belek niezabezpieczonych. W 60-tej minucie, nośność na zginanie trzech niezabezpieczonych belek wynosi 2.56 kN/m^2. Tak, więc całkowita nośność strefy projektowej stropu wynosi: 2.83 + 2.56= 5.39 kN/m^2, to jest mniej niż zastosowane obciążenie równe 6.35 kN/m^2. Rozmiar siatki zbrojeniowej musi zatem zostać powiększony, aby spełnić wymagania pożarowe.

- **Rozpiętości**
  Rozpiętość 1: **9 m**
  Rozpiętość 2: **12 m**
- **Belki niezabezpieczone**
  Liczba niezabezpieczonych belek wewnętrznych **3**

3. Szczegóły szalunku

- **Charakterystyka szalunku**

Blacha	**COFRAPLUS 60**	Typ:	**Trapezowa**
Wysokość	**58 mm**	Górna półka	**106 mm**
Rozstaw	**207 mm**	Dolna półka	**62 mm**
Wysokość usztywnienia	**0 mm**		

4. Szczegóły płyty

- **Beton**

Rodzaj betonu:	**NORMALNY**	Grubość płyty:	**130 mm**
		Cylindryczna wytrzymałość betonu na ściskanie (f_{ck}):	**25 N/mm²**

- **Siatka**

Typ siatki:	**ST 15 C**		
Poprzeczna powierzchnia siatki	142 mm²/m	Rozmiar pręta:	6 mm
Podłużna powierzchnia siatki	142 mm²/m	Rozmiar pręta:	6 mm
Średnia odległość osi siatki	**30 mm**	Granica plastyczności siatki	**500 N/mm²**

5. Szczegóły belek

- **Belki Niezabezpieczone**

Rodzina profili	**Profile europejskie**	Gatunek stali:	**S355**
Rozmiar przekroju	**IPE 500 +**	Stopień zespolenia	**51 %**
Szczegóły:	h = 500 mm, b = 200 mm, t_w = 10.2 mm, t_f = 16 mm		

Rys. 5.6 Dane wejściowe dla strefy projektowej stropu B przy zastosowaniu oprogramowania FRACOF.

- **Strona A Belka Obwodowa**

Rodzina profili	**Profile europejskie**	Gatunek stali:	**S355**
Rozmiar przekroju	**IPE 500 +**		
Szczegóły:	h = 500 mm, b = 200 mm, t_w = 10.2 mm, t_f = 16 mm		
Położenie Belki:	**Belka Skrajna**	Typ konstrukcji:	**Niezespolona**

- **Strona B Belka Obwodowa**

Rodzina profili	**Profile europejskie**	Gatunek stali:	**S355**
Rozmiar przekroju	**IPE 750x137 +**		
Szczegóły:	h = 753 mm, b = 263 mm, t_w = 11.5 mm, t_f = 17 mm		
Położenie Belki:	**Belka Wewnętrzna**	Typ konstrukcji:	**Zespolona**
		Stopień zespolenia	**71 %**

- **Strona C Belka Obwodowa**

Rodzina profili	**Profile europejskie**	Gatunek stali:	**S355**
Rozmiar przekroju	**IPE 500 +**		
Szczegóły:	h = 500 mm, b = 200 mm, t_w = 10.2 mm, t_f = 16 mm		
Położenie Belki:	**Belka Wewnętrzna**	Typ konstrukcji:	**Zespolona**
		Stopień zespolenia	**51 %**

- **Strona D Belka Obwodowa**

Rodzina profili	**Profile europejskie**	Gatunek stali:	**S355**
Rozmiar przekroju	**IPE 600 ***		
Szczegóły:	h = 600 mm, b = 220 mm, t_w = 12 mm, t_f = 19 mm		
Położenie Belki:	**Belka Skrajna**	Typ konstrukcji:	**Niezespolona**

Uwaga(i):

\+ Minimalne zamówienie: 40t dla przekroju i gatunku lub według uzgodnienia
* Minimalny tonaż i warunki dostawy według uzgodnienia

6. Szczegóły obciążenia

- **Normalne (Na zimno)**

Wiodące oddziaływanie zmienne:	**5 kN/m²**
Towarzyszące oddziaływanie zmienne:	**0 kN/m²**
Ciężar własny łącznie z belką, z wyłączeniem płyty:	**1.2 kN/m²**
Obliczony ciężar płyty łącznie z siatką:	2.65 N/m²

- **Pożarowe (Na gorąco)**

Współczynnik kombinacyjny dla wiodącego oddziaływania zmiennego:	**0.5**
Współczynnik kombinacyjny dla innych oddziaływań zmiennych:	**0.3**

Rys. 5.7 Dane wejściowe dla strefy projektowej stropu B przy zastosowaniu oprogramowania FRACOF.

