

KONSTRUKCJE STALOWE W EUROPIE

**Wielokondygnacyjne
konstrukcje stalowe
Część 2: Projekt koncepcyjny**

**Wielokondygnacyjne
konstrukcje stalowe
Część 2: Projekt koncepcyjny**

PRZEDMOWA

Niniejsza publikacja stanowi drugą część przewodnika projektanta zatytułowanego *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe*.

Przewodnik *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe* składa się z 10 następujących rozdziałów:

- Część 1: Poradnik architekta
- Część 2: Projekt koncepcyjny
- Część 3: Oddziaływania
- Część 4: Projekt wykonawczy
- Część 5: Projektowanie połączeń
- Część 6: Inżynieria pożarowa
- Część 7: Wzorcowa specyfikacja konstrukcji
- Część 8: Opis kalkulatora do obliczania nośności elementów konstrukcyjnych
- Część 9: Opis kalkulatora do obliczania nośności połączeń prostych
- Część 10: Wskazówki dla twórców oprogramowania do projektowania belek zespolonych

Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe to jeden z dwóch przewodników projektanta. Drugi przewodnik nosi tytuł *Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe*.

Obydwa przewodniki projektanta powstały w ramach europejskiego projektu „Wspieranie rozwoju rynku kształtowników na potrzeby hal przemysłowych i niskich budynków (SECHALO) RFS2-CT-2008-0030”.

Przewodniki projektanta zostały opracowane pod kierownictwem firm ArcelorMittal, Peiner Träger oraz Corus. Treść techniczna została przygotowana przez ośrodki badawcze CTICM oraz SCI współpracujące w ramach joint venture Steel Alliance.

Spis treści

	Nr strony
PRZEDMOWA	iii
STRESZCZENIE	vi
1 WPROWADZENIE: PROJEKTY KONSTRUKCYJNE W OGÓLNYCH PROJEKTACH BUDOWLANYCH	1
1.1 Hierarchia decyzji projektowych	2
1.2 Wymagania klienta	3
1.3 Kwestie ekonomiczne	6
1.4 Plan budowy	7
1.5 Zrównoważony rozwój	8
2 ZALETY KONSTRUKCJI STALOWYCH	12
2.1 Szybkość budowy	12
2.2 Proces budowlany	13
2.3 Duże rozpiętości oraz integracja instalacji	14
2.4 Lekkie konstrukcje oraz efektywność wykorzystania zasobów	16
2.5 Korzyści wynikające z możliwości adaptacji	16
3 ANALIZA PRZYPADKÓW DOTYCZĄCA WIELOKONDYGNACYJNYCH KONSTRUKCJI STALOWYCH	17
3.1 Budynek biurowy, Bishops Square, Londyn	17
3.2 Le Sequana, Paryż	19
3.3 Luksemburska Izba Handlowa	20
3.4 Kings Place, Kings Cross, Londyn	21
3.5 Centrala firmy Kone, Helsinki	23
3.6 AM Steel Centre, Liege	24
4 ANATOMIA PROJEKTU BUDYNKU	26
4.1 Siatki stropowe	26
4.2 Koordynacja wymiarowa	28
4.3 Opcje konstrukcyjne wpływające na stateczność	30
4.4 Słupy	32
4.5 Opcje konstrukcyjne systemów stropów	34
4.6 Czynniki wpływające na układ konstrukcji	39
4.7 Konstrukcja — integracja instalacji technicznej	41
5 SYSTEMY STROPÓW	44
5.1 Konstrukcja zespolona	44
5.2 Belki zespolone i płyty zespolone ze stalową blachą profilowaną	45
5.3 Belki zespolone o dużej rozpiętości z otworami w środku	50
5.4 Ażurowe belki zespolone z płytą zespoloną i stalową blachą profilowaną	53
5.5 Belki zespolone z prefabrykowanymi płytami betonowymi	56
5.6 Jednorodne belki z płytami prefabrykowanymi	60
5.7 Belki zintegrowane z prefabrykowanymi płytami betonowymi	62
5.8 Belki asymetryczne i wysoka blacha profilowana	65
5.9 Połączenia belek	67
6 POZOSTAŁE ZAGADNIENIA PROJEKTOWE	70
6.1 Oddziaływania wyjątkowe	70
6.2 Dynamika stropu	73
6.3 Ochrona przed korozją	74
6.4 Wpływ temperatury	75
6.5 Ochrona przeciwpożarowa	76
6.6 Właściwości akustyczne	77
6.7 Efektywność energetyczna	78
6.8 Okładziny	79
LITERATURA	83

STRESZCZENIE

W niniejszej publikacji podano niezbędne informacje pomocne w wyborze i zastosowaniu konstrukcji stalowych na etapie projektu koncepcyjnego nowoczesnych budynków wielokondygnacyjnych. Głównym przedmiotem zainteresowania są budynki handlowe, ale te same informacje można również wykorzystać w innych sektorach. Informacje zostały przedstawione w postaci strategii projektowej, anatomii projektu budynku oraz systemów konstrukcyjnych powiązanych z budynkami wielokondygnacyjnymi. Niniejsza publikacja dotycząca projektu koncepcyjnego konstrukcji wielokondygnacyjnych uzupełnia inne części przewodnika.

Wykorzystanie konstrukcji zespolonych o dużej rozpiętości jest uznawane za bardzo ważny krok w kierunku szerszego wykorzystania stali w budynkach wielokondygnacyjnych — z tego powodu takie formy konstrukcji zostały podkreślone w niniejszej publikacji. Promowane są belki ażurowe oraz perforowane kształtowniki, jako rozwiązania zintegrowane umożliwiające uzyskanie dużych rozpiętości bez zwiększania całkowitej wysokości stropu. Dzięki konstrukcjom o dużej rozpiętości uzyskuje się przystosowalne przestrzenie pozbawione słupów oraz ograniczenie fundamentów. Zastosowanie belek zintegrowanych jest również korzystne wówczas, gdy wysokość belki jest zminimalizowana, tak jak w przypadku prac renowacyjnych. Omówiono również inne rodzaje konstrukcji stropów, takie jak prefabrykaty betonowe.

Zawarte w tabelach dane służą do wstępnego projektowania różnych systemów konstrukcyjnych, z typowymi układami, wymiarami oraz wytycznymi dotyczącymi kluczowych zagadnień projektowych.

1 WPROWADZENIE: PROJEKTY KONSTRUKCYJNE W OGÓLNYCH PROJEKTACH BUDOWLANYCH

W budynkach wielokondygnacyjnych na projekt głównej konstrukcji budynku w zdecydowany sposób wpływa wiele zagadnień zdefiniowanych poniżej:

- Konieczność zapewnienia rozpiętości stropów w świetle (bez podpór) w celu zapewnienia większej przestrzeni użytkowej
- Wybór systemu okładzin
- Wymagania planowania, które mogą ograniczać wysokość budynku oraz maksymalną wysokość między stropami
- Strategia rozmieszczenia instalacji oraz efektywna integracja instalacji w budynku
- Warunki na miejscu budowy narzucające układ i rozmieszczenie fundamentów
- Ograniczenia w transporcie dźwigowym oraz przestrzeń do składowania materiałów i komponentów
- Szybkość wznoszenia konstrukcji, która może wpływać na liczbę wykorzystywanych komponentów oraz proces montażu.

Badania wykazują, że koszt konstrukcji budynku stanowi na ogół tylko 10% całkowitego kosztu budowy — natomiast wybór struktury fundamentów, instalacji oraz okładzin ma często większe znaczenie^[1]. W rzeczywistości projekt budynku stanowi syntezę zagadnień architektonicznych, konstrukcyjnych, instalacyjnych, logistycznych oraz związanych z wykonalnością projektu. Ramy stalowe idealnie nadają się do konstruowania nowoczesnych wielokondygnacyjnych budynków handlowych, takich jak przedstawiony na rysunku 1.1.



Rysunek 1.1 Nowoczesny budynek handlowy ze stali

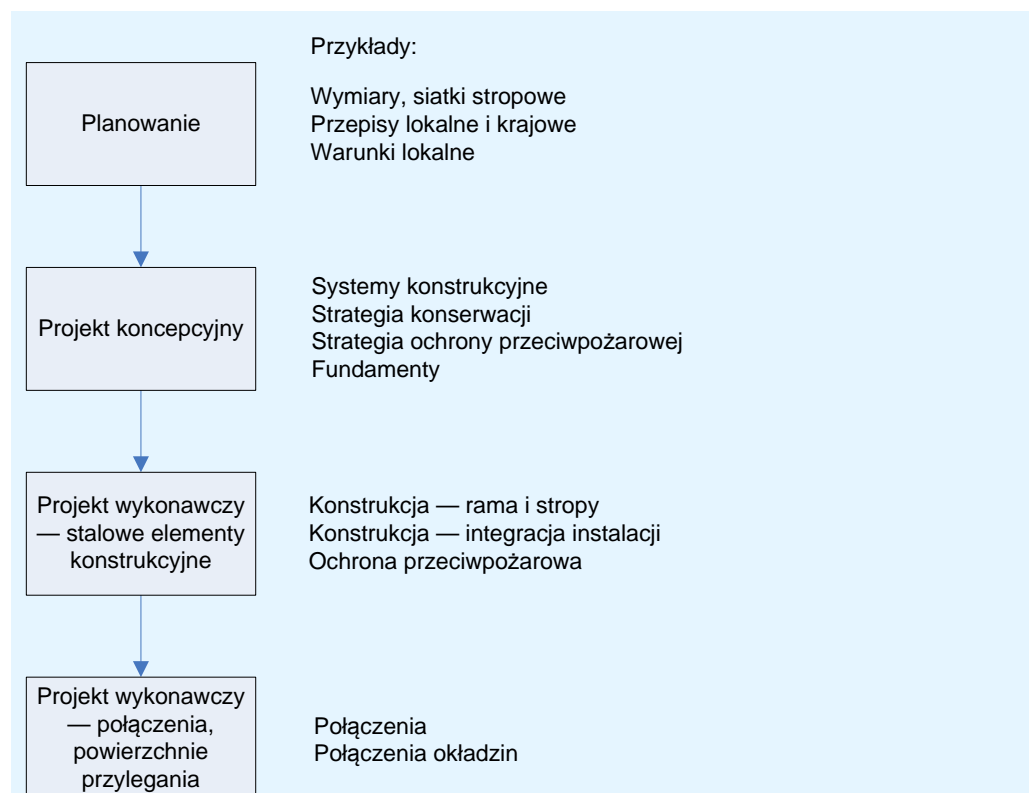
1.1 Hierarchia decyzji projektowych

Opracowanie jakiegokolwiek propozycji projektu budowlanego wymaga podjęcia szeregu skomplikowanych decyzji projektowych, które są ze sobą powiązane. Proces powinien zaczynać się od jasnego zrozumienia wymagań klienta oraz lokalnych warunków lub przepisów. Pomimo złożoności, możliwe jest określenie hierarchii decyzji projektowych, jak pokazano na rysunku 1.2.

Po pierwsze wymagania planowania prawdopodobnie zdefiniują ogólny kształt budynku, który będzie również obejmować takie aspekty, jak oświetlenie naturalne, wentylację oraz instalacje. Główne decyzje projektowe wymagające ścisłej współpracy z klientem są następujące:

- Wysokość strefy stropowej oraz ogólna strategia integracji konstrukcji z instalacjami
- Konieczność zaprojektowania specjalnych układów konstrukcyjnych w przestrzeniach publicznych lub ciągach komunikacyjnych
- Zabezpieczenie pewnych tolerancji pomiędzy konstrukcją a instalacjami, aby umożliwić ich późniejszą adaptację
- Korzyści płynące z zaprojektowania konstrukcji o większej rozpiętości, przy poniesieniu nieznacznych kosztów dodatkowych, w celu zwiększenia elastyczności układu.

Na podstawie wytycznych projektowych przygotowywany jest projekt koncepcyjny, który jest następnie analizowany przez zespół projektowy i klienta. Jest to wczesny interakcyjny etap, na którym podejmowane są istotne decyzje wpływające na koszt oraz wartość finalnego projektu. Ścisła współpraca z klientem jest niezbędna.



Rysunek 1.2 Hierarchia decyzji projektowych

Po uzgodnieniu projektu koncepcyjnego przystępuje się do opracowywania projektu wykonawczego budynku oraz jego komponentów — wówczas intensywność bezpośrednich kontaktów z klientem jest mniejsza. Połączenia oraz powierzchnie przylegania komponentów są często szczegółowo ustalane przez producenta lub wyspecjalizowanego konstruktora, ale główny architekt powinien orientować się w tych szczegółach.

1.2 Wymagania klienta

1.2.1 Wymagania przestrzenne

Wymagania klienta mogą zostać określone, po pierwsze przez ogólne fizyczne parametry budynku np. przez liczbę użytkowników oraz zakres ich funkcji, moduły projektowe lub wysokości między stropami. Minimalne obciążenia stropów oraz okresy ognioodporności zdefiniowano w przepisach krajowych, ale klient może chcieć określić wyższe wymagania.

Przykłady ogólnych wymagań klienta:

Zagęszczenie użytkowników	1 osoba na 10 do 15 m ²
Powierzchnia użytkowa: Powierzchnia całkowita:	zazwyczaj od 80 do 90%
Wysokość między stropami	od 3,6 m do 4,2 m
Wysokość między podłogą a sufitem	zazwyczaj od 2,7 m do 3 m
Moduł projektowy	od 1,2 m do 1,5 m
Obciążenie użytkowe	od 2,5 do 7,5 kN/m ²
Ognioodporność	od R60 do R120

Wysokość między stropami jest kluczowym parametrem, na który wpływają wymagania planowania dotyczące całkowitej wysokości budynku, naturalnego oświetlenia, kosztu okładzin oraz innych kwestii.

1.2.2 Wymagania dotyczące instalacji

Pozostałe wymagania klienta mogą zostać określone w dziale „obsługa techniczna”, który obejmuje zagadnienia związane z technologią informacyjną, a także inne zagadnienia związane z komunikacją, jako dodatek do kwestii związanych z wentylacją, oświetleniem oraz innymi wymogami dotyczącymi obsługi technicznej. W większości projektów budynków usytuowanych w centralnej części miasta klimatyzacja oraz chłodzenie klimatyzacyjne są niezbędne, ponieważ hałas ogranicza możliwość korzystania z naturalnej wentylacji. Na obszarach podmiejskich oraz wiejskich może być preferowana wentylacja naturalna.

Wymagania projektowe dotyczące instalacji budynku są zazwyczaj określone w przepisach kraju, w którym jest konstrukcja jest budowana, oraz są uzależnione od środowiska zewnętrznego i wewnętrznego.

Typowe przykłady wymagań klienta dotyczących projektowania podstawowych instalacji budynku:

Dopływ świeżego powietrza	8–12 litrów na sekundę na osobę
Temperatura wewnętrzna	22°C ± 2°C

Obciążenie chłodnicze	40–70 W/m ²
Izolacja cieplna (ściany)	$U < 0,35 \text{ W/m}^2\text{°K}$

Układy transmisji danych umieszczane są zwykle pod podłogą podniesioną, aby ułatwić dostęp użytkownikom oraz przyszłe modyfikacje. Pozostałe instalacje są zazwyczaj umieszczane pod stropem nad sufitem. Może dojść do bardzo dużego zagęszczenia instalacji i podczas minimalizacji całkowitej wysokości wymaganej do umieszczenia zarówno konstrukcji, jak i instalacji korzystnym może być rozwiązanie zintegrowane, takie jak te pokazane na rysunku 1.3.



Rysunek 1.3 Instalacje zintegrowane z ażurową belką stropową

1.2.3 Obciążenie stropu

Obciążenia stropów podano w przepisach krajowych lub w normie EN 1991-1-1. Wartości minimalne mogą zostać zwiększone w wyniku wymagań klienta. Obciążenie stropu składa się z trzech głównych elementów:

- Obciążenia użytkowego z uwzględnieniem ścian działowych
- Sufitu i instalacji oraz podniesionej podłogi
- Ciężaru własnego konstrukcji

Obciążenie użytkowe uzależnione jest od przeznaczenia budynku, a zakres obciążeń obliczeniowych wynosi od 2,0 do 7,5 kN/m², jak przedstawiono w tabeli 1.1 pochodzącej z Tabeli 6.2 normy EN 1991-1-1. Obciążenia użytkowe stropów należy pobrać z Tabeli 6.1 oraz Tabeli 6.2 umieszczonych w normie EN 1991-1-1. W §6.3.1.2(8) podano tolerancje dla przenośnych ścian działowych w zakresie od 0,5 kN/m² do 1,2 kN/m². Kolejna wartość 0,7 kN/m² jest generalnie dozwolona dla sufitu, instalacji oraz podniesionej podłogi.

W przypadku belek obwodowych należy uwzględnić obciążenie wywierane przez ściany elewacyjne oraz wykończenia wewnętrzne, które mogą wahać się od 3–5 kN/m w przypadku okładzin lekkich przez 8–10 kN/m w przypadku muru ceglanego do 10–15 kN/m w przypadku prefabrykowanych płyt betonowych.

Ciężar własny typowego stropu zespolonego wynosi od 2,8 do 3,5 kN/m², co stanowi jedynie około 50% ciężaru płaskiej płyty żelbetowej o grubości 200 mm. Ciężar własny prefabrykowanej betonowej płyty kanałowej oraz nadbetonu wynosi zazwyczaj od 3,5 do 6,5 kN/m² dla podobnej rozpiętości.

Inne typowe ciężary i masy podano w tabeli 1.2.

Tabela 1.1 Typowe obciążenia użytkowe w biurach (kN/m²)

Kategoria normy EN 1991-1-1	Zastosowanie	Obciążenie użytkowe	Ściany działowe	Sufit, instalacje itp.
B	Biura — ogólnie	2,0–3,0	0,5–1,2	0,7
C1	Powierzchnie, na których znajdują się stoły	2,0–3,0	0,5–1,2	0,7
C2	Powierzchnie ze stałymi miejscami siedzącymi	3,0–4,0	0,5–1,2	0,7
C3	Powierzchnie dostępne dla dużej liczby osób	3,0–5,0		
C5	Powierzchnie dostępne dla wielkiej liczby osób	5,0–7,5		

Tabela 1.2 Typowe ciężary i masy elementów budynku

Element	Typowy ciężar albo masa
Prefabrykaty (rozpiętość 6 m, zaprojektowane na obciążenia użytkowe wynoszące 5 kN/m ²)	od 3,5 do 4,5 kN/m ²
Płyta zespolona (beton o zwykłej masie i grubości 140 mm)	od 2,8 do 3,5 kN/m ²
Płyta zespolona (beton lekki o grubości 130 mm)	od 2,1 do 2,5 kN/m ²
Instalacje (oświetlenie)	0,25 kN/m ²
Sufity	0,1 kN/m ²
Konstrukcja stalowa (niska: od 2 do 6 kondygnacji)	od 35 do 50 kg/m ²
Konstrukcja stalowa (średnia wysokość: od 7 do 12 kondygnacji)	od 40 do 70 kg/m ²

1.2.4 Obciążenie zewnętrzne

Dachy są poddawane obciążeniom użytkowym zawartym w normie EN 1991-1-1; wynoszą one zazwyczaj 0,4 lub 0,6 kN/m².

Dachy są również narażone na obciążenia śniegiem, które powinny być określone na podstawie normy EN 1991-1-3.

Obciążenia wiatrem należy obliczać według normy EN 1991-1-4.

Metody określania tych obciążeń omówiono w innych dokumentach z tej serii^[2].

1.3 Kwestie ekonomiczne

1.3.1 Koszt budowy

Analiza kosztów budowy typowego budynku biurowego^[1] jest w przybliżeniu następująca:

Fundamenty	5–15%
Nadziemna część konstrukcji budynku oraz stropy	10–15%
Okładzina oraz pokrycie dachowe	15–25%
Instalacje (mechaniczna oraz elektryczna)	15–25%
Instalacje (sanitarna oraz pozostałe instalacje)	5–10%
Wykończenia, ściany działowe oraz stałe elementy wyposażenia	10–20%
Prace przygotowawcze (zarządzanie budową)	10–15%

Prace przygotowawcze obejmują koszty związane z zarządzaniem budową oraz urządzeniami sterującymi, łącznie z dźwigami, magazynem oraz sprzętem. Przygotowanie budowy może się różnić w zależności od skali projektu i w przypadku konstrukcji stalochłonnych dopuszczalny jest często 15% odsetek całkowitego kosztu. Wartość ta obniża się do 12% w przypadku prowadzonej na większą skalę prefabrykacji poza miejscem budowy. Koszt nadziemnej części konstrukcji budynku czyli szkieletu konstrukcji rzadko jest większy niż 10% całkowitego kosztu, ale ma istotny wpływ na inne koszty. Na przykład zmniejszenie wysokości między sufitem a stropem o 100 mm może przynieść 2,5% oszczędności w koszcie położenia okładziny (co stanowi równowartość 0,5% oszczędności w całkowitym koszcie budowy).

1.3.2 Zalety konstrukcji stalowych

Konstrukcje stalowe zapewniają wiele korzyści klientom/użytkownikom, w tym:

- Przestrzenie bezsłupowe pozwalające na elastyczność w sposobie użytkowania
- Łatwość rozbudowy i adaptacji w przyszłości, łącznie z koniecznością powtórnego montażu instalacji
- Różne systemy okładzin oraz pokryć dachowych
- Długi projektowany okres użytkowania i łatwość konserwacji
- Efektywna energetycznie konstrukcja.

Te zalety konstrukcji stalowych omówiono w rozdziale 2.

1.3.3 Koszt posiadania/użytkowania

Szacuje się, że całkowity koszt eksploatacji budynku w ciągu 60-letniego projektowanego okresu użytkowania budynku może być od 3 do 5 razy wyższy niż koszt początkowej konstrukcji. Główne komponenty kosztów długoterminowych obejmują:

- Bezpośrednie koszty ogrzewania, oświetlenia, klimatyzacji
- Odświeżanie wnętrz; drobne remonty co 3–5 lat; generalne remonty co 10–20 lat
- Wymiana instalacji: średnio co 15–20 lat
- Prawdopodobne ponowne położenie okładziny budynku po 25–30 latach

Zgodnie z wymogami Europejskiej dyrektywy dotyczącej oszczędzania energii w budynkach wymaga się, aby budynki biurowe posiadały tzw. paszport energetyczny definiujący zużycie energii oraz działania prowadzące do oszczędzania energii. Wiele nowoczesnych budynków projektuje się mając na uwadze środki umożliwiające oszczędność energii, w tym dwuwarstwowe elewacje, pojemność cieplna i kominy umożliwiające wentylację naturalną oraz fotowoltaika w pokryciu dachowym.

1.4 Plan budowy

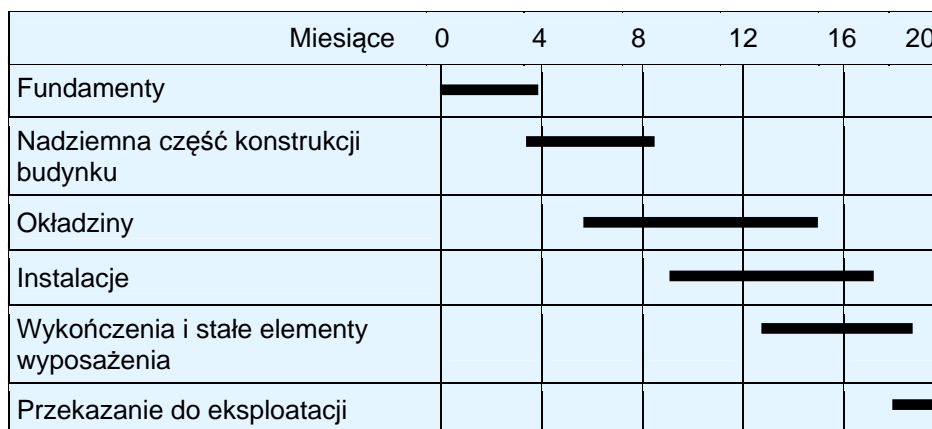
Na rysunku 1.4 przedstawiono typowy plan budowy średniego biurowca. Jedną z zalet konstrukcji stalowych jest to, że w początkowym okresie przygotowania miejsca budowy oraz budowy fundamentów jest wystarczająco dużo czasu na produkcję zestawów elementów konstrukcji stalowych poza miejscem budowy. Jest to budowa w tzw. trybie „szybkiej ścieżki”.

Montaż głównej konstrukcji oraz stropów stanowi zajmuje około 20–25% całkowitego czasu trwania budowy, ale jego zakończenie pozwala na wczesne rozpoczęcie prac okładzinowych oraz instalacyjnych. To właśnie z tych powodów konstrukcje stalowe uzyskują znaczną przewagę w szybkości budowy, ponieważ jest to w gruncie rzeczy „sucha” budowa z wykorzystaniem elementów prefabrykowanych.

W typowych projektach budowlanych oszczędności w okresie budowy z wykorzystaniem konstrukcji stalowych, w porównaniu z budową z wykorzystaniem innych materiałów, mogą wynosić od 5% do 15%, w zależności stopnia wykorzystania prefabrykacji. Główną zaletą planu w stosunku do konstrukcji betonowych jest zbudowanie wodoszczelnych przegród zewnętrznych budynku na wczesnym etapie procesu budowlanego. Korzyści finansowe wynikające z szybszej budowy są następujące:

- Oszczędności podczas przygotowywania budowy
- Wzrost wydajności w pozostałym okresie budowy
- Zmniejszone płatności z tytułu odsetek
- Wcześniejsze dochody z nowego obiektu.

Typowe oszczędności kosztów związane z czasem stanowią od 2% do 4% kosztów całkowitych, czyli znaczną część kosztu nadziemnej części konstrukcji budynku. Ponadto w przypadku projektów renowacyjnych oraz projektów polegających na znacznej rozbudowie budynku szybkość budowy oraz ograniczenie dezorganizacji wpływającej na użytkowników lub sąsiednie budynki mogą być jeszcze ważniejsze.



Rysunek 1.4 Plan budowy typowego 4–6 kondygnacyjnego stalowego budynku handlowego

1.5 Zrównoważony rozwój

Konstrukcja budowana zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju musi uwzględniać trzy aspekty:

- Kryteria środowiskowe
- Kryteria ekonomiczne
- Kryteria społeczne

Te trzy kryteria są spełniane przez konstrukcje stalowe:

Kryteria środowiskowe

Stal jest jednym z najbardziej odzyskiwanych oraz recyklingowanych materiałów. Około 84% stali przetwarza się ponownie bez utraty wytrzymałości ani jakości a 10% ponownie się wykorzystuje. Przedłużenie czasu eksploatacji budynku jest zwykle znacznie bardziej korzystniejsze niż burzenie konstrukcji. Jest to ułatwione dzięki zastosowaniu konstrukcji stalowych, ponieważ duże przestrzenie bezszwowe zapewniają elastyczność podczas zmian w sposobie użytkowania. Postęp w produkcji surowców oznacza mniejsze zużycie wody i energii w procesie produkcji, a także pozwala na znaczną redukcję hałasu i zanieczyszczeń oraz ograniczenie emisji CO₂.

Kryteria ekonomiczne

W przypadku konstrukcji stalowej różne elementy konstrukcyjne łączą się, tworząc zintegrowaną konstrukcję. Materiały są produkowane, wytwarzane z części i konstruowane w wydajnych procesach produkcyjnych. Wykorzystanie materiału jest wysoce zoptymalizowane, a odpady praktycznie wyeliminowane. Konstrukcje są wykorzystywane we wszystkich obszarach współczesnego życia, w tym w logistyce, sprzedaży detalicznej, handlu oraz produkcji, tworząc

infrastrukturę, od której zależne jest społeczeństwo. Konstrukcje stalowe charakteryzują się niskimi kosztami inwestycyjnymi, optymalnymi kosztami operacyjnymi i wyjątkową elastycznością użytkowania budynku, a także wysoką jakością, funkcjonalnością, estetyką i krótkim czasem budowy.

Kryteria społeczne

Wysoki odsetek elementów budynków stalowych produkowanych poza miejscem budowy oznacza, że warunki pracy są bezpieczniejsze i kontrolowane, a obszar pracy jest chroniony przed zjawiskami atmosferycznymi. Stałe miejsce przebywania pracowników przyczynia się do rozwoju społeczności, życia rodzinnego i kwalifikacji. Stal nie uwalnia żadnych szkodliwych substancji do otoczenia, a budynki stalowe są solidnym, bezpiecznym rozwiązaniem.

Budynki wielokondygnacyjne

Projektowanie budynków wielokondygnacyjnych jest coraz bardziej zależne od doktryny zrównoważonego rozwoju, określonej przez takie kryteria jak:

- Efektywne wykorzystywanie materiałów i odpowiedzialne zaopatrywanie się w materiały
- Eliminacja odpadów w procesach produkcyjnych i budowlanych
- Efektywność energetyczna eksploatowanego budynku, łącznie z poprawą szczelności
- Środki mające na celu zmniejszenie zużycia wody
- Poprawa komfortu wewnątrz budynku
- Ogólne kryteria zarządzania i planowania, takie jak: powiązanie z transportem publicznym, estetyka oraz zachowanie wartości ekologicznych.

