

KONSTRUKCJE STALOWE W EUROPIE

**Jednokondygnacyjne
konstrukcje stalowe
Część 8: Przegrody
zewnątrzne budynku**

**Jednokondygnacyjne
konstrukcje stalowe
Część 8: Przegrody
zewnątrzne budynku**

PRZEDMOWA

Niniejsza publikacja stanowi ósmą część przewodnika projektanta zatytułowanego *Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe*.

Przewodnik *Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe* składa się z następujących 11 części:

- Część 1: Poradnik architekta
- Część 2: Projekt koncepcyjny
- Część 3: Oddziaływania
- Część 4: Projekt wykonawczy ram portalowych
- Część 5: Projekt wykonawczy kratownic
- Część 6: Projekt wykonawczy słupów złożonych
- Część 7: Inżynieria pożarowa
- Część 8: Przegrody zewnętrzne budynku
- Część 9: Wprowadzenie do oprogramowania komputerowego
- Część 10: Wzorcowa specyfikacja konstrukcji
- Część 11: Połączenia zginane

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

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

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

Spis treści

	Nr strony
PRZEDMOWA	iii
STRESZCZENIE	vii
1 WPROWADZENIE	1
1.1 Przegrody zewnętrzne budynku	2
1.2 Funkcje przegród zewnętrznych budynku	4
2 RODZAJE SYSTEMÓW OKŁADZIN METALOWYCH	5
2.1 Pojedynczy arkusz blachy trapezowej	6
2.2 Składane (wielowarstwowe) okładziny podwójne	6
2.3 Panele izolowane (kompozytowe lub warstwowe)	10
2.4 Systemy łączenia na rąbek stojący	12
2.5 Konstrukcyjne kasety wzdłużne	13
2.6 Systemy dachowe wykorzystujące blachy konstrukcyjne i membrany	14
3 SPECYFIKACJA OKŁADZIN	15
3.1 Zabezpieczenie przed warunkami atmosferycznymi	16
3.2 Wygląd budynku	17
3.3 Sprawność termiczna	19
3.4 Kondensacja międzywarstwowa	21
3.5 Akustyka	22
3.6 Właściwości pożarowe	24
3.7 Trwałość	25
3.8 Zachowanie konstrukcji	25
4 DRUGORZĘDNA KONSTRUKCJA STALOWA Z ELEMENTÓW WALCOWANYCH NA ZIMNO	28
4.1 Opcje płatwi i szyn bocznych	29
4.2 Obciążenie	35
4.3 Ugięcia	36
4.4 Dobór płatwi i szyn bocznych	37
4.5 Utwierdzenia rygli i słupów	37
4.6 Utwierdzenie płatwi i szyn systemu okładzinowego	39
5 DRUGORZĘDNA KONSTRUKCJA STALOWA Z ELEMENTÓW WALCOWANYCH NA GORĄCO	41
LITERATURA	43

STRESZCZENIE

Niniejsza publikacja dostarcza wskazówek w zakresie doboru przegród zewnętrznych budynków jednokondygnacyjnych. Przegrody zewnętrzne budynku składają się na ogół z drugorzędnej konstrukcji stalowej (często zimnowalcowanych elementów stalowych) i pewnego rodzaju okładzin elewacyjnych. Pełnią one nie tylko funkcję bariery zabezpieczającej przed warunkami atmosferycznymi, ale często muszą również zapewnić spełnienie wymagań termicznych, akustycznych oraz przeciwpożarowych. W niektórych układach przegrody zewnętrzne budynku mogą pełnić ważną rolę konstrukcyjną w zakresie utwierdzenia głównych ram stalowych.

W niniejszym dokumencie opisano powszechnie spotykane rodzaje okładzin stosowanych w budynkach jednokondygnacyjnych i przedstawiono porady dotyczące przygotowania specyfikacji odpowiedniego systemu okładzin. Dokument zawiera również opis systemów drugorzędnych konstrukcji stalowych, na których umieszczane są okładziny.

1 WPROWADZENIE

Systemy okładzin metalowych są skutecznymi, atrakcyjnymi i niezawodnymi rozwiązaniami wykorzystywanymi w przegrodach zewnętrznych budynków jednokondygnacyjnych (o stalowej, betonowej lub drewnianej konstrukcji ramowej). Na przestrzeni lat systemy te ewoluowały od pojedynczego poszycia metalowego, często spotykanego w budynkach rolniczych, do wysoce zaawansowanych technologicznie systemów przeznaczonych do zastosowań przemysłowych, handlowych i rekreacyjnych. Jednak podobnie jak w przypadku wszystkich elementów konstrukcyjnych, również w przypadku okładzin możliwość spełnienia wymagań funkcjonalnych zależy od ich prawidłowej specyfikacji oraz instalacji i, co niemniej ważne, od ich wzajemnego oddziaływania z pozostałymi elementami przegród zewnętrznych oraz konstrukcji budynku.

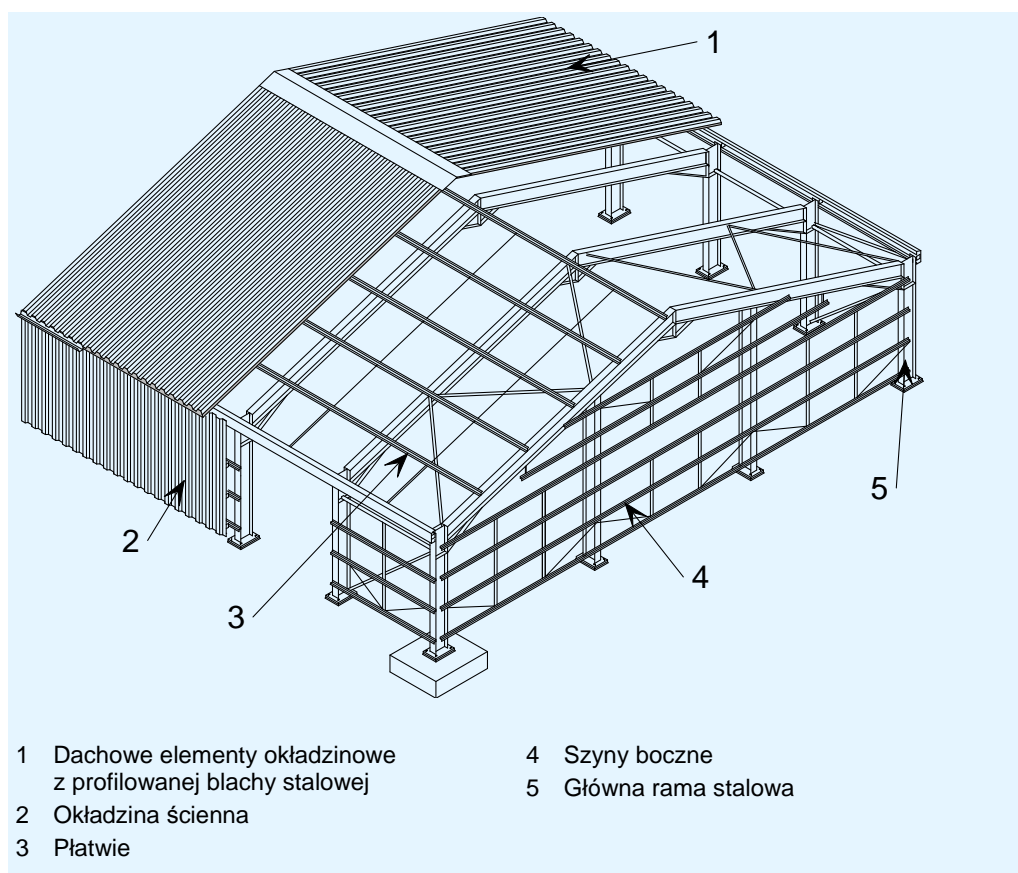
Niniejsza publikacja zawiera wskazówki związane z tymi rodzajami konstrukcji drugorzędnych oraz przegród zewnętrznych, które stosowane są w budynkach jednokondygnacyjnych. Opisano tu powszechnie spotykane rodzaje systemów profilowanych okładzin metalowych stosowanych obecnie w Europie. Systemy te obejmują panele izolowane, systemy wielowarstwowe, blachy, membrany oraz kasety wzdłużne. W publikacji zamieszczono również wskazówki dotyczące kluczowych problemów, jakie należy rozważyć podczas przygotowywania specyfikacji przegród zewnętrznych budynku lub konstrukcji nośnej tych przegród.

W przewodniku znajdują się odnośniki do kilku dokumentów technicznych opublikowanych przez Stowarzyszenie producentów metalowych elementów elewacyjnych i dachowych (MCRMA, Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association). Te dokumenty techniczne zawierają wyczerpujące wskazówki dotyczące różnych pokrewnych tematów, które znajdują zastosowanie na obszarze całej Europy. Dokumenty można w prosty sposób pobrać ze strony internetowej www.mcrma.co.uk. Dodatkowe informacje w języku francuskim dostępne są również na stronie internetowej firmy Acier Construction pod adresem <http://www.acierconstruction.com>.

W niniejszej publikacji zamieszczone zostały wskazówki, które uwzględniają ograniczające działanie drugorzędnej konstrukcji stalowej na konstrukcję główną oraz utwierdzenie, jakie elementy okładzinowe zapewniają drugorzędnej konstrukcji stalowej. Jednak w niektórych krajach europejskich (np. we Francji) takie działanie ograniczające nie może być wykorzystywane, a przypadki tego typu zostały wskazane w przypisach.

1.1 Przegrody zewnętrzne budynku

Główne elementy składowe współczesnego budynku przemysłowego z okładzinami metalowymi przedstawiono na rysunku 1.1.



Rysunek 1.1 Główne elementy składowe budynku

Konstrukcja składa się zasadniczo z trzech warstw:

1. Główna rama stalowa składająca się z słupów, rygli i stężeń. Przykład ukazany na rysunku 1.1 przedstawia ramę portalową, jednak zamieszczone w niniejszej publikacji wskazówki mają również zastosowanie w odniesieniu do innych rodzajów konstrukcji.
2. Drugorzędna konstrukcja stalowa składająca się z szyn bocznych ścian oraz płatwi dachowych. Elementy te służą do trzech celów:
 - podparcia elementów okładzinowych,
 - przeniesienia obciążenia z okładzin na główną ramę stalową,
 - utwierdzenie elementów głównej ramy stalowej (informacje na temat ograniczeń w przypadku tego zastosowania — patrz punkt 4.5).

3. Okładziny dachowe i ścienne pełniące niektóre lub wszystkie z poniższych funkcji:
- oddzielenie przestrzeni zamkniętej od środowiska zewnętrznego,
 - przeniesienie obciążenia na drugorzędną konstrukcję stalową,
 - utwierdzenie drugorzędnej konstrukcji stalowej,
 - zapewnienie izolacji termicznej,
 - zapewnienie izolacji akustycznej,
 - zapobieganie rozprzestrzenianiu się pożaru,
 - zapewnienie szczelnych powietrznie przegród zewnętrznych budynku,
 - zapewnienie wentylacji budynku (wentylowane lub niewentylowane dachy i ściany).

Poszycie okładzinowe zawiera zazwyczaj również elementy pomocnicze, takie jak okna, świetliki, otwory wentylacyjne oraz rynny.

Rozwiązaniem alternatywnym do układu przedstawionego na rysunku 1.1 może być montowanie niektórych rodzajów elementów okładzinowych bezpośrednio na głównej konstrukcji stalowej, bez konieczności stosowania płatwi lub szyn bocznych. Przykładami tego typu konstrukcji są blachy i membrany dachowe oraz montowana na ścianach kasety wzdłużne. Wszędzie tam, gdzie wybrane zostaną takie rozwiązania, elementy okładzinowe muszą być przystosowane do:

- Rozpinania bezpośrednio pomiędzy ryglami, belkami dachowymi lub kratownicami. Jest to zazwyczaj możliwe dzięki zastosowaniu głęboko profilowanych blach lub kaset wzdłużnych, jednak tam, gdzie elementy te są niewystarczające ze względu na wymaganą rozpiętość, konieczne jest zainstalowanie podpór pośrednich w postaci belek drugorzędnych lub walcowanych na gorąco płatwi.
- Utwierdzenie głównych elementów stalowych. Blachy konstrukcyjne oraz kasety wzdłużne, jeżeli są zainstalowane w prawidłowy sposób, powinny zapewnić wystarczające utwierdzenie boczne zewnętrznego pasa elementu podpierającego — rygla lub słupa. W ten sposób możliwe jest zaprojektowanie słupów i rygli jako elementów w pełni utwierdzonych pod obciążeniem grawitacyjnym lub w warunkach nadciśnienia wytworzonego na skutek działania wiatru. Jednak w celu zapewnienia utwierdzenia pośredniego przeciwdziałającego sile ssącej wiatru (unoszenie dachu) może zajść potrzeba uwzględnienia w konstrukcji dodatkowych elementów utwierdzających.

1.2 Funkcje przegród zewnętrznych budynku

Wszystkie budynki, niezależnie od sposobu ich użytkowania, muszą zapewniać regulowane parametry środowiska wewnętrznego, które będą chronione przed wpływem zmiennych i nie poddających się kontroli zewnętrznych czynników klimatycznych. Charakter środowiska wewnętrznego będzie zależeć od przeznaczenia budynku, co w sposób naturalny wyznacza wymagania stawiane przegrodom zewnętrznym budynku.

Tworzenie i utrzymywanie kontrolowanych parametrów środowiska wewnętrznego jest procesem złożonym, wymagającym połączenia systemów mechanicznych i elektrycznych w celu ogrzania i/lub chłodzenia budynku oraz dobrze zaprojektowanych przegród zewnętrznych budynku w celu regulowania przyrostów i strat ciepła. Konstrukcja przegród zewnętrznych budynku stanowi istotny czynnik podczas sporządzania specyfikacji mechanicznej i elektrycznej instalacji budynku (M&E) oraz wyznaczania jego charakterystyki energetycznej. W wyniku nałożonych obecnie w przemyśle budowlanym w całej Europie wymagań dotyczących ograniczenia zużycia energii przegrody zewnętrzne budynków są poddawane tak ścisłej kontroli, jak nigdy dotąd.

Okładziny dachowe i ścienne nie tylko tworzą przegrody zewnętrzne budynku, ale pełnią również istotną rolę ze względu na właściwości konstrukcyjne budynku, zapewniając utwierdzenie drugorzędnej konstrukcji stalowej i jej stateczność skrętną. Wszędzie tam, gdzie takie utwierdzenie jest przyjmowane (jak ma to często miejsce w przypadku tabel obciążeń/rozpiętości dostarczanych przez producentów płatwi oraz szyn bocznych), niezbędne jest, aby elementy okładzinowe mogły zapewnić uzyskanie takiego utwierdzenia w praktyce.

2 RODZAJE SYSTEMÓW OKŁADZIN METALOWYCH

Istnieje cały szereg chronionych patentami rodzajów okładzin, które mogą być wykorzystane przy konstrukcji budynków przemysłowych. Z reguły dzielą się one na kilka obszernych kategorii, jak to opisano w niniejszym rozdziale.

Arkusze blachy są z reguły cynkowane lub pokrywane stopem cynku i aluminium w procesie powlekania ogniowego. Warstwę nawierzchniową stanowi powłoka organiczna z estetycznym wykończeniem, sporządzana zazwyczaj w oparciu o preparaty na bazie polichlorku winylu (PVC lub plastizolu), polifluorku winylidenu (PVDF lub PVF2), poliestru lub poliuretanu. Dostępne są również arkusze okładzinowe wykonane z profilowanej blachy aluminiowej.

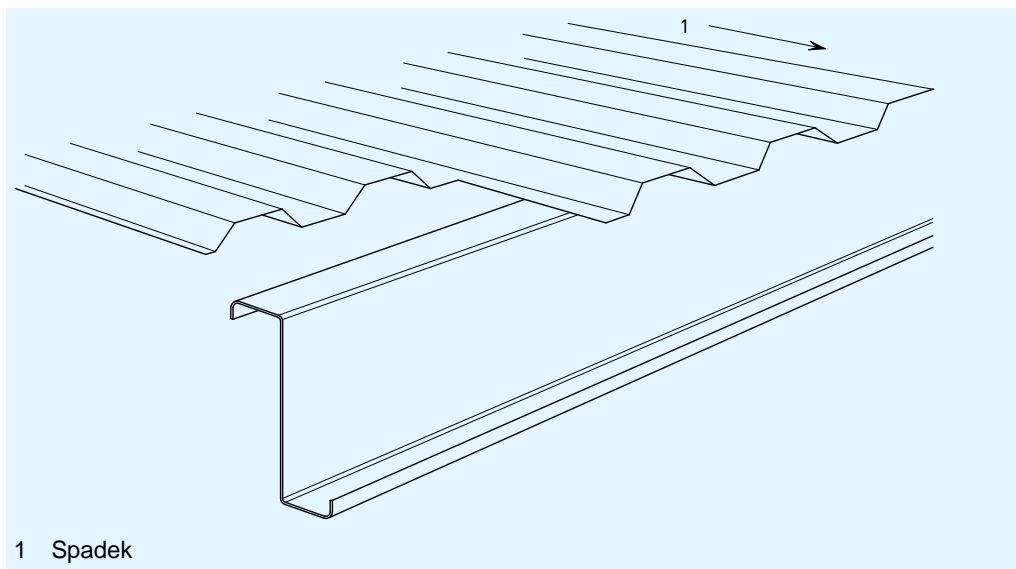
Typowe wartości projektowanej żywotności arkuszy ocynkowanych ogniowo zostały przedstawione w tabeli 2.1.

