

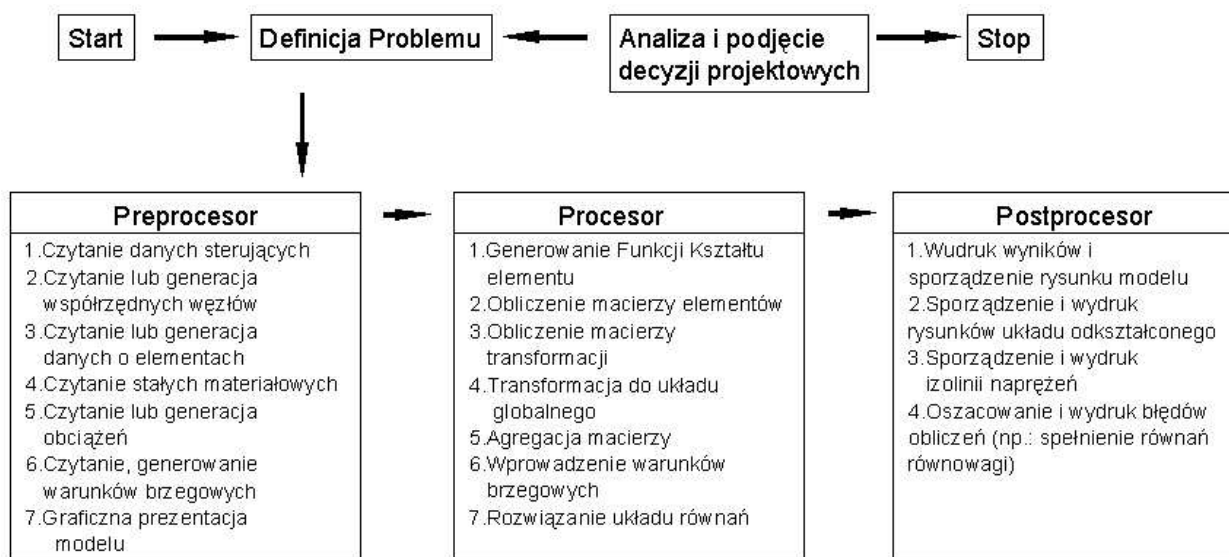
11. UWAGI O KOMPUTEROWYCH OBLICZENIACH METODĄ ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

W poprzednich rozdziałach przedstawiliśmy podstawy MES koncentrując uwagę przede wszystkim na formułowaniu elementów skończonych przydatnych do analizy określonego typu zagadnień mechaniki konstrukcji. W niniejszym rozdziale zajmiemy się pewnymi aspektami komputerowej implementacji tej metody. Przed wyborem i omówieniem tych aspektów przypomnijmy, że niezależnie od dziedziny problemu, który pragniemy rozwiązać tą metodą na algorytm rozwiązywania zadania składają się zawsze następujące etapy:

- 1) definicja problemu,
- 2) dyskretyzacja,
- 3) identyfikacja zmiennych,
- 4) sformułowanie problemu,
- 5) wybór układu współrzędnych,
- 6} przyjęcie funkcji aproksymujących,
- 7) wyznaczenie macierzy elementów,
- 8) transformacja układów współrzędnych,
- 9) agregacja macierzy elementów,
- 10) wprowadzenie warunków brzegowych,
- 11) rozwiązanie końcowego układu równań,
- 12) interpretacja wyników.

Każdy program komputerowy, realizujący powyższy algorytm, składa się z trzech podstawowych modułów: preprocesora, procesora i postprocesora. Główne funkcje tych modułów polegają odpowiednio na: przygotowaniu procesu obliczeń (czytaniu i(lub) generowaniu parametrów zadania), budowaniu i rozwiązaniu stosownego układu równań, na wydruku wyników Klub) sporządzeniu odpowiednich rysunków. Efektywność każdego programu MES, mierzona łatwością jego użytkowania zależy

od efektywności każdego z tych modułów. Na rysunku 11.1 przedstawiono główne operacje realizowane w poszczególnych procesorach.



Rys. 11.1. Komputerowa implementacja MES

Rysunek ten ilustruje również pewien cykl iteracyjny procesu projektowania. Jest więc także obrazem komputerowego wspomaganie projektowania. Z przedstawionego rysunku widać wyraźnie, że wcześniej omawialiśmy głównie zadania wykonywane przez procesor realizujący zasadnicze obliczenia.