Ustalone obciążenie w warunkach pożarowych: 6.35 kN/m²

- **Wyniki Tabelaryczne**

Czas	Belka	Siatka	Góra płyty	Spód płyty	Nośność belki	Przemieszczenie	Uplastycznienie płyty	Wzmocnienie	Nośność płyty	Nośność całkowita	Współczynnik jednostkowy
minuty	°C	°C	°C	°C	kN/m²	mm	kN/m²		kN/m²	kN/m²	
0	20	20	20	20	38.54	254	0.46	3.05	1.40	39.94	0.16
5	180	24	20	143	38.54	315	0.46	3.56	1.64	40.18	0.16
10	423	37	22	343	36.90	414	0.46	4.37	2.01	38.92	0.16
15	621	53	28	485	19.77	482	0.46	4.94	2.27	22.04	0.29
20	732	74	36	586	9.25	529	0.46	5.32	2.45	11.70	0.54
25	790	102	48	657	5.95	559	0.46	5.57	2.56	8.51	0.75
30	826	120	62	711	4.75	579	0.46	5.73	2.64	7.39	0.86
35	853	125	71	753	4.10	595	0.46	5.87	2.70	6.80	0.93
40	875	163	83	787	3.56	606	0.46	5.96	2.74	6.30	1.01
45	894	190	89	815	3.09	618	0.46	6.05	2.79	5.88	1.08
50	911	214	103	840	2.84	623	0.46	6.09	2.81	5.65	1.12
55	926	238	119	861	2.69	625	0.46	6.12	2.82	5.51	1.15
60	940	263	131	880	2.56	629	0.46	6.15	2.83	5.39	1.18

Maksymalny współczynnik jednostkowy: **1.18** **Płyta stropowa załamuje się**

Rys. 5.8 Wyniki obliczeń nośności strefy projektowej stropu B przy zastosowaniu oprogramowania FRACOF.

Rys. 5.9 do Rys. 5.11 podają dane wejściowe i wyjściowe oprogramowania FRACOF dla strefy projektowej stropu B z siatką rozmiaru ST 25C.

Biorąc pod uwagę Rys. 5.11, nośność płyty wyznaczona jako dolne oszacowanie dla mechanizmu załomów plastycznych wzrosła do 0.79 kN/m^2 z uwagi na zwiększoną powierzchnię siatki. Nośność ta jest podwyższona z uwagi na efekt oddziaływań membranowych, zapewniając płycie w 60 minucie nośność równą 5.07 kN/m^2. Współczynnik zwiększenia w 60 minucie został wyznaczony na podstawie ugięcia płyty wynoszącego 629 mm.

Nośność belek zespolonych jest dodawana do nośności płyt dając nośność całkowitą. Nośność belki jest wyznaczana na każdym kroku czasu na podstawie temperatury belek niezabezpieczonych. W 60 minucie, nośność na zginanie trzech niezabezpieczonych belek wynosi 2.56 kN/m^2. Tak więc całkowita nośność strefy projektowej stropu wynosi 5.07 + 2.56= 7.63 kN/m^2, czyli więcej od zastosowanego obciążenia. Płyta stropowa została zaprojektowana właściwie.

2. Ogólny schemat

- **Rozpiętości**

  Rozpiętość 1: **9 m**
  Rozpiętość 2: **12 m**

- **Belki niezabezpieczone**

  Liczba niezabezpieczonych belek wewnętrznych **3**

3. Szczegóły szalunku

- **Charakterystyka szalunku**

Blacha	**COFRAPLUS 60**	Typ:	**Trapezowa**
Wysokość	**58 mm**	Górna półka	**106 mm**
Rozstaw	**207 mm**	Dolna półka	**62 mm**
Wysokość usztywnienia	**0 mm**		

4. Szczegóły płyty

- **Beton**

Rodzaj betonu:	**NORMALNY**	**G**rubość płyty:	**130 mm**
		Cylindryczna wytrzymałość betonu na ściskanie (f_{ck}):	**25 N/mm²**

