EKONOMIA PROJEKTOWANIA

ESE - Strategie dla ekonomicznego projektowania ramowych budynków w konstrukcji stalowej w Europie

(ZASTOSOWANIE NARZĘDZIA INFORMATYCZNEGO DO ESTYMACJI KOSZTÓW – ACE)

Raport dla kontraktu RFCS numer RFSR-ct-2007-00037
Dokument: RT1336
Wersja: 06
Data: Grudzień 2010

Tłumaczenie na język polski :

Politechnika Poznańska

SŁOWO WSTĘPNE

Niniejszy dokument jest rezultatem projektu “Economics of Steel Framed Buildings in Europe (ESE)” (Aspekty ekonomiczne w budynkach o ramowej konstrukcji stalowej w Europie), finansowanego przez Research Fund for Coal and Steel (Fundusz Badawczy Węgla i Stali), grant numer RFSR-CT-2007-0037. W założeniu ma służyć jako pomoc projektowa dla konstruktorów oraz inwestorów budynków opartych o konstrukcję ramy stalowej. Celem jest specyfikacja budynku w taki sposób, by był optymalny pod względem ekonomicznym. Dokument powinien być używany wraz z oprogramowaniem o nazwie ACE, który został stworzony jako część projektu badawczego.

Dokument został skompilowany przez Dra J.W. Rackham’a ze Steel Construction Institute z tekstami i komentarzami od pozostałych partnerów projektu:

Dr Bassam Burgan (Koordynator)	The Steel Construction Institute
Profesor Andrzej Garstecki	Politechnika Poznańska
Dr Maciej Klósak	Politechnika Poznańska
Inż. Francoise Lecomte-Labory	ArcelorMittal Global R&D (Esch)
Inż. Bennie Potjes	Bouwen met Staal
Inż. Jo Naessens	Staalinfocentrum

Projekt został zaaprobowany i nadzorowany przez Grupę Techniczną TGS8 funduszu RFCS.

SPIS TREŚCI

Nr strony

1 WSTĘP 1

2 KORZYŚCI ZASTOSOWANIA STALOWYCH KONSTRUKCJI W BUDYNKACH 3
- 2.1 Wytrzymałość 3
- 2.2 Produkcja w kontrolowanych warunkach poza budową 3
- 2.3 Prędkość wznoszenia konstrukcji 3
- 2.4 Elastyczność użycia 4
- 2.5 Korzyści z użycia stali w budynkach mieszkalnych 4
- 2.6 Szczególne właściwości stalowych konstrukcji w budynkach komercyjnych 4
- 2.7 Szczególne właściwości stalowych konstrukcji w budynkach przemysłowych 5

3 WIELOPIĘTROWE BUDYNKI MIESZKALNE O STALOWEJ KONSTRUKCJI 6
- 3.1 Typy ram 6
- 3.2 Systemy stropowe i obciążenia 10
  - 3.2.1 Obciążenie 10
  - 3.2.2 Zespolone belki i zespolone płyty ze stalową blachą trapezową 11
  - 3.2.3 Niezespolone podciągi z płytami prefabrykowanymi 14
  - 3.2.4 Zintegrowane belki stropowe z zespolonymi płytami lub elementami prefabrykowanymi 16
  - 3.2.5 Belki typu „slimfloor” ze stropami zespolonymi lub elementami prefabrykowanymi 18
- 3.3 Akustyka 19
- 3.4 Dach 20
- 3.5 Ochrona przeciwpożarowa 21

4 WIELOPIĘTROWE BUDYNKI KOMERCYJNE O STALOWEJ KONSTRUKCJI RAMOWEJ 22
- 4.1 Rodzaje konstrukcji ramowej 22
  - 4.1.1 Słupy 22
- 4.2 Konstrukcja stropów i obciążenie 23
  - 4.2.1 Obciążenia stropu 23
  - 4.2.2 Projektowanie instalacji w stropie 24
  - 4.2.3 Belki zespolone o małych rozpiętościach bez otworów w środnikach oraz płyty zespolone 24
  - 4.2.4 Belki zespolone o dużej rozpiętości z otworami w środniku oraz z płytami zespolonymi 26
  - 4.2.5 Zespolone belki ażurowe i płyty zespolone 27
  - 4.2.6 Podciągi niezespolone z elementami prefabrykowanymi 31
  - 4.2.7 Belki zintegrowane i belki typu „slimfloor” z płytami zespolonymi lub elementami prefabrykowanymi 32
- 4.3 Dach 33
- 4.4 Bezpieczeństwo pożarowe 33

5 BUDYNKI PRZEMYSŁOWE O RAMOWEJ KONTRUKCJI STALOWEJ 35
- 5.1 Koncepcja projektowania oraz formy budynków przemysłowych 35
- 5.2 Dachy spadziste i łukowe na ramach portalowych 39
  - 5.2.1 Kształty ram portalowych 39
  - 5.2.2 Rama portalowa o spadzistym dachu 42

5.2.3 Połączenia 45
5.3 Ramy słupowo-belkowe 46
5.4 Bezpieczeństwo pożarowe 49

STRESZCZENIE

Niniejsza praca w założeniu jest pomocą dla europejskich projektantów oraz inwestorów budynków o stalowych konstrukcjach w otrzymaniu efektywnych oraz konkurencyjnych projektów. Obejmuje ona jednopiętrowe budynki przemysłowe oraz wielopiętrowe budynki komercyjne, jak również budynki mieszkalne.

Praca przedstawia generalne zalety konstrukcji stalowej i podkreśla szczególne korzyści dla konkretnych rodzajów budynku. Opisuje narzędzie informatyczne do obliczania kosztów oraz tłumaczy parametry wpływające na koszt konstrukcji. Opcje oprogramowania do projektowania różnych części konstrukcji, jak np. fundamentów, ram i stropów są wyjaśnione w taki sposób, iż można dokonać porównania kosztów.

Szczegółowo przedstawione są główne rodzaje budynków. Dla wielopiętrowych budynków mieszkalnych i komercyjnych podane są ogólne wytyczne dotyczące ram, a następnie informacja dotycząca optymalnego projektowania różnego rodzaju stropów. Są też wyjaśnione kluczowe aspekty projektowania stropów oraz wytyczne doboru poszczególnych elementów konstrukcji. Optymalna strategia projektowania ram dla każdego rodzaju stropu wspierana jest narzędziem informatycznym ACE do obliczania kosztów budynku. Zawarto także dodatkową informację dotyczącą bezpieczeństwa pożarowego, wytyczne na temat parametrów akustycznych dla stropu w budynkach mieszkalnych oraz wskazówki związane z rozwiązaniami dla instalacji w budynkach komercyjnych.

Praca zawiera ogólne wytyczne związane z wstępnym projektowaniem dla jednopiętrowych budynków przemysłowych o dachach spadzistych i płaskich, jako że są to najpowszechniej używane systemy w tego rodzaju budynkach. Ponadto zawarto opis odmian dachów spadzistych na ramach portalowych, jak również wytyczne na temat najbardziej efektywnego ich użycia. W opracowaniu zawarto tabele do projektowania jednoprzęsłowej i jednopiętrowej ramy portalowej o spadzistym dachu. W końcu znajdują się tu także wytyczne dotyczące praktycznych połączeń oraz bezpieczeństwa pożarowego.

1 WSTĘP

W ostatnich latach miał miejsce znaczący postęp w sferze projektowania budynków o konstrukcji stalowej, a informacje na ten temat są dostępne obecnie w takich publikacjach jak Eurokody oraz w wynikach projektów typów RFCS/ECSC. Eurokody dostarczają projektantowi szeroką gamę podejść do projektowania budynków o konstrukcji stalowej. Jednakże informacja dotycząca kosztów stalowych rozwiązań nie jest łatwo dostępna. Często stal nie jest wyszczególniona w konstrukcji, ponieważ konstruktorzy:

- nie uważają stali za akceptowalne rozwiązanie z powodu jej złożoności, nie potrafią wykazać poprzez obliczenia, że rozwiązanie jest ekonomiczne oraz
- przygotowują stalowe rozwiązania, ale rezygnują z nich na wstępnym etapie projektu ze względu na nieodpowiednie podejście do projektowania, czyniąc je nieekonomicznym.

W dziewięciu europejskich krajach została przeprowadzona ankieta rynkowa, która wykazała, iż jest ogólne zapotrzebowanie na informację na temat kosztów i ekonomii w zakresie stalowych konstrukcji.

Istnieją, zarówno bezpośrednie jak i pośrednie relacje pomiędzy efektywnością projektowania konstrukcji a kosztem. To co może być uważane za efektywny projekt pod względem wykonania konstrukcji, niekoniecznie musi być opłacalne w ogóle (np. optymalna konstrukcja niestężonej ramy z połączeniem zespolonym belki do słupa może być bardziej kosztowna konstrukcji z powodu złożoności połączeń).

Tak jak ważne jest określenie czynników wpływających na bezpośrednie koszty budynku (tj. ciężar materiałów konstrukcyjnych, wysokość budynku, ochrona przeciwpożarowa, etc.) ważne jest również, by rozważyć inne koszty, na które wpływa użyta forma konstrukcji. Na przykład, mimo że jedną z zalet stali, powszechnie uznaną, jest prędkość wznoszenia konstrukcji, to wpływ tej prędkości na koszty bywa czasami przeoczony (koszty zarządzania budową, redukcja kosztów pożyczki, potrzebnej na sfinansowanie rozwoju budownictwa oraz finansowe korzyści z początkowych opłat za wynajęcie lokatorom mieszkań).

Konkurencja w zakresie stalowych konstrukcji jest także bardzo silna poprzez ogólne warunki rynkowe, które w ostatnim czasie są zmienne. Wysoki popyt z Chin w ciągu kilku ostatnich lat spowodował wzrost światowych cen stali w niewyobrażalnym tempie, a następnie ich spadek spowodowany recesją. Często stalowe rozwiązania są uważane za droższe w porównaniu do tych wykorzystujących inne materiały, jednakże nie ma prostego środka, żeby architekci i deweloperzy mogli to sprawdzić.

Celem niniejszej pracy jest sprostanie temu zapotrzebowaniu i dostarczenie europejskim projektantom budynków o konstrukcji stalowej internetowego narzędzia do obliczania kosztów (ACE).

ACE umożliwia użytkownikom dokonania opłacalnego wyboru rozwiązania stalowego już na etapie wstępnego projektowania. Program ten wykorzystuje najnowsze techniki modelowania kosztów w celu oszacowania ogólnego kosztu budynku i zawiera proste udogodnienie, żeby uwzględnić bieżące stawki. Jego zakres obejmuje jednopiętrowe budynki przemysłowe, wielopiętrowe budynki komercyjne oraz budynki mieszkalne. Program ten pozwala na ogólną optymalizację kosztów w/w budynków poprzez umożliwienie dokonania porównań. To z kolei może pomóc projektantom przekonać inwestorów, żeby jednak pracować ze stalą w tym sektorze. Program ACE został

zweryfikowany wykorzystując koszt oraz informacje konstrukcyjne z przykładowych (pilotażowych) trzech w/w rodzajów budynków zawartych w tym projekcie.

Ten dokument dostarcza wytycznych dla projektantów odnośnie wyboru strategii w celu zaprojektowania ambitnej konstrukcji budynków na bazie konstrukcji stalowej. Daje on praktyczne wskazówki dotyczące projektowania każdego rodzaju budynku i formy konstrukcji, żeby umożliwić najbardziej ekonomiczny wybór konstrukcji stalowej (np. rozstawu ram, słupów) oraz wielkości innych komponentów budynku. To powinno zredukować czas, który wykwalifikowani projektanci czy inwestorzy przeznaczają na selekcję najbardziej ekonomicznego projektu.

2 KORZYŚCI ZASTOSOWANIA STALOWYCH KONSTRUKCJI W BUDYNKACH

2.1 Wytrzymałość

Przynajmniej 50% obecnej produkcji stali w Unii Europejskiej pochodzi z recyklingu. Stal nadaje się do ponownego przetworzenia w 100%. Mała ilość odpadów, jaka tworzy się podczas jej produkcji, również może zostać poddana recyklingowi. Wszystkie elementy stalowej konstrukcji mogą być ponownie użyte albo poddane procesowi recyklingu pod koniec ich żywotności. Ciężar stalowych konstrukcji jest niższy w stosunku do innych rozwiązań co z kolei umożliwia zastosowanie mniejszych fundamentów pod budynek. Choć jest to oczywista zaleta używania stalowych konstrukcji w budownictwie to trzeba pamiętać, iż dodatkowo umożliwiają one także większą efektywność gruntów, na których wcześniej zostało coś zbudowane, a które przez to często są w złej kondycji. Istnieje mnóstwo stropowych, dachowych oraz fasadowych systemów, które mogą być użyte ze stalową konstrukcją, co zapewnia wysoki poziom izolacji oraz szczelność. To minimalizuje zużycie energii podczas żywotności budynku, a więc i CO_2.

2.2 Produkcja w kontrolowanych warunkach poza budową

Stalowe elementy są produkowane w wytwórniach z wysoką dokładnością. Ten proces wykorzystuje elektroniczny transfer danych od projektanta do producenta, co poprawia jakość kontroli oraz umożliwia łatwiejsze uwzględnienie zmian projektowych. To z kolei prowadzi do uzyskania produktu wyższej jakości i pomaga w późniejszym zwrocie z inwestycji w budynek. Na proces ten nie ma wpływu pogoda, która prowadzi do pewności w realizacji programu konstrukcyjnego, jak również do mniejszego ryzyka dla klienta. Dostawy ukończonych stalowych części na budowę powinny mieć miejsce tuż przed czasem, kiedy są one wymagane, żeby zminimalizować wymogi ich przechowywania na budowie. To może okazać się bardzo ważne dla zatłoczonych budów. Oprócz tego o wiele mniejsze jest zapotrzebowanie na wodę na budowie z zastosowaniem konstrukcji stalowej.

2.3 Prędkość wznoszenia konstrukcji

Stalowa konstrukcja jest o wiele szybsza w realizacji niż inne rozwiązania. Na przykład stropy i konstrukcja w typowym 8-piętrowym biurowcu może być zbudowana do 40% szybciej niż wzmocniona betonowa jej alternatywa. Produkcja stalowych komponentów konstrukcji w fabryce może zbiec się z przygotowaniem budowy oraz fundamentami konstrukcji. Wzniesienie stalowej konstrukcji w szybkim tempie umożliwia konstrukcję pokrycia i dachu już na wczesnym etapie programu. To stwarza warunki do pracy w komfortowych, suchych warunkach dla kolejnych branży. Mogą one również wystartować nieco wcześniej.

Finansowe korzyści z szybszej konstrukcji są następujące:

- zredukowane koszty zarządzania budową – wynajem budynków na budowie, personel, dźwigi, etc.,
- wcześniejszy przychód z oddanego budynku – to zredukuje potrzebny przepływ gotówki,
- redukcja odsetek.

2.4 Elastyczność użycia

Przez dwie naturalne cechy stali, jakimi są sztywność I wytrzymałość, można łatwo uzyskać długie rozpiętości, które zapewnią ogromne powierzchnie wolnej od słupów przestrzeni. To umożliwi zastosowanie najróżniejszych opcji wewnętrznej aranżacji wnętrza, które zaspokoją zmieniające się wymagania klientów. Budynek o stalowej konstrukcji może być stosunkowo łatwo powiększony, a komponenty jego stalowej konstrukcji mogą zostać zmodyfikowane, aby wzajemnie je połączyć. W systemach stropowych używanych w konstrukcjach stalowych łatwo pomieścić otwory, z kolei same belki mogą być wyprodukowane z otworami. To zapewni znaczną elastyczność przy przeprowadzania instalacji poziomych.

2.5 Korzyści z użycia stali w budynkach mieszkalnych

Sektor budynków mieszkalnych liczy sobie 25% produkcji konstrukcji w UE, z czego apartamenty i większe budynki mieszkalne stanowią ok. 15–50% domów (mieszkań) w poszczególnych krajach.

Sektor budynków mieszkaniowych wymaga wysokiej jakości, energooszczędnych i zdolnych do adaptacji budynków. Ponadto trzeba jeszcze uwzględnić regionalne i demograficzne trendy, które wymagają różnych typów domu, włączając jednoosobowe mieszkania (kawalerki) i rosnącą gęstość zaludnienia.

Inne kluczowe korzyści związane z mieszkaniowym budownictwem to:

Izolacja termiczna – nowoczesne materiały izolacyjne użyte w dobrze zaizolowanej konstrukcji dostarczają niskie wartości U oraz wysoką szczelność, co daje ciepłe, wolne od przeciągu mieszkania oraz mniejsze rachunki za energię dla użytkującego mieszkanie.

Właściwości akustyczne – w lekkiej konstrukcji stalowej obecność pustek oraz izolacji osiągnięte przez wielowarstwowe materiały oraz odporne warstwy zapewniają wspaniałe akustyczne właściwości.

Wytrzymałość – prefabrykowana “sucha” konstrukcja oraz użycie materiałów bez efektów kurczenia czy pełzania minimalizują ryzyko zarysowania i uszkodzenia materiałów wykończeniowych podczas okresu wysychania konstrukcji.

Prędkość wznoszenia konstrukcji jest w szczególności ważna w przypadku dużych budynków mieszkaniowych, jak na przykład akademiki studenckie, które muszą być ukończone w czasie przerwy wakacyjnej w roku akademickim.

2.6 Szczególne właściwości stalowych konstrukcji w budynkach komercyjnych

W przypadku budynków komercyjnych szczególne zalety konstrukcji stalowych to:

- Zdolność do zaoferowania ogromnych wolnych od słupów przestrzeni stropowych.
- Łatwa integracja instalacji w celu zminimalizowania wysokości systemu stropowego
- Duża elastyczność aranżacji przestrzeni, pomagająca modyfikować budynek w zależności od zmian i potrzeb podczas jego długiego użytkowania.
- Minimalizacja miejsca składowania elementów konstrukcyjnych na budowie ze względu na wysoki stopień produkcji w wytwórni konstrukcji.

2.7 Szczególne właściwości stalowych konstrukcji w budynkach przemysłowych

W przypadku budynków przemysłowych korzyści z konstrukcji stalowych są następujące:

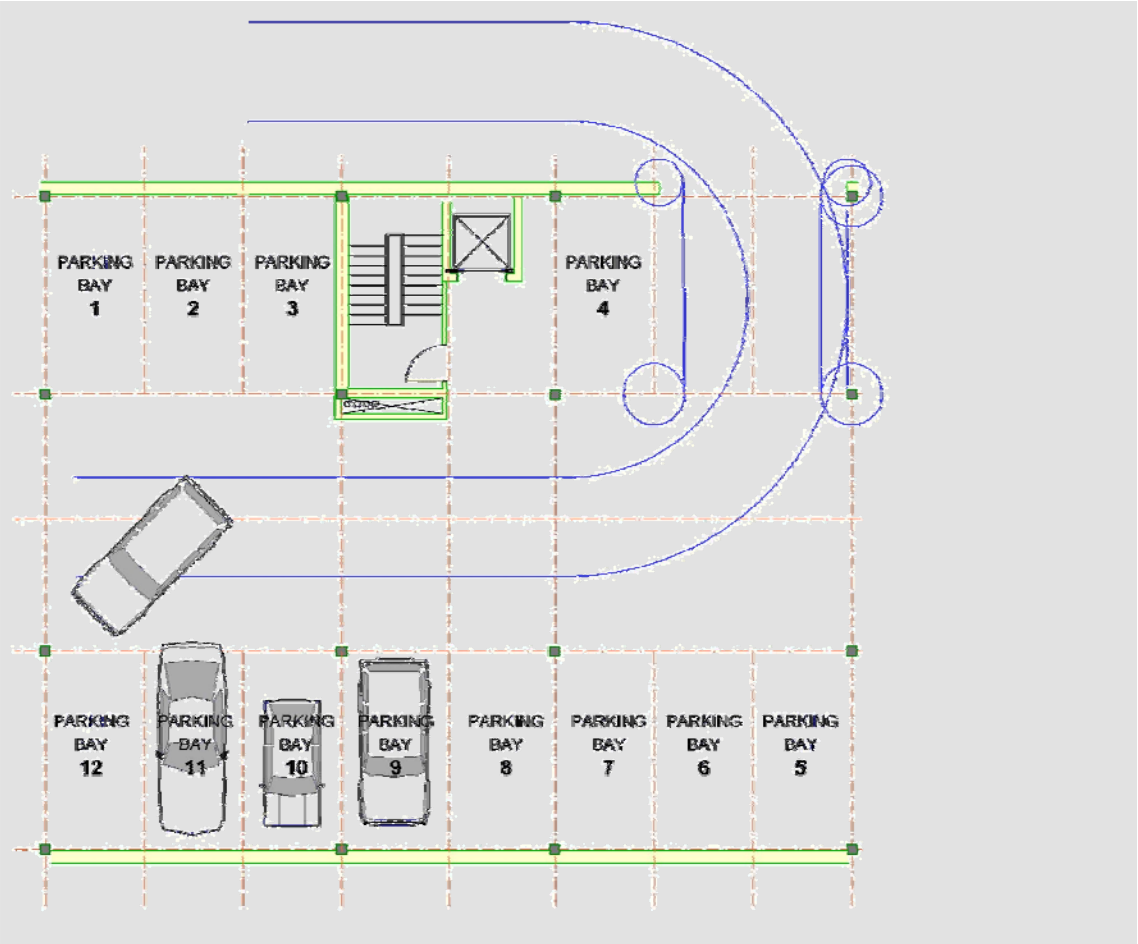
- Szybkie i ekonomiczne zapewnienie stosunkowo lekkich konstrukcji o długiej żywotności.
- Szeroki wachlarz atrakcyjnych konstrukcji z architektoniczną ekspresją.
- Zabezpieczenie konstrukcji, która jest łatwo adaptowalna oraz powiększana z myślą o przyszłym użytkowaniu.

