

Spis treści

Przedmowa	7
Przedmowa do wydania drugiego	9
1. Wprowadzenie	11
1.1. Ogólna charakterystyka metod obliczeniowych	11
1.2. Syntetyczny opis metody elementów skończonych (MES)	18
1.3. Wybrane przykłady zastosowań MES	26
2. Technika MES na przykładzie analizy konstrukcji ramowych	30
2.1. Podatność i sztywność	30
2.2. Podstawowe równania pręta	33
2.3. Element ramy	38
2.3.1. Algorytm wyznaczania macierzy sztywności elementu	50
2.3.2. Podłoże typu Winklera	51
2.3.3. Kondensacja statyczna i modyfikacja macierzy sztywności	53
2.3.4. Wpływ obciążeń międzywęzłowych	55
2.4. Globalna macierz sztywności	60
2.4.1. Transformacje w układach kartezjańskich	60
2.4.2. Uwzględnianie mimośrodów	66
2.4.3. Warunki równowagi i zgodności w węzłach	69
2.4.4. Warunki brzegowe	77
2.4.5. Wektor alokacji	81
2.5. Przykład analizy statycznej ramy płaskiej	85
3. Algorytmy MES	90
3.1. Wybrane algorytmy numeryczne	90
3.2. Algorytmy ideowe	97
3.3. Algorytm użytkownika systemu	111
4. Analiza statyczna konstrukcji dwu- i trójwymiarowych	113
4.1. Elementy tarczowe	113
4.1.1. Podstawowe równania tarczy	113
4.1.2. Element prostokątny	117
4.1.3. Element trójkątny	122
4.1.4. Uogólnione parametry węzłowe	125
4.1.5. Elementy wyższych rzędów	128
4.2. Element pierścieniowy	132
4.3. Elementy trójwymiarowe	136
4.3.1. Element czworościenny	136
4.3.2. Inne elementy trójwymiarowe	140
4.4. Element płytowy	143
4.4.1. Podstawowe równania płyty cienkiej	143
4.4.2. Element prostokątny	148

4.4.3. Element trójkątny	152
4.4.4. Przykłady elementów płytowych dostosowanych	157
4.4.5. Warunki brzegowe	160
4.5. Elementy powłokowe	162
4.5.1. Podstawowe równania technicznej teorii powłok cienkich mało wyniosłych	164
4.5.2. Płaski trójkątny element powłokowy	169
4.5.3. Prostokątny element powłoki translacyjnej	174
4.5.4. Stożkowy element pierścieniowy	184
4.5.5. Warunki brzegowe w powłokach	187
4.6. Przykłady zastosowania MES	188
5. Wybrane problemy analizy elementu	197
5.1. Koncepcja superelementu	197
5.2. Element izoparametryczny	199
5.2.1. Rozważania wstępne	199
5.2.2. Szczególna postać współrzędnych naturalnych – współrzędne barycentryczne	214
5.2.3. Zdegenerowane elementy izoparametryczne	219
5.2.3.1. Belka Timoshenki	219
5.2.3.2. Płyta Mindlina	223
5.2.3.3. Element powłokowy Ahmada	226
5.2.4. Niektóre problemy ujęcia izoparametrycznego	230
5.3. Przykład zastosowania elementów izoparametrycznych	235
6. Metoda elementów skończonych w zagadnieniach dynamiki	238
6.1. Równanie ruchu	238
6.2. Macierz bezwładności	241
6.2.1. Macierz bezwładności kratownicy	241
6.2.2. Macierz bezwładności ramy płaskiej	242
6.2.3. Macierz bezwładności ramy przestrzennej	243
6.2.4. Macierz bezwładności tarczy (PSN, PSO)	244
6.2.5. Macierz bezwładności płyty	245
6.2.6. Macierz bezwładności bryły	246
6.2.7. Diagonalizacja macierzy bezwładności	246
6.3. Macierz tłumienia	246
6.4. Drgania swobodne	247
6.5. Redukcja liczby stopni swobody	250
6.6. Numeryczne całkowanie równania ruchu	252
6.6.1. Uogólniona metoda różnic skończonych	252
6.6.2. Metoda SSPj (Zienkiewicza–Wood)	257
6.6.3. Metoda Newmarka	261
6.6.4. Metoda Wilsona	263
6.6.5. Metoda Houbolta	265
6.6.6. Analiza metod numerycznego całkowania równania ruchu	267
6.7. Superpozycja modalna	276
6.8. Przykłady analizy dynamicznej	279

