

Aplicația AEF-A.1.9

CUVINTE CHEIE

Analiza statică neliniară, Starea axialsimetrică de tensiuni, Material liniar, Model geometric 2D, Element finit 2D, Element finit liniar, Contact mecanic cu frecare, Eroare structurală, Asamblare cu strângere pe con, Subansamblu mecanic

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

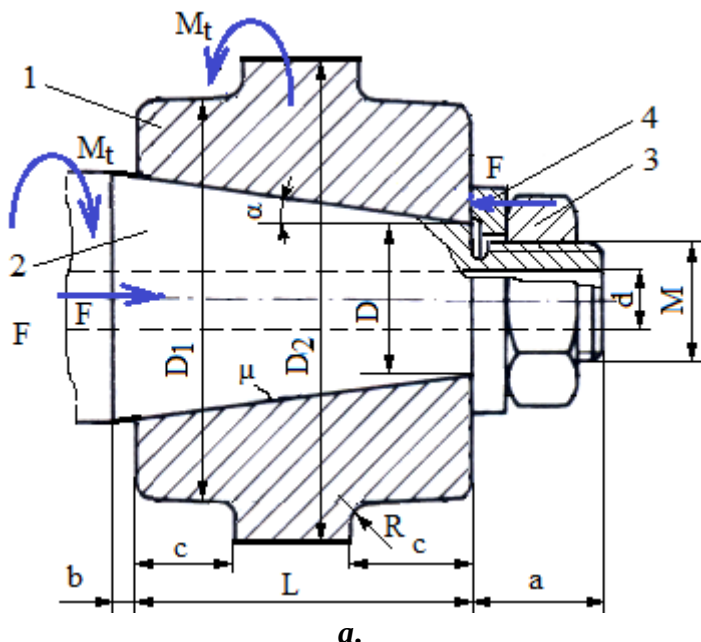
AEF ca metodă generală de studiu a fenomenelor și proceselor fizice din structurile mecanice permite și analiza câmpurilor mecanice care apar în cazul *contactelor asamblărilor mecanice* care presupun luarea în considerare a suprafețelor deformabile elastic din contactele directe și a frecărilor de alunecare care apar între acestea.

Asamblările cu strângere pe con folosite frecvent în construcția sistemelor mecanice formează structuri spațiale complexe ce implică contacte mecanice cu frecare care participă la transmiterea sarcinii. Pornind de la faptul că aceste structuri nu pot fi analizate cu acuratețe cu metode clasice teoretice și/sau experimentale, în continuare, se tratează această problemă prin modelarea și AEF.

A.2. Descrierea aplicației

Asamblarea prin strângere pe con realizează *transmiterea prin frecare* a momentului de torsiune M_t de la butucul 1 la arborele 2 (fig. a). Pentru aceasta se impune realizarea strângerii axiale prin dezvoltarea unei forțe de apăsare F prin strângerea piuliței 3 în raport cu filetul exterior practicat pe arborele 2.

Asamblarea prin strângere pe con se descrie, prin diametrul interior minim al alezajului D , unghiul de inclinare al generatoarei, α , și lungimea butucului, L . Arborele cu suprafață conică la exterior are o gaură axială cu diametrul d . Pentru AEF a asamblării se consideră butucul cu alezaj conic la interior ca parte interioară a unei roți (dințată, de curea, de lanț), ce are la exterior două tronsoane cilindrice laterale identice cu diametrele și lungimile, D_1 și, respectiv, c și un tronson central cu diametrul D_2 ca o porțiune din discul unei roți.



A.3. Scopul aplicației

Pentru analiza câmpurilor de deplasări și de tensiuni din zona asamblării cu luarea în considerare a frecării dintre arbore și butuc ($\mu = 0,2$) se consideră (subcap. A.2. fig. a): $D = 30$ mm, $\alpha = 10^\circ$, $d = 18$ mm, $D_1 = 50$ mm, $D_2 = 80$ mm, $a = 30$ mm, $b = 10$ mm, $c = 12$ mm, $M = 30$ mm, $L = 35$ mm. Pentru transmiterea momentului de torsiune M_t se impune încărcarea cu forța axială, $F = 45000$ N, prin intermediul asamblării filetate șurub-piuliță.

