

Spis treści

Przedmowa	11
-----------------	----

WSTĘP

1. Podstawowe pojęcia wytrzymałości materiałów	13
1.1. Przedmiot wytrzymałości materiałów. Siły zewnętrzne i wewnętrzne ciała	13
1.2. Definicja naprężeń	15
1.3. Klasyfikacja obciążeń	15
1.4. Zasada de Saint-Venanta	16
1.5. Układy jednostek w obliczeniach wytrzymałościowych	17

Część pierwsza

PROSTE PRZYPADKI OBCIĄŻENIA

2. Rozciąganie i ściskanie	19
2.1. Prawo Hooke'a	19
2.2. Wykres rozciągania stali niskowęglowych	20
2.3. Wykresy rozciągania innych materiałów	22
2.4. Naprężenia dopuszczalne. Współczynnik bezpieczeństwa	25
2.5. Zasada superpozycji	27
2.6. Układy statycznie niewyznaczalne	28
2.7. Naprężenia w pierścieniu poddanym działaniu ciśnienia wewnętrznego	30
2.8. Energia odkształcenia sprężystego w pręcie rozciągany	32
3. Analiza naprężeń i odkształceń	34

3.1.	Analiza naprężeń w jednokierunkowym stanie napięcia	34
3.2.	Naprężenia w dwukierunkowym (płaskim) stanie napięcia	37
3.3.	Metoda wykreślna wyznaczania naprężeń. Koło Mohra	38
3.4.	Analiza naprężeń w płaskim stanie napięcia	40
3.5.	Wyznaczanie naprężeń głównych w płaskim stanie naprężenia	42
3.6.	Uproszczona analiza naprężeń w przestrzennym stanie naprężenia	44
3.7.	Zmiana wymiarów poprzecznych rozciąganego pręta. Liczba Poissona	45
3.8.	Odształcenia w dwukierunkowym (płaskim) stanie napięcia	47
3.9.	Prawo Hooke'a w trójwymiarowym (przestrzennym) stanie napięcia	48
3.10.	Energia sprężysta i zmiana objętości materiału w trójkierunkowym stanie naprężenia	49
4.	Ścinanie	50
4.1.	Czyste ścinanie	50
4.2.	Prawo Hooke'a przy ścinaniu	52
4.3.	Zależność między modułem sprężystości postaciowej G a modułem Younga E	53
4.4.	Energia sprężysta przy ścinaniu	56
4.5.	Uprozczone obliczenia na ścinanie	56
5.	Skęcanie prętów o przekroju kołowym	59
5.1.	Opis odkształceń pręta skęcane	59
5.2.	Analiza odkształceń i naprężeń w pręcie skęcany	61
5.3.	Naprężenia maksymalne i kąt skęcania pręta	63
5.4.	Biegunowy moment bezwładności J_0 przekroju kołowego	65
5.5.	Obliczanie wytrzymałościowe wału pełnego	65
5.6.	Energia sprężysta w pręcie skęcany	66
5.7.	Praca i moc momentu skęcającego	68
5.8.	Wały wydrążone	69
5.9.	Statycznie niewyznaczalne przypadki skęcania wałów	70
5.10.	Naprężenia w sprężynach śrubowych	71
5.11.	Obliczanie odkształceń sprężyn śrubowych	73
6.	Skęcanie swobodne prętów o dowolnych kształtach przekrojów poprzecznych	74
6.1.	Rozkład naprężeń stycznych w prętach skęcanych	74
6.2.	Analogia hydrodynamiczna	76
6.3.	Swobodne skęcanie prętów cienkościennych o przekroju zamkniętym. Wzory Bredta	77
6.4.	Swobodne skęcanie prętów o przekroju prostokątnym	79
6.5.	Swobodne i nieswobodne skęcanie prętów	81
6.6.	Swobodne skęcanie prętów cienkościennych o przekrojach otwartych	81
7.	Momenty bezwładności figur płaskich	83
7.1.	Moment bezwładności względem osi	83
7.2.	Momenty bezwładności względem osi równoległych. Wzór Steinera	85
7.3.	Odśrodkowy moment bezwładności	86
7.4.	Wzór Steinera dla odśrodkowych momentów bezwładności	87
7.5.	Moment bezwładności względem układu osi obróconych	89
7.6.	Osie główne i momenty bezwładności względem osi głównych	90
7.7.	Koło Mohra dla momentów bezwładności	91
8.	Zginanie	93
8.1.	Uwagi ogólne. Rodzaje zginania	93

