

Spis treści

Przedmowa	9
1. Ramowe obiekty stalowe – hale	11
1.1. Rodzaje hal	12
1.2. Ogólny opis głównych układów nośnych hal	13
1.3. Opis konstrukcji układów poprzecznych obliczanych jako płaskie	17
1.4. Opis konstrukcji układów poprzecznych obliczanych przestrzennie	23
1.5. Opis konstrukcji układów ramowych złożonych w całości lub w części z lekkich przekrojów cienkościennych	24
1.6. Przykłady wybranych systemowych rozwiązań konstrukcyjnych	25
2. Obudowa hal (obiektów) stalowych	29
2.1. Ściany boczne (podłużne)	30
2.2. Ściany szczytowe	34
2.3. Konstrukcje osłonowe (pokrycia ścian)	38
3. Urządzenia dźwigowe stosowane w halach przemysłowych	43
3.1. Podział urządzeń dźwigowych	44
3.1.1. Transport niezależny od konstrukcji obiektu	44
3.1.2. Urządzenia dźwigowe należące do transportu obciążającego układ poprzeczny	49
3.2. Zawiesia suwnic	50
4. Zasady ustalania obciążeń suwnicami	53
4.1. Uwagi dotyczące opisu obciążeń suwnicami oddziałującymi na konstrukcję układu poprzecznego hali (PN-86/B-02005) [61]	54
4.2. Zasady ustalania obciążeń obliczeniowych urządzeniami dźwigowymi	54
4.2.1. Obciążenie wciągnikami i wciągarkami	55
4.2.2. Obciążenia suwnicami natorowymi i podwieszonymi	56
4.3. Klasyfikacja i opis oddziaływań dźwignic pomostowych na konstrukcję podtorza według Eurokodu 1 (PN-EN 1991-3:2009) [60]	58
4.3.1. Uwagi ogólne	58
4.3.2. Oddziaływanie pionowe dźwignic	58
4.3.3. Oddziaływanie poziome suwnic pomostowych	61
5. Belki podsuwnicowe dla suwnic natorowych	65
5.1. Podział belek podsuwnicowych ze względu na sposób podparcia	66
5.2. Szyny suwnicowe i ich połączenia z belkami suwnic natorowych	71
5.2.1. Szyny dla suwnic natorowych – podział	71
5.2.2. Rodzaje połączeń szyn z pasem górnym belki podsuwnicowej	72
5.2.3. Styki szyn suwnicowych dla torów suwnic natorowych	78
5.2.4. Zasady ustalania wpływu połączenia szyny z pasem górnym na nośność i sztywność belki podsuwnicowej	81
5.3. Obliczenia statyczne belek podsuwnicowych dla suwnic natorowych. Belki z rozwiniętym pasem górnym lub bez niego	82
5.3.1. Założenia obliczeniowe [53]	82
5.3.2. Belki pełnościenne z kształowników walcowanych	82
5.4. Belki natorowe z rozwiniętą częścią górną w formie belek poziomych (tężników hamownych)	87
5.4.1. Podział belek ze względu na konstrukcję	87
5.4.2. Zasady obliczeń statycznych belek podsuwnicowych z tężnikiem poziomym pełnościennym	88
5.4.3. Zasady obliczeń statycznych blachownicowych belek podsuwnicowych z poziomym tężnikiem kratowym	90

5.4.4. Belki kratowe z kratowym tężnikiem poziomym	92
5.4.5. Pionowa belka kratowa z blachownicowym tężnikiem poziomym	95
5.5. Zasady obliczeń belek suwnic natorowych według Eurokodu 3 (PN-EN 1993-6:2009/AC) [57]	97
5.5.1. Uwagi ogólne	97
5.5.2. Uwagi na temat analizy konstrukcji podsuwniowych	98
5.5.2.1. Uwagi ogólne	98
5.5.2.2. Stany graniczne nośności	98
6. Tory suwnic podwieszonych – opis konstrukcji i obliczeń	103
6.1. Opis konstrukcji torów suwnic podwieszonych	104
6.2. Opis stanu naprężeń w belce suwnicowej według PN-90/B-03200	104
