

Aplicația nr. 1

ANALIZA STATICĂ LINIARĂ A STRUCTURILOR DIN BARE (I)

A1.1. Introducere

În multe probleme practice, elementele sistemelor mecanice au una din dimensiuni mult mai mare decât celelalte două (v. fig. 2.4, pag. 68) și, deci, pentru analiza acestora se pot folosi elemente finite unidimensionale de tip bară (v. tabelul 2.1, pag. 72). De obicei, cu aceste elemente finite se studiază structurile de rezistență ale construcțiilor metalice și ale mecanismelor cu elemente cinematice de tip bară.

A1.2. Scopul aplicației

Pentru proiectarea structurii mecanice a platformei de ridicare (fig.A1.1) din componența unui sistem tehnologic de transfer se poate utiliza analiza cu elemente finite asistată de pachetul MSC/NASTRAN sub Windows, versiunea 2.0. Ridicarea sarcinii de greutate $G=5000$ N se realizează cu două mecanisme paralelogram, montate în paralel, acționate de un motor hidraulic cilindru-piston.

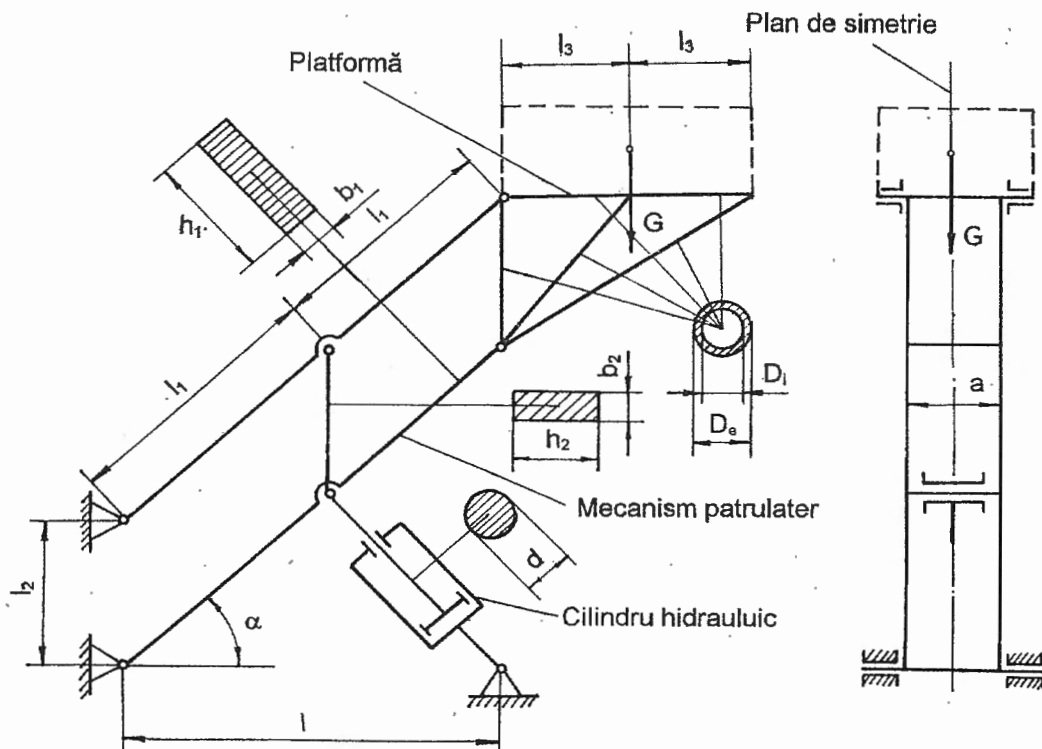


Fig. A1.1. Schema funcțională a platformei de ridicare

Deoarece sistemul mecanic al platformei de ridicare este un mecanism cu o infinitate de poziții de echilibru, pentru analiza cu elemente finite se consideră structura "înghețată" în una sau mai multe poziții, considerate ca fiind cele mai defavorabile din punct de vedere al solicitărilor și/sau deformării elementelor componente. În această lucrare, pentru analiză, se consideră mecanismul platformei de ridicare în poziția inferioară ($\alpha = 45^\circ$), presupunând ca fiind cea mai defavorabilă poziție de funcționare din punct de vedere al solicitărilor de rezistență și al rigidității structurii.

Elementele de tip bară ale sistemului prezentat, geometric, se definesc cu ajutorul următorilor parametri (fig. A1.1): $l = 2000$ mm, $l_1 = 1414,2$ mm, $l_2 = 500$ mm, $l_3 = 500$ mm, $b_1 = 25$ mm, $h_1 = 75$ mm, $b_2 = 15$ mm, $h_2 = 45$ mm, $d = 35,25$ mm, $D_1 = 40$ mm, $D_2 = 50$ mm și $a = 200$ mm.

Materiale utilizate, pentru barele mecanismului paralelogram și tija pistonului motorului hidraulic sunt oțeluri carbon de îmbunătățire (OLC 45, OLC55), iar pentru barele platformei, oțeluri carbon obișnuite (OL32, OL37, OL42). Pentru analiza cu elemente finite se consideră modulele de elasticitate longitudinală, $E_1 = 2,1 \cdot 10^5$ MPa, pentru materialele din prima grupă, și $E_2 = 2,05 \cdot 10^5$ MPa, pentru cele din a doua grupă. În plus, pentru aceste materiale, se consideră coeficientul contracției transversale, $\nu = 0,3$.

