Aplicația nr. 2

ANALIZA STATICĂ LINIARĂ A STRUCTURILOR DIN BARE (II)

A2.1. Introducere

Pentru studiul structurilor mecanice, compuse integral sau parțial din elemente care se caracterizează din punct de vedere geometric ca având una din dimensiuni mult mai mare decât celelalte două, din considerente economice și pentru simplificare, s-au definit, modelat și implementat în programe performante elemente finite unidimensionale. Aceste elemente finite, numite și de tip bară, în funcție de forma axei pot fi drepte sau curbe; în funcție de solicitarea modelată pot fi de tracțiune-compresiune, de tracțiune-compresiune, torsiune și încovoiere (bar, beam); după variația secțiunii de-a lungul axei sunt cu secțiune invariabilă sau variabilă uniform (v. subcap. 2.3.3.1, pag. 71).

Analiza statică liniară a structurilor mecanice, şi în cazul utilizării programelor performante care au la bază MEF, se face fără luarea în considerare a sarcinilor dinamice, presupunând acuratețea rezultatelor acceptabilă în domeniul deplasărilor mici.

A2.2. Scopul aplicației

În această lucrare se urmărește analiza cu elemente finite a structurii arborelui de intrare (fig. A2.1) al reductorului din fig. A5.1 [15, 25, 40]. Acest arbore, susținut în mișcare de rotație de doi rulmenți radiali cu bile (6205), realizează transmiterea momentului de torsiune M_t = 22000 Nmm de la roata de curea la pinionul angrenajului cilindric cu dantură dreaptă (fig. A2.1,a).

Determinarea deplasărilor, tensiunilor, eforturilor și reacțiunilor din structura arborelui, fără luarea în considerare a concentratorilor tensionali (canale de pană și racordări), se poate realiza și cu ajutorul analizei cu programe performante MEF, utilizând elemente finite unidimensionale. Pentru studiul câmpurilor deformațiilor și tensiunilor din zonele concentratorilor de tensiune menționați sunt necesare analize locale (nedezvoltate în această lucrare), care presupun modelarea cu elemente finite tridimensionale.

În vederea modelării cu elemente finite de tip bară a arborelui din fig. A2.1,a este necesar să se cunoască dimensiunile geometrice axiale și secționale ale celor șase tronsoane cilindrice ale acestuia ((li, di)i = 1,6 \in {(15, 25), (15,36), (55, 30), (40, 25), (15,24), (30,20)}). Arborele este executat din oțel de îmbunătățire marca OLC50 cu modulul de elasticitate longitudinală E = 2,1 10⁵ MPa și coeficientul contracției transversale y = 0.3.

Pentru determinarea forțelor reduse la axa arborelui, echivalente forței din cupla superioară a angrenajului, se cunosc valorile diametrului cercului de rostogolire al pinionului ($d_{w1} = 30$ mm) și unghiului de presiune ($\alpha_w = 20^\circ$). Forța care acționează asupra roții de curea are direcția radială în planul axelor roților angrenajului și valoarea S = 400 N.

A2.3. Întocmirea modelului de analiză

În figura A2.1,b se prezintă modelul de analiză, ca fiind o bară dreaptă cu secțiunea în trepte, rezemată în zonele axelor căilor de rulare ale rulmenților, încărcată cu forțe concentrate și raportată la sistemul de coordonate global XYZ. Acest model



Fig. A2.1. Structura arborelui drept și modelul de analiză asociat

presupune un grad mărit de idealizare consecință a neluării în considerare a concentratorilor de tensiune, a rigidităților reazemelor (rulmenților), a încărcărilor distribuite și a abaterilor de execuție și montaj. Pentru proiectarea curentă rezultatele obținute cu acest model sunt utile pentru calcule de verificare a rezistenței și rigidității arborelui și durabilității rulmenților. În cazul condițiilor de proiectare atipice, privind turația, vibrațiile, rigiditatea și rezistența structurii arborelui, modelul propus se poate utiliza numai în faza de predimensionare, pentru verificările finale fiind necesare unul sau mai multe modele de analiză mai apropiate de modelul real.

