

## CAPITOLUL 7

### STABILIREA OPȚIUNILOR ȘI RULAREA ANALIZEI CU ELEMENT FINIT

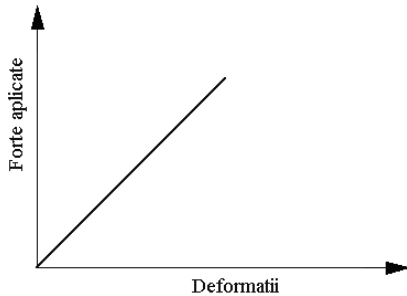
Parcursul etapelor prezentate în capitolele anterioare conduce la obținerea unui model corespunzător piesei reale, atât ca geometrie cât și ca material și sarcini aplicate. Înaintea rulării unei analize cu element finit asupra acestui model este necesară efectuarea unor verificări referitoare la corectitudinea bazei de date și stabilirea unor condiții de desfășurare a analizei.

Comenzile care permit utilizatorului controlul asupra corectitudinii bazei de date și stabilirea opțiunilor de analiză sunt amplasate în meniul ANALYSIS, fiind grupate într-un set de comenzi generale și submeniuri corespunzătoare fiecărui modul de analiză.

COSMOS/M are integrate o serie de module care permit efectuarea de analize cu element finit în domenii diferite: structural static liniar și neliniar, stabilitate, dinamic, vibrații, oboseală, hidrodinamic, termic, electromagnetic, folosirea unui anumit modul fiind decisă de utilizator în

concordanță cu natura problemei de rezolvat.

Modulul STAR (analiză structurală liniară statică) tratează structurile mecanice pornind de la presupunerea comportării perfect elastice a acestora sub acțiunea sarcinilor exterioare (deformațiile sunt mici, starea deformată neinfluențând sistemul de sarcini aplicate, după dispariția încărcărilor



**Fig. 7.1**

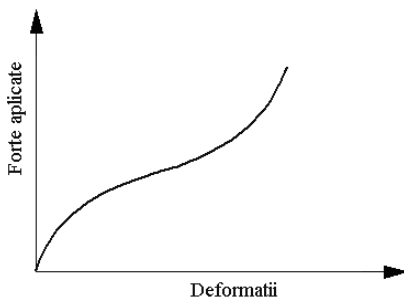
Răspunsul structurilor cu comportare liniară la solicitări exterioare

deformațiile devin nule - figura 7.1). Inițial STAR calculează, pe baza unor metode de calcul numeric liniare sau iterative (utilizatorul având posibilitatea specificării acestora dintr-o listă implicită), deformațiile structurale corespunzătoare nodurilor rețelei de discretizare și apoi, funcție de opțiunile utilizatorului, este activat submodulul STRESS care calculează tensiunile mecanice corespunzătoare elementelor componente. Valorile acestor tensiuni pot livrate față de orice sistem de referință, implicit sau definit de utilizator. Ca urmare modulul STAR poate fi utilizat pentru determinarea deplasărilor (nodale), deformațiilor, reacțiunilor (nodale) și tensiunilor (nodale și elementale) corespunzătoare unui model ce are o comportare statică liniară.

Modulul STAR dispune de o serie de facilități dintre care pot fi menționate următoarele:

- bibliotecă de elemente finite foarte largă;
- tratarea materialelor cu proprietăți isotropice, ortotropice, anisotropice și a materialelor compozite;
- tratarea materialelor cu proprietăți dependente de temperatură;
- aplicarea încărcărilor exterioare sub formă de sarcini aplicate sau deplasări prescrise;
- acceptarea cuplării restricțiilor pe diferite grade de libertate;
- modificarea matricei de rigiditate a modelului în scopul prevenirii comportării instabile;
- conectarea rețelelor alcătuite din elementelor finite incompatibile;

Modulul poate fi utilizat pentru rezolvarea problemelor ce corespund ipotezelor comportării statice liniare.



**Fig. 7.2**

Răspunsul structurilor cu comportare neliniară la solicitări exterioare

Modulul NSTAR permite tratarea modelelor al căror răspuns la solicitările exterioare este neliniar (deformațiile sunt mari nefiind proporționale cu încărcările, ele nu se anulează după dispariția acestora). Cauzele neliniarității pot fi diferite, ele fiind generate de aspecte constructive corespunzătoare.

Comportarea neliniară poate fi cauzată de forma geometrică a modelului formă

care, sub acțiunea încărcărilor, suferă deformații mari cu efecte sesizabile asupra schemei de încărcare și a matricei de rigiditate a modelului. Rezultatul este o diagramă forță aplicată-deformație neliniară pentru modelul în cauză (figura 7.2).

