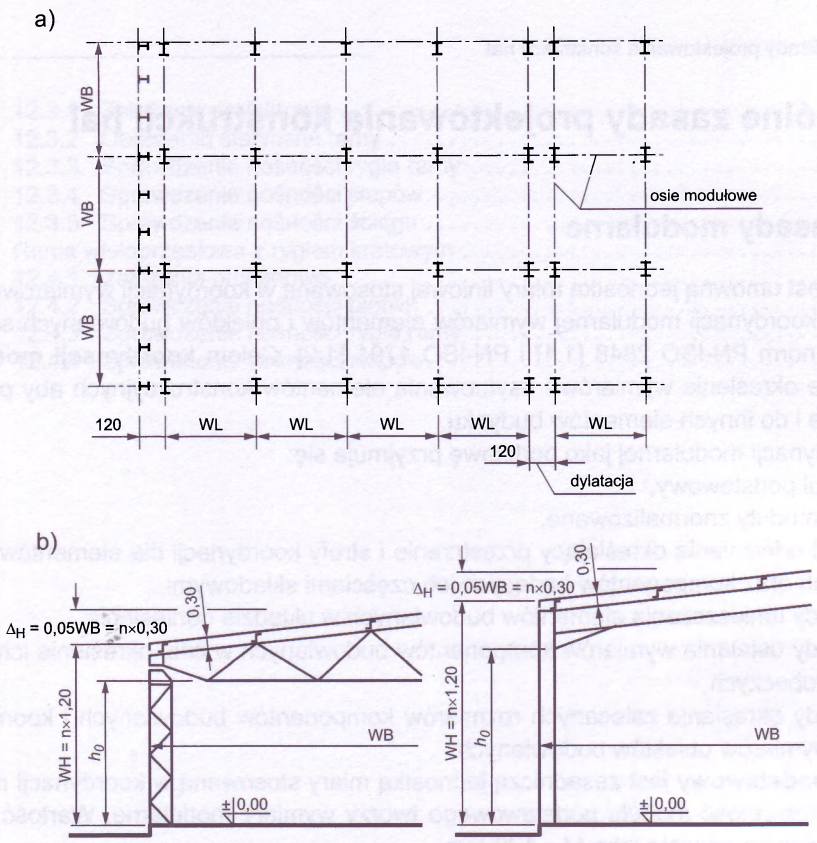
1 Ogólne zasady projektowania konstrukcji hal

1.1 Zasady modularne

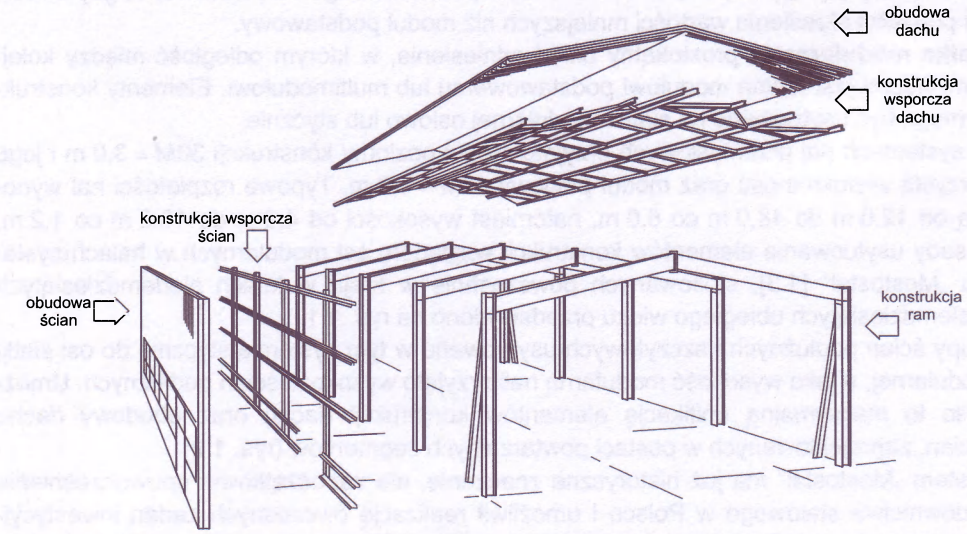
Moduł jest umowną jednostką miary liniowej stosowaną w koordynacji wymiarowej.
Zasady koordynacji modularnej wymiarów elementów i obiektów budowlanych są przedmiotem norm PN-ISO 2848 [1.1] i PN-ISO 1791 [1.2]. Celem **koordynacji modularnej** jest takie określenie wymiarów i usytuowania elementów konstrukcyjnych aby pasowały do siebie i do innych elementów budynku.
W koordynacji modularnej jako podstawę przyjmuje się:

