

Aplicația nr. 13

ANALIZA STATICĂ NELINIARĂ A STRUCTURILOR DIN BARE CU CONTACTE MECANICE

A13.1. Introducere

Analiza statică a structurilor mecanice compuse din bare care sub acțiunea încărcărilor au deplasări mari și/sau au interacțiuni (contacte mecanice), cu zone ale altor structuri rigide sau elastice se încadrează în grupa problemelor neliniare geometric și/sau cu neliniaritate fizică datorită frecărilor. Analiza statică neliniară, geometrică, presupune dependența forță-deplasare neliniară și deci, considerarea modificărilor direcțiilor încărcărilor exterioare în timpul procesului de deformare. Pentru evidențierea fenomenelor din contactele mecanice s-au modelat elemente finite specifice denumite Gap. Cele două noduri ale acestui element finit, aparținând celor două structuri în interacțiune, se deplasează relativ atât când structurile nu interferă cât și când acestea interferă. În cazul ultimei situații deplasarea relativă a nodurilor se realizează cu frecare.

Modelarea cu elemente finite a structurilor mecanice în interacțiune mecanică presupune modelarea separată a fiecăreia din structuri și generarea elementelor finite de tip Gap între nodurile din zonele de contact.

A13.2. Scopul aplicației

În această aplicație se urmărește analiza cu elemente finite a structurii elementului elastic, de tip bară, al cuplajului de tip Forst prezentat în fig. A13.1. Aceasta se realizează luând în considerare contactele din timpul deformării elementului elastic, în puncte ale locașurilor conice, cu profil circular, practicate în cele două semicuple.

Determinarea deplasărilor, tensiunilor și reacțiunilor din structura elementului elastic, cu programe performante care au la bază MEF, permite obținerea caracteristicii

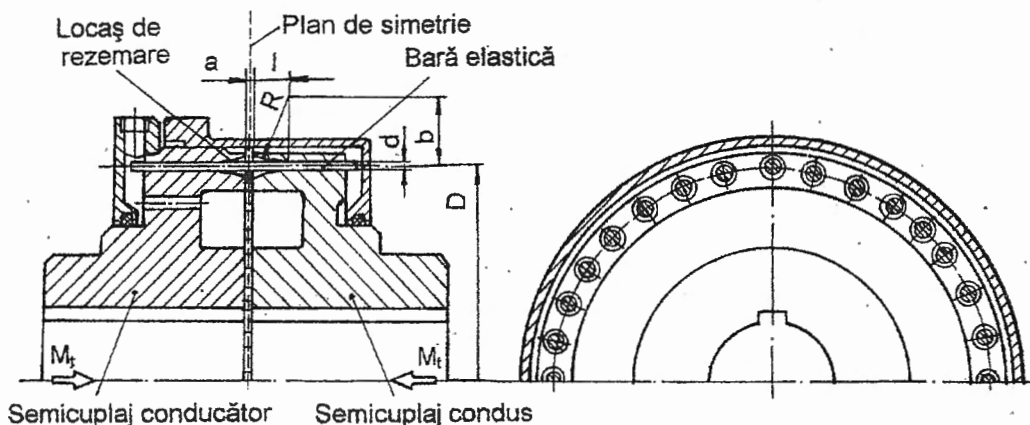


Fig. A13.1. Cuplajul elastic de tip Forst

elastice a cuplajului și verificarea rezistenței elementelor active ale acestuia.

Cuplajul elastic prezentat în fig. A13.1 are $z = 32$ elemente elastice de tip bară cu diametrul $d = 0,9$ mm, montate în locașurile, din semicuplaje, dispuse echiunghiular pe cercul de diametrul $D = 120$ mm. Elementele elastice sunt executate din oțel de arc marca 60Si15A cu modulul de elasticitate longitudinală $E = 2,06 \cdot 10^5$ MPa și coeficientul contracției transversale $\nu = 0,3$. Locașurile de rezemare a barelor elastice în timpul deformării, în scopul obținerii unei comportări neliniare a cuplajului, sunt de formă conică cu generatoarea circulară cu dimensiunile: $l = 20$ mm, $R = 50$ mm și $b = 50$ mm. Momentul de torsiune transmis de cuplaj este $M_t = 19200$ Nmm.

A13.3. Întocmirea modelului de analiză

Deoarece transmiterea momentului de torsiune de către cuplajul prezentat, în cazul ideal al inexistenței abaterilor de execuție și de montaj, se face prin z fluxuri de forță paralele și identice, pentru analiză se consideră numai un element elastic. În plus, datorită simetriei cuplajului față de planul frontal median (fig.A13.1), modelul de analiză prezentat în fig. A13.2 conține numai jumătate din bara elastică.

Modelarea contactelor mecanice dintre semibara modelului și punctele de pe generatoarea locașului de reazem se va face cu cinci elemente finite de tip Gap dispuse echidistant. Nodurile acestor elemente finite poziționate pe generatoarea locașului se fixează prin anularea tuturor deplasărilor. Având în vedere că barele elastice se montează cu joc în alezajele cilindrice din semicuplaje, semibara modelului de analiză se fixează în capătul din originea sistemului de coordonate prin anularea deplasărilor mai puțin rotația după axa Z.

Încărcarea semibarei modelului de analiză se face cu forța concentrată F , a cărei valoare se determină cu relația

$$F = \frac{2 M_t}{z D} \quad (\text{A13.1})$$

A13.4. Preprocesarea modelului de analiză

A13.4.1. Modelarea gerometrică

Pornind de la faptul că în modelul cu elemente finite, rezemările, încărcările concentrate și punctele de contact sunt asociate nodurilor, modelul geometric va fi compus din linii drepte.

