

---

Od Autorów . . . . .	11
----------------------	----

---

1. Wprowadzenie . . . . .	13
---------------------------	----

---

1.1. Charakterystyka przedmiotu . . . . .	13
1.2. Zadania i metody . . . . .	16
1.3. Rodzaje, modele i schematy obliczeniowe konstrukcji . . . . .	17
1.4. Analiza kinematyczna . . . . .	20
1.5. Statyczna i kinematyczna niewyznaczalność . . . . .	31
1.6. Siły wewnętrzne – przekrojowe . . . . .	32
1.7. Stan naprężenia, przemieszczenia, stan odkształcenia . . . . .	34
1.8. Podstawowe założenia . . . . .	38

---

2. Określanie podstawowych właściwości mechanicznych materiałów . . . . .	44
---	----

---

2.1. Metody badań wytrzymałościowych . . . . .	44
2.2. Próba statyczna rozciągania . . . . .	45
2.3. Próba ściskania . . . . .	56
2.4. Uproszczone wykresy rozciągania i ściskania . . . . .	58
2.5. Próba udarności . . . . .	60
2.6. Wpływ czasu i zmienności obciążeń na właściwości wytrzymałościowe materiałów . . . . .	62

---

3. Rozciąganie i ściskanie prętów prostych . . . . .	63
--	----

---

3.1. Naprężenia dopuszczalne. Obliczenia wytrzymałościowe ze względu na naprężenia dopuszczalne . . . . .	63
3.2. Uwagi ogólne o spiętrzeniu naprężeń . . . . .	65
3.3. Wpływ ciężaru własnego na naprężenia . . . . .	67
3.4. Rozwiązywanie statycznie niewyznaczalnych układów prętowych . . . . .	71
3.5. Niedokładności wymiarowe w układach statycznie niewyznaczalnych. Układy wstępnie napięte . . . . .	75
3.6. Odkształcenia i naprężenia wywołane zmianą temperatury . . . . .	78
3.7. Nośność graniczna układów statycznie niewyznaczalnych. Obciążenie graniczne . . . . .	82
3.7.1. Obliczenie ze względu na naprężenia dopuszczalne . . . . .	82
3.7.2. Obliczenie ze względu na obciążenie graniczne . . . . .	83
3.8. Nieliniowosprężysty układ prętów . . . . .	84

3.8.	Nieliniowosprężysty układ prętów . . . . .	84
<b>4.</b>	<b>Teoria stanu naprężenia . . . . .</b>	<b>87</b>
4.1.	Naprężenia we wzajemnie prostopadłych przekrojach . . . . .	87
4.2.	Równania równowagi stanu naprężenia. Twierdzenie o wzajemności naprężeń stycznych . . . . .	89
4.3.	Naprężenia w punkcie zależnie od orientacji przekroju . . . . .	91
4.4.	Zmiana układu osi. Tensor stanu naprężenia . . . . .	93
4.5.	Kierunki główne w ogólnym stanie naprężenia . . . . .	96
4.6.	Odwzorowanie stanu naprężenia kołami Mohra . . . . .	100
4.7.	Płaski stan naprężenia . . . . .	104
4.8.	Przykłady szczególnych stanów naprężenia . . . . .	111
<b>5.</b>	<b>Teoria stanu odkształcenia . . . . .</b>	<b>113</b>
5.1.	Składowe stanu odkształcenia . . . . .	113
5.2.	Odształcenia i kierunki główne stanu odkształcenia . . . . .	116
5.3.	Odształcenia objętościowe i postaciowe . . . . .	121
<b>6.</b>	<b>Związki między stanem odkształcenia a stanem naprężenia . . . . .</b>	<b>124</b>
6.1.	Uogólnione prawo Hooke'a . . . . .	124
6.2.	Moduł ściśliwości sprężystej. Związki między składowymi kulistymi i dewiatorowymi tensorów odkształcenia i naprężenia . . . . .	127
6.3.	Energia sprężysta . . . . .	129
6.4.	Uogólnione prawo Hooke'a dla materiałów liniowosprężystych anizotropowych . . . . .	133
<b>7.</b>	<b>Wyężenie i wytrzymałość . . . . .</b>	<b>140</b>
7.1.	Podstawowe pojęcia hipotez wyężenia . . . . .	140
7.2.	Hipotezy największego rozciągania i największego naprężenia normalnego . . . . .	143
7.3.	Hipotezy odkształceń właściwych . . . . .	144
7.4.	Hipotezy największych naprężeń stycznych . . . . .	145
7.5.	Hipotezy energetyczne . . . . .	149
7.6.	Uwagi o stosowaniu hipotez wyężeniowych . . . . .	155
7.7.	Krucze pękanie . . . . .	155
<b>8.</b>	<b>Geometryczne charakterystyki przekrojów . . . . .</b>	<b>164</b>
8.1.	Pojęcie momentu bezwładności . . . . .	164
8.2.	Momenty bezwładności w prostokątnym układzie współrzędnych . . . . .	165
8.3.	Wpływ przesunięcia osi na momenty bezwładności. Twierdzenie Steinera . . . . .	168
8.4.	Obrót układu osi, główne osie i główne momenty bezwładności . . . . .	170
8.5.	Zastosowanie programów komputerowych do wyznaczania charakterystyk geometrycznych figur płaskich . . . . .	175
<b>9.</b>	<b>Zginanie prętów . . . . .</b>	<b>179</b>
9.1.	Siły poprzeczne i momenty gnące . . . . .	179

