

D4. Syntetyczny opis systemów FEAS i FEAS/KAM

D4.1. Wstęp

W końcu lat osiemdziesiątych rozpoczęto realizację zadania mającego na celu zbudowanie systemu komputerowego wspomagającego projektowanie dla potrzeb budownictwa. W pierwszym etapie realizowane jest środowisko systemowe oraz pakiet analizy metodą elementów skończonych – FEAS. Hasło FEAS jest skrótem pełnej nazwy Finite Element Analysis System. Za pomocą systemu FEAS (w.1.0) można analizować w zakresie statycznym i dynamicznym konstrukcje prętowe, powierzchniowe, bryłowe, analizować stateczność konstrukcji prętowych, obliczać charakterystyki geometryczne dowolnych przekrojów (system zawiera katalog kształtowników stalowych i aluminiowych), analizować rozkład temperatury obiektów dwu- i trójwymiarowych. W systemie rozbudowany jest pakiet kombinacji i wyboru obciążeń ekstremalnych.

D4.2. Podstawowe elementy systemu

System FEAS został zaprojektowany zgodnie ze współczesnymi tendencjami oprogramowania. Użytkownik współpracuje z systemem z końcówki (terminala) wydając komendy. Komendy mają zwykle parametry. Jeżeli nie podamy odpowiedniego kompletu parametrów, system dopyta się o brakujące. Jeżeli nie rozumiemy odpowiedzi, możemy przywołać kontekstowy help.

Komendę można wykonać również w trybie interaktywnym, czekając na odpowiedzi systemu. Analizator komend ma wbudowany procesor inteligentnego przyporządkowania parametrów. W praktyce oznacza to, że parametry możemy podawać w dowolnej kolejności. Komendy wykonywane są natychmiast. Z systemu wygodnie korzysta zarówno użytkownik zaawansowany, jak i początkujący.

Przewidziano, że użytkownik ma do dyspozycji monitor graficzny (oprócz alfanumerycznego), ploter i drukarkę graficzną. FEAS jest silnie zintegrowany z systemem operacyjnym UNIX.

System składa się z kilku podsystemów. Starano się zachować ten sam styl pracy z każdym podsystemem.

Poniżej przytoczymy wybrane elementy składowe systemu FEAS.

- Język Komend (JK) – oryginalnie zaprojektowany i oprogramowany język rozkazów umożliwiający opis zadania i interaktywną pracę,
- Opis Konstrukcji (OK) – interaktywny podsystem opisu topologii konstrukcji,
- Generator Siatek (GS) – zestaw generatorów siatek MES dla wybranych, najczęściej używanych figur (struktur) oraz dowolnych obszarów wielospójnych i wielozwartych; z pakietem współpracuje program optymalizujący numerację węzłów,
- Profil – oprogramowany katalog kształtowników stalowych i aluminiowych produkowanych w Polsce; pakiet udostępnia (oblicza) charakterystyki geometryczne zadanych przekrojów lub wybiera przekrój o zadanych cechach,

GRAF	– pakiet do graficznej prezentacji (na monitorze, drukarce, ploterze) danych i wyników obliczeń; obraz tworzony jest w trybie interaktywnym,
Kalkulator Inżyniera (KAIN)	– pakiet umożliwiający pracę w trybie kalkulatora programowalnego; dopuszcza definiowanie zmiennych i funkcji z możliwością odwoływania się do nich w innych pakietach systemu,
Komponowanie Algorytmów Mechaniki (KAM)	– podsystem przeznaczony głównie dla dydaktyki; efektywne narzędzie nauczania mechaniki w ujęciu komputerowym,
Biblioteki Elementów Skończonych (BES)	– elementy prętowe, PSN, PSO, OS, TSN, płyty cienkie i średniej grubości, powłoki cienkie OS, powłoki cienkie; materiał izotropowy, ortotropowy, anizotropowy,
Metody Numeryczne (MN)	– zbiór wyspecjalizowanych procedur rozwiązywania układu równań liniowych oraz znajdowania wartości klasycznego i uogólnionego zagadnienia własnego, rozwiązywania układu równań nieliniowych, numerycznego całkowania równań ruchu.

Oto inne ważniejsze cechy systemu FEAS:

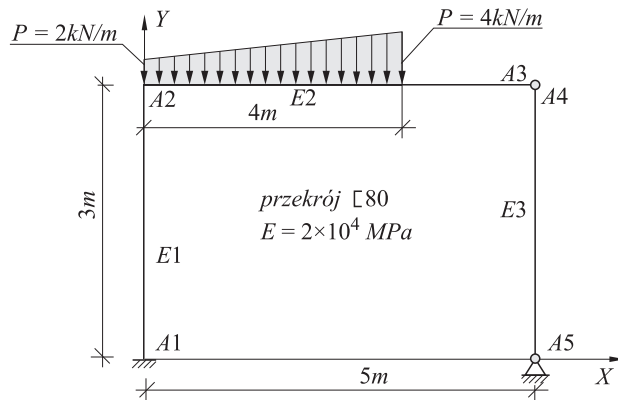
- baza danych w PAO, kontekstowy help, natychmiastowe wykonanie komend,
- układy współrzędnych: globalny, lokalny (elementowy), węzłowy,
- obciążenie konstrukcji przęsłowe (na element),
- nazwy węzłów, elementów, materiałów, geometrii,
- substruktury,
- kombinacja obciążeń
- atrybuty obciążenia: stałe, zmienne, stowarzyszone, alternatywne (wykluczające się), tabela współczynników,
- łączenie wybranych stopni swobody,
- implementacja w środowisku systemu operacyjnego UNIX

Dalej omówimy wybrane pakiety systemu dokładniej.

