

KOMPUTERYZACJA MECHANIKI KONSTRUKCJI W POLSCE W OSTATNIEJ DEKADZIE DZIAŁALNOŚCI PTMTiS

GUSTAW RAKOWSKI

Politechnika Warszawska

1. Uwagi wstępne

Mając określony czasokres naszych rozważań określimy bliżej ich przedmiot.

Pod pojęciem komputeryzacji będziemy rozumieli wprowadzanie metod dogodnych do stosowania automatycznych środków liczenia, głównie elektronicznych maszyn cyfrowych (EMC) — komputerów — a także towarzyszącego sprzętu informatycznego, służącego rozwiązywaniu problemów mechaniki.

Wspomniane metody dogodne do stosowania EMC, zwane metodami komputerowymi mają trzy zasadnicze cechy charakterystyczne

- dotyczą dyskretnych modeli matematycznych,
- dają się w pełni zalgorytmizować,
- przedstawione są w zapisie umożliwiającym łatwe przenoszenie i przetwarzanie informacji.

Wyjaśnijmy także powód zajmowania się komputeryzacją mechaniki konstrukcji a nie wprost jej problemami badawczymi i zastosowaniami. Otóż tak jest, że prawie wszystko ważniejsze i liczące się w nauce i technice ostatniego ćwierćwiecza powstało przy zastosowaniu bądź wręcz dzięki komputerom. Dotyczy to także mechaniki konstrukcji. Tak więc analizując proces komputeryzacji, prześledzimy główne problemy tej dziedziny wiedzy technicznej.

2. Stan zagadnienia na początku lat siedemdziesiątych

Rozwój mechaniki konstrukcji w interesującym nas aspekcie, do lat siedemdziesiątych był przedmiotem dwóch prac przeglądowych [1, 2]. Przypomnijmy, że na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych, kraje technicznie rozwinięte wkraczały w początki tzw. trzeciej rewolucji komputerowej.

Trzecią rewolucję znamionuje istnienie szybkich sieci komunikacyjnych między maszynami różnych typów, tworzącymi systemy komputerowe, rozwój techniki powiązań pomiędzy różnymi programami, zapewniającymi swobodny przepływ danych od różnych źródeł do użytkownika, istnienie zintegrowanych systemów komputerowych zawierających

banki danych i algorytmów, wyposażonych w techniki i urządzenia umożliwiające dostęp i optymalny wybór programu.

Okres ten dobrze przedstawia referat [3], a także inne prace zgłoszone na piątą konferencję zorganizowaną w roku 1970 w Lafayette (USA) przez „The Committee of Electronic Computation of the ASCE Structural Division”, w ramach „Conferences on Electronic Computation”.

Sytuację w dziedzinie zastosowania komputerów w mechanice konstrukcji na początku lat siedemdziesiątych np. w USA charakteryzuje m.in. powszechność używania komputerów we wszystkich jednostkach badawczych i projektowych. Uruchomiono tam wówczas i wdrożono do codziennej praktyki ponad 400 poważnych programów. Dotyczą one analizy wszelkich typów konstrukcji. Od ustrojów prętowych, przez dźwigary powierzchniowe, aż do układów trójwymiarowych. Ujnują te programy wszelkie rodzaje obciążeń, statyczne, dynamiczne, termiczne, akustyczne itp. Pozwalają analizować stany sprężyste, plastyczne, nieliniowe (geometrycznie i fizycznie). Uwzględniać efekty reologiczne, zmęczenie itp. Zdecydowana większość programów jest oparta na metodzie elementów skończonych (MES). Część dotycząca zagadnień nieliniowych oraz powłok, uwzględnia metodę różnic skończonych. Prawie wszystkie programy są napisane w języku FORTRAN. We wszystkich szkołach wyższych USA, a szczególnie technicznych, studenci przechodzą przez obowiązkowe, szeroko pomyślane szkolenie w dziedzinie „computer science”.

W zagranicznych badaniach w dziedzinie analizy konstrukcji można wyróżnić dodatkowo następujące kierunki rozwojowe:

- traktowanie kompleksowe układów liniowo-sprężystych bez wyróżniania typu (prętowe, powierzchniowe, trójwymiarowe),
- opracowanie efektywnych metod modyfikacji macierzy sztywności przy zmianie niektórych elementów badanego ustroju,
- przechodzenie na statystyczny opis parametrów konstrukcji,
- uwzględnienie właściwości plastycznych stanów sprężysto-plastycznych, lepkosprężystych oraz efektów reologicznych,
- badanie problemów nieliniowych.

Należy jednak podkreślić, że znaczenie badawcze analizy konstrukcji maleje. Zaczyna ona ustępować rozwijającej się innej „filozofii obliczeniowej” jaką jest projektowanie automatyczne (CAD — computer — aided design).

Więcej niż połowa prac zgłoszonych w Lafayette dotyczyła zagadnień automatycznego projektowania, przy czym komputer był pokazany jako aktywny uczestnik w procesie projektowania, a nie tylko bierne narzędzie. W analizie konstrukcji zdecydowanie zapanowała MES. Część prac poświęcona była problemom optymalizacji.

Tymczasem ówczesny stan komputeryzacji mechaniki w kraju, odpowiadał w przybliżeniu sytuacji istniejącej w krajach przodujących dziesięć lat wcześniej, w okresie trzeciej konferencji ASCE (Boulder 1963), charakteryzującej się następującymi faktami:

- pojawienie się komputerów pracujących w systemie „timesharing” (wielodostępność),
- przechodzenie z języków wewnętrznych na proceduralne (ALGOL, FORTRAN, COBOL), i początki języków problemowo-zorientowanych (STRESS, COGO),
- początki grafiki komputerowej,
- odchodzenie od klasycznych, prostych metod i problemów mechaniki w zapisie ma-

- cierzowym na rzecz typowych metod komputerowych (MES, metoda różnic skończonych — MRS, metoda macierzy przeniesienia — MMP),
- początki nauczania w zakresie elektronicznej techniki obliczeniowej (ETO), i używania komputerów do ćwiczeń studenckich,
- coraz częstsze wykorzystywanie komputerów do prac inżynierskich głównie projektowych.

Wskazując na krajowe odpowiedniki wymienionych faktów należy w pierwszym rzędzie wspomnieć o pracach grupy J. Szmeltera dotyczących zastosowania MES w analizie statycznej układów prętowych, powierzchniowych i mieszanych np. [4, 5], oraz opracowaniu ponad pięćdziesięciu programów na maszynę ZAM-41 [6]. Interesującą odmianę MES tzw. metodę sztywnych elementów skończonych (SES) opracował w tym czasie J. KRUSZEWSKI [7], a kierowany przez niego zespół przystąpił do prac nad systemem programów SFEM-72 na komputer ICL 1900. Ukazały się opracowania monograficzne dotyczące MMP [8, 9] w zastosowaniu do konstrukcji prętowych i powierzchniowych oraz książki autorów krajowych i tłumaczenia [10, 11, 12]. Opracowano język problemowozorientowany STRAINS-71 [13] analogiczny do wspomnianego systemu STRESS.