6.3. Zasady obliczania belek suwnic podwieszonych według Eurokodu 3 (PN-EN 1993-6:2009) [62]	108
6.3.1. Uwagi ogólne	108
6.3.2. Wpływ nacisków pionowych kół na wartość naprężeń oraz nośność pasów dolnych belek suwnic podwieszonych lub wciągników	108
6.3.2.1. Naprężenia od lokalnego zginania pasa dolnego belki	108
6.3.2.2. Nośność pasów dolnych w pobliżu odbojnic, końców wspornikowych oraz przy końcach podpartych (usztynionych)	110
7. Opis naprężeń w środnikach belek obciążonych naciskiem skupionym (kołem suwnicy)	113
7.1. Uwagi ogólne	114
7.2. Zasady wyznaczania nośności środnika na miejscowy docisk według badań eksperymentalnych oraz PN-90/B-03200 [53]	115
7.3. Lokalne naprężenia w środniku belki pod naciskiem koła suwnicy według PN-EN 1993-6:2009 [57, 63]	120
7.4. Opis wpływu podkładki sprężystej na stan naprężeń w szynie, pasie górnym i w środniku belki	122
7.5. Przykłady elastycznego połączenia belek podsuwnicowych ze słupami hali	123
7.5.1. Połączenie belki ze słupem	123
7.5.2. Elastyczne łączniki belek podsuwnicowych swobodnie podpartych	124
8. Drugi stan graniczny (warunek użyteczności) dla belek podsuwnicowych	125
8.1. Określenie warunków II stanu granicznego (warunek użyteczności) według PN-90/B-03200 [53]	126
8.1.1. Przemieszczenia bezwzględne	126
8.1.2. Przemieszczenia względne	127
8.1.3. Warunek II stanu granicznego dla układu podłużnego	128
8.2. Określenie warunków użyteczności według Eurokodu 3 (PN-EN 1993-6) [57]	128
8.2.1. Uwagi ogólne	128
8.2.2. Warunki graniczne dla odkształceń poziomych	129
8.2.3. Warunki graniczne dla odkształceń pionowych	129
8.2.4. Ograniczenia dodatkowe – lokalne ugięcie środników belek podsuwnicowych	130
8.2.5. Dodatkowe ograniczenie dotyczące drgań pasów dolnych	131
8.2.6. Różnice w warunkach użyteczności według [53] i [57]	131
9. Ograniczniki końcowe - odbojnice suwnicowe	133
9.1. Zasady obliczania ograniczników końcowych	134
9.2. Zasady konstrukcji ograniczników końcowych belek podsuwnicowych	137

10. Zmęczenie w belkach podsuwnicowych	141
10.1. Problem zmęczenia belki podsuwnicowej	142
10.2. Określenie nośności zmęczeniowej dla belek podsuwnicowych	144
10.3. Problem niejednorodności widma i sposób jego ustalenia	148
10.4. Wyznaczanie warunku zmęczenia w belkach stalowych obciążonych urządzeniami wywołującymi określone widma naprężeń – przykład liczbowy	155
10.5. Opis zasady projektowania konstrukcji stalowych ze względu na zmęczenie według PN-EN 1993-1-9:2007 [59] i PN-EN 1993-1:2009 [60]	156
10.5.1. Uwagi wstępne	156
10.5.2. Metody oceny zmęczenia	158
10.5.3. Zasady ustalania modeli obliczeniowych konstrukcji poddanych zmęczeniu	159
10.5.4. Sprawdzanie nośności zmęczeniowej	160
10.5.5. Ustalanie wielkości oddziaływań zmęczeniowych pojedynczej suwnicy	166
11. Estakady podsuwnicowe	169
11.1. Opis konstrukcji i jej elementów	170
11.2. Stężenia estakad	172
11.3. Konstrukcja słupów estakady	175
12. Modele obliczeniowe układów poprzecznych hal stalowych	179
12.1. Podział ram ze względu na ich sztywność postaciową	180