D4.3. Opis Konstrukcji (OK)

Podkomenda (a w zasadzie podsystem) OK służy do wprowadzania danych niezbędnych do rozwiązania zadań inżynierskich metodą elementów skończonych. Podstawową jej funkcją jest rejestracja węzłów i ich atrybutów (siły w węźle, warunki brzegowe, temperatura, masy skupione, przemieszczenia węzłów podporowych oraz podparcia sprężyste) oraz elementów, materiałów, geometrii, sprężystego podłoża oraz obciążenia elementowego. Wszystkie te obiekty są identyfikowane przez nazwy. Użycie nazw jest ułatwione przez listy, które pozwalają na maksymalną automatyzację i skrócenie czasu definiowania całego zadania. Wprowadzane dane są kontrolowane w szerokim zakresie pod kątem poprawności formalnej. Komendy mają taką postać, by niejako wymóc na użytkowniku ich poprawność. Jednocześnie pozostawiony został mechanizm pracy wsadowej z plikami tworzonymi wg określonego formatu. Wszystkie obiekty definiowane mogą być w każdej chwili wyświetlane łącznie z ich atrybutami. Jednocześnie większość z nich (wszystkie,

dla których ma to sens) mogą być rysowane w trybie graficznym przy użyciu komendy GRAF. Poniżej zamieścimy przykładową sesję dla prostego zadania pokazanego na rys. D4-1.



Rys. D4-1

```

$ feas
FEAS> ok
Podaj rodzaj konstrukcji: r2
OK> ww
WW:X=?,Y=?> a1 0
WW:X=?,Y=?> a2 0 3
WW:X=?,Y=?> a3 5 3
WW:X=?,Y=?> a4 5 3
WW:X=?,Y=?> a5 5 0
OK> ..
OK> e e1 a1 a2
OK> e e2 a2 a3
OK> e e3 a4 a5
OK> lss a3 a4 ux uy
OK> wb a1 ux uy fiz
OK> wb a5 ux uy
OK> oe lin ln
OE:px1=0 ? > 0
OE:py1=0 ? > -2000
OE:mz1=0 ? > 0
OE:px2=0 ? > 0
OE:py2=0 ? > -4000
OE:mz2=0 ? > 0
OE:ksi1=0 ? > 0
OE:ksi2=0 ? > .8
OK> mat m1
MAT:Ro=0 ? > 7.85e3
MAT:E=0 ? > 2.1e11
MAT:AlfT=0 ? > 0
OK> geom g1

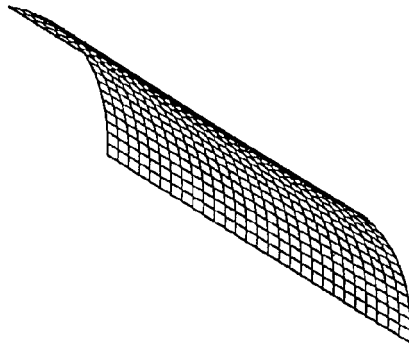
```

```
GEOM:A=0 ? > 11e-4  
GEOM:Jz=0 ? > 19.4e-8  
OK> pe e1 e2 e3 m1 g1  
OK> pe e2 lin  
OK> zap rapl  
TYTUL> przyklad sesji FEAS  
OK> ..  
FEAS>
```

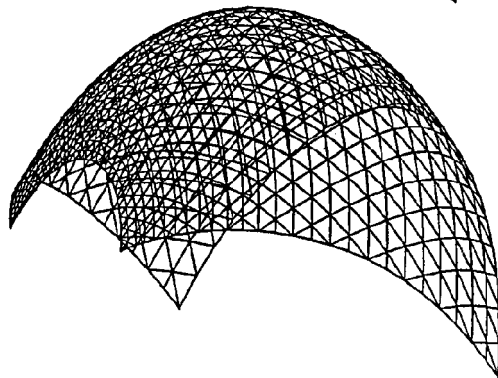
D4.4. Generator Siatek (GS)

Podsystem generujący siatki MES składa się z kilku wyspecjalizowanych pakietów procedur:

- a) zestawu procedur generujący siatki 2- 3- 4- 8- i 9-węzłowe dla wybranych prymitywów, tj.: prostokąta, pierścienia, wycinka pierścienia, walca, wycinka walca, stożka ściętego, stożka, ściętej sfery, wycinka sfery; oddzielna grupa procedur tworzy siatki złożone jedynie z trójkątów równobocznych dla ww. prymitywów
- b) zestawu procedur tworzący ww. siatki 2- 3- 4- 8- i 9-węzłowe dla opisanych przez użytkownika superelementów
- c) zestawu procedur generujących dla dowolnego obszaru, siatki złożone z elementów trójkątnych
- d) dwu zestawów procedur optymalizacji numeracji węzłów. Poszczególne zestawy wykonano wg odmiennych algorytmów optymalizujących numerację.



Rys. D4-2



Rys. D4-3

Z generatora siatek można korzystać również z poziomu OK. Przykładowo powłokę walcową (por. rys. D4-2) wygenerujemy stosując komendę:

OK> PA-WWA W-A E-1 2 3 60 20

gdzie: W-1 – nazwa pierwszego węzła,

E-1 – nazwa pierwszego elementu,

2 – promień walca,

3 – długość walca,

60 – kąt wycinka,

20 – gęstość podziału.

Natomiast komenda

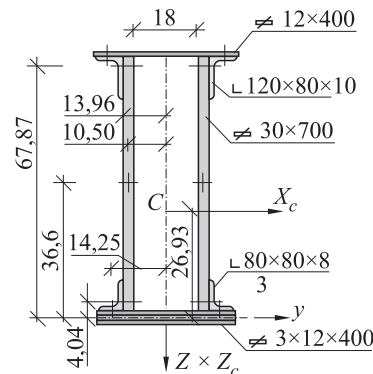
OK> PT-WSF W-1 E-1 20 100 10 120 25

spowoduje generację siatki trójkątnej (por. rys. D4-3). Jest to wycinek sfery opisany kątami wzdłuż południka: 20 i 100 stopni, wzdłuż równoleżnika 120 stopni. Promień sfery wynosi 10, liczba elementów na równoleżniku – 25.

D4.5. Profil

Pakiet służy do uzyskania charakterystyk geometrycznych wszystkich profili normowych – kształtowników walcowanych i giętych, oraz profili nienormowych – prostokąta, trójkąta, wycinka pierścienia, pierścienia, wycinka koła, koła. Możliwe jest realizowanie następujących funkcji:

- pobranie charakterystyk wybranego profilu,
- wyznaczenie charakterystyk przekroju złożonego z profili normowych i nienormowych,
- dowolna transformacja przekroju,
- wybór przekroju spełniającego założone warunki.



Rys. D4-4

Poniżej zamieścimy sesje pracy z podsystemem PROFIL, w której obliczono wartości charakterystyk dla przekroju zamieszczonego na rys. D4-4.