Arborele și butucul sunt executați din oțel de construcție (E235) netratat termic.

B. ÎNTOCMIREA MODELULUI PENTRU ANALIZĂ

B.1. Definirea modelului

În vederea concepției modelului de AEF al arborelui și butucului în interacțiune se impune considerarea a două zone adiacente din cele două elemente adoptând următoarele ipoteze simplificatoare:

- având în vedere că pe circumferință nu sunt variații semnificative ale parametrilor fizici (deplasări și tensiuni) se adoptă un *model plan* încadrabil în *starea axial-simetrică de tensiunii*.
- considerarea frecării în contactul mecanic,
- adoptarea constrângerilor rezistenței materialelor (încastrare, acțiunea forței distribuite pe suprafață),
- materialul are comportare liniară elastică,
- deformarea are loc static (nu se ia în considerare variația forței de deformare cu timpul).

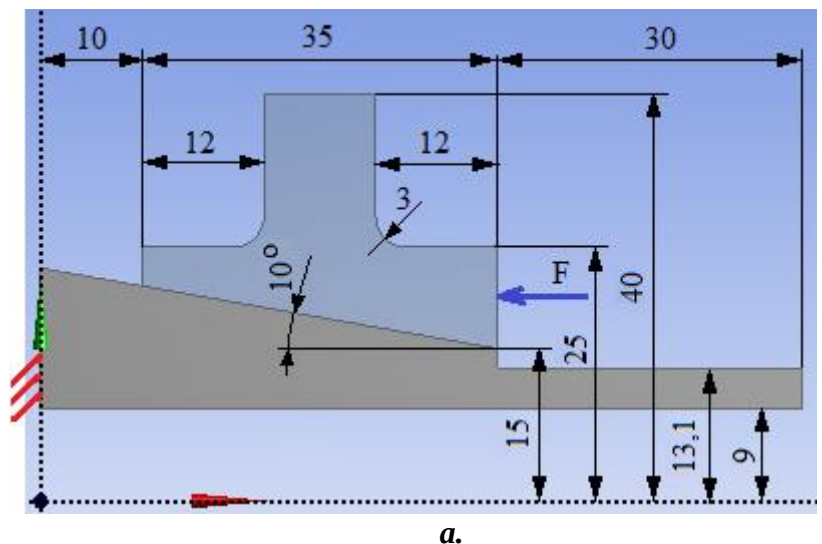
B.2. Descrierea modelului

Pentru simularea comportării asamblării cu strângere pe con se consideră secțiunea axială cu dimensiunile din fig. a. Zona filetată și de racordare a porțiunii de cap a arborelui se neglijează și se consideră ca fiind cilindrică cu diametrul 26,2 mm.

Pentru analiză structura se consideră axial-simetrică și se modelează cu elemente finite 2D.

În vederea simulării comportării asamblării cât mai aproape de realitate se va lua în considerare frecarea dintre elementele asamblate, coeficientul de frecare $\mu = 0,2$.

Încărcarea se va face pe suprafața frontală a piuliței cu $F = 15000 \text{ N}$.



B.3. Stabilirea caracteristicilor materialului și mediului

Caracteristicile de rezistență ale materialului E335, pentru analiza cu elemente finite, sunt:

- modulul de elasticitate longitudinală, $E = 206000 \text{ N/mm}^2$;
- coeficientul contracției transversale (Poisson), $\nu = 0,3$.

Temperatura medie de lucru a subansamblului, $T_0 = 20^\circ \text{C}$.

C. PREPROCESAREA MODELULUI DE ANALIZĂ

C.1 Activarea și salvarea proiectului

Activarea proiectului

[Icon] , **Toolbox** : [Icon] **Analysis Systems** → [Icon] **Static Structural** (apare automat fereastra subproiectului); → [se poate schimba denumirea **Static Structural** în AEF-A.1.9].

Setarea tipului problemei (2D)

[Icon] : [Icon] **Geometry** → [Icon] **Properties** → **Properties of Schematic A3: Geometry**, [Icon] **Advanced Geometry Options** : [Icon] **Analysis Type**, [se selectează din listă cu [Icon], **2D**] → [se închide fereastra, [Icon] **X**].