- **Siatka**

Typ siatki:	**ST 25 C**		
Poprzeczna powierzchnia siatki	257 mm²/m	Rozmiar pręta:	7 mm
Podłużna powierzchnia siatki	257 mm²/m	Rozmiar pręta:	7 mm
Średnia odległość osi siatki	**30 mm**	Granica plastyczności siatki	**500 N/mm²**

5. Szczegóły belek

- **Belki Niezabezpieczone**

Rodzina profili	**Profile europejskie**	Gatunek stali:	**S355**
Rozmiar przekroju	**IPE 500 +**	Stopień zespolenia	**51 %**
Szczegóły:	h = 500 mm, b = 200 mm, t_w = 10.2 mm, t_f = 16 mm		

- **Strona A Belka Obwodowa**

Rodzina profili	**Profile europejskie**	Gatunek stali:	**S355**
Rozmiar przekroju	**IPE 500 +**		
Szczegóły:	h = 500 mm, b = 200 mm, t_w = 10.2 mm, t_f = 16 mm		
Położenie Belki:	**Belka Skrajna**	Typ konstrukcji:	**Niezespolona**

- **Strona B Belka Obwodowa**

Rodzina profili	**Profile europejskie**	Gatunek stali:	**S355**
Rozmiar przekroju	**IPE 750x137 +**		
Szczegóły:	h = 753 mm, b = 263 mm, t_w = 11.5 mm, t_f = 17 mm		
Położenie Belki:	**Belka Wewnętrzna**	Typ konstrukcji:	**Zespolona**
		Stopień zespolenia	**71 %**

Rys. 5.9 Dane wejściowe dla strefy projektowej stropu B przy zastosowaniu oprogramowania FRACOF.

- **Strona C Belka Obwodowa**

  Rodzina profili **Profile europejskie** Gatunek stali: **S355**

  Rozmiar przekroju **IPE 500 +**

  Szczegóły: h = 500 mm, b = 200 mm, t_w = 10.2 mm, t_f = 16 mm

  Położenie Belki: **Belka Wewnętrzna** Typ konstrukcji: **Zespolona**

  Stopień zespolenie **51 %**

- **Strona D Belka Obwodowa**

  Rodzina profili **Profile europejskie** Gatunek stali: **S355**

  Rozmiar przekroju **IPE 600 ***

  Szczegóły: h = 600 mm, b = 220 mm, t_w = 12 mm, t_f = 19 mm

  Położenie Belki: **Belka Skrajna** Typ konstrukcji: **Niezespolona**

  Uwaga(i):

  \+ Minimalne zamówienie: 40t dla przekrój i gatunku lub według uzgodnienia

  * Minimalny tonaż i warunki dostawy według uzgodnienia

6. Szczegóły obciążenia

- **Normalne (Na zimno)**

  Wiodące oddziaływanie zmienne: **5 kN/m²**

  Towarzyszące oddziaływanie zmienne: **0 kN/m²**

  Ciężar własny łącznie z belką, z wyłączeniem płyty: **1.2 kN/m²**

  Obliczony ciężar płyty łącznie z siatką: 2.65 N/m²

- **Pożarowe (Na gorąco)**

  Współczynnik kombinacyjny dla wiodącego oddziaływania zmiennego: **0.5**

  Współczynnik kombinacyjny dla innych oddziaływań zmiennych: **0.3**

7. Pożar i Analiza

- **Standardowa Krzywa Czas-Temperatura**

  Okres odporności ogniowej: **60 min**

Rys. 5.10 Dane wejściowe dla strefy projektowej stropu B przy zastosowaniu oprogramowania FRACOF.