Tabela 2.1 Typowe wartości projektowanej żywotności powlekanych arkuszy blachy stalowej

Powłoka	Projektowana żywotność (lata)
PVC — 200 mikrometrów	10 – 30
PVC — 120 mikrometrów	10 – 25
PVDF lub PVF2 — 25 mikrometrów	10 – 15
Poliester — 25 mikrometrów	5 – 10
Poliuretan — 50 mikrometrów	10 – 15

2.1 Pojedynczy arkusz blachy trapezowej

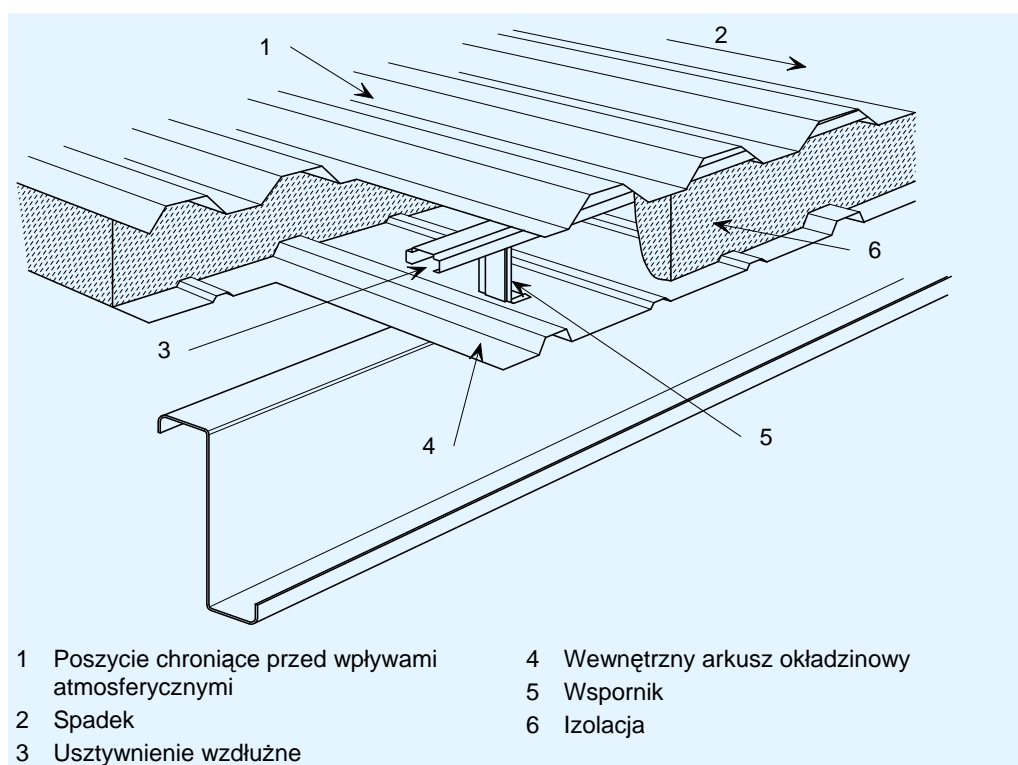
Poszycie w postaci pojedynczych arkuszy blachy profilowanej jest szeroko stosowane w konstrukcjach rolniczych i przemysłowych nie wymagających izolacji termicznej. Takie poszycie jest mocowane bezpośrednio do płatek i szyn bocznych, jak pokazano na rysunku 2.1. Elementy okładzinowe są na ogół wykonane z powlekanej wstępnie blachy stalowej o grubości 0,7 mm i wysokości profilu trapezowego od 32 mm do 35 mm.



Rysunek 2.1 Pojedynczy arkusz blachy trapezowej

2.2 Składane (wielowarstwowe) okładziny podwójne

Ten popularny rodzaj poszycia składa się z wewnętrznej okładziny metalowej, warstwy materiału izolacyjnego, systemu elementów dystansowych oraz zewnętrznego arkusza blachy, jak pokazano na rysunku 2.2. W przypadku takich systemów rozpiętość konstrukcji jest ograniczona ze względu dopuszczalne rozpiętości arkuszy okładzinowych, które typowo mieszczą się w przedziale od 2 m do 2,5 m w zależności od przyłożonego obciążenia. Z tego powodu wielowarstwowe systemy okładzinowe muszą być podpierane za pomocą drugorzędnej konstrukcji stalowej (płatek lub szyny boczne). Jak sama nazwa wskazuje, systemy te składane są z odpowiednich komponentów (warstw) montowanych na placu budowy.



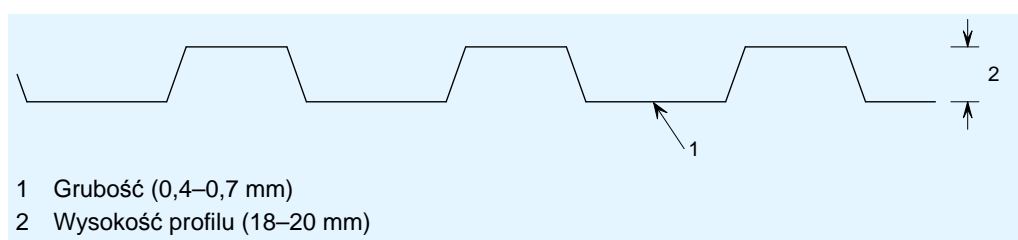
Rysunek 2.2 Wielowarstwowa okładzina dachowa

2.2.1 Wewnętrzny arkusz okładzinowy

Wewnętrzny arkusz okładzinowy pełni kilka zadań:

- podtrzymuje izolację termiczną,
- stanowi warstwę nieprzepuszczalną dla powietrza,
- zapewnia utwierdzenie płatwi.

Wewnętrzne arkusze okładzinowe są zwykle wytwarzane z profilowanych na zimno i wstępnie powlekanych blach stalowych lub aluminiowych o niskim profilu trapezowym (tj. o wysokości przetłoczeń od 18 mm do 20 mm, jak przedstawiono na rysunku 2.3). W przypadku okładzin stalowych grubość arkusza wynosi zazwyczaj 0,4 mm lub 0,7 mm, podczas gdy arkusze aluminiowe są nieznacznie grubsze — 0,5 mm lub 0,9 mm. Wybór okładziny zależy od zakładanych możliwości przesklepiania, metody instalacji oraz wymagań akustycznych stawianych okładzinom. Jeżeli jest to pożądane, akustyczne właściwości okładzin, a w szczególności zdolność do absorbowania dźwięku oraz minimalizacji pogłosu, mogą zostać poprawione przez zastosowanie arkuszy blachy perforowanej.



Rysunek 2.3 Profil wewnętrznego arkusza okładzinowego

Arkusze o niskim profilu nie są na tyle wytrzymałe, aby można było po nich chodzić. Istotne jest zatem, aby izolacja, system elementów dystansowych oraz poszycie chroniące przed wpływami atmosferycznymi były instalowane z rusztowań lub pomostów, jak przedstawiono na rysunku 2.4. Jednakże po pełnym umocowaniu arkusze te stanowią niełamiwą barierę chroniącą przed upadkiem. Jeżeli zapewnienie możliwości wejścia na układaną okładzinę jest konieczne, zazwyczaj blachy o niskim profilu zastępuje się mocniejszymi arkuszami (tj. blachami stalowymi o grubości 0,7 mm i wysokości profilu trapezowego od 32 mm do 35 mm).



Rysunek 2.4 Instalacja arkuszy okładzinowych wzdłuż rozpiętości płatwi

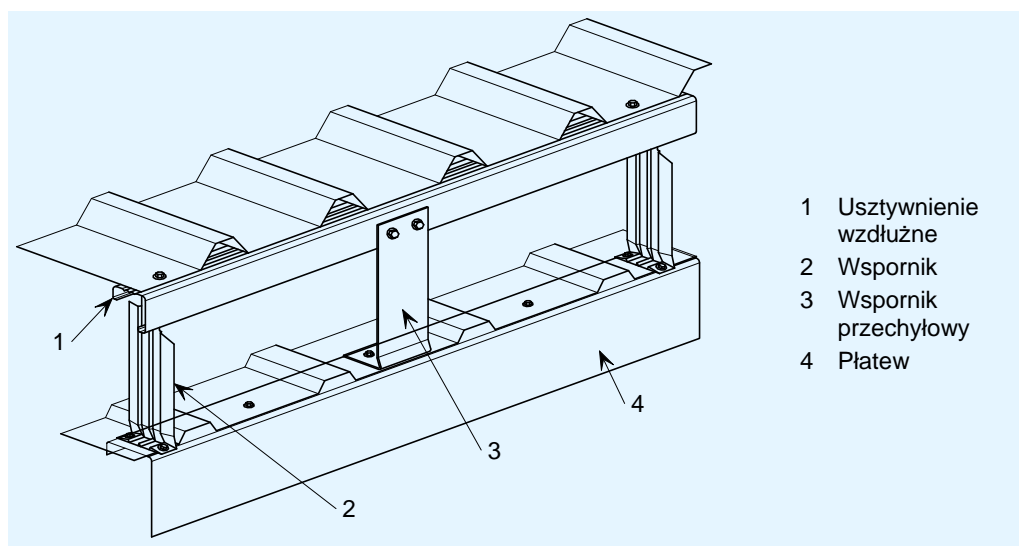
2.2.2 Izolacja

Podstawową funkcją warstwy izolacyjnej jest stworzenie bariery zapobiegającej przepływowi ciepła z wnętrza budynku do środowiska zewnętrznego. W ostatnich latach grubość warstwy izolacyjnej na dachach i ścianach budynków znacznie wzrosła — od 80 mm w latach 80. XX wieku do około 200 mm w roku 2009. W kolejnych latach, w miarę zaostrzania przepisów dotyczących zużycia energii w budynkach, spodziewany jest dalszy wzrost grubości warstwy izolacyjnej.

Najczęściej spotykaną formą izolacji termicznej w wielowarstwowych systemach okładzinowych są maty z wełny mineralnej, których użycie jest preferowane ze względu na małą masę, niską przewodność cieplną, łatwość stosowania oraz stosunkowo niskie koszty. Dostępne są również sztywne płyty z wełny mineralnej, lecz są one mniej podatne niż maty z wełny mineralnej, co może prowadzić do powstawania szczelin powietrznych pomiędzy warstwą izolacji a arkuszem blachy profilowanej. Sztywne płyty z wełny mineralnej są również dużo cięższe, co w konsekwencji zwiększa obciążenie stalowej konstrukcji nośnej i utrudnia pracę z tym materiałem na budowie.

2.2.3 System elementów dystansowych

Podstawowym zadaniem systemu elementów dystansowych jest utrzymywanie poszycia chroniącego przed wpływami atmosferycznymi w wymaganej odległości od wewnętrznego arkusza okładzinowego. W związku z tym elementy składowe systemu muszą mieć wystarczającą wytrzymałość i sztywność, aby bezpiecznie przenosić wymagane obciążenie do płatwi bez nadmiernych odkształceń. Powszechnie spotykanym elementem dystansowym jest system składający się z usztywnienia wzdłużnego i wspornika, jak pokazano na rysunku 2.5. System składa się z profilowanych na zimno usztywnień wzdłużnych, które stanowią podparcie ciągłe arkusza chroniącego przed wpływami atmosferycznymi, podtrzymywanych przy pomocy rozmieszczonych w pewnych odstępach wsporników. Wsporniki te są przymocowane na stałe do płatwi przez wewnętrzny arkusz okładzinowy. Aby przeciwdziałać powstawaniu mostków cieplnych, w wielu systemach stosuje się również plastikowe podkładki (które działają jako izolatory termiczne). Dostępne są również inne typy systemów dystansowych, np. system, w którym elementy dystansowe typu Z są podtrzymywane przez bloczki plastikowe o właściwościach termoizolacyjnych.



Rysunek 2.5 System dystansowy składający się z usztywnień wzdłużnych i wsporników

2.2.4 Poszycie chroniące przed wpływami atmosferycznymi

Zewnętrzny arkusz wielowarstwowego systemu okładzin podwójnych nazywany jest poszyciem chroniącym przed wpływami atmosferycznymi. Jak wskazuje sama nazwa, podstawową funkcją tego poszycia jest ochrona budynku przed wpływem warunków atmosferycznych przez utworzenie nieprzepuszczalnej przegrody zewnętrznej budynku. Jednak arkusz chroniący przed wpływami atmosferycznymi powinien być postrzegany również jako element konstrukcyjny, ponieważ odgrywa istotną rolę w przenoszeniu obciążeń zewnętrznych (np. pochodzących od wiatru, śniegu i osób przebywających na konstrukcji) na pozostałe elementy okładzinowe, drugorzędą konstrukcją stalową oraz główną ramę nośną.

Arkusze te są zazwyczaj wykonane z blachy stalowej lub aluminiowej i dostępne w szerokiej palecie wzorów wykończeniowych oraz kolorów. Stalowe arkusze zewnętrzne są wytwarzane z wstępnie powlekanej blachy stalowej w kręgach. W przypadku aluminiowych arkuszy zewnętrznych dostępny jest szeroki wybór elementów lakierowanych lub pochodzących prosto z walcowni (nie poddanych żadnej dodatkowej obróbce). Szczegółowe wymagania w zakresie dachowego poszycia chroniącego przed wpływami atmosferycznymi oraz okładzin ściennych podano w normie EN 14782^[1].

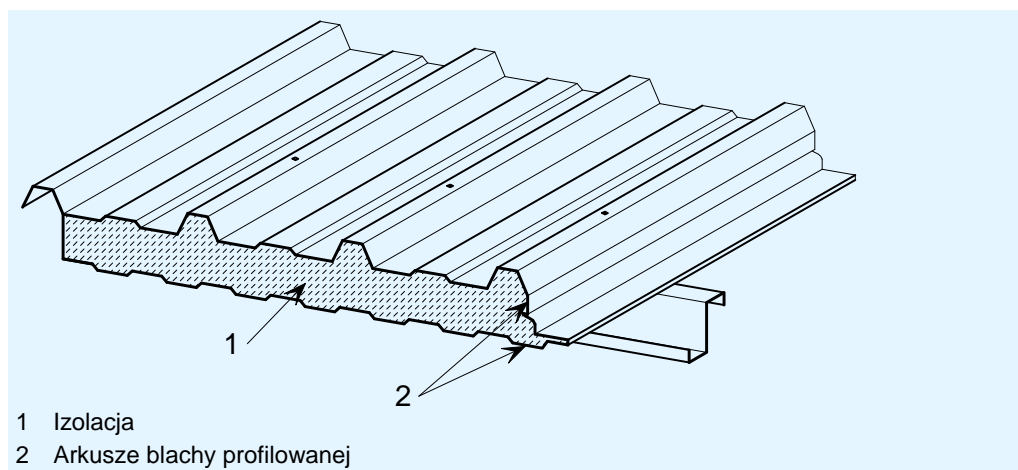
2.2.5 Elementy złączne

Dostępna jest szeroka gama chronionych patentami elementów złącznych, które w razie potrzeby mogą być wodoszczelne. Większość elementów złącznych wykorzystywanych do mocowania okładzin metalowych jest zarówno samogwintująca, jak i samowiercąca, jednak dostępne są również śruby wyłącznie samogwintujące do użytku w przypadku blach z wstępnie nawierconymi otworami. Elementy złączne mogą być wykorzystywane do mocowania poszycia do stalowej konstrukcji nośnej (lub innych materiałów) bądź do łączenia sąsiednich arkuszy. W przypadku większości zastosowań istnieje wybór pomiędzy elementami złącznymi z platerowanej stali węglowej lub stali nierdzewnej (zazwyczaj wykorzystywany jest gatunek austenitycznej stali nierdzewnej 304). Łby widocznych elementów złącznych mogą być fabrycznie pokryte warstwą tworzywa sztucznego w kolorze dobranym do koloru poszycia zewnętrznego. Dalsze informacje na temat tych i innych elementów złącznych (np. elementów do montażu krytego) są dostępne w dokumentacji technicznej nr 12 przygotowanej przez stowarzyszenie MCRMA — *Fasteners for Metal Roof and Wall Cladding: Design, Detailing and Installation Guide*^[2].

2.3 Panele izolowane (kompozytowe lub warstwowe)

Izolowane panele dachowe i ścienne składają się ze sztywnej warstwy izolacji umieszczonej pomiędzy dwoma warstwami poszycia metalowego, jak pokazano na rysunku 2.6. Tworzony jest w ten sposób mocny, sztywny i lekki panel o dużych możliwościach w zakresie rozpiętości ze względu na złożone oddziaływanie podczas zginania. Panele te są powszechnie stosowane w budynkach przemysłowych oraz halach handlowych w miejsce okładzin wielowarstwowych opisanych w punkcie 2.2. W tego typu konstrukcjach są one rozpinane pomiędzy profilowanymi na zimno płaciami lub szynami bocznymi, które z kolei rozpięte są pomiędzy elementami ramy głównej. Jednak w przypadku budynków przemysłowych, w których drugorzędna konstrukcja stalowa nie jest niezbędnym elementem utwierdzającym, kompozytowe panele okładzin ściennych są dość często rozpinane bezpośrednio pomiędzy słupami.

Dostępne są systemy łączenia na rąbek stojący oraz systemy mocowania przelotowego z zastosowaniem zewnętrznej blachy trapezowej i niskoprofilowego wewnętrznego arkusza okładzinowego, jak pokazano na rysunku 2.6, bądź dwóch arkuszy płaskich/z mikroprzetłoczeniami. Jako pokrycia dachowe stosuje się profilowane panele kompozytowe, aby wody opadowe mogły spływać bez penetrowania otworów na elementy złączne, a okładziny ścienne to najczęściej panele płaskie ze względu na ich estetyczny wygląd.