a) moduł podstawowy,
b) multimoduły znormalizowane,
c) układ odniesienia określający przestrzenie i strefy koordynacji dla elementów budowlanych oraz komponentów będących ich częściami składowymi,
d) zasady umieszczania elementów budowlanych w układzie odniesienia,
e) zasady ustalania wymiarów komponentów budowlanych w celu określenie ich wymiarów roboczych,
f) zasady określania zalecanych rozmiarów komponentów budowlanych i koordynowania wymiarów obiektów budowlanych.

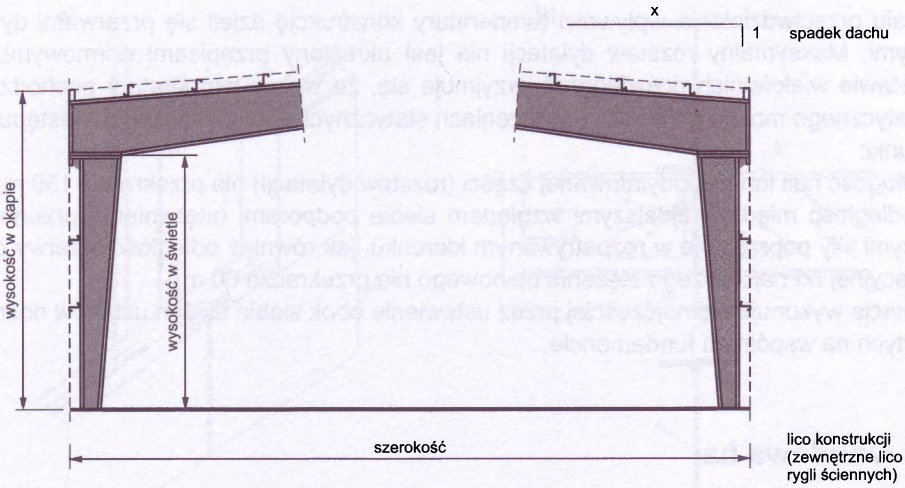
Moduł podstawowy jest zasadniczą jednostką miary stosowaną w koordynacji modularnej. Wielokrotność modułu podstawowego tworzy wymiary modularne. Wartość modułu podstawowego przyjęto jako $M = 100$ mm.
Multimoduły są znormalizowanymi, wybranymi, całkowitymi wielokrotnościami modułu podstawowego; do różnych zastosowań.
Submoduły są wybranymi ułamkami modułu podstawowego i są stosowane, gdy zachodzi potrzeba określenia wartości mniejszych niż moduł podstawowy.
Siatka modularna to prostokątny układ odniesienia, w którym odległość między kolejnymi liniami jest równa modułowi podstawowemu lub multimodułowi. Elementy konstrukcji mogą być usytuowane na siatce modularnej osiowo lub stycznie.
W systemach hal przemysłowych przyjęto moduł poziomy konstrukcji $30M = 3{,}0$ m i jego parzystą wielokrotność oraz moduł pionowy $12M = 1{,}2$ m. Typowe rozpiętości hal wynoszą od 12,0 m do 48,0 m co 6,0 m, natomiast wysokości od 4,8 m do 13,2 m co 1,2 m.
Zasady usytuowania elementów konstrukcji względem osi modularnych w halach systemu „Mostostal" [1.3], stosowanych powszechnie w kraju w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego wieku przedstawiono na rys. **1.**1.
Słupy ścian podłużnych i szczytowych usytuowano w tym systemie stycznie do osi siatki modularnej, a jako wysokość modularną hali przyjęto wysokość ścian podłużnych. Umożliwiło to maksymalną unifikację elementów konstrukcji dachu oraz obudowy dachu i ścian, zaprojektowanych w postaci powtarzalnych segmentów (rys. **1.**2).
System „Mostostal" ma już historyczne znaczenie, ale zapoczątkował unowocześnienie budownictwa stalowego w Polsce i umożliwił realizację ówczesnych zadań inwestycyjnych. W nowoczesnych systemach hal stalowych [1.5] przyjęto podobne zasady kształ-