Na większą skalę stosowały komputery takie jednostki projektowe jak ETOPROJEKT i PROZAMET (Warszawa), Biuro Projektów Przemysłu Węglowego (Katowice), CBKO (Gdańsk).

Miarą rosnącego zainteresowania mechaniką komputerową były organizowane konferencje: zastosowań ETO w budownictwie (Gdynia, 1970, Krynica 1971, 1972) maszyn cyfrowych w pracach inżynierskich (Katowice 1971), sympozjum na temat metod numerycznych zorganizowane przez gdański oddział PTMTS (1972).

Na uwagę zasługuje pierwsze krajowe sympozjum nt. „Metody komputerowe w mechanice konstrukcji” w Poznaniu 1973. Dało ono początek serii konferencji pod tym samym tytułem i określiło warunki oraz główne kierunki rozwoju mechaniki komputerowej w Polsce.

Uwzględniając światowe tendencje postulowano wówczas:

- upowszechnienie MES oraz rozwinięcie MRS z dostosowaniem jej do komputeryzacji,
- w mechanice ustrojów prętowych uwzględnienie przestrzenności i efektów drugiego rzędu, w powierzchniowych grubość płyt i powłok,
- w całej mechanice konstrukcji uwzględnienie nieliniowości,
- w dynamice badanie procesów nieustalonych,
- rozwój optymalizacji, a szczególnie budowanie modeli służących optymalizacji rzeczywistych konstrukcji,
- wykorzystanie komputerów w badaniach doświadczalnych,
- ujednoczenie języków programowania z preferencją FORTRAN-u,
- opracowanie efektywnych programów na EMC dla celów dydaktycznych i zastosowań praktycznych,
- wprowadzenie kształcenia studentów w zakresie podstaw ETO i rozwinięcie jej zastosowań szczególnie w przedmiotach mechaniki i pokrewnych,
- organizowanie kursów i konferencji szkoleniowych w dziedzinie komputerowych metod mechaniki i utworzenie czasopisma poświęconego tej tematyce.

Jak zobaczymy, dalszy rozwój komputeryzacji mechaniki w kraju uwzględnił w znacznym stopniu powyższe postulaty.

3. Rozwój komputeryzacji mechaniki konstrukcji od początku lat siedemdziesiątych

Przedstawmy pokrótce sytuację panującą w krajach zaawansowanych w rozwijaniu i zastosowaniach komputerowych metod mechaniki (Wielka Brytania, RFN, Kanada, Japonia a głównie USA).

Zaznaczone na początku lat siedemdziesiątych trendy rozwojowe (konferencja ASCE, Lafayette 1970), wyraźnie się rozwinęły i utrwaliły. Nie wnikając w szczegóły przytoczymy tylko niektóre fakty:

Powstały cztery międzynarodowe czasopisma związane ściśle z mechaniką komputerową:

- Computer and Structures, red. Liebowitz (1971),
 - Computer methods in applied mechanics and engineering, red. Argyris, Hughes, Oden (1972),
 - International Journal of numerical methods in engineering, red. Zienkiewicz (1972),
 - Engineering optimization, red. Templeman (1974),
- oraz kilka czasopism pokrewnych.

Każdego roku organizowana jest co najmniej jedna międzynarodowa konferencja na temat komputerowych metod w mechanice. Obok ogólnotematycznych organizuje się konferencje poświęcone wybranym ważnym zagadnieniom np. analizie nieliniowej (1977 Geilo—Norwegia, 1978 Stuttgart—RFN, 1980 Swensea—Wielka Brytania, 1981 Stuttgart i planowana na rok 1983 MIT-USA), czy grafice komputerowej („Eurographics”, 1980 Genewa, 1981 Darmstadt). Ważną rolę odgrywają konferencje sumujące poszczególne etapy i programujące dalszy rozwój komputeryzacji np. [14, 15].

Z lektury publikacji zagranicznych, a szczególnie prac przeglądowych [14, 15], wyłania się następujący obraz.

Problemy liniowej mechaniki konstrukcji statyki i dynamiki, zostały zbadane i przygotowane do praktycznego wykorzystania. Sporządzono katalog ponad 450 opracowanych w świecie optymalnych programów na EMC służących rozwiązywaniu praktycznie wszystkich zagadnień mechaniki [16].

Aktualna problematyka badawcza dotyczy głównie:

- analizy i syntezy problemów nieliniowych geometrycznie i fizycznie,
- optymalizacji i automatycznego projektowania (CAD),
- grafiki komputerowej jako środka kontaktu człowiek-maszyna, przygotowania danych i prezentowania wyników,
- oddziaływań, głównie dynamicznych w relacji konstrukcja — ośrodek (ciecz, gaz, grunt) i szerzej problemy pól sprzężonych,
- konstrukcje z materiałów o specjalnych własnościach (laminaty kompozyty),
- mechaniki wielkich systemów oraz realistycznych modeli konstrukcji i materiałów.

Wysoki stopień rozwoju komputerowych metod mechaniki i rozległość ich zastosowań, stymulowane były potrzebami w zakresie nowych materiałów i konstrukcji związanych

z badaniami kosmosu, skorupy ziemskiej, dna morskiego, nowych źródeł energii i problemami ochrony środowiska. Bezpośredni wpływ miały tutaj osiągnięcia matematyki stosowanej oraz programowania i technologii maszyn cyfrowych. Powszechność zastosowań metod komputerowych w obliczeniach naukowych, pracach inżynierskich oraz w dydaktyce wynika z dużego nasycenia różnorodnym, niezawodnym i łatwo dostępnym sprzętem informatycznym większości placówek badawczych, projektowych i szkół wyższych.

Postępy komputeryzacji mechaniki w kraju prześledzimy na przykładzie prac zgłaszanych na kolejne, wspomniane już krajowe konferencje pt. „Metody komputerowe w mechanice konstrukcji”. Rozpatrzmy to zagadnienie w trzech obszarach działalności: naukowej, dydaktycznej, zastosowań inżynierskich. Ograniczymy się do ogólnej charakterystyki całości prac, akcentując prace inicjujące określone zagadnienia bądź podsumowujące poszczególne etapy ich rozwoju.