9.2.	Siły poprzeczne i momenty gnące w belkach . . . . .	180
9.3.	Zależności różniczkowe między obciążeniem i siłami wewnętrznymi . . . . .	184
9.4.	Zastosowanie zasady superpozycji przy wyznaczaniu sił wewnętrznych . . . . .	193
9.5.	Obciążenie ruchome. Linie wpływowe . . . . .	195
9.6.	Naprężenia i odkształcenia w pręcie równomiernie zginanym . . . . .	201
9.7.	Wytrzymałość na zginanie . . . . .	205
9.8.	Belki o równomiernej wytrzymałości na zginanie . . . . .	212
9.9.	Naprężenia przy zginaniu ukośnym (złożonym) . . . . .	214
9.10.	Zginanie prętów z materiału sprężysto-plastycznego. Moment gnący graniczny . . . . .	217
<hr/>		
10.	Przemieszczenia prętów zginanych . . . . .	223
<hr/>		
10.1.	Równanie różniczkowe osi ugiętej . . . . .	223
10.2.	Uproszczenia w całkowaniu równania różniczkowego osi ugiętej . . . . .	232
10.3.	Zastosowanie zasady superpozycji do wyznaczania przemieszczeń . . . . .	238
10.4.	Przemieszczenia pręta prostego przy zginaniu ukośnym . . . . .	239
10.5.	Zginanie belki na podłożu sprężystym . . . . .	245
<hr/>		
11.	Liny . . . . .	251
<hr/>		
11.1.	Wprowadzenie . . . . .	251
11.2.	Sposób dokładny . . . . .	252
11.3.	Sposób uproszczony . . . . .	257
11.3.1.	Zależności ogólne . . . . .	257
11.3.2.	Charakterystyczne przypadki obciążenia . . . . .	261
11.3.3.	Obciążenia złożone . . . . .	266
11.3.4.	Uwzględnianie wzdłużnej odkształcalności liny . . . . .	269
11.3.5.	Obciążenie dodatkowe w postaci siły skupionej . . . . .	270
11.3.6.	Przesuw podpory . . . . .	272
11.3.7.	Przesuw podpory ograniczony sprężystości . . . . .	274
11.3.8.	Zmiany temperatury . . . . .	275
<hr/>		
12.	Skręcanie swobodne prętów o przekroju kołowym . . . . .	282
<hr/>		
12.1.	Skręcanie swobodne i nieswobodne . . . . .	282
12.2.	Teoria skręcania prętów o przekrojach kołowych . . . . .	282
12.3.	Obliczenia wytrzymałościowe skręcanych prętów o przekrojach kołowych . . . . .	285
12.4.	Skręcanie sprężysto-plastyczne . . . . .	288
12.5.	Przemieszczenia prętów skręcanych . . . . .	290
<hr/>		
13.	Skręcanie swobodne prętów o przekroju dowolnym . . . . .	294
<hr/>		
13.1.	Uwagi o skręcaniu prętów o przekrojach niekołowych . . . . .	294
13.2.	Podstawy teorii de Saint-Venanta skręcania prętów . . . . .	295
13.3.	Pręt o przekroju eliptycznym . . . . .	299
13.4.	Pręt o przekroju prostokątnym . . . . .	301
13.5.	Analogia błonowa . . . . .	302
13.6.	Pręt o wąskim przekroju prostokątnym . . . . .	306
13.7.	Pręty cienkościennie o przekroju otwartym . . . . .	308
13.8.	Pręty cienkościennie o przekroju zamkniętym . . . . .	311