3 WIELOPIĘTROWE BUDYNKI MIESZKALNE O STALOWEJ KONSTRUKCJI

3.1 Typy ram

Dla wielopiętrowych budynków mieszkalnych wymagających otwartej przestrzeni wewnętrznej, konstrukcja stalowa jest idealnym rozwiązaniem. Może ona być użyta z różnego rodzaju konstrukcjami stropowymi, w tym ze stropami betonowymi, płytami prefabrykowanymi czy belkami zintegrowanymi (typu slimfloor) – patrz Rozdział 3.2. Belki w budynkach mieszkalnych są zazwyczaj ułożone w ten sposób, aby odpowiadać ścianom pomiędzy mieszkaniami (ścianom nośnym). Z kolei systemy stropowe ze zintegrowanym belkami mogą pomieścić ściany wewnętrzne w dowolnej konfiguracji. Słupy są zazwyczaj typu HE/UKC lub są profilami zamkniętymi i są zaprojektowane tak, aby pasować do szerokości ścian działowych. Większość wielopiętrowych konstrukcji jest tworzona w trójwymiarowych konstrukcjach na bazie tzw. ortogonalnej siatki poziomej, tj. z podstawowymi i drugorzędnymi belkami w dwóch kierunkach pod kątem 90°. Stabilność pozioma oraz odporność na siły pionowe muszą być rozpatrywane oddzielnie w tych dwóch podstawowych kierunkach, dla których mogą być właściwe oddzielne rozwiązania.

Budynki mieszkalne z parkingami na parterze lub z piwnicami wymagają siatki słupów, która jest kompatybilna z projektem parkingu. Alternatywnie, by zwiększyć przestrzeń parkingową ciężkie podciągi muszą przenosić obciążenia z budynku, gdyż liczba słupów w podziemnym parkingu jest ograniczona. Układ zatok parkingowych będzie częściowo zależny od tego czy wjazd będzie od przodu, od tyłu czy z boku budynku. Wybór jedno lub dwukierunkowego ruchu będzie mieć również wpływ na zapewnienie wystarczającego miejsca. Zazwyczaj zatoki parkingu są sytuowane po dwóch stronach głównej drogi. Tam gdzie zatoki parkingowe są prostopadłe do długich ścian, główna droga musi mieć minimum 6.10 m szerokości, a wielkość zatok w zakresie 2.40-2.80 m szerokości $\times$ 4.80-5.80 m długości (większe wymiary zapewniają relatywnie wygodne miejsce parkingowe). Typowy układ dla wielopiętrowego budynku jest pokazany na Rysunku 1.



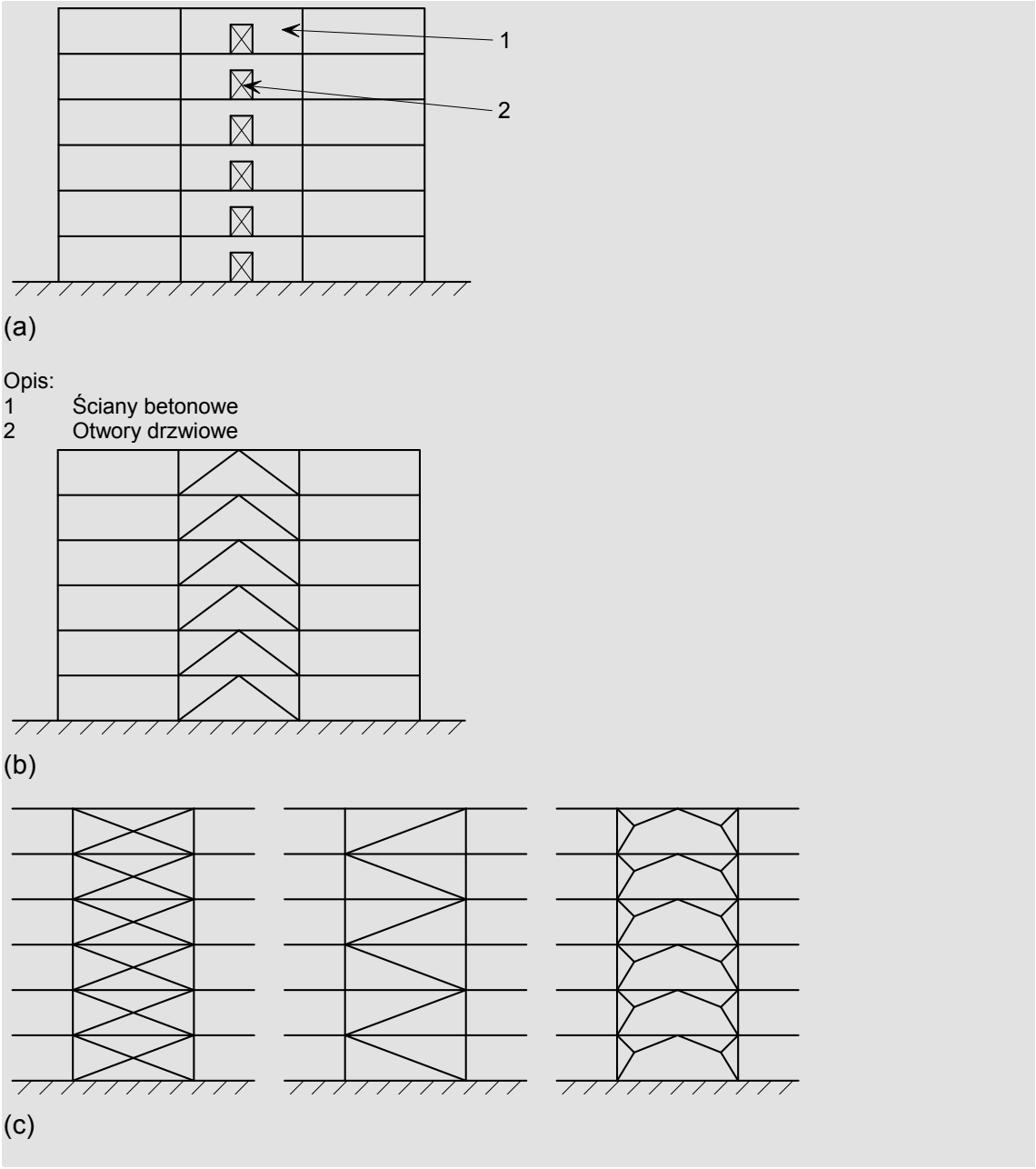
Rysunek. 1 Typowy układ podziemnych parkingów w wielopiętrowym budynku mieszkalnym

Budynki, które nie muszą zapewnić parkingu na planie budynku, posiadają więcej przestrzeni na rdzenie i ustawienie stężeń. Ramy te są wówczas często klasyfikowane jako stężone i niestężone, w zależności od tego czy ma miejsce fizyczne stężenie lub czy konstrukcja łączy się ze sztywnym rdzeniem, który zwykle obejmuje windy, instalacje pionowe oraz schody. Przykłady stężeń i zastosowania betonowego rdzenia są pokazane na Rys. 2. i Rys. 3. Tam gdzie stężenie krzyżowe nie może być zastosowane, może ono być wymienione na stężenie w formie ram sztywnych. Ramy stężone są najekonomiczniejsze, wtedy kiedy zawierają proste połączenia belki przegubowo ze słupem i przenoszą tylko ścinanie z belki na słup, jak widać na Rys. 4(a). Konstrukcje te są również stosunkowo łatwe do analizy.

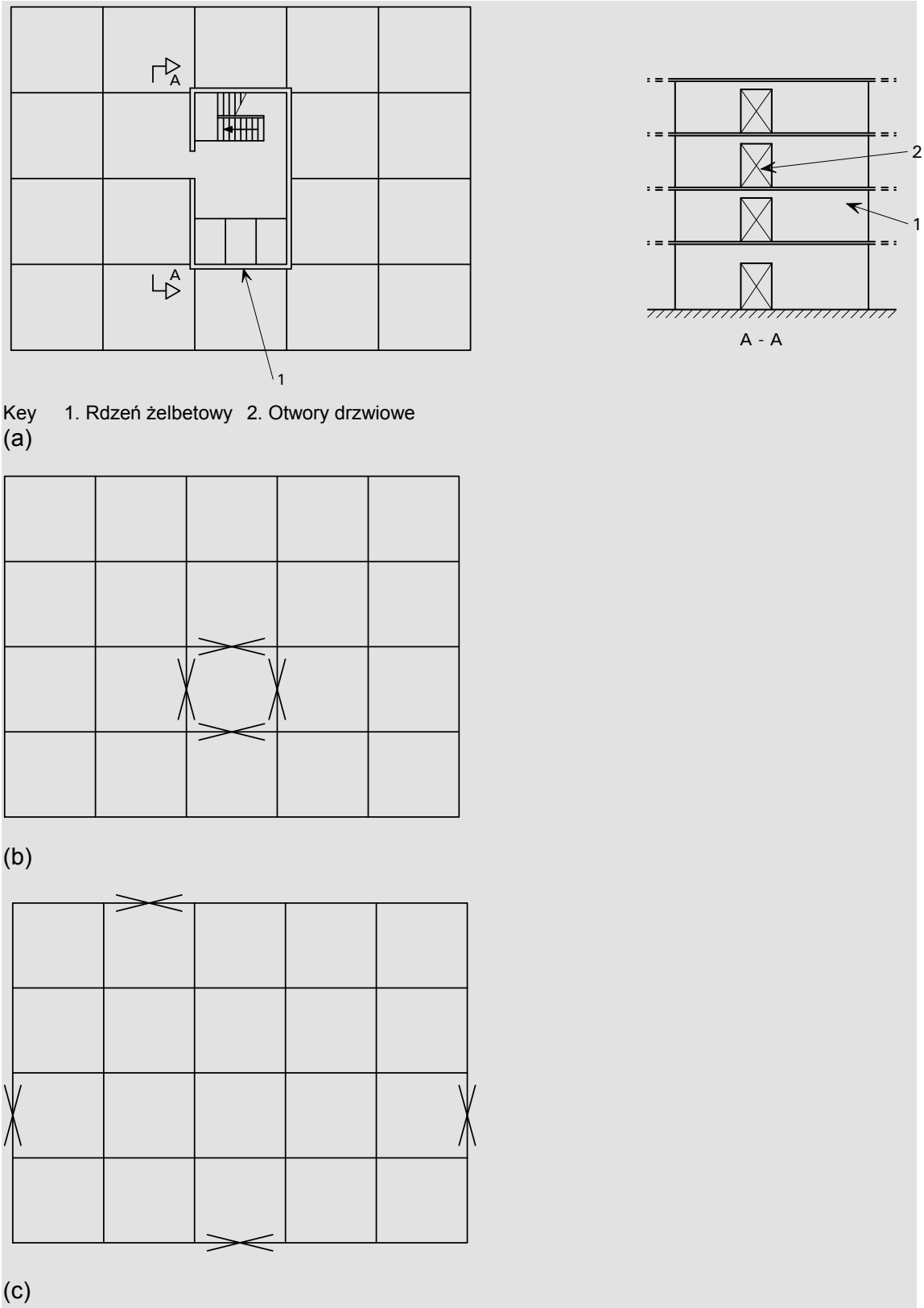
Sztywny rdzeń i stężone zatoki muszą być umiejscowione symetrycznie w ogólnym planie budynku, gdyż asymetryczny plan stężeń spowoduje wzrost sił w stężeniu. Kiedy budynek jest podzielony na sekcje przez dylatacje, każda sekcja powinna być rozważana jako oddzielny budynek. Stropy działają jako przepony, żeby przenosić pionowe oddziaływania do sztywnych rdzeni lub stężonych zatok. Układ stężeń powinien być rozważony na etapie wstępnego projektowania, żeby zminimalizować niezgodności z projektem otworów okiennych i drzwiowych. Stężenia krzyżowe dostarczają przejrzystych rozwiązań dla średniej wysokości budynków mieszkalnych, gdyż mogą być one zawarte w ścianach.

Koncepcja niestężonych ram opiera się na sztywności połączeń pomiędzy belkami i słupami, poddawanych głównie zginaniu. Połączenia sztywne są skomplikowane do przeanalizowania, używają grubszych blach czołowych w połączeniach, więcej śrub

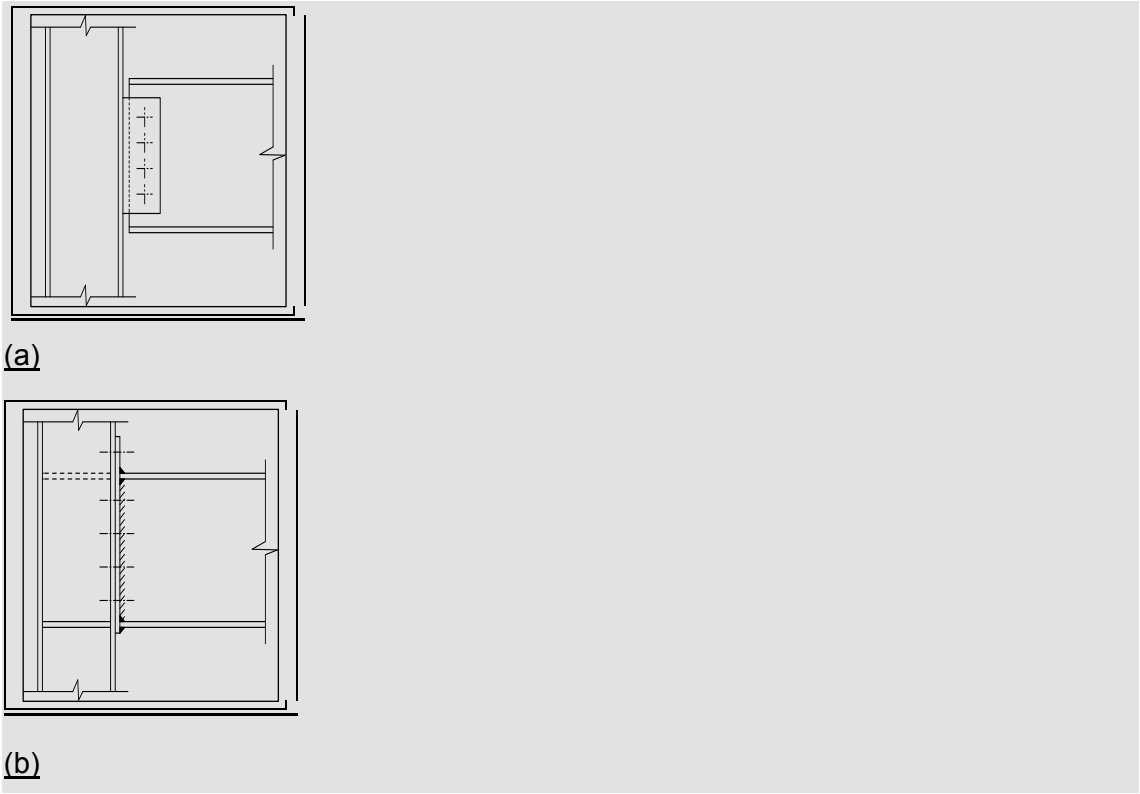
oraz wymagają dłuższego czasu produkcji w porównaniu z połączeniami przegubowymi - Patrz Rys. 4(b). Konstrukcje te wymagają zazwyczaj większych przekrojów, aby zapewnić wymaganą sztywność i przenoszenie większych sił, poza tym, zazwyczaj nie są one odpowiednie dla budynków mieszkalnych, gdzie strefa stropu nie musi pomieścić wielu instalacji. Limit na tego typu konstrukcje to zazwyczaj 4 piętra. Jest on spowodowany nieekonomiczną wielkością elementów konstrukcji oraz niepraktycznym projektem połączeń. Wysokość piętra zależy od wyboru rodzaju stropu i sprecyzowanej wysokości pomiędzy stropem a sufitem, jednakże typowe wartości to 2.5 m (strop - sufit) plus 0.45 m do 0.55 m (strefa stropu) – co daje wysokość piętra ok. 3.0-3.1 m.



Rysunek 2 Typy stężonych ram:
(a) Sztywny rdzeń betonowy, (b) Odwrócone stężenie typu V, (c) Alternatywne rodzaje trójkątnego stężenia



Rysunek 3 Efektywne stężenia dla sił poziomych:
(a) Żelbetowy rdzeń wokół schodów, wind itp.
(b) Sztywny rdzeń ze stężonych paneli
(c) Sztywne panele niezgrupowane w postaci rdzenia



Rysunek 4 Typy połączeń belka - słup:
(a) przegubowy, (b) sztywny

Sugerowana strategia projektowania

Dla najekonomiczniejszej konstrukcji:

- Projekt siatki słupów zgodny z podziemnym/parterowym parkingiem, kiedy parking jest wymagany,
- Użycie stężonych ram w prostej konstrukcji,
- Użycie symetrycznych ustawień stężeń,
- Projekt dla piętra o wysokości 3.0-3.1 m.

3.2 Systemy stropowe i obciążenia

Ta część pracy dostarcza szczegółów związanych z obciążeniem stropowym oraz opisuje różne systemy stropowe często używane w wielopiętrowych budynkach mieszkalnych. Zostały tu opisane główne cechy każdego systemu stropowego wraz z wytycznymi projektowymi.

3.2.1 Obciążenie

Podstawowe typy obciążeń stropowych, jakie należy wziąć pod uwagę przy projektowaniu budynków mieszkalnych:

- ciężar (włączając wykończenia),
- obciążenia zmienne (uwzględniając wyższe obciążenia w ciągach komunikacyjnych).

Typowe obciążenia pokazane są w Tabeli. 1.

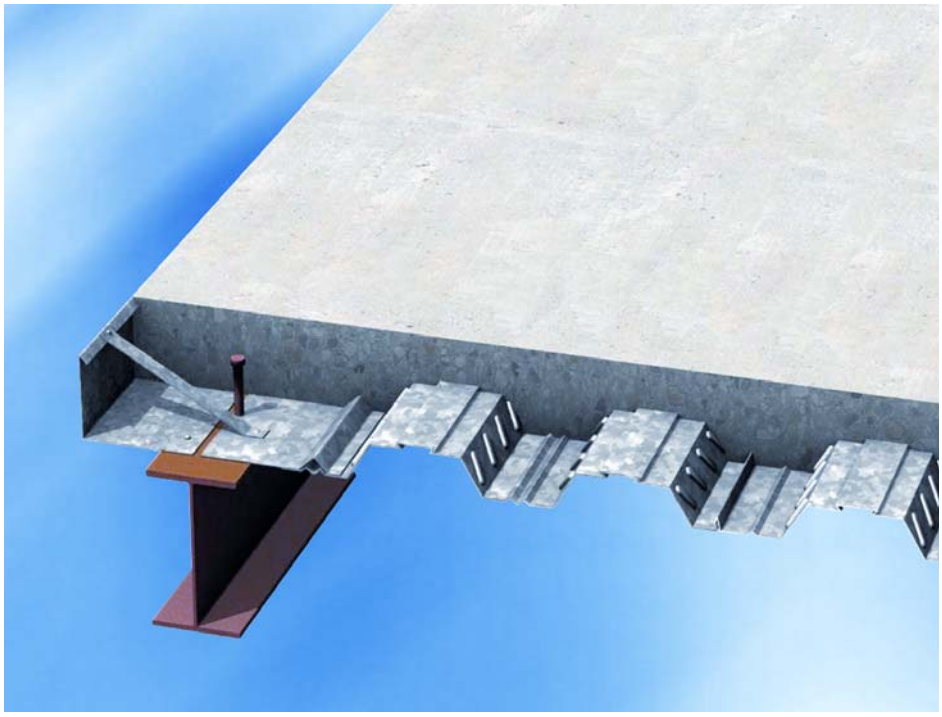
Tabela 1 Typowe obciążenia w budynkach mieszkalnych

Typ obciążenia	Typowe wartości (kN/m^2)
Obciążenia zmienne:	
Budynki mieszkalne	1.5 to 2.0
Korytarze i miejsca o dużym nat. ruchu	3
Przestrzenie handlowe	2.5 to 4
Ścianki działowe (lekkie)	0.5 to 1.0
Ciężary własne:	
Ściany na lekkiej konstrukcji stalowej	0.5 to 1.0
Zespolone płyty stropowe	2.5 to 3.5
Prefabtykowane płyty stropowe	2.5 to 4

Obciążenie na konstrukcję jest zawarte w normie EN 1991 Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje. Zalecane wartości dla zmiennych obciążeń są podane w części 1-1, a dla obciążeń ogniowych w części 1-2. Oddziaływania podczas montażu można znaleźć w części 1-6.

3.2.2 Zespolone belki i zespolone płyty ze stalową blachą trapezową

Zespolone belki i zespolone płyty ze stalową blachą trapezową oraz betonem wylewanym na miejscu są powszechnie używane w konstrukcjach stalowych. Zespolone belki i stalowe belki działają jako zespolone z wylaną na budowie płytą przy użyciu trzpieni. Trzpienie są zazwyczaj przyspawane przez blachę, jednakże może być uprzednio przyspawane w wytwórni. Zespolenie istotnie podnosi wytrzymałość i sztywność belek stalowych, co zwiększa ich maksymalną rozpiętość. Stalowe blachy są używane żeby działać jako trwały szalunek oraz jako wzmocnienie dla płyt. Blachy są integralną częścią całego „zespolonego” systemu, a ich przekrój w dużej mierze zależy od odstępu pomiędzy belkami i głębokości płyty, choć zazwyczaj jest uzależniony od obciążeń (ciężar wilgotnego betonu, instalacji oraz wyposażenia) w czasie wznoszenia.