A1.3. Întocmirea modelului de analiză

Deoarece structurile celor două mecanisme paralelogram și a platformei sunt simetrice în raport cu planul menționat în fig. A1.1, sarcina de ridicat se sprijină pe barele

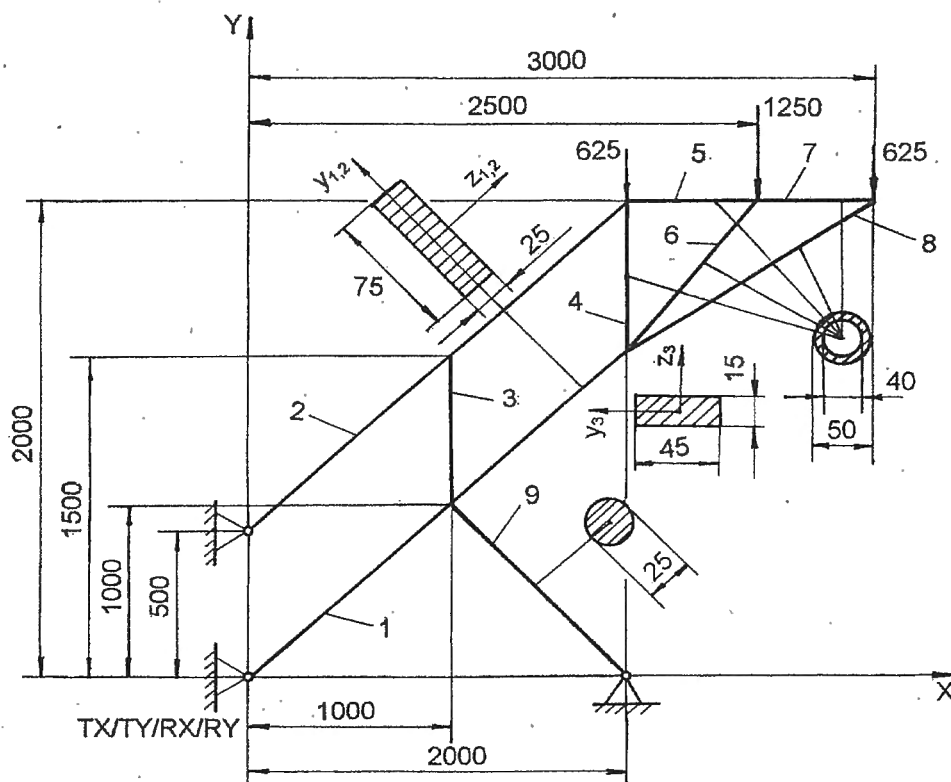


Fig. A1.2. Model de analiză

laterale ale platformei și distanța a dintre cele două mecanisme paralelogram este mică în raport cu lungimile barelor, pentru analiza cu elemente finite se poate considera structura plană de bare din fig. A1.2. Pentru verificarea rezistenței tijei pistonului și determinarea presiunii de alimentare a motorului hidraulic, în locul cilindrului cu piston se consideră bara cilindrică cu secțiunea de arie egală cu jumătatea ariei tijei pistonului.

Încărcarea structurii de analizat se realizează cu semigreutatea sarcinii de ridicat distribuită în cele trei noduri ale structurii platformei, conform modelului de analiză din fig. A1.2.

A1.4. Preprocesarea modelului de analiză

A1.4.1. Modelarea geometrică

În vederea modelării cu elemente finite unidimensionale a elementelor de tip bară din componența structurii modelului de analiză (fig. A1.2) se întocmește modelul geometric. Acesta se compune din entități de tip linie dreaptă care se suprapun cu axele geometrice ale barelor.

În tabelul A1.1, se prezintă comanda **Point...** din meniul **Create** pentru obținerea entităților de tip punct prin introducerea coordonatelor acestora. Fereastra **Locate - Enter Coordinates or Select with Cursor** a acestei comenzi se va repeta pentru nouă puncte ale căror coordonate sunt separate de simbolul **/**. Ultima succesiune compusă din meniul **View**, comanda **Options...** și fereastra de dialog **View Options**, conduce la vizualizarea identificatorilor punctelor obținute prin selectarea în casetele **Options** și **Label Mode** a textelor **Point** și respectiv **1..ID**. Simbolurile punctelor generate și identificatorii asociați, din zona de lucru a display-ului, se pot observa și în figura din tabelul A1.1. Punctul 1, marcat cu un cerc înegrit, corespunde cu centrul sistemului de coordonate asociat planului de lucru implicit.

Entitățile de tip linie dreaptă asociate barelor mecanismului paralelogram, platformei și tijei pistonului motorului hidraulic se obțin cu ajutorul comenzii **Points...**, (tabelul A1.2) din submeniul **Line** al meniului **Create**, prin introducerea în câmpurile **From Point** și **To Point** a identificatorilor celor două puncte ale liniei drepte. Fereastra de dialog **Create Line from Points** se repetă în vederea obținerii celor unsprezece linii drepte ale modelului, prezentate grafic și în figura din tabelul A1.2.