Rysunek 2.6 Panel izolowany

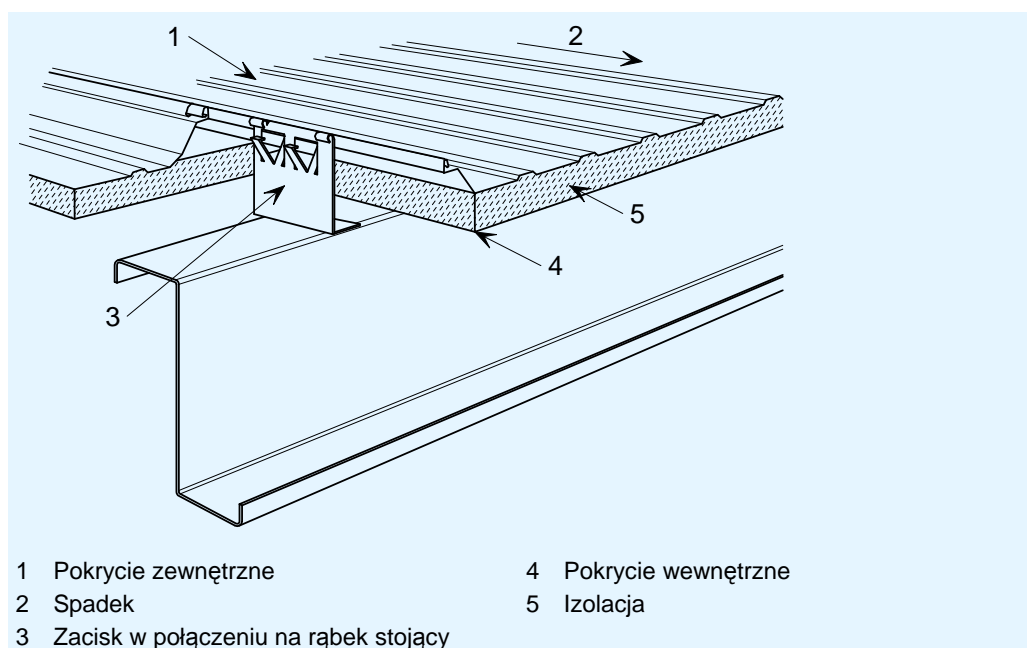
W przeciwieństwie do systemów wielowarstwowych nie ma tu potrzeby stosowania elementów dystansowych, ponieważ sztywna izolacja jest na tyle mocna i niepodatna, aby utrzymać prawidłową odległość między arkuszami blachy. Wszelkie obciążenia przyłożone w płaszczyźnie okładziny (np. obciążenia skierowane w dół na dachu dwuspadowym) są przenoszone z arkusza zewnętrznego przez dwie warstwy klejące oraz warstwę izolacyjną na arkusz wewnętrzny oraz konstrukcję nośną.

Najbardziej rozpowszechnionym materiałem izolacyjnym stosowanym w panelach izolowanych pianką jest poliizocyanurat (PIR). Pianka PIR po natryśnięciu na profil metalowy gwałtownie się rozszerza i wiąże się z nim bez potrzeby stosowania kleju. Ta własność powoduje, że materiał ten idealnie nadają się do procesów produkcyjnych o charakterze ciągłym, stosowanych przez dużych producentów paneli wypełnionych pianką. Inną możliwością jest wiązanie sztywnych płyt wełny mineralnej lub innych materiałów izolacyjnych z arkuszami blachy za pomocą kleju. Ta metoda jest powszechnie stosowana w odniesieniu do płaskich paneli ściennych.

2.4 Systemy łączenia na rąbek stojący

W przypadku systemów „łączenia na rąbek stojący” lub „łączenia krytego” wykorzystywany jest specjalnie zaprojektowany profil arkusza zewnętrznego wyposażony w złącze zaciskowe do łączenia sąsiadujących arkuszy. Pozwala to uniknąć stosowania odsłoniętych elementów łącznych i poprawia wodoszczelność systemu okładzinowego. W rezultacie systemy łączenia na rąbek stojący mogą być stosowane na dachach o bardzo niewielkim spadku (do 1° w porównaniu z 4° w przypadku systemów z łącznikami odsłoniętymi). Systemy paneli izolowanych są również dostępne w wersji z łączeniem na rąbek stojący wykonanym w arkuszu zewnętrznym. Pokrycia łączone na rąbek stojący mogą być wykonywane zarówno z blachy stalowej, jak i aluminiowej.

Typowy system łączenia na rąbek stojący został przedstawiony na rysunku 2.7.



Rysunek 2.7 Okładzina dachowa łączona na rąbek stojący

Wadą tego systemu jest znaczne zmniejszenie utwierdzenia płatwi w porównaniu z konwencjonalnym systemem mocowania. Niemniej prawidłowo umocowana okładzina zapewni odpowiednie utwierdzenie.

Dalsze informacje na temat systemów łączenia okładzin na rąbek stojący można znaleźć w dokumentacji technicznej nr 3 przygotowanej przez stowarzyszenie MCRMA *Secret fix roofing design guide*^[3], a także w publikacji nr 41 ECCS-TC7 *Good practice in steel cladding and roofing*^[6].

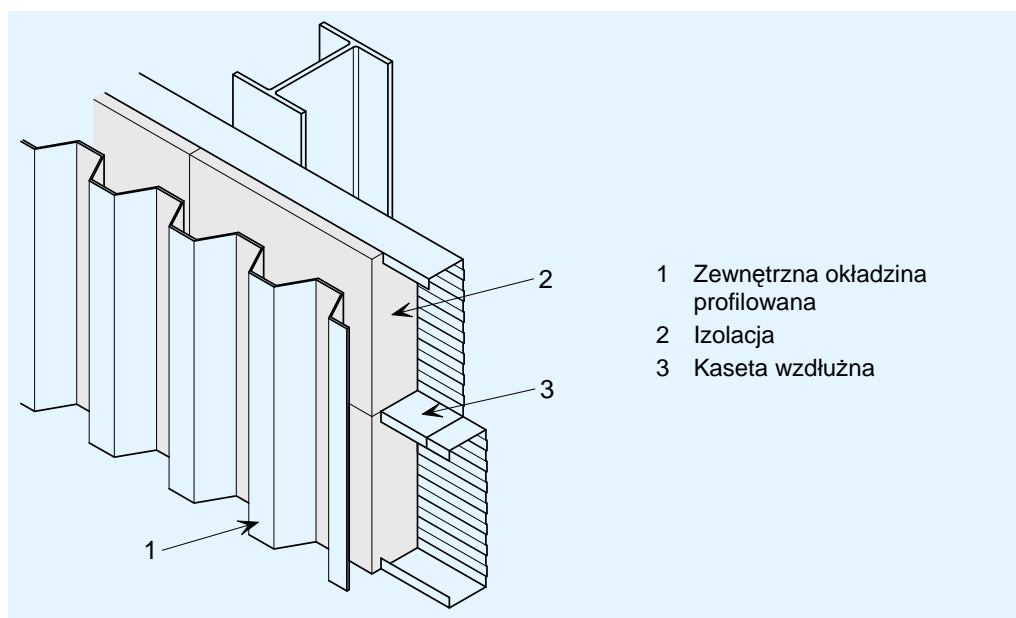
2.5 Konstrukcyjne kasety wzdłużne

Konstrukcyjne kasety wzdłużne stanowią popularną alternatywę dla kompozytowych paneli ściennych. Obejmują one wysoki profil konstrukcyjny, w który na miejscu budowy wkładana jest płyta izolacyjna. Montaż zostaje zakończony przez dodanie zewnętrznego arkusza cienkiej blachy profilowanej, jak pokazano na rysunku 2.8. W przeciwieństwie do systemów wielowarstwowych kasety wzdłużne rozpięte są bezpośrednio pomiędzy głównymi słupami konstrukcji, dzięki czemu stosowanie drugorzędnych szyn do mocowania okładzin nie jest konieczne. Jest to możliwe ze względu na wysokość profilu kaset wzdłużnych oraz związaną z tym sztywność zginania tych elementów. Brak drugorzędnej konstrukcji stalowej może być wyraźną zaletą pod względem szybkości oraz kosztów procesu montażu, a także tolerancji instalacyjnych.

Jednak w przypadku kaset wzdłużnych należy zwrócić uwagę na możliwość powstawania mostków cieplnych. Problem ten można częściowo rozwiązać przez umieszczenie dodatkowej warstwy sztywnej izolacji po zewnętrznej stronie kasety.

Wszędzie tam, gdzie stosowanym podejściem w przypadku ram portalowych jest projektowanie w oparciu o metodę nośności granicznej, brak szyn bocznych może być przyczyną problemów w zakresie zapewnienia utwierdzenia wewnętrznych pasów słupów (np. w obrębie strefy przegینania ramy portalowej), ponieważ tradycyjnych zastrzałów nie można w łatwy sposób umocować do profilu kasety wzdłużnej.

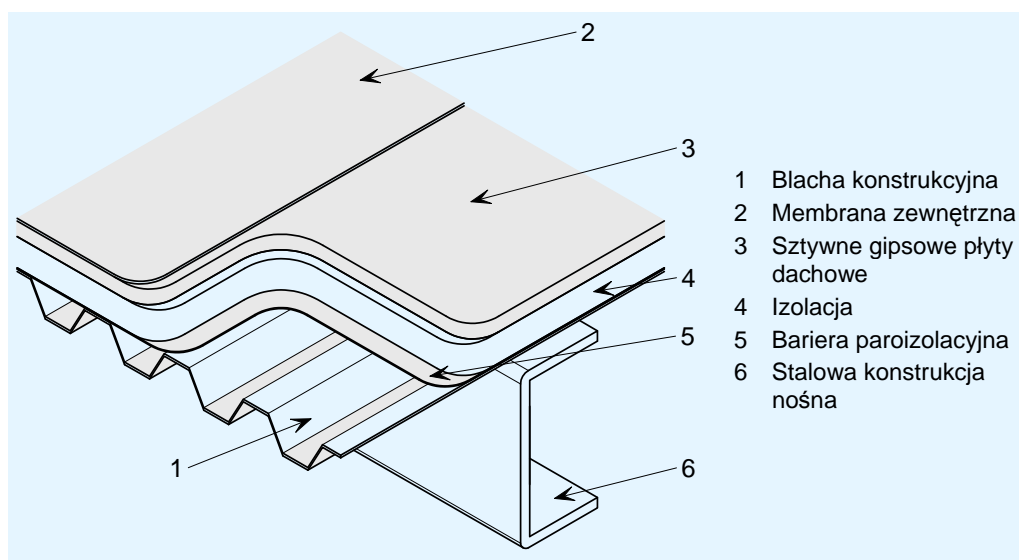
Jeśli wymagane są lepsze właściwości akustyczne, istnieje także możliwość zastosowania perforowanych kaset wzdłużnych.



Rysunek 2.8 Systemy okładzinowe wykorzystujące konstrukcyjne kasety wzdłużne

2.6 Systemy dachowe wykorzystujące blachy konstrukcyjne i membrany

W zakresie dużych rozpiętości systemy dachowe wykorzystujące blachy konstrukcyjne oraz membrany stanowią rozwiązanie alternatywne do okładzin wielowarstwowych montowanych na profilowanych na zimno płatwiach. Są one stosowane szczególnie chętnie na dachach płaskich lub dwuspadowych o bardzo małym spadku, gdzie wymagana jest membrana wodoszczelna. Konstrukcja dachowa składa się z trapezowej blachy profilowanej o wysokości profilu i grubości pozwalającej na rozpięcie jej bezpośrednio pomiędzy ryglami, ściągami dachowymi lub kratownicami. Zwykle wysokość profilu typowej blachy stalowej wynosi 100 mm, a jej grubość mieści się w zakresie od 0,75 mm do 1,0 mm. Blacha ta podtrzymuje warstwę sztywnej izolacji, na wierzchu której umieszczona jest wodoszczelna membrana, jak przedstawiono na rysunku 2.9. Zastosowanie sztywnej membrany o dużej gęstości pozwala na przenoszenie obciążeń pochodzących od śniegu oraz osób przebywających na konstrukcji przez warstwę izolacji na blachę konstrukcyjną bez potrzeby stosowania zewnętrznego pokrycia metalowego lub systemu elementów dystansowych. Blacha ta może stanowić utwierdzenie górnej części ściągu dachowego lub kratownicy, dzięki czemu jest idealnym rozwiązaniem w przypadku budynków ze swobodnie podpartą konstrukcją dachową. Jednakże blachy konstrukcyjne nie są odpowiednie do zastosowania w przypadku ram portalowych projektowanych w oparciu o metodę nośności granicznej, ze względu na konieczność utwierdzenia wewnętrznego pasa rygla w rejonie przegięcia.



Rysunek 2.9 System okładzinowy wykorzystujący blachy konstrukcyjne i membrany

3 SPECYFIKACJA OKŁADZIN

Specyfikacja okładzin dachowych i ściennych ma wpływ na znacznie większą liczbę czynników niż tylko względy estetyczne i ochrona budynku przed warunkami atmosferycznymi. Dobór okładzin może oddziaływać na wiele aspektów w zakresie właściwości budynku — od momentu jego wzniesienia po ewentualne wyburzenie oraz utylizację. Istotnie, jeżeli specyfikacja okładzin nie zostanie sporządzona odpowiednio dokładnie, zagrożona może być przydatność całego budynku. Poniżej przedstawiona została lista czynników, które należy rozważyć podczas przygotowywania specyfikacji systemów profilowanych okładzin metalowych. Dalsze informacje dotyczące zasadniczych aspektów technicznych przedstawiono w punktach od 3.1 do 3.8.

- Zabezpieczenie przed warunkami atmosferycznymi
- Wytrzymałość i sztywność
- Izolacja termiczna
- Kontrola kondensacji pary wodnej
- Kontrola ruchów spowodowanych rozszerzalnością termiczną
- Izolacja akustyczna
- Ognioodporność
- Wygląd
- Trwałość
- Koszty
- Oświetlenie dzienne
- Możliwość mocowania elementów zewnętrznych
- Ochrona odgromowa
- Ustalanie szczegółów projektu
- Zapotrzebowanie na prace konserwacyjne, naprawcze oraz remontowe
- Kontrola wypływów powietrza

Wymagania minimalne w zakresie charakterystyk wielu z tych czynników są określone przez prawodawstwo europejskie. Inne czynniki, takie jak wygląd oraz oświetlenie dzienne, z inżynierskiego punktu widzenia wydają się nie mieć tak krytycznego znaczenia, ale mogą okazać się decydujące w kwestii powodzenia inwestycji, aby budynek mógł spełnić oczekiwania użytkowników i zyskać aprobatę lokalnej społeczności. Nie wolno zapominać, że koszt okładzin izolowanych w typowym budynku handlowym lub przemysłowym stanowi zwykle znaczny odsetek ogólnego kosztu budowy, a więc decyzje w zakresie wyboru systemu okładzinowego mogą wpłynąć na ekonomiczny sukces lub niepowodzeniu projektu. Okładziny mają również znaczny wpływ na eksploatacyjne zapotrzebowanie energetyczne budynku, a tym samym na koszty jego użytkowania, zwłaszcza ogrzewanie, chłodzenie oraz oświetlenie.

3.1 Zabezpieczenie przed warunkami atmosferycznymi

Podstawową funkcją systemu okładzinowego jest zapewnienie odpowiedniej ze względu na przeznaczenie budynku ochrony przed warunkami atmosferycznymi. Pamiętając o tym założeniu, projektant sporządzający specyfikację musi dokładnie rozważyć dobór elementów okładzinowych oraz projekt wykonawczy systemu. Podczas sporządzania specyfikacji elementów okładzinowych należy wziąć pod uwagę lokalizację budynku, jego orientację i zewnętrzne warunki klimatyczne. Zadowalające właściwości systemu zależą również od poprawnego montażu elementów składowych zarówno w fabryce, jak i na budowie.

Na ogół dach jest obciążony większym ryzykiem powstawania przecieków niż ściany, a ryzyko to rośnie wraz ze zmniejszeniem spadku dachu. Czynnikiem ten ma duże znaczenie podczas projektowania nowoczesnych budynków niemieszkalnych, ponieważ ich dachy są często płaskie lub mają niewielki spadek w celu ograniczenia pustej przestrzeni poddasza. Nie wszystkie rodzaje okładzin nadają się do zastosowania na dachach o niewielkim spadku. Sporządzający specyfikacje projektanci muszą zwrócić szczególną uwagę na wartość minimalnego dopuszczalnego spadku zalecanego przez producentów okładzin oraz na podane wskazówki odnośnie ustalania szczegółów oraz instalacji.

Okładziny dachowe z blachy trapezowej ze stałymi, przelotowymi elementami złącznymi zasadniczo nadają się do stosowania na dachach o spadku równym 4° (7%) lub więcej. Ta granica 4° ma decydujący wpływ na charakterystykę eksploatacyjną okładzin i powinna uwzględniać ugięcia stalowej konstrukcji nośnej oraz lokalne odkształcenia okładzin, które mogą prowadzić do powstawania zastoisk wody. Jeżeli główna konstrukcja jest wstępnie wygięta w celu zrównoważenia ugięcia spowodowanego oddziaływaniami stałymi, należy zwrócić szczególną uwagę, aby nadmierne wygięcie wstępne nie powodowało powstawania lokalnych przewyższeń, ponieważ one także mogą być przyczyną występowania zastoisk wody. W przypadku łagodniejszych spadków wynoszących do $1,5^\circ$ (1,5%) należy stosować system krytych elementów złącznych bez odsłoniętych łączników przelotowych, specjalnych zakładów podłużnych i najlepiej bez zakładów poprzecznych. Kryte systemy mocowania można również stosować na bardziej stromych dachach, gdzie wymagana jest większa niezawodność.