Ustalone obciążenie w warunkach pożarowych: 6.35 kN/m²

- **Wyniki Tabelaryczne**

Czas	Belka	Siatka	Góra płyty	Spód płyty	Nośność belki	Przemieszczenie	Uplastycznienie płyty	Wzmocnienie	Nośność płyty	Nośność całkowita	Współczynnik jednostkowy
minuty	°C	°C	°C	°C	kN/m²	Mm	kN/m²		kN/m²	kN/m²	
0	20	20	20	20	38.54	254	0.79	3.13	2.49	41.03	0.15
5	180	24	20	143	38.5	315	0.79	3.67	2.91	41.45	0.15
10	423	37	22	343	36.90	414	0.79	4.52	3.59	40.49	0.16
15	621	53	28	485	19.77	48	0.79	5.11	4.06	23.83	0.27
20	732	74	36	586	9.25	529	0.79	5.52	4.38	13.63	0.47
25	790	102	48	657	5.95	559	0.79	5.77	4.58	10.53	0.60
30	826	120	62	711	4.75	579	0.79	5.95	4.72	9.47	0.67
35	853	125	71	753	4.10	595	0.79	6.09	4.84	8.93	0.71
40	875	163	83	787	3.56	606	0.79	6.18	4.91	8.47	0.75
45	894	190	89	815	3.09	618	0.79	6.28	4.99	8.08	0.79
50	911	214	103	840	2.84	623	0.79	6.33	5.02	7.87	0.81
55	926	238	119	861	2.69	625	0.79	6.35	5.04	7.74	0.82
60	940	263	131	880	2.56	629	0.79	6.38	5.07	7.63	0.83

Maksymalny współczynnik jednostkowy: **0.83** **Płyta stropowa jest odpowiednia**

Rys. 5.11 Wyniki obliczeń nośności strefy projektowej stropu B przy zastosowaniu oprogramowania FRACOF.

Oprogramowanie FRACOF podaje również temperatury krytyczne dla każdej belki obwodowej, jak pokazano na Rys. 5.12. Zabezpieczenie ogniochronne tych belek powinno zapewnić, że temperatura belek w pożarze nie przekroczy temperatury krytycznej przez wymagany okres odporności ogniowej. Stopień wykorzystania podany dla każdej belki jest stosunkiem pomiędzy efektem oddziaływań na belkę w warunkach pożarowych a nośnością belki dla warunków pożarowych obliczoną dla czasu zero (tj. w temperaturze pokojowej).

- **Sprawdzenie Belek Obwodowych**

Strona A	Rozmiar przekroju:	**IPE 500**	**Belka Skrajna Niezespolona**
	Stopień wykorzystania:	**0.58**	
	Temperatura krytyczna:	**563 °C**	
Strona B	Rozmiar przekroju:	**IPE 750x137**	**Belka Wewnętrzna Zespolona**
	Stopień zespolenia	**71 %**	
	Stopień wykorzystania:	**0.31**	
	Temperatura krytyczna:	**684 °C**	
Strona C	Rozmiar przekroju:	**IPE 500**	**Belka Wewnętrzna Zespolona**
	Stopień zespolenia	**51 %**	
	Stopień wykorzystania:	**0.37**	
	Temperatura krytyczna:	**670 °C**	
Strona D	Rozmiar przekroju:	**IPE 600**	**Belka Skrajna Niezespolona**
	Stopień wykorzystania:	**0.67**	
	Temperatura krytyczna:	**534 °C**	

Rys. 5.12 Wymagania dla nośności obwodowych belek strefy projektowej stropu B, ustalone przez oprogramowanie FRACOF.

5.1.2 Strefa projektowa stropu A

Rys. 5.13 do Rys. 5.15 przedstawiają dane wejściowe i dane wyjściowe oprogramowania FRACOF dla strefy projektowej stropu A, o wymiarach 9 m na 9 m. W celu uproszczenia konstrukcji zostanie przyjęta siatka zbrojeniowa ST 25C dla całej płyty i stropowa strefa projektowa A zostanie również sprawdzona dla tego rozmiaru siatki. W obszarze tej strefy projektowej stropu znajdują się 2 niezabezpieczone belki zespolone.

Na podstawie wyników obliczeń, nośność płyty wyznaczona jako dolne oszacowanie dla mechanizmu załomów plastycznych, wynosi 1.03 kN/m^2. Nośność ta jest podwyższona z uwagi na efekt oddziaływań membranowych, zapewniając płycie w 60-tej minucie nośność równą 5.39 kN/m^2. Współczynnik zwiększenia w 60 minucie został wyznaczony na podstawie ugięcia płyty wynoszącego 566 mm.

Nośność belek zespolonych jest dodawana do nośności płyty dając nośność całkowitą. Nośność belki jest wyznaczana na każdym kroku czasu na podstawie temperatury belek niezabezpieczonych. W 60-tej minucie, nośność na zginanie dwóch niezabezpieczonych belek wynosi 2.56 kN/m^2. Tak więc całkowita nośność wynosi: 2.56 + 5.39= 7.95 kN/m^2, czyli więcej od zastosowanego obciążenia. Płyta stropowa została odpowiednio zaprojektowana dla 60 minutowej odporności ogniowej.

