

## CAPITOLUL 4

### DISCRETIZAREA MODELELOR

Următoarea etapă ce trebuie parcursă în vederea rezolvării unei probleme de analiză cu element finit este etapa de discretizare, etapă care presupune alegerea tipului adecvat de element și împărțirea modelului în elemente finite. Elementele constituie baza analizei, forma lor geometrică permițând aproximarea geometriei corpului iar modelarea lor matematică permițând simularea comportării fizice a acestuia.

COSMOS/M oferă un set de 42 de tipuri de elemente finite, diferite atât prin forma geometrică cât și prin proprietățile aferente. Aceste elemente permit rularea analizei corespunzătoare fiecărui modul component al pachetului software, unele dintre ele putând fi utilizate în mai multe module. Fiecare tip de element finit este identificat printr-o etichetă care, în general, descrie caracteristica principală a elementului respectiv.

Elementele sunt construite din noduri, funcție de numărul și gradele de libertate aferente acestora elementul caracterizându-se printr-o geometrie și o comportare specifică.

După geometria domeniului discretizat elementele finite pot fi clasificate în mai multe categorii;

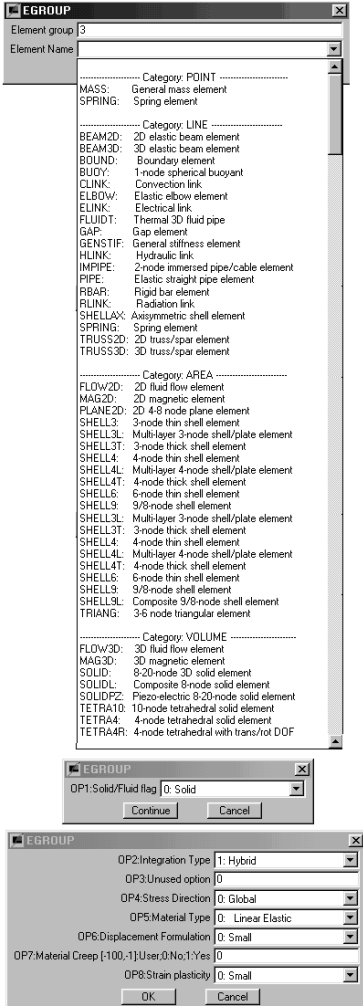
- punctiforme (MASS), utilizate pentru corpuri reduse la puncte materiale cum ar fi masele concentrate, spațiile goale etc.;
- monodimensionale (TRUSS2D, BEAM2D, PIPE etc.), utilizate pentru corpuri de tip bară, grindă, tijă, cablu etc.;
- bidimensionale (PLANE2D, FLOW2D, TRIANG etc.), utilizate pentru corpuri de tip plan cum ar fi plăcile, carcusele etc.;
- tridimensionale (FLOW3D, SOLID, TETRA4, TETRA10 etc.), utilizate pentru corpuri de tip volum plin.

Elementele finite sunt caracterizate de o serie de proprietăți specifice legate de geometrie (aria secțiunii transversale, grosime etc.), de materialul corespunzător (caracteristici mecanice, comportare în timpul funcționării etc.) și de sistemele de referință locale utilizate (necesar a fi cunoscute și, eventual, modificate de utilizator în cazuri corespunzătoare). În vederea definirii, respectiv specificării, acestor proprietăți utilizatorul are la dispoziție o serie de comenzi adecvate.

Caracteristicile specifice unui model (tipul de element finit, material, proprietăți de material) formează un set de modelare, orice referire la una din proprietățile incluse fiind precedată de identificarea setului respectiv.

## 4.1. Declararea unui set de modelare

### 4.1.1. Alegerea tipului de element finit



**Fig. 4.1**

Ferestre consecutive activate de comanda EGROUP

Declararea unui set de modelare începe prin alegerea unui tip de element finit corespunzător modelului ce urmează a fi analizat. În acest scop este utilizată comanda EGROUP amplasată în meniul PROPSETS. În cadrul acestei comenzi, pe lângă tipul de element finit, se specifică și o serie de proprietăți (referitoare la comportarea materialului aferent setului de modelare respectiv) sub forma unui set de opțiuni, specific fiecărui tip de element.

Activarea comenzii conduce la deschiderea unei serii de ferestre consecutive prezentate în figura 4.1.

În prima fereastră utilizatorul poate opta pentru unul din cele 42 de tipuri de elemente finite incluse în biblioteca pachetului COSMOS/M. Elementele sunt afișate cu ajutorul unei liste derulante, în cadrul acesteia fiind grupate în funcție de tipul domeniului geometric aferent (POINT, LINE, AREA, VOLUME).

Alegerea tipului de element finit se face funcție de natura modelului analizat și de tipul, respectiv modulul, de

analiză utilizat (câteva exemple sunt prezentate în tabelul 4.1).

În ferestrele următoare utilizatorul poate specifica o serie de opțiuni referitoare la comportarea materialului aferent setului de modelare. Aceste opțiuni trebuie să fie corelate în mod corespunzător cu opțiunile de material incluse în comenzile referitoare la proprietățile acestuia.

Tab. 4.1.

## TIPURI DE LEMENTE FINITE ÎN COSMOS/M

Eticheta	Descriere	Nr. de noduri (Nr. grade de libertate)	Caracteristici aferente	Module compatibile
0	1	2	3	4
<b>Elemente punctiforme</b>				
MASS	Masă concentrată	1(6)	RC	S, T, D, N
<b>Elemente monodimensionale</b>				
GAP	Element vid	2(3)	EG, RC	S
SPRING	Arc axial	2(3)	EG, RC	S, N
RLINK	Radiație termică	2(1)	EG, RC	T
CLINK	Convecție termică	2(1)	EG, MP, RC	T
BEAM2D	Bară bidimensională	2(3)	EG, MP, RC	S, T, D, N
BEAM3D	Bară tridimensională	3(6)	EG, MP, RC	S, T, D, N
TRUSS2 D	Grindă bidimensională	2(2)	EG, MP, RC	S, T, D, N
TRUSS2 D	Grindă tridimensională	2(3)	EG, MP, RC	S, T, D, N
PIPE	Țeavă rectilinie elastică	2(6)	EG, MP, RC	S, D
SHELLA X	Folie axis-simetrică	2(4)	EG, MP, RC	S, D
<b>Elemente bidimensionale</b>				
SHELL3	Folie subțire	3(6)	EG, MP, RC	S, T, D, N
SHELL3T	Folie groasă	3(6)	EG, MP, RC	S, T, D, N
SHELL4	Folie subțire	4(6)	EG, MP, RC	S, T, D, N
SHELL4T	Folie groasă	4(6)	EG, MP, RC	S, T, D, N
SHELL6	Folie subțire	6(6)	EG, MP, RC	S, T, D, N
SHELL9	Folie quadratică	8;9(6)	EG, MP, RC	S, T, D, N
FLOW2D	Element lichid 2D	4(3)	EG, MP	F

0	1	2	3	4
<b>Elemente tridimensionale</b>				
SOLID	Element volumic	8-20(3)	EG, MP, RC	S, T, D, N
SOLIDL	Element volumic compozit	8-20(3)	EG, MP, RC	S, T, D, N
TETRA4	Element volumic fără rotații	4(3)	EG, MP	S, T, D, N
TETRA4 R	Element volumic cu rotații	4(6)	EG, MP	S, T, D
TETRA10	Element volumic quadratic	10(3)	EG, MP	S, T, D, N
FLOW3D	Element lichid 3D	8(4)	MP	F

Observații:

- EG: caracteristici introduse prin folosirea comenzii EGROUP;
- MP: caracteristici introduse prin folosirea comenzii MPROP;
- RC: caracteristici introduse prin folosirea comenzii RCONST;
- S: modul de analiză statică;
- D: modul de analiză dinamică;
- T: modul de analiză termică;
- N: modul de analiză neliniară;
- F: modul de analiză a curgerii fluidelor.