În tabelul A13.1 se prezintă succesiunea atașată comenzii **Point...** de obținere a entităților de tip punct. Fereastra de dialog **Locate - Enter Coordinates or select with Cursor** se repetă pentru cele trei seturi de coordonate delimitate prin separatorul "/". Ultima succesiune din tabelul A13.1 conduce la vizualizarea etichetelor (identificatorilor) punctelor create prin selectarea textelor **Point** și **1..ID** în

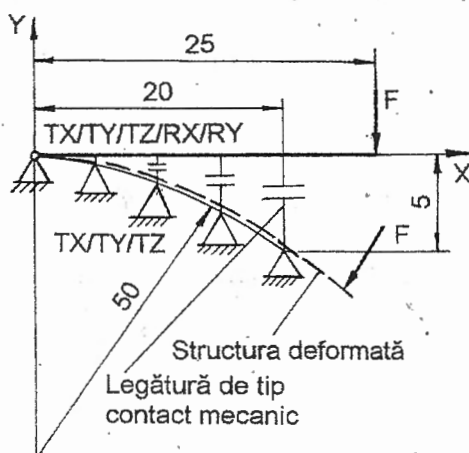
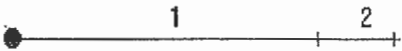


Fig. A13.2. Model de analiză cu elemente finite

Tabelul A13.1

Generare entităţi de tip punct	
Succesiuni meniu-comandă-ferestre	
• Create → Point... →	
Locate - Enter Coordinates or Select with Cursor	
X 0.0/ 20.0/ 25.0;	
Y 0.0/ 0.0/ 0.0;	
Z 0.0/ 0.0/ 0.0; OK →	
Locate - Enter Coordinates or Select with Cursor	
Cancel. • Ctrl+A.	
• View → Options... →	
View Options	
Options Point; Label Mode 1..ID; OK.	
Imaginea rezultată	
	

Tabelul A13.2

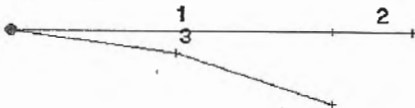
Generare entităţi de tip linie	
Succesiuni meniu-comandă-ferestre	
• Create → Line → Points... →	
Create Line from Points	
From Point 1/2;	
To Point 2/3; OK →	
Create Line from Points	
Cancel.	
• View → Options ... →	
View Options	
Options Point; Label Mode 0..No Labels;	
Options Curve; Label Mode 1..ID;	
OK.	
Imaginea rezultată	
	

câmpurile **Options** și, respectiv, **Label Mode** din fereastra de dialog **View Options**.

Generarea entităților de tip linie dreaptă mărginită de două puncte se face conform primei succesiuni din tabelul A13.2. Introducerea identificatorilor corespunzători punctelor de origine (From Point) și de final (To Point) ale liniei de generat în câmpurile din fereastra de dialog **Create Line from Points** se repetă pentru cele două seturi de coordonate. După anularea vizualizării identificatorilor punctelor (selectarea opțiunilor **Point** și **0..No Label** în câmpurile **Options** și, respectiv, **Label Mode**) și după activarea vizualizării identificatorilor liniilor (selectarea opțiunilor **Curve** și **1..ID** în câmpurile **Options** și, respectiv, **Label Mode**) în fereastra **View Options** a ultimei succesiuni, pe display, se obține imaginea prezentată în figura din tabelul A13.2.

Pentru modelarea liniei de rezemare a barei elastice în timpul deformării se generează entitatea de tip arc de cerc, marcată cu identificatorul 3 (figura din tabelul A13.3), introducând coordonatele punctelor extreme și direcția tangentei în

Tabelul A13.3

Generare entităţi de tip arc de cerc	
Succesiuni meniu-comandă-ferestre	
• Create → Arc →	
Start-End-Direction... →	
Locate-Enter Location at Start of Arc	
X 0.0; Y 0.0; Z 0.0;	
OK →	
Locate - Enter Location at End of Arc	
X 20.0; Y -2.0; Z 0.0;	
OK →	
Vector Locate-Enter Start Tangent Vec	
Base X 0.0; Y 0.0; Z 0.0;	
Tip X 1.0; Y 0.0; Z 0.0;	
OK →	
Locate-Enter Location at Start of Arc	
Cancel.	
Imaginea rezultată	
	

Tabelul A13.4

Generare proprietăți material
Sucesiune meniu-comandă-ferestre
• Create → Material... →
Define Isotropic Material
Title 60Si15A; Stiffness: Young Modulus <u>E</u>
2.1e5, Poisson's Ratio <u>nu</u> 0.3;
Limit Stress Tension 110;
OK →
Define Isotropic Material
Cancel.

câmpurile din ferestrele **Locate-Enter Location at Start of Arc**, **Locate - Enter Location at End of Arc** și, respectiv, **Vector Locate-Enter Start Tangent Vector**.

A13.4.2. Modelarea cu elemente finite

A13.4.2.1. Modelarea comportării materialului

Valorile parametrilor caracteristici ai materialului elementului elastic de tip bară (OLC55A), necesare pentru analiza cu elemente finite având la bază modelul din fig. A13.2, se introduc în câmpurile modului de elasticitate longitudinală (Young Modulus E), coeficientului contracției transversale (Poisson's Ratio nu) și al tensiunii admisibile de tracțiune (Tension T) din fereastră de dialog **Define Isotropic Material** (tabelul A13.4).