8.2. Definicje sił normalnych, sił tnących i momentów gnących	95
8.3. Związek między siłą tnącą, momentem gnącym i obciążeniem ciągłym	96
8.4. Wykresy sił tnących i momentów gnących	97
8.5. Opis odkształceń belki poddanej czystemu zginaniu	101
8.6. Analiza naprężeń w pręcie zginanym	103
8.7. Wnioski i uogólnienia wynikające z przedstawionej teorii czystego zginania	107
8.8. Belki o równomiernej wytrzymałości na zginanie	108
8.9. Zginanie ukośne	110
8.10. Energia sprężysta w prętach zginanych	112

Część druga

WYTRZYMAŁOŚĆ ZŁOŻONA

9. Hipotezy wytrzymałościowe	115
9.1. Wprowadzenie	115
9.2. Hipoteza największych naprężeń normalnych ($\sigma_{\max}$)	116
9.3. Hipoteza największego wydłużenia względnego ($\epsilon_{\max}$)	116
9.4. Hipoteza największych naprężeń tnących ($\tau_{\max}$)	117
9.5. Hipoteza Hubera	118
9.6. Praktyczne wykorzystanie hipotez wytrzymałościowych. Naprężenia zredukowane	120
10. Podstawowe przypadki wytrzymałości złożonej	123
10.1. Zginanie i skręcanie	123
10.2. Zginanie i ścinanie	126
10.3. Rozkład naprężeń tnących w belkach o przekroju prostokątnym	129
10.4. Rozkład naprężeń stycznych (tnących) w belce o przekroju kołowym	130
10.5. Rozkład naprężeń tnących w belce o przekroju dwuteowym	132

Część trzecia

LINIE UGIĘCIA BELEK

11. Metoda analityczna wyznaczania linii ugięcia belek	135
11.1. Równanie różniczkowe linii ugięcia	135
11.2. Linia ugięcia belki wspornikowej	136
11.3. Linia ugięcia belki podpartej na końcach, obciążonej w środku siłą skupioną P oraz na całej długości obciążeniem ciągłym q	139
11.4. Linia ugięcia belki podpartej na końcach, obciążonej parą sił o momencie M_0	141
11.5. Linia ugięcia belki podpartej na końcach, obciążonej siłą poprzeczną	143
11.6. Uproszczony sposób wyznaczania stałych całkowania. Metoda Clebscha	145
11.7. Zastosowanie metody Clebscha do belek zginanych parą sił o momencie M_0 i obciążeniem ciągłym q	148
12. Metoda wykreślno-analityczna wyznaczania linii ugięcia	150
12.1. Metoda wykreślno-analityczna wyznaczania linii ugięcia belek (metoda obciążeń wtórnych)	150
12.2. Przykłady zastosowania metody wykreślno-analitycznej	151

13. Wyboczenie	155
13.1. Utrata stateczności (wyboczenie) pręta ściskanego	155
13.2. Inne przypadki wyboczenia prętów	158
13.3. Naprężenia krytyczne. Smukłość pręta	159
13.4. Granica stosowalności wzoru Eulera. Wzory Tetmajera i Johnsona – Ostfelda	160

Część czwarta

STATYCZNIE NIEWYZNACZALNE I ZŁOŻONE PRZYPADKI ZGINANIA BELEK

14. Statycznie niewyznaczalne przypadki zginania belek	165
14.1. Jednokrotnie statycznie niewyznaczalny przykład zginania belki	165
14.2. Dwukrotnie statycznie niewyznaczalny przykład zginania belki	168
14.3. Obliczanie ram	170
14.4. Belki na trzech podporach	173
14.5. Belki wielopodporowe	175
14.6. Równanie trzech momentów	176
14.7. Obliczanie belek za pomocą równania trzech momentów	179
15. Belki na podłożu sprężystym	183
15.1. Interpretacja fizyczna kolejnych pochodnych równania linii ugięcia belki	183
15.2. Równanie linii ugięcia belki spoczywającej na podłożu sprężystym	185
15.3. Równanie linii ugięcia belki długiej na podłożu sprężystym	187
16. Pręty smukłe	189
16.1. Pręty smukłe ściskane i zginane	189
16.2. Przykłady obliczania prętów smukłych ściskanych i zginanych	193
17. Zginanie prętów silnie zakrzywionych	196
17.1. Rozkład naprężeń w zginanym pręcie silnie zakrzywionym	196
17.2. Wyznaczanie promienia krzywizny warstwy obojętnej w prętach silnie zakrzywionych	198