Rysunek 5 Typowa zespolona płyta i brzeg zespolonej blachy (pominięto zbrojenie dla przejrzystości)

Rozpiętość od 2.5 do 4.5 m można osiągnąć przez zespolenie stropu z belką, używając stalowych blach o wysokości od 50 do 80 mm i grubości od 0.8 do 1.2 mm. Grubość płyt zazwyczaj mieści się w zakresie 130 do 150 mm dla blachy o głębokości 60 mm i 150-170 mm dla blachy o głębokości 80 mm. Żadne tymczasowe podparcie nie jest wymagane podczas konstrukcji pod warunkiem, że głębokość blachy jest odpowiednio dobrana do rozpiętości. Zespolone płyty są relatywnie cienkie w stosunku do swoich rozpiętości (stosunek rozpiętości do grubości stropu równy 32 jest możliwy). Dla efektywnego projektu blacha musi być ciągła przez ponad jedną lub więcej wewnętrznych rozpiętości, jednakże będzie to niemożliwe, gdy trzpienie zostaną uprzednio przyspawane do belek. Z powodów technicznych związanych z transportem, długość blachy zwyczajowo nie przekracza 10 m. W przypadku większości zastosowań odległość pomiędzy podtrzymującymi belkami powinna być:

- 3 m dla blachy o głębokości 50 mm,
- 3.6 m dla blachy o głębokości 60 mm,
- 4.2 m dla blachy o głębokości 80 mm.

Zespolone stropy są zazwyczaj wzmocnione przez siatkę (taką jak A142 na A193, która jest zdefiniowana przez powierzchnię stali w mm^2/m). W niektórych przypadkach dodatkowe siatki wzmacniające są usytuowane na spodzie (w żebrach) blachy, aby poprawić wytrzymałość płyty na zginanie oraz zwiększyć wytrzymałość ogniową. Wielkość zbrojenia wzrasta z długością wymaganego okresu odporności ogniowej, jednak siatka wzmacniająca o wielkości 0.2% powierzchni przekroju płyty powinna zabezpieczyć 90 minut wytrzymałości ogniowej. Siatka dodatkowa (do 0.4% dla blachy podtrzymującej) jest często dodana w płycie ponad belką, żeby ograniczyć pęknięcie płyty, które z kolei często pojawiają się na podporze, jednakże nie ma wpływu na wytrzymałość. Możliwości rozpiętości oraz obciążenia dla różnych głębokości płyt oraz długości wytrzymałości ogniowej dla płyt zespolonych są przedstawione w Tabela 2 dla blachy 60 mm i w Tabela 3 dla blachy 80 mm.

Tabela 2 Typowe dane dla zespolonych stropów z blachą o grubości 60 mm

Typ przęsła	Odporność ogniowa (min)	Wys. płyty (mm)	Zbrojenie (mm^2/m)	Max. rozpiętość (m) dla obc. zmiennych			
				t = 0.9 mm		**t = 1.2 mm**	
				3.5 kN/m²	**5.0 kN/m²**	**3.5 kN/m²**	**5.0 kN/m²**
Blacha 1-przęsłowa – bez podparcia	60	120	A142	2.8	2.8	3.2	3.2
	90	130	A193	2.7	2.7	3.1	3.0
Blacha 2-przęsłowa – bez podparcia	60	120	A142	3.2	3.2	3.9	3.7
	90	130	A193	3.1	3.1	3.8	3.5
	120	150	A252	2.9	2.9	3.5	3.4
1 rząd tymczasowych podpór	60	120	A353*	3.8	3.4	4.0	3.6
	90	130	A353*	3.4	3.1	3.6	3.3
	120	150	A353*	3.1	2.9	3.3	3.0

t = grubość blachy trapezowej

* wymagane dla zapewnienia kontroli zarysowań w podpieranej konstrukcji

A193 = 193 mm^2/m zbrojenie w obu kierunkach

Tabela 3 Typowe dane dla zespolonych stropów z blachą o grubości 80 mm

Span Case	Odporność ogniowa (min)	Wys. płyty (mm)	Zbrojenie (mm^2/m)	Max. rozpiętość (m) dla obc. zmiennych			
				t = 0.9 mm		**t = 1.2 mm**	
				3.5 kN/m²	**5.0 kN/m²**	**3.5 kN/m²**	**5.0 kN/m²**
Blacha 1-przęsłowa – bez podparcia	60	150	A193	3.7	3.2	4.1	3.5
	90	160	A252	3.8	3.2	3.9	3.3
Blacha 2-przęsłowa – bez podparcia	60	150	A193	4.2	3.8	4.6	4.1
	90	160	A252	4.1	3.9	4.5	4.0
	120	170	A393	4.0	3.9	4.3	3.9

t = grubość blachy trapezowej

Dla budynków mieszkalnych wymagane są płytkie stropy oraz „krępe” belki, takie jak UKC, HEA lub HEB. Typowe rozpiętości belek znajdują się w przedziale 4.5 – 7.5 m, stosunek rozpiętości do grubości w przedziale 25-30, a całkowita grubość stropu od 500 do 600 mm. Te wartości mogą być mniejsze, jeśli ściany ustawiono równo z belkami. Blacha o grubości 80 mm użyta w płytach o grubości 150 mm może osiągnąć 4.5 m rozpiętości bez podparcia i może być idealna jeśli chodzi o wewnętrzne odstępy, ponieważ belki będą ustawione równo ze ścianą. To pozwala, by belka była wbudowana w ścianę i umożliwia łatwe mocowanie lekkich przegród o konstrukcji stalowej.

Układ belek może obejmować belki główne i drugorzędne, które w obu przypadkach mogą być zespolone. Jednakże belki główne zespolone wymagają więcej trzpieni oraz większego wzmocnienia i z tego względu ten rodzaj belek jest uważany za nie zespolony w programie ACE.

Płyty zespolone osiągają odporność ogniową aż do 120 minut, używając tylko siatki zbrojeniowej pod warunkiem, że są one ciągłe przez ponad jedną lub więcej przęseł. Dodatkowa siatka zbrojeniowa może być usytuowana w żebrach blachy, w bardzo obciążonych miejscach (np. miejsca produkcji). Ochrona ogniowa stalowych belek może być osiągnięta przez:

- obudowanie płytami gipsowymi,
- natryskiwanie materiałów ognioodpornych,
- farby pęczniejące.

Sugerowana strategia projektowa

Aby osiągnąć najekonomiczniejszą konstrukcję:

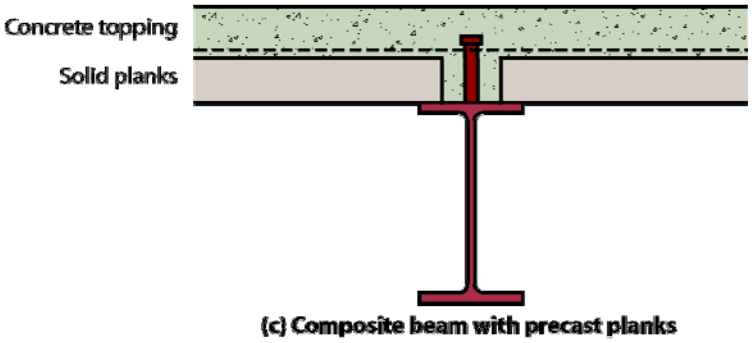
- Należy założyć użycie płyty betonowej o grubości 130-150 mm.
- Wybrać blachę o grubości odpowiadającej wymaganiom rozpiętości przy idealnym rozmieszczeniu belek (nie wymagających podparcia), a stanowiącym 2.5-3.75 m.
- Wybrać rozpiętość belki w obrębie 4.5-7.5 m oraz użyć przekroju UKC lub HE z rozpiętością w parametrem stosunku rozpiętości do grubości 25-30 dla belek zespolonych. W przypadku kiedy niezespolone belki główne mają zastosowanie, stosunek rozpiętości do grubości równy 18 jest sugerowany jako rozmiar próbny.

3.2.3 Podciągi z płytami prefabrykowanymi

Prefabrykowane płyty stropowe są wsparte na górnej półce stalowych belek w tego typu konstrukcjach i w niektórych przypadkach mogą być zaprojektowane, żeby działać jako zespolone ze stalowymi belkami poprzez użycie trzpieni, które są uprzednio przyspawane do górnej półki, jak widać na Rysunku. 6. Prefabrykowane płyty stropowe mogą być użyte z podciągami, kiedy płyta stropowa leży na górnej półce belki lub z belkami zintegrowanymi, gdzie płyta stropowa zawiera się w wysokości przekroju stalowego, jak opisano później. Układ belek, który maksymalizuje rozpiętość poszczególnych części bywa zazwyczaj najbardziej efektywny. Tymczasowe warunki montażu, kiedy strop położony jest najpierw z jednej strony belki, mogą decydować o doborze przekroju. Użycie podciągów z całą pewnością daje większą ogólną wysokość stropu niż w przypadku belek zintegrowanych lub typu „slimfloor”.

Jednym z głównych parametrów, które trzeba wziąć pod uwagę przy projektowaniu belek podtrzymujących prefabrykowane płyty betonowe jest minimalna szerokość belki. To jest szczególnie ważne w przypadku belek zespolonych, ponieważ musi być zapewniona odpowiednia otulina wokół trzpieni, żeby utworzyć zespolone oddziaływanie. Z tego względu prefabrykowane płyty są generalnie używane w przypadku zastosowań o długiej rozpiętości z przekrojami grubszymi jak IPE/UB lub w przypadku zastosowań o krótkiej rozpiętości z HE/UKC. Zaleca się, aby szerokość górnej półki wynosiła przynajmniej 190 mm, żeby zapewnić minimalną szerokość oparcia (50-60 mm) dla poszczególnych elementów prefabrykowanych. Użycie przekrojów IPE będzie wymagało grubszego stropu, chyba że belki będą ułożone równo ze ścianami działowymi.

System z prefabrykowanymi płytami betonowymi, który może być analizowany używając oprogramowania ACE, składa się z cienkiej płyty (50–100 mm grubości) podtrzymującej wylewkę betonową stosowaną in-situ i zaprojektowany jest tak, żeby działać jako układ zespolony betonu ze stalowymi belkami. Rozpiętości w przedziale od 2.5 do 4 m.



Rysunek 6 Prefabrykowane płyty betonowe spoczywające na belkach zespolonych

Belki brzegowe są często zaprojektowane jako niezespolone, ale są zaopatrzone w trzpienie. Belki równoległe do płyt prefabrykowanych nie mogą być zespolone.

Pokrycie betonowe (minimum 60 mm) pomaga zapewnić akustyczną izolację w budynkach mieszkalnych. Jednakże dodatkowa warstwa ochronna oraz warstwa zewnętrzna (do chodzenia) nadal są konieczne, żeby spełnić konieczne i zarazem najwyższe standardy akustycznej izolacji. Betonowe pokrycie pomaga także w spełnieniu wymogów przeciwpożarowych poprzez obecność siatki wzmacniającej, która jest ułożona w wylewce.

Stalowe belki podtrzymujące prefabrykowane płyty betonowe mogą być relatywnie grube i zaprojektowane w stosunku rozpiętości do grubości około 18 dla przekrojów IPE. Ugięcia będą się mieścić w obrębie limitu rozpiętość/360 pod obciążeniami zmiennymi.

Prefabrykowane płyty betonowe mogą osiągnąć wytrzymałość przeciwpożarową aż do 90 minut bez betonowej wylewki lub do 120 minut z betonową wylewką i z prętami zbrojeniowymi umieszczonymi w wypełnionych otworach płyty kanałowej.

Ochrona przeciwpożarowa stalowych belek może być osiągnięta przez:

- obudowanie płytami gipsowymi,
- natryskiwanie materiałów ognioodpornych,
- farby pęczniejące.

Sugerowana strategia projektowania

Dla najbardziej ekonomicznej konstrukcji:

- Tam gdzie to możliwe zmaksymalizować rozpiętość prefabrykowanych części,
- Użyć zespolonych belek o stosunku rozpiętości do grubości około 18 w przypadku IPE, ale 25 w przypadku przekrojów UKC/HE,
- Zaprojektować niezespolone belki brzegowe.

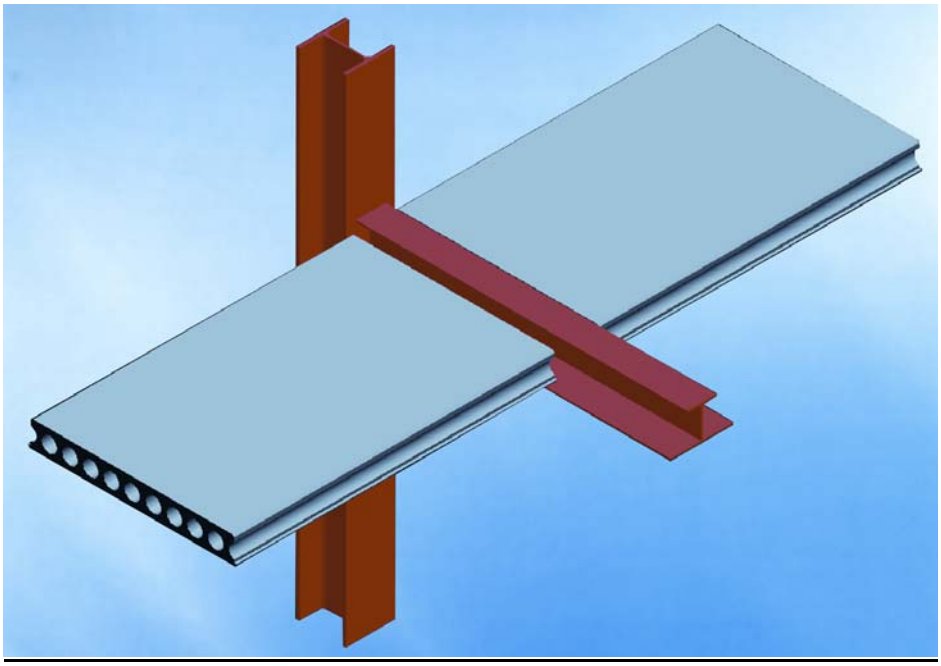
3.2.4 Zintegrowane belki stropowe z zespolonymi płytami lub elementami prefabrykowanymi

Zintegrowane belki podtrzymują prefabrykowaną płytę betonową lub grubą płytę zespoloną w taki sposób, że belka i płyta znajdują się na równej wysokości. Belki te są zazwyczaj konstruowane, używając elementów IPE przeciętych na pół i przyspawanych do spodu półki. Inne możliwości rozwiązań konstrukcyjnych:

- Elementy HE lub UC z przyspawaną blachą spodnią (znanym jako belka typu „slimfloor", omówiona w dalszej części tego punktu),
- Belki walcowane ASB o asymetrycznym przekroju (znanym jako „slimfloor" i nie ujęte w oprogramowaniu),
- RHS z przyspawaną blachą spodnią, często używane z belkami brzegowymi (nie ujęte w oprogramowaniu),
- Tzw. 'Top Hat Q-beams' produkowane z blachy, które mają kształt „kapelusza" (nie ujęte w oprogramowaniu).

Rozpinanie stropu na belce brzegowej będzie bardziej ekonomiczne niż rozpinanie płyt lub elementów pomiędzy równoległymi belkami w prostopadłym do niej kierunku. Stosunek rozpiętości belki do jej grubości może się różnić zdecydowanie z uwagi na fakt, iż ważne jest, by strop pozostał niewysoki, w obrębie 250 do 350 mm. Belki typu „T" znajdujące się pomiędzy słupami są często odwróconymi elementami „T", które mogą się łatwo integrować ze stropem. Belki brzegowe mogą być albo belkami podciągowymi albo zintegrowanymi, w zależności od wymogów architektonicznych. Jednakże elementy RHS z przyspawaną blachą spodnią oraz elementami o przekroju zamkniętym są bardzo efektywne jeśli chodzi o odporność na obciążenia skręcające, choć mogą być droższe jeśli chodzi o prefabrykowanie.

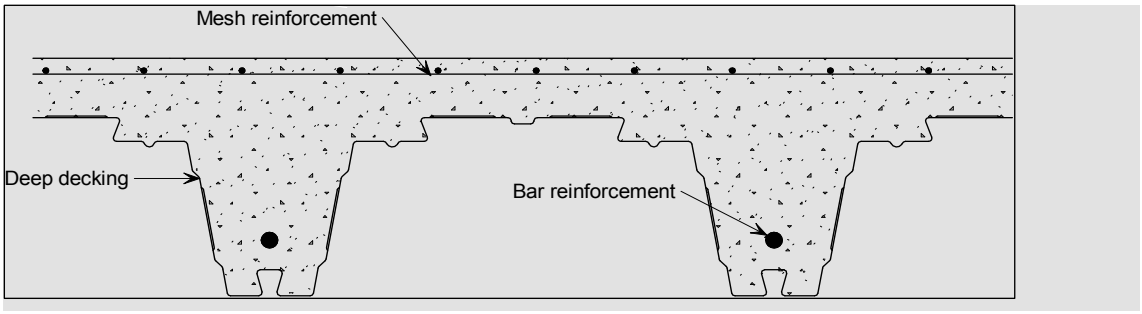
Tam gdzie zintegrowane belki podtrzymują płyty kanałowe, jak widać na Rysunku 7, płyty często rozpinają się na odległość dłuższą niż belki, w taki sposób, że wysokości płyty oraz belki są zgodne. Wylewka betonowa używana jest, aby zapewnić lepsze konstrukcyjne oraz dynamiczne właściwości stropu, płaską powierzchnię, odpowiednie otulenie belek oraz lepszą akustykę. Zintegrowane belki są zaprojektowane tak, aby osiągnąć minimalną konstrukcyjną wysokość. Zintegrowane belki podtrzymujące płyty kanałowe są zaprojektowane tak, że płyta ma zdolność rozpiętości aż do 9 m, a belka od 6 do 7.5 m. Krytycznym punktem w projektowaniu bywa zwykle obciążenie skręcające podczas montażu lub nierównomierne obciążenie sąsiadujących modułów.



Rysunek 7 Prefabrykowane płyty betonowe spoczywające na belce zintegrowanej

Zintegrowane belki mogą być użyte w przypadku grubych płyt zespolonych, gdzie grubość stalowej blachy jest zaprojektowana tak, aby oddziaływać w sposób zespolony z płytą betonową. Całkowita grubość stropu jest w przedziale od 300 do 350 mm, jak widać na Rysunku 8. Pręty zbrojeniowe są usytuowana w żebrach blachy, zapewniając w ten sposób wytrzymałość płycie stropowej oraz odporność ogniową. Ponadto, siatka wzmacniająca mieści się również w górnej części płyty, żeby zapobiegać pęknięciom betonu, rozpraszać zlokalizowane obciążenia oraz żeby poprawić odporność ogniową. Rozpiętość blachy do 6.0 m może zostać osiągnięta bez podparcia i jest najekonomiczniejsza. Rozpiętość blachy do 9-10 m może być osiągnięta poprzez odpowiednie podparcie, grubszą płytę i dużą średnicę zbrojenia w żebrach. Profil blachy ma zwykle grubość od 190 do 225 mm w zależności od produktu. Minimalna grubość betonu nad blachą wynosi od 70 do 90 mm, co jest konieczne ze względów konstrukcyjnych, choć jest głównie wymagane po to, aby osiągnąć odpowiednią wytrzymałość ogniową. Stosunek rozpiętości do grubości grubych zespolonych płyt powinien się ograniczać do 25, by spełniać kryteria stanów granicznych użytkowania. Idealna odległość pomiędzy belkami to około 6 m, aby uniknąć podparcia blachy. Przekrój belek jest zwykle wynikiem sił skręcających działających podczas fazy konstrukcji lub jest podyktowany kryteriami stanów granicznych użytkowania.

Zbrojenie wymagane jest poprzez środnik belki zintegrowanej zarówno przy użyciu elementów prefabrykowanych, jak i stropów zespolonych, aby powiązać stropy po obu stronach belki. Chodzi o przeciwdziałanie ryzyku progresywnego zawalenia się konstrukcji. W przypadku stropów zespolonych, zazwyczaj istnieje wystarczająca przestrzeń dla siatki zbrojeniowej, by umieścić ją nad osią belki. Możliwe jest to również w przypadku elementów prefabrykowanych, natomiast w związku z faktem, iż nie stosuje się betonowej wylewki, zbrojenie musi przechodzić przez środnik belki.



Rysunek 8 Typowy strop zespolony na blasze z wysokim profilem

Częściowe pokrycie betonem belki zapewnia odporność ogniową 60 minut. Dodatkowa ochrona ogniowa może być zastosowana w przypadku półki spodniej poprzez różne metody, takie jak:

- obudowanie płytami z gipsu,
- pęczniejącej farby nałożonej na budowie lub w wytwórni konstrukcji.

Obudowa płytami gipsowymi jest najpraktyczniejsza jeśli chodzi o słupy. Farby pęczniejące zabezpieczają belki i są cienkie (1 do 2 mm grubości). Warstwy te mogą być nałożone w wytwórni.

Belki zintegrowane z płytami kanałowymi, z betonową wylewką lub stropy w pełni zespolone na blasze o wysokim profilu osiągają wspaniałą izolację akustyczną, choć specjalne dodatkowe warstwy są często potrzebne, aby spełnić akustyczne standardy wymagane w budynkach mieszkalnych. Szczegółowe informacje odnośnie tych warstw zostały opisane wcześniej (w części traktującej o belkach zespolonych oraz stropach zespolonych na stalowych blachach).