Rys. **1.**1 Zasady modularnego kształtowania hal ocieplonych systemu „Mostostal": a) układ osi podłużnych i poprzecznych oraz zasada określania rozpiętości naw (WB) i rozstawu głównych elementów nośnych (WL), b) zasada przyjmowania wysokości modularnej hali (WH)



Rys. **1.**2 Układ elementów konstrukcji i obudowy na przykładzie hali ramowej [1.4]



Rys. 1.3 Modularne wymiary przekroju hali jednonawowej w systemie WIDESPAN [1.5]

towania modularnego. Licem konstrukcji w ścianach zewnętrznych jest lico rygli ściennych (rys. 1.3).

Spotykane są również systemy, w których wszystkie słupy szkieletu nośnego są usytuowane osiowo na siatce modularnej, a jako wysokość modularną hali przyjęto jej wysokość w świetle.

Stosowanie zasad koordynacji modularnej jest zalecane również w sytuacji gdy główne wymiary hali wynikają z potrzeb technologicznych. Wymiary modularne umożliwiają wtedy ujednolicenie elementów obudowy i wyposażenia.

1.2 Dylatacje termiczne

Zmiany temperatury powodują wydłużenia i skrócenia konstrukcji według znanej zależności

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T, \tag{1.1}$$

gdzie:

α współczynnik rozszerzalności liniowej stali,
L długość elementu lub konstrukcji,
ΔT różnica temperatur.

Gdy sztywność ustroju ogranicza swobodę odkształceń, wówczas w jej elementach powstają dodatkowe naprężenia.

W projekcie konstrukcji należy uwzględnić wpływ temperatury pochodzenia technologicznego, a w uzasadnionych przypadkach wpływ temperatury pochodzenia klimatycznego według normy PN-EN 1991-1-5 [1.6]. Postanowienia krajowe dotyczące oddziaływań termicznych na konstrukcje oraz mapki rozkładu temperatur T_{max} i T_{min} na terenie Polski są podane w załączniku krajowym NB do normy.

W celu przeciwdziałania wpływowi temperatury konstrukcję dzieli się przerwami dylatacyjnymi. Maksymalny rozstaw dylatacji nie jest określony przepisami normowymi. Na podstawie wieloletnich doświadczeń przyjmuje się, że wpływ temperatury pochodzenia klimatycznego można pominąć w obliczeniach statycznych jeśli są spełnione następujące warunki:

- długość hali lub jej oddylatowanej części (rozstaw dylatacji) nie przekracza 150 m,
- odległość między najdalszymi względem siebie podporami (stężeniami) przenoszącymi siły poprzeczne w rozpatrywanym kierunku, jak również odległość przerwy dylatacyjnej od najbliższego stężenia pionowego nie przekracza 60 m.

Dylatacje wykonuje się najczęściej przez ustawienie obok siebie dwóch ustrojów nośnych opartych na wspólnym fundamencie.