O altă cauză a comportării neliniare poate fi datorată materialului din care este construit modelul. Comportarea neliniară a materialului poate fi generată atât de solicitările la care acesta este supus (depășirea limitei de curgere, solicitarea la temperaturi ridicate - fluaj) cât și de natura acestuia (materiale hiperelastice, vâscoelastice, plastice etc.)

Contactul între două corpuri, construite din materiale diferite, constituie o altă cauză a răspunsului neliniar al structurii la sarcinile exterioare.

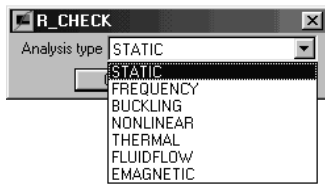
Pentru rezolvarea acestor tipuri de probleme modulul NSTAR pornește de la ipoteza modificării continue atât a matricei de rigiditate a modelului sub acțiunea sarcinilor exterioare cât și a acestora sub acțiunea răspunsului corespunzător al modelului. În acest scop pot fi utilizate mai multe metode de calcul iterative, prin controlul creșterii incrementale fie al sarcinilor, fie al deplasărilor, la fiecare pas fiind generate și rezolvate sisteme de ecuații neliniare, pe baza condițiilor de echilibru corespunzătoare (metoda Newton-Raphson, metoda Broyden-Fletcher-Goldfarh-Shanno). Creșterea incrementală este coordonată cu ajutorul așa-numitelor curbe de "timp", timpul reprezentând o variabilă virtuală utilizată de program pentru aprecierea modificării mărimii respective. În cazul neliniarităților cauzate de proprietățile materialelor dependente de timp (fluaj, vâscoelasticitate) timpul constituie o variabilă reală, specificată de utilizator.

Cu ajutorul modulului NSTAR se pot rezolva probleme de comportare neliniară cauzată de :

- geometrie: deplasări mari, deformații mari;
- material: comportare neliniară elastică, comportare hiperelastică (materiale tip Mooney-Rivlin, Ogden, Blatz-Ko), comportare plastică (după criteriile Huber-von Mises, Tresca-Saint Venant, Drucker-Prager); comportare vâscoelastică (modelul Maxwell), fluaj (după legile clasică și exponențială), cu proprietăți dependente de temperatură
- contact: liniar, pe suprafață, cu frecare sau fără;

### **7.1. Verificarea corectitudinii bazei de date**

GEOSTAR permite utilizatorului efectuarea unei verificări finale, înaintea rulării analizei, asupra bazei de date aferente unui model cu ajutorul comenzii R\_CHECK. La activarea comenzii se deschide o fereastră de dialog (figura 7.3) în care utilizatorul poate alege, dintr-o listă derulantă, tipul de analiză la care va supus modelul și, deci, tipul corespunzător de



**Fig. 7.3**

Fereastra de dialog deschisă de comanda R\_CHECK

verificare (STATIC - analiză structurală liniară, FREQUENCY - analiză vibrațională, BUCKLING - analiză de stabilitate, NONLINEAR - analiză structurală neliniară, THERMAL - analiză termică, FLUIDFLOW - analiză hidraulică, EMAGNETIC - analiză electromagnetică).

Pe parcursul operației se verifică dacă există câte un set de modelare (grup de elemente, set de proprietăți de material și set de constante reale asociate). De exemplu un element SPRING nu are nevoie de set de proprietăți de material și nu va fi generată nici o eroare dacă nu este definit nici unul, dar va rezulta un mesaj de eroare dacă nu este asociat nici un set de material cu un element SOLID.

De asemenea, se verifică dacă nu sunt folosite noduri inexistente la definirea elementelor și se emite un mesaj de eroare dacă este cazul.

Pentru elementele PLANE2D și toate elementele SHELL, este emis un mesaj de eroare în următoarele cazuri:

- dacă raportul de aspect al unui element este mai mare decât o valoare rezonabilă, în funcție de tipul de analiză și de tipurile de elemente;
- dacă un unghi dintr-un element cu 3 noduri este mai mic decât 20 sau mai mare decât 135 de grade;
- dacă un unghi al unui element cu 4 noduri este mai mic decât 45 sau mai mare decât 135 de grade;

Pentru toate elementele triunghiulare de tip SHELL, este verificată conectivitatea elementelor și este emis un mesaj de avertisment dacă aria definită de 3 noduri este mai mică decât 1.0E-15.

Sunt verificate conexiunile dintre elementele asociate cu grupuri de elemente.

Este verificat gradul de distorsiune pentru elementele de tip paralelipedic (SOLID, MAG3D, și FLOW3D).

