

KONSTRUKCJE STALOWE W EUROPIE

**Wielokondygnacyjne
konstrukcje stalowe
Część 1: Poradnik architekta**

**Wielokondygnacyjne
konstrukcje stalowe
Część 1: Poradnik architekta**

PRZEDMOWA

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

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

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

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

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

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

Spis treści

	Nr strony
PRZEDMOWA	i
STRESZCZENIE	v
1 WPROWADZENIE	1
2 WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNE	4
2.1 Kreatywność i elastyczność architektoniczna	4
2.2 Prefabrykacja — uprzemysłowione systemy budowlane	6
2.3 Rozwijająca się sztuka	7
2.4 Rozbudowa i renowacja	7
3 STAL — MATERIAŁ I WYROBY	10
3.1 Stal jako materiał	10
3.2 Wyroby stalowe	10
4 PODSTAWOWE ZASADY DOBREGO PROJEKTOWANIA: KONSTRUKCJA	14
4.1 Układ nośny	14
4.2 Elementy usztywniające (stężenia)	20
4.3 Stropy	23
4.4 Połączenia	27
4.5 Podsumowanie	30
5 PODSTAWOWE ZASADY DOBREGO PROJEKTOWANIA: PRZEGRODY ZEWNĘTRZNE	31
5.1 Elewacje	31
5.2 Systemy pokryć dachowych	37
6 INNE CZYNNIKI DOBREGO PROJEKTOWANIA	43
6.1 Charakterystyka odporności na trzęsienie ziemi	43
6.2 Zachowanie podczas pożaru	44
6.3 Właściwości akustyczne	51
6.4 Sprawność termiczna	55
6.5 Trwałość konstrukcji stalowych	56
6.6 Integracja instalacji	60
7 KONSTRUKCJE STALOWE I ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ	63
7.1 Cykl życia	64
7.2 Zalety produktów stalowych wykorzystywanych w budownictwie	64
7.3 Rozwiązania o dużej zawartości stali przeznaczone dla budynków	65
8 ZAKOŃCZENIE	69
LITERATURA	70

STRESZCZENIE

Przez wieki doceniano zalety stali jako materiału konstrukcyjnego, wykorzystując ją do budowy znanych obiektów na całym świecie. Jednak stal to nie tylko materiał o szczególnych właściwościach technologicznych. Ogromna liczba jej właściwości sprawia, że w sposób naturalny stała się ulubionym materiałem architektów, zwłaszcza w kontekście zastosowania w budynkach wielokondygnacyjnych. Niniejsza publikacja została opracowana przez architektów dla architektów. Dostarcza ona informacji na temat samego materiału jak i zastosowań przemysłowych. Prezentuje także podstawy dobrej praktyki pozwalającej na odnoszenie maksymalnych korzyści płynących z zastosowania stali, z uwzględnieniem zachowania się elementów konstrukcyjnych ram stalowych, przegród budowlanych, właściwości akustycznych, izolacyjności termicznej oraz zrównoważonego budownictwa.

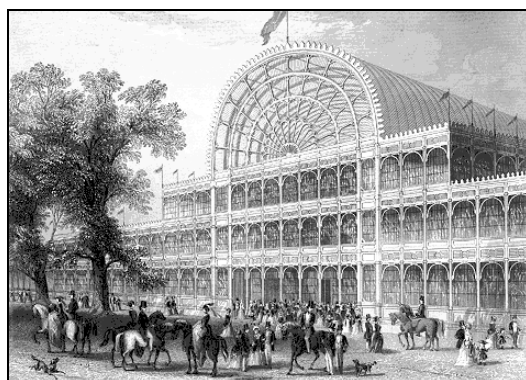
1 WPROWADZENIE

Co łączy kolumnadę Luwru Claude'a Perraulta (1670), budynki mieszkalne przy Lake Shore Drive, dzieło Mies van der Rohe'a (1951), paryski kościół św. Genowefy Soufflota (1759), Centrum Pompidou Piana i Rogersa (1977) czy wreszcie Hôtel Industriel Jeana Nouvela w Pantin (1990)? Każda z tych budowli jest świadectwem ogromnej roli, jaką metal odegrał w budownictwie.

Oczywiście przejście od żelaza wykorzystywanego w celu wzmacniania konstrukcji i zdobienia budynków do znanych obecnie lekkich i przestronnych konstrukcji stalowych było bardzo długim procesem. Obejmowało ono nie mniej niż 300 lat postępu historycznego, innowacji, wyobraźni i kreatywności: ze strony architektów, którzy definiowali nową gramatykę kształtu, wykorzystując żeliwo, żelazo i wreszcie stal; ze strony inżynierów, których umiejętności i wyobraźnia odegrały ważną rolę w tworzeniu nowych konstrukcji, które kiedyś postrzegano jako niemożliwe do wykonania, a nawet utopijne; i ze strony wytwórców, którzy pracowali niezmordowanie nad rozwojem nowych materiałów i produktów.

Trzysta lat pasji, która ogniskowała się wokół metalu — pasji wyrażanej na przeróżne sposoby. Żeliwo, używane niegdyś jako materiał konstrukcyjny, było drogie, ciężkie i łamliwe. Służyło ono do szczególnego rodzaju wzmacniania konstrukcji dyktowanego stylem tamtego okresu — ogromne proporcje, gdzie żelazne kłamry wykorzystywano do spajania kamiennych bloków, co zapewniało stabilność budynku.

Dzisiejsze entuzjastyczne podejście do żelaza i stali przybiera inne formy. Zastosowanie żelaza spowodowało zmiany w sposobie projektowania i dało początek standardowym profilom (I, T oraz L). Dzięki nitowaniu profile mogły być łączone na wiele sposobów, tworząc przeróżne konstrukcje. Przełomowym osiągnięciem był Kryształowy Pałac, dzieło Josepha Paxtona (1851), który może uchodzić za protoplastę architektury modularnej, wykorzystującej prefabrykowane elementy konstrukcyjne.



Rysunek 1.1 Kryształowy Pałac, Londyn

Stal była awangardą w zakresie nowych procesów montażowych, technik walcowania i modelowania komputerowego. Umożliwiła zastosowanie elementów o dużej rozpiętości w budownictwie — na przykład w obiektach przemysłowych (otwarty w 1917 r. w Paryżu dom towarowy La Samaritaine) — a także w dziedzinie infrastruktury i transporcie (most Forth Railway Bridge w Szkocji, 1890).

Stal to nie tylko materiał zapewniający wyjątkowe możliwości techniczne. Jej liczne właściwości sprawiają, że jest materiałem preferowanym przez architektów. Stal jest stosunkowo niedroga i oferuje doskonałe właściwości mechaniczne, pozwala na projektowanie lekkich, przestronnych konstrukcji pełnych wdzięku, optymalizuje proces konstrukcyjny na placu budowy i pozwala na szybką realizację projektów. Jednak największą zaletą tego materiału jest nieograniczona wolność tworzenia, którą daje on architektom. Łączenie ze sobą różnych materiałów umożliwia uzyskiwanie bogatych i różnorodnych rodzajów konstrukcji. W połączeniu ze szkłem stal pozwala na doskonałe wykorzystanie światła i przestrzeni.

Niniejszy dokument kierowany jest do architektów i zawiera przegląd zalet oferowanych przez stal w procesie konstruowania budynków wielokondygnacyjnych. Omawia również najlepszą praktykę w przypadku tego typu konstrukcji. Niezależnie od rodzaju zadania architektonicznego, którym może być budynek mieszkalny, biuro, szkoła, ośrodek kultury, obiekt handlowy lub przemysłowy, projektant powinien zapoznać się z niniejszym dokumentem. W poradniku omawiane są:

- materiał, jego właściwości i wyroby rynkowe,
- konstrukcja (sposób projektowania),
- przegrody (różne rodzaje elewacji i dachów, sposób integracji paneli słonecznych itd.),
- zrównoważony rozwój w dziedzinie konstrukcji stalowych.



Rysunek 1.2 Biurowiec w Paryżu

Przykłady wykorzystania stali w konstruowaniu budynków można znaleźć na następujących stronach internetowych:

www.access-steel.com

www.acierconstruction.com
(w języku francuskim)

www.construiracier.fr (w języku francuskim)

www.infosteel.be (w języku francuskim
i holenderskim)

www.bouwenmetstaal.nl
(w języku holenderskim)

www.bauforumstahl.de (w języku niemieckim)

www.sbi.se (w języku szwedzkim)

www.szs.ch (w języku francuskim
i niemieckim)

www.apta.com.es (w języku hiszpańskim)

www.promozioneacciaio.it (w języku włoskim)

www.eurobuild-in-steel.com

2 WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNE

2.1 Kreatywność i elastyczność architektoniczna

Metody konstrukcyjne pozwalają na wykorzystywanie nowych rozwiązań architektonicznych, estetycznych i artystycznych, które wyłamują się z ram tradycyjnej praktyki. Mając świadomość problemów środowiskowych powodowanych naszym stylem życia, musimy poszukiwać systemów konstrukcyjnych, które sprostają tym nowym wyzwaniom (patrz rozdział 7).

Stal jest tym materiałem, który w najwyższym stopniu odpowiada wymaganiom tworzenia nowych konstrukcji i form. Pozwala na stosowanie wszelkiego rodzaju rozwiązań — od najprostszych do najbardziej wymagających. Może być wykorzystywana zarówno w małych budynkach, jak i ogromnych konstrukcjach, standardowych projektach budowlanych, jak i złożonych projektach podlegających ograniczeniom urbanistycznym.



Rysunek 2.1 Projekt efektywnego energetycznie budynku GLA, Londyn

Żaden inny materiał nie pozwala na tworzenie tak cienkich, lekkich i przestrzennych konstrukcji. Powstałe formy mogą być tworzone przy wykorzystaniu różnych efektów strukturalnych oraz przegród o łagodnych lub wspianale kształtowanych krzywych.

Projektanci mogą popuścić wodze wyobraźni i wyzwolić kreatywność.

W ramach danej koncepcji architektonicznej stalowe elementy konstrukcyjne mogą zostać ukryte lub wyeksponowane, aby ujawnić istotę rzeczy. W obu przypadkach zaletami pozostają: łatwość tworzenia projektów modułarnych, zwartość, niewielka cena materiału, dowolność wykorzystania, szybkość budowy itd.



Rysunek 2.2 Siedziba banku ING w Amsterdamie

Stal nadaje projektom elastyczność umożliwiającą ewolucję budynków w całym cyklu ich życia. Budynek może zostać zaprojektowany tak, aby ułatwiać wprowadzanie zmian w przyszłości:

- modyfikację działających obciążeń przy zmianie funkcji budynku,
- wykorzystanie morfologii planu kondygnacji pozwalającego na tworzenie nowych otworów,
- ruchy poziome i pionowe, wyjścia: mogą zostać podjęte odpowiednie kroki zmierzające do ograniczenia negatywnych wpływów na pierwotną konstrukcję budynku podczas wprowadzania zmian.

Możliwość wykorzystania elementów o dużej rozpiętości stanowi jedną z największych zalet konstrukcji stalowych, a to dzięki jakości dostępnych na rynku materiałów i wyrobów. Dźwigary o dużych rozpiętościach ułatwiają przyszłą rozbudowę elementów konstrukcyjnych. Rama nośna jest wbudowana w ściany zewnętrzne budynku, uwalniając dodatkową przestrzeń. Wykorzystanie dźwigarów o dużych rozpiętościach było niegdyś ograniczone wyłącznie do obiektów przemysłowych i magazynów. Obecnie są one powszechnie stosowane w biurowcach i budownictwie mieszkaniowym.

Wskazane jest przyjęcie zasady wykorzystania słupów nośnych w miejsce ścian nośnych, co pozwala na uwolnienie przestrzeni konstrukcyjnej z ograniczeń wiążących budynek w czasie i uniemożliwiających jego ewolucję. Elementy nośne są oddzielane od systemów tworzących przegrody i wewnętrzne ściany działowe, umożliwiając rozbudowę budynku w przyszłości. Ponieważ elewacje, dachy i elementy działowe nie pełnią funkcji konstrukcyjnych, można je dowolnie usuwać i zmieniać.

W budynkach wielokondygnacyjnych pionowe układy stężeń muszą być rozmieszczone tak, by nie ograniczać wykorzystania wolnej przestrzeni.

Tworząc projekty wykorzystujące stal, należy rozumieć różnorodne aspekty procesu konstrukcyjnego:

- stropy
- elewacje
- ściany działowe
- pokrycie dachu.

Każdy z tych elementów wymaga zastosowania różnych wyrobów montowanych w odpowiedniej kolejności (patrz odpowiednie rozdziały).

2.2 Prefabrykacja — uprzemysłowione systemy budowlane

Metody konstrukcyjne wykorzystujące elementy i komponenty prefabrykowane oraz możliwość ich przystosowania pod względem nowych przepisów wykonawczych ułatwiają projektowanie i konstruowanie budynków pozostających w pełnej harmonii z ich przeznaczeniem.

Wszystkie stalowe elementy konstrukcyjne są wytwarzane przez producentów stali lub wyrobów stalowych z wykorzystaniem automatycznych, skomputeryzowanych maszyn do cięcia i gięcia. Tolerancje obliczeniowe są ograniczone do milimetrów, podczas gdy w przypadku innych materiałów konstrukcyjnych wyrażane są raczej w centymetrach. Gotowe wyroby podlegają szczegółowym procedurom kontroli jakości.

Wszystkie elementy wykorzystywane do budowy są przygotowane na oddziale produkcyjnym i dostarczane na plac budowy jako gotowe do montażu. Elementy nie wymagają modyfikacji na placu budowy. Są gotowe do użycia.



Rysunek 2.3 Budowa wielokondygnacyjnego obiektu przemysłowego, Monako

Jedną z głównych zalet konstrukcji stalowych jest szybkość wytwarzania i montażu, a także składania i demontażu konstrukcji tymczasowych (np. konstrukcji modułarnych).

Inteligentne wykorzystywanie wyrobów i elementów stalowych produkowanych przez wytwórców promujących innowacje i rozwój przyczynia się do przemiany otaczającego nas krajobrazu urbanistycznego.

2.3 Rozwijająca się sztuka

Stal postrzegana jest dzisiaj zupełnie inaczej niż kiedyś. Odkryto, wypróbowano i przetestowano jej właściwości i zalety. Ponadto ogromna gama wyrobów towarzyszących sprawia, że producenci konstrukcji stalowych mogą reagować na zachodzące w szybkim tempie zmiany w stylu życia i odpowiadać na potrzeby związane z nowymi zastosowaniami.

Wiele budynków powstałych po II wojnie światowej nie spełnia już wymagań współczesności, choć mogą one zostać poddane przebudowie lub rozbudowie, o ile wartość istniejącego budynku jest odpowiednio wysoka.

Budynki stalowe projektowane są z wykorzystaniem ścian budowanych z lekkich materiałów kompozytowych. To rozwiązanie konstrukcyjne pozwala na wykorzystanie wszystkich zalet stali.

2.4 Rozbudowa i renowacja

2.4.1 Rozbudowa pionowa

Koncepcja rozbudowy pionowej budynków zasługuje na uwagę. Projektant ma możliwość wykorzystania fundamentów istniejących budynków oraz ich połączeń pionowych.

Stalowe ramy nośne są lekkie i umożliwiają wszechstronną adaptację. Pozwalają one na efektywną rozbudowę starych obiektów niezależnie od materiału, z jakiego były wykonane, i umożliwiają znalezienie odpowiedniej równowagi pomiędzy wagą nowej konstrukcji a dopuszczalnymi obciążeniami.

Dokonując rozbudowy istniejącej konstrukcji stalowej, warto zachować ten sam system budowlany.



Rysunek 2.4 Rozbudowa pionowa budynku

Rozbudowa jest często przeprowadzana w tym samym czasie co generalny remont budynku. Rozbudowa obiektu z wykorzystaniem konstrukcji stalowej pozwala na przeprowadzanie obu czynności jednocześnie. Dzięki temu czas niezbędny na renowację istniejącego budynku zostaje znacznie zredukowany. Remont może być przeprowadzany równocześnie z rozbudową, co pozwala na uniknięcie kosztownych opóźnień.

Zależnie od konstrukcji nośnej części rozbudowywanej i w przypadku budynków żelbetowych, których szerokość nie jest zmieniana, konstrukcja stalowa może, w przeważającej części, być montowana na zewnętrznych ścianach betonowych lub słupach, a nawet mocowana do zewnętrznych ścian elewacji na każdym piętrze w celu rozłożenia obciążenia. Oba rozwiązania pozwalają na uniknięcie konieczności budowy nowej konstrukcji na poszczególnych poziomach lub położenia nowych fundamentów, co jest kosztowne i niełatwe do wykonania.

2.4.2 Poszerzanie budynków

Gdy spełnione są odpowiednie warunki do przebudowy istniejącego obiektu, konstrukcje stalowe oferują również efektywny sposób powiększenia jego szerokości.



Rysunek 2.5 Rozbudowa budynku wielokondygnacyjnego

W zależności od charakterystyki konstrukcyjnej budynku oraz przepisów budowlanych obowiązujących w danym rejonie dostępny jest szereg rozwiązań technicznych:

- ramy montowane równoległe do budynku,
- ramy półportalowe wsparte na równoległym szeregu fundamentów oddzielonych od budynku (w zależności od projektu) i na konstrukcji nośnej budynku,
- wieszaki zamocowane do belek nadbudowy obiektu.

Konstrukcja stalowa rozbudowy jest mechanicznie zamocowana do stropów i płyt nośnych budynku.

2.4.3 Przebudowa i renowacja budynków przemysłowych

Szacuje się, że renowacje i przebudowy stanowią ok. 50% prac budowlanych.

Konstrukcje z ram stalowych nadają się szczególnie do tego typu prac. Spory odsetek prac związanych z przebudową dotyczy dziewiętnastowiecznych konstrukcji stalowych, takich jak dworce, hale targowe i hale produkcyjne, które znajdują się w wysoko zurbanizowanych rejonach.

Usuwanie elementów, wymiana i modyfikacja dźwigarów, zmiana wymiarów belek czy słupów to czynności proste do wykonania. Możliwość podwieszania stropów budynku do konstrukcji dachowych oferuje dodatkową elastyczność w przypadku nowych projektów związanych z istniejącymi budynkami.

Warto także zauważyć, że lekkość konstrukcji stalowych jest wyraźną zaletą, gdy dodawane są nowe stropy przez łączenie ich z istniejącą konstrukcją (po uprzednim zweryfikowaniu takiej możliwości). Jeżeli istnieje potrzeba wykonania nowych fundamentów w celu zamontowania nowych konstrukcji, można je łatwo zaprojektować w taki sposób, aby nie kolidowały z istniejącymi fundamentami.

Przebudowa stosunkowo starych budynków (takich jak pokazano na rysunku 2.6) zawsze wymaga weryfikacji dla zapewnienia zgodności z obowiązującymi aktualnie normami. Może ona obejmować:

- wyjścia ewakuacyjne,
- zwiększenie elastyczności,
- montaż przewodów wentylacyjnych i dymowych,
- zabezpieczenie przeciwpożarowe i antykorozyjne elementów stalowych,
- wzmocnienie konstrukcji z uwzględnieniem nowych obciążeń,
- nowe środki dostępu.



Rysunek 2.6 Centrala Nestlé France, Noisiel

3 STAL — MATERIAŁ I WYROBY

3.1 Stal jako materiał

Stal oferuje wyjątkowe właściwości pod względem nośności mechanicznej. Spośród wszystkich materiałów stosowanych powszechnie w budownictwie stal wykazuje największą nośność dla kształownika o najmniejszym przekroju — zarówno przy rozciąganiu, jak i ściskaniu. Otwiera to architektom drogę do stosowania szerokiej gamy rozwiązań technicznych i estetycznych.

Istnieje wiele rodzajów stali. Są one klasyfikowane ze względu na swój skład. Można wyróżnić trzy główne kategorie stali:

- gatunki stali niestopowej,
- gatunki stali nierdzewnej,
- inne gatunki stali stopowej.

Stal niestopowa jest powszechnie stosowana w sektorze budowlanym. Głównymi gatunkami stali wykorzystywanej do produkcji elementów konstrukcyjnych są S235, S275 oraz S355. Jednak coraz częściej w budownictwie stosowana jest stal S460 o podwyższonej wytrzymałości.

Wyroby stalowe muszą wykazywać się określoną charakterystyką zgodnie z gatunkiem i kształtem, oraz wymaganiami określonymi w normach krajowych i europejskich.

