

# Spis treści

Od autorów / 7
Wstęp / 9
Cel i zakres mechaniki materiałów i konstrukcji / 9
Modele konstrukcji ich funkcje, podział, zasady tworzenia / 10
Podstawy i metody analizy w mechanice konstrukcji / 13
Podział wytrzymałościowych problemów inżynierskich / 15

## Część I

### Podstawy mechaniki ciała stałego

#### Rozdział 1. Wprowadzenie. Podstawowe pojęcia / 17

1.1. Zadania i zakres mechaniki ciała stałego / 17
1.2. Siły zewnętrzne i wewnętrzne / 18
1.3. Naprężenia / 20
1.4. Deformacja ciała stałego / 21
1.5. Materiał rzeczywisty i jego idealizacja / 23
1.5.1. Charakterystyka materiału rzeczywistego. Wykresy rozciągania dla metali / 23
1.5.2. Modele materiałów ciała idealnie sprężyste, plastyczne i sprężysto-plastyczne / 26
1.5.3. Ciała izotropowe i anizotropowe / 27
1.6. Idealizacja geometrii ciała i geometrii odkształceń / 28
1.7. Ciała liniowe i nieliniowe / 30
1.8. Ogólne zasady analizy ustrojów. Kryteria oceny bezpieczeństwa / 32

#### Rozdział 2. Stan naprężenia / 35

2.1. Uwagi wstępne / 35
2.2. Transformacja płaskiego stanu naprężenia w punkcie / 39
2.3. Geometryczny opis transformacji płaskiego stanu naprężenia. Koło Mohra / 43
2.4. Transformacja przestrzennego stanu naprężenia w punkcie / 50
2.4.1. Podstawowe zależności / 50
2.4.2. Kierunki główne i naprężenia główne / 54
2.4.3. Maksymalne naprężenia styczne. Część kulista i dewiatorowa tensora naprężenia / 56
2.4.4. Geometryczny opis transformacji przestrzennego stanu naprężenia koła Mohra / 59
2.5. Przypadki szczególne stanu naprężenia / 65
2.6. Równania równowagi / 67

#### Rozdział 3. Stan odkształcenia / 70

3.1. Uwagi wstępne / 70
3.2. Związki między odkształceniami i przemieszczeniami / 73
3.3. Transformacja płaskiego stanu odkształcenia w punkcie / 77
3.4. Geometryczny opis transformacji płaskiego stanu odkształcenia. Koło Mohra / 81
3.5. Transformacja przestrzennego stanu odkształcenia w punkcie / 86
3.6. Zmiana objętości i kształtu. Odkształcenie objętościowe i postaciowe / 90

#### Rozdział 4. Prawa konstytutywne i energia odkształcenia sprężystego / 94

4.1. Uwagi wstępne / 94
4.2. Uogólnione prawo Hooke'a / 95
4.3. Uogólnione prawo Hooke'a dla materiałów izotropowych / 97

- 4.3.1. Przemieszczeniowe równania równowagi / 103
- 4.4. Ciała sprężysto-plastyczne / 104
  - 4.4.1. Warunki plastyczności / 106
  - 4.4.2. Prawo plastycznego płynięcia / 109
- 4.5. Pełzanie / 111
- 4.6. Energia odkształcenia sprężystego / 114

## **Rozdział 5. Ogólne twierdzenia energetyczne / 119**

- 5.1. Zasada prac przygotowanych (wirtualnych). Twierdzenie o minimum całkowitej energii potencjalnej / 119
- 5.2. Zasada dopełniających prac przygotowanych. Twierdzenie o minimum energii dopełniającej / 124
- 5.3. Układy liniowo sprężyste / 126
- 5.4. Zasady wzajemności przemieszczeń i prac / 129
- 5.5. Twierdzenie Castigliano / 130

## **Rozdział 6. Bezpieczeństwo konstrukcji / 133**

- 6.1. Ocena bezpieczeństwa konstrukcji. Kryteria zniszczenia / 133
- 6.2. Hipotezy wytrzymałościowe dla materiałów izotropowych / 135
  - 6.2.1. Kryteria przejścia w stan plastyczny / 136
  - 6.2.2. Naprężenia zredukowane / 140
  - 6.2.3. Kryteria zniszczenia hipoteza Mohra / 148

## **Rozdział 7. Mechanizmy zniszczenia / 153**

- 7.1. Mechanika pękania / 153
  - 7.1.1. Ciało ze szczeliną / 153
  - 7.1.2. Szczelina Griffitha / 154
  - 7.1.3. Szczelina Griffitha w materiałach ciągliwych / 159
  - 7.1.4. Naprężenia w otoczeniu wierzchołka szczeliny / 159
  - 7.1.5. Metody hamowania propagacji szczelin / 161
- 7.2. Zmęczenie materiałów / 162
  - 7.2.1. Podstawowe pojęcia / 162
  - 7.2.2. Wpływ naprężeń średnich na wytrzymałość zmęczeniową / 167
  - 7.2.3. Kumulacja uszkodzeń / 172
  - 7.2.4. Wpływ wielowymiarowości tensora naprężeń na wytrzymałość zmęczeniową / 175
  - 7.2.5. Wpływ innych czynników na wytrzymałość zmęczeniową / 181
  - 7.2.6. Zmęczenie niskocyklowe / 182