A13.4.2.2. Alegerea elementelor finite și introducerea proprietăților acestora

Pentru discretizarea elementului elastic analizat, solicitat cu precădere la încovoiere, se folosesc elemente finite unidimensionale de tip **Bar**. În câmpurile ferestrei de dialog **Define Property BAR Element Type** (tabelul A13.5), pentru definirea parametrilor acestui element finit, se introduc valori în casetele corespunzătoare ariei secțiunii (Area A), momentelor de inerție axiale (Moments of Inertia I1, I2) și distanțelor de la axa neutră la fibrele extreme pentru cele două direcții ale secțiunii (Stress Recovery). Valorile ariei și momentelor de inerție se calculează cu relațiile corespunzătoare secțiunii circulare (v. relațiile (A2.1), pag. 108), utilizând valoarea diametrului menționată mai sus.

Modelarea contactelor mecanice dintre bara elastică și locul de rezemare se realizează cu elemente finite de tip **Gap**. Definirea proprietăților acestuia se va face după discretizarea domeniului barei și generarea nodurilor de pe linia de reazem, în acest fel fiind posibilă o mai ușoară determinare a distanțelor inițiale din contacte.

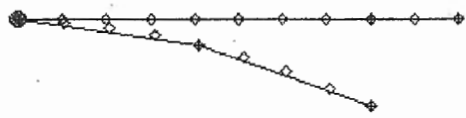
A13.4.2.3. Generarea structurii de elemente finite

În tabelul A13.6 se prezintă succesiunea operațiilor de setare a numărului și poziției nodurilor pentru fiecare din liniile modelului geometric. În câmpul Number of Elements din fereastra **Mesh Size along a Curve** se introduce valoarea numărului de

Tabelul A13.5

Generare proprietăți element finit de tip Bar
Sucesiune meniu-comandă-ferestre
• Create → Property... →
Define Property - PLATE Element Type
Element/Property Type... →
Element/Property Type
Line Elements ☒ Bar; OK →
Define Property - BAR Element Type
Material <u>↓</u> 1..60Si15A;
Title Bara;
Property Values:
Area, <u>A</u> 0.635,
Moments of Inertia <u>I1</u> 0.032, <u>I2</u> 0.032;
Stress Recovery:
1 Y 0.45 Z 0.0, 2 Y 0.0 Z 0.45,
3 Y -0.45 Z 0.0, 4 Y 0.0 Z -0.45;
OK →
Define Property BAR Element Type
Cancel.

Tabelul A13.6

Setare schemă de discretizare
Succesiune meniu-comandă-ferestre
• Generate → Mesh Size → Along Curve... → Entity Selection - Enter Curve(s) to Set Mesh Size → 1, 3/ 2 (selectare cu mouse-ul); OK → Mesh Size along a Curve → Number of Elements 8/ 2; Bias 1; OK → Entity Selection - Enter Curve(s) to Set Mesh Size → Cancel.
Imaginea rezultată


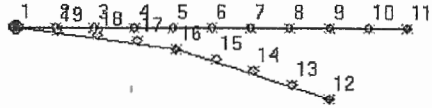
elemente finite de pe linia sau liniile selectate în fereastra **Entity Selection-Enter Curve(s) to Set Mesh Size**. Fereastra de dialog **Mesh Size along a Curve** se repetă prin introducerea valorilor 8 și 2 în caseta menționată pentru seturile de linii 1 și 3 și, respectiv, 2. După introducerea datelor în ferestrele acestei comenzi și după ieșirea din aceasta prin activarea butonului **OK**, pe liniile modelului geometric apar simboluri rombice poziționate în concordanță cu valorile introduse.

Discretizarea efectivă a liniilor asociate semibarei elastice și generarea nodurilor de pe linia de reazem din modelul geometric, presupune parcurgerea meniurilor, submeniurilor și ferestrelor de dialog din tabelul A13.7.

Pentru discretizarea domeniului semibarei modelului de analiză, în ferestrele **Entity Selection-Select Curve(s) to Mesh** și **Geometry Mesh Options** (tabelul A13.7), se selectează liniile 1 și 2 și, respectiv, proprietatea 1..Bara din câmpul **Property**. În plus, în fereastra **Vector Axis - Define Element Orientation**, se selectează vectorul asociat axei Y a sistemului global, în vederea definirii axei y_0 a sistemului de coordonate asociat elementului finit în concordanță cu axele momentelor de inerție deja introduse mai sus.

Generarea nodurilor de contact de pe linia de reazem, 3, se face prin selectarea identificatorului acesteia în fereastra **Entity Selection-Select Curve(s) to Mesh** (ultima parte a primei succesiuni din tabelul A13.7) și prin activarea opțiunii **Nodes** din caseta

Tabelul A13.7

Generare noduri și elemente finite de tip Bar
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• Generate → On Geometry → Along Curve... → Entity Selection-Select Curve(s) to Mesh → 1, 2 (selectare cu mouse-ul); OK → Geometry Mesh Options → Nodes and Elements Options → Property ↓ 1..Bara; OK → Vector Locate - Define Element Orientation Vector → Methods... → Vector Definition Method → Axis; OK → Vector Axis - Define Element Orientation → Base X 0.0 Y 0.0 Z 0.0; Direction: Positive, Y Axis; OK → Entity Selection-Select Curve(s) to Mesh → ID 3 (sau selectare cu mouse-ul); OK → Geometry Mesh Options → Generate Nodes; OK → Entity Selection-Select Curve(s) to Mesh → Cancel. • View → Options... → View Options → Options Element; Label Mode 0..No Labels; OK.
Imaginea rezultată


Generate a ferestrei de dialog **Geometry Mesh Options**.

După parcurgerea ultimei succesiuni din tabelul A13.7, care prin selectările introduse conduce la anularea vizualizării identificatorilor elementelor finite, pe display se obține imaginea prezentată în figura din acest tabel.