Szczegółowe informacje dostępne są na stronach producentów stali:

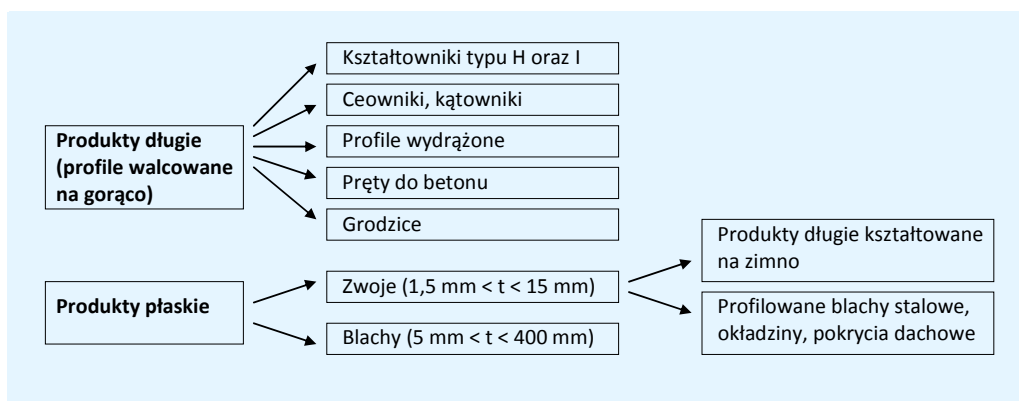
www.arcelormittal.com/sections

www.corusconstruction.com

www.peiner-traeger.de

3.2 Wyroby stalowe

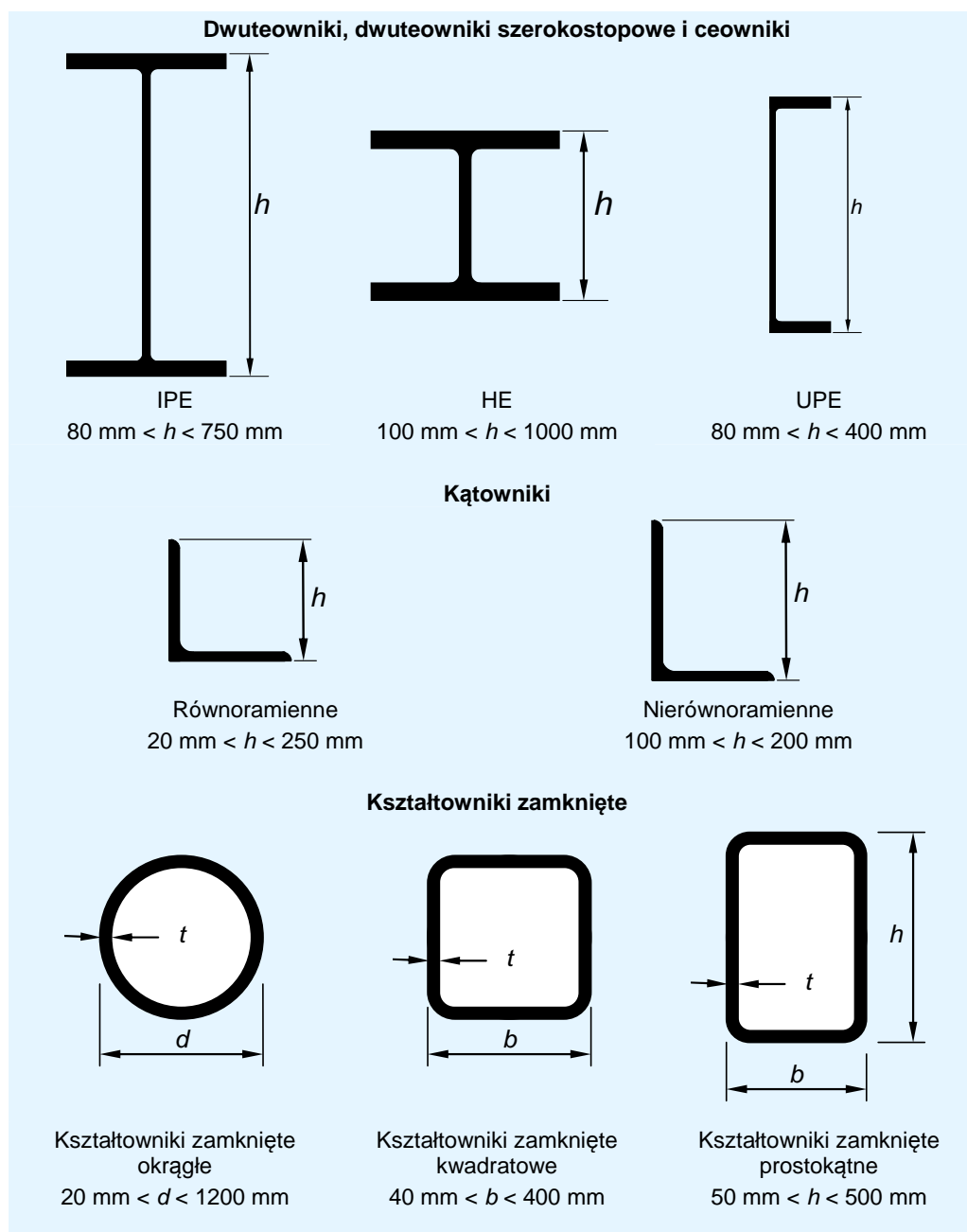
Wyroby stalowe mogą być sklasyfikowane w dwóch głównych kategoriach, jak pokazano na rysunku 3.1.



Rysunek 3.1 Główne kategorie wyrobów stalowych wykorzystywanych w budownictwie

3.2.1 Wyroby długie walcowane na gorąco

Wyroby długie walcowane na gorąco (często określane jako „kształtowniki” lub „profile”) są powszechnie wykorzystywane do wyrobu głównych elementów konstrukcyjnych (słupów, belek, stężeń).



Rysunek 3.2 Wyroby długie walcowane na gorąco wykorzystywane w budownictwie

Kształtowniki poddawane są różnym przekształceniom przez cięcie, spawanie, gięcie itd. w celu uzyskania różnych kształtów oraz poprawy ich właściwości.

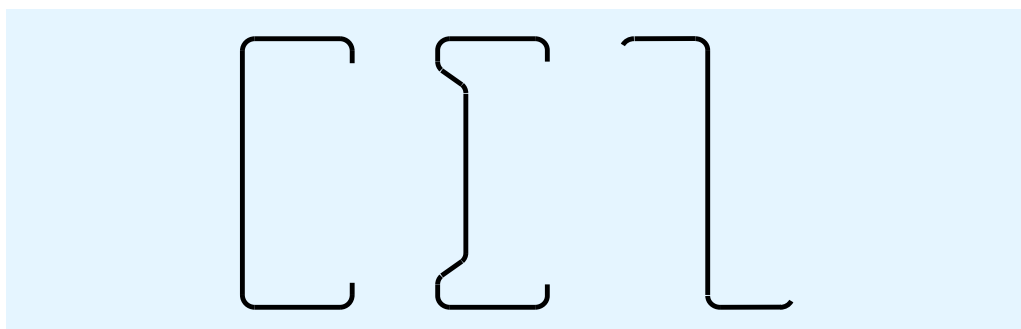
W ten sposób belki ażurowe (Rysunek 3.3) mogą być wykonywane z kształtowników IPE lub HE przez cięcie tlenowe i spawanie.



Rysunek 3.3 Belki ażurowe wykonane z kształtowników walcowanych na gorąco

3.2.2 Wyroby długie gięte na zimno

Wyroby długie gięte na zimno, formowane z cienkich blach stalowych, są używane głównie jako drugorzędne elementy konstrukcyjne okładzin (szyny) oraz dachów (płatwie).



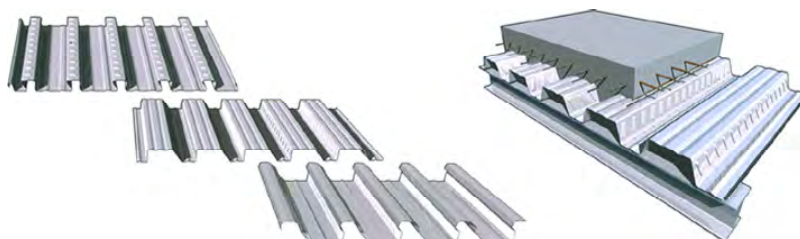
Rysunek 3.4 Wyroby gięte na zimno — przekroje standardowe

3.2.3 Wyroby płaskie

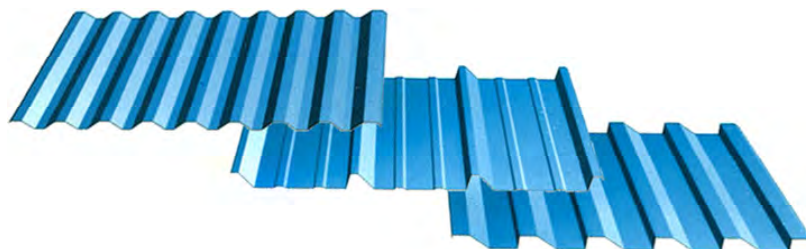
Wyroby płaskie w konstrukcjach budynków wykorzystywane są głównie jako:

- stalowe blachy profilowane na stropy,
- poszycia dachów,
- okładziny.

W każdym z tych przypadków wykorzystywane są cienkie blachy stalowe, często gięte do blach profilowanych (patrz Rysunek 3.5).



Stalowe blachy profilowane na stropy



Pokrycia dachowe z blach stalowych



Okładziny z blach stalowych

Rysunek 3.5 Stosowanie wyrobów płaskich w konstrukcjach stalowych

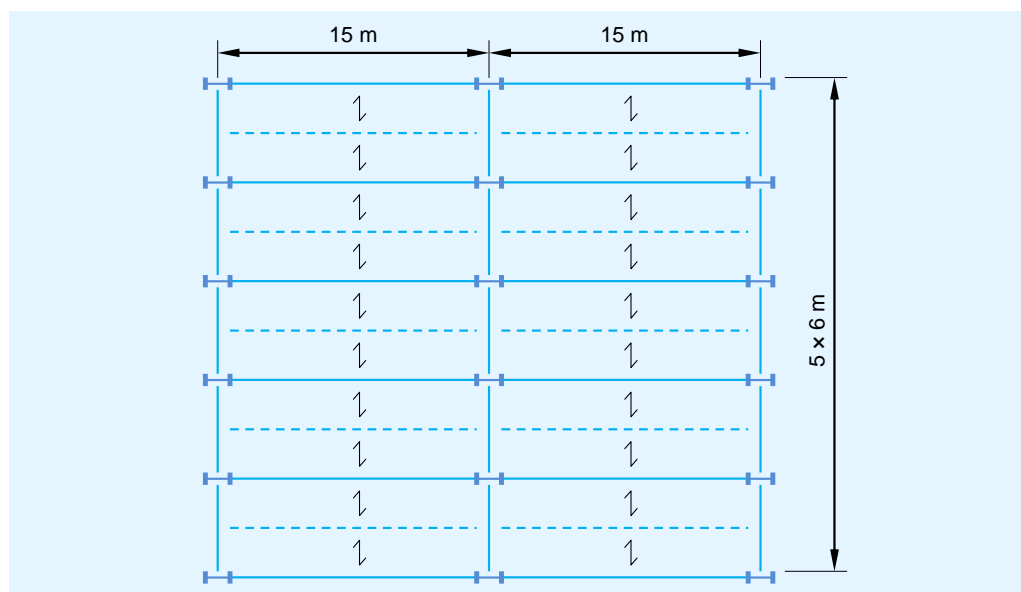
4 PODSTAWOWE ZASADY DOBREGO PROJEKTOWANIA: KONSTRUKCJA

4.1 Układ nośny

W konstrukcjach wielokondygnacyjnych za nośność oraz przenoszenie obciążeń odpowiada złożona z belek i słupów rama główna.

4.1.1 Szkieletowa konstrukcja nośna

Optymizacja liczby punktów przyłożenia obciążenia jest zagadnieniem, które jest zawsze poruszane na etapie projektowania, a jego rozwiązanie musi uwzględniać przeznaczenie danego budynku. Biorąc pod uwagę układ przestrzenny, słupy są zawsze uznawane za przeszkody, których liczbę należy ograniczyć do niezbędnego minimum. W tradycyjnych konstrukcjach szkieletowych budynków mieszkalnych wykorzystuje się dźwigary o rozpiętości rzędu 4,50 do 6 m. Spory zysk wolnej przestrzeni mogą dać dźwigary o dużej rozpiętości — 12–18 m stosowane w obiektach biurowych oraz 15–16 m wykorzystywane do budowy parkingów samochodowych.



Rysunek 4.1 Przykład siatki słupów i belek

Liczba punktów nośnych zależy także od rodzaju fundamentu zastosowanego ze względu na rodzaj gruntu. W przypadku gruntów słabej jakości zaleca się ograniczenie punktów fundamentowych i w rezultacie zredukowanie liczby słupów. Ramy stalowe mają tę zaletę, że zmniejszają całkowitą masę budynku, redukując tym samym wymiary fundamentów.

4.1.2 Słupy

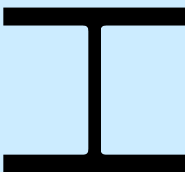
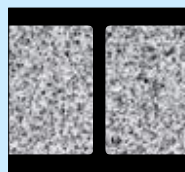
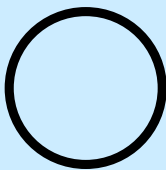
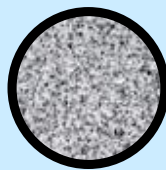
Głównym zadaniem słupów jest przenoszenie obciążeń pionowych na fundamenty. Słupy przenoszą jednak również część sił poziomych (oddziaływanie wiatru). W konstrukcjach wielokondygnacyjnych słupy podlegają silnemu ścisnaniu, są więc zaprojektowane z uwzględnieniem zjawiska wyboczenia.

Najczęstszymi kryteriami pomagającymi w doborze słupów są:

- preferencje architektoniczne,
- rozplanowanie oraz wymiary siatki,
- koszt wyrobów stalowych (dwuteowniki oraz dwuteowniki szerokostopowe są tańsze od kształtowników zamkniętych),
- koszty montażu (złożoność montażu),
- łatwość dołączania drugorzędnych elementów konstrukcyjnych (w przypadku elewacji, ścian, sufitów),
- prace oraz wyroby konieczne do spełnienia podstawowych wymagań (przeciwpożarowych, związanych z korozją itp.).

Tabela 4.1 przedstawia główne typy słupów stosowanych w konstrukcjach wielokondygnacyjnych. Słupy zespolone charakteryzują się lepszą odpornością ogniową.

Tabela 4.1 Główne typy słupów

	Przekrój stalowy	Przekrój zespolony
Dwuteownik szerokostopowy		
Kształtownik zamknięty okrągły		

Konstrukcja słupa ukazana na rysunku 4.2 zapewnia dodatkową wartość architektoniczną, obniżenie kosztów materiałowych oraz optymalizację zachowania się elementów konstrukcyjnych.



Rysunek 4.2 Konstrukcja budynku ze ściągami

Zmienne przekroje kształtowników mogą wnieść pewien architektoniczny dynamizm do konstrukcji takich słupów. Te gięte ze standardowych kształtowników bądź blach słupy charakteryzują się przede wszystkim zmiennymi wymiarami podłużnymi, co umożliwia optymalne wykorzystanie tych elementów w konstrukcji.

Jako że stal sprawdza się zarówno wtedy, gdy jest poddawana rozciąganiu, jak i wówczas, gdy jest ściskana, z powodów funkcjonalnych (unikanie przeszkód) bądź architektonicznych lepszym rozwiązaniem podczas mocowania belki jest użycie wieszaka lub ścigu zamiast słupa. W przypadku obu tych elementów nie jest wymagane stawianie dodatkowych podpór na powierzchni stropu.



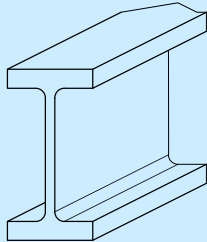
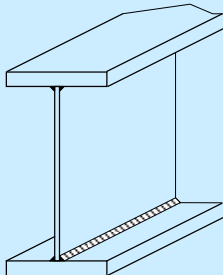
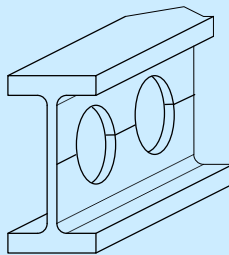
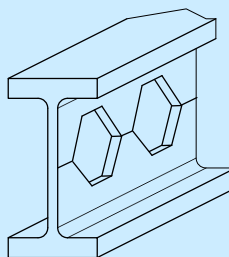
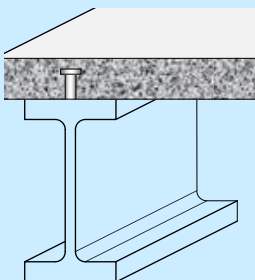
Rysunek 4.3 Układ konstrukcyjny z wieszakami

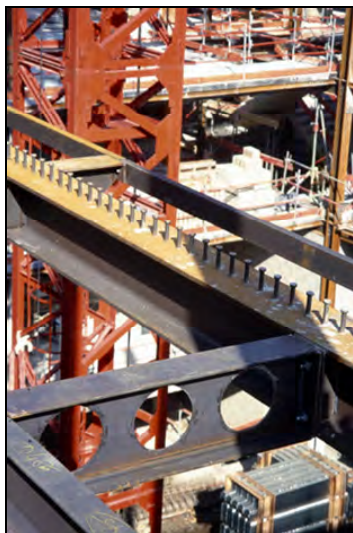
4.1.3 Belki

Belki przenoszą obciążenia pionowe i są najbardziej narażone na zginanie. Dlatego też przekrój belki musi wykazywać odpowiednią sztywność i wytrzymałość w płaszczyźnie pionowej.

Dostępne są belki wielu różnych typów, patrz Tabela 4.2. Wśród nich typem najbardziej odpowiednim do konstrukcji wielokondygnacyjnych są belki zespolone. Beton, w połączeniu ze stalą, która jest wówczas (głównie) rozciągana, poddawany jest ściskaniu — uzyskujemy w ten sposób układ o dobrych właściwościach mechanicznych zarówno pod względem nośności, jak i sztywności.

Tabela 4.2 Główne typy belek

Typ		Komentarz
Kształtowniki walcowane		Kształtowniki walcowane są powszechnie używane w konstrukcjach wielokondygnacyjnych. Dostępne są w szerokim zakresie wymiarów oraz gatunków stali. Proste kształtowniki walcowane są dobrze dostosowane do małych i średnich zakresów rozpiętości. Dla celów architektonicznych kształtowniki walcowane mogą być zakrzywiane.
Kształtowniki spawane		Kształtowniki spawane są wykonywane z blach. Mogą mieć pasy o różnych wymiarach tworzące przekrój monosymetryczny. Kształtowniki te oferują możliwość projektowania stożkowych elementów konstrukcyjnych, które optymalizują zużycie materiału i dają interesujący efekt architektoniczny. Rozwiązanie takie stosowane jest głównie w przypadku belek większych niż kształtowniki walcowane.
Belki ażurowe		Belki ażurowe mogą być wykonywane z walcowanych kształtowników w procesie cięcia tlenowego i spawania. Jest to bardzo efektywne rozwiązanie w przypadku obiektów biurowych, głównie ze względu na następujące zalety: większa bezwładność w porównaniu z kształtownikiem podstawowym, otwory do przeprowadzenia instalacji technicznych (przewodów, klimatyzacji itp.) i wygląd architektoniczny.
		Otwory w takich belkach w większości przypadków są okrągłe, jednak możliwe jest także stosowanie otworów o innych kształtach, jak np. otwory sześciokątne.
Belki zespolone		Użycie belki do podparcia płyty betonowej daje możliwość łatwego połączenia konstrukcyjnego obu elementów. Profil stalowy może być kształtownikiem walcowanym, spawanym lub belką ażurową. Ostatnia z wymienionych opcji jest szczególnie zalecana w konstrukcjach wielokondygnacyjnych w przypadku stropów o dużej rozpiętości (do 18 lub 20 m). Opracowano wiele rozwiązań konstrukcyjnych belek zespolonych.