Parametrii caracteristici secționali ai tronsoanelor arborelui, necesari pentru definirea proprietăților elementelor finite folosite pentru discretizarea acestora, ariile (A_i), momentele de inerție axiale (I_{zi}, I_{yi}), și polare (I_{pi}), se calculează folosind relațiile:

$$A_{i} = \frac{\pi d_{i}^{2}}{4}, \quad I_{2i} = I_{yi} = \frac{\pi d_{i}^{4}}{64}, \quad I_{pl} = \frac{\pi d_{i}^{4}}{32},$$
 (A2.1)

cu ajutorul pachetului software Excel (fig. A2.2).

Încărcarea structurii modelului de analizat cu sarcini exterioare se realizează cu forțe și momente de torsiune concentrate în zonele de mijloc ale pinionului și roții de curea. Valorile forțelor tangențială și radială (fig. A2.1,a) se determină cu relațiile:

$$F_t = \frac{2 M_t}{d_{w1}}, \quad F_r = F_t \operatorname{tg} \alpha_w, \quad (A2.2)$$

	A	8	. C	D
1	25	490.625	19165.04	38330.08
2	36	1017.36	82406.16	164812.3
3	30	706.5	39740.63	79481.25
4	24	452.16	16277.76	32555.52
5	20	314	7850	15700
	1	1	1	Î
	di	Ai	lzi, lvi	l _{pi}

Fig. A2.2. Valorile parametrilor sectionali



Fig. A2.3. Valorile fortelor concentrate

care, de asemenea, se evaluează cu pachetul Excel (fig. A2.3).

Având în vedere faptul că rulmenții radiali cu bile permit rotiri limitate ale inelului interior față de cel exterior, rezemările (condițiile limită) asociate acestora anulează translațille după cele trei direcții (TX, TY, TZ) și în plus, pentru a se elimina rotirea liberă a structurii de elemente finite în jurul axei X, în lagărul dinspre originea sistemului de coordonate, se anulează și rotirea în jurul acestei axe (RX). Schema de rezemare propusă permite și deformațiile torsionale (de răsucire) ale arborelui între zonele de montare ale roții de curea și pinionului.

A2.4. Preprocesarea modelului de analiză

A2.4.1. Modelarea geometrică

Pornind de la faptul că în modelul cu elemente finite, rezemările, încărcările concentrate și salturile secționale sunt asociate nodurilor, modelul geometric va fi compus din linii drepte mărginite de punctele corespunzătoare acestor noduri.

În tabelul A2.1, prima succesiune meniu-comandă-ferestre ataşată comenzii, **Point...**, de obținere a entităților de tip punct pornind de la coordonatele care definesc pozițiile reazemelor, încărcărilor și salturilor secționale (fig. A2.1) conține fereastra de dialog **Locate - Enter Coordinates or Select with Cursor** în care se găsesc câmpurile coordonatelor ponctelor. Această fereastră de dialog se repetă pentru unsprezece seturi de coordonate delimitate de separatorul "/". Ultima succesiune din tabelul A2.1 conduce la vizualizarea identificatorilor punctelor create, prin selectarea textelor Point și 1..ID din câmpurile Optio<u>n</u>s și, respectiv, <u>L</u>abel Mode din fereastra de dialog **View Options**.

Generarea entităților de tip linie dreaptă mărginită de două puncte se face conform primei succesiuni din tabelului A2.2. Completarea câmpurilor corespunzătoare punctelor de origine (From Point) și de final (To Point) ale liniei de generat, din fereastra de dialog **Create Line from Points**, se repetă pentru cele zece perechi de puncte. După anularea vizualizării identificatorilor punctelor (selectarea opțiunilor Point și 0...No Label în câmpurile listă Options și, respectiv, Label Mode) și activarea vizualizării identificatorilor liniilor (selectarea opțiunilor Curve și 1..ID din câmpurile de text Options și, respectiv,

. .



Label Mode) în fereastra de dialog View Options a ultimei succesiuni, pe display, se obține imaginea prezentată în figura din tabelul A2.2.

A2.4.2. Modelarea cu elemente finite

A2.4.2.1. Modelarea comportării materialului

Descrierea și introducerea valorilor parametrilor caracteristici ai materialului arborelui (OLC50) se realizează prin parcurgerea succesiunii din tabelul A2.3. Valorile corespunzătoare modulului de elasticitate longitudinală și coeficientului contracției transversale se introduc în câmpurile Young Modulus <u>E</u> și, respectiv, Poisson's Ratio n<u>u</u> din fereastra de dialog **Define Isotropic Material**.