W przypadku dachów o niewielkim spadku w celu uniknięcia szkodliwego wpływu długotrwałego nasiąkania, a przez to zwiększonego obciążenia masą wody, na etapie projektowania należy uwzględnić potencjalny problem powstawania zastoisk wody. Jeżeli zastoiska wody występują na świetlikach, wówczas powstaje dodatkowy problem brudnych osadów pozostawianych przez odparowującą wodę.

Słabymi punktami przegród zewnętrznych budynku są poprzeczne i podłużne zakłady poszycia profilowanego, ponieważ w tych miejscach istnieje potencjalne ryzyko przenikania wody oraz wiatru. Projekt i konstrukcja zakładów mają więc decydujące znaczenie w kwestii odporności systemu okładzinowego na warunki atmosferyczne. Zakłady poprzeczne składają się zazwyczaj z dwóch ciągłych pasów uszczelniających wykonanych z gumy butylowej, które na skutek działania dociskowego elementów łącznikowych zostają ściśnięte,

tworząc odpowiednie uszczelnienie. Odstęp pomiędzy elementami złącznymi wymagany do uzyskania odpowiedniego stopnia uszczelnienia zależy od geometrii profilu, jednak powszechnie stosuje się jeden element łączny na jedno koryto. Typowy zakład podłużny pomiędzy arkuszami blachy trapezowej jest tworzony przez nałożenie na siebie profili z paskiem uszczelniacza butylowego po zewnętrznej stronie elementu łącznego w celu utworzenia uszczelnienia odpornego na warunki atmosferyczne. Zakłady podłużne powinny być zszywane przy użyciu stalowych łączników wstrzeliwanych, rozmieszczonych co 500 mm (odległość między środkami otworów) lub gęściej. Dalsze informacje na temat zakładów podłużnych i poprzecznych można znaleźć w przygotowanej przez stowarzyszenie MCRMA dokumentacji technicznej nr 6 *Profiled metal roofing design guide*^[4] oraz dokumentacji technicznej nr 16 *Guidance for the effective sealing of end lap details in metal roofing constructions*^[5]. Tekst może zawierać również odnośniki do publikacji ECCS-TC7 nr 41 *Good practice in steel cladding and roofing*^[6].

3.2 Wygląd budynku

Dobór okładzin ściennych oraz dachowych ma istotny wpływ na wygląd budynku. Szczególnie ważne są następujące czynniki:

- kształt profilu,
- kolor,
- elementy złączne.

Kształt profilu może mieć znaczny wpływ na wygląd budynku ze względu na jego oddziaływanie na sposób postrzegania barwy oraz faktury okładzin (wywoływane odbiciem światła). Również orientacja okładzin (występy ułożone pionowo lub poziomo) ma wpływ na wygląd budynku ze względu na grę odbitego światła oraz cienia. Jeżeli okładziny ułożone poziomo nie są regularnie czyszczone, ich potencjalną wadą jest gromadzenie się z biegiem czasu zanieczyszczeń w wystęпах. Tam, gdzie ze względu na lokalizację i funkcję budynku wymagana jest gładka powierzchnia zewnętrzna, można stosować izolowane, płaskie panele ścienne. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że przy takim rozwiązaniu wszelkie wady powierzchni będą łatwo dostrzegalne.

Arkusze blachy stalowej, z których wykonywane są profilowane elementy okładzinowe, są dostępne w wersji wstępnie powleczonej w szerokim wyborze kolorów i faktur powierzchni, co pozwala architektom na taki dobór wykończenia, który najlepiej odpowiada lokalizacji oraz funkcji budynku. Przy doborze wykończenia powierzchni architekt powinien mieć na uwadze znaczenie kształtu profilu dla ogólnego wyglądu budynku, uwzględniając wpływ gry światła i cienia na sposób postrzegania odcieni barw.



Rysunek 3.1 Typowe okładziny ścienne — połączenie paneli płaskich i arkuszy profilowych

Na wygląd ogólny budynku wpływ może mieć także dobór elementów łącznych, zwłaszcza montowanych na okładzinach ściennych lub stromych dachach dwuspadowych. Z tego względu projektanci sporządzający specyfikacje okładzin powinni dobrze rozważyć dobór wielkości i kształtu oraz rozmieszczenie elementów łącznych i podkładek. Dostępne są elementy łączne z łbami pokrytymi fabrycznie warstwą tworzywa sztucznego, które można dopasować kolorystycznie do poszycia zewnętrznego chroniącego przed wpływami atmosferycznymi. W miejscach, w których odsłonięte elementy łączne mają niekorzystny wpływ na wygląd budynku, architekt może rozważyć zastosowanie systemów paneli izolowanych z krytymi mocowaniami lub systemów łączenia na rąbek stojący, aby ukryć wszystkie elementy łączne. Dalsze informacje na temat elementów łącznych można znaleźć w przygotowanej przez stowarzyszenie MCRMA dokumentacji technicznej nr 12 *Fasteners for Metal Roof and Wall Cladding: Design, Detailing and Installation Guide*^[2].

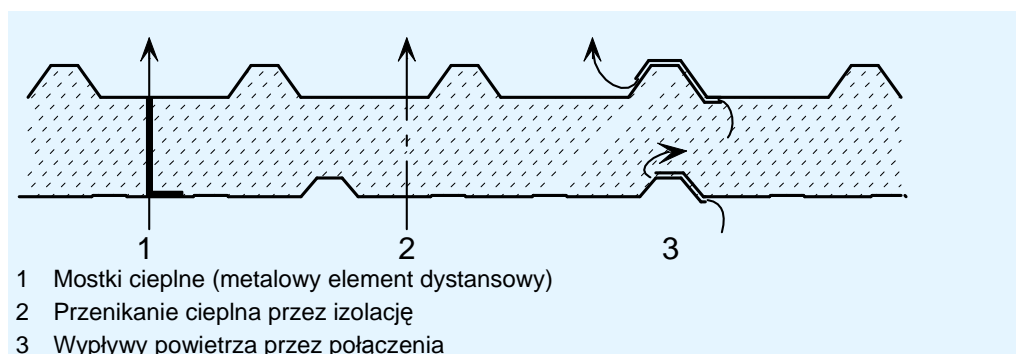
3.3 Sprawność termiczna

3.3.1 Zużycie energii

Wzrost powszechnej świadomości w zakresie globalnych zmian klimatycznych i powiązanie ich z działalnością ludzką spowodowały, że problemy zużycia energii oraz emisji dwutlenku węgla znalazły się wysoko na liście aktualnych tematów polityki światowej. Zgodnie z postanowieniami Protokołu z Kioto kraje europejskie są obecnie prawnie zobowiązane do redukcji emisji dwutlenku węgla, a spełnienie tego zobowiązania wymaga wprowadzenia znacznych zmian w wielu gałęziach przemysłu, szczególnie w budownictwie.

Znaczny udział emisji dwutlenku węgla w Europie jest związany z eksploatacyjnymi wymaganiami energetycznymi budynków (ogrzewanie, oświetlenie, wentylacja itp.). Problem ten został podniesiony w Dyrektywie Europejskiej 2002/91/WE: *Charakterystyka energetyczna budynków*^[7]. Choć na efektywność energetyczną budynku ma wpływ wiele czynników, charakterystyka energetyczna przegród zewnętrznych budynku jest bardzo istotna. W rezultacie poszukuje się możliwości ograniczenia zużycia energii przez poprawę sprawności termicznej okładzin budynku oraz związanych z nimi elementów.

Główne źródła strat ciepła powstających w przegrodach zewnętrznych budynku zostały przedstawione na rysunku 3.2.



Rysunek 3.2 Główne źródła strat ciepła przez przegrody zewnętrzne budynku

3.3.2 Przenikalność cieplna

Przenikanie ciepła przez przegrody zewnętrzne budynku może być znacznym źródłem strat energii wewnątrz obiektu, szczególnie gdy izolacja jest niewystarczająca. Jedną z miar przenikalności cieplnej jest „współczynnik U”, który jest definiowany jako stopień przenikania ciepła przez przegrodę zewnętrzną budynku (np. ścianę, okno, sekcję dachu lub świetlik) na metr kwadratowy powierzchni. Jednostką miary współczynnika U w układzie SI jest W/m^2K . W przypadku pojedynczego elementu, jak np. panel okładzinowy, podstawowa wartość współczynnika U zależy od przewodności i grubości izolacji, kształtu profilu oraz obecności mostków cieplnych. Producenci okładzin oraz izolacji zazwyczaj odnotowują wartość współczynnika U wytwarzanych produktów w przypadku różnych grubości izolacji. Wartość współczynnika U określonych wielowarstwowych przegród zewnętrznych można również wyliczyć, korzystając z oprogramowania.

Zazwyczaj maksymalne wartości współczynnika U są wyszczególniane w przepisach krajowych. Są to często wartości średnie ważone (lub podobne wartości „ogólne”) dla całego dachu lub ściany i maksymalne wartości w przypadku poszczególnych elementów, takich jak np. drzwi. Zazwyczaj wartości współczynników U tych pojedynczych elementów są dużo wyższe niż okładzin.

Typowe wartości graniczne współczynników U zostały podane w tabeli 3.1.

Tabela 3.1 Wartości graniczne współczynników U

Element	Średnia ważona powierzchnią ($Wm^{-2}K^{-1}$)
Ściana	0,35
Dach	0,25
Okno	2,2
Drzwi wej ciowe dla ruchu pieszego	2,2
Wentylator dachowy	6

W ostatnich latach nacisk położony na poprawę charakterystyki energetycznej budynków zaowocował znacznym zmniejszeniem wartości współczynników U w przypadku elementów przegród zewnętrznych budynków, co w efekcie spowodowało istotny wzrost grubości izolacji. Wywarło to znaczny wpływ na konstrukcyjne właściwości systemu okładzinowego i jego oddziaływania z innymi elementami konstrukcyjnymi. Szczególną obawę inżynierów budownictwa budzą zwiększone grubości i masy okładzin oraz ich zdolność do odpowiedniego utwierdzenia płatwi i szyn bocznych. Z pewnością tendencja do poprawy efektywności cieplnej będzie się utrzymywać. Jednak coraz mniejsze zyski z dalszego ograniczania wartości współczynników U oznaczają, że w przyszłości prawdopodobnie większy nacisk zostanie położony raczej na szczelność powietrzną i właściwości instalacji mechanicznych niż ciągle zwiększanie grubości izolacji.

Podczas gdy niektóre kraje przyjęły wartość współczynnika U jako preferowaną miarę oceny charakterystyk przegród zewnętrznych budynków, w innych krajach zdecydowano się stosować współczynnik R lub inaczej opór cieplny. Wartość współczynnika R to po prostu odwrotność współczynnika U , więc uwagi przedstawione w poprzednich akapitach mają również zastosowanie w tych krajach.

Typowe wartości współczynników U różnych systemów okładzinowych zestawiono w tabeli 3.2.

Tabela 3.2 Typowe wartości współczynników U okładzin

Element	Wartość współczynnika U ($Wm^{-2}K^{-1}$)
System wielowarstwowy, warstwa izolacji 180 mm	0,25
System wielowarstwowy, warstwa izolacji 210 mm	0,2
Panel kompozytowy, wełna mineralna, 120 mm	0,34
Panel kompozytowy, wełna mineralna, 150 mm	0,27
Panel kompozytowy, PIR, 60 mm	0,33
Panel kompozytowy, PIR, 100 mm	0,20

3.3.3 Mostki cieplne

Mostki cieplne to obszary lub elementy w obrębie okładzin dachowych lub ściennych, których właściwości izolacyjności termicznej są gorsze (często dużo gorsze) niż właściwości otaczającego materiału. Stąd w takich miejscach możliwe są wysokie lokalne przepływy ciepła przez przegrody zewnętrzne budynku. Typowym przykładem mostka cieplnego może być całkowicie metalowy element dystansowy w wielowarstwowym systemie okładzinowym. Jeżeli nie zostaną przedsięwzięte specjalne środki, takie jak zastosowanie warstwy izolacji termicznej w celu zatrzymania przepływu ciepła, wówczas ze względu na swoją wysoką przewodność cieplną na ogół wszystkie całkowicie metalowe elementy będą działać jako mostki cieplne. Obecność mostków cieplnych powoduje wzrost strat ciepła w budynku, podwyższając w ten sposób koszty eksploatacyjne. Może to prowadzić również do obniżenia temperatury powierzchni wewnętrznej okładzin, przyczyniając się w pewnych warunkach do kondensacji pary wodnej.

3.3.4 Szczelność powietrzna

Szczelność powietrzna budynku ma kluczowe znaczenie w wymaganiach przepisów budowlanych i prawdopodobnie stanie się ona jeszcze ważniejsza ze względu na starania architektów w kwestii poprawy sprawności termicznej przegród zewnętrznych budynków bez znacznego zwiększania grubości warstwy izolacyjnej. Szczelność powietrzna budynku jest określana ilościowo w postaci przepuszczalności powietrza, która jest definiowana jako natężenie przepływu powietrza na metr kwadratowy przegrody zewnętrznej budynku i powierzchni podłogi przy określonym ciśnieniu atmosferycznym. Maksymalna dopuszczalna przepuszczalność powietrza danego budynku zależy od szeregu czynników, włączając w to wymagania przepisów budowlanych, określonego poziomu emisji CO₂ dla budynku, a także środków, przy pomocy których taki poziom emisji może zostać osiągnięty (np. architekt może określić bardzo niski stopień przepuszczalności powietrzna jako rozwiązanie alternatywne w stosunku do zwiększenia grubości warstwy izolacji). W wielu krajach osiągnięcie określonego stopnia przepuszczalności powietrza musi zostać dowiedzione podczas prób przeprowadzonych po zakończeniu budowy.

3.4 Kondensacja międzywarstwowa

Kondensacja międzywarstwowa zachodzi pomiędzy warstwami okładzinowymi na skutek wnikania ciepłego i wilgotnego powietrza z wnętrza budynku do wewnętrznej warstwy okładziny i jego skraplania na zimnej powierzchni zewnętrznej arkusza oraz na innych elementach. Dotkliwość problemu zależy od poziomu wilgotności względnej powietrza wewnątrz budynku, temperatury i wilgotności powietrza na zewnątrz oraz jakości uszczelnienia wewnętrznej warstwy okładziny. Najbardziej zagrożone są budynki stawiane na obszarach o zimnym klimacie i budynki, w których znajdują się baseny pływackie, pralnie itp., a także systemy okładzinowe, w których zastosowano wkład perforowany i oddzielną warstwę paroizolacyjną. W ekstremalnych przypadkach kondensacja pary wodnej może powodować korozję elementów stalowych w obrębie dachu lub wilgotnienie izolacji.

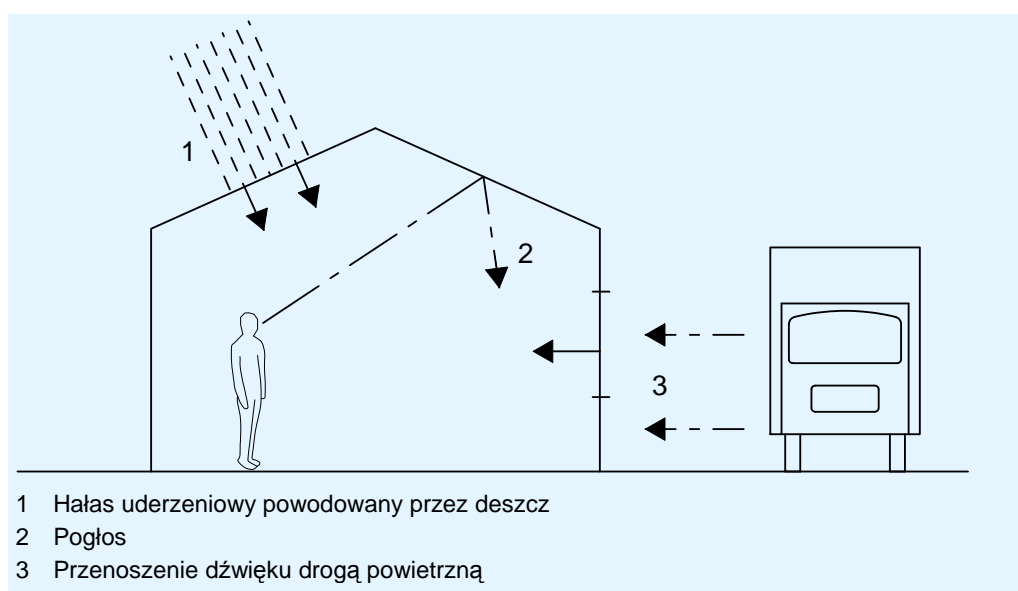
Zalecenia dotyczące unikania kondensacji międzywarstwowej można zazwyczaj znaleźć w normach krajowych.

3.5 Akustyka

W zależności od zastosowania charakterystyka akustyczna może być ważnym czynnikiem przy sporządzaniu specyfikacji systemów okładzin dachowych i ściennych. Istnieją trzy kategorie charakterystyk akustycznych, które należy rozważyć, jak przedstawiono na rysunku 3.3.

3.5.1 Przenoszenie dźwięku drogą powietrzną

Wszędzie tam, gdzie występuje potrzeba ograniczenia przechodzenia dźwięku przez przegrody zewnętrzne budynku, projektant przygotowujący specyfikację systemu okładzinowego musi rozważyć współczynnik izolacyjności akustycznej (SRI) w okładzinach. Współczynnik SRI jest miarą redukcji energii akustycznej (w decybelach) w miarę przechodzenia przez konstrukcję dźwięku o określonej częstotliwości. Charakterystyka akustyczna konkretnego systemu okładzin zależy od materiału izolacyjnego, profilu arkusza zewnętrznego chroniącego przed wpływami atmosferycznymi i wewnętrznego arkusza okładzinowego, a także metody montażu. Spośród wymienionych powyżej głównym czynnikiem jest izolacja — miękka wełna mineralna zapewnia lepszą izolację akustyczną niż sztywne płyty (w zależności od ich gęstości).