3.1. Komputeryzacja mechaniki w badaniach naukowych. Pierwsza konferencja (Poznań 1973) została już częściowo omówiona w punkcie 2. Na drugą konferencję (Gdańsk 1975) zgłoszono 86 prac. Duża ich część (33) dotyczyła klasycznych zagadnień i metod mechaniki rozwiązywanych przy użyciu komputera jako liczydła. Metodami komputerowymi (MES, MRS, SES) zajęto się w 21 pracach, przy czym 8 prac poświęconych było różnym aspektom matematycznym tych metod. Reszta rozproszona była na różne tematy. Tylko 4 prace dotyczyły zagadnień nieliniowych a 2 optymalizacji. Jak widać dość dużo prac nie przylegało ściśle do tematyki konferencji.

Omawiając konferencję w Gdańsku warto wspomnieć o dwóch faktach.

W referacie problemowym „Metoda czasoprzestrzennych elementów skończonych”, Z. KĄCZKOWSKI przedstawił oryginalną metodę komputerową [17], która została zastosowana do rozwiązania różnych zadań dynamiki konstrukcji.

W czasie konferencji ukazało się monograficzne opracowanie polskiej metody komputerowej SES [18] szczególnie przydatnej do analizy dynamicznej konstrukcji maszynowych. Poza rozważaniami teoretycznymi w książce podano system obliczeniowy złożony z pięciu grup podprogramów służących do obliczania drgań swobodnych i wymuszonych dowolnych konstrukcji modelowanych elementami sztywnymi. Programy w języku FORTRAN są realizacją zapowiadanego wcześniej systemu SFEM-72.

Trzecia konferencja odbyła się w Opolu (1977). Przyjęto 80 prac z czego 15 dotyczyło zagadnień i metod klasycznych, ale o dużym stopniu złożoności. Pozostałe poświęcone były metodom komputerowym. W grupie prac dotyczących MES należy wymienić pozycję [19] rozwijającą koncepcję i technikę superelementów. Wymieniona już metoda SES uzupełniona została elementem hybrydowym sztywno-odkształcalnym [20], natomiast MRS przystosowano do komputeryzacji przez zautomatyzowanie generowania siatki węzłów i wzorów różnicowych [21, 22]. Dzięki temu MRS stała się konkurencyjna w stosunku do MES, szczególnie w analizie zagadnień nieliniowych. Te ostatnie były przedmiotem 9 prac, z czego dwie [23, 24] miały charakter wiodący. W zakresie optymalizacji praca [25] miała znaczenie szkoleniowe, natomiast [26, 27] prezentowały efektywne metody optymalizacji układów konstrukcyjnych. Warto wymienić także pracę [28] omawiającą podstawy projektowanego uniwersalnego systemu analizy i syntezy konstrukcji prętowych. Ogólnie można powiedzieć, że konferencja w Opolu miała już zarysowany charakter komputerowy i obejmowała większość aktualnych problemów mechaniki konstrukcji.

Podobnie można określić czwartą konferencję (Koszalin 1979), na której wygłoszono 107 referatów. Ograniczając się do referatów problemowych nadmienimy, że dotyczą one następujących zagadnień.

Praca [29] omawia dwie podstawowe metody matematyczne stosowane w obliczeniach numerycznych metodę dyskretyzacji i metodę iteracji. Referat [30] podsumowywał badania nad komputeryzacją MRS. W pracy [31] przedstawiono możliwości metod numerycznych w rozwiązywaniu problemów geotechnicznych; natomiast w [32] przedstawiono wykorzystanie EMC w realizacji eksperymentów. Praca [33] przedstawiała zastosowania MES w analizie stateczności dynamicznej prętów i płyt. Zagadnieniom automatyzacji projektowania poświęcony był referat [34]. Na uwagę zasługuje praca [35], w której przedstawiono system programów WAT-KM przeznaczony do rozwiązywania liniowych problemów statyki i dynamiki oraz zadań termosprężystości. Referat przedstawiony był już niestety po śmierci głównego twórcy systemu profesora Jana Szmeltera, wielce zasłużonego dla komputeryzacji mechaniki w Polsce.

Przed dwoma laty odbyła się piąta konferencja (Wrocław—Karpacz 1981). Zgłoszono 79 prac. Referaty problemowe skoncentrowały się na problemach optymalizacji [36], komputerowego wspomaganie badań doświadczalnych [37], błędach w obliczeniach komputerowych [38], zasadach wariacyjnych mechaniki [39], zastosowaniach MES w analizie stateczności [40]. W konferencji uczestniczył profesor O. C. Zienkiewicz prezentując podczas dyskusji okrągłego stołu wyniki swoich ostatnich badań. Wśród referatów szczegółowych na uwagę zasługuje [41], w którym zaprezentowano system obliczeń WDKM do analizy statycznej i dynamicznej dowolnych układów prętowych, wymiarowania prętowych konstrukcji metalowych oraz obliczeń statycznych układów mieszanych prętowych w połączeniu z elementami dwu i trójwymiarowymi. Z uwagi na swoje możliwości (50 tys. niewiadomych) system może być porównywalny ze współczesnymi dużymi programami zagranicznymi.

Kolejna szósta konferencja odbędzie się w czerwcu 1983 r. w Białymstoku.

Poza pracami zgłaszanymi na omówione wyżej konferencje, problematyka komputeryzacji mechaniki konstrukcji była także prezentowana na innych konferencjach krajowych (np. „Konstrukcje powłokowe” — Kraków 1974 r., Gołuń 1978 r., Opole 1982 r.), i na łamach czasopism oraz periodyków poświęconych mechanice. Od roku 1977 wychodzi specjalistyczne wydawnictwo o charakterze ciągłym „Mechanika i komputer”, redagowane w IPPT PAN. Dotychczas (1983) ukazały się cztery jego tomy. Omówienie wszystkich interesujących nas prac w liczbie kilkuset przekracza możliwości tego opracowania. Dokonując jednak oceny syntetycznej należy stwierdzić, że w badaniach dotyczących komputeryzacji konstrukcji osiągnięty został w kraju w ostatnim dziesięcioleciu znaczny postęp.

Duża liczba publikacji i prac krajowych zarówno zakresem tematycznym jak i poziomem dorównuje zagranicznym. Dowodem zbliżenia nauki krajowej do światowej w omawianym zakresie są publikacje polskich autorów w renomowanych czasopismach międzynarodowych np. w „Computer and Structures” oraz w „Computer Methods in applied mechanics and engineering”, było ich w ostatnich latach kilkanaście.

Na międzynarodowej konferencji FENOMECH'81 (Stuttgart 1981), grupa polskich autorów przedstawiła jeden z referatów wiodących [42]. Poza wspomnianymi już dużymi

krajowymi systemami obliczeniowymi, świadectwem postępu są także opracowania książkowe [43, 44, 45, 46, 47].