2. Ogólny schemat

- **Rozpiętości**

  Rozpiętość 1: **9 m**
  Rozpiętość 2: **9 m**

- **Belki niezabezpieczone**

  Liczba niezabezpieczonych belek wewnętrznych **2**

3. Szczegóły szalunku

- **Charakterystyka szalunku**

Blacha	**COFRAPLUS 60**	Typ:	**Trapezowa**
Wysokość	**58 mm**	Górna półka	**106 mm**
Rozstaw	**207 mm**	Dolna półka	**62 mm**
Wysokość usztywnienia	**0 mm**		

4. Szczegóły płyty

- **Beton**

Rodzaj betonu:	**NORMALNY**	**G**rubość płyty:	**130 mm**
		Cylindryczna wytrzymałość betonu na ściskanie (f_{ck}):	**25 N/mm²**

- **Siatka**

Typ siatki:	**ST 25 C**		
Poprzeczna powierzchnia siatki	257 mm²/m	Rozmiar pręta:	7 mm
Podłużna powierzchnia siatki	257 mm²/m	Rozmiar pręta:	7 mm
Średnia odległość osi siatki	**30 mm**	Granica plastyczności siatki	**500 N/mm²**

5. Szczegóły belek

- **Belki Niezabezpieczone**

Rodzina profili	**Profile europejskie**	Gatunek stali:	**S355**
Rozmiar przekroju	**IPE 500 +**	Stopień zespolenia	**51 %**
Szczegóły:	h = 500 mm, b = 200 mm, t_w = 10.2 mm, t_f = 16 mm		

- **Strona A Belka Obwodowa**

Rodzina profili	**Profile europejskie**	Gatunek stali:	**S355**
Rozmiar przekroju	**IPE 550 ***		
Szczegóły:	h = 550 mm, b = 210 mm, t_w = 11.1 mm, t_f = 17.2 mm		
Położenie Belki:	**Belka Skrajna**	Typ konstrukcji:	**Niezespolona**

- **Strona B Belka Obwodowa**

Rodzina profili	**Profile europejskie**	Gatunek stali:	**S355**
Rozmiar przekroju	IPE **500 +**		
Szczegóły:	h = 500 mm, b = 200 mm, t_w = 10.2 mm, t_f = 16 mm		
Położenie Belki:	**Belka Wewnętrzna**	Typ konstrukcji:	**Zespolona**
		Stopień zespolenia	**72 %**

Rys. 5.13 Dane wejściowe dla strefy projektowej stropu A przy zastosowaniu oprogramowania FRACOF.

- **Strona C Belka Obwodowa**

  Rodzina profili **Profile europejskie** Gatunek stali: **S355**
  Rozmiar przekroju **IPE 500 +**
  Szczegóły: h = 500 mm, b = 200 mm, t_w = 10.2 mm, t_f = 16 mm
  Położenie Belki: **Belka Wewnętrzna** Typ konstrukcji: **Zespolona**
  Stopień zespolenia **51 %**

- **Strona D Belka Obwodowa**

  Rodzina profili **Profile europejskie** Gatunek stali: **S355**
  Rozmiar przekroju **IPE 500 +**
  Szczegóły: h = 500 mm, b = 200 mm, t_w = 10.2 mm, t_f = 16 mm
  Położenie Belki: **Belka Skrajna** Typ konstrukcji: **Niezespolona**

  Uwaga(i):
  + Minimalne zamówienie: 40t dla przekroju i gatunku lub według uzgodnienia
  * Minimalny tonaż i warunki dostawy według uzgodnienia

6. Szczegóły obciążenia

- **Normalne (Na zimno)**

  Wiodące oddziaływanie zmienne: **5 kN/m²**
  Towarzyszące oddziaływanie zmienne: **0 kN/m²**
  Ciężar własny łącznie z belką, z wyłączeniem płyty: **1.2 kN/m²**
  Obliczony ciężar płyty łącznie z siatką: 2.65 N/m²

- **Pożarowe (Na gorąco)**

  Współczynnik kombinacyjny dla wiodącego oddziaływania zmiennego: **0.5**
  Współczynnik kombinacyjny dla innych oddziaływań zmiennych: **0.3**

7. Pożar i Analiza

- **Standardowa Krzywa Czas-Temperatura**

  Okres odporności ogniowej: **60 min**

Rys. 5.14 Dane wejściowe dla strefy projektowej stropu A przy zastosowaniu oprogramowania FRACOF.