PROFIL>

! określenie charakterystyk blachy pionowej 30x700

!

ww a 9 1.8

ww b 12 1.8

```
ww c    12    71.8
ww d     9    71.8
wk b0           4
a        b        c        d
!
! okreslenie charakterystyk polowki srodkowej blachy dolnej 12x400
!
ww a 0. -.6
ww b 20 -.6
ww c 20 0.6
ww d 0. 0.6
wk b1 4
a        b        c        d
!
! okreslenie charakterystyk polowki pozostalych blach dolnych 12x400
!
t b1 b2 0. 1.2
t b1 b3 0. -1.2
!
! rysunek kontrolny
!
r b3
!
! okreslenie charakterystyk polowki blachy gornej 12x400
!
t b1 b4 0. 72.4000
!
! rysunek kontrolny
!
r b4
!
! okreslenie charakterystyk katownika nierownoramiennego l120x80x10
!
w-ln 120 80 10 a
!
! rysunek kontrolny
! r a
!
! przekształcenie przekroju przez symetrie wzgledem osi y
!
s a q 0. 1. 0.
! rysunek kontrolny
!
r q
!
! przesuniecie przekroju do odpowiednich wspolrzecznych
! liczonych wzgledem srodka ciezkosci zestawu blach poziomych
```

```
t q t1 13.96 67.87
!
! rysunek kontrolny
!
r t1
!
! pozyskanie charakterystyk katownika rownoramiennego 180x8
! w-1 a 80 8
!
! rysunek kontrolny
!
r a
!
! przesuniecie przekroju do odpowiednich wspolrzecznych
! liczonych wzgledem srodka ciezkosci zestawu blach poziomych
t a t2 14.240 4.0400
!
! rysunek kontrolny
!
r t2
! pozyskanie charakterystyk przekroju zlozonego wzgledem
! poczatkowego ukkladu wspolrzecznych
!
pz wyn0 b0 b1 b2 b3 b4 t1 t2
!
! rysunek kontrolny
!
r wyn0
!
! pozyskanie charakterystyk drugiej polowy przekroju
!
s wyn0 wyn1 1 0 0
!
! pozyskanie charakterystyk calego przekroju
!
pz wynik0 wyn0 wyn1
!
! rysunek kontrolny
!
r wynik0
!
! transformacja przekroju do osi glownych
! go wynik0 wynik
!
! wydruk koncowy
!
r wynik
```

D4.6. Kalkulator Inżyniera (KAIN)

Pakiet ten umożliwia wykonywanie podręcznych obliczeń wynikających w trakcie korzystania z systemu, z gwarancją, że wyniki obliczeń będą przechowywane w katalogu i automatycznie przekazywane do innych pakietów systemu FEAS. Zdefiniowanych w czasie sesji zmiennych można użyć w innych pakietach systemu FEAS wywołując ich nazwą poprzedzoną znakiem #.

D4.7. Biblioteki Elementów Skończonych (BES)

W systemie FEAS zaprojektowano dwie biblioteki elementów skończonych. W pierwszej bibliotece elementów skończonych, którą umownie nazywamy „inżynierską”, znajdują się macierze sztywności uzyskane bez stosowania procedur numerycznego całkowania. Należą do niej dwuwzłowe elementy prętowe (kratownice, ramy, ruszt) trójkątne elementy PSN, PSO, OS i płytowe, płaski element trójkątny powłoki cienkiej, czworościenny element bryłowy, element pierścieniowy powłoki OS, sprężyna sześcioparametrowa. Dla wszystkich elementów otrzymuje się macierz sztywności, macierz mas (konsekwentną i diagonalną). W odniesieniu do elementów prętowych zginanych podane są również macierze: geometryczna, sprężystego podłoża. Obciążenie przesłowe zastępowane jest statycznie ekwiwalentnym obciążeniem węzłowym. Podane macierze umożliwiają analizę statyczną, dynamiczną i stateczności dowolnych układów prętowych. Elementy tarczowe (PSN, PSO, OS) i TSN rozpatrywano przy liniowych funkcjach kształtu z uwzględnieniem odkształceń początkowych dla materiału izotropowego i anizotropowego. Element powłokowy uzyskano poprzez kombinację trójkątnego elementu tarczowego (PSN) oraz elementu płyty cienkiej. Do analizy ustalonego przepływu ciepła opracowano dwa elementy skończone: trójkątny – obiekty dwuwymiarowe i czworościenny- trójwymiarowe.

Powyższe elementy zestawiono w tablicy D4-1.

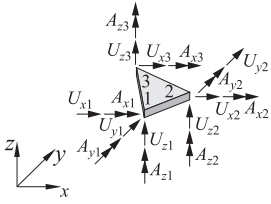
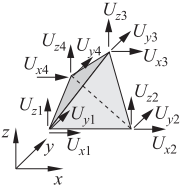
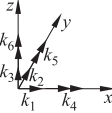
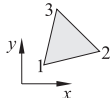
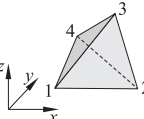
Tablica D4-1

Lp.	Type elementu	Schemat
1	rama przestrzenna	
2	rama płaska	

Tablica D4-1 c.d.

Lp.	Type elementu	Schemat
3	ruszt	
4	belka	
5	kratownica przestrzenna	
6	kratownica płaska	
7	tarcza – psn, pso, os	
8	plyta	
9	powłoka obrotowo – symetryczna	

Tablica D4-1 c.d.

10	powłoka	
11	trójosiowy stan naprężenia	
12	sprężyna sześcioparametrowa	
13	dwuwymiarowy rozkład temperatury	
14	trójwymiarowy rozkład temperatury	

W drugiej bibliotece (obecnie testowanej i nie włączonej do wersji 1.0), zawierającej elementy skończone bardziej wyrafinowane, założono konsekwentnie paraboliczne funkcje kształtu. Biblioteka ta składa się z następujących elementów skończonych: trójwęzłowych, zakrzywionych elementów prętowych, 6 – 8(9)-węzłowych elementów PSN, PSO, OS, 6- i 8(9)- węzłowych elementów płytowych cienkich i średniej grubości, 8(9) węzłowego elementu powłokowego, trójwęzłowego elementu powłoki OS, 10 węzłowego (czworoscian) i 20 węzłowego (sześcioscian) elementu TSN. Macierze sztywności (bezwładności) otrzymano stosując numeryczne całkowanie. Liczbą punktów Gaussa jest zadawana przez użytkownika. Można stosować całkowanie zredukowane i selektywne.

