

## ELEMENTE INTRODUCATIVE PRIVIND MODELAREA CU ELEMENTE FINITE UTILIZÂND SOFT-UL CATIA

Modelarea cu metoda elementelor finite a sistemelor mecanice, utilizând soft-ul CATIA V5R10 sau versiuni evolute (soft care este utilizat pentru modelarea elementelor, subansamblelor și structurilor din prezenta lucrare), este caracterizată de o serie de avantaje care se referă, în principal, la:

- modelarea unor domenii cu geometrie complexă;
- modelarea ansamblelor și subansamblelor;
- flexibilitate;
- modelarea unor categorii relativ mari de materiale existente în biblioteca soft-ului;
- modelarea materialelor cu comportare neliniară;
- modelarea domeniilor unidimensionale, bidimensionale și tridimensionale;
- modelarea legăturilor fixe și mobile dintre elementele componente ale ansamblelor și subansamblelor;
- modelarea legăturilor cu baza (partea fixă);
- modelarea încărcărilor de tip: forțe concentrate sau distribuite; momente; accelerații; mase concentrate sau distribuite; deplasări impuse; accelerații; temperaturi;
- posibilitatea verificării întocmirii corecte a modelului;
- posibilități de analiză statică, a modurilor și frecvențelor proprii de vibrație și de analiză termică;
- viteze relativ mari de analiză a modelului;
- posibilități de vizualizare a rezultatelor sub formă de: câmpuri de valori în codul culorilor; stări deformate și animate; liste de valori; grafice.

Analiza comparativă a rezultatelor obținute în urma rezolvării modelelor întocmite în soft-urile care au la bază metoda elementelor finite (MEF) gen CATIA, PATRAN/NASTRAN și NASTRAN for Windows au evidențiat diferențe nesemnificative (sub 2%), ceea ce confirmă posibilitatea utilizării soft-ului CATIA pentru modelarea cu elemente finite.

Modelarea cu elemente finite prin intermediul soft-ului CATIA presupune, ca și în cazul utilizării celorlalte soft-uri care au la bază MEF, parcurgerea unor etape specifice, prezentate în tabelul 1 [1, 7, 14, 15, 20]. În continuare se prezintă comenzile utilizate în cadrul prezentei lucrări.

Comenzile generale de vizualizare sunt:



**(Fit All In)** ≈ vizualizare a întregului model prin autoscalare.




**(Pan)** ≈ vizualizare a modelului prin translație.



**(Rotate)** ≈ vizualizare a modelului prin rotație.



**(Zoom In)** ≈ vizualizare a modelului prin mărire.

 (**Zoom Out**) ≈ vizualizare a modelului prin micșorare.

Vizualizarea comenzilor “ascunse” se realizează prin parcurgerea comenzilor


**View** ⇒ **Toolbars** ⇒ **Customize...** ⇒ **Commands** ⇒ **Categories/All Commands, Commands**, se selectează comanda dorită ⇒ click mouse stânga și se plasează comanda în bara de comenzi ⇒ se eliberează mouse-ul.

Tabelul 1


<b>PREPROCESAREA</b>	Modelarea domeniului geometric	
	Modelarea materialului	
	Generarea structurii cu elemente finite	- discretizare; - modelare proprietăți; - obținere elemente finite speciale.
	Modelarea constrângerilor	- modelare legături cu elementele adiacente; - modelare legături cu baza.
	Modelarea încărcărilor	
	Verificarea modelului cu elemente finite	
<b>REZOLVAREA MODELULUI CU ELEMENTE FINITE</b>		
<b>POSTPROCESAREA</b>	Vizualizarea și studiul rezultatelor	
	Optimizarea modelului	


**Modelarea domeniului geometric** al problemei constă în descrierea formei și dimensiunilor pieselor sau elementelor componente ale ansamblor și subansamblor care se modelează cu metoda elementelor finite.


În soft-ul CATIA, descrierea profilor plane care stau la baza generării elementelor tridimensionale se realizează în modulul **Sketcher**, prin parcurgerea succesiunilor de comenzi

**Start** ⇒ **Mechanical Design** ⇒ **Part Design** ⇒  (**Sketcher**).


Comenzile din modulul **Sketcher**, utilizate în prezenta lucrare, se referă la:


 (**Snap to Point**) ≈ opțiunea snap de poziționare a mouse-ului la intersecția liniilor din caroiaj.


 (**Construction/Standard Element**) ≈ se desenează/transformă linii sau curbe ajutătoare, fără a fi considerate linii de contur.


























 (**Geometrical Constraints**) ≈ se activează în cazul introducerii constrângerilor geometrice (dimensiuni sau condiții de dependență – coincidență, paralelism, perpendicularitate, concentricitate etc.).













 (**Profile**) ≈ se desenează conturul închis.

 (**Rectangle**) ≈ se desenează un dreptunghi.

 (**Hexagon**) ≈ se desenează un hexagon.

 (**Circle**) ≈ se desenează un cerc, prin metoda **centru - rază**.










-  (Line) ≈ se desenează o linie.
  -  (Point by Clicking) ≈ se desenează un punct, prin metoda **click**.
  -  (Intersection Point) ≈ se desenează un punct la intersecția a două linii.
  -  (Corner) ≈ se generează o racordare.
  -  (Chamfer) ≈ se generează o teșitură.
  -  (Quick Trim) ≈ ștergere linii între puncte de intersecție.
  -  (Symmetry) ≈ generarea entităților simetrice față de o axă.
  -  (Translate) ≈ copierea prin translație după o axă.
  -  (Rotate) ≈ copierea prin rotația în jurul unui punct.
  -  (Constraint) ≈ se definesc dimensiuni tip lungimi, distanțe, unghiuri, prin **selectarea entității geometrice și a comenzii**.
  -  (Constraints Defined in Dialog Box) ≈ se definesc constrângeri geometrice tip condiții de dependență (distanță, lungime, unghi, rază/diametru, simetrie, puncte de mijloc, puncte echidistante, fixare, coincidență, concentricitate, tangență, paralelism, perpendicularitate, orizontalitate, verticalitate), prin **selectarea a două entități geometrice și a comenzii**.
  -  (Measure Between) ≈ măsurare distanță între două entități prin **selectarea a două entități geometrice și a comenzii**.
  -  (Measure) ≈ măsurare dimensiuni prin **selectarea entității geometrice și a comenzii**.
  -  (Exit Workbench) ≈ ieșire din modulul **Sketcher** – se intră în modulul **Part**.
- Descrierea elementelor tridimensionale, se realizează în modulul **Pad** prin parcurgerea succesiunilor de comenzi
- Start ⇒ Mechanical Design ⇒ Part Design.**
- Comenzile din modulul **Pad**, utilizate în prezenta lucrare, se referă la:
-  (Point) ≈ creare punct.
  -  (Line) ≈ creare linie.
  -  (Polyline) ≈ creare polilinie.
  -  (Extrude Surface) ≈ generarea suprafeței prin extrudarea unei linii.
  -  (Pad) ≈ extrudare după o direcție.
  -  (Shaft) ≈ rotație după o direcție.
  -  (Pocket) ≈ generare gol prin “extragere” de material a unui profil închis.
  -  (Hole) ≈ generare gaură.
  -  (Rib) ≈ extrudare după o curbă.
  -  (Slot) ≈ generare gol prin “extragere” de material a unui profil închis după o curbă.
  -  (Helix) ≈ generare spirală spațială.

-  (**Spiral**) ≈ *generare spirală plană.*
-  (**Edge Fillet**) ≈ *generare racordare.*
-  (**Chamfer**) ≈ *generare teșitură.*
-  (**Translation**) ≈ *translația după o direcție a unei entități.*
-  (**Rotation**) ≈ *rotația după o direcție a unei entități.*
-  (**Symmetry**) ≈ *generarea a unei entități simetrice față de o axă.*
-  (**Mirror**) ≈ *ogindirea a unei entități față de un plan.*
-  (**Rectangular Pattern**) ≈ *copierea a unei entități prin dispunere matriceală.*
-  (**Circular Pattern**) ≈ *copierea a unei entități prin dispunere circulară.*
-  (**Measure Between**) ≈ *măsurare distanță între două entități prin selectarea a două entități geometrice și a comenzii.*
-  (**Measure**) ≈ *măsurare dimensiuni prin selectarea entității geometrice și a comenzii.*
-  (**Insert** ⇒ **Axis System**) ≈ *crearea unui sistem de referință local.*


Descrierea ansamblor și subansamblor se realizează în modulul **Assembly Design** prin parcurgerea succesiunilor de comenzi

**Start** ⇒ **Mechanical Design** ⇒ **Assembly Design**.

Comenzile din modulul **Assembly Design**, utilizate în prezenta lucrare, se referă la:

-  (**Existing Component**) ≈ *inserarea pieselor de tip **Part** prin activarea specificației **Product** din arborescență.*
-  (**Manipulate**) ≈ *deplasarea corpurilor prin translație sau rotație; activarea specificației **With respect to constraints** presupune deplasarea corpurilor cu păstrarea constrângerilor geometrice.*
-  (**Coincidence**) ≈ *creare constrângeri de tip coincidență între: puncte, linii, plane, suprafețe.*
-  (**Contact**) ≈ *creare constrângeri de tip contact între suprafețe.*
-  (**Offset Constraint**) ≈ *creare constrângeri de tip distanță.*
-  (**Angle Constraint**) ≈ *creare constrângeri de tip unghi; se pot activa specificațiile de tip paralelism sau perpendicularitate.*
-  (**Fix Component**) ≈ *creare constrângeri de tip fixare.*
-  (**Measure Between**) ≈ *măsurare distanță între două corpuri prin selectarea a două entități geometrice și a comenzii.*
-  (**Measure**) ≈ *măsurare dimensiuni prin selectarea entității geometrice și a comenzii.*

**Modelarea materialului** se poate realiza în modulul **Part** sau în modulul **Assembly Design** prin activarea comenzii

 (**Apply Material**)  $\approx$  identificarea materialului de tip: material de construcție, textile, metale, materiale speciale (plastic, sticlă, cauciuc, apă), rocă, lemn  $\Rightarrow$  selectare material  $\Rightarrow$  selectare **Part**  $\Rightarrow$  **Apply Material**  $\Rightarrow$  **OK**. Prin efectuarea unui dublu click pe un material se vizualizează și se pot modifica parametrii mecanici și termici ai materialului: modulul lui **Young**, coeficientul lui **Poisson**, densitatea, coeficientul de dilatație termică, limita de curgere (fig.1).

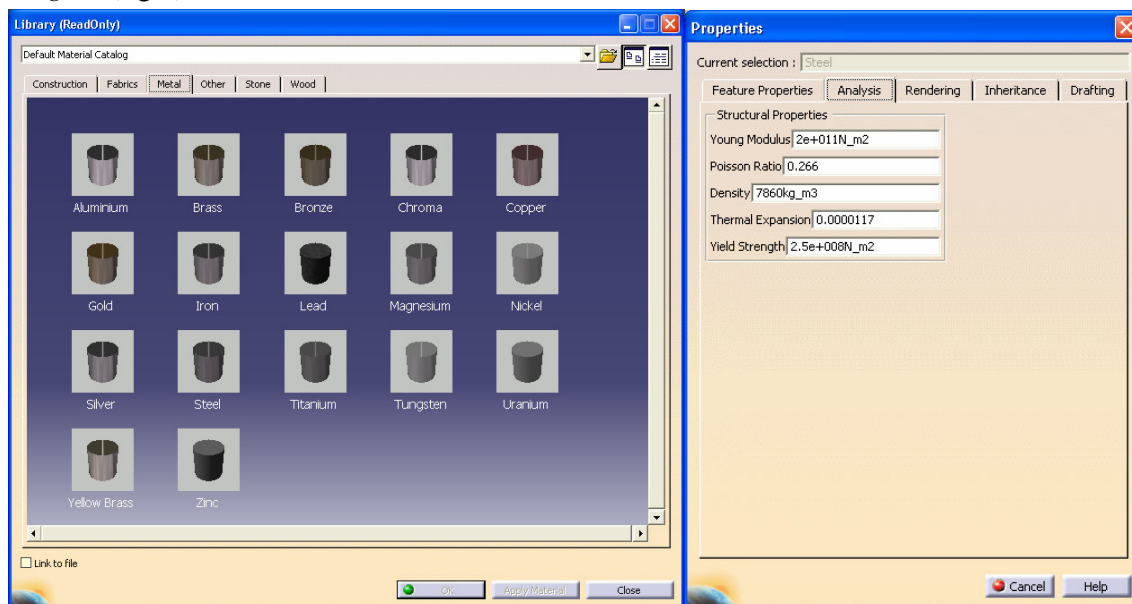


Fig.1

Generarea modelului cu elemente finite, în soft-ul CATIA, în funcție de tipul analizei, se realizează în modulul **Generative Structural Analysis** prin parcurgerea succesiunii de comenzi

- pentru analiza statică:

**Start**  $\Rightarrow$  **Analysis & Simulation**  $\Rightarrow$  **Generative Structural Analysis**  $\Rightarrow$  **New Analysis Case Static Analysis, OK** (fig.2);

- pentru analiza modurilor și frecvențelor proprii:

**Start**  $\Rightarrow$  **Analysis & Simulation**  $\Rightarrow$  **Generative Structural Analysis**  $\Rightarrow$  **New Analysis Case Free Frequency Analysis, OK** (fig.3).

**Generarea structurii cu elemente finite** se realizează în două etape:

- etapa discretizării (alegerea tipului de elemente finite, a mărimii acestora și a abaterii maxime admise);
- etapa de introducere a proprietăților elementelor finite.

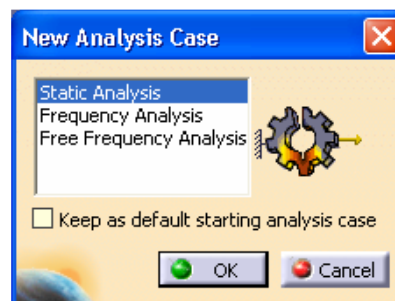


Fig.2

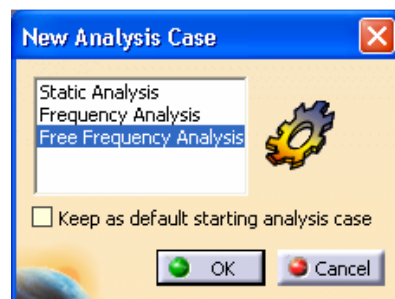


Fig.3

**Discretizarea** se realizează printr-una din comenzile prezentate în continuare, în funcție de tipul domeniului geometric (unidimensional, bidimensional sau tridimensional); **Size** se



Fig.4

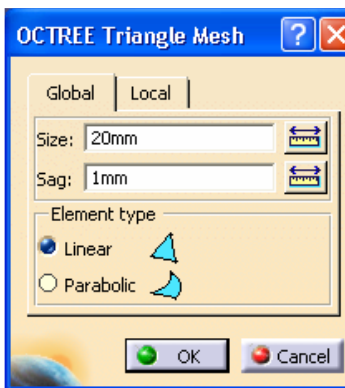


Fig.5



Fig.6

referă la dimensiunea elementului finit (lungimea maximă a muchiei), iar **Sag** la eroarea maximă admisă pentru modelarea geometrică.



 (**Beam Mesher**)  $\approx$  discretizare cu elemente finite de tip linie a domeniilor unidimensionale (fig.4).




Fig.7

 (**OCTree Triangle Mesher**)  $\approx$  discretizare cu elemente finite de tip triunghi a domeniilor de tip suprafață; muchiile elementelor finite pot fi linii drepte sau parabole (fig.5).



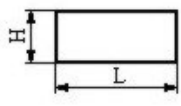
 (**OCTree Tetrahedron Mesher**)  $\approx$  selectarea domeniului tridimensional (fig.6).

Introducerea **proprietăților elementelor finite** este prezentată în continuare.

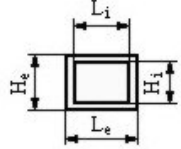
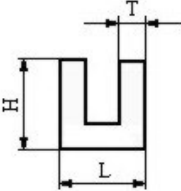
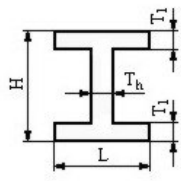
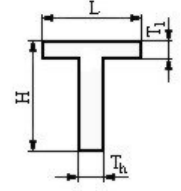
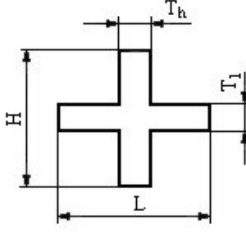
 (**Beam Property**)  $\approx$  selectarea domeniului unidimensional, discretizat (fig.7).


Definirea secțiunii transversale a elementelor finite de tip linie presupune alegerea formei secțiunii și a caracteristicilor geometrice ale acesteia. Punctul de orientare indică orientarea direcției Y, direcția X fiind tangentă la domeniul unidimensional (tabelul 2).

Tabelul 2

Secțiune	Parametrii	Schema de calul
1	2	3
Cilindrică	$R$	
Tubulară	$R_i$ $R_o$	
Dreptunghiulară	(Y) $L$ (Z) $H$	

Tabelul 2 (Continuare)

1	2	3
Profil dreptunghiular	(Y) $L_e$ (Z) $H_e$ (Y) $L_i$ (Z) $H_i$	
Profil U	(Y) $L$ (Z) $H$ (T) $T$	
Profil I	(Y) $L$ (T <sub>i</sub> ) $T_i$ (Z) $H$ (T <sub>h</sub> ) $T_h$	
Profil T	(Y) $L$ (T <sub>i</sub> ) $T_i$ (Z) $H$ (T <sub>h</sub> ) $T_h$	
Profil X	(Y) $L$ (T <sub>i</sub> ) $T_i$ (Z) $H$ (T <sub>h</sub> ) $T_h$	
Profil oarecare	Aria secțiunii transversale Caracteristici inerțiale	-

 (Shell Property) ≈ selectarea domeniului bidimensional, discretizat; se introduce valoarea grosimii elementului finit de tip triunghi (fig.8).

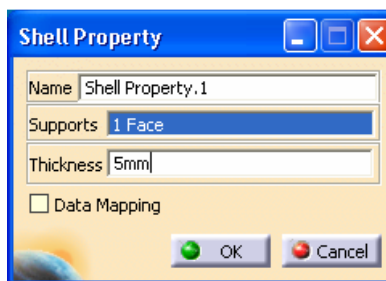


Fig.8


 (Solid Property) ≈ selectarea domeniului tridimensional, discretizat (fig.9).



Fig.9



Nivelul de eroare admis se definește prin comanda

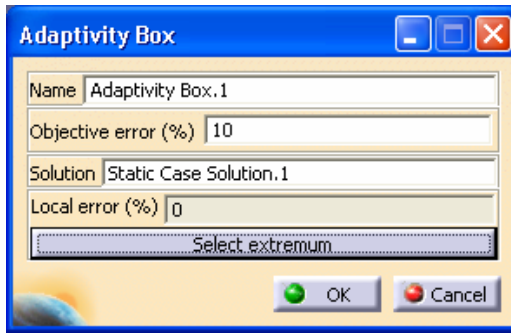



Fig.10

 (**Adaptivity Box**) ≈ *definirea erorii admise* (fig.10).

**Observație:** generarea structurii cu elemente finite, în cazul domeniilor tridimensionale, se realizează automat, în momentul accesării modulului **Analysis & Simulation**.

**Elementele finite speciale** se obțin prin comenzile prezentate în continuare.

 (**Smooth Virtual Part**) ≈ *element finit*

*virtual, fără masă, de tip rigid care nu rigidizează entitatea de care este atașat; conectează*

*un punct master (**handler**) de o entitate de slave (**support**) de tip muchie sau suprafață; transmite acțiuni de tip masă, constrângeri sau încărcări aplicate punctului master* (fig.11).

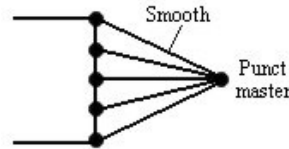


Fig.11

 (**Contact Virtual Part**) ≈

*element finit virtual, fără masă, de tip rigid care ia în considerare rigiditatea*

*de contact în elementele de legătură **contact rod**; conectează un punct master (**handler**) de o*

*entitate de slave (**support**) de tip muchie sau suprafață; valoarea jocului din contact se introduce în caseta **Clearance**; transmite acțiuni de tip masă, constrângeri sau încărcări aplicate punctului master*

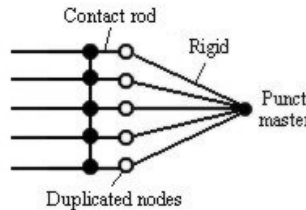


Fig.12

(fig.12).

 (**Rigid Virtual Part**) ≈ *element*

*finit rigid, fără masă, care rigidizează entitatea de care este atașat; conectează un punct master (**handler**) de o entitate de slave (**support**) de tip muchie sau suprafață; transmite acțiuni de tip masă, constrângeri sau încărcări*

*aplicate punctului master* (fig.13).

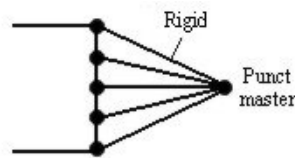


Fig.13





**(Rigid Spring Virtual Part)**  $\approx$  element finit elastic, fără masă, cu comportare de arc cu șase grade de libertate înseriat cu un element finit rigid, care rigidizează entitatea de care este atașat; conectează un punct master (**handler**) de o entitate de slave (**support**) de tip muchie sau suprafață; transmite acțiuni de tip masă, constrângeri sau încărcări aplicate punctului master; valorile rigidităților de translație și rotație după cele trei axe se introduc în casele **Translation Stiffness** și, respectiv, **Rotation Stiffness** (fig.14).

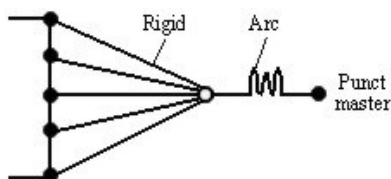
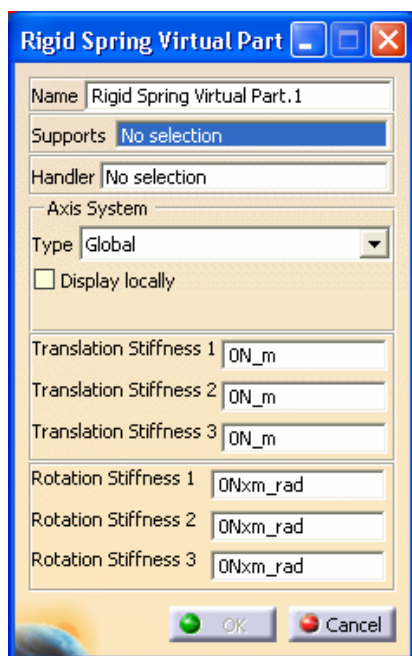


Fig.14

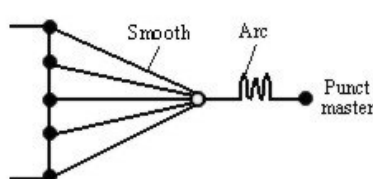
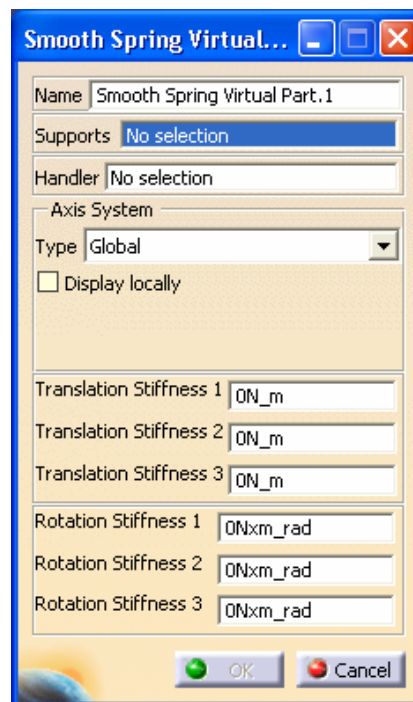


Fig.15



**(Smooth Spring Virtual Part)**  $\approx$  element finit elastic, fără masă, cu comportare de arc cu șase grade de libertate înseriat cu un element finit care nu rigidizează entitatea de care este atașat; conectează un punct master (**handler**) de o entitate de slave (**support**) de tip muchie sau suprafață; transmite acțiuni de tip masă, constrângeri sau încărcări aplicate punctului master; valorile rigidităților de translație și rotație după cele trei axe se introduc în casele **Translation Stiffness** și, respectiv, **Rotation Stiffness** (fig.15).

**Modelarea constrângerilor se realizează prin:**

- modelarea legăturilor cu elementele adiacente;
- modelarea legăturilor cu baza (partea fixă).

Modelarea legăturilor cu elementele adiacente este prezentată în continuare.



(Spot Welding Connection) ≈ element finit ce materializează o legătură fixă de tip

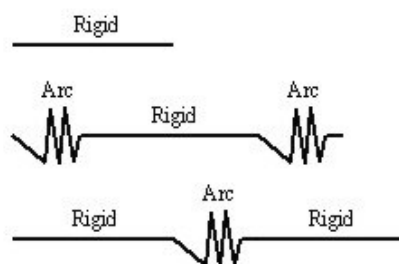


Fig.16

sudură prin puncte; se asociază unui suport constrângere de asamblare de tip **Welding Analysis Connections**; tipul constrângerii poate fi: rigidă, rigid înseriat cu arcuri cu șase grade de libertate (se introduc rigiditățile de translație și

rotație după cele trei axe), arc cu șase grade de libertate (se introduc rigiditățile de translație și rotație după cele trei axe) înseriat cu elemente rigide (fig.16).

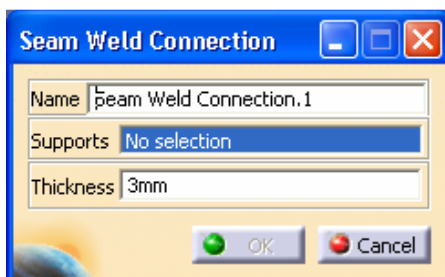


Fig.17



(Seam Weld Connection) ≈ element finit ce materializează o legătură fixă de tip sudură continuă; se asociază unei constrângeri de asamblare de tip **Analysis Seam Weld**; se introduce grosimea sudurii (**Thickness**) (fig.17).



Fig.18



(Bolt Tightening Connection) ≈ element finit ce materializează o legătură fixă de tip asamblare prin șurub, care se asociază unei constrângeri de tip coincidență (**Coincidence**); valoarea forței de prestrângere se introduce în caseta **Tightening force**; sensul forțelor din asamblare poate fi una spre cealaltă (**Same**) sau în sensuri diferite (**Opposite**); ține seama de elasticitatea asamblării (fig.18).



Fig.19



(Pressure Fitting Connection) ≈ element finit ce materializează o legătură fixă de tip asamblare presată care se asociază unei constrângeri de tip coincidență (**Coincidence**) sau contact (**Contact**); valoarea jocului din asamblare se introduce în caseta **Overlap** (valoarea negativă se referă la asamblarea cu joc, iar cea pozitivă la asamblarea presată); ține seama de elasticitatea elementelor asamblate (fig.19).



**(Virtual Bolt Tightening Connection)**  $\approx$  element finit ce materializează o legătură fixă de tip asamblare prin șurub cu tija rigidă, care se asociază unei constrângeri de tip coincidență (**Coincidence**); valoarea forței de prestrângere se introduce în caseta **Tightening force**; ține seama de elasticitatea asamblării doar în plan perpendicular pe axa suprafețelor coincidente (din acest motiv se utilizează, cu precădere, în studiul asamblărilor prin șuruburi solicitate transversal) (fig.20).



**(Virtual Spring Bolt Tightening Connection)**  $\approx$  element finit ce materializează o legătură fixă de tip asamblare prin șurub cu tija elastică, care se asociază unei constrângeri de tip coincidență (**Coincidence**); valoarea forței de prestrângere se introduce în caseta **Tightening force**; se introduc valorile rigidității tijei șurubului după cele trei axe (translații și rotații); ține seama de elasticitatea asamblării doar în plan perpendicular pe axa suprafețelor coincidente (din acest motiv se utilizează, cu precădere, în studiul asamblărilor prin șuruburi solicitate transversal) (fig.21).

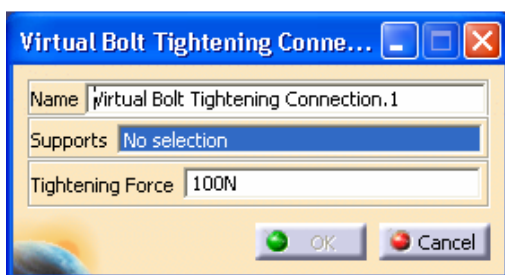


Fig.20

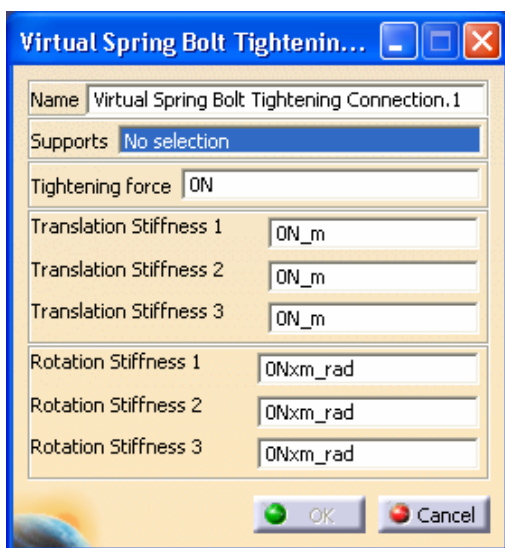


Fig.21

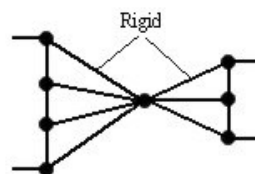
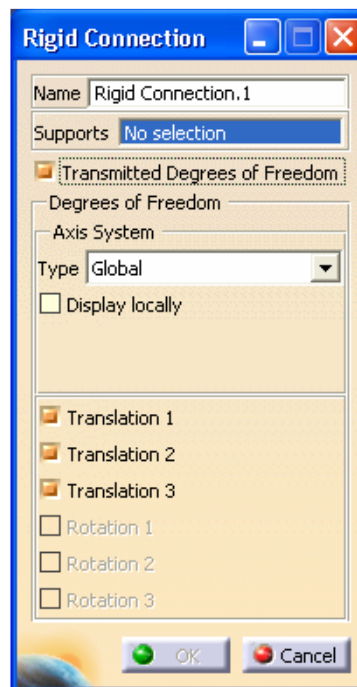


Fig.22



**(Rigid Connection)**  $\approx$  element finit ce materializează o legătură fixă și rigidă între două corpuri, după o frontieră comună; rigidizează local frontiera comună, fără a ține seama de elasticitatea acesteia; se asociază unei constrângeri de tip coincidență (**Coincidence**), unghi (**Angle**) sau distanță (**Offset**); direcțiile de rigidizare (de translație sau rotație după cele trei

axe) se setează în fereastra de dialog (fig.22).



**(Smooth Connection)** ≈ element finit ce materializează o legătură fixă și elastică între două corpuri, după o frontieră comună; ține seama de elasticitatea locală a frontierei comune; se asociază unei constrângeri de tip coincidență (**Coincidence**), unghi (**Angle**) sau distanță (**Offset**); direcțiile de mișcare (de translație sau rotație după cele trei axe) se setează în fereastra de dialog (fig.23).

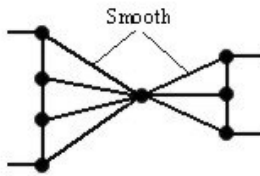
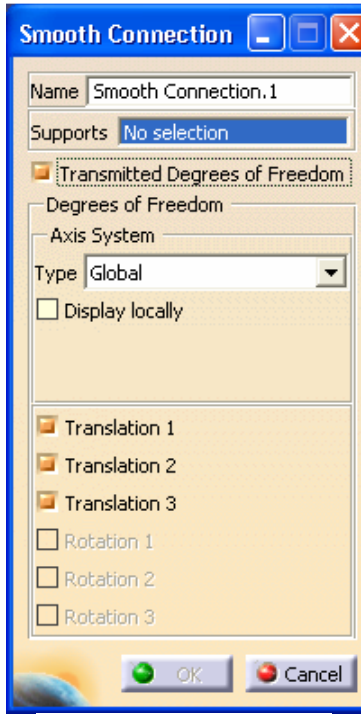


Fig.23



Fig.24



**(Slider Connection)** ≈ element finit ce materializează o legătură mobilă între două corpuri constrânse la o mișcare relativă de translație într-un plan tangent la frontiera lor comună; ține seama de elasticitatea locală a frontierei comune; se asociază unei constrângeri de tip coincidență (**Coincidence**) sau contact (**Contact**) (fig.24).



Fig.25

**(Contact Connection)** ≈ element finit ce materializează o legătură mobilă, de contact, între două corpuri, cu posibilitate de mișcare relativă, în funcție de valoarea jocului; valoarea jocului se introduce în caseta **Clearance** (o valoare pozitivă presupune existența unei distanțe între corpuri, iar o valoare negativă – existența unei presări inițiale între corpuri, soft-ul, prin analiză, nepermițând interpenetrarea); ține seama de elasticitatea locală de contact; se asociază unei constrângeri de tip coincidență (**Coincidence**) sau contact (**Contact**) (fig.25).

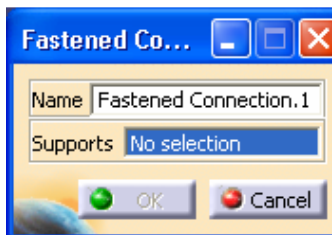


Fig.26




**(Fastened Connection)** ≈ element finit ce materializează o legătură fixă între două corpuri, fără posibilitate de mișcare relativă; ține seama de elasticitatea locală de contact; se asociază unei constrângeri de tip coincidență (**Coincidence**) sau contact (**Contact**) (fig.26).



**(Fastened Spring Connection)** ≈ element finit ce materializează o legătură fixă și elastică între două corpuri, de tip asamblare fixă cu arc, fără posibilitate de mișcare relativă; ține seama de elasticitatea locală de contact; valorile rigidității arcului se introduc în caseta de dialog, pentru cele trei axe (translații și rotații); se



asociază unei constrângeri de tip coincidență (**Coincidence**) sau contact (**Contact**) (fig.27).

 (**User Defined Distant Connection**) ≈ element finit ce materializează o distanță între două corpuri, cu flexibilitate mărită în alegerea caracteristicilor legăturii (a tipului de elemente finite ce modelează distanța); se asociază unei constrângeri de tip coincidență (**Coincidence**), unghi (**Angle**) sau distanță (**Offset**) (fig.28).

Legătura din partea stângă (**Start**) se realizează între o suprafață și un punct și poate fi de tip: **Smooth, Rigid, Spring and Smooth, Spring and Rigid, Contact and Rigid**.

Elementul central (**Middle**) poate fi de tip: **Rigid, Beam, Bolt, Spring and Rigid, Rigid and Spring, Spring and Beam, Beam and Spring, Bolt and Beam, Beam and Bolt, Bolt and Spring, Spring and Bolt, Spring and Rigid and Spring, Spring and Beam and Spring, Rigid and Spring and Rigid, Beam and Spring and Beam**.

Legătura din partea dreaptă (**End**) se realizează între un punct și o suprafață și poate fi de tip: **Smooth, Rigid, Smooth and Spring, Rigid and Spring, Rigid and Contact**.

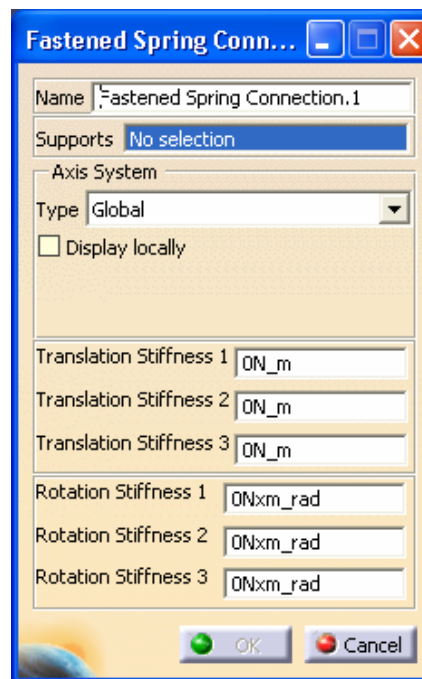


Fig.27

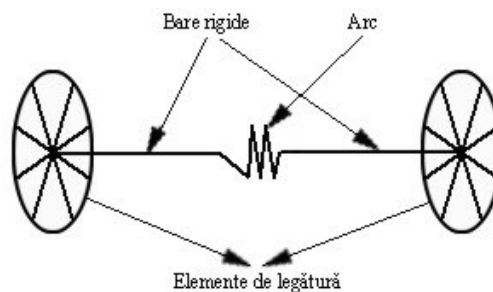



Fig.28

**Modelarea legăturilor cu baza** este prezentată în continuare.

 (**Surface Slider**) ≈ constrângere ce materializează o legătură mobilă între două corpuri, cu posibilitate de mișcare relativă de tip translație a punctelor unei suprafețe coincidente cu o altă suprafață rigidă; se asociază unei entități de tip suprafață. Săgețile indică mișcarea de translație anulată (fig.29).

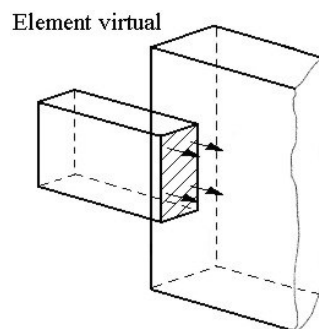
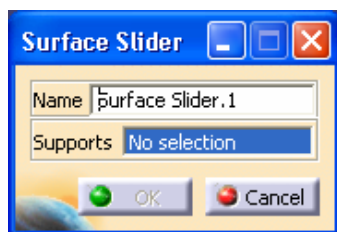


Fig.29



**(Slider)** ≈ constrângere de tip cuplă prismatică cu posibilitate de mișcare relativă de tip translație a unui punct după o direcție dată; direcția de translație se precizează în casetă prin indicarea valorii; se asociază unui punct master (**Handle**) al unui element finit virtual (mișcarea relativă de translație se realizează între punctul mobil master și un punct fix situat pe direcția de mișcare). Săgețile simple implică mișcările de translație anulate, iar cele duble, mișcările de rotație anulate (fig.30).

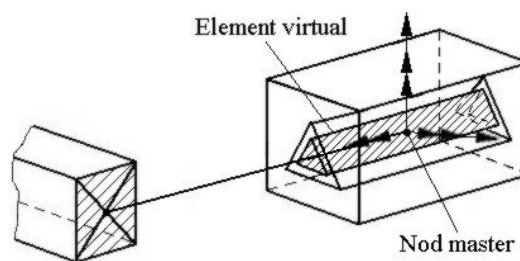
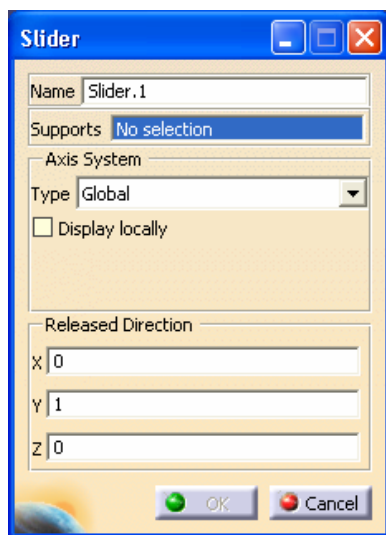


Fig.30



**(Sliding Pivot)** ≈ constrângere de tip cuplă cilindrică cu posibilitate de mișcare relativă de tip translație și rotație a unui punct după o direcție dată; direcția de roto-translație se precizează în casetă prin indicarea valorii; se asociază unui punct master al unui element finit virtual (mișcarea relativă de roto-translație se realizează între punctul mobil master și un punct fix situat pe direcția de mișcare). Săgețile simple implică mișcările de translație anulate, iar cele duble mișcările de rotație anulate (fig.31).



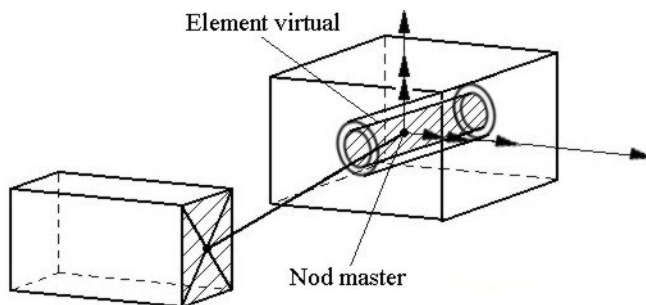
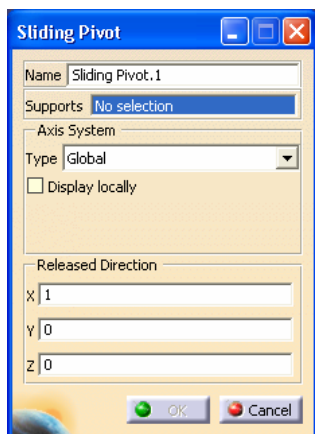


Fig.31



**(Ball Joint)** ≈ constrângere de tip cuplă sferică cu posibilitate de mișcare relativă de tip rotație a unui punct după cele trei axe; se asociază unui punct master al unui element finit virtual (mișcarea relativă de rotație se realizează între punctul mobil master și un punct fix). Săgețile simple implică mișcările de translație anulate (fig.32).

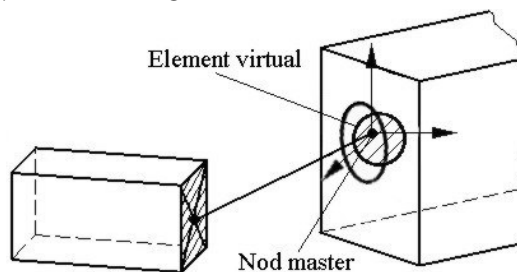


Fig.32



**(Pivot)** ≈ constrângere de tip cuplă de rotație cu posibilitate de mișcare relativă de tip rotație a unui punct după o axă; se asociază unui punct master al unui element finit virtual (mișcarea relativă de rotație se realizează între punctul mobil master și un punct fix). Săgețile simple implică mișcările de translație anulate, iar cele duble mișcările de rotație anulate (fig.33).

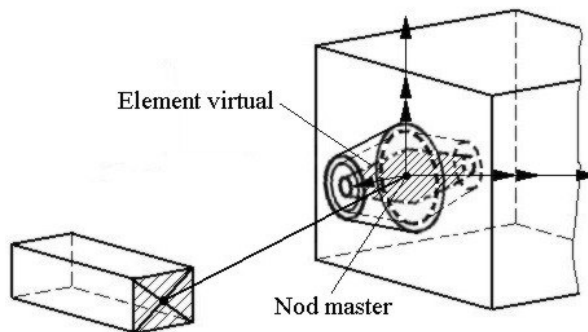
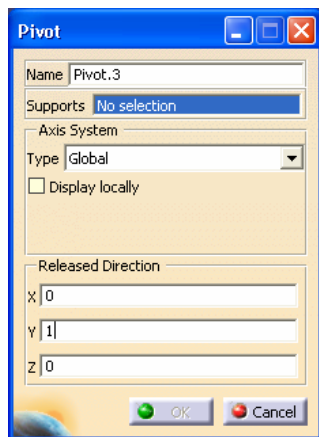


Fig.33



**(Advanced Restraint)** ≈ constrângere generală cu posibilitate de definire a mișcărilor anulate, prin setarea în fereastra de dialog; se asociază punctelor, muchiilor, fețelor sau elementelor virtuale

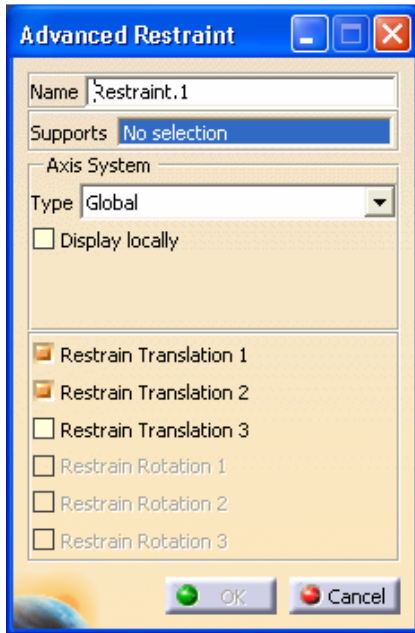


Fig.34

(fig.34).



Fig.35



**(Isostatic)** ≈ constrângere care generează starea static determinată; se asociază modelului cu elemente finite creat (fig.35).



**(Clamp)** ≈ constrângere de tip încastrare care anulează toate mișcările de translație ale entităților cărora le este aplicată; se asociază punctelor, muchiilor, fețelor sau elementelor virtuale. Săgețile simple implică mișcările de translație anulate (fig.36).

Modelarea încărcărilor se poate realiza prin intermediul uneia din comenzile prezentate în continuare.

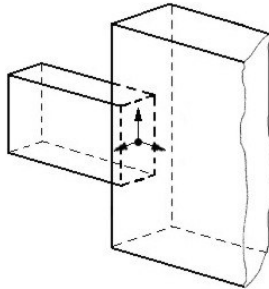
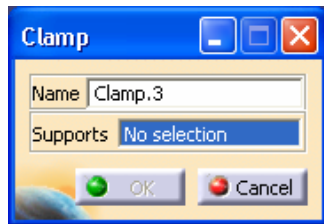


Fig.36



Fig.37



**(Pressure)** ≈ încărcare de tip presiune (forță distribuită aplicată normal pe suprafață); prin activarea **Data Mapping** se pot încărca fișiere de date **.txt** sau **.xls** care conțin valorile presiunii distribuite neuniform; se aplică pe suprafețe (fig.37).



**(Distributed Force)** ≈ încărcare de tip forță rezultantă; valorile componentelor după cele trei axe se introduc în caseta de dialog; se aplică pe puncte, suprafețe sau elemente virtuale (fig.38).



**(Bearing Load)** ≈ încărcare de tip forță de apăsare a unui rulment pe o suprafață cilindrică; valorile componentelor după cele trei axe se introduc în caseta de dialog; valoarea unghiului de distribuție a forței se introduce în caseta **Angle**; direcția de orientare a forței se setează în caseta **Orientation** și poate fi radială sau paralelă; legea de variație a

distribuției poate fi de tip parabolică, sinusoidală sau o lege definită de utilizator și se definește în caseta **Type**; se aplică pe suprafețe (fig.39).

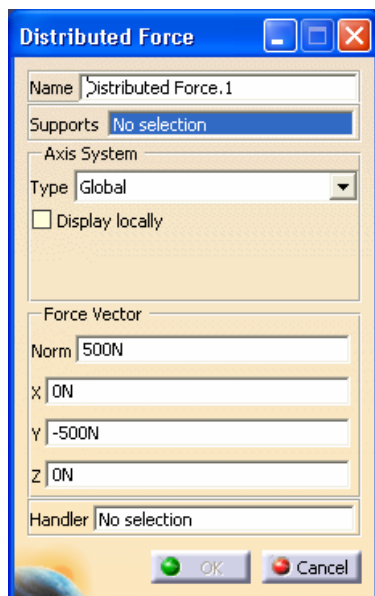


Fig.38

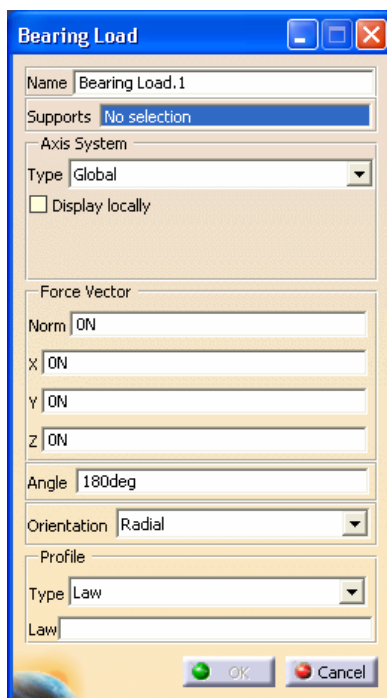


Fig.39

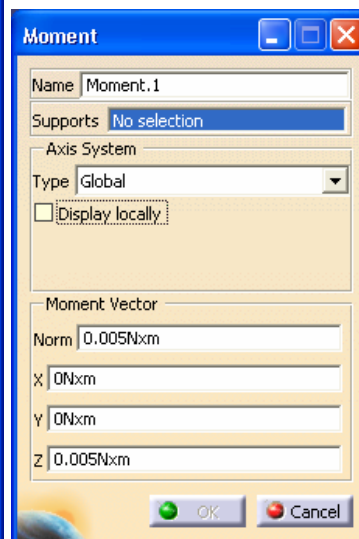


Fig.40



**(Moment)** ≈ încărcare de tip moment rezultant; valorile componentelor după cele trei axe se introduc în caseta de dialog; se aplică pe puncte, suprafețe sau elemente virtuale (fig.40).



**(Imported Force)** ≈ încărcare de tip forță rezultantă ale cărei valori se importă prin intermediul unor fișiere de date **.txt** sau **.xls**; se aplică pe puncte, suprafețe sau elemente virtuale (fig.41).

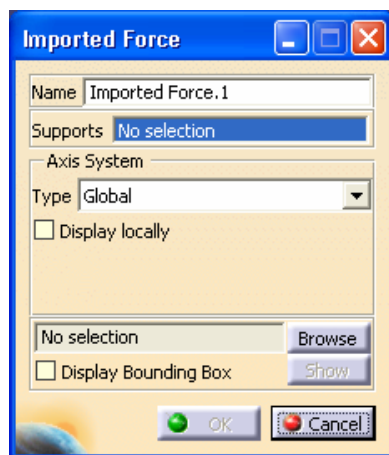


Fig.41

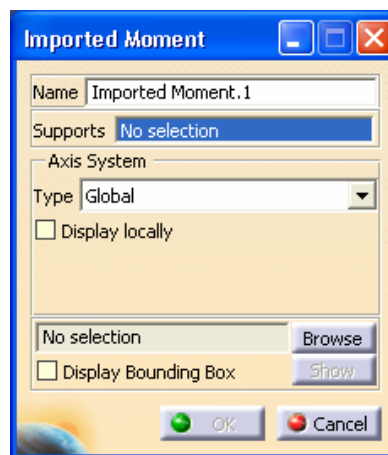


Fig.42



**(Imported Moment)**  $\approx$  încărcare de tip moment rezultat ale cărui valori se importă prin intermediul unor fișiere de date **.txt** sau **.xls**; se aplică pe puncte, suprafețe sau elemente virtuale (fig.42).



**(Acceleration)**  $\approx$  încărcare de tip forțe masice datorate unor câmpuri inerțiale de translație; valorile componentelor după cele trei axe se introduc în caseta de dialog; se aplică pe volume (fig.43).



**(Rotation Force)**  $\approx$  încărcare de tip forțe masice datorate unor câmpuri inerțiale de rotație; în caseta de dialog se setează axa de rotație și se introduc valorile vitezei și accelerației unghiulare; se aplică pe volume (fig.44).

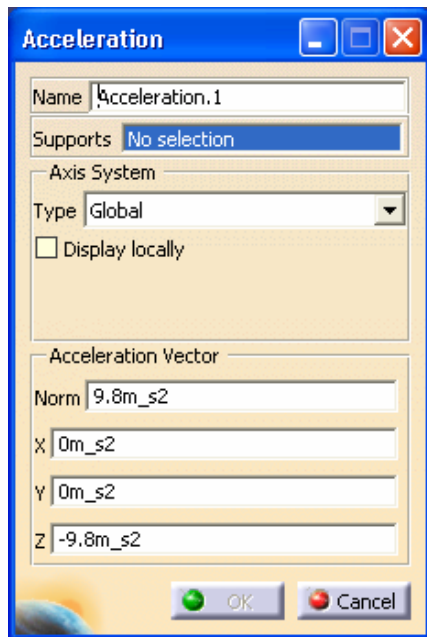


Fig.43

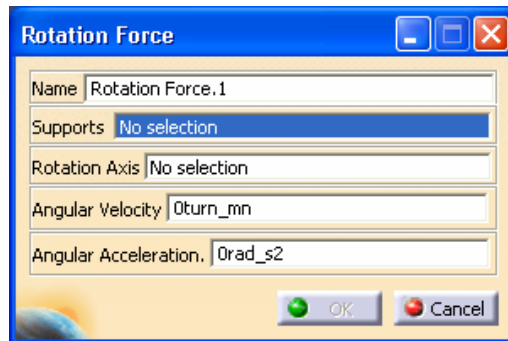


Fig.44



**(Line Force Density)**  $\approx$  încărcare de tip forță distribuită pe linie; componentele forței, după trei axe, se introduc în caseta de dialog; prin activarea **Data Mapping** se pot încărca fișiere de date **.txt** sau **.xls** care conțin valorile forței distribuite neuniform; se aplică pe muchii (fig.45).



**(Surface Force Density)**  $\approx$  încărcare de tip forță distribuită pe suprafață; componentele forței, după trei axe, se introduc în caseta de dialog; prin activarea **Data Mapping** se pot încărca fișiere de date **.txt** sau **.xls** care conțin valorile forței distribuite neuniform; se aplică pe fețe (fig.46).



**(Body Force)**  $\approx$  încărcare de tip forță distribuită în volum; componentele forței, după trei axe, se introduc în caseta de dialog; prin activarea **Data Mapping** se pot încărca fișiere de date **.txt** sau **.xls** care conțin valorile forței distribuite neuniform; se aplică pe volume (fig.47).

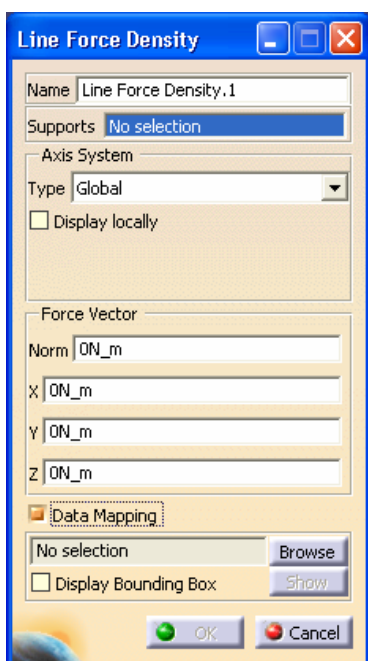


Fig.45

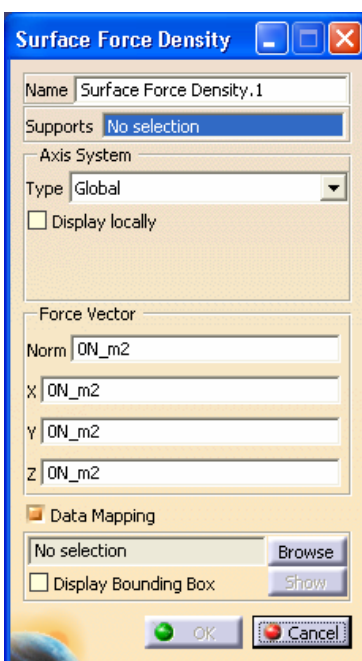


Fig.46

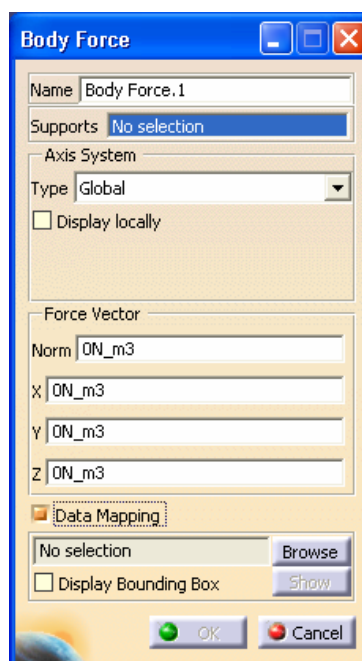


Fig.47



**(Enforced Displacement)**  $\approx$  încărcare de tip deplasare impusă; componentele deplasărilor, după trei axe (translații sau rotații), se introduc în caseta de dialog; se aplică pe entități de tip constrângere (fig.48).



**(Temperature Field)**  $\approx$  încărcare de tip temperatură ale cărei valori, măsurate în grade Kelvin ( $0^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$ ), se introduc în caseta de dialog; prin activarea **Data Mapping** se pot încărca fișiere de date .txt sau .xls care conțin valorile temperaturii distribuite neuniform; se aplică pe entități de tip muchie, față sau volum (fig.49).



**(Distributed Mass)**  $\approx$  încărcare de tip masă concentrată într-un punct; se aplică pe entități de tip punct, față sau element virtual (fig.50).



Fig.48

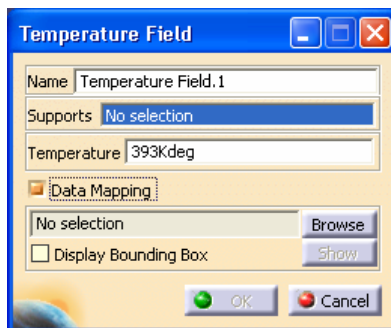


Fig.49



Fig.50





**(Line Mass Density)**  $\approx$  încărcare de tip densitate liniară de masă; se aplică pe o muchie (fig.51).



**(Surface Mass Density)**  $\approx$  încărcare de tip densitate de masă pe suprafață; se aplică pe o față (fig.52).

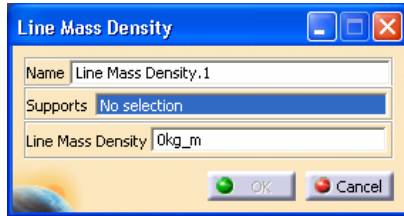


Fig.51

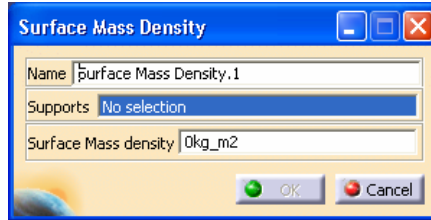


Fig.52

**Verificarea modelului cu elemente finite** oferă informații despre: tipul de elemente finite existente în model; material; cosntrângerile dintre elementele componente. „Aprinderea” ledului verde, însoțită de mesajul de consistență a modelului, oferă informații despre corectitudinea întocmirii modelului cu elemente finite. Verificarea se realizează prin comanda



**(Model Checker)**  $\approx$  verificarea modelului cu elemente finite (fig.53).

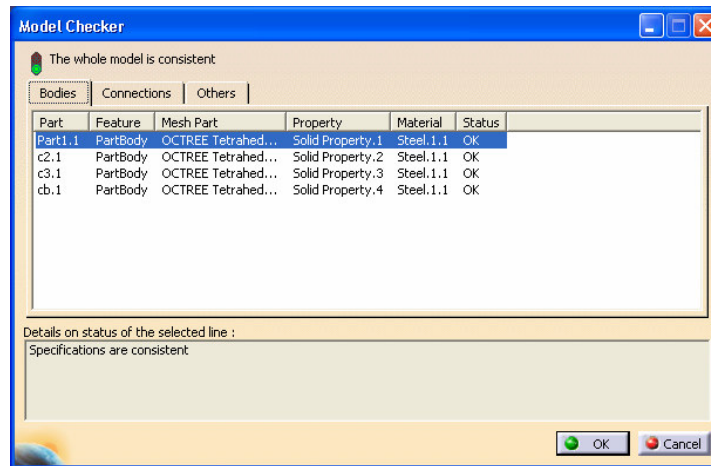


Fig.53

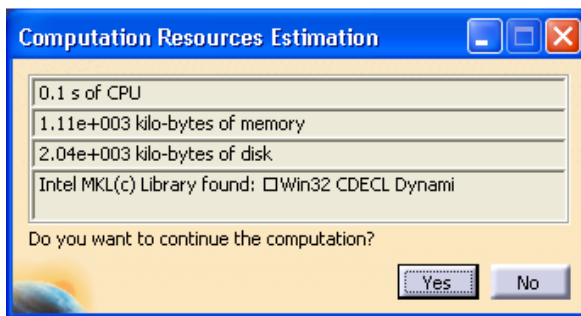


Fig.54


Comenzile prezentate până în aici fac parte din **etapa preprocesării**. **Rezolvarea modelului** se realizează automat, de către soft, prin comanda




**(Compute)**  $\approx$  rezolvarea modelului cu elemente finite; oferă informații despre estimarea resurselor hardware necesare rezolvării modelului (fig.54).



Etaapa postprocesării presupune, înainte de optimizării, **vizualizarea rezultatelor**. Principalele comenzi utilizate pentru vizualizarea rezultatelor sunt prezentate în continuare.

 **(Deformation)** ≈ vizualizarea stării deformate a modelului; prin dublu click pe specificația **Deformed Mesh** din arborele de specificații se pot vizualiza diferite seturi de zone deformate ale modelului; prin click-dreapta pe specificația **Deformed Mesh** și alegerea opțiunii **Report**, se generează un fișier **.html** cu rezultate; în cazul analizei frecvențelor proprii de vibrație, prin dublu click pe specificația **Deformed Mesh** din arborele de specificații se pot vizualiza și stările deformate ale modelului pentru diferite frecvențe proprii ale acestuia (fig.55).

 **(Stress Von Mises)** ≈ vizualizarea câmpurilor de tensiuni Von Mises. Prin parcurgerea succesiuni de comezi **View ⇒ Render Style ⇒ Customize View...** ⇒ se selectează specificația **Materials**, se obține vizualizarea câmpurilor de tensiuni Von Mises, în material; valorile vizualizate au ca unitate de măsură  $N/m^2$  (de ex.  $1.21e+008$  reprezintă  $1,21 \cdot 10^8 N/m^2$  sau  $1,21 \cdot 10^2 MPa$  unde  $1 MPa = 1 N/mm^2$ ) (fig.56).

Tensiunile echivalente von Mises se determină cu teoria de rupere a energiei de deformare maxime; astfel, tensiunea echivalentă se determină cu relația

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)}. \tag{1}$$

În relația (1),  $\sigma$  reprezintă tensiunile normale, iar  $\tau$  tensiunile tangențiale (fig.57).

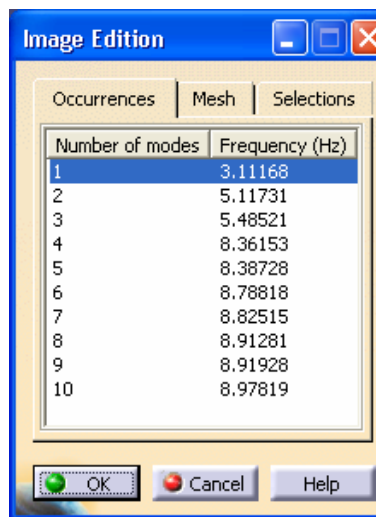


Fig.55

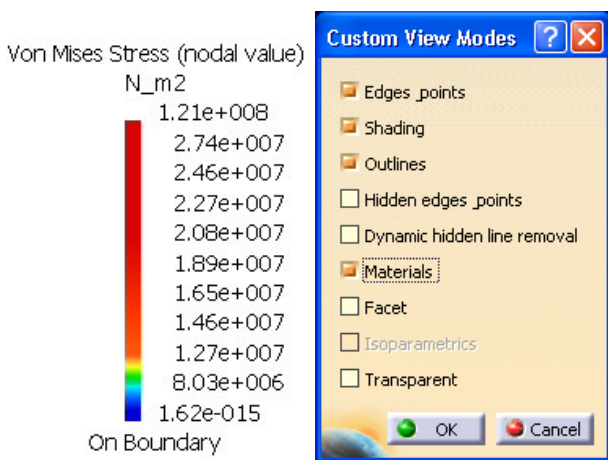


Fig.56

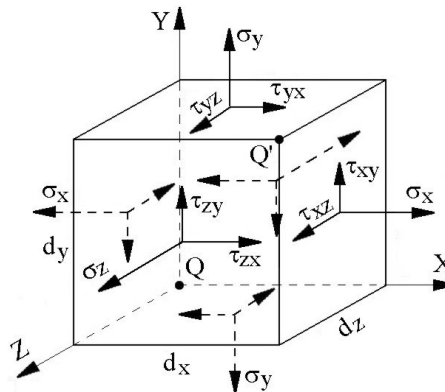


Fig.57



**(Displacements)** ≈ vizualizarea deplasărilor. Prin parcurgerea succesiuni de comezi: Click pe imaginea deplasărilor sub formă vectorială ⇒ **Translational displacement vector object** ⇒ **Definition** ⇒ **Visu** ⇒ se selectează specificația **AVERAGE-ISO** și se obține vizualizarea câmpurilor de deplasări (fig.58).



**(Principal Stress)** ≈ vizualizarea tensiunilor principale. Prin parcurgerea succesiuni de comezi: Click pe imaginea deplasărilor sub formă vectorială ⇒ **Tensor for maximum stress object** ⇒ **Definition** ⇒ **Visu** ⇒ se poate alege vizualizarea diferitelor tipuri de tensiuni (fig.59).

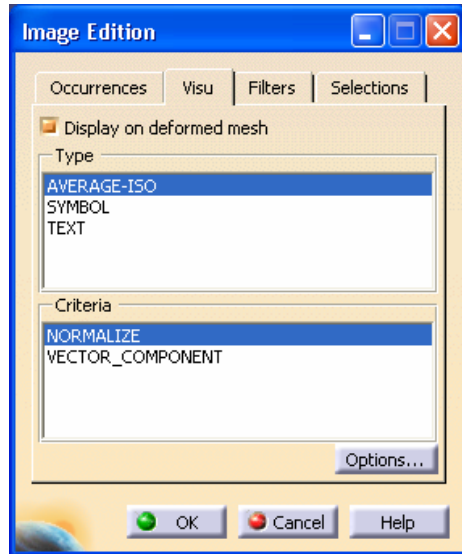


Fig.58

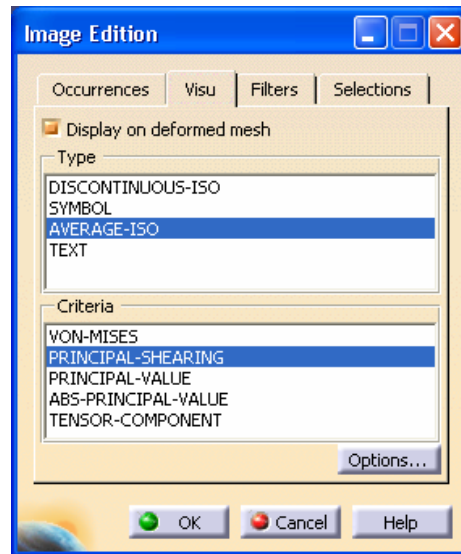


Fig.59



**(Animate)** ≈ vizualizarea stării animate (fig.60).



**(Cut Plane Analysis)** ≈ vizualizarea secțiunii (fig.61).



**(Deformation Scale Factor)** ≈ setarea factorului de deformare (fig.62).

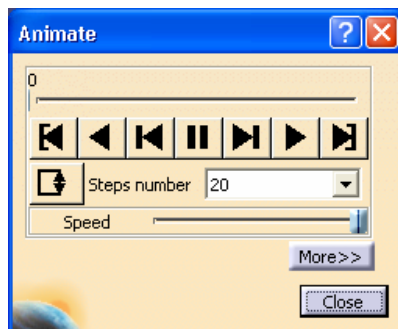


Fig.60

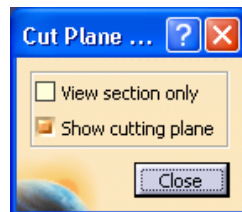


Fig.61

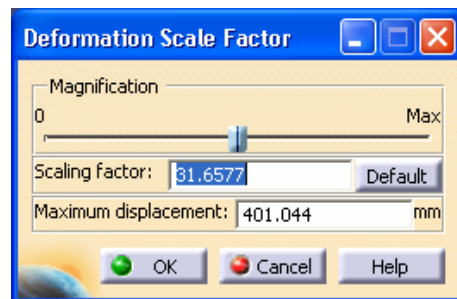


Fig.62



**(Search Image Extrema)** ≈ vizualizarea zonelor cu valori maxime pentru tensiuni sau deplasări.



**(Informations)** ≈ vizualizarea informațiilor referitoare la modelul cu elemente finite.