În tabelul A13.8 se prezintă succesiunile de obținere a distanței inițiale dintre nodurile care vor forma elementele finite de tip **Gap** și de identificare și unire a nodurilor suprapuse din punct de vedere geometric. Prima succesiune presupune repetarea ferestrelor de dialog **On Node-Define Location to Measure From** și **On Node-Define Location to Measure To** în care se introduc identificatorii nodurilor pentru care se urmărește determinarea distanței. În fereastra de informare **MSC/NASTRAN for Windows** pentru fiecare set de noduri introduse se prezintă valoarea distanței dintre acestea, care se va reține (nota). A doua succesiune, pentru identificarea și unirea nodurilor suprapuse, presupune selectarea tuturor nodurilor modelului în fereastra **Entity Selection-Enter Nodes to Check** și activarea opțiunii de unire (**Merge Coincident Entities**) în fereastra de dialog **Check/Merge Coincident Options**. Mesajul care apare în zona de liste și mesaje (**Node 1 Coincident with Node 20**).

1 Node(s) Merged) indică identificatorii nodurilor suprapuse și producerea unirii acestora.

În tabelul A13.9 se prezintă succesiunea de definire a proprietăților elementului finit de tip **Gap** pentru modelarea contactelor mecanice dintre bara elastică și suprafețele locașurilor de reazem din semicuple. Pentru acest tip de contact se introduc următorii parametri caracteristici: distanța inițială dintre noduri, rigiditatea de compresiune și rigiditatea de tracțiune. Valorile acestor parametri se introduc în câmpurile **Initial Gap**, **Compression Stiffness** și **Tension Stiffness**. Deoarece distanța inițială dintre nodurile viitoarelor elemente finite tip **Gap** este variabilă se definesc succesiv 8 seturi de proprietăți, separate prin simbolul "/", în succesiunea din tabelul A13.9. Valorile distanțelor inițiale din contacte sunt cele determinate cu prima succesiune din tabelul A13.8.

Generarea efectivă a elementelor finite de tip **Gap** se realizează parcurgând succesiunea din tabelul A13.10. Aceste elemente finite se obțin în urma selectării proprietății, din câmpul listă **Property**, și introducerii identificatorilor nodurilor viitorului element finit în câmpurile **Nodes** din fereastra de dialog **Define GAP Element - Enter Nodes or Select with Cursor**. În plus, în câmpul **Node** din caseta **Orientation** din această fereastră se introduce valoarea identificatorului nodului necesar pentru definirea axei y_e a sistemului de coordonate local al elementului finit de generat (v. fig. 1.46, pag. 37).

În figura din tabelul A13.10 se observă elementele finite de tip **Gap** marcate prin

Tabelul A13.8

Determinare distanță între noduri și unire noduri suprapuse
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• Check → Distance... → Locate - Define Location to Measure From
Methods... → Coordinate Method
⊙ On Node; OK → On Node - Define Location to Measure From
ID 2/3/4/5/6/7/8/9 (sau selectare cu mouse-ul); OK → On Node - Define Location to Measure To
ID 19/18/17/16/15/14/13/12 (sau selectare cu mouse-ul); OK → MSC/NASTRAN for Windows
Distance Between Locations is 0.03537/0.12921/0.28529/0.50372/0.78446 /1.12748/1.53648/2.0;
• Check → Coincident Nodes... → Entity Selection-Enter Nodes to Check
Select All; OK → MSC/NASTRAN for Windows
No; OK → Check/Merge Coincident Options
☒ Merge Coincident Entities; OK.

Tabelul A13.9

Generare proprietăți element finit de tip Gap
Succesiune meniu-comandă-ferestre
• Create → Property... → Define Property - BAR Element Type Element/Property Type... → Element/Property Type Line Elements ☐ Gap; OK → Define Property - GAP Element Type Title Contact1/Contact2/Contact3/Contact4/ Contact5/Contact6/Contact7/Contact8; Property Values: Initial Gap, 0.03537/0.12921/0.28529/ 0.50372/0.78446/1.12748/1.53648/2.0; Compression Stiffness 1e6; Tension Stiffness 1e-4; OK → Define Property - GAP Element Type Cancel.

linii drepte între nodurile acestora.

A13.4.2.4. Introducerea condițiilor limită

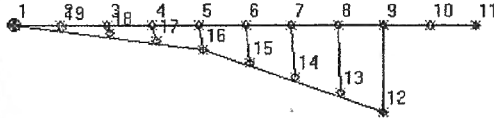
Condițiile limită impuse, în cadrul modelului de analiză prezentat, se grupează în setul numit Reazem1, generat cu prima succesiune din tabelul A13.11. Parcurgând cea de-a doua succesiune din acest tabel pentru nodurile 1 și 12, 13, ... 19, selectate în fereastra de dialog **Enter Selection - Enter Node(s) to Select**, se activează butoanele **Fixed** și, respectiv, **Pinned** din fereastra de dialog **Create Nodal Constraint/DOF** pentru selectarea în grup a gradelor de libertate "înghețate" (cu deplasări nule). Imaginea rezultată după parcurgerea ultimei succesiuni din tabelul A13.11 conține simbolurile reazemelor introduse cu etichetele asociate, care menționează gradele de libertate corespunzătoare deplasărilor anulate conform corespondențelor: 1 - TX, 2 - TY, 3 - TZ, 4 - RX, 5 - RY și 6 - RZ.

