

Aplicația AEF-A.16

Analiza statică a mecanismelor cu bare

CUVINTE CHEIE

Analiza statică liniară, Model geometric plan, Starea plană de tensiuni, Material liniar, Element finit 1D, Element finit liniar, Element de mașină, Subansamblu mecanic, Mecanisme cu bare, Articulații

CUPRINS

- A. DESCRIEREA PROBLEMEI
- B. MODELUL DE AEF
- C. PREPROCESAREA MODELULUI DE AEF
- D. REZOLVAREA MODELULUI DE AEF
- E. POSTPROCESAREA REZULTATELOR
- F. ANALIZA REZULTATELOR
- G. CONCLUZII

A. DESCRIEREA PROBLEMEI

A.1 Introducere

În diverse aplicații de analiză cu elemente finite (AEF) este necesară modelarea nu doar a unei piese singulare, ci a unui mecanism, inclusiv a cuplurilor cinematice dintre elementele sale. Mecanismele complexe plane sau spațiale pot fi reduse la mecanisme cu bare (pârghii) și mecanisme cu elemente dințate (roți dințate și cremaliere). Metodele de studiu al mecanismelor complexe cu bare și roți dințate sunt deosebit de diverse, mai ales în domeniul cinematicii, pornind de la ipoteza rigidității componentelor. În lucrarea de față se are în vedere studierea comportării elementelor unui mecanism cu bare, luând în considerare comportamentul elastic al acestora.

A.2 Descrierea aplicației

Din punct de vedere constructiv, cricul auto din figura de mai jos este un mecanism plan alcătuit din patru bare de diverse secțiuni montate pe un suport, un șurub și o piuliță ce realizează o cuplă elicoidală. Cricul analizat poate funcționa în limitele a două poziții: A – începere ridicare și B – ridicare maximă.

Mișcarea pe verticală a plăcii superioare 5 este determinată de modificarea pozițiilor segmentelor laterale 2, montate prin intermediul unor articulații de suportul 1, datorate deplasării axiale a piuliței 6. Șurubul 3 este acționat cu ajutorul manivelei 4.

Toate articulațiile dintre segmentele 2 și suportul 1, dintre segmentele 2 și placa superioară 5, precum și cele dintre segmentele inferioare și cele superioare sunt cuple de rotație plane.

Prin rotirea manivelei 4, datorită piuliței 6, segmentele laterale ale cricului tind să se apropie între ele, generând mișcarea pe verticală, deci ridicarea autovehiculului.



A.3 Scopul aplicației

Aplicația urmărește determinarea valorilor maxime ale câmpurilor deplasărilor, deformațiilor, tensiunilor interne produse în funcționare asupra elementelor componente. Pentru această analiză, s-a luat în considerare utilizarea elementelor unidimensionale datorită simplității construcției geometrice, ușurinței de a modifica profilul elementelor studiate dar și obiectivului principal – cel de a utiliza articulațiile în studiul cu elemente finite.

B. ÎNTOCMIREA MODELULUI PENTRU ANALIZĂ

B.1 Definirea modelului pentru analiză

Pentru întocmirea modelului de analiză cu elemente finite asociat aplicației de față se impune identificarea:

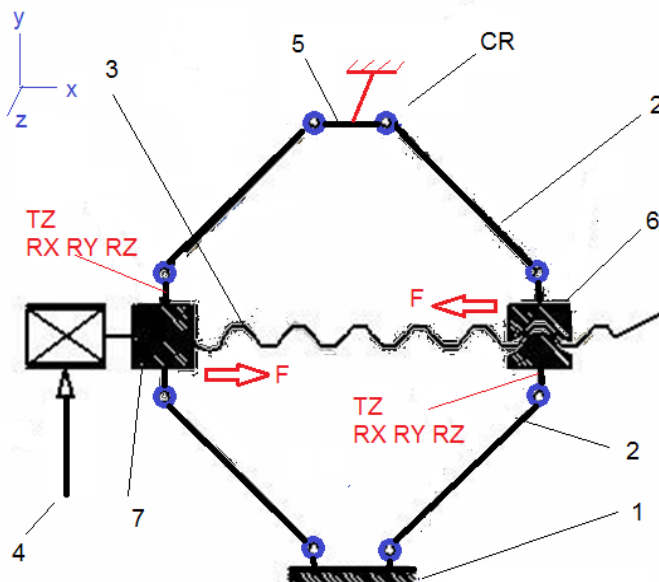
- formei și dimensiunilor geometrice,
- restricțiilor induse de legăturile cu elementele adiacente,
- încărcărilor exterioare și interioare (greutate proprie),
- caracteristicilor materialului.

B.2 Descrierea modelului pentru analiză

Dimensiunile mecanismului studiat, respectiv lungimile segmentelor și secțiunile acestora, sunt prezentate în capitolul C.3.2, C.3.3 și C.3.4, acestea fiind, pe de o parte, preluate din literatura de specialitate și, pe de altă parte, impuse din punct de vedere constructiv astfel încât problema să fie determinată.

Construcția segmentelor 2, a zonelor verticale aferente buclei de ghidare (7) și piuliței 6, placa superioară 5 sunt construite sub formă de bare unidimensionale. Legăturile dintre aceste bare sunt realizat cu articulații de rotație simple (CR în desenul alăturat). În plus, segmentele laterale verticale vor avea mișcări de translație doar în planul mecanismului, fără a exista rotații.

Încărcările exterioare, generate de masa autovehiculului ridicat, sunt modelate prin fixarea rigidă a suportului 1 și a plăcii superioare 5, iar forțele generate de șurub acționează pe axa orizontală, asupra segmentelor verticale laterale, în direcția apropierii segmentelor laterale unul față de celălalt.



B.3 Stabilirea caracteristicilor materialului

Pentru analiza cu elemente finite caracteristicile de rezistență ale materialului, oțel S235 (echivalent OL 37) sunt:

- modulul de elasticitate longitudinală, $E = 204.000 \text{ N/mm}^2$;
- coeficientul contracției transversale (Poisson), $\nu = 0,3$.