Stymulatorami postępów w komputeryzacji mechaniki były niewątpliwie omówione krajowe konferencje poświęcone metodom komputerowym. Organizowane są one przez Sekcję Mechaniki Konstrukcji KILiW PAN przy współdziałaniu z uczelniami, oddziałami PTMTS i NOT. Pozytywny wpływ miały także odpowiednio ukierunkowane konferencje szkoleniowe z udziałem zagranicznych wykładowców np. „Metody obliczeniowe w mechanice nieliniowej” — Jabłonna 1976 r., „Współczesne problemy mechaniki wielkich systemów” — Jabłonna 1977 r., „Pre i post-procesory” — Jabłonna 1979 r., „Stateczność konstrukcji” — Janowice 1980 r.

Znaczną rolę odegrały staże naukowe odbywane przez Polaków w przodujących ośrodkach zagranicznych (Stuttgart, Swensea, Trondheim).

Do osiągniętego postępu przyczynił się względnie duży wzrost ilościowy i częściowo jakościowy sprzętu komputerowego. O ile w roku 1971 było w kraju 100 ośrodków obliczeniowych i 180 bardzo różnorodnych komputerów, o tyle w roku 1981 było 1850 ośrodków wyposażonych w 2633 maszyny w tym 874 komputerów średnich i dużych oraz 1759 minikomputerów. Wśród maszyn średnich dominowały ODRY-y 1300 oraz RIAD 30, 32. Z dużych warto wymienić dwa systemy CYFRONET zainstalowane w Warszawie i Krakowie oparte na komputerach CDC-CYBER. Mimo znacznych liczb wzrostu jest to przyrost tylko względny. Według opinii specjalistów opóźnienie krajowe w ilości i jakości sprzętu komputerowego szacowana jest na około 10 lat. Sytuacja w niedalekiej przyszłości może się znacznie pogorszyć gdyż od roku 1980 nie przybyło nowych maszyn a nakłady na sprzęt zmalały o połowę.

Stwierdzając osiągnięty postęp, należy jednocześnie podkreślić, że w niektórych obszarach tematycznych badania krajowe pozostają wyraźnie w tyle za zagranicznymi. Dotyczy to szczególnie tych, które zależą od sprzętu a więc np. grafiki komputerowej, projektowania wspomaganego komputerami, mechaniki wielkich systemów, matematycznego modelowania obiektów rzeczywistych, programowania symbolicznego, stosowania nowych algorytmów np. równoległych a także matematycznych podstaw metod numerycznych, co należy odnieść do matematyki stosowanej. Można wprawdzie wymienić prace z mechaniki wielkich systemów np. [48] czy grafiki wykonane w zespole Z. Brzymka z Politechniki Warszawskiej, M. Bossaka z PIMB czy J. Szymczyka i BISTYP-u, który rozwija także koncepcje automatycznego projektowania, ale są to niestety przypadki jednostkowe.

3.2. Metody komputerowe w dydaktyce. Problem wprowadzania metod komputerowych do nauczania mechaniki konstrukcji nabrał aktualności w kraju w połowie lat siedemdziesiątych. Był on przedmiotem między innymi trzech kolejnych konferencji metodycznych (Polańczyk 1975 r., Jadwisin 1976 r., Janowice 1977 r.) oraz spotkania panelowego w czasie trzeciej konferencji komputerowej (Opole 1977 r.). Ważniejsze zagadnienia i ówczesne propozycje rozwiązań zawiera publikacja [49].

Komputerowe ujęcie problemów mechaniki konstrukcji wchodzących do obecnych programów nauczania polegałoby głównie na:

- wprowadzeniu macierzowego zapisu praw, związków i zależności,
- automatyzacji budowania i rozwiązywania podstawowych równań metody sił,
- przedstawieniu metody przemieszczeń w ujęciu metody elementów skończonych,

- macierzowym zapisie i przedstawieniu numerycznych algorytmów wyznaczania wielkości w analizie dynamicznej i stateczności,
- wprowadzeniu metody elementów i różnic skończonych do analizy układów powierzchniowych,
- wykorzystaniu komputerów do generowania zależności, wykonywania obliczeń, selekcji i automatycznego przedstawiania wyników.

Wspomniane ujęcie charakteryzuje się ogólnym i kompleksowym traktowaniem problemów. Wprowadza daleko posunięty formalizm a także dość wysoki stopień abstrakcji. Z tych powodów może ono okazać się dydaktycznie trudniejsze od ujęcia klasycznego odznaczającego się większą pogładowością. Szczególnie wyraźnie występuje ten problem przy porównaniu klasycznego i komputerowego przedstawienia metody sił.

Na tym tle formułowane są wątpliwości odnośnie do wprowadzania ujęcia komputerowego do dydaktyki w ogóle. Wyraża się obawę, że w ujęciu tym zatraci się główny cel jakim jest nauczanie studenta zrozumienia pracy konstrukcji, zaciemnia się sens fizyczny rozpatrywanych problemów, pozbawia się umiejętności i możliwości wykonania analizy, w przypadku braku dostępu do komputera. Można te obawy rozumieć, ale nie należy ich przeceniać. Doświadczenia zagraniczne a także krajowe ich nie potwierdzają.

Warto przypomnieć, że podobnego rodzaju wątpliwości występowały np. przy przechodzeniu od ujęcia mechaniki budowli bazującego na analizie geometrycznej odkształconego stanu konstrukcji (szkoła W. Wierzbickiego) do ujęcia bardziej abstrakcyjnego opartego na zasadzie prac wirtualnych (szkoła W. Nowackiego). Dziś tych wątpliwości już nie ma.

Przewidywane niedoskonałości i trudności dydaktyczne w komputerowym ujęciu mechaniki można wyeliminować drogą odpowiedniego postępowania organizacyjnego i metodologicznego.

Przede wszystkim komputerowe nauczanie należy wprowadzać selektywnie, mając na względzie wcześniejsze przygotowanie kadry nauczającej, pomocy dydaktycznych oraz zapewnienie dostępności do sprzętu informatycznego. W samym procesie dydaktycznym stosować metodę etapowania. Poprzedzać ujęcie komputerowe, tam gdzie może to być potrzebne, ujęciem klasycznym. Nie szczędzić komentarzy i wyjaśnień eksponujących fizyczną stronę rozważanych problemów. Pogładowość można dodatkowo zapewnić wprowadzając ćwiczenia doświadczalne na modelach, operując bogatym materiałem ilustracyjnym w postaci przeźroczy, wstawek filmowych itp. nie mówiąc o interaktywnej pracy z komputerem. Należy ciągle zwracać uwagę na relacje schemat obliczeniowy — realny obiekt, podkreślając niezbędność wiernego modelowania rozpatrywanej konstrukcji schematem zastępczym i podając sposoby takiego modelowania. Nota bene ujęcie komputerowe stwarza duże możliwości w tym zakresie.