Rezultatele verificărilor sunt listate într-un fișier tip text cu denumirea identică cu cea a problemei în curs de analiză dar cu extensia .CHK

## 7.2. Controlul înregistrării rezultatelor în raportul final

Raportul, conținând rezultatele analizei cu element finit, este înscris într-un fișier tip text cu denumirea identică cu cea a problemei analizate dar cu extensia .OUT.

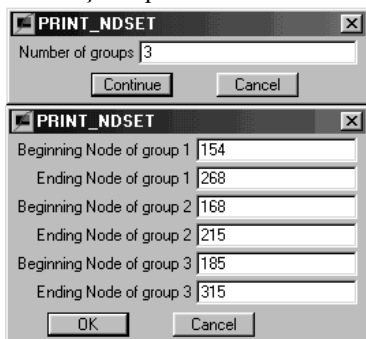


Fig. 7.4

Ferestre consecutive corespunzătoare comenzii PRINT\_NDSET

Implicit în acest fișier sunt cuprinse majoritatea rezultatelor analizei ceea ce poate genera rapoarte de dimensiuni foarte mari, greu de manipulat și care conțin informații inutile pentru scopul urmărit de utilizator sau, dimpotrivă, nu conțin tocmai informațiile dorite.

COSMOS/M oferă posibilitatea utilizatorului să specifice înregistrarea preferențială a rezultatelor, obținându-se astfel un raport cu dimensiuni rezonabile, folosind o serie de comenzi specifice

grupate în submeniul OUTPUT\_OPTION din meniul ANALYSIS.

Comanda care permite specificarea seriilor de noduri pentru care se vor înregistra valorile deplasărilor, vitezelor, accelerațiile sau temperaturile

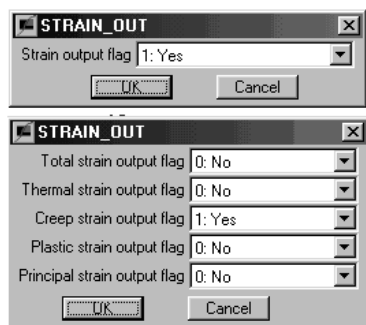


Fig. 7.5

Ferestre consecutive corespunzătoare comenzii STRAIN\_OUT

obținute în urma analizei poartă numele PRINT\_NDSET. Activarea acestei comenzi duce la deschiderea a două ferestre de dialog consecutive (figura 7.4) în care utilizatorul specifică numărul de serii de noduri (maximum zece) și etichetele corespunzătoare.

Pentru controlul înregistrării valorilor tensiunilor mecanice pe elemente este disponibilă comanda PRINT\_ELSET, care deschide ferestre de dialog similare cu cele prezentate în figura 7.4.

Înregistrarea deformațiilor, în cazul rulării unei analize neliniare, poate fi controlată cu ajutorul comenzii STRAIN\_OUT. În ferestrele de dialog deschise de comandă (figura 7.5) utilizatorul optează pentru înregistrare și pentru tipul corespunzător de deformații (totale, termice, de fluaj, plastice, principale).

### 7.3. Stabilirea principalelor opțiuni pentru analiza structurală liniară statică

Comenzile referitoare la setările modulului de analiză structurală liniară statică (STAR) se află amplasate în submeniul STATIC din meniul ANALYSIS. Modulul STAR calculează deplasările nodurilor elementelor din rețeaua de discretizare a modelului, incluzând și un modul de calcul al deformațiilor și tensiunilor mecanice pe elemente (STRESS), care utilizează ca date de intrare valorile acestor deplasări.

Dintre comenzile ce permit utilizatorului accesul la setările modulului STAR cea mai importantă este comanda A\_STATIC. Activarea comenzii conduce la deschiderea unei ferestre de dialog (figura 7.6) în care utilizatorul specifică următoarele opțiuni:

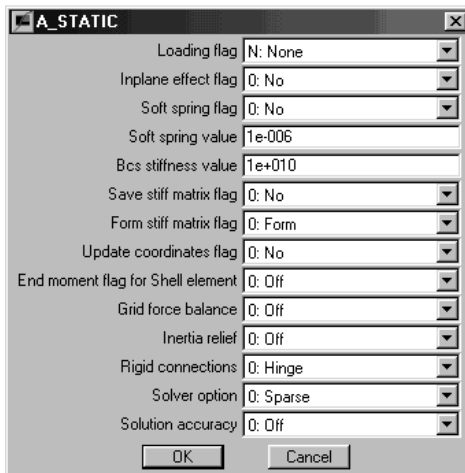


Fig. 7.6

Ferestre consecutive corespunzătoare comenzii A\_STATIC

- indicarea existenței unor sarcini speciale (N - fără sarcini speciale, C - sarcini centrifugale, G - sarcini gravitaționale, T - sarcini datorate efectelor termice, CG-CT-GT-CGT - combinații);