Salvarea proiectului

[Icon] **Save As...** → [Icon] **Save As**, **File name**: [se introduce denumirea, AEF- A.1.9] → [Icon] **Save**.

C.2 Modelarea caracteristicilor materialului și mediului

[Icon] , **Project Schematic**: [Icon] **Engineering Data** [Icon] → [Icon] **Edit...** → **Outline of Schematic A2: Engineering Data**:

[Icon] **Structural Steel**, **Properties of Outline Row 3: Structural Steel**: [Icon] **Isotropic Elasticity** → **Young's Modulus**, [se selectează în lista din coloana C (**Unit**) cu [Icon], **MPa**], [se introduce în caseta din coloana B (**Unit**) valoarea, 206000] → [Icon] **Update Project** → [Icon] **Return to Project** (ceilalți parametri rămân implicați).

C.3. Modelarea geometrică

C.3.1 Încărcarea modului DesignModeler (DM)

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

C3.2 Generarea schiței 1 (arbore)

Vizualizare plan implicit (XY)

DM, Tree Outline: Sketching → (Look at face/Plane/Schetch), [se va vizualiza automat planul implicit, XY];

Generarea conturului schiței 1

Generare polilinie

Draw → Polyline → [se va trasa polilinia prin marcarea cu a punctelor respectând restricțiile de coincidență C, de orizontalitate H și verticalitate V (ultimul punct se suprapune peste primul, restricție de coincidență P) →

→ [se va selecta cu un punct din zona de grafică] (apare meniul contextual) → Closed End (fig. a).

Divizare linie înclinată

Modify → Split → [se va marca cu punctul de pe linia înclinată] (fig. b).

Cotare schiță

Cotare în direcție orizontală

Sketching Toolboxes: Dimensions → Horizontal → [se selectează cu perechi de linii paralele cu axa Y] (se vizualizează automat cota) → Details View, Dimensions: H → [se introduce valoarea, 10/30/75] (fig. b).

Cotare în direcție verticală

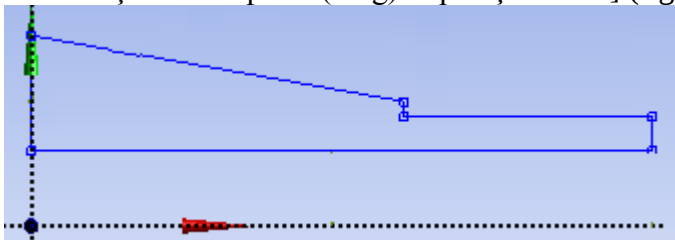
Vertical → [se selectează cu linii paralele cu axa X] (se vizualizează automat cota) → Details View, Dimensions: V → [se introduce valoarea, 15/13,1/9 fig. b).

Cotare unghi

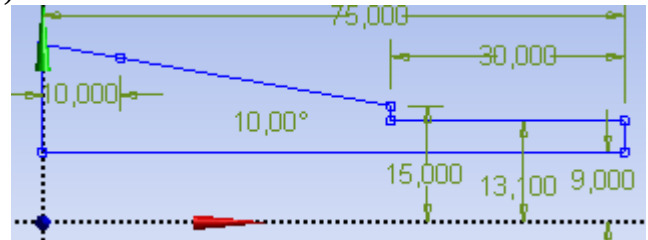
Angle → [se selectează cu linii unghiului] (se vizualizează automat cota) → Details View, Dimensions: A → [se introduce valoarea, 10 fig. b).

Modificare vizualizare cote

Display → Name: (se dezactivează) → Name: Value: (se activează); Move → [se va selecta cota cu și se va deplasa (drag) în poziția dorită] (fig. a).



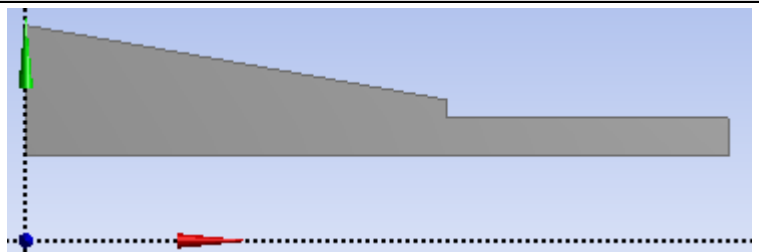
a.



b.