1.3 Obudowa hal

1.3.1 Uwagi ogólne

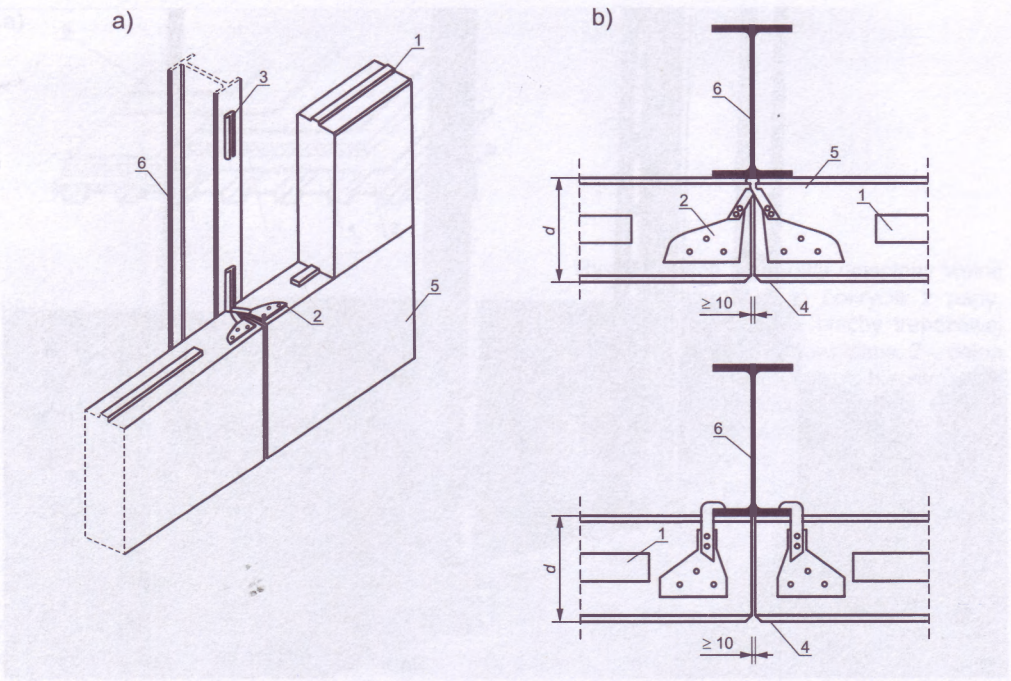
Obudowa powinna spełniać wymagania cieplno-wilgotnościowe wg PN-EN ISO 6940 [1.7] i wymagania akustyczne wg PN-B-02151-3 [1.8]. Zarówno obudowa dachu jak i obudowa ścian może być typu ciężkiego lub lekkiego. Rozwiązania obudowy – szczególnie dachu wpływają w dużym stopniu na rozwiązania konstrukcji nośnej i koszt konstrukcji.

1.3.2 Obudowa typu ciężkiego

Obudowa typu ciężkiego była powszechnie stosowana do końca lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku, przed wprowadzeniem obudowy typu lekkiego. Na obudowę dachu stosowano głównie prefabrykowane płyty żelbetowe (żebrowe lub korytkowe), a na obudowę ścian prefabrykowane płyty warstwowe. Ściany wykonywano również jako murowane z cegły lub bloczków gazobetonowych (przy mniejszych wysokościach samonośne, a przy większych – szkieletowe).

Obecnie obudowa typu ciężkiego jest stosowana głównie w halach o konstrukcji żelbetowej i wykonuje się ją z wielkoformatowych elementów ściennych i dachowych z betonu komórkowego YTONG [1.9]. W halach o konstrukcji stalowej elementy z betonu komórkowego są stosowane znacznie rzadziej – głównie do obudowy ścian. Standardowe płyty ścienne mają grubość 150, 200, 240, 300 i 375 mm, a płyty stropowe i dachowe: 125, 150, 200, 250, i 300 mm. Szerokość elementów ściennych, stropowych i dachowych wynosi 60 cm, a długość 600 cm. Płyty łączone są na pióro i wpust w spoinach poziomych. Połączenie ze słupem hali wykonuje się za pomocą kotwi z blach osadzonych w prowadnicach lub zahaczonych o stopki słupa jak na rys. 1.4 i przybijanych do płyty gwoździami.