Sugerowana strategia projektu

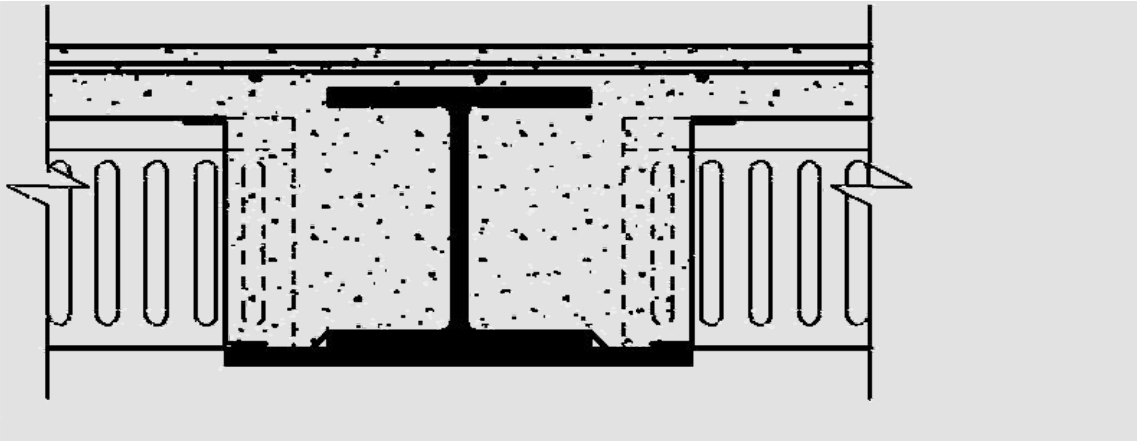
Dla najekonomiczniejszej konstrukcji

- Użyć takich układów belek, które zawierają belki (tam gdzie to możliwe) o wysokości przekroju w zakresie około 250 to 350 mm
- Kiedy używane są elementy prefabrykowane, należy wybrać ich rozpiętość w zakresie 6-7.5 m, ale należy się upewnić czy wysokości płyty i belki są zgodne (to zwykle wymaga większej rozpiętości elementu niż belki).
- W przypadku kiedy stosowane są zespolone stropy na blachach o wysokim profilu, (idealny) limit rozpiętości płyty to 6 m (żeby uniknąć podparcia) oraz 70-90 mm betonowej wylewki nad blachą. Należy utrzymać stosunek rozpiętości płyty do jej grubości w przedziale 20-23.
- Zaprojektować belki brzegowe jako niezespolone belki podciągowe tam gdzie architektura na to pozwoli, w przeciwnym razie należy użyć elementów RHS z przyspawaną blachą dla lepszej efektywności.
- Użyć elementów typu odwrócone ‘T’ jako słupy.

3.2.5 Belki typu „slimfloor” ze stropami zespolonymi lub elementami prefabrykowanymi

Belki asymetryczne typu „slimfloor” są podobne do belek zintegrowanych w tym, że ich przekrój leży w obrębie grubości stropu. Mogą być one z elementami prefabrykowanymi lub płytami zespolonymi na blasze o wysokim profilu. Belki typu „slimfloor” składają się z przekroju walcowanego HE lub UKC oraz blachy

przyspawanej do spodu. Blacha ta wystaje przynajmniej 100 mm po każdej stronie przekroju dwuteowego, żeby oprzeć nań strop i ma zwykle 12 mm lub 15 mm grubości. Przekroju mogą mieć do 350 mm wysokości, jednakże do zastosować w budownictwie mieszkaniowym preferuje się wysokości w przedziale od 200 do 300 mm. Przekrój przez omawianą belkę z płytą zespoloną na blasze o wysokim profilu jest pokazany na Rysunku 9. Belki zespolone mogą być również użyte z płytami zespolonymi, jednakże te, nie są zwykle używane w Europie i z tego względu nie są ujęte w niniejszym raporcie jak również w ACE.



Rysunek 9 Typowa płyta z belką asymetryczną podtrzymującą płytę zespoloną z blachą o wysokim profilu

Wszystkie sprawy związane z elementami prefabrykowanymi oraz stropami zespolonymi, odpornością ogniową oraz akustyką, omówione w części związanej z zastosowaniem belek zintegrowanych, odnoszą się również do belek asymetrycznych typu „slimfloor”.

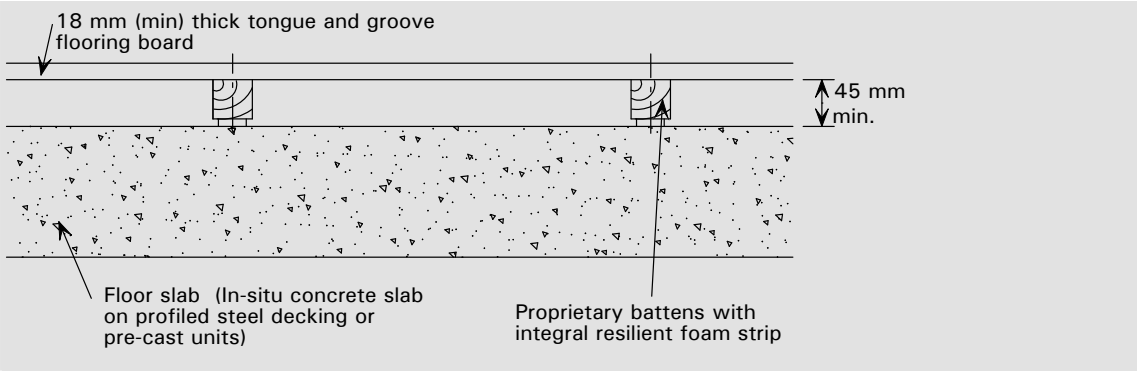
Zalecana strategia projektowania

Aby osiągnąć najekonomiczniejszą konstrukcję:

- Należy użyć takich układów belek, które zawierają belkę centralną (tam gdzie to możliwe) o grubości w przedziale około 200 do 350 mm.
- Zaprojektować belkę brzegową jako niezespoloną belkę podciągową, na ile architektura na to pozwoli, w przeciwnym razie należy użyć elementów RHS z przyspawaną blachą dla większej efektywności.
- Użyć elementów typu odwrócone ‘T’ jako słupy.

3.3 Akustyka

W celu zapewnienia odpowiedniej akustyki stropów w konstrukcjach mieszkaniowych potrzebne są dodatkowe warstwy stropu. Dwa rodzaje systemów są powszechnie używane: warstwowy i oparty na drewnianych łatach. Typowa warstwa akustyczna ma 40-65 mm grubości i spoczywa na warstwie ochronnej, np. na gumie grubości 6 mm. Drugi zaś sposób polega na ułożeniu drewnianych łat o grubości 45–75 mm, położonych w odległości około 450 mm na płycie, jak widać na Rysunku 10. Łaty posiadają warstwę pianki przyklejoną do ich spodu, co zapewnia odporność niezbędną do izolacji przed różnego rodzaju dźwiękami, głównie jednak dźwiękami pochodzącymi od chodzenia. Przy projektowaniu stropu pod względem akustyki musi być rozważany strop w całości, a więc taki, który zawiera sufit.



Rysunek 10 Typowy system stropu z łatami drewnianymi na płycie zespolonej

3.4 Dach

Przy konstrukcjach stalowych dla budynków mieszkalnych stosuje się następujące rodzaje dachów:

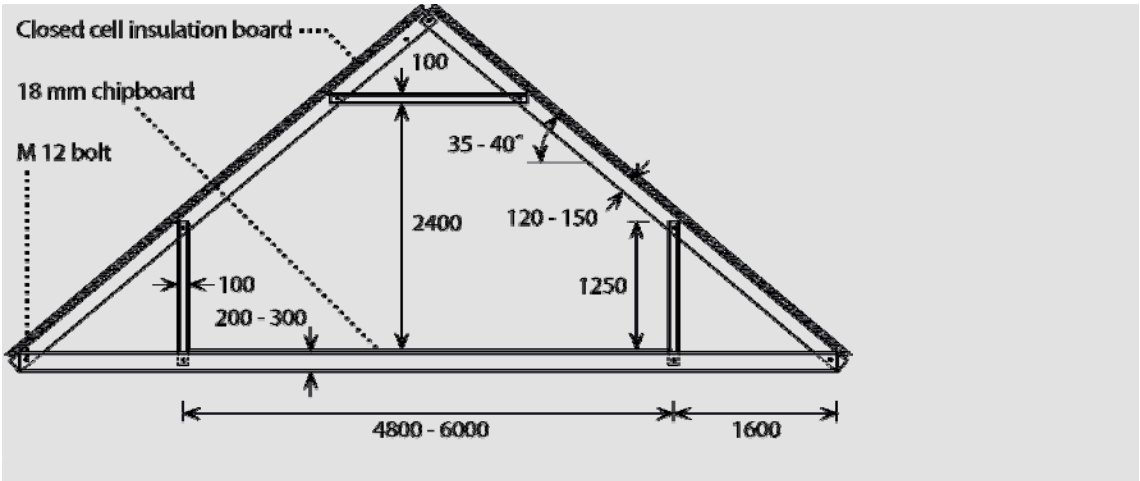
- Płatwie stalowe rozpinające się pomiędzy ramami konstrukcyjnymi lub pomiędzy ścianami wewnętrznymi,
- „Dach otwarty" to system do tworzenia przestrzeni mieszkalnej,
- Prefabrykowane stalowe panele dachowe,
- Panele zespolone (dla rozpiętości do 6 m).

Dachy stalowe mogą być produkowane w szerokim zakresie kształtów, w tym zakrzywione formy. Metalowe pokrycie jest odpowiednie dla cienkich dachów oraz dla wykrzywionych kształtów.

Dwie kwestie należy w szczególności rozważyć: kierunek rozpiętości dachu oraz poziom termicznej izolacji. Rozpiętość dachów powinna wynosić:

- od fasady do fasady z rozpiętością od 8 do 12 m, lub
- pomiędzy ścianami wewnętrznymi z rozpiętością od 5 do 8 m.

W pierwszym przypadku preferuje się tradycyjne wiązanie dachowe. Natomiast w drugim przypadku płatwie lub inne systemy pozwalają wykorzystać przestrzeń dachu. System otwartego dachu stalowego, który zapewnia przestrzeń mieszkalną, jest pokazany na Rysunku 11.



Rysunek 11 Typowy "otwarty" stalowy system dachowy na profilach zimnogiętych

Wymagany poziom izolacji termicznej jest zwykle wysoki dla dachów (U-wartości < 0.15 W/m^{2}K), więc ogólna grubość termicznej izolacji może wynosić aż 150 mm. Większość izolacji jest ułożona na zewnątrz konstrukcji (wiązarów lub płatwi), ale aż 30% izolacji może być ułożona pomiędzy elementami stalowymi bez ryzyka skraplania się. Panele zespolone są produkowane z atrakcyjnym pokryciem, np. w kształcie dachówki. Panele słoneczne lub kolektory cieplne mogą być łatwo dołączone do stalowej obudowy oraz jej konstrukcji.

3.5 Ochrona przeciwpożarowa

Ochrona przeciwpożarowa w budynkach mieszkalnych obejmuje pewien zakres czynników takich jak: efektywne sposoby ewakuacji z budynku objętego pożarem, zapobieganie rozprzestrzeniania się ognia, stabilność konstrukcji i zabezpieczenie efektywnych środków walki z pożarem. Wymogi co do stabilności konstrukcji są zwykle wyrażane jako wytrzymałość ogniowa elementów konstrukcyjnych.

Wytrzymałość ogniowa jest oparta dla celów porównawczych na wynikach standardowych testów ogniowych i jest wyrażana w jednostkach co 30 minut. Dla większości domów i budynków mieszkalnych wymagana jest minimalna jednostka wytrzymałości ogniowej, jaką jest 30 minut, z możliwością wzrostu do 60 minut dla ścian działowych zależnie od przepisów poszczególnych krajów.

Wyższe budynki mogą wymagać 90 minut wytrzymałości ogniowej przede wszystkim z powodu stabilności konstrukcji i efektywnej walki z pożarem. Generalnie, dla ścian i stropów zastosowana izolacja akustyczna wystarcza do zapewnienia 60 minut odporności ogniowej.

Ochronę pożarową belek może stanowić płyta gipsowa, spray lub farba pęczniejąca, a wytyczne związane z nią znajdują się w części opisującej konkretny system stropowy. Ochronę pożarową dla słupów, ze względów estetycznych, stanowi płyta gipsowa o następujących parametrach:

15 mm grubości - do 60 minut wytrzymałości ogniowej,
25 mm grubości - do 90 minut wytrzymałości ogniowej.

4 WIELOPIĘTROWE BUDYNKI KOMERCYJNE O STALOWEJ KONSTRUKCJI RAMOWEJ

4.1 Rodzaje konstrukcji ramowej

Rodzaje konstrukcji ramowej w przypadku wielopiętrowych budynków komercyjnych są podobne pod względem usztywnienia (wzmocnienia) jak i stabilności do tych używanych w przypadku wielopiętrowych budynków mieszkalnych, co zostanie przybliżone w tej części opracowania. Jednakże, pod pewnymi względami różnią się one, na przykład wielkością siatki, obciążenia oraz wysokością pomiędzy stropami. Te ostanie są większe dla budynków komercyjnych, wyłączając jedynie różnice w wymaganiach co do układu przestrzennego. Większość budynków komercyjnych wymaga rozpiętości stropowej 12 m, oraz wolnej od słupów powierzchni o rozmiarach 15-18 m. Strop w budynkach komercyjnych musi mieścić cały szereg instalacji i w przypadku systemów stropowych z dużą rozpiętością oraz relatywnie wysokimi belkami, bardzo ważne jest wziąć pod uwagę integrację wszystkich instalacji w stropie już na etapie wstępnego projektowania. Wysokość pomiędzy stropami wynosi zwykle około 4.2 m. Charakterystyczne obciążenia zewnętrzne dla budynków komercyjnych wynoszą zwykle 3-5 kN/m^2. Wytyczne konstrukcyjne związane z projektowaniem ram, stężeniami oraz połączeniami, ujęte w Rozdziale 3.1, dotyczą także budynków komercyjnych.

4.1.1 Słupy

Słupy oraz inne pionowe elementy podtrzymujące obciążenia konstrukcji są zazwyczaj projektowane tak, aby mieć jak najmniejszy wpływ na przestrzeń użytkową budynku i są na tyle małych rozmiarów, na ile to możliwe. Rozmiar słupów zależy od wysokości budynku oraz podtrzymywanego obszaru stropowego. Podane są uproszczone wytyczne co do rozmiarów poszczególnych elementów typu H, które są najczęściej używane.

Słupy o przekroju typu H są tak zorientowane, że większe belki (belki główne) są mocowane do półki słupa. To z kolei czyni szczegóły połączenia zdecydowanie łatwiejszymi. Profile H są najprostszym rozwiązaniem dla słupów. Dla wszystkich pięter dobierane są słupy tego samego rozmiaru, choć waga elementów może się różnić. Takie podejście ułatwia łączenie słupów. Dla ekonomicznej i wygodnej budowy słupy powinny być projektowane o długości odpowiadającej podwojonej lub potrojonej wysokości stropu. Tablice projektowe dla słupów HE i UC są zaprezentowane w Tabelach 4 i 5. Przyjęte zostało obciążenie zmienne 4 kN/m^2 wraz z całkowitym obciążeniem stałym (włączając ciężar własny) wynoszącym 4 kN/m^2. Wysokość między podłogami przyjęto 4 m.

Tabela 4 Typowe rozmiary słupów HE w ramach stężonych (wymiary są ujęte dla najniższych długości słupów, ze zredukowanym ciężarem dla większych długości)

Liczba pięter	Siatka słupów			
	6 × 6 m	**6 × 9 m**	**6 × 12 m**	**6 × 15 m**
4	HE 220 B	HE 280 B	HE 240 M	HE 260 M
6	HE 280 B	HE 240 M	HE 260 B	HE 300 M
8	HE 300 B	HE 260 M	HE 300 M	HE 320 M
10	HE 240 M	HE 300 M	HE 320 M	HD 400 x 347

Stal S355, obciążenie zmienne = 3 kN/m^2 plus 1 kN/m^2 na ścianki działowe

Tabela 5 Typowe rozmiary słupów UC w ramach stężonych (wymiary są ujęte dla najniższych długości słupów, ze zredukowanym ciężarem dla większych długości)

Liczba pięter	Siatka słupów			
	6 × 6 m	**6 × 9 m**	**6 × 12 m**	**6 × 15 m**
4	203 UC 86 S275	254 UC 132 S275	254 UC 167 S275	305 UC 198 S275
6	254 UC 132 S275	254 UC 167 S275	305 UC 198 S275	305 UC 240 S355
8	305 UC 240 S275	305 UC 198 S275	305 UC 240 S355	356 UC 235 S355
10	305 UC 198 S275	305 UC 240 S355	356 UC 340 S355	356 UC 340 S355

Gatunek stali podano w tabeli, obciążenie zmienne = 3 kN/m^2 plus 1 kN/m^2 na ścianki działowe

4.2 Konstrukcja stropów i obciążenie

Ta część opracowania zawiera szczegółowe informacje na temat obciążenia stropu, umieszczania instalacji oraz różnych systemów stropowych często używanych w wielopiętrowych budynkach komercyjnych. Są tu opisane główne cechy charakterystyczne każdego systemu stropowego oraz podane wytyczne projektowe. Te systemy stropowe są podobne do tych używanych w przypadku budynków mieszkaniowych, z tą różnicą, że rozpiętości dla budynków komercyjnych bywają większe, a specjalne akustyczne pokrycia stropów nie są tu konieczne.

4.2.1 Obciążenia stropu

Obciążenia konstrukcji są ujęte w EN 1991 Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje. Zalecane wartości dla obciążeń zewnętrznych są podane w Części 1-1, a dla obciążeń ogniowych w Części 1-2. Oddziaływania podczas montażu konstrukcji można znaleźć w Części 1-6. Tak jak waga samych stropów i ram, tak i dodatkowe obciążenie 0.7 kN/m^2 powinny być wzięte pod uwagę przy uwzględnianiu pływających podłóg, sufitów oraz wyposażenia. Tabela 6 prezentuje typowe ciężary elementów budowlanych w wielopiętrowych budynkach.

Tabela 6 Typowe ciężary elementów budowlanych

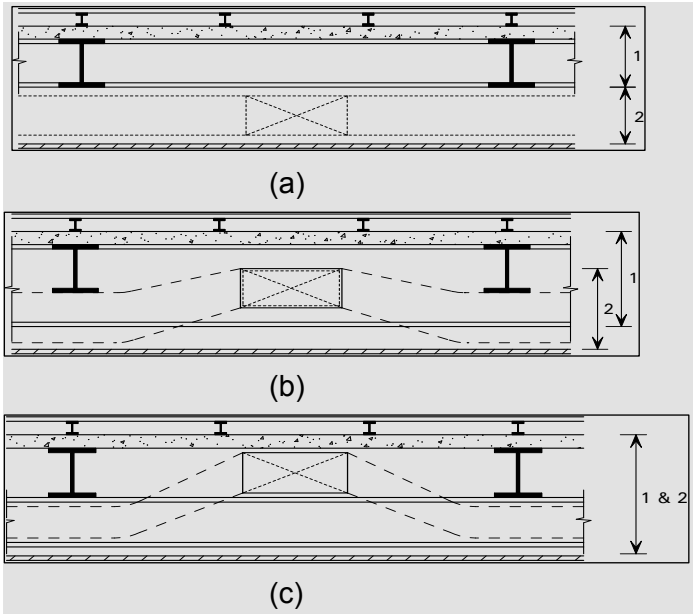
Element	Typowy ciężar
Elementy prefabrykowane (rozpiętość 6 m, obc. zmienne 5 kN/m2)	3 do 4.5 kN/m2
Płyta zespolona (beton zwykły, grubość 130 mm)	2.6 do 3.2 kN/m2
Płyta zespolona (beton lekki, grubość 130 mm)	2.1 do 2.5 kN/m2
Instalacje	0.25 kN/m2
Sufity	0.1 kN/m2

Obciążenia zmienne różnią się w zależności od sposobu użytkowania – różne wartości są stosowane dla hal produkcyjnych czy magazynowych, na przykład EN 1991-1-1 prezentuje minimalne obciążenia zmienne w zależności od przeznaczenia budynku. Dla biur typowe obciążenie zmienne to 3 kN/m^2. Dodatkowo o 1 kN/m^2 może być zwiększone w przypadku demontowanych ścianek działowych. Dla obszarów magazynowych wyższa wartość 5 kN/m^2 może być zastosowana.

4.2.2 Projektowanie instalacji w stropie

Większość budynków komercyjnych wymaga wentylacji mechanicznej lub klimatyzacji. Ma to znaczenie kluczowe, gdyż wpływa to na rodzaj i rozmieszczenie poszczególnych elementów konstrukcji. W zasadzie należy wybrać albo zintegrowanie instalacji w konstrukcyjnej wysokości belek albo pod nią. Generalnie, strefa 450 mm pozwala na to, aby instalacje były ulokowane pod belkami. Dodatkowe 15-200 mm dopuszcza się dla ochrony pożarowej oraz oświetlenia, a także i 25-50 mm na ugięcia.

Rysunek 12 przedstawia różne formy zintegrowania konstrukcji z instalacjami, gdzie zakres strefy konstrukcyjnej to '1', a strefy instalacji to '2'. Koncepcje te zawierają całkowite oddzielenie stref instalacji i konstrukcji (Rysunek (a)), częściowe rozdzielenie, gdzie niektóre instalacje przechodzą przez otwory w środniku belek, (Rysunek 12(b)) oraz całkowitą integrację instalacji i konstrukcji, gdzie instalacje całkowicie mieszczą się w strefie konstrukcyjnej (Rysunek 12(c)).



Legenda
1. Konstrukcja
2. Strefa instalacji

Rysunek 12 Rodzaje integracji części konstrukcyjnej z instalacyjną

4.2.3 Belki zespolone o małych rozpiętościach bez otworów w środnikach oraz płyty zespolone

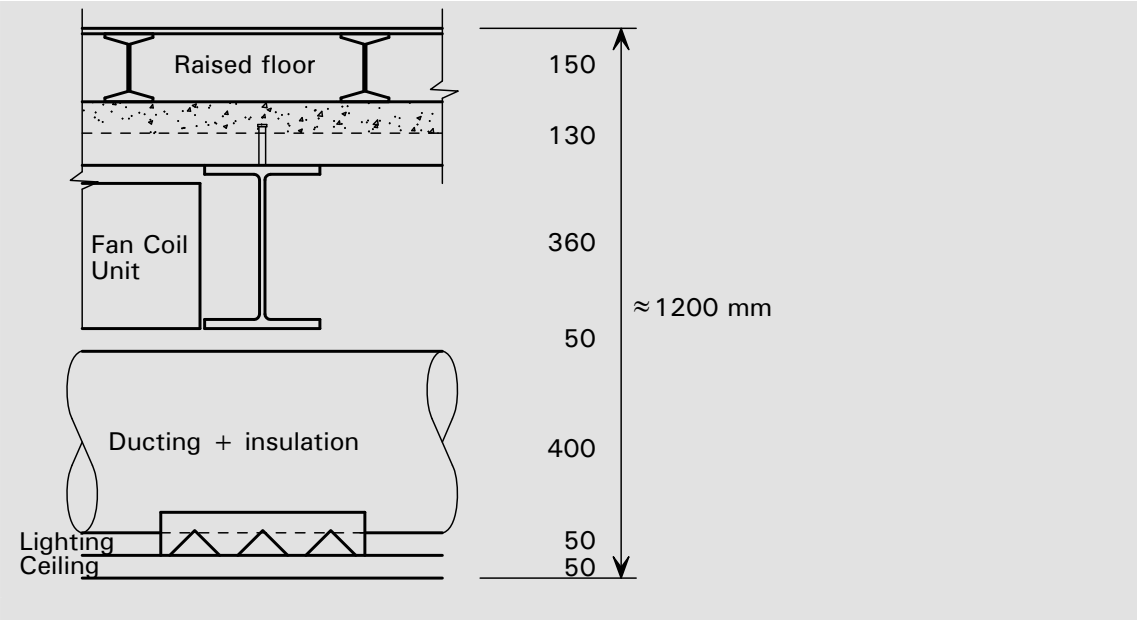
Belki i płyty zespolone na stalowej blasze trapezowej i betonem wylewanym na budowie są powszechnie stosowane w ramach stalowych budynków komercyjnych. Mała rozpiętość belek do 7.5 m daje stosunkowo małą wysokość stropu bez konieczności przechodzenia instalacji przez otwory w środnikach belek.