Rysunek 4.4 Belka zespolona z przyspawanymi sworzniami na etapie montażu

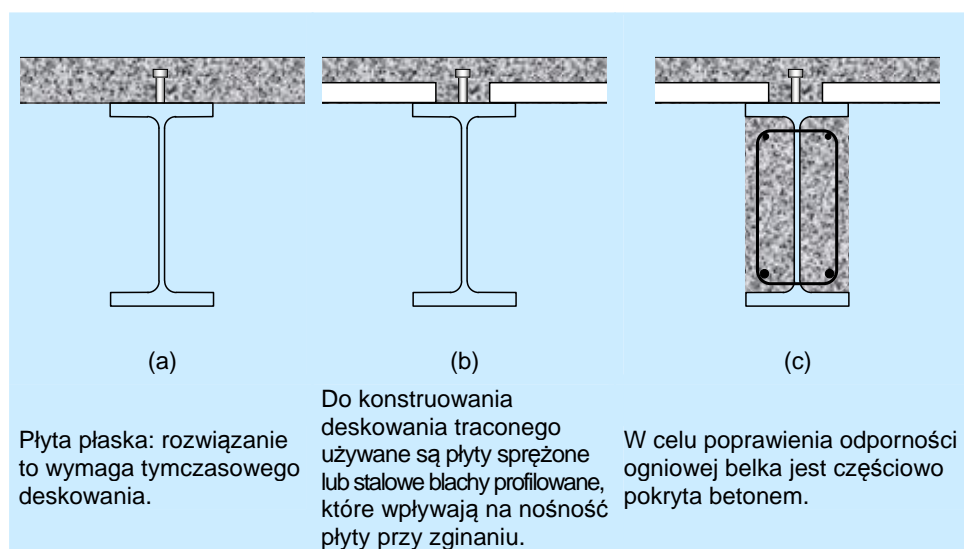


Rysunek 4.5 Zespolone belki ażurowe ze stalowymi blachami profilowanymi



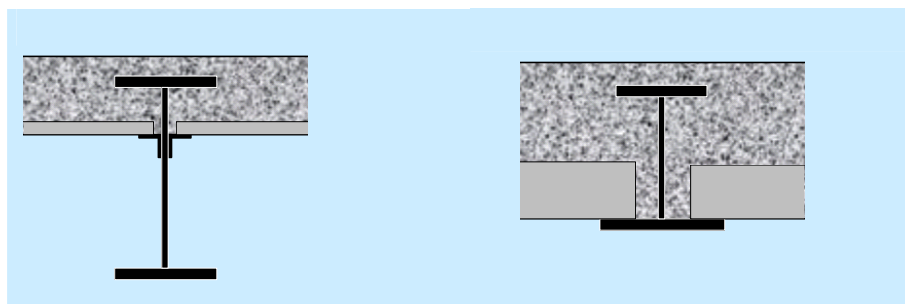
Rysunek 4.6 Nowy typ belki — Angelina™ (belka zespolona)
— podczas montażu konstrukcji

Występuje kilka typów belek zespolonych. Przedstawiono je na rysunku 4.7. W poniższych przykładach profil stalowy może być kształtownikiem walcowanym, spawanym lub belką ażurową. Profil stalowy z przykładu (c) jest kształtownikiem walcowanym.



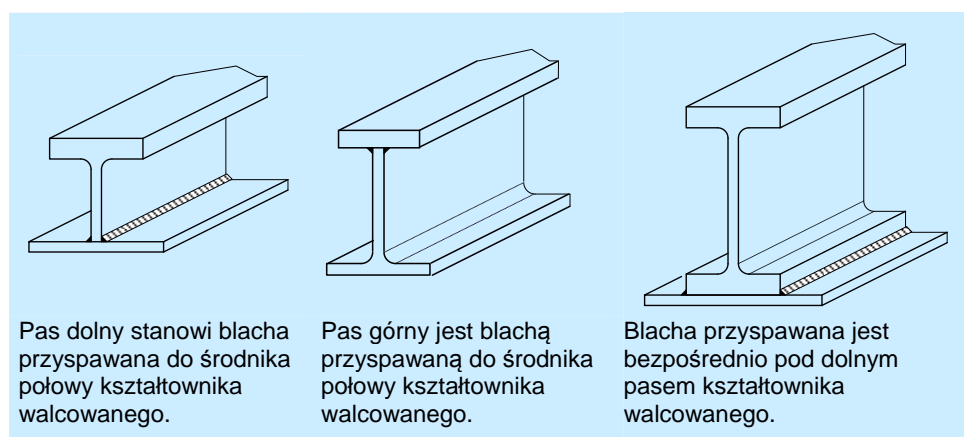
Rysunek 4.7 Belki zespolone

W konstrukcjach wielokondygnacyjnych całkowita wysokość stropu musi być często ograniczana do minimum. Konstrukcja stropów cienkich opiera się na zintegrowaniu belki stalowej z płytą betonową. Rysunek 4.8 przedstawia dwa typy takich zintegrowanych belek stalowych.



Rysunek 4.8 Belki zintegrowane (cienkie stropy)

Rysunek 4.9 przedstawia trzy przykłady belek stalowych używanych jako zintegrowane belki stalowe.



Rysunek 4.9 Różne typy profili używanych w roli belek zintegrowanych

Zakresy rozpiętości dla różnych opcji konstrukcyjnych stropów przedstawiono w tabeli 4.3.

Tabela 4.3 Zakresy rozpiętości dla różnych opcji konstrukcyjnych

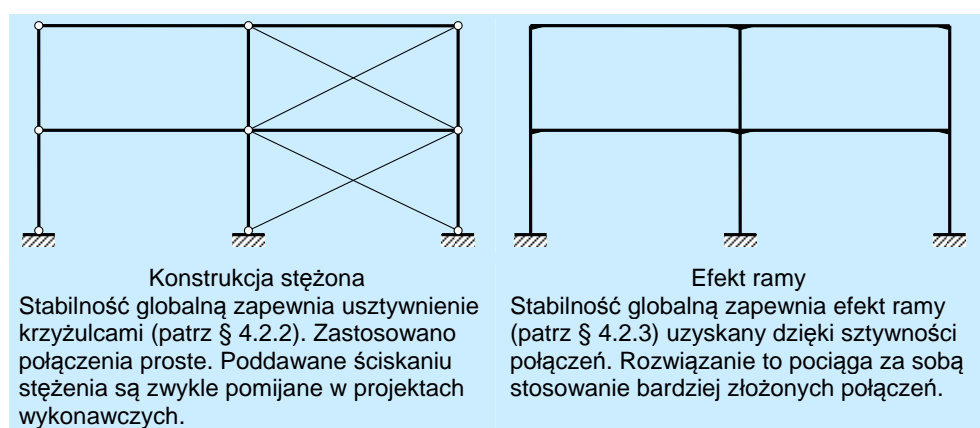
	Rozpiętość (m)					
	6	8	10	13	16	20
Płaska płyta żelbetowa	■					
Cienkie belki stropowe oraz gruba płyta zespolona	■	■				
Belki zintegrowane z prefabrykowanymi płytami	■	■	■			
Żelbetowe belki i żelbetowa płyta		■	■	■		
Płaska płyta betonowa sprężana po stwardnieniu			■	■		
Belki zespolone i płyta zespolona		■	■	■	■	
Blachownice z otworami w środku			■	■	■	■
Ażurowe belki zespolone			■	■	■	■

4.2 Elementy usztywniające (stężenia)

4.2.1 Ogólne

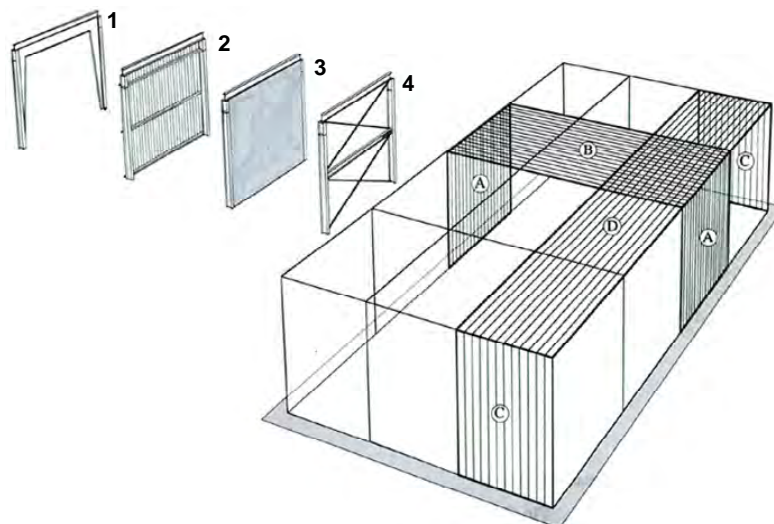
Konstrukcja jest statycznie wyznaczalna, gdy liczba zastosowanych podpór jest wystarczająca do zapewnienia jej stabilności globalnej. Wraz ze wzrostem liczby podpór oraz połączeń sztywnych zwiększa się sztywność konstrukcji, jednakże połączenia sztywne są rozwiązaniem droższym od połączeń prostych. Dlatego też należy znaleźć kompromis uwzględniający ekonomiczność konstrukcji.

Rysunek 4.10 przedstawia dwie opcje zapewnienia stabilności konstrukcji wielokondygnacyjnej w płaszczyźnie pionowej.



Rysunek 4.10 Stabilność globalna konstrukcji wielokondygnacyjnych w płaszczyźnie pionowej

Aby obciążenia mogły być przenoszone na fundamenty, stabilność konstrukcji musi być zapewniona we wszystkich głównych płaszczyznach (pionowej oraz poziomej), jak pokazano to na rysunku 4.11.



Legenda: patrz tekst

Rysunek 4.11 Płaszczyzny stabilności konstrukcji prostokątnej

Stabilność w pionie (A i C na rysunku 4.11) może być zapewniona przez jeden z 4 systemów:

- 1 usztywnianie krzyżulcami (połączenie proste),
- 2 efekt ramy,
- 3 efekt diafragmy (wpływ okładziny),
- 4 ściana betonowa.

Stabilność w poziomie (B i D na rysunku 4.11) jest zwykle zapewniona dzięki występowaniu efektu diafragmy w stropach betonowych bądź przez stosowanie krzyżulców. Aby obciążenia mogły być przenoszone na fundamenty, układy zapewniające stabilność w poziomie muszą być odpowiednio połączone z układami zapewniania stabilności w pionie.

Główną siłą poziomą oddziaływującą na konstrukcje wielokondygnacyjne jest oddziaływanie wiatru. Na obszarach o podwyższonej aktywności sejsmicznej należy uwzględnić dodatkowo siły poziome pochodzące od trzęsień ziemi.

4.2.2 Opcja konstrukcji stężonej

Budynki wielokondygnacyjne są zazwyczaj projektowane z wykorzystaniem przegubowych elementów konstrukcyjnych. Stabilność w pionie zapewniana jest na ogół przez usztywnianie krzyżulcami, a czasem przez stosowanie rdzenia betonowego. Zalety takich konstrukcji są następujące:

- proste połączenia,
- szybki montaż,
- niższe koszty wytwarzania.

W zależności od preferencji architektonicznych usztywnianie krzyżulcami może być wykonane zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz budynku. Przykład stężenia stanowiącego element architektoniczny został przedstawiony na rysunku 4.12.



Rysunek 4.12 Zewnętrzne usztywnienie krzyżulcami konstrukcji wielokondygnacyjnej

4.2.3 Opcja efektu ramy

Aby uniknąć stosowania stężeń pomiędzy belkami, możliwe jest projektowanie połączonych sztywno ram ciągłych.

Konstrukcje wielokondygnacyjne o strukturze nośnej zbudowanej w oparciu o ramy sztywno łączone często wymagają zwiększenia przekroju stosowanych słupów, a czasem również belek.

Ponieważ zapewnianie stabilności z wykorzystaniem ramy jest mniej ekonomiczne od usztywniania krzyżulcami, najbardziej efektywnym i zrównoważonym rozwiązaniem może być połączenie tych dwóch systemów. Możliwe jest stosowanie ram dla zapewnienia stabilności tylko w jednym kierunku i używanie krzyżulców dla zapewnienia stabilności w kierunku prostopadłym.

Zalety ram ciągłych są następujące:

- belki główne są sztywniejsze — ugięcia są mniejsze niż w przypadku belek swobodnie podpartych,
- stropy są mniej wrażliwe na drgania.

Dodanie nadmiarowych stężeń poprawia odporność konstrukcji.

Wady takiego rozwiązania są następujące:

- połączenia oraz sam montaż są bardziej skomplikowane,
- siły wewnętrzne w słupach są większe.

Cała konstrukcja staje się droższa.

Wyjątkowo rzadko stosowane są konstrukcje z ram ciągłych zapewniających stabilność w obu kierunkach. Takie rozwiązania mogą być zalecane w przypadku budynków, wobec których stawiane są specjalne wymagania (medyczne laboratoria badawcze, pomieszczenia czyste, pomieszczenia użytkowania urządzeń wrażliwych na wszelkiego rodzaju odchylenia oraz wibracje itp.).

4.3 Stropy

4.3.1 Ogólne

Konstrukcyjną funkcją stropów jest przenoszenie obciążeń na główne elementy konstrukcyjne. Stropy, jako że zachowują się zwykle jak diafragma, która na każdej z kondygnacji zapewnia stabilność w płaszczyźnie poziomej, przyczyniają się także do poprawy globalnej stabilności konstrukcji.

Konstrukcja stropu spełnia wymagania techniczne obejmujące:

- występujące obciążenia,
- sprawność termiczną,
- właściwości akustyczne,
- ognioodporność,
- integrację instalacji technicznej,
- wymagania dotyczące mocowania sufitu podwieszanego.

Jako konstrukcyjną część stropu można zastosować jedno z następujących rozwiązań:

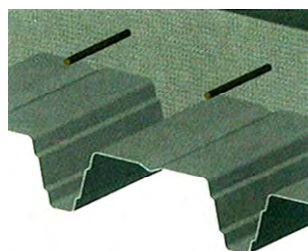
- płyta zespolona ze stalową blachą profilowaną,
- płyta betonowa ze stalową blachą profilowaną pełniącą funkcję deskowania traconego,
- stropy suche,
- płyta płaska, płyta betonowa wraz z płytą prefabrykowaną,
- płyta prefabrykowana.

4.3.2 Płyta betonowa ze stalową blachą profilowaną

Stosowanie stalowych blach profilowanych przynosi wiele korzyści:

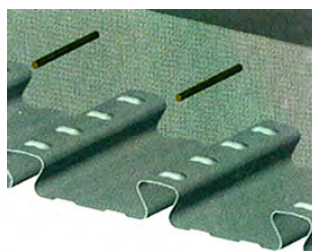
- efektywne deskowanie tracone (deskowanie nie musi być usuwane po zakończeniu betonowania),
- montaż stalowych blach profilowanych jest łatwiejszy niż płyty prefabrykowanej,
- w wielu przypadkach nie ma potrzeby podporowania na etapie montażu.

Zwykle stalowe blachy profilowane stanowią efektywną formę deskowania traconego w trakcie prowadzenia prac budowlanych. W celu poprawienia nośności stropu przy zginaniu (jako elementu poddawanego rozciąganiu) opracowano specjalne typy stalowych blach profilowanych. Nierówności na powierzchniach tych blach zapewniają dobre połączenie z betonem. Patrz Rysunek 4.13.



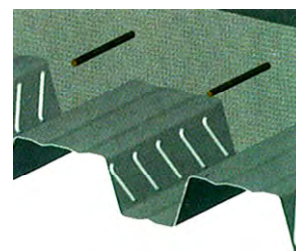
Deskowanie tracone

(płyty niezespólone)



Płyty zespolone

(stalowe blachy profilowane z nierównościami na powierzchni)

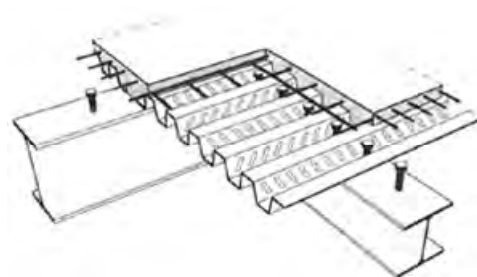


Rysunek 4.13 Płyta betonowa ze stalową blachą profilowaną

W celu optymalizacji zachowania konstrukcji można zastosować płytę zespoloną ze stalową blachą profilowaną, poprawiając nośność belek przy zginaniu (belki zespolone), jak pokazano na rysunku 4.14. Prowadzi to do zmniejszenia wymiarów kształtowników stalowych i w konsekwencji do zmniejszenia całkowitej wysokości stropu, masy belki itp.

Typowe wymiary stalowych blach profilowanych:

- długość: 6 m
- szerokość: 1 m
- grubość: 0,75 lub 1 mm.



Rysunek 4.14 Płyta zespolona i belki zespolone

Odporność ogniowa płyt złożonych ze stalowych blach profilowanych i betonu

Stosowanie stalowych płyt profilowanych ma na celu mechaniczne wzmocnienie konstrukcji. Spodnia część zwykle nie wymaga żadnej ochrony. Płyty zespolone bez żadnej specjalnej ochrony wykazują 30 minutową ognioodporność.

Wyższą odporność ogniową można uzyskać w prosty sposób przez:

- dodanie prętów zbrojeniowych w płycie,
- zastosowanie ochrony na spodniej stronie blachy profilowanej,
- zastosowanie sufitu podwieszanego z wełny mineralnej i okładziny tynkowej.

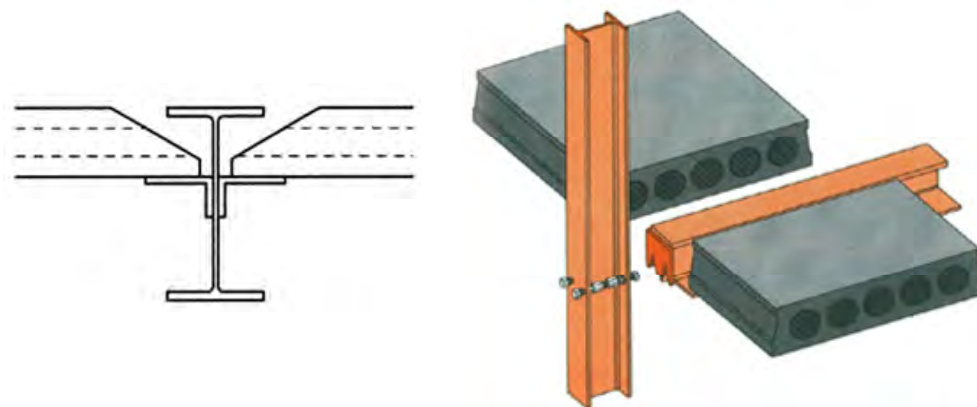
4.3.3 Płyta prefabrykowana z wylewanym na miejscu nadbetonem

Płyty płaskie składają się zazwyczaj z płyty prefabrykowanej oraz betonu wylewanego na miejscu budowy. Na etapie betonowania mogą być wymagane tymczasowe podpory do przenoszenia obciążenia pochodzącego od płyty prefabrykowanej, betonu oraz robotników pracujących na miejscu budowy.

Jeśli wykonane zostaną odpowiednie połączenia (np. łączniki sworzniowe) pomiędzy płytą a belką, płyta może wpłynąć na poprawę nośności przy zginaniu oraz sztywności belek — patrz belki zespolone w tabeli 4.3.

4.3.4 Płyty kanałowe

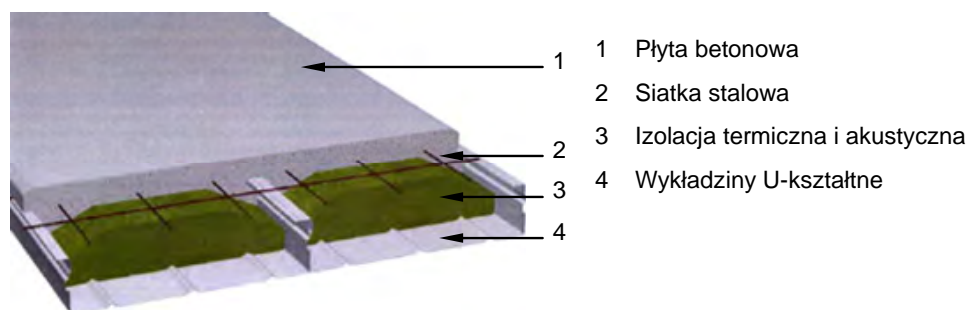
Prefabrykowane płyty kanałowe są zwykle stosowane razem ze zintegrowanymi belkami stropowymi (belkami niezespólonymi). Elementy te mogą być umieszczane na przyspawanych do środka kątownikach lub na dolnych pasach (patrz Rysunek 4.15, Rysunek 4.8 i Rysunek 4.9). Zaleca się stosowanie nadbetonu konstrukcyjnego zbrojonego, który zwiąże wszystkie elementy razem i będzie zachowywał się jak diafragma.



Rysunek 4.15 Płyty kanałowe

4.3.5 Komponenty prefabrykowanych płyt zespolonych

Tego rodzaju strop wytwarzany jest w częściach, których szerokość wynosi 1,20 m a długość osiąga 7,00 m, jak pokazano na rysunku 4.16.