Płyty dachowe układane są na ryglach ram i mocowane na nich za pomocą kotwi z blach zahaczonych o półki rygla analogicznie jak w połączeniu ściany ze słupem. Na płytach układane są warstwy pokrycia. Szczegóły obudowy z płyt wielkowymiarowych przedstawiono w [1.10].



Rys. 1.4 Ściany ze zbrojonych płyt z betonu komórkowego YTONG: a) widok, b) warianty połączenia ścian ze słupem; 1 – pióro płyty, 2 – kotwa, 3 – prowadnica, 4 – ścięcie brzegu płyty ściennej, 5 – płyta ścienna, 6 – słup stalowy [1.9]

Ściany można również wykonywać z bloczków YTONG. Bloczki stosuje się głównie w dolnych częściach ścian narażonych na uszkodzenia mechaniczne oraz w ścianach części biurowych i socjalnych hal (rys. 1.5). Obudowę górnej części ścian i obudowę dachu wykonuje się wtedy jako lekką.
Ściany są murowane przy użyciu specjalnej zaprawy murarskiej, a grubość spoin jest nie mniejsza niż 1 mm i nie większa niż 3 mm. Połączenie ze słupami szkieletu hali wykonuje się za pomocą kotwi osadzonych w wieńcach żelbetowych. Wieńce ścian wykonuje się w specjalnych kształtkach z betonu komórkowego.

1.3.3 Obudowa typu lekkiego

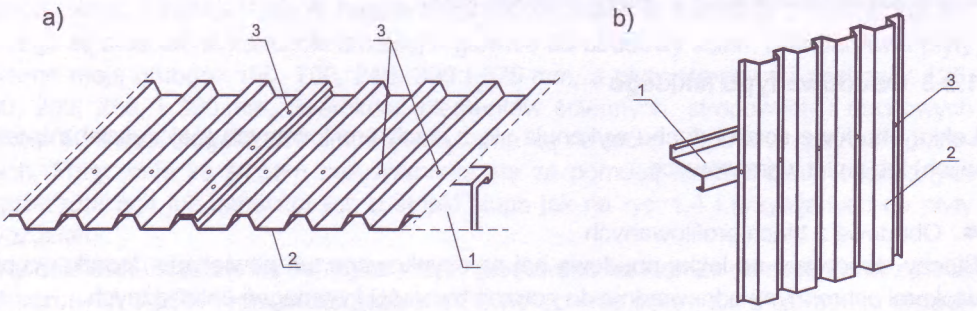
Lekką obudowę ścian i dachu wykonuje się z blach profilowanych (najczęściej trapezowych) lub z płyt warstwowych.

- Obudowa z blach profilowanych

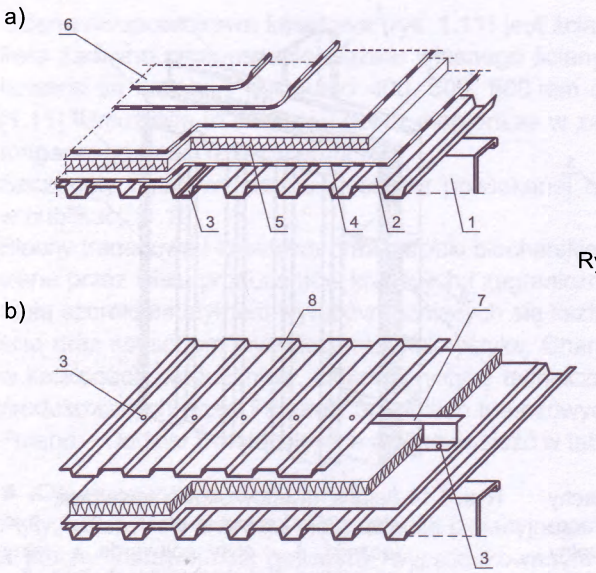
Blachy stosowane na lekką obudowę hal są ocynkowane lub powlekane dodatkowo powłokami ochronnymi odpowiednio do potrzeb trwałości i wymagań estetycznych.
Proces powlekania polega na naniesieniu na powierzchnię blach dwóch powłok organicznych – podkładu i powłoki dekoracyjnej lub kleju z następnym nawalcowaniem folii PCW.