- includerea în calcul a efectelor în plan ale rigidității modelului, pentru modele plane tip membrană;

- opțiunea de modificare a rigidității modelului în scopul atenuării comportării modelului tip "corp rigid" (acceptarea acestei opțiuni conduce la modificarea

matricei de rigiditate prin adăugarea unei constante la toți termenii diagonali ai matricei generale de rigiditate corespunzătoare modelului). Opțiunea este utilă în cazul utilizării elementelor de tip GAP sau a în cazul unor modele aflate în echilibru sub acțiunea încărcărilor exterioare;

- valoarea cu care se modifică matricea de rigiditate, valoarea de amortizare impusă condițiilor pe frontiere (în coordonate locale);

- opțiunea de salvare a matricei de rigiditate a modelului în forma descompusă (utilă în cazul în care se dorește refolosirea acesteia la rulări ulterioare, reducându-se simțitor timpii corespunzători de analiză);

- opțiunea de formare și descompunere a matricei de rigiditate sau de utilizare a formei descompuse salvate la o rulare anterioară;

- opțiunea de actualizare a coordonatelor corespunzător formei deformate a modelului;

- opțiunea de aplicare a momentelor de capăt în cazul elementelor tip SHELL și ELBOW;

- opțiunea pentru calculul echilibrului forțelor în noduri. Dacă este activat indicatorul, STAR va calcula forțele nodale interne pentru fiecare element. Însumarea acestor forțe nodale într-un nod trebuie să echilibreze forțele de încărcare aplicate în acel nod. Forțele de reacțiune într-un nod pot fi calculate ca forțe neechilibrate rezultate din însumarea tuturor forțelor interne și aplicate. Forțele în noduri și reacțiunile sunt înregistrate în raportul final;

- opțiunea pentru considerarea forțelor de inerție, în cazul modelelor supuse la accelerații;

- opțiunea pentru modul de considerare a legăturilor dintre elemente de tip SOLID și SHELL. Elementele de tip SOLID, TETRA4 și TETRA10 nu iau în considerare în formularea lor gradele de libertate tip rotație în timp ce elementele tip SHELL consideră le explicite. În cazul conectării elementelor de acest tip trebuie introduse o serie de restricții: HINGE - consideră că legătura dintre elemente este tip articulație, RIGID - consideră că legătura dintre elemente este tip rigid (gradele de libertate de rotație sunt anulate);

- opțiunea pentru modulul de calcul numeric utilizat;

- opțiunea pentru efectuarea calculului erorii absolute și erorii normalizate pentru soluția rezultată (în cazul activării se calculează ecuațiile 7.1).

$$[A\{X\} - \{F\}] ; \frac{[A\{X\} - \{F\}]}{\{\{F\}\}} \quad (7.1)$$

unde:

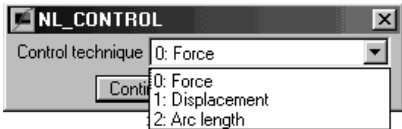
- A - matricea de rigiditate a modelului;
- {X} - vectorul deplasărilor;
- {F} - vectorul încărcărilor exterioare.

#### 7.4. Stabilirea principalelor opțiuni pentru analiza structurală neliniară

Setările modulului de analiză neliniară NSTAR pot fi accesate cu ajutorul unui grup de comenzi amplasate în submeniul NONLINEAR din meniul ANALYSIS.

##### 7.4.1. Specificarea procedurii numerice utilizate

După cum s-a arătat, modulul NSTAR poate utiliza mai multe



**Fig. 7.7**

Fereastra de dialog principală deschisă de comanda NL\_CONTROL

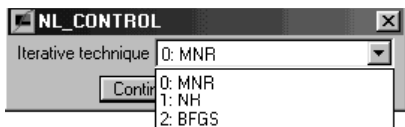
proceduri și metode de calcul numeric pentru rezolvarea problemelor impuse. Specificarea de către utilizator a procedurii folosite se face cu ajutorul comenzii NL\_CONTROL. Activarea comenzii conduce la unor ferestre de dialog multiple (funcție de opțiunile specificate în

fereastra principală (figura 7.7).

Pot fi specificate următoarele proceduri de rezolvare:

- FORCE - încărcările aplicate sunt incrementate după curba de timp corespunzătoare;
- DISPLACEMENT - încărcările aplicate sunt incrementate proporțional pentru a realiza echilibrul sub controlul gradului de libertate specificat. Gradul de libertate neliniar controlat este incrementat prin intermediul folosirii unei curbe de timp;
- ARC\_LENGTH - încărcările aplicate sunt incrementate proporțional pentru a realiza echilibrul sub controlul lungimii drumului de echilibru. Nu este necesară nici o curbă de timp.