C. PREPROCESAREA MODELULUI PENTRU ANALIZĂ

C.1 Activarea și salvarea proiectului

Activarea proiectului

🚩, **Toolbox**: $\downarrow$ **Analysis Systems** $\rightarrow$ $\downarrow$ **Static Structural** (apare automat fereastra subproiectului); $\rightarrow$ [se poate schimba denumirea **Static Structural** în **Cric auto**].

Setarea tipului problemei (3D)

A: $\downarrow$ **Geometry** $\rightarrow$ $\downarrow$ **Properties** $\rightarrow$ **Properties of Schematic A3: Geometry**, **Advanced Geometry Options**: $\downarrow$ **Analysis Type**, [se selectează din listă cu $\downarrow$ **3D**] $\rightarrow$ [se închide fereastra $\downarrow$ **X**].

Salvarea proiectului

Save As... → Save As, File name: [se introduce denumirea, AEF-A.16.] → Save.

C.2 Modelarea caracteristicilor materialului și mediului

Project Schematic: L
Engineering Data ✓ →
Edit... →
Outline of Schematic A2: Engineering Data:
Structural Steel,
Properties of Outline Row 3: Structural Steel:
Isotropic Elasticity →
Young's Modulus, Young's Modulus, [se selectează în lista din coloana C (Unit) cu MPa], [se introduce în caseta din coloana B (Value) valoarea, 204000] →
Update Project →
Return to Project (ceilalți parametri rămân impliciti).

Properties of Outline Row 3: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Density	7850	kg m ⁻³	
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's ...		
8	Young's Modulus	2E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0,3		
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa	
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa	
12	Alternating Stress Mean Stress	Shear Modulus		
16	Strain-Life Parameters			
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa	

În cazul în care fereastra Properties of Outline Row 3: Structural Steel nu este vizibilă, se vor activa din meniul View opțiunile Outline și Properties sau Reset Workspace, apoi comanda Engineering Data Sources.

C.3 Modelarea geometrică

C.3.1 Încărcarea modulului DesignModeler (DM)

Project Schematic: L Geometry → DM New Geometry... → ANSYS Workbench: Millimeter, OK.

C.3.2 Generarea punctelor

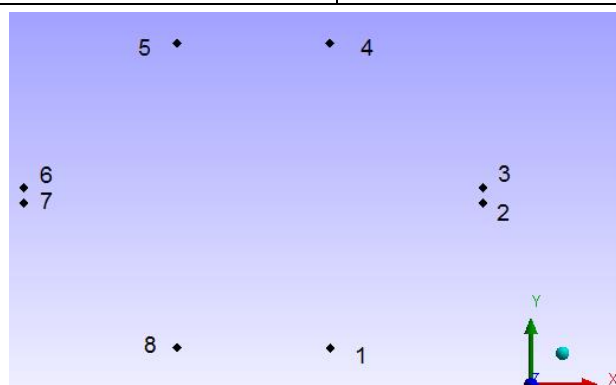
În programul Notepad se generează un fișier de tip txt cu forma prezentată alăturat, care se va salva cu denumirea puncte_cric.txt. Acesta va conține coordonatele punctelor de construcție a cricului.

puncte_cric.txt - Notepad				
File	Edit	Format	View	Help
1	1	50	0	0
1	2	150	95	0
1	3	150	105	0
1	4	50	200	0
1	5	-50	200	0
1	6	-150	105	0
1	7	-150	95	0
1	8	-50	0	0

DM → Modeling → Create → Point → Details View
→ Details of Point 1 → Definition: From Coordinates File; Coordinates File ...: se selectează fișierul anterior salvat (puncte_cric.txt) → Generate

Details View	
Details of Point1	
Point	Point1
Type	Construction Point
Definition	From Coordinates File
Coordinates File	None
Tolerance	Normal

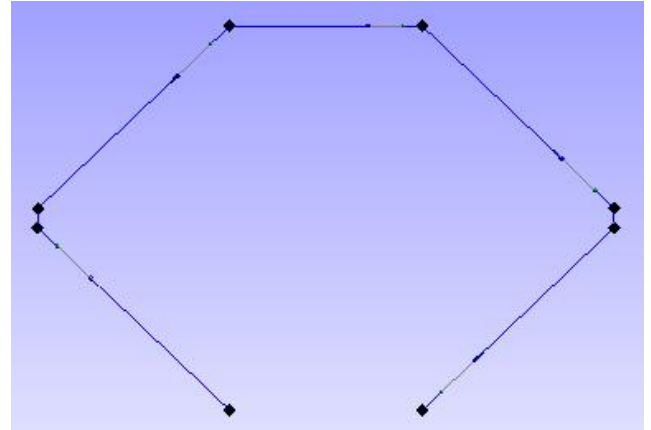
Se vor obține, automat, cele 8 puncte în planul xOy, ca în figura de mai jos:



C.3.3 Generarea segmentelor

DM → Modeling → Concept → Lines From Points → Details View → Details of line 1 → Point Segments [ținând tasta *Ctrl* apăsată, se selectează punctele P1 și P2]: Apply → Generate .

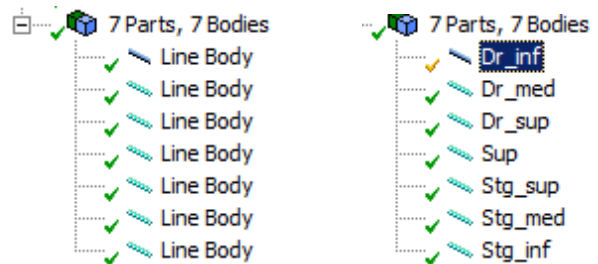
În același mod, folosind opțiunea Operation: Add Frozen din Details View, se construiesc segmentele corespunzătoare perechilor de puncte: (P2, P3), (P3, P4), (P4, P5), (P5, P6), (P6, P7), (P7, P8). Se va obține structura din fig. a.



a.

Schimbarea denumirii segmentelor

DM → Modeling → Line Body → Rename → se redenumesc segmentele create conform structurii din fig. b.



b.