Opțiunile din interiorul comenzii EGROUP sunt specifice pentru fiecare tip de element finit, existând elemente cărora le corespund un număr diferit de opțiuni. Deși semnificațiile unora dintre aceste opțiuni diferă după tipul de element, se pot stabili totuși o serie de corespondențe general valabile:

- Opțiunea nr.3 (OP3): tipul stării de tensiuni din model (stare plană, monoaxială etc.);
- Opțiunea nr.4 (OP4): sistemul de referință față de care se calculează tensiunile mecanice (global sau local).
- Opțiunea nr.5 (OP5): modul de comportare a materialului aferent setului de modelare (liniar elastic, neliniar elastic, plastic etc.).
- Opțiunea nr.6 (OP6): modul de tratare a deformațiilor elastice ale modelului.
- Opțiunea nr.7 (OP7): existența fluajului.
- Opțiunea nr.8 (OP8): existența și gradul de mărime corespunzător deformațiilor plastice.

### 4.1.2. Declararea proprietăților materialului aferent setului de modelare

Modul de specificare a proprietăților referitoare la materialul corespunzător unui set de modelare precum și comenzile respective sunt prezentate pe larg în capitolul următor. Există însă o serie de proprietăți, de material și geometrice (cu ar fi de exemplu: unghiuri de frecare, grosimea straturilor elementelor compozite, aria secțiunilor transversale ale elementelor monodimensionale etc.) care nu pot fi încadrate în seria celor declarate cu ajutorul acestor comenzi, pentru ele fiind definită o noțiune specială: RC (constantă reală).

Constantele reale sunt specifice fiecărui tip de element finit, pentru declararea lor utilizându-se comanda RCONST amplasată în meniul PROPSETS.

Activarea comenzii conduce la deschiderea unei serii de ferestre consecutive în care utilizatorul identifică eticheta setului de modelare corespunzător, eticheta setului curent de constante reale și introduce, respectiv specifică, valorile aferente (figura 4.2).

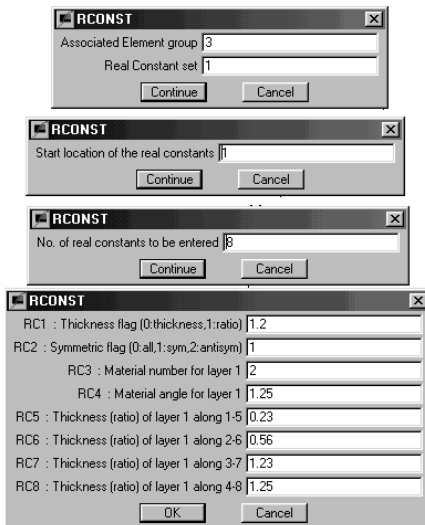


Fig. 4.2

Ferestre consecutive activate de comanda RCONST

Comanda RCONST este legată direct de comanda EGROUP, în funcție de tipul elementului specificat în cadrul acesteia din urmă în ferestrele corespunzătoare activate de RCONST fiind afișate constantele reale aferente tipului de element finit ales.

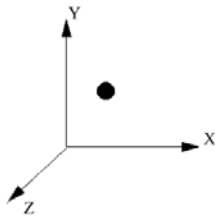
Atât în cazul comenzii EGROU cât și în cazul comenzii RCONST, există o serie de valori implicite recomandate de program pentru diferite variante de alegere a tipului de elemente finite. Aceste valori corespund comportării

uzuale a elementelor finite respective în condiții normale de încărcare a modelului. Modificarea acestor valori este recomandată în situația în care utilizatorul dorește rularea analizei cu element finit în condiții care diferă de cele implicite pentru modulul de analiză ales.

În continuare vor fi prezentate câteva exemple semnificative pentru fiecare categorie de elemente finite.

#### 4.2. Elementul punctiform tip MASS

Elementul este constituit dintr-un singur nod corespunzând unui punct material cu maximum șase grade de libertate (figura 4.3).

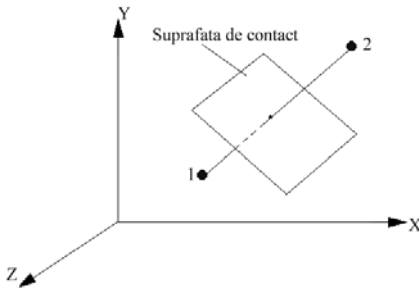


**Fig. 4.3**  
Element finit de tip MASS

Elementul nu impune definirea de caracteristici prin intermediul comenzilor EGROU și MPROP, având însă alocate un număr de șapte constante reale ce trebuie declarate cu ajutorul comenzii RCONST. Aceste constante semnifică:

- r1: masa elementului pe direcția X;
- r2: masa elementului pe direcția Y;
- r3: masa elementului pe direcția Z;
- r4: momentul de inerție față de axa X;
- r5: momentul de inerție față de axa Y;
- r6: momentul de inerție față de axa Z;
- r7: capacitatea termică definită în unități calorice (numai în cazul utilizării elementului în analizele termice).

Utilizarea elementului tip MASS este recomandată în analizele structurale (statice sau dinamice) și în cazul analizelor termice.



**Fig. 4.4**  
Element de tip GAP

#### 4.3. Elementul monodimensional tip GAP

Elementul GAP se compune din două noduri (figura 4.4), fiecare cu până la trei grade de libertate, fiind conceput pentru probleme de contact în analizele structurale. El se

comportă ca o legătură rigidă atât în cazul solicitărilor de compresiune cât și a celor de tracțiune. În cazul existenței forțelor de frecare acestea sunt calculate ca fiind produsul dintre coeficientul de frecare și forța normală pe element.

Caracteristicile elementului presupun declararea acestora prin intermediul comenzilor EGROU:

- OP1: actualizarea coordonatelor suprafețelor;
- OP2: fără frecare, cu frecare, cu frecare și alunecare;
- OP3: localizarea frecării (în planul X-Y sau în afara lui);
- OP4: aspectul elementului: nod-nod, nod-linie, nod-suprafață;
- OP6: calculul distanței dintre noduri (automat sau impusă);

și respectiv RCONST:

- r1: distanța dintre nodurile elementului ( $>0$  pentru elemente solicitate la compresiune,  $<0$  pentru elemente solicitate la tracțiune,  $0$  pentru elemente rigide);

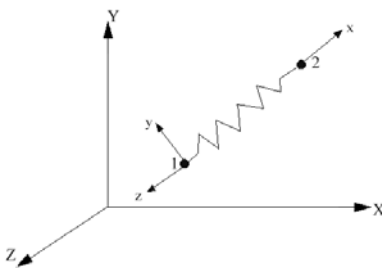
- r2: valoarea coeficientului static de frecare

De remarcat faptul că în cazul acestui tip de element nu se utilizează opțiunile 5, 7 și 8.