Tabelul A1.1

Obținere entități de tip punct		
Succesiuni meniu-comandă-fereestre		
• Create → Point... → Locate - Enter Coordinates or Select with Cursor		
X 0/ 0/1000/1000/2000/2000/2000/2500/ Y 0/500/1000/1500/ 0/2000/2500/2500/ X 3000; Y 2500; Z 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		

Anularea vizualizării identificatorilor punctelor și activarea vizualizării identificatorilor liniilor obținute se realizează parcurgând ultima succesiune din tabelul A1.2 care, în fereastra de dialog **View Options**, presupune activarea codurilor Point și 1..ID în câmpurile Options și, respectiv, Label Mode și activarea codurilor Curve și 0..No Label în aceleași câmpuri.

A1.4.2. Modelarea cu elemente finite

A1.4.2.1. Modelarea comportării materialelor

Materialele utilizate pentru execuția barelor structurii de analizat se încadrează în grupa materialelor izotrope și din punctul de vedere al caracteristicilor mecanice necesare analizei, se descriu prin valorile modulelor de elasticitate longitudinală și ale coeficienților contractiei transversale, care se introduc în câmpurile Young Modulus E și, respectiv, Poisson's Ratio ν , din fereastra de dialog **Define Isotropic Material** a comenzii **Material...** din meniul **Create** (tabelul A1.3). Această fereastră de dialog se repetă pentru parametrii celor două grupe de materiale utilizate, care în câmpul Title sunt numite OLC și OL.

A1.4.2.2. Alegerea elementelor finite și introducerea proprietăților acestora

Pornind de la faptul că din punct de vedere geometric elementele structurii de studiat sunt unidimensionale, pentru analiză, se folosesc elemente finite de tip linie. binodale. Barele 3 și 9 (fig. A1.2), fiind solicitate numai la tracțiune-compresiune se pot modela cu elemente finite de tip **Rod** (v. fig. 1.30, pag. 32); barele 4, 5, ... 8, de asemenea, solicitate la tracțiune-compresiune și în plus fiind sub formă de țevă circulară, se pot modela cu elemente finite de tip **Tube** (v. fig. 1.31, pag. 32); barele 1 și 2 se modelează cu elemente finite de tip **Bar** (v. fig. 1.37, pag. 34) deoarece pe lângă solicitarea de tracțiune-compresiune apare și cea de încovoiere.

Proprietățile elementelor finite sunt determinate de parametrii geometrici ai secțiunii barei. Pentru elementele finite de tip **Bar** și **Rod**, având în vedere solicitările și

Tabelul A1.2

Obținere entități de tip linie dreaptă
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• Create → Line → Points... → Create Line from Points From Point 1/2/3/3/3/4/6/7/8/6/6 To Point 3/4/4/5/6/7/7/8/9/8/9, 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

Tabelul A1.3

Generare proprietăți material
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• Create → Material → Define Isotropic Material Title OLC/OL; Stiffness: Young Modulus E 2.1e5/2.05e5, Poisson's Ratio ν 0.3/0.3; OK → Define Isotropic Material Cancel.

faptul că se urmărește analiza statică fără luarea în considerare a forțelor de greutate proprie, sunt suficiente valorile ariei și momentelor de inerție axiale. Aceste valori, pentru unele programe care au la baza MEF (inclusiv pentru MSC/NASTRAN sub Windows, versiunea 2.0), se determină exterior, manual sau cu alte programe. În această lucrare, pentru calculul acestor parametri se utilizează pachetul de programe **Excel**. În fig. A1.3 se prezintă fila de calcul tabelar cu precizarea dimensiunilor secțiunilor (b, h și d) și a valorilor obținute pentru parametrii caracteristici ai acestora (aria, A; momentele de inerție, I_z și I_y).

În tabelul A1.4 se prezintă comanda **Property...**, din meniul **Create**, cu ferestrele de dialog asociate pentru selectarea tipurilor de elemente finite adoptate și introducerea valorilor parametrilor caracteristici ai acestora.

Fereastra de dialog **Define Property - BAR Element Type** permite generarea setului de proprietăți sub denumirea de Bara1 cu materialul 1..OLC, selectat din câmpul listă **Material**, și cu valorile ariei și ale momentelor de inerție axiale din câmpurile **Area A** și, respectiv, **Moments of Inertia I1, I2**, preluate din fila **Excel** (linia 2, coloanele C, D și E din fig. A1.3).

Valorile parametrilor secționali (arie și momente de inerție) sunt preluate succesiv din casetele **Excel**, parcurgând următoarea succesiune: **Alt + Tab** (se apasă succesiv tasta Tab până se ajunge la aplicația **Excel**) → activarea cu mouse-ul a casetei cu valoarea necesară → **Ctrl + C** (copiere în clipboard) → **Alt + Tab** (întoarcere în aplicația MSC/NASTRAN sub Windows 2.0) → **Ctrl + V** (se înserează valoarea în câmpul din fereastra respectivă).