Budynki wykonane w konstrukcji stalowej można tak zaprojektować, aby spełniały wszystkie powyższe kryteria. Niektóre zidentyfikowane zalety stali z perspektywy zrównoważonego rozwoju to:

- Konstrukcje stalowe są solidne i mogą być długo eksploatowane. Konstrukcje stalowe, których szczegóły zostały prawidłowo ustalone, i które są właściwie konserwowane mogą być wykorzystywane bez końca
- Około 10% kształtowników stalowych wykorzystuje się ponownie^[3]
- 95% kształtowników ze stali konstrukcyjnej podlega recyclingowi
- Produkty stalowe mogą potencjalnie zostać zdemontowane i ponownie wykorzystane, w szczególności komponenty modułowe lub ramy stalowe
- Konstrukcje stalowe są lekkie i nadają się do zastosowania na słabych podłożach gruntowych oraz nad tunelami
- Stal jest efektywnie wytwarzana w przemysłowych, kontrolowanych procesach
- Wszystkie odpady są ponownie przetwarzane. Brak odpadów na miejscu budowy
- Wykonanie budynku w konstrukcji stalowej maksymalnie zwiększa możliwość i łatwość jego rozbudowy oraz zmiany sposobu jego wykorzystania

- Przegrody zewnętrzne budynku mogą charakteryzować się wysokim stopniem izolacji termicznej
- Prefabrykowane systemy konstrukcyjne są szybko montowane i są o wiele bezpieczniejsze w trakcie realizacji procesów budowlanych
- Montaż konstrukcji stalowych jest bezpieczny, a zabezpieczenia, takie jak pokazane na rysunku 1.5 wstępnie zamocowane bariery zabezpieczające, można połączyć z konstrukcją stalową.

W krajach europejskich istnieją różne środki oceny zgodności z zasadami zrównoważonego rozwoju^[4]. Krajowe przepisy budowlane określają minimalne wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej budynków, które muszą być spełnione. Wiele budynków wielokondygnacyjnych zaprojektowano z wykorzystaniem systemów zacieniania oraz aktywnych technologii wytwarzania energii, takich jak fotowoltaika, jak pokazano na rysunku 1.6.

Dzięki zastosowaniu płyt zespolonych można wykorzystać pojemność cieplną konstrukcji budynku. Badania wykazały, że do wystarczającego magazynowania energii w konstrukcji budynku potrzebna jest płyta o wysokości wynoszącej zaledwie od 50 do 75 mm^[5].



Rysunek 1.5 Wstępnie zamocowane bariery zabezpieczające na obwodzie konstrukcji stalowej



Rysunek 1.6 „Zielony” dach oraz panele fotowoltaiczne zamontowane na biurowcu w centrum miasta

2 ZALETY KONSTRUKCJI STALOWYCH

W sektorze konstrukcji wielokondygnacyjnych korzyści wynikające z zastosowania konstrukcji stalowych są w dużej mierze związane z „szybką ścieżką” procesu budowlanego prowadzącą do wielu korzyści finansowych i operacyjnych. Liczne innowacje związane z procesem budowlanym jeszcze bardziej zwiększyły te nieodłączne korzyści oraz poprawiły efektywność i wydajność. Jest to bardzo ważne w przypadku projektów budynków mających powstać w centralnej części miasta, gdzie brak miejsca na składowanie materiałów i urządzeń, i gdzie występują ograniczenia w zakresie dostaw i logistyki, a także ograniczenia projektowe, co oznacza, że większa część prac powinna zostać wykonana w fabryce, a mniejsza — na placu budowy.

Korzyści wynikające z wykorzystania stali w budynkach wielokondygnacyjnych wynikają głównie z jej prefabrykowanego charakteru, lekkości wykonanej z niej konstrukcji oraz możliwości przeprowadzania etapami różnych czynności w sposób szeregowy, a nie równoległy. Powyższe korzyści przeanalizowano w kolejnych rozdziałach.

2.1 Szybkość budowy

Szybkość budowy jest najważniejszą zaletą konstrukcji stalowej, prowadzącą również do korzyści finansowych oraz korzyści związanych z zarządzaniem oraz logistyką. Wielu z nich można doświadczyć zarówno w obszarze ekonomicznym, jak i w obszarze zrównoważonego rozwoju. Okazuje się, iż konstrukcja stalowa ośmiokondygnacyjnego biurowca wznoszona jest do 20% szybciej niż konstrukcja żelbetowa, ale co ważniejsze, główny szkielet konstrukcji oraz stropy wznoszone są do 40% szybciej, co pozwala na szybsze rozpoczęcie prac związanych z instalacją, montażem, okładzinami i innymi elementami. Szybki proces budowy opiera się na synergicznym wykorzystaniu ram stalowych, blach stalowych oraz, w niektórych przypadkach, rdzeni betonowych lub usztywnionych rdzeni stalowych, jak pokazano na rysunku 2.1.

Korzyści finansowe wynikające z szybkości budowy:

- Wcześniejsze zakończenie budowy, co prowadzi do zmniejszenia należności z tytułu odsetek od kwoty pożyczonego kapitału oraz wcześniejszego zwrotu jako procentu przychodu
- Obniżone przepływy gotówkowe
- Redukcja kosztów zarządzania na budowie, przede wszystkim ze względu na krótszy okres budowy, ale również ze względu na mniejszą liczbę zatrudnionych pracowników
- Redukcja kosztów wynajmu zaplecza placu budowy
- Większa pewność i mniejsze ryzyko w procesie budowlanym



Rysunek 2.1 Szybki montaż konstrukcji stalowej oraz blach stalowych przyspiesza proces budowlany

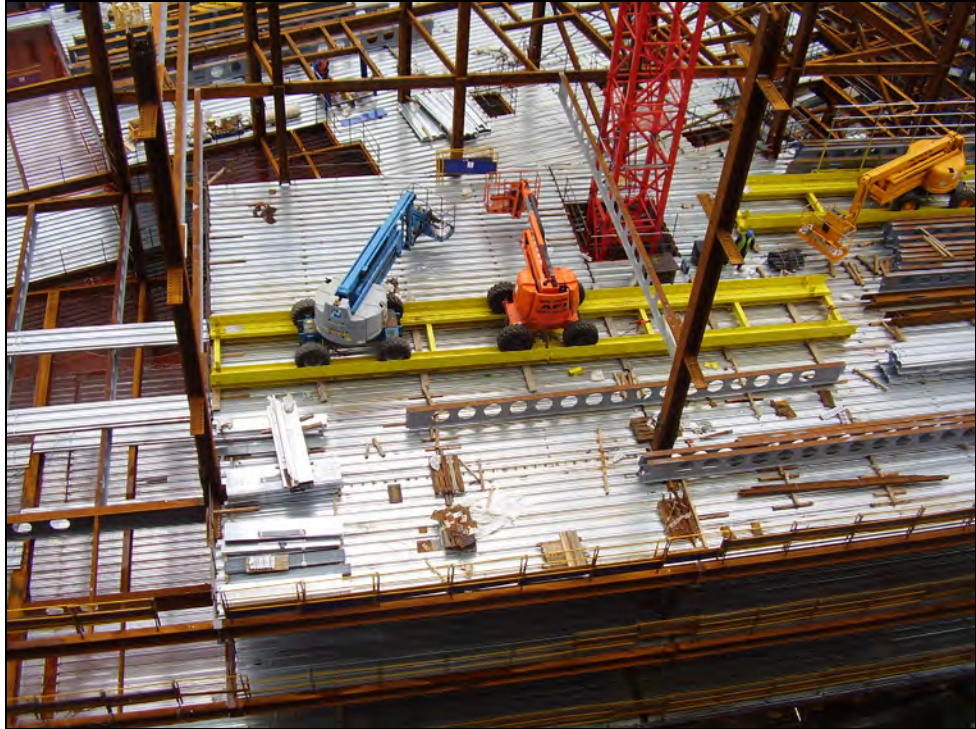
2.2 Proces budowlany

Szybkość budowy osiągana jest w oparciu o system dostawy komponentów „dokładnie na czas” (just in time) oraz szybki montaż konstrukcji stalowej. Szacuje się, że jeden żuraw wieżowy może zamontować do 20 elementów stalowych dziennie, co odpowiada powierzchni stropów wynoszącej około 300 m².

Dodatkowe korzyści wynikające z zastosowania konstrukcji stalowych:

- Umieszczanie blach stalowych w „wiązkach” na belkach oraz ich montaż w tempie 500 m² dziennie
- Unikanie tymczasowego podstemplowania przez wykorzystywanie blach stalowych o rozpiętości od 3 do 4 m w przypadku profili o wysokości od 50 do 80 mm
- Ochrona przeciwpożarowa dzięki zastosowaniu powłoki ochronnej przeciwogniowej nakładanej w fabryce, co eliminuje czas potrzebny do przeprowadzenia tego procesu na budowie
- Możliwość obniżenia wielkości ochrony przeciwpożarowej przy użyciu analizy wykonywanej przy pomocy inżynierii pożarowej
- Wykorzystanie ruchomych platform montażowych poprawia bezpieczeństwo wykonywania prac budowlanych oraz przyspiesza proces montażu, jak pokazano na rysunku 2.2
- Prefabrykowane schody montowane jako część zespołu konstrukcji stalowej
- Bariery zabezpieczające mogą być mocowane do obwodowych belek stalowych, patrz 1.5

- Szybkie położenie betonu o powierzchni do 1000 m² w ciągu jednego dnia, w przypadku płyty betonowej o wysokości 130 m
- Lekkie stalowe ściany wypełniające oraz szybko instalowane ściany działowe, które mogą być prefabrykowane
- Modułowe, serwisowane jednostki, które mogą być montowane razem z zespołem konstrukcji stalowej



Rysunek 2.2 Szybki, bezpieczny montaż konstrukcji stalowej i blach stalowych z ruchomej platformy montażowej przyspiesza proces budowlany

2.3 Duże rozpiętości oraz integracja instalacji

Integracja instalacji budynku z główną konstrukcją może zostać osiągnięta na dwa sposoby:

- Poprzez zaprojektowanie konstrukcji o minimalnej wysokości konstrukcyjnej, tak aby instalacje biegły pod spodem
- Poprzez zaprojektowanie konstrukcji z równooddalonymi otworami lub strefami umożliwiającymi integrację instalacji w granicach wysokości konstrukcyjnej

Konstrukcja o dużej rozpiętości jest atrakcyjna z powodu braku konieczności montażu słupów wewnętrznych i większej możliwości adaptacji przestrzeni wewnętrznej do obecnych i przyszłych zastosowań. Rozpiętości od 12 do 18 m są łatwo osiągalne dzięki różnym technologiom wytwarzania elementów ze stali konstrukcyjnej.

Minimalna wysokość konstrukcyjna jest osiągana dzięki zastosowaniu cienkich stropów lub belek zintegrowanych, których maksymalna rozpiętość wynosi około 9 m. Układy konstrukcyjne umożliwiające integrację instalacji obejmują:

- Belki ażurowe z szeregiem okrągłych otworów, jak pokazano na rysunku 1.3
- Stalowe belki walcowane lub blachownice z równooddalonymi otworami (często prostokątnymi), jak pokazano na rysunku 2.3
- Kratownice lub inne elementy o konstrukcji otwartej.

W przypadku budynków handlowych wysokość strefy zawierającej strop i instalacje wynosi zazwyczaj od 800 mm do 1200 mm. W przypadku projektów renowacyjnych, w których zachowywana jest pierwotna elewacja, cienki strop lub belki zintegrowane są atrakcyjnym rozwiązaniem — przy ich wykorzystaniu można uzyskać całkowitą wysokość strefy stropowej mniejszą niż 600 mm.

Oszczędności ekonomiczne wynikające ze stosowania konstrukcji o dużej rozpiętości można podsumować następująco:

- Oszczędność kosztów pokrycia okładziną (do 300 mm na kondygnację)
- Wyeliminowanie słupów wewnętrznych oraz zwiększenie powierzchni użytkowej (do 3% powierzchni w rzucie poziomym)
- Mniej elementów stalowych do montażu (do 25% mniej)
- Słupy i elewacje mogą być umieszczone na obwodzie budynku
- Łatwość integracji instalacji oraz ich przyszłego serwisu
- Możliwość przyszłej adaptacji przestrzeni oraz ponowne wykorzystanie budynku



Rysunek 2.3 Prostokątne otwory w belkach zespolonych służące do rozprowadzania instalacji

2.4 Lekkie konstrukcje oraz efektywność wykorzystania zasobów

Konstrukcje stalowe wszystkich typów są lekkie, również z uwzględnieniem betonowych stropów. Ciężar własny typowego stropu zespolonego wynosi zazwyczaj tylko 40% ciężaru płaskiej płyty żelbetowej. Gdy brana jest pod uwagę całkowita masa budynku, konstrukcja stalowa jest do 30% lżejsza niż równoważny budynek betonowy, co prowadzi do odpowiednich oszczędności na kosztach fundamentów.

Ponadto konstrukcja stalowa jest preferowanym rozwiązaniem w przypadku budowy na:

- Terenach przemysłowych lub uprzednio zabudowanych, często z istniejącymi fundamentami
- Nad instalacjami podziemnymi i tunelami
- Nad liniami kolejowymi i innymi konstrukcjami „typu cokołowego”

W stalowej konstrukcji praktycznie wyeliminowane są odpady ze względu na charakter procesu jej produkcji, a wszystkie stalowe odpady podlegają recyklingowi. Materiały synergiczne, takie jak okładzina tynkowa, również mogą być ponownie przetwarzane.

2.5 Korzyści wynikające z możliwości adaptacji

Ogólne wymagania w stosunku do wszystkich budynków wielokondygnacyjnych zmieniają się znacznie w projektowanym okresie ich użytkowania. Sposób użytkowania budynku również może się kilka razy zmienić się w okresie eksploatacji. Coraz częściej sposoby użytkowania budynków ulegają zmianie — na przykład w wielu głównych miastach europejskich obserwowana jest rosnąca tendencja do przekształcania budynków biurowych w budynki mieszkalne.

W latach 1960. i 70. wiele budynków wznoszono przy minimalnych kosztach, bez żadnego uwzględniania możliwości przyszłej adaptacji. Okazało się, że konstrukcje te nie nadają się do przeprowadzania zmian w odpowiedzi na zmieniające się potrzeby użytkowników, co prowadzi do ich przedwczesnej rozbiórki.

Choć na etapie opracowywania oferty trudno określić to ilościowo, istnieją wyraźne korzyści jakościowe wynikające ze skonkretyzowania konstrukcji, która z natury daje się dostosowywać do zmiennych wymagań w trakcie jej eksploatacji. Najważniejszymi zagadnieniami związanymi z dostosowalnością są:

- Ustalenie większych rozpiętości pozwalające na większą elastyczność układu
- Zapewnienie przestrzeni na dodatkowe instalacje
- Wyznaczenie obciążeń stropów pozwalających na zmianę sposobu użytkowania

3 ANALIZA PRZYPADKÓW DOTYCZĄCA WIELOKONDYGNACYJNYCH KONSTRUKCJI STALOWYCH

W poniższej analizie przypadków opisano wykorzystanie stali w budynkach wielokondygnacyjnych, głównie w sektorze budynków handlowych, ale także w sektorze mieszkaniowym, gdzie wykorzystywane są te same technologie.

3.1 Budynek biurowy, Bishops Square, Londyn



Rysunek 3.1 Budynek biurowy, Bishop's Square, Londyn

Budynek Bishop's Square znajdujący się w pobliżu London's Broadgate został zbudowany przy wykorzystaniu konstrukcji stalowo-zespolonej o rozpiętości 18 m i wysokości wynoszącej zaledwie 650 mm. Elewacja budynku jest niemal całkowicie szklana, a na trzech poziomach utworzono „zielony” dach. Na rysunku 3.1 pokazano gotowy budynek, a na rysunku 3.2 budynek w czasie budowy.

Dwunastokondygnacyjny budynek o powierzchni użytkowej około 80000 m² zawiera około 9500 ton elementów stalowych i został wzniesiony w ciągu tylko 30 tygodni z całkowitego 20-miesięcznego planu budowy. Ochrona przeciwpożarowa w postaci farb pęczniejących została wykonana w jednej operacji poza placem budowy przez wykonawcę konstrukcji stalowej, co wpłynęło na przyśpieszenie kolejnych prac.

Niemal całkowicie szklana elewacja była tak projektowana, aby spełnić surowe wymagania termiczne, w związku z czym zamontowano potrójne szyby ze zintegrowanymi żaluzjami. Na dachu zamontowano panele fotowoltaiczne, aby zapewnić źródło zasilania oświetlenia, zmniejszając tym samym koszty eksploatacji oraz emisję CO₂.

Wysokość między stropami wynosi jedynie 3,9 m, co wymusiło zastosowanie belki o wysokości jedynie 650 mm, jako elementu całkowitej wysokości strefy stropowej wynoszącej 1050 mm. Poważnie obciążone belki główne o rozpiętości 9 m mają duże prostokątne otwory i są zwężane na wysokości w pobliżu rdzeni betonowych w celu umożliwienia poprowadzenia dużych przewodów.

Belki drugorzędne zaprojektowano jako blachownice stalowe z szeregiem okrągłych otworów o średnicy 425 mm służących do przeprowadzenia instalacji oraz z dwoma prostokątnymi otworami o wysokości 425 mm i szerokości 750 mm umiejscowionymi w pobliżu połowy rozpiętości. Określono wartość graniczną ugięcia pod obciążeniem użytkowym wynoszącą jedynie 30 mm; uzyskano ją przez nieusztynnione belki o masie 138 kg/m.



Rysunek 3.2 Widok ażurowych belek o dużej rozpiętości w budynku Bishop's Square

3.2 Le Sequana, Paryż

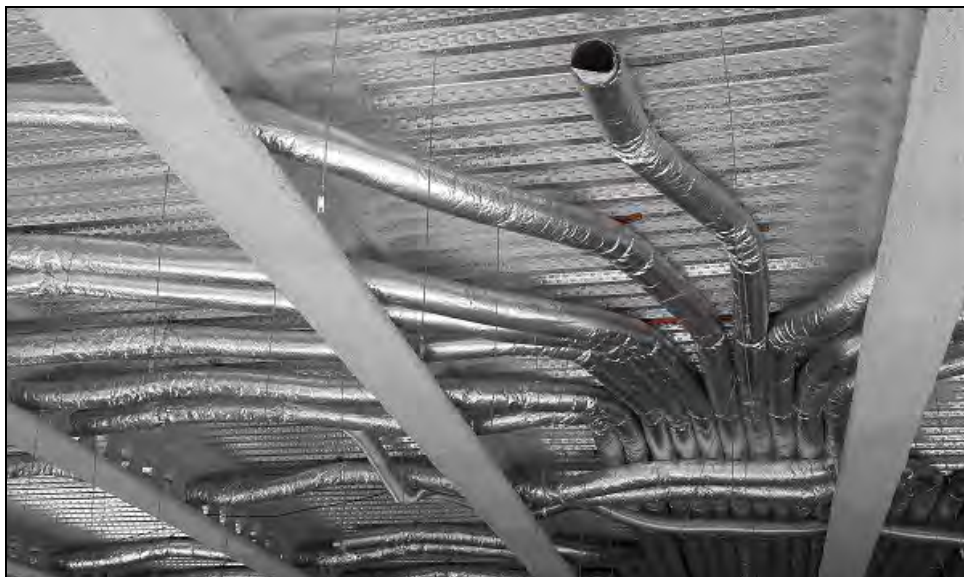
Le Sequana jest kompleksem biurowym o powierzchni 25000 m² zlokalizowanym nad brzegiem Sekwany w Paryżu, jak pokazano na rysunku 3.3. W jego skład wchodzi przestrzeń bezsłupowa o powierzchni 18 m × 36 m i jest on w pełni klimatyzowany. Konstrukcja została wybudowana w ciągu 22 miesięcy zgodnie z planem oraz budżetem. Montaż 2000 ton konstrukcji stalowych trwał tylko 12 tygodni.



Rysunek 3.3 Budynki Le Sequana, Paryż, w trakcie budowy

Stabilność konstrukcji została zapewniona dzięki kombinacji usztywnionych rdzeni stalowych oraz rdzeni betonowych formowanych w deskowaniu przesuwным.

Strategia funkcjonowania klimatyzacji wymagała zainstalowania lokalnego sterowania na każde 12 m² powierzchni stropu. Wymagało to podłączenia wielu przewodów, które zostały przeprowadzone przez otwory w belkach ażurowych, jako pokazano na rysunku 3.4.



Rysunek 3.4 Przewody biegnące z centralnego pomieszczenia instalacyjnego — umożliwiające lokalne sterowanie klimatyzacją

3.3 Luksemburska Izba Handlowa



Rysunek 3.5 Luksemburska Izba Handlowa

Główna siedziba izby handlowej w Wielkim Księstwie Luksemburga została zaprojektowana przez architekta Vasconiego i składa się z istniejącego budynku oraz 20000 m² nowych powierzchni biurowych przedstawionych na rysunku 3.5. Centrum konferencyjne o powierzchni około 8000 m² zostało zaprojektowane wraz z 650 podziemnymi miejscami parkingowymi na czterech poziomach. Całkowita powierzchnia budynku wynosi 52000 m², razem z parkingiem.

W skład cztero- i pięciokondygnacyjnej konstrukcji zespolonej wchodzi kształtowniki gorącowałcowane oraz betonowe płyty stropowe ze zintegrowanymi kształtownikami IFB (asymetryczne kształtowniki walcowane z szerokim dolnym pasem).

Stalowe belki zintegrowane zostały usztywnione lekką kratownicą umieszczoną pod belkami, co doprowadziło do zwiększenia rozpiętości o 40%. W celu zminimalizowania wysokości stropu instalacje poprowadzono poniżej belek oraz przez kratownicę.

Konstrukcja została poddana analizie wykonanej przy pomocy inżynierii pożarowej, która wykazała, że można osiągnąć 60-minutową ognioodporność bez dodatkowej ochrony przeciwpożarowej. Belki IFB są częściowo chronione przez płytę betonową i podtrzymują zredukowane obciążenie podczas pożaru pomimo utraty nieosłoniętej kratownicy.

3.4 Kings Place, Kings Cross, Londyn



Rysunek 3.6 Kings Place w trakcie budowy

Budynek Kings Place w północnym Londynie ma siedem kondygnacji powierzchni biurowych, salę koncertową z 420 miejscami siedzącymi, galerie sztuki oraz restaurację. W podziemiach budynku znajduje się audytorium oraz inne pomieszczenia koncertowe. Na rysunku 3.6 pokazano obiekt w czasie budowy.

Elastyczna w użytkowaniu konstrukcja została zaprojektowana jako stalowo-zespolony szkielet, w skład którego wchodzi blachownice o rozpiętości 12 m z wieloma okrągłymi otworami wspierające płytę zespoloną o grubości 130 mm. W niektórych miejscach strop zespolony wspiera się na kątowniku półkowym. Komponenty konstrukcji pokazano na rysunku 3.7.

Nowoczesnym elementem konstrukcji była strategia inżynierii przeciwpożarowej, która wykazała, że 90-minutową ognioodporność można osiągnąć przez zastosowanie przeciwogniowych powłok ochronnych nałożonych wyłącznie na belki połączone bezpośrednio z słupami; pozostałych belek nie osłonięto. Słupy zabezpieczono dwoma warstwami płyt. Blachownice o dużej rozpiętości mają zazwyczaj 600 mm wysokości oraz posiadają wiele otworów o wysokości 375 mm. Płyta zespolona o grubości 130 mm została wzmocniona zgodnie z zasadami inżynierii pożarowej, które zezwalają na rozwój efektów membranowych podczas pożaru.

Belki główne i drugorzędne połączone z słupami są zabezpieczone przeciwpożarową powłoką ochronną o grubości 1,6 mm, która została nałożona poza miejscem budowy, aby przyspieszyć prace budowlane. Nałożono jedną warstwę powłoki. Osiągnięto to przez zaprojektowanie nieco cięższych kształtowników stalowych w celu zmniejszenia wskaźnika obciążenia w warunkach pożaru. To holistyczne podejście projektowe zostało uzasadnione przy wykorzystaniu modelu analizowanego metodą elementów skończonych, w którym właściwości stali i betonu zostały zmodyfikowane dla temperatur występujących zarówno podczas pożaru standardowego, jak i podczas pożaru naturalnego przy wykorzystaniu obciążenia ogniowego i warunków wentylacji przyjętych dla danego sposobu użytkowania budynku.



Rysunek 3.7 Różne rodzaje belek umieszczonych w budynku Kings Palace

3.5 Centrala firmy Kone, Helsinki



Rysunek 3.8 Budynek firmy Kone w trakcie i po zakończeniu budowy

W budynku osiemnastokondygnacyjnej centrali firmy Kone w Espoo koło Helsinek wykorzystano konstrukcję ze stropu zespolonego oraz w pełni szklaną elewację. Całkowita powierzchnia użytkowa wynosi 9800 m^2 . Stateczność osiągnięto dzięki dużemu rdzeniowi betonowemu ustawionemu przy południowej ścianie budynku, jak pokazano na rysunku 3.8.

Konstrukcja budynku była innowacyjna, ponieważ stropy prefabrykowano w formie dużych kaset i następnie przenoszono je na miejsce w sposób pokazany na rysunku 3.9. Rozpiętość siatki stropowej wynosiła $12,1 \text{ m}$ w przypadku belek głównych oraz $8,1 \text{ m}$ w przypadku belek drugorzędnych. Wewnątrz ustawiono minimalną liczbę stalowych słupów.

Ściany zwrócone na wschód i zachód zostały przeszkolone na całej wysokości. Okładzina została skonstruowana w formie podwójnej elewacji, aby zapewnić zacienienie i aby działać jako bariera termiczna. Rdzeń betonowy umieszczony w pobliżu południowej ściany zmniejszył zysk cieplny na tej elewacji.



Rysunek 3.9 System prefabrykowanych kaset stropowych

3.6 AM Steel Centre, Liege



Rysunek 3.10 Budynek AM podczas prac budowlanych z pokazanymi belkami ażurowymi

Pięciokondygnacyjny budynek Steel Centre w Liege w Belgii jest innowacyjnym budynkiem biurowym zaprojektowanym w sposób umożliwiający osiągnięcie wysokiego poziomu efektywności energetycznej. Jego wymiary na planie to $16\text{ m} \times 80\text{ m}$. Jest zbudowany z ustawionych poza linią środkową wewnętrznych kolumn i belek o rozpiętości 9 i 7 m. Wspierające strop zespolony drugorzędne belki o większej rozpiętości i wysokości 500 mm ułożone są w 3-metrowych odstępach. W przypadku belek drugorzędnych wykorzystano kształtowniki IPE330/ IPE 300 w celu utworzenia belek ażurowych z szeregiem otworów o średnicy 400 mm. Ten rodzaj konstrukcji przedstawiono na rysunku 3.10. Główne belki ażurowe o rozpiętości 9 m mają tę samą wysokość i są utworzone z kształtowników HEB 320/HEA 320.

Analiza wykonana przy pomocy inżynierii pożarowej wykazała, że belki zespolone mogą pozostać niezabezpieczone, z wyjątkiem belek połączonych z słupami. Słupy zbudowane są z wypełnionych cementem kształtowników zamkniętych okrągłych, które są niezabezpieczone ale osiągają wymaganą ognioodporność, co prowadzi do znacznego obniżenia kosztów ochrony przeciwpożarowej.

Budynek jest wsparty na palach, ze względu na słabe warunki gruntowe w dawnej strefie przemysłowej. Mały ciężar własny konstrukcji ($< 350\text{ kg/m}^2$) oraz systemu ścian kurtynowych był istotny ze względu na zmniejszenie obciążeń pali fundamentowych.

4 ANATOMIA PROJEKTU BUDYNKU

Projekt budynku uzależniony jest od różnych parametrów:

- siatki stropowej,
- wysokości budynku,
- cyrkulacji i przestrzeni dostępu,
- wymogów dotyczących instalacji oraz integracji instalacji.

Kwestie te omówiono poniżej:

4.1 Siatki stropowe

Siatki stropowe określają rozstaw słupów w prostopadłych kierunkach, na który wpływ mają:

- Siatka projektowa modułarna (zazwyczaj oparta na jednostkach 300 mm, ale bardziej klasycznie stanowiąca wielokrotność wartości 0,6; 1,2 lub 1,5 m)
- Rozstaw słupów wzdłuż elewacji zależy od materiału elewacji (zazwyczaj od 5,4 do 7,5 m)
- Wykorzystanie przestrzeni wewnętrznej (np. na biura lub przestrzenie otwarte)
- Wymagania dotyczące rozprowadzenia instalacji (z rdzenia budynku).