**Fig. 7.8**

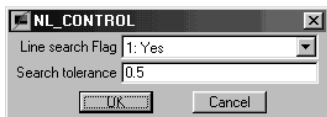
Fereastra de dialog secundară deschisă de comanda NL\_CONTROL

În cea de-a doua fereastră de dialog deschisă (figura 7.8), după specificarea procedurii de rezolvare, utilizatorul poate opta pentru diferite metode numerice de rezolvare a sistemelor neliniare obținute:

- MNR - metoda Newton-Raphson modificată: matricea de rigiditate este formată și descompusă pe intervalul de reformare specificat de utilizator. Rigiditatea calculată este folosită apoi pe cuprinsul aceluși interval pe durata procesului de iterație;

- NR - metoda Newton-Raphson: matricea de rigiditate este formată și descompusă la fiecare iterație a unui pas particular;

- BFGS - Este folosită o actualizare BFGS Quasi-Newton pe durata iterațiilor unui pas particular (se folosește numai cu procedura FORCE).



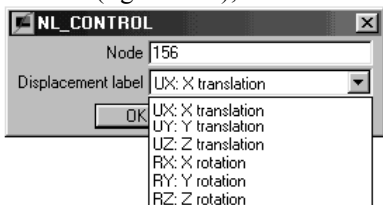
**Fig. 7.9**

Fereastra de dialog terțiară (variantă) deschisă de comanda NL\_CONTROL

În funcție de combinația procedură de rezolvare-metoda de calcul trebuie specificate, într-o fereastră de dialog corespunzătoare, o serie de parametri suplimentari:

- pentru combinația FORCE-BFGS se indică utilizarea sau nu a metodei liniei de căutare, cu toleranța corespunzătoare (figura 7.9);

- pentru combinația DISPLACEMENT-MNR(NR) se indică mărimea deplasării pe gradul de libertate și eticheta nodului de control (figura 7.10);



**Fig. 7.10**

Fereastra de dialog terțiară (variantă) deschisă de comanda NL\_CONTROL

- pentru combinația ARC\_LENGTH-MNR(NR) se indică multiplicatorul de încărcare maximă la care se va încheia analiza în caz de depășire (valoare aproximativă), valoarea maximă pentru fiecare grad de libertate la care se va termina analiza în caz de depășire (valoare aproximativă), numărul maxim de

pași de arc la care se va termina analiza în caz de depășire, numărul mediu de iterații dorit pentru fiecare pas de arc folosit la ajustarea lungimii pașilor de arc, multiplicator de test de încărcare inițială folosit la calcularea primului pas de arc, indicatorul folosit pentru a selecta criteriul de

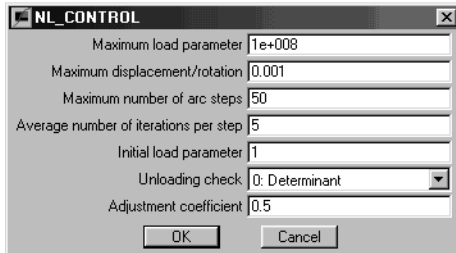


Fig. 7.11

Fereastra de dialog terțiară (variantă) deschisă de comanda NL\_CONTROL

de determinare a stării de neîncărcare pe timpul procesului de rezolvare (DETERMINANT – se folosește semnul determinantului matricei de rigiditate a sistemului, valoarea negativă indicând neîncărcare; ENERGY – se folosește semnul lucrului incremental, valoarea negativă indicând neîncărcare; EITHER – se

folosește atât semnul determinantului cât și cel al lucrului incremental, considerându-se neîncărcare dacă oricare dintre aceste semne este negativ; BOTH - se folosește atât semnul determinantului cât și cel al lucrului incremental, considerându-se neîncărcare dacă cel puțin unul dintre aceste semne este negativ) și valoarea coeficientului folosit în ajustarea calculului automat al incrementului lungimii pasului de arc pe durata analizei (figura

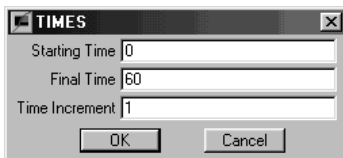


Fig. 7.12

Fereastra de dialog deschisă de comanda TIMES

dintre procedurile FORCE sau DISPLACEMENT este necesară definirea unui "timp" de analiză prin utilizarea comenzii TIMES amplasată în submeniul LOAD\_OPTIONS din meniul LOADSBC. La activarea comenzii se deschide o fereastră de dialog (figura 7.12) în care utilizatorul specifică valoarea temporală la începutul, respectiv sfârșitul, analizei și incrementul pașilor de timp corespunzători.