A2.4.2.2. Alegerea elementelor finite și introducerea proprietăților acestora

Deoarece structura arborelui de analizat este compusă din mai multe tronsoane cilindrice cu secțiune constantă și forțele de încărcare induc solicitări de torsiune, forfecare și încovoiere pentru modelare și analiză se pot folosi elemente finite unidimensionale de tip **Bar** (v. fig. 1.37, pag. 34). În câmpurile ferestrei de dialog, **Define Property BAR Element Type** (tabelul A2.4), pentru definirea parametrilor acestui element finit, se

 Tabelul A2.3

 Generare proprietăți material

 Succesiune meniu-comandă-ferestre

 • Create → Material... →

 Define Isotropic Material

 Title OLC50; Stiffness: Young Modulus E

 2.1e5, Poisson's Ratio nu 0.3;

 OK →

 Define Isotropic Material

 Cancel.

introduc valori în casetele corespunzătoare ariei sectiunii (Area A), momentelor de inerție axiale (Moments of Inerția I1, I2) și polar (Torsional Constant J) și distanțelor de la axa neutră la fibrele extreme pentru cele două directii ale sectiunii (Stress Recovery). Valorile ariei și momentelor de inerție sunt preluate din casetele Excel parcurgând următoarea succesiune: Alt + Tab (se apasă succesiv tasta Tab până se ajunge la aplicatia Excel) \rightarrow 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) \rightarrow Ctrl + V (inserare valoare în câmpul din fereastra de dialog respectivă).

Câmpurile din fereastra de dialog Define Property - BAR Element Type se completează de cinci ori pentru fiecare din seturile de date, separate de simbolul "/", corespunzătoare celor cinci tronsoane cilindrice ale arborelui cu dimensiuni diferite. Astfel, după ieșirea din comanda **Property...** prin activarea butonului **Cancel** se obțin cinci seturi de proprietăți cu denumirile Tronson1, Tronson2,.... Tronson5.

A2.4.2.3. Generaea structurii de elemente finite

Discretizarea în elemente finite. automat. a unei linii a domeniului geometric, presupune în prealabil marcarea pozițiilor viitoarelor noduri. În acest sens, în tabelul A2.5, se prezintă succesiunea operațiilor de setare a numărului și poziției nodurilor pe fiecare linie a modelului geometric. În câmpurile Number of Elements și Bias din fereastra Mesh Size along a Curve se introduc valorile numărului de elemente finite pe linia sau liniile selectate, în fereastra Entity Selection - Enter Curve(s) to Set Mesh Size, si, respectiv, a factorului finetei de discretizare (raportul dintre lungimile

Tabelul A2.4
Generare proprietăți element finit
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• <u>Create</u> → <u>Property</u> → Define Property - PLATE Element Type
Element/Property Type → Element/Property Type
⊙ Bar, OK →
Motorial 1 OI CEO
Title Transon $1/T$ ranson $2/T$ ranson $3/$
Tronson4/ Tronson5:
Property Values:
Area A 490 625 (Sheet1, caseta B1)/
1017.360 (Sheet1, caseta B2)/
706.500 (Sheet1, caseta B3)/
456,160 (Sheet1, caseta B4)/
314.000 (Sheet1, caseta B5),
Moments of Inertia I1, I2
19165.04 (Sheet1, caseta C1)/
82406.16 (Sheet1, caseta C2)/
39740.63 (Sheet1, caseta C3)/
16277.76 (Sheet1, caseta C4)/
7850.00 (Sheet1, caseta C5),
lorsional Constant J
38330.08 (Sheet1, caseta D1)/
164812.30 (Sheet1, caseta D2)/
79401.25 (Sheet1, Caseta D3)/
15700.00 (Sheet1, caseta D4)/
Stress Recovery:
1 Y 00 Z 125 2 Y 00 Z -125
3 Y 12.5 Z 0.0. 4 Y -12.5 Z 0.0/
1 Y 0.0 Z 18.0, 2 Y 0.0 Z -18.0.
3 Y 18.0 Z 0.0, 4 Y -18.5 Z 0.0/
1 Y 0.0 Z 15.0, 2 Y 0.0 Z -15.0,
3 Y 15.0 Z 0.0, 4 Y -15.0 Z .0.0/
1 Y 0.0 Z 12.0, 2 Y 0.0 Z -12.0,
3 Y 12.0 Z 0.0, 4 Y -12.0 Z 0.0/
1 Y 0.0 Z 10.0, 2 Y 0.0 Z -10.0,
3 Y 10.0-Z 0.0, 4 Y -10.0 Z 0.0;
$DK \rightarrow$

Define Property BAR Element Type Cancel

laturilor ultimului și primului element finit considerate în sensul pozitiv al liniei). Ferestrele de dialog ale comenzii **Along Curve...** a submeniului **Mesh Size** se repetă pentru cele cinci grupe de linii discretizabile cu aceiași parametri, separate cu simbolul "/".