Rysunek 3.3 Kategorie charakterystyk akustycznych

3.5.2 Pogłos

W niektórych zastosowaniach, takich jak biura czy pomieszczenia mieszkalne, charakterystyki akustyczne pomieszczeń mogą mieć decydujące znaczenie w zakresie funkcjonalności budynku. Sprawą o szczególnym znaczeniu jest pogłos powodowany przez fale dźwiękowe odbijające się od twardych powierzchni wewnętrznych, w tym od elementów przegród zewnętrznych budynku. Zazwyczaj w celu ograniczenia pogłosu stosuje się odpowiednie wykończenie wnętrza budynku, jednak architekci mogą także skorzystać z właściwości absorbowania fal dźwiękowych przez warstwę izolacyjną okładzin, zastępując standardowy wewnętrzny arkusz okładzinowy okładziną perforowaną. Jeżeli przegrody zewnętrzne budynku składają się z izolacyjnych paneli warstwowych, dość często po wewnętrznej stronie przegród stosuje się okładzinę perforowaną oraz warstwę wełny mineralnej w celu redukcji pogłosu.

3.5.3 Hałas uderzeniowy

Hałas powodowany przez uderzenia gradu lub kropel deszczu o metalowe pokrycie dachu może być czasem uciążliwy dla użytkowników budynku. Jeżeli hałas uderzeniowy uznawany jest za istotny, można go czasem ograniczyć przez ułożenie bezpośrednio pod zewnętrznym arkuszem poszycia warstwy elastycznej izolacji, która działa jako tłumik.

3.5.4 Hałas powodowany przez urządzenia instalacji technicznych budynku

Należy zwrócić również uwagę na potrzebę tłumienia hałasu emitowanego przez urządzenia instalacji technicznych budynku. Działania takie obejmują stosowanie obudów dźwiękochłonnych do hałaśliwych maszyn i/lub podpór z tłumikami w przypadku urządzeń instalacji. Redukcja hałasu powodowanego przez instalacje techniczne ma szczególne znaczenie w budynkach przemysłowych.

Standardowe charakterystyki akustyczne w zakresie redukcji hałasu przenikającego do budynku mogą być określone w przepisach krajowych — jednak często dotyczą one budynków mieszkalnych. Zazwyczaj przyjmuje się, że w przypadku obiektów przemysłowych odpowiedni poziom hałasu wewnątrz budynku wynosi 65 dB, natomiast w odniesieniu do budynków handlowych, usługowych i rekreacyjnych właściwy poziom hałasu w środowisku wewnętrznym mieścić się w granicach od 50 do 55 dB. Przenikanie hałasu na zewnątrz budynku zwykle stanowi większy problem w przypadku budynków przemysłowych. Wymagania akustyczne w zakresie ograniczenia przenikania hałasu z wnętrza budynku (np. gdy obiekt jest usytuowany w pobliżu osiedla mieszkalnego) mogą być określone przepisach lokalnych.

Producenci systemów okładzinowych mogą dostarczyć dane na temat charakterystyk akustycznych różnych konstrukcji i pomóc w wyborze systemu, który będzie spełniał wymagania specyfikacji.

System wielowarstwowy składający się z wstępnie wykończonego arkusza wewnętrznego i zewnętrznego z izolacją w postaci wełny mineralnej na ogół umożliwia ograniczenie hałasu o ponad 40 dB. Skalna wełna mineralna ma większą gęstość niż wełna szklana i z reguły poprawia izolację akustyczną. Izolacja akustyczna może zostać zwiększona przez zastosowanie oprócz maty izolacyjnej dodatkowej płyty z gęstej, dźwiękochłonnej wełny mineralnej.

Na ogół izolowane fabrycznie systemy kompozytowe wypełnione pianką nie są tak skuteczne jak systemy wielowarstwowe ze względu na małą masę rdzenia piankowego oraz bezpośrednie połączenie zewnętrznej i wewnętrznej warstwy poszycia.

Współczynnik izolacyjności akustycznej R_w różnych systemów został przedstawiony w tabeli 3.3. Wyższa wartość współczynnika wskazuje na lepszą izolacyjność akustyczną.

Tabela 3.3 Współczynnik izolacyjności akustycznej typowych systemów okładzinowych

Typ okładziny	Współczynnik izolacyjności akustycznej R_w
System wielowarstwowy — z wełną skalną i izolacją akustyczną	47
System wielowarstwowy z wełną skalną	45
System wielowarstwowy ze szklaną wełną mineralną	41
Panel kompozytowy z wełną mineralną	31
Panel kompozytowy z pianką	25
Okładzina pojedyncza	24

3.5.5 Dalsze informacje

Dalsze wskazówki można znaleźć w przygotowanej przez stowarzyszenie MCRMA dokumentacji technicznej nr 8 *Acoustic design guide for metal roof and wall cladding*^[8], a także w publikacji ECCS-TC7 nr 41 *Good practice in steel cladding and roofing*^[6].

3.6 Właściwości pożarowe

Na ogół obawy dotyczące reakcji okładzin na pożar nie są tak poważne. Znacznie większy jest niepokój związany z występowaniem dymów i gazów powstających na skutek spalania elementów składowych budynku, a nie jego przegród zewnętrznych.

Uważa się, że okładziny zawierające jeden arkusz blachy znacząco przyczyniają się do rozprzestrzeniania każdego pożaru. Zwykle zakłada się, że okładziny złożone z jednego arkusza blachy w ogóle nie przyczyniają się do zwiększenia ognioodporności, choć w praktyce zapewniają konstrukcji pewien stopień szczelności ogniowej i ognioodporności. Na ogół poszycie pojedyncze nie jest stosowane do wykonywania przegród wszędzie tam, gdzie ważne jest zabezpieczenie przed rozprzestrzenianiem się pożaru na sąsiednie konstrukcje.

Uważa się, że systemy wielowarstwowe z wełną mineralną lub szklaną nie przyczyniają się znacząco do rozprzestrzeniania jakichkolwiek pożarów. Istnieje możliwość takiego opracowania specyfikacji systemów wielowarstwowych, aby spełniały również wymagania stawiane przegrodom zewnętrznym. Do tej samej kategorii należą panele kompozytowe, w których stosowana jest wełna mineralna.

W izolowanych fabrycznie panelach kompozytowych stosuje się poliuretan (PUR) lub poliizocyanurat (PIR). Na ogół uważa się, że w porównaniu z panelami PUR panele PIR mają lepsze właściwości pożarowe. Rdzeń izolacyjny w obu typach paneli z trudem ulega zapłonowi. Panele z odpowiednimi połączeniami, niezależnie od tego, czy są wykonane z wypełnieniem PUR czy PIR, nie stwarzają nadmiernego ryzyka pożarowego, a wypełnienie PUR jest standardowym rdzeniem w wielu krajach europejskich.

Panele z wypełnieniem polistyrenowym stanowią zagrożenie pożarowe i są wykorzystywane coraz rzadziej.

3.7 Trwałość

Wszystkie systemy okładzinowe na skutek działania wilgoci, zanieczyszczeń atmosferycznych i promieniowania UV z biegiem czasu ulegają w pewnym stopniu degradacji. Projektant sporządzający specyfikację okładzin ma jednak znaczny wpływ na ich długookresowe właściwości przez staranny dobór materiałów oraz odpowiednie ustalanie szczegółów. Po oddaniu do użytku regularna konserwacja przedłuża żywotność przegród zewnętrznych budynku.

Arkusze blachy metalowej, z których wytwarzane jest poszycie zewnętrzne chroniące przed wpływami atmosferycznymi, są dostępne w wykonaniach obejmujących różne powłoki w szerokim zakresie barw i rodzajów wykończenia. Wskazówki dotyczące przewidywanej żywotności tych powłok są dostępne w przygotowanej przez stowarzyszenie MCRMA dokumentacji technicznej nr 6 *Profiled metal roofing design guide*^[4], a także w publikacji ECCS-TC7 nr 41 *Good practice in steel cladding and roofing*^[6]. Warto zauważyć, że kolor powłoki zewnętrznej ma bardzo znaczący wpływ na jej projektowaną żywotność. Jasne kolory odbijają promieniowanie cieplne znacznie skuteczniej niż barwy ciemne, dzięki czemu temperatury powierzchni okładzin są niższe i można oczekiwać ograniczenia stopnia degradacji takiej powłoki.

Określając szczegóły dotyczące przegród zewnętrznych budynku, należy uważnie dobierać odpowiednie spadki i zakłady poprzeczne, aby uniknąć gromadzenia się wody i brudu na okładzinach. Należy starannie zaprojektować warstwę zewnętrzną w celu zabezpieczenia budynku przed wnikaniem wody, a także warstwę wewnętrzną, aby zapobiec przedostawaniu się pary wodnej z budynku do wnętrza okładziny (co mogłoby spowodować kondensację międzywarstwową).

W celu zagwarantowania, że przegrody zewnętrzne budynku pozostaną w pełni funkcjonalne przez całą projektowaną żywotność, ważna jest ich regularna konserwacja obejmująca przeglądy, usuwanie odpadów, czyszczenie i naprawę uszkodzeń. Ponieważ czynności konserwacyjne zwykle wiążą się z dostępem pracowników często wyposażonych w niezbędny sprzęt, istotne jest uwzględnienie tych wymagań w projekcie przegród zewnętrznych budynku oraz konstrukcji nośnej. Zapotrzebowanie na zabiegi konserwacyjne można znacznie ograniczyć, wybierając na poszycie zewnętrzne powłoki z gwarancją eksploatacji bezobsługowej przez cały okres oczekiwanej żywotności projektowej okładzin (zwykle od 20 do 30 lat). Zastosowanie takich powłok może przynieść klientowi znaczne korzyści pod względem kosztów w całym okresie eksploatacji oraz zwiększonego stopnia bezpieczeństwa.

3.8 Zachowanie konstrukcji

Systemy okładzin metalowych muszą przenosić obciążenia przyłożone z zewnątrz, takie jak napór śniegu lub wiatru. Działanie to nie może powodować nadmiernych ugięć i nie może odbywać się kosztem innych wymagań w zakresie charakterystyk tych okładzin. Poszczególne obciążenia (oddziaływania) charakterystyczne powinny zostać ustalone na podstawie odpowiedniej części normy EN 1991^[9] z uwzględnieniem geometrii i lokalizacji budynku w stosownych przypadkach. Aby uzyskać przypadki obciążeń na potrzeby obliczeń, należy zsumować poszczególne oddziaływania, uwzględniając odpowiednie współczynniki bezpieczeństwa ustalone w oparciu o normę EN 1990^[10].

3.8.1 Oddziaływania

Oddziaływania stałe

W przypadku większości technologii okładzin metalowych stosowanych w budynkach przemysłowych i komercyjnych jedynym oddziaływaniem stałym, na jakie musi być obliczona okładzina dachowa, jest jej ciężar własny (z uwzględnieniem ciężaru izolacji). Typowe ciężary paneli izolowanych i systemów okładzin wielowarstwowych podano w tabeli 3.4. Aby uzyskać informacje na temat określonych produktów okładzinowych, projektanci powinni zapoznać się z dokumentacją techniczną dostępną u producentów i dostawców. W przypadku okładzin ściennych uwzględnianie oddziaływań stałych nie jest zwykle konieczne, ponieważ obciążenie od masy własnej działa w płaszczyźnie okładzin. Jednak gdy do zewnętrznego płaszcza panelu izolowanego lub zespołu okładzin zamocowany jest system rainscreen, wówczas przy sporządzaniu specyfikacji elementów złącznych należy uwzględnić wpływ ciężaru takiego systemu.

Tabela 3.4 Ciężary typowych systemów okładzinowych

System	Izolacja	Wysokość*	Grubość arkusza		Ciężar kN/m ²
			Wewnętrznego	Zewnętrznego	
Wielowarstwowy	Wełna mineralna	180 mm	0,4 mm	0,7 mm	0,16
Wielowarstwowy	Wełna mineralna	180 mm	0,7 mm	0,7 mm	0,20
Panele izolowane	PIR	80 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,12

* Wysokości wybrane w tabeli 3.1 odpowiadają wartości współczynnika U wynoszącej 0,25 W/m²K typowych systemów okładzinowych wykorzystujących podaną izolację.

Oddziaływania zmienne

Oprócz uwzględniania ciężaru własnego okładziny dachowe muszą być również obliczone na następujące oddziaływania zmienne, określone w odpowiedniej części normy EN 1991:

- Dostęp na potrzeby czyszczenia i konserwacji
- Równomiernie rozłożone obciążenie od śniegu zalegającego na całej połaci dachu. Wielkość tego obciążenia zależy od lokalizacji budynku
- Asymetryczne obciążenie od śniegu spowodowane gromadzeniem się mas śnieżnych
- Napór i ssanie wiatru

Specyfikację „zielonych dachów” należy przygotowywać ze szczególną uwagą, ponieważ są one zazwyczaj znacznie cięższe od tradycyjnych dachów metalowych, a w przypadku ogrodów dachowych należy uwzględnić obecność osób i mebli ogrodowych.

Okładziny ścienne muszą być obliczone na napór wiatru zgodnie z normą EN 1991-1-4^[9]. Należy uwzględnić zarówno nadciśnienie, jak i ssanie wiatru, a szczególną uwagę należy zwrócić na obszary położone blisko narożników budynku, gdzie siła ssania wiatru jest większa. Przypadek obliczeniowy uwzględniający ssanie wiatru jest często regulowany ze względu na nośność elementów złącznych mocujących panele lub arkusze okładzinowe do konstrukcji nośnej.

3.8.2 Ugięcia

Okładziny muszą przenosić wymagane obciążenia obliczeniowe bez nadmiernego ugięcia, aby możliwe było spełnienie pozostałych wymagań w zakresie ich właściwości, takich jak odporność na warunki atmosferyczne, szczelność powietrzna oraz trwałość. Przewidywane ugięcia są zwykle obliczane wyłącznie ze względu na podstawowe oddziaływania zmienne. Obciążenia na etapie montażu zwykle nie są uwzględniane w rozważanych przypadkach obciążeń wynikających z przydatności użytkowej i zazwyczaj nie są rozpatrywane podczas sporządzania specyfikacji systemów okładzinowych. Na miejscu budowy należy jednak zwrócić uwagę, aby unikać nadmiernych ugięć lokalnych, szczególnie powodowanych przez obciążenia skupione pochodzące np. od osób przebywających na połaciach dachowych lub umieszczanych tam materiałów budowlanych, ponieważ może to spowodować trwałe uszkodzenia okładzin. Typowe wartości graniczne ugięć wywoływanych w okładzinach zależą od uwzględnionych warunków obciążania (tylko obciążenie użytkowe lub obciążenie trwałe i użytkowe), lokalizacji (ściana lub dach) elementu konstrukcyjnego oraz ewentualnej obecności materiałów łamliwych. Wartości graniczne ugięć mogą być określone w przepisach krajowych. Powszechnie przyjęte wartości graniczne ugięć są następujące:

- rozpiętość/150 w przypadku okładzin ściennych rozpiętych na drugorzędnej konstrukcji stalowej,
- rozpiętość/200 w przypadku dachowych elementów okładzinowych rozpiętych pomiędzy płatwiami,
- rozpiętość/180 w przypadku płatwi i szyn bocznych.

3.8.3 Korzystanie z tabel dopuszczalnych obciążeń

Producenci profilowanych poszyc metalowych oraz paneli izolowanych zapewniają tabele dopuszczalnych obciążeń wytwarzanych produktów, które mogą być stosowane w celu doboru odpowiedniego profilu lub, jeżeli profil został już wybrany, w celu określenia maksymalnego dopuszczalnego rozstawu płatwi. Należy zauważyć, że w tabelach obciążeń często przyjmowane jest założenie równomiernego rozłożenia obciążenia i określone są tam zazwyczaj dopuszczalne obciążenia robocze. W razie wątpliwości projektanci sporządzający specyfikację techniczną powinni zasięgnąć porady u producentów okładzin.

4 DRUGORZĘDNA KONSTRUKCJA STAŁOWA Z ELEMENTÓW WALCOWANYCH NA ZIMNO

W przypadku przemysłowych budynków z ramą portalową i dachem o niewielkim spadku (od 5 do 10 stopni) panele okładzinowe lub elementy poszycia są zwykle podtrzymywane przez system lekkich płatwi stalowych i szyn bocznych rozpiętych odpowiednio pomiędzy ryglami i słupami. Na rysunku 4.1 przedstawiono drugorzędną konstrukcję stalową dachu, gdzie płatwie rozpięte są pomiędzy ryglami ramy głównej. Podstawową funkcją tych elementów drugorzędnych jest przeniesienie obciążenia z okładzin na główną ramę stalową, włączając w to ciężar własny, obciążenia pochodzące od wiatru i w przypadku dachów także obciążenia użytkowe wywołane przez śnieg oraz osoby prowadzące prace konserwacyjne. Płatwie i szyny boczne mogą również pełnić funkcję elementów utwierdzających rygle oraz słupy, a także przenosić obciążenia poziome na układ stężeń.



Rysunek 4.1 Płatwie rozpięte między ryglami dachu

Niniejszy rozdział zawiera wskazówki na temat kilku kluczowych problemów związanych z zastosowaniem walcowanych na zimno płatwi i szyn systemów okładzinowych.