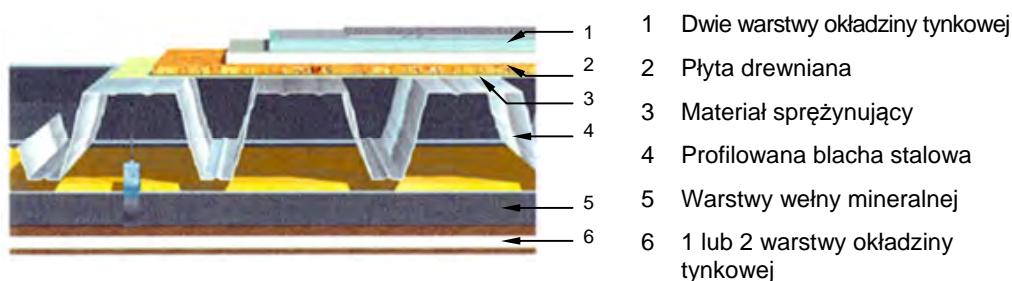
Rysunek 4.16 Komponenty prefabrykowanych płyt zespolonych

4.3.6 Stropy suche

Stropy suche wykonywane są ze składanych mechanicznie komponentów przemysłowych (patrz Rysunek 4.17). Charakteryzują je przede wszystkim:

- lekkość,
- właściwości akustyczne,
- izolacyjność termiczna (izolacja jest zintegrowana ze stropem),
- szybkość montażu,
- brak tymczasowego podporowania podczas montażu,
- elastyczność.

Przenoszenie obciążenia zapewnia stalowa blacha profilowana. Jej długość może być różna, od 2,00 do 6,00 m, a wysokość wynosi ok. 20 cm. Instalacje techniczne (kable, przewody) mogą być układane w całej wysokości stalowej blachy profilowanej. W stropie można umieścić również elektryczną folię grzejącą.



Rysunek 4.17 Główne komponenty stropu suchego



Rysunek 4.18 Zdjęcie przedstawiające strop suchy

Ognioodporność stropów suchych zależy od właściwości pożarowych sufitu podwieszanego oraz górnych komponentów wykonanych z okładziny tynkowej. Właściwości mogą być dostosowane do przepisów krajowych lub innych szczególnych wymagań.

4.3.7 Akustyczne i termiczne wymagania względem stropów

Aby spełnić wymagania związane z izolacją akustyczno-termiczną, możliwe jest dołączenie do płyt innych materiałów. Materiały takie stanowią także odpowiednią okładzinę.

Takimi materiałami są:

- okładzina tynkowa przymocowana pod stropem zespolonym — liczba warstw takiej okładziny zależy od wymaganej charakterystyki akustycznej,
- warstwy wełny mineralnej podpierające okładzinę tynkową.

Przestrzeń między belkami pod stropem można wykorzystać do przeprowadzenia instalacji technicznych (przewodów).



Rysunek 4.19 Płyta zespolona z izolacją termiczną

4.4 Połączenia

4.4.1 Ogólne

Konstrukcja stalowa oparta jest na prostej zasadzie montowania takich elementów jak słupy, belki, stężenia, ściągi. Komponenty przegród zewnętrznych budynku — stropy i ściany działowe — są następnie łączone z głównymi elementami konstrukcyjnymi.

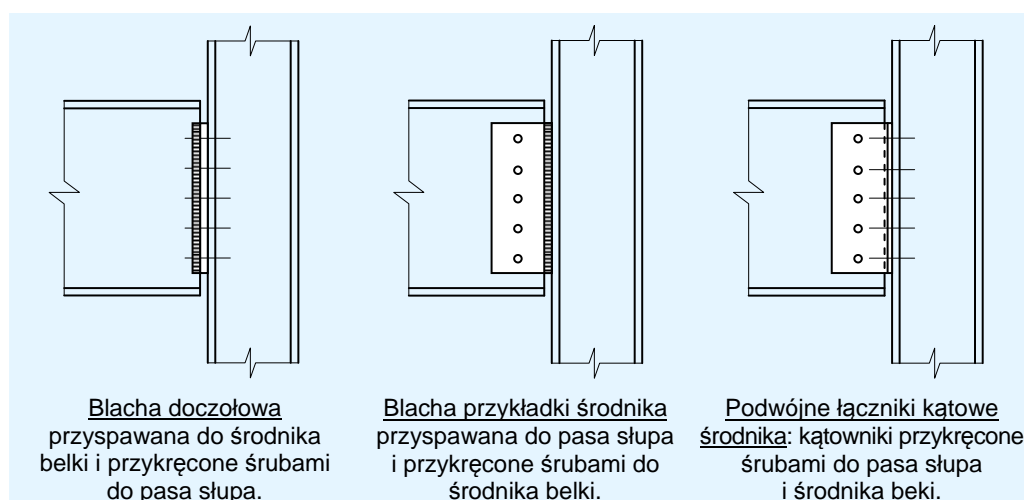
Główną funkcją połączenia jest przenoszenie sił wewnętrznych pomiędzy elementami w sposób zgodny z założeniami projektowymi — połączenia przegubowe bądź połączenia ciągłe. W przypadku połączeń widocznych ich estetyczny wygląd może skupiać uwagę na zachowaniu konstrukcji i podnieść architektoniczną wartość budynku.

4.4.2 Typy połączeń

Istnieje wiele różnych typów połączeń elementów konstrukcyjnych. Podstawowymi i powszechnie używanymi w konstrukcjach wielokondygnacyjnych typami połączeń są:

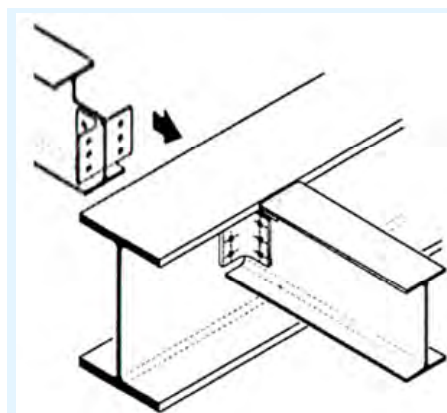
- połączenia nominalnie przegubowe (belka-belka oraz belka-słup),
- połączenia zginane (belka-słup) w przypadku ram ciągłych,
- połączenia stężeń,
- podstawy słupów.

Rysunek 4.20 przedstawia trzy typy połączeń belka-słup. Połączenia te można uznać za przegubowe. Głównym zadaniem tego typu połączeń jest przenoszenie siły ścinającej oraz niewielkiej siły osiowej.



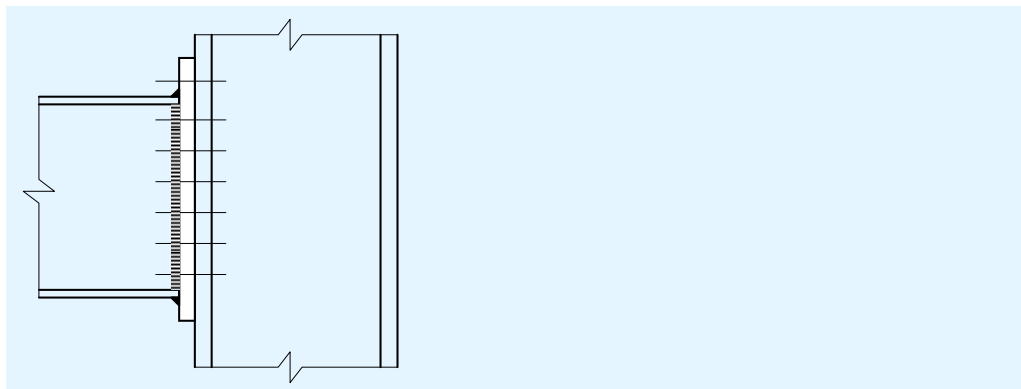
Rysunek 4.20 Standardowe połączenia belka-słup — połączenia przegubowe

Rysunek 4.21 przedstawia połączenie belki drugorzędnej z belką główną, wykonane za pomocą podwójnych łączników kątowych środniczka. Na belce drugorzędnej znajdują się wycięcia pozwalające na ustawienie jej górnego pasa równo z górnym pasem belki głównej.



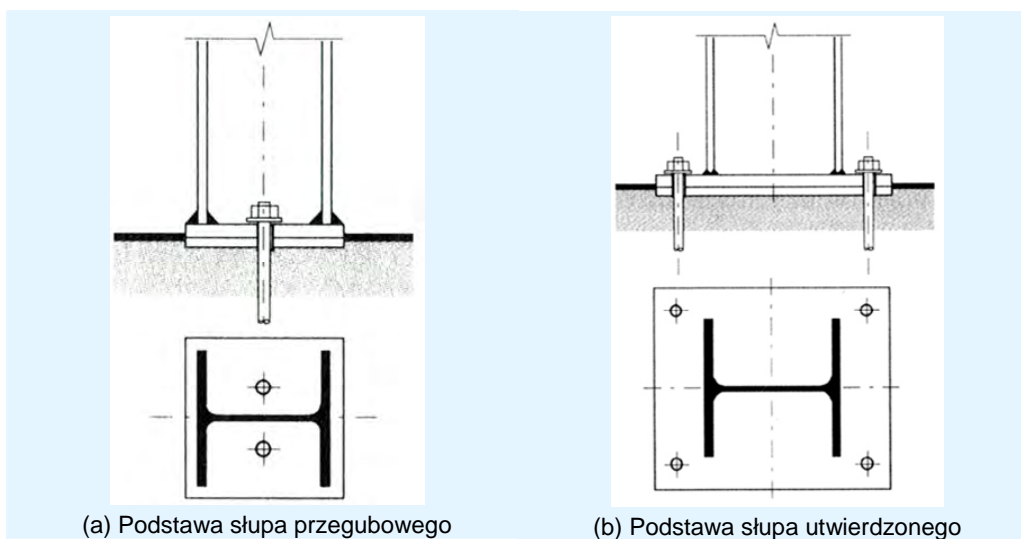
Rysunek 4.21 Standardowe połączenie belka-belka

Rysunek 4.22 przedstawia przykład sztywnego połączenia typu belka-słup. Blacha doczołowa jest przyspawana do belki i przykręcona śrubami do pasa słupa. Zadaniem tego typu połączeń jest przenoszenie momentu zginającego oraz siły ścinającej.



Rysunek 4.22 Połączenie zginane

Podstawy słupów w konstrukcjach wielokondygnacyjnych są zwykle łączone połączeniami nominalnie przegubowymi, jak pokazano to na rysunku 4.23(a). Znaczna siła ściskająca przenoszona jest na betonowy fundament. W standardowych przypadkach siła ścinająca pozostaje na dość niskim poziomie. 4.23(b) został zamieszczony w celach porównawczych i przedstawia podstawę słupa utwierdzonego.



Rysunek 4.23 Podstawy słupów

Końce stężeń są zwykle przykręcane śrubami do płyt węzłowych. Płyty węzłowe mogą być przykręcane śrubami lub rzadziej spawane do głównych elementów konstrukcyjnych (belki i słupa). Przykład pokazano na rysunku 4.24



Rysunek 4.24 Standardowe połączenie stężenia

4.5 Podsumowanie

W tabeli 4.4 zestawiono typowe ciężary i masy elementów konstrukcyjnych.

Tabela 4.4 Typowe ciężary i masy elementów budynku

Element	Typowy ciężar albo masa
Prefabrykaty (rozpiętość 6 m, zaprojektowane na obciążenia użytkowe rzędu 5 kN/m^2)	3 do $4,5 \text{ kN/m}^2$
Płyta płaska (beton zwykły, 200 mm grubości)	5 kN/m^2
Płyta zespolona (beton zwykły, 130 mm grubości)	2,6 do $3,2 \text{ kN/m}^2$
Płyta zespolona (beton lekki, 130 mm grubości)	2,1 do $2,5 \text{ kN/m}^2$
Instalacje techniczne	$0,25 \text{ kN/m}^2$
Sufity	$0,1 \text{ kN/m}^2$
Konstrukcja stalowa (niska, 2 do 6 kondygnacji)	35 do 50 kg/m^2
Konstrukcja stalowa (średniej wysokości, 7 do 12 kondygnacji)	40 do 70 kg/m^2

Stal oferuje architektom wiele zalet w procesie projektowania budynków wielokondygnacyjnych:

- możliwość uzyskania dużych rozpiętości,
- budynek o konstrukcji stalowej jest lżejszy od wykonanego w technologii tradycyjnej,
- fundamenty są proste w wykonaniu i tańsze,
- rozwiązanie to sprawdza się doskonale w przypadku gruntów o słabych właściwościach nośnych.

5 PODSTAWOWE ZASADY DOBREGO PROJEKTOWANIA: PRZEGRODY ZEWNĘTRZNE

5.1 Elewacje

5.1.1 Uwagi ogólne

W przypadku wyboru stali na materiał konstrukcyjny elewacje wykonywane są z szeregu prefabrykowanych wyrobów pełniących następujące funkcje: elementu nośnego, zapewniającego szczelność, wodoszczelność, ochronę przed zjawiskami sejsmicznymi, izolację termiczną i akustyczną, ochronę przeciwpożarową oraz, co oczywiste, funkcję estetyczną.

Zastosowanie tych wyrobów w systemach elewacyjnych gwarantuje dużą precyzję oraz odpowiednie własności i dlatego wymaga przestrzegania pewnego rygoru projektowego, zwłaszcza w odniesieniu do szczegółów związanych z tworzeniem połączeń oraz detali okładzinowych różnych elementów.

W przypadku elewacji stalowe elementy składowe mogą pełnić rolę ram drugorzędnych (lekkie elementy stalowe bądź wentylowane elewacje podwójne z blachą stalową lub półkami), podpór okładziny zewnętrznej, samych okładzin i wreszcie funkcję dekoracyjną i ochronną przed działaniem promieni słonecznych.

Rozwiązania konstrukcyjne z wykorzystaniem stali mogą być również łączone z okładzinami elewacyjnymi innych typów: okładziną z blachy stalowej, kamieniem, cegłą, terakotą, drewnem i szkłem (patrz przykłady na rysunku 5.1). Oferują one pełną gamę różnorodnych rozwiązań architektonicznych pod względem wyglądu, kształtu i wykończenia.

Ogromny wybór wykończeń elewacji pozwala na dobór odpowiedniego rozwiązania uwzględniającego właściwości charakterystyczne dla wszelkiego typu projektów (Rysunek 5.2), w tym:

- budynków użyteczności publicznej,
- obiektów biurowych,
- budynków mieszkalnych i hoteli,
- obiektów handlowych.



Okładzina stalowa — Montargis (Francja)



Okładzina stalowa — Montargis (Francja)



Terakota — Fulham (Wielka Brytania)



Kamień — Bagnolet (Francja)



Drewno — Luksemburg (Luksemburg)



Tynk na ścianach nośnych — Helsinki (Finlandia)

Rysunek 5.1 Rodzaje materiałów elewacyjnych



Millenaris — Budapeszt (Węgry)



Parlament Europejski (Francja)



Budynki mieszkalne — Evreux (Francja)

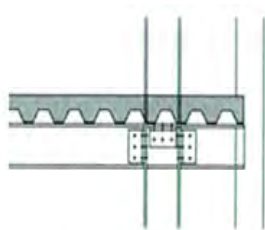


Uniwersytet — Turyn (Włochy)

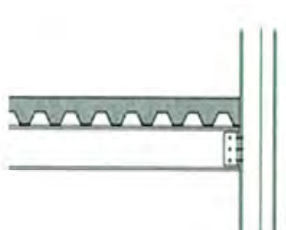
Rysunek 5.2 Elewacje różnego rodzaju projektów

5.1.2 Ustalenie położenia elewacji

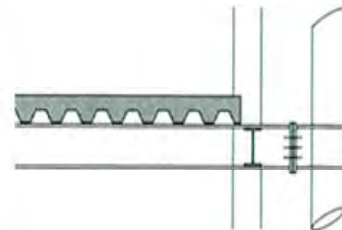
Istnieją trzy konfiguracje położenia elewacji względem konstrukcji, jak pokazano na rysunku 5.3.



ZEWNĘTRZNA: ściana osłonowa, prefabrykowane panele ściennie



ELEWACJA PODWÓJNA: lekkie ściany wypełniające i okładzina zewnętrzna



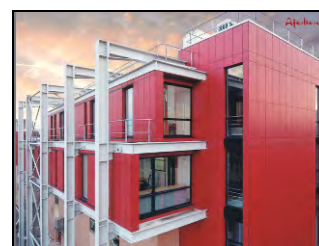
WEWNĘTRZNA: elewacja panelowa



Biurowiec Spinningfield
Manchester



Royal Northern College of Music
Manchester



Warsztaty przedsiębiorstwa
transportu publicznego — Paryż

Rysunek 5.3 Ustalenie położenia elewacji

Cechy charakterystyczne tych trzech opcji to:

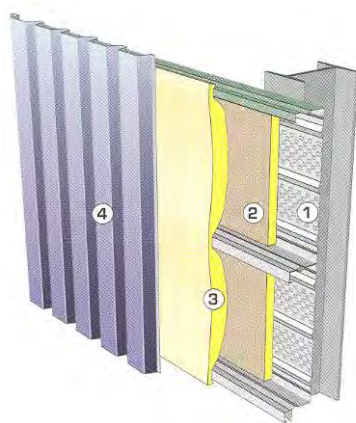
- Elewacja całkowicie zewnętrzna: konstrukcja jest widoczna wewnątrz
 - Elewacja składa się z szeregu paneli montowanych pomiędzy kondygnacjami.
 - Jeżeli słup jest zakryty, należy zastosować najbardziej ekonomiczną opcję kształtowników.
 - Jeżeli słup jest widoczny, należy zwrócić uwagę na walory estetyczne.
 - W tym przypadku wymagania dotyczące ochrony przeciwpożarowej zależą od przeznaczenia budynku, a ich spełnienie może być zrealizowane na szereg sposobów (patrz punkt 6.2.4).
- Grubość elewacji podwójnej:
 - Ogólnie rzecz ujmując, ponieważ słup nie jest widoczny, najbardziej ekonomiczne rozwiązanie będzie determinowane wyborem kształtownika.
 - Jeżeli w wyniku doboru wymiarów w okładzinie elewacyjnej powstaną nieciągłości, w celu zmniejszenia ich skali słupy można podzielić na dwie części.
 - Odpowiednio zaadaptowane okładziny wewnętrzne oraz zewnętrzne zapewnią ochronę przeciwpożarową konstrukcji.
- Elewacja wewnętrzna: konstrukcja jest widoczna na zewnątrz budynku
 - Połączenia belek elewacji muszą być dokładnie sprawdzone, szczególnie w zakresie spełnienia wymagań termicznych, konstrukcyjnych oraz pożarowych. Można zastosować specjalne układy tych połączeń.

5.1.3 Zasada montażu

W przypadku większości elementów konstrukcyjnych elewacji lekkich krawędź stropu stanowi granicę. Płaszczyzna pionowa, jaką ona wyznacza, przeznaczona jest pod zabudowę elementów mocujących, ma ograniczać występowanie mostków cieplnych i zapewniać ochronę przeciwpożarową pomiędzy stropami.

Na zewnątrz budynku znajdują się elementy podporowe okładziny zewnętrznej (ramy drugorzędne, blachy), które montowane są w pozycji pionowej, a czasem poziomej. Następnie kładziona jest pierwsza warstwa izolacji termicznej. Okładzina zewnętrzna mocowana jest do tej ramy za pomocą mechanizmu mocującego (ramy poprzecznej, stężeń, ramy sprężonej itp.). Okładzinę zewnętrzną mogą stanowić gotowe panele z warstwą izolacyjną (rysunek 5.4).

Wewnątrz budynku używana jest zwykle przegroda podwójna składająca się z jednej do trzech warstw okładziny tynkowej przymocowanej do lekkiej ramy stalowej. Pomiedzy słupami ramy umieszczana jest dodatkowa izolacja (Rysunek 5.5).