Tabelul A2.6

Т	ab	elul	A2.5	5

Setare schemă de discretizare					
Succesiuni meniu-comandă-ferestre					
• Generate \rightarrow Mesh Size \rightarrow	•				
Along C <u>u</u> rve \rightarrow	I				
Entity Selection - Enter Curve(s) to Set	Based				
Mesh Size	I				
7 1, 2, 7/ 3/ 4, 5/ 6/ 8, 9, 10 (selectare cu	C				
mouse-ul); <u>O</u> K →	dis.				
Mesh Size along a Curve	F				
Number of Elements 3/ 6/ 10/ 8/ 4;	C II C				
Bias 1/1/1/1/1; OK →	Colored State				
Entity Selection - Enter Curve(s) to Set	A				
Mesh Size	Š				
Cancel.	E				
Imaginea rezultată					
	1				
128 4 5 6 7 8 9 18	1				
••••••••••••••••••••••••••••••••••••••	20102				
	F				

Pentru cazul prezentat în această aplicație, se consideră factorul de finețe egal cu unitatea, și deci, elementele finite ale unei linii vor avea lungimi egale.

După introducerea datelor în ferestrele de dialog din tabelul A2.5 și ieșirea din ultima prin butonul **OK**, pe liniile modelului geometric apar simboluri rombice în concordanță cu valorile introduse.

Generarea efectivă a nodurilor și elementelor finite, presupune parcurgerea meniurilor, submeniurilor și ferestrelor de dialog, conform tabelului A2.6. În câmpurile ferestrei de dialog Entity Selection-Select Curve(s) to Mesh se selectează liniile care urmează să fie discretizate cu elemente finite cu proprietățile Tronson1, Tronson2,... Tronson5 selectate din câmpul Property al ferestrei de dialog Geometry Mesh Options. În plus, cu ajutorul ferestrei de dialog Vector Axis - Define Element Orientation se definește direcția secțiunii elementului finit, care în cazul acestei probleme, este axa Y a sistemului de coordonate global.

Ultima succesiune din tabelul A2.6 conduce la anularea vizualizării

Generare noduri și elemente finite
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• Generate \rightarrow On Geometry \rightarrow Along Curve \rightarrow Entity Selection-Select Curve(s) to Mesh D 1 to 2 More D 6 to 7 (say selectore
cu mouse-ul); <u>O</u> K → Geometry Mesh Options Property ↓ 1Tronson1; <u>O</u> K →
Vector Locate - Define Element Orientation Vector Methods → ⊙ Axis; OK → Vector Axis - Define Element Orientation
Base X 0.0, Y 0.0, Z 0.0; Direction: \odot Positive, \odot Y Axis; OK → Entity Selection-Select Curve(s) to Mesh D 3 (sau selectare cu mouse-ul); OK →
Geometry Mesh Options Property \downarrow 2Tronson2; QK \rightarrow 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 D 4 to 5 (sau selectare cu mouse-ul);OK→ Geometry Mesh Options
Property \downarrow 3Tronson3; OK \rightarrow Vector Axis - Define Element Orientation Base: X 0.0, Y 0.0, Z 0.0; Direction: \odot Positive, \odot Y Axis; OK \rightarrow
Entity Selection-Select Curve(s) to Mesh D 8 (sau selectare cu mouse-ui); <u>O</u> K → Geometry Mesh Options Property ↓ 4Tronson4; 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
D9 to10 (sau selectare cu mouse-ul); OK → Geometry Mesh Options Property ↓ 5Tronson5; OK → Vector Axis - Define Element Orientation
Base: X 0.0, Y 0.0, Z 0.0; Direction: \odot Positive, \odot Y Axis; $OK \rightarrow$ Entity Selection-Select Curve(s) to Mesh Cancel
\underline{V} iew $\rightarrow \underline{O}$ ptions \rightarrow

Tabelul A2.6 (continuare)
View Options
Options Node; Label Mode 0 No Labels;
Options Element; Label Mode
0No Labels; OK.
Imaginea rezultată
Фереральной как и как

identificatorilor nodurilor și elementelor finite prin selectarea variantei 0..No Labels în câmpurile Label Mode asociate textelor Node și Element din câmpul listă Optio<u>n</u>s.