Wybrane elementy skończone w obrębie jednej biblioteki mogą ze sobą współpracować, co pozwala na analizę konstrukcji złożonych, np. prętowo-powłokowych.

D4.8. KAM (Komponowanie Algorytmów Mechaniki)

Metoda elementów skończonych jest uważana obecnie za najbardziej uniwersalną metodę analizy konstrukcji, jednak praktyczne jej wykorzystanie nie jest możliwe bez dysponowania odpowiednim oprogramowaniem. Dotyczy to także nauczania MES. Sądzimy, że poznanie tego podsystemu umożliwi efektywne posługiwanie się metodą elementów skończonych, a nabyte umiejętności budowania algorytmów MES będą przydatne w realizacji projektowania wspomaganego komputerem, zarówno podczas studiów, jak i w działalności inżynierskiej. Celem podsystemu KAM jest realizacja podstawowych funkcji rachunku macierzowego wzbogaconych o generowanie macierzy metody elementów skończonych. Opracowany zestaw komend umożliwi komponowanie algorytmów analizy statycznej (w zakresie liniowym i nieliniowym) oraz dynamicznej konstrukcji przy zastosowaniu metody elementów skończonych.

Zleceniem systemu jest komenda lub komentarz. Zlecenia wydawane przez użytkownika mogą być zapamiętane w pliku zewnętrznym i później wykonywane automatycznie (co uzasadnia stosowanie komentarza). Komenda może być podawana od razu ze wszystkimi parametrami, lub etapami; w wypadku niepodania niezbędnego kompletu parametrów system zapyta o brakujące parametry – ale tylko o konieczne. Parametry komendy muszą być oddzielone spacjami lub przecinkiem. Szczegółowo opracowana komenda HELP (H, ?) informuje użytkownika o elementach systemu.

POSTAĆ KOMENTARZA:

! dowolny ciąg znaków w jednym wierszu

POSTAĆ KOMENDY:

NAZWA_KOMENDY

[N1..Nm] [I1..In] [R1..Rk] [/o1..oj] [?]

gdzie:

NAZWA_KOMENDY – pełna nazwa lub skrót komendy spośród dostępnych w podsystemie KAM

[] – nawiasy kwadratowe oznaczają, że parametr nie musi wystąpić

Ni – nazwa macierzy definiowana przez użytkownika jako ciąg liter, cyfr i znaku "-". Nazwa musi zaczynać się od litery i może mieć maksymalnie 8 znaków

Ii – ciąg liczb całkowitych rozdzielonych separatorami (spacje lub przecinki)

Ri – liczba rzeczywista zapisana jako:

a) liczba całkowita, np. 10 -20

b) liczba rzeczywista np. 1.23 -1.343

c) liczba rzeczywista w postaci wykładniczej np. 12.345e12 12.345d12

/ – poprzedza parametr opcjonalny

? – pełni funkcje skróconej wersji help i odnosi się do parametrów aktualnej komendy

Sekwencja dwóch kropek ”..” przerywa działanie komendy. W podsystemie jest około 300 komend

LISTA DOSTĘPNYCH KOMEND PODSYSTEMU FEAS/KAM

A. Operacje macierzowe

Dodaj	D	– dodawanie
Odejmij	O	– odejmowanie
Mnoz	M	– mnożenie
ODwEl	OD	– odwracanie elementów macierzy
SQrel	SQ	– pierwiastkowanie elementów macierzy
LoG	LG	– logarytmowanie elementów macierzy
SKaluj	SK	– skalowanie elementów macierzy
ROzwiaz	RO	– rozwiązywanie układu równań
ODwMac	OD	– odwracanie macierzy
WarWl	WW	– wyznaczanie wartości i wektorów własnych
KoPiuj	KP	– kopiowanie
IniMac	IM	– inicjowanie macierzy i wczytanie jej elementów
IniMacI	IM	– inicjowanie wektora alokacji
DefMac	DM	– definiowanie macierzy i jej wartości na głównej przekątnej i poza nią
TRans	TR	– tworzenie macierzy transponowanej
WarBrzeg	WB	– definiowanie warunków brzegowych
TwLokBl	TLB	– tworzenie macierzy z lokowaniem bloku
LokBIM	LBM	– lokowanie bloku w macierzy
DODBM	DB	– dodawanie bloku do macierzy
WmBlMac	WBM	– wyjmowanie bloku z macierzy
TwWekAl	TWA	– wyjmowanie wektora na podstawie alokacji
DodWAl	DWA	– dodawanie do wektora na podstawie alokacji
BiDiWek	BDW	– przepisywanie diagonalnych bloków do ”wektora”
WekBiDi	WBD	– przepisywanie bloków do macierzy na diagonalę
DoDAL	DAL	– dodawanie macierzy z alokacją
MnoAL	MAL	– mnożenie z alokacją
KS		– kondensacja statyczna

B. Komendy pomocnicze

CZytaj	CZ	– czytanie macierzy z pliku
DiR	DR	– directory (katalog systemowy)
KAIN		– Kalkulator INżyniera
NazMac	NM	– wyświetlenie nazw macierzy
POWroc	POW	– powrót do wykonywanego pliku z komendami
STart	ST	– reinicjacja pracy systemu (restart)
STOP	..	– koniec sesji
Usun	U	– usunięcie macierzy
WERsja	WER	– nr wydania systemu i warunki eksploatacji
WYKonaj	WYK	– wykonanie pliku komend
WySwietl	WS	– wyświetlenie macierzy
ZAPisz	ZAP	– wpisanie macierzy do pliku

C. Komendy biblioteki elementów skończonych

Nazwy komend realizujących funkcję Biblioteki Elementów Skończonych mają strukturę dwuczłonową. Człony są dwu- lub trzynałkowe i oddzielone znakiem '-'. Pierwszy człon określa typ elementu skończonego, a drugi funkcje BES.