Elementul nu posedă caracteristici care pot fi declarate cu ajutorul comenzii MPROP.

Elementul se recomandă a fi utilizat în problemele de contact (cu frecare sau fără frecare) în cazul analizelor structurale.

#### 4.4. Elementul monodimensional tip SPRING



**Fig. 4.5**

Element de tip SPRING

XYZ - sistemul de referință global; xyz - sistemul de referință al elementului.

Elementul simulează un arc liniar care unește două noduri (figura 4.5), fiecare cu până la două grade de libertate (o translație și o rotație). Elementul poate simula atât arcuri de tracțiune cât și arcuri de torsiune.

Elementul are caracteristici ce trebuie declarate cu ajutorul comenzii EGROU:

- OP1: tipul de arc (de tracțiune, de torsiune, ambele);
- OP3: gradele de libertate pentru noduri;
- OP5: tipul de material;
- OP6: tipul deplasărilor;

și, respectiv, cu ajutorul comenzii RCONST:

- r1: rigiditatea axială;
- r2: rigiditatea torsională.

Elementul nu are caracteristici declarabile cu ajutorul comenzii MPROP.

Elementul se recomandă a fi utilizat pentru legăturile elastice intervenite în analizele structurale liniare sau neliniare.

#### 4.5. Elementul bidimensional tip SHELL3

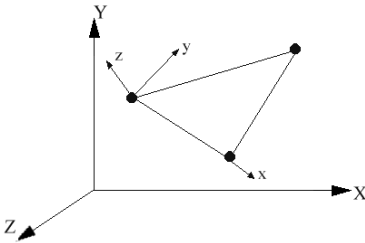


Fig. 4.6

Element de tip SHELL3

XYZ - sistemul de referință global; xyz - sistemul de referință al elementului.

Elementul este de tip membrană triunghiulară cu trei noduri (figura 4.6), fiecare nod având până la șase grade de libertate în cazul utilizării în analizele structurale (trei translații și trei rotații) sau un singur grad de libertate în cazul utilizării în analizele termice (temperatura).

Elementul este considerat a fi izotrop cu grosime constantă, pentru analizele structurale și ortotrop pentru cele termice.

Caracteristicile elementului necesită folosirea a trei comenzi de declarare: EGROU, RCONST și MPROP.

Comanda EGROU permite declararea opțiunilor:

- OP2: tipul de analiză (membrană supusă la încovoiere, la forfecare);
- OP3: livrarea rezultatelor analizei (tensiunile din centrul elementului, tensiunile pe noduri, forțele pe noduri);
- OP4: sistemul față de care se calculează tensiunile (local sau global);



- OP5: tipul de material;
- OP6: tipul de deplasări;

Comanda RCONST permite declararea constantelor reale:

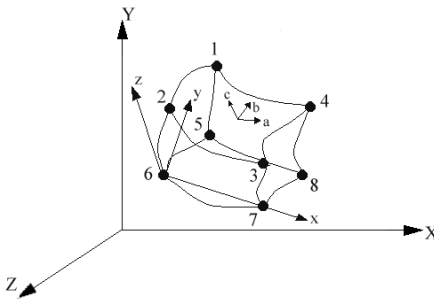
- r1: grosimea;
- r2: gradientul termic;
- r3: rigiditatea;

Comanda MPROP permite declararea următoarelor proprietăți de material: EX, KX, KY, NUXY, C, ALPX, DENS, GXY, DAMP, ECONX (a se vedea capitolul următor).

Elementul este recomandat a fi utilizat în analizele structurale liniare.

#### 4.6. Elementul tridimensional tip SOLID

SOLID este un tip de element finit cu opt până la douăzeci de noduri (colțurile și, respectiv, mijloacele laturilor), figura 4.7. Numărul de grade de libertate variază după tipul de analiză în care este utilizat: trei (translații) în cazul analizelor structurale și unul (temperatura) în cazul analizelor termice.



**Fig. 4.7**

Element de tip SOLID

XYZ - sistemul de referință global; xyz - sistemul de referință al elementului; abc - sistemul de referință al materialului.

Elementul poate fi considerat solid sau fluid, putând fi utilizat în toate modulele de analiză structurală și termică.

Elementul poate fi considerat izotrop sau ortotrop, suportând încărcări termice, gravitaționale sau de presiune.

Declararea caracteristicilor sale presupune utilizarea comenzilor EGROU, RCONST și MPROP.

Comanda EGROU permite declararea opțiunilor:

- OP1: tipul de element (solid sau fluid);

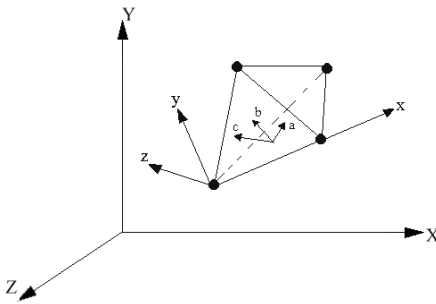
- OP2: tipul de integrare folosit la rezolvare sistemelor de ecuații;
- OP4: sistemul față de care se calculează tensiunile (local sau global);
- OP5: tipul de material;
- OP6: tipul de deplasări;
- OP7: existența fluajului;

În cazul elementelor de tip fluid opțiunile 2-7 nu se mai utilizează.

Comanda RCONST permite declararea a nouă constante reale, utile în cazul folosirii materialelor ortotropice sau izotropice. Constantele reprezintă coordonatele a trei puncte ce definesc sistemul de coordonate al materialului (direcțiile principale):

- r1, r2, r3: coordonatele x, y, z corespunzătoare primului punct (situat în originea sistemului);
- r4, r5, r6: coordonatele x, y, z corespunzătoare celui de-al doilea punct (situat pe axa "a");
- r7, r8, r9: coordonatele x, y, z corespunzătoare celui de-al treilea punct (situat în planul "a-b").

Comanda MPROP permite declararea următoarelor proprietăți de material: EX, EY, EZ, KX, KY, KZ, NUXY, NUYZ, NUXZ, C, ALPX, ALPY, ALPZ, DENS, GXY, GYZ, GXZ, DAMP, ECONX (a se vedea capitolul următor).



**Fig. 4.8**

Element de tip TETRA

XYZ - sistemul de referință global; xyz - sistemul de referință al elementului; abc - sistemul de referință al materialului.

Elementul este recomandat a fi utilizat în analizele structurale liniare.

#### 4.7. Elementul tridimensional tip TETRA4 (TETRA10)

TETRA este un element tridimensional cu patru (colțurile elementului), respectiv zece noduri (colțurile și mijloacele laturilor), având câte trei grade de libertate pe nod.

Pentru declararea caracteristicilor sale se utilizează toate comenzile referitoare la definirea seturilor de modelare (EGROUP, RCONST, MPROP).

