

Spis treści

Wprowadzenie 11

Wykaz oznaczeń 13

1. Naprężenie 15

1.1. Ośrodek ciągły 15

1.2. Klasyfikacja sił 16

1.3. Wektor naprężenia 17

1.4. Stan naprężenia. Tensor naprężeń 18

1.5. Naprężenia główne 23

1.6. Równania równowagi 25

1.7. Warunki brzegowe 26

1.8. Aksjator i dewiator naprężeń 27

1.9. Ekstremalne naprężenia styczne 28

1.10. Koła MOHRA 30

1.11. Płaski stan naprężenia 33

Przykłady 36

Zagadnienia do utrwalenia 40

Literatura 40

2. Odształcenie 41

2.1. Wektor przemieszczenia 41

2.2. Równania geometryczne. Tensor odkształceń 42

2.3. Warunki brzegowe 44

2.4. Interpretacja geometryczna współrzędnych tensora odkształceń 45

2.5. Warunki nierozdzielności 47

2.6. Odształcenia główne 48

2.7. Względna zmiana objętości 50

2.8. Aksjator i dewiator odkształceń 50

2.9. Płaski stan odkształcenia 51

Przykłady 53

Zagadnienia do utrwalenia 57

Literatura 57

3. Materiał 58

3.1. Wprowadzenie 58

3.2. Równania HOOKE'A 59

3.3. Prawo zmiany objętości i prawo zmiany postaci 63

3.4. Energia odkształcenia 65

Zagadnienia do utrwalenia 67

Literatura 67

4. Zagadnienie brzegowe 68

4.1. Układ równań 68

4.2. Zasada wzajemności 69

4.3. Warunki brzegowe 72

4.4. Sformułowanie zagadnienia brzegowego 73

4.5. Warunki równoważności 77

4.6. Zasada DE SAINT-VENANTA 78

4.7. Zasada superpozycji 78

Przykłady 79

Zagadnienia do utrwalenia 81

Literatura 82

5. Rozciąganie 83

5.1. Hipoteza płaskich przekrojów 83

5.2. Sformułowanie zagadnienia 83

5.3. Strona fizyczna 84

5.4. Strona statyczna 85

5.5. Strona geometryczna 87

5.6. Obciążenie równomiernie rozłożone 89

5.7. Statyczna próba rozciągania 90

5.8. Warunki wymiarowania 92

Przykłady 93

Zagadnienia do utrwalenia 106

Literatura 106

6. Ścinanie 107

6.1. Wprowadzenie 107

6.2. Sformułowanie zagadnienia 107

6.3. Strona geometryczna 108

6.4. Strona fizyczna 109

6.5. Strona statyczna 109

6.6. Naprężenie, odkształcenie i przemieszczenie 110

6.7. Warunek wymiarowania 111

Przykłady 112

Zagadnienia do utrwalenia 116

Literatura 116

7. Skręcanie 117

7.1. Wprowadzenie 117

7.2. Sformułowanie zagadnienia 117

7.3. Strona geometryczna 119

7.4. Strona fizyczna 120

7.5. Strona statyczna 121

7.6. Przekrój prostokątny 125

7.7. Warunki wymiarowania 127

Przykłady 127

Zagadnienia do utrwalenia 134

Literatura 134

8. Zginanie 135

8.1. Wprowadzenie 135

8.2. Sformułowanie zagadnienia 135

8.3. Strona fizyczna 136

8.4. Strona statyczna 137

8.5. Strona geometryczna 139

8.6. Rozkład naprężeń 141

8.7. Przekroje niesymetryczne 142

8.8. Warunki wymiarowania 143

Przykłady 144

Zagadnienia do utrwalenia 147

Literatura 147

9. Równanie linii ugięcia 148

9.1. Wprowadzenie 148

9.2. Równanie różniczkowe linii ugięcia belki 149

9.3. Warunki brzegowe i warunki ciągłości 151

9.4. Belka na podłożu sprężystym 152

Przykłady 154

Zagadnienia do utrwalenia 164

Literatura 164

10. Całka MOHRA 165

10.1. Wprowadzenie 165

10.2. Geometryczna postać całki MOHRA. 165

10.3. Wzór WERESZCZAGINA 168

10.4. Wzory całkowania grafi cznego 169

Przykłady 171

Zagadnienia do utrwalenia 176

Literatura 176

11. Metoda sił 177

11.1. Wprowadzenie 177

11.2. Równania metody sił 177