Szczególnego znaczenia nabiera dostarczenie studentowi metod i środków sprawdzania i weryfikowania wyników. Chodzi tu zarówno o możliwość eliminowania oczywistych nonsensów, jak i błędów bardziej „zakonspirowanych”.

Zawsze trzeba mieć na względzie fakt, że mechanika konstrukcji jest przedmiotem użytkowym, nastawionym na zastosowanie praktyczne, ale jednocześnie istotnym elementem podstawowego kształcenia inżyniera.

Stan w zakresie wprowadzania metod komputerowych do nauczania mechaniki przed-

stawimy na podstawie analizy ankiet uzyskanych w roku 1978 z 18-tu placówek dydaktycznych nauczających mechaniki na kierunku „budownictwo”. Ponowne wrywkowe sprawdzenie wskazuje, że od tego czasu do dziś nie wiele się zmieniło a fragmentaryczne porównania mówią, że sytuacja na innych kierunkach kształcenia w szkołach technicznych jest gorsza niż na budownictwie.

Wykłady z przedmiotów poświęconych mechanice konstrukcji prowadzone są w większości przypadków w ujęciu klasycznym. W trzech placówkach (Poznań, Łódź, Rzeszów) obok zapisu klasycznego wprowadza się fragmentarycznie zapis macierzowy oraz elementy ujęcia komputerowego. W czterech ośrodkach (Gdańsk, Kraków, Warszawa, Wrocław) obok fragmentarycznego zapisu macierzowego w odniesieniu do klasycznych metod mechaniki, wprowadza się także metody komputerowe w ramach studiów indywidualnych, dla specjalizacji „Teoria Konstrukcji” oraz w nielicznych przypadkach dla innych specjalności.

Ćwiczenia audytoryjne obejmują prawie wyłącznie obliczenia wykonywane ręcznie. Jedynie w trzech przypadkach (Gdańsk, Kraków, Rzeszów) część tych ćwiczeń przeprowadza się przy wykorzystaniu komputera. Wynika to głównie z faktu, że wykładowcy mechaniki prowadzą tam jednocześnie przedmiot ETO.

Ćwiczenia projektowe wykonywane są w dość znacznym stopniu przy wykorzystaniu techniki komputerowej. Proces ten przebiega dobrze w tych ośrodkach, które dysponują programami dydaktycznymi na EMC oraz mają możliwości dostępu do maszyn (Gdańsk, Kraków, Wrocław).

Prawie wszystkie prace dyplomowe związane z mechaniką konstrukcji wykonywane są przy wykorzystaniu komputerów. Część prac dotyczy zastosowań metod komputerowych, część opracowania programów. Tej tematyce poświęca się także niektóre seminaria przed-dyplomowe.

Większość ośrodków wskazuje na braki w sprzęcie informatycznym, szczególnie w zakresie urządzeń do przygotowania danych oraz na trudności w swobodnym dostępie do komputera. W stosunkowo nieźłej sytuacji pod tym względem są: Białystok, Gdańsk, Opole, Rzeszów, Warszawa, Wrocław.

Prawie wszystkie ośrodki sygnalizują braki w zakresie pomocy dydaktycznych prezentujących problemy mechaniki konstrukcji w ujęciu komputerowym. W siedmiu ośrodkach (Gdańsk, Gliwice, Kraków, Poznań, Rzeszów, Warszawa, Wrocław), prowadzone są prace nad skryptami i zbiorami zadań a także nad programami dydaktycznymi na EMC.

Niektóre z tych prac zostały już zakończone. W grupie programów dogodnych do zastosowania w dydaktyce można wymienić przykładowo:

- system STRANS-71 [13],
- programy dydaktyczne Politechniki Krakowskiej przedstawione na drugiej konferencji komputerowej (Gdańsk 1979), [50, 51, 52],
- opracowanie J. Weselego z Politechniki Śląskiej [53, 54],
- program S. J. Fenvesa do analizy układów prętowych metodą sił zaadoptowany w Politechnice Warszawskiej, na ODRE 1300, [55],
- opracowany w Politechnice Gdańskiej program KRET [56] do analizy układów prętowych metodą przemieszczeń,

— program MINIFEM opracowany przez R. Taylora zaadoptowany w Politechnice Warszawskiej na RIAD-a 32.

Nieco inny charakter niż dotąd wymienione mają opracowania [57, 58, 59]. Angażują one aktywnie studenta w proces obliczenia czy budowania własnego programu, nie ograniczając jego roli do przygotowania danych i interpretacji wyników. Tak więc program [57] składa się z podprogramów realizujących szeroką klasę operacji macierzowych. Student może zbudować z nich własny program umożliwiający realizację typowych macierzowych algorytmów analizy konstrukcji. Wykorzystując program [58] student może w systemie konwersacyjnym rozwiązać szereg podstawowych zadań z analizy konstrukcji prętowych. Podobny charakter ma opracowanie [59].

Z podręczników i skryptów, poza już wspomnianymi [43, 44, 45] można wymienić dodatkowo [60, 61, 62]. Skrypt [60] podaje metodę sił i przemieszczeń w zapisie macierzowym oraz dwie metody komputerowe MMP, MES. Pozycja [61] poświęcona jest macierzowym metodom sił i przemieszczeń, natomiast [62] traktuje wyłącznie o MES w zakresie potrzebnym dla wyższych szkół technicznych. Pod koniec 1983 r. ukaże się obszernie wieloautorskie opracowanie książkowe pt. „Mechanika budowli — ujęcie komputerowe”.

Mimo to postęp w unowocześnieniu nauczania mechaniki konstrukcji należy uznać jako bardzo ograniczony i fregmentaryczny. Nie odpowiada on ani potrzebom ani w wielu przypadkach stającym do dyspozycji środkom i możliwościom. Tymczasem klasyczne metody mechaniki tracą coraz wyraźniej skuteczność w rozwiązywaniu współczesnych problemów technicznych. Sprawa daleko idących zmian w nauczaniu mechaniki, w kierunku szerokiego uwzględnienia metod komputerowych nabiera podstawowego znaczenia.

3.1. Metody komputerowe w zastosowaniach inżynierskich. Projektowanie konstrukcji, przygotowanie technologii i produkcji są w dużej mierze procesami przetwarzania informacji i podejmowania decyzji. Stwarzając przez to szczególnie dogodne warunki komputeryzacji. Mimo to około 33% pracy komputerów przeznaczają się na obliczenia naukowe i inżynierskie z czego mniej niż połowa przypada na prace projektowe.

Wprowadzenie metod komputerowych do praktyki inżynierskiej uwarunkowane jest w decydujący sposób od zespołu czynników zwanych syntetycznie „zapotrzebowaniem”. Związana ona jest zwykle z istnieniem problemów nie dających się rozwiązać metodami tradycyjnymi, z potrzebą uzyskiwania rozwiązań doskonalszych, z koniecznością oszczędzania czasu, środków i materiałów. Powyższe wynika z ogólniejszej sytuacji powiązanej z istnieniem nowoczesnej stojącej na wysokim poziomie, dobrze zorganizowanej działalności gospodarczej i technicznej.