12.2. Modele analizy konstrukcji przyjmowane w obliczeniach statycznych układów ramowych	182
12.3. Podatność węzłów narożnych (wierzchołkowych) układów ramowych	188
12.3.1. Opis ścieżek równowagi statycznej (ŚRS) wybranych węzłów ram portalowych	188
12.3.2. Algorytm obliczania ram o węzłach podatnych metodą kolejnych przybliżeń	192
12.3.2.1. Opis metody kolejnych przybliżeń w analizie globalnej ram z węzłami podatnymi	192
12.3.2.2. Przykład obliczeniowy	194
12.3.3. Wybrane zagadnienia dotyczące opisu charakterystyki węzłów według PN-EN 1993-1-8:2006 [58]	197
13. Zagadnienia obliczeń i kształtowania geometrii hal modelowanych jako układy płaskie lub przestrzenne	203
13.1. Zasady kształtowania geometrii hal oraz wyboru modelu obliczeniowego	204
13.2. Zasady wyboru modelu obliczeniowego układu poprzecznego hali	205
13.2.1. Hale niskie – dwuprzegubowe, obliczane jako układy płaskie	205
13.2.2. Hale wysokie z węzłami sztywnymi	206
13.2.3. Płaskie hale wieloprzegubowe	208
13.3. Hale z jednostronnymi, odwracalnymi przegubami odkształcanymi	208
13.4. Hale obliczane jako układy przestrzenne	210
13.4.1. Hale „na wahaczach” – obiekty z ramami czteroprzegubowymi	210
13.4.2. Hale obliczane jako przestrzenne, złożone z ram samostatecznych	213
13.4.3. Usztywnienia tarczowe	213
13.4.4. Hale obliczane przestrzennie z usztywnieniami w postaci stężeń prętowych	217
13.4.4.1. Opis konstrukcji usztywniających halę	217
13.4.4.2. Uproszczony algorytm obliczeń hali pracującej przestrzennie	218

13.4.4.3. Obliczania przestrzenne hal z różnymi rozstawami słupów skrajnych i środkowych	223
14. Zasady projektowania elementów układu poprzecznego hal stalowych	225
14.1. Słupy hal	226
14.1.1. Wiadomości ogólne	226
14.1.2. Przekroje poprzeczne słupów hal – konstrukcja	227
14.1.3. Wybrane zagadnienia obliczeń pełnościennych elementów zginanych i ściskanych – komentarz do zapisów normowych	231
14.1.4. Nośność graniczna prętów ściskanych i zginanych według PN-90/B-03200 – założenia obliczeniowe	234
14.1.5. Długości wybocheniowe słupów hal	240
14.1.5.1. Zasady ustalania długości wybocheniowych w płaszczyźnie układu poprzecznego ramy słupów o skokowo zmiennym momencie bezwładności	240
14.1.5.2. Zasady ustalania długości wybocheniowych słupów o stałym momencie bezwładności ze zróżnicowaną podatnością podpór	246
14.1.6. Słupy pełnościennie o zmiennym liniowo momencie bezwładności	250
14.1.7. Ściskane i zginane słupy skratowane	252
14.1.8. Ściskane i zginane słupy z przewiązkami	254
14.1.9. Głowice pośrednie słupów hal	256
14.1.10. Zasady obliczania elementów zginanych i ściskanych o stałym przekroju według PN-EN 1993-1-1:2006 [56]	258
14.1.10.1. Uwagi ogólne	258
14.1.10.2. Formuły interakcyjne do oceny nośności prętów zginanych i ściskanych o przekroju pełnościennym – metoda uproszczona	258
14.1.10.3. Słupy skratowane i słupy z przewiązkami z blach obliczane według EurokodU 3 [56]	263
14.2. Węzły w ramach stalowych	265
14.2.1. Wiadomości ogólne	265
14.2.2. Węzły narożne dwuramienne (wierzchołkowe)	266
14.2.2.1. Zalety i wady węzłów narożnych (wierzchołkowych)	266