Obliczenia większości rzeczywistych konstrukcji inżynierskich, dokonywane za pomocą MES, wymagają wprowadzenia współrzędnych setek, a nawet tysięcy węzłów. Ręczne wprowadzanie tych informacji jest bardzo pracochłonne i nie gwarantuje przy tym eliminacji pomyłek. Niebagatelną sprawą jest również forma prezentacji wyników. Powszechnie przyjęty w przeszłości sposób przedstawiania ich w postaci tabulogramów jest mało czytelny, a przy dużych zadaniach wręcz nie do przyjęcia. Biorąc pod uwagę wymagania stawiane przez użytkownika programu, dla którego istotny jest czas obliczeń (od którego zależą koszty oraz tempo prac konstrukcyjnych), okazuje się, że o całkowitym czasie obliczeń konstrukcji decyduje w dużej mierze czas poświęcony na przygotowanie danych i analizę wyników (do 80% całego czasu wykonania zadania). Te elementy realizacji zadania są wykonywane przez preprocesory i postprocesory. Poniżej skoncentrujemy naszą uwagę na omówieniu tych właśnie aspektów komputerowej implementacji MES, czyli na omówieniu roli i funkcji preprocesorów i postprocesorów.

Preprocesory i postprocesory są to podprogramy, zwykle graficzne, wejścia i wyjścia dla zadań wykonywanych metodą elementów skończonych. Mogą one stanowić również zupełnie niezależne programy, wykorzystywane nawet przez wiele procesorów. Programy te pracują najczęściej w trybie konwersacyjnym, co pozwala na łatwe posługiwanie się nimi.

Zadaniem preprocesorów jest wpisywanie danych i ich edycja. Wpisywanie danych powinno być jak najbardziej zautomatyzowane. Oznacza to możliwość generowania serii węzłów i elementów na podstawie zdefiniowanych ich wzorców, powielanie całych fragmentów konstrukcji przez obrót, translację czy zwierciadlane odbicie, skalowanie fragmentów modelu itp. W każdym możliwym momencie powinno się dokonywać korekty wprowadzonych już danych, dopisywać lub usuwać węzły i (lub) elementy. Dotyczy to również definicji warunków brzegowych i sposobu obciążenia modelu. Bardzo ważną cechą preprocesorów jest możliwość graficznego przedstawienia modelu na ekranie monitora lub na papierze za pomocą drukarki lub plotera. Preprocesor umożliwia przedstawienie graficzne całego obiektu bądź jego fragmentu, sposobu zamocowania węzłów i sposobu obciążenia. Preprocesory wykrywają również pewne błędy, jak brak deklaracji współrzędnych węzłów, pojawienie się elementów o zerowych polach lub zerowych długościach itp. Graficzna kontrola danych chroni przed błędami modelowania i zwiększa zaufanie do wyników. Jak widać z powyższego, rola i funkcje preprocesorów są bardzo istotne z praktycznego punktu widzenia obliczeń MES.

Zadaniem postprocesorów jest graficzne przedstawienie wyników obliczeń wykonywanych przez procesor. Wyniki otrzymane z analizy procesora, zwykle poprzedzone echem danych, zawierają zwykle przemieszczenia węzłów i siły wewnętrzne w elementach. Zamiast śledzenia kolumn liczb, użytkownik może przeglądać na ekranie monitora wybrane przez niego wyniki przedstawione w formie graficznej i skoncentrować swoją uwagę na parametrach istotnych w procesie projektowania. Postprocesory umożliwiają rysowanie konstrukcji odkształconej, również na tle konstrukcji nie odkształconej, rysowanie map (izolinii) naprężeń, rozkładu temperatur i ewentualnie innych parametrów w różnych płaszczyznach obiektu. Mają także możliwość rysowania wykresów naprężeń, temperatury oraz odkształceń w wybranych punktach konstrukcji w funkcji obciążeń czy czasu. Często postać odkształcona i mapy naprężeń rysowane są innymi kolorami, co nie tylko podnosi czytelność rysunków. Najczęściej stosuje się kolory do rysunków map naprężeń, które pozwalają na obserwację najbardziej wyężonych obszarów modelu i mogą służyć jako cenne informacje w procesie projektowania. Wszystkie rysunki można wydrukować na papierze za pomocą drukarek lub ploterów. Postprocesory podają wyniki w formie dokumentów (raportów), stosownie do wymagań użytkownika. Przygotowują ich wydruk dla określonego obszaru modelu czy określonych parametrów (np. wyróżnionych składowych naprężeń) przeprowadzając selektywny wybór tych wartości (np. wartości ekstremalnych). Bardziej zaawansowane postprocesory dokonują również automatycznego sprawdzenia warunków norm i informują, w jakim obszarze modelu zostały one przekroczone. Pozwala to podjąć stosowne korekty w modelu obliczeniowym i przeprowadzić - ewentualnie - ponowną analizę. Postprocesory mogą zawierać również podprogramy obliczające wrażliwość konstrukcji na pewne wybrane parametry projektowe, jak parametry geometryczne przekrojów, położenie podpór, wartości naprężeń w wybranych punktach itp. Analiza wrażliwości jest niezwykle przydatna przy podejmowaniu decyzji o zmianach tych parametrów w iteracyjnym procesie projektowania, pozwala bowiem określić kierunek tych zmian w celu spełnienia określonych warunków. Podobnie jak preprocesory, postprocesory mogą być integralną częścią systemu obliczeniowego lub stanowić niezależnie działające programy. Ze względu na fakt, że postprocesory korzystają z bazy danych dla preprocesorów, są one zwykle łączone z nimi. Graficzna prezentacja wyników jest istotną cechą postprocesorów i stanowi główne narzędzie w projektowaniu wspomaganym komputerowo. W znacznym stopniu podnosi też czytelność wyników, zwłaszcza ich jakość, i pozwala łatwiej i pełniej wyciągać wnioski konstrukcyjne.