C.3.4 Generarea secțiunilor

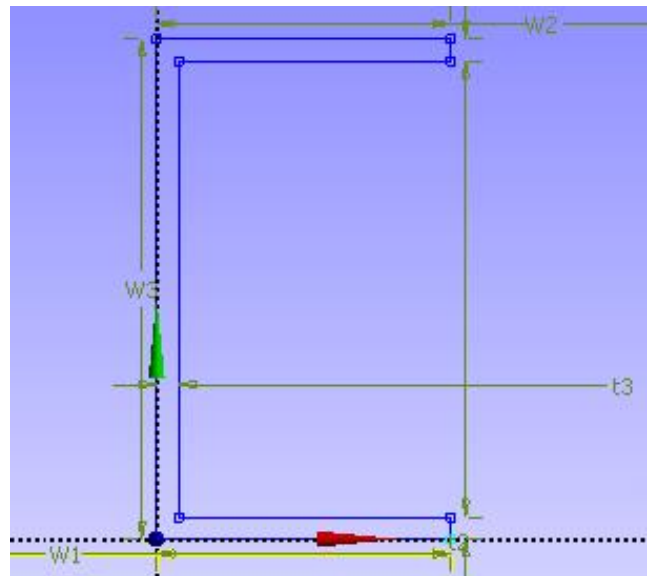
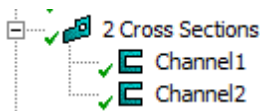
DM → Modeling → Concept → Cross Section → Channel Section → Details View → Details of

Channel 1 → Sketch: Channel1 (U34);

Dimensions: W1 = 20 mm, W2 = 20 mm, W2 = 34 mm, t1 = 1,5 mm, t2 = 1,5 mm, t3 = 1,5 mm →

Generate (fig. a)

Se va proceda identic pentru un profil Channel2 (U30) cu dimensiunile: W1 = 15 mm, W2 = 15 mm, W2 = 30 mm, t1 = 2 mm, t2 = 2 mm, t3 = 2 mm.

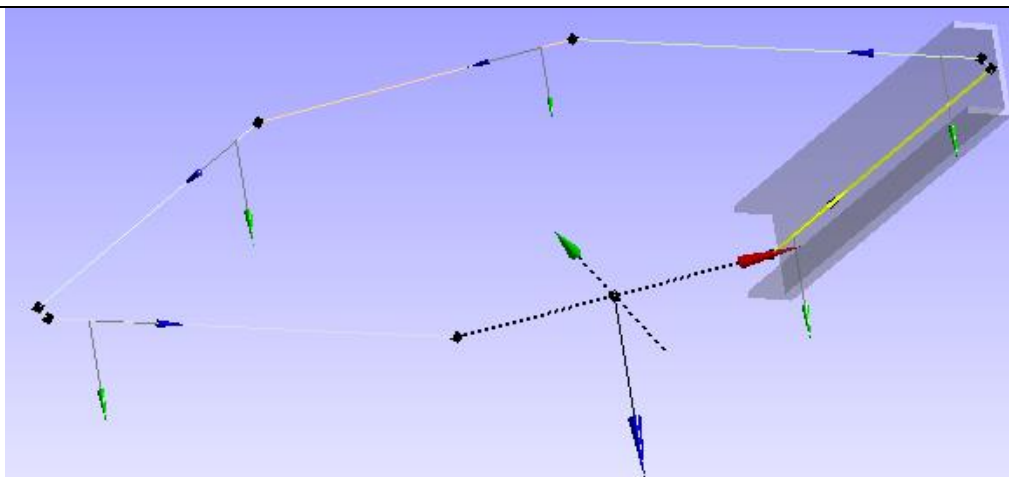


a.

C.3.5 Atribuirea profilelor transversale

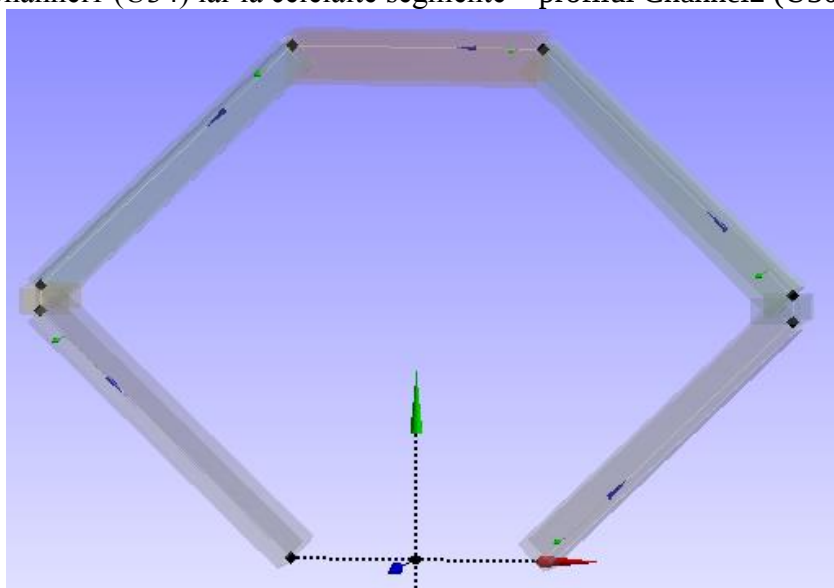
Pentru finalizarea procedurii de generare (construire) a unui profil, se procedează astfel:

DM → Dr_inf → Details View → Details of Line Body → Cross Section: Channel2; Offset Type: Centroid; Modeling → View → Cross Section Solids [se activează opțiunea de vizualizare 3D a tronsoanelor] → [se verifică dacă profilele sunt orientate corespunzător; orientarea profilului este vizualizată cu ajutorul unor săgeți verzi; dacă profilul nu este simetric iar acesta nu este orientat conform proiectului (fig. a), se poate modifica orientarea astfel: Dr_inf → Details View → Line Body-Edge → Reverse Orientation? Yes] → Offset Type: Centroid → Generate .



a.