Płyty zespolone z blachą o wysokości pomiędzy 50 - 80 mm, odpowiednie dla budynków mieszkalnych mają także zastosowanie w budynkach komercyjnych. Dane szczegółowe co do możliwości rozpiętości są zaprezentowane w tej części opracowania. Jednakże wymagania akustyczne nie są tak surowe jak w przypadku budynków komercyjnych, dlatego też specyficzne traktowanie stropu konieczne dla budynków mieszkalnych może zostać tu pominięte. Możliwości rozpiętości blachy oraz płyty zespolonej można sprawdzić w Tabeli 2 i 3. Rozpiętości płyty od 3 do 4 m są najpowszechniejsze, co daje typową grubość płyty od 130 do 150 mm. Odległości pomiędzy belkami drugorzędnymi powinny być na tyle małe, żeby uniknąć podparcia

blachy, gdyż podparcie to może być drogie i kłopotliwe na budowie. Belki brzegowe można zaprojektować jako niezespolone, choć mogą być wymagane trzpienie, żeby przenieść obciążenia wiatru na strop oraz żeby strop działał jako duża przepona.

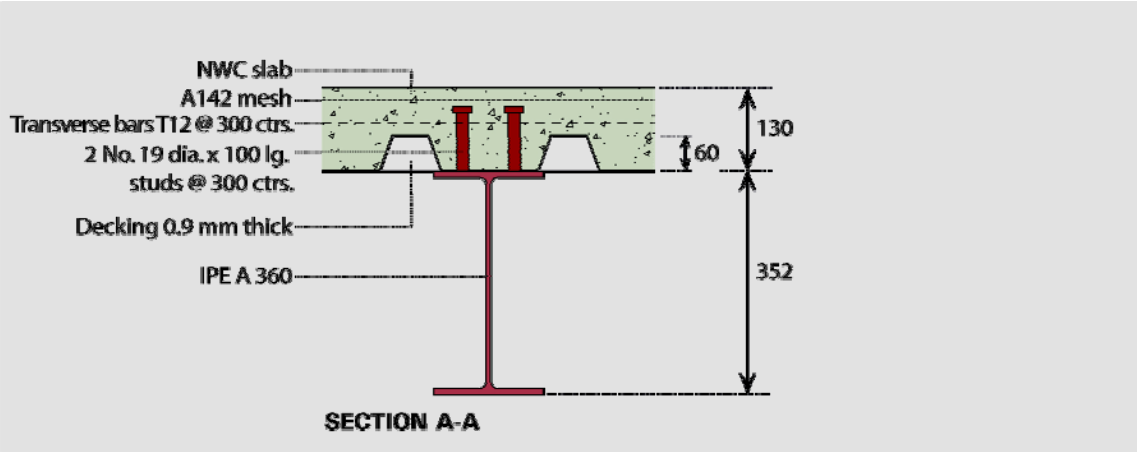
Siatka zbrojeniowa umieszczona jest w płycie, aby polepszyć ochronę ogniową, działać jako wzmocnienie poprzeczne i żeby zminimalizować pękanie. Rozmiar siatki zależy od wymogów wytrzymałości ogniowej oraz od tego czy płyta jest lub nie podpierana. W Wielkiej Brytanii często używa się betonów lekkich dla konstrukcji zespolonych, jednak nie jest on wszędzie dostępny w Europie.

Dla głównych i drugorzędnych belek o rozpiętości 6-7.5 m, typowa wysokość belki wynosi 300-350 mm, z całkowitą strefą stropu 800 mm z lekkimi instalacjami oraz około 1200 mm, licząc 400 mm na przewody klimatyzacyjne – patrz Rysunek 13.



Rysunek 13 Całkowity przekrój stropu – typowa konstrukcja zespolona o małej rozpiętości

Typowa siatka układu belek dla budynków komercyjnych jest pokazana na Rysunku 14.



Rysunek 14 Belka zespolona o małej rozpiętości – przykład układu stropu dla 4-piętrowego prostokątnego planu budynku

Typowa ochrona ogniowa wynosi:

Farba pęczniejąca: 1.5 mm grubości do 90 minut wytrzymałości ogniowej
Płyta: 15 - 25 mm grubości do 90 minut wytrzymałości ogniowej

Zalecana strategia projektowania

W celu osiągnięcia najekonomiczniejszej konstrukcji należy:

- Założyć grubość betonowej płyty130-150 mm.
- Założyć użycie drugorzędnych belek S275 o rozpiętości 6-15 m przy odległości pomiędzy nimi 3.0 m oraz użycie głównych belek S355 o rozpiętości równej 2-3 razy odległości belek drugorzędnych.
- Wybrać wysokość i grubość blachy oraz zbrojenie, żeby spełnić wymagania co do obciążenia i wytrzymałości ogniowej dla rozpiętości (nie wymagającej wsparcia) – używając tabel projektowych i oprogramowania.
- Założyć, iż grubość drugorzędnych belek równa się rozpiętości/24, a grubość belek głównych równa się rozpiętości/18.
- Przyjąć odległość pomiędzy trzpieniami 300 mm w przypadku belek drugorzędnych oraz 150 mm dla belek głównych.

4.2.4 Belki zespolone o dużej rozpiętości z otworami w środniku oraz z płytami zespolonymi

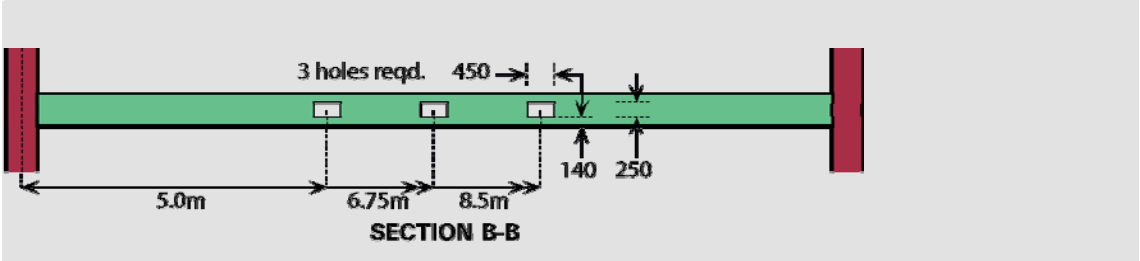
Belki zespolone o dużej rozpiętości zapewniają efektywne rozwiązanie stropu z ogromną przestrzenią wolną od słupów. Instalacje mogą przechodzić przez otwory w środniku, co minimalizuje wysokość strefy stropu. Konstrukcja składa się z belek zespolonych z profilów walcowanych lub blachownic podtrzymujących płytę zespoloną. Siatki słupów są ułożone albo z belkami drugorzędnymi o dużej rozpiętości sięgającej 9 do 15 m (typowo) przy rozpięciu płyt od 3 m do 4 m, wspieranymi przez belki główne o małej rozpiętości od 6 do 7.5 m, albo też z belkami drugorzędnymi o małej rozpiętości (6-9 m), opartymi na belkach głównych o dużej rozpiętości. Płyty zespolone tak jak dla belek zespolonych o małej rozpiętości tak i, jak uprzednio, dla belek drugorzędnych, powinny być ułożone w na tyle małej odległości między sobą, aby uniknąć podpierania montażowego blachy.

Otwory w środniku mogą być o kształcie okrągłym, prostokątnym lub wydłużonym i mogą one osiągać do 80% grubości belki. Otwory powinny się znajdować w miejscach o niewielkich siłach ścinających, a wzmocnienia środnika mogą być wymagane wokół dużych otworów. Zwykle posiadają one stosunek długości do grubości 3.5.

Typowa wysokość strefy stropu wynosi 1000 mm przy rozpiętości 13.5 m (wysokość otworów 350 mm) i 1100 mm przy rozpiętości 15 m (z wysokością otworów 400 mm).

Ochronę ogniową mogą stanowić obudowa z płyt gipsowych lub farby pęczniejące. Farby pęczniejące mogą być nałożone poza placem budowy jako pojedyncze przykrycie do 1.8 mm grubości, żeby osiągnąć 90 minut wytrzymałości ogniowej.

Przykład siatki słupów używającej belek drugorzędnych o dużej rozpiętości wraz z otworami w środnikach jest pokazany na Rysunku 15.



Rysunek 15 Belki zespolone o dużej rozpiętości (z otworami)

Zalecana strategia projektowania

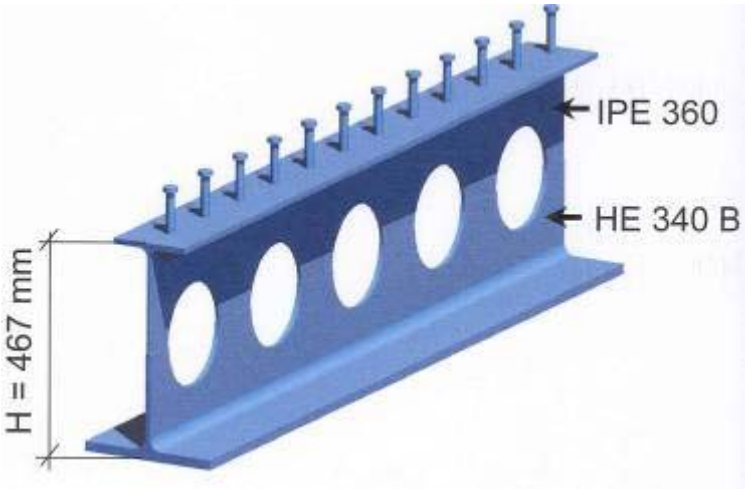
Aby otrzymać najbardziej ekonomiczną konstrukcję należy:

- Przyjąć grubość płyty betonowej 130-150 mm.
- Przyjąć belki drugorzędne S275 o rozpiętości 9-15 m w odległości 3-4 m i belki główne S355 o rozpiętości 6-9 m.
- Wybrać wysokość i grubość blachy oraz zbrojenie, żeby spełnić wymagania co do obciążenia i wytrzymałości ogniowej dla rozpiętości (nie wymagającej wsparcia) – używając tabel projektowych i oprogramowania.
- Założyć, iż grubość drugorzędnych belek równa się rozpiętości/22, a grubość belek głównych równa się rozpiętości/18.
- Przyjąć odległość pomiędzy trzpieniami 300 mm w przypadku belek drugorzędnych oraz 150 mm dla belek głównych.

4.2.5 Zespolone belki ażurowe i płyty zespolone

Nowoczesne technologie cięcia blach oraz techniki produkcyjne wykorzystywane są do produkcji belek z powtarzającymi się otworami o regularnym kształcie na całej ich długości. Chociaż już w przeszłości produkowano belki z sześciokątnymi otworami, to dziś nowoczesne techniki pozwalają otrzymać okrągłe, prostokątne i wydłużone otwory. Belki są znane są jako belki ażurowe i stały się one bardzo popularne w konstrukcjach o dużej rozpiętości ze względu na możliwość tworzenia efektywnych, regularnych otworów przeznaczonych dla okrągłych przewodów oraz ze względu na ich atrakcyjną estetykę.

Belki ażurowe mogą być produkowane poprzez automatyczne cięcie i ponowne spawanie walcowanych elementów lub poprzez bezpośrednią produkcję z blach. Użycie procesu cięcia i ponownego spawania umożliwia tworzenie belek z elementów o różnych rozmiarach, aby otrzymać największą efektywność. Jednakże zakres kształtów i odległości regularnych otworów w belce jest ograniczony przez proces cięcia i ponownego spawania. Przykład belki ażurowej utworzonej z dwóch różnych elementów jest pokazany na Rysunku 16.



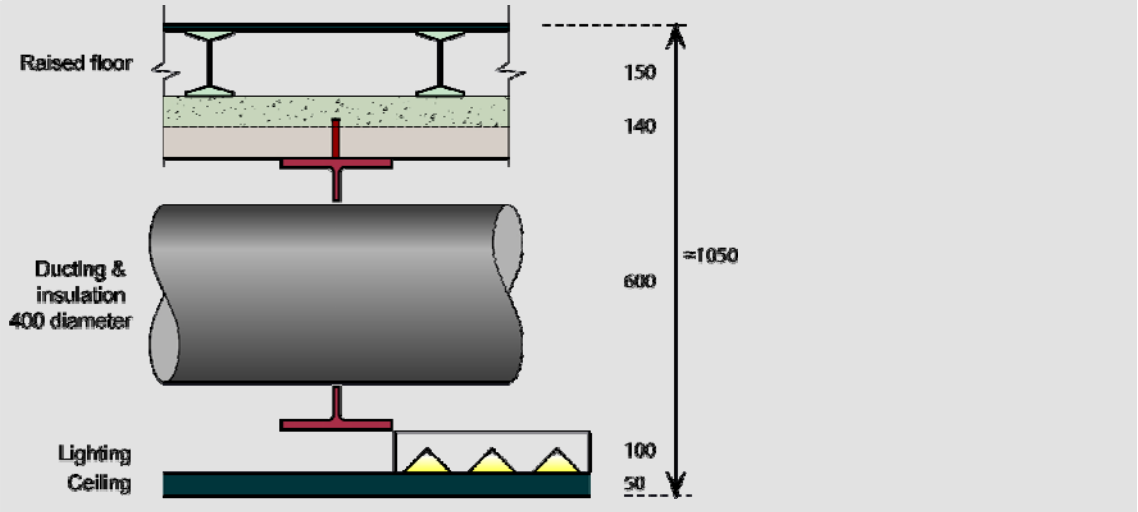
Rysunek 16 Niesymetryczna zespolona belka ażurowa

Otwory mogą być wypełnione blisko podpór lub w miejscu sił skupionych, gdzie występują duże siły ścinające. Wydłużone otwory mogą być stosowane w belce o niskich wartościach sił ścinających. Dodatkową cechą procesu ścinania i ponownego spawania jest to, że belki mogą być wstępnie wygięte bez dodatkowych kosztów. Dlatego całkowity limit ugięcia wynikający ze stanów granicznych użytkowania nie musi być krytyczny, co prowadzi do lżejszej belki niż jest osiągalna w innych schematach belek o dużej rozpiętości.

Regularne otwory w środniku umożliwiają przewodom przechodzenie przez belki, jak widać na Rysunku 17. Większe przewody instalacyjne znajdują się pod belkami. Otwory mogą mieć od 60 do 80% wysokości belki, a kształty otworów powinny umożliwić izolację wokół rur instalacyjnych. Wydłużone otwory mogą wymagać wzmocnień. Produkcja powinna być zaaranżowana tak, aby zapewnić otworom równomierne rozłożenie na belce.

Rysunek 17 Drugorzędne belki ażurowe o dużej rozpiętości z przewodami przechodzącymi przez okrągłe otwory

Typowa strefa stropu ma wysokość od 1000 do 1200 mm. Wysokość ta może mieć 1000 mm dla belek o rozpiętości 15 m z regularnymi otworami o średnicy 400 mm i jest niższa niż w przypadku, kiedy przewody przechodzą pod belką – jak widać na Rysunku 18.



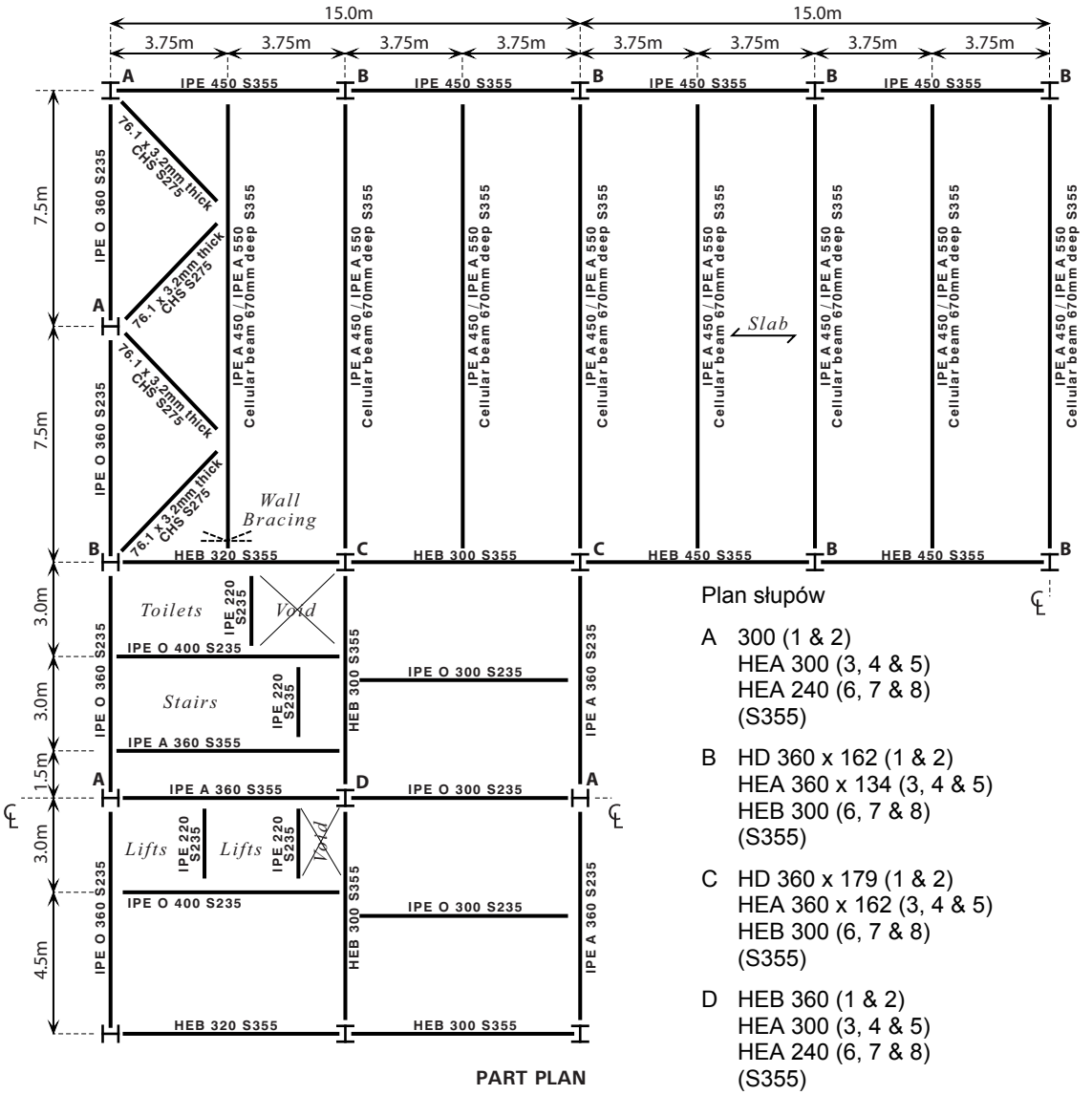
Rysunek 18 Belka ażurowa – typowy przekrój pokazujący zintegrowanie instalacji w wysokości belki

Belki ażurowe mogą być ułożone jako drugorzędne belki o dużej rozpiętości, podtrzymujące bezpośrednio płytę stropową lub jako belki główne o dużej rozpiętości podtrzymujące inne belki ażurowe lub profile dwuteowe belek drugorzędnych. Typowy zakres rozpiętości to 10-18 m dla belek ażurowych, będących belkami drugorzędnymi ułożonymi w odległości 3 m do 4 m lub 9-12 m, gdy są belkami głównymi. Belki drugorzędne musza być ułożone na tyle blisko, żeby uniknąć podparcia blachy.

Typowa wysokość przekroju stalowego wyrażona jest stosunkiem długości przęsła przez 22 dla belek drugorzędnych oraz stosunkiem długości przęsła przez 18 dla belek głównych. Stal S355 jest preferowana dla belek ażurowych z powodu efektu wysokich naprężeń wokół otworów.

Belki ażurowe nadają się idealnie do ochrony ogniowej przez natryskiwanie warstwy pęczniejącej na budowie lub poza nią. Nakładanie warstwy pęczniejącej może być droższe, ale gwarantuje oszczędność czasu podczas konstrukcji oraz lepszą kontrolę jakości grubości warstwy. Warstwa farby pęczniejącej o grubości 1.5 do 2 mm może być nakładana na budowie. Dla belek ażurowych wymagana jest większa ochrona ogniowa niż ta w opowiadających im profilów stalowych bez otworów.

Typowy rozkład konstrukcji z belkami ażurowymi o dużej rozpiętości pokazany jest na Rysunku 19.