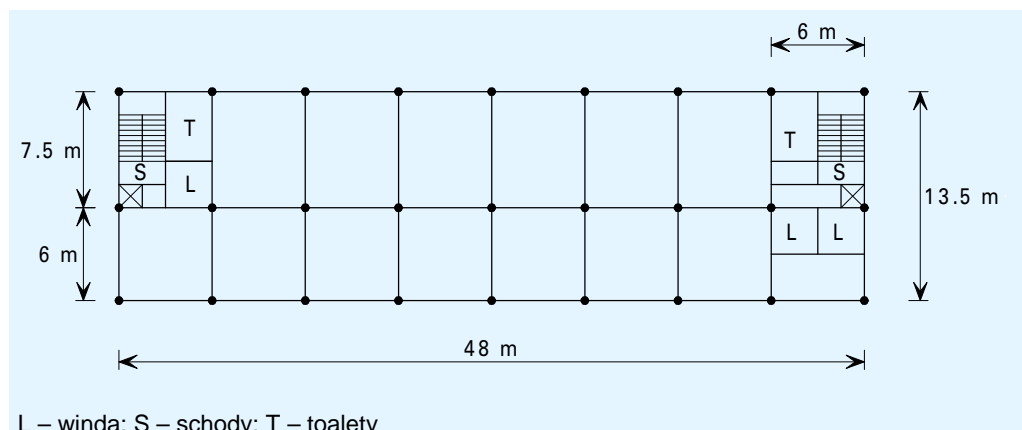
Rozmieszczenie słupów wzdłuż linii elewacji jest zazwyczaj definiowane przez potrzebę zapewnienia wsparcia dla systemu okładzin (np. w przypadku muru ceglanego zazwyczaj wymagana jest maksymalna odległość między słupami wynosząca 6 m). Wpływa to na rozmieszczenie słupów wewnątrz, chyba że wzdłuż linii elewacji wykorzystywane są dodatkowe słupy.

Rozpiętość belek w budynku zazwyczaj jest zgodna z jednym z następujących układów siatki słupów:

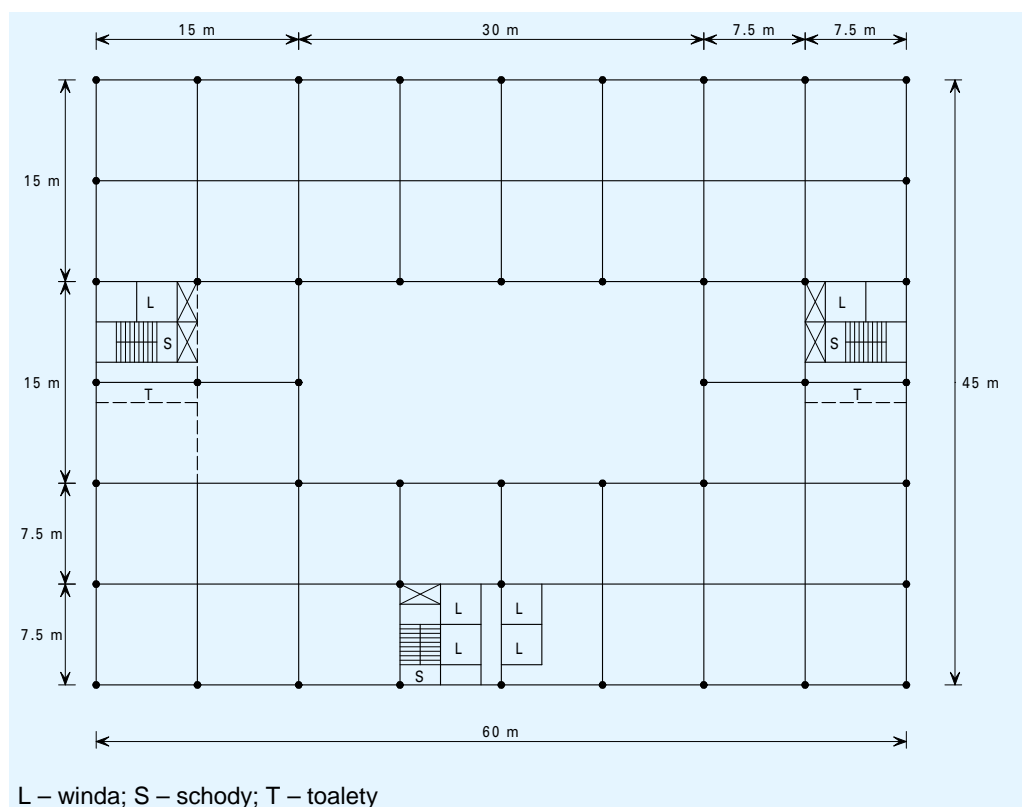
- Pojedynczy wewnętrzny szereg słupów przesunięty w stosunku do linii centralnego korytarza. Pokazano to na rysunku 4.1
- Pary rzędów słupów rozstawione po obu stronach korytarza
- Bezslupowe wewnętrzne przęsła z słupami umieszczonymi wzdłuż linii elewacji.

W przypadku naturalnie wentylowanych pomieszczeń biurowych szerokość budynku wynosi zazwyczaj od 12 m do 15 m; można ją osiągnąć dzięki wykorzystaniu dwóch przęseł o długości od 6 m do 7,5. Można również wykorzystać pojedyncze przęsło z wysokich na 400 mm lub więcej betonowych prefabrykowanych modułów kanałowych o rozpiętości równej całej szerokości budynku. Naturalne oświetlenie również odgrywa pewną rolę w wyborze szerokości płyty stropowej.

Jednakże w nowoczesnych budynkach rozwiązania o dużej rozpiętości zapewniają znaczne zwiększenie elastyczności układu. W przypadku biur klimatyzowanych często rozpiętość bez podpór wynosi od 15 m do 18 m. Przykład siatki słupów w przypadku opcji o dużej rozpiętości w budynku z dużym atrium pokazano na rysunku 4.2.



Rysunek 4.1 Siatka słupów naturalnie wentylowanego biura



Rysunek 4.2 Siatka słupów w przypadku stropów o dużej rozpiętości w luksusowych klimatyzowanych pomieszczeniach biurowych

4.2 Koordynacja wymiarowa

Wybór podstawowego kształtu budynku zazwyczaj należy do architekta. Jest on ograniczony przez plan sytuacyjny, dostęp, orientację budynku, parking, architekturę krajobrazu oraz lokalne planowanie przestrzenne. Poniższe ogólne wytyczne wpływają na wybór konstrukcji.

- Odstępy pomiędzy źródłami naturalnego oświetlenia powinny wynosić 13,5 m i 20 m
- Naturalnie oświetlone oraz wentylowane strefy rozciągają się od ścian zewnętrznych na odległość równą dwukrotnej wysokości od podłogi do sufitu — sztuczne światło oraz wentylacja są wymagane w pozostałych strefach
- Atrium wpływa na poprawę efektywności wykorzystania budynku i zmniejsza koszty eksploatacji.

4.2.1 Wpływ wysokości budynku

Wysokość budynku ma istotny wpływ na:

- Rodzaj przyjętego układu konstrukcyjnego
- Układ fundamentów
- Wymagania dotyczące ognioodporności oraz środki ewakuacji
- Dostęp (za pomocą wind) oraz przestrzeń komunikacyjna
- Wybór systemu okładzin
- Szybkość budowy oraz wydajność na budowie

W wyższych budynkach stosuje się zazwyczaj strategicznie rozmieszczone rdzenie betonowe lub usztywnione rdzenie stalowe. Bardzo wysokie budynki są mocno uzależnione od systemu stabilizującego, ale nie są objęte zakresem niniejszych wytycznych.

Rozmiary wind oraz prędkość z jaką się poruszają mają również istotne znaczenie w przypadku wysokich budynków.

W zależności od przepisów dotyczących bezpieczeństwa pożarowego w danym kraju w budynkach mających więcej niż osiem kondygnacji (lub o wysokości około 30 m) może być wymagane zamontowanie instalacji tryskaczowej.

4.2.2 Koordynacja pozioma

Koordynacja pozioma jest zdominowana przez wymogi planu dotyczące zdefiniowanych stref dostępu pionowego, bezpiecznej ewakuacji w przypadku pożaru oraz pionowych kanałów instalacyjnych. Na rozmieszczenie rdzeni instalacyjnych i dostępowych mają wpływ:

- Poziome układy rozdzielcze instalacji mechanicznych
- Wymagania dotyczące ognioodporności, które mogą wpływać na drogi ewakuacyjne oraz rozmiary pomieszczeń
- Konieczność efektywnego rozmieszczenia układów stabilizujących (stężenia i rdzenie) w całym planie budynku

Na rysunku 4.1 i rysunku 4.2 pokazano typowe układy spełniające te kryteria.

Aby zwiększyć oświetlenie użytkowanej przestrzeni oraz zapewnić powierzchnie komunikacyjne na poziomie gruntu i na poziomach pośrednich, można dołączyć atrium. Wymagania projektowe dla atrium są następujące:

- Podparcie dla dachu atrium o dużej rozpiętości
- Drogi dojścia w celu zapewnienia ogólnej komunikacji
- Środki bezpieczeństwa pożarowego w postaci układu oddymiania oraz bezpiecznych dróg ewakuacyjnych
- Poziomy oświetlenia oraz obsługa techniczna wewnętrznych pomieszczeń biurowych

4.2.3 Koordynacja pionowa

Docelowa wysokość od stropu do stropu opiera się na wysokości od podłogi do sufitu, która wynosi od 2,5 m do 2,7 m w przypadku biur spekulacyjnych lub 3 m w przypadku bardziej luksusowych pomieszczeń, plus wysokość stropu łącznie z instalacjami. Następujące docelowe wysokości pomiędzy stropami powinny zostać uwzględnione na etapie projektu koncepcyjnego:

Biuro luksusowe	4–4,2 m
Biuro spekulacyjne	3,6–4,0 m
Projekt renowacyjny	3,5–3,9 m

Powyższe wartości docelowe umożliwiają wybór rozwiązań konstrukcyjnych. Jeżeli z powodów planowych wymagane jest ograniczenie całkowitej wysokości budynku, można je osiągnąć przez zastosowanie cienkiego stropu lub systemów belek zintegrowanych. Systemy belek zintegrowanych są często wykorzystywane w projektach renowacyjnych, gdzie wysokość pomiędzy stropami jest ograniczona zgodnością z istniejącym budynkiem lub elewacją.

Wysokość konstrukcyjna belki zespolonej o rozpiętości 12 m wynosi około 600 mm. Należy również uwzględnić grubość zabezpieczenia przeciwpożarowego (jeżeli jest wymagane) oraz tolerancję na ugięcia (teoretycznie 30 mm).

Tam gdzie strefa konstrukcyjna oraz instalacyjna są rozdzielone w pionie, do wysokości konstrukcyjnej należy dodać:

Podłogę podniesioną	od 150 mm do 200 mm
Klimatyzatory	od 400 mm do 500 mm
Sufit i oświetlenie	od 120 mm do 250 mm

Jednakże znaczące obniżenie całkowitej wysokości można osiągnąć poprzez integrację pionową stref: konstrukcyjnej i instalacyjnej. Jest to szczególnie efektywne w przypadku konstrukcji o większej rozpiętości.

W przypadku projektu koncepcyjnego konwencjonalnej handlowej wielokondygnacyjnej konstrukcji stalowej, można przyjąć następujące „docelowe” wysokości stropów:

Konstrukcja z belek zespolonych	800 mm–1200 mm
Belki ażurowe (z integracją instalacji)	800 mm–1100 mm
Prefabrykowane stropy betonowe (rozpiętość: 7,5 m)	1200 mm–1200 mm
Prefabrykowane stropy betonowe (rozpiętość: 14 m)	1450 mm–1450 mm
Cienkie stropy lub belki zintegrowane	600 mm– 800 mm

4.3 Opcje konstrukcyjne wpływające na stateczność

Na układ konstrukcyjny wymagany do zachowania stateczności wpływa głównie wysokość budynku. W przypadku budynków o wysokości do ośmiu kondygnacji konstrukcja stalowa może być tak zaprojektowana, aby zapewnić stateczność, natomiast w przypadku wyższych budynków, bardziej efektywnie konstrukcyjnie są rdzenie betonowe lub usztywnione rdzenie stalowe. Następujące układy konstrukcyjne mogą być rozważane w kontekście stateczności.

4.3.1 Sztywne konstrukcje

W przypadku budynków o wysokości do czterech kondygnacji można wykorzystywać sztywne konstrukcje, w których liczne połączenia belek z słupami zapewniają nośność przy zginaniu oraz sztywność w celu przeciwstawiania się obciążeniom poziomym. Na ogół jest to możliwe tylko w przypadku, gdy belki są stosunkowo wysokie (od 400 mm do 500 mm), oraz gdy rozmiar słupów został zwiększony, aby równoważyć oddziałujące momenty. Połączenia z płytą doczołową o pełnej wysokości zazwyczaj zapewniają niezbędną sztywność.

4.3.2 Konstrukcje stężone

W przypadku budynków o wysokości do 12 kondygnacji powszechnie wykorzystywane są stężone konstrukcje stalowe, w których stężenie krzyżulcami, stężenie typu K lub stężenie typu V jest wykonywane w ścianach, na ogół w pustej przestrzeni w elewacji lub wokół schodów albo innych serwisowanych stref. Krzyżulec jest projektowany wyłącznie do pracy przy rozciąganiu (drugi element jest nadliczbowy). Stężanie krzyżulcami jest często realizowane przy wykorzystaniu prostej płaskiej blachy stalowej, ale mogą być również używane kątowniki i ceowniki.

Gdy stężenie jest projektowane do pracy przy ściskaniu, wykorzystuje się kształtowniki zamknięte, choć kątowniki i ceowniki również mogą być używane.

Stężona konstrukcja stalowa ma dwie kluczowe zalety:

- Odpowiedzialność za tymczasową stateczność spoczywa na jednej strukturze
- Gdy tylko stężenie stalowe jest połączone (przykręcone śrubami), konstrukcja jest stabilna

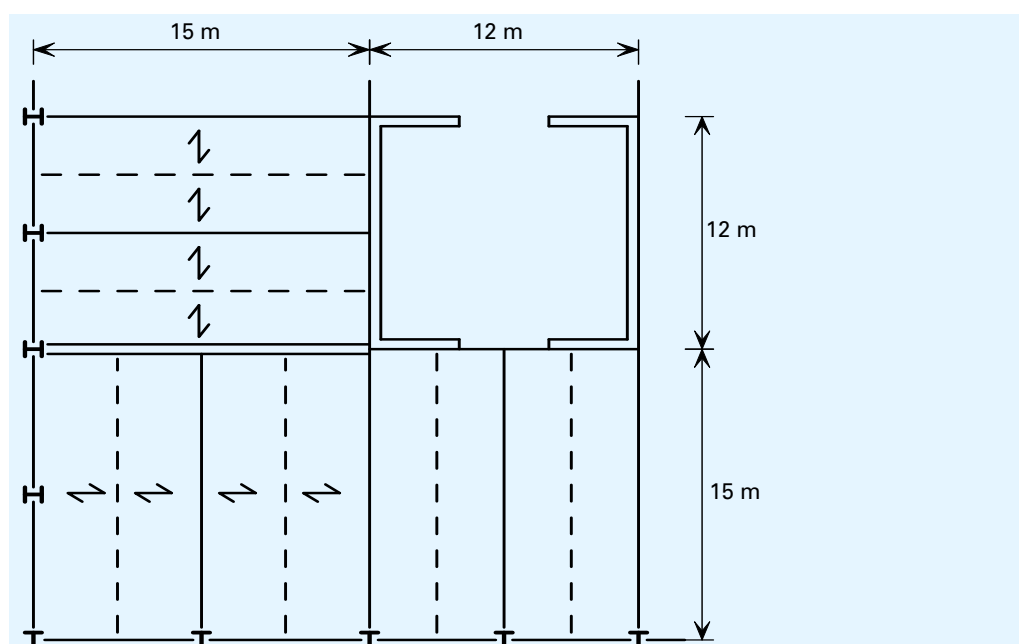
4.3.3 Rdzenie betonowe lub stalowe

Rdzenie betonowe są najbardziej praktycznym rozwiązaniem przeznaczonym dla budynków o wysokości do 40 kondygnacji. Na ogół rdzeń betonowy jest budowany przed stalowym szkieletem konstrukcji. W tym rodzaju konstrukcji belki często rozpościerają się bezpośrednio pomiędzy słupami na obwodzie budynku oraz rdzenia betonowego. Szczególne przemyślenia dotyczące projektu konstrukcyjnego są wymagane w przypadku następujących zagadnień:

- Połączenia belek z rdzeniem betonowym
- Konstrukcja cięższych belek głównych przy narożniku rdzenia
- Bezpieczeństwo przeciwpożarowe oraz odporność konstrukcji o dużej rozpiętości

Należy zwrócić szczególną uwagę na połączenia między stalowymi belkami a rdzeniami betonowymi pozwalające na dostosowanie w przypadku przewidywanego odchylenia rdzenia od prawidłowego położenia. Czynności połączeniowe nie mogą zostać zakończone, dopóki wylewany *na miejscu* beton nie zastygnie, lub dopóki elementy nie zostaną zespawane, dlatego kwestia tymczasowej stateczności jest bardzo istotna.

Typowy układ belek wokół rdzenia betonowego pokazano na rysunku 4.3 z uwidocznioną cięższą belką przy narożniku rdzenia. W celu zminimalizowania wysokości konstrukcyjnej w narożniku rdzenia może być wymagane zastosowanie podwójnej belki.



Rysunek 4.3 Typowy układ belek wokół betonowego rdzenia

Rdzenie z zewnętrzną okładziną z płyt stalowych mogą być wykorzystywane jako ekonomiczna alternatywa w przypadku, gdy szybkość budowy jest kwestią krytyczną. Rdzenie dwupłaszczkowe mogą być montowane razem z pozostałym zespołem konstrukcji stalowej, a betonowanie może zostać przeprowadzone później. Ten rodzaj konstrukcji pokazano na rysunku 4.4.



Rysunek 4.4 Rdzeń stalowo-zespolony przyspiesza proces budowy

4.4 Słupy

Słupy w wielokondygnacyjnych konstrukcjach stalowych są zazwyczaj dwuteownikami szerokostopowymi przenoszącymi głównie obciążenie osiowe. Gdy stateczność konstrukcji zapewniają rdzenie lub bezpieczne stężenia pionowe, belki są zazwyczaj projektowane jako swobodnie podparte. W powszechnie przyjętym modelu projektowym w połączeniach nominalnie przegubowych powstają momenty nominalne w słupie, obliczane przy założeniu, że miejsce reakcji belki znajduje się w odległości wynoszącej 100 mm od powierzchni czołowej słupa. Jeżeli reakcje po przeciwnej stronie słupa są takie same, moment netto nie występuje. Na skutek występowania połączenia tylko z jednej strony, słupy znajdujące się na obwodzie konstrukcji są obciążone momentem. Konstrukcja słupów została szczegółowo omówiona w dokumencie *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 4: Projekt wykonawczy*^[6].

W przypadku projektu wstępnego należy oprzeć wybór kształtownika słupa jedynie na podstawie samego obciążenia osiowego, ale należy upewnić się, że słup jest obciążony tylko w 90%, aby umożliwić późniejsze dołączenie momentów nominalnych.

Typowe rozmiary słupów podano w tabeli 4.1.

Tabela 4.1 Typowe rozmiary słupów (dla stropów zespolonych o średniej rozpiętości)

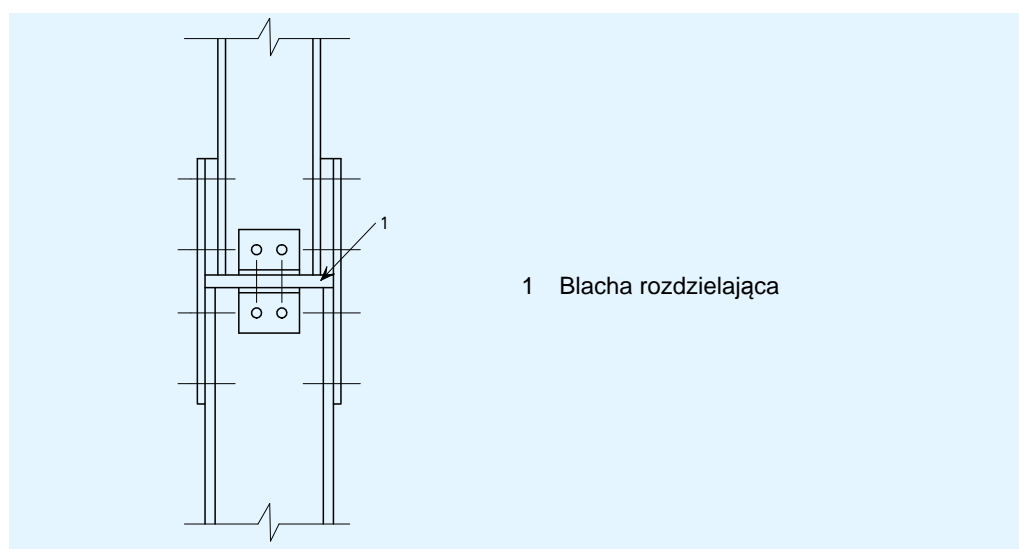
Liczba stropów wspierana przez kształtownik słupa	Typowy rozmiar słupa (h)
1	150
2–4	200
3–8	250
5–12	300
10–40	350

Mimo że, małe kształtowniki słupów mogą być preferowane ze względów architektonicznych, pod uwagę powinny być brane praktyczne kwestie dotyczące połączeń z belkami stropowymi. Zapewnienie połączenia z osią słabą w przypadku bardzo małego kształtownika słupa może być trudne i kosztowne.

Aby ułatwić budowę, słupy są zazwyczaj wznoszone w postaci dwu- lub trzykondygnacyjnych kształtowników (tj. o długości w przybliżeniu od 8 do 12 m). Kształtowniki słupów łączone są za pomocą styków, zazwyczaj od 300 do 600 mm powyżej poziomu stropu.

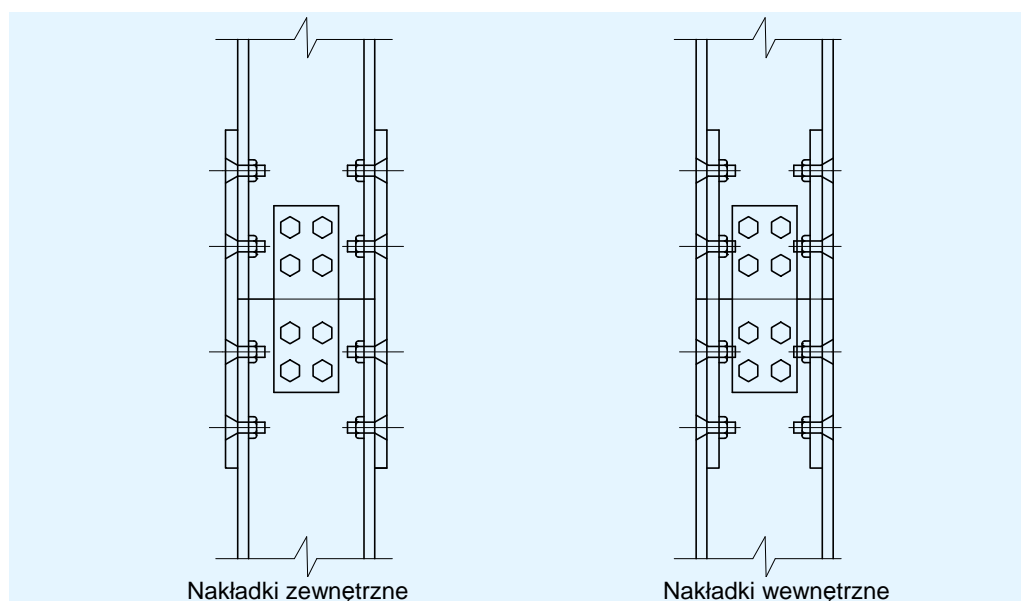
Często zmienia się rozmiar słupów w zależności od wysokości w budynku, aby efektywnie wykorzystywać konstrukcję stalową. Choć ustawianie słupów wzdłuż jednej centroidalnej osi może być wygodne, bardziej pożądane może być utrzymanie tej samej zewnętrznej powierzchni czołowej, tak aby wszystkie szczegóły krawędzi oraz podpory okładzin były jednakowe. Belki stropowe będą nieco różnić się długością i w projekcie będzie musiał zostać uwzględniony dodatkowy moment spowodowany przez przesunięcie górnego kształtownika słupa.

Szczegóły typowego styku pokazano na rysunku 4.5. Zmianę kształtownika umożliwia blacha rozdzielająca umieszczona pomiędzy kształtownikami.



Rysunek 4.5 Szczegóły typowego styku z płytą nośną

Jeżeli istnieją ograniczenia przestrzeni, można przykręcać blachy śrubami z łbem wpuszczanym, lub jeżeli kształtowniki słupów mają ten sam profil wewnętrzny, można zastosować nakładki wewnętrzne oraz śruby z łbem wpuszczanym, jak pokazano na rysunku 4.6.



Rysunek 4.6 Styki słupów ze śrubami z łbem wpuszczanym

4.5 Opcje konstrukcyjne systemów stropów

4.5.1 Ogólne rozmieszczenie stropów

Istnieje wiele rozwiązań stropowych. Typowe rozwiązania podano w tabeli 4.2, a więcej szczegółów przedstawiono w następnych rozdziałach. Chociaż rozwiązania stalowe są odpowiednie w przypadku małych rozpiętości (zazwyczaj od 6 m do 9 m), stal ma ważną przewagę nad innymi materiałami — jest nią możliwość łatwego tworzenia rozwiązań o dużej rozpiętości (od 12 do 18 m). Wynikowymi kluczowymi korzyściami są: przestrzeń bezsłupowa umożliwiająca przyszłą adaptację oraz ograniczenie fundamentów.

Stropy rozpostarte na stalowych belkach zazwyczaj są prefabrykowanymi płytami betonowymi lub stropami zespolonymi. Belki podpierające mogą znajdować się pod stropem — wówczas strop jest podtrzymywany przez górny pas belki (takie belki często są nazywane podciągami), lub mogą być umieszczone w tej samej strefie z konstrukcją stropu w celu zredukowania ogólnej wysokości tej strefy. Dostępna strefa konstrukcji jest często czynnikiem decydującym przy wyborze rozwiązania stropowego.

Belki umieszczone w strefie stropu nazywane są cienkimi belkami stropowymi lub belkami zintegrowanymi. Wyróżniamy belki jednorodne i zespolone. W konstrukcji zespolonej łączniki ścinane są przyspawane do górnego pasa belki, przenosząc obciążenie na strop betonowy. Łączniki ścinane są często spawane na budowie do górnego niepomalowanego pasa belki przez blachę stalową (takie spawanie jest nazywane spawaniem „przez blachę”). Pomimo szeroko zakrojonych testów i badań wykazujących odpowiedniość spawania „przez blachę”, niektóre władze wolą, aby śruby dwustronne były spawane

poza budową, zatem blacha musi być pojedynczym przęsłem lub musi być przebita w celu dopasowania do łączników ścinanych. Ewentualnie łączniki ścinane można mocować mechanicznie (często za pomocą strzału) poprzez blachę do belki.

Prefabrykowane płyty betonowe mogą być stosowane w przypadku niskich konstrukcji, natomiast stropy zespolone są powszechnie stosowane zarówno w przypadku niskich, jak i wysokich konstrukcji.