Se repetă ultima operație pentru toate segmentele (fig. b), având grijă ca la segmentele *Dr_med*, *Sup*, *Stg_med* să fie atașate profilul Channel1 (U34) iar la celelalte segmente – profilul Channel2 (U30).



b.

C.3.6 Salvarea modelului geometric

DM → (Save Project) → File → Close Design Modeler.

C.4 Modelarea cu elemente finite

C.4.1 Lansarea modului de modelare cu elemente finite și setarea caracteristicilor de material și tipului problemei

Lansarea modului de modelare cu elemente finite

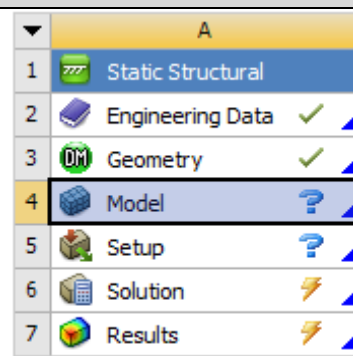
Project Schematic → Model → se lansează modulul Mechanical [ANSYS Multiphysics].

Geometry → Details of "Geometry" → Definition → Element

Control: Program Controlled.

Setarea sistemului de unități de măsură

Units → Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) (se setează sistemul de unități de măsură, de obicei, implicit).



Cric auto

Setarea caracteristicilor de material

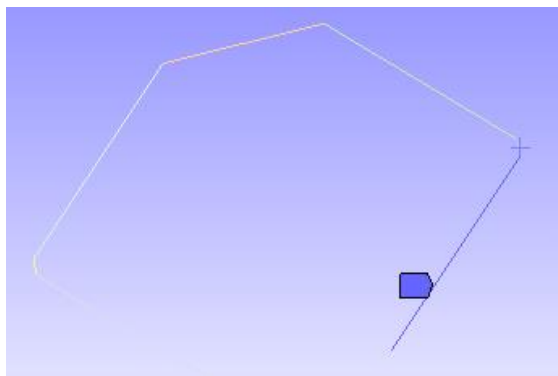
Outline: Geometry → Dr_inf → Details of "Dr_inf" → Material: Assignment → [se va selecta din listă cu Structural Steel (setare implicită)]. Se va repeta operația și pentru celelalte segmente.

Setarea tipului modelului

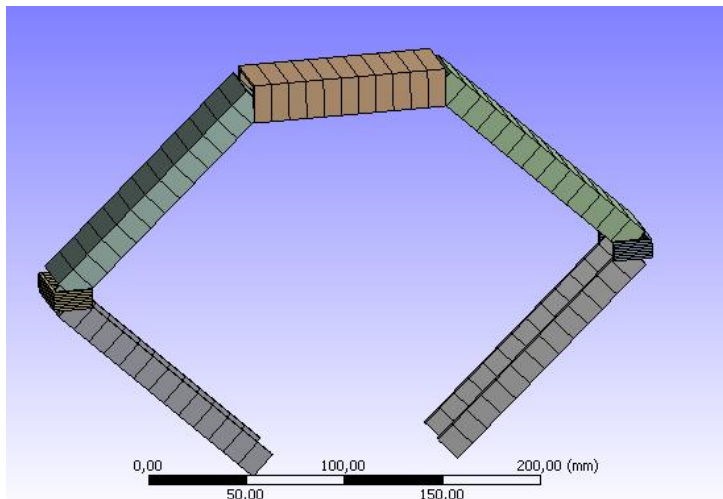
Outline : Geometry → Details of "Geometry", Definition : 3D Behavior.

C.4.2 Discretizarea modelului și setarea dimensiunilor elementelor finite

Mesh → Mesh Control → Sizing → Details of "Edge Sizing" - Sizing → Scope → Select Geometry: [se va selecta cu un segment din geometria structurii (fig. a), folosind filtrul de selecție (Edge)] Apply; Definition Element → Size: Default → Update. Se va repeta operația și pentru celelalte segmente, obținându-se structura din fig. b.



a.



b.

C.5 Modelarea cuplelor și constrângerilor

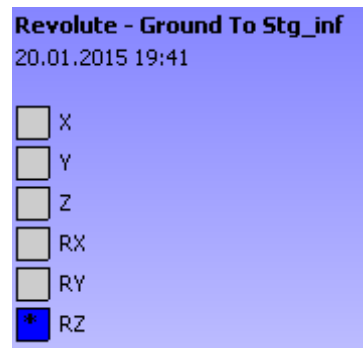
Introducerea accelerației gravitaționale

Static Structural (B5) → Inertial → Standard Earth Gravity (selectarea accelerației gravitaționale implică luarea în calcul a greutății proprii a structurii metalice) → Details of "Standard Earth Gravity" → Definition → Direction : -Y Direction.

Introducerea cuplelor de legătură cu baza

Connections → Body-Ground → Revolute → Details of "Revolute - Ground To No Selection" → Mobile → Scope: [se selectează punctul 1 cu ajutorul filtrului de selecție (Point)]. Se are în vedere realizarea unei cuple de rotație în jurul axei Oz.

Details of "Revolute - Ground To No Selection"	
Definition	
Connection Type	Body-Ground
Type	Revolute
Torsional Stiffness	0, N·mm/°
Torsional Damping	0, N·mm·s/°
Suppressed	No
Reference	
Coordinate System	Reference Coordinate System
Mobile	
Scoping Method	Geometry Selection
Scope	No Selection
Body	No Selection
Initial Position	Unchanged

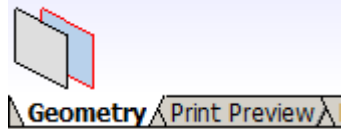


Se va repeta operația și pentru punctul 8, în legătură cu baza.