Comanda EGROUP permite declararea opțiunilor:

- OP2: tipul de integrare folosit la rezolvare sistemelor de ecuații;
- OP4: sistemul față de care se calculează tensiunile (local sau global);
- OP5: tipul de material;
- OP6: tipul de deplasări;
- OP7: existența fluajului;
- OP8: tipul de deformații;

Comanda RCONST permite declararea a nouă constante reale, utile în cazul folosirii materialelor ortotropice sau izotropice. Constantele reprezintă, ca și în cazul elementului de tip SOLID, coordonatele a trei puncte ce definesc sistemul de coordonate al materialului (direcțiile principale):

- r1, r2, r3: coordonatele x, y, z corespunzătoare primului punct (situat în originea sistemului);
- r4, r5, r6: coordonatele x, y, z corespunzătoare celui de-al doilea punct (situat pe axa "a");
- r7, r8, r9: coordonatele x, y, z corespunzătoare celui de-al treilea punct (situat în planul "a-b").

Comanda MPROP permite declararea următoarelor proprietăți de material: EX, EY, EZ, NUXY, NUYZ, NUXZ, ALPX, ALPY, ALPZ, DENS, GXY, GYZ, GXZ, CREEPC, CREEPX, ETAN, SIGYLD, FRCANG, COHESN, MOONEY\_A...F, MU1...4, ALPH1...4, G1...8, TAUG1...8, K1...8, TAU1...8, REFTEMP, VC1, VC2, FPC, EPSU (a se vedea capitolul următor).

Elementul este recomandat a fi utilizat în analizele structurale neliniare, în care intervin deformații plastice, elasticitate neliniară, fluaj sau vâsco-elasticitate.

#### 4.8. Discretizarea parametrică

Discretizarea parametrică este una din metodele utilizate pentru discretizarea entităților geometrice parametrice (puncte, curbe, suprafețe, volume). Metoda oferă utilizatorului posibilitatea specificării atât a numărului de elemente generate pe o entitate geometrică cât și a numărului de noduri aferent elementului generat.

Tipul de element finit utilizat este ales în funcție de natura entității respective:

- puncte: elemente punctiforme (MASS);
- curbe: elemente monodimensionale (TRUSS2D, BEAM3D etc.);
- suprafețe: elemente bidimensionale (SHELL4, PLANE2D etc.);
- volume: elemente tridimensionale (SOLID, TETRA4 etc.).

Metoda este utilă în special în cazul modelelor cu o construcție geometrică simplă. La modele complicate, păstrarea unei divizări în entități parametrice devine dificilă datorită limitărilor impuse de definirea acestora (suprafețele pot definite prin maximum patru curbe limitrofe, volumele pot fi definite prin maximum șase suprafețe limitrofe). Cu cât modelul are o geometrie mai complexă, cu atât aceste limitări impun împărțirea acestuia în mai multe suprafețe, respectiv volume, crescând astfel numărul entităților supuse discretizării. În aceste situații trebuie acordată o atenție deosebită entităților vecine, numărul de elemente pe acestea trebuind să fie egal.

Comenzile care permit discretizarea modelelor prin metoda parametrică se află dispuse în meniul MESHING submeniul PARAMETRIC\_MESH. Denumirea acestor comenzi este compusă din numele tipului de entitate și din prefixul M\_ : M\_PT, M\_CR, M\_SF, respectiv M\_VL.

Ferestrele de dialog activate de comenzi sunt asemănătoare (figura 4.9), utilizatorul specificând etichetele entităților de început și, respectiv sfârșit, ale seriei supusă discretizării, pasul de selecție și o serie de opțiuni corespunzătoare tipului de entitate.

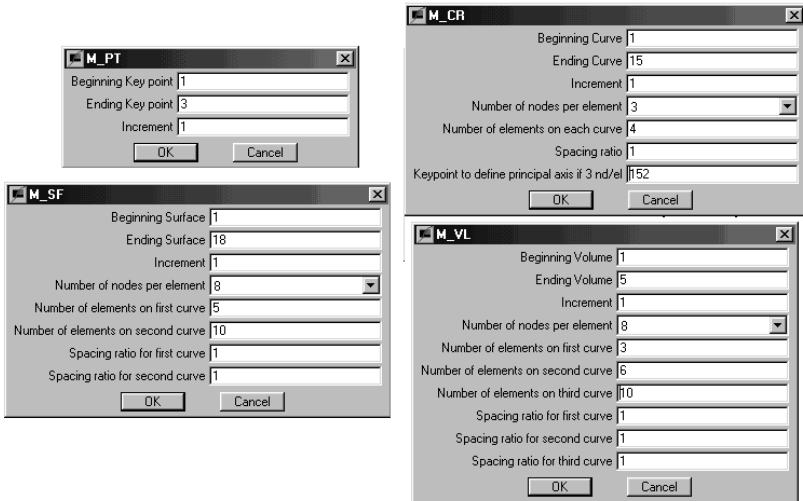


Fig. 4.9

Ferestre activate de comenzile de discretizare parametrică

Astfel, în cazul discretizării entităților de tip punct (comanda **M\_PT**) se creează un element finit corespunzător în fiecare punct inclus în seria de selecție.

În cazul entităților de tip curbă, pe lângă seria de selecție în fereastra de dialog (activată de comanda **M\_CR**) utilizatorul mai specifică: numărul de noduri corespunzător fiecărui element finit (două sau trei), numărul de elemente generat pe fiecare curbă din serie (aceleași pentru toate curbele), rata de distanțare (raportul între distanța dintre ultimele și, respectiv, primele două noduri de pe curbă) și un punct situat pe axa principală a elementului (pentru elementele cu trei noduri).

La discretizarea entităților de tip suprafață numărul de noduri pe element poate fi trei, patru, opt sau nouă, iar numărul de elemente trebuie specificat separat pentru două dintre curbele ce definesc suprafața. GEOSTAR evidențiază pe ecran (modificându-i culoarea de afișare) entitatea căreia i se specifică numărul de elemente, ușurând în acest mod discretizarea entităților vecine.

Pentru entitățile de tip volum numărul de noduri poate fi patru, opt sau douăzeci.

De remarcat faptul că în cadrul acestei etape cu se specifică tipul de element finit ce va fi folosit în analiză ci doar numărul de noduri corespunzător acestuia.

În momentul generării elementelor acestea preiau proprietățile (inclusiv tipul de element) corespunzătoare setului de modelare activ (ultimul definit sau activat cu comanda ACTSET - a se vedea capitolul următor). Dacă în momentul respectiv nu este definit (sau activat) nici un set de modelare, elementele vor prelua atributele primului set declarat după discretizare.

Această comportare a modului GEOSTAR este deosebit de utilă în cazul modelelor construite din materiale diferite. În această situație se definesc mai întâi seturile de modelare aferent materialelor folosite iar apoi acestea se activează pe rând, discretizându-se părțile respective din model. Astfel fiecare parte componentă a modelului va avea proprietățile de material corespunzătoare.

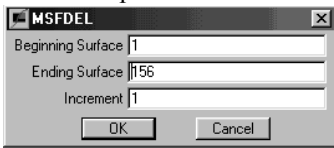


Fig. 4.10

Fereastra de dialog activată de comenzile de anulare a discretizării

4.10) în care utilizatorul specifică seria de selecție a cărei discretizare trebuie anulată.