A13.4.2.5. Introducerea încărcărilor

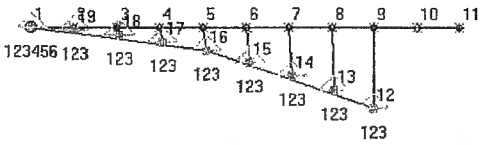
Încărcarea structurii modelului cu elemente finite, în varianta propusă preliminar, presupune generarea setului de încărcare, numit Reazem1, prin parcurgerea primei succesiuni din tabelul A13.12. Valoarea forței F , determinată cu relația A13.1, care încarcă structura cu elemente finite în nodul 11 selectat în fereastra **Entity Selection-Enter Node(s) to Select**, se introduce în câmpul TY al ferestrei de dialog **Create Nodal Loads**, ținând cont și de sensul de acțiune.

Antepenultima succesiune din tabelul A13.12 conține comanda **Nonlinear**

Tabelul A13.10

Generare elemente finite de tip Gap
Succesiune meniu-comandă-ferestre
• Create → Element... → Define PLATE Element - Enter Nodes or Select with Cursor Type... → Element/Property Type Line Elements ☐ Gap; OK → Define GAP Element - Enter Nodes or Select with Cursor Property: 2..Contact1/3..Contact2/4..Contact3/ 5..Contact4/6..Contact5/7..Contact6/ 8..Contact7/9..Contact8; Nodes 2 19/3 18/4 17/5 16/6 15/7 14/ 8 13/9 12; Orientation Node 11; OK . Define GAP Element - Enter Nodes or Select with Cursor Cancel.
Imaginea rezultată


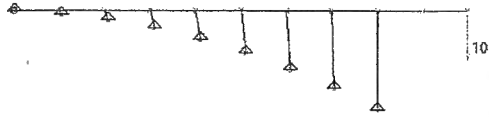
Tabelul A13.11

Introducere condiții limită
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• Create → Constraint → Set... → Create or Activate Constraint Set
Title Reazem1; OK .
• Create → Constraint → Nodal... → Enter Selection - Enter Node(s) to Select ID 1 (sau selectare cu mouse-ul); OK → Create Nodal Constraint/DOF
Fixed (DOF: ☒ TX, ☒ TY, ☒ TZ, ☒ RX, ☒ RY, ☒ RZ); OK →
Enter Selection - Enter Node(s) to Select ID 12 to 19 by 1 (sau selectare cu mouse- ul); OK →
Create Nodal Constraint/DOF
Pinned (DOF: ☒ TX, ☒ TY, ☒ TZ); OK →
Enter Selection - Enter Node(s) to Select Cancel .
Imaginea rezultată


Analysis... cu fereastra de dialog **Load Set Options for Nonlinear Analysis** în care se introduc informații legate de caracterul nelinier al acestei probleme. Astfel, în caseta **Solution Type** se activează opțiunea **Static**, corespunzătoare neliniarității geometrico-fizice de tip static, și în caseta **Basic** se introduc valorile 10 și 25 în câmpurile **Number of Increments** și **Max Iterations/Step** reprezentând numărul de pași de încărcare progresivă a structurii în faza de analiză și, respectiv, numărul maxim de iterații pentru un increment (pas) de încărcare când nu sunt îndeplinite condițiile de convergență setate implicit.

După parcurgerea ultimelor două succesiuni care anulează vizualizarea identificatorilor nodurilor și elementelor finite și, de asemenea, a entităților de tip linie și punct pe display apare imaginea modelului, prezentată în figura din tabelul A13.12, care conține și vectorul forței concentrate introdusă în cadrul acestei etape.

Tabelul A13.12.

Introducere încărcare
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• Create → Load → Set ... → Create or Activate Load Set
Title Incarcare1; OK .
• Create → Load → Nodal... → Entity Selection-Enter Node(s) to Select
ID 11 (sau selectare cu mouse-ul); OK → Create Nodal Loads
Value ☒ TY -10; OK →
Entity Selection-Enter Node(s) to Select
Cancel .
• Create → Load → Nonlinear Analysis... → Load Set Options for Nonlinear Analysis
Solution Type ☒ Static; Basic Number of Increments 10; Max Iterations/Step 25; OK .
• View → Options... → View Options
Options Node; Label Mode 0..No Labels; Options Element; Label Mode 0..No Labels; OK .
•  → View Quick Options
☐ Curve; ☐ Point; Done .
Imaginea rezultată


A13.4.3. Verificarea modelului cu elemente finite

Datorită tipurilor elementelor finite utilizate și numărului mic de noduri, modelul cu

Tabelul A13.13

Analiza modelului cu elemente finite	
Succesiune meniu-comandă-ferestre	
• File → Analyze... →	
MSC/NASTRAN Analysis Control	
Analysis Condition: Analysis Type	
↓ 10..Nonlinear Static, Loads,	
↓ 1..Incarcare1, Constraints	
↓ 1..Reazem1; Output Types ↓ 3..All;	
OK →	
MSC/NASTRAN for Windows	
OK to Save Model Now? Yes →	
MSC/NASTRAN Manager	
→	
Message Review	
Continue →	
MSC/NASTRAN for Windows	
OK to Begin Reading File	
MSCN4W20N100.xdb? Yes.	

elemente finite este verificabil direct de operator și, deci, nu se mai verifică prin intermediul comenzilor specifice.

A13.5. Rezolvarea modelului

În tabelul A13.13 se prezintă etapele pentru lansarea în execuție a modelului întocmit și încărcarea fișierelor în vederea postprocesării. În fereastra **MSC/NASTRAN Analysis Control**, pe lângă setările implicite ale setului de încărcare (1..Incarcare1) și al condițiilor limită (1..Reazem1) din câmpurile **Loads** și, respectiv, **Constraints**, se selectează codul 10..Nonlinear Static - corespunzător analizei neliniară de tip static - din lista asociată câmpului **Analysis Type**, și se selectează codul 3..All din câmpul **Output Types** pentru generarea în vederea postprocesării a tuturor seturilor de date (deplasări, tensiuni, reacțiuni, eforturi etc.).

