

SPIS RZECZY

Od autorów	8
1. Wiadomości wstępne	10
2. Historia rozwoju metody elementów skończonych	15
3. Podstawy teoretyczne metody elementów skończonych	21
3.1. Założenia metody elementów skończonych	22
3.2. Podstawowe równania teorii sprężystości	26
3.2.1. Warunki równowagi	26
3.2.2. Równania stanu odkształceń	28
3.2.3. Związki fizyczne	28
3.3. Funkcje kształtu	29
3.4. Klasyfikacja elementów skończonych	39
4. Podstawowe pojęcia hipotez wyężeniowych	47
4.1. Hipoteza największych naprężęń stycznych	49
4.2. Hipoteza energetyczna	50
4.3. Hipoteza największego średniego naprężęń stycznego	52
4.4. Hipoteza największych naprężęń rozciągających i największych naprężęń głównych	52
4.5. Hipoteza największego odkształcenia głównego	53
4.6. Hipoteza energii odkształcenia	54
4.7. Hipoteza Druckera–Pragera	54
4.8. Hipoteza Burzyńskiego	55
4.9. Hipoteza energii pękania	56
4.10. Hipoteza odkształceń właściwych	56
4.11. Logarytmiczna hipoteza odkształceń	57
5. Płaski stan odkształcenia i płaski stan naprężęń	59
5.1. Płaski stan odkształcenia	59
5.2. Płaski stan naprężęń	63
6. Elementy tarczowe	67
6.1. Macierz sztywności trójkątnego elementu tarczowego	69
6.2. Macierz bezwładności trójkątnego elementu tarczowego	72
6.3. Elementy tarczowe wyższego rzędu	74
7. Elementy płytowe	78
7.1. Wymagania ciągłości dla funkcji kształtu	82
7.2. Dostosowane funkcje kształtu	85
7.3. Funkcje kształtu płytowych elementów skończonych	87
7.4. Macierz sztywności prostokątnego elementu płytowego	91
7.5. Macierz bezwładności prostokątnego elementu płytowego	95
7.6. Macierz bezwładności trójkątnego elementu płytowego	96
8. Elementy prętowe i belkowe	100
8.1. Macierz sztywności sztywnego elementu prętowego typu bar	102
8.2. Macierz sztywności elementu prętowego	105
8.3. Macierz sztywności elementu belkowego	107
8.4. Macierz bezwładności elementu belkowego	113
9. Elementy powłokowe	118
9.1. Macierz sztywności płaskiego trójkątnego elementu powłokowego	125

9.2. Izoparametryczne elementy powłokowe grubościennne	131
10. Elementy trójwymiarowe.....	138
10.1. Analiza trójwymiarowego stanu naprężeń	141
10.2. Macierz sztywności trójwymiarowego elementu TETRA4.....	142
10.3. Macierz bezwładności trójwymiarowego elementu TETRA4.....	146
10.4. Macierz sztywności trójwymiarowego elementu SOLID20.....	147
10.5. Macierz bezwładności trójwymiarowego elementu SOLID20.....	153
11. Elementy osiowo-symetryczne	155
11.1. Macierz sztywności pierścieniowego elementu o przekroju trójkątnym.....	158
11.2. Macierz sztywności elementu powłoki osiowo-symetrycznej.....	163
11.3. Definiowanie obciążeń w elementach osiowo-symetrycznych	167
12. Budowa globalnych macierzy dyskretnego modelu	171
12.1. Globalna macierz sztywności i mas	171
12.2. Globalna macierz tłumienia	181
13. Wybrane zagadnienia nieliniowości materiałowej	183
13.1. Materiały nieliniowo sprężyste	184
13.2. Materiały hipersprężyste	186
13.3. Materiały ulegające uplastycznieniu	187
13.3.1. Modele sprężysto-plastyczne	189
13.3.2. Funkcje płynięcia i kryteria uplastycznienia materiału sprężysto-plastycznego	190
13.3.3. Umocnienie materiału	194
13.3.4. Powierzchnie początkowego uplastycznienia i nośności granicznej	197
13.4. Przykład liczbowy analizy sprężysto-plastycznej	205
14. Zagadnienia geometrycznie nieliniowe	209
14.1. Stateczność sprężysta	211
14.2. Przestrzenne układy belkowe.....	217
14.3. Nieliniowość geometryczna	227
15. Wybrane zagadnienia obciążeń cieplnych	231
15.1. Równania termosprężystości	232
15.2. Zagadnienia stacjonarnego przewodnictwa ciepła	233
15.3. Modelowanie obszaru dwuwymiarowego trójkątnymi elementami	236
15.4. Modelowanie trójwymiarowych konstrukcji elementami TETRA	239
15.5. Klasyczna teoria pełzania	243
15.6. Przykładowe obliczenia wytrzymałościowe wycinka rury ekranowej kotła.....	244
15.6.1. Obliczenia wytrzymałościowe w ujęciu analitycznym	249
15.6.2. Obliczenia wytrzymałościowe MES	250
15.7. Numeryczna symulacja wyężenia komory przegrzewacza	253
16. Rozwiązywanie układów równań	260
16.1. Metody rozwiązywania układów algebraicznych równań liniowych.....	261
16.2. Metody rozwiązywania równań ruchu układu dyskretnego.....	265
16.3. Metody bezpośredniego całkowania równań ruchu układu dyskretnego.....	268
16.4. Aproksymacja wielomianem trzeciego stopnia – wzory rekurencyjne.....	268
16.5. Przyrostowe procedury obliczeniowe.....	271
16.6. Metoda modalna	274
16.6.1. Efekt tłumienia.....	275
16.6.2. Dokładność rozwiązania a obcięcie postaci własnych	277
16.6.3. Wymuszenie przez ruch podstawy	278
16.6.4. Przebiegi czasowe.....	280
16.6.5. Analiza widma odpowiedzi	282
16.6.6. Generacja widma odpowiedzi	284
16.6.7. Analiza drgań losowych.....	285
16.6.8. Analiza harmoniczna stanu ustalonego	290