A2.4.2.4. Introducerea condițiilor limită

În vederea măririi lizibilității modelului, pentru selectarea nodurilor cu restricții de deplasare și încărcări cu forțe concentrate, se anulează vizualizarea entităților de tip linie și nod dezactivând opțiunile Curve și Node în fereastra View Quick Options, activată de butonul rapid cu simbolul prezentat în prima succesiune din tabelul A2.7.

Condițiile limită impuse în cadrul modelului de analiză (v. fig. A.2.1,b, pag.

Introducere condiții limită
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
Title Reazem1; <u>OK</u> . • <u>Create</u> \rightarrow Constraint \rightarrow Nodal \rightarrow Enter Selection - Enter Node(s) to Select
ID 4 (sau selectare cu mouse-ul); <u>OK</u> → Create Nodal Constraint/DOF DOF: ⊠ TX, ⊠ TY, ⊠ TZ, ⊠ RX; <u>OK</u> →
Enter Selection - Enter Node(s) to Select ID 16 (sau selectare cu mouse-ul); OK → Create Nodal Constraint/DOF
DOF: $[X] X, [X] Y, [X] Z; OK \rightarrow$ Enter Selection - Enter Node(s) to Select Cancel.
Imaginea rezultatà
есовосовое на

108) se grupează în setul numit Reazem1, cu cea de-a doua succesiune din tabelul A2.7, și se intoduc prin parcurgerea ultimei succesiuni din acest tabel. Aceasta implică selectarea nodurilor în fereastra Enter Selection - Enter Node(s) to Select și activarea mobilităților anulate în caseta DOF din fereastra Create Nodal Constraint/DOF. Selectarea nodurilor cu deplasări nule se poate face prin introducerea identificatorilor de la tastatură sau, mai practic, prin selectarea cu mouse-ul a nodurilor suprapuse peste punctele de reazem ale arborelui. Imaginea rezultată după parcurgerea ultimei succesiuni conține simbolurile reazemelor introduse cu etichetele asociate care menționează gradele de libertate corespunzătoare deplasărilor anulate (1 - TX, 2 -TY, 3 - TZ, 4 - RX).

A2.4.2.5. 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 A2.8. Introducerea valorilor forțelor radială și tangențială în câmpurile TY și TZ ale ferestrei **Create Nodal Loads** (a doua succesiune din tabelul A2.8), se face prin inserare după copierea, via clipboard, din casetele **Excel**, parcurgând paşii prezentați anterior. Selectarea nodurilor cu încărcare se va realiza de la tastatură sau cu mouse-ul în zona punctelor asociate. Valoarea forței radiale din roata de curea și a momentului de torsiune se introduc, în câmpurile corespunzătoare (TY, RX), direct de la tastatură. În figura din tabelul A2.8 se prezintă imaginea izometrică: a: modelului

Tabelul A2.7

Tabelul A2.8.

Tabelul A2.9

Verificare model cu elemente finite
Succesiuni meniu-comandă-ferestre
• Chec <u>k</u> \rightarrow Coincident <u>N</u> odes \rightarrow
Entity Selection-Enter Nodes to Check
Select All; <u>O</u> K →
MSC/NASTRAN for Windows
No, OK →
Check/Merge Coincident Options
IX Merge Coincident Entities;
Maximum Distance to Merge 0.1; OK.
• Check \rightarrow Constraints \rightarrow
MSC/NASTRAN for Windows
Include Nodal Permanent Constraints? No I

rezultat în urma parcurgerii ultimei succesiuni din acest tabel, care conține vectorii asociați forțelor și momentului de torsiune (săgeți duble) cu menționarea valorilor acestora.

A2.4.3. Verificarea modelului cu cu elemente finite

Deoarece discretizarea structurii modelului geometric s-a realizat separat pentru fiecare linie se impune verificarea continuității structurii de elemente finite la nivel nodal și generarea unui singur nod în cazul în care există noduri care se suprapun. Aceasta se realizează cu ajutorul comenzii Coincident Nodes... din meniul Check (tabelul A2.9) prin activarea optiunii de unire a nodurilor suprapuse (Merge Coincident Entities) și introducerea abaterii maxime de suprapunere (Maximum Distance to Merge) în fereastra de dialog Check/Merge Coincident Options. După executia acestei comenzi în zona de mesaje a ferestrei principale se observă textul: 5 Node(s) Merged, care mentionează că au fost unite 5 seturi de cîte două noduri suprapuse.