Przykład okładziny pionowej

- 1 Okładzina wewnętrzna — podpora elewacji
- 2 Izolacja termiczna lub akustyczna (pierwsza warstwa)
- 3 Izolacja termiczna — druga warstwa za półkami stalowymi
- 4 Okładzina zewnętrzna



Prefabrykowany duży panel ścienny z wbudowanymi kształtownikami SHS (Finlandia)

Rysunek 5.4 Okładzina

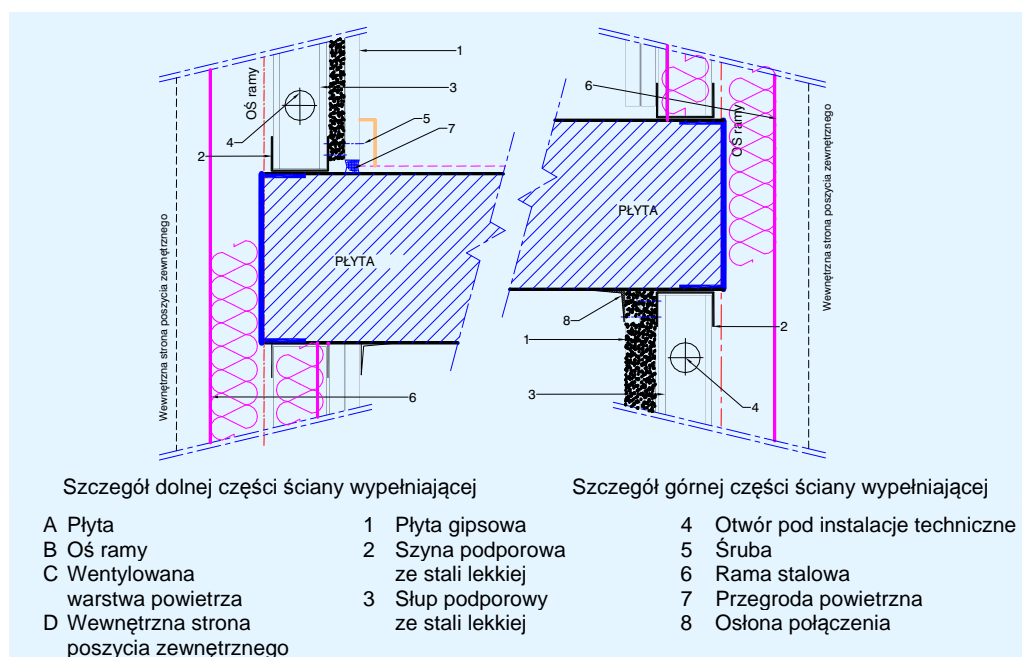


Rysunek 5.5 Izolacja termiczna

Te lekkie systemy elewacyjne często obejmują komorę powietrzną w celu zapewnienia wentylacji. Jest ona zlokalizowana pomiędzy warstwą izolacji ciągłej położonej przed krawędzią stropu a wewnętrzną stroną okładziny zewnętrznej.

Taki układ sprzyja osiągnięciu dobrych właściwości higrotermicznych ścianek działowych i ułatwia montaż niepołączonych elementów okładzin. Jednakże w celu ochrony zewnętrznej warstwy izolacji niezbędne jest zamontowanie okładzin przeciwdeszczowych.

Wodoszczelne okładziny zewnętrzne uniemożliwiają utworzenie komory powietrznej i wentylację elewacji.



Rysunek 5.6 Ściany wypełniające

5.1.4 Elementy izolacji termicznej i akustycznej

Dzięki dwóm warstwom izolacyjnym możliwe jest różnicowanie typów (wełna mineralna, poliuretan, szkło piankowe) oraz grubości użytych materiałów. Tym samym możliwa jest eliminacja znacznej części mostków cieplnych. W celu ograniczenia ryzyka bezpośredniego przewodnictwa cieplnego (mostki cieplne) należy podejmować środki zaradcze na poziomie mocowań oraz połączeń pomiędzy częściami metalowymi, które mają kontakt z przestrzenią wewnątrz i na zewnątrz budynku.

Również właściwości akustyczne zależą od układu i mocowań okładziny zewnętrznej oraz od gęstości użytej izolacji. W celu poprawy komfortu materiał wewnętrznej okładziny wykończeniowej może składać się dodatkowo z blachy perforowanej (patrz Rysunek 5.4), która zapewnia lepsze właściwości akustyczne izolującej wełny mineralnej stanowiącej część elewacji przez zjawisko absorpcji atmosferycznej przy wysokim poziomie ciśnienia akustycznego.

Elewacje lekkie wykorzystujące konstrukcje stalowe są idealnym rozwiązaniem zarówno w przypadku nowych, jak i remontowanych budynków, a w szczególności w obiektach rozbudowywanych w pionie.



Politechnika Rzeszowska (Polska)



Budynek mieszkalny (Dania)

Rysunek 5.7 Renowacje i rozbudowy

Tabela 5.1 Zestawienie porównawcze mas elewacji i ścian działowych

Typ elewacji	Masa (kg/m ²)
Elewacja ciężka: - ściana nośna 18 cm - 8 cm izolacja zewnętrzna - terakota lub okładzina kamienna od 20 do 50 cm	80-100 (bez ściany)
Elewacja lekka: - rama drugorzędna elewacji (profile gięte na zimno) - warstwa wełny mineralnej - warstwa wyrównująca 0,07 cm - zewnętrzna okładzina wykończeniowa — półka stalowa	30-50
Ściana betonowa 20 cm	500
2 słupy dwuteowe szerokostopowe 0,20 m 1 belka dwuteowa 0,27 m Lekkie ściany działowe 0,20 m	30–50 w zależności od przeznaczenia

5.2 Systemy pokryć dachowych

5.2.1 Uwagi ogólne

Na ramach stalowych mogą być montowane dachy dowolnego typu — od wodoszczelnych po płaskie lub sklepione, jak również dachy szklane i nieprzezroczyste.



Budynek SuperC — Aachen



Kamień — Bagnolet



Drewno — Luksemburg



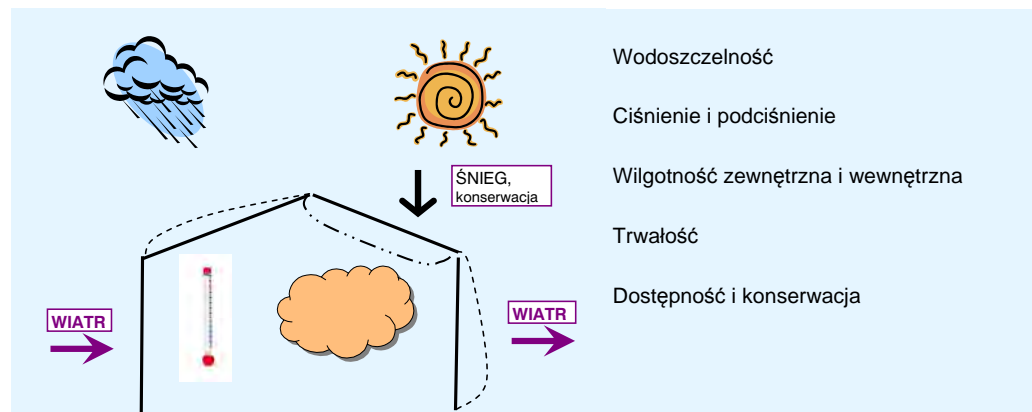
Dach dwuspadowy na etapie budowy



Dach szklany

Rysunek 5.8 Dachy

Zewnętrzne przegrody budynku muszą spełniać wiele różnych wymagań, patrz Rysunek 5.9.

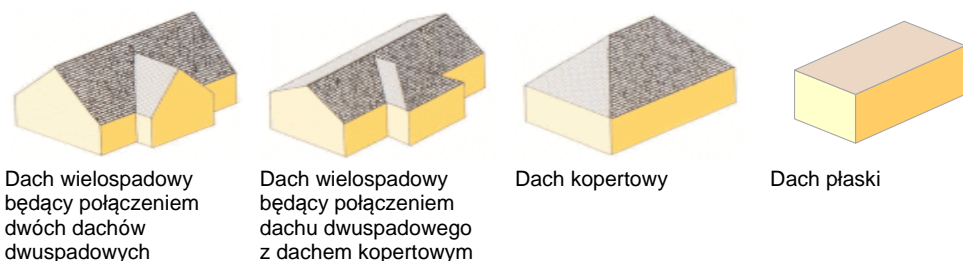


Rysunek 5.9 Wymagania odnośnie przegród zewnętrznych budynku

Topologia dachu zależy od kilku czynników, między innymi jego kształtu i nachylenia, wyglądu zewnętrznego, rodzaju podpór, użytego materiału i jego koloru.

Zazwyczaj wyróżnia się trzy typy dachów:

- dachy płaskie bez spadku,
- dachy dwuspadowe (nachylenie od 3 do 7%),
- dachy spadziste lub sklepione.



Rysunek 5.10 Dachy

Najważniejsze cechy ramy stalowej dachów o niewielkim nachyleniu to jakość mocowań oraz układ odprowadzenia wód opadowych (Rysunek 5.11).

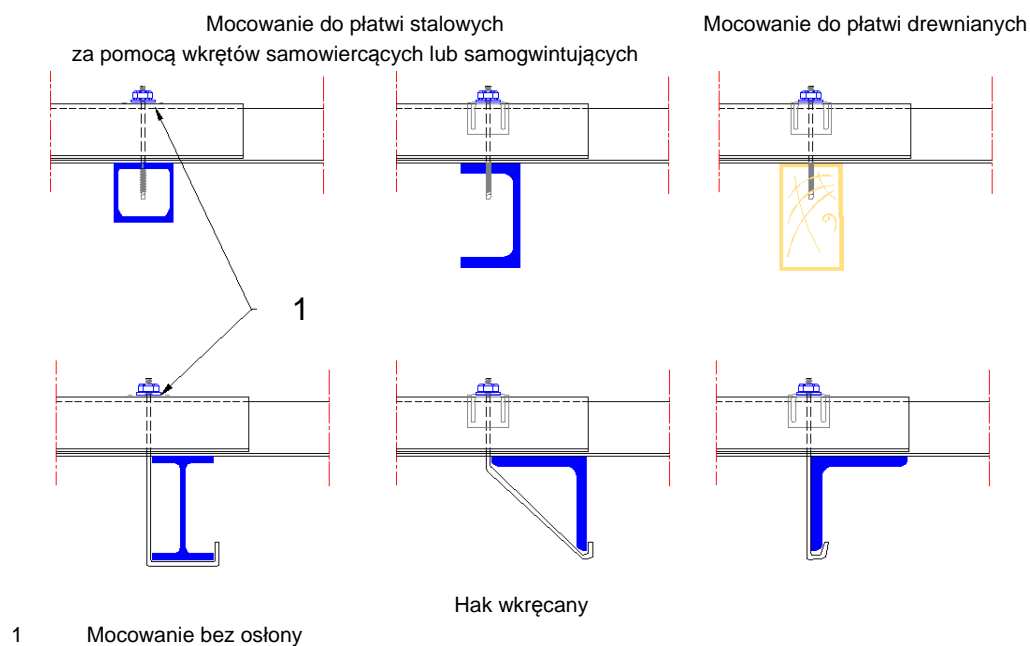
5.2.2 Dachy płaskie

Podstawę pokrycia dachu płaskiego umieszczonego na elementach podporowych mogą stanowić lekkie przegrody budowlane, blachy (patrz Rysunek 5.12) lub betonowe elementy sprężane wykorzystywane w technologii krycia betonem.

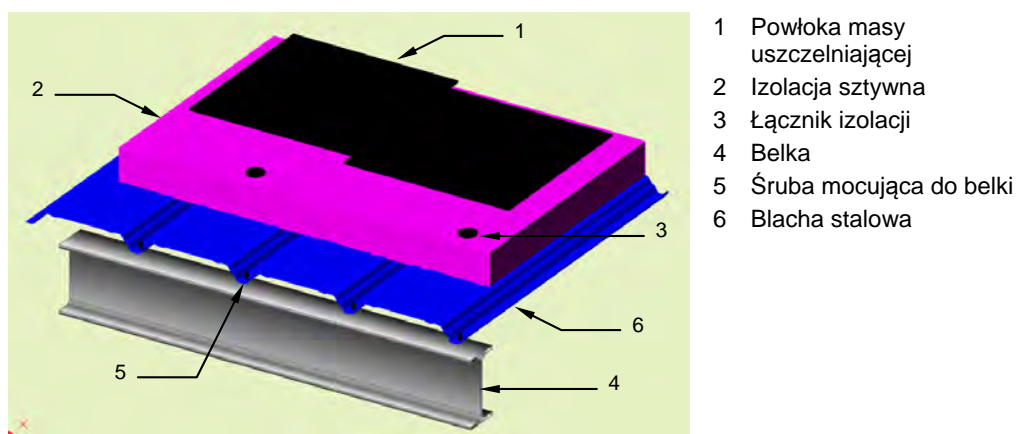
Od góry montowana jest izolacja paroszczelna, izolacja termiczna oraz bariera wodoszczelna z zabezpieczeniem lub bez. W celu wykonania attyki zapewniającej większą wodoodporność można zastosować elewację z drugorzędnej konstrukcji stalowej, której wysokość można zwiększyć do wymaganej wartości.

5.2.3 Dachy dwuspadowe

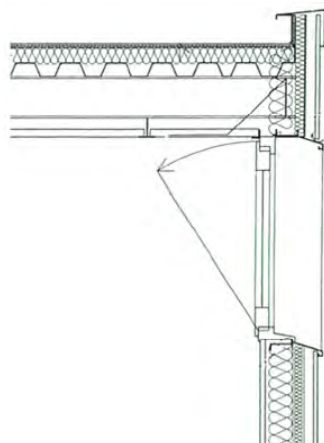
Wodoszczelność dachów dwuspadowych o niewielkim kącie nachylenia (od 3 do 7%) można uzyskać również przez zastosowanie wyrobów bitumicznych lub wodoszczelnych membran wykonanych z PCV. Izolację montuje się bezpośrednio na półce z blachy ocynkowanej. Technologia ta jest łatwa w użyciu i ekonomiczna w przypadku trudno dostępnych dachów. Izolację akustyczną zapewnia odpowiednia grubość zastosowanych materiałów oraz kolejność ich nakładania.



Rysunek 5.11 Rodzaje mocowań



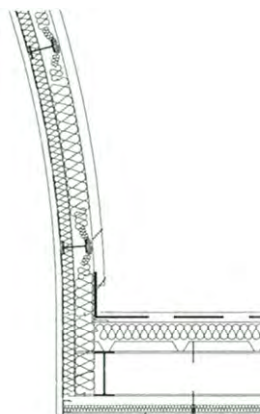
Rysunek 5.12 Typowy widok dachu płaskiego



Rysunek 5.13 Narożnik elewacji i dachu — widok na placu budowy

5.2.4 Dachy spadziste lub sklepione

Wodoszczelność można uzyskać w łatwy sposób, zapewniając zakładki arkuszy blachy odpowiadające mniej więcej spadkowi dachu i układowi elementów. Najczęściej stosowana technika polega na ułożeniu materiałów w taki sposób, aby wyeliminować wszelkie komory powietrzne.



Rysunek 5.14 Dach łukowy

5.2.5 Konstrukcja dachu

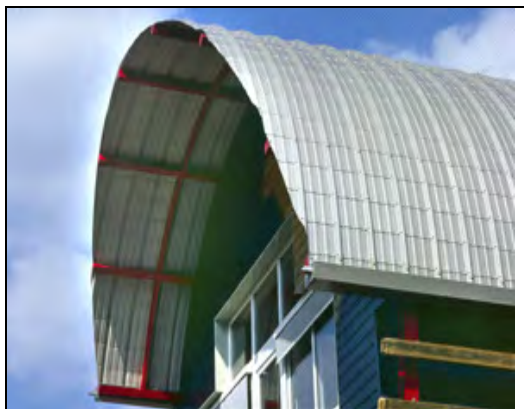
Typowa konstrukcja dachu, patrząc od zewnątrz, składa się z następujących elementów:

- Poszycie ze stalowej blachy trapezowej zamontowanej prostopadle do paneli
- Pierwsza warstwa izolacyjna składająca się z rozpiętych płyt pilśniowych wraz z izolacją paroszczelną umieszczona jest pomiędzy poszyciem a panelami
- Druga, grubsza warstwa wełny mineralnej
- Rama stalowa, do której mocowane są elementy wykończenia wewnętrznego
- Druga warstwa izolacji paroszczelnej
- Materiał wykończenia wewnętrznego w postaci jednej lub dwóch warstw okładziny tynkowej przykręconej do ramy stalowej lub, w niektórych przypadkach, do stalowego poszycia lub stalowego poszycia perforowanego
- Izolacja akustyczna szczególnie skutecznie wyciszająca hałas powstający podczas opadów deszczu

Do metalowych dachów można przymocować systemy siatek dachowych o różnym stopniu perforacji w celu ochrony przed szokiem termicznym oraz dla poprawy koncepcji architektonicznej przez zastosowanie daszku.

Jako materiał pokrycia dachów łukowych szczególnie odpowiednie są zarówno malowane, jak i niemalowane blachy ocynkowane oraz blachy ze stali nierdzewnej (patrz Rysunek 5.15). Żebra usztywniające poprawiają wytrzymałość na zginanie.

Płyty oparte są na panelach, których właściwości decydują o rozstawach i nośności. Poszycie mocowane jest na żebrych usztywniających za pomocą szczelnych połączeń sprężanych.



Rysunek 5.15 Dach łukowy z poszyciem ze stalowej blachy ocynkowanej

5.2.6 Systemy energii odnawialnej

Konstrukcja dachu może umożliwiać zamontowanie różnych systemów energii odnawialnej, takich jak panele słoneczne. Rysunek 5.16 przedstawia ogniwa fotoelektryczne zamontowane na budynku mieszkalnym.



© SYSTAIC

Rysunek 5.16 Ogniwa fotoelektryczne zamontowane na dachu

Rysunek 5.17 przedstawia turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu zamontowane na dachu płaskim.



www.innoenergie.com

Rysunek 5.17 Sieć niewielkich turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu zamontowanych na dachu płaskim

6 INNE CZYNNIKI DOBREGO PROJEKTOWANIA

Poza korzyściami opisanymi w poprzednich rozdziałach i dotyczącymi właściwości mechanicznych oraz zakresu zastosowań technicznych stal umożliwia:

- oszczędności wynikające ze zmniejszonego ciężaru konstrukcji,
- optymalne wykorzystanie przestrzeni oraz opłacalność inwestycji,
- łatwość utrzymania czystości i efektywne wykorzystanie miejsca na placu budowy.

Przestrzeganie dobrej praktyki podczas projektowania konstrukcji stalowych oraz dobór odpowiednich materiałów pozwalają na spełnienie wszystkich przedstawionych poniżej wymagań określonych zarówno w przepisach, jak i przez klienta:

- zachowanie pod wpływem zjawisk sejsmicznych,
- ognioodporność,
- właściwości akustyczne,
- sprawność termiczna,
- zrównoważony rozwój,
- integracja instalacji technicznej.

6.1 Charakterystyka odporności na trzęsienie ziemi

Konstrukcje stalowe nadają się szczególnie do obiektów budowanych na obszarach o dużej aktywności sejsmicznej. Ma to głównie związek ze zmniejszonym wpływem mas o dużych przyspieszeniach oraz wysoką plastycznością stali umożliwiającą znaczne rozproszenie energii.

Dobre własności sejsmiczne konstrukcji stalowych potwierdza fakt, że na świecie bardzo rzadko dochodzi do uszkodzenia budynków wykonanych ze stali na skutek trzęsienia ziemi. Potwierdza to również wykonana niedawno analiza skutków silnego trzęsienia ziemi, które miało miejsce w Europie. 6 kwietnia 2009 r. w pobliżu miasta L'Aquila położonego około 90 km na północny-wschód od Rzymu wystąpiło trzęsienie ziemi o sile 6,3 stopnia. Konstrukcje stalowe w rejonie dotkniętym trzęsieniem obejmowały przede wszystkim budynki przemysłowe i handlowe położone poza miastami. W konstrukcjach tych wystąpiły jedynie nieznaczne uszkodzenia. Żadne z niewielkich uszkodzeń nie spowodowało naruszenia integralności konstrukcji i bardzo szybko możliwe było wznowienie normalnej działalności. Fotografie zamieszczone na rysunku 6.1 wykonane w dniach bezpośrednio po trzęsieniu ziemi przedstawiają centrum handlowe Aquilone.

Warto podkreślić, że w tym okresie ośrodek pomocy zorganizowano w sali gimnastycznej w L'Aquila. Ten stalowy budynek, którego konstrukcja obejmuje okrągłe słupy oraz dach wsparty na kratownicach przestrzennych, zapewnił ogromną wolną przestrzeń wykorzystywaną nieprzerwanie pomimo wielu wstrząsów wtórnych, które nastąpiły w kolejnych tygodniach. Włoskie władze są całkowicie przekonane o doskonałych własnościach sejsmicznych tego typu konstrukcji.



Rysunek 6.1 Centrum handlowe Aquilone

6.2 Zachowanie podczas pożaru

6.2.1 Uwagi ogólne

Wymagania odnośnie zachowania konstrukcji podczas pożaru określają przepisy krajowe. Zależą one od przeznaczenia budynku, jego wielkości oraz dostępności, jak również konsekwencji ewentualnego zawalenia się.

Zabezpieczenie przeciwpożarowe ma na celu:

- zapewnienie stabilności elementów nośnych w określonym czasie,
- ograniczenie powstawania i rozprzestrzeniania się ognia i dymu,
- ułatwienie działań ratunkowych,
- umożliwienie bezpiecznej i szybkiej ewakuacji osób przebywających wewnątrz,
- ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia na sąsiadujące konstrukcje.