Introducerea cuplelor de legătură între segmente

Connections → Body-Body → Revolute → Details of "Revolute - No Selection To No Selection" → Reference → Scope: [se selectează punctul 2 de pe segmentul Dr_inf, cu ajutorul filtrului de selecție (Point)] → Apply → Mobile → Scope: [se selectează același punct 2, dar care este situat pe segmentul

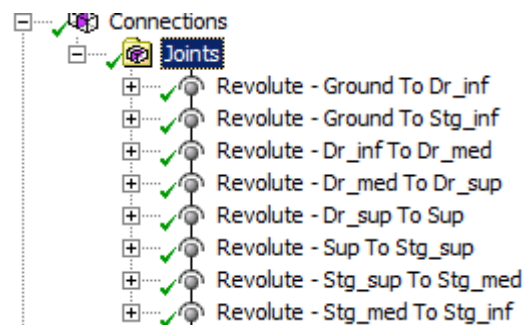
Dr_med, cu ajutorul filtrului de selecție  (Point)] → **Apply**. În momentul selectării aceluiași punct, în colțul din stânga jos a ferestrei grafice va apărea simbolul de mai jos, ce reprezintă buton de comandă pentru alternarea selecției celor două entități (segmente, în acest caz) prin apăsarea cu mouse-ului a celor două plane.



Details of "Revolute - No Selection To No Selection"	
Torsional Damping	0, N·mm·s/°
Suppressed	No
Reference	
Scoping Method	Geometry Selection
Scope	No Selection
Body	No Selection
Coordinate System	Reference Coordinate System
Behavior	Rigid
Pinball Region	All
Mobile	
Scoping Method	Geometry Selection
Scope	No Selection
Body	No Selection
Initial Position	Unchanged
Behavior	Rigid

Details of "Revolute - Dr_inf To Dr_med"	
Torsional Damping	0, N·mm·s/°
Suppressed	No
Reference	
Scoping Method	Geometry Selection
Scope	1 Vertex
Body	Dr_inf
Coordinate System	Reference Coordinate System
Behavior	Rigid
Pinball Region	All
Mobile	
Scoping Method	Geometry Selection
Scope	1 Vertex
Body	Dr_med
Initial Position	Unchanged
Behavior	Rigid

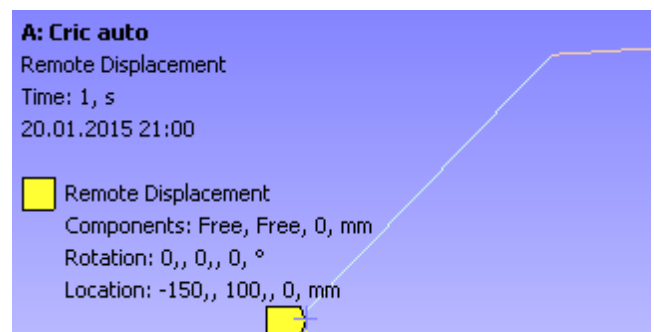
Se va repeta operația pentru celelalte cuple de rotație, în punctele 3, 4, 5, 6, 7 și se vor obține cuplele prezentate în arborescența de mai jos.



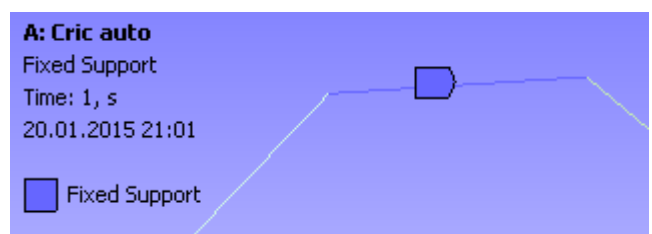
Introducerea constrângerilor de funcționare

Cricul va funcționa luând în considerare ipoteza că segmentele laterale mediane se vor putea deplasa doar în planul xOy, fără posibilitatea de a se roti.

 →  **Static Structural (B5)** →  **Supports** →  **Remote Displacement** → **Details of "Remote Displacement"** → **Scope** → Geometry: [se va selecta cu  segmentul lateral Dr_med] → **Apply**; **Definition** → X Component: free, Y Component: free, Z Component: 0, Rotation X: 0, Rotation Y: 0, Rotation Z: 0.
Se va repeta procedura și pentru segmentul Stg_med.



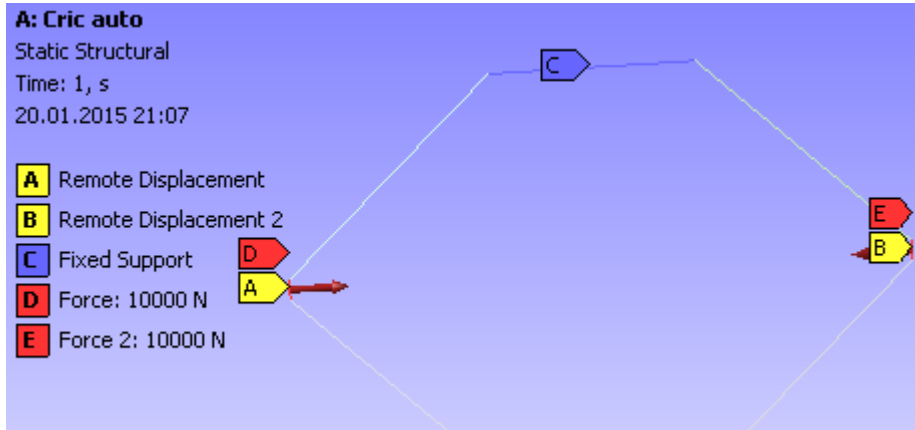
 →  **Static Structural (B5)** →  **Supports** →  **Fixed Support** → **Details of "Fixed Support 2"** → **Scope** → Geometry: [se va selecta cu  segmentul superior Sup] → **Apply**.



C.6 Modelarea încărcărilor

Introducerea forțelor

M → **Static Structural (B5)** → **Loads** → **Force** → **Details of "Force"** → **Scope** → Geometry: [se va selecta cu **↵** segmentul lateral *Dr_med*] → **Apply**; **Definition** → Define by: Components → X Component = 10.000 N, Y Component = 0, Z Component = 0. Se va repeta procedura și pentru segmentul *Stg_med*, schimbând doar sensul forței, spre interiorul mecanismului.
Constrângerile și încărcările structurii vor arăta ca în fig. a.



a.