Tabela 4.2 Typowe rozwiązania stropowe

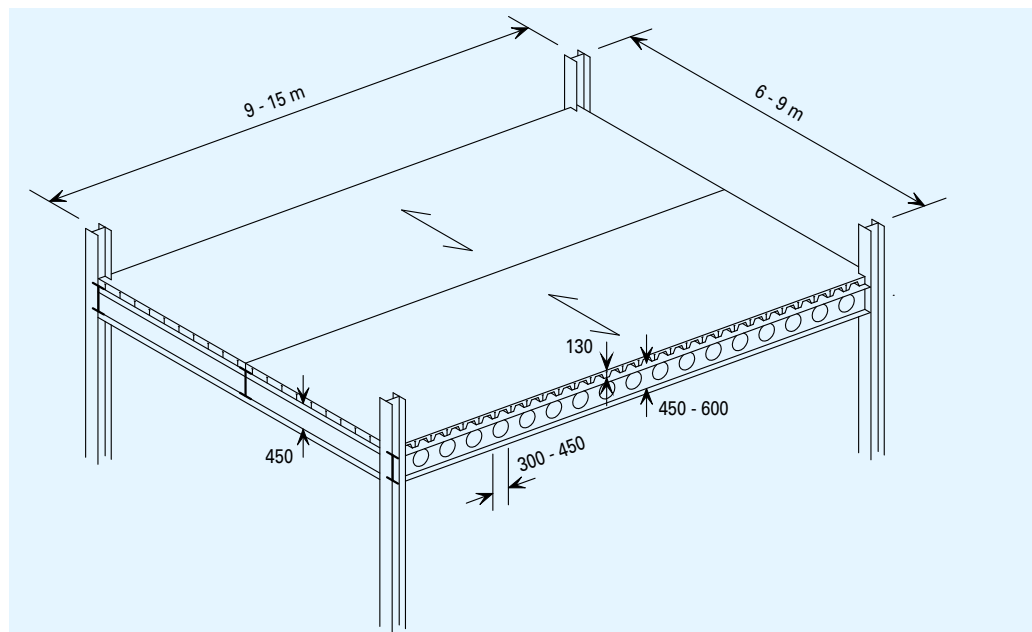
Rodzaj konstrukcji	Typowe rozwiązanie
Niska konstrukcja, niewielka rozpiętość, brak ograniczenia wysokości konstrukcyjnej	podciągi płyty prefabrykowane lub stropy zespolone
Niewielkie rozpiętości (mniejsze niż 9 m), ograniczona wysokość konstrukcyjna	rozwiązania zintegrowane — stropy prefabrykowane lub zespolone
Niska konstrukcja, duże rozpiętości (np. 15 m)	podciągi w elewacji prefabrykowane płyty betonowe (15 m), stropy zespolone z drugorzędnymi belkami stalowymi o rozpiętości 15 m
Średnia i wysoka konstrukcja, niewielkie rozpiętości, brak ograniczenia wysokości konstrukcyjnej	podciągi, konstrukcja zespolona
Średnia i wysoka konstrukcja, duże rozpiętości (do 18 m), ograniczona wysokość konstrukcyjna	stropy zespolone z ażurowymi drugorzędnymi belkami stalowymi o dużej rozpiętości

4.5.2 Układy belek zespolonych

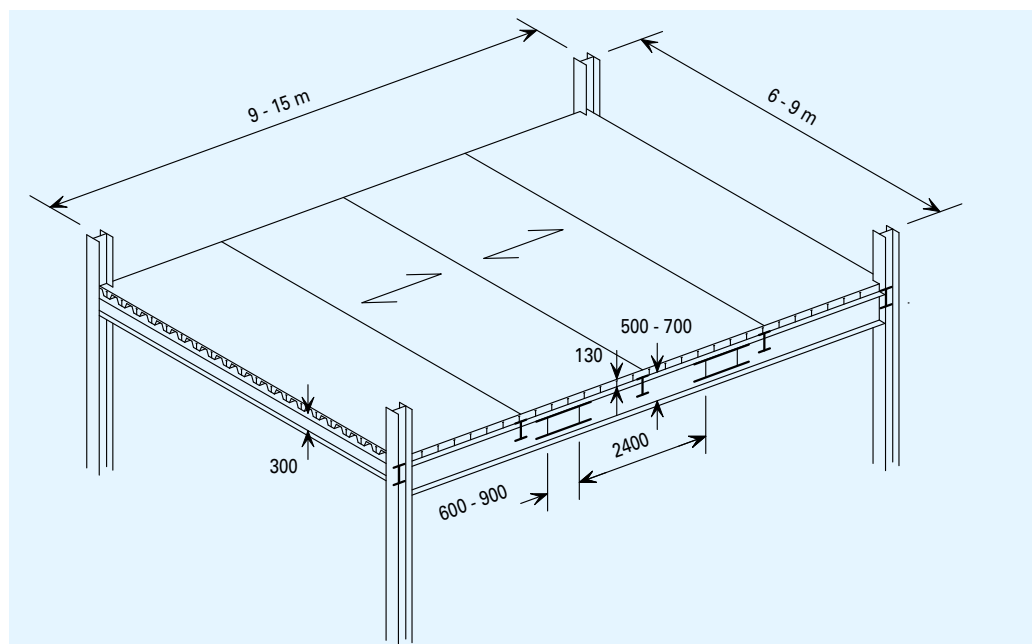
Belki zespolone wspierają płyty zespolone, które są rozpięte między belkami. W przypadku projektowania siatek ortogonalnych można rozważyć dwa ogólne układy belek:

- Belki drugorzędne o dużej rozpiętości wspierane przez belki główne o mniejszej rozpiętości (patrz Rysunek 4.7). W tym przypadku można tak dobrać rozmiary belek, aby belki główne oraz drugorzędne były w przybliżeniu tej samej wysokości.
- Belki główne o dużej rozpiętości wspierające belki drugorzędne o mniejszej rozpiętości (patrz Rysunek 4.8). W tym przypadku belki główne są stosunkowo wysokie.

Belki ażurowe są bardziej efektywne, gdy są stosowane jako belki drugorzędne o dużej rozpiętości, podczas gdy blachownice są bardziej efektywne, gdy są stosowane jako belki główne o dużej rozpiętości, gdzie występują większe siły ścinające. Istnieje również możliwość wyeliminowania belek drugorzędnych przez wykorzystanie płyt zespolonych o dużej rozpiętości oraz belek głównych bezpośrednio przymocowanych do słupów.

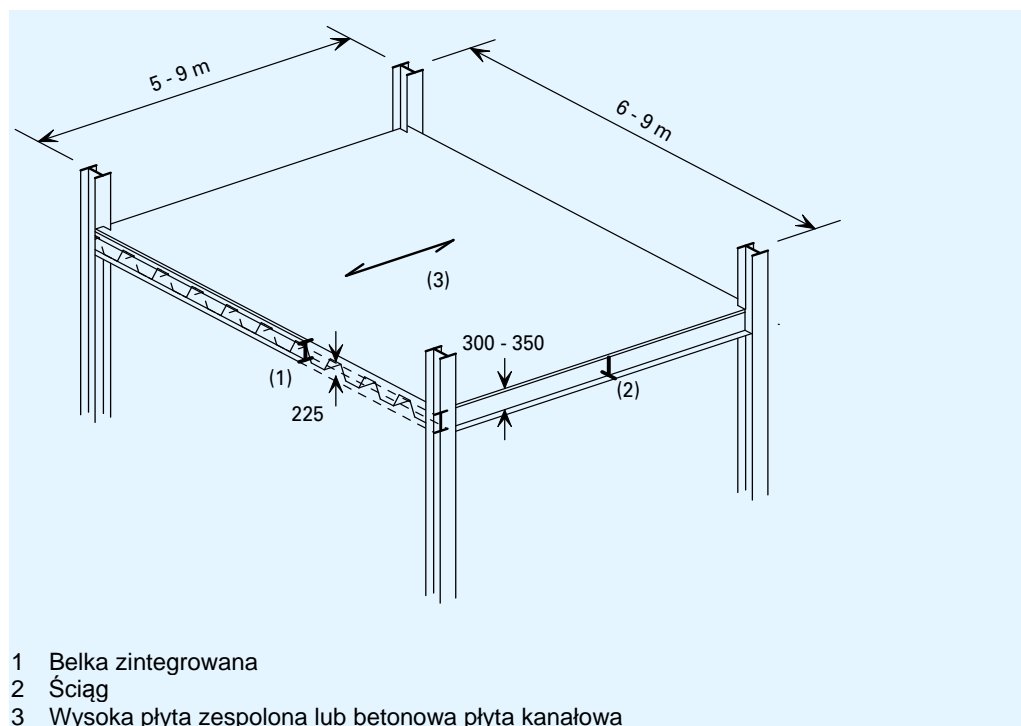


Rysunek 4.7 Typowe belki drugorzędne o dużej rozpiętości (pokazana jest rozpiętość płyty)



Rysunek 4.8 Typowe belki główne o dużej rozpiętości oraz belki drugorzędne o mniejszej rozpiętości (pokazana jest rozpiętość płyty)

Belki zintegrowane są szczególnym przypadkiem, w którym belki rozpościerają się bezpośrednio między słupami, a belki drugorzędne są wyeliminowane. Belki te są zazwyczaj stosowane w siatkach kwadratowych, jak pokazano na rysunku 4.9. Płyta jest wspierana przez dolny pas lub przedłużoną dolną płytę belki i może występować w postaci wysokiej płyty zespolonej lub betonowej płyty kanałowej.



Rysunek 4.9 Belki zintegrowane lub cienki strop (pokazana jest rozpiętość płyty)

Zakres rozpiętości dla różnych rozwiązań konstrukcyjnych, zarówno stalowych, jak i betonowych pokazano na rysunku 4.10. Rozwiązania stalowe o dużej rozpiętości ogólnie rzecz biorąc umożliwiają integrację instalacji w przypadku rozpiętości większych niż 12 m. Belki ażurowe oraz kratownice zespolone są bardziej efektywne w przypadku belek drugorzędnych o dużej rozpiętości, podczas gdy blachownice są często stosowane jako belki główne o dużej rozpiętości.

	Rozpiętość (m)					
	6	8	10	13	16	20
Płaska płyta żelbetowa	—	—				
Belki zintegrowane i wysoka płyta zespolona	—	—				
Belki zintegrowane z prefabrykowanymi płytami	—	—	—			
Belki zespolone i płyta zespolona		—	—	—		
Blachownice z otworami w środku			—	—	—	—
Ażurowe belki zespolone			—	—	—	—
Kratownice zespolone					—	—

Rysunek 4.10 Zakres rozpiętości różnych rozwiązań konstrukcyjnych

4.5.3 Charakterystyka konstrukcji o dużej rozpiętości

Belki o dużej rozpiętości zyskały popularność w sektorze budynków handlowych, ponieważ zapewniają następujące korzyści w zakresie projektowania i konstrukcji:

- Słupy wewnętrzne są wyeliminowane, co prowadzi do bardziej elastycznego i efektywnego wykorzystania przestrzeni wewnętrznej
- Istnieje możliwość integracji instalacji w granicach wysokości konstrukcji, a więc wysokość pomiędzy stropami nie ulega zwiększeniu
- Wymagana jest mniejsza liczba komponentów (zazwyczaj o 30% mniej belek), co prowadzi do ograniczenia czasu budowy oraz montażu
- Koszty ochrony przeciwpożarowej mogą zostać zredukowane ze względu na masywność (masa : osłonięty profil) elementów o większej rozpiętości
- W przypadku belek ażurowych liczne okrągłe przewody służące do prowadzenia instalacji są tańsze niż przewody prostokątne
- Koszty konstrukcji stalowej nie są znacząco zwiększone pomimo większych rozpiętości
- Całkowite koszty budowy są zwiększone nieznacznie (o mniej niż 1%).

4.5.4 Przybliżona ilość stali

Do celów szacunkowych w projekcie budynków biurowych mogą być wykorzystywane reprezentatywne masy stali w przypadku budynków mających na planie w kształt prostokąta. Liczby te znacznie rosną w przypadku budynków nieprostokątnych lub wysokich albo budynków z atrium lub złożonymi elewacjami.

Przybliżone ilości podano w tabeli 4.3. Dotyczą one całkowitej powierzchni użytkowej budynku i nie obejmują konstrukcji użytej w elewacji, atrium lub w dachu.

Tabela 4.3 Przybliżone ilości stali do celów szacunkowych

Rodzaj budynku	Przybliżone ilości stali (kg/m ² powierzchni użytkowej)			
	Belki	Słupy	Stężenia	Ogółem
3 lub 4-kondygnacyjny budynek w kształcie prostokąta	25–30	8–10	2–3	35–40
6–8-kondygnacyjny budynek w kształcie prostokąta	25–30	12–15	3–5	40–50
8–10-kondygnacyjny budynek z dużymi rozpiętościami	35–40	12–15	3–5	50–60
20-kondygnacyjny budynek z rdzeniem betonowym	25–30	10–13	1–2	40–50
20-kondygnacyjny budynek z usztywnionym rdzeniem stalowym	25–30	20–25	8–10	55–70

4.6 Czynniki wpływające na układ konstrukcji

Plan budowy ma kluczowe znaczenie w każdym projekcie i powinien być rozważany w tym samym czasie, w którym rozważane są koszty konstrukcji, instalacji, okładzin oraz wykończeń. Schemat konstrukcyjny ma kluczowy wpływ na plan i koszty oraz rozwiązania konstrukcyjne, które mogą być wzniesione bezpiecznie i szybko, aby umożliwić wcześniejszy dostęp do następnych prac.

4.6.1 Warunki dotyczące miejsca budowy

Coraz częściej konstrukcje są wznoszone na terenach przemysłowych, na których poprzednie budowle zostawiły trwały ślad. W centrach miast rozwiązania wymagające ograniczonych, chociaż bardziej obciążonych fundamentów są często preferowane, co prowadzi do zwiększenia rozpiętości nadziemnej części konstrukcji budynku.

Ograniczenie miejsca może nałożyć określone ograniczenia na schemat konstrukcyjny, na przykład fizyczny rozmiar elementów, które mogą być dostarczone i wzniesione. Ograniczony dostęp do miejsca budowy może wymusić wnoszenie elementów stalowych bezpośrednio z samochodu ciężarowego na drodze. Może to uniemożliwić pracę w określonych godzinach w ciągu dnia sprawiając, że plan wznoszenia stanie się stosunkowo nieelastyczny. Ruchoma platforma montażowa zapewnia tymczasowe miejsce składowania oraz przyspiesza proces montażu, jak pokazano na rysunku 2.2.

4.6.2 Dźwigi

Liczba dźwigów określonych w projekcie jest zdominowana przez:

- Obrys miejsca budowy — czy można uzyskać praktyczne pokrycie placu budowy, łącznie z rozładunkiem.
- Rozmiar projektu — decyduje, czy wykorzystanie więcej niż jednego dźwigu jest opłacalne. W przypadku projektów realizowanych w centrach miast, dźwigi wieżowe umieszczane są zazwyczaj w szybie wyciągowym lub atrium.
- Zastosowanie dodatkowych dźwigów przejezdnych — wielokondygnacyjne konstrukcje są zazwyczaj wznoszone z wykorzystaniem dźwigu wieżowego, który może być wspomagany przez dźwigi przejezdne przeznaczone do określonych operacji podnoszenia ciężkich ładunków.

Jako odniesienie: tempo montażu wynoszące od 20 do 30 elementów dziennie jest sensowną wielkością. Przy średniej masie komponentów wielkość ta jest równa około 10 do 12 ton stali dziennie. Istnieją zatem korzyści wynikające ze stosowania mniejszej liczby belek o dużej rozpiętości. Tam gdzie jest to możliwe, prefabrykacja zmniejsza liczbę podnoszonych elementów i zwiększa szybkość montażu.

4.6.3 Montaż stropów zespolonych

Stropy zespolone składają się z profilowanej blachy stalowej, która jest przenoszona dźwigiem na konstrukcję stalową w wiązkach, a następnie zwykle transportowana ręcznie na właściwe miejsce. Siatki zabezpieczające są montowane natychmiast po wykonaniu konstrukcji stalowej i przed umieszczeniem blach. Konstrukcja stalowa, która została już wzniesiona na wyższych poziomach nie uniemożliwia przenoszenia dźwigiem i umieszczania blach, mimo że blachy są zazwyczaj umieszczane po wzniesieniu konstrukcji stalowej. Ukończone stropy mogą być używane jako bezpieczny pomost roboczy dla kolejnego montażu konstrukcji stalowej i umożliwiają kontynuowanie innych prac na niższych poziomach, jak pokazano na rysunku 4.11. Z tego powodu górny strop w każdej grupie stropów (zazwyczaj trzy kondygnacje) jest często betonowany jako pierwszy.



Rysunek 4.11 Stropy zespolone stanowią bezpieczną platformę roboczą podczas budowy

4.6.4 Montaż prefabrykowanych płyt betonowych

Umieszczenie prefabrykowanych płyt betonowych może być utrudnione, jeżeli są one opuszczane na miejsce montażu przez wzniesioną już konstrukcję stalową. Lepszą praktyką jest układanie płyt po wzniesieniu konstrukcji stalowej każdego stropu i gdy dostawa oraz montaż stanowią część pakietu robót Wykonawcy Konstrukcji Stalowej. Na ogół ustawione zostaną słupy i konstrukcja stalowa stropu do momentu ułożenia płyt prefabrykowanych z minimalną ilością konstrukcji na wyższych poziomach w celu zapewnienia stateczności słupów. Następnie wznoszone będą konstrukcje stalowe kolejnych kondygnacji.

4.7 Konstrukcja — integracja instalacji technicznej

W większości konstrukcji dużych budynków biurowych wymagane jest zastosowanie klimatyzacji lub chłodzenia klimatyzacyjnego, które wymagają zastosowania zarówno poziomych, jak i pionowych układów rozdzielczych. Konieczność zapewnienia tego typu układów ma kluczowe znaczenie przy planowaniu nadziemnej części konstrukcji budynku, wpływając na rozmieszczenie oraz rodzaj stosowanych elementów.

Podstawowa decyzja dotycząca integracji przewodów w ramach wysokości konstrukcyjnej lub zawieszenia ich na niższym poziomie wpływa na wybór elementu, instalacji przeciwpożarowej, okładziny (koszty i metodę) oraz na całkowitą wysokość budynku. Inne układy zapewniają dopływ klimatyzowanego powietrza z podnoszonej podłogi.

Najczęściej stosowanymi układami są instalacje ze zmienną ilością powietrza VAV (Variable Air Volume) oraz systemy klimakonwektorów. Ze względu na niskie koszty eksploatacji instalacje VAV są często stosowane w budynkach należących do jednego właściciela. Ze względu na niższe koszty inwestycyjne systemy klimakonwektorowe są często stosowane w budynkach spekulacyjnych.

Na ogół do zawieszenia instalacji poniżej konstrukcji wystarcza obszar 400 mm. Dodatkowe 150–200 mm jest zazwyczaj przeznaczone na ochronę przeciwpożarową, sufit i oświetlenie, oraz ugięcie nominalne (25 mm). Urządzenia końcowe (klimakonwektory oraz urządzenia VAV) są umieszczone pomiędzy belkami, gdzie dostępna jest większa przestrzeń.

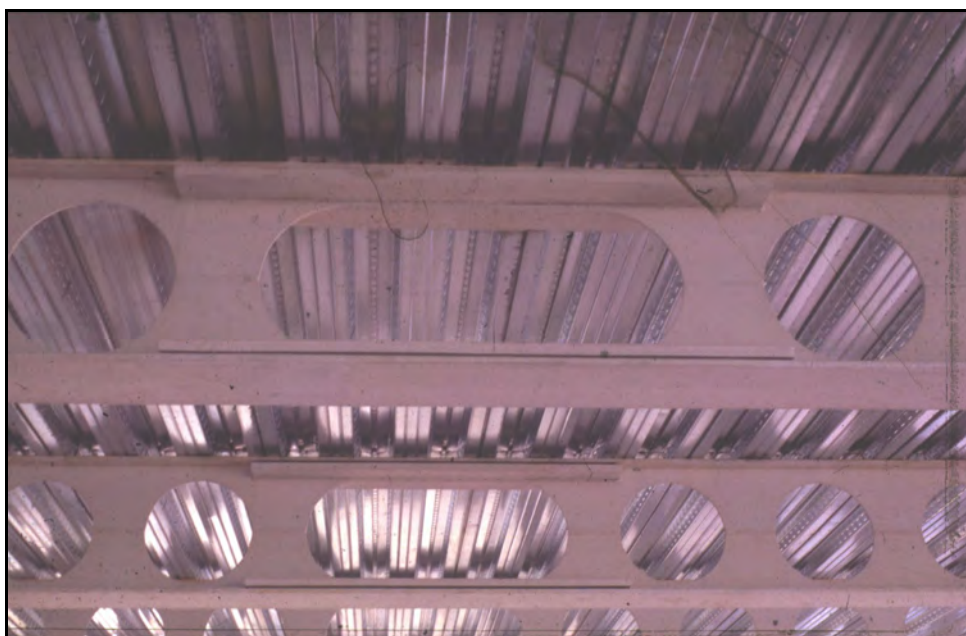
Integrację instalacji osiąga się dzięki przepuszczeniu instalacji przez otwory w stalowej konstrukcji nośnej. Mogą być to pojedyncze otwory utworzone w belkach stalowych lub wiele regularnych otworów.

Belki ażurowe umożliwiają rozmieszczenie wielu przewodów o przekroju kołowym w całym budynku, jak przedstawiono na rysunku 4.12, szczególnie w miejscach przejścia przez trzon budynku. W konstrukcji z belek ażurowych można również tworzyć otwory podłużne, jak pokazano na rysunku 4.13.



Rysunek 4.12 Belka ażurowa z wieloma przewodami instalacji technicznych

Jeżeli nie występują żadne ograniczenia dotyczące wysokości konstrukcji, instalacje można umieścić poniżej konstrukcji stropu. Konsekwencją zastosowania takiego rozwiązania jest zwiększenie wysokości konstrukcyjnej każdego ze stropów oraz powiększenie obszaru okładziny.



Rysunek 4.13 Podłużne otwory z poziomymi elementami usztywniającymi

Przykład rozmieszczenia instalacji pod stropem z belek zespolonych przedstawiono na rysunku 4.14. Rozwiązanie stropu zespolonego o najmniejszej wysokości jest osiągane dzięki zastosowaniu grubej okładziny i asymetrycznych belek stalowych, gdzie instalacje mogą być rozmieszczone w wypustach okładziny i przechodzić przez stalową konstrukcję nośną. Oczywiście rozmiar przewodów oraz elementów instalacji jest w tym układzie ograniczony.



Rysunek 4.14 Rozmieszczenie instalacji pod stropem z belek zespolonych

5 SYSTEMY STROPÓW

W uzupełnieniu do ich pierwotnej funkcji nośnej stropy przenoszą obciążenia poziome na stężenia pionowe. Ponadto płyty stropowe, belki oraz słupy muszą wykazywać określoną odporność ogniową (zazwyczaj od 60 do 120 minut).

Instalacje mogą być zintegrowane z konstrukcją stropów lub zawieszone pod stropem (jak opisano w części 4.6). W budynkach komercyjnych podnoszone podłogi umożliwiają łatwe rozprowadzenie instalacji (zwłaszcza w przypadku instalacji elektrycznej i sieci transmisji danych).

W rozdziale opisano różne systemy stropów często stosowane w budynkach wielokondygnacyjnych. Przedstawiono główne cechy każdego systemu stropów, zwracając uwagę na istotne kwestie projektowe. Niniejszy rozdział nie zawiera szczegółowych procedur projektowych, lecz kieruje czytelnika do źródeł zawierających wytyczne projektowe.

W rozdziale omówiono następujące rodzaje stropów:

- belki zespolone i płyty zespolone ze stalową blachą profilowaną,
- belki zespolone o dużej rozpiętości często z otworami do prowadzenia instalacji,
- zespolone belki ażurowe z płytami zespolonymi i stalową blachą profilowaną,
- belki zintegrowane z prefabrykowanymi płytami betonowymi,
- belki zespolone i belki jednorodne z prefabrykowanymi płytami betonowymi.

5.1 Konstrukcja zespolona

W kolejnych częściach przedstawiono metody projektowania konstrukcji zespolonych. Blacha stalowa może mieć wklęsły lub trapezowy profil — blachy wklęsłe wymagają użycia większej ilości betonu niż blachy trapezowe, jednak charakteryzują się zwiększoną ognioodpornością w przypadku określonej wysokości płyt. Blachy trapezowe mają większą rozpiętość niż okładziny wklęsłe, ale nośność łączników sworzniowych jest ograniczona ze względu na wpływ kształtu profilu.

Na ogół stosowany jest beton zwykły (NWC), chociaż beton lekki (LWC) jest efektywniejszy pod względem strukturalnym, a w niektórych krajach jest powszechnie dostępny.

5.2 Belki zespolone i płyty zespolone ze stalową blachą profilowaną

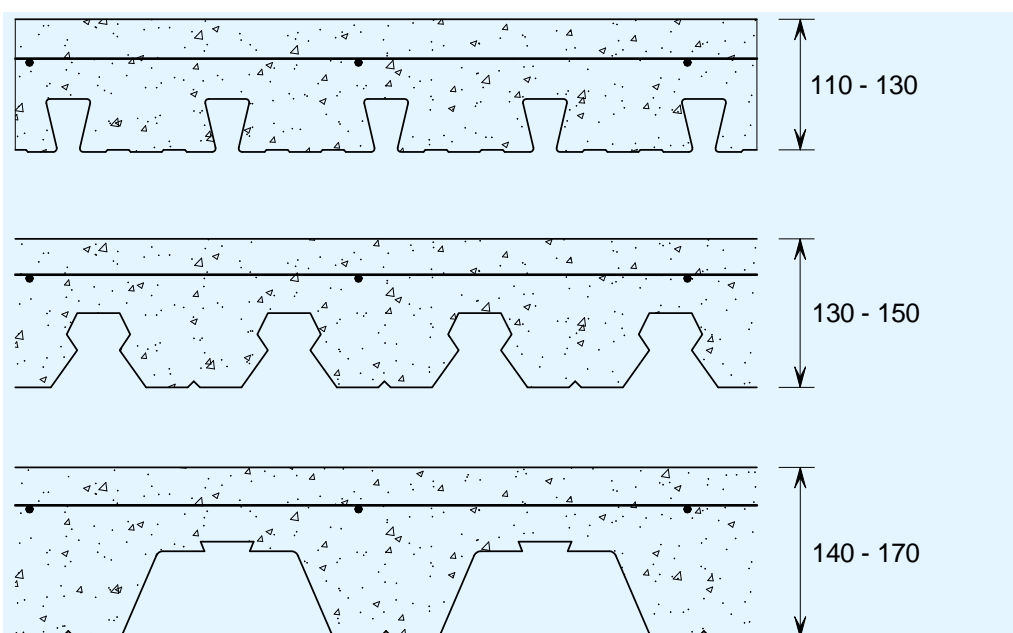
5.2.1 Opis

Konstrukcja zespolona składa się z jednorodnych belek stalowych z łącznikami ścinanymi (sworzniami) przyspawanymi do górnego pasa belki w celu zespolenia ze znajdującymi się na miejscu zespolonymi płytami stropowymi.

Płyty zespolone obejmują blachę profilowaną różnych kształtów o rozpiętości pomiędzy belkami drugorzędnymi od 3 m do 4 m. Rodzaje blach profilowanych przedstawiono na rysunku 5.1 razem z typowymi wysokościami płyt. „Docelowa” wysokość płyty wynosząca 130 mm jest często stosowana w przypadku blach o wysokich profilach od 50 do 60 mm i jest zwiększana do 150 mm w przypadku blach o wysokich profilach 80 mm. W zależności od rozpiętości blachy stosuje się stal o grubości od 0,8 mm do 1,2 mm.

Blacha profilowana jest zazwyczaj projektowana tak, aby utrzymać obciążenie mokrego betonu oraz konstrukcji, jako ciągłego elementu rozpiętego pomiędzy dwoma albo trzema przęsłami, jednak płyta zespolona jest na ogół projektowana jako swobodnie podparta między belkami. Oddziaływania na konstrukcję zespoloną są wystarczające i maksymalne projektowane rozpiętości zależą zwykle od warunków konstrukcyjnych. Stosowanie niepodpartej blachy stalowej jest korzystne ze względu na szybkość montażu.

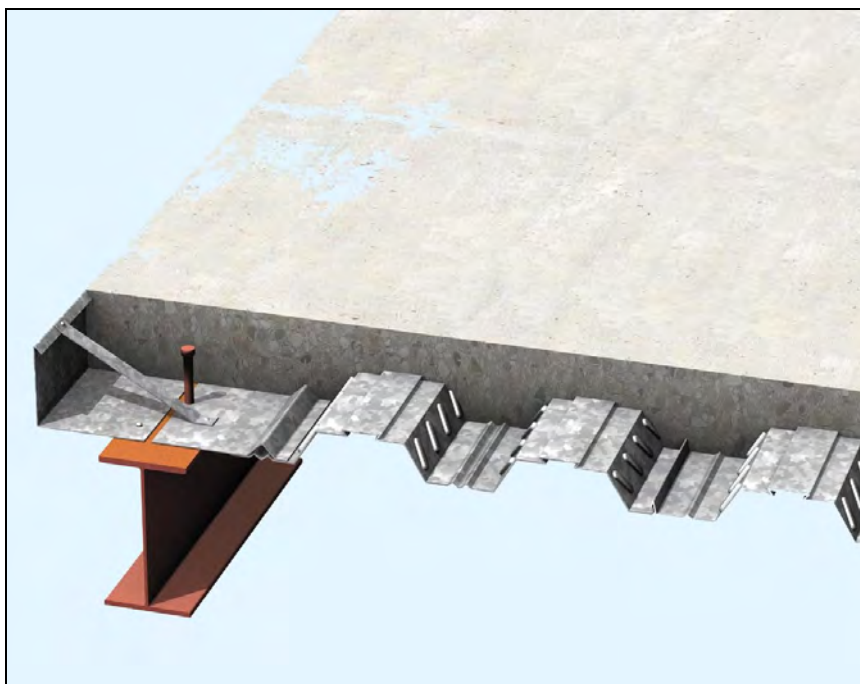
Belki drugorzędne siatki stropowej wspierane są przez belki główne. Belki te są zazwyczaj projektowane jako zespolone, choć belki krawędziowe mogą być projektowane jako belki jednorodne, a łączniki ścinane mogą być stosowane w celu zapewnienia integralności konstrukcji oraz jej odporności na obciążenia spowodowane przez wiatr. Typowy przykład belki zespolonej stosowanej jako belka krawędziowa przedstawiono na rysunku 5.2.