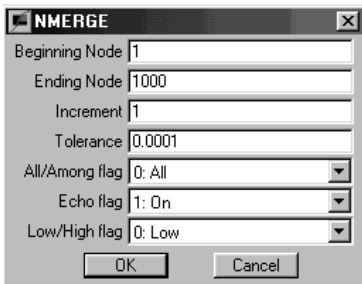


Fig. 4.11

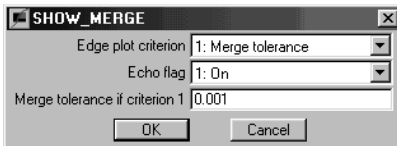
Fereastra activată de comanda NMERGE

GEOSTAR oferă și posibilitatea anulării discretizării aplicate unei entități parametrice, cu ajutorul unor comenzi corespunzătoare dispuse în același submeniu (MPTDEL, MCRDEL, MSFDEL, MVLDEL). Comenzile activează ferestre identice (figura

De remarcat un fapt foarte important: operația de discretizare se aplică separat entităților parametrice (chiar dacă sunt de același tip). Astfel, după discretizare modelul va fi compus din "bucăți" separate, fără nici o legătură între ele. Operația care conduce la obținerea unui model unitar este unirea nodurilor coincidente (sau aflate la o distanță mai mică decât o valoare specificată de utilizator). Comanda corespunzătoare se

numește NMERGE și este amplasată în meniul MESHING, submeniul NODES. Activarea comenzii conduce la deschiderea unei ferestre de dialog (figura 4.11) în care utilizatorul specifică: nodurile supuse operației (etichetele primului, respectiv ultimului nod din serie), pasul de selecție, valoarea maximă a distanței dintre noduri care conduce la unire, opțiunea de considerare a tuturor nodurilor sau doar a celor incluse în seria de selecție, opțiunea de a primi un mesaj în fereastra de dialog pentru fiecare unire efectuată și opțiunea pentru varianta de păstrare a nodurilor unite (LOW - păstrează nodul cu eticheta mai mică, HIGH - păstrează nodul cu eticheta mai mare). Se recomandă efectuarea operației de unire a nodurilor imediat după discretizare, în caz contrar existând posibilitate apariției unor erori de analiză datorate discontinuităților geometrice ale rețelei de discretizare.

Referitor la această operație GEOSTAR oferă posibilitate vizualizării nodurilor care îndeplinesc condițiile de unire prin utilizarea comenzii SHOW\_MERGE, amplasată în același submeniu. Comanda permite afișarea pe ecran a muchiilor libere sau a nodurilor ce ar putea fi unite (pentru o valoare dată a distanței dintre ele). Activarea comenzii generează deschiderea unei ferestre de dialog (figura 4.12) în care se poate specifica criteriul de afișare (muchii libere sau noduri unite), opțiunea de afișare a etichetelor nodurilor care îndeplinesc condiția de unire, valoarea toleranței de unire.



**Fig. 4.12**

Fereastra activată de comanda  
SHOW\_MERGE

De remarcă că această comandă nu unește nodurile ci doar le analizează și le afișează în mod corespunzător. Pentru unirea efectivă trebuie executată comanda NMERGE.

#### 4.9. Discretizarea automată

Metoda de discretizare parametrică este aplicabilă atât entităților parametrice (curbe, suprafețe) cât și celor non-parametrice (contururi, regiuni, poliedroane, părți). Prin această metodă pot fi specificate sau numărul de elemente generate pe o entitate geometrică sau mărimea acestora. Limitările impuse de generarea entităților (întâlnite la metoda parametrică) pot fi evitate prin utilizarea în construirea geometriei a conturilor (pot fi definite de maximum 250 curbe) și a regiunilor (pot fi definite de un contur exterior și maximum 119 interioare). Elementele generate prin această metodă vor avea trei sau șase noduri pentru entități de tip 2D (suprafețe, regiuni, poliedroane), respectiv patru sau zece noduri pentru entități de tip 3D (parte).

Metoda lucrează iterativ, generând mai întâi o serie de noduri uniform distribuite în entitatea de discretizat și căutând apoi să le unească în elemente de tipul corespunzător.

Metoda permite stabilirea densității elementelor generate pe un anumit tip de entitate geometrică prin intermediul unor comenzi specifice, amplasate în meniul MESHING, submeniul MESH\_DENSITY.

Comenzile aferente metodei de discretizare automate sunt amplasate în meniul MESHING, submeniul AUTO\_MESH și au ca denumire numele entității precedat de prefixul MA\_ (MA\_CR, MA\_SF, MA\_RG, MA\_PH, MA\_PART etc.).

#### 4.9.1. Specificarea densității de discretizare

În vederea stabilirii mărimii elementelor generate pe anumite tipuri de entități geometrice prin metoda automată GEOSTAR pune la dispoziția utilizatorului patru comenzi: CRDENSITY, CTDENSITY, RGDENSITY, PHDENSITY. Acestea, în urma activării, conduc la deschiderea unor ferestre de dialog asemănătoare (figura 4.13), ce conțin o serie de câmpuri comune în care utilizatorul introduce listele de selecție corespunzătoare (etichetele primei, respectiv ultimei entități), pasul de selecție, mărimea medie a elementului generat și toleranța de modificare a mărimii în cazul entităților învecinate.

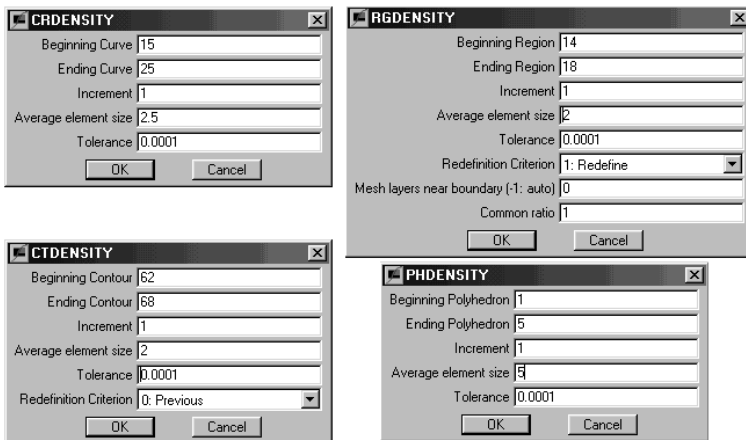


Fig. 4.13

Ferestre activate de comenzile de control al densității discretizării



În cazul comenzilor CTDENSITY și RGDENSITY utilizatorul poate specifica metoda de redimensionare a discretizării, pentru situația în care conturul respectiv folosește curbe ce aparțin altor contururi deja discretizate sau, respectiv, există diferențe între discretizările pe frontierele regiunii. Metodele oferite de GEOSTAR sunt:

PREVIOUS - se utilizează aceeași mărime de element ca și pentru discretizarea existentă;

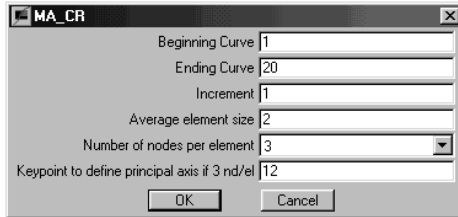
REDEFINE - se redimensionează elementele discretizării existente după mărimea nou adoptată;

MAX ELEMENTS - se compară noua opțiune pentru mărimea elementelor și este păstrată cea care conduce la un număr mai mare de elemente generate;

MIN ELEMENTS - se compară noua opțiune pentru mărimea elementelor și este păstrată cea care conduce la un număr mai mic de elemente generate.