## **Rozdział 8. Momenty bezwładności figur płaskich / 183**

- 8.1. Podstawowe pojęcia i definicje / 183
- 8.2. Centralne osie bezwładności. Momenty bezwładności względem osi przesuniętych / 185
- 8.3. Momenty bezwładności względem osi obróconych. Transformacja tensora bezwładności. Osie główne i główne centralne / 186
- 8.4. Koło Mohra dla momentów bezwładności / 188
- 8.5. Technika obliczania momentów bezwładności / 190

## **Część II**

### **Liniowe ustroje jednowymiarowe**

#### **Rozdział 1. Wprowadzenie / 199**

- 1.1. Definicje i założenia / 199
- 1.2. Podstawowe metody analizy ustrojów jednowymiarowych / 204

- 1.3. Klasyfikacja ustrojów jednowymiarowych / 210
- 1.4. Przyjmowany model a konstrukcje rzeczywiste / 213

## **Rozdział 2. Pręty proste pryzmatyczne / 217**

- 2.1. Rozciąganie i ściskanie / 217
  - 2.1.1. Podstawowe założenia i zależności / 217
  - 2.1.2. Przykłady analizy prętów rozciąganych ściskanych / 221
- 2.2. Skręcanie swobodne / 229
  - 2.2.1. Podstawowe założenia i zależności / 229
  - 2.2.2. Skręcanie prętów o przekroju kołowym / 233
  - 2.2.3. Skręcanie prętów o przekrojach zwartych, niekołowych / 240
  - 2.2.4. Skręcanie rur cienkościennych / 244
  - 2.2.5. Skręcanie prętów cienkościennych o przekroju otwartym / 252
- 2.3. Zginanie / 257
  - 2.3.1. Podstawowe pojęcia i założenia / 257
  - 2.3.2. Zginanie czyste / 272
  - 2.3.3. Zginanie poprzeczne / 276
  - 2.3.4. Deformacje przy zginaniu. Linia ugięcia pręta / 288
  - 2.3.5. Rozwiązanie w przemieszczeniach problemy statycznie wyznaczalne i niewyznaczalne / 299
  - 2.3.6. Zginanie ukośne / 310
  - 2.3.7. Uwagi końcowe / 316
- 2.4. Obciążenia złożone / 319
- 2.5. Zginanie ze ścisaniem. Problemy stateczności / 324
  - 2.5.1. Analiza pracy prętów krępych / 324
  - 2.5.2. Analiza pracy prętów wiotkich poddanych ścisaniu i zginaniu / 327
  - 2.5.3. Stateczność sprężysta / 329
  - 2.5.4. Stateczność poza granicami sprężystości materiału. Ocena bezpieczeństwa prętów ściskanych / 333

## **Rozdział 3. Podstawowe metody analizy konstrukcji prętowych. Zastosowanie zasad energetycznych / 340**

- 3.1. Definicje i założenia / 340
- 3.2. Zasada prac przygotowanych. Wyznaczanie przemieszczeń metodą siły jednostkowej / 343
- 3.3. Zasady wzajemności prac i przemieszczeń / 353
- 3.4. Twierdzenie Clapeyrona. Energia odkształcenia sprężystego ustrojów prętowych / 356
- 3.5. Twierdzenie o minimum całkowitej energii potencjalnej. Określanie przemieszczeń metodą Ritz'a i Galerki'na / 359
- 3.6. Twierdzenia Castigliano i Menabrei / 367
- 3.7. Metody rozwiązywania konstrukcji statycznie niewyznaczalnych / 372
  - 3.7.1. Metoda sił / 372
  - 3.7.2. Metoda przemieszczeń / 380
- 3.8. Symetria konstrukcji i obciążenia. Uproszczenia wynikające z zasady jednoznaczności rozwiązania / 384

## **Rozdział 4. Ramy / 388**

- 4.1. Zastosowanie, klasyfikacja, metody rozwiązywania / 388
- 4.2. Ramy płaskie płasko obciążone / 391
  - 4.2.1. Pierścienie kołowy obciążony osiowo symetrycznie / 400
- 4.3. Ramy płaskie obciążone przestrzennie i ramy przestrzenne / 401
  - 4.3.1. Obciążone przestrzennie ramy płaskie / 401
  - 4.3.2. Ramy przestrzenne / 406

4.3.3. Sprężyna śrubowa / 407

4.4. Naprężenia montażowe i cieplne. Wyznaczanie przemieszczeń w ustrojach statycznie niewyznaczalnych / 410

4.5. Uwagi końcowe / 417

## **Rozdział 5. Konstrukcje kratowe / 419**

5.1. Zastosowanie, klasyfikacja, metody rozwiązywania / 419

5.2. Statyka konstrukcji kratowych / 424

5.2.1. Model statyczny / 424

5.2.2. Zasady budowania kratownic. Kryterium sztywności / 425

5.2.3. Metody obliczania kratownic statycznie wyznaczalnych / 428

5.2.4. Statycznie niewyznaczalne ustroje kratowe / 434

5.2.5. Dobór sztywności elementów kratownicy. Problemy stateczności / 439

Bibliografia / 443

Skorowidz / 446