

Spis treści

Część III

LINIOWE USTROJE DWUWYMIAROWE I TRÓJWYMIAROWE

Rozdział 1. Wprowadzenie	7
1.1. Budowa, zastosowanie i podział ustrojów dwuwymiarowych	7
1.2. Modele i metody ich analizy	11
1.2.1. Płaski stan naprężenia	11
1.2.2. Płaski stan odkształcenia	14
1.2.3. Metody analizy wytrzymałościowej	15
1.3. Ustroje trójwymiarowe	17
Rozdział 2. Rury grubościennne. Tarcze kołowe i prostokątne	18
2.1. Obciążone osiowosymetrycznie rury grubościennne o przekroju kołowym	18
2.1.1. Podstawowe zależności	18
2.1.2. Zadanie Lamégo	22
2.1.3. Połączenia wciskowe. Rury wielowarstwowe	27
2.2. Tarcze kołowe obciążone osiowosymetrycznie	32
2.2.1. Zastosowanie tarcz kołowych, ich rodzaje i budowa	32
2.2.2. Tarcze wirujące o stałej grubości nieogrzone	33
2.2.3. Tarcze o zmiennej grubości ogrzone. Rozwiązania analityczne i przybliżone	37
2.3. Tarcze niekołowe. Podstawowe rozwiązania analityczne	44
Rozdział 3. Płyty i powłoki	46
3.1. Płyty kołowe obciążone osiowosymetrycznie	47
3.1.1. Podstawowe założenia i zależności	47
3.1.2. Rozwiązanie analityczne	52
3.2. Płyty prostokątne	60
3.2.1. Podstawowe zależności	60
3.2.2. Metody rozwiązywania	66
3.3. Powłoki osiowosymetryczne. Błonowy stan napięcia	71
3.4. Powłoki osiowosymetryczne. Zgięciowy stan napięcia	83
3.4.1. Podstawowe założenia i zależności	83
3.4.2. Stan zgięciowy powłoki walcowej	86

Rozdział 4. Pręty cienkościenne	95
4.1. Uwagi wstępne	95
4.2. Pręty o przekroju otwartym	97
4.2.1. Zginanie	97
4.2.2. Skręcanie	103
4.3. Pręty o przekroju zamkniętym	110
4.4. Uwagi końcowe	114

Rozdział 5. Przykłady analizy ustrojów trójwymiarowych	120
5.1. Uwagi wstępne	120
5.2. Grubościenna powłoka kulista pod działaniem ciśnienia wewnętrznego i zewnętrznego	122
5.3. Inne rozwiązania	123

Część IV

NAPRĘŻENIA CIEPLNE, KONSTRUKCJE KOMPOZYTOWE

Rozdział 1. Naprężenia cieplne	126
1.1. Wstęp. Znaczenie naprężeń cieplnych w technice	126
1.2. Podstawowe wiadomości z wymiany ciepła	130
1.2.1. Elementarne pojęcia. Rodzaje wymiany ciepła	130
1.2.2. Równania opisujące wymianę ciepła	133
1.3. Naprężenia termiczne w wybranych dwuwymiarowych i trójwymiarowych zagadnieniach teorii sprężystości	138
1.3.1. Tarcze kołowe i rury przy osiowosymetrycznym rozkładzie temperatury	138
1.3.2. Naprężenia cieplne w ośrodkach niejednorodnych	143
1.3.3. Naprężenia cieplne w kuli i ścianie sferycznej	145
1.3.4. Naprężenia cieplne w powłoce cylindrycznej	149
1.4. Uderzenia cieplne	153
Rozdział 2. Konstrukcje kompozytowe	157
2.1. Wprowadzenie	157
2.2. Materiały anizotropowe. Związki konstytutywne	158
2.3. Odształcenia i naprężenia w warstwie ortotropowej	165
2.4. Hipotezy wyężeniowe dla materiałów ortotropowych	172
2.5. Wyznaczanie zastępczych modułów sprężystości elementów kompozytowych	177
2.6. Podstawowe związki mechaniki laminatów	181
2.7. Wytrzymałość laminatów warstwowych i innych elementów konstrukcji kompozytowych	182

Część V

ZAGADNIENIA NIELINIOWE W WYTRZYMAŁOŚCI KONSTRUKCJI

Rozdział 1. Duże przemieszczenia i odształcenia ustrojów	186
1.1. Duże ugięcia belek	186
1.1.1. Przemieszczenia, odształcenia i naprężenia w przekroju belki	187
1.1.2. Wypadkowe siły i momenty wewnętrzne	190
1.1.3. Nieliniowe równania równowagi belki	191
1.2. Nieliniowa techniczna teoria powłok o małej wyniosłości	197
1.2.1. Deformacja powierzchni środkowej oraz przemieszczenia punktów powłoki	198
1.2.2. Odształcenia powłoki	200
1.2.3. Naprężenia w powłoce oraz wypadkowe siły i momenty	206