W systemie KAM mamy następujące typy elementów:

R2 – Rama płaska
 R2M – Rama płaska o węzłach przesuniętych (mimośród)
 R3 – Rama przestrzenna
 R3M – Rama przestrzenna o węzłach przesuniętych (mimośród)
 BE – BElka
 RU – RUszt
 RUM – RUszt o węzłach przesuniętych (mimośród)
 K2 – Kratownica płaska
 K3 – Kratownica przestrzenna
 TA – TArcza PSN, PSO i OS
 PL – PŁyta
 PS – Powłoka osiowo-Symetryczna
 PI – PIerścień sprężysty
 BR – BRyła
 PO – POWłoka
 SP – SPrężyna 6-parametrowa
 T2 – dwuwymiarowy rozkład Temperatury
 T3 – trójwymiarowy rozkład Temperatury.

Funkcje BES (drugi człon nazwy) zależą od typu elementu. Zwykle dla każdego elementu mamy kilkanaście funkcji, przykładowo:

ST – macierz SzTywności
 GE – macierz GEometryczna (wstępnych naprężeń)
 DB – Diagonalna macierz Bezwładności
 SS – wektor sił węzłowych od obciążenia Siłą Skupioną
 TE – wektor sił węzłowych od obciążenia TErmicznego
 NP – Naprężenia/siły przekrojowe od Przemieszczeń węzłowych
 NS – Naprężenia/siły przekrojowe od obciążenia Siłą skupioną
 NT – Naprężenia/siły przekrojowe od obciążenia TErmicznego,

W rezultacie otrzymano około 250 komend BES. Komendy BES dla elementów pretowych omówiono w pracy [10].

• Operacje macierzowe

Poniżej zamieszczamy wykaz wybranych operacji macierzowych z krótkim opisem. Każda komenda ma dwie postacie: pełną i skrót. W poniższym wykazie zamieszczono jedynie pełne nazwy komend.

1) Dodawanie macierzy.

POSTAC: DODAJ A B [C]

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy
 B – nazwa macierzy
 C – suma macierzy A i B

UWAGA: W przypadku, gdy parametr C zostanie pominięty, wynik będzie zapisany w miejsce macierzy A.

$$A = A + B$$

$$C = A + B$$

2) Odejmowanie macierzy.

POSTAC: ODEJMIJ A B [C]

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy (odjemna lub różnica)

B – nazwa macierzy (odjemnik)

C – nazwa macierzy (różnica) – pominięcie tego parametru spowoduje umieszczenie wyniku w macierzy A

3) Mnożenie dwóch macierzy.

POSTAC: MNOZ A B C

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – dana macierz

B – dana macierz

C – wynik mnożenia A i B ($C = A * B$)

4) Odwracanie elementów macierzy.

POSTAC: ODWEL A [B]

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy wejściowej (w przypadku pominięcia drugiego parametru wynik zostaje zapisany w A)

B – nazwa macierzy wynikowej

UWAGA: Każdy niezerowy element macierzy A zostanie zastąpiony swoją odwrotnością. Elementy zerowe lub bliskie zeru nie są odwracane i pozostają niezmiennione; wypisywany jest odpowiedni komunikat. Zatem $aij = 1/aij$ lub $bij = 1/aij$.

5) Pierwiastkowanie elementów macierzy.

POSTAC: SQREL A [B]

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy wejściowej, a w przypadku pominięcia drugiego parametru – wynikowej

B – nazwa macierzy wynikowej

UWAGA: Każdy nieujemny wyraz macierzy A zostanie zastąpiony przez swój pierwiastek kwadratowy: $aij = \sqrt{aij}$ lub $bij = \sqrt{aij}$.

6) Logarytm naturalny macierzy

POSTAC: LOG A [B]

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy wejściowej, a w przypadku pominięcia drugiego parametru – wynikowej

B – nazwa macierzy wynikowej

UWAGA: Każdy dodatni element macierzy zostanie zastąpiony jego logarytmem naturalnym: $aij = \ln(aij)$. Elementy bliskie zeru i ujemne pozostaną niezmiennione; wypisany zostanie odpowiedni komunikat.

7) Mnożenie macierzy przez skalar

POSTAĆ: SKALUJ A [B] s

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – dana macierz

B – macierz wynikowa (jesli parametr ten zostanie pominięty to wynik będzie zapamiętany w macierzy A)

s – współczynnik skalujący

UWAGA: $A = s * A$ lub $B = s * A$

8) Rozwiązanie układu równań liniowych

POSTAĆ: ROZWIAZ A B [C]

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy współczynników

B – nazwa wektora prawych stron/nazwa wektora wyników

C – macierz o wymiarze 1×1 zawierająca wyznacznik macierzy AUWAGA: Przy pomocy tej komendy zostanie rozwiązany układ równań w postaci $[A] \{x\} = [B]$. Macierz A nie może być osobliwa. W miejsce macierzy B zostanie podstawiona macierz niewiadomych x . Zawartość macierzy A zostanie zniszczona.

9) Odwracanie macierzy

POSTAĆ: ODWMAC A B [C]

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy wejściowej

B – nazwa macierzy odwrotnej ($B = A * (-1)$)C – macierz o wymiarze (1×1) zawierająca wyznacznik macierzy A

UWAGA: Macierz A zostanie zniszczona.

10) Obliczanie wektorów i wartości własnych

POSTAĆ: WARWL A B C D

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – macierz symetryczna dodatnio określona

B – macierz symetryczna

C – nazwa macierzy wektorów własnych przechowywanych kolumnami

D – nazwa wektora (wierszowego) wartości własnych

UWAGA: Rozwiązany jest problem własny postaci:

 $[A] * \{x\} = \text{Lambda} * [B] * \{x\}$.

Macierze A i B zostaną zniszczone podczas obliczeń.

11) Skopiowanie macierzy

POSTAĆ: KOPIUJ A B

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy

B – nazwa macierzy wynikowej ($B = A$)

12) Inicjacja macierzy prostokątnej oraz wczytanie elementów

POSTAĆ: INIMAC A Lw Lk

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa tworzonej macierzy

Lw – liczba wierszy

Lk – liczba kolumn

UWAGA: Po wprowadzeniu komendy należy podać $Lw \cdot Lk$ liczb tworzących daną macierz KOLUMNAMI.

13) Inicjacja wektora alokacji (definiowanie i wczytywanie wektora liczb całkowitych)

POSTAĆ: INIMACI A n

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa wektora

n – długość wektora

UWAGA: Komenda służy do wczytania wektora liczb całkowitych. Wektor można wydrukować stosując komendę WYSWIETL z opcją /I. Obecnie stosuje się wyłącznie do definicji wektora alokacji.