17. Analiza błędów i zbieżność rozwiązań	293
17.1. Błąd wynikający z dyskretyzacji	296
17.2. Szacowanie i ekstrapolacja błędu dyskretyzacji	301
17.3. Metody zwiększania dokładności obliczeń	305
18. Modelowanie połączeń ruchowych i kontaktowych w budowie maszyn	310
18.1. Modelowanie połączeń teleskopowych	310
18.1.1. Metody rozwiązywania problemu dynamiki układu dwuczłonowego	316
18.1.2. Przykłady	320
18.2. Ogólne zagadnienie kontaktowe	326
18.2.1. Kontakt prosty	326
18.2.2. Kontakt ogólny	327
18.2.3. Dwuwęzłowy element kontaktowy	328
18.2.4. Jednowęzłowe elementy kontaktowe	329
18.3. Modelowanie połączeń kontaktowych w układzie element toczny-bieżnia	338
19. Badania testujące kabin ochronnych metodą elementów skończonych	343
19.1. Symulacja uderzenia daszka z góry przez obciążnik (próba FOPS)	347
19.2. Symulacja statycznej próby zginięcia z boku (próba ROPS)	349
20. Zastosowanie MES w maszynach podstawowych górnictwa odkrywkowego	352
20.1. Modele dyskretne nadwozi	354
20.2. Obliczenia wytrzymałościowe nadwozi	358
20.3. Modele dyskretne podwozi	359
20.4. Obliczenia wytrzymałościowe podwozia	363
20.5. Analiza rozkładów nacisków w łożysku kulowym zwałowarki	367
20.6. Modelowanie i symulacja pracy czerpaków przeznaczonych do urabiania ilów	374
20.6.1. Obciążenia zewnętrzne	375
20.6.2. Podstawowe czynniki wpływające na opór urabiania	378
20.6.3. Model obliczeniowy czerpaka z narożami odlewanymi	379
21. Obliczenia wytrzymałościowe konstrukcji nośnych suwnicy	383
21.1. Suwnica kontenerowa	383
21.1.1. Obciążenia zewnętrzne suwnicy i ich kojarzenia	386
21.1.2. Budowa modelu obliczeniowego suwnicy	388
21.2. Numeryczna identyfikacja stopnia wytężenia konstrukcji nośnej suwnicy	393
21.2.1. Określenie obciążeń zewnętrznych konstrukcji nośnej	394
21.2.2. Model obliczeniowy	396
21.2.3. Obliczenia wytrzymałościowe suwnicy technologicznej	397
22. Zastosowanie metody elementów skończonych w projektowaniu pojazdów samochodowych	401
22.1. Obciążenia zewnętrzne pojazdów	402
22.2. Ustroje nośne pojazdów	406
22.3. Niektóre aspekty numerycznej symulacji testów koła ze stopów lekkich	412
22.4. Analiza termosprężysta tłoka silnika spalinowego	417
22.5. Bezpieczeństwo bierne	424
BIBLIOGRAFIA	433