Metoda elementów skończonych jest wykorzystywana w praktyce inżynierskiej od wielu lat.

Wykorzystanie jej w szeroko rozumianym procesie projektowania było jednak ograniczone z jednej strony wysokimi kosztami stosowanego sprzętu, a z drugiej - dużym nakładem pracy potrzebnym na przygotowanie i syntezę wyników. Znaczne potanieńczenie sprzętu komputerowego oraz nowe technologie produkcji efektywnego oprogramowania systemów obliczeniowych wykorzystujących MES (w tym przede wszystkim prę- i postprocesorów) spowodowały, że metoda ta stała się integralną częścią procesu projektowania.

LITERATURA

- [1] A.W. Al-Khafaji, J.R. Tooley, Numerical methods in engineering practice, Holt, Rinehart & Winston, 1986.
- [2] K.J. Bathe, E. Wilson, Numerical methods in finite element analysis, Prentice-Hall, 1976.
- [3] K.J. Bathe, Finite element procedures in engineering practice, Prentice-Hall, 1981.
- [4] C.A. Brebbia, J.C. Connor, Fundamentals of finite element techniques for structural engineers, Butterworth, 1975.
- [5] R.D. Cook, Concepts and applications of finite element analysis, Wiley, 1974. [6] R.H. Gallagher, Finite element analysis: Fundamentals, Prentice-Hall, 1975.
- [7] E. Hinton, D.R.C. Owen, Finite element programming, Academic Press, 1977.
- [8] E. Hinton, D.R.C. Owen, An introduction to finite element computations, Pineridge, 1979.
- [9] T.J.R. Hughes, The finite element method. Linear static and dynamic finite element analysis, Prentice-Hall Int. Editions, 1987.
- [10] P.F. Hultquist, Numerical methods for engineers and computer scientists, Benjamin/Cummings Publ.Co., 1988.
- [11] A. Jennings, Matrix computation for engineers and scientists, Wiley & Sons, 1972.
- [12] M. Kleiber, Wprowadzenie do metody elementów skończonych, Biblioteka Mechaniki Stosowanej IPPT PAN, PWN, Warszawa-Poznań 1985.
- [13] M. Kleiber, Numeryczna analiza statycznych i dynamicznych zagadnień stateczności konstrukcji, Materiały dla studiów doktoranckich i podyplomowych, Politechnika Poznańska, nr 16, Poznań, 1987.

-
- [14] M. Kleiber, Metoda elementów skończonych w nieliniowej mechanice kontinuum, Biblioteka Mechaniki Stosowanej IPPT PAN. PWN, Warszawa-Poznan 1985.
- [15] M. Kleiber, Incremental finite element modelling in non-linear solid mechanics, PWN, Ellis Horwood Ltd., 1989.
- [16] D.R.G. Owen, E. Hinton, Finite elements in plasticity, Pineridge, 1980.
- [17] J. Pietrzak, C. Rakowski, K. Wrzeźniowski, Macierzowa analiza konstrukcji, PWN, Warszawa-Poznań 1979.
- [18] J. Przemieniecki, Theory of matrix structural analysis, Wiley, 1977.
- [19] T.H. Richards, Energy methods in stress analysis, Wiley, 1977.
- [20] L.J. Segerlind, Applied finite element analysis, Wiley, 1976.
- [21] F.L. Stasa, Applied finite element analysis for engineers, Holt, Rinehart & Winston, NY, 1985.
- [22] J. Szmelter, Metody komputerowe w mechanice, PWN, Warszawa, 1980.
- [23] P. Tong, J.N. Rossettos, Finite element method: Basic technique and implementation, MIT Press, 1977
- [24] Z. Waszczyszyn, Cz. Cichori, M. Radwanska, Metoda elementów skończonych w stateczności konstrukcji, Arkady, Warszawa, 1990.
- [25] W. Weaver, Jr., P.R. Johnston, Finite elements for structural analysis, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1984.
- [26] O.C. Zienkiewicz, Metoda elementów skończonych, Arkady, Warszawa, 1972