Spośród szerokiego obszaru zastosowań, przedmiotem naszego zainteresowania są te, w których występuje mechanika konstrukcji czyli projektowanie. Metody komputerowe stwarzają tu nowe możliwości nie osiągalne przy stosowaniu metod i technik tradycyjnych.

Polegają one na stosowaniu doskonalszych, bardziej realistycznych modeli obliczeniowych dla projektowych obiektów, odnośnie do wszystkich parametrów geometrii, fizyki, obciążenia i warunków podparcia.

Przyjęty model obliczeniowy jest przedmiotem analizy określającej stan obiektu przy ustalonych parametrach modelu, bądź przedmiotem syntezy, w procesie której następuje podstawianie wartości dla parametrów charakteryzujących model. Jeżeli określone jest

przy tym jakieś kryterium i dąży się do znalezienia wartości tych parametrów w sposób zapewniający ekstremalne osiągnięcie kryterium, wtedy synteza staje się optymalizacją. Mówimy wówczas o projektowaniu optymalnym. Obecnie jedynymi efektywnymi metodami analizy i syntezy konstrukcji są metody i techniki komputerowe.

Dotychczasowe dość liczne zastosowania praktyczne metod komputerowych w kraju dotyczą analizy. W pierwszym etapie opierały się one na stosunkowo prostych programach obliczeniowych np. w przypadku konstrukcji budowlanych, programu WD-21 (Wrocław), PROBUS (Gliwice), BRDA (Bydgoszcz). Następnie weszły do użycia systemy bardziej rozbudowane: KOS (ETOB-Warszawa), STRAINS (PW-Warszawa), TAPP (BISTYP-Warszawa) [34].

W latach siedemdziesiątych zainstalowano w kraju kilka dużych systemów zagranicznych: STRUDL (ZOWAR-Warszawa), SESAM69 (CTO-Gdańsk), ASKA, SAPIV, TOPAS (PIMAB, BUMAR-Warszawa), NOSTRAN (Inst. Lot.-Warszawa). Wszystkie wymienione systemy służą do analizy dowolnych konstrukcji w zakresie statyki liniowej za pomocą MES i częściowo dynamiki. Wykorzystywane są głównie w biurach konstrukcyjnych przemysłu maszynowego. Bliższą charakterystykę i analizę porównawczą systemów podaje opracowanie [63]. Tutaj ograniczymy się do stwierdzenia, że można za ich pomocą uzyskiwać stosunkowo dobre wyniki dla dużych układów konstrukcyjnych np. SESAM: 800 superelementów, 300 stanów obciążeń, przemieszczenia i naprężenia w dowolnej liczbie przekrojów w postaci graficznej lub liczbowej.

Przykłady krajowych zastosowań w zakresie syntezy są nieliczne. Świadczy o tym także liczba programów przeznaczonych do tych celów. Można tu wymienić konwersacyjny system ŻELBET (BISTYP-Warszawa), służący do wymiarowania przekrojów sposobem prób i błędów przy wykorzystaniu monitora ekranowego. O wiele bardziej zaawansowany jest system analizy ram żelbetowych (PROCHEM-Warszawa) [64], który umożliwia automatyczne projektowanie konstrukcji o ustalonym schemacie i długościach prętów, z warunkiem minimum ciężaru lub kosztów. Podobną rolę, ale w odniesieniu do konstrukcji metalowych spełnia wspomniany wcześniej system WDKM [41].

Rozwinięciem syntezy, jest automatyczne projektowanie, w którym wymiary konstrukcji uzyskane przy wykorzystaniu metod optymalizacji czy też konwersacji z komputerem, są wynikami pośrednimi dla ostatecznych rezultatów w postaci rysunków roboczych, zestawień materiałowych, kosztorysów itp. dokumentów technicznych. Ten kierunek rozwijany jest w BISTYP-ie pod kierunkiem J. Szymczyka. Opracowano tam i wdrożono dwa systemy automatycznego projektowania ASTROF i PASTOR. Pierwszy służy do projektowania hal żelbetowych, drugi natomiast hal stalowych. Oba systemy były kilkusetkrotnie stosowane, dają w efekcie każdorazowo gotowy projekt budowlany obiektu.

Zbliżony do wyżej wymienionych jest system OPT(MOSTOSTAL-Warszawa). Przeznaczony jest do katalogowego projektowania stalowych hal przemysłowych. W wyniku działania systemu otrzymuje się optymalne zestawienie skatalogowanych elementów typowych całej konstrukcji wraz z rysunkami.

Jak wynika z tego dość fragmentarycznego opisu, zastosowanie metod komputerowych w projektowaniu inżynierskim jest w kraju wyraźnie zauważalne. Przyczyniło się do tego w znacznym stopniu wyposażenie większości biur projektowych w importowane minikomputery typu PDP, NOVA, WANG, VARIAN i krajowe MERA 400. W pojedyn-

czych przypadkach sprowadzono informatyczne urządzenia graficznego wprowadzania i wyprowadzania informacji. Tego rodzaju sprzęt okazał się w praktyce projektowej szczególnie przydatny. Istotną rolę integrującą, programującą i szkoleniową, odegrały także przodujące ośrodki jak BISTYP w resorcie budownictwa, BOPZI w Przemysłowym Instytucie Maszyn Budowlanych resortu maszynowego, czy CTO w przemyśle okrętowym.

Obecna sytuacja gospodarcza kraju oraz uwarunkowania zewnętrzne utrudniają dalszy rozwój a nawet utrzymanie obecnego stanu komputeryzacji prac inżynierskich. Zagrożony jest importowany sprzęt z powodu braku części zamiennych i serwisu. Niekorzystny wpływ ma także zmniejszenie tempa i rozmiaru produkcji. Niektóre biura projektów resortu budownictwa zmniejszyły w okresie ostatnich dwóch lat intensywność używania komputerów nawet trzykrotnie. Należy mieć nadzieję, że jest to sytuacja przejściowa.

4. Uwagi końcowe i wnioski

Stan w zakresie komputeryzacji mechaniki konstrukcji w kraju jest zróżnicowany w poszczególnych działach jej uprawiania.

W badaniach uczyniono znaczny postęp, w dydaktyce jest on niedostateczny, natomiast w zastosowaniach inżynierskich zauważalny, mimo że ograniczony do niektórych przemysłów i jednostek organizacyjnych.