Câmpurile ferestrei **Define Property - ROD Element Type** se completează de două ori cu valorile parametrului caracteristic (aria secțiunii, **Area A**), din fila **Excel**,

Tabelul A1.4

Generare proprietăți elemente finite	
Succesiuni meniu-comandă-ferestre	
• Create → Property ... →	
Define Property - PLATE Element Type	
Elem/Property Type... →	
Element/Property Type	
Line Elements ⊗ Bar; OK →	
Define Property - BAR Element Type	
Title Bara1; Material ↓ 1..OLC; Property values: Area A 1875, Moments of Inertia I1 97656.25, I2 878906.3; OK →	
Define Property - BAR Element Type	
Elem/Property Type... →	
Element/Property Type	
Line Elements ⊗ Rod; OK →	
Define Property - ROD Element Type	
Title Bara2/Bara3; Material ↓ 1..OLC; Property values: Area A 675/490.625; OK →	
Define Property - ROD Element Type	
Elem/Property Type... →	
Element/Property Type	
Line Elements ⊗ Tube; OK →	
Define Property - TUBE Element Type	
Title Teava; Material ↓ 2..OL; Property values: Inner Diameter Di 40, Outer Diameter Do 50; OK →	
Define Property - TUBE Element Type	
Cancel .	

	A	B	C	D	E
1	b	h	A	I_z	I_y
2	25	75	1875	878906.3	97656.25
3	15	45	675		
4					
5	d	A			
6	25	490.625			

Fig. A1.3. Valorile parametrilor secționali

corespunzătoare barei 3, cu secțiune dreptunghiulară (linia 3, coloana C, fig. A1.3), și barei 9 de secțiune circulară (linia 5, coloana B, fig. A1.3). Seturilor de proprietăți corespunzătoare acestor secțiuni, denumite Bara2 și Bara3, li se asociază setul proprietăților materialului, 1..OLC, din câmpul listă **Material**.

Descrierea elementului finit de tip **Tube**, sub denumirea de Teava, se face prin intermediul ferestrei de dialog **Define Property - TUBE Element Type** în ale cărei câmpuri de proprietăți (Inner Diameter Di și Outer Diameter Do) se introduc direct valorile diametrelor interior și exterior ale secțiunii țevii.

A1.4.2.3. Generarea structurii de elemente finite

Pentru obținerea structurii de elemente finite în varianta dorită, prin metoda de discretizare automată a liniilor domeniului geometric, preliminar, se realizează o setare a pozițiilor nodurilor pe aceste linii.

În tabelul A1.5 se prezintă comanda **Along Curve...** a submeniuului **Mesh, Size** din meniul **Generate** pentru setarea pozițiilor nodurilor pe liniile modelului geometric. Selectarea liniilor cu parametrii de setare comuni în fereastra **Entity Selection - Enter Curve(s) to Set Mesh Size** este urmată de introducerea numărului de elemente finite (Number of Elements) de-a lungul acestora și a factorului de finețe (**Bias**) în fereastra de dialog **Mesh Size along a Curve**. Aceste ferestre de dialog se repetă pentru două grupe de linii separate de simbolul "/". Barele 1 și 2 (v. fig. A1.2, pag. 96), solicitate la încovoiere cu eforturi și tensiuni variabile axial sunt modelate geometric de liniile 1, 2 și, respectiv, 5, 6 care se discretizează în câte 8 elemente finite fiecare. Deoarece în barele solicitate la tracțiune-compresiune forțele și tensiunile sunt constante în direcție axială, acestea se pot discretiza într-un singur element finit de tip **Rod** sau **Tube**. Factorul fineței de discretizare asociat câmpului **Bias**, în cazul acestei aplicații se consideră de valoare 1.

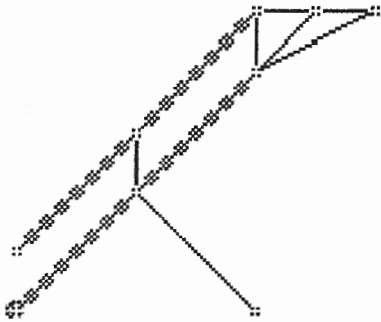
După anularea vizualizării identificatorilor liniilor prin selectarea textelor **Curve** și **0..No Label** din câmpurile listă **Options** și, respectiv, **Label Mode** ale ferestrei de dialog **View Options** din ultima succesiune din tabelul A1.5, în zona de lucru a ferestrei principale MSC/NASTRAN sub Windows 2.0, rezultă figura prezentată și în acest tabel. Astfel, în această figură, se pot observa simbolurile rombice de pe liniile modelului geometric care indică pozițiile nodurilor viitoarelor elemente finite.

Generarea nodurilor și elementelor finite se face automat pe grupuri de linii care se discretizează cu același tip de element finit și același set de proprietăți, parcurgând prima succesiune din tabelul A1.6. După selectarea grupului de linii, cu ajutorul mouse-ului (folosind figura din tab. A1.2), în fereastra **Entity Selection-Select Curve(s) to Mesh** și a setului de proprietăți din câmpul listă **Property** din fereastra **GeomeTryc Mesh Option**, se definește vectorul asociat axei secțiunii elementului finit (v. fig. 1.37, pag. 34) prin intermediul ferestrei de dialog **Vector Axis - Define Element Orientation Vector**. Pentru cazul barelor modelului din această lucrare, se selectează ca vector al secțiunii vectorul asociat axei Y a sistemului de coordonate global. Aceste ferestre de dialog se repetă pentru cele patru grupuri de linii, separate de simbolul "/", asociate cu cele patru seturi de proprietăți, de asemenea, separate de simbolul "/".