Lansarea în execuție a modelului implică salvarea acestuia într-un fișier cu extensia ".mod", în cazul când aceasta se face pentru prima dată, sau o salvare curentă după activarea butonului **Yes** din fereastra **MSC/NASTRAN for Windows**. Vizualizarea etapelor de rezolvare și existența tipurilor și numerelor erorilor se poate urmări în ferestrele **MSC/NASTRAN Manager** și, respectiv, **Message Review**. În cazul inexistenței erorilor fatale, mesajul 0..Fatal Error(s) în fereastra de mesaje, se continuă analiza prin activarea butoanelor **Continue** din această fereastră și **Yes** din cea de-a doua fereastră **MSC/NASTRAN for Windows**, care confirmă începerea încărcării fișierelor în vederea postprocesării. Realizarea cu succes a acestei operații este confirmată de apariția mesajului: (Ending Conversation with MSC/NASTRAN Results Reader...) ... Please Continue.

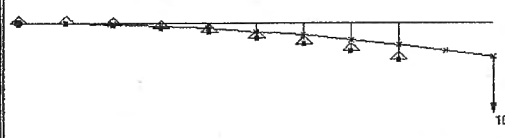
A13.6. Postprocesarea rezultatelor

În tabelul A13.14 se prezintă algoritmul de vizualizare a stării deformate a structurii modelului cu elemente finite analizat. Prima succesiune din acest tabel setează coeficientul de scară la valoarea 1 prin introducerea acestei valori în câmpul **Scale%**, după ce s-au selectat opțiunile **PostProcessing** și **Deformed Style** din casetele **Category** și, respectiv, **Options** din fereastra de dialog **View Options**.

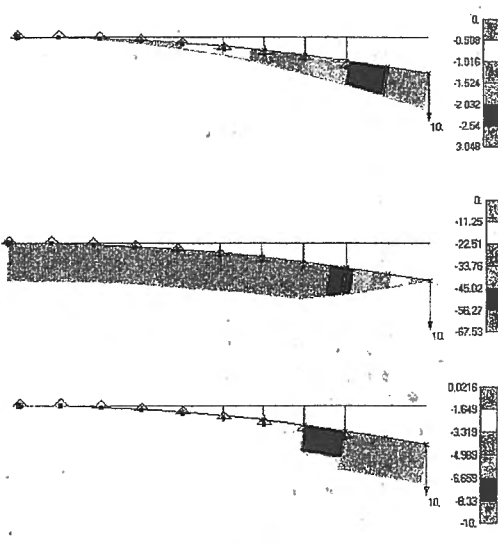
A doua succesiune din tabelul A13.14 presupune selectarea codului **Deform**, asociat modului de reprezentare al structurii în stare deformată, din caseta **Deformed Style** a fereastrei de dialog **View Select**, a setului de rezultate **12 Case 12 Time1** din câmpul listă **Output Set** și a codului **1..Total Translation**, corespunzător deplasărilor totale, din câmpul **Output Vectors** din fereastra **Select Postprocessing Data**. Imaginea de pe display, rezultată după ieșirea din această comandă, este prezentată în figura din tabelul A13.14.

Vizualizarea sub formă de grafice a unor parametri (deplasări, tensiuni și forțe) care cuantifică starea structurii elementului elastic se face prin parcurgerea succesiunilor

Tabelul A13.14

Vizualizare stare deformată
Succesiune meniu-comandă-ferestre
• View → Options... →
View Options
Category ☐ PostProcessing; Options
Deformed Style; Scale% 1; OK .
• View → Select... →
View Select
Deformed Style ☐ Deform;
Deformed and Contur Data... →
Select Postprocessing Data
Output Set ↓ 12 Case 12 Time1; Output
Vectors Deformation ↓ 3..T2 Translation;
OK →
View Select
OK .
Imaginea rezultată


Tabelul A13.15

Vizualizare câmpuri sub formă de diagrame
Succesiune meniu-comandă-ferestre
• View → Select ... →
View Select
Deformed Style ☐ None - Model Only;
Contur Style ☐ Beam Diagram;
Deformed and Contur Data... →
Select Postprocessing Data
Output Set ↓ 12 Case 12 Time1;
Output Vectors Conturs
↓ 3..T2 Translation/
↓ 3000..Bar EndA Plane1 Moment/
↓ 3004..Bar EndA P11 Shear Force/
↓ 3075..Bar EndA Pt1 Bend Stress/
↓ 3076..Bar EndA Pt3 Bend Stress/
↓ 3109..Bar EndA Max Comb Stress/
↓ 3110..Bar EndA Min Comb Stress/
↓ 3226..Gap X Force/
↓ 3233..Gap Slip V Displacement; OK →
View Select
OK .
• View → Rotate... →
View Select
Dimetric ; OK .
Imaginea rezultată


din tabelul A13.15.