Z powyższej oceny zapewne subiektywnej ale nie odbiegającej zbyt od rzeczywistej, wynikają następujące wnioski. W odniesieniu do działalności naukowej:

- utrzymać dotychczasowe przedsięwzięcia służące rozwojowi metod komputerowych (konferencje, wydawnictwa, kursy, staże),
- nasilić badania w aktualnych obszarach tematycznych (nieliniowość, optymalizacja, dynamika, stateczność, matematyczne podstawy numeryki),
- podjąć tematy słabo rozwijane (grafika komputerowa, wielkie systemy i modelowanie matematyczne, kompozyty, pola sprzężone, współdziałanie konstrukcja-otoczenie, metody komputerowe w doświadczalnictwie),
- zwiększyć prace służące przenoszeniu osiągnięć badawczych do zastosowań (poradniki, instrukcje, programy, podręczniki).

W odniesieniu do dydaktyki:

- uświadomić gronu nauczającemu mechaniki konstrukcji istniejący stan zacofania we wprowadzaniu metod komputerowych i konsekwencje stąd wynikające dla nowoczesnego kształcenia inżyniera,
- powrócić do idei konferencji metodycznych organizowanych w połowie lat siedemdziesiątych,
- zadbać o pomoce dydaktyczne, prezentujące materiał w ujęciu komputerowym,

W odniesieniu do zastosowań inżynierskich:

- stosować bardziej realistyczne modele projektowanych obiektów,
- rozwijać systemy automatycznego projektowania.

Na zakończenie kilka zdań z dziedziny futurologii

Ostatnio w świecie (USA, Japonia) pojawiła się druga już generacja tzw. superkomputerów (BCP, CYBER 205, CRAY-1) [65]. Maszyny te mają niezwykłą szybkość obliczeniową, 100 MFLOPS (1 MFLOPS oznacza milion operacji arytmetycznych na sekundę). Krajowy komputer średniej mocy ma 0,24 MFLOPS. Dysponują ogromnymi pamięciami operacyjnymi (4 M słów 64 bit). Nasze komputery 0,256 M słów 8 bit. Mają duże i bardzo szybko dostępne pamięci zewnętrzne (poj. 600 Mb, szybkość transmisji 800 M bit/sek). Krajowy komputer ma odpowiednio 0,2 - 100 Mb i 0,08 - 0,2 M bit/sek. Superkomputery rozwiązują problemy, w których są miliony punktów węzłowych siatki a w każdym nawet do 30_z zmiennych w czasie wartości do wyznaczenia. Tego rodzaju problemy występują np. w fizyce jądra i plazmy, sejsmologii, meteorologii, symulacji cyfrowej pól ciągłych, tomografii komputerowej, modelowaniu organów ludzkich i zwierzęcych. Wyniki otrzymuje się w postaci obrazu, bardzo często ruchomego (film).

Superkomputerów jest na razie niewiele, mniej niż 50 sztuk i są bardzo drogie (10 - 15 mil. dolarów). Ale przecież nie całe 40 lat temu pierwszy komputer też kosztował 10 mil. dolarów i zajmował wielką halę. Dziś jego ówczesne możliwości ma średniej klasy kieszonkowy kalkulator za kilkadziesiąt dolarów. A więc?

Literatura cytowana w tekście

1. Z. WASZCZYŻYŃ, *Metody obliczania i technika obliczeniowa w teorii konstrukcji inżynierskich*, II Kongres Nauki Polskiej, Ogólna teoria konstrukcji, Polit. Krakowska, Kraków (1973).
2. Z. LEŚNIAK, G. RAKOWSKI, *Kierunki rozwoju i problemy mechaniki komputerowej w Polsce*, Arch. Inż. Łąd., 3, 20 (1974).
3. S. J. FENVES, *Scenario for a Third Computer Revolution in Structural Engineering*, Jour. of Struct. Div. ST1, 97 (1971).
4. S. DOBROCIŃSKI, J. SZMELTER, *Programi rozwijający równanie metody elementów skończonych*, Biulet. WAT, 6, 20 (1971).
5. J. SZMELTER, M. WIECZOREK, *Wykresy warstwiczne funkcji $F(x, y)$ wykonane na maszynie cyfrowej*, Biulet. WAT, 5, 20 (1971).
6. J. SZMELTER i inni, *Programy metody elementów skończonych*, Arkady, Warszawa, (1973).
7. J. KRUSZEWSKI, *Metoda sztywnych elementów skończonych w zastosowaniu do obliczeń częstości drgań własnych złożonych układów liniowych*, Zesz. Nauk. P. Gd., Mech. XII (1971).
8. G. RAKOWSKI, *Zastosowanie macierzy do analizy statycznej i dynamicznej prętów prostych*, Arkady, Warszawa, (1968).
9. O. MATEJA, *Problemy statyki i dynamiki płyt pierścieniowych oraz powłok obrotowych*, Zesz. Nauk. WSI Opole 4 (1972).
10. J. PIETRZAK, K. WRZEŚNIEWSKI, *Zastosowanie rachunku macierzowego w zagadnieniach mechaniki budowli*, PWN, Warszawa—Poznań 1970.
11. A. F. SMIRNOW, *Obliczanie konstrukcji za pomocą maszyn cyfrowych*, tłum. z ros. Arkady, Warszawa 1970.
12. O. C. ZIENKIEWICZ, *Metoda elementów skończonych*, tłum. z ang., Arkady, Warszawa 1972.
13. Z. BZYMEK, R. KAMIŃSKI, *Język problemowy STRAINS-71*, Prace nad automatyzacją projektowania konstrukcji inżynierskich, nr 1, IDiM, PW Warszawa (1972).
14. *Trends in computerized structural analysis and synthesis*, Computer and Structures 1/2, 10 (1974).
15. *Advances and trends in structural and solid mechanics*, Comp. Struct. 1/4 16 (1983).
16. *Finite Elements Computer Programs*, Linkoping Institute of Technology, S-58183 Linkoping Sweden.