Rysunek 19 Belki ażurowe (jako belki drugorzędne o dużej rozpiętości) – przykład konstrukcji stalowej w narożniku 8 piętrowego budynku z atrium

Zalecana strategia projektowania

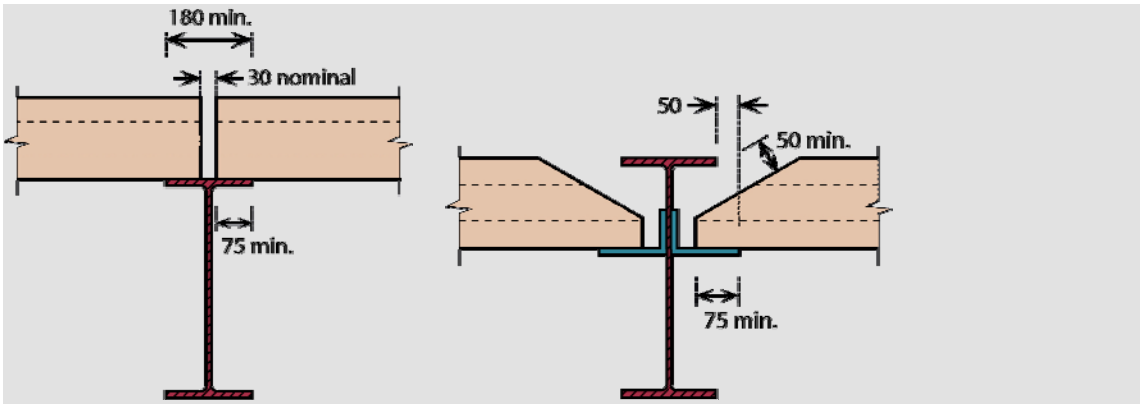
Aby otrzymać najbardziej ekonomiczną konstrukcję należy:

- Przyjąć grubość płyty betonowej 130-150 mm.
- Przyjąć belki drugorzędne S355 o rozpiętości 10-18 m w odległości 3-4 m i belki główne S355 o rozpiętości 6-9 m.
- Wybrać wysokość i grubość blachy oraz zbrojenie, żeby spełnić wymagania co do obciążenia i wytrzymałości ogniowej dla rozpiętości (nie wymagającej wsparcia) – używając tabel projektowych i oprogramowania.
- Założyć, iż grubość drugorzędnych belek równa się rozpiętości/22, a grubość belek głównych równa się rozpiętości/18.
- Przyjąć odległość pomiędzy trzpieniami 300 mm w przypadku belek drugorzędnych oraz 150 mm dla belek głównych.

4.2.6 Podciągi niezespolone z elementami prefabrykowanymi

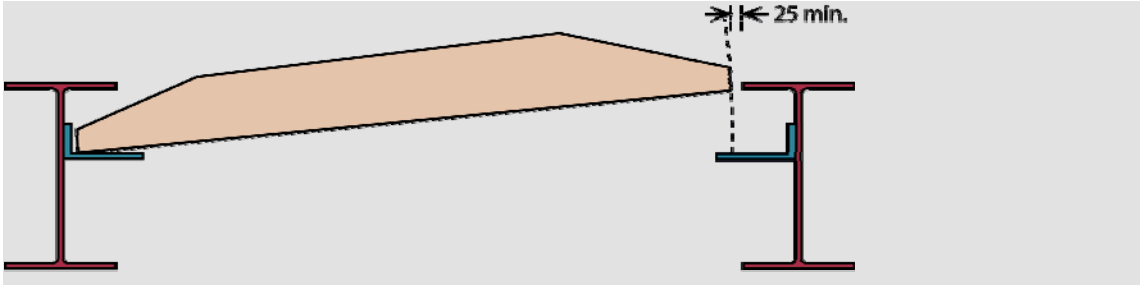
System belek niezespolonych i elementów prefabrykowanych używanych w budynkach mieszkalnych (opisanych w części 3.2.3) może być również stosowany w budynkach komercyjnych, choć tu rozpiętości będą większe. Elementy prefabrykowane mogą być podparte na górnej półce stalowych belek lub na ‘półce’ kątowników. Półki kątowników są mocowane na śruby lub przyspawane do środnika belki, z wystającą półką poziomą o wymiarach zapewniających nośność elementu prefabrykowanego oraz umożliwiającą łatwy montaż, jak pokazano na Rysunku 20. Długość elementów powinna być tak dobrana, aby uzyskać 25 mm wolnej przestrzeni podczas układania płyty (Rysunek 21). Minimalna zalecana szerokość górnej półki dwuteownika to 180 mm, żeby umożliwić bezpieczną nośność układanych na nim elementów. Wartość rozpiętości przedstawiona jest w Tabeli 7. Dla typowej siatki całkowita wysokość stropu wynosi w przybliżeniu 800 mm, włączając sufit podwieszony.

Przekroje belek będą większe od belek zespolonych, a typowy stosunek rozpiętości do grubości to 15. Minimalny rozmiar dla odpowiadającej nośności to IPE 400. Tak jak z belkami zespolonymi będzie miało miejsce silne skręcanie na etapie konstrukcji i dlatego tymczasowe stężenia mogą być konieczne, żeby zapobiec zwichrzeniu. Połączenia powinny mieć blachy czołowe na pełną wysokość przekroju.



(a) Units sitting on downstand beam (b) Units sitting on shelf angle beam

Rysunek 20 Konstrukcja stropu z prefabrykowanymi elementami betonowymi w konstrukcjach niezespolonych



Rysunek 21 Wymagania odnośnie nośności i montażu dla elementów prefabrykowanych opartych na półkach z kątownika

Typowe rozpiętości prefabrykowanych płyt kanałowych przedstawione są w Tabeli 7.

Tabela 7 Typowe rozpiętości płyt kanałowych

Wysokość płyty kanałowej (mm)	Rozpiętość (m)	Obciążenie zmienne (kN/m^2)
150	6	3.5
200	7.5	3.5
250	9	5.0

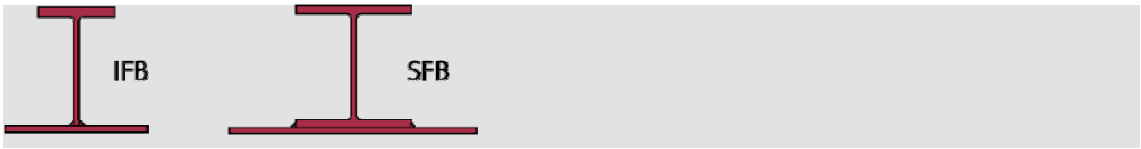
Zalecana strategia projektowania

Aby otrzymać najbardziej ekonomiczną konstrukcję należy:

- Wybrać siatkę o rozpiętości 6.0 do 7.5 m.
- Wybrać elementy prefabrykowane, używając danych producenta w celu otrzymania odpowiedniej wytrzymałości ogniowej; zwykle 150 i 200 mm grubości dla rozpiętości odpowiednio 6.0 m i 7.5 m.
- Rozważyć rozwiązanie z półkami z kątowników, jeśli wysokość stropu jest kryterium decydującym.
- Zaprojektować belki na podstawie stosunku rozpiętości do grubości wynoszącym 15 i minimalnej szerokości półki 180 mm (min IPE 400)
- Sprawdzić warunki zwichrzenia belek podczas montażu elementów prefabrykowanych, ewentualnie zastosować tymczasowe stężenia.

4.2.7 Belki zintegrowane i belki typu „slimfloor" z płytami zespolonymi lub elementami prefabrykowanymi

Stropowe belki zintegrowane znajdują zastosowanie zarówno w budynkach przemysłowych jak i mieszkalnych. Są to niskie systemy stropowe zawierające belki asymetryczne podtrzymujące prefabrykowane elementy betonowe, jak płyty kanałowe lub płyty żelbetowe na blasze trapezowej. Belki wytwarza się używając profilów teowych, powstałych przez rozcięcie profili IPE lub HE oraz przyspawanie do środnika profilu teowego blachy (IFB) lub poprzez dodanie dodatkowej półki do dwuteownika (SFB), jak pokazano na Rys. 22.



Rysunek 22 Typowe stropowe belki zintegrowane

Opcje tego systemu wyjaśnione są w Rozdziale 3.2.4 dotyczącym belek zintegrowanych dla budynków mieszkalnych. Informacje te mają także zastosowanie do budynków komercyjnych z wyjątkiem warstw akustycznych powyżej konstrukcji podłogi, gdyż podobne wymagania nie są wymagane dla takich budynków.

Sugerowana strategia projektowa

W celu zaprojektowania konstrukcji optymalnej pod względem ekonomicznych:

- Projektuj rozkłady belek w taki sposób, by ich wysokość wynosiła ok. 250 do 350 mm.
- Jeśli używane są elementy prefabrykowane, zaleca się, by miały rozpiętość 6.0-7.5 m i zapewniały w ten sposób kompatybilność wysokości belki i płyty (zwykle oznacza to, że rozpiętość płyty będzie większa niż rozpiętość belki). Wykończenie warstwą betonu zalecane jest w celu uzyskania dobrych właściwości dynamicznych.
- Jeśli używane są zespolone płyty stropowe o dużej wysokości, należy (optymalna sytuacja) limitować ich rozpiętość do 6.0 m w celu uniknięcia podpierania montażowego oraz zapewnić 70-90 mm wierzchniej warstwy wylewki betonowej. Stosunek rozpiętości do wysokości przekroju powinien wynosić 20-23.
- Projektuj belki skrajne jako niezespolone podciągi jeśli pozwoli na to architektura, w innych przypadkach zalecane są blachownice z dodatkową przyspawaną blachą w celu lepszej wytrzymałości na skręcanie w fazie konstrukcyjnej.
- Zastosuj przekroje typu T-odwrócone jako przekroje słupów.

4.3 Dach

Typy dachów w budynkach przemysłowych cechują się dużą różnorodnością. Popularne są dachy płaskie, które pozwalają na łatwy dostęp oraz na stosowanie stropu na konstrukcji stalowej z płytą zespoloną. Lekkie konstrukcje są zwykle stosowane dla fabryk, cięższe belki znajdują się w miejscach, gdzie należy podtrzymać wyposażenie. Dachy ze spadkiem lub mansardowe są również popularne – patrz Rysunek 29 (g). Oczywiście wiele jest wariacji związanych z kształtem dachu w celu uzyskania odpowiedniego efektu architektonicznego.

4.4 Bezpieczeństwo pożarowe

Środki bezpieczeństwa pożarowego są zwykle bardziej restrykcyjne dla budynków komercyjnych niż mieszkalnych, ponieważ czas trwania pożaru jest dłuższy (od 60 do 120 minut).

Konstruktor powinien uwzględnić bezpieczeństwo pożarowe już podczas ustalania konfiguracji konstrukcji. Następujące kwestie wymagają szczególnej uwagi:

- Drogi ewakuacyjne,
- Wielkość pomieszczeń (stref pożarowych),
- Dostępność oraz urządzenia związane z interwencją straży pożarnej,

- Limitowanie rozprzestrzeniania się ognia,
- Kontrola zadymienia oraz ewakuacja dymu,
- Zastosowanie tryskaczy w celu zabezpieczenia przed ogniem oraz zmniejszenia intensywności pożaru,
- Strategia stosowania pasywnych metod ochrony pożarowej.

Zachowanie konstrukcji w przypadku pożaru powinno być zgodne wymaganiami normowymi, zwykle wyrażone czasem, jaki elementy konstrukcyjne powinny wytrzymać podczas ekspozycji na ogień. Alternatywą do tego podejścia jest tzw. inżynieria bezpieczeństwa pożarowego, która bada bezpieczeństwo pożarowe całego budynku, zakładając rozwój ognia naturalnego oraz uwzględniając sposób użytkowania budynku i aktywne metody ochrony pożarowej.

W szczególności inżynier projektujący konstrukcję powinien uwzględnić:

- Możliwość zastosowania stali bez zabezpieczenia pożarowego dzięki analizie inżynierii bezpieczeństwa pożarowego, zakładając rozwój pożaru według krzywych ognia naturalnego,
- Systemy takie jak słupy wypełnione betonem lub belki zintegrowane, które nie wymagają dodatkowej ochrony pożarowej,
- Rozwiązania zabezpieczające stosowane w wytwórni konstrukcji, np. farby pęczniejące,
- Wpływ zastosowanej na budowie ochrony pożarowej na harmonogram plac budowlanych,
- Zastosowanie widocznej konstrukcji stalowej przy odpowiednim zastosowaniu systemu ochrony pożarowej.

Rozwiązania z mniejszą liczbą belek, ale o większych przekrojach mogą dawać oszczędności w kosztach ochrony przeciwpożarowej.

5 BUDYNKI PRZEMYSŁOWE O RAMOWEJ KONTRUKCJI STALOWEJ

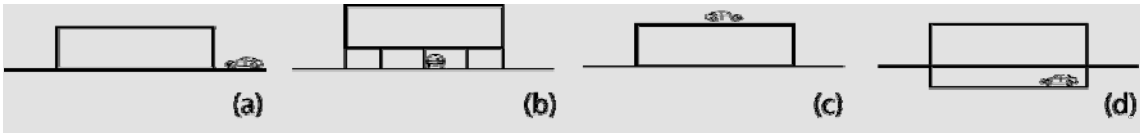
5.1 Koncepcja projektowania oraz formy budynków przemysłowych

Projektowanie rozwiązania konstrukcyjnego dla parterowego budynku jak hala przemysłowa, bardziej zależy od sposobu użytkowania oraz przyszłych potrzeb rozwiązania przestrzeni niż od typu budynku (przemysłowy, mieszkalny). Chociaż oba te typy muszą być z założenia funkcjonalne, to pozostają pod silnym wpływem wymagań architekta związanych z wymogami planistycznymi czy branżą klienta. Przed przystąpieniem do ostatecznego projektowania konstrukcji istotne jest rozważenie wielu aspektów, w tym:

- Optymalizacja przestrzeni użytkowej,
- Prędkość wznoszenia konstrukcji,
- Drogi dostępu/ewakuacyjne i bezpieczeństwo,
- Możliwość adaptacji wnętrza,
- Standardyzacja elementów,
- Infrastruktura,
- Zintegrowanie mediów,
- Umiejscowienie w krajobrazie, ukształtowanie otoczenia,
- Efekt estetyczny i wizualny,
- Izolacja akustyczna,
- Odporność na warunki pogodowe,
- Bezpieczeństwo pożarowe,
- Żywotność budynku,
- Kwestie ekorozwoju,
- Możliwość recyklingu, okres życia budynku.

Waga każdego z tych elementów zależy od typu budynku. Na przykład wymogi dla centrum dystrybucji będą inne niż dla jednostki produkcyjnej.

W strefach gęstego zaludnienia, forma konstrukcji może silnie zależeć od wymogów parkowania, w szczególności potrzeby umieszczenia miejsc parkingowych w budynku. Różne propozycje rozwiązań dla miejsc parkingowych pokazane są na Rys. 23, gdzie wygodne rozwiązanie parkingu zewnętrznego pokazane jest w (a), a pozostałe rozwiązania parkingu w ramach budynku widoczne są na (b), (c) i (d).



Rysunek 23 Opcje projektowe dla parkingów

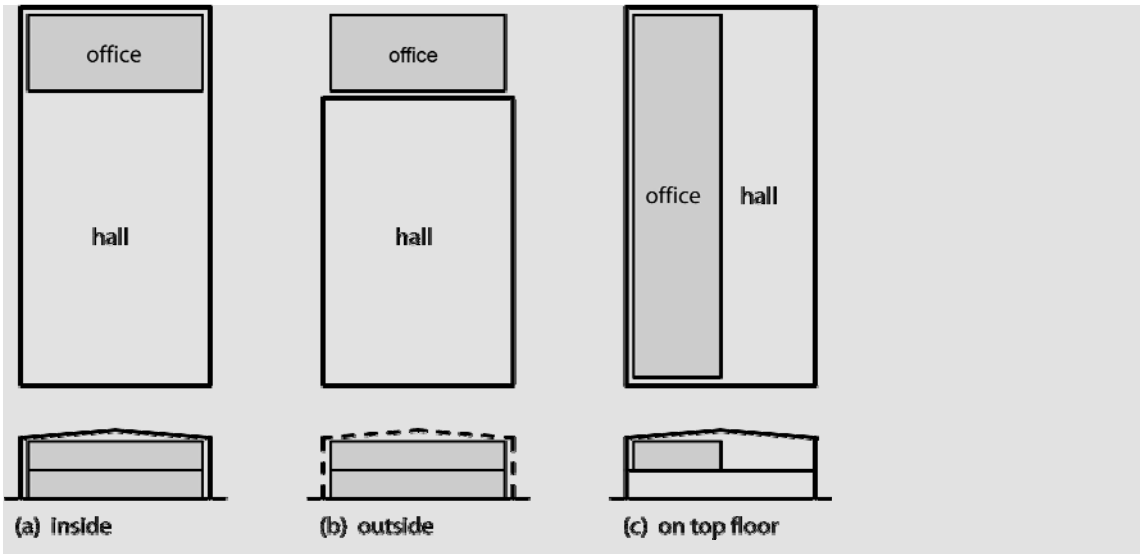
Coraz więcej dużych budynków przemysłowych jest projektowanych dla różnorodnych celów, tj. w większości przypadków przestrzeń biurowa jest zintegrowana z pomieszczeniem dla pracowników. Są możliwe różne usytuowania dla tych dodatkowych pomieszczeń, przykłady są pokazane na Rysunku 24:

a) tworzy się oddzielne pomieszczenie wewnątrz dwupiętrowego budynku, oddzielone ścianami wewnętrznymi,

b) budynek biurowy jest budynkiem zewnętrznym bezpośrednio związanym z halą poprzez hol,

c) biuro zajmuje górne piętro dwupiętrowego budynku przemysłowego

Dlatego też przy projektowaniu należy wziąć pod uwagę specyfikę konstrukcji dla takich zastosowań oraz „fizykę" takiego budynku. Jeżeli pomieszczenie biurowe znajduje się na górnym piętrze budynku, wówczas może być ono zaprojektowane jako oddzielne pomieszczenie zawarte w obrębie konstrukcji budynku. W tym przypadku mogą zostać użyte systemy stropowe z budynków komercyjnych często opartych na konstrukcji zespolonej, np. zintegrowanych belkach stropowych. Innym rozwiązaniem jest dołączenie biura do głównej konstrukcji. To z kolei wymaga szczególnej uwagi jeśli chodzi o zapewnienie stabilności połączonym częściom budynku.

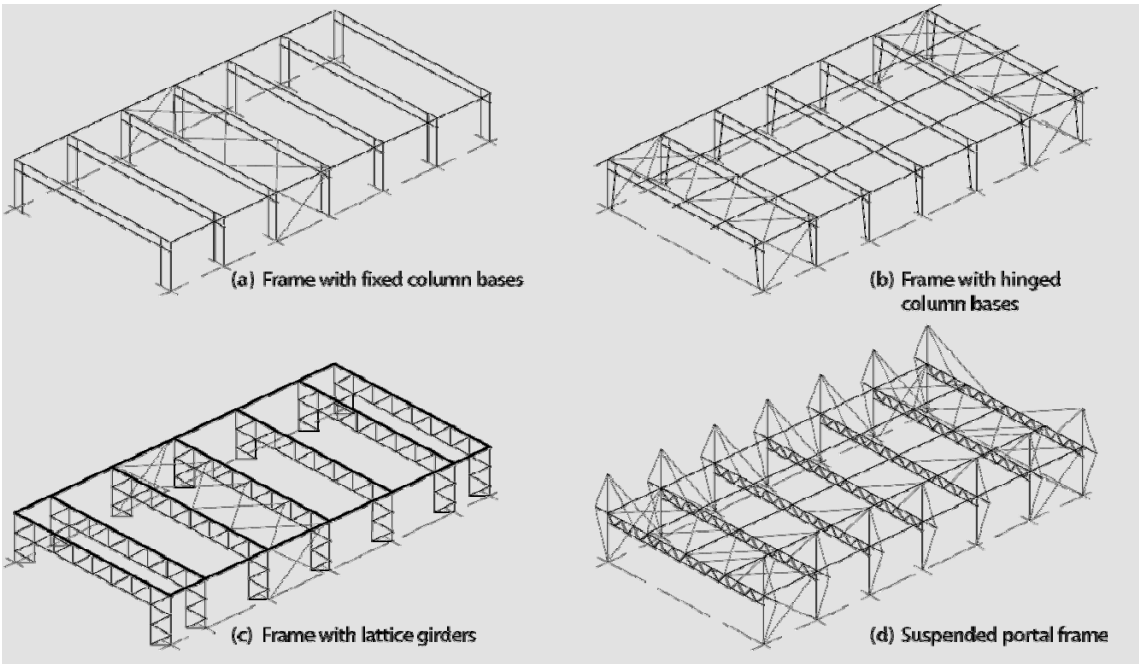


Rysunek 24 Opcje włączenia biura do budynku przemysłowego

Połączenie wizji architekta z funkcjonalnością budynku to główne zadania projektanta. Generalnie, budynek przemysłowy posiada duży prostokątny hol, którego dłuższe boki mogą być wydłużone. Budynki przemysłowe są projektowane jako pewnego rodzaju przestrzenie zamknięte, które zapewniają funkcjonalną przestrzeń dla różnych funkcji. Mogą one zawierać na przykład suwnice, wyposażenie podwieszone do dachu czy prowizoryczne powierzchnie biurowe na antresoli.