#### 4.9.2. Discretizarea automată a curbelor

Se folosește în acest scop comanda MA\_CR, care are ca rezultat



**Fig. 4.14**

Fereastra activată de comanda MA\_CR

generarea de elemente monodimensionale sau bidimensionale (TRUSS3D, BEAM2D, PIPE etc.). Activarea comenzii conduce la deschiderea unei ferestre de dialog (figura 4.14) în care utilizatorul introduce: seria de curbe supuse

discretizării (etichetele primei, respectiv ultimei curbe din serie), pasul de selecție, mărimea medie a elementului pe curbă (în unități de măsură coerente cu cele folosite la definirea geometriei modelului), numărul de noduri pe element (două sau trei) și eticheta unui punct situat pe axa principală (în cazul elementelor cu trei noduri).

### 4.9.3. Discretizarea automată a regiunilor

Operația poate fi executată prin mai multe metode, diferențiate prin modul de generare al elementelor finite, tipul acestora și aspectul geometric al regiunii (existența contururilor interioare) supuse discretizării.

Orice regiune poate fi discretizată direct cu ajutorul comenzii MA\_RG, a cărei activare generează pe entitățile incluse în lista de selecție elemente triunghiulare cu trei noduri. În fereastra activată (figura 4.15) utilizatorul specifică: lista și pasul de selecție, numărul de iterații pentru operația de rafinare a rețelei (ajustarea fină a poziției nodurilor generate față

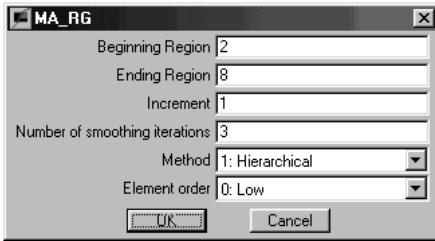


Fig. 4.15

Fereastra activată de comanda MA\_RG

de elementele din jur, în general fiind suficiente cinci-șase iterații), metoda de generare a elementelor (SWEEPING - elementele sunt generate dinspre periferie spre interior sau HIERARCHICAL - elementele sunt generate în straturi paralele) și nivelul elementelor generate (LOW -

fără noduri mediane pe laturi, HIGH - cu noduri mediane pe laturi).

De remarcat faptul că dimensiunea elementelor generate nu este

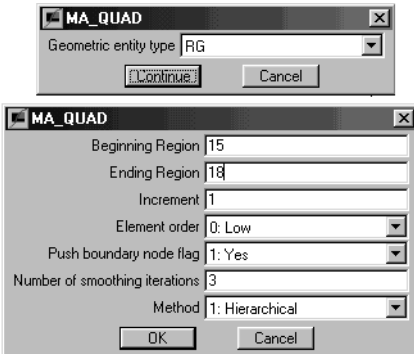


Fig. 4.16

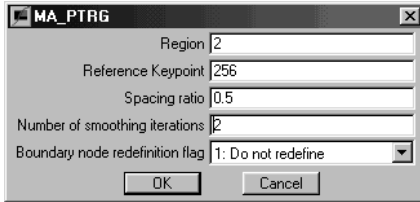
Ferestre consecutive activate de comanda MA\_QUAD

specificată în cadrul acestei comenzi, ea fiind preluată la valoarea stabilită în cadrul comenzii de generare a conturului ce limitează regiunea sau la valoarea impusă prin comanda corespunzătoare de control al densității de discretizare.

În cazul în care se dorește generarea de elemente patrulate (cu patru sau opt noduri) se poate utiliza comanda MA\_QUAD. Comanda este valabilă și

pentru discretizarea suprafețelor, optarea pentru tipul dorit de entitate fiind posibilă în prima fereastră din cele două consecutive deschise la activarea comenzii (figura 4.16).

În cea de-a doua fereastră utilizatorul introduce seria de elemente



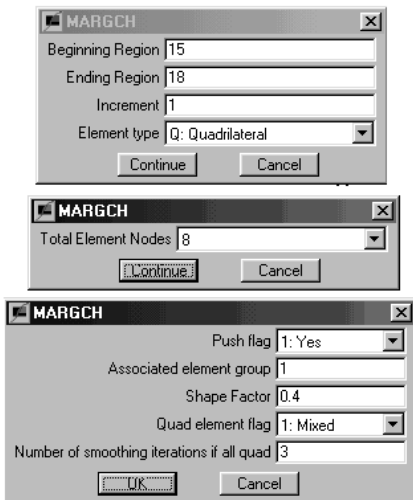
**Fig. 4.17**

Fereastră activată de comanda MA\_PTRG

supuse discretizării (etichetele primei, respectiv ultimei entități din serie și pasul de selecție), optând pentru etichetarea nodurilor pe frontiere, pentru numărul de iterații aferente operației de rafinare a rețelei și pentru metoda de generare a elementelor.

În situația în care se dorește discretizarea unei regiuni (fără contururi interioare) prin generarea radială a elementelor pornind de la un punct central, este disponibilă comanda MA\_PTRG. În fereastra activată de comandă (figura 4.17) utilizatorul poate

specifica, pe lângă eticheta entităților respective (regiune și punct de referință), a numărului de iterații de rafinare și a opțiunii de renumerotare a nodurilor de pe frontiere (în vederea asigurării compatibilității cu discretizările entităților adiacente) și un raport de spațiere care permite modificarea densității elementelor în apropierea punctului de bază față de frontiere.



**Fig. 4.18**

Ferestre consecutive activate de comanda MARGCH

Pentru discretizarea regiunilor ce conțin contururi interioare este disponibilă comanda MA\_CTRG. Opțiunile disponibile în fereastra deschisă la activarea comenzii sunt

identice cu cele corespunzătoare comenzii MA\_RG.

GEOSTAR oferă posibilitatea schimbării tipului de elemente utilizate în discretizarea automată a regiunilor, chiar și după efectuarea operației, prin intermediul comenzii MARGCH. La activarea ferestrei se deschide o serie de trei ferestre consecutive de dialog (figura 4.18) în care utilizatorul specifică informațiile necesare identificării entităților respective și tipul dorit de elemente, numărul de noduri aferent acestora, opțiunea de amplasare de noi noduri pe frontiere (în cazul în care elementele noi au mai multe noduri decât cele existente), setul de modelele corespunzător, factorul de formă, opțiunea pentru generarea numai a elementelor patrulaterare sau amestecate și numărul de iterații de rafinare a rețelei.

Factorul de formă este un parametru cerut numai în cazul generării de elemente patrulaterare din elemente triunghiulare și reprezintă raportul dintre laturile cea mai scurtă și, respectiv, cea mai lungă a elementului (nu se recomandă valori mai mici decât 0.3 - care conduc la elemente ascuțite - datorită problemelor de calcul numeric ce pot interveni).

De remarcat faptul că transformarea unei discretizări triunghiulare într-una patrulateră conduce la pierderea condițiilor de încărcare pe frontiere, acestea trebuind refăcute.

Rețelele de elemente finite generate pe entități geometrice de tip regiune poate fi șterse cu ajutorul comenzii MARGDEL. Activarea comenzii conduce la deschiderea unei ferestre tipice de dialog în care utilizatorul

introduce elementele de identificare a seriei de entități respective.

