

SPIS TREŚCI

Przedmowa	7
1. Wstęp	9
2. Zarys podstaw teoretycznych MES na przykładzie systemu ANSYS	11
2.1. Metoda elementów skończonych – cechy, zalety, wady	11
2.2. Podstawowe określenia i równania MES	12
2.2.1. Funkcje kształtu i stopnie swobody elementu	12
2.2.2. Węzłowe stopnie swobody w systemie ANSYS	16
2.2.3. Macierz sztywności elementu prętowego	17
2.2.4. Funkcje kształtu i macierz sztywności trójkątnego trójwęzłowego elementu tarczowego	19
2.2.5. Globalna macierz sztywności konstrukcji i globalny układ równań MES	23
2.2.6. Wektor zewnętrznych zastępczych sił węzłowych konstrukcji	26
2.2.7. Rozwiązanie układu równań liniowych	27
2.2.8. Algorytm rozwiązywania problemu liniowej statyki MES	29
2.2.9. Błędy w procesie modelowania konstrukcji metodą elementów skończonych	30
2.2.10. Zbieżność rozwiązania MES	31
2.3. Niektóre zasady poprawnego modelowania konstrukcji w MES	31
3. Wersje systemu ANSYS i wymagania sprzętowe	33
3.1. Tryby pracy w systemie ANSYS	33
3.2. Uruchamianie zadań w systemie ANSYS w wersji dialogowej	34
3.3. Korygowanie zadania i cofanie operacji w trybie dialogowym	36
3.4. Import plików graficznych	37
3.5. Uwagi dotyczące pisania plików i uruchamiania zadań	37
3.6. Testowanie zadania w trybie wsadowym	38
3.7. Struktura pliku wsadowego	39
4. Ogólne cechy systemu ANSYS-11	40
4.1. Wstępna charakterystyka systemu ANSYS	40
5. Opis preprocesora /PREP7	45
5.1. Przeznaczenie preprocesora /PREP7	45
5.2. Modelowanie geometrii w systemie ANSYS	45
5.2.1. Definiowanie obiektów geometrycznych	46
5.2.2. Metoda modelowania z dołu do góry (<i>bottom-up</i>)	46
5.2.3. Definiowanie punktów bazowych (K)	46
5.2.4. Układy współrzędnych	47
5.2.5. Globalne układy współrzędnych	47
5.2.6. Lokalne układy współrzędnych	48

5.2.7. Definiowanie linii	50
5.2.8. Definiowanie powierzchni i objętości	53
5.2.9. Edycja obiektów geometrycznych	55
5.2.10. Metoda modelowania od góry do dołu (<i>top-down</i>)	57
5.2.11. Płaszczyzna robocza	59
5.2.12. Operacje logiczne Boole'a	60
5.3. Typy elementów skończonych	64
5.3.1. Zastosowanie i własności typów elementów skończonych	65
5.3.2. Zasady prawidłowej dyskretyzacji	69
5.3.3. Deklaracje typów elementów, stałych materiałowych i elementowych	73
5.4. Generowanie siatek elementów skończonych	76
5.4.1. Tryb Desize	77
5.4.2. Tryb Smrsize	80
5.4.3. Łączenie i edycja siatek	82
5.4.4. Hierarchia obiektów w systemie ANSYS	86
5.5. Porównanie typów elementów belkowych w systemie ANSYS	86
5.6. Elementy skończone typu p (p -elementy)	92
6. Blok rozwiązywania zadania /Solution	96
6.1. Polecenia bloku /SOLUTION	96
6.2. Obciążenia modelu	98
6.3. Warunki brzegowe	101
6.4. Śledzenie zbieżności rozwiązania w analizie nieliniowej i błędy rozwiązania	106
6.5. Polecenia dotyczące grafiki	108
6.6. Dodatkowe przykłady poleceń języka APDL	112
7. Analiza wyników i zbieżności rozwiązania	114
7.1. Opis poleceń postprocesora /POST1	114
7.2. Testowanie zbieżności rozwiązania	119
7.3. Szacowanie błędu rozwiązania za pomocą algorytmu Zienkiewicza, Zhu	129
7.4. Przykładowa analiza dokładności rozwiązania dla tarczy zginanej	131
8. Struktura zbioru danych dla systemu ANSYS	133
8.1. Struktura klasycznych zadań statyki	133
8.2. Przykład danych dla metody DIRECT MESH	134
9. Przegląd wybranych rodzajów analizy MES	136
9.1. Wstęp – stosowanie spójnych jednostek miar w zbiorach danych	136
9.2. Elementy kontaktowe	139
9.3. Analiza liniowych drgań własnych konstrukcji (analiza modalna)	150
9.4. Analiza drgań wymuszonych (analiza harmoniczna)	153
9.5. Problem stateczności w zakresie liniowym i nieliniowym	154