Ustalone obciążenie w warunkach pożarowych: 6.35 kN/m²

- **Wyniki Tabelaryczne**

Czas	Belka	Siatka	Góra płyty	Spód płyty	Nośność belki	Przemieszczenie	Uplastycznienie płyty	Wzmocnienie	Nośność płyty	Nośność całkowita	Współczynnik jednostkowy
minuty	°C	°C	°C	°C	kN/m²	Mm	kN/m²		kN/m²	kN/m²	
0	20	20	20	20	38.54	190	1.03	2.39	2.46	41.00	0.15
5	180	24	20	143	38.54	252	1.03	2.86	2.94	41.48	0.15
10	423	37	22	343	36.90	351	1.03	3.61	3.71	40.61	0.16
15	621	53	28	485	19.77	419	1.03	4.13	4.25	24.02	0.26
20	732	74	36	586	9.25	465	1.03	4.49	4.61	13.86	0.46
25	790	102	48	657	5.95	495	1.03	4.72	4.84	10.79	0.59
30	826	120	62	711	4.75	516	1.03	4.87	5.00	9.75	0.65
35	853	125	71	753	4.10	532	1.03	4.99	5.13	9.23	0.69
40	875	163	83	787	3.56	543	1.03	5.08	5.21	8.77	0.72
45	894	190	89	815	3.09	554	1.03	5.16	5.30	8.39	0.76
50	911	214	103	840	2.84	559	1.03	5.20	5.34	8.19	0.78
55	926	238	119	861	2.69	562	1.03	5.22	5.36	8.06	0.79
60	940	263	131	880	2.56	566	1.03	5.25	5.39	7.95	0.80

Maksymalny współczynnik jednostkowy: **0.8** **Płyta stropowa jest odpowiednia**

Rys. 5.15 Wyniki obliczeń nośności strefy projektowej stropu A przy zastosowaniu oprogramowania FRACOF.

Oprogramowanie FRACOF podaje również temperatury krytyczne dla każdej belki obwodowej, jak pokazano na Rys. 5.16. Zabezpieczenie ogniochronne tych belek powinno zapewnić, że temperatura belek w pożarze nie przekroczy temperatury krytycznej przez wymagany okres odporności ogniowej. Stopień wykorzystania podany dla każdej belki jest stosunkiem pomiędzy efektem oddziaływań na belkę w warunkach pożarowych a nośnością belki dla warunków pożarowych obliczoną dla czasu zero (tj. w temperaturze pokojowej).

- **Sprawdzenie Belek Obwodowych**

Strona A	Rozmiar przekroju:	**IPE 550**	**Belka Skrajna Niezespolona**
	Stopień wykorzystania:	**0.38**	
	Temperatura krytyczna:	**636 °C**	
Strona B	Rozmiar przekroju:	**IPE 500**	**Belka Wewnętrzna Zespolona**
	Stopień zespolenia	**72 %**	
	Stopień wykorzystania:	**0.37**	
	Temperatura krytyczna:	**663 °C**	
Strona C	Rozmiar przekroju:	**IPE 500**	**Belka Wewnętrzna Zespolona**
	Stopień zespolenia	**51 %**	
	Stopień wykorzystania:	**0.31**	
	Temperatura krytyczna:	**693 °C**	
Strona D	Rozmiar przekroju:	**IPE 500**	**Belka Skrajna Niezespolona**
	Stopień wykorzystania:	**0.62**	
	Temperatura krytyczna:	**552 °C**	

Rys. 5.16 Wymagania dla nośności belek obwodowych strefy projektowej stropu A, ustalone przez oprogramowanie FRACOF.

5.2 Szczegóły zbrojenia

Jako, że wyniki obliczeń potwierdzają, iż nośność stref A i B jest w obu przypadkach odpowiednia, zastosowana siatka ST 25C jest odpowiednia do projektowania na warunki pożarowe.

Siatka ma powierzchnię równą 257 mm^2/m w obu kierunkach i 7 mm pręty rozstawione w osiach co 150 mm w obu kierunkach.