#### 4.9.4. Discretizarea automată a suprafețelor

Ca și în cazul regiunilor pentru discretizarea suprafețelor sunt disponibile mai multe metode, accesibile prin comenzi specifice.

Orice suprafață poate fi discretizată, prin generarea automată de elemente triunghiulare cu trei noduri pornind de la mărimea medie sau de la numărul acestora pe frontiere, folosind comanda

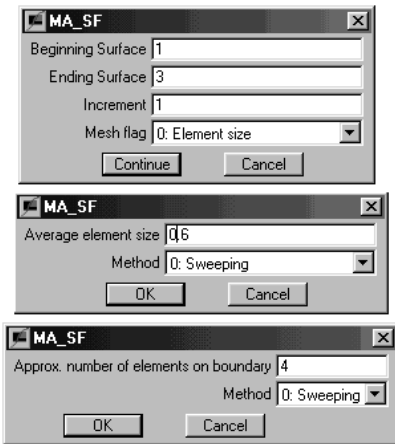


Fig. 4.19

Ferestre consecutive activate de comanda MA\_SF

MA\_SF. Activarea comenzii conduce la deschiderea consecutivă a două ferestre (figura 4.19): în prima utilizatorul identifică seria de entități supuse discretizării și optează pentru criteriul de generare al elementelor (mărime sau număr), în cea de-a doua (corespunzătoare criteriului ales) se specifică

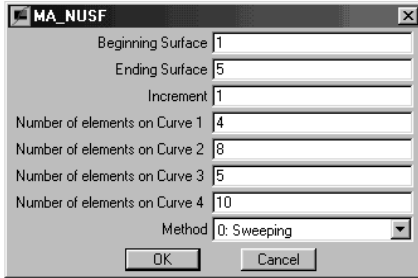


Fig. 4.20

Fereastră activată de comanda MA\_NUSF

valoarea respectivă și metoda de generare (identice cu cele folosite la discretizarea regiunilor).

Numărul de elemente pe curbele frontieră ale suprafețelor definite prin patru laturi poate fi diferit, în acest caz utilizându-se comanda MA\_NUSF. În fereastra activată (figura 4.20) utilizatorul specifică seria de entități supuse discretizării,

numărul de elemente pe fiecare latură și metoda folosită la generarea elementelor. Nu se recomandă totuși discretizarea mai multor suprafețe simultan deoarece pot surveni erori datorate diferențelor între etichetarea frontierelor acestora.

Ca și în cazul regiunilor o suprafață poate fi discretizată prin

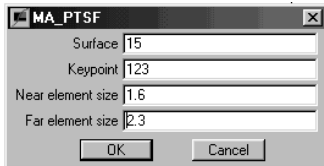


Fig. 4.21

Fereastră activată de comanda MA\_PTFS

generarea elementelor pornind de la un punct de referință situat pe suprafața respectivă sau de la o curbă de frontieră. Aceste operații pot fi efectuate cu ajutorul comenzilor MA\_PTFS și MA\_CRSF. În ferestrele de dialog deschise în urma activării comenzilor (figura 4.21) utilizatorul introduce etichetele suprafeței și a punctului de referință (sau a curbei de frontieră)

precum și dimensiunile elementelor din apropierea punctului (curbei) și, respectiv, a frontierelor suprafeței.

De remarcat faptul că MA\_PTFS funcționează numai dacă punctul de referință este punct de colț sau este situat în zona centrală a suprafeței respective.

Ca și în cazul regiunilor tipul de elemente generat în urma discretizării unor suprafețe poate fi schimbat cu ajutorul unei comenzi specifice - MASFCH - care acționează în mod analog cu cea corespunzătoare regiunilor (MARGCH), ferestrele de dialog și câmpurile conținute fiind identice.

Pentru ștergerea rețelei de elemente generate pe o suprafață este disponibilă comanda MASFDEL, similară cu MARGDEL.

#### 4.9.5. Discretizarea automată a poliedrelor

Poliedrele pot fi discretizate prin generarea automată a unor elemente triunghiulare cu trei noduri folosind comanda MA\_PH. Activarea comenzii conduce la deschiderea unei ferestre de dialog tipice în care utilizatorul introduce datele de identificare a seriei de entități supuse discretizării și nivelul elementelor generate, mărimea acestora având aceeași valoare cu mărimea indicată în comanda de generare (PH).

#### 4.9.6. Discretizarea automată a părților

Prin metoda automată părțile sunt discretizate prin generarea unor

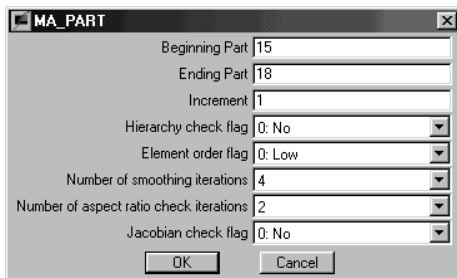


Fig. 4.22

Fereastră activată de comanda MA\_PART

elementele tetraedrice cu patru sau zece noduri. Fereastra de dialog deschisă ca urmare a activării comenzii MA\_PART (figura 4.22) permite utilizatorului atât identificarea entităților supuse operației cât și specificarea unor opțiuni corespunzătoare: verificarea calității elementelor vecine, ordinul

elementelor generate (LOW - elemente cu patru noduri, HIGH - elemente cu zece noduri), numărul de iterații de rafinare (între zero și zece), numărul de iterații la verificarea formei elementelor (între zero și patru), gradul de precizie al verificării poziționării corecte a nodurilor mediane (în cazul elementelor de ordin superior).

## 4.10. Manipularea nodurilor și elementelor

Meniul MESHING conține două seturi de comenzi, grupate în submeniurile corespunzătoare, care permit utilizatorului efectuarea diferitelor operații asupra nodurilor, respectiv elementelor, ce formează rețeaua de discretizare. Intervențiile asupra nodurilor și elementelor generate trebuie făcute numai în cazuri strict necesare și cu discernământ deoarece se pot compromite corespondențele cu realitatea ale modelului sau se pot introduce erori de conexiune care fac imposibilă efectuarea analizei.

### 4.10.1. Operații cu noduri

Printre operațiile efectuate asupra nodurilor se pot distinge două categorii: editarea și modificarea poziției.

Comenzile referitoare la editare cel mai des utilizate sunt: identificarea (NIDENT), listarea (NLIST) și afișarea pe ecran (NPLOT).

Comanda de identificare a nodurilor conduce la afișarea în consola de dialog a etichetei și coordonatelor nodurilor indexate cu mouse-ul în fereastra principală.

Comanda de listare permite obținerea unei liste cu etichetele și coordonatele nodurilor (în raport cu un sistem de axe specificat). Lista apare într-o fereastră separată și poate fi copiată în clipboard.

Comanda de afișare pe ecran permite afișarea unei serii de noduri, specificată în prealabil de utilizator într-o fereastră tipică de dialog.

Dintre comenzile care permit modificarea poziției nodurilor cel mai des utilizate sunt: deplasarea unui nod într-un punct (NPTPUSH), deplasarea unui nod pe o curbă (NCRPUSH) și deplasarea unui nod pe o suprafață (NSFPUSH).

