

Spis treści

Stosowane oznaczenia	VIII
1. Wprowadzenie	1
2. Teoria pierwszego rzędu	6
2.1. Pręty cienkościennie o przekroju otwartym	8
2.1.1. Charakterystyki geometryczne przekroju cienkościennego	13
2.1.2. Środek zginania (ścinania, skręcania)	14
2.1.3. Wycinkowy moment bezwładności i wycinkowe momenty statyczne	16
2.1.4. Przykładowe obliczenia charakterystyk przekroju cienkościennego	17
2.1.5. Równania różniczkowe równowagi pręta	24
2.1.6. Odształcenia i naprężenia normalne, siły przekrojowe	27
2.1.7. Naprężenia styczne, siły przekrojowe	30
2.1.8. Naprężeniowe warunki nośności	33
2.2. Przykłady obliczeń elementów cienkościennych	33
3. Imperfekcje	56
3.1. Wprowadzenie	56
3.2. Imperfekcje globalne układu ramowego	58
3.3. Łukowe imperfekcje lokalne	60
3.4. Stężenia dachowe – przepisy normowe	64
3.5. Naprężenia i odształcenia spawalnicze – informacje ogólne	66
3.5.1. Naprężenia spawalnicze	66
3.5.2. Wpływ naprężeń spawalniczych na nośność i stateczność elementów	68
3.5.3. Odształcenia spawalnicze	73
4. Teoria drugiego rzędu	77
4.1. Efekt $P-\Delta$ w ramach, globalne wstępne imperfekcje przechyłowe	82
4.1.1. Uwzględnianie efektów przechyłowych analizą I rzędu	83
4.1.2. Możliwość pomijania imperfekcji przechyłowych w analizie ram	88
4.2. Efekt $P-\Delta$ dla pręta	111
4.2.1. Wydłużenie prętów	112
4.2.2. Wpływ obrotu cięciwy pręta na wartości sił przywęzłowych	113
4.3. Efekt $P-\delta$ dla pręta	114
4.3.1. Wpływ odształceń giętnych na osiową sztywność pręta	114
4.3.2. Algorytm postępowania przy obciążeniu siłą osiową i obciążeniem poprzecznym	120
4.3.3. Wpływ ściskania na sztywność giętną pręta	124
4.3.4. Wytyżenie pręta według teorii II rzędu (z efektem $P-\delta$)	126
4.3.5. Wytyżenie elementów wzmacnianych według teorii II rzędu	129

5. Metoda elementów skończonych	138
5.1. Informacje ogólne	138
5.2. Podstawowe elementy skończone stosowane w konstrukcjach prętowych	141
5.3. Sterowanie rozwiązaniem układu równań	145
5.4. Tensor odkształceń Greena–Lagrange’a i drugi tensor naprężeń Pioli–Kirchhoffa	146
5.5. Wstępnie zdeformowany płaski element ramowy	148
5.5.1. Związki geometryczne	148
5.5.2. Związki fizyczne	151
5.5.3. Funkcje kształtu i funkcje wybierające	151
5.5.4. Przyrostowe równania równowagi	152
5.6. Poziomy analiz	162
6. Węzły	165
6.1. Wprowadzenie	165
6.2. Węzły typu belka–słup	170
6.2.1. Węzły typu belka–słup w globalnej analizie sprężystej	171
6.2.2. Węzły typu belka–słup w globalnych analizach sztywno i sprężyste plastycznych	173
6.2.3. Modele empiryczne	174
6.2.4. Modelowanie sztywności węzła metodą składnikową według [N3]	179
6.2.5. Modelowanie sztywności węzła przy obciążeniach przemiennych	181
6.3. Sztywność połączeń zakładkowych	182
6.3.1. Modelowanie połączeń zakładkowych [85], [86]	184
6.3.2. Porównanie wyników obliczeń z wynikami badań doświadczalnych	187
6.4. Nośność węzłów typu belka–słup według [N3]	192
6.5. Zdolność do obrotu	201
7. Analiza stalowych konstrukcji prętowych	204
7.1. Analiza stateczności konstrukcji w inżynierskich programach komputerowych	207
7.1.1. Zagadnienie własne w analizie stateczności	209
7.1.2. Liniowa analiza wyboczeniowa (LBA), mnożnik obciążenia krytycznego	213
7.1.3. Jakość wyników MES w zakresie obciążeń bifurkacyjnych	217
7.1.4. Praktyczne wykorzystanie analizy LBA	228
7.1.5. Mnożniki obciążenia krytycznego i długości wyboczeniowe elementów	229
7.1.6. Wpływ przestrzennej współpracy konstrukcji i zróżnicowania obciążenia na α_{cr}	234
7.1.7. Analiza stateczności pojedynczego pręta za pomocą programu LTBeamN	237
7.1.8. Metoda uproszczona obliczania wartości obciążenia krytycznego	243

7.2. Kryteria wyboru rodzaju analizy według [N1]	244
7.2.1. Analiza I rzędu	244
7.2.2. Analiza II rzędu z globalną imperfekcją przechyłową i lokalnymi imperfekcjami łukowymi	246
7.2.3. Analiza II rzędu układów ramowych z globalną imperfekcją przechyłową	248
7.2.4. Efekty przechyłowe ujęte w analizie I rzędu	249
7.2.5. Analiza metodą ogólną według punktu 6.3.4 w [N1]	249
7.2.6. Globalna analiza plastyczna	257
7.3. Kryteria wyboru rodzaju analizy według projektu [N2]	257
7.3.1. Kryteria wrażliwości na efekty II rzędu	258
7.3.2. Klasyfikacja metod analizy układów prętowych	260
8. Modelowanie stężeń dachowych	264
8.1. Geneza obciążenia stabilizującego	267
8.2. Obciążenie stabilizujące w węzłach górnego pasa wiązara	276
8.3. Obciążenie stabilizujące w węzłach dolnego pasa wiązara	281
8.4. Zastępcze obciążenie imperfekcyjne konstrukcji dachu	289
8.5. Podsumowanie	298
Literatura	303