



Temat specjalny

NOWOCZESNE TECHNOLOGIE INFORMATYCZNE

fot. zhu difeng – Fotolia.com



tekst: **MARIAN KOWACKI**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne

Współcześni projektanci mają do dyspozycji wiele programów komputerowych, najczęściej wykorzystujących metodę elementów skończonych (MES). Systemy komputerowe (CAE) integrują się z systemami modelowania geometrycznego 3D (CAD), co ułatwia analizę złożonych konstrukcji inżynieryjnych oraz umożliwia pełną integrację obliczeń wytrzymałościowych i precyzyjnego wymiarowania konstrukcji.

Głównym założeniem metody elementów skończonych (FEM – *Finite Element Method*), jednego z podstawowych narzędzi stosowanych w obliczeniach inżynierskich i naukowych, jest rezygnacja z analitycznego rozwiązania problemu na rzecz podziału obszaru na elementy skończone i przeprowadzenie obliczeń tylko dla wyróżnionych punktów, węzłów tego podziału. Poza węzłami rozwiązanie przybliżane jest na podstawie wyników otrzymanych dla poszczególnych węzłów [1]. Otrzymane wartości poszukiwanej funkcji w skończonej liczbie węzłów konstrukcji dają przybliżone rozwiązanie dla całego obszaru dzięki przyjętym funkcjom interpolacyjnym, zwanym funkcjami kształtu. Ich zadaniem jest zapewnienie ciągłości poszukiwanej funkcji wewnątrz elementu [2].

W ujęciu matematycznym MES jest sposobem uzyskiwania przybliżonego rozwiązania równań różniczkowych cząstkowych. Sama idea powstała już w XIX w. W pracy z 1868 r. Ernst Gustav Kirsch zasugerował, aby trójwymiarowy ustrój ciągły

zastąpić zbiorem oddzielnych elementów prostopadłościennych, a następnie każdy z nich zastąpić przestrzenną kratownicą. Każdą z tych kratownic należało w dalszej kolejności rozwiązać znanymi metodami statyki. Jednak teoretyczne podstawy MES zostały sformułowane dopiero pod koniec lat 50. XX w. jako metody prowadzenia obliczeń z zakresu mechaniki strukturalnej za pomocą komputera. Dokonali tego M.J. Turner, R.W. Clough, H.C. Martin i L.J. Topp [3], choć z praktycznego punktu widzenia zasadniczą rolę odegrały prace prof. Olgierda Zienkiewicza, którego do dziś w literaturze poświęconej CAE (*Computer Aided Engineering*) uważa się za prekursora praktycznego zastosowania metody elementów skończonych do rozwiązania problemów mechaniki [4].

Początkowo obliczenia komputerowe prowadzone były w centrach komputerowych wyposażonych w duże komputery (*mainframe*), które nie posiadały urządzeń graficznych do komunikacji, dlatego dane do programu inżynier

przygotowywał w postaci pliku tekstowego i uzyskiwał alfanumeryczne wyniki. Zwykle były to setki tysięcy liczb, których analiza była bardzo czasochłonna. Wprowadzenie urządzeń graficznych, najpierw ploterów, a potem monitorów graficznych, dzięki którym wyniki można było otrzymać w postaci wykresów, było krokiem milowym w pracy z systemami obliczeniowymi. W dekadach lat 60.–80. XX w. na uczelniach i w instytutach badawczych rozwijano metody obliczeniowe, tworzone oprogramowanie i wykonywano pierwsze obliczenia inżynierskie [5].

Współczesne aplikacje komputerowego wspomaganie projektowania CAE, wykorzystujące MES, składają się z trzech współpracujących ze sobą modułów [1]:

- preprocesor – służy m.in. do importu lub przygotowania geometrii, doboru rodzaju elementów skończonych, dyskretyzacji kontinuum oraz przyłożenia warunków brzegowych,
- procesor (*solver*) – to moduł przeznaczony do budowy oraz rozwiązania układu równań, na podstawie którego uzyskuje się poszukiwane wartości danych wielkości fizycznych,
- postprocesor – służy do prezentacji oraz wspomaganie interpretacji uzyskanych wyników.