W celu osiągnięcia tych założeń w przepisach określono różne rodzaje wymagań:

- wymagania dotyczące materiałów — reakcja na działanie ognia,
- wymagania względem elementów konstrukcji (głównych elementów konstrukcyjnych i pomocniczych elementów niekonstrukcyjnych) — odporność ogniowa podwyższona dzięki ochronie pasywnej,
- wymagania dotyczące układu dostępu do budynku oraz działań w ramach ochrony czynnej.

Wymagania te należy uwzględnić już od wstępnych etapów projektowania. Uwzględnienie tych wymagań dopiero w późniejszych etapach może spowodować powstanie znaczących kosztów lub nawet doprowadzić do całkowitego odrzucenia istniejącego projektu.

6.2.2 Reakcja na działanie ognia

Niektóre materiały mogą przyspieszać rozprzestrzenianie się ognia. W tabeli 6.1 podano europejską klasyfikację materiałów budowlanych ze względu na ich reakcję na ogień. Stal, jako materiał niepalny, zaliczona została do klasy A1.

Tabela 6.1 Europejska klasyfikacja materiałów budowlanych

Klasa		Komentarz
A1	wyroby niepalne	Nie przyczyniają się do rozwoju nawet bardzo rozwiniętego pożaru. Muszą automatycznie spełniać wymagania klas mniej rygorystycznych
A2	wyroby niepalne oraz o niewielkim stopniu palności	Klasa B + w niewielkim stopniu przyczynia się do wzrostu obciążenia ogniowego i rozwoju pożaru w przypadku bardzo rozwiniętego ognia
B	wyroby palne	Jak dla kategorii C, ale o bardziej rygorystycznych kryteriach
C	wyroby palne	Jak dla kategorii D, ale o bardziej rygorystycznych kryteriach
D	wyroby palne	Wyrób odporny na działanie niewielkiego ognia przez dłuższy okres czasu. Odporny na oddziaływanie termiczne pojedynczych obiektów objętych pożarem przy opóźnionym i ograniczonym wydzielaniu ciepła
E	wyroby palne	Wyroby odporne na działanie niewielkiego pożaru bez znacznego rozprzestrzeniania go
F	wyroby niesklasyfikowane	Nieokreślony stopień reakcji na działanie ognia

System określa również dodatkowe klasyfikacje, jak podano w tabeli 6.2.

Tabela 6.2 Dodatkowe klasy

Wydzielanie dymu	Występowanie płonących kropli lub cząstek
S1 niska emisja dymu	d0 brak palących się kropel
S2 średnia emisja dymu	d1 krople płoną przez mniej niż 10 sekund
S3 ograniczenia nie są wymagane	d2 płonące krople (dłużej niż 10 sekund)

6.2.3 Ognioodporność

Ognioodporność to zdolność elementu budowlanego do zachowania swojej zakładanej funkcji w przypadku pożaru.

Ognioodporności elementów konstrukcji klasyfikuje się ze względu na:

- kryteria znormalizowane (patrz Tabela 6.3),
- stopień ognioodporności (wyrażony w minutach czas trwania przed osiągnięciem wartości granicznej kryterium).

Stanowi ona miernik właściwości pożarowych klasyfikowanego elementu.

Wymagania dotyczące ognioodporności elementów budynku wyrażone są w postaci kryterium klasyfikacji oraz okresu czasu, w którym kryterium to musi być spełnione.

Tabela 6.3 **Klasyfikacja elementów budynku**

Kryteria	Definicje
R	Nośność ogniowa: odporność na oddziaływanie termiczne spowodowane pożarem bez utraty stabilności konstrukcyjnej
E	Szczelność ogniowa: zdolność do zapobiegania rozprzestrzenianiu się ognia i gorących gazów
I	Izolacyjność cieplna: zdolność do zapobiegania wzrostowi temperatury strony nie narażonej na działanie ognia
W	Promieniowanie ciepłe: zdolność do nie emitowania promieniowania ciepłego o wartości większej niż 15 kW/m ²

Elementy konstrukcyjne mogą być przyporządkowane do następujących klas:

R, RE, E, REI lub EI, po których podany jest czas w minutach —15, 30, 60, 90, 120 minut itd.

Istnieją również dodatkowe kryteria oraz kryteria specyficzne dla określonych obiektów — patrz Tabela 6.4.

Tabela 6.4 **Kryteria dodatkowe i specjalne**

Kryteria	Kryteria dodatkowe
S	Nieprzepuszczalność zimnego dymu: zapobiega rozprzestrzenianiu się nawet względnie chłodnego dymu podczas pożaru
C	Automatyczne zamykanie: zamykane automatycznie drzwi, zawory lub okiennice
M	Odporność na oddziaływanie mechaniczne: przegroda pionowa powinna być odporna na boczne uderzenia mechaniczne

Kryteria	Kryteria specjalne
B ₀	Dymne kanały wylotowe (30 min): zadaniem kanału wylotowego jest odprowadzenie gorących gazów podczas pierwszych 30 minut trwania pożaru
D	Bariery (30 min): zapobiegają rozprzestrzenianiu się gorących gazów i dymu podczas pierwszych 30 minut pożaru
F ₀	Kłapy dymowe (30 min): odprowadzają gorące gazy i dym podczas pierwszych 30 minut pożaru

Właściwości pożarowe elementów budynku lub zastosowanych wyrobów muszą być poparte badaniami bądź obliczeniami. Wymagane badania podane zostały w normach określających odpowiednią metodologię i doświadczenia, które należy przeprowadzić w przypadku konkretnych rodzajów właściwości pożarowych.

Obliczenia mogą opierać się na podejściu konwencjonalnym (stały wzrost temperatury w czasie) lub na nowym podejściu do inżynierii pożarowej wprowadzonym w formie Eurokodów i wykorzystującym najnowszy stan wiedzy na temat zachowania materiałów podczas pożaru i rozprzestrzenianiu się ognia.

6.2.4 Metody biernej ochrony przeciwpożarowej

Podobnie jak w przypadku innych materiałów, wytrzymałość i sztywność stali maleje w podwyższonych temperaturach.

Tradycyjnie ognioodporność niezabezpieczonego kształownika stalowego pod standardowym obciążeniem bardzo rzadko przekracza 30 minut.

W związku z tym stosuje się bierną ochronę przeciwpożarową w celu spowolnienia tempa nagrzewania się konstrukcji stalowej, a co za tym idzie zapewnienia wymaganej ognioodporności.

Można w tym celu wykorzystać kilka dostępnych systemów, które zostały wymienione poniżej. Zapewniają one odpowiedni stopień ochrony konstrukcji stalowej niezależnie od końcowego przeznaczenia budynku. Czasem systemy te łączy się ze sobą.

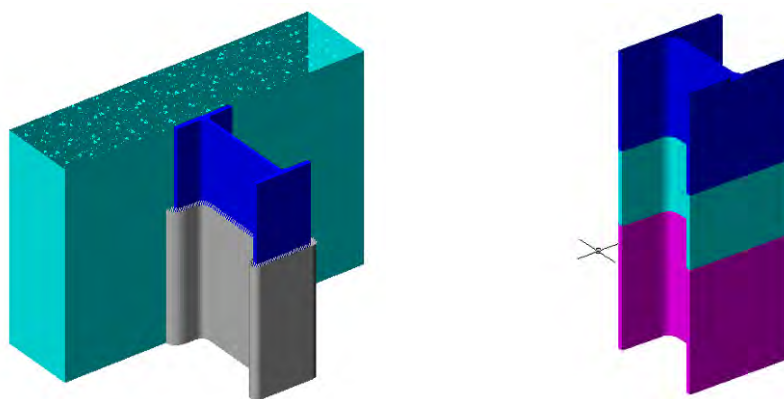
Ochrona za pomocą osłon

Osłony ochronne izolują konstrukcję od rozprzestrzeniającego się ognia przez oddzielenie jej elementami tworzącymi ciągłą ścianę. W przypadku montażu pionowego pełnią funkcję paneli ściennych, natomiast umieszczone poziomo tworzą sufit podwieszany. Wszystkie zastosowane wyroby muszą zostać przebadane pod względem ognioodporności.

Dobór osłon powinien być oparty na ich właściwościach przeciwpożarowych. Takie osłony mogą pełnić również rolę izolacji akustycznej i termicznej, jak również estetycznego wykończenia.

Powłoka przeciwpożarowa nakładana natryskowo

Jest to najpowszechniejsza forma zabezpieczenia. Istnieją dwa podstawowe rodzaje wyrobów — o warstwie grubej i cienkiej.



Rysunek 6.2 Ochrona przeciwpożarowa

W przypadku powłok grubowarstwowych rozpylany wyrób lub powłoka ma konsystencję włóknistą bądź gęstej pasty. W ich skład wchodzi zasadniczo włókna mineralne, wermikulit, żużel lub gips wraz z substancją wiążącą. Rozpyla się je w stanie płynnym za pomocą specjalnych urządzeń. Czasem konieczne jest nałożenie kilku warstw, co wydłuża czas schnięcia.

Takie powłoki mogą zapewniać ochronę przeciwpożarową do 4 godzin.

Powłoki cienkowarstwowe, zwane powłokami pęczniejącymi, cechuje szczególna właściwość — pęcznią pod wpływem ciepła. Grubość warstwy w stanie zimnym wynosi od 0,5 do 4 mm. Natomiast po podgrzaniu do temperatury od 100°C do 200°C powłoka pęcznieje i zmienia się w piankę, osiągając grubość od 30 do 40 mm i chroniąc tym samym element konstrukcji stalowej.

Farby te nakłada się pistoletem natryskowym lub pędzlem, a staranne nałożenie wyrobu zapewnia równomierną ochronę.

Główną zaletą tego typu ochrony przeciwpożarowej jest zachowanie estetycznego wyglądu konstrukcji stalowej. Powłoki cienkowarstwowe mogą zapewniać ochronę do 120 minut.

Płyty ochronne

Ochronę za pomocą płyt uzyskuje się, odpowiednio obudowując nimi element stalowy. Wykorzystuje się do tego mechaniczne elementy mocujące (śruby, kłamry) lub kleje. Płyty wykonane są z gipsu, wermikulitu, włókien mineralnych lub związków krzemianu wapnia.

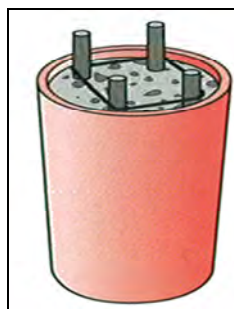
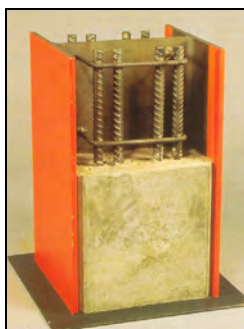
Poniżej opisano zasadę działania tego systemu.

Przedostawanie się gorących gazów do obszaru połączeń stanowi ryzyko i należy na ten problem zwrócić szczególną uwagę podczas stosowania tego systemu ochrony przeciwpożarowej. Płyty należy umieszczać bardzo starannie.

Takie rozwiązanie zapewnia klasę odporności ogniowej nawet R120.

Zespalone konstrukcje stalowo-betonowe

W przypadku konstrukcji zespolonych połączenie właściwości stali i betonu może przyczynić się do zwiększenia odporności na mróz i ogień.



Rysunek 6.3 Konstrukcja zespolona

W przypadku dwuteowników i dwuteowników szerokostopowych przekrój zespolony obejmuje pełną powłokę — a jeszcze częściej wypełnienie — pomiędzy środkiem a pasem, jak pokazano na powyższym rysunku.

Natomiast w przypadku słupów okrągłych przekrój staje się częścią konstrukcji zespolonej przez wypełnienie rury betonem.

Ciężar słupów znacznie wzrasta, ale pod względem ognioochronności mogą one osiągnąć klasę nawet R180. Zespolone konstrukcje stalowo-betonowe zapewniają również skuteczną ochroną przeciwpożarową belek stropowych.

Umieszczenie konstrukcji poza przegrodami zewnętrznymi budynku

Konstrukcja zewnętrzna narażona jest wyłącznie na działanie płomieni wydostających się z otworów oraz płonących elementów budynku. Kontakt z powietrzem otoczenia również przyczynia się do obniżenia temperatury konstrukcji.

Umieszczenie konstrukcji na zewnątrz budynku pozwala uniknąć konieczności zapewnienia ochrony przeciwpożarowej.

6.2.5 Metody czynnej ochrony przeciwpożarowej

Zastosowanie urządzeń dynamicznej ochrony przeciwpożarowej (czujniki, alarmy, klapy dymowe, instalacja tryskaczowa) lub gaszenie zarzewi pożaru przez ludzi (gaśnicami) nosi nazwę czynnych metod ochrony przeciwpożarowej.



Rysunek 6.4 Metody czynnej ochrony przeciwpożarowej

Ich głównym zadaniem jest ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia w celu umożliwienia ludziom jak najszybszej ewakuacji oraz ułatwienie szybkiej interwencji służb ratowniczych.

Układy wykrywania pożaru

Wykrywanie pożaru wymaga zastosowania różnego typu urządzeń, które charakteryzuje wykorzystywana technologia (statyczne, oparte na pomiarze prędkości przepływu płynów lub różnicowe), wykrywane zjawiska (dym, płomienie, wysoka temperatura, gaz) oraz zakres działania (ograniczone lub liniowe).

Tabela 6.5 Podstawowe rodzaje czujników

Czujniki	Funkcja	Zakres zastosowań
Jonowe	Porównanie parametrów powietrza otoczenia z parametrami powietrza w monitorowanym pomieszczeniu	Biura, powierzchnie komunikacyjne
Dym	Tłumienie lub rozproszenie światła przez dym	Pomieszczenia komputerowe oraz obszary szczególnie narażone na występowanie dymu
Płomienie	Układy optyczne wykrywające promienie podczerwone lub ultrafioletowe	Magazyny cieczy łatwopalnych lub generatorów
Termiczne	Wykrywające ciepło	Obszary o agresywnych warunkach (w połączeniu z innymi formami ochrony)
Prędkość przepływu ciepła	Wykrywają nagły wzrost temperatury	Obszary o agresywnych warunkach (urządzenia montowane w pobliżu normalnych źródeł ciepła)

Istnieją również systemy niezależnego wykrywania i aktywowania (ADR). Po wykryciu lokalnego zjawiska związanego z pożarem aktywowane zostaje jedno automatyczne zabezpieczenie (ASD) lub większa ich liczba w celu włączenia urządzeń zabezpieczających — drzwi pożarowych, klap dymowych itp.

Układy gaśnicze i systemy klap dymowych

Systemy gaśnicze stosowane powszechnie w magazynach wytwarzają warstwę piany, która zmniejsza dostęp tlenu i/lub ochładza pomieszczenie.

Automatyczne wodne systemy gaśnicze (tryskaczowe) umożliwiają wykrycie pożaru za pomocą czujników temperatury zamontowanych w głowicach tryskaczowych.

Gaśnice gazowe wykorzystujące CO₂, FM200, Novec lub inne gazy działają na zasadzie obniżania zawartości O₂ w obszarze pożaru. Technologia ta jest często wykorzystywana w pomieszczeniach komputerowych, pomieszczeniach czystych (w laboratoriach lub szpitalach) itp.

Klapy dymowe służą do odprowadzania dymu i gorących gazów w celu umożliwienia ewakuacji osób oraz ograniczenia wzrostu temperatury w pomieszczeniach. Istnieje wiele typów klap dymowych (pojedyncze lub podwójne z listwami ognioochronnymi). Montuje się je na dachu lub elewacji, a uruchamiane są ręcznie za pomocą bezpieczników lub przy użyciu automatycznych zabezpieczeń (ADR).



Rysunek 6.5 Klapa dymowa

6.2.6 Inne wymagania

Przepisy krajowe określają również wymagania dotyczące:

- ułatwienia ewakuacji osób (liczba i wymiary wyjść);
- ochrony osób (przegrody ogniowe, przegrody dymne i oddymianie, wyjścia ewakuacyjne, wyraźne oznakowanie dróg ewakuacyjnych, zachowanie stabilności konstrukcji umożliwiające ewakuację);
- reakcji służb ratowniczych (dostęp do budynku, normy bezpieczeństwa, szkolenia).

6.3 Właściwości akustyczne

6.3.1 Uwagi ogólne

W celu zapewnienia odpowiedniego stopnia komfortu akustycznego w przepisach krajowych określono wymagania zależne od końcowego przeznaczenia budynku.

Osoby przebywające w budynku muszą być chronione przed różnymi rodzajami hałasu:

- Hałas rozchodzący się w powietrzu: drgania mające źródło w powietrzu.
Do tej kategorii zaliczamy głosy osób lub hałas wewnętrzny i rozchodzący się w powietrzu hałas otoczenia, jak również hałas uliczny jako zewnętrzne źródło hałasu rozchodzącego się w powietrzu.
- Hałas rozchodzący się w konstrukcji: spowodowany wstrząsami i drganiami rozchodzącymi się w ciałach stałych.
Do kategorii tej należą odgłosy kroków, upadających przedmiotów i uderzeń.
- Hałas od urządzeń: generowany w wyniku pracy urządzeń, obejmuje drgania rozchodzące się w powietrzu, emitowane przez ich media.
Kategoria ta obejmuje dźwięki urządzeń wentylacyjnych, grzewczych i sanitarnych.

Przenikanie hałasu z zewnątrz do pomieszczenia lub pomiędzy pomieszczeniami odbywa się przez drgania. Rozróżnia się następujące rodzaje:

- Przenoszenie bezpośrednie: przez ścianę oddzielającą obszar źródłowy od obszaru odbierającego.
- Przenoszenie boczne: przez ściany połączone ze ścianą oddzielającą.
- Przenoszenie uboczne: spowodowane przez określone pojedyncze miejsca w ścianie działowej (wloty powietrza, przewody lub wady montażowe).

Izolacja akustyczna zapewniana przez przegrodę polega na jej zdolności do zapobiegania przenoszeniu dźwięków z jednej strony na drugą. Parametry akustyczne ściany określa się za pomocą wskaźnika izolacyjności akustycznej. Jego wartość mierzona jest w dB.

Przepisy określają minimalne wartości tego wskaźnika w zależności od końcowego przeznaczenia budynku, rodzaju izolowanych obiektów i osobno w przypadku dźwięków rozchodzących się w powietrzu, dźwięków uderzeń oraz hałasu od urządzeń.

Należy zauważyć, że izolacja, którą zapewnia rzeczywista ściana, jest zawsze niższa od wskaźnika zmierzonego w laboratorium z uwagi na występujące przenoszenie boczne i rezonans uboczny.

Parametry akustyczne ściany można zobrazować stosując zasadę „masa-sprężyna-masa”:

- Wskaźnik izolacyjności akustycznej wzrasta wraz ze wzrostem gęstości powierzchniowej ściany.
- W przypadku ściany podwójnej (dwa panele warstwowe) wskaźnik ten uzależniony jest od:
 - współczynnika masy na obszar jednostkowy każdej z przegród,
 - grubości komory powietrznej pomiędzy przegrodami,
 - grubości warstwy izolacji akustycznej,
 - częstotliwości krytycznej każdej z przegród.

Wartość wskaźnika w przypadku ściany podwójnej jest znacznie wyższa niż w przypadku ściany pojedynczej o tej samej gęstości powierzchniowej. (Dźwięk emitowany w jednym pomieszczeniu i rozchodzący się do innego pomieszczenia przechodzi poziomo i pionowo przez pierwszą warstwę wyrobów, gdzie następuje wstępne tłumienie. Następnie zostaje on „zatrzymany” w środkowej przestrzeni ściany, gdzie odbija się od drugiej przegrody, jest pochłaniany przez warstwę izolacji i szczątkowo przechodzi przez drugą ścianę działową).

Własności akustyczne konstrukcji stalowej uzależnione są od budowy różnych ścian działowych: zewnętrznych i wewnętrznych, pionowych i poziomych. Dostępne są rozwiązania konstrukcyjne umożliwiające uzyskanie najwyższego poziomu izolacyjności akustycznej.

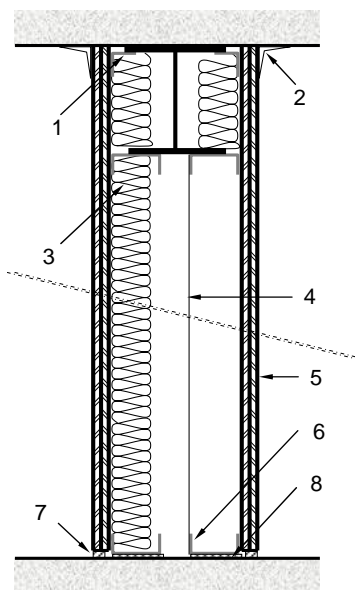
6.3.2 Ściany działowe

Ściany działowe zbudowane są zazwyczaj z cienkich, giętych na zimno elementów stalowych, do których po obu stronach przykręcone są arkusze okładziny tynkowej o różnej grubości. Dzięki temu powstaje w środku przestrzeń powietrzna, w której umieszcza się jedną lub dwie warstwy izolacyjne wełny mineralnej.