Activarea comenzii **Select...** din meniul **View** conduce la fereastra de dialog **View Select** în care se activează opțiunea **Beam Diagram** din caseta corespunzătoare reprezentărilor de tip contur a câmpurilor (Contur Style) și butonul **Deformed and Contur Data...** care determină apariția ferestrei **Select Postprocessing Data**. În câmpurile de text **Output Set** și **Conturs** din această fereastră se selectează setul de rezultate corespunzător ultimului pas de încărcare, 12 Case 12 Time1, și codul parametrului a cărei variație urmează să fie vizualizată. În tabelul A13.15 în câmpul **Conturs** se selectează succesiv codurile corespunzătoare deplasărilor nodale după axa Y (3..T2 Translation), forțelor de forfecare din planul XY (3004..Bar EndA P11 Shear Force), momentelor de încovoiere din planul XZ (3000..Bar EndA Plane1 Moment), tensiunilor de încovoiere în punctele 1 și 3 (v. tabelul A13.5, pag. 213) corespunzătoare fibrelor extreme (3075..Bar

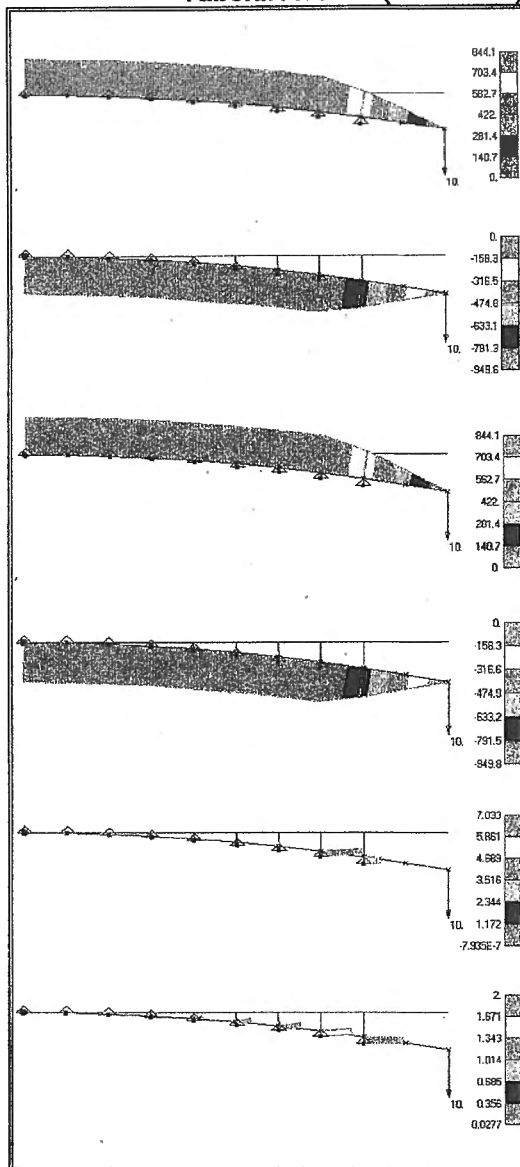
EndA Pt1 Bend Stress și 3076..Bar EndA Pt3 Bend Stress), tensiunilor rezultante corespunzătoare extremelor A și B (v. fig. 1.37, pag. 34) ale elementului finit de tip Bar (3109..Bar EndA Max Comb Stress și 3110..Bar EndA Min Comb Stress), forțelor internodale din elementele finite de tip Gap (3226..Gap X Force) și deplasărilor relative dintre nodurile elementelor finite de tip Gap (3233..Gap Slip V Displacement). Corespunzător acestor selecții în zona de lucru a ferestrei principale apar imaginile prezentate, în aceeași ordine, în tabelul A13.15.

Vizualizările prezentate mai sus s-au făcut pentru ultimul set de rezultate (12 Case 12 Time1) din câmpul Output Set al ferestrei **Select Postprocessing Data**. Acest set corespunde încărcării structurii cu forța concentrată de valoare maximă. În continuare, se vor face vizualizări grafice care să evidențieze evoluția procesului neliniar ținând cont de toate seturile de rezultate (conținute de câmpul Output Set) corespunzătoare pașilor de încărcare în cadrul analizei modelului. Numărul asociat cuvântului Time din codul setului de rezultate reprezintă fracțiunea din valoarea forței de încărcare, care înmulțită cu aceasta din urmă determină forța de încărcare corespunzătoare pasului respectiv. De exemplu, setul de rezultate 6..Case1 Time0.4, ținând cont că valoarea forței de încărcare este 10, corespunde încărcării structurii cu forța de valoare 4.

În tabelul A13.16 se prezintă succesiunea de vizualizare animată a procesului neliniar de deformare, ținând cont de seturile de rezultate intermediare. Această succesiune presupune selectarea opțiunilor **Animate-MultiSet** și **Beam Diagram** din casetele **Deformed Style** și, respectiv, **Contour Style** din fereastra **View Select**. În fereastra de dialog **Select Postprocessing Data** se selectează codurile primului și ultimului set de rezultate din câmpurile Output Set și, respectiv, Final Output Set și, de asemenea, se selectează codurile parametrilor vizualizați, în regimurile structură deformată și contur, din câmpurile Deformation și Contour. În ultimul câmp menționat, conform tabelului A13.16, se selectează aceiași parametri care au fost selectați la vizualizarea sub formă de diagrame. Urmărind imaginile rezultate se pot face aprecieri calitative asupra fenomenului neliniar de deformare analizat. De fapt, aceste reprezentări sunt simulări pe calculator ale acestui proces.