D. REZOLVAREA MODELULUI CU ELEMENTE FINITE

D.1 Lansarea modului de calcul și selectarea tipurilor de rezultate

În vederea selectării tipurilor de date finale ce urmează a fi analizate după lansarea modului de calcul, se va urma seria de comenzi prezentată mai jos.

M → **Solution (A6)** → **Insert** → **Deformation** → **Total** [se folosesc comenzile din caseta de comenzi deschisă cu **↵**]. Același rezultat se poate obține prin utilizarea comenzilor:

Solution (A6) → **Deformation** → **Total** [se folosesc butoanele din barele de meniuri] precum și

Solution (A6) → **Deformation** → **Directional**.

Pentru acest tip de structuri, se poate aplica instrumentul *Beam*, în scopul de a vizualiza tensiunile liniarizate pe elementele componente. Se obișnuiește, în procesul de proiectare a structurilor din bare, să se țină cont de componentele tensiunilor axiale care provin din efectul sarcinilor axiale și de încovoiere pe toate direcțiile în parte. În continuare, se setează și celelalte tipuri de rezultate ce se doresc a fi analizate:

Solution (A6) → **Tools** → **Beam Tool**.

Solution (A6) → **Beam Results** → **Axial Force**.

Solution (A6) → **Beam Results** → **Bending Moment**.

Solution (A6) → **Beam Results** → **Torsional Moment**.

Solution (A6) → **Beam Results** → **Shear Force**.

Solution (A6) → **Probe** → **Joint**.

D.2. Lansarea modului de rezolvare a modelului

M → **Solution (A6)** → **Solve**.

E. POSTPROCESAREA REZULTATELOR

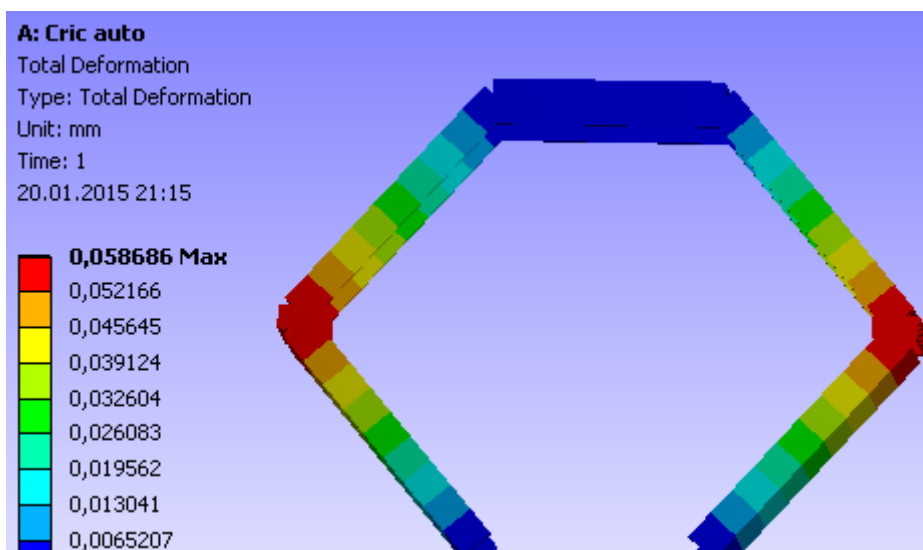
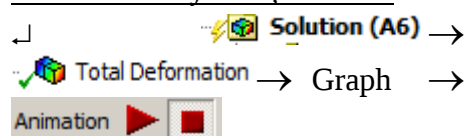
E.1 Vizualizarea câmpurilor de deplasări

Pentru a obține rezultate sugestive, se va seta scala de vizualizare din barele de meniuri:

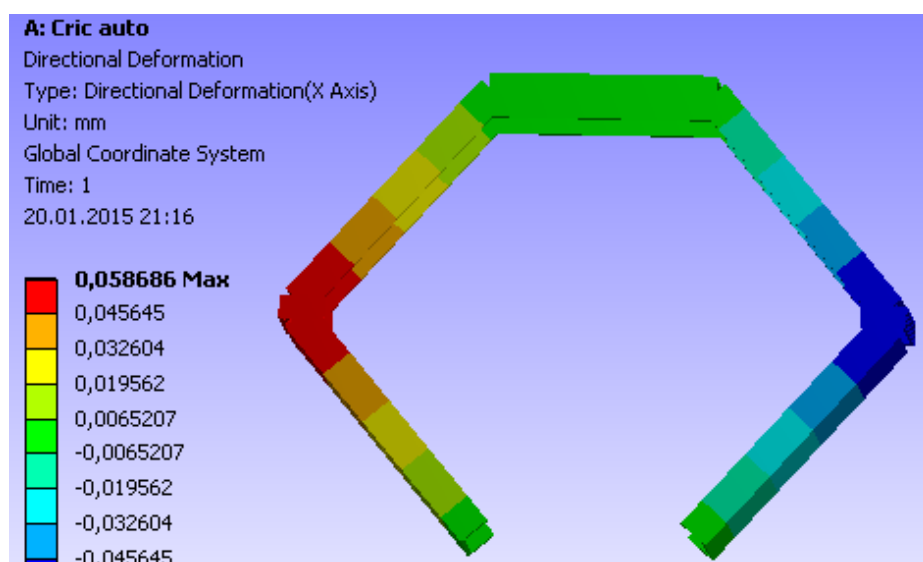
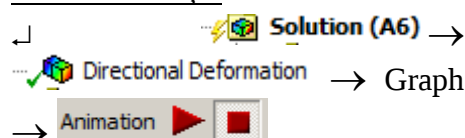
Result 8,6e+002 (Auto Scale) → **Result** 1.0 (True Scale). Se pot utiliza diverse forme de reprezentare a stării deformate, apelând butonul **Edge** (Edge). Se va selecta *Show Underformed WireFrame*, opțiune care afișează în aceeași reprezentare modelele nedeformate și deformat.