7. Podstawy analizy nieliniowej	284
7.1. Nieliniowości w mechanice konstrukcji	284
7.2. Metody numeryczne w analizie nieliniowej	289
7.2.1. Metoda przyrostowa	289
7.2.2. Metoda iteracyjna	292
7.2.3. Metoda mieszana	299
7.2.4. Analiza porównawcza metod	300
7.3. Nieliniowość geometryczna w prętach	302
7.3.1. Element kratownicy płaskiej	302
7.3.2. Element ramy płaskiej	304
7.4. Ścieżka równowagi	307
7.5. Stateczność początkowa	313
7.6. Stateczność z udziałem sił bezwładności	323
8. Problemy przewodnictwa ciepła	333
8.1. Analiza ustalonego przewodnictwa ciepła w ujęciu MES	333
8.2. Zagadnienie dwuwymiarowe	337
8.3. Zagadnienie trójwymiarowe	340
9. Inne koncepcje i ujęcia MES	343
9.1. Ujęcie naprężeniowe i hybrydowe	343
9.1.1. Ujęcie naprężeniowe	343
9.1.2. Ujęcie hybrydowe	346
9.2. Techniki adaptacyjne	348
9.2.1. Rozważania wstępne	348
9.2.2. Określenie i miara błędu	350
9.2.3. Oszacowania <i>a priori</i>	352
9.2.4. Oszacowania <i>a posteriori</i>	353
9.2.4.1. Odtwarzanie L_2	353
9.2.4.2. Punkty superzbieżności	355
9.2.4.3. Koncepcja łaty	357
9.2.5. Rozszerzenie N w wersji p z elementami hierarchicznymi	359
10. Problemy komputerowej implementacji MES	365
10.1. Rozwiązywanie układu równań	366
10.1.1. Rozwiązywanie metodą bezpośrednią	366
10.1.2. Obliczanie energii	370
10.1.3. Rozwiązywanie metodą iteracyjną	371
10.1.4. Problemy współpracy z pamięcią zewnętrzną komputera	372
10.2. Obliczanie wartości i wektorów własnych	374
10.2.1. Wyznaczanie dominującej wartości własnej metodą iteracji odwrotnej	374
10.2.2. Iteracja podprzestrzenna	375
10.3. Generowanie siatek	376
10.3.1. Technika prymitywów	377
10.3.2. Technika superelementów	379
10.3.3. Triangularyzacja	380

11. Modelowanie tworzyw i obiektów inżynierskich za pomocą MES	386
11.1. Modelowanie fizyczne konstrukcji	387
11.2. Modelowanie żelbetu	392
11.2.1. Model tarczy żelbetowej	392
11.2.2. Modele konstrukcji zginanych	394
11.2.3. Model konstrukcji trójwymiarowych	397
11.3. Modelowanie obszarów z różnymi stopniami swobody	399
11.3.1. Elementy przejściowe	399
11.3.1.1. Szeregowy element przejściowy rama-tarcza	399
11.3.1.2. Równoległy element przejściowy rama-tarcza	403
11.4. Nowe trendy w komputerowym modelowaniu materiałów	405

Dodatki

D1. Wprowadzenie do systemu ABAQUS	409
D1.1. Elementy składowe modelu ABAQUS	411
D1.2. Format pliku wejściowego	413
D1.3. Tworzenie pliku wejściowego	416
D1.4. Uruchamianie analizy	431
D1.5. Wyniki	432
D1.6. Postprocessing w ABAQUS/CAE	434
D2. Interpolacja Lagrange'a, Serendipa i Hermita	439
D2.1. Interpolacja Lagrange'a	439
D2.2. Funkcje Serendipa	441
D2.3. Interpolacja Hermita	443
D3. Całkowanie numeryczne	446
Literatura	450