Rysunek 5.1 Profile blach perforowanych stosowanych w konstrukcjach zespolonych

Łączniki ścinane są zazwyczaj spawane do blachy na miejscu, aby zapewnić bezpieczne mocowanie do belki i aby blacha mogła stanowić utwierdzenie belki na etapie montażu.

Siatka zbrojeniowa, zazwyczaj o powierzchni przekroju od 140 mm do 200 mm²/m, jest umieszczana w płycie, aby zwiększyć jej odporność ogniową, wspomagać rozkładanie obciążeń miejscowych, pełnić funkcję wzmocnienia poprzecznego wokół łączników ścinanych i zredukować pękanie płyty nad belkami.



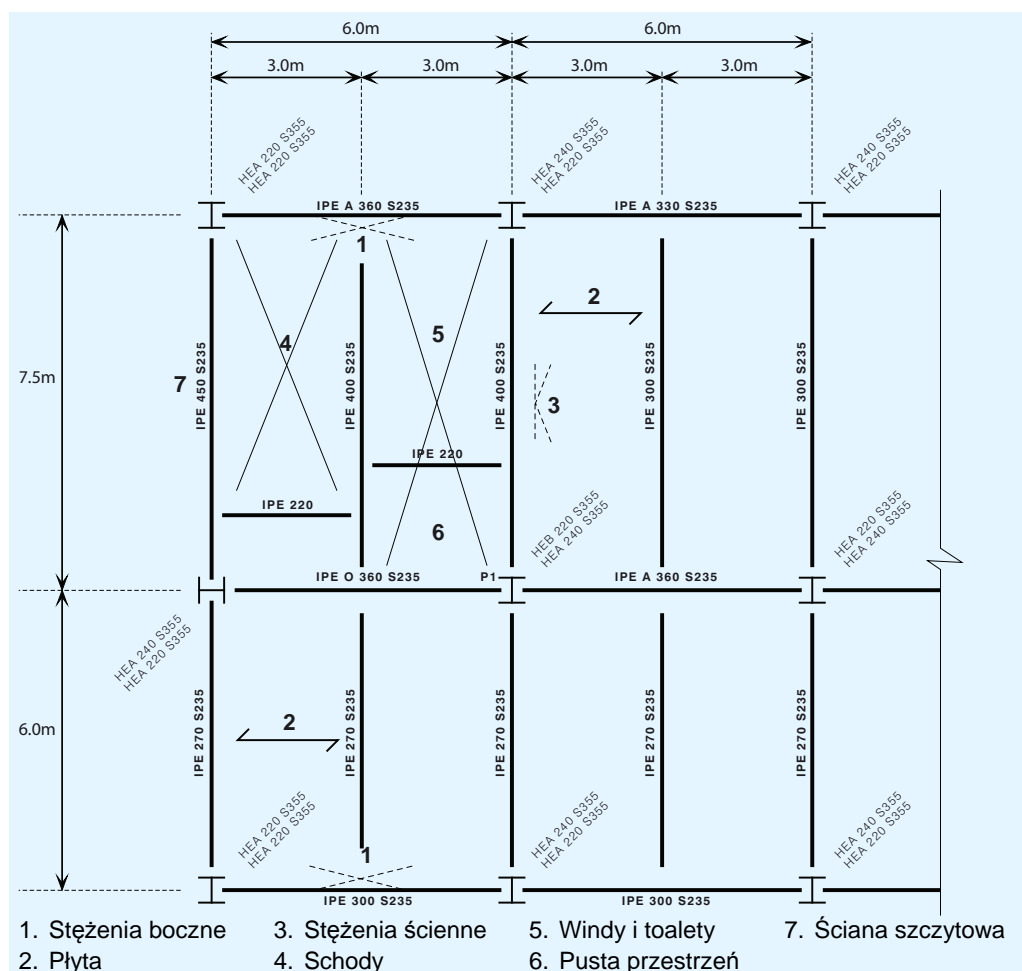
Rysunek 5.2 Belka krawędziowa w konstrukcji zespolonej

5.2.2 Typowe rozpiętości belki i kryteria projektowe

Rozpiętość belek drugorzędnych wynosi zazwyczaj od 6 m do 15 m przy odstępach od 3 m do 4 m (3,75 m jest na ogół preferowaną maksymalną rozpiętością płyty). Belki główne są projektowane na rozpiętości od 6 m do 12 m przy zastosowaniu kształtowników IPE. Często stosuje się prostokątną siatkę stropową, gdzie rozpiętość belek drugorzędnych odpowiada większej odległości, na skutek czego belki główne i drugorzędne są tych samych rozmiarów. Typowy schemat konstrukcyjny przedstawiono na rysunku 5.3.

Belki krawędziowe mogą być wyższe od belek wewnętrznych ze względu na wymagania dotyczące użyteczności blachy stalowej. Ponadto zastosowanie zespolonych belek krawędziowych wymaga rozmieszczenia ceowników wokół łączników ścinanych.

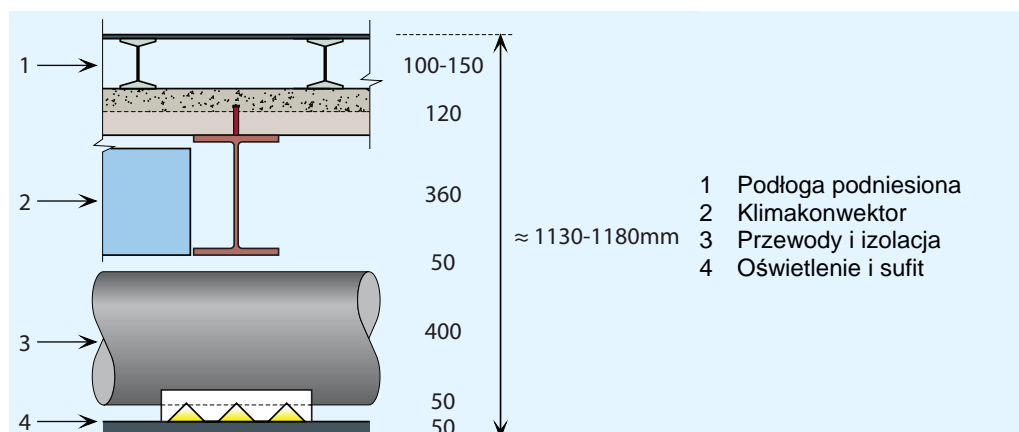
Ograniczenia całkowitego ugięcia będą obowiązywać w stosunku do belek drugorzędnych wykonanych ze stali S355. Nośność przy zginaniu będzie zazwyczaj obowiązywać w stosunku do większości belek głównych wykonanych ze stali S235 lub S275.



Rysunek 5.3 Belka zespolona małej rozpiętości — przykładowy układ konstrukcji stalowej stropu budynku czterokondygnacyjnego na planie prostokąta

5.2.3 Integracja instalacji

Urządzenia grzewcze oraz wentylacyjne mogą być umieszczane między belkami, ale na ogół przewody będą przechodzić pod niskimi belkami. Zazwyczaj w przypadku siatki stropowej $7,5\text{ m} \times 6\text{ m}$ przedstawionej powyżej całkowita strefa stropu wynosi od 1100 mm do 1200 mm, zapewniając 150 mm na umieszczenie podłogi podniesionej oraz 400 mm na przewody klimatyzacyjne pod belkami. Całkowitą strefę stropu przedstawiono na rysunku 5.4. Wysokość stropu można ograniczyć do 700 mm w przypadku, gdy nie występuje instalacja klimatyzacyjna.



Rysunek 5.4 Całkowita strefa stropu — typowa konstrukcja zespolona małej rozpiętości

5.2.4 Ochrona przeciwpożarowa

Belki (typowo):

Przeciwogniowa grubości 1,5 mm zapewniająca do 90 minut
powłoka ochronna odporności ogniowej

Płyty ochronne grubości 15–25 mm zapewniające do 90 minut
odporności ogniowej

Słupy (typowo):

Płyty ochronne grubości 15 mm zapewniające do 60 minut odporności
ogniowej

Płyty ochronne grubości 25 mm zapewniające do 90 minut odporności
ogniowej

Tabela 5.1 Rozmiary zespolonych belek drugorzędnych o przekroju IPE lub HE (stal S235) na siatce stropowej

Walcowana belka stalowa	Maksymalna rozpiętość belki drugorzędnej				
	6 m	7,5 m	9 m	10,5 m	12 m
Minimalna masa	IPE 270A	IPE 300	IPE 360	IPE 400	IPE 500
Minimalna wysokość	HE 220A	HE 240A	HE 280A	HE 320A	HE 340B

Oddziaływanie zmienne = 3 kN/m^2 plus 1 kN/m^2 na ściany działowe
Wysokość płyty = 130 mm; Rozstaw belek = 3 m

Tabela 5.2 Maksymalne rozpiętości zespolonych belek drugorzędnych w przypadku typowych obciążeń w budynkach biurowych

IPE	Rozpiętość (m)	HEA	Rozpiętość (m)	HEB	Rozpiętość (m)
200	5,0	200	5,8	200	6,7
220	5,6	220	6,5	220	7,7
240	6,2	240	7,3	240	8,6
-	-	260	8,0	260	9,3
270	7,0	280	8,7	280	9,9
300	7,9	300	9,6	300	10,9
330	8,4	320	10,3	320	11,6
-	-	340	11,3	340	12,3
360	9,4	360	11,9	360	12,9
400	10,4	400	13,1	400	13,8
450	12,2	450	14,2	450	14,7
500	13,6	500	15,1	500	15,6
550	14,7	550	15,9	550	16,4
600	15,7	600	16,6	600	17,1

Oddziaływanie zmienne = 3 kN/m² plus 1 kN/m² na ściany działowe
Wysokość płyty = 130 mm; Rozstaw belek = 3 m

Tabela 5.3 Rozmiary zespolonych belek głównych (stal S235) na siatce stropowej

Rozpiętość belek drugorzędnych	Maksymalna rozpiętość belki głównej				
	6 m	7,5 m	9 m	10,5 m	12 m
6 m	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 600R
7,5 m	IPE 400	IPE 450	IPE 550	IPE 600R	IPE 750 × 137
9 m	IPE 450	IPE 500	IPE 600	IPE 750 × 137	IPE 750 × 173

Oddziaływanie zmienne = 3 kN/m² plus 1 kN/m² na ściany działowe
Wysokość płyty = 130 mm; Rozstaw belek = 3 m

5.3 Belki zespolone o dużej rozpiętości z otworami w środku

5.3.1 Opis

Belki zespolone o dużej rozpiętości są często zaprojektowane z dużymi otworami w środku, aby ułatwić integrację instalacji, jak przedstawiono na rysunku 5.5. Siatki są ułożone w taki sposób, że belki drugorzędne o dużej rozpiętości są rozmieszczone w odstępach 3 m do 3,75 m i są podpierane przez belki główne o mniejszej rozpiętości. Możliwy jest również układ, w którym belki drugorzędne o małej rozpiętości (rzędu 6–9 m) są podpierane przez belki główne o dużej rozpiętości. Otwory służące do prowadzenia instalacji mogą być okrągłe, podłużne lub prostokątne i mogą stanowić do 70% wysokości belki. Stosunek szerokości do wysokości wynosi zazwyczaj do 3,5. Może wystąpić konieczność zastosowania elementów usztywniających środku wokół dużych otworów.



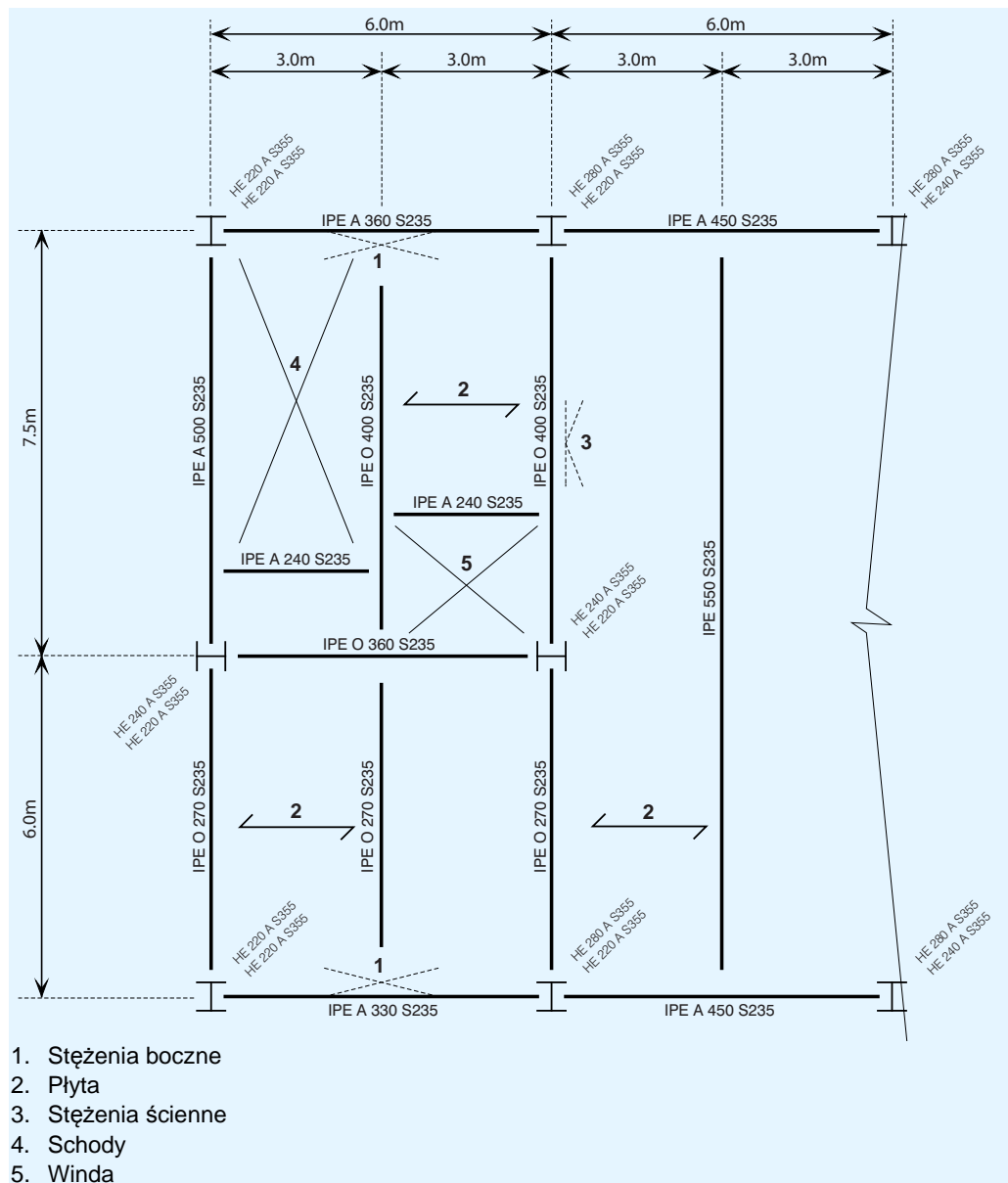
Rysunek 5.5 Belki o różnych rozmiarach otworów oraz osłoną przeciwpożarową przygotowaną poza miejscem budowy

5.3.2 Rozpiętości belek i kryteria projektowe

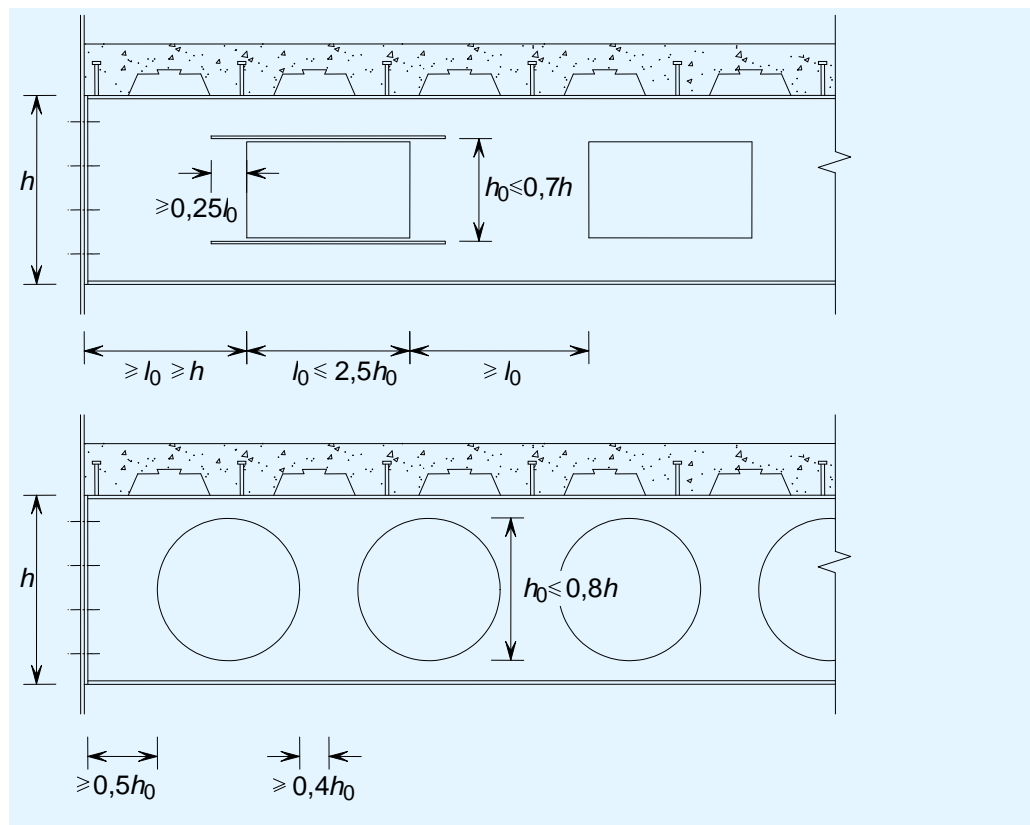
Belki drugorzędne o dużej rozpiętości: rozpiętość od 9 m do 15 m przy odstępach od 3 m do 3,75 m.

Belki główne o dużej rozpiętości: rozpiętość od 9 m do 12 m przy odstępach od 6 m do 9 m.

Typowy schemat konstrukcyjny eliminujący słupy wewnętrzne przedstawiono na rysunku 5.6. Podłużne lub prostokątne otwory powinny być zlokalizowane w obszarach, w których występują niewielkie siły ścinające, np. w środkowej jednej trzeciej rozpiętości w przypadku belek obciążonych równomiernie. Pozostałe wytyczne dotyczące rozmiarów otworów przedstawiono na rysunku 5.7. Kontrola warunków granicznych w przypadku belek o dużej rozpiętości obejmuje zazwyczaj ugięcia oraz odpowiedź dynamiczną. Nośność przy ścinaniu dla dużych otworów umieszczonych w pobliżu podpór lub obciążeń skupionych może być nośnością graniczną.



Rysunek 5.6 Belki zespolone o dużej rozpiętości (z otworami w środku)



Rysunek 5.7 Ograniczenia rozmiarów oraz rozstawów okrągłych i prostokątnych otworów w środniku

5.3.3 Integracja instalacji

Przewody instalacji technicznych mogą przebiegać przez otwory w środnikach belek. Przewody klimatyzacyjne mają wysokość około 400 mm, ale różnią się w zależności od producenta. Większe urządzenia instalacyjne, których wysokość wynosi zazwyczaj 450 mm, ale może osiągać również 750 mm w przypadku instalacji ze zmienną ilością powietrza (VAV), mogą być umieszczane pomiędzy belkami. Całkowita wysokość strefy stropu będzie zazwyczaj wynosić:

1000 mm w przypadku belek o rozpiętości 13,5 m (z otworami w środniku wysokości 300 mm),

1200 mm w przypadku belek o rozpiętości 15 m (z otworami w środniku wysokości 400 mm).

5.3.4 Ochrona przeciwpożarowa

Ochrona przeciwpożarowa może występować w formie płyt ochronnych lub przeciwogniowej powłoki ochronnej (powłoki przeciwogniowe mogą być nakładane poza miejscem budowy jako pojedyncze powłoki o grubości do 1,8 mm w celu osiągnięcia 90 minutowej odporności ogniowej), jak przedstawiono na rysunku 5.5.

5.4 Ażurowe belki zespolone z płytą zespoloną i stalową blachą profilowaną

5.4.1 Opis

Belki ażurowe to belki z okrągłymi otworami rozmieszczonymi w regularnych odstępach na całej ich długości, jak przedstawiono na rysunku 5.8. Belki są wykonywane przez cięcie i ponowne spawanie kształtowników stalowych walcowanych na gorąco. Otwory (in. komórki) są zazwyczaj okrągłe i doskonale dopasowane do okrągłych przewodów, ale mogą być również podłużne, prostokątne lub sześciokątne. Może zająć konieczność wypełnienia komórek w celu uzyskania solidnego środka w miejscach, w których występują duże siły ścinające, takich jak podpory lub punkty po obu stronach przyłożenia obciążeń skupionych wzdłuż belki.

Rozmiar oraz rozstaw otworów może być ograniczony przez metody wytwarzania. Jednakże dostępny jest pełen zakres rozmiarów kształtowników, z których można wybierać rozmiary górnych i dolnych pasów dźwigara. W przypadku konstrukcji zespolonych na górny pas dźwigara wybierany jest na ogół mniejszy przekrój niż na dolny pas dźwigara.

Belki ażurowe mogą być ułożone jako belki drugorzędne o dużej rozpiętości bezpośrednio podpierające płytę stropu lub w niektórych przypadkach jako belki główne o dużej rozpiętości podpierające inne belki ażurowe lub dwuteowniki belek drugorzędnych.



Rysunek 5.8 Ażurowe belki drugorzędne o dużej rozpiętości z regularnymi okrągłymi otworami

5.4.2 Rozpiętości belek i kryteria projektowe

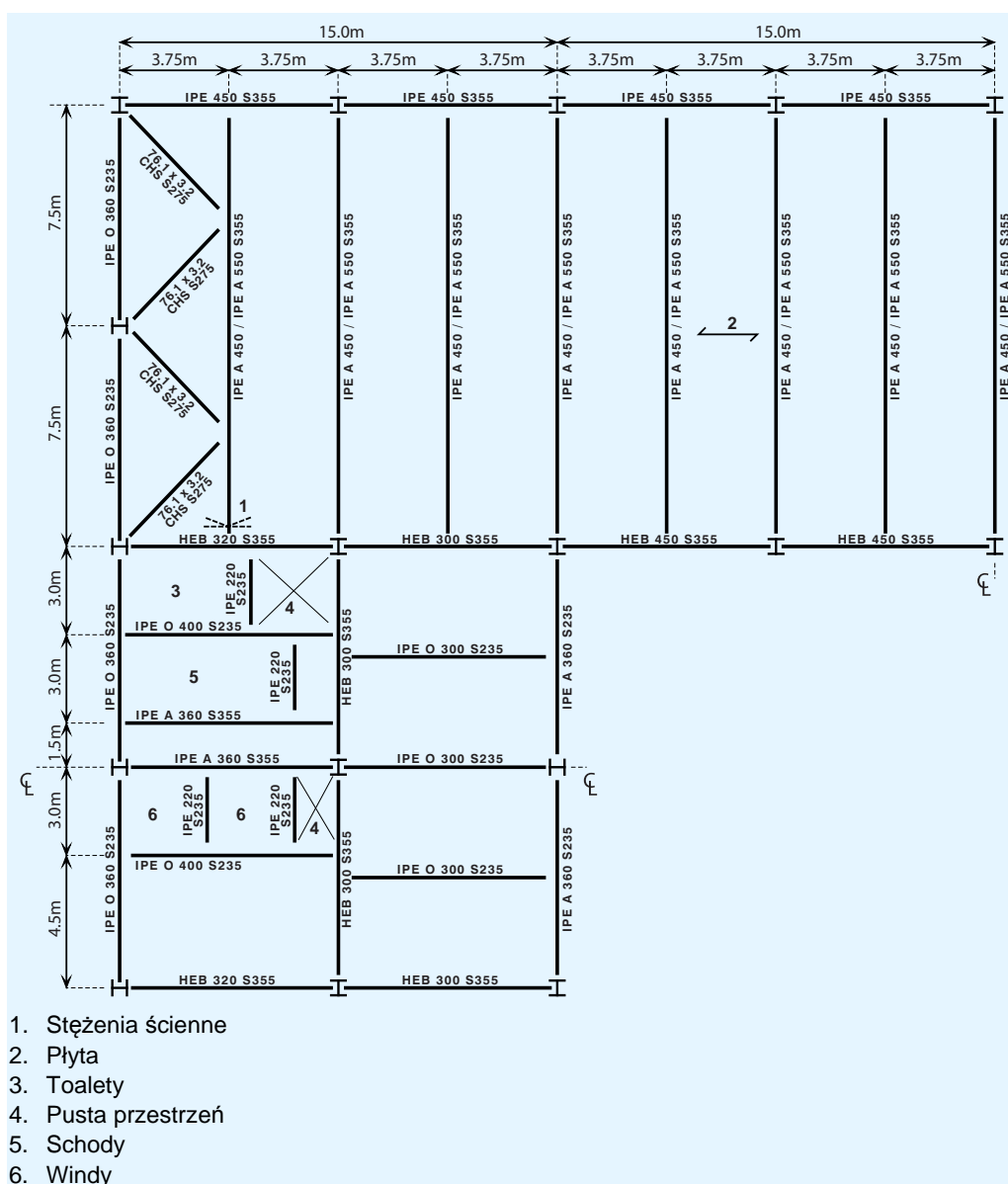
Belki drugorzędne powinny być układane w odstępach od 3 m do 3,75 m, aby uniknąć tymczasowego podporowania w trakcie montażu. Rozmiary otworów stanowią zazwyczaj od 60 do 80% wysokości belki. W przypadku otworów podłużnych może wystąpić konieczność zastosowania elementów usztywniających. Duże (podłużne lub prostokątne) otwory powinny być zlokalizowane w obszarach, w których występują niewielkie siły ścinające, np. w środkowej jednej trzeciej rozpiętości w przypadku belek obciążonych równomiernie.

Układ konstrukcyjny naroża stropu wokół atrium przedstawiono na rysunku 5.9. W tym przypadku powierzchnia siatki stropowej wynosi $15\text{ m} \times 7,5\text{ m}$, gdzie belki ażurowe mają rozpiętość 15 m i wysokość 670 mm. Belki wewnętrzne, za wyjątkiem tych, które znajdują się wokół głównych instalacji, zostały usunięte.

Ścinanie lub wyboczenia środników słupów mogą wystąpić pomiędzy otworami, w szczególności w pobliżu dużych obciążeń skupionych lub otworów podłużnych. W tym przypadku należy zwiększyć rozstaw otworów lub zastosować kształtowniki o większym przekroju. Typowe rozmiary pasów dźwigara ażurowych belek drugorzędnych o rozpiętości od 12 m do 18 m rozmieszczonych w odstępach 3 m przedstawiono w tabeli 5.4.

Tabela 5.4 **Rozmiary zespolonych belek ażurowych jako belek drugorzędnych (kształtowniki IPE/HE ze stali S355)**

Parametry belki ażurowej	Maksymalna rozpiętość belki ażurowej (m)				
	12 m	13,5 m	15 m	16,5 m	18 m
Średnica otworów (mm)	300	350	400	450	500
Wysokość belki (mm)	460	525	570	630	675
Górny pas dźwigara	IPE 360	IPE 400	IPE 400	IPE 450	IPE 500
Dolny pas dźwigara	HE 260A	HE 300A	HE 340B	HE 360B	HE 400M
Oddziaływanie zmienne	$= 3\text{ kN/m}^2$ plus 1 kN/m^2 na ściany działowe				
Wysokość płyty	$= 130\text{ mm}$; Rozstaw belek $= 3\text{ m}$				

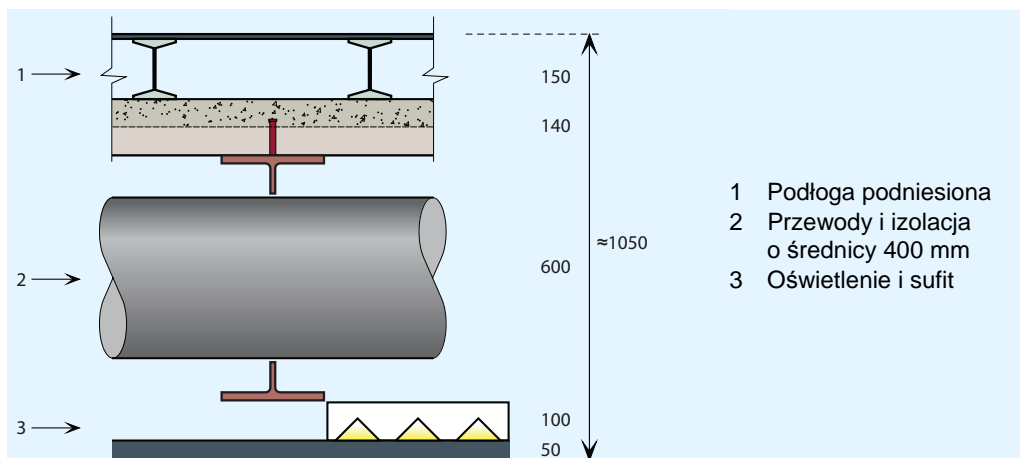


Rysunek 5.9 Belki ażurowe (belki drugorzędne o dużej rozpiętości) — przykładowy układ konstrukcji stalowej narożnika 8-kondygnacyjnego budynku z atrium

5.4.3 Integracja instalacji

Regularne otwory w środku umożliwiają przeprowadzenie przewodów przez belki, jak pokazano na rysunku 5.10. Urządzenia instalacyjne większych rozmiarów umieszczone są pomiędzy belkami. Rozmiary otworów powinny umożliwić wykonanie izolacji wokół instalacji. Belki powinny być wytwarzane w taki sposób, aby zapewnić odpowiednie, liniowe ustawienie otworów w ich środkach na całej długości budynku.