C.3.3 Generarea suprafeței arborelui

DM: Concept → Surfaces From Sketches → Sketch1 → Details View, Details of Surface: Base Objects → Apply; Generate (generare suprafață, fig. a); Sketch1 → Hide Sketch; Surface Body → Details View, Details of Surface Body: Body, [se introduce denumirea, Arbore].



a.

C.3.4 Generarea schiței 2 (butuc)

Inițializare schiță 2

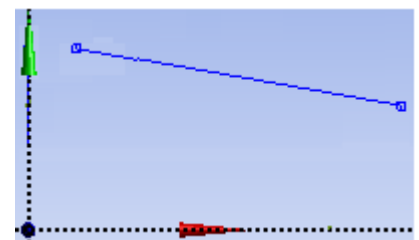
DM: (New Sketch) → (se indexează automat în arborele specificațiilor, obiectul Sketch2).

Generare contur

Activare schiță 1

Tree Outline: Sketch1 → (Display Model).

Generare linie comună cu schița 1



a.

└ Sketching → Sketching Toolboxes: └ Draw → └ Line → [se selectează

cu └ punctele de capăt ale liniei comune respectând condițiile de coincidență P] (fig. a).

Generare contur butuc

└ Polyline → [se va trasa polilinia prin marcarea cu └ a punctelor asociate corpului butucului respectând restricțiile de coincidență cu un punct (P), verticalitate (V) și orizontalitate (H)] (fig. b).

Mascare schiță 1

└ Modeling → Tree Outline: └ Sketch1 → └ Hide Sketch → └ Display Model).

Generare racordare

└ Sketching → Sketching Toolboxes: └ Modify → └ Fillet → Radius: [se introduce valoarea razei, 3] → [se marchează cu └ perechile de linii ce se vor racorda] (fig. c).

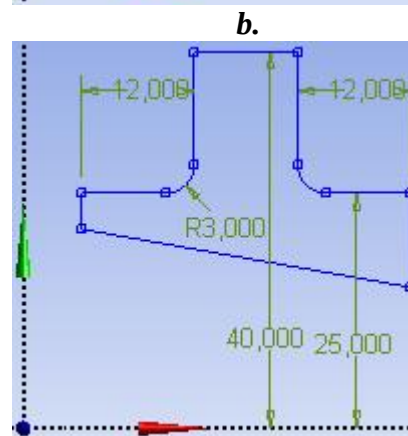
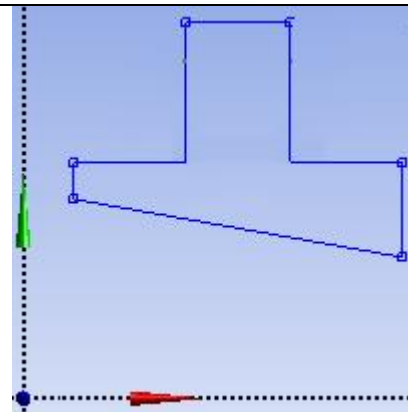
Cotare contur

Cotare în direcție orizontală

Sketching Toolboxes: └ Dimensions → └ Horizontal → [se selectează cu └ perechi de linii paralele cu axa Y] (se vizualizează automat cota) → Details View, Dimensions: └ H → [se introduce valoarea, 12/12] (fig. c).

Cotare în direcție verticală

└ Vertical → [se selectează cu └ linia paralelă cu axa X și axa X (fig. c)] (se vizualizează automat cota) → Details View, Dimensions: └ V → [se introduce valoarea, 40/25] (fig. c).



c.