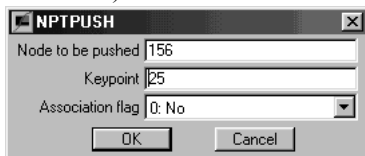


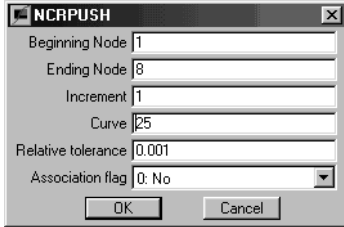
Fig. 4.23

Fereastră activată de comanda NPTPUSH

La activarea comenzii NPTPUSH se deschide o fereastră de dialog (figura 4.23) în care utilizatorul identifică prin etichete nodul și punctul corespunzător, specificând și opțiunea de modificare sau nu a asocierii nodului cu alte entități geometrice. Comanda trebuie utilizată cu grijă

deoarece o deplasare pe o distanță prea mare (care depășește jumătate din mărimea elementului corespunzător) poate compromite calitatea discretizării.

Comenzile NCRPUSH și NSFPUSH conduc la deschiderea unor



**Fig. 4.24**

Fereastră activată de comanda NCRPUSH

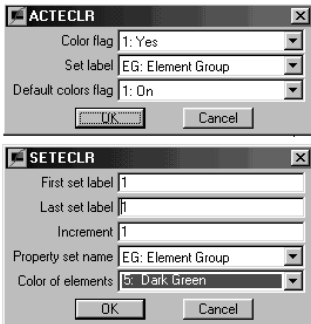
ferestre de dialog similare (figura 4.24) în care utilizatorul specifică seria de noduri ce urmează a fi deplasată, eticheta entității destinație și valoarea toleranței la poziție pentru amplasarea nodurilor în noua poziție.

În urma deplasării nodurilor cu păstrarea asocierii inițiale a acestora pot surveni modificări în distribuția încărcărilor sau a restricțiilor, acestea fiind legate de o entitate geometrică asociată cu nodul

respectiv dar fiind aplicate în noua poziție a nodului.

#### 4.10.2. Operații cu elemente

Ca și în cazul nodurilor elementele pot fi identificate (EIDENT), listate (ELIST) și afișate pe ecran (EPLLOT). Comenzile respective au aceeași sintaxă cu cele corespunzătoare nodurilor.



**Fig. 4.25**

Ferestre activate de comenzile ACTECLR și SETECLR

Spre deosebire de noduri în cazul elementelor utilizatorul poate activa sau modifica culoarea de afișare a acestora pe ecran prin intermediul a două comenzi specifice: ACTECLR și SETECLR. Activarea comenzilor conduce la deschiderea unor ferestre de dialog (figura 4.25) în care utilizatorul poate modifica culorile de afișare a elementelor asociate cu diferite componente ale setului de modelare.

Asupra elementelor poate fi efectuată o operație de verificare a aspectului geometric și a conectivității



acestora cu ajutorul comenzii ECHECK. La activarea comenzii se deschide o fereastră de dialog (figura 4.26) în care utilizatorul specifică seria de elemente supuse verificării, valoarea raportului de aspect admisibil, opțiunea de verificare a ordinii de conectare a nodurilor și corectare a acesteia și opțiunea de livrare a rezultatelor verificării (fără livrare, listare, desenare, ambele).

Ordinul elementelor poate fi modificat cu ajutorul comenzii ECHANGE, elementele inferioare (fără noduri mediane pe laturi) fiind transformate în elemente superioare (cu noduri mediane pe laturi) sau invers.

La activarea comenzii se deschide o fereastră de dialog în care utilizatorul specifică seria de elemente ce urmează a fi supuse transformării, tipul de transformare (din superioare în inferioare sau invers) și opțiunea de amplasarea a nodurilor pe frontiere (numai la transformarea din inferioare în superioare).

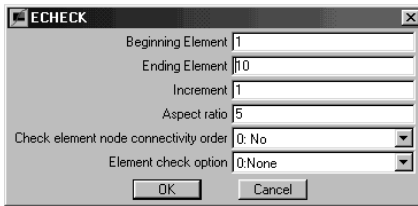


Fig. 4.26

Fereastră activată de comanda ECHECK

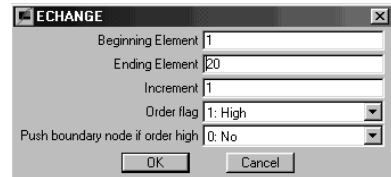


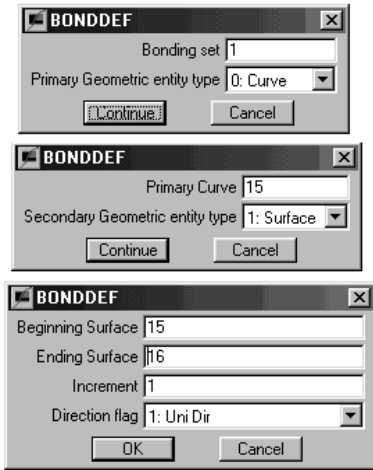
Fig. 4.27

Fereastră activată de comanda ECHANGE

Transformarea are loc prin amplasarea (sau anihilarea) nodurilor pe mijloacele laturilor elementelor. În cazul măririi numărului de noduri se recomandă amplasarea nodurilor corespunzătoare pe frontiere pentru obținerea unei rețele mai compacte.

#### 4.11. Conectarea rețelelor de discretizare incompatibile

Deși este recomandată discretizarea modelelor astfel încât rețelele diferitelor părți componente să fie compatibile, există situații când este mai comodă discretizarea diferențiată și conectarea rețelelor obținute cu ajutorul comenzii BONDDEF amplasată în meniul LOADSBC, submeniul STRUCTURAL. Prin această comandă nodurile corespunzătoare elementelor unei rețele (aparținând unei entități geometrice sursă) sunt



**Fig. 4.28**

Ferestre consecutive activate de comanda BONDDEF

conectate la elementele (aparținând unei entități geometrice destinație) celei de-a doua rețele. Activarea comenzii conduce la deschiderea consecutivă a trei ferestre de dialog (figura 4.28). În prima fereastră utilizatorul specifică o etichetă ce desemnează conexiunea respectivă și tipul de entitate geometrică sursă (curbă, suprafață, regiune). În cea de-a doua fereastră se specifică eticheta entității sursă și tipul entității destinație (curbă, suprafață, regiune). În ultima fereastră se specifică seria de entități corespunzătoare, pasul de selecție și opțiunea pentru conexiune uni- sau bidirecțională. Conexiunea unidimensională este recomandată pentru cazul în care prima rețea conține elemente de

ordin inferior iar cea de-a doua conține elemente de ordin inferior sau superior. Conexiunea bidimensională este recomandată pentru cazul în care ambele rețele conțin elemente de ordin superior.

Comanda este utilă atunci când dimensiunea elementelor este diferită în cele două rețele sau când elementele sunt incompatibile.

Comanda poate fi utilizată doar în cazul analizei cu modulele STAR, NSTAR și HSTAR.

În cazul conectării rețelelor corespunzătoare unor părți de model rigide cu unele flexibile pot apare erori de analiză, datorită comportării diferite din zona de unire.