Rys. **1.**5 Murowanie ścian z bloczków YTONG w części biurowej hali magazynowej (fot. W. Kucharczuk)

Jako materiał powłok organicznych stosuje się emalie akrylowe, poliestrowe i inne. Materiałem wyjściowym do profilowania (trapezowania blach) jest blacha ocynkowana z powłoką organiczną, która przechodząc przez układ rolek zostaje stopniowo profilowana.
Obudowa z blach może być nieocieplona lub ocieplona. Przykłady obudowy nieocieplonej przedstawiono na rys. **1.**6, a ocieplonej – na rys. **1.**7 do **1.**11.
W dachach nieocieplonych blacha jest gotowym pokryciem, a w dachach ocieplonych – warstwą nośną, na której układa się kolejno paroizolację oraz izolację termiczną i prze-

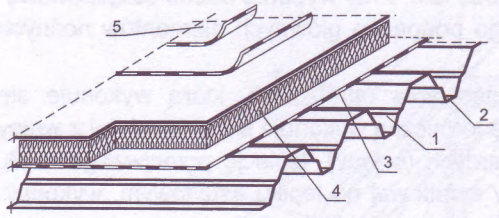


Rys. **1.**6 Obudowa nieocieplona: a) dachu, b) ścian; 1 – płatew lub rygiel ścienny (np. zetownik gięty na zimno), 2 – blacha trapezowa, 3 – łączniki (wkręty samowiercące)

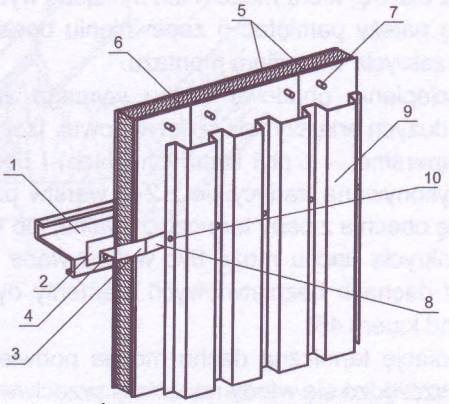


Rys. 1.7 Dach płatwiowy ocieplony wełną mineralną: a) pokrycie z papy, b) pokrycie z blachy trapezowej powlekanej; 1 – płatew, 2 – dolna warstwa (nośna) z blachy trapezowej ocynkowanej, 3 – łączniki (wkręty samowiercące), 4 – paroizolacja, 5 – ocieplenie z twardych płyt z wełny mineralnej, 6 – powłoki papowe, 7 – element dystansowy z blachy, 8 – pokrycie z blachy trapezowej powlekanej

ciwwilgociową. W dachach nieocieplonych blacha powinna być układana szerszą półką do dołu w celu lepszego odprowadzenia wody opadowej, a w dachach ocieplonych – szerszą półką do góry w celu zapewnienia lepszego podparcia warstw izolacyjnych. Konstrukcja dachów ocieplonych może być płatwiowa lub bezpłatwiowa. Każde z tych rozwiązań ma swoje zalety i wady. W dachach płatwiowych kierunek fałd blachy jest zgodny ze spad-



Rys. 1.8 Dach bezpłatwiowy ocieplony wełną mineralną: 1 – blacha trapezowa, 2 – łączniki (wkręty samowiercące), 3 – paroizolacja, 4 – ocieplenie z twardych płyt z wełny mineralnej, 5 – powłoki papowe



Rys. 1.9 Ściana jednopowłokowa ocieplona wełną mineralną: 1 – rygiel ścienny, 2 – przekładka, 3 – kształtownik dystansowy, 4 i 10 – łączniki, 5 – płyty półtwarde z wełny mineralnej, 6 – płyty STG grubości 12 mm, 7 – wkręt spiralny, 8 – taśma z PCW, 9 – blacha trapezowa