14) Definiowanie macierzy

POSTAĆ: DEFMAC A Lw Lk [xd [x]]

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy

Lw – liczba wierszy

Lk – liczba kolumn

xd – wartość na głównej przekątnej (pominięcie oznacza przyjęcie wartości zerowej)

x – wartość poza główną przekątną (pominięcie oznacza przyjęcie wartości zerowej)

UWAGA: Zostanie utworzona macierz A o Lw wierszach i Lk kolumnach zawierająca dla elementów $A(i,i)$ macierzy wartości xd i x w pozostałych miejscach. Nie jest możliwe pominięcie xd jeśli chcemy nadać macierzy poza główną przekątną wartość x. Pominięcie obu parametrów powoduje nadanie wartości zerowej całej macierzy, a pominięcie ostatniego parametru powoduje utworzenie macierzy o wartościach zerowych z wyjątkiem głównej przekątnej.

15) Transponowanie macierzy

POSTAĆ: TRANS A B

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy danej

B – nazwa macierzy transponowanej

UWAGA: Zostanie utworzona macierz B jako macierz A transponowana: $b_{ji} = a_{ij}$.

16) Lokowanie bloku w macierzy

POSTAĆ: LOKBLM A B nw nk

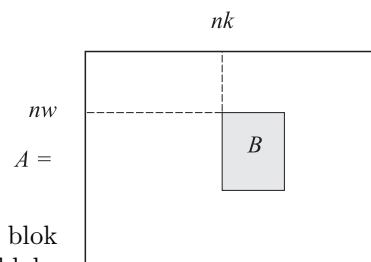
ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy

B – nazwa bloku

nw – numer wiersza, od którego zostanie wprowadzony blok

nk – numer kolumny, od której zostanie wprowadzony blok



UWAGA: Macierz B zostanie ulokowana w większej macierzy A, poczynając od elementu usytuowanego w nw-tym wierszu i nk-tej kolumnie macierzy A. Komenda może być użyta przy budowie macierzy transformacji macierzy sztywności, geometrycznej, bezwładności i sprężystego podłoża elementu.

17) Dodawanie bloku do macierzy

POSTAĆ: DODBM A B nw nk

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

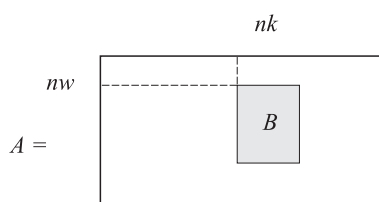
A – nazwa macierzy

B – nazwa dodawanego bloku

nw – numer wiersza, od którego zostanie dodany blok

nk – numer kolumny, od której zostanie dodany blok

UWAGA: Macierz B zostanie dodana do większej macierzy A od elementu usytuowanego w nw-tym wierszu i nk-tej kolumnie A



18) Wyjmowanie bloku z macierzy

POSTAĆ: WmBlMac A B nw1 nw2 nk1 nk2

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy

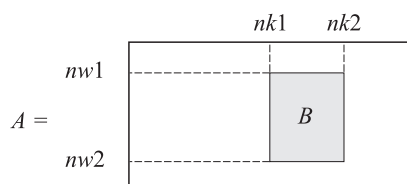
B – nazwa bloku

nw1 – numer pierwszego wiersza bloku

nw2 – numer ostatniego wiersza bloku

nk1 – numer pierwszej kolumny bloku

nk2 – numer ostatniej kolumny bloku



19) Dodawanie do wektora globalnego wektora lokalnego na podstawie wektora alokacji

POSTAĆ: DODWAŁ A B C

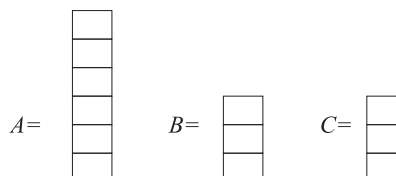
ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa wektora globalnego

B – nazwa wektora lokalnego

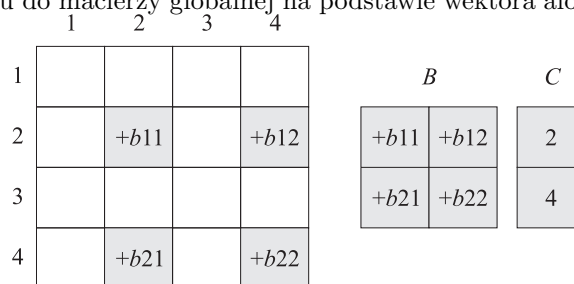
C – nazwa wektora alokacji utworzonego komendą IniMacI; wskazuje elementy wektora globalnego A, do którego mają być dodane elementy wektora B

UWAGA: Funkcja ma zastosowanie przy wyznaczaniu globalnego wektora efektywnych obciążeń węzłowych. W wektorze alokacji mogą wystąpić ZERA, co umożliwi m. in. bezpośrednie uwzględnienie warunków brzegowych.



20) Dodawanie macierzy z wektorem alokacji

Dodawanie lokalnej macierzy elementu do macierzy globalnej na podstawie wektora alokacji.



POSTAĆ: DODAL A B C

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – globalna macierz sztywności konstrukcji

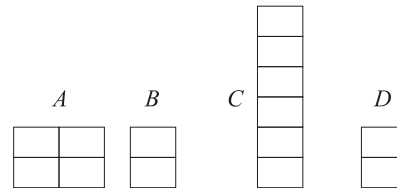
B – macierz sztywności elementu

C – wektor alokacji, wprowadzony wcześniej komendą IniMacI; określa położenie wyrazów macierzy elementu B w globalnej macierzy A

UWAGA: Funkcja ma zastosowanie przy tworzeniu globalnej macierzy sztywności. W wektorze alokacji mogą wystąpić ZERA, co umożliwia m.in. bezpośrednio uwzględnienie warunków brzegowych.

21) Mnożenie macierzy przez wybrane elementy wektora (z wektorem alokacji)

POSTAĆ: MNOAL A B C D



ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy

B – nazwa wektora alokacji utworzonego komendą IniMacI; wskazuje elementy wektora globalnego C tworzące wektor roboczy, przez który mnożymy macierz A. Gdy jeden z elementów B jest równy zero odpowiedni element wektora roboczego przyjmuje wartość zero.