9.6. Analiza konstrukcji w zakresie sprężysto-plastycznym.....	161
9.7. Analiza termiczna.....	163
9.8. Optymalizacja parametryczna konstrukcji w systemie ANSYS.....	169
10. Przegląd specjalnych metod i narzędzi systemu ANSYS.....	180
10.1. Submodeling.....	180
10.2. Łączenie elementów różnych typów metodą MPC.....	186
10.3. Zamiana obciążenia skupionego na ciągłe w przestrzeni 2D i 3D.....	188
10.4. Realizacja odkształceń i naprężeń wstępnych.....	191
11. System metody elementów skończonych ANSYS-Workbench v. 11.....	192
11.1. Wstęp do programu Workbench 11.....	192
11.2. Uruchomienie programu Workbench 11.....	194
11.3. Sterowanie klawiszami myszy (3-klawiszowej).....	198
11.4. Pasek narzędzi.....	199
11.5. Podstawowe operacje w module Design Modeler.....	202
11.6. Podstawowe operacje w module Simulation.....	206
11.7. Warunki brzegowe i obciążenia.....	210
11.8. Zestawienie typowych operacji w programie Workbench 11.....	213
11.9. Przykład analizy przegubu w programie ANSYS-Workbench.....	215
12. Przykłady analiz numerycznych w systemie ANSYS.....	220
12.1. KRATA2 – płaska kratownica 2D obciążona siłami skupionymi.....	221
12.2. TARCZA2 – rozciągana tarcza z otworem.....	225
12.3. CYLIN2 – zbiornik osiowoosymetryczny obciążony ciśnieniem.....	234
12.4. PLYTA2 – płyta prostokątna obciążona ciśnieniem wokół otworu.....	240
12.5. BELKA2 – belka dwupodporowa ze skokową zmianą przekroju.....	245
12.6. PWALC2 – powłoka walcowa obciążona ciśnieniem wewnętrznym.....	251
12.7. BELKA3-LUZ – belka trójpodporowa z luzem jako zadanie kontaktowe.....	256
12.8. VSWEET2 – analiza naprężeń w modelu bryłowym.....	260
12.9. MODAL-PLYTA2 – drgania własne płyty z masą skupioną.....	265
12.10. WYB-POWL2 – stateczność powłoki obciążonej ciśnieniem zewnętrznym.....	269
12.11. TERM-CYLIN2 – ustalone naprężenia termiczne w cylindrze.....	275
12.12. RAMA1 – rama zginana obciążeniem zewnętrznym i ciężarem własnym.....	281
12.13. WALEK2 – wałek zginany i skręcany.....	283
12.14. TROJ1 – rozgałęzienie rurowe (trójkąt).....	287
12.15. PLAST1 – analiza sprężysto-plastyczna tarczy.....	290
12.16. WYB-BELKI1 – wyboczenie belki.....	294
12.17. HARM-SPREZ – analiza harmoniczna układu o 2 stopniach swobody.....	297
12.18. KONT-KULA2D – kontakt kuli z płaskim podłożem.....	299

12.19. KONT-BL3D – kontakt dwóch bloków obciążonych ciśnieniem	303
12.20. OPT-TARCZ1 – optymalizacja wysokości mostka w tarczy	307
12.21. HART-KULKA – analiza hartowania stalowej kulki	310

Dodatek A

Praca w trybie wsadowym

A1. Opis ważniejszych poleceń systemu ANSYS	315
A2. Polecenia graficzne	337
A3. Lista wybranych typów elementów skończonych	340
A4. Spis poleceń dotyczący selekcji obiektów	344
A5. Funkcje APDL i użyteczne makra	355
A6. Polecenia dotyczące obciążeń i elementów powierzchniowych	359

Dodatek B

Lista tytułów przykładowych zbiorów VM* firmy ANSYS	363
---	-----

Dodatek C

Praca w trybie konwersacyjnym

C1. Opis niektórych poleceń menu górnego (<i>Utility Menu</i>)	371
C2. Menu główne (<i>Main Menu</i>)	372
C3. Spis podstawowej dokumentacji (w formacie PDF) systemu ANSYS v. 11 ..	375
C4. Opis graficznego paska narzędziowego w systemie ANSYS v. 11	376
Literatura	377