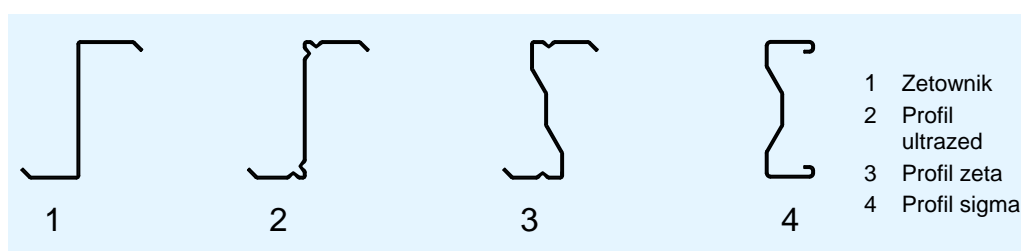
4.1 Opcje płatwi i szyn bocznych

Płatwie i szyny boczne są na ogół wykonywane w postaci profilowanych na zimno, cienkich, ocynkowanych elementów stalowych dostarczanych jako część opatentowanego systemu nośnego okładzin wraz z elementami złącznymi, mocującymi oraz innymi elementami towarzyszącymi.

4.1.1 Opcje przekrojów

Płatwie i szyny boczne są dostępne w dużej gamie kształtów oraz w szerokim zakresie rozmiarów. Wysokość przekroju zazwyczaj mieści się w przedziale od 120 mm do 340 mm, a grubość profilu — od 1,2 mm do 3,2 mm. Niektóre z bardziej rozpowszechnionych przekrojów pokazano na rysunku 4.2. Ze względu na duże wartości proporcji długość/grubość płatwie oraz szyny boczne są zazwyczaj klasyfikowane jako przekroje klasy 4 zgodnie z definicją podaną w normie EN 1993-1-3^[11], dlatego własności przekroju muszą być określone na podstawie wartości efektywnych (ogólne własności zredukowane).

Dodatkowe informacje na temat tych przekrojów można znaleźć w dokumentacji technicznej dostarczonej przez producenta.



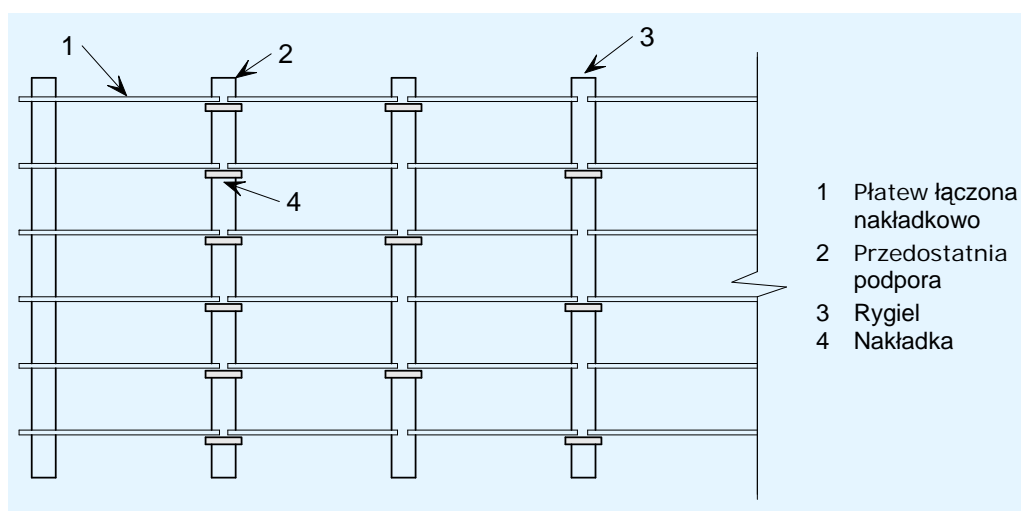
Rysunek 4.2 Powszechnie stosowane typy płatwi

4.1.2 Możliwe układy płatwi i szyn bocznych

Większość producentów publikuje informacje na temat typowych układów płatwi odpowiednich do różnych sytuacjach projektowych. Układy te są określane na podstawie takich aspektów jak maksymalna długość płatwi (na ogół nie większa niż 16 m ze względu na transport i dostęp na plac budowy) oraz możliwość zapewnienia półciągłości przez zastosowanie nakładek lub zakładek w celu uzyskania maksymalnej efektywności. Najczęściej stosowane układy przedstawiono na rysunkach — od 4.3 do 4.7. Aby uzyskać dodatkowe informacje na temat okoliczności i sposobu wykorzystania konkretnego układu, projektanci przygotowujący specyfikację techniczną powinni skontaktować się z producentami płatwi. W każdej sytuacji należy zasięgnąć porady u odpowiedniego producenta przed ostatecznym wyborem układu płatwi.

Rozpiętość pojedynczego przęsła — system łączenia nakładkowego

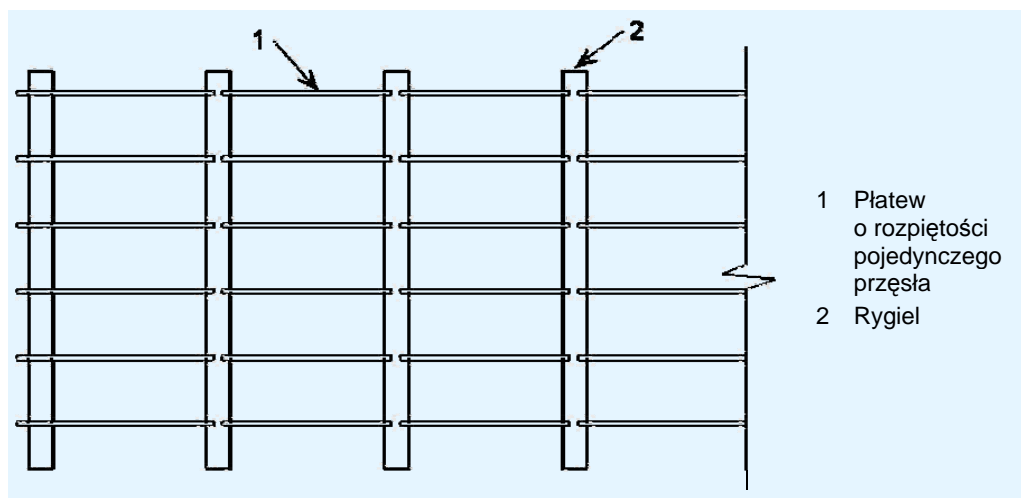
W systemach łączenia nakładkowego każda płatew ma długość pojedynczego przęsła, jednak w miejscu występowania co drugiej podpory stosuje się nakładki, aby każda płatew była w rzeczywistości ciągła na odcinku dwóch przęseł (rysunek 4.3). W przedostatnim punkcie podparcia nakładki stosuje się w przypadku każdej płatwi w celu zapewnienia półciągłości i dodatkowej wytrzymałości w końcowym przęsle. Taki system jest uważany za najbardziej efektywny w przypadku budynków z rozstawem przęseł od 5 m do 7 m. W razie potrzeby w przęsłach końcowych można zastosować kształtowniki o większym przekroju.



Rysunek 4.3 Rozpiętość pojedynczego przęsła — system łączenia nakładkowego

Rozpiętość pojedynczego przęsła — system łączenia czołowego

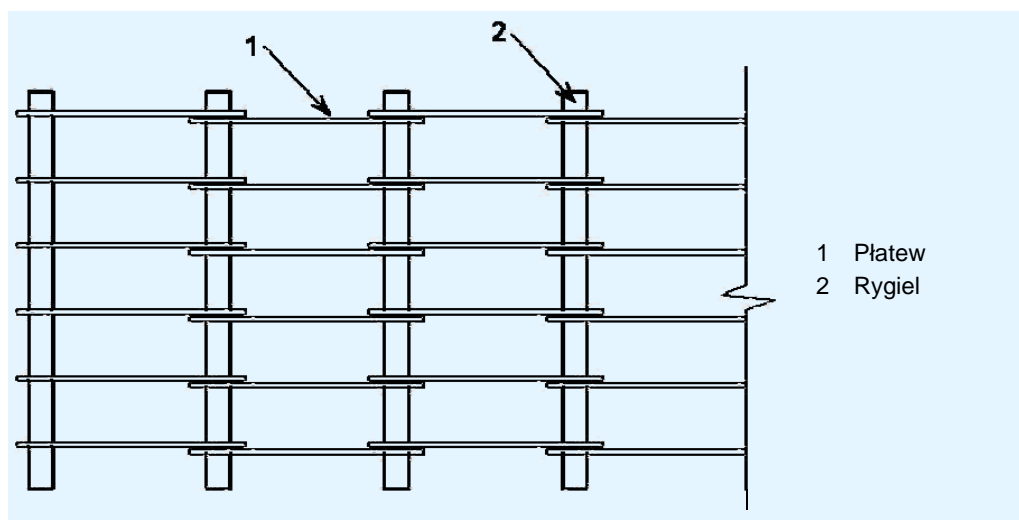
Systemy łączenia czołowego o rozpiętości pojedynczego przęsła mają mniejszą nośność niż pozostałe systemy, ale są łatwiejsze w montażu — nad ryglami bądź pomiędzy środkami rygli (rysunek 4.4). Taki układ można stosować w małych budynkach, gdzie odległości pomiędzy środkami ram są niewielkie, np. w obiektach rolniczych.



Rysunek 4.4 Rozpiętość pojedynczego przęsła — system łączenia czołowego

Rozpiętość pojedynczego przęsła — system łączenia zakładkowego

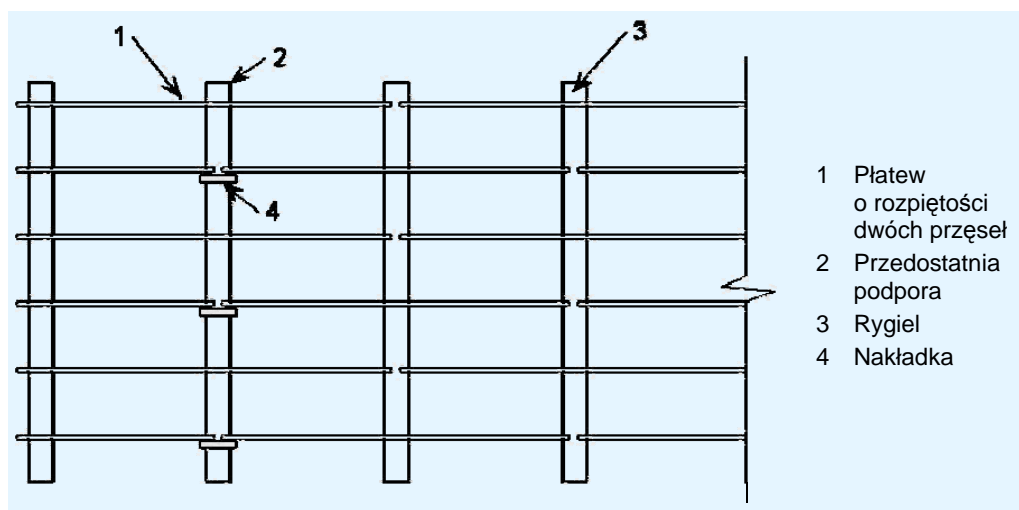
System zakładkowy zapewnia większą ciągłość i może być stosowany w przypadku dużych obciążeń i rozpiętości (rysunek 4.5). Jest to najodpowiedniejszy system w przypadku budynków o dużej liczbie przęseł.



Rysunek 4.5 Rozpiętość pojedynczego przęsła — system łączenia zakładkowego

Rozpiętość dwóch przęseł — system beznakładkowy

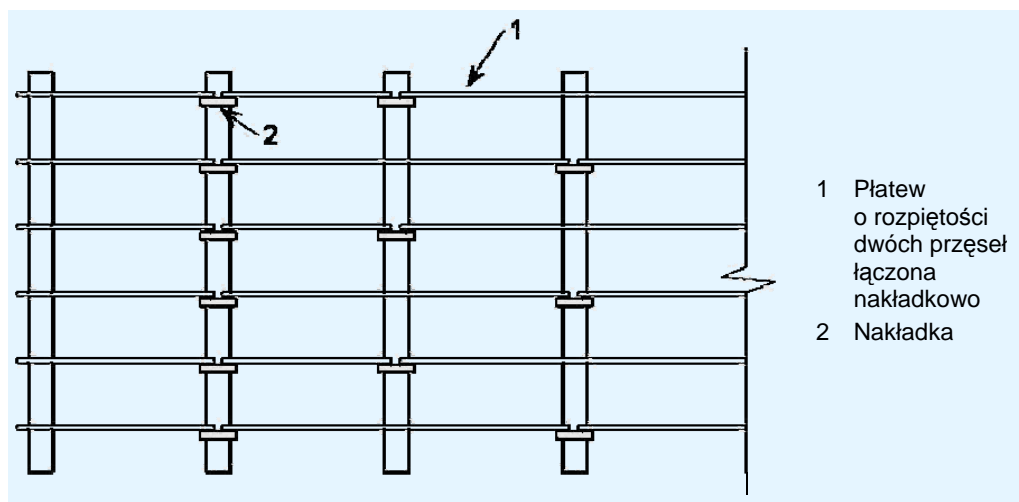
W tym systemie elementy o rozpiętości dwóch przęseł są umieszczone naprzemiennie (rysunek 4.6). W celu zapewnienia półciągłości na przedostatnich podporach stosowane są nakładki. Nośność systemu jest na ogół mniejsza niż równoważnego systemu łączenia nakładkowego, jednak w przypadku płatwi dwuprzęsłowych stosowana jest mniejsza liczba elementów i w konsekwencji montaż realizowany jest szybciej. Z uwagi na transport oraz montaż płatwi system ten jest ograniczony do przęseł o szerokości mniejszej niż 8 m.



Rysunek 4.6 Rozpiętość dwóch przęseł — system beznakładkowy

Rozpiętość dwóch przęseł — system łączenia nakładkowego

W tego typu systemach łączenia nakładkowego elementy o rozpiętości dwóch przęseł są umieszczane naprzemiennie, a nakładki montuje się na co drugiej podporze (rysunek 4.7). Na przedostatniej podporze za pomocą nakładki łączona jest każda płatew, aby zapewnić półciągłość konstrukcji. System łączenia nakładkowego o rozpiętości dwóch przęseł ma nieco większą nośność niż równoważny system beznakładkowy, a dodatkowo zapewnia półciągłość w każdym miejscu łączenia nakładkowego. Z uwagi na transport oraz montaż system ten jest ograniczony do przęseł o szerokości mniejszej niż 8 m. W razie potrzeby w przęsłach końcowych można zastosować płatwie o większym przekroju.



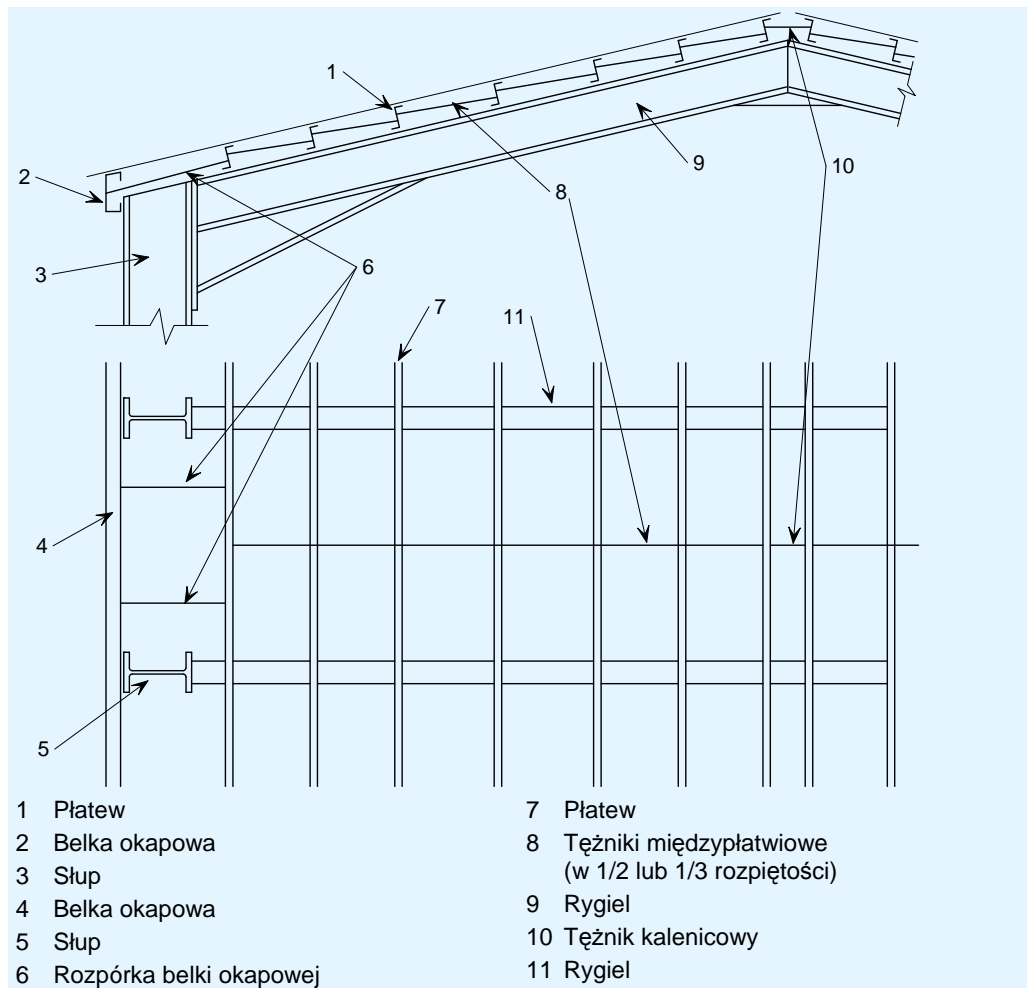
Rysunek 4.7 Rozpiętość dwóch przęseł — system łączenia nakładkowego

4.1.3 Zastosowanie tężników międzypłatwowych

Tężniki międzypłatwiowe to niewielkie pręty lub kątowniki przykręcane bądź mocowane zaciskowo między płatwiami. Typowy układ tężników przedstawiono na rysunku 4.8. Dostępne są również inne systemy. Stosując tężniki międzypłatwiowe, zwykle umieszcza się je w połowie rozpiętości lub w punktach co jedna trzecia długości płatwi. Pełnią one następujące funkcje:

- zapewniają utwierdzenie płatwi w celu uniknięcia zwirzenia w warunkach unoszenia przez wiatr,
- zapewniają utwierdzenie płatwi na etapie montażu (przed instalacją okładzin),
- zapewniają dodatkowe podparcie dla składowych nachylonych przyłożonych obciążeń,
- pomagają w utrzymaniu prawidłowego ułożenia płatwi.