Pot fi modificate caracteristicile de vizualizare: numărul de cadre **10 Frames**, precum și timpul de rulare a simulării **2 Sec (Auto)**. Totodată, rezultatul poate fi salvat și sub formă de fișier video prin utilizarea comenzii **Export Video File**. Dacă imaginile nu sunt destul de sugestive, în ceea ce privește modul de deformare a structurii, se poate reveni la modificarea scalei de vizualizare, selectând o valoare superioară: **Result 1,7e+003 (2x Auto)**.

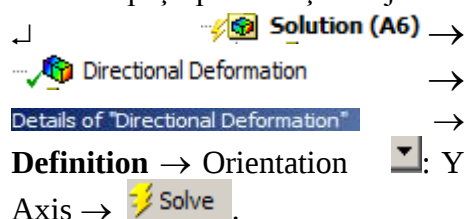
Vizualizare deformăției totale



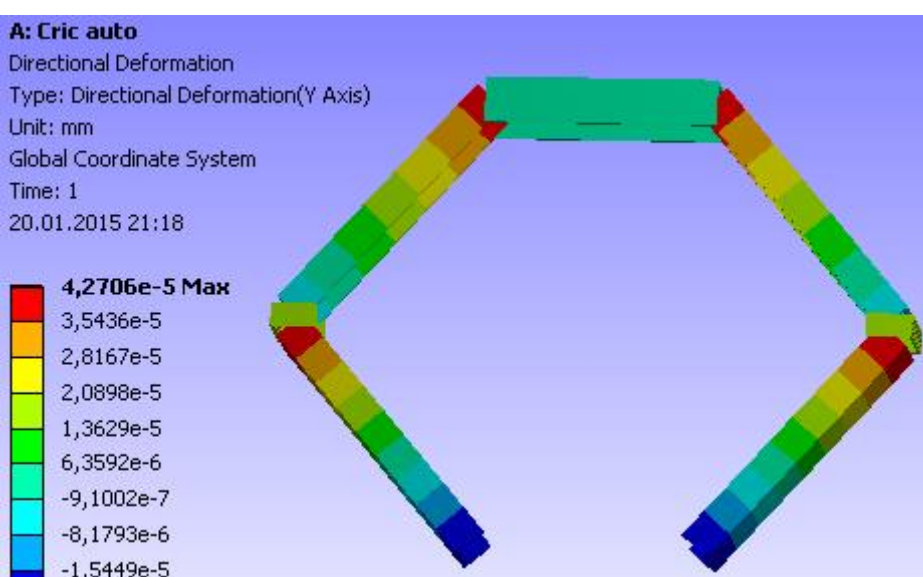
Vizualizare deformăției pe o anumită direcție



În cazul în care se dorește vizualizarea pe altă direcție, se urmează pașii prezentați mai jos:



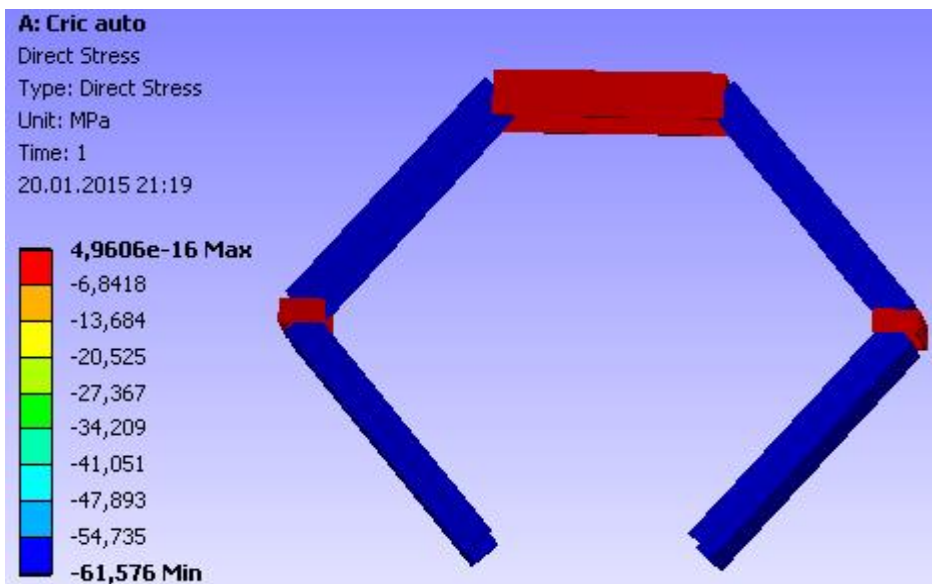
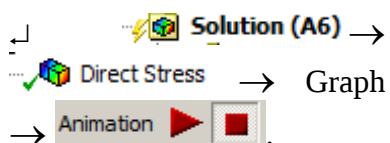
Definition → Orientation **Y**
Axis → **Solve**



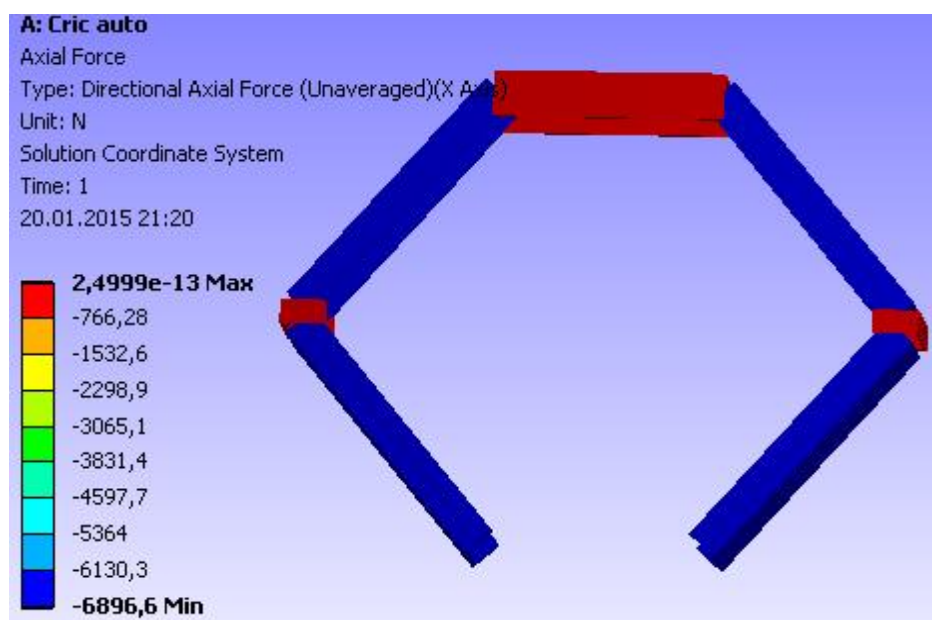
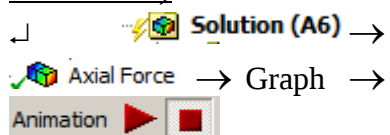
E.2. Vizualizarea câmpurilor de tensiuni, forțe și momente