Całkowita strefa stropu może wynosić nawet jedyne 1000 mm w przypadku belek o rozpiętości 15 m z regularnymi otworami co 400 mm, co jest wielkością znacznie mniejszą niż przy prowadzeniu przewodów pod belkami.



Rysunek 5.10 Belka ażurowa — typowy przekrój poprzeczny przedstawiający integrację instalacji

5.4.4 Ochrona przeciwpożarowa

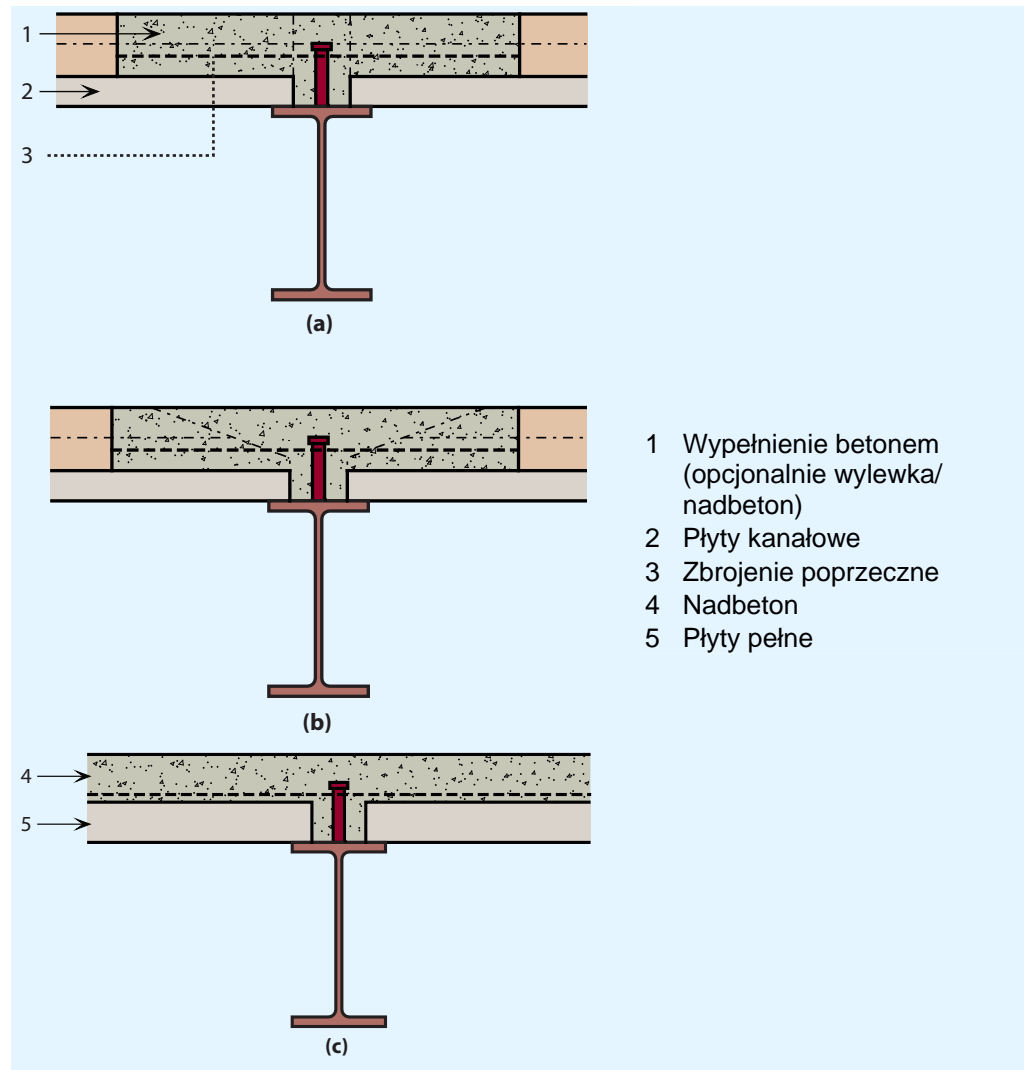
Powłoki przeciwożniowe są preferowanym systemem ochrony przeciwpożarowej w przypadku belek ażurowych i są często nakładane poza miejscem budowy. W pozycji źródłowej 7 przedstawiono porady dotyczące ochrony przeciwpożarowej belek z otworami w środku.

5.5 Belki zespolone z prefabrykowanymi płytami betonowymi

5.5.1 Opis

System ten składa się z belek stalowych z łącznikami ścinanymi, które są często przyspawane do górnego pasa belki w procesie produkcji. Belki podpierają prefabrykowane płyty betonowe z konstrukcyjnym wypełnieniem betonowym nad belką pomiędzy końcami płyty i często pokryte dodatkową warstwą nadbetonu. Prefabrykowane płyty betonowe są to płyty kanałowe zazwyczaj o wysokości od 150 mm do 260 mm lub płyty pełne o wysokości od 75 mm do 100 mm.

W miejscu podpór wyższe prefabrykaty są albo ukosowane na górnej powierzchni, albo nacinane w taki sposób, że beton wylewany *na miejscu* całkowicie pokrywa łączniki ścinane. Podczas procesu produkcji w płytach kanałowych wytwarzane są wąskie otwory, aby umożliwić umieszczenie zbrojenia poprzecznego na całej długości belek i jego osadzenie w płytach prefabrykowanych na wysokości około 600 mm z każdej strony, jak przedstawiono na rysunku 5.11.



Rysunek 5.11 Rodzaje belek zespolonych z prefabrykowanymi płytami betonowymi

- (a) Belka zespolona z płytami kanałowymi zakończonymi na prosto**
(b) Belka zespolona z ukosowanymi zakończeniami płyt kanałowych
(c) Belka zespolona z prefabrykowanymi płytami pełnymi

Łączniki ścinane oraz wzmocnienia poprzeczne zapewniają przeniesienie wzdłużnej siły ścinającej z kształownika stalowego na prefabrykaty betonowe oraz nadbeton. Konstrukcja zespolona nie może być stosowana, jeśli łączniki ścinane nie są umieszczone w szczelinie czołowej (pomiędzy płytami betonowymi) wielkości co najmniej 50 mm. W przypadku spawania łączników ścinanych na miejscu rzeczywista minimalna szczelina czołowa pomiędzy płytami betonowymi wynosi 65 mm. Nośność łączników ścinanych zależy od stopnia ich zakrycia, a *na miejscu* stosowany jest często beton z 10 mm warstwą kruszywa. Płyty kanałowe powinny być wypełnione przy podporach na minimalną wysokość równą średnicy rdzenia, aby zapewnić efektywność oddziaływania na konstrukcję zespoloną oraz odpowiednią ognioodporność.

Wymagane są minimalne szerokości półki, aby zapewnić bezpieczną długość docisku prefabrykatów i wystarczającą szczelinę dla efektywnego oddziaływania łączników ścinanych — minimalne zalecane wartości podano w tabeli 5.5.

Tabela 5.5 Minimalne szerokości w przypadku połączeń typu dociskowego prefabrykowanych płyt betonowych

	Minimalna szerokość belki	
Prefabrykowana płyta pełna o wysokości od 75 mm lub 100 mm	Belka wewnętrzna	180 mm
	Belka krawędziowa	210 mm
Prefabrykowana płyta kanałowa	Belka wewnętrzna	180 mm
	Belka krawędziowa	210 mm
Jednorodna belka krawędziowa		120 mm

Belki krawędziowe są często projektowane jako belki jednorodne o nominalnym połączeniu ścinanym umożliwiającym zachowanie odporności oraz wymogów w zakresie stateczności konstrukcji. Łączniki ścinane są zazwyczaj spawane na miejscu budowy przez otwory w prefabrykatach. Zespólone belki krawędziowe wymagają ustalenia szczegółów odnośnie zbrojenia ceownikami otworów prefabrykowanych płyt betonowych oraz zastosowania większej minimalnej szerokości pasa belki.

Tymczasowe stężenia zapewniające utwierdzenie boczne są często wymagane w celu zredukowania efektywnej długości na wypadek zwichrzenia belki na etapie budowy, gdy obciążona jest tylko jedna ze stron. Pełne utwierdzenie skrętne w warunkach tymczasowych może być trudne do osiągnięcia, jeżeli nie są stosowane wysokie elementy usztywniające ze sztywnymi połączeniami lub gdy wywoływane jest oddziaływanie ramy U-kształtnej obejmujące belki, elementy usztywniające i połączenia sztywne.

5.5.2 Rozpiętość belki i kryteria projektowe

Belki drugorzędne o dużej rozpiętości powinny zapewniać wystarczającą minimalną szerokość w celu wspierania prefabrykatów betonowych, jak przedstawiono w tabeli 5.5, tak aby minimalna rzeczywista wysokość belki wynosiła IPE 400 mm. Belki, które są układane równolegle do rozpiętości prefabrykatów, na ogół nie mogą być projektowane jako zespolone.

Belki krawędziowe są zazwyczaj projektowane jako jednorodne, ale są przymocowane do stropu w celu spełnienia wymogów dotyczących odporności konstrukcji.

We wszystkich przypadkach projektów zespolonych należy zapewnić wzmocnienia poprzeczne, jak przedstawiono na rysunku 5.11 i rysunku 5.12.

Kontrola warunków granicznych obejmuje często nośność przy skręcaniu i skręcanie lub połączenie skręcania z nośnością przy zwichrzeniu w warunkach konstrukcyjnych (obciążenie wyłącznie po jednej stronie).



Rysunek 5.12 Konstrukcja stropu zespolonego z prefabrykowanymi betonowymi płytami kanałowymi przedstawiająca pręty zbrojenia poprzecznego umieszczane w otwartych rdzeniach

5.5.3 Integracja instalacji

Główne przewody instalacji technicznych są zlokalizowane pod belkami z większymi urządzeniami instalacyjnymi znajdującymi się pomiędzy belkami. Dzięki temu całkowita wysokość stropu z uwzględnieniem sufitu oraz instalacji może wynieść 1200 mm. Otwory mogą znajdować się w środku belki, ale w tym przypadku belki powinny być zaprojektowane jako jednorodne.

5.5.4 Ochrona przeciwpożarowa

W ramach ochrony przeciwogniowej belek wspierających prefabrykowane płyty betonowe można stosować powłoki nakładane natryskowo, płyty ochronne lub przeciwogniowe powłoki ochronne.

Pręty zbrojenia poprzecznego należy dokładnie umieścić w płytach prefabrykowanych — wsuwając 600 mm w każdą z nich. W celu zapewnienia odporności ogniowej od 90 do 120 minut wymagane jest zastosowanie warstwy nadbetonu wysokości (minimum) 50 mm.

5.6 Jednorodne belki z płytami prefabrykowanymi

5.6.1 Opis

Płyty prefabrykowane mogą opierać się na górnym pasie belek stalowych lub na kątownikach półkowych. Prefabrykowane płyty betonowe są to płyty kanałowe zazwyczaj o wysokości od 150 mm do 400 mm lub płyty pełne o wysokości od 75 mm do 100 mm. Prefabrykowane kanałowe płyty betonowe mogą być używane przy rozpiętościach do 15 m (400 mm lub wyższe). Przykład prefabrykowanych płyt betonowych dużej rozpiętości umieszczanych na belkach stalowych przedstawiono na rysunku 5.13.

Kątowniki półkowe są przykręcone do środka belki śrubami lub przyspawane, a ich ramiona są na tyle długie, aby zapewnić odpowiedni docisk płyty prefabrykowanej i umożliwić montaż pod górnym pasem belki. Prefabrykowane płyty betonowe są zazwyczaj zalewane zaprawą w odpowiednim położeniu. Prefabrykowane płyty betonowe można pokryć wylewką (która może być konstrukcyjna) lub podniesioną podłogą.



Rysunek 5.13 Prefabrykowane płyty betonowe o dużej rozpiętości umieszczane na konstrukcji stalowej

Tymczasowe stężenia boczne są często wymagane w celu zredukowania efektywnej długości na wypadek zwichrzenia belki na etapie budowy, gdy obciążona jest tylko jedna ze stron.

W celu spełnienia wymogów dotyczących odporności może być konieczne zastosowanie siatki i nadbetonu konstrukcyjnego lub zbrojenia zabetonowanego w płytach kanałowych i przeprowadzonego przez otwory w środku belki stalowej. Wymagane może być również związanie płyt betonowych z belkami krawędziowymi.

5.6.2 Rozpiętości belek i kryteria projektowe

Należy brać pod uwagę obciążenia na etapie montażu (prefabrykowane płyty wyłącznie z jednej strony). Może być wymagane zastosowanie stężeń tymczasowych. Belki obciążone wyłącznie z jednej strony w warunkach stałych powinny być zaprojektowane z uwzględnieniem przyłożonego momentu skręcającego.

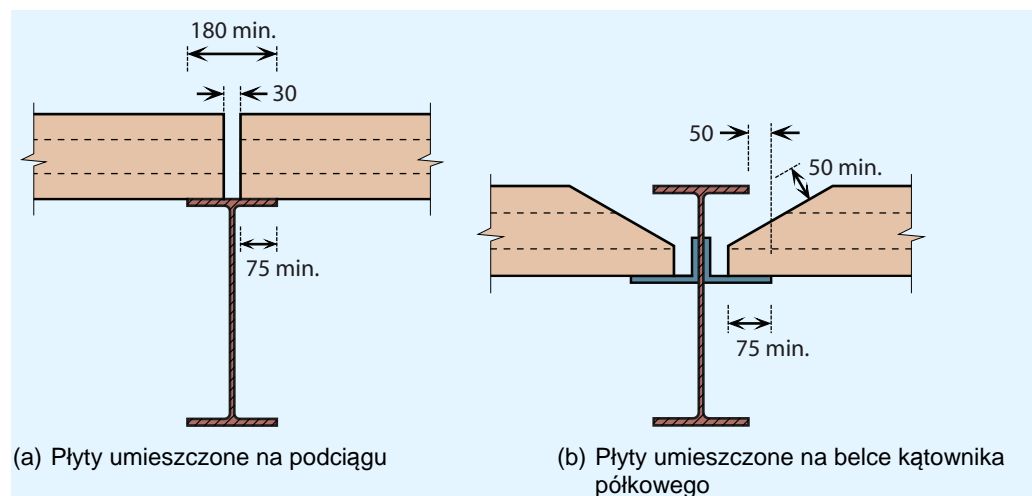
Gdy płyty prefabrykowane opierają się na górnym pasie belki, minimalna szerokość pasa wynosi 180 mm, aby zapewnić minimalną nośność oraz szczelinę wielkości 30 mm pomiędzy prefabrykowanymi płytami betonowymi, jak przedstawiono na rysunku 5.14.

Kątowniki półkowe powinny wystawać na co najmniej 50 mm poza pas belki. W przypadku zastosowania kątowników półkowych wymagany jest 25 mm odstęp pomiędzy zakończeniem płyty betonowej a pasem belki, jak przedstawiono na rysunku 5.15.

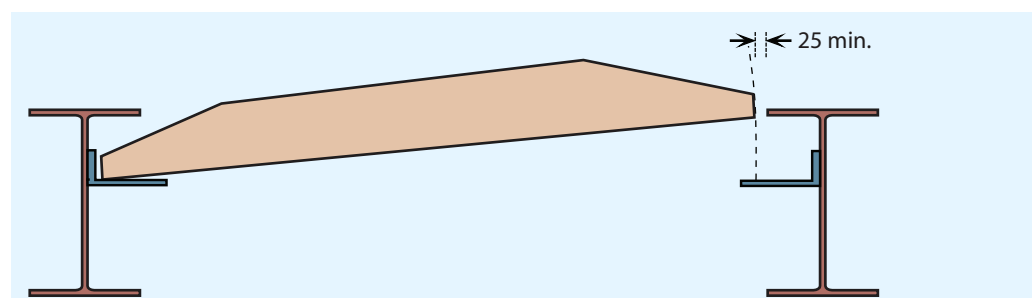
Kontrola warunków granicznych w przypadku belki obejmuje często nośność przy skręcaniu lub połączenie skręcania z nośnością przy zwichrzeniu w warunkach konstrukcyjnych (obciążenie wyłącznie po jednej stronie).

5.6.3 Integracja instalacji

Główne przewody instalacji technicznych są zlokalizowane pod belkami z większymi urządzeniami instalacyjnymi znajdującymi się pomiędzy belkami.



Rysunek 5.14 Konstrukcja stropu z prefabrykowanych płyt betonowych o jednorodnej strukturze



Rysunek 5.15 Wymagania dotyczące sposobu podparcia i odstępów w przypadku płyt prefabrykowanych umieszczonych na belkach kątowników półkowych

5.6.4 Ochrona przeciwpożarowa

Ochrona przeciwpożarowa belki może obejmować powłokę nakładaną natryskowo, płytę ochronną lub powłokę przeciwogniową. Belki z kątowników półkowych mogą osiągać 30 minutową odporność ogniową na skutek odwrócenia kątowników (ramię pionowe znajduje się *powyżej* ramienia wystającego, jak przedstawiono na rysunku 5.15), żeby pozostawały one stosunkowo chłodne w razie pożaru.

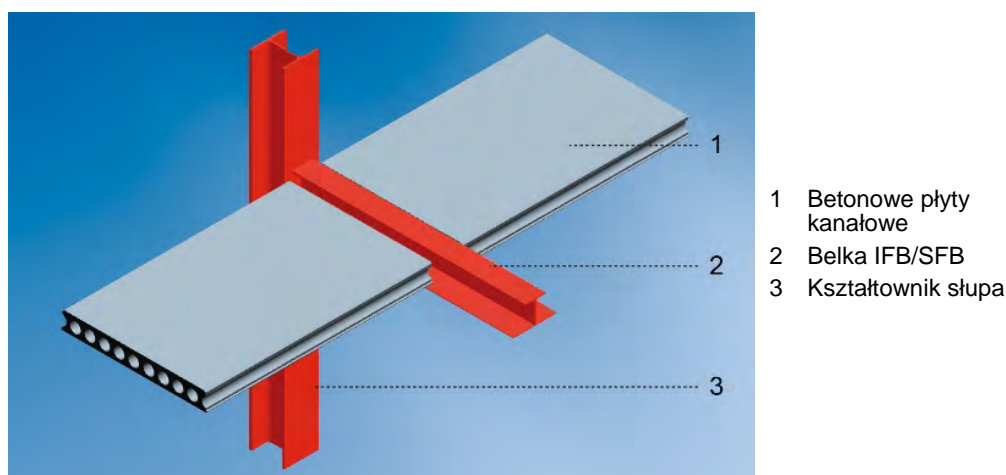
5.7 Belki zintegrowane z prefabrykowanymi płytami betonowymi

5.7.1 Opis

Prefabrykowane płyty betonowe mogą być stosowane jako część cienkich stropów lub układu belek zespolonych, w którym belki rozmieszczone są w ramach wysokości stropu, jak przedstawiono na rysunku 5.16. Powszechnie stosuje się dwa rodzaje belek stalowych:

- Blacha stalowa (zazwyczaj o grubości 15 mm) może być przyspawana do spodniej części dwuteownika szerokostopowego. Blacha ta wystaje poza dolny pas o co najmniej 100 mm z każdej strony w celu zapewnienia podparcia prefabrykowanych płyt betonowych.
- 20 mm płyta półki (typowo) może być przyspawana do połowy dwuteownika przeciętego wzdłuż środka.

Zaleca się stosowanie nadbetonu konstrukcyjnego zbrojonego, który zwiąże wszystkie prefabrykowane płyty betonowe razem. Warstwa nadbetonu powinna przykryć prefabrykowane płyty betonowe na wysokość co najmniej 50 mm. Jeżeli nadbeton nie jest stosowany, zbrojenie należy przeprowadzić przez środek belki, aby przywiązać strop do belki z każdej strony w celu spełnienia wymogów dotyczących odporności.



Rysunek 5.16 Zintegrowana belka stropowa (belka cienkiego stropu) i prefabrykowane płyty betonowe

Zespólona belka zintegrowana może powstać przez przyspawanie łączników ścinanych (zazwyczaj 19 mm średnicy \times 70 mm długości) do górnego pasa kształownika stalowego. Wzmocnienie jest następnie umieszczane wzdłuż pasa w otworach przygotowanych w płytach prefabrykowanych lub na górze niskich płyt prefabrykowanych. Jeżeli belki są zaprojektowane jako zespolone, nadbeton powinien pokrywać łączniki ścinane na wysokości co najmniej 15 mm i płyty prefabrykowane na wysokości co najmniej 60 mm.

Typowy schemat konstrukcyjny ze zintegrowanymi belkami o rozpiętości 6 m i prefabrykowanymi płytami betonowymi o rozpiętości 7,5 m przedstawiono na rysunku 5.17. W tym przypadku prefabrykowane płyty betonowe mają wysokość 200 mm i stosowany jest nadbeton o wysokości 60 mm. Belkami krawędziowymi są belki IPE zaprojektowane jako belki jednorodne i umieszczone pod prefabrykowanymi płytami betonowymi. W celu spełnienia wymogów dotyczących odporności przewidziano nominalne połączenia ścinane. W tym przypadku płyta może być osadzona równo z górną częścią belki, jak przedstawiono na rysunku 5.18.

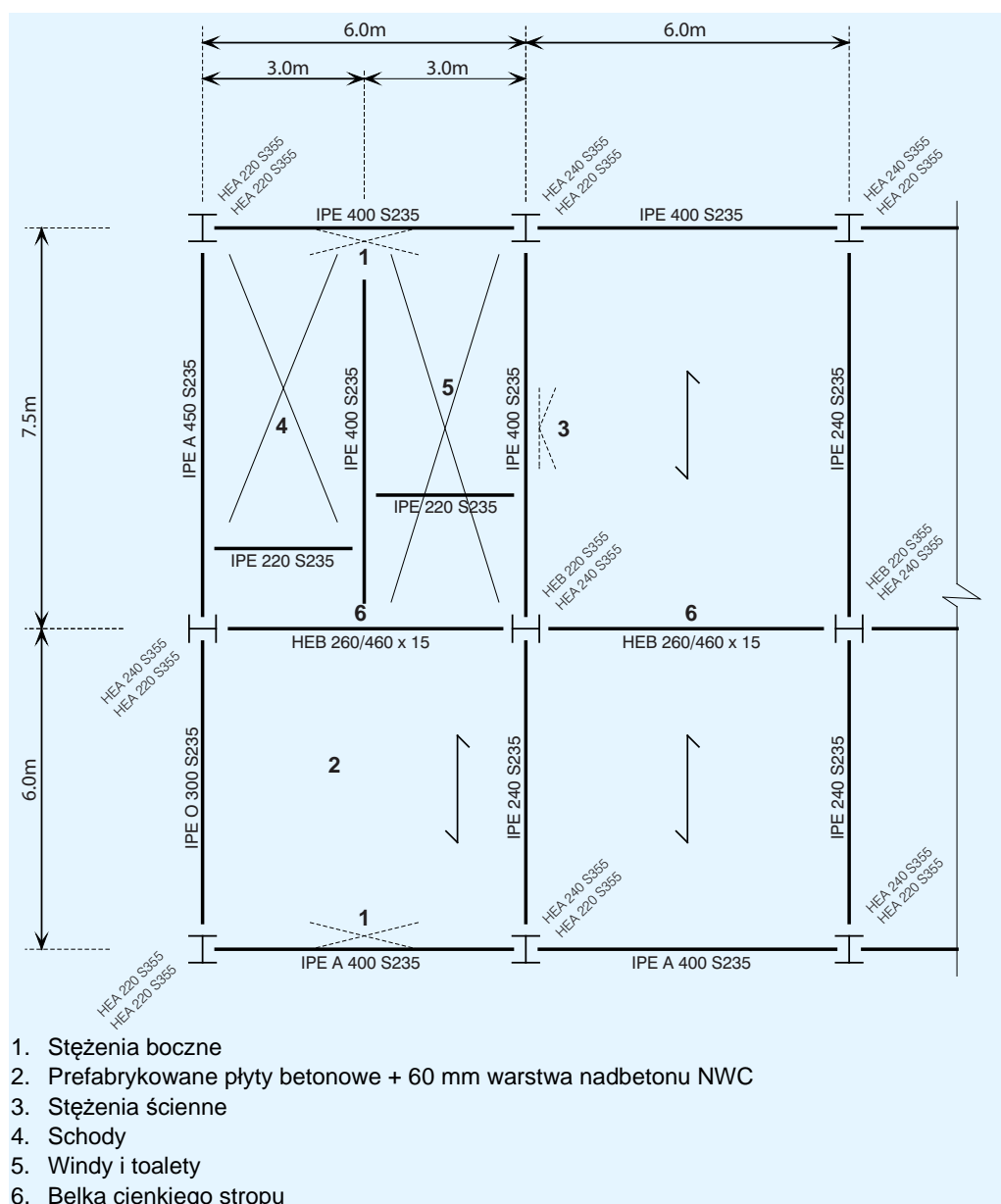
5.7.2 Rozpiętości belek i kryteria projektowe

Najlepiej byłoby, gdyby rozpiętość prefabrykowanych płyt betonowych oraz rozpiętość belki były zoptymalizowane w celu uzyskania grubości stropu zgodnej z wysokością belki. Belki obciążone z jednej strony są stosunkowo ciężkie ze względu na ich obciążenie skręcające. Ponadto w trakcie montażu należy sprawdzić wpływ sił skręcających. Zastosowanie środkowej belki szkieletowej z płytami prefabrykowanymi rozpościerającymi się do podciągów krawędziowych (belki znajdujące się pod prefabrykowanymi płytami betonowymi, ale schowane w ścianie) będzie na ogół bardziej ekonomiczne niż użycie prefabrykowanych płyt betonowych umieszczonych wzdłuż budynku na szeregu belek poprzecznych.

Zespolone belki krawędziowe wymagają ustalenia szczegółów odnośnie ceowników umieszczonych wokół łączników ścinanych i w płytach prefabrykowanych lub nadbetonie konstrukcyjnym — w związku z tym preferowane są jednorodne belki krawędziowe.

Kontrola warunków granicznych obejmuje zazwyczaj nośność przy skręcaniu, połączenie skręcania z nośnością przy zwichrzeniu w warunkach konstrukcyjnych (obciążenie wyłącznie po jednej stronie) lub zwichrzenie w warunkach konstrukcyjnych (z obciążeniami po obu stronach). Ugięcie może być warunkiem krytycznym w przypadku wszystkich rodzajów belek zintegrowanych.

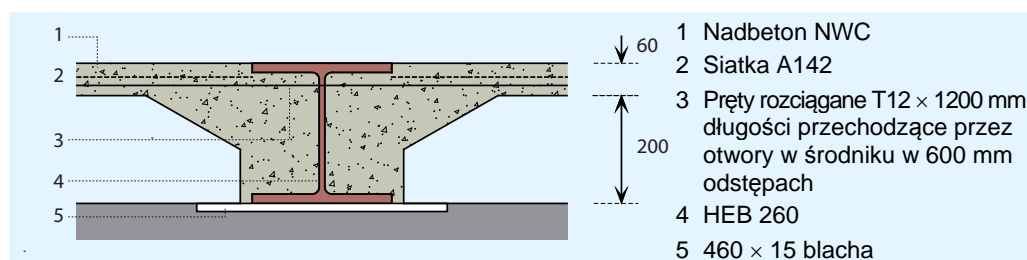
Typowe rozmiary belek cienkiego stopu i belek zintegrowanych w przypadku rozpiętości od 5 m do 8 m przedstawiono w tabeli 5.6 i odpowiednio w tabeli 5.7.



Rysunek 5.17 Układ konstrukcji stalowej cienkiego stropu czterokondygnacyjnego budynku na planie prostokąta (środkowa belka szkieletowa cienkiego stropu i podciąg krawędziowe)

5.7.3 Integracja instalacji

Podsufitka płaskiego stropu umożliwia nieograniczony dostęp do instalacji znajdujących się pod stropem, jak pokazano na rysunku 5.18.