Pentru o lizibilitate mai bună a modelului obținut se anulează vizualizarea identificatorilor nodurilor, parcurgând penultima succesiune din tabelul A1.6. Astfel, în câmpurile listă **Options** și **Label Mode** din fereastra de dialog **View Options** a comenzii **Options...** se selectează textele **Element** și, respectiv, **0..No Label**.

Anularea vizualizării entităților de tip punct și linie se face prin dezactivarea opțiunilor asociate (**Point** și **Curve**) din fereastra **View Quick Options**. Aceasta se activează cu butonul din bara comenzilor rapide al cărui simbol este prezentat în ultima succesiune. În figura din tabelul A1.6 se prezintă structura de elemente finite obținută.

Tabelul A1.5

Setare schemă de discretizare
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• Generate → Mesh Size → Along Curve... → Entity Selection - Enter Curve(s) to Set Mesh Size → 1, 2, 5, 6/3, 4, 7, 8, 9, 10, 11 (selectare cu mouse-ul); OK → Mesh Size along a Curve → Number of Elements 8/1, Bias 1; OK → Entity Selection - Enter Curve(s) to Set Mesh Size → Cancel. • View → Options... → View Options → Options Curve; Label Mode 0..No Labels; OK.
Imaginea rezultată


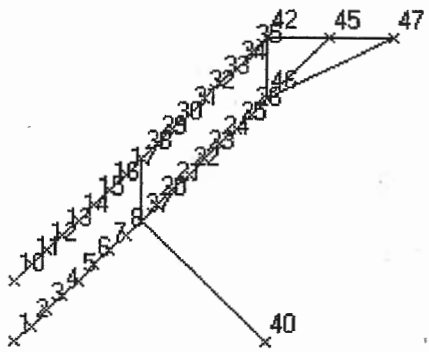
A1.4.2.4. Introducerea condițiilor limită

În tabelul A1.7 se prezintă succesiunile meniu-comandă-ferestre de introducere a condițiilor limită. Prima succesiune din acest tabel conduce la anularea vizualizării identificatorilor elementelor finite prin selectarea textelor **Element** și **0..No Label** în câmpurile de tip listă **Options** și, respectiv, **Label Mode**.

Cea de-a doua succesiune din tabelul A1.7 conduce la generarea setului de condiții limită, numit **Reazem1** în caseta **Title** a fereastrei de dialog **Create or Activate Constraint Set**, cu ajutorul comenzii **Set...** din submeniul **Constraint** al meniului **Create**.

Condițiile limită materializate prin anularea gradelor de libertate ale unor noduri, se

Tabelul A1.6

Generare noduri și elemente finite
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• Generate → On Geometry... → Along Curve... → Entity Selection-Select Curve(s) to Mesh → 1, 2, 5, 6/3/4/ 7, 8, 9,10,11 (selectare cu mouse-ul); OK → Geometric Mesh Option → Property 1..Bara1/Bara2/Bara3/Teava; OK → Vector Locate - Define Element Orientation Vector → Methods... → Vector Definition Method → ☒ Axis; OK → Vector Axis - Define Element Orientation Vector → Base: X 0.0, Y 0.0, Z 0.0; Direction: ☒ Positive, ☒ Yaxis; OK. • View → Options... → View Options → Options Node; Label Mode 0..No Labels; OK. • ☒ → View Quick Options → ☐ Point; ☐ Curve; Done.
Imaginea rezultată


Tabelul A1.7

Introducere condiții limită
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• View → Options... → View Options Options: Element, Label Mode: 0..No Labels; OK .
• Create → Constraint → Set... Create or Activate Constraint Set Title Reazem1, OK .
• Create → Constraint → Nodal... → Enter Selection - Enter Node(s) to Select 1, 10, 40; OK →
Create Nodal Constraint/DOF DOF: ☒ TX, ☒ TY, ☒ TZ, ☒ RX, ☒ RY; OK .
• Create → Constraint → Nodal... → Enter Selection - Enter Node(s) to Select Select All ; OK →
Create Nodal Constraint/DOF ZSymmetry , OK →
MSC/NASTRAN for Windows OK to Overwrite (No = combine)?; No .
Imaginea rezultată

Node(s) to Select se introduc valorile forțelor concentrate în câmpul TY, corespunzător direcției axei Y a sistemului global de coordonate, din fereastra de dialog **Create Nodal Loads**. Aceste ferestre de dialog ca părți ale comenzii **Nodal...** a submeniuului **Load** din meniul **Create** se activează pentru introducerea forțelor cu valorile -1250, în nodul 45, și -625, în nodurile 42 și 47. Selectarea acestor noduri se face cu mouse-ul sau de la tastatură. În figura din tabelul A1.8 se prezintă modelul cu elemente finite obținut cu menționarea valorilor absolute ale încărcărilor introduse.