Suficiența rezemărilor introduse se verifică prin supraunitaritatea valorilor

Introducere încărcări

Succesiuni meniu-comandă-ferestre

• <u>Create</u> → <u>Load</u> → <u>Set...</u> → Create or Activate Load Set <u>Title: Incarcare1; OK.</u> • <u>Create</u> → <u>Load</u> → <u>Nodal...</u> → Entity Selection-Enter Node(s) to Select

ID 38 (sau selectare cu mouse-ul); <u>O</u>K → Create Nodal Loads Value: ⊠ TY 1466.67 (Sheet2, caseta D), ⊠ RX 22000; <u>O</u>K → Entity Selection-Enter Node(s) to Select ID 38 (sau selectare cu mouse-ul); <u>O</u>K →

Create Nodal Loads Value ⊠ TZ 533.82 (Sheet2, caseta E); <u>O</u>K →

Entity Selection-Enter Node(s) to Select ID 57 (sau selectare cu mouse-ul); <u>O</u>K → Create Nodal Loads Value: ⊠ TY 400, ⊠ RX -22000; <u>O</u>K → Entity Selection-Enter Node(s) to Select

Cancel. • View \rightarrow Rotate... \rightarrow

View Select Isometric; OK.



factorilor, asociați gradelor de libertate anulate, din lista de mesaje prezentată în fig. A2.4, care apare după execuția comenzii **Constraints...** din meniul **Check** (ultima succesiune din tabelul A2.9). Rotirile modelului după axele Y și Z sunt anulate de restricțiile de

Analiza statică liniară a structurilor din bare (II)

Constraint Factor	rs for Set 1										
Translation	X =	2.	¥ =		2.	Z	#				2.
Rotation	X =	1.	Ψ =		Ø.	Z	11			1	Ø.
Max Separation	of X Constraint	s X =	118.	¥	- 8.			z	H	Ø.	
Max Separation	of Y Constraint	:s X =	- 110.	¥.	= Ø.			Ζ	=	٥.	
Max Separation	of Z Constraint	:s X =	- 110.	ų	≈ Ø.			Z	=	٥.	

Fig. A2.4. Mesajul de verificare a condițiilor limită

translație, situație indicată de valorile supraunitare ale factorilor Max Separation.

A2.5. Rezolvarea modelului

În tabelul A2.10 se prezintă succesiunea meniu-comandă-ferestre pentru lansarea în execuție a modelului întocmit și încărcarea fișierelor rezultate în vederea postprocesării. Parametrii asociați modelului cu elemente finite: tipul problemei (1...Static), seturile de condiții limită (1...Reazem1) și de încărcare (1...Incarcare1), din fereastra **MSC/NASTRAN Analysis Control**, sunt setați automat. 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 <u>Y</u>es din fereastra **MSC/NASTRAN for Windows**. Vizualizarea etapelor de analiză și de rezolvare și a mesajelor de eroare și de informare se pot urmări în ferestrele **MSC/NASTRAN Manager** și, respectiv, **Message Review**. În cazul inexistenței erorilor fatale (0...Fatal Error(s)) se continuă analiza prin activarea butoanelor **Continue**, din fereastra **Message Review**, și <u>Yes</u>, din cea de-a doua fereastră **MSC/NASTRAN for Windows**, care confirmă începerea încărcării fișierelor în vederea postprocesării. Realizarea cu succes a rezolvării modelului este confirmată de apariția următorului mesaj: (Ending Conversation with MSC/NASTRAN Results Reader...) ... Please Continue.

Când în fereastra de mesaje, **Message Review**, se evidențiază existența erorilor fatale se consultă lista asociată obținută în urma activării butonului **Show Details**, se întrerupe analiza și se modifică sau se reface modelul cu elemente finite. Se recomandă ca și în cazul mesajelor de avertizare (Warnining) să se consulte lista explicită de mesaje,

deoarece și în acest caz, uneori, este posibil ca rezultatele obținute să nu fie postprocesabile.