Rysunek 5.18 Konstrukcja cienkiego stropu — typowy przekrój poprzeczny z wykorzystaniem płyt prefabrykowanych

5.7.4 Ochrona przeciwpożarowa

Oslona z betonu wokół belek zazwyczaj wystarcza, aby zapewnić 60 minut odporności ogniowej bez stosowania dodatkowej ochrony.

Aby osiągnąć 90 minutową odporność ogniową, należy zastosować powłokę przeciwpożarową lub płytę ochronną dla pasa blachy. Należy ustalić odpowiednie szczegóły dotyczące zbrojenia poprzecznego, w szczególności dla płyt kanałowych, gdzie wymagane jest wypełnienie rdzeni przylegających do belki.

Tabela 5.6 Rozpiętości belek cienkich stropów składających się z kształtowników HE i przyspawanej płyty dolnej

Rozpiętość płyty (m)	Typowy rozmiar belki o podanej rozpiętości będącej częścią cienkiego stropu			
	5 m	6 m	7 m	8 m
5	HE 200A	HE 240A	HE 280A	HE 300A
6	HE 240A	HE 280A	HE 300A	HE 280A
7	HE 280A	HE 300A	HE 280B	HE 300B
8	HE 280A	HE 280B	HE 300B	HE 320B

Płyta o wysokości równej wysokości belki plus 50 mm

Przyspawana blacha powinna być o 150 mm szersza niż kształtownik HE

Tabela 5.7 Rozpiętość belek zintegrowanych wyciętych z kształtowników IPE z przyspawaną płytą dolnego pasa

Rozpiętość płyty (m)	Typowe rozmiary belek zintegrowanych o podanej rozpiętości			
	5 m	6 m	7 m	8 m
5	IPE 400	IPE 500	IPE 550	IPE 600
6	IPE 500	IPE 550	IPE 600	HE 500A
7	IPE 550	IPE 600	HE 500A	HE 600A
8	IPE 600	HE 500A	HE 600A	HE 600B

Wszystkie rozmiary kształtowników zostały zmniejszone, aby stanowić połowę podanych rozmiarów kształtowników IPE

We wszystkich przypadkach stosowany jest przyspawany dolny pas belki grubości 20 mm

5.8 Belki asymetryczne i wysoka blacha profilowana

5.8.1 Opis

Belki asymetryczne mogą być stosowane do podpierania płyt zespolonych z wysoką blachą profilowaną. Belki asymetryczne są stalowymi belkami walcowanymi na gorąco z pasem dolnym szerszym od górnego. Kształtownik może mieć na górnym pasie wytłoczone nierówności i działać w zespoleniu z betonową osłoną bez potrzeby stosowania dodatkowych łączników ścinanych. Płyta profilowana jest umieszczona pomiędzy dolnymi pasami belek i utrzymuje obciążenia podczas budowy.

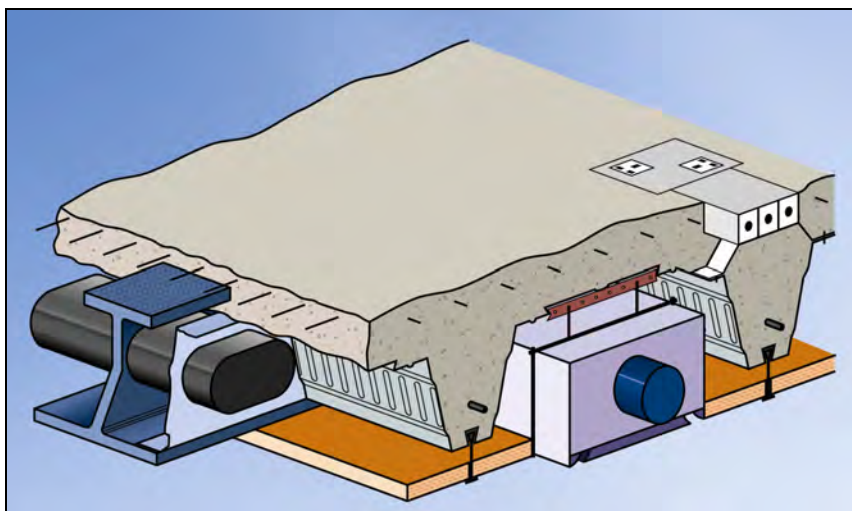
Układy przęseł opierają się zazwyczaj na siatce o rozpiętości od 6 m do 9 m, a wysokość płyty wynosi 280–350 mm. W przypadku rozpiętości większych niż 6 m blacha profilowana wymaga zastosowania podstemplowania. Pręty zbrojeniowe (o średnicy 16–25 mm) umieszczone w wystęпах płyty zapewniają wystarczającą ognioodporność.

Przekroje belek asymetrycznych mają na ogół 300 mm wysokości. Przekroje te mogą być walcowane ze stosunkowo grubymi środnikami (o grubości równej lub większej niż grubość pasów), których odporność ogniowa wynosi 60 minut bez dodatkowej ochrony (dla zwykłych obciążeń w budynkach biurowych).

Instalacje mogą być integrowane przez utworzenie podłużnych otworów w środnikach belek, a także przez umieszczanie przewodów pomiędzy wystęgami blachy stalowej, jak przedstawiono na rysunku 5.19.

Belkami krawędziowymi mogą być belki cienkiego stropu z prostokątnych kształtowników zamkniętych lub podciąg. Ściąg, zwykle teowniki z ramieniem zalany w płycie, są stosowane do wewnętrznego utwierdzenia słupów w kierunku prostopadłym do głównych belek.

Zbrojenie z siatki (A142 dla 60 minutowej odporności ogniowej oraz A193 dla odporności 90 minutowej) jest umieszczane w płycie nad belką asymetryczną. Jeżeli górny pas belki asymetrycznej jest na tym samym poziomie co powierzchnia betonu, płyty z każdej strony belki asymetrycznej powinny zostać przymocowane do siebie, aby spełnić wymogi związane z odpornością konstrukcji. Zwykle jest to realizowane za pomocą zbrojenia (zazwyczaj pręty T12 przechodzące przez otwory w odstępach 600 mm) przeprowadzane przez środnik belki asymetrycznej. Belki asymetryczne są zwykle projektowane jako jednorodne, jeżeli warstwa betonu nad górnym pasem jest mniejsza niż 30 mm.



Rysunek 5.19 Integracja instalacji przy użyciu belek asymetrycznych

5.8.2 Rozpiętości belek i kryteria projektowe

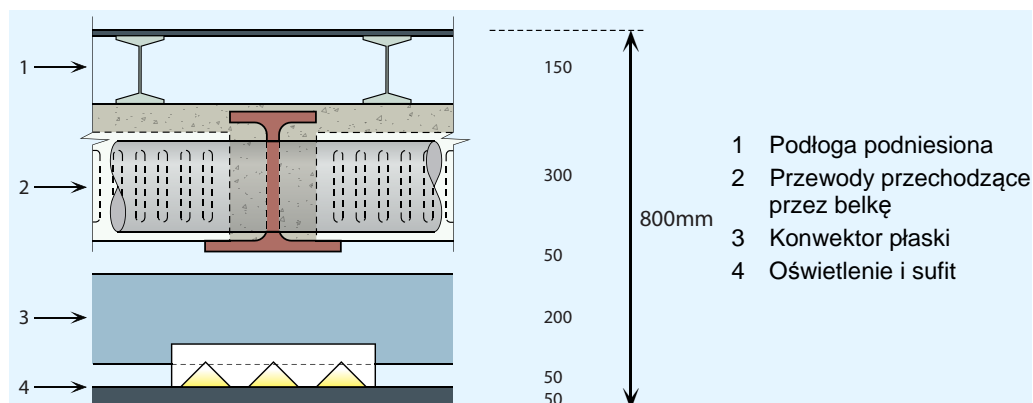
W przypadku tej formy konstrukcji z wysoką blachą profilowaną maksymalna rozpiętość blachy jest ograniczona do około 6 m dla płyty o wysokości 300 mm, aby uniknąć tymczasowego podstemplowania. Maksymalna rozpiętość belek asymetrycznych mieści się w zakresie od 6 m do 10 m, w zależności od ich rozmiarów oraz rozstawu.

5.8.3 Integracja instalacji

Możliwości rozmieszczenia instalacji pod stropem są nieograniczone. Małe instalacje oraz przewody (do średnicy 160 mm) mogą być przeprowadzone przez otwory w środnikach belek i pomiędzy wystęgami blachy profilowanej, jak przedstawiono na rysunku 5.20. Następujące strefy stropów mogą być rozważane na etapie koncepcji projektowej przy zastosowaniu belek asymetrycznych i wysokiej blachy profilowanej.

600–800 mm z instalacją oświetlenia (i podniesioną podłogą)

800–1000 mm z klimatyzacją (i podniesioną podłogą)



Rysunek 5.20 Typowa konstrukcja stropowa przy zastosowaniu belek asymetrycznych i wysokiej blachy profilowanej

5.8.4 Ochrona przeciwpożarowa

Belki asymetryczne zgodne z wymogami inżynierii pożarowej mają stosunkowo grube środniki, a w przypadku osadzenia środnika oraz górnego pasa w betonie nie wymagają dodatkowych zabezpieczeń, aby osiągnąć ognioodporność wynoszącą 60 minut.

W przypadku pozostałych przekrojów belek asymetrycznych wymagana jest ognioodporność większa niż 30 minut — uzyskiwana zwykle przy pomocy płyty mocowanej do dolnego pasa.

5.9 Połączenia belek

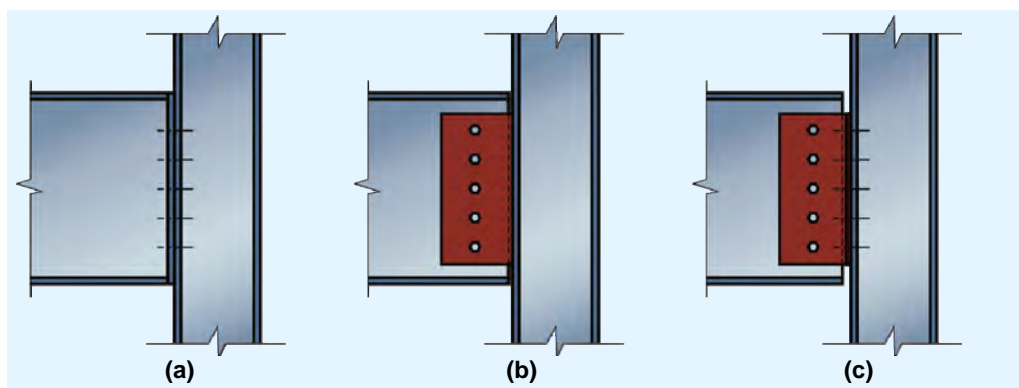
We wszystkich systemach stropów omówionych w niniejszym rozdziale stosowane są połączenia proste (nominalne przeguby sworzniowe), w przypadku których nie zakłada się uzyskania znaczących momentów. Aby zrealizować to założenie w praktyce, poszczególne elementy połączenia muszą być plastyczne w celu przyjęcia obrotu powstającego na połączeniu.

Połączenia o pełnej wysokości, gdy blacha doczołowa jest przyspawana do środnika i pasów, są stosowane w przypadku elementów stropu podlegających skręcaniu, takich jak belki zintegrowane lub belki cienkich stropów. W przypadku wszystkich rozwiązań stropów należy sprawdzić możliwość wystąpienia obciążeń skręcających na etapie budowy, gdyż mogą być wymagane połączenia zapewniające nośność przy skręcaniu oraz utwierdzenia tymczasowe.

Zastosowanie blach doczołowych o pełnej wysokości może oznaczać, że połączenia nie mogą być dłużej uważane za połączenia przegubowe. W wielu przypadkach zakłada się, że połączenie może być uważane za przegubowe tak długo, jak grubość blachy doczołowej nie jest większa niż połowa średnicy śruby (dla stali S275). Niektóre organy nadzorujące mogą wymagać przedstawienia obliczeń w celu wykazania klasyfikacji połączenia.

5.9.1 Połączenia belek ze słupami

Kiedy połączenia nie podlegają skręcaniu, uszczegóławiane są zazwyczaj połączenia proste (jedynie ścinanie w pionie). Wybór szczegółów dotyczących stosowanych połączeń standardowych leży po stronie wykonawcy konstrukcji stalowej. Do standardowych połączeń należą elastyczna blacha doczołowa, blacha przykładki środnika i podwójne łączniki kątowe przedstawione na rysunku 5.21. Powszechnie zakłada się, że typy połączeń przedstawione na rysunku 5.21 należą do połączeń przegubowych tak długo, jak blachy oraz kątowniki są względnie cienkie (10 mm dla stali S275). Przewodnik *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe Część 5: Projektowanie połączeń*^[8] obejmuje projektowanie połączeń przegubowych.

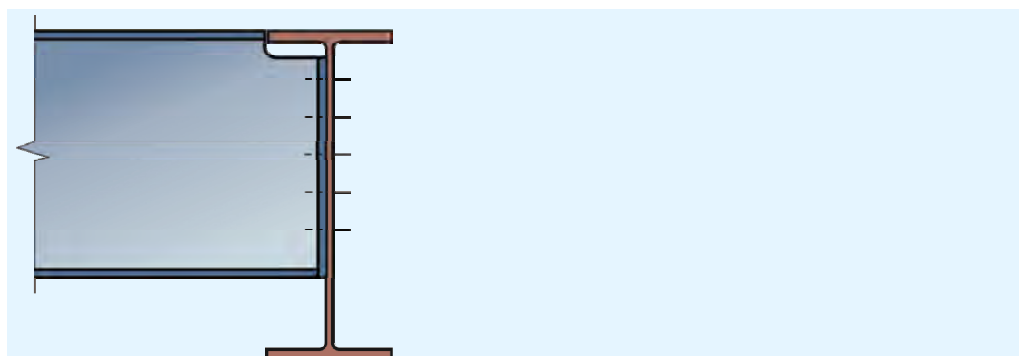


Rysunek 5.21 Standardowe połączenia belek. (a) Podatna blacha doczołowa (b) Blacha przykładki środnika (c) Podwójny łącznik kątowy

Na ogół podatne blachy doczołowe są stosowane w przypadku połączeń typu belka-słup. Blachy przykładki środnika są często stosowane w połączeniach typu belka-belka.

5.9.2 Połączenia typu belka-belka

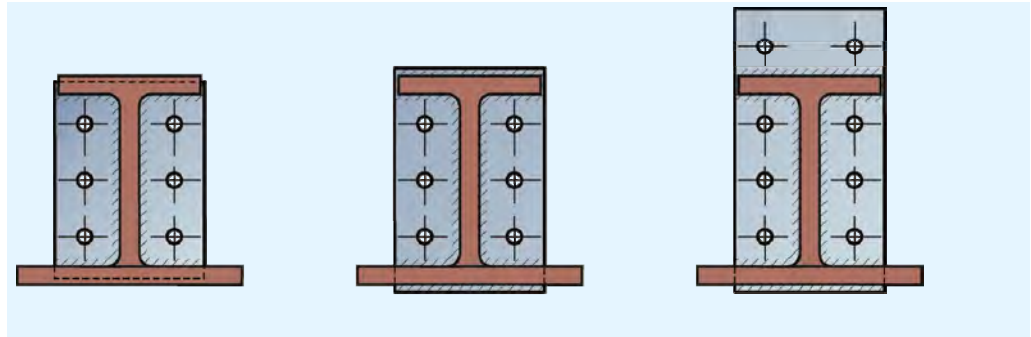
W połączeniach typu belka-belka również wykorzystywane są standardowe szczegóły połączeń, chociaż w przypadku belki drugorzędnej wymagane są wycięcia, jak przedstawione na rysunku 5.22.



Rysunek 5.22 Połączenie typu belka-belka

5.9.3 Blacha doczołowa o pełnej wysokości

Gdy połączenia podlegają skręcaniu, są one zazwyczaj wytwarzane z blachy doczołowej o pełnej wysokości, jak przedstawiono na rysunku 5.23. W tych połączeniach blacha doczołowa jest spawana wokół pełnego profilu elementu.



Rysunek 5.23 Blachy doczołowe pełnej wysokości belek zintegrowanych

W praktyce przyjmuje się zazwyczaj, że połączenia projektuje wykonawca konstrukcji stalowej. Projektant ramy stalowej powinien przewidzieć siły ścinające i momenty obrotowe w połączeniach na odpowiednich etapach, np. podczas montażu i na etapie końcowym. Jest to ważne, gdyż w przypadku wielu elementów skręcanie może występować na etapie montażu, gdy obciążenia przyłożone są tylko z jednej strony elementu. Wówczas zarówno spoiny, jak i grupy śrub muszą być sprawdzone pod kątem połączonych wpływów występującego skręcania oraz ścinania w pionie.

6 POZOSTAŁE ZAGADNIENIA PROJEKTOWE

Następujące zagadnienia projektowe mają wpływ na ogólną koncepcję budynku, w tym konstrukcyjne aspekty projektu.

6.1 Oddziaływania wyjątkowe

Norma EN 1990 wymaga, aby konstrukcje były projektowane z uwzględnieniem wyjątkowych sytuacji obliczeniowych. Sytuacje, które należy uwzględnić, zostały podane w normie EN 1991-1-7 i odnoszą się one zarówno do określonych, jak i nieokreślonych oddziaływań wyjątkowych. W każdej z sytuacji przyjmowana strategia zależy od trzech „klas konsekwencji” podanych w normie EN 1990. W przypadku budynków jedna z tych klas została podzielona, a kategorie budynków w każdej z klas zostały wyszczególnione w normie EN 1991-1-7, tabela A.1.

W przypadku określonych oddziaływań wyjątkowych strategię projektowania obejmują ochronę konstrukcji przed oddziaływaniami, jednak w bardziej ogólnym sensie. W przypadku oddziaływań nieokreślonych konstrukcja powinna być zaprojektowana w taki sposób, aby zachować odpowiedni poziom „odporności” zdefiniowanej jako:

„zdolność konstrukcji do stawiania oporu zdarzeniom takim jak pożar, eksplozje, uderzenie lub konsekwencje błędu ludzkiego, bez uszkodzenia w zakresie niewspółmiernym do pierwotnej przyczyny”.

W przypadku oddziaływań nieokreślonych strategię osiągnięcia odporności konstrukcji przedstawiono w normie EN 1991-1-7 § 3.3, która mówi, że:

„... potencjalne zniszczenie konstrukcji wynikające z nieokreślonej przyczyny powinno być złagodzone ... przez zastosowanie jednego lub więcej z następujących podejść:

- a) projektowanie elementów kluczowych, od których zależy stateczność konstrukcji w celu przeniesienia efektów modelu oddziaływania wyjątkowego Ad;*
- b) projektowanie konstrukcji, tak aby w razie zniszczenia miejscowego (np. zniszczenia jednego elementu) stateczność całej konstrukcji lub znacznej jej części nie była zagrożona;*
- c) zastosowanie normatywnego podejścia/reguł szczegółowych, które określają akceptowalną odporność konstrukcji (np. trójwymiarowe wiązanie w celu dodatkowego scalenia lub minimalny poziom ciągłości elementów konstrukcji poddanych uderzeniu)”.*

6.1.1 Klasy konsekwencji

W normie EN 1990 zdefiniowano trzy klasy konsekwencji:

- CC1 Niewielkie konsekwencje zniszczenia
- CC2 Umiarkowane konsekwencje zniszczenia
- CC3 Poważne konsekwencje zniszczenia

W normie EN 1991-1-7 kategoria CC2 podzielona została na podkategorie CC2a (Grupa niższego ryzyka) oraz CC2b (Grupa wyższego ryzyka). Budynki średniej wysokości zazwyczaj znajdują się w grupie CC2b. Przykłady kategorii podanych w tabeli A.1 normy EN 1991-1-7 obejmują:

Tabela 6.1 Przykłady klasyfikacji budynków (zacierpnięte z tabeli A.1 normy EN 1991-1-7)

Klasa konsekwencji	Przykład przyporządkowania rodzaju budynku i sposobu użytkowania
2B Grupa wyższego ryzyka	<p>Hotele, mieszkalna, apartamenty i inne budynki mieszkalne wyższe niż 4-kondygnacyjne, ale nieprzekraczające 15 kondygnacji.</p> <p>Budynki oświatowe wyższe niż jednokondygnacyjne, ale nieprzekraczające 15 kondygnacji.</p> <p>Siedziby sprzedaży detalicznej wyższe niż 3-kondygnacyjne, ale nieprzekraczające 15 kondygnacji.</p> <p>Biura wyższe niż 4-kondygnacyjne, ale nieprzekraczające 15 kondygnacji.</p> <p>Wszystkie budynki z dostępem publicznym, które mają powierzchnię podłogi przekraczającą 2000 m², ale nie większą niż 5000 m² na każdej kondygnacji.</p>

Zalecana strategia w przypadku klasy konsekwencji 2b obejmuje projektowanie na wypadek zniszczenia miejscowego (patrz część 6.1.2) lub projektowanie słupów, jako elementów kluczowych (patrz część 6.1.6).

6.1.2 Projektowanie uwzględniające konsekwencje zniszczenia miejscowego budynków wielokondygnacyjnych

W przypadku budynków wielokondygnacyjnych z wymagań dotyczących odporności konstrukcji wynika strategia projektowa, w której słupy związane są z resztą konstrukcji. Powinno to oznaczać brak możliwości łatwego usunięcia któregośkolwiek odcinka słupa. Jednak w przypadku usunięcia odcinka słupa na skutek wyjątkowego oddziaływania układy stropowe powinny zapewnić sposób na alternatywne przekazanie obciążeń w celu zmniejszenia zakresu zniszczeń.

Należy zauważyć, że wymagania te nie mają na celu zapewnienia zdolności konstrukcji do użytku po wystąpieniu zdarzenia o charakterze ekstremalnym, a jedynie ograniczenie zniszczeń oraz zapobieżenie postępującemu zawaleniu się konstrukcji.

6.1.3 Wiązanie poziome

W normie EN 1991-1-7 punkt A.5 podano wskazówki dotyczące wiązań poziomych w konstrukcjach ramowych. Norma ta zawiera zależności pozwalające wyznaczyć obliczeniową nośność na rozciąganie wymaganą w przypadku ściągów wewnętrznych i obwodowych. Obliczona siła ciągnienia jest zwykle równa pionowej sile ścinającej.

Siły ciągnienia nie muszą być przenoszone przez ramę konstrukcji stalowej. W celu związania słupów można na przykład zastosować zespolony strop betonowy, jednak jego konstrukcja musi być przystosowana do tego celu. Niezbędne może być zastosowanie dodatkowego zbrojenia i szczególnie staranne zaprojektowanie słupów (zwłaszcza słupów brzegowych), aby zapewnić przenoszenie siły ciągnienia między słupem a płytą.

Jeśli siły ciągnienia mają być przenoszone wyłącznie przez konstrukcję stalową, wówczas należy zwrócić uwagę, że sprawdzenie nośności przy ciągnienu jest zadaniem całkowicie odrębnym w stosunku do sprawdzenia nośności przy działaniu sił pionowych. Siły ścinające i siły ciągnienia nigdy nie występują równocześnie. Ponadto podczas obliczeń nośności przy ciągnienu pominięte zostaje standardowe wymaganie, aby elementy konstrukcji i połączenia zachowały zdatność użytkową pod obciążeniem obliczeniowym, ponieważ dopuszczalne są znaczne trwałe odkształcenia elementów i ich połączeń. Wytyczne dotyczące projektowania połączeń odpornych na siły ciągnienia podano w przewodniku *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 5: Projektowanie połączeń*^[8].

6.1.4 Wiązanie prefabrykowanych betonowych elementów stropowych

Zgodnie z wymaganiami określonymi w normie EN 1991-1-7 § A.5.1(2), w przypadku zastosowania betonowych lub innych ciężkich elementów stropowych (jako stropów) należy wiązać je w kierunku ich rozpiętości. Chodzi o to, aby elementy lub płyty stropowe nie wpadły przez ramę stalową w przypadku przesunięcia lub usunięcia konstrukcji stalowej na skutek jakiegoś większego uszkodzenia. Płyty należy wiązać ze sobą na podporach i stężyć z belkami krawędziowymi. Siły ciągnienia można wyznaczyć na podstawie §9.10.2 normy BS EN 1992-1-1.

6.1.5 Wiązanie pionowe

W normie EN 1991-1-7 punkt A.6 podano wskazówki dotyczące wiązań pionowych w konstrukcjach ramowych. Przedstawiono tam zalecenie, aby styki słupów mogły przenosić osiową siłę rozciągającą równą największej obliczeniowej pionowej stałej i zmiennej reakcji od obciążenia przyłożonego do słupa na dowolnej kondygnacji. W praktyce nie jest to bardzo uciążliwe wymaganie i większość styków zaprojektowanych na odpowiednią sztywność i odporność podczas montaż może przenieść osiową siłę ciągnienia. Wytyczne dotyczące projektowania styków odpornych na siły ciągnienia podano w innych publikacjach z tej serii — *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 5: Projektowanie połączeń*^[8].

6.1.6 Elementy kluczowe

W normie EN 1991-1-7 punkt A.8 podano wskazówki dotyczące projektowania „elementów kluczowych”. Przedstawiono tam zalecenie, aby element kluczowy był zdolny do przeniesienia obliczeniowego oddziaływania wyjątkowego A_d przyłożonego w kierunku poziomym i pionowym (jednocześnie tylko w jednym kierunku) do elementu i do każdego połączanego z nim komponentu. Zalecana wartość A_d w przypadku konstrukcji budowlanych wynosi 34 kN/m^2 . Każdy inny element konstrukcyjny zapewniający „utwierdzenia boczne mające decydujące znaczenie dla stateczności” elementu kluczowego należy również zaprojektować jako element kluczowy.

6.1.7 Ocena ryzyka

Budynki zaliczane do klasy konsekwencji 3 należy analizować za pomocą specjalnych metod oceny ryzyka. Załącznik B do normy EN 1991-1-7 zawiera informacje dotyczące oceny ryzyka, a w punkcie B.9 przedstawiono wskazówki właściwe dla budynków.

6.2 Dynamika stropu

Odpowiedź stropu jest oceniana najpierw przez obliczenie podstawowej częstotliwości drgań stropu i porównanie uzyskanej wartości z wartością graniczną. Wartości graniczne można znaleźć w przepisach krajowych lub wytycznych technicznych i mogą się one różnić w zależności od kraju. Na ogół jeśli podstawowa częstotliwość drgań konstrukcji stropu jest większa od 4 Hz, strop uważa się jako zadowalający. Częstotliwość drgań własnych stropu jest wówczas równa przynajmniej dwukrotnej wartości częstotliwości drgań własnych będących wynikiem szybkiego chodzenia. Choć jest to ogólnie akceptowalne w przypadku ruchliwych miejsc pracy, nie jest właściwe w przypadku spokojniejszych części budynku, gdzie drgania są bardziej zauważalne.

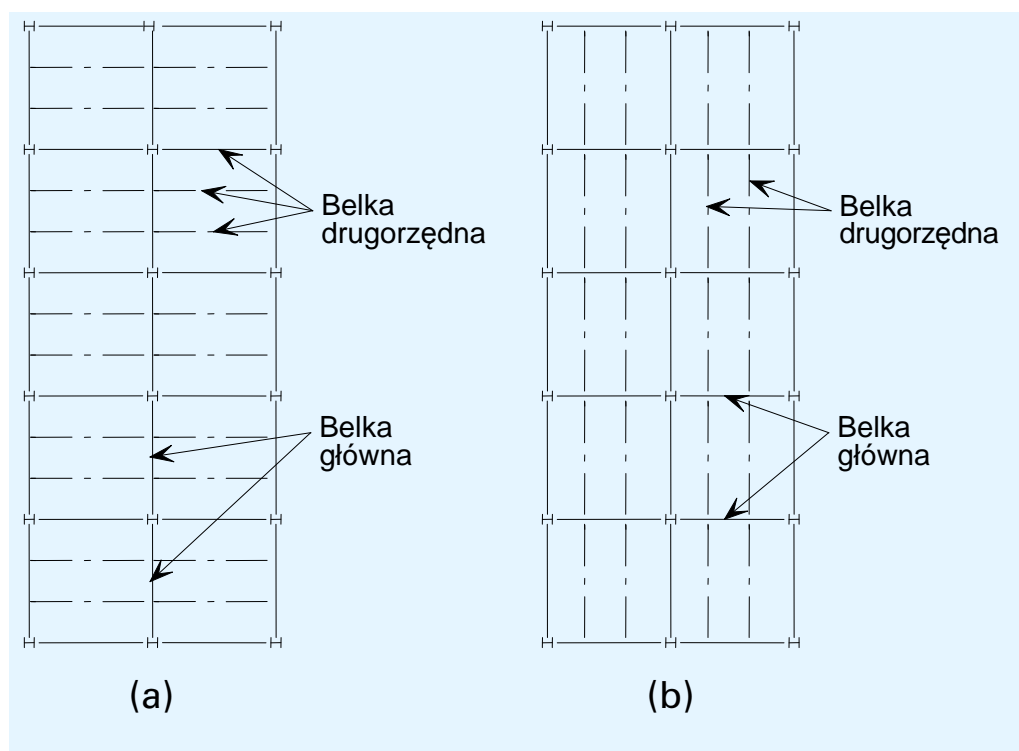
Bardziej odpowiednim podejściem jest ocena oparta na „współczynniku odpowiedzi”, który bierze pod uwagę amplitudę drgań mierzoną zwykle pod względem przyspieszenia. Dopuszczalne wartości współczynnika odpowiedzi można również znaleźć w przepisach krajowych lub wytycznych technicznych i mogą się one różnić w zależności od kraju. Wyższe współczynniki odpowiedzi wskazują na bardziej dynamiczne stropy, których drgania są bardziej dostrzegalne przez osoby przebywające w pomieszczeniach. Na ogół przyjmuje się, że współczynnik odpowiedzi o wartości równej 8 odpowiadający przyspieszeniu podstawowemu rzędu 5 mm/s^2 wskazuje charakterystykę dopuszczalną dla biura. Jednak w przypadku szpitali lub innych pomieszczeń specjalistycznych konieczne może okazać się obniżenie współczynnika odpowiedzi do wartości (na przykład) z zakresu od 1 do 2.