Siatka w tym przykładzie ma granicę plastyczności równą 500 N/mm^2. Dla projektowania na warunki pożarowe Klasa zbrojenia powinna być określona jako Klasa B lub C według EN 10080, aby zapewnić, że siatka ma odpowiednią ciągliwość.

Na złączach pomiędzy arkuszami, siatka musi posiadać odpowiednie zakłady, aby w przypadku pożaru zapewnić jej pełną nośność na rozciąganie. Dla prętów siatki ST 25C o średnicy 7 mm wymagana minimalna długość zakładu powinna wynosić 300 mm, jak podano w Tablicy 3.1. W celu uniknięcia nakładania się prętów w zakładach na złączach, należy stosować arkusze siatki o końcach swobodnych, jak pokazano na Rys. 3.5.

W przypadku belek skrajnych, należy ułożyć dodatkowe zbrojenie w formie prętów o kształcie litery U, aby zapewnić odpowiednie powiązanie pomiędzy tymi belkami a płytą zespoloną.

5.3 Projektowanie belek obwodowych na warunki pożarowe

5.3.1 Wewnętrzne belki obwodowe

Wewnętrzne belki obwodowe każdej strefy są częścią więcej niż jednej strefy projektowej stropu. Jeżeli na przykład weźmiemy pod uwagę belkę w Osi B pomiędzy osiami 1 i 2, możemy zauważyć na Rys. 5.5, że ten element konstrukcyjny jest belką obwodową na boku C strefy projektowej stropu A a także belką obwodową na boku A strefy projektowej stropu B. Zabezpieczenie ogniochronne zastosowane do tego elementu musi być ustalone na podstawie niższej spośród wartości temperatury krytycznej określonych w wyniku obliczeń dla tych dwóch stref projektowych stropu. Biorąc pod uwagę wyniki dla stropowej strefy projektowej B pokazane na Rys. 5.12, temperatura krytyczna belki na boku A jest równa 670°C. Podobnie, dla strefy A, temperatura krytyczna belki na boku C wynosi 693^{o}C, jak pokazano na Rys. 5.16. W tym przypadku, stropowa strefa projektowa B daje znacznie niższą i dlatego bardziej niebezpieczną temperaturę krytyczną, która musi być zastosowana podczas wyznaczania odpowiedniej grubości zabezpieczenia ogniochronnego dla tego elementu konstrukcyjnego.

W celu wyznaczenia wymaganej grubości zabezpieczenia ogniochronnego producentowi zabezpieczenia ogniochronnego powinny być podane następujące informacje (wzięte z wymagań wymienionych na Rys. 5.12).

Okres odporności ogniowej	60 minut	
Rozmiar przekroju	IPE 500	
Temperatura krytyczna	670°C	

Dla tego rozmiaru belki, wskaźnik przekroju wyznaczony zgodnie z EN 1993-1-2, wynosi:

Wskaźnik przekroju	104 m^{-1}	przy 3-stronnym skrzynkowym zabezpieczeniu ogniochronnym
	134 m^{-1}	przy 3-stronnym profilowym zabezpieczeniu ogniochronnym

5.3.2 Belki skrajne

W przedstawionym przykładzie belki skrajne zostały zaprojektowane jako niezespolone. Jednak, w przypadku projektowania na warunki pożarowe, belki te powinny być odpowiednio zakotwione w płycie zespolonej. Uzyskuje się to poprzez zamocowanie w belce prętów w kształcie litery U (patrz Rozdziały 3.3.2 i 3.4) oraz sworzni ścinanych. Sworznie powinny być rozstawione w osiach co 300 mm w przypadku szalunku biegnącego równoległe do belki oraz w każdym zagłębieniu profilu deskowania, gdy szalunek rozciąga się prostopadle do belki (wg zaleceń w Rozdziale 3.4).

Zabezpieczenie ogniochronne wymagane dla belek skrajnych powinno być ustalane w ten sam sposób jak dla wewnętrznych belek obwodowych.

5.4 Zabezpieczenie ogniochronne słupów

Dla wszystkich słupów w przedstawianym przykładzie należy zastosować zabezpieczenie ogniochronne. Przy jego ustalaniu należy podać następujące informacje.