7.11).

În cazul utilizării uneia dintre aceste ultime combinații utilizatorul trebuie să definească în mod obligatoriu cel puțin una dintre valorile corespunzătoare parametrilor de încărcare maximă sau de grad de libertate maxim.

În cazul folosirii uneia

Pentru procedura ARC\_LENGTH declararea "timpului" se face implicit, valoarea maximă a acestuia fiind egală cu valoarea deplasării maxime indicate.

#### 7.4.2. Controlul automat al pasului de incrementare

Modulul NSTAR este dotat cu un sistem de control automat al pasului de incrementare, ce permite micșorarea acestuia în situațiile în care prin aplicarea creșterii mării incrementate se obțin erori inadmisibile.

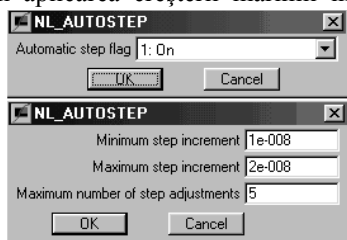


Fig. 7.13

Ferestre consecutive corespunzătoare comenzii NL\_AUTOSTEP

Acest sistem micșorează valoarea "timpului" de incrementare progresiv, în limitele specificate de utilizator, până la obținerea unor rezultate corecte pentru etapa respectivă de calcul. Activarea și specificarea valorilor de control sunt accesibile cu ajutorul comenzii NL\_AUTOSTEP.

Activarea comenzii conduce la deschiderea a două ferestre consecutive de dialog (figura 7.13), prima permițând utilizatorului activarea sau dezactivarea opțiunii de control automat iar cea de-a doua permițând specificarea valorilor respective: valoarea minimă, respectiv maximă, a pasului de incrementare și numărul maxim de autoreglări.

Programul oprește analiza dacă:

- numărul de ajustări de pas pentru oricare pas depășește "numărul maxim de ajustări de pas";
- incrementul de pas cerut pentru convergență devine mai mic decât "incrementul minim de pas".



Fig. 7.14

Fereastra de dialog deschisă de comanda RESTART

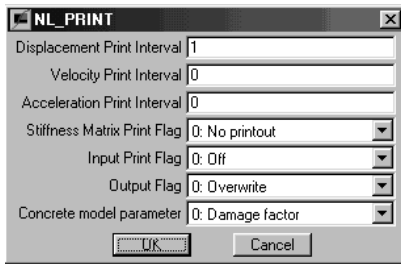
În oricare situație, utilizatorul poate face schimbări (toleranță, mărime de pas, metodă de iterație etc.) și folosi opțiunea de restartare pentru a continua analiza, pornind de la rezultatele obținute pe parcursul ultimului pas valid. Activarea opțiunii de restartare se face acționând comutatorul din fereastra de dialog (figura 7.14) deschisă de

comanda RESTART din meniul ANALYSIS.

### 7.4.3. Specificarea opțiunilor de înregistrare a rezultatelor

În cazul analizei neliniare, datorită numărului mare de calcule efectuate la fiecare pas de incrementare, se poate controla înregistrarea acestora în baza de date a programului. Înregistrările pot fi utilizate în două scopuri: cuprinderea în raportul final (fișierul \*.OUT) sau afișarea în fereastra principală a variației diferitelor mărimi sub formă de grafice bidimensionale.

În ambele situații utilizatorul trebuie să specifice, anterior rulării analizei cu modulul NSTAR, pașii de timp pentru care se vor reține valorile rezultatelor obținute.



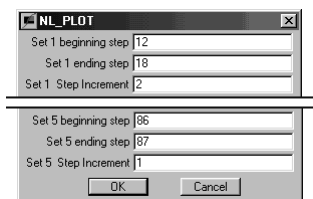
**Fig. 7.15**

Fereastra de dialog deschisă de comanda NL\_PRINT

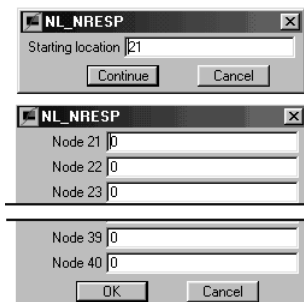
La înregistrarea în raportul final sunt luate, implicit, în considerare toate nodurile. Pentru specificarea pașilor de timp corespunzători se folosește comanda NL\_PRINT. La activarea comenzii se deschide o fereastră de dialog (figura 7.15) în care utilizatorul poate