A1.4.3. Verificarea modelului cu elemente finite

Deoarece discretizarea structurii modelului geometric s-a realizat separat pentru

generează prin selectarea acestora și a gradelor de libertate cu deplasări nule în ferestrele **Enter Selection - Enter Node(s) to Select** și, respectiv, **Create Nodal Constraint/DOF** ale comenzii **Nodal...** din submeniul **Constraint**. Aceste ferestre de dialog, conținute de succesiunile trei și patru, conduc la anularea tuturor posibilităților de deplasare mai puțin rotirea după axa Z pentru nodurile 1, 10 și 40 (simularea articulațiilor mecanismului paralelogram și a cilindrului hidraulic cu baza) și la anularea mobilităților de deplasare în afara planului de lucru asociat modelului, prin activarea butonului **ZSymmetry**, pentru celelalte noduri ale structurii. În figura din tabelul A1.7 se pot observa simbolurile grafice ale condițiilor limită introduse, asociate cu etichete numerice corespunzătoare ale căror numere sunt în corespondență cu gradele de libertate anulate astfel: 1 - TX, 2 - TY, 3 - TZ, 4 - RX, 5 - RY. În aceste notații literele T și R sunt asociate cu deplasările de translație și, respectiv, de rotație iar X, Y și Z au semnificația direcțiilor de deplasare în raport cu sistemul de coordonate global.

A1.4.2.5. Introducerea încărcărilor

Pentru analiza statică modelul cu elemente finite se încarcă cu un set de forțe concentrate, denumit **Incărcare1** în câmpul **Title** din fereastra de dialog **Create or Activate Load Set** a comenzii **Set...** conținută în prima succesiune din tabelul A1.8.

Pentru nodurile selectate în fereastra de dialog **Entity Selection-Enter**

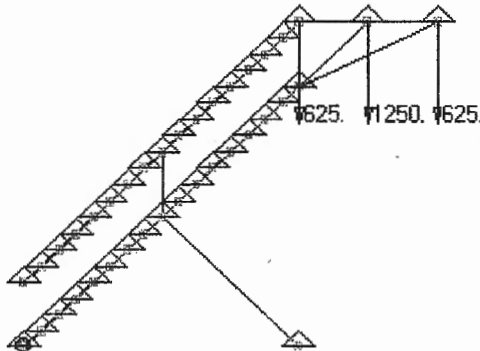
Tabelul A1.9

Verificare model cu elemente finite
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• Check → Coincident Nodes... → Entity Selection-Enter Nodes to Check Select All; OK → MSC/NASTRAN for Windows OK to Specify Additional Range of Nodes to Merge? No → Check/Merge Coincident Options ☒ Merge Coincident Entities; Maximum <u>D</u>istance to Merge 0.1; OK. • Check → Constraints... → MSC/NASTRAN for Windows Include Nodal Permanent Constraints?; No

fiecare linie este posibil să existe noduri suprapuse și deci structura de elemente să fie discontinuă. Verificarea existenței nodurilor suprapuse și unirea acestora se realizează cu ajutorul comenzii **Coincident Nodes...** din meniul **Check**. În tabelul A1.9, prima succesiune conține ferestrele de dialog **Entity Selection-Enter Nodes to Check**, pentru selectarea nodurilor care urmează să fie verificate, **MSC/NASTRAN for Windows** și **Check/Merge Coincident Options** pentru selectarea opțiunilor de verificare și unire. În câmpul **Maximum Distance to Merge**, din ultima fereastră de dialog menționată, se introduce valoarea 0.1 care indică distanța maximă dintre nodurile considerate ca fiind suprapuse.

Pe de altă parte este posibil ca modelul cu elemente finite să nu fie rezolvabil datorită insuficienței condițiilor limită care permit mișcări de rigid ale structurii de analizat. Verificarea existenței acestei situații se realizează cu ajutorul comenzii **Constraints...** (ultima succesiune din tabelul A1.9), din meniul **Check**, care aplicată pentru acest model determină apariția în zona de mesaje a ferestrei principale a aplicației MSC/NASTRAN sub Windows, versiunea 2.0, raportul prezentat în fig. A1.4. Acesta

Tabelul A1.8

Introducere încărcări de tip forță concentrată
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 7 45 (selectare cu mouse-ul); OK → Create Nodal Loads Value ☒ TY -1250; OK → Entity Selection-Enter Node(s) to Select 7 42, 47 (selectare cu mouse-ul); OK → Create Nodal Loads Value: ☒ TY -625; OK → Entity Selection-Enter Node(s) to Select Cancel.
Imaginea rezultată


Constraint Factors for Set 1

Translation	X =	3.	Y =	3.	Z =	37.
Rotation	X =	37.	Y =	37.	Z =	0.

Max Separation of X Constraints	X = 2000.	Y = 500.	Z = 0.
---------------------------------	-----------	----------	--------

Max Separation of Y Constraints	X = 2000.	Y = 500.	Z = 0.
---------------------------------	-----------	----------	--------

Max Separation of Z Constraints	X = 3000.	Y = 2500.	Z = 0.
---------------------------------	-----------	-----------	--------

Fig. A1.4. Mesajul corespunzător comenzii **Constraints...**

conține factori sintetici prin care se apreciază suficiența condițiilor limită impuse astfel: valorile supraunitare ale factorilor **X**, **Y** și **Z** din linia **Translation** indică eliminarea tuturor posibilităților de translație în raport cu axele **X**, **Y** și, respectiv, **Z**; valorile supraunitare ale factorilor **X** și **Y** din linia **Rotation** arată imposibilitatea rotirii modelului în raport cu axele **X** și, respectiv, **Y**; posibilitatea de rotație după axa **Z**, indicată prin valoarea subunitară a factorului **Z** din linia **Rotation**, datorită insuficienței restricțiilor de rotație după această axă, este contrazisă de valorile supraunitare ale factorilor **X** și **Y** din linia **Max Separation of Z Constraints** care arată că această rotație este anulată de restricțiile de translație impuse.