Przykłady 181

Zagadnienia do utrwalenia 192

Literatura 192

12. Zginanie ukośne 193

12.1. Wprowadzenie 193

12.2. Naprężenia 193

12.3. Równanie osi obojętnej 195

Przykłady 195

Zagadnienia do utrwalenia 198

Literatura 198

13. Zginanie ze ścinaniem 199

13.1. Wprowadzenie 199

13.2. Wzór ŻURAWSKIEGO 200

13.3. Środek zginania 202

13.4. Warunki wymiarowania 204

Przykłady 206

Zagadnienia do utrwalenia 215

Literatura 215

14. Rozciąganie mimośrodowe 216

14.1. Wprowadzenie 216

14.2. Naprężenia 217

14.3. Równanie osi obojętnej 218

14.4. Więzy jednostronne 220

14.5. Rdzeń przekroju 221

Przykłady 224

Zagadnienia do utrwalenia 239

Literatura 239

15. Wyboczenie 240

15.1. Wprowadzenie 240

15.2. Siła krytyczna EULERA 240

15.3. Zakres ważności wzoru EULERA 243

15.4. Długość wyboczeniowa 244

15.5. Wyboczenie niesprężyste 245

Przykłady 247

Zagadnienia do utrwalenia 255

Literatura 255

16. Zginanie ze ściskaniem 256

16.1. Wprowadzenie 256

16.2. Równanie osi ugiętej 257

Przykłady 258

Zagadnienie do utrwalenia 262

Literatura 262

17. Wyężenie 263

17.1. Wprowadzenie 263

17.2. Miary wyężenia 264

17.3. Hipotezy wyężeniowe 265

17.4. Napężenie zredukowane 270

17.5. Teoria wyężeniowa MOHRA 271

Przykłady 273

Zagadnienia do utrwalenia 280

Literatura 280

18. Nośność graniczna 281

18.1. Wprowadzenie 281

18.2. Podstawowe pojęcia 281

18.3. Metoda statyczna 288

18.4. Metoda kinematyczna 288

Przykłady 290

Zagadnienia do utrwalenia 303

Literatura 303

19. Pręty zespolone 305

19.1. Wprowadzenie 305

19.2. Pręty rozciągane 305

19.3. Pręty zginane 307

19.4. Przekrój zastępczy 310

Przykłady 313

Zagadnienia do utrwalenia 322

Literatura 322

20. Zagadnienia nieliniowe 324

20.1. Wprowadzenie 324

20.2. Nieliniowość fizyczna 324

20.3. Nieliniowość geometryczna – ugięcie 327

20.4. Nieliniowość geometryczna – wyboczenie 333

Przykłady 338

Zagadnienia do utrwalenia 347

Literatura 348

21. Metody przybliżone 349

21.1. Wprowadzenie 349

21.2. Sformułowanie wariacyjne 350

21.3. Metoda RAYLEIGHA-RITZA 353

21.4. Metoda BUBNOWA-GALERKINA 355

21.5. Metoda najmniejszych kwadratów 357

21.6. Metoda różnic skończonych (MRS) 359

21.7. Metoda elementów skończonych (MES) 361

Przykłady 371

Zagadnienia do utrwalenia 396

Literatura 396

Dodatek A. Siły przekrojowe 398

A.1. Zasada zeszczywnienia 398

A.2. Rodzaje podpór i reakcje podporowe 398

A.3. Definicje sił przekrojowych 401

A.4. Znakowanie sił przekrojowych 404

A.5. Związek między obciążeniem, siłą podłużną, siłą poprzeczną i momentem zginającym. 405

A.6. Punkty i przedziały charakterystyczne 407

A.7. Wyznaczanie sił przekrojowych 407

Przykłady 408

Zagadnienia do utrwalenia 413

Literatura 413

Dodatek B. Charakterystyki geometryczne 414

B.1. Definicje charakterystyk geometrycznych 414

B.2. Przesunięcie układu odniesienia – wzory STEINERA 417

B.3. Obrót układu odniesienia 418

B.4. Główne osie i momenty bezwładności 420

B.5. Koło MOHRA 422

Przykłady 423

Zagadnienia do utrwalenia 437

Literatura 438

Dodatek C. Notacja wskaźnikowa 439

C.1. Układ odniesienia 439

C.2. Konwencja sumacyjna 441

C.3. Oznaczenia 442

Przykłady 444

Literatura 446