Tężniki międzypłatwiowe są podczas wypełniania tych funkcji wspomagane przez rozpórki belki okapowej oraz tężniki kalenicowe, które również przedstawiono na rysunku 4.8.



Rysunek 4.8 Typowy układ tężników międzypłatwiowych i rozpórek belki okapowej

Konieczność stosowania tężników międzypłatwiowych zależy od kilku czynników, włączając w to przekrój wybranych płatwi, ich rozstaw i rozpiętość, a także wielkość przyłożonych obciążeń. Porady w tej kwestii można znaleźć w dokumentacji technicznej producentów płatwi. W niektórych przypadkach projektant sporządzający specyfikację może dokonać wyboru pomiędzy zastosowaniem tężników międzypłatwiowych a użyciem płatwi o większym przekroju, która nie będzie wymagała utwierdzenia pośredniego ani podparcia. Jest to wyraźny kompromis pomiędzy kosztem płatwi o większym przekroju a czasem (i odpowiadającym mu kosztem) związanym z montażem dodatkowych elementów.

Tężniki międzypłatwiowe zapewniają jedynie utwierdzenie w pojedynczych miejscach wzdłuż rozpiętości płatwi. Płatwie mogą być rozpatrywane jako „w pełni” utwierdzone pod obciążeniem grawitacyjnym w stanie ukończonym dopiero wówczas, gdy pas ściskany belki płatwiowej zostanie utwierdzony w sposób ciągły za pomocą okładzin.

4.1.4 Zastosowanie podpór okładzin ściennych w postaci szyn bocznych

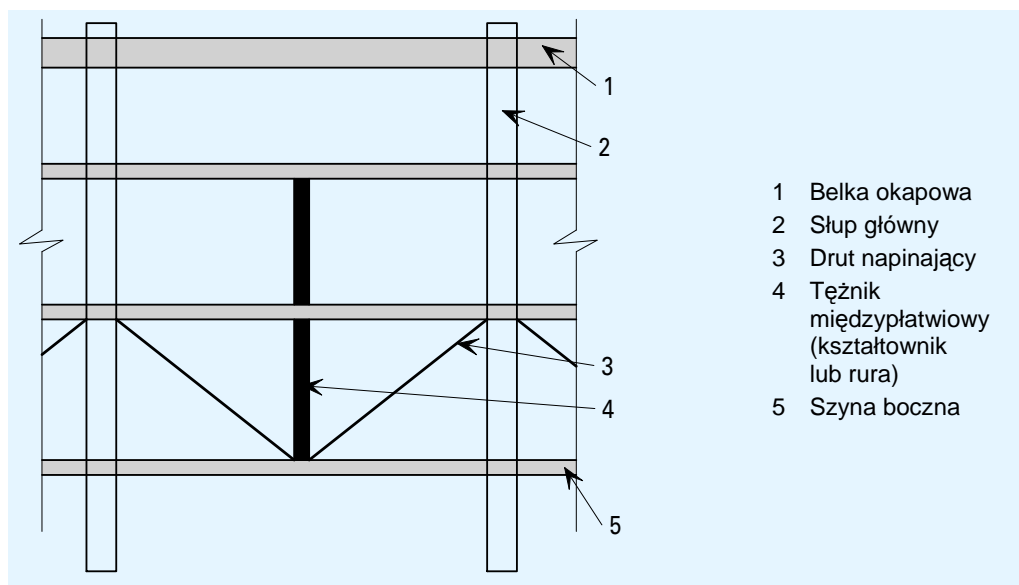
Okładziny ścienne oparte są na konstrukcji szkieletowej składającej się z poziomych szyn bocznych rozpiętych pomiędzy słupami głównej konstrukcji stalowej budynku. Utwierdzenia pionowe są połączone z szynami bocznymi w pojedynczych miejscach (podobnie do tężników międzypłatwiowych w przypadku dachów). Utwierdzenia te zabezpieczają układ przed wystąpieniem zwichrzenia (ze względu na zginanie szyn bocznych pod wpływem siły ssącej wiatru), a także zapobiegają uginaniu się szyn bocznych pod ciężarem okładzin i ich stalowej konstrukcji nośnej. Utwierdzenia pionowe to zazwyczaj cienkie profile stalowe (rury, kątowniki lub ceowniki) bądź stalowe pręty/drażki.

Aby skutecznie przenieść siły powstające w podporach szyn bocznych na konstrukcję główną (słupy) i zabezpieczyć szyny boczne przed uginaniem zanim zamontowana zostanie okładzina, w przeszłości, pomiędzy dwiema najniższymi umieszczonymi szynami stosuje się zwyczajowo układ stężeń pionowych, jak pokazano na rysunku 4.10. Te elementy stężące pracują na rozciąganie, a więc powszechnie stosuje się raczej druty stalowe niż gięte na zimno, cienkie profile stalowe. Przyjętym sposobem postępowania w celu ograniczenia sił występujących w drutach wiązałkowych jest zmniejszenie kąta pomiędzy drutem wiązałkowym a szyną systemu okładzinowego do 25° lub 30° (patrz zalecenia producenta). Przy takim ograniczeniu nałożonym na ukośne druty wiązałkowe liczba podpór szyn bocznych jest z góry określona i zależy od odległości między szynami bocznymi oraz rozstawu słupów.

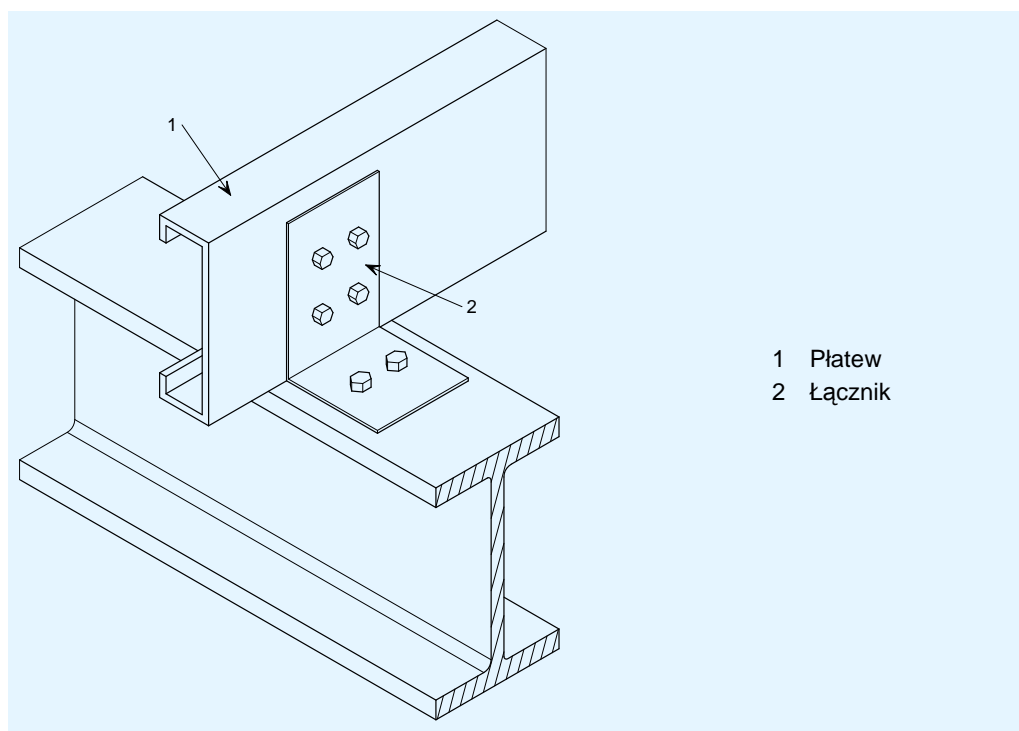
Gdy rozstaw słupów jest mniejszy od 6 m, a szyny boczne rozmieszczone są typowo w odległościach 1,8 m, zazwyczaj wystarczy zastosować pojedyncze utwierdzenie pionowe pośrodku nawy (patrz rysunek 4.10). Jednak w przypadku większego rozstawu słupów mogą być wymagane dwa bądź nawet trzy utwierdzenia pionowe. Często skrajna górna szyna boczna jest połączona z belką okapową. Taki układ pozwala zredukować siły w drutach wiązałkowych, jednak przy doborze wymiarów belki okapowej należy uwzględnić dodatkową siłę występującą w tym elemencie. Warto również zauważyć, że po zainstalowaniu okładzina usztywni podziemną część konstrukcji ścian i na zasadzie oddziaływania membranowego przekaże znaczną część obciążenia pionowego do słupów. Dodatkowo okładzina w pełni utwierdzi szyny boczne w celu uniknięcia zwichrzenia w przypadku ich ugięcia i zapewni częściowe utwierdzenie na wypadek przegięcia.

4.1.5 Łączniki

Płatwie są mocowane do rygli za pomocą łączników, które są zazwyczaj spawane do rygli w hali fabrycznej przed dostawą na miejsce budowy. Jednak ze względów na oszczędności podczas transportu (rygle mogą być układane w sposób bardziej zwarty) i możliwość skorygowania wyrównania płatwi na placu budowy (co jest korzystne na etapie instalowania okładziny) popularne staje się użycie łączników śrubowych (patrz rysunek 4.9). Łączniki są często dostarczane przez producentów płatwi. Wówczas można przypuszczać, że zostały one opracowane specjalnie do tego konkretnego projektu płatwi. Niemniej w wielu przypadkach możliwe jest również zastosowanie zwykłych łączników śrubowych wykonanych z kątownika lub płaskich blach przyspawanych do rygli — usztywnionych bądź nieusztywnionych.



Rysunek 4.9 Łącznik podtrzymujący płatów przy pomocy połączenia śrubowego



Rysunek 4.10 Podparcie okładzin ściennych przy pomocy szyny bocznej

4.2 Obciążenie

Zarówno płatwie, jak i szyny systemów okładzinowych muszą być zaprojektowane w taki sposób, aby przenieść wszystkie obciążenia przekazywane przez okładziny na ramę konstrukcji. Obciążenia te będą obejmowały oddziaływania stałe wynikające z ciężaru okładzin i drugorzędnej konstrukcji stalowej wraz z oddziaływaniami zmiennymi opisanymi w punkcie 3.7.1. Zazwyczaj można przyjąć, że te oddziaływania obciążają płatwie w sposób równomierny, należy jednak uwzględnić działające lokalnie duże siły, takie jak siły ssania wiatru

w pobliżu krawędzi budynku. Możliwe, że oprócz przenoszenia obciążeń pochodzących od okładzin, zadaniem płatwi będzie również podtrzymywanie masy instalacji technicznych lub sufitów podwieszanych. Inżynier budownictwa odpowiedzialny za sporządzenie specyfikacji płatwi często nie uczestniczy lub uczestniczy w niewielkim stopniu w opracowywaniu specyfikacji instalacji technicznych lub sufitów. Niemniej ważne jest uzyskanie prawidłowego oszacowania tych obciążeń wraz z określeniem ich charakteru (obciążenia skupione czy rozłożone), ponieważ mogą mieć one znaczny udział w całkowitym obciążeniu grawitacyjnym płatwi. Szczególnie dokładnie należy rozważyć miejsca, w których płatwie mają przenosić obciążenia skupione. Wyjątkowej uwagi wymagają rynny oraz ich konstrukcje nośne, ponieważ związane z nimi obciążenia są często bardzo duże. Projektanci muszą uwzględnić masę samych rynien, a także ich zawartości (wody lub śniegu). Aby uzyskać szczegółowe informacje na temat wybranego systemu rynnowego, należy zwrócić się do odpowiedniego producenta.

Istnieje prawdopodobieństwo, że również na etapie montażu płatwie będą musiały przenosić znaczne obciążenia grawitacyjne, jednak bez korzystnego, utwierdzającego działania okładzin. Wielkość obciążeń działających na konstrukcję w dużym stopniu będzie zależęć od procedury instalacji okładzin, a także zastosowanych materiałów, urządzeń i wykonawstwa. Znaczący wpływ na nośność płatwi przy wyboczeniu może mieć w szczególności kolejność instalacji elementów okładzinowych ze względu na wpływ, jaki wywiera na nieutwierdzony odcinek płatwi i lokalizację obciążeń w obrębie rozpiętości. Dlatego istotne jest, aby podczas sporządzania specyfikacji płatwi projektant wziął pod uwagę proponowaną metodę pracy. Najlepiej, aby zostało to osiągnięte na drodze dialogu pomiędzy wykonawcą dachu a projektantem jeszcze na etapie przygotowywania specyfikacji płatwi.

4.3 Ugięcia

Wartości graniczne ugięć w przypadku płatwi i szyn bocznych zależą na ogół od wyboru systemów okładzin dachowych i ściennych, ponieważ czynnikiem rozstrzygającym jest zdolność okładzin do ugięcia przy jednoczesnym zachowaniu odporności na warunki atmosferyczne, szczelności powietrznej, niełamliwości i spełnieniu pozostałych wymogów w zakresie ich charakterystyki. Ogólnie im większa jest elastyczność okładzin, tym większe jest maksymalne dopuszczalne ugięcie płatwi lub szyny bocznej. Ze względu na tę cechę systemy profilowanych okładzin metalowych mają dużo większą tolerancję na ugięcia w porównaniu z materiałami łamliwymi, takimi jak elementy murowane. Z kolei okna są często elementami krytycznymi. Dalsze wskazówki w tym względzie można uzyskać u producentów oszklenia.

Nadmierne ugięcie płatwi lub szyn bocznych pod ciężarem własnym bądź na skutek działania obciążeń konstrukcyjnych przed zamocowaniem okładzin może prowadzić do powstania trudności podczas ich instalacji. Problem ten należy rozwiązać przez staranne rozważenie potencjalnych obciążeń konstrukcji i ustalenie takiej metody montażu okładzin, która pozwala uniknąć przeciążania nieutwierdzonych płatwi. Szczególnie wrażliwe na ugięcia są rynny ze względu na konieczność unikania odwrotnych spadków.

4.4 Dobór płatwi i szyn bocznych

Główni dostawcy płatwi oraz szyn bocznych przez wiele lat inwestowali ogromne sumy w rozwój i testowanie własnych systemów. Każdy z nich publikuje wskazówki projektowe oraz tabele obciążeń/rozpiętości swoich produktów. W wielu przypadkach dostępne jest również oprogramowanie projektowe. Dzięki takim narzędziom projektowym inżynierowie budownictwa nie muszą wykonywać złożonych obliczeń w zakresie lekkich elementów stalowych, a mogą jedynie dobrać odpowiedni przekrój z dostępnego zakresu. Jednak projektanci sporządzający specyfikację techniczną powinni zwrócić uwagę, że posługując się tabelami obciążeń/rozpiętości, w sposób automatyczny akceptują założenia przyjęte przez producentów płatwi i szyn bocznych, włączając w to założenia dotyczące stopnia utwierdzenia, jaki okładziny zapewniają stalowej konstrukcji nośnej. W razie wątpliwości projektanci przygotowujący specyfikację drugorzędnej konstrukcji stalowej powinni zasięgnąć porady u producentów, aby upewnić się, że wybrany przekrój jest odpowiedni do danego zastosowania, biorąc pod uwagę proponowany typ okładzin i wszelkie inne okoliczności, które mogą unieważnić założenia producentów, np. ze względu na duże obciążenia punktowe.

4.5 Utwierdzenia rygli i słupów

Sprawność konstrukcji każdego budynku z ramą stalową zależy nie tylko od doboru lekkich i efektywnych przekrojów, ale również od interakcji pomiędzy elementami ramy, drugorzędną konstrukcją stalową i systemem okładzinowym. Z tego powodu częstą praktyką jest wykorzystanie drugorzędnej konstrukcji stalowej (płatwi i szyn bocznych) do utwierdzenia głównej konstrukcji stalowej.