14.2.2.2. Zasady obliczania dwuramiennych węzłów spawanych o współśrodkowo zakrzywionych pasach w obszarze naroża	268
14.2.3. Węzły trójramiennie (pośrednie) słupa	274
14.2.4. Wybrane zasady konstrukcji naroży spawanych	277
14.2.5. Węzły narożne prostokątne o konstrukcji zwykłej	280
14.3. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych węzłów ram stalowych	283
14.3.1. Węzły, które można uznać za sztywne	283
14.3.2. Połączenia podatne bliskie węzłom o charakterze połączeń sztywnych	285
14.3.3. Połączenia podatne bliskie węzłom o charakterystyce M-φ węzłów przegubowych	287
14.3.4. Połączenie o charakterystyce M-φ jak dla węzłów przegubowych.....	290
15. Warunki nośności i stateczności w obliczeniach węzłów fundamentowych	293
15.1. Uwagi ogólne do obliczeń według PN-B-03215:1998 [54]	294
15.2. Założenia obliczeniowe dotyczące węzłów ściskanych mimośrodowo	295
15.3. Zasady obliczania i kształtowania węzłów fundamentowych wykonanych w całości	296

15.3.1. Opis metod przybliżonych	296
15.3.2. Metody dokładne opisujące stan naprężeń i odkształceń węzła fundamentowego	298
15.4. Zasady obliczania dwudzielnych węzłów fundamentowych	305
15.5. Zakotwienia słupów	308
15.6. Przykłady przegubowych węzłów fundamentowych	311
15.7. Wybrane informacje na temat obliczania węzłów fundamentowych (podstaw słupów) według PN-EN 1993-1-8:2006	314
15.7.1. Uwagi ogólne	314
15.7.2. Podstawy słupów obciążonych osiowo	315
15.7.2.1. Modelowanie węzłów obciążonych osiowo	315
15.7.2.2. Klasyfikacja węzłów fundamentowych ze względu na sztywność obrotową	316
15.7.3. Podstawy słupów obciążonych siłą podłużną i momentem zginającym	317
15.7.3.1. Nośność obliczeniowa	317
15.7.3.2. Sztywność obrotowa podstawy słupa obciążonego mimośrodowo	319
15.7.3.3. Śruby kotwiące w strefie rozciągania	323
15.7.3.4. Siły poprzeczne w węźle fundamentowym	324
16. Stateczność ogólna budynków halowych. Stężenia prętowe jednokondygnacyjnych układów portalowych	325
16.1. Uwagi ogólne	326
16.2. Zasady rozmieszczania stężeń pościowych w halach jedno- i wielonawowych	326
16.2.1. Stężenie poprzeczne	326
16.2.2. Stężenie pościowe podłużne	326
16.3. Podstawy teoretyczne obliczeń poziomych stężeń pościowych	328
16.4. Międzyśłupowe stężenia pionowe	333
16.4.1. Uwagi ogólne	333
16.4.2. Zasady wyznaczania obciążeń na kratowe stężenia umieszczone między słupami układów podłużnych	334
16.4.3. Zasady rozmieszczania stężeń pionowych w halach	335
16.4.3.1. Stężenia nadsuwnicowe	335
16.4.3.2. Stężenia podsuwnicowe	337
16.5. Przykład obliczeniowy układu stężeń hali	344
16.6. Relacje między układem stężeń słupów i obudowy hali a sposobem ustalenia długości wybojeniowej oraz długości na zwichrzenie słupów	351
16.7. Stężenia ściany szczytowej	352
16.8. Wpływ podatności tężnika pionowego na przemieszczenia układu podłużnego	353
16.9. Zasady obliczania stężeń według Eurokodu 3 (PN-EN 1993-1-1:2006) [55]	356
16.9.1. Uwagi ogólne	356
16.9.2. Stężenia poziome poprzeczne	357
16.9.3. Stężenia międzyśłupowe pionowe	359
Bibliografia	361