Okres odporności ogniowej	60 minut	
Rozmiar przekroju	HD 320 x 158	
Wskaźnik przekroju	63 m^{-1}	przy 4-stronnym skrzynkowym zabezpieczeniu ogniochronnym
	89 m^{-1}	przy 3-stronnym profilowym zabezpieczeniu ogniochronnym

Temperatura krytyczna 500°C lub o 80ºC niższa niż temperatura krytyczna obliczona według reguł projektowania zgodnie z EN 1993-1-2 (podać wartość niższą spośród tych wartości).

Zabezpieczenie ogniochronne powinno zostać nałożone na całej wysokości słupa aż do spodu zespolonej płyty stropowej.

POWOŁANIA

1. BAILEY, C. G. and MOORE, D. B.
   The structural behaviour of steel frames with composite floor slabs subject to fire, Part 1: Theory
   The Structural Engineer, June 2000
2. BAILEY, C. G. and MOORE, D. B.
   The structural behaviour of steel frames with composite floor slabs subject to fire, Part 2: Design
   The Structural Engineer, June 2000
3. BAILEY, C. G
   Membrane action of slab/beam composite floor systems in fire
   Engineering Structures 26
4. EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1 2: General actions. Actions on structures exposed to fire
   CEN
5. EN 1993-1-2:2005 Eurocode 3. Design of steel structures. General rules. Structural fire design
   CEN
6. EN 1994-1-2:2005 Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures. Structural fire design
   CEN
7. Fire Resistance Assessment of Partially Protected Composite Floors (FRACOF) Engineering Background, SCI P389, The Steel Construction Institute, 2009.
8. The Building Regulations 2000, Approved Document B (Fire safety) 2006 Edition: Volume 2: Buildings other than dwellinghouses, Department of Communities and Local Government, UK, 2006.
9. EN 1994-1-1:2004 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1 1: General rules and rules for buildings
   CEN
10. EN 10080:2005 Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel – General, CEN.
11. BS 4483:2005 Steel fabric for the reinforcement of concrete. Specification.
    BSI
12. BS 4449:1:2005 Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. Bar, coil and decoiled product. Specification
    BSI
13. NF A 35-016-2 : Aciers pour béton armé – Aciers soudables à verrous – Partie 2 : Treillis soudés (novembre 2007) (AFNOR)
14. NF A 35-019-2 : Aciers pour béton armé – Aciers soudables à empreintes – Partie 2 : Treillis soudés (novembre 2007) (AFNOR)
15. EN 1990:2002 Eurocode – Basis of structural design
    CEN

16. EN 1991-1-1:2003 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings
CEN

17. EN13381-4 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members. Applied passive protection to steel members, CEN, (To be published 2009)

18. EN13381-8 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members. Applied reactive protection to steel members, CEN, (To be published 2009)

19. EN 1992-1-1 Design of concrete structures – Part 1 1: General rules and rule for buildings
BSI

20. COUCHMAN. G. H , HICKS, S. J and RACKHAM, J, W
Composite Slabs and Beams Using Steel Decking: Best Practice for Design & Construction (2nd edition)
SCI P300, The Steel Construction Institute, 2008

21. BS 8110-1 Structural use of concrete. Code of practice for design and construction, BSI, London, 1997.

22. BAILEY, C. G.
The influence of thermal expansion of beams on the structural behaviour of columns in steel framed buildings during a fire
Engineering Structures Vol. 22, July 2000, pp 755 768

23. EN 1993-1-8:2005 Eurocode 3: Design of steel structures – Design of joints
BSI

24. Brown, D.G. Steel building design: Simple connections. SCI P358, The Steel Construction Institute, (To be published 2009)

25. Initial sizing of simple end plate connections
Access-steel document SN013a
Initial sizing of fin plate connections
Access-steel document SN016a
www.access-steel.com

26. Shear resistance of a simple end plate connection
Access-steel document SN014a and SN015a
Tying resistance of a simple end plate connection
Access-steel document SN015a
www.access-steel.com

27. Shear resistance of a fin plate connection
Access-steel document SN017a
Tying resistance of a fin plate connection
Access-steel document SN018a
www.access-steel.com

28. LAWSON, R. M.
Enhancement of fire resistance of beams by beam to column connections
The Steel Construction Institute, 1990

29. EN 1363-1:1999 Fire resistance tests. General requirements
CEN

30. EN 1365 Fire resistance tests for loadbearing elements.
    EN 1365-1:1999 Walls
    EN 1365-2:2000 Floors and roofs
    EN 1365-3:2000 Beams
    EN 1365-4:1999 Columns
    CEN