

# Spis treści

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>Przedmowa</b>                                    | <b>11</b> |
| <b>1. Podstawy przedmiotu</b>                       | <b>13</b> |
| 1.1. Zakres wytrzymałości materiałów                | 13        |
| 1.2. Historia wytrzymałości materiałów              | 14        |
| 1.3. Siły zewnętrzne, wewnętrzne i naprężenia       | 14        |
| 1.4. Pojęcie odkształcenia                          | 17        |
| 1.5. Prawo Hooke’a w przypadku prostego rozciągania | 19        |
| 1.6. Podstawy doświadczalne przedmiotu              | 21        |
| 1.7. Zasada de Saint-Venanta                        | 26        |
| 1.8. Zasada superpozycji                            | 27        |
| 1.9. Metoda elementów skończonych                   | 28        |
| 1.10. Pytania i zadania                             | 34        |
| <b>2. Analiza prętów wzdłużnie obciążonych</b>      | <b>36</b> |
| 2.1. Ogólny przypadek obciążenia pręta              | 36        |
| 2.2. Podział zagadnień wytrzymałościowych           | 37        |
| 2.3. Konstrukcje statycznie wyznaczalne             | 38        |
| 2.4. Analiza naprężeń w pręcie rozciągany           | 41        |
| 2.5. Konstrukcje statycznie niewyznaczalne          | 46        |
| 2.6. Pytania i zadania                              | 49        |
| <b>3. Podstawy teorii stanu naprężenia</b>          | <b>53</b> |
| 3.1. Jednowymiarowy stan naprężenia                 | 55        |
| 3.2. Dwuwymiarowy stan naprężenia                   | 56        |
| 3.3. Trójwymiarowy stan naprężenia                  | 62        |
| 3.4. Równania równowagi stanu naprężenia            | 66        |
| 3.5. Pytania i zadania                              | 68        |

|                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4. Podstawy teorii stanu odkształceń</b>                                                  | <b>72</b>  |
| 4.1. Analiza płaskiego stanu odkształceń                                                     | 72         |
| 4.2. Analiza trójwymiarowego stanu odkształceń                                               | 76         |
| 4.3. Uogólnione prawo Hooke'a                                                                | 81         |
| 4.4. Zależność między kątem odkształcenia postaciowego a naprężeniem stycznym                | 84         |
| 4.5. Pytania i zadania                                                                       | 87         |
| <b>5. Teoria momentów bezwładności figur płaskich</b>                                        | <b>89</b>  |
| 5.1. Momenty bezwładności względem osi i względem układu osi (dewiacji)                      | 89         |
| 5.2. Momenty bezwładności względem osi równoległych do osi centralnych. Twierdzenie Steinera | 90         |
| 5.3. Momenty bezwładności względem osi obróconych o kąt w układzie płaskim                   | 91         |
| 5.4. Osie główne i główne momenty bezwładności                                               | 93         |
| 5.5. Koło Mohra dla momentów bezwładności                                                    | 93         |
| 5.6. Przykłady obliczeń                                                                      | 94         |
| 5.7. Pytania i zadania                                                                       | 98         |
| <b>6. Skręcanie prętów</b>                                                                   | <b>101</b> |
| 6.1. Skręcanie prętów o przekrojach kołowych                                                 | 101        |
| 6.2. Zagadnienia statycznie niewyznaczalne przy skręcaniu                                    | 107        |
| 6.3. Skręcanie prętów o przekroju niekołowym                                                 | 110        |
| 6.4. Skręcanie cienkościennych rur o dowolnym obrysie                                        | 114        |
| 6.5. Skręcanie cienkościennych profili otwartych                                             | 117        |
| 6.6. Pytania i zadania                                                                       | 119        |
| <b>7. Zginanie prętów prostych</b>                                                           | <b>124</b> |
| 7.1. Naprężenia normalne przy czystym zginaniu                                               | 124        |
| 7.2. Momenty gnące i siły tnące w belkach prostych                                           | 129        |
| 7.3. Zależność między momentem gnącym, siłą tnącą a obciążeniem ciągłym                      | 133        |
| 7.4. Naprężenia styczne przy zginaniu prostym z udziałem sił tnących                         | 134        |
| 7.5. Czyste zginanie prętów silnie zakrzywionych                                             | 138        |
| 7.6. Środek ścinania                                                                         | 140        |
| 7.7. Wykresy momentów gnących, sił tnących i normalnych                                      | 142        |
| 7.8. Pytania i zadania                                                                       | 147        |
| <b>8. Hipotezy wytrzymałościowe. Wytrzymałość złożona prętów</b>                             | <b>151</b> |
| 8.1. Przegląd hipotez wytrzymałościowych                                                     | 153        |
| 8.2. Zginanie ukośne prętów prostych                                                         | 158        |
| 8.3. Zginanie z jednoczesnym rozciąganiem lub ściskaniem                                     | 160        |
| 8.4. Mimośrodowe ściskanie lub rozciąganie                                                   | 164        |