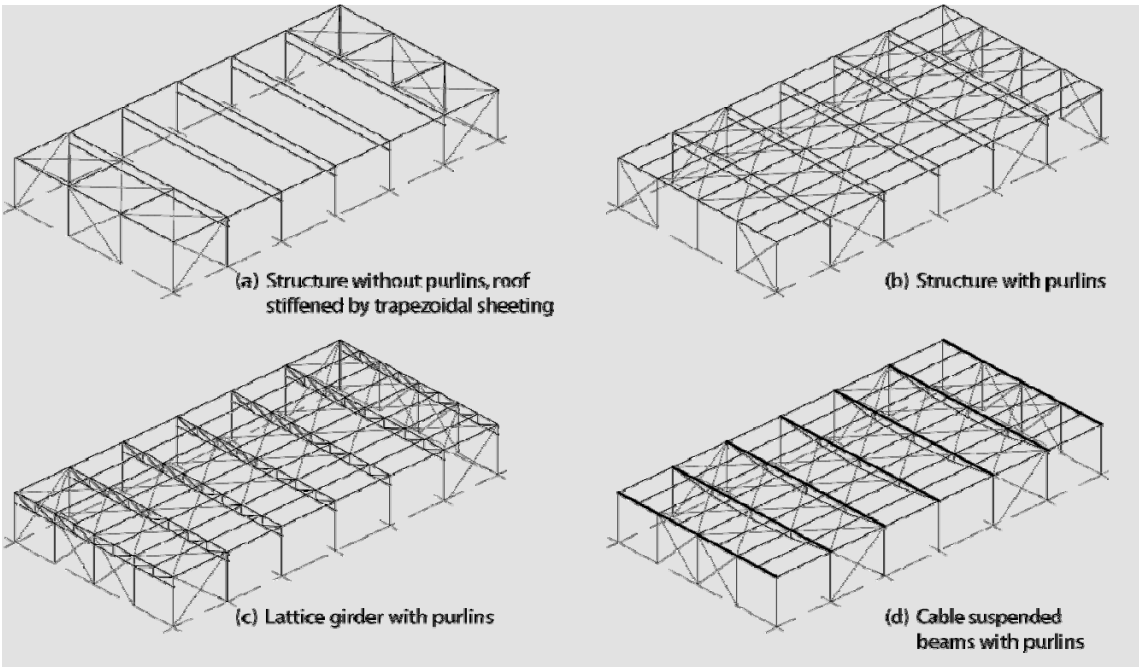
Najbardziej podstawowy system używany w budynkach przemysłowych składa się z dwóch słupów i belki. Ta konfiguracja może być modyfikowana na wiele sposobów używając różnego rodzaju połączeń między belkami a słupami oraz dla podstawy słupów. Najbardziej powszechnym typem konstrukcji w budynkach przemysłowych jest rama portalowa z przegubowymi podstawami słupów. Ramy portalowe zapewniają wystarczającą stabilność w płaszczyźnie i dlatego wymagają tylko stężeń dla stabilności w kierunku prostopadłym do płaszczyzny ramy. Konstrukcje słupowo-belkowe mają połączenia przegubowe i z tego względu wymagają zabezpieczenia zarówno w płaszczyźnie ramy i w kierunku prostopadłym do niej.

Rysunek 25 przedstawia różnorodność sztywnych konstrukcji ramowych z utwierdzoną (a) lub przegubową (b) podstawą słupa. Utwierdzona podstawa słupa stosowana jest przy zastosowaniu suwnic, jako że nie ograniczają one przemieszczenia pod wpływem działania sił poziomych. Przegubowa podstawa słupów zapewnia mniejsze fundamenty oraz prostsze połączenia. W przykładach (c) i (d), konstrukcja mieści się częściowo na zewnątrz budynku i dlatego szczegóły dotyczące przejścia przez obudowę budynku są szczególnie istotne. Każdy szczegół w tego rodzaju konstrukcji może być również użyty dla celów architektonicznych.



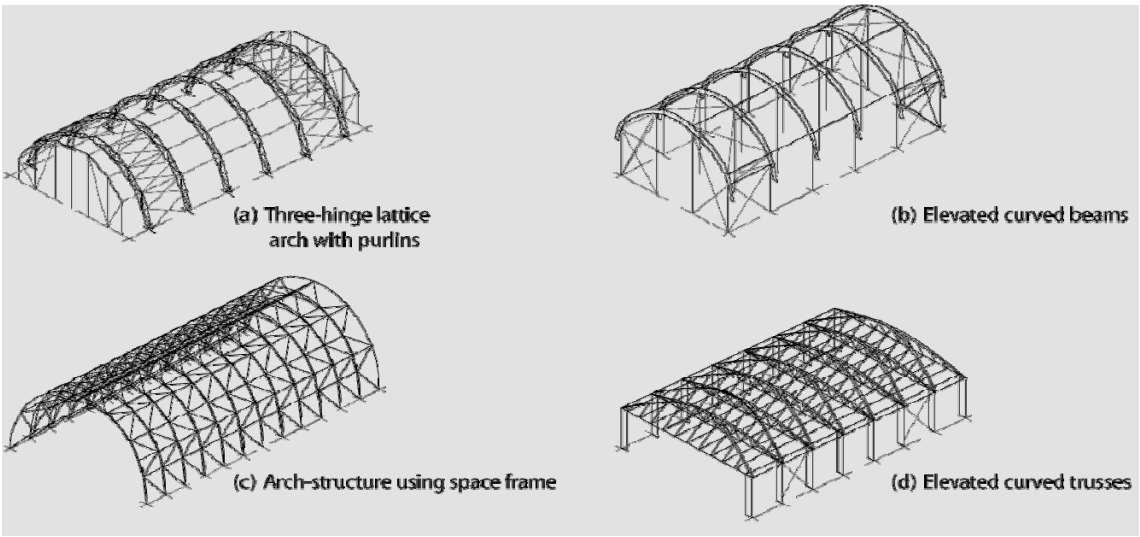
Rysunek 25 Przykłady konstrukcji o sztywnych ramach

Rysunek 26 ilustruje różne konstrukcje składające się z belek i słupów. Rysunek 26(a) przedstawia przykład konstrukcji bez płatwi, które są usztywniane przez oddziaływanie przepony dachu oraz stężenia w ścianach. Na Rysunku 26(b), płatwie zostały użyte i pokazują prosty projekt pokrycia dachowego ze zredukowaną ilością przęseł. Dach jest usztywniony poprzez stężenia i dlatego pokrycie podtrzymuje tylko siły pionowe. Konstrukcja bez płatwi oferuje przyjemniejszy wygląd od wewnątrz budynku. Rysunki 26(c) i (d) pokazują kratownice oraz podwieszane na linach belki, co jest korzystne, żeby otrzymać większe przęsła, a poza tym jest bardzo estetyczne.



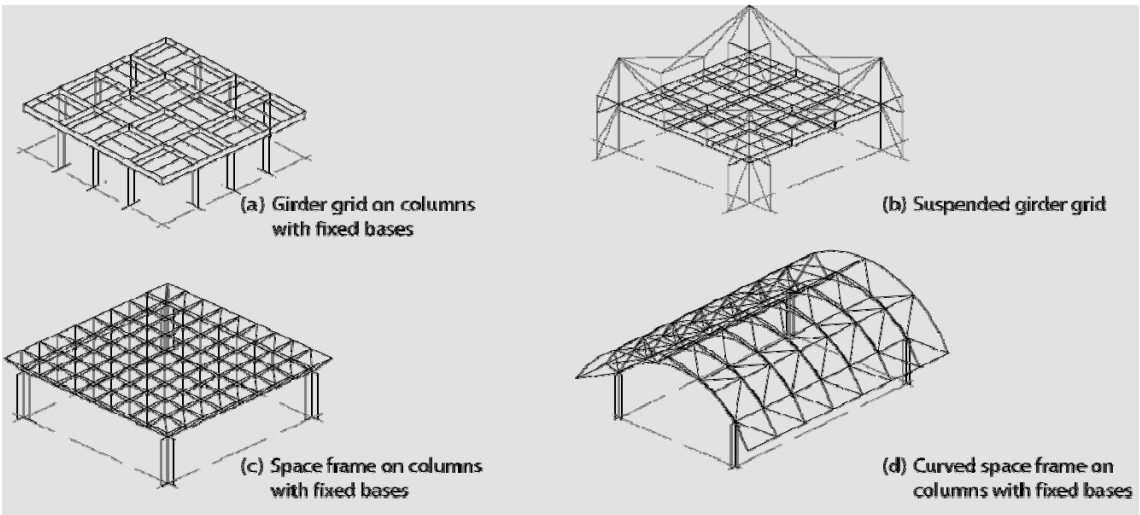
Rysunek 26 Przykłady konstrukcji belkowo-słupowych

Konstrukcje łukowe posiadają tę zaletę, że przenoszą obciążenia, a także są estetyczne. Rysunek 27(a) ilustruje budynek z trzema zawieszonymi łukami. Opcjonalnie konstrukcja może być wzniesiona na słupach, jak widać na Rysunku 27(b) lub zaprojektowana jako przestrzenna rama (c), zintegrowana z kratownicą, jak widać na Rysunku 27(d).



Rysunek 27 Przykłady konstrukcji łukowych

Budynki z konstrukcją stalową główną oraz elementami drugorzędnymi opisane powyżej są konstrukcjami działającymi w konkretnym kierunku, dla których siły przenoszone są po określonych ścieżkach obciążeń. Konstrukcje przestrzenne oraz kratownice przestrzenne są konstrukcjami bez takiego konkretnego kierunku; mogą one być wydłużone, choć będą wówczas ciężkie z powodu długich przęseł. Rysunek 28 pokazuje przykłady konstrukcji przestrzennych.



Rysunek 28 Przykłady konstrukcji przestrzennych o dużych rozpiętościach

5.2 Dachy spadziste i łukowe na ramach portalowych

5.2.1 Kształty ram portalowych

Stalowe ramy portalowe są powszechnie używane w większości krajów europejskich, ponieważ łączą one w sobie efektywność z funkcjonalnością. Różne konfiguracje ram portalowych mogą być zaprojektowane, używając tej samej koncepcji konstrukcji, jak pokazano na Rysunku 29. Wielonawowe ramy także mogą być zaprojektowane, co przedstawia Rysunek 29(e) i (f), używając albo pojedyncze albo pary słupów wewnętrznych.

Ramy portalowe muszą być wzmocnione w okapach. Jednakże, przez to wzmocnienie przestrzeń wewnątrz budynku traci na wysokości. Momenty zginające w słupach są zredukowane, choć dla nachyleń dachu poniżej 15° znaczne siły wystąpią w belkach i narożach.

Łukowe portale (patrz Rysunek 29(b)) są często stosowane dla efektów architektonicznych. Belka jest wyginana do promienia przez zginanie na zimno. Dla przęseł większych niż 16 m, wymagane są połączenia montażowe ze względu na ograniczenia transportu. Ze względów architektonicznych te połączenia mogą być tak zaprojektowane, aby nie rzucały się w oczy. Alternatywnie, tam gdzie dach musi być wygięty, natomiast sama rama jest prosta, belka może być prefabrykowana jako element prosty. Belki ażurowe są powszechnie używane w ramach portalowych jako elementy wygięte, ale wymaga to łączenia belek ze względu na transport. Efekt architektoniczny powinien być przy tym zachowany.

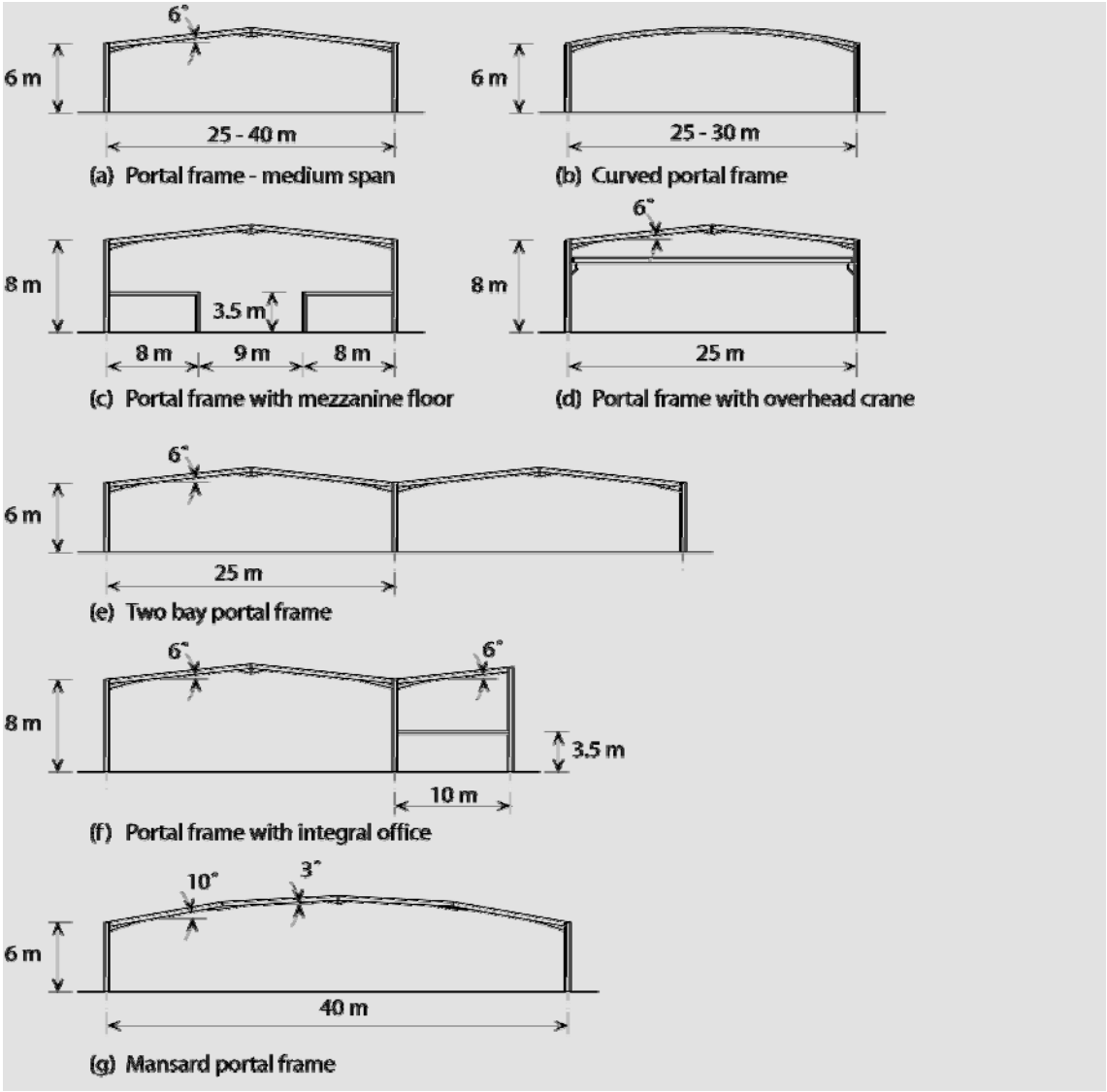
Pomieszczenie biurowe, będące antresolą, jest częstym rozwiązaniem w ramach portalowych (patrz Rysunek 29(c)). Antresola ta może być o całkowitej lub częściowej szerokości ramy. Projektuje się ją też, aby ustabilizować ramę. Często wewnętrzny strop wymaga dodatkowej ochrony ogniowej. Biura mogą też mieć miejsce na zewnątrz ramy portalowej, tworząc w ten sposób dodatkową część ramy (patrz Rysunek 29(f)). Główną zaletą tej ramy jest to, że słupy i belki skośne nie przeszkadzają, jeśli chodzi o przestrzeń biura. Generalnie, stabilność tej dodatkowej konstrukcji zależy od ramy portalowej.

Kiedy hala ma posiadać suwnicę, wówczas wpływa to w dużym stopniu na projekt i wymiary ramy portalowej, gdyż tworzy ona dodatkowe siły pionowe, ale także poziome.

To z kolei szczególnie wpływa na wielkość przekroju słupa. Kiedy suwnica jest relatywnie mała (do około 20 ton), wsporniki powinny być zamocowane do słupów, żeby ją podtrzymywać (patrz Rysunek 29(d)). Użycie blachownic pomiędzy wzmocnieniami naroża i utwierdzonymi stopami może być konieczne do zredukowania odchyleń w okapie. Wychylenie ramy na zewnątrz na wysokości ramienia suwnicy są kluczowe dla prawidłowego funkcjonowania urządzenia. W przypadku ciężkich suwnic właściwym jest podeprzeć szyny suwnicy dodatkowymi słupami dla lepszej ich stabilności. Mogą one być przymocowane do słupów ramy portalowej poprzez dodatkowe stężenia.

Mansardowa rama portalowa składa się z serii belek oraz naroży (jak na Rysunek 29(g)). Używa się jej kiedy jest wymagana duża rozpiętość a wysokość okapów budynku musi być jak najmniejsza. Dach mansardowy jest ekonomicznym rozwiązaniem, kiedy trzeba ograniczyć rozchodzenie się okapów.

Kiedy przęsło ramy portalowej jest większe niż 30 m, podparta rama portalowa redukuje wielkość belek, jak również sił poziomych w podstawie słupów, co prowadzi w efekcie do mniejszych kosztów związanych zarówno ze stalą jaki i fundamentami. Ten rodzaj ramy jest czasami nazywana “podpartym portalem jednoprzęsłowym”, jednak zachowuje się on jak dwuprzęsłowa rama portalowa pod względem działania belek.



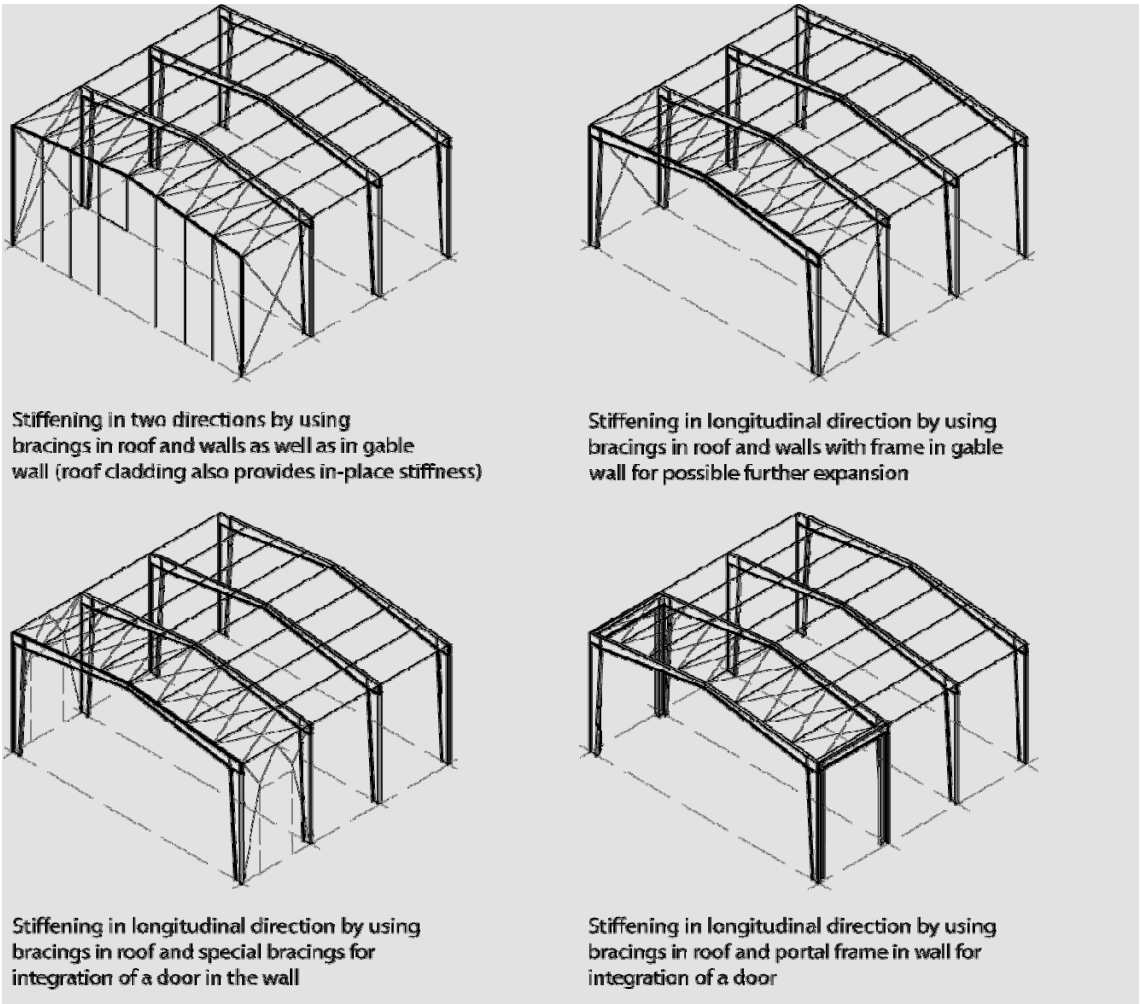
Rysunek 29 Różne typy ram portalowych

Oprócz podstawowej ramy stalowej, została rozwinięta szeroka gama drugorzędnych elementów, takich jak tworzonych na zimno płatwi, które także zapewniają stabilność konstrukcji. Te proste rodzaje systemów konstrukcyjnych mogą być tak zaprojektowane, aby były również architektonicznie atrakcyjne stosując np. elementy łukowe lub belki ażurowe.

Ramy portalowe zwykle obejmują słupy oraz poziome lub pochyłe belki połączone sztywno ze sobą. Ramy z przegubową podstawą słupa są preferowane, gdyż zapewniają one mniejszy rozmiar fundamentów w porównaniu do stóp utwierdzonych. Co więcej, węzeł utwierdzony jest droższy w wykonaniu. Z tego też względu takie rozwiązanie jest stosowane, gdy muszą być przeniesione duże siły poziome. Z kolei stopy przegubowe mają następującą wadę, mianowicie, prowadzą one do większego ciężaru stali przez mniejszą sztywność ramy i mniejszą reakcję na siły poziome i pionowe.

Sztywna rama jest stabilna we własnej płaszczyźnie i zapewnia pełne światło przęsła bez przeszkadzających stężeń. Stabilność jest tu osiągnięta przez sztywną ramę dzięki ciągłości połączeń, a to z kolei jest zapewnione dzięki wzmocnieniom naroży w okapach. Stateczność w kierunku prostopadłym w większości przypadków jest

zapewniana przez elementy dodatkowe jak wzmocnienia rurowe czy płatwie. Przykłady wzmocnienia dla ramy portalowej są przedstawione na Rysunku 30. Alternatywą dla stężeń może być blacha profilowana tworząca dach, użyta jako przepona, żeby zapewnić przeniesienia obciążenia na słupy. Ściany, rdzenie oraz użycie utwierdzonych słupów zapewniają stabilizację w zakresie wyboczenia z płaszczyzny ramy.