13.9.	Porównanie sztywności i nośności prętów rurowych o przekroju otwartym i zamkniętym . . . . .	313
13.10.	Rury cienkościenne z przegrodami . . . . .	314
<hr/>		
14.	Złożone działanie sił wewnętrznych w prętach prostych . . . . .	320
<hr/>		
14.1.	Naprężenia w pręcie rozciągany lub ściskanym i zginany . . . . .	320
14.2.	Energia sprężysta pręta zginanego i rozciąganego lub ściskanego . . . . .	326
14.3.	Rdzeń przekroju . . . . .	327
14.4.	Ścinanie pręta prostego. Uprozczone obliczenia na ścinanie . . . . .	330
14.5.	Naprężenia styczne przy zginaniu nierównomiernym . . . . .	334
14.6.	Trajektorie naprężeń w nierównomiernie zginanej belce . . . . .	346
14.7.	Wpływ sił poprzecznych na przemieszczenia belki. Energia sprężysta ścinania pręta prostego . . . . .	349
14.8.	Równoczesne działanie momentu skręcającego i siły podłużnej lub momentu gnącego . . . . .	354
14.9.	Równoczesne działanie momentu gnącego i siły podłużnej . . . . .	357
<hr/>		
15.	Twierdzenia ogólne o układach sprężystych . . . . .	361
<hr/>		
15.1.	Zasada prac przygotowanych . . . . .	361
15.2.	Wariacyjne równanie Lagrange'a . . . . .	364
15.3.	Twierdzenie o minimum energii sprężystej . . . . .	365
15.4.	Wyznaczanie sił i przemieszczeń w układach sprężystych . . . . .	366
15.5.	Układy liniowosprężyste . . . . .	369
15.6.	Energia sprężysta układów Clapeyrona . . . . .	373
15.7.	Twierdzenie o wzajemności prac i przemieszczeń . . . . .	376
15.8.	Twierdzenie Castigliana . . . . .	379
15.9.	Wyznaczanie przemieszczeń metodą Maxwella-Mohra . . . . .	383
15.10.	Zasada minimum energii Menabrei-Castigliana . . . . .	390
15.11.	Wariacyjne metody energetyczne . . . . .	396
15.12.	Metoda sił. Zasady ogólne . . . . .	397
15.12.1.	Istota metody sił . . . . .	397
15.12.2.	Stopień statycznej niewyznaczalności . . . . .	399
15.12.3.	Układ podstawowy metody sił . . . . .	399
15.12.4.	Nadliczbowe niewiadome . . . . .	400
15.12.5.	Równania kanoniczne metody sił . . . . .	400
15.12.6.	Współczynniki przy niewiadomych i wyrazy wolne równań kanonicznych metody sił . . . . .	401
15.12.7.	Rozwiązanie równań kanonicznych metody sił . . . . .	408
15.12.8.	Opracowanie wyników końcowych . . . . .	408
15.12.9.	Kontrola wyników . . . . .	408
15.13.	Metoda przemieszczeń. Zasady ogólne . . . . .	414
<hr/>		
16.	Pręty zakrzywione . . . . .	418
<hr/>		
16.1.	Stan naprężenia w zginany i rozciągany pręcie zakrzywionym . . . . .	418
16.2.	Energia sprężysta pręta zakrzywionego . . . . .	427
16.3.	Przemieszczenia prętów zakrzywionych . . . . .	429
16.4.	Sprężyny śrubowe walcowe . . . . .	435

17.	Stateczność prętów . . . . .	441
17.1.	Zagadnienie stateczności w wytrzymałości materiałów	441
17.2.	Sprężyste wyboczenie pręta . . . . .	444
17.3.	Sprężysto-plastyczne wyboczenie pręta . . . . .	455
17.4.	Obliczenia wytrzymałościowe na wyboczenie . . . . .	461
17.5.	Energetyczna metoda wyznaczania siły krytycznej	467
17.6.	Niektóre kierunki analizy stateczności . . . . .	474
18.	Metoda elementów skończonych w zastosowaniu do układów prętowych . . . . .	478
18.1.	Uwagi wstępne	478
18.2.	Zasada MES . . . . .	479
18.3.	Macierz sztywności elementu prętowego	480
18.4.	Stopnie swobody . . . . .	485
18.5.	Tworzenie macierzy sił, reakcji i przemieszczeń . . . . .	486
18.6.	Układy odniesienia. Transformowanie	491
18.7.	Węzły . . . . .	495
18.8.	Obciążenia . . . . .	496
18.9.	Wyniki obliczeń . . . . .	497
18.10.	Tok postępowania	499
Literatura		524
Skorowidz		531