A2.6. Postprocesarea rezultatelor

Verificarea. în principiu. rezultatelor obținute în urma rezolvării modelului se poate face analizând starea deformată și simularea prin animație a procesului de deformare. Aceste operații se realizează parcurgând succesiunile din A2.11. Prima tabelul succesiune modului presupune selectarea de reprezentare а structurii în stare deformată, prin activarea optiunii Deform, în caseta Deformed Style a fereastrei View Select, și a seturilor de rezultate
 Tabelul A2.10

 Analiza modelului cu elemente finite

Succesiune meniu-comandă-ferestre

• File \rightarrow Analyze \rightarrow
MSC/NASTRAN Analysis Control
Analysis Condition: Analysis Type
\downarrow 1Static, Loads \downarrow 1Incarcare1,
<u>Constraints</u> \downarrow 1Reazem1; <u>OK</u> \rightarrow
MSC/NASTRAN for Windows
OK to Save Model Now? Yes →
MSC/NASTRAN Manager
→ .
Message Review
Continue \rightarrow
MSC/NASTRAN for Windows
OK to Begin Reading File
MSCN4W20\I100.xdb? Yes.

115

(1..MSC/NASTRAN Case 1) si deparametrii (1...Total Translation), din câmpurile corespunzătoare din fereastra Select Postprocessing Data. În această fereastră se pot observa și mesajele de informare cu valorile extreme (maxime și minime) ale parametrilor selectati; în cazul considerat deplasarea totală maximă are valoarea 0,01033 mm în nodul 61.

Pentru vizualizarea animată a procesului de deformare se activează opțiunea Animate din câmpul Deformed Style al fereastrei de dialog din cea de-a doua succesiune cuprinsă în tabelul A2.11.

Vizualizarea variatiei eforturilor (forta de forfecare si momentele de încovoiere și de torsiune) de-a lungul axei arborelui se obtine parcurgând prima succesiune din tabelul A2.12. Astfel, comanda Select... din meniul View conduce la fereastra de dialog View Select în care se activează opțiunea Beam corespunzătoare Diagram din caseta reprezentărilor de tip contur de câmpuri (Contur Style) si butonul Deformed and Contur Data... care conduce la fereastra Select Postprocessing Data. În câmpurile de texte Output Set și Conturs ale acestei ferestre se selectează setul de rezultate, codificat 1..MSC/NASTRAN Case 1, şi parametrul a cărei variație urmează să fie vizualizată. Exemplul prezentat în tabelul

A2.12 presupune selectarea succesivă în câmpul Contours a codurilor corespunzătoare momentului de torsiune (3008..Bar EndA Torque Force), forțelor de forfecare din planele XZ şi XY (3004..Bar EndA PI1 Shear Force şi, respectiv, 3005..Bar EndA PI2 Shear Force), momentelor de încovoiere din planele XZ şi XY (3000..Bar EndA PI2 Shear Force), momentelor de încovoiere din planele XZ şi XY (3000..Bar EndA PI2 Shear Force), si tensiunilor rezultante (3009..Bar EndA Max Comb Stress). Litera A din simbolurile parametrilor indică extremitatea elementului finit, de tip **Bar** (v. fig. 1.37, pag. 34). Corespunzător acestor selectări în zona de lucru a ferestrei principale apar imaginile prezentate, în aceiași ordine, și în tabelul A2.12.

Listarea parametrilor asociați unui nod sau unui element finit se realizează parcurgând succesiunea din tabelul A2.13. Comanda de listare Query... din submeniul Output, conținut de meniul List, activează fereastra de dialog Output Query care permite selectarea entităților de tip nod sau element finit pentru care se dorește lista parametrilor. Cu ajutorul butonului More se pot selecta succesiv mai multe entități. După activarea butonului OK în zona de



Tabelul A2.13
Vizualizare parametrii nodali şi elementali
Succesiune meniu-comandă-ferestre
List → Output → Query → Output Query Entity Node; ID 38; More; Entity Node; ID 16; OK.





mesaje a ferestrei principale apar listele cu parametrii asociați entităților selectate. Pentru nodurile 38 și 36, corespunzătoare punctului de încărcare cu fortele din pinion respectiv, reazemului asociat Şİ, rulmentului dinspre roata de curea. listele cu parametrii asociați sunt prezentate în fig. A2.5. In aceste liste se pot identifica valori pentru deplasările de translatie/rotatie rezultante (Total Translation/Rotation) și în raport cu axele Х, Υ, Ζ (T1/R1, T2/R2, T3/R3 Translation/Rotation). De asemenea, se pot reține și valori ale reacțiunilor de tip forță/moment rezultante (Total Constraint Force/Moment) și în raport cu axele X, Y, Z (T1/R1. T2/R2. T3/R3 Constraint Force/Moment).