W praktyce współczynniki odpowiedzi są obniżane (np. drgania są mniej dostrzegalne) poprzez zwiększanie masy uczestniczącej w ruchu. Belki dużej rozpiętości ogólnie stanowią mniejszy problem pod względem dynamiki niż te o mniejszej rozpiętości, co jest sprzeczne z założeniami opierającymi się na samej częstotliwości drgań własnych.

Często duże znaczenie ma rozkład belek, ponieważ zastosowanie dłuższych ciągłych linii belek drugorzędnych w konstrukcji zespolonej skutkuje niższymi wartościami współczynników odpowiedzi w stosunku do zastosowania belek krótszych. Wynika to z faktu, iż w ruchu dłuższych linii belek uczestniczy większa masa. Rysunek 6.1 przedstawia dwa możliwe sposoby ułożenia belek. Współczynnik odpowiedzi w przypadku układu (b) będzie mniejszy (drgania mniej dostrzegalne dla osób przebywających w pomieszczeniu) niż w przypadku układu (a), ponieważ masa uczestnicząca jest większa w układzie (b).

Odpowiedź dynamiczna gołego stropu podczas budowy jest łatwiejsza do zauważenia niż w przypadku tego samego stropu, gdy jest on umeblowany i znajdują się na nim ludzie.

Więcej informacji o drganiach wywoływanych przez użytkowników w konstrukcjach stalowych można znaleźć na stronie internetowej projektu HIVOSS^[9].



Rysunek 6.1 Alternatywne układy belek

6.3 Ochrona przed korozją

Korozja stali jest procesem elektrochemicznym, który wymaga równoczesnej obecności wody i tlenu. W przypadku braku jednego z tych elementów korozja nie występuje. Stąd w przypadku stali niezabezpieczonej znajdującej się w suchym otoczeniu (np. wewnętrzna konstrukcja stalowa) korozja będzie minimalna. Głównymi czynnikami wpływającymi na tempo korozji stali na powietrzu są odsetek czasu, przez który powierzchnia jest wilgotna na skutek opadów deszczu, skraplania itp., oraz rodzaj i ilość zanieczyszczeń atmosferycznych (np. siarczanów, chlorków itp.).

Zewnętrzna konstrukcja stalowa będzie wymagała zabezpieczenia przed korozją. Ważnym czynnikiem jest środowisko lokalne. Można je ogólnie sklasyfikować według normy EN ISO 12944-2, która opisuje kategorie od C1 (wnętrza ogrzewane) aż do C5 (agresywne środowisko wody morskiej lub środowisko przemysłowe). Dostępnych jest wiele systemów zabezpieczeń antykorozyjnych, w tym powłoki metalowe (np. cynkowanie) i systemy malowania, które powinny być dobierane na podstawie klasyfikacji środowiska.

Sporadycznie zdarza się, że lokalne przepisy wymagają stosowania ochrony antykorozyjnej nawet w przypadku wewnętrznej konstrukcji stalowej lub elementów pokrytych betonem, jednak najczęściej konstrukcje stalowe znajdujące się wewnątrz suchych, ogrzewanych budynków nie wymagają żadnej ochrony.

6.4 Wpływ temperatury

W teorii ramy stalowe rozszerzają się i kurczą pod wpływem temperatury. Często zmiana temperatury samej konstrukcji stalowej jest o wiele mniejsza niż jakakolwiek zmiana temperatury zewnętrznej, ponieważ konstrukcja jest osłonięta.

Zaleca się unikanie w miarę możliwości złączy kompensacyjnych, ponieważ są one kosztowne i trudne do uszczegółowienia w celu utrzymania odpornej na zmiany pogodowe przegrody zewnętrznej. Zamiast stosować złącza kompensacyjne, ramę można przeanalizować pod kątem wpływu zmiany temperatury na konstrukcję. Oddziaływania temperatury można określić na podstawie normy EN 1991-1-5, a kombinacje oddziaływań można zweryfikować zgodnie z normą EN 1990. W większości przypadków elementy konstrukcji będą odpowiednie.

Powszechna praktyka w przypadku wielokondygnacyjnych budynków w Europie północnej (przy braku obliczeń) pokazuje, że nie ma potrzeby stosowania złączy kompensacyjnych, jeśli długość budynku nie przekracza 100 m dla ram prostych (stężonych) i 50 m w przypadku konstrukcji ciągłej. W cieplejszych warunkach klimatycznych powszechną praktyką jest ograniczanie długości do ok. 80 m. Powyższe zalecenia dotyczą ram stalowych — złącza kompensacyjne powinny być stosowane w sztywnych okładzinach zewnętrznych, takiej jak obmurowanie. Gdy w budynkach wielokondygnacyjnych stosowane są złącza kompensacyjne, ułożone są one zazwyczaj w taki sposób, aby odpowiadały znaczącym zmianom kształtu przewidzianego w planie lub znaczącym zmianom poziomu kondygnacji, bądź aby oddzielały części konstrukcji na różnych fundamentach.

6.5 Ochrona przeciwpożarowa

Wybierając konfigurację przestrzenną konstrukcji, projektanci budynków powinni rozważyć jej wpływ na odporność ogniową budynku i wziąć pod uwagę następujące kwestie:

- sposoby ewakuacji,
- rozmiary pomieszczeń,
- dostęp dla straży pożarnej i infrastruktura przeciwpożarowa,
- ograniczanie możliwości rozprzestrzeniania się ognia,
- oddymianie i ewakuacja,
- zastosowanie instalacji tryskaczowej.

Na ogół powyższe kwestie uwzględniane są przez architekta planu.

Dodatkowo zachowanie konstrukcji na wypadek pożaru musi być zgodne z wymaganiami zalecanych norm wyrażonymi w postaci okresu odporności ogniowej elementów konstrukcyjnych. Jako alternatywę można przyjąć podejście „inżynierii pożarowej”, które stanowi o ochronie przeciwpożarowej całego budynku, biorąc pod uwagę przeznaczenie konstrukcji, zagrożenia, różne rodzaje ryzyka i sposoby rozwiązywania tych kwestii.

Ogólnie rzecz biorąc, inżynier budowlany oraz architekt powinni rozważyć:

- projekty, w których stosowana jest mniejsza ilość belek wymagających ochrony przeciwpożarowej;
- możliwość zastosowania niezabezpieczonej konstrukcji stalowej;
- wpływ integracji instalacji technicznych na instalację przeciwpożarową i odpowiednie rozwiązania, takie jak przeciwogniowe powłoki ochronne na belkach ażurowych;
- wpływ, jaki ochrona nakładana na miejscu budowy może wywierać na plan budowy, w szczególności ochrona nakładana jest natryskowo;
- wymagania względem ostatecznego wyglądu nieosłoniętej konstrukcji stalowej przy doborze instalacji przeciwpożarowej.

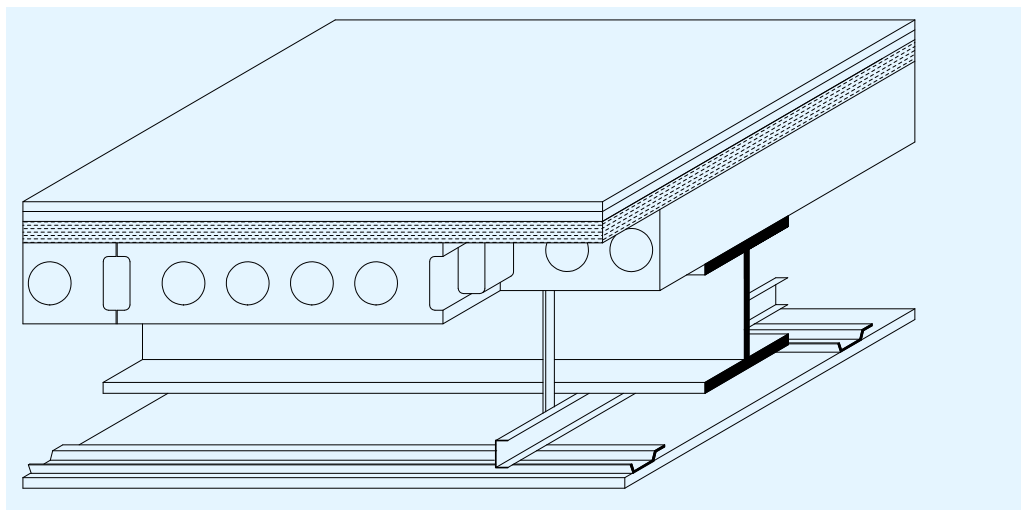
Wytyczne dotyczące inżynierii pożarowej wielokondygnacyjnych konstrukcji stalowych można znaleźć w przewodniku *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 6: Inżynieria pożarowa*^[10].

6.6 Właściwości akustyczne

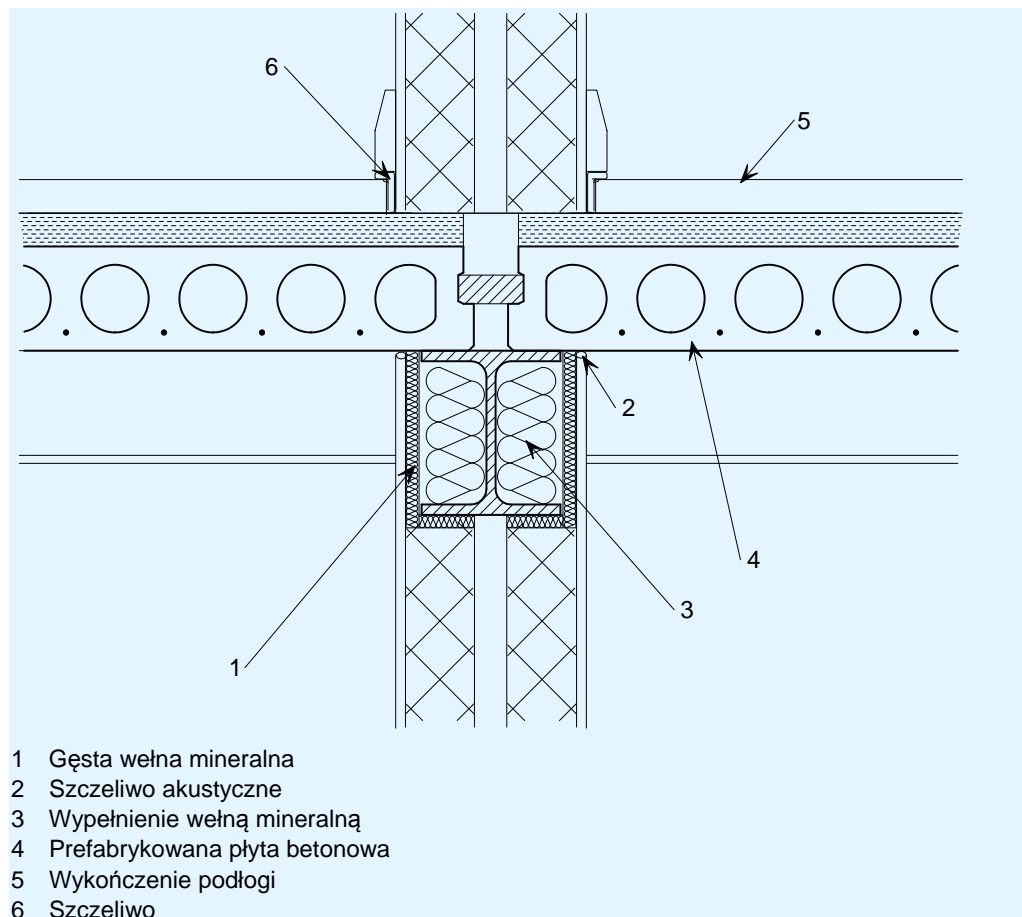
Wartości graniczne hałasu tła w biurach otwartych i salach konferencyjnych po zastosowaniu wytlumienia elewacji budynku są zwykle określone w przepisach krajowych. Zazwyczaj podane są również kryteria dopuszczalnego hałasu emitowanego przez umieszczone w budynku instalacje techniczne tej samej kategorii.

Docelowe maksymalne i minimalne poziomy hałasu otoczenia są na ogół definiowane dla przestrzeni w obrębie budynków. Gwarantują one komfort zarówno w pomieszczeniach handlowych, jak i budynkach mieszkalnych.

W celu spełnienia wymagań dotyczących charakterystyki akustycznej wyjątkowej uwagi mogą wymagać szczegóły konstrukcji. Na rysunku 6.2 prefabrykaty betonowe pokryte są izolowaną wylewką (wylewka oddzielona od płyty prefabrykowanej odpowiednią warstwą elastyczną lub powłoką wodoodporną i gęstą wełną mineralną). Ponadto sufit nie ma bezpośredniej styczności ze stalową belką, a jego obciążalność wynosi co najmniej 8 kg/m^2 . Szczególną uwagę należy zwrócić również na miejsca, w których ściany łączą się z podłogami i sufitami (zwane elementami „dylatacyjnymi”). Przykład typowego elementu dylatacyjnego przedstawiono na rysunku 6.3, gdzie wokół stalowej belki znajduje się gęsta wełna mineralna, a w miejscu styku okładziny wykończeniowej ściany z sufitem oraz wykończenia podłogi z okładziną wykończeniową ściany — szczeliwo.



Rysunek 6.2 Typowe wykończenie stropu zapewniające ulepszoną charakterystykę akustyczną



Rysunek 6.3 Typowy element dylatacyjny wewnętrznej ściany działowej

Ściany działowe pomiędzy powierzchniami użytkowymi mogą mieć konstrukcję podwójną, aby obniżyć przenikanie hałasu, umożliwiając zastosowanie stężeń w konstrukcji ściany.

6.7 Efektywność energetyczna

Za izolację termiczną zewnętrznej przegrody budynku tradycyjnie odpowiedzialny jest architekt. Jednak w ustalanie odpowiednich szczegółów i opracowanie układu konstrukcji musi być zaangażowany inżynier budowlany. Systemy podpór okładzin mogą być bardziej złożone w celu spełnienia wymagań dotyczących sprawności termicznej i mogą obejmować zastosowanie połączeń mimośrodowych stalowej konstrukcji nośnej. Elementy stalowe przechodzące przez izolację, takie jak wsporniki balkonów, wymagają wyjątkowej uwagi i uszczegółowienia w celu uniknięcia mostkowania termicznego. Mostki termiczne nie tylko prowadzą do utraty ciepła, ale mogą być również przyczyną skraplania wewnątrz budynku.

6.8 Okładziny

Systemy okładzin, które mogą mieć zastosowanie w konstrukcjach wielokondygnacyjnych, zależą od wysokości budynku i sposobu rozmieszczenia okien. Całkowicie przeszklone elewacje są stosowane powszechnie, jednak konieczne jest zapewnienie osłon przeciwsłonecznych. Przykład całkowicie przeszklonej elewacji przedstawiono na rysunku 6.4. Na ogół stosuje się następujące systemy okładzin:

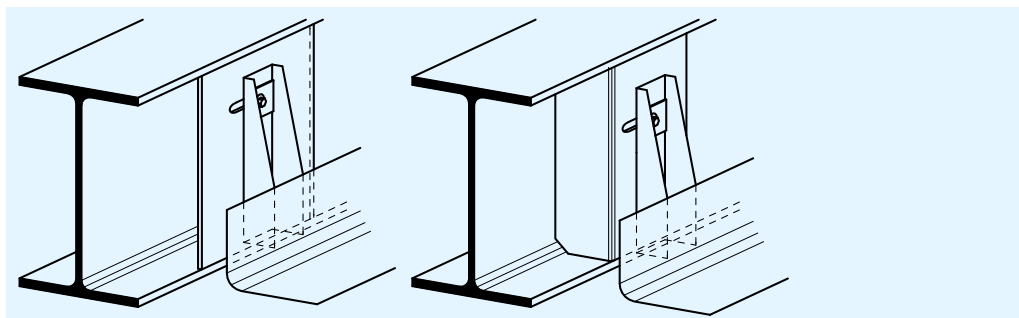
- **Obmurowanie**
Wsparte na podłożu do wysokości 3 kondygnacji. W przypadku budynków wyższych wsparte na kątownikach ze stali nierdzewnej zamocowanych do belek krawędziowych.
- **Układy oszklenia**
Na ogół potrójne szklenie lub dwuwarstwowe elewacje wsparte na aluminiowych słupach lub szklanych żebrach.
- **Ściany osłonowe**
Aluminiowe lub inne lekkie elewacje mocowane do obwodowej konstrukcji stalowej.
- **Izolowane tynki lub płytki**
System okładzin wsparty na ścianach wypełniających ze stali lekkiej stosowany głównie w obiektach użyteczności publicznej i budynkach mieszkalnych.



Rysunek 6.4 Potrójnie szklona ściana wielokondygnacyjnego budynku handlowego

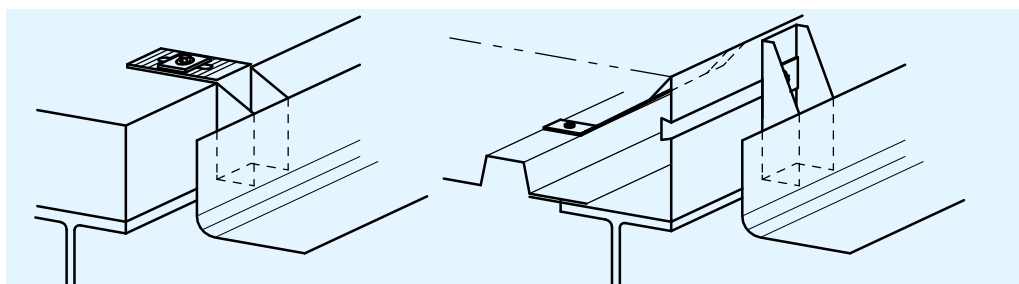
6.8.1 Okładziny w formie obmurowania

Okładziny w formie obmurowania są zwykle wsparte na ramie konstrukcyjnej za pomocą kątowników ciągłych, kątowników wspornikowych lub pojedynczych wsporników, produkowanych często ze stali nierdzewnej w celu uniknięcia nieestetycznych plam. Wsporniki te umożliwiają na ogół regulację w pionie przez zastosowanie dwóch dopasowanych płytek z wypustkami na powierzchniach dopasowania. Rysunek 6.5 przedstawia typowe mocowanie do belek stalowych, gdzie układ wspornika połączony jest z blachą przyspawaną pomiędzy półkami belki.



Rysunek 6.5 Szczegóły typowego mocowania do elementów stalowych

Rysunek 6.6 przedstawia szczegóły typowego mocowania do krawędzi płyt betonowych. Wspornik można mocować do kawałka płyty lub połączyć go z trapezowym profilem utworzonym na nakładce krawędziowej płyty.



Rysunek 6.6 Szczegóły typowego mocowania do krawędzi płyt

6.8.2 Układ oszklenia

W wiele konstrukcjach stalowych stosowane są elewacje przeszklone. Istnieją różne układy oszklenia, dlatego podczas ustalania danych technicznych wybranego układu wskazana jest konsultacja z jego producentem, a szczególnie podczas określania mocowań do ram stalowych. W wielu przypadkach mocowania te znajdować się będą w rogach szklanych paneli, a same panele będą wyposażone w pewnego rodzaju uszczelki umieszczone w złączach pomiędzy panelami.

Należy rozważyć wiele ważnych kwestii, w szczególności potrzebę przystosowania połączeń, ponieważ wartości graniczne w przypadku ramy stalowej i paneli szklanych są zazwyczaj różne. Ruch spowodowany zjawiskami termicznymi może być znaczący i należy go uwzględnić w systemie podpór.

6.8.3 Ściany osłonowe

Ściany osłonowe obejmują:

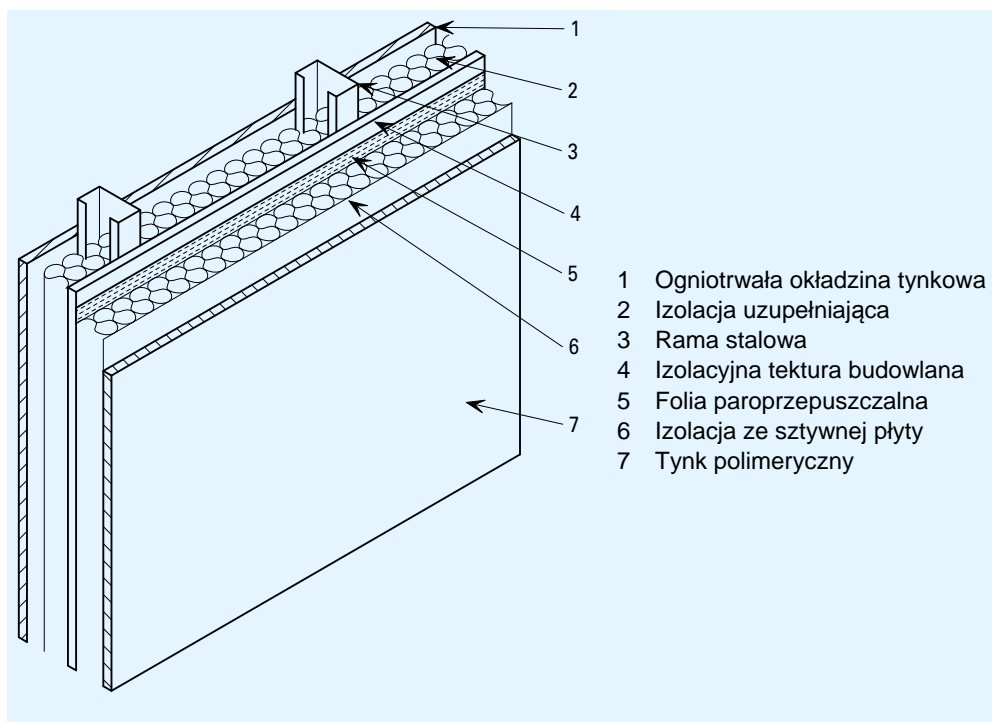
- panele metalowe (zazwyczaj stal i aluminium),
- panele z betonu prefabrykowanego,
- okładziny z kamienia.

Ściany osłonowe mogą podtrzymywać swoją wagę oraz przyłożone obciążenia bez dodatkowych układów konstrukcyjnych. Ten typ panelu jest zazwyczaj zawieszony (podparty u góry panelu) lub podparty u podstawy ściany przez strop. Każdy system panelowy wyposażony jest w odpowiedni system mocowania umożliwiający ruch i regulację w trzech kierunkach, aby uwzględnić różnice wartości granicznych ram i paneli okładzinowych. Połączenia mogą mieć istotne znaczenie i może być konieczne ukrycie ich w podniesionej podłodze lub strefie sufitu. Projekt płyty może wymagać sprawdzenia w celu uwzględnienia sił miejscowych działających na połączenia. Oczywiście jest również, że wymagane będzie mocowanie do zewnętrznej krawędzi stropu, co zwykle uzyskuje się dzięki osadzeniu w krawędzi płyty trapezowych kanałów wczepowych.

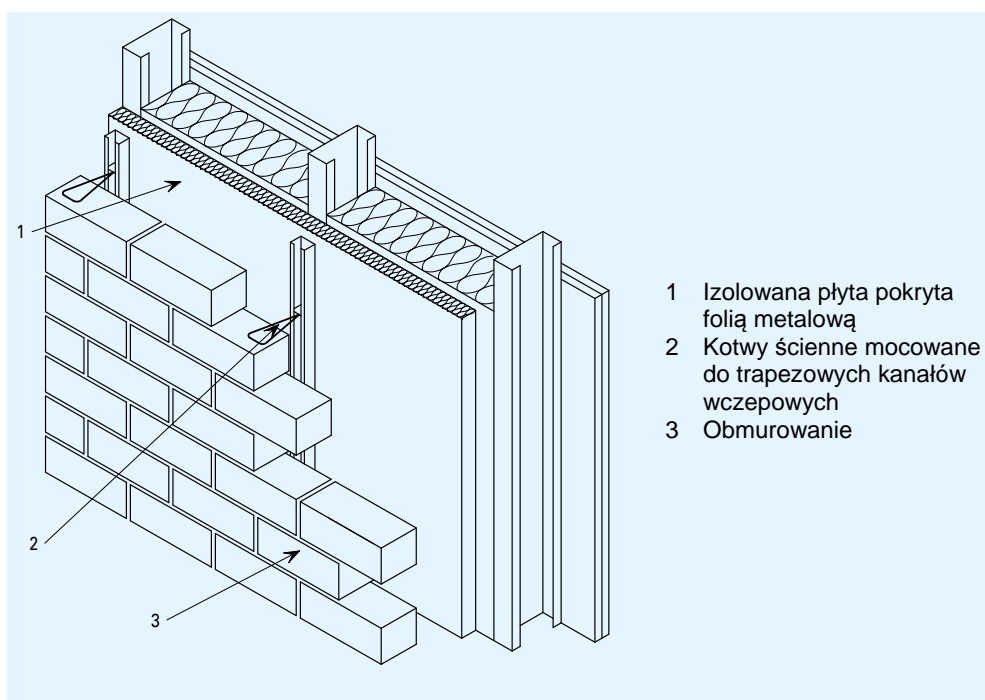
Okładzina może wymagać dodatkowego wsparcia konstrukcyjnego — zazwyczaj w formie słupów, które mogą obejmować w pionie kilka kondygnacji, również z pośrednimi elementami poziomymi (szczeblinami). W ten sposób często podpierane są pionowe lub poziome okładziny metalowe. Należy zwrócić szczególną uwagę na połączenia, aby umożliwić regulację w trzech kierunkach i ruch podczas przenoszenia poziomych obciążeń na stropy.

6.8.4 Izolowane okładziny tynkowe i płytki

Izolowana okładzina tynkowa to lekka, efektywna energetycznie okładzina konstrukcji wielokondygnacyjnych złożona z izolacji i tynku wspartych na drugorzędnej ramie stalowej, jak pokazano na rysunku 6.7. Przy odpowiednim uszczegółowieniu i instalacji ten typ elewacji może być szybkim, odpornym i gwarantującym dobrą izolację rozwiązaniem. Zamiast tynku można wykorzystać płytki — zarówno płytki pojedyncze, jak i formowane z nich panele. Podobnie jako zewnętrzne poszycie można zastosować obmurowanie, jak pokazano na rysunku 6.8.



Rysunek 6.7 Typowa okładzina w formie tynku izolowanego wsparta obramowaniem wykonanym ze stali lekkiej



Rysunek 6.8 Izolowany panel wypełniający z okładziną w formie obmurowania

LITERATURA

- 1 HICKS, S. J., LAWSON, R. M., RACKHAM, J. W. and FORDHAM, P.
Comparative structure cost of modern commercial buildings (second edition)
The Steel Construction Institute, 2004
- 2 Konstrukcje stalowe w Europie
Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 3: Oddziaływania
- 3 SANSOM, M & MEIJER, J
Life-cycle assessment (LCA) for steel construction
Komisja Europejska, 2002
- 4 Wykorzystuje się kilka metod oceny. Na przykład:
 - BREEAM w Wielkiej Brytanii
 - HQE we Francji
 - DNGB w Niemczech
 - BREEAM-NL, Greencalc+ oraz BPR Gebouw w Holandii
 - Valideo w Belgii
 - Casa Clima w Trento Alto Adige, Włochy (w każdym regionie wykorzystuje się własną metodę)
 - LEED, wykorzystywana w różnych krajach
- 5 GORGOLEWSKI, M.
The role of steel in environmentally responsible buildings
The Steel Construction Institute, 1999
- 6 Konstrukcje stalowe w Europie
Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 4: Projekt wykonawczy
- 7 SIMMS, W.I.
RT 983: Interim guidance on the use of intumescent coatings for the fire protection of beams
The Steel Construction Institute, 2004
- 8 Konstrukcje stalowe w Europie
Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 5: Projektowanie połączeń
- 9 <http://www.stb.rwth-aachen.de/projekte/2007/HIVOSS/download.php>
- 10 Konstrukcje stalowe w Europie
Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 6: Inżynieria pożarowa