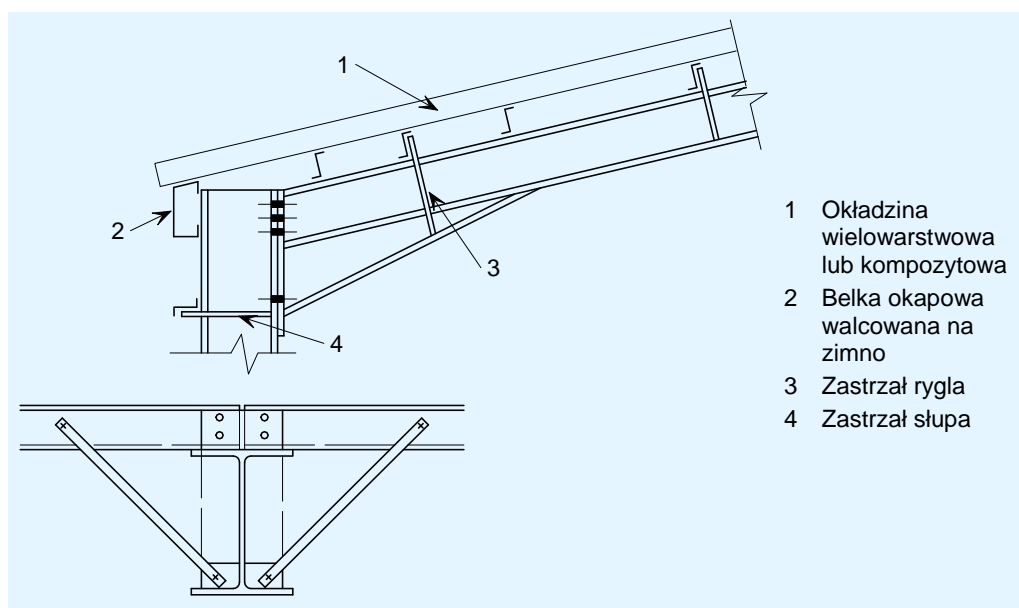
Na ogół przyjmuje się, że płatwie oraz szyny nie muszą być sprawdzane pod kątem sił powstających w wiązarach dachowych czy ramach portalowych na skutek działania utwierdzeń bocznych rygli, jeżeli spełnione będą następujące warunki:

- płatwie są odpowiednio utwierdzone przez poszycie z blachy profilowanej;
- w płaszczyźnie rygli znajdują się stężenia o odpowiedniej sztywności, ewentualnie poszycie dachu może działać jako membrana konstrukcji skorupowej;
- rygle przenoszą większą część obciążeń dachu.

W niektórych krajach europejskich założenie, że elementy drugorzędne mogą stanowić utwierdzenie ramy głównej jest dopuszczalne, jeżeli element drugorzędny zapewniający utwierdzenie jest połączony z punktem węzłowym układu stężeń. W innych krajach w celu złączenia tego wymogu zakłada się, że system dachowy zapewnia odpowiednio sztywną membranę. W takim przypadku stężenia dachowe są nadal konieczne, jednak nie muszą przecinać się z każdym elementem drugorzędnym zapewniającym utwierdzenie. Jeżeli nie ma możliwości zastosowania zastrzałów (jak pokazano na rysunku 4.11) w celu utwierdzenia skrótnego płatwi lub szyny bocznej, wówczas aby spełnić ten wymóg, można użyć elementu walcowanego na gorąco.

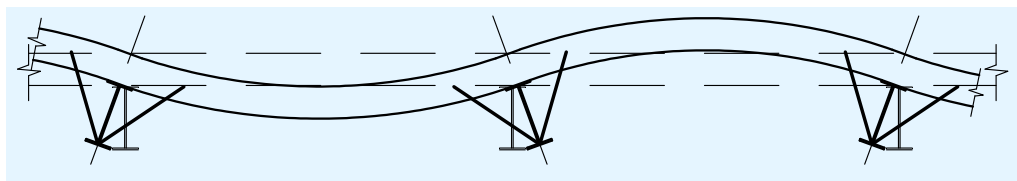
W warunkach idealnych ściskany pas rygla lub słupa powinien być utwierdzony bocznie przez bezpośrednie zamocowanie płatwi lub szyn systemu okładzinowego. Jednak pod działaniem siły podnoszącej wiatru lub w pobliżu wzmocnień węzłów (skosów) ramy portalowej pod obciążeniem grawitacyjnym, wewnętrzny pas elementu (tj. ten, do którego nie są mocowane okładziny) będzie poddawany ścisnieniu i nie może być utwierdzony bezpośrednio za pomocą płatwi lub szyn systemu okładzinowego. W tej sytuacji projektant ramy może albo wprowadzić dodatkowy element stalowy walcowany na gorąco (często konstrukcyjny kształtownik zamknięty), aby utwierdzić bocznie pas ściskany, albo zastosować połączenie bocznego utwierdzenia pasa pracującego na rozciąganie (za pomocą płatwi lub szyn) i utwierdzenia pracującego na skręcanie w postaci zastrzałów rygli bądź słupów w celu skutecznego utrzymania pasa ściskanego w odpowiednim położeniu. Zalecenia dotyczące zabezpieczeń oraz konstrukcji utwierdzeń można znaleźć w normie EN 1993-1-1^[12] § 6.3.5.2 i Załącznik BB.3.

Aby zapewnić utwierdzenie skrętne rygla lub słupa, można zastosować odpowiednie zastrzały, jak pokazano na rysunku 4.11, pod warunkiem, że są one połączone z wystarczająco sztywną płatwią lub okładziną. W tym celu często wykorzystuje się taśmy stalowe walcowane na zimno (pracujące jako ściągi), niemniej jeżeli zastrzał musi pracować przy ścisnieniu (np. gdy można go zamocować tylko z jednej strony elementu), innym rozwiązaniem jest zastosowanie kątowników.



Rysunek 4.11 Szczegóły dotyczące zastrzałów słupa i rygla oraz ich połączeń

W celu zapewnienia wymaganego poziomu utwierdzenia skrętnego rygli lub słupów, płatwie bądź szyny systemu okładzinowego muszą odznaczać się odpowiednią sztywnością giętą. Jeśli warunek ten nie zostanie spełniony, istnieje ryzyko, że element utwierdzający będzie się zginać i umożliwi obrót elementów utwierdzonych, jak pokazano na rysunku 4.12. Z doświadczenia wynika, że zazwyczaj wystarczy zastosować płatwie lub szyny boczne o wysokości co najmniej 25% wysokości utwierdzanego elementu. W praktyce oznacz to, że płatwie oraz szyny boczne będą wystarczająco sztywne do zastosowania na ramach portalowych o rozpiętościach do 40 m i przy rozstawie ram od 6 do 8 m. Jednak w miarę zwiększania rozpiętości względem rozstawu ram (a rozmiar rygla zwiększa się zależnie od rozmiaru płatwi) sztywność płatwi może okazać się niewystarczająca do zapewnienia odpowiedniego utwierdzenia skrętnego i dlatego musi zostać sprawdzona.



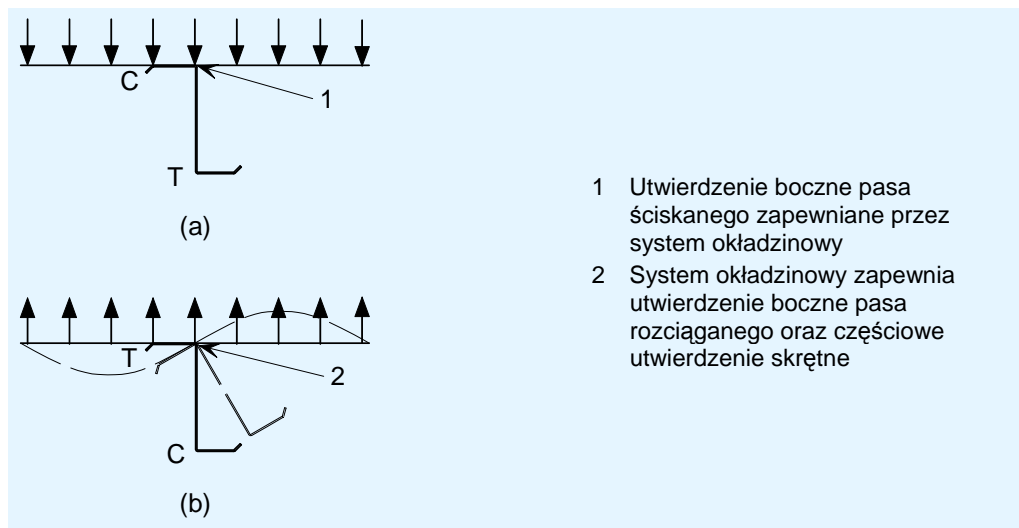
Rysunek 4.12 Znaczenie odpowiedniej sztywności płatwi

4.6 Utwierdzenie płatwi i szyn systemu okładzinowego

Profilowane na zimno płatwie stalowe i szyny systemu okładzinowego są niezwykle efektywne podczas przenoszenia obciążeń zginających, jednak bez odpowiedniego utwierdzenia są podatne na zwichrzenie. Ekonomiczna i bezpieczna konstrukcja okładzin, a także odpowiedni projekt stalowej konstrukcji nośnej zależą od wzajemnego oddziaływania poszczególnych elementów tworzących cały system.

Zazwyczaj płatwie i szyny systemu okładzinowego są dobierane w oparciu o dostarczone przez producentów tabele obciążeń/rozpiętości, które uzyskuje się na podstawie modeli analitycznych oraz danych testowych. Przygotowując dane projektowych, wszyscy producenci płatwi muszą ocenić stopień utwierdzenia zapewnianego przez system okładzin w warunkach obciążenia grawitacyjnego i przy obecności unoszącej siły wiatru. Są to kluczowe założenia modelu obliczeniowego i mogą mieć one znaczący wpływ na nośność obliczeniową płatwi lub szyny. Istotne jest więc, aby w praktyce uzyskać taki sam lub większy stopień utwierdzenia. Będzie to zależało od wyboru poszycia profilowanego i rozmieszczenia elementów łącznych.

W przypadku obciążenia grawitacyjnego (lub nadciśnienia na skutek działania wiatru w przypadku ścian) utwierdzony zostaje bezpośrednio górny pas płatwi (lub szyny bocznej) za pomocą wewnętrznego arkusza okładzinowego lub panelu izolowanego, jak pokazano na rysunku 4.13(a). Okładziny wielowarstwowe oraz panele izolowane na ogół mogą zapewnić odpowiednie utwierdzenie boczne dla przypadku obciążenia grawitacyjnego. Ogólnie perforowane arkusze okładzinowe nie są uważane za elementy utwierdzające, dlatego podpierające je płatwie powinny być projektowane jako elementy nieutwierdzone.



Rysunek 4.13 Utwierdzenie płatwi

W przypadku siły unoszącej wiatru (lub podciśnienia w przypadku ścian) system okładzinowy nie może zapewnić bezpośredniego utwierdzenia bocznego pasa ściskanego. Wówczas płatew (lub szyna systemu okładzinowego) jest utwierdzona przez połączenie utwierdzenia bocznego pasa rozciąganego i utwierdzenia skrętnego, jak pokazano na rysunku 4.13(b). Możliwość zapewnienia utwierdzenia przez system okładzinowy zależy nie tylko od jego sztywności postaciowej (włączając w to elementy złączne), ale również od jego sztywności giętej. W rozdziale 10 normy EN 1993-1-3 przedstawiono metodę oceny stopnia utwierdzenia zapewnianego w tym przypadku przez system okładzinowy. W przeciwieństwie do przypadku obciążenia grawitacyjnego system okładzinowy zapewnia jedynie częściowe utwierdzenie płatwi i szyn bocznych. W rezultacie w dokumentacji technicznej dostarczanej przez producentów płatwi powinna być zawsze podana mniejsza nośność płatwi poddanych działaniu siły unoszącej wiatru (lub siły ssania w przypadku szyn systemów okładzinowych).

W normie EN 1993-1-3^[11] projekt płatwi, kaset wzdłużnych oraz blach profilowanych omówiono w rozdziale 10.

5 DRUGORZĘDNA KONSTRUKCJA STALOWA Z ELEMENTÓW WALCOWANYCH NA GORĄCO

Rozwiązaniem alternatywnym do stali profilowanej na zimno jest zastosowanie płatwi i szyn systemu okładzinowego wykonanych ze stalowych kształtowników walcowanych na gorąco. Dawniej ten rodzaj płatwi był powszechnie stosowany w budynkach przemysłowym i często elementy te łączono ze stalowymi więzarami dachowymi. Rozwój płatwi profilowanych na zimno (które są znacznie lżejsze i tańsze) i tendencja do stosowania ram portalowych projektowanych w oparciu o metodę nośności granicznej, z czym wiążą się rygorystyczne wymagania w zakresie utwierdzenia, spowodowały coraz rzadsze wykorzystanie płatwi walcowanych na gorąco na terenie Zjednoczonego Królestwa i Irlandii. Jednak płatwie walcowane na gorąco są nadal stosowane na terenie Europy kontynentalnej, często w połączeniu z rozwiązaniami okładzin o dużych rozpiętościach, takich jak blachy i membrany lub panele kompozytowe. Są one szczególnie przydatne do zapewnienia podparcia pośredniego konstrukcyjnego pokrycia z blachy profilowanej, gdy nie ma możliwości rozpięcia takiego pokrycia pomiędzy ryglami bez zastosowania podpór.

Płatwie walcowane na gorąco odznaczają się większą zdolnością do przenoszenia obciążeń niż jakiegokolwiek płatwie profilowane na zimno, za wyjątkiem tych największych. Oznacza to, że są one stosowane przy dużo większych rozstawach aniżeli odpowiadające im elementy profilowane na zimno — zazwyczaj 3 m lub więcej. Szeroki rozstaw powoduje, że nie są one odpowiednie do zastosowania z ramami portalowymi projektowanymi w oparciu o metodę nośności granicznej, gdzie zwykle wymagane jest utwierdzenie rygli w odstępach około 1,8 m. Nadają się one jednak do sprężystych konstrukcji ramowych, a także do rozpiętości wychodzących poza zakres przewidziany dla standardowych płatwi profilowanych na zimno (powyżej 8 m). Istnieje oczywiście możliwość stosowania płatwi walcowanych na gorąco przy węższych nawach, niemniej w większości przypadków takie rozwiązanie byłoby nieekonomiczne.

Ważną zaletą płatwi walcowanych na gorąco w stosunku do odpowiadających im elementów profilowanymi na zimno jest nośność przy zwichrzeniu — zwłaszcza tam, gdzie stosowane są prostokątne kształtowniki zamknięte. Własność ta jest niezbędna, jeżeli okładzina nie może zapewnić odpowiedniego utwierdzenia w przypadku zwichrzenia. Natomiast płatwie profilowane na zimno mają ograniczoną rozpiętość (zazwyczaj od 6 m do 8 m) ze względu na utwierdzenie ciągłe, jakie zapewniają im okładziny. Podobnie, jeżeli przepisy krajowe zabraniają wykorzystania okładzin do utwierdzenia konstrukcji, wówczas płatwie walcowane na gorąco stanowią jedyną realną alternatywę dla długich płyt rozciągających się od rygla do rygla. Oczywiście poza kwadratowymi kształtownikami zamkniętymi płatwie walcowane na gorąco nie są odporne na zwichrzenie i dlatego muszą być projektowane z uwzględnieniem tego modelu zniszczenia.

W odróżnieniu do producentów płatwi profilowanych na zimno, wytwórcy belek walcowanych na gorąco zazwyczaj nie przygotowują tabel dopuszczalnych obciążeń. Dlatego nośność tych elementów musi obliczyć inżynier budowlany zgodnie z zaleceniami normy EN 1993-1-1^[12], biorąc pod uwagę nośność przekroju poprzecznego, zjawiska zwiczenia oraz ugięcia. Proces ten musi zostać powtórzony w odniesieniu do przypadków obciążeń grawitacyjnych i powodowanych siłą unoszenia wiatru. Jeżeli decydującym kryterium projektowym zwiczenie, nośność elementu może zostać zwiększona przez wprowadzenie utwierdzeń rurowych mocowanych w połowie rozpiętości lub w punktach rozmieszczonych co jedna trzecia długości płatwi. Takie rozwiązanie spowoduje jednak podwyższenie kosztów budowy przez konieczność wprowadzenia dodatkowej konstrukcji stalowej i przedłużenie czasu montażu.

Płatwie walcowane na gorąco mogą być projektowane jako belki jedno- lub dwuprzęsłowe. Ta druga opcja powoduje znaczne zwiększenie wytrzymałości płatwi na zginanie i powinna być stosowana, gdy decydującym kryterium jest ugięcie. Jednak silna reakcja w punkcie podparcia pośredniego ($1,25 \times$ obciążenie na jednym przęśle) może spowodować miażdżenie środkiem w tym miejscu. W przypadku płatwi walcowanych na gorąco na ogół nie stosuje się łączenia nakładkowego.

Dodatkową zaletą płatwi walcowanych na gorąco w porównaniu z cienkimi płatwiami profilowanymi na zimno jest ich większa ognioodporność. Wskazuje na to właściwy dla profilu gorącowalcowanego, znacznie wyższy współczynnik masywności przekroju (pole przekroju poprzecznego/obwód), który jest wykorzystywany jako miara przy definiowaniu ognioodporności kształtownika konstrukcyjnego.

LITERATURA

- 1 EN 14782:2006 Samonośne blachy metalowe do pokryć dachowych, okładzin wewnętrznych i zewnętrznych. Charakterystyka wyrobu i wymagania
- 2 MCRMA , dokumentacja techniczna nr 12: Fasteners for metal roof and wall cladding: Design, detailing and installation guide
The Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association, 2000
- 3 MCRMA, dokumentacja techniczna nr 3: Secret fix roofing design guide.
The Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association, 1999
- 4 MCRMA, dokumentacja techniczna nr 6: Profiled metal roofing design guide
The Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association, 2004
- 5 MCRMA, dokumentacja techniczna nr 16: Guidance for the effective sealing of end lap details in metal roofing constructions
The Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association, 2004
- 6 Publikacja ECCS nr 41, European recommendations for steel construction: Good practice in steel cladding and roofing
European Convention for Constructional Steelwork — Recommendations for steel construction Technical Committee TC7, 1983
- 7 Dyrektywa Europejska 2002/91/WE: Charakterystyka energetyczna budynków
Komisja Europejska, 2002
- 8 MCRMA, dokumentacja techniczna nr 8: Acoustic design guide for metal roof and wall cladding.
The Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association, 1994
- 9 EN 1991:2002: Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje
- 10 EN 1990: 2002: Eurokod Podstawy projektowania konstrukcji
- 11 EN 1993-1-3:2006: Eurokod 3 Projektowanie konstrukcji stalowych. Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno
- 12 EN 1993-1-1:2005: Eurokod 3 Projektowanie konstrukcji stalowych. Reguły ogólne i reguły dla budynków