Ogólne zasady projektowania konstrukcji hal 1

Układy konstrukcji hal 2

Główne ustroje nośne 3

Belki podsuwnicowe 4

Konstrukcje wsporcze dachów 5

Konstrukcje wsporcze ścian 6

Stężenia 7

Współdziałanie szkieletu hal z lekką obudową z blachy profilowanej 8

Wybrane przykłady rozwiązań konstrukcyjnych hal o dużych rozpiętościach 9

Komputerowe wspomaganie projektowania konstrukcji hal 10

Zabezpieczenie konstrukcji przed korozją i ogniem 11

Przykłady obliczeń głównych ustrojów nośnych hal 12

Wstęp

Hale są najczęściej budynkami parterowymi, stosowanymi w budownictwie przemysłowym o przeznaczeniu ogólnym jako:
- budynki produkcyjne i magazynowe,
- hale obsługowe (hangary, zajezdnie, stacje obsługi),
- hale użyteczności publicznej (handlowe, wystawowe, sportowe, widowiskowe oraz dworce kolejowe i lotnicze).

Najliczniejszą grupę stanowię hale przemysłowe. Ze względu na przeznaczenie mogą być wyposażone w suwnice, a ich obudowa może być ocieplona lub nieocieplona. Zastosowanie konstrukcji stalowej w halach przemysłowych umożliwia łatwe spełnienie wymagań technologicznych w zakresie rozpiętości i obciążeń, a także umożliwia przystosowanie konstrukcji do zmian technologii. Przebudowa lub wzmacnianie konstrukcji są stosunkowo proste, a montaż i rozbiórka mogą być wykonane szybko i bez większych trudności.

Hale obsługowe różnią się od hal przemysłowych większą na ogół rozpiętością i odmiennymi w związku z tym rozwiązaniami konstrukcji przekryć.

Hale użyteczności publicznej mają najbardziej zróżnicowane rozwiązania konstrukcyjne ze względu na dużą różnorodność funkcji i wymagań architektonicznych.

W budownictwie stalowym w Polsce nastąpił w ostatnich latach znaczny postęp. Przyczyniło się do tego rozszerzenie asortymentu materiałów i wyrobów hutniczych, komputeryzacja projektowania oraz unowocześnienie rozwiązań projektowych. Charakterystyczną cechą współczesnych konstrukcji stalowych jest szerokie wykorzystanie gotowych wyrobów hutniczych i przetwórstwa hutniczego oraz proste rozwiązania połączeń. Konstrukcja hali oprócz spełnienia wymagań nośności i użytkowalności powinna odznaczać się niskim zużyciem stali, małą pracochłonnością wytwarzania oraz łatwym montażem.

Mała pracochłonność wytwarzania wpływa znacząco na koszt konstrukcji, a łatwy i szybki montaż umożliwią zmniejszenie kosztów inwestycji wskutek szybszego tempa budowy [0.1], [0.2].

Niniejszy poradnik jest poświęcony zagadnieniom kształtowania i obliczania konstrukcji hal. Przedstawiono w nim przegląd rozwiązań konstrukcyjnych oraz przykłady obliczeń głównych ustrojów nośnych hal. Do podjęcia tematu skłoniło autorów wyczerpanie nakładu publikacji [0.3], której pierwsza część była poświęcona halom stalowym. Niniejszy poradnik stanowi rozszerzenie i uaktualnienie informacji podanych w tej publikacji.

Piśmiennictwo

[0.1] Augustyn J., Śledziewski E.: Technologiczność konstrukcji stalowych. Arkady, Warszawa 1981.

[0.2] Ziółko J., Orlik G.: Montaż konstrukcji stalowych. Arkady, Warszawa 1980.

[0.3] Kucharczuk W.: Stalowe hale i budynki wielokondygnacyjne. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004.