Ich częścią mogą być główne elementy konstrukcyjne budynku.

Budowę ściany działowej można dostosować do wymaganego poziomu właściwości, operując następującymi parametrami:

- Grubość przestrzeni powietrznej: im większa, tym wyższa izolacyjność akustyczna; o doborze grubości przestrzeni powietrznej decydują wymiary głównych elementów konstrukcyjnych.
- Struktura każdej okładziny (ilość i rodzaj otynkowanych płyt).
- Rama ściany działowej: własności akustyczne poprawia zastosowanie podwójnej metalowej ścianki szkieletowej niezależnej od konstrukcji.
- Wkładka pochłaniająca: o jej jakości decyduje rodzaj i grubość izolacji.



Stanowczo zaleca się montaż złącza elastycznego pod szyną płyty każdej ramy.

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1 Kątownik | 5 Okładzina tynkowa |
| 2 Uszczelnienie | 6 Szyna (70 mm) |
| 3 Wełna mineralna | 7 Uszczelka |
| 4 Element pionowy 70 (niezależna rama podwójna) | 8 Wypełniacz o zamkniętych komórkach |

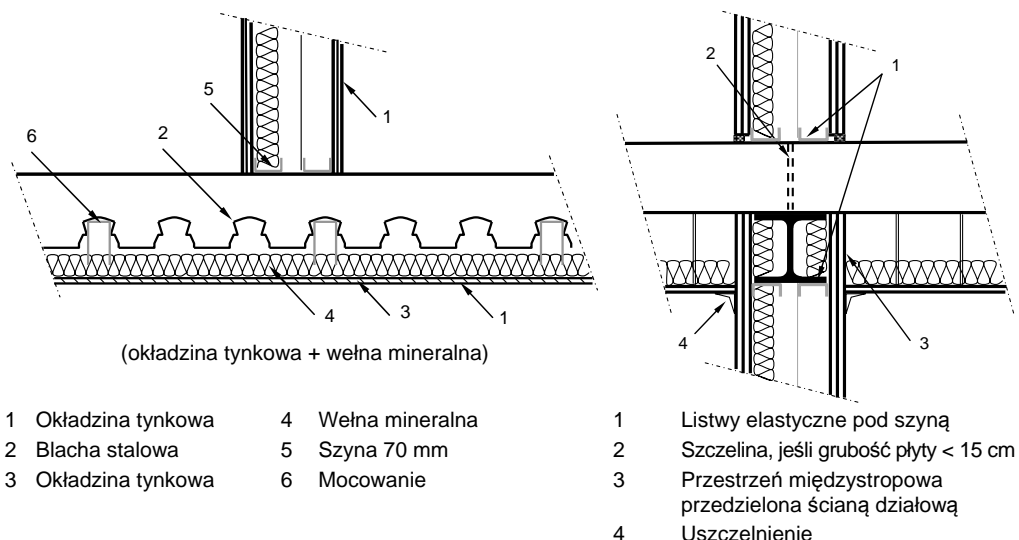
Rysunek 6.6 Podwójna ścianka działowa

6.3.3 Stropy

W celu poprawienia własności akustycznych konstrukcję stropów wielokondygnacyjnych budynków stalowych uzupełnia się, montując płyty gipsowe obite blachą. Można zastosować je do każdego rodzaju stropów: płyt betonowych, konstrukcji ażurowych, stropów zespolonych itp.

Na właściwości akustyczne wpływ ma kilku parametrów:

- grubość płyty betonowej,
- wysokość przestrzeni międzystropowej pod płytą (minimalnie 60 mm, maksymalnie 100 mm),
- rodzaj i ilość warstw okładziny tynkowej (1 lub 2 warstwy arkuszy standardowych lub specjalnych),
- rodzaj maty pochłaniającej umieszczonej pomiędzy sufitem podwieszanym a płytą.



Rysunek 6.7 Przekroje stropu

Należy zwrócić szczególną uwagę na zabezpieczenie przed przenoszeniem hałasu w kierunku poziomym:

- W zależności od grubości płyty konieczne może być wykonanie wycięcia w płycie prostopadle do ścian działowych.
- Z tego samego względu należy oddzielić przestrzeń międzystropową powstałą nad sufitem podwieszanym prostopadle do ścian działowych.

Ponadto należy zwrócić uwagę, aby otwory na urządzenia techniczne u dołu ścian nie były wiercone naprzeciw siebie (minimalny rozstaw 50 cm).



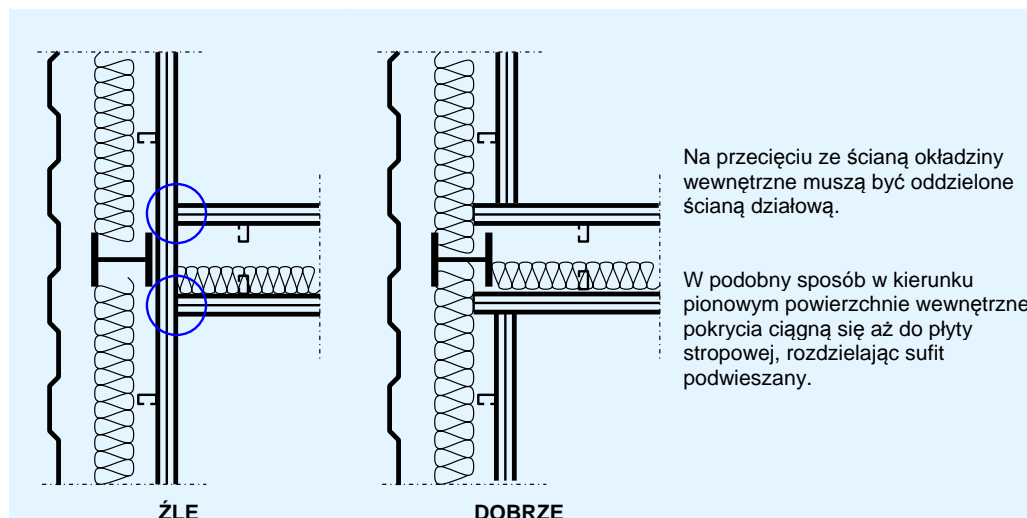
Rysunek 6.8 Zgromadzone na budowie materiały do montażu ścian działowych i sufitów z okładzin tynkowych

6.3.4 Elewacje lekkie: systemy ścian kurtynowych

Właściwości akustyczne systemów ścian kurtynowych, z których zazwyczaj wykonane są przegrody zewnętrzne konstrukcji stalowych, uzyskuje się dzięki budowie zbliżonej do ścian działowych:

- okładzina zewnętrzna,
- okładzina wewnętrzna,
- przestrzeń powietrzna wypełniona matą pochłaniającą (z wełny mineralnej).

Niezbędnym warunkiem uzyskania zadowalającej skuteczności tłumienia hałasu jest staranne wykonanie i zmontowanie wszystkich elementów elewacji.



Rysunek 6.9 Poziomy przekrój przecięcia elewacji ze ścianą działową

6.3.5 Systemy stalowego pokrycia dachowego

Dostępne są specjalne technologie obróbki metalowych pokryć dachowych (folia lub powłoka natryskowa) pozwalające zmniejszyć hałas powstający podczas uderzeń kropel deszczu.

6.4 Sprawność termiczna

Aby zapewnić odpowiedni poziom komfortu termicznego osobom przebywającym w budynkach przy jednoczesnej kontroli zużycia energii, przepisy krajowe określają wymagania w stosunku do właściwości termicznych stosowanych materiałów. Są one uzależnione od końcowego przeznaczenia oraz lokalizacji budynku.

Wymagania te można zaliczyć do następujących kategorii:

- ograniczenia dotyczące zużycia energii niezbędnej do zapewnienia komfortu termicznego,
- ograniczenia dotyczące temperatury wewnątrz budynków w sezonie letnim,
- minimalna charakterystyka termiczna przegród zewnętrznych i wyposażenia (ograniczenia strat ciepła związanych ze zjawiskiem mostków termicznych).

W punkcie 6.3 omówione zostały różne sposoby spełnienia określonych w przepisach wymagań dotyczących właściwości akustycznych konstrukcji stalowych. Dla różnych rodzajów ścian zespolonych przepisy te wymagają zwykle zastosowania wypełnienia z wełny mineralnej, która stanowi również zabezpieczenie przed stratami ciepła przez ściany otaczające dane pomieszczenie.

Na przykład straty ciepła pomiędzy dwoma kondygnacjami można zmniejszyć, stosując warstwy wełny mineralnej w strukturze stropu (nad i pod nim).

Oddzielenie tych dwóch warstw izolacji pozwala na zastosowanie różnych grubości i rodzajów materiałów, co w znacznym stopniu eliminuje występowanie mostków cieplnych.

Materiały izolacyjne obejmują wełnę skalną lub szklaną oraz piankę poliuretanową i polistyrenową.

Ryzyko bezpośredniego przepływu ciepła pomiędzy elementami metalowymi stykającymi się z powierzchnią zewnętrzną i wewnętrzną ściany należy uwzględnić, konstruując w odpowiedni sposób mocowania i połączenia.

6.5 Trwałość konstrukcji stalowych

W niniejszym rozdziale omówiono trwałość elementów konstrukcji stalowych. Zrównoważone zastosowanie materiałów, szczególnie pod względem recyklingu, omówione zostało w rozdziale 7 niniejszego dokumentu.

Uszkodzenia konstrukcji stalowych powstają głównie na skutek dwóch zjawisk: zmęczenia i korozji. W standardowych budynkach wielokondygnacyjnych ujętych w niniejszym dokumencie nie występuje negatywny wpływ zmęczenia. W związku z tym niniejszy rozdział dotyczy wyłącznie korozji.

Na wstępie należy podkreślić, że konstrukcje stalowe na ogół nie ulegają znacznym uszkodzeniom w wyniku korozji atmosferycznej. Ponadto korozja nie stanowi problemu w przypadku wewnętrznych konstrukcji stalowych.

Nawet jeśli w przypadku braku odpowiedniej ochrony powierzchnia elementów konstrukcyjnych narażonych na standardowe warunki atmosferyczne koroduje, zjawisko to niezwykle rzadko stanowi przyczynę uszkodzenia budynków pod warunkiem, że podjętych zostanie kilka elementarnych środków zapobiegawczych.

Jednak warunki atmosferyczne w niektórych regionach, takich jak obszary nadbrzeżne o zasolonym powietrzu, lub rejonach występowania instalacji przemysłowych emitujących opary przyspieszające korozję mogą wymagać zastosowania ochrony i konserwacji konstrukcji stalowych.

6.5.1 Zjawisko korozji

Korozja spowodowana jest tworzeniem się soli metali na powierzchni elementów stalowych na skutek łączenia się metalu z innymi pierwiastkami. Na przykład korozja żelaza prowadzi do powstawania tlenku żelaza.

Proces korozji może mieć charakter:

- chemiczny — na skutek reakcji pomiędzy metalem a fazą gazową lub cieczą,
- elektrochemiczny — korozja tworzy się na skutek przepływu prądu elektrycznego oraz utleniania anody,
- biochemiczny — przez atak bakterii.

Korozja stali

Rdza stanowi produkt korozji stali i w jej skład wchodzi głównie tlenki żelaza i wodorotlenki powstające w obecności wilgoci i tlenu zawartych w powietrzu atmosferycznym.

Warstwy tlenków na ogół nie przylegają do powierzchni stali i w związku z tym utlenianie stale postępuje. Utrata wagi przez elementy stalowe następuje liniowo w funkcji czasu.

Produkt korozji nie chroni stali przed dalszą korozją.

Na stopień intensywności korozji znacząco wpływają takie czynniki jak atmosfera i klimat.

Atmosfera

Tempo korozji uzależnione jest od ogólnych warunków atmosferycznych w miejscu, w którym zlokalizowany jest budynek. Występują cztery ogólne typy warunków:

- wiejskie: występująca na przemian atmosfera wilgotna i sucha — brak zanieczyszczeń,
- miejskie: występująca na przemian atmosfera wilgotna i sucha — występuje zanieczyszczenie dwutlenkiem siarki (SO_2),
- morskie: wysoka wilgotność względna — obecność chlorków przyspieszających korozję,
- przemysłowe: obecność związków chemicznych — przyspieszona korozja związana ze stężeniem zanieczyszczeń.

Klimat

Na tempo zjawiska korozji w niekorzystny sposób wpływa również wysoka temperatura i wilgotność. W klimacie tropikalnym przyspieszona korozja występująca w środowisku wiejskim porównywalna jest z korozyjnością w dużych obszarach przemysłowych w klimacie umiarkowanym.

Niektóre elementarne środki zapobiegawcze

Podczas projektowania konstrukcji stalowych należy stosować wszelkie środki ograniczające skutki korozji:

- Należy unikać tworzenia obszarów gromadzenia się wilgoci i wody na elementach narażonych na działanie czynników atmosferycznych.
- Należy unikać stykania się ze sobą materiałów o różnym potencjale elektrochemicznym (np. aluminium z niezabezpieczoną stalą).

Ochrona elementów konstrukcji stalowych

Zaleca się dostosowanie stopnia ochrony do warunków, w jakich montowane są elementy konstrukcji stalowej.

Istnieją dwie podstawowe formy ochrony:

- malowanie,
- cynkowanie.

6.5.2 Ochrona za pomocą farb

Tabela 6.6 zawiera podsumowanie powszechnie stosowanych systemów powłok ochrony antykorozyjnej.

Warto zauważyć, że znajdujące się wewnątrz budynków konstrukcje stalowe, które nie są narażone na wilgotną ani agresywną atmosferę i które są trwale zabezpieczone przed działaniem czynników atmosferycznych, nie skorodują w stopniu wpływającym na ich nośność nawet, jeśli nie będą zabezpieczone antykorozyjnie. Takie elementy nie będą jednak chronione przed rdzą, która może wpływać na ich nieestetyczny wygląd. Aby temu zapobiec, można zastosować cienką warstwę farby.

Niezabezpieczone powierzchnie muszą być widoczne, aby możliwe było wykrycie wszelkich ognisk korozji o większej niż spodziewana intensywności.

Tabela 6.6 Ochrona i grubość powłoki

Warunki użytkowania	Tradycyjna powłoka antykorozyjna	Pokryte wyroby stalowe
Elementy wbudowane w stropy i fasady, chronione w warunkach braku wilgotności	1 lub 2 warstwy podkładowe farby antykorozyjnej, grubość: od 40 do 50 mikrometrów	Wyroby lakierowane i malowane: grubość: 15–20 mikrometrów
Elementy wewnątrz budynków bez stałej wilgotności	1 warstwa podkładowa farby antykorozyjnej, 1 warstwa nawierzchniowa farby, grubość: od 60 do 80 mikrometrów	Wyroby lakierowane i malowane. 1 warstwa nawierzchniowa farby. Grubość: 60 mikrometrów
Elementy wewnątrz budynków nieogrzewanych lub w warunkach wysokiej wilgotności	2 warstwy podkładowe farby antykorozyjnej, 1 warstwa pośrednia farby, 1 warstwa nawierzchniowa farby, grubość: od 80 do 120 mikrometrów	Wyroby lakierowane i malowane: od 1 do 2 warstw nawierzchniowych farby grubość: od 80 do 100 mikrometrów <u>lub</u> wyroby galwanizowane lub wstępnie lakierowane
Elementy mające styczność z agresywną atmosferą zewnętrzną, wilgotną atmosferą, obszarami miejskimi lub przemysłowymi	2 warstwy podkładowe farby antykorozyjnej, 1 warstwa pośrednia farby antykorozyjnej, 1 warstwa nawierzchniowa farby antykorozyjnej, grubość: od 120 do 200 mikrometrów	Wyroby lakierowane i malowane + 2 warstwy nawierzchniowe farby grubości 100–120 mikrometrów <u>lub</u> : wyroby galwanizowane lub wstępnie lakierowane
Elementy będące w kontakcie ze środowiskiem morskim	2 warstwy podkładowe farby antykorozyjnej lub galwanizacja/metalizacja oraz 1 warstwa cynku 1 warstwa pośrednia farby antykorozyjnej, 1 warstwa nawierzchniowa farby grubsza niż 150 mikrometrów	Wyroby lakierowane lub malowane + 2 warstwy farby o dużej zawartości cynku <u>lub</u> galwanizacja lub metalizacja + farba o dużej zawartości cynku <u>lub</u> : wyroby wstępnie lakierowane

Elementy stalowe są zazwyczaj dostarczane na miejsce z powłoką powierzchniową wykonaną antykorozyjną farbą podkładową. Po zamontowaniu elementów należy uzupełnić powłokę w miejscach, w których została uszkodzona podczas montażu.

Mimo, że wbetonowane elementy zwykle nie są malowane, to jednak części, które nie są całkowicie pokryte betonem są często narażone na korozję i muszą być poddane skutecznej ochronie (łącznie z zakończeniami słupów).

W przypadku tych części wspomnianych elementów, przed nałożeniem warstwy ochronnej powierzchni, należy wykonać i sprawdzić spoiny. Metoda spawania musi być dostosowana do wyrobów wstępnie malowanych.

Szacunkowa trwałość malarskiej powłoki ochronnej: od 8 do 10 lat do pierwszej konserwacji

6.5.3 Ochrona przez galwanizację

Galwanizacja polega na utworzeniu warstwy ochronnej z cynku i stopu stalowo-cynkowego na powierzchni części stalowych w celu ochrony ich przed korozją.

Warstwa galwanizowana jest stopniowo utleniana w wyniku czego powstają produkty korozji, które są zazwyczaj lepkie.

Ta forma ochrony jest jednak ograniczona czasowo i jest nieskuteczna po skorodowaniu całej powłoki cynkowej.

Szybkość procesu korozji i trwałość ochrony

Bezpośredni wpływ na szybkość korozji mają warunki atmosferyczne i klimat. Na zanieczyszczonych obszarach przemysłowych w okolicach nadmorskich panują oczywiście bardziej agresywne warunki niż na terenach wiejskich w głębi lądu.

W zależności od warunków atmosferycznych, szybkość korozji waha się od 0,1 mikrometra na rok do 8 mikrometrów na rok.

W normie EN ISO 14713^[1] podano wskazówki dotyczące średniorocznej szybkości korozji cynku. Pozwala to na oszacowanie trwałości w zależności od grubości powłoki.

Szacunkowa trwałość ochrony przez galwanizację: w przybliżeniu 25 lat

Estetyka i malowanie

Każda galwanizowana stal może zostać pomalowana w celu zmiany wyglądu powierzchni. Malowanie znacznie wydłuża trwałość stali galwanizowanej. Malowanie konserwacyjne stali galwanizowanej jest bardzo łatwe: nową warstwę farby nakłada się pędzlem na zniszczoną powierzchnię. Farba może być również nakładana jako dodatkowa ochrona antykorozyjna w środowiskach, w których kwaśne roztwory mogą atakować powłokę powierzchniową.

Procesy galwanizacji

Powłoka cynkowa jest uzyskiwana poprzez zanurzenie lub natryskiwanie (roztworem metalizującym) lub też w procesie elektrolizy. Zanurzenie stosuje się zwykle w przypadku nowych części o wymiarach pasujących do rozmiaru wianien. Natryskiwanie jest wykonywane zamiast prac renowacyjnych lub w przypadku większych elementów budynku. Elektroliza jest odpowiednia w przypadku drobnych części i obróbki seryjnej (np. śrub).

Kilka uwag

Spawanie: Przed spawaniem części galwanizowanych zaleca się usunięcie powłoki w strefie szwu spawalniczego. Po zespawaniu strefa ta będzie chroniona poprzez nałożenie farby z pyłem cynkowym.

Poddanie działaniu ognia: Część wykonana z galwanizowanej stali poddana działaniu ognia zachowuje się jak stal bez powłoki i nie wykazuje wzmocnionej ognioodporności.

6.6 Integracja instalacji

6.6.1 Uwagi ogólne

Budynek wielokondygnacyjny, niezależnie od przeznaczenia, jest złożony z wielu elementów lub podelementów wpływających na jego parametry: nie tylko konstrukcji i przegród zewnętrznych, ale również instalacji technicznych pozwalających zachować trwałość budynku.