specifica intervalul la ce se rețin rezultatele analizei (pentru diferitele tipuri de mărimi - deplasări, viteze, accelerații), opțiunea de înregistrare a matricei de rigiditate și a numărului de ecuații (fără, înregistrarea matricei de rigiditate, înregistrarea matricelor de rigiditate, masă și rigiditate geometrică), opțiunea de înregistrare a coordonatele nodale, conectivității elementelor, seturilor de modelare, deplasărilor și încărcările aplicate inclusiv efectul presiunilor pe suprafață, opțiunea de suprascriere a fișierului \*.OUT și criteriul de tratare a modelelor din beton (distrugere sau curgere).

În cazul înregistrării rezultatelor pentru trasarea graficelor bidimensionale pentru specificarea valorilor pașilor de timp corespunzători se utilizează comanda NL\_PLOT. Activarea comenzii conduce la deschiderea unei ferestre de dialog (figura 7.16) în care pot fi specificate maximum cinci seturi de pași de timp. Pentru afișarea grafică se utilizează comenzile amplasate în submeniul XY\_PLOTS din meniul DISPLAY.



**Fig. 7.16**  
Fereastra de dialog deschisă de comanda NL\_PLOT



**Fig. 7.17**  
Fereastra de dialog deschisă de comanda NL\_NRESP

Pentru situația în care se dorește trasarea de grafice numai pentru anumite noduri se pot reține rezultatele numai pentru acestea (pentru toți pașii de timp) folosind comanda NL\_NRESP. Comanda permite selectarea a maximum cincizeci de noduri (prin specificarea etichetei acestora) și înregistrarea rezultatelor corespunzătoare în locații de memorie. De observat că nu există nici o legătură între eticheta nodului respectiv și denumirea locației respective (NODE  $i$ , cu  $i = 1..50$ ). Comanda lucrează consecutiv, permițând completarea a câte maximum douăzeci de locații la primele două activări și zece la cea de-a treia activare. Comanda deschide două ferestre consecutive (figura 7.17), în prima specificându-se numărul primei locații libere și în a doua etichetele nodurilor care ocupă următoarele locații.

#### 7.4.4. Specificarea opțiunilor de rulare a analizei neliniare

Înainte de pornirea rulării efective a analizei cu ajutorul modulului NSTAR utilizatorul mai trebuie să specifică o serie de parametri de analiză cu ajutorul comenzii A\_NONLINEAR. Comanda conduce la deschiderea unei ferestre de dialog (figura 7.18) în care se pot specifica:

- tipul de analiză neliniară (statică sau dinamică);
- numărul de pași după care matricea de rigiditate a modelului este recomputată;
- numărul de pași dintre iterațiile de echilibru;
- numărul maxim de iterații de echilibru la fiecare pas;
- valoarea toleranței deplasării relative utilizate pentru aprecierea convergenței echilibrului;

- opțiunea de salvare a rezultatelor în vederea rulării ulterioare a unei analize de vibrații sau de stabilitate (NONE - nu se salvează nici o

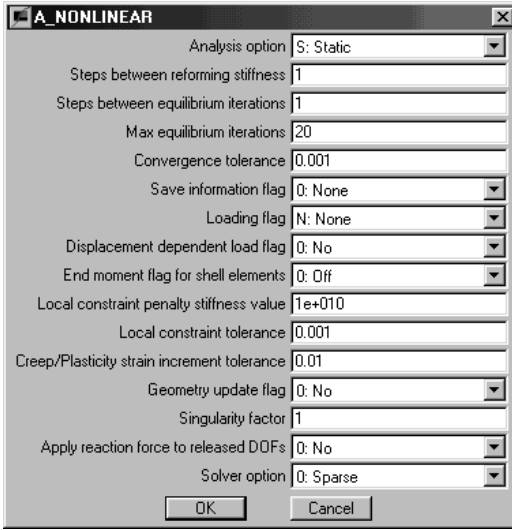


Fig. 7.18

Fereastra de dialog deschisă de comanda  
A\_NONLINEAR

informație, FREQUENCY - sunt salvate informațiile pentru analiza de vibrații, BUCKLING - sunt salvate informațiile pentru analiza de stabilitate);

- indicarea existenței unor sarcini speciale (N - fără sarcini speciale, C - sarcini centrifugale, G - sarcini gravitaționale, T - sarcini datorate efectelor termice, CG-CT-GT-CGT - combinații);

- indicarea încărcărilor dependente de deformații (NO -

direcțiile de încărcare pentru presiuni sunt constante, YES - direcțiile de încărcare pentru presiuni variază în funcție de coordonatele elementului deformat);