Tensiunea normală (Direct Stress)

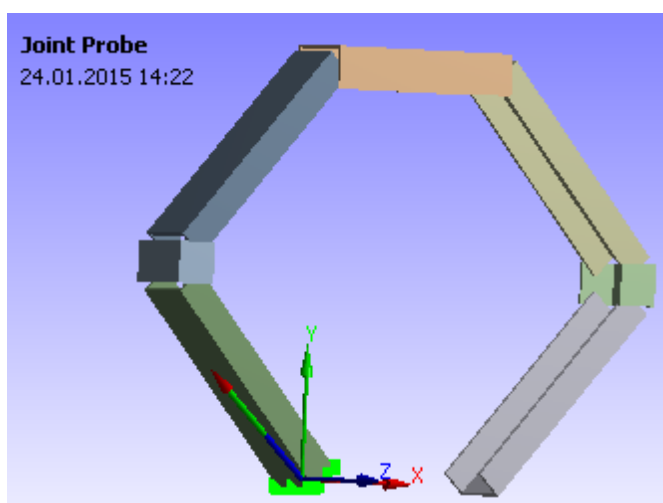
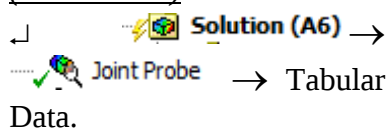
Direct Stress (σ_x) reprezintă componenta tensiunii interne datorată forței axiale dintr-un element al mecanismului.



Forțe axiale (Directional Axial Force)



Reacțiunile în rezeme (Joint Probe)



Tabular Data					
	Time [s]	☒ Joint Probe (Total Force X) [N]	☒ Joint Probe (Total Force Y) [N]	☒ Joint Probe (Total Force Z) [N]	☒ Joint Probe (Total Force Total) [N]
1	1.	-5000.	4500.	1.6211e-005	6726.8

F. ANALIZA REZULTATELOR

F.1 Interpretarea rezultatelor

Din punct de vedere al deformațiilor totale, se observă că valoarea maximă este de 0,05 mm în zona de aplicare a solicitării, pe direcția axei Ox.

Examinând reprezentarea grafică a tensiunilor axiale, se observă că segmentele laterale (2) sunt supuse solicitării de compresiune – reprezentate cu culoarea albastră.

Informațiile referitoare la deformații, coroborate cu informațiile referitoare la tensiunile interne, tensiunile maxime combinate conduc la concluzia că structura rezistă fără probleme sarcinilor, valorile tensiunilor maxime nedepășind limita admisă a materialului (compresiune $\sigma_{ac} = 80 \dots 100$ MPa).

Definition	
Connection Type	Body-Ground
Type	Revolute
Torsional Stiffness	0, N*mm/°
Torsional Damping	0, N*mm*s/°
Suppressed	No
Reference	
Coordinate System	Reference Coordinate System
Mobile	
Scoping Method	Geometry Selection
Scope	1 Vertex
Body	Inf_stg
Initial Position	Unchanged
Behavior	Rigid
Pinball Region	Rigid
Stops	Deformable
	Beam (Beta)

F.2 Studii pentru proiectare

Se observă, în pofida faptului că modelarea mecanismului cu bare articulate a fost efectuată cu ajutorul unor corpuri unidimensionale, că rezultatele obținute sunt sugestive, fiind prezentate într-un mediu 3D, datorită facilității programului folosit de a atașa structurii diverse profile, unele standardizate, altele executate de utilizator.

Modificarea profilelor barelor articulate este foarte ușor de realizat, acest lucru se poate face la chiar și la sfârșitul unei analize, urmând ca după o comandă de actualizare, rezultatele noii analize să se schimbe în funcție de noile condiții inițiale.

Realizarea cuplelor de rotație este facilă, nu este necesară construcția 3D a acestora și modelarea precisă a geometriei lor. Definirea cuplelor de rotație poate ține cont de caracteristicile elastice ale articulației. Poziționarea cuplelor în funcție de profilul barei se poate alege din mai multe variante, oferite de ANSYS.

G. CONCLUZII

Din punct de vedere al fazei de pre-procesare, se poate observa că utilizarea corpurilor 1D implică resurse minime atât pentru modelare cât și pentru discretizare. Un alt punct forte este faptul că profilul transversal al tronsoanelor poate fi modificat / orientat foarte simplu, fără a influența forma de bază a structurii de bare. Mai mult decât atât, este posibilă utilizarea diverselor profile pentru fiecare tronson în parte. Conectarea tronsoanelor se poate realiza în mai multe moduri, în funcție de axa centrală a profilelor utilizate.

Introducerea reazemelor, constrângerilor și solicitărilor se realizează rapid și simplu. Declararea materialelor, precum și discretizarea structurii de bare sunt procese controlabile, putându-se realiza automat sau manual.

Analizând rezultatele obținute prin MEF, se poate constata că aceasta oferă mult mai multe date, într-un timp și cu consumuri de resurse mult mai mici, decât varianta analitică. Se poate constata că structura de grinzi este foarte puțin solicitată, putându-se folosi profile mai mici, în vederea realizării unor economii. Modificarea profilului secțiunilor grinzilor și recalcularea se realizează într-un timp foarte scurt, fiind o procedură facilă.