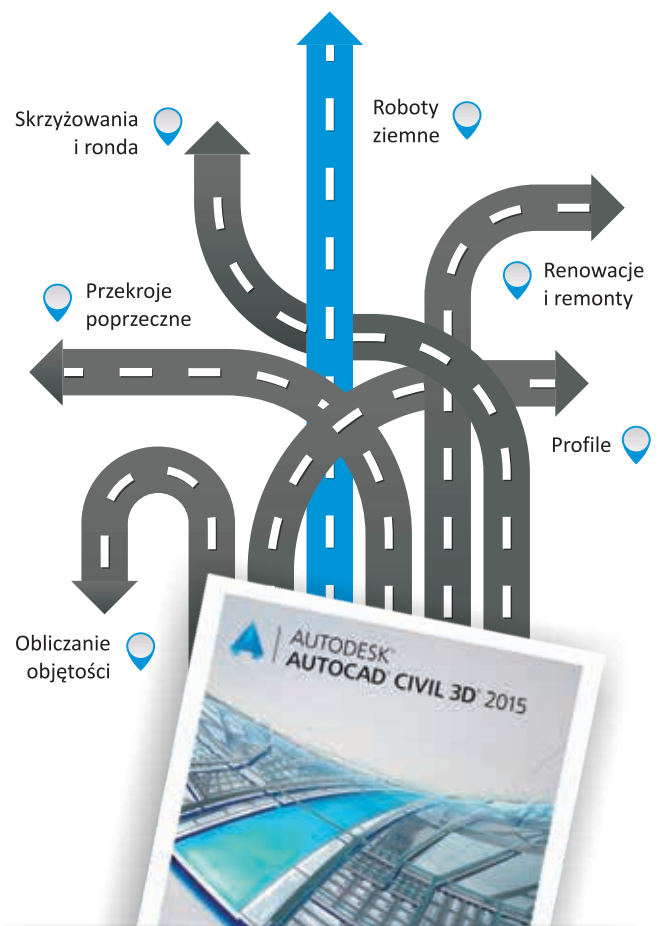
Niezależnie od rodzaju problemu, który ma być rozwiązany za pomocą MES, na algorytm rozwiązywania zadania składają się zawsze następujące etapy [4]:

- definicja problemu – model geometryczny, z którego usuwa się elementy nieistotne, może zostać utworzony w oprogramowaniu CAD i zaimportowany lub utworzony bezpośrednio w programie do obliczeń MES. Jeśli obliczany model ma symetrię kształtu, obciążeń i warunków podparcia, to można szybciej uzyskać wyniki, przeprowadzając obliczenia dla połowy obiektu;
- dyskretyzacja – model dzielony jest na elementy, najczęściej w sposób automatyczny przez program. Następuje wygenerowanie siatki (*mesh*). Użytkownik ma możliwość doboru rodzaju elementu (lub rodzajów) oraz lokalnego zmodyfikowania siatki (np. przez zagęszczenie w miejscach przewidywanej koncentracji naprężeń);
- przyjęcie wartości właściwości materiałowych (np. wytrzymałość na ściskanie, moduł Younga);
- przyłożenie obciążeń oraz określenie warunków brzegowych przez odebranie stopni swobody punktom, krawędziom lub powierzchniom;
- wybór rodzaju analizy;
- rozwiązanie modelu;
- opracowanie uzyskanych map naprężeń, przemieszczeń itp.

Dzięki upowszechnieniu wykorzystania sprzętu komputerowego oraz nowym technologiom produkcji efektywnego oprogramowania systemów obliczeniowych wykorzystujących MES metoda ta stała się integralną częścią procesu projektowania. Rozwój projektowania wspomaganego komputerem (CAD – *Computer Aided Design*) przypadł na lata 50. XX w. W początkowej fazie CAD sprowadzało się do przygotowywania rysunków, zastępując niejako tradycyjną deskę kreślarską. Wykorzystanie CAD na tym etapie pozwalało na wyeliminowanie czasochłonnego rysowania oraz ułatwiało nanoszenie zmian i poprawek. Jednak rozwój oprogramowania dążył do umożliwienia modelowania przestrzennego 3D. Zaczęły się także pojawiać programy dedykowane różnym branżom przemysłu: mechanicznej, budowlanej, geodezyjnej itp. W latach 90. nastąpiła integracja

DROGA

DOBREJ INWESTYCJI



4x25%

oferta ratalna zakupu oprogramowania
bez dodatkowych kosztów

AUTODESK®
AUTOCAD® CIVIL 3D® 2015

www.procad.pl/droga



Oprogramowanie do analizy dynamicznej i statyczno-wytrzymałościowej

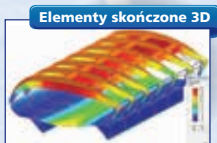
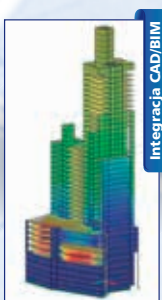
RSTAB 8