1.2.4. Nieliniowe równania równowagi	209
1.2.5. Równania przemieszczeniowe powłok	212
1.2.6. Liniowe i nieliniowe równania równowagi płyt i powłok cylindrycznych i kulistych	215
1.2.7. Warunki brzegowe	217
1.2.8. Równania stateczności płyt i powłok o małej wyniosłości	218
1.3. Duże ugięcia płyt i powłok o małej wyniosłości	221
1.3.1. Duże ugięcia płyt prostokątnych	222
1.3.2. Duże ugięcia paneli walcowych	226
Rozdział 2. Problemy stateczności ustrojów jednowymiarowych i dwuwymiarowych	229
2.1. Stateczność ustrojów prętowych	229
2.2. Stateczność płyt prostokątnych	238
2.2.1. Obciążenia krytyczne ściskanych płyt prostokątnych	238
2.2.2. Obciążenia krytyczne ścinanych płyt prostokątnych	244
2.3. Stateczność powłok walcowych	246
2.3.1. Obciążenia krytyczne ściskanych powłok walcowych	247
2.3.2. Obciążenia krytyczne skręcanych powłok walcowych o małej i średniej długości	249
Rozdział 3. Analiza ustrojów sprężysto-plastycznych	253
3.1. Sprężysto-plastyczne skręcanie prętów kołowoosymetrycznych	254
3.2. Sprężysto-plastyczne zginanie prętów przyrzmatycznych	257
3.2.1. Przekroje o dwóch osiach symetrii	258
3.2.2. Przekroje o jednej osi symetrii	261
3.3. Nośność graniczna belek i ram statycznie wyznaczalnych	265
3.4. Nośność graniczna belek i ram statycznie niewyznaczalnych	268
3.4.1. Metoda kolejnego wyznaczania przegubów plastycznych	269
3.4.2. Twierdzenia ekstremalne teorii nośności granicznej	272
3.4.3. Przystosowanie się konstrukcji do obciążeń zmiennych w czasie	280
Rozdział 4. Naprężenia kontaktowe	282
4.1. Rozwiązania Hertza i Bielajewa	283
4.2. Zagadnienia stempli działających na półprzestrzeń sprężystą	288

Część VI

ZAGADNIENIA DYNAMICZNE W WYTRZYMAŁOŚCI KONSTRUKCJI

Rozdział 1. Drgania	291
1.1. Drgania ustrojów belkowych i prętowych	292
1.1.1. Drgania giętne belek	293
1.1.2. Drgania wzdłużne prętów	301
1.2. Drgania płyt i tarcz	306
1.3. Drgania powłok	312
1.3.1. Drgania powłok cylindrycznych	312
1.3.2. Drgania czaszy kulistej	316
1.4. Drgania własne ustrojów obciążonych siłami statycznymi	318
1.4.1. Drgania własne giętne belek obciążonych siłami osiowymi	319
1.4.2. Drgania własne giętne ściskanych powłok i płyt	322
Rozdział 2. Fale sprężyste i zagadnienia udarowe	326
2.1. Jednowymiarowe fale wzdłużne w prętach	326
2.2. Przybliżona analiza zjawisk udarowych	330

Część VII

METODY NUMERYCZNE W WYTRZYMAŁOŚCI KONSTRUKCJI

Rozdział 1. Przybliżone metody numeryczne	336
Rozdział 2. Metoda różnic skończonych	342
Rozdział 3. Metoda elementów brzegowych	349
3.1. Metoda elementów brzegowych dla równania Poissona	350
3.2. Dwuwymiarowe zagadnienie teorii sprężystości. Brzegowe równanie całkowe	353
3.3. Algorytmy numeryczne MEB w dwuwymiarowym zadaniu teorii sprężystości	358
Rozdział 4. Metoda elementów skończonych	366
4.1. Koncepcja metody na przykładzie równania Poissona	366
4.2. MES w analizie konstrukcji prętowych	369
4.2.1. Belki	370
4.2.2. Pręty rozciągane i skręcane. Sprężyny	383
4.2.3. Kratownice i ramy płaskie	389
4.2.4. Przestrzenne kratownice i ramy	394
4.3. Dwuwymiarowe i trójwymiarowe zadania teorii sprężystości	396
4.3.1. Wykorzystywane związki i algorytmy obliczeń	396
4.3.2. Najprostszy trójkątny element skończony	407
4.3.3. Schemat działania programu metody elementów skończonych	413
4.4. Wybrane problemy w metodzie elementów skończonych. Drgania, obciążenia krytyczne, naprężenia cieplne, zagadnienia nieliniowe	414
4.4.1. Analiza drgań konstrukcji	414
4.4.2. Utrata stateczności. Obciążenie krytyczne	425
4.4.3. Naprężenia cieplne	436
4.4.4. Podstawy analiz nieliniowych	441
4.5. MES w praktyce inżynierskiej	448
4.5.1. Dokładność obliczeń metodą elementów skończonych	449
4.5.2. Wykorzystanie profesjonalnych systemów obliczeniowych	453

Część VIII

METODY DOŚWIADCZALNE W WYTRZYMAŁOŚCI KONSTRUKCJI

Wprowadzenie	457
Metody kontaktowe	458
Metody optyczne	461
Metoda moire	461
Metoda elastooptyczna i jej warianty	465
Inne optyczne metody badań	471
Inne metody bezkontaktowe	472
Metody pomiaru naprężeń własnych	477
Bibliografia	484
Skorowidz	487