

Spis treści

Stosowane oznaczenia

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 (ścianania, 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. Odkształcenia 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 odkształcenia 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. Odkształcenia 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 odkształceń 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. Wytężenie pręta według teorii II rzędu (z efektem $P-\delta$) / 126
 - 4.3.5. Wytężenie 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 sprężystości 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 wiażara / 276
- 8.3. Obciążenie stabilizujące w węzłach dolnego pasa wiażara / 281
- 8.4. Zastępcze obciążenie imperfekcyjne konstrukcji dachu / 289
- 8.5. Podsumowanie / 298
- Literatura / 303