A1.5. Rezolvarea modelului

Analiza propriu-zisă a modelului întocmit începe cu activarea comenzii **Analyze...** din meniul **File** și continuă cu ferestrele asociate prezentate în tabelul A1.10. În caseta Analysis Condition a fereastră de dialog **MSC/NASTRAN Analysis Control** sunt setate ca implicite codurile 1..Static (analiza statică liniară), 1..Incarcare1 și 1..Reazem1 în câmpurile tipului analizei (Analysis Type), setului de încărcări (Loads) și, respectiv, setului de condiții limită Constraints. În această fereastră de dialog pe lângă casetele de dialog Output Requests și Additional Info și butonul de lansare în execuție, Run Analysis, de asemenea activat implicit, se află și câmpul de informare privind volumul de memorie externă necesar pentru analiză (Estimated Disk Space 5 MBytes).

Chiar dacă modelul întocmit a fost salvat preliminar comanda **Analyze...** implică salvarea obligatorie a acestuia înainte de lansarea în execuție și deci, în fereastra de dialog **MSC/NASTRAN sub Windows** se activează butonul **Yes** ca răspuns la întrebarea de a se salva modelul (OK to Save Model Now?).

Rezolvarea modelului întocmit se realizează automat, fără posibilitatea de intervenție a operatorului uman, cu evidențierea timpului și a etapelor de lucru (Start, Beginning Analysis, Beginning Solution) în fereastra **MSC/NASTRAN Manager**.

După terminarea rezolvării, automat, apare fereastra de dialog **Message Review** cu trei câmpuri cu texte de informare conținând numerele de erori fatale, de mesaje de atenționare și de mesaje de informare.

Pentru modelul din această lucrare apar mesajele: 0 Fatal Error(s), 0 Warning Message(s) și 1 Information Message(s). Lipsa erorilor fatale și a mesajelor de atenționare implică posibilitatea de postprocesare a rezultatelor obținute și deci, după activarea butonului **Continue** din fereastra de dialog **Message Review**, se activează butonul **Yes** din fereastra de dialog **MSC/NASTRAN for Windows** ca răspuns la întrebarea de încărcare a fișierului cu extensia xdb (OK to Begin Reading File C:\MSCNASTRAN\100.xdb?) Analiza și rezolvarea se consideră încheiate cu succes și se poate începe studiul rezultatelor, când în zona de liste și mesaje a ferestrei principale apare mesajul: DDE Completed (Ending Conversation with MSC/NASTRAN Results Reader...) ... Please Continue.

Tabelul A1.10

Analiza modelului cu elemente finite
Sucesiune meniu-comandă-ferestre
• File → Analyze ... →
MSC/NASTRAN Analysis Control
Analysis Condition: Analysis Type
↓ 1..Static, Loads, ↓ 1..Incarcare1,
Constraints ↓ 1..Reazem1; 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
MSCN4W20\100.xdb?; Yes .

A1.6. Postprocesarea rezultatelor

Pentru vizualizarea, evaluarea și preluarea rezultatelor obținute în activitatea de proiectare, programele performante de analiză care au la bază MEF au multiple posibilități.

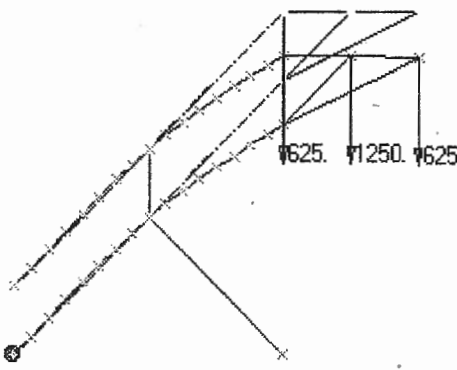
Prima succesiune din tabelul A1.11 are ca scop, pentru o mai bună lizibilitate, anularea vizualizării nodurilor și condițiilor limită prin dezactivarea opțiunilor Node și Constraints din fereastra de dialog **View Quick Options** activată de butonul rapid cu simbolul prezentat la începutul succesiunii.

Verificarea, în principiu, a fenomenelor fizice prin intermediul modelului analizat se poate face vizualizând structura în starea deformată sau animată. În tabelul A1.11 se prezintă succesiunile de vizualizare a acestor stări, consecință a selectării opțiunilor **Deform** sau **Animate** în caseta **Deformed Style** din fereastra de dialog **View Select** a comenzii **Select...** din meniul **View**. Pentru cazul vizualizării stării deformată în urma activării butonului **Deformed and Contur Data...** din fereastra de dialog **Select Postprocessing Data** se selectează setul de rezultate (1..MSC/NASTRAN Case1) din câmpul **Output Set** și codul 1..Total Translation, corespunzător deplasărilor totale, din câmpul **Deformation**. Imaginea rezultată în zona de lucru a display-ului se poate observa și în figura din tabelul A1.11. În plus, pe display se poate observa o legendă cu informații privind tipul imaginii și valoarea maximă a deplasării de translație.