C – nazwa wektora globalnego

D – nazwa wektora wyników

UWAGA: Przy pomocy tej funkcji można obliczyć siły węzłowe mając daną macierz sztywności elementu i globalny wektor przemieszczeń konstrukcji. Wektory B, C i D są wektorami kolumnowymi: $D = A * C(B)$. Jeżeli i-ty element wektora alokacji jest równy ZERO, to w miejsce odpowiedniego elementu wektora C(B) jest wstawiane zero.

22) Kondensacja statyczna układu równań

POSTAĆ: KS A Nw [B]

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy współczynników

Nw – numer kondensowanego równania

B – nazwa kondensowanego wektora (może być pominięta)

- Komendy pomocnicze (organizacyjne)

23) Czytanie macierzy z pliku

POSTAĆ: CZYTAJ A nazwa

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy

nazwa – nazwa pliku na dysku w którym umieszczona jest macierz

UWAGA: Plik powinien zawierać rozmiary macierzy oraz listę jej elementów (kolumnami). W przypadku, gdy plik o danej nazwie lub macierz o zadanej nazwie nie istnieje podsystem udzieli informacji:

NIE ZNALEZIONO PLIKU O NAZWIE...

lub

NIE ZNALEZIONO MACIERZY ... W PLIKU O NAZWIE ...

24) Wyświetlenie listy plików bieżącej kartoteki

POSTAĆ: DIR [/m]

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

/m – wyświetlane są pliki o rozszerzeniu ".mat"

UWAGA: Wyświetlona jest lista plików zawierających historię komend (o rozszerzeniu ".kam") lub w przypadku użycia opcji "/m" lista plików zawierających macierze (o rozszerzeniu ".mat").

25) Wywołanie podsystemu KAIN

POSTAĆ: KAIN

26) Wyświetlenie zdefiniowanych nazwy macierzy wraz z wymiarami

POSTAĆ: NAZMAC

27) Powrót do wykonania komend z danej sesji użytkownika przerwanej poprzez wybór opcji "Q" w czasie wykonywania komendy "WYKONAJ"

POSTAĆ: POWROC nazwa

ZNACZENIE PARAMETRU:

nazwa – nazwa pliku o rozszerzeniu [.KAM]

UWAGA: Odtwarza przebieg sesji na podstawie historii komend zapisanej na pliku 'nazwa.kam'. W trakcie wykonywania komendy wypisywane są kolejne zlecenia (począwszy od komendy, przy której użytkownik skorzystał z opcji "Q" przy wykonywaniu komendy "WYKONAJ" lub "POWROC") wraz z pytaniem o rodzaj dalszej akcji: [Y/N/G/Q]. Znaczenie poszczególnych znaków jest omówione w opisie komendy WYKONAJ

28) Rozpoczęcie nowej sesji: usunięcie wszystkich macierzy z pamięci, wyczyszczenie pliku KAM.JOU, zamknięcie plików przetwarzanych przez komendę WYKONAJ

POSTAĆ: START

UWAGA: W przypadku restartu pojawia się pytanie:

RESTART – JESTES PEWIEN ? [Y/N].

29) Zakończenie pracy podsystemu

POSTAĆ: STOP

UWAGA: Pojawia się pytanie:

CZY CHCESZ ZAKONCZYC PRACE [Y/N]

odpowiedź Y powoduje zakończenie pracy w podsystemie i pojawia się pytanie o zachowaniu danych (tzn. wszystkich poprawnie wydanych w czasie sesji komend podsystemu KAM).

30) Usuwanie macierzy z katalogu

POSTAĆ: USUN A

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy

31) Podanie wersji systemu POSTAĆ: WERSJA

UWAGA: Podaje wersję systemu, jednostkę autorską oraz warunki użytkowania systemu.

32) Odtwarzanie sesji użytkownika

POSTAĆ: WYKONAJ nazwa

ZNACZENIE PARAMETRU:

nazwa – nazwa pliku o rozszerzeniu [.KAM]. Rozszerzenie może zostać pominięte.

UWAGA: Odtwarza przebieg sesji na podstawie historii komend zapisanej na pliku 'nazwa.kam'. W trakcie wykonywania komendy wypisywane są kolejne zlecenia wraz z pytaniem o rodzaj dalszej akcji: [Y/N/G/Q]

Znaczenie poszczególnych znaków jest następujące:

Y [ang. yes] – wykonaj komendę, i wyświetl następną

N [ang. no] – zaniechaj wykonania komendy, wyświetlenie następnej

G [ang. go] – wykonanie pozostałych komend bez dalszego potwierdzenia

Q [ang. quit] – zaniechanie wykonywania następnych komend.

Po dokonaniu tego wyboru system przechodzi do podstawowego trybu, ale użytkownik ma jeszcze szansę ponownego wykonania jednej z dalszych komend zapisanych w pliku poprzez instrukcje POWROC (POW). Zlecenie [Y/N/G/Q] można wykonać poprzez wprowadzenie odpowiedniego znaku (litery małe i duże nie są rozróżniane) oraz potwierdzenie klawiszem [Enter]; dodatkowe znaczenie ma użycie klawisza [Enter] bez podania uprzednio żadnego znaku – odpowiada to opcji [Y]. Możliwe jest jednoczesne otwarcie tylko 4 plików.

33) Wydruk na monitor macierzy wierszami

POSTAĆ: WYSWIETL A [/i]

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy

i – wydruk wektora o elementach całkowitych

UWAGA: Wydruk z parametrem /i dozwolony jest tylko dla wektorów o elementach całkowitych.