Vizualizările sub formă de grafice ale variațiilor deplasărilor nodului cu încărcare și

Tabelul A13.15 (continuare)



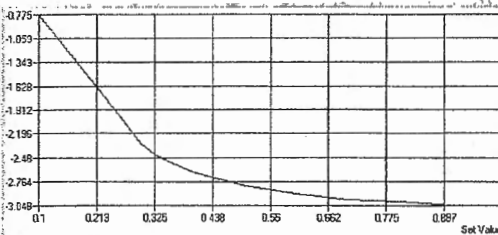
Tabelul A13.16

Vizualizări animate ale procesului de deformare
Succesiune meniu-comandă-ferestre
• View → Select... → View Select Deformed Style ☐ Animate-MultiSet; Contour Style ☐ Beam Diagram; Deformed and Contur Data... → Select Postprocessing Data Output Set ↓ 1..Case1Time0.1; Final Output Set ↓ 12..Case Time1; Output Vectors Deformation ↓ 3..T2 Translation; Contour ↓ 3..T2 Translation/ ↓ 3000..Bar EndA Plane 1 Moment/ ↓ 3004..Bar EndA Pl1 Shear Force/ ↓ 3075..Bar EndA Pt1 Bend Stress/ ↓ 3076..Bar EndA Pt3 Bend Stress/ ↓ 3109..Bar EndA Max Comb Stress/ ↓ 3110..Bar EndA Min Comb Stress/ ↓ 3226..Gap X Force/ ↓ 3233..Gap Slip V Displacement; OK → View Select OK.

forțelor axiale din elementele finite de tip Gap se fac prin parcurgerea succesiunilor din tabelul A13.17. Primele două succesiuni din acest tabel conduc la generarea grupului, numit Grup1, format din elementele finite de tip Gap ale structurii. Cea de-a treia succesiune conduce la primul grafic prezentat în tabelul A13.17, care reprezintă variația deplasării după axa Y (3..T2 Translation) a nodului, 11, de aplicație a forței concentrate, în timpul procesului de deformare. Această curbă evidențiază neliniaritatea procesului de deformare analizat.

În cea de-a doua figură prezentată în tabelul A13.17 se prezintă cinci curbe de variație a forțelor axiale din elementele finite de tip Gap, care permit evidențierea procesului progresiv de așezare a elementului elastic pe suprafața de reazem. Selectarea pozițiilor intermediare de

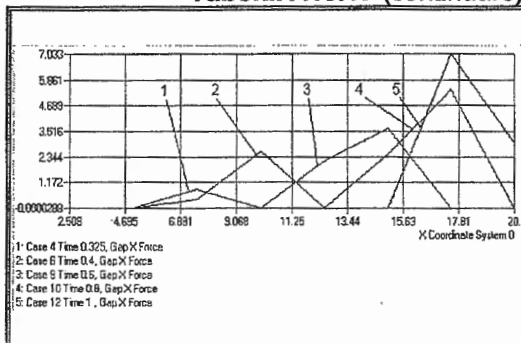
Tabelul A13.17

Vizualizări sub formă de grafice
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• Group → Set... → Create or Activate Group ID 1; Title Grup1; OK. • Group → Element → ID... → Entity Selection-Enter Element for Group ID 19 to 26 (sau selectare cu mouse-ul a elementelor finite de tip Gap); OK. • View → Select... → View Select Deformed Style ☐ None - Model Only; Contur Style ☐ None - Model Only; XY Style ☐ XY vs Set Value; XY Data... → Select XY Curve Data Output Set ↓ 1..Case 1 Time 0.1; Output Vector ↓ 3..T2 Translation; Output Location Node 11; OK → View Select OK. • View → Select... → View Select Deformed Style ☐ None - Model Only; Contur Style ☐ None - Model Only; XY Style ☐ XY vs Set Value; XY Data... → Select XY Curve Data Group (some for all Curves) ☐ Select; ↓ ..Grup1; Curve ☐ 1, Output Set ↓ 4..Case1Time0.325; Curve ☐ 2, Output Set ↓ 6..Case1Time0.4; Curve ☐ 3, Output Set ↓ 8..Case1Time0.6; Curve ☐ 4, Output Set ↓ 10..Case1Time0.8; Curve ☐ 5, Output Set ↓ 12..Case1Time1; OK → View Select OK.
Imaginea rezultată


Tabelul A13.18

Vizualizare parametri nodali și elementali
Succesiune meniu-comandă-ferestre
• List → Output → Query... →
Output Query
Entity ☐ Node/ ☐ Element; ID 9/10;
OK.

Tabelul A13.17 (continuare)



deformare, marcate de curbele menționate, se face prin asocierea la numărul curbei (caseta Curve) setul de rezultate din câmpul Output Set din fereastra de dialog **Select XY Curve Data**.

Listarea parametrilor asociați unui nod sau unui element finit se realizează parcurgând succesiunea din tabelul A13.18. Comanda de listare **Query...** din submeniul **Output** conținut de meniul **List** activează fereastra de dialog **Output Query** care permite selectarea entităților pentru care se dorește lista parametrilor. După execuția acestei comenzi în zona de mesaje a ferestrei principale apare lista cu parametrii asociați nodurilor sau elementelor finite selectate.

A13.7. Concluzii

Studiul procesului de deformare a elementelor elastice de tip bară ale cuplajului elastic de tip Forst cu programe performante care au la bază MEF, urmărind algoritmul prezentat mai sus, permite obținerea deplasărilor, tensiunilor, eforturilor și forțelor de legătură (reacțiunilor) cu semicuplele. Importanță deosebită, pentru sinteza acestui cuplaj și pentru funcționarea sistemului în care se montează, are forma caracteristicii de deformare a elementului elastic (caracteristica elastică a cuplajului). În cazul în care această caracteristică are forma necorespunzătoare, ținând cont de rezultatele obținute, se pot opera modificări dimensionale și/sau ale formei profilului locașului de rezemare a barelor elastice. Cu algoritmul propus se pot efectua analize succesive pentru diferite forme ale locașului de rezemare a elementului elastic în vederea obținerii caracteristicii cu neliniaritatea dorită. În plus, analiza de mai sus se poate completa și cu luarea în considerare a forțelor de frecare din contactele mecanice modelate cu elemente finite de tip Gap.