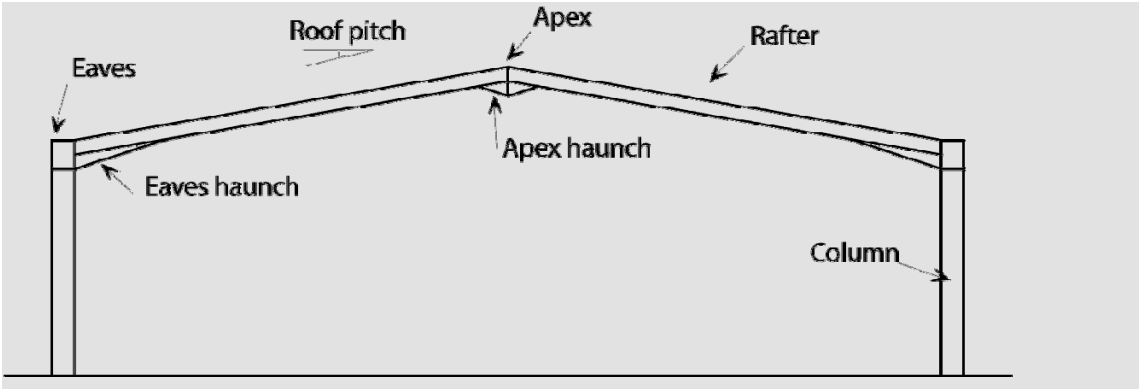
Rysunek 30 Przykłady stężeń dla ram portalowych

Przekrój stalowy użyty w ramach portalowych o przęsłach o długości od 12 m do 30 m jest przeważnie profilem walcowanym na gorąco ze stali typu S235, S275 czy nawet S355. Użycie wyższej klasy stali jest rzadko ekonomiczne w konstrukcjach, gdzie stan graniczny użytkowania lub kryteria stateczności decydują o projektowaniu przekrojów.

5.2.2 Rama portalowa o spadzistym dachu

Rama portalowa o spadzistym dachu jest najpowszechniejszą formą ramy portalowej, jest ona pokazana na Rysunku 31. Główne elementy oraz terminologia związana z tym rodzajem ramy przedstawia Rysunek 32. Użycie skosów w okapach i w wierzchołku zmniejsza wymaganą grubość belki oraz osiąga efektywne połączenia w tych punktach. Często wzmocnienie naroża wycięte jest z tego samego profilu co belka.

Rysunek 31 Wielonawowa hala z dachem spadzistym – w budowie



Rysunek 32 Terminologia dla ramy portalowej w hali o spadzistym dachu

Zalecana strategia projektowania

Aby uzyskać najbardziej ekonomiczną konstrukcję jednoprzęsłowej ramy portalowej o spadzistym dachu należy:

- Wybrać przęsło pomiędzy 15 m a 50 m (25 do 35 m jest najbardziej efektywny).
- Wybrać okap o wysokości pomiędzy 4 m a 10 m (5 m lub 6 m jest najpowszechniejszy).
- Wybrać spadek dachu pomiędzy 5% a 10% (5% lub 6% jest najpowszechniejszy).
- Ustalić odległość pomiędzy ramami około 5 m i 8 m (typowo 6 m, większe odległości są związane z większymi przęsłami).
- Użyć wzmocnienia w krokwiach, okapach i (jeśli to możliwe) w wierzchołku, aby uzyskać ekonomiczne połączenia.

Tabela 8 może służyć jako pomoc we wstępnym projektowaniu jednoprzęsłowych ram portalowych. Zakłada się, że ramy są w odległości 6 m, przy 5% spadku dachu.

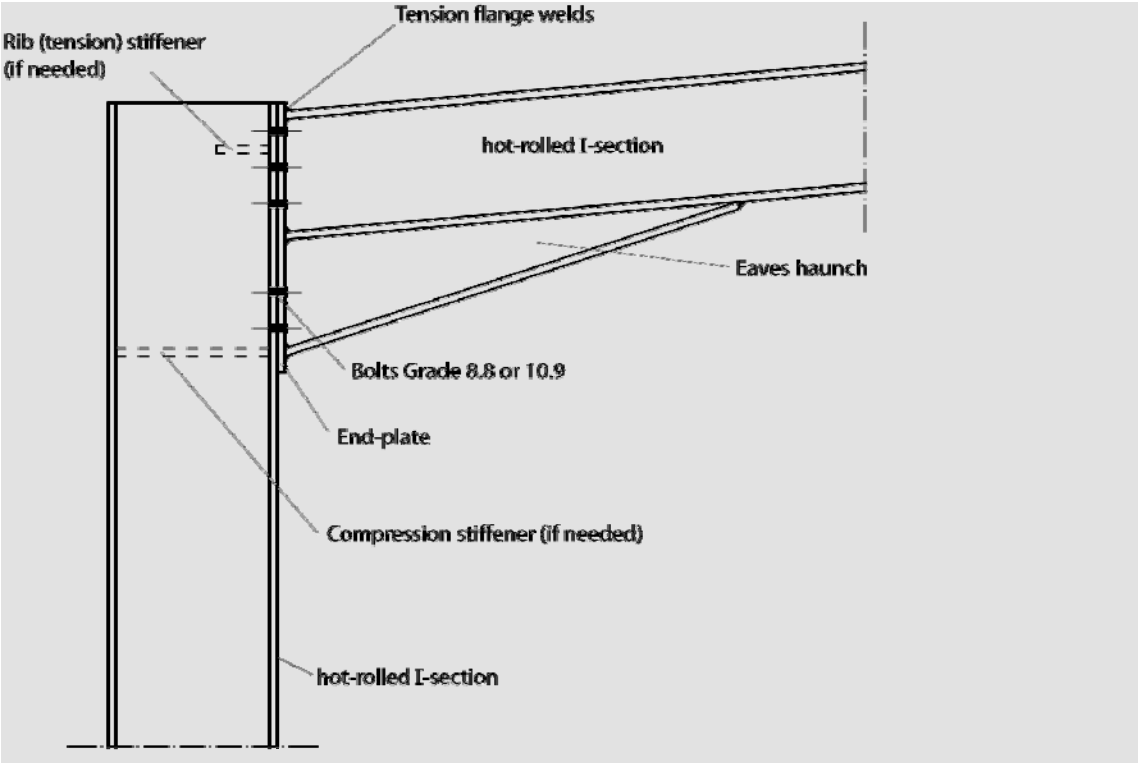
Tabela 8 Tablica do wstępnego projektowania dla ram portalowych ze spadkiem

Rozpiętość [m]	Wysokość w narożu [m]	Obc. śniegiem [kN/m²]	Belka	Słup	Długość naroża [m]	Waga [kg]
12.0	4.0	0.5	IPE 240	IPE 300	0.6	712
		1.0	IPE 270	IPE 330	0.6	832
	6.0	0.5	IPE 270	IPE 360	0.96	1131
		1.0	IPE 300	IPE 360	0.6	1195
	8.0	0.5	IPE 330	IPE 450	2.0	1893
		1.0	IPE 330	IPE 450	2.05	1896
15.0	4.0	0.5	IPE 270	IPE 330	0.85	947
		1.0	IPE330	IPE360	0.75	1208
	6.0	0.5	IPE300	IPE360	0.75	1330
		1.0	IPE330	IPE400	0.85	1546
	8.0	0.5	IPE330	IPE450	2.55	2065
		1.0	IPE360	IPE500	0.9	2315
18.0	4.0	0.5	IPE330	IPE360	0.9	1360
		1.0	IPE360	IPE450	0.95	1671
	6.0	0.5	IPE330	IPE400	1	1698
		1.0	IPE400	IPE450	0.9	2144
	8.0	0.5	IPE400	IPE450	0.9	2448
		1.0	IPE400	IPE500	1	2661
2.10	4.0	0.5	IPE360	IPE400	1.05	1757
		1.0	IPE400	IPE500	1.45	2174
	6.0	0.5	IPE360	IPE450	1.2	2158
		1.0	IPE450	IPE500	1.05	2748
	8.0	0.5	IPE400	IPE500	1.05	2859
		1.0	IPE450	IPE550	1.05	3336
24.0	4.0	0.5	IPE400	IPE450	1.3	2260
		1.0	IPE450	IPE500	1.8	2677
	6.0	0.5	IPE400	IPE500	1.4	2722
		1.0	IPE500	IPE550	1.2	3487
	8.0	0.5	IPE450	IPE550	1.2	3576
		1.0	IPE500	IPE600	1.2	4166
27.0	4.0	0.5	IPE450	IPE500	1.75	2902
		1.0	IPE500	IPE550	2.2	3429
	6.0	0.5	IPE450	IPE550	1.45	3410
		1.0	IPE550	IPE600	1.35	4380
	8.0	0.5	IPE500	IPE600	1.35	4447
		1.0	IPE550	IPE750X137	1.35	5089
30.0	4.0	0.5	IPE500	IPE550	2	3678
		1.0	IPE600	IPE600	1.5	4749
	6.0	0.5	IPE500	IPE600	1.5	4247
		1.0	IPE600	IPE750X137	1.5	5402
	8.0	0.5	IPE500	IPE600	1.75	4750
		1.0	IPE600	IPE750X137	1.5	5939

Tabela zakłada rozstaw ram 6.0 m i spadek dachu 5%

5.2.3 Połączenia

Trzy najważniejsze połączenia w jednonawowej ramie portalowej to te znajdujące się w okapach, wierzchołku i podstawie słupa. Dla okapów, połączenia skręcane są w większości używane w formie pokazanej na Rysunku 33. Skos naroża może być utworzony poprzez zespawanie wyciętego z dwuteownika „trójkąta" z belką, aby lokalnie zwiększyć wysokość belki i uczynić ją bardziej efektywną. „Trójkąt" wzmacniający jest często wykonany z tego samego przekroju stalowego co belka.

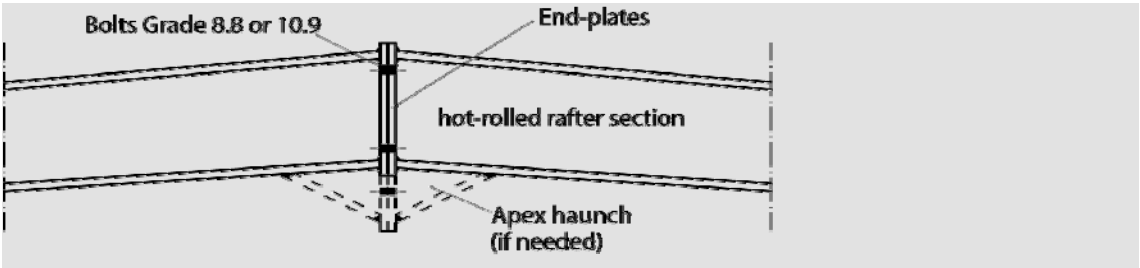


Rysunek 33 Typowe połączenie naroża w ramie portalowej

W niektórych przypadkach słup oraz wzmocnienie belki w narożu są konstruowane jako jedna całość i są one mocowane do belki za pomocą połączeń skręcanych z blachą czołową.

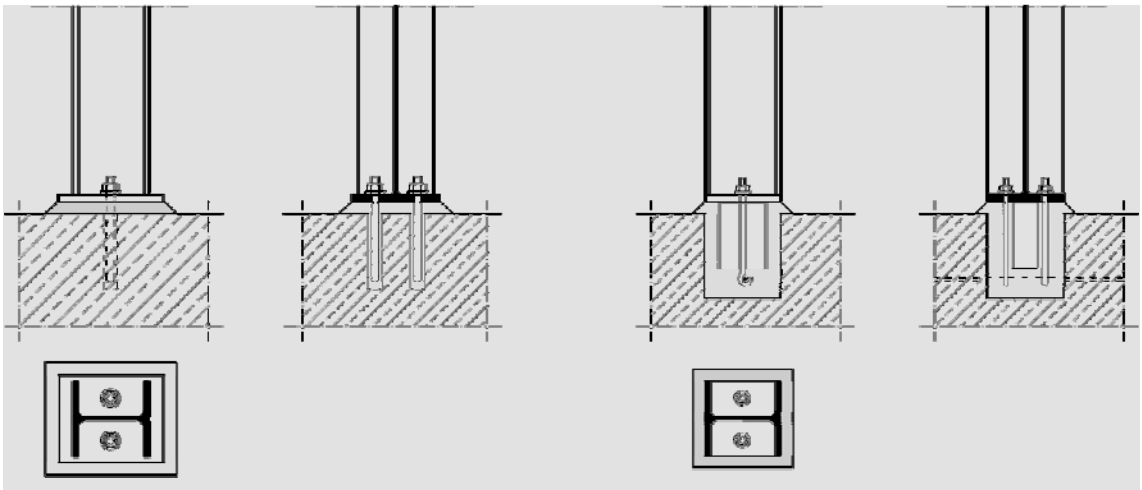
Żeby zmniejszyć koszty produkcji wskazane jest zaprojektować połączenia okapowe bez użycia żeber wzmacniających.

Połączenie w kalenicy jest często projektowane podobnie, patrz Rysunek 34. Jeśli przęsło ramy nie przekracza limitu dla transportu (około 16 m), łączenie w kalenicy na budowie można pominąć, obcinając w ten sposób koszty.



Rysunek 34 Typowe połączenie w kalenicy ramy portalowej

Podstawa słupa ma często prostą konstrukcję z dużymi tolerancjami, żeby udogodnić połączenie i współpracę pomiędzy betonem a stalą. Typowe detale są przedstawione na Rysunku 35. Często stosowane są połączenia przegubowe, aby zminimalizować wielkość fundamentów, jednakże duże siły poziome wymagają użycia połączeń utwierdzonych.



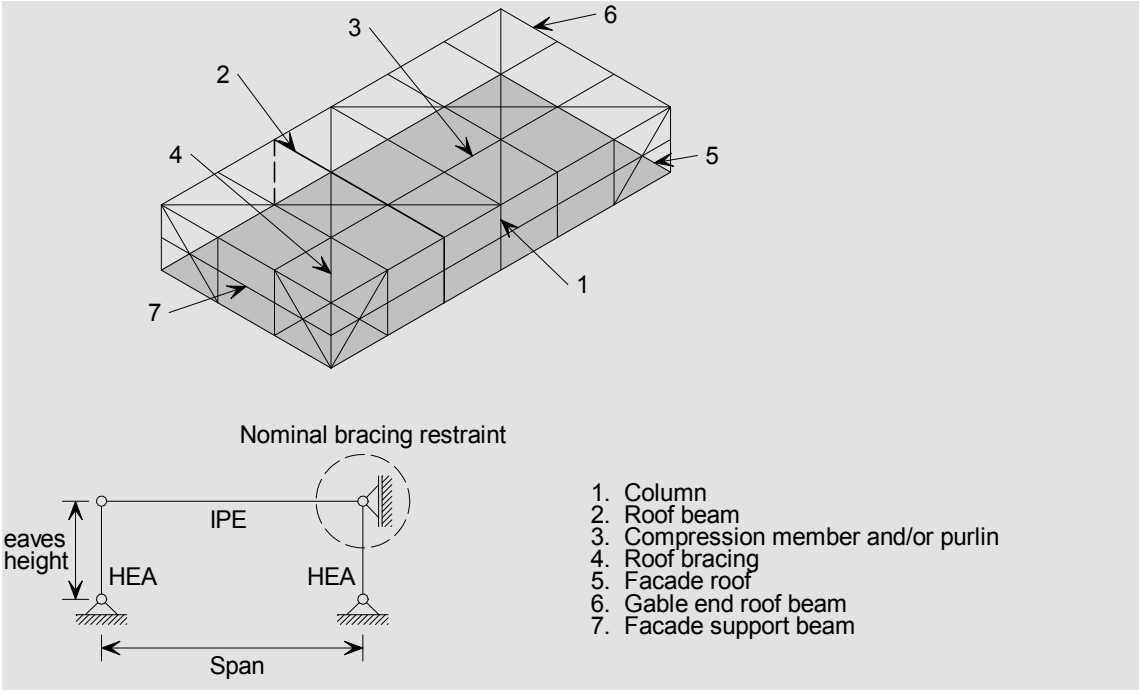
Rysunek 35 Typowe połączenia przegubowe stopy ramy portalowej

5.3 Ramy słupowo-belkowe

Dla tego rodzaju ramy wymagane są stężenia w dwóch kierunkach w dachu jak i w ścianach, żeby zapewnić stabilność dla sił poziomych (patrz Rysunek 36). Z tego względu jest ona w przeważającej części używana do zamkniętych hal, (tj. bez żadnych większych otworów okiennych czy drzwiowych). Ten fakt musi być również brany pod uwagę podczas budowy poprzez zapewnienie tymczasowego stężenia.

W prostych ramach słupowo-belkowych słupy są łączone z belkami za pomocą połączeń przegubowych. Elementy słupów są obciążone głównie przez siły ściskające, co prowadzi do mniejszych przekrojów. Jednak w porównaniu do ram portalowych, siły wewnętrzne w belce są większe, co sprowadza się do większym przekrojów stalowych belki. Jako że połączenia przegubowe są mniej skomplikowane niż te przenoszące momenty, koszty produkcji są niższe. Połączenia podstawy słupa są przeważnie przegubowe, żeby zminimalizować koszty. Przekroje słupów to są zazwyczaj tworzone z HEA, natomiast belki z IPE. Rodzaj stali to zwykle S235, ponieważ w większości przypadków kryteria stanów granicznych użytkowania są decydujące. Przęsła mają długość do 25 m, typowo, z okapami na wysokości do 10 m. Budynki z większymi przęsłami wymagają kratownic dachowych.

Dach zwykle zawiera panele z pokryciem bitumicznym, izolację oraz blachę stalową na spodzie. Rodzaj dachu zależy od odległości pomiędzy belkami stropowymi. Panele stropowe są używane, żeby zabezpieczyć belki stropowe przed zwichrzeniem.



Rysunek 36 Typowa konstrukcja belkowo-słupowa z połączeniami przegubowymi

Sugerowana strategia projektowania

Aby otrzymać najbardziej ekonomiczną konstrukcję należy:

- Użyć belek i słupów o rozmiarach podanych w Tabela 9.
- Użyć stali S235.
- Użyć przegubowych połączeń z fundamentem.

Tabela 9 Tabela do wstępnego projektowania dla belkowo-słupowych konstrukcji o płaskim dachu z przegubowymi połączeniami z fundamentem

Rozpiętość [m]	Wys. w narożu [m]	Belka	Słup
10	5	IPE270	HE120A
	6	IPE270	HE140A
	8	IPE270	HE180A
	10	IPE270	HE220A
12	5	IPE300	HE120A
	6	IPE300	HE140A
	8	IPE300	HE180A
	10	IPE300	HE220A
14	5	IPE360	HE120A
	6	IPE360	HE140A
	8	IPE360	HE180A
	10	IPE360	HE220A
16	5	IPE400	HE120A
	6	IPE400	HE140A
	8	IPE400	HE180A
	10	IPE400	HE220A
18	5	IPE450	HE120A
	6	IPE450	HE140A
	8	IPE450	HE180A
	10	IPE450	HE220A
20	5	IPE500	HE120A
	6	IPE500	HE140A
	8	IPE500	HE180A
	10	IPE500	HE220A
22	5	IPE500	HE120A
	6	IPE500	HE140A
	8	IPE500	HE180A
	10	IPE500	HE220A
24	5	IPE550	HE120A
	6	IPE550	HE140A
	8	IPE550	HE180A
	10	IPE550	HE220A

Dane przy założeniu odległości między ramami 5.0 m i obciążeniu śniegiem 0.56 kN/m^2

5.4 Bezpieczeństwo pożarowe

W większości europejskich krajów budynki jednopiętrowe mogą być konstruowane bez wytrzymałości ogniowej, pod warunkiem, że spełniają one szczególne wymogi. Przykładami takich wymogów są:

- Francja: budynek jednopiętrowy, jeśli wysokość budynku jest poniżej 10 m.
- Niemcy, Hiszpania, Szwajcaria: budynek jest wyposażony w system tryskaczy.
- UK i Holandia: budynki jednopiętrowe nie wymagają wytrzymałości ogniowej chyba, że rama podtrzymuje ścianę zewnętrzną, co wymaga określonej wytrzymałości ogniowej z powodu bliskości innego budynku.
- Szwecja: brak wymogów dla budynków jednopiętrowych chyba, że jest to hala przeznaczona do pracy przy na taśmie, gdzie przebywa więcej niż 150 osób.

W większości krajów europejskich wymogi związane z wytrzymałością ogniową nie są konieczne dla kratownic lub belek podtrzymujących dach, chyba że zawalenie się tych elementów wpłynie na stabilność ścian.

W przypadku dużych budynków przemysłowych strefy pożarowe odgrywają ważną rolę w projektowaniu, nawet jeśli nie ma tam żadnych wewnętrznych przestrzeni biurowych. Żeby powstrzymać rozprzestrzenianie się ognia wielkość stref ogniowych jest ograniczona do pewnej wartości. Dlatego muszą być zapewnione ściany ogniowe o wytrzymałości ogniowej 60 minut, a nie rzadko 90 minut. Wymagania te są jeszcze bardziej istotne, gdy w budynku przechowywane są niebezpieczne towary.

Biuro jest przeznaczone do użytkowania przez dużą liczbę osób, zatem wymogi bezpieczeństwa pożarowego są surowe. Jeśli biura są usytuowane na górnym stropie budynku, wówczas wymagane są dodatkowe drogi ewakuacyjne oraz muszą być rozważone aktywne środki ochrony przeciwpożarowej. Rozprzestrzenianie się ognia musi uchronić jedną strefę od innej, co można osiągnąć, np. przez płytę zespoloną pomiędzy biurem a przestrzenią przemysłową.

Ogólne wytyczne podane w Rozdziale 4.4 dla budynków komercyjnych odnoszą się także do budynków przemysłowych.

REFERENCJE

1 Euro-build in steel: evaluation of client demand, sustainability and future regulations on the next generation of building design in steel, CEC 7210-PR/381