Vizualizarea diagramelor de tensiuni din barele mecanismului paralelogram, discretizate cu elemente finite de tip **Bar**, se prezintă în tabelul A1.12. Această vizualizare se realizează, de asemenea, de comanda **Select...**, dar în ferestrele de dialog **View Select** și **Select Postprocessing Data** se selectează varainta de reprezentare a modelului cu contururi (**Contour**) din caseta **Contour Style** și, respectiv, codul tensiunilor totale maxime în punctul A (3109..EndA Max Comb Stress) al elementului finit **Bar** (v. fig. 1.37, pag. 34) din câmpul de texte **Contours** cuprins în caseta **Output Vectors**. Ultima succesiune din tabelul A1.12, în scopul măririi lizibilității diagramelor de tensiuni, setează reprezentarea în vedere dimetrică a modelului.

Informațiile legate de parametri corespunzători nodurilor și elementelor finite de tip **Rod** și **Tube** care au parametri invariante de-a lungul axei se pot obține și prin listarea rezultatelor asociate acestor entități. De exemplu, în tabelul A1.13 se prezintă

Tabelul A1.11

Vizualizare stări deformată și animată	
Succesiuni meniu-comandă-ferestre	
•  →	View Quick Options
	☐ Node; ☐ Constraints; Done.
• View → Select... →	View Select
	Deformed Style ☒ Deform ;
	Deformed and Contur Data... →
	Select Postprocessing Data
	Output Set ↓ 1..MSC/NASTRAN Case 1;
	Output Vectors: Deformation ↓ 1..Total Translation; OK →
	View Select
OK.	
• View → Select... →	View Select
	Deformed Style ☒ Animate ; OK.
Imaginea rezultată	
	

Tabelul A1.13

Vizualizare parametri nodali și elementali
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• List → Output → Query... →
Output Query
Entity ☐ Elem ID 34; More ;
Entity ☐ Node ID 10; OK .

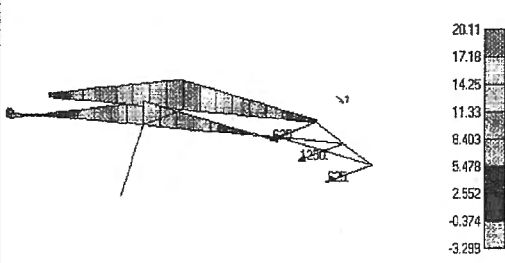
succesiunea meniu-comandă-ferestre de listare cu ajutorul comenzii **Query...**, a parametrilor asociați elementului finit 34 (echivalent tijei pistonului cilindrului hidraulic) și nodului 10 corespunzător unei articulații a mecanismului paralelogram cu baza. După selectarea acestor entități și activarea butonului **OK** din fereastra de dialog **Output Query**, rezultă în zona de mesaje a ferestrei principale, listele prezentate în fig. A1.5.

A1.7. Concluzii

Analiza cu elemente finite de tip bară a structurilor mecanice unidimensionale, presupune un grad mărit de idealizare și deci, se utilizează numai pentru studiul fenomenelor fizice din corpurile barelor în afara legăturilor (asamblări, suduri, articulații, cuple) dintre acestea sau a acestora cu baza.

Informațiile obținute în cazul acestei aplicații (câmpurile de deplasări și de tensiuni, reacțiunile etc.) sunt utile pentru optimizarea formei barelor mecanismului paralelogram cilindrului și platformei de ridicare. Aceste informații pot fi utilizate și ca date de intrare pentru proiectarea legăturilor dintre bare, clasic sau chiar utilizând programe performante MEF dar cu alte tipuri de elemente finite.

Tabelul A1.12

Vizualizare câmpuri
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• View → Select ... →
View Select
Deformed Style ☐ None - Model Only;
Contur Style ☐ Beam Diagram;
Deformed and Contur Data... →
Select Postprocessing Data
Output Vectors: Conturs ↓ 3109..EndA Max
Comb Stress; OK →
View Select
OK .
• View → Rotate... →
View Select
Dimetric, OK .
Imagine rezultată


Element 34

Output Set 2 - MSC/NASTRAN Case 1

Output Vector 3036	- Rod Axial Force	= -3535.53
Output Vector 3038	- Rod Torque Force	= 0.
Output Vector 3183	- Rod Axial Stress	= -7.28618
Output Vector 3186	- Rod Torsional Stress	= 0.

Node 10

Output Set 1 - MSC/NASTRAN Case 1

Output Vector 1	- Total Translation	= 0.
Output Vector 2	- T1 Translation	= 0.
Output Vector 3	- T2 Translation	= 0.
Output Vector 4	- T3 Translation	= 0.
Output Vector 5	- Total Rotation	= 0.0015
Output Vector 6	- R1 Rotation	= 0.
Output Vector 7	- R2 Rotation	= 0.
Output Vector 8	- R3 Rotation	= 0.0015
Output Vector 51	- Total Constraint Force	= 4505.2
Output Vector 52	- T1 Constraint Force	= -2500.
Output Vector 53	- T2 Constraint Force	= -3747.
Output Vector 54	- T3 Constraint Force	= 0.
Output Vector 55	- Total Constraint Moment	= 0.
Output Vector 56	- R1 Constraint Moment	= 0.
Output Vector 57	- R2 Constraint Moment	= 0.
Output Vector 58	- R3 Constraint Moment	= 0.

Fig. A1.5. Valorile parametrilor elementali și nodali