Część piąta

METODY ENERGETYCZNE

18. Energia sprężysta układu liniowosprężystego. Twierdzenie Castigliano	203
18.1. Energia sprężysta w prętach rozciąganych, skręcanych lub zginanych	203
18.2. Energia sprężysta od sił tnących	204
18.3. Wzór ogólny na energię sprężystą w prętach prostych	206
18.4. Siły uogólnione i współrzędne uogólnione. Układ Clapeyrona	208
18.5. Twierdzenie Castigliano	210
18.6. Obliczanie przemieszczeń prętów za pomocą twierdzenia Castigliano. Wprowadzanie sił dodatkowych	212
18.7. Uwagi dotyczące zasady superpozycji w metodach energetycznych	214
19. Twierdzenie Menabrea i zasada Bettiego	217

19.1. Twierdzenie Menabrea	217
19.2. Obliczanie statycznie niewyznaczalnych belek i ram za pomocą twierdzenia Menabrea	219
19.3. Zasada symetrii i antysymetrii	221
19.4. Zasada wzajemności prac (Bettiego) i wzajemności przemieszczeń (Maxwella)	224
20. Równania Maxwella—Mohra	227
20.1. Wyznaczanie przemieszczeń w układach statycznie wyznaczalnych. Metoda Maxwella—Mohra	227
20.2. Uproszczona metoda obliczania całek we wzorze Maxwella—Mohra	229
20.3. Przykłady obliczania odkształceń za pomocą wzoru Maxwella—Mohra	233
20.4. Równania Maxwella—Mohra	235
20.5. Przykład rozwiązywania układu statycznie niewyznaczalnego za pomocą równań Maxwella—Mohra	237

Część szósta

WYBRANE ZAGADNIENIA WYTRZYMAŁOŚCI MATERIAŁÓW

21. Zginanie płyt cienkich	239
21.1. Walcowe zginanie płyt	239
21.2. Dwa wzajemnie prostopadłe czyste zginania płyt	242
21.3. Obliczanie płyt kołowsymetrycznych	243
22. Obliczanie naczyń cienkościennych, rur grubościennych i krążków wirujących	248
22.1. Naprężenia błonowe w powłokach osiowsymetrycznych	248
22.2. Naprężenia błonowe w powłoce kulistej	250
22.3. Naprężenia błonowe w zbiorniku walcowym	251
22.4. Naprężenia błonowe w zbiorniku stożkowym	252
22.5. Naprężenia w rurach grubościennych (zadanie Lamégo)	253
22.6. Obliczanie wirujących krążków o stałej grubości	256
22.7. Krążek wirujący o równej wytrzymałości	258
23. Środek sił poprzecznych i nieswobodne skręcanie prętów	261
23.1. Środek sił poprzecznych	261
23.2. Wyznaczanie położenia środka sił poprzecznych	263
23.3. Przykłady wyznaczania położenia środka sił poprzecznych	266
23.4. Nieswobodne skręcanie prętów	268
23.5. Nieswobodne skręcanie pręta o przekroju dwuteowym	269
24. Naprężenia kontaktowe (dociskowe) i spiętrzenie naprężeń	274
24.1. Naprężenia dociskowe. Wzory Hertza	274
24.2. Naprężenia zredukowane przy ściskaniu kul i wałków. Wzory Bielajewa	276
24.3. Spiętrzenie naprężeń. Współczynnik kształtu	277
25. Zmęczenie materiałów	280
25.1. Zjawisko zmęczenia i rodzaje cykli naprężeń	280
25.2. Wytrzymałość zmęczeniowa przy cyklu obustronnym. Wykres Wöhlera	281
25.3. Wytrzymałość zmęczeniowa przy cyklach niesymetrycznych. Wykres Smitha i wykres Haigha	283
25.4. Wpływ spiętrzenia naprężeń i innych czynników na wytrzymałość zmęczeniową	285