Program dla konstrukcji szkieletowych



RFEM 5

Pakiet analityczny wykorzystujący MES



Przykład modelowania komputerowego, materiały prasowe Autodesk

w otwarte wielomodułowe i wielofunkcyjne systemy o rozproszonej strukturze danych, co umożliwiło zarządzanie dokumentacją techniczną. Kolejnym krokiem w rozwoju systemów CAX (zbiórca termin określający ogół możliwych zastosowań komputera do wspomaganie prac inżynierskich) było umożliwienie modelowania przestrzennego ze zautomatyzowanym tworzeniem rzutów i możliwością określania parametrów fizycznych modelu, takich jak masa czy pole powierzchni. Dzięki modelom 3D możliwe stało się wydajne przeprowadzanie wytrzymałościowych obliczeń inżynierskich oraz wykonywanie multimedialnych prezentacji projektowanych wyrobów. Z kolei dzięki bazom danych elementów znormalizowanych wprowadzono parametryczny zapis wymiarów geometrycznych modelu, co umożliwiło łatwe tworzenie rodzin konstrukcji. Jednym z najnowszych osiągnięć systemów CAX jest możliwość zastosowania technik KBE (*Knowledge Based Engineering*), polegających na zastosowaniu w modelowaniu geometrycznym wiedzy zapisanej w sposób formalny. Korzyści z tego rozwiązania to zapewnienie zgodności z zasadami projektowania, automatyzacja pracy oraz możliwość wykonania automatycznej optymalizacji projektu według określonych kryteriów. Zważywszy, że ok. 80% pracochłonnych zadań projektowo-konstrukcyjnych przeprowadzanych w zaawansowanych systemach CAX ma charakter rutynowy, możliwość korzystania z KBE stanowi cenne wsparcie.

Obecnie trudno znaleźć pracownię, w której inżynierowie nie korzystaliby z systemów CAD. Tak jak kiedyś deski kreślarskie, tak dzisiaj systemy CAD są narzędziem codziennej pracy. Z racji ich narzędziowego charakteru stawiane są im także konkretne wymagania, takie jak [6]:

- przejrzysty i intuicyjny interfejs, w pełni dostosowany do użytkownika,
- bezpośrednia integracja z systemami CAM (*Computer Aided Manufacturing* – komputerowe wspomaganie wytwarzania), CAE (*Computer Aided Engineering* – inżynieria wspomagana komputerowo) oraz PLM (*Product Lifecycle Management* – zarządzanie cyklem życia produktu),

- funkcjonalność skierowana na wybrane dziedziny projektowania,
- możliwość pracy na plikach pochodzących z innych systemów CAD, CAM, CAE,
- możliwość kontroli tworzonego projektu pod kątem zdefiniowanych kryteriów,
- umożliwienie pracy równoległej.

Podsumowanie

Tak więc dzisiejsze systemy CAD, CAM, CAE umożliwiają zdefiniowanie takiego środowiska projektowego, które daje konstruktorowi wsparcie na każdym etapie projektowania – nie tylko zapewnia wspomaganie w zakresie definiowania geometrii, ale także w definiowaniu i udostępnianiu *know-how* firmy. Zaawansowane systemy CAD często nie wymagają dużych umiejętności programistycznych. Nie powinno to jednak zwalniać projektanta z kreatywności oraz obowiązku przestrzegania norm i zasad konstruowania. To on jest bowiem ostatecznie odpowiedzialny za projekt, a dostępne współcześnie nowoczesne technologie są narzędziem w jego rękach.

Literatura

- [1] Balonek K., Gozdur S.: *Wprowadzenie do Metody Elementu Skończonego* [online]. Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, AGH, Kraków, Poland [dostęp: 16 lutego 2015]. Dostępny w internecie: <http://fat-cat.ftj.agh.edu.pl/~i6balone/MES.pdf>.
- [2] Szturomski B.: *MES. Podstawy metody elementów skończonych*. Wydawnictwo Akademickie AMW. Gdynia 2011.
- [3] Turner M.J., Clough R.W., Martin H.C., Topp L.J.: *Stiffness and deflection analysis of complex structures*. „Journal of the Aeronautical Sciences” 1956, vol. 23, no. 9, pp. 803-823.
- [4] Sydor M.: *Wprowadzenie do CAD. Podstawy komputerowo wspomaganego projektowania*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2009.
- [5] Kacprzyk Z.: „Informatyzacja projektowania budowlanego” (referat wygłoszony na konferencji Budmika, Poznań, 23 kwietnia 2014 r.).
- [6] Janiec A.: *Komputerowe wspomaganie projektowania CAD*. Uniwersytet Rzeszowski. Rzeszów 2013.

Aktualności...



Jesteśmy również na:

RSTAB 8, RFEM 5 i RX-TIMBER 2: polska wersja językowa
EUROKODY: różnorodne aneksy krajowe
BEZPŁATNA WERSJA STUDENCKA

Darmowa wersja trialowa
www.dlubal.pl

Więcej informacji:



Dlubal Software
Jesionowa 22
PL-40-158 Katowice
Tel.: +48 698 966 463
info@dlubal.pl
www.dlubal.pl