Spis treści

Wstęp ... 5

1 Ogólne zasady projektowania konstrukcji hal ... 11
1.1 Zasady modularne ... 11
1.2 Dylatacje termiczne ... 13
1.3 Obudowa hal ... 14
1.3.1 Uwagi ogólne ... 14
1.3.2 Obudowa typu ciężkiego ... 14
1.3.3 Obudowa typu lekkiego ... 15
1.4 Oddziaływania na konstrukcję ... 29
1.5 Materiały konstrukcyjne ... 31
1.6 Podstawy projektowania konstrukcji ... 35
Piśmiennictwo ... 38

2 Układy konstrukcji hal ... 41
2.1 Uwagi ogólne ... 41
2.2 Układy poprzeczne płaskie ... 41
2.2.1 Układy słupowo-wiązarowe ... 41
2.2.2 Układy ram z ryglami kratowymi i ram kratowych ... 45
2.2.3 Układy ram pełnościennych ... 48
2.3 Układy przestrzenne ... 52
2.4 Wybór układu konstrukcyjnego ... 55
Piśmiennictwo ... 56

3 Główne ustroje nośne ... 59
3.1 Ustroje słupowo-wiązarowe ... 59
3.1.1 Słupy ... 59
3.1.2 Wiązary ... 80
3.1.3 Podciągi ... 101
3.2 Ramy z ryglami kratowymi i ramy kratowe ... 102
3.3 Ramy pełnościenne ... 107
3.3.1 Informacje ogólne ... 107
3.3.2 Ramy portalowe ... 107
3.3.3 Ramy ze ściągiem ... 119
3.3.4 Obliczanie ram ... 128
3.4 Ustroje strukturalne ... 139
3.5 Ustroje pilaste (szedowe) ... 158
Piśmiennictwo ... 167

4 Belki podsuwnicowe ... 169
4.1 Wprowadzenie ... 169
4.2 Ogólna charakterystyka transportu suwnicowego ... 169
4.2.1 Klasyfikacja dźwignic ... 171
4.3 Obciążenia ... 175
4.3.1 Układy obciążeń ... 175
4.3.2 Obciążenia pionowe ... 179
4.3.3 Obciążenia poziome ... 182
4.3.4 Obciążenia termiczne ... 186

4.3.5 Obciążenia chodników i pomostów ... 187
4.3.6 Obciążenia próbne ... 187
4.3.7 Oddziaływania wyjątkowe ... 187
4.3.8 Obciążenie wiatrem i śniegiem ... 189
4.3.9 Dobór i kojarzenie obciążeń ... 189
4.4 Wytrzymałość zmęczeniowa ... 191
4.5 Stany graniczne użytkowalności ... 198
4.5.1 Deformacje i przemieszczenia graniczne ... 198
4.5.2 Ograniczenie „oddychania" środników ... 200
4.5.3 Warunki stanu sprężystego ... 201
4.5.4 Drgania pasów dolnych ... 201
4.6 Kształtowanie i obliczanie belek suwnic natorowych ... 202
4.6.1 Ogólne zasady projektowania belek ... 202
4.6.2 Szyny jezdne ... 203
4.6.3 Belki pełnościenne ... 206
4.6.4 Belki kratowe ... 217
4.6.5 Kozły odbojowe ... 222
4.7 Kształtowanie i obliczanie belek suwnic podwieszonych ... 224
4.8 Dojścia i przejścia do suwnic natorowych ... 231
Piśmiennictwo ... 232

5 Konstrukcje wsporcze dachów ... 235
5.1 Dachy bezpłatwiowe ... 235
5.2 Dachy płatwiowe ... 237
5.2.1 Informacje ogólne ... 237
5.2.2 Płatwie z kształtowników giętych ... 238
5.2.3 Płatwie z kształtowników walcowanych ... 251
5.2.4 Płatwie kratowe ... 253
5.2.5 Obliczanie płatwi ... 255
Piśmiennictwo ... 261

6 Konstrukcje wsporcze ścian ... 263
6.1 Informacje ogólne ... 263
6.2 Rygle ... 268
6.3 Słupki ... 269
6.4 Obliczanie rygli i słupków ... 271