Kontrola interakcji pomiędzy instalacjami a konstrukcją budynku powinna umożliwić:

- Łatwy dostęp do instalacji w celach konserwacyjnych
- Łatwość wymiany elementów, których trwałość jest krótsza niż trwałość budynku
- Zapobieganie niedogodnościom wynikającym z drgań konstrukcji będących skutkiem działania urządzeń.

Główne zakładane instalacje to:

- ogrzewanie i klimatyzacja,
- wentylacja,
- zasilanie prądem wysokiego i niskiego napięcia.

Instalacje są rozprowadzane w całym budynku przy wykorzystaniu systemów poziomych i pionowych.

6.6.2 Systemy poziome

Konstrukcja stalowa i przegrody zewnętrzne zapewniają bardzo skuteczne metody integracji instalacji przy wykorzystaniu systemów poziomych, jak pokazano w tabeli 6.7. Warto zwrócić uwagę na użycie belek ażurowych w tym kontekście (opis tych wyrobów umieszczono w punktach 3 i 4 niniejszego dokumentu). Ponieważ instalacje mogą być przeprowadzane bezpośrednio przez te belki, wysokość pomiędzy stropami może zostać zmniejszona. W niektórych wypadkach pozwala to na dodanie kolejnej kondygnacji bez zmiany całkowitej wysokości budynku.

Standardowa konfiguracja belek ażurowych (równo oddalone od siebie komórki tego samego rozmiaru) zazwyczaj może zostać dostosowana w celu utworzenia większych otworów, szczególnie w okolicy połowy rozpiętości, tak aby możliwe było przeprowadzenie przez nie większych prostokątnych przewodów (rysunek 6.10).

6.6.3 Instalacje pionowe

Konstrukcja stalowa i standardowe systemy przegród zewnętrznych umożliwiają również elastyczną integrację instalacji pionowych dzięki otwartym przestrzeniom w warstwach ścian.

Wykonywanie otworów w stropach, a także zmiany ich położenia w okresie użytkowania budynku są ułatwione dzięki wykorzystaniu zespolonych stropów suchych.

Najlepiej unikać przeprowadzania instalacji przez kształtowniki zamknięte (pomiędzy pasami) ze względu na potencjalne problemy z połączeniami belka-słup i w przypadku stosowania powłoki przeciwpożarowej.

Nie zaleca się wprowadzać rur pionowych do słupów rurowych ze względu na brak dostępu podczas wykonywania prac konserwacyjnych.

Tabela 6.7 Metody integracji w przypadku systemów poziomych

System	Charakterystyka
Systemy widoczne	Ze względów ekonomicznych, technicznych lub architektonicznych instalacje mogą być widoczne. Zaletą takiego rozwiązania jest łatwy dostęp do instalacji, jego wadą jest natomiast ryzyko udarów oddziałujących na nieosłonięte rury.
Systemy nadsufitowe	Instalacje mogą być zamontowane nad stropami i zakryte otwartymi lub zamkniętymi sufitami podwieszonymi oraz mogą być częściowo lub całkowicie demontowane. Przestrzeń nad sufitem podwieszonym jest przecinana wzdłuż dźwiękochłonnych ścian działowych lub ze względu na bezpieczeństwo pożarowe. Instalacje można przeprowadzać przez belki ażurowe lub kratownice.
Systemy z blachami fałdowymi	To rozmieszczenie jest możliwe jedynie w przypadku niektórych rodzajów instalacji z rurami o małej średnicy.
Cokoły lub systemy podparapetowe	Montaż zespolonych ścian elewacyjnych ułatwia to rozwiązanie, zapewniając łatwe przesunięcia i połączenia instalacji dzięki wyeliminowaniu ograniczeń istniejących w przypadku ścian ciężkich.
Systemy umieszczone na stropach	Podniesione podłogi zbudowane są zawsze z konstrukcji stalowych. Przestrzeń powstała pomiędzy stropem a sufitem podwieszonym pozwala na przemieszczanie instalacji zawierających dużą liczbę przewodów. Charakteryzują się one pełną dostępnością i przystosowalnością.



Rysunek 6.10 Belki ażurowe i integracja instalacji

7 KONSTRUKCJE STALOWE I ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ

Kwestia zrównoważonego rozwoju ma szczególne znaczenie w sektorze budowlanym odpowiedzialnym za emisję 25% gazów cieplarnianych i za zużycie 40% energii pierwotnej. Jest ona głównym przedmiotem troski wszystkich zaangażowanych profesjonalistów.

Dzisiejszym wyzwaniem jest projektowanie i realizacja innowacyjnych projektów łączących wartości z nowymi technikami. Stal jest głównym bodźcem w naszym dążeniu do poprawy jakości budynków i ich wpływu na środowisko, w którym żyjemy.

Zasady ogólne zostały ustalone w oparciu o trzy główne czynniki: ekologiczny, ekonomiczny i społeczno-kulturowy, chociaż sposoby określenia ich wpływu nie zostały jeszcze uzgodnione w skali międzynarodowej.

Zrównoważony rozwój w przypadku budynków dotyczy wielu kwestii związanych z wyborem materiałów, procesem budowlanym, użytkowaniem i zakończeniem eksploatacji. Kwestie te mogą być wyrażone w postaci konkretnych kryteriów, takich jak zużycie energii i materiałów, minimalizacja odpadów, redukcja zużycia energii pierwotnej (oraz emisji CO₂), zanieczyszczenie i inne oddziaływania globalne.



Rysunek 7.1 Budynek Praetorium w dzielnicy La Défense (Paryż) z oznaczeniem „High Environmental Quality” (Wysoka jakość środowiskowa)

7.1 Cykl życia

Stal jest świetnym materiałem umożliwiającym oszczędzanie surowców dzięki łatwości recyklingu. Może być bez końca poddawana recyklingowi bez utraty swoich właściwości.

Obecnie podczas produkcji stali w Europie wykorzystuje się w 50% metal przetworzony co skutkuje zmniejszeniem zapotrzebowania na rudę; w przypadku niektórych wyrobów przeznaczonych dla budownictwa ten wskaźnik może sięgnąć 98%. To ponowne wykorzystanie materiału jest możliwe w szczególności dzięki jego właściwościom magnetycznym ułatwiającym segregację.

W ciągu 25 lat kontrola zużycia energii i redukcja emisji CO₂ w procesie produkcji zaowocowały ogromnym postępem w opracowywaniu nowych gatunków stali z uwzględnieniem cyklu życia materiałów i wyrobów. Europejski przemysł stalowy przyczynił się znacznie do podwyższenia efektywności energetycznej i do redukcji emisji CO₂.

W latach 1970–2005 europejski przemysł stalowy zredukował emisję CO₂ o 60%; w latach 1990–2005 ta redukcja wynosiła 21% (źródło Eurofer). W tym samym okresie produkcja stali surowej wzrosła o 11,5% (źródło Worldsteel dla EU15).

Kolejne rozwiązania mające na celu poprawę tych wyników są już w trakcie realizacji.

Stal jest neutralnym materiałem niewydzielającym zanieczyszczeń ani substancji szkodliwych dla środowiska ani dla zdrowia, nawet pod wpływem korozji.

Galwanizacja i malowanie (przeprowadzane w fabryce) to metody ochrony antykorozyjnej gwarantujące trwałość stali sięgającą 25 lat.

Konserwacja stali ogranicza się do regularnych kontroli i okresowego malowania.

7.2 Zalety produktów stalowych wykorzystywanych w budownictwie

Deklaracja Środowiskowa Wyrobu (EPD) jest obecnie bardzo dobrze opracowanym podejściem wykorzystywanym w stosunku do wyrobów budowlanych. Na podstawie normy ISO 21930^[2] ogólnym celem deklaracji EPD jest dostarczenie istotnych, sprawdzonych i porównywalnych informacji w celu zaspokojenia różnych potrzeb klienta i rynku.

Wykorzystując oszacowania cyklu życia, przemysł stalowy przedstawił już kilka deklaracji EPD zarówno dla wyrobów typowych, jak również dla systemów markowych. Zużycie energii i oświetlenia w okresie użytkowania przekracza wielkość energii zawartej w konstrukcji.

Dzięki efektywnemu wykorzystaniu materiałów budownictwo stalowe minimalizuje odpady w produkcji i na placu budowy, ponieważ wszystkie ścinki i wiertła są przesyłane do przetworzenia na nowe elementy stalowe. Średni odsetek odpadów stalowych i ponownego ich wykorzystania wynosi zazwyczaj 2% w porównaniu z europejską średnią równą 10% dotyczącą wszystkich wyrobów używanych na placu budowy.

Doskonały stosunek masy do nośności materiału zapewnia niezrównane możliwości budowlane i architektoniczne. Te właściwości umożliwiają redukcję masy budynków poprzez wykorzystanie cienkościennych konstrukcji w elewacji. Dzięki tym cechom uzyskuje się dużą oświetloną przestrzeń oraz olbrzymie możliwości w zakresie integracji architektonicznej.

W wyniku połączenia stali z innymi materiałami powstaje wiele efektywnych rozwiązań w dziedzinie izolacji termicznej i akustycznej.

Przegrody zewnętrzne projektuje się zwykle jako konstrukcję metalową z zewnętrzną izolacją termiczną; ściany są zbudowane z systemów przemysłowych, metalowych lub innych (szklanych, drewnianych, betonowych, terakoty, gipsu itp.) zapewniających wysoką izolacyjność termiczną. Następnie można dobrać instalacje grzewcze i wentylacyjne w celu zapewnienia optymalnego rozkładu energii.

Ta paleta właściwości daje architektom zoptymalizowany wybór procesów, materiałów i metod konstrukcji, szczególnie dzięki uwzględnieniu całkowitej trwałości budynku do momentu jego rozbiórki.

7.3 Rozwiązania o dużej zawartości stali przeznaczone dla budynków

W Europie powstało kilka inicjatyw ekologicznych dotyczących budynków. Propozycje te mogą być ilościowe lub jakościowe, oparte na zmiennych kryteriach. Niektóre kwestie są jednak wspólne, ale traktowane różnie przez poszczególne inicjatywy. Rozwiązania stalowe są zdecydowaną odpowiedzią na te propozycje.

Harmonijna integracja budynku z otoczeniem

Wybór szkieletu stalowego dla projektowanego budynku daje projektantowi dużą swobodę w zakresie kształtu i możliwość elastycznego dopasowania prac do ograniczeń na budowie.

Wykorzystywane do wykonywania elewacji i zadaszeń wyroby stalowe dają architektowi duży wybór faktur, kształtów i kolorów, które można dopasować do nawet najbardziej wymagających i różnorodnych współczesnych miejsc, czy będzie to historyczne centrum miasta, czy wieś.

Lekkość konstrukcji i elastyczność przestrzeni

Typowy dla budynków stalowych jest szkielet z słupami i belkami. Bez ścian nośnych, konstrukcja nabiera lekkości, a dodatkowo obciążenia na fundamenty oraz podłoże są mniejsze.

Łatwiej również przearanżować przestrzeń wewnątrz budynku wraz ze zmianą ich przeznaczenia.

Konstrukcja złożona z połączonych elementów jest efektywnym rozwiązaniem podczas rozbudowy w pionie, jak i prac renowacyjnych w istniejącym budynku.

Mniej problemów na budowie

Wyroby stalowe i związane z nimi elementy są wykonywane bardzo precyzyjnie metodą przemysłową. Po nadaniu im dokładnych wymiarów dostarcza się je teren budowy w celu wykonania montażu. Ze względu na wysoki stopień prefabrykacji, właściwy dla systemów konstrukcyjnych o dużej zawartości stali, budowa przebiega szybciej.

Organizacja pracy na placu budowy ulega przeobrażeniu dzięki mniejszej liczbie dostaw, precyzyjnemu i odpowiedniemu montażowi, mniejszej ilości elementów składowanych i brakowi odpadów.

Konserwacja

Konstrukcje stalowe charakteryzują się trwałością i łatwością czyszczenia i wymiany komponentów.

Instalacje (płyty, przewody itp.) są zazwyczaj umieszczone w przestrzeni nad sufitem podwieszonym. Konserwacja i ewentualne zmiany konfiguracji instalacji są wówczas ułatwione, zwłaszcza, gdy znajdują się tam belki ażurowe. Tego rodzaju elastyczność pozwala na całkowitą zmianę układu instalacji na poszczególnych poziomach.

Rozbiórka po zakończeniu okresu użytkowania polega na czystym demontażu w celu całkowitego odzyskania materiałów.

Ponowne wykorzystanie kształtowników stalowych

Badania wykazały, że w Europie Zachodniej około 11% kształtowników w sektorze budowlanym jest bezpośrednio ponownie wykorzystywanych po rozbiórce, bez ponownego formowania (raport ECSC „LCA for steel construction” (Ocena cyklu życia konstrukcji stalowej). Dokument RT913. Lipiec 2002. Steel Construction Institute (Instytut konstrukcji stalowych)).

Tworzenie bezpiecznej i wygodnej przestrzeni wewnętrznej

Możliwe jest zastosowanie wszystkich kombinacji komponentów ścian.

Rozwiązania stalowe w połączeniu z dodatkowymi produktami przyczyniają się do powstania doskonałej izolacji akustycznej dzięki wykorzystaniu zasady „masa-sprężyna-masa”.

Aby uzyskać komfort termiczny, można z wykorzystaniem stali projektować elewacje „rozwinęte”, przystosowane do różnych warunków klimatycznych:

- elewacje podwójne z warstwą wentylowanego powietrza,
- stałe lub ruchome urządzenia kontroli energii słonecznej.

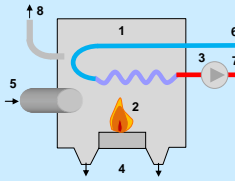
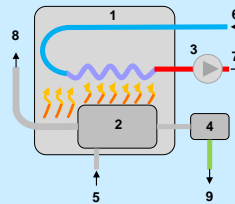
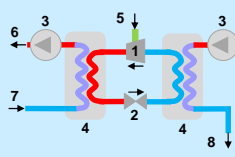
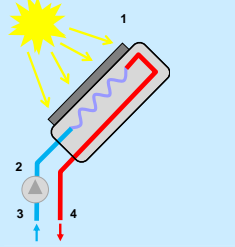
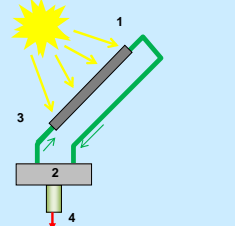
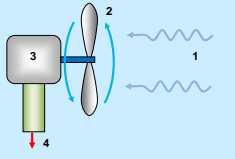
Zastosowanie alternatywnych technologii w budynkach stalowych

Technologie energii alternatywnej (AET) są wykorzystywane w projekcie budynku z wielu przyczyn, z czego najważniejsze są motywacje ekologiczne i ograniczenia projektowe takie jak „Grenelle” wymagające, aby pewien odsetek zużycia energii budynku pochodził z dodatkowych korzyści wynikających z zastosowania technologii AET, w tym energii odnawialnej.

Technologie AET są bardziej przyjazne dla środowiska niż tradycyjne źródła energii. Ponadto wywierają one bardzo mały wpływ na budynki stalowe. Główne problemy związane z wdrożeniem technologii AET obejmują:

- Pomieszczenie instalacyjne: Lokalizacja pomieszczenia instalacyjnego i ograniczenia przestrzenne mogą wpływać na efektywność konkretnych technologii
- Zacienienie: Kształt nowego budynku może ograniczać lokalizację paneli słonecznych PV.
- Orientacja dachu: Orientacja i kształt dachu mogą narzucać ograniczenia w zakresie energii uzyskiwanej w przypadku kolektorów słonecznych wykorzystywanych do podgrzewania wody, jak i w przypadku paneli fotowoltaicznych.
- Niezawodność: Jeśli wykorzystuje się niesprawdzoną technologię, może się ona okazać zawodna, co uniemożliwi uzyskanie pożądanej redukcji dwutlenku węgla.

Tabela 7.1 Odnawialne źródła energii

Typ		Komentarz
Ogrzewanie biomasą		System wymaga podstawowego pomieszczenia instalacyjnego w celu instalacji kotła oraz magazynu paliwa. Może on być całkowicie zintegrowany z budynkiem poprzez utworzenie stalowego magazynu o stalowym szkielecie.
Kogeneracja (CHP)		System wymaga jedynie typowego pomieszczenia instalacyjnego całkowicie kompatybilnego z konstrukcją tworzącą szkielet stalowy znajdującą się w budynkach lub kompleksach budynków wykorzystywanych w sposób mieszany oraz w miejscach o wysokim poborze ciepłej wody. Zasadniczo jest odpowiedni dla basenów, hoteli i szpitali,
Gruntowe pompy ciepła (GSHP)		Pompy ciepła GSHP mogą być instalowane wszędzie, gdzie jest wystarczająco dużo miejsca na pomieszczenie instalacyjne i grunтовую węzownicę wielopętlową lub studnię. Często można wykorzystać parkingi lub ogrody. Ta technologia może być wykorzystywana we wszystkich rodzajach konstrukcji stalowych.
Kolektory słoneczne wykorzystywane do podgrzewania wody		Kolektory słoneczne można zainstalować na płaskim dachu bez naruszania konstrukcji stalowej przy użyciu wspornika — elementu stalowego podtrzymującego panele (należy jednak wziąć pod uwagę masę systemu, napór wiatru i odporność materiału przeciwwilgociowego). Na dachu dwuspadowym można zamontować system, wykorzystując dodatkowe elementy stalowe czy uchwyty lub też bezpośrednio zintegrować go z pokryciem dachowym dzięki dachówkom fotowoltaicznym albo z elewacją przy pomocy prostych szyn umożliwiających montaż.
Fotowoltaika słoneczna		
Turbiny wiatrowe		Infrastruktura niezbędna do zamontowania turbiny wiatrowej niewielkich rozmiarów jest niewielka; potrzebne jest jedynie zezwolenie na wykonanie kanałów kablowych prowadzące z utwardzonych obszarów stanowiskowych do odpowiedniego pomieszczenia instalacyjnego. Jeśli turbina wiatrowa ma zostać zamontowana bezpośrednio na budowach o szkielecie stalowym, niezmiernie ważne jest uwzględnienie dodatkowych obciążeń, drgań i hałasu. Małe turbiny wiatrowe mogą być odpowiednie dla budowli stalowych, takich jak budynki handlowe, hangary samolotowe lub budynki przemysłowe, ponieważ są one najbardziej odpowiedniej usytuowane w miejscach swobodnego przepływu wiatru, z dala od przeszkód i nierówności powierzchni.

8 ZAKOŃCZENIE

Stal zajmuje honorowe miejsce w panteonie materiałów wykorzystywanych w projektowaniu architektonicznym dzięki swym wyjątkowym właściwościom mechanicznym, możliwościom technicznym, jakie oferuje, łatwości zastosowania w różnych typach budynków, potencjałowi plastycznemu i estetycznemu oraz inwencji twórczej inspirowanej u projektantów.

Gdy architekt decyduje się na wykorzystanie stali, ma świadomość, że wybór ten niesie ze sobą poważne konsekwencje. Po pierwsze wybór stali implikuje konieczność precyzyjnego projektowania, świadomości funkcji każdego elementu konstrukcji, oraz analizy wszystkich etapów procesu konstrukcyjnego — od rysownicy do rutynowego zarządzania zakończoną inwestycją. Po drugie wybór ten to wyraz afirmacji, chęci pozostawienia własnego śladu w projektowanej konstrukcji, sposobu wyobrażania sobie i postrzegania, chęci przyczynienia się do tworzenia przestrzeni miejskiej oraz do integracji światła i powietrza z konstrukcją miejską. Stal to forma ekspresji nadająca znaczenie projektowaniu architektonicznemu.

Wybór stali podczas projektowania budynku wielokondygnacyjnego oznacza wybór materiału charakteryzującego się niskim kosztem, wytrzymałością, trwałością, elastycznością projektową, przystosowalnością i podatnością na recykling. Decyzja ta oznacza również wybór niezawodnych wyrobów przemysłowych, dostępnych w wielu kształtach i wariantach kolorystycznych, a także szybki montaż na terenie budowy i mniejsze zużycie energii. Oznacza też wybór zaangażowania się w zrównoważony rozwój. Stal, która może być bez końca poddawana recyklingowi, jest materiałem odzwierciedlającym imperatywy doktryny zrównoważonego rozwoju. Podsumowując, wybór stali oznacza wybór większej swobody budowlanej i architektonicznej. Oznacza wprowadzenie stylu do budynków i miast przyszłości.

LITERATURA

- 1 EN ISO 14713 Powłoki cynkowe. Wytyczne i zalecenia dotyczące ochrony przed korozją konstrukcji stalowych i żeliwnych.
- 2 Norma ISO 21930:2007 Zrównoważony rozwój w budownictwie. Deklaracja środowiskowa wyrobów budowlanych