34) Zapisanie macierzy na plik

POSTAĆ: ZAPISZ A nazwa

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

A – nazwa macierzy

nazwa – nazwa pliku na dysku, w którym umieszczona będzie macierz (kolumnami)

UWAGA: Do pliku zostanie dopisana nazwa, rozmiar oraz lista elementów macierzy. O ile plik o danej nazwie już istnieje, macierz zostanie dopisana do pliku. W przypadku, gdy w pliku istnieje macierz o podanej nazwie podsystem będzie zadawał pytanie:

MACIERZ O NAZWIE ... JUZ ISTNIEJE

CZY CHCESZ ZMIENIC JEJ ZAWARTOSC [Y/N]

• Komendy biblioteki elementów skończonych dla prętów

W bibliotece są następujące typy elementów prętowych:

TYPY ELEMENTÓW:	Liczba węzłów	Wymiar przestrzeni	Liczba st. sw. węzła
R2 – Rama płaska	2	2	3
R2M – Rama płaska z przesuniętymi węzłami	2	2	3
R3 – Rama przestrzenna	2	3	6
R3M – Rama przestrzenna z przesuniętymi węzłami	2	3	6
BE – BELka	2	1	2
RU – RUszt	2	2	3
RUM – RUszt z przesuniętymi węzłami	2	2	3
K2 – Kratownica płaska	2	2	2
K3 – Kratownica przestrzenna	2	3	3

Dla elementów tych przewidziano następujące funkcje:

FUNKCJE:

MT – Macierz Transformacji

MM – Macierz Mimośrodków dla prętów o węzłach przesuniętych

ST – macierz Sztywności

SP – macierz Sprężystego Podłoża
 GE – macierz GEometryczna (wstępnych naprężeń)
 KB – Konsekwentna macierz Bezwładności
 DB – Diagonalna macierz Bezwładności
 CW – wektor sił węzłowych od Ciężaru Własnego
 LN – wektor sił węzłowych od obciążenia LiNiowego
 SS – wektor sił węzłowych od obciążenia Siła Skupiona
 TE – wektor sił węzłowych od obciążenia TERMicznego
 GM – wektor sił węzłowych od obciążenia GeoMetrycznego
 RW – wektor Reakcji Węzłowych
 NP – Naprężenia/siły przekrojowe od Przemieszczeń węzłowych
 NC – Naprężenia/siły przekrojowe od Ciężaru własnego
 NL – Naprężenia/siły przekrojowe od obciążenia Liniowego
 NS – Naprężenia/siły przekrojowe od obciążenia Siłą skupioną
 NT – Naprężenia/siły przekrojowe od obciążenia Termicznego
 NG – Naprężenia/siły przekrojowe od obciążenia Geometrycznego

Nazwy komend powstają przez złożenie nazwy typu elementu i nazwy funkcji. Przykładowo:

R3-ST – macierz sztywności ramy przestrzennej
 BE-NL – siły przekrojowe od obciążenia liniowego w belce
 K2-RW – wektor reakcji węzłowych elementu kratownicy płaskiej

Poniżej zamieścimy przykładowo wybrane komendy BES w pełnej postaci z dokładnym opisem parametrów.

Macierz sztywności ramy płaskiej

POSTAĆ: R2-ST KE XY MAT GEO

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

KE – nazwa macierzy sztywności elementu KE(6,6)

XY – topologia elementu: XY = (dX, dY)

gdzie:

dX, dY – przyrosty współrzędnych węzłów

MAT – stałe materiałowe: MAT = (E, Ro, Alft)

gdzie:

E – moduł Younga

Ro – gęstość właściwa

Alft – współczynnik rozszerzalności cieplnej

GEO – geometria przekroju: GEO = (A, Jz)

gdzie:

A – pole przekroju

Jz – moment bezwładności na zginanie

Wektor sił węzłowych od ciągłego obciążenia liniowego dla elementu ramy płaskiej

POSTAĆ: R2-LN P XY TR

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

P – nazwa wektora sił węzłowych P(6)

XY – topologia elementu: XY = (dX, dY)

gdzie:

dX, dY – przyrosty współrzędnych węzłów

TR – wektor obciążenia TR(8) postaci

TR = (Px1, Py1, Mz1, Px2, Py2, Mz2, ksi1, ksi2)

gdzie:

Px1, ..., Mz2 – wartości obciążenia dla odpowiednich stopni swobody

ksi1, ksi2 – współrzędne naturalne punktów przyłożenia obciążenia

Wektor sił węzłowych od obciążenia siłą skupioną elementu ramy płaskiej

POSTAĆ: R2-SS P XY SI

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

P – nazwa wektora sił węzłowych P(6)

XY – topologia elementu: XY = (dX, dY)

gdzie:

dX, dY – przyrosty współrzędnych węzłów

SI – wektor obciążenia SI(4) postaci: SI = (Px, Py, Mz, ksi)

gdzie:

Px, Py, Mz – wartości obciążenia dla odpowiednich stopni swobody

ksi – współrzędna naturalna punktu przyłożenia obciążenia

Macierz transformacji dla pręta ramy przestrzennej

POSTAĆ: R3-MT C XYZA

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

C – nazwa macierzy transformacji C(12,12), z układu globalnego do lokalnego: VecLoc = C * VecGlob

XYZA – topologia elementu: XYZA = (dX, dY, dZ, AlfaX)

gdzie:

dX, dY, dZ – przyrosty współrzędnych węzłów

AlfaX – kąt obrotu osi głównych przekroju poprzecznego

Macierz sztywności elementu ramy przestrzennej

POSTAĆ: R3-ST KE XYZA MAT GEO

ZNACZENIE PARAMETRÓW:

KE – nazwa macierzy sztywności elementu KE(12,12)

XYZA – topologia elementu: XYZA = (dX, dY, dZ, AlfaX)

gdzie:

dX, dY, dZ – przyrosty współrzędnych węzłów

AlfaX – kąt obrotu osi głównych przekroju poprzecznego

MAT – stałe materiałowe: MAT = (E, G, Ro, AlfT)

gdzie:

E – moduł Younga

G – moduł Kirchhoffa

Ro – gęstość właściwa

AlfT – współczynnik rozszerzalności cieplnej, (dla tej komendy Ro i AlfT są nieistotne)

GEO – geometria przekroju: GEO = (A, Js, Jy, Jz)

gdzie:

A – pole przekroju

Js – współczynnik skrecania

System FEAS jest współczesnym, nowoczesnym programem komputerowym. Pełna instalacja w środowisku systemu operacyjnego UNIX pozwala wykorzystywać go jako efektywne narzędzie wspomagające prace projektanta. Podsystem FEAS/KAM wykorzystywany jest w wielu ośrodkach akademickich do nauczania metody elementów skończonych.

System został napisany w języku FORTRAN 77 i C. Składa się z ponad 1000 procedur. Procedury te zorganizowano w biblioteki, które są udostępnione użytkownikom. Biblioteki są bardzo pomocne przy pisaniu własnych programów MES. Można je również wykorzystywać do kształcenia specjalistów zajmujących się oprogramowaniem inżynierskim.