7 Stężenia ... 273
7.1 Informacje ogólne ... 273
7.2 Stężenia dachowe ... 273
7.2.1 Rodzaje i rozmieszczenie stężeń ... 273
7.2.2 Stężenia połaciowe poprzeczne ... 274
7.2.3 Stężenia połaciowe podłużne ... 275
7.2.4 Stężenia podłużne w poziomie pasa dolnego wiązarów ... 276
7.2.5 Stężenia pionowe ... 276
7.3 Stężenia słupów ... 280
7.4 Obliczanie stężeń ... 286
7.4.1 Ogólne zasady obliczeń ... 286
7.4.2 Obliczanie stężeń dachowych ... 286
7.4.3 Obliczanie stężeń słupów ... 288

8 Współdziałanie szkieletu hal z lekką obudową z blachy profilowanej ... 291
8.1 Informacje ogólne ... 291
8.2 Zachowanie się blachy jako płyty ... 291
8.3 Zachowanie się blachy jako tarczy ... 292
8.4 Przepony z blach ... 294
8.5 Przykład konstrukcji tarczy dachowej ... 297

9 Wybrane przykłady rozwiązań konstrukcyjnych hal o dużych rozpiętościach ... 299
9.1 Wprowadzenie ... 299
9.2 Konstrukcje łukowe ... 299
9.2.1 Kształtowanie i obliczanie łuków ... 299
9.2.2 Przykłady konstrukcji ... 301
9.3 Konstrukcje cięgnowe ... 312
9.3.1 Rodzaje konstrukcji cięgnowych ... 312
9.3.2 Elementy i materiały konstrukcyjne ... 314
9.3.3 Ogólne zasady obliczania konstrukcji linowych ... 316
9.3.4 Przykłady konstrukcji ... 321
Piśmiennictwo ... 335

10 Komputerowe wspomaganie projektowania konstrukcji hal ... 337
10.1 Wprowadzenie ... 337
10.2 Programy CAD – Dokumentacja techniczna ... 337
10.3 Programy CAE – Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe ... 347
10.4 Wybrane przykłady zastosowań analiz inżynierskich CAE ... 353
Piśmiennictwo ... 361

11 Zabezpieczenie konstrukcji przed korozją i ogniem ... 363
11.1 Ochrona przed korozją ... 363
11.1.1 Informacje ogólne ... 363
11.1.2 Kształtowanie elementów konstrukcji z uwzględnieniem uwarunkowań korozyjnych ... 365
11.1.3 Projektowanie zabezpieczeń antykorozyjnych ... 367
11.2 Ochrona przed ogniem ... 370
Piśmiennictwo ... 374

12 Przykłady obliczeń głównych ustrojów nośnych hal ... 377
12.1 Ustrój słupowo-wiązarowy hali bez transportu suwnicowego ... 377
12.1.1 Założenia projektowe ... 377
12.1.2 Sprawdzenie nośności płatwi ... 381
12.1.3 Obliczenia statyczne ramy w osiach 35-38 ... 382
12.1.4 Sprawdzenie nośności wiązara ... 387
12.1.5 Sprawdzenie nośności słupów ramy ... 403
12.2 Układ przegubowy stężony w płaszczyźnie dachu i ścian ... 409
12.2.1 Założenia projektowe ... 409
12.2.2 Sprawdzenie nośności konstrukcji dachu ... 412
12.2.3 Sprawdzenie nośności płatwi ... 412
12.2.4 Sprawdzenie nośności wiązarów ... 414
12.2.5 Sprawdzenie nośności słupów ... 422
12.2.6 Stężenia hali ... 427
12.3 Rama ze ściągiem hali z suwnicą podwieszoną ... 433

12.3.1 Założenia projektowe ... 433
12.3.2 Obliczenia statyczne ramy ... 436
12.3.3 Sprawdzenie nośności rygla ramy ... 441
12.3.4 Sprawdzenie nośności słupów ... 448
12.3.5 Sprawdzenie nośności ściągu ... 454
12.4 Rama wieloprzęsłowa z ryglem kratowym ... 455
12.4.1 Założenia projektowe ... 455
12.4.2 Sprawdzenie nośności płatwi ... 458
12.4.3 Sprawdzenie nośności rygla ramy ... 464
12.4.4 Sprawdzenie nośności słupów ... 474

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-