- opțiunea de aplicare a momentelor de capăt în cazul elementelor tip SHELL și ELBOW;

- valoarea rigidității dependente de restricțiile locale utilizată în calcul (este recomandată mărirea acestei valori în situațiile când convergența nu se poate obține prin autoreglarea pasului de incrementare);

- valoarea toleranței impusă deplasărilor locale;

- valoarea toleranței impusă pasului de incrementare corespunzător deformațiilor de fluaj sau plastice;

- opțiunea pentru actualizarea deformațiilor geometrice ale modelului după incrementare (se utilizează doar când se dorește folosirea formei deformate a structurii la pasul final al soluției ca formă originală (fără deformații sau tensiuni) pentru analizele următoare;

- valoarea factorului de eliminare a singularității rigidității (poate fi

folosită pentru a îmbunătăți convergența problemelor cu grad ridicat de neliniaritate. Valorile acceptabile sunt: 0.0, 0.5, și 1.0, valorile mai mici decât unu (zero pentru efect maxim) activând o tehnică care poate elimina singularitățile rigidității structurii datorită neliniarităților de natură geometrică. Această tehnică este utilă pentru problemele care implică deformații mari și rularea analizei neliniare se oprește la un anumit nivel de încărcare cu mesajul "Stiffness Singularities...". Este recomandabil să se folosească un factor mai mic decât unitatea numai după ce a fost încercată valoarea unitară, adică după ce soluția normală a eșuat. Trebuie reținut că această metodă nu este întotdeauna favorabilă. În multe situații ea poate conduce la dificultăți în loc de îmbunătățiri. Dacă schimbarea factorului cu continuarea prin restartare nu ajută, rezolvarea trebuie repetată de la început. Este util să se înțeleagă că această tehnică poate ajuta la eliminarea instabilității locale în schimbul unor erori locale care în majoritatea cazurilor pot fi ignorate. Pentru a se asigura acuratețea se poate folosi o toleranță de convergență mai scăzută. Trebuie reținut și că pentru cazurile care implică o pierdere de stabilitate bruscă a formei plane, este necesară o imperfecțiune inițială;

- opțiunea de aplicare a forțelor de reacțiune la gradele de libertate cu deplasări impuse;

- opțiunea pentru modulul de calcul numeric utilizat.

Specificările acestei comenzi sunt ignorate de modulul NSTAR dacă nu este specificată nici o neliniaritate prin comanda EGROUPE.

Opțiunile de analiză stabilite, pentru toate modulele de analiză incluse în pachetul COSMOS/M, pot fi vizualizate cu ajutorul comenzii

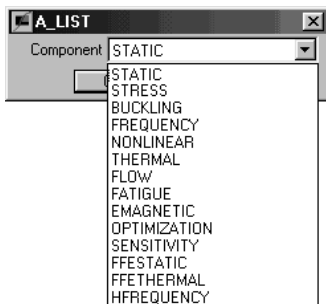


Fig. 7.19

Fereastra de dialog deschisă de comanda A\_LIST

A\_LIST, amplasate în meniul ANALYSIS. În fereastra deschisă (figura 7.19) la activarea comenzii utilizatorul specifică modulul ale cărui opțiuni le dorește vizualizate, acestea fiind livrate pe ecran într-o fereastră tip text.

De remarcat faptul că toate opțiunile disponibile în ferestrele de dialog (nu numai în cazul comenzilor de specificare a condițiilor de analiză) au, inițial, niște valori implicite considerate de autori optime pentru majoritatea situațiilor. Modificarea acestor valori

este recomandată (și necesară) numai în situațiile în care utilizatorul dorește alte condiții de rezolvare a problemei sau erorile (manifestate în general prin mesaje de eroare corespunzătoare) sunt inadmisibile. Aceste modificări, datorită consistenței parametrilor corespunzători, pot conduce atât la rezolvarea cu succes a problemei cât și la blocarea totală a modulului de analiză respectiv. Se recomandă atenție deosebită și o solidă documentare înaintea efectuării modificărilor respective.

### **7.5. Rularea analizei cu element finit**

În funcție de modulul de analiză utilizat, rularea analizei cu element finit poate fi pornită cu ajutorul uneia dintre comenzile `R_STATIC` și, respectiv, `R_NONLINEAR`. La acționarea comenzilor este activat modulul de analiză corespunzător, pre-procesorul `GEOSTAR` fiind temporar dezafectat.

După efectuarea analizei (cu succes sau nu, în acest caz fiind afișate o serie de mesaje de eroare corespunzătoare), modulul respectiv este închis și controlul este reluat de `GEOSTAR`.