A2.7. Concluzii

Analiza structurilor arborilor drepți prin intermediul programelor performante care au la bază MEF, cu modele similare cu cel prezentat în această lucrare, permite proiectantului de sisteme mecanice să facă verificări ale unor structuri existente sau să

NO	le 16				
1	Jutput Set 1 - MSC/NASTR	NR	Case 1		
	Output Vector 1		Total Translation	=	Q.
	Output Vector 2		T1 Translation		8.
	Output Vector 3		T2 Translation	-	0.
	Output Vector 4	-	T3 Translation	=	0.
	Output Vector 5	-	Total Rotation	Ħ	0.09036737
	Output Vector 6	beringe	R1 Rotation	=	-0.00032519
	Output Vector 7		R2 Rotation	=	-0.00916267
	Output Vector 8		R3 Rotation	=	0.000052449
i.	Output Vector 51	-	Total Constraint Force	=	1025.33
	Output Vector 52	-	T1 Constraint Force		8.
	Output Vector 53	-	T2 Constraint Force	n	-779.01
	Output Vector 54	-	T3 Constraint Force		666.668
	Output Vector 55	-	Total Constraint Moment	=	0.
	Output Vector 56		R1 Constraint Moment	1	8.
	Output Vector 57		R2 Constraint Moment	=	0.
	Output Vector 58		R3 Constraint Moment		0.
			÷		
hod	e 38				
, Di	utput Set 1 - MSC/NASTRA	IH	Case 1		
	Output Vector 1	-	Total Translation	100	0.0052058
	Øutput Vector 2	-	T1 Translation	-	0.
	Output Vector 3	-	T2 Translation	=	0.00017754
	Output Vector 4		T3 Translation		-9.8052928
	Output Vector 5		Total Rotation	=	0.000020996
	Output Vector 6	-	R1 Rotation	238	-9.4242E-6
,	Autout Vector 7	_	R2 Rotation	-	0.000013538
	Autout Vector 8		R3 Rotation	=	-0.00001299
	Autnut Nector 51		Total Constraint Force	=	A.
	Autout Nector 52	_	T1 Constraint Force	=	8.
	Autout Nector 53	-	T2 Constraint Force	_	8
	Output Vector 50	_	T2 Ponstraint Force	-	0.
	Autout Nortay EE	_	Total Constraint Moment	_	8
	Autput Vector 32 Autput Hootow EA	_	Personal Constraint Moment	-	Л
	output Vector 20 Autput Vector 27	_	ng constraint Moment	_	V. 0
	Duchas Assess 20	_	NZ BUBLFGIRL RUHENC		ម. ក
		_	AF OF A SHARE THE AT AN A SHEET ALL AND A TO A SHEET ALL AND A DATA	_	

Fig. A2.5. Liste cu parametrii nodali

dimensioneze noi structuri prin repetarea interactivă a modelului de analiză.

Datele obținute sub formă de diagrame, câmpuri și liste cu valori ale parametrilor caracteristici se pot utiliza atât pentru verificarea și optimizarea structurii arborelui cât și pentru studiul elementelor adiacente acestuia (angrenaj și rulmenți).

Pornind de la datele obținute, parțial evidențiate mai sus, se pot face calcule clasice de rezistență la solicitări statice și variabile, de rigiditate și de vibrații. În funcție de valorile obținute se pot face modificări ale structurii arborelui pentru a corespunde condițiilor impuse și pentru a se evita supradimensionările mărite.

Pentru realizarea unei angrenări corespunzătoare se reține valoarea deplasării radiale pentru nodul 38 (T3 Translation = 0,0052058, fig. A2.5) în vederea comparării acesteia cu valoarea admisibilă. Valorile reacțiunilor (Constraint Force, fig A2.5) și rotirea , rezultantă (Total Rotation, fig. A2.5) din nodurile de reazem asociate rulmenților sunt utile pentru calculul de durabilitate al rulmenților și, respectiv, pentru verificarea nedepășirii rotirilor admisibile permise de tipul rulmentului adoptat.

ŝ