17. Z. KAŁCZKOWSKI, *The method of finite space-time elements in dynamics of structures*, J. of Tech. Phys. 1, 16 (1975).
18. J. KRUSZEWSKI i inni, *Metoda sztywnych elementów skończonych*, Arkady, Warszawa 1975.
19. J. SZMELTER, K. DEMS i inni, *System wielostopniowej syntezy struktury*, III Konf. Metody Komputerowe w Mechanice Konstrukcji, Tom II, Opole 1977.
20. W. GAWROŃSKI, S. GRABOWSKI, J. KRUSZEWSKI, *Koncepcja sztywnoodkształcalnego elementu skończonego*, III Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Tom I, Opole 1977.
21. T. LISZKA, J. ORKISZ, *Zmodyfikowana metoda różnic skończonych przy nieregularnej siatce węzłów w problemach mechaniki*, XVIII Konf. Mech. Ciała Stałego, Wisła—Jawornik 1976.
22. T. LISZKA, J. ORKISZ, *Nowe koncepcje i rozwiązania metody różnic skończonych*, III Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Tom II, Opole 1977.
23. Cz. WOŹNIAK, *Dyskretyzacja fizyczna a dyskretyzacja numeryczna w mechanice*, III Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Tom III, Opole 1977.
24. M. KLEIBER, *Numeryczne aspekty analizy ciał i konstrukcji sprężysto-plastycznych*, III Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Opole 1977.
25. A. BORKOWSKI, *Programowanie matematyczne w analizie i optymalizacji konstrukcji*, III Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Tom III, Opole 1977.
26. A. GAWĘCKI i inni, *Optymalizacja inżynierska ram sprężystych o zmiennych przekrojach*, III Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr. Tom I, Opole 1977.
27. Z. LEŚNIAK, *Optymalizacja systemów metodą dekompozycji*, III Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Tom II, Opole 1977.
28. J. OBRĘBSKI, *Uogólniony algorytm numeryczny do analizy konstrukcji prętowych*, III Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Tom II, Opole 1977.
29. M. KWAPISZ, *Metody dyskretyzacji i iteracji jako podstawowe metody obliczeń numerycznych*, IV Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Koszalin 1979.
30. J. ORKISZ, *Komputeryzacja metody różnic skończonych*, IV Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Koszalin 1979.
31. P. WILDE, *Metody numeryczne w problemach geotechnicznych*, IV Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Koszalin 1979.
32. W. KAŚPRZAK, B. LYSIK, *Projektowanie eksperymentu i przetwarzanie jego wyników*, IV Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Koszalin 1979.
33. W. OSTACHOWICZ, *Zastosowanie metody elementów skończonych do analizy stateczności dynamicznej prętów i płyt cienkich*, IV Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr. Koszalin 1979.
34. M. ROBAKIEWICZ, J. SZYMCZYK, *Zasady i organizacja systemów automatyzacji projektowania*, IV Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Koszalin 1979.
35. J. SZMELTER i inni, *System WAT-KM programu analizy konstrukcji*, IV Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Koszalin 1979.
36. K. DEMS, Z. MRÓZ, *Metody wariacyjne w problemach optymalizacji syntezy i identyfikacji konstrukcji*, V Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Wrocław 1981.
37. K. DRZEWIŃSKI, i inni, *Minikomputerowe wspomaganie badań doświadczalnych z mechaniki*, V Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Wrocław 1981.
38. G. RAKOWSKI, *Błędy i kontrola wyników w obliczeniach komputerowych*, V Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Wrocław 1981.
39. G. SZEFER, *Zasady wariacyjne w metodach komputerowych mechaniki*, V Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Wrocław 1981.
40. Z. WASZCZYSZYN, *Stosowanie MES w analizie stateczności konstrukcji*, V Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Wrocław 1981.
41. J. OBRĘBSKI, J. RĄCZKA, *System WDKM i jego aktualne możliwości obliczeniowe*, V Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Wrocław 1981.
42. M. KLEIBER, A. KÖNIG, A. SAWCZUK, *Studies on plastic structures: stability anisotropie, hardening, cyclic loads.*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 1/3, 33 (1982).
43. J. SZMELTER i inni, *Metoda elementów skończonych w statyce konstrukcji*, Arkady, Warszawa 1979.

44. J. PIETRZAK, G. RAKOWSKI, K. WRZEŚNIEWSKI, *Macierzowa analiza konstrukcji*, PWN, Warszawa—Poznań 1979.
45. J. SZMELTER, *Metody komputerowe w mechanice*, PWN, Warszawa 1980.
46. W. GUTKOWSKI i inni, *Obliczenia statyczne przekryć strukturalnych*, Arkady, Warszawa 1980.
47. Cz. WOŹNIAK, M. KLEIBER, *Nieliniowa mechanika konstrukcji*, PWN, Warszawa—Poznań 1982.
48. D. ROGULA, *Obliczanie dużych układów konstrukcyjnych na EMC*, AIL 3, XX (1974).
49. G. RAKOWSKI, *Metody komputerowe w nauczaniu*, *Dydaktyka Szkoły Wyższej*, 3, 31, (1975).
50. B. OLSZOWSKI, *Obliczanie ram metodą sił—program dydaktyczny*, II Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Gdańsk 1975.
51. M. RADWAŃSKA, A. DUBOWICKA, *Obliczanie sprężystych płyt kołowych i pierścieniowych—program dydaktyczny*, II Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Gdańsk 1975.
52. J. ORKISZ, St. ŚWISZCZOWSKI, *Programy dydaktyczne zastosowania ETO w nauczaniu mechaniki budowli i przedmiotów pokrewnych*, II Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Gdańsk, 1975.
53. J. WESELI, *Metody i programy do obliczeń konstrukcji inżynierskich*, cz. I. Gliwice 1975.
54. J. WESELI, *MES, Programy do obliczania konstrukcji inżynierskich*, cz. II, Gliwice 1978
55. S. J. FENVES, *Program do analizy statycznej płaskich konstrukcji prętowych metodą sił*, przekład. IMKI, Warszawa, 1975.
56. Cz. BRANICKI, I. KREJA, *Analiza statyczna dowolnych płaskich układów prętowych*, Wyd. P. Gd. Nr 7, Gdańsk 1980.
57. Cz. BRANICKI, *Program interpretujący symbolikę macierzową PRISM*, IKB, Gdańsk 1979.
58. J. GŁABISZ, M. HERMANOWICZ, S. ŻUKOWSKI, *Diana system dialogowej analizy konstrukcji prętowych*, V Konf. Met. Komp. w Mech. Konstr., Wrocław 1981.
59. Zb. REPERT, *Ćwiczenia projektowe z mechaniki budowli z zastosowaniem minikomputera MERA 400*, WPW, Warszawa 1982.
60. G. RAKOWSKI, *Komputerowa mechanika konstrukcji*, WPW, Warszawa 1977.
61. Cz. BRANICKI, M. WIZMUR, *Metody macierzowe w mechanice budowli i dynamika budowli*, P. Gd. Gdańsk 1980.
62. A. JAWORSKI, *Metoda elementów skończonych w wytrzymałości konstrukcji*, WPW, Warszawa 1981.
63. *Porównanie uruchomionych w PIMB zagranicznych systemów MES*, PIMAB-BOP21, Raport 10/80, Warszawa 1980.
64. R. BITNER, A. GOLKA, Z. JASZCZOFT, *Projektowanie konstrukcji budynków halowych i wielokondygnacyjnych z zastosowaniem maszyn cyfrowych*, BIB29, Arkady, Warszawa 1973.
65. E. KOZDROWICKI, D. THEIS, *Second generation of vector supercomputers*, Computer 12, 13, (1980).

Praca została złożona w Redakcji dnia 10 lutego 1983 roku.