|                                                                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.5. Zginanie ze skręcaniem. Pojęcie momentu zastępczego                                            | 168        |
| 8.6. Pytania i zadania                                                                              | 172        |
| <b>9. Obliczenia ugięć belek zginanych</b>                                                          | <b>175</b> |
| 9.1. Równanie różniczkowe linii ugięcia belki                                                       | 175        |
| 9.2. Metoda analityczna określania linii ugięcia belek zginanych                                    | 177        |
| 9.3. Metoda Clebscha określania linii ugięcia belek                                                 | 180        |
| 9.4. Metoda analityczno-wykreślna wyznaczania ugięć belek                                           | 186        |
| 9.5. Pytania i zadania                                                                              | 192        |
| <b>10. Metody energetyczne</b>                                                                      | <b>197</b> |
| 10.1. Układy liniowo-sprężyste                                                                      | 197        |
| 10.2. Energia sprężysta                                                                             | 200        |
| 10.3. Energia sprężysta układów Clapeyrona                                                          | 204        |
| 10.4. Twierdzenia o wzajemności prac i przemieszczeń                                                | 205        |
| 10.5. Twierdzenie Castigliana                                                                       | 208        |
| 10.6. Twierdzenie Menabreï                                                                          | 212        |
| 10.7. Metoda Maxwella-Mohra obliczenia przemieszczeń konstrukcji                                    | 216        |
| 10.8. Pytania i zadania                                                                             | 222        |
| <b>11. Konstrukcje statycznie niewyznaczalne</b>                                                    | <b>227</b> |
| 11.1. Metoda sił                                                                                    | 227        |
| 11.2. Zastosowanie metody sił do rozwiązywania konstrukcji kratowych                                | 229        |
| 11.3. Ramy płaskie, płasko obciążone                                                                | 237        |
| 11.4. Ramy płaskie przestrzennie obciążone                                                          | 243        |
| 11.5. Pytania i zadania                                                                             | 250        |
| <b>12. Stateczność prętów i układów prętowych</b>                                                   | <b>255</b> |
| 12.1. Podział zagadnień stateczności prętów i układów prętowych                                     | 255        |
| 12.2. Obliczenia obciążeń krytycznych i postaci wyboczenia w prętach prostych. Wyboczenie sprężyste | 259        |
| 12.3. Wyboczenie niesprężyste                                                                       | 267        |
| 12.4. Doświadczalne wyznaczanie wartości sił krytycznych                                            | 271        |
| 12.5. Pytania i zadania                                                                             | 274        |
| <b>13. Prętowy i powłokowy element skończony</b>                                                    | <b>277</b> |
| 13.1. Element prętowy                                                                               | 277        |
| 13.2. Element powłokowy                                                                             | 281        |
| 13.3. Stan membranowy                                                                               | 283        |
| 13.4. Stan zgięciowy                                                                                | 284        |

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 13.5. Macierz sztywności geometrycznej elementu powłokowego ..... | 286 |
| 13.6. Macierz mas elementu prętowego .....                        | 287 |
| 13.7. Macierz mas elementu powłokowego .....                      | 288 |
| 13.8. Macierz tłumienia .....                                     | 288 |

## **14. Nośność graniczna 291**

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 14.1. Pojęcia podstawowe .....                         | 291 |
| 14.2. Warunki plastyczności .....                      | 294 |
| 14.3. Obliczenia nośności granicznej belek i ram ..... | 298 |
| 14.4. Zadania .....                                    | 303 |

## **15. Zmęczenie materiałów 306**

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| 15.1. Zakres prowadzenia badań zmęczeniowych .....               | 306 |
| 15.2. Kierunki badań procesu zmęczenia .....                     | 309 |
| 15.3. Wpływ kształtu na wytrzymałość zmęczeniową .....           | 311 |
| 15.4. Wytrzymałość zmęczeniowa przy cyklach asymetrycznych ..... | 313 |
| 15.5. Pytania sprawdzające .....                                 | 315 |

## **16. Literatura 317**