C.3.5 Generarea suprafeței butucului

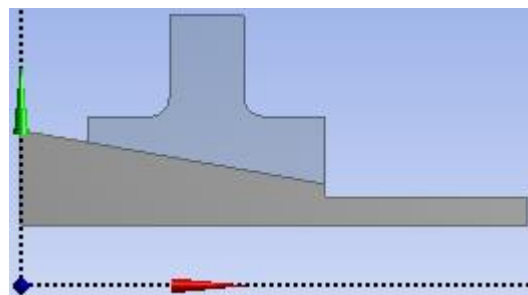
DM: └ Concept →

└ Surfaces From Sketches → └ Sketch2 → Details View,

Details of Surface: └ Base Objects → └ Apply; └ Generate

(generare suprafață, fig. a); └ Sketch1 → └ Hide Sketch (mascare schiță).

└ Surface Body → Details View, Details of Surface Body: └ Body, [se introduce denumirea, Butuc].



a.

C.3.6 Salvarea modelului geometric

DM: └ Save Project → └ Close).

C.4. Modelarea cu elemente finite

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

Lansarea modulului de modelare cu elemente finite

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

Setarea sistemului de unități de măsură

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

Setarea caracteristicilor de material

Outline: └ Geometry → └ Surub → Details of "Arbore", Material: └ Assignment → [se va selecta din listă cu └, └ Structural Steel (setare implicită)]; └ Piulita → Details of "Butuc", Material: └ Assignment → [se va selecta din listă cu └, └ Structural Steel (setare implicită)];

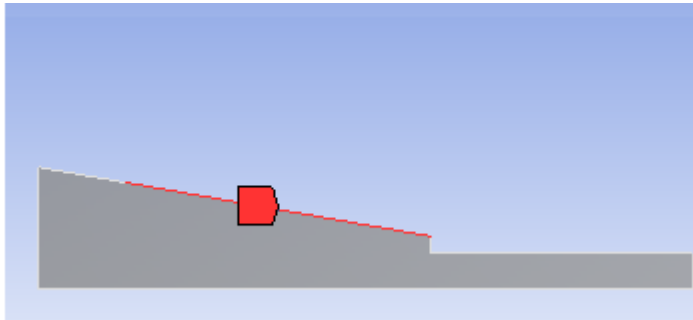
Setarea tipului modelului (axialsimetric)

Outline: └ Geometry → Details of "Geometry", Definition: └ 2D Behavior, [se selectează din lista cu └, └ Axisymmetric].

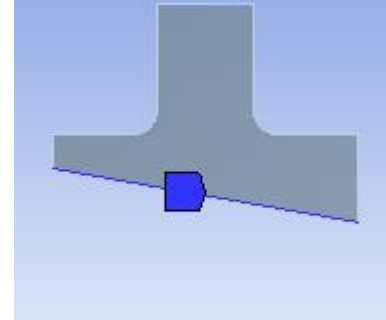
C.4.2 Modelarea legăturilor de tip contact cu frecare

└ Outline: └ Connections → └ Insert → └ Manual Contact Region →

Details of "Bonded - No Selection To No Selection", **Definition**: $\downarrow$ Type $\rightarrow$ [se va selecta din listă cu $\downarrow$ $\rightarrow$], $\downarrow$ Frictional];
 $\downarrow$ Butuc $\rightarrow$ $\downarrow$ Hide Body $\rightarrow$ $\downarrow$ $\rightarrow$ [se selectează cu $\downarrow$ liniile flancurilor filetului șurubului, fig. a] $\rightarrow$
 Details of "Frictional - Arbore To Butuc", **Scope**: $\downarrow$ Contact $\rightarrow$ $\downarrow$ Apply (opțiunea **Contact Bodies** se indexează automat,
 Arbore); $\downarrow$ Butuc $\rightarrow$ $\downarrow$ Show Body $\rightarrow$ $\downarrow$ Arbore $\rightarrow$ $\downarrow$ Hide Body $\rightarrow$ $\downarrow$ $\rightarrow$ [se selectează cu $\downarrow$
 liniile flancurilor filetului piuliței, fig. b] $\rightarrow$ Details of "Frictional - Arbore To Butuc", **Scope**: $\downarrow$ Target $\rightarrow$ $\downarrow$ Apply
 (opțiunea **Target Bodies** se indexează automat, Butuc); **Definition**: $\downarrow$ Behavior $\rightarrow$ [se selectează cu $\downarrow$ $\rightarrow$], $\downarrow$ Symmetric
]; $\downarrow$ Friction Coefficient $\rightarrow$ [se introduce valoarea, 0,2]; $\downarrow$ Advanced $\rightarrow$ $\downarrow$ Formulation $\rightarrow$ [se selectează cu $\downarrow$ $\rightarrow$], $\downarrow$
 Augmented Lagrange] (metoda de rezolvare a modelului neliniar); $\downarrow$ Arbore $\rightarrow$ $\downarrow$ Show Body.



a.

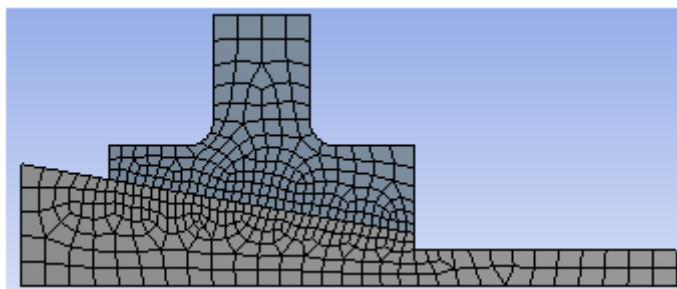


b.

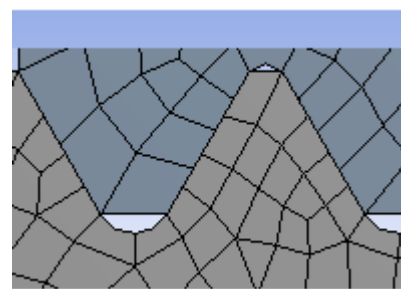
C.4.3 Discretizarea modelului și setarea tipului analizei

Discretizare automată

$\downarrow$ Outline: $\downarrow$ Mesh $\rightarrow$ $\downarrow$ Generate Mesh (fig. a, b).



a.



b.

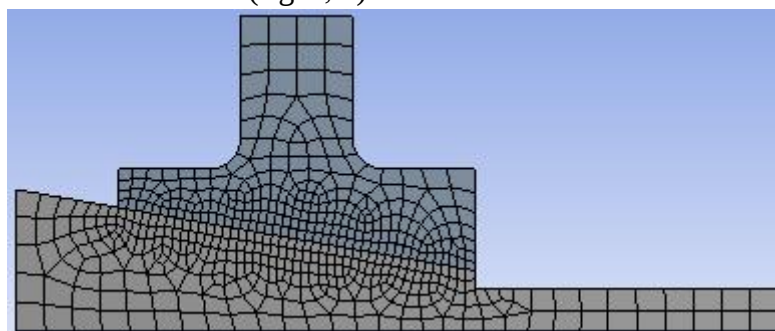
Obs. În fig. a,b se evidențiază discontinuități ale structurii de elemente finite la nivelul suprafeței de contact, fapt ce conduce la o modelare necorespunzătoare a fenomenelor de contact și se impune corectarea discretizării asigurându-se continuitatea la nivel nodal.

Setarea dimensiunilor elementelor finite pe suprafețele de contact

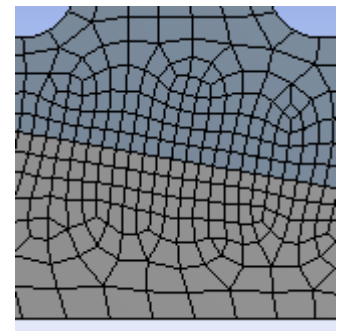
$\downarrow$ Mesh $\rightarrow$ $\downarrow$ Insert $\rightarrow$ $\downarrow$ Sizing $\rightarrow$ Details of "Sizing" - Sizing, **Scope**: $\downarrow$ Geometry $\rightarrow$ $\downarrow$ Butuc $\rightarrow$
 $\downarrow$ Hide Body $\rightarrow$ $\downarrow$ $\rightarrow$ [se selectează cu Ctrl+ $\downarrow$ liniile flancurilor filetului șurubului] $\rightarrow$ $\downarrow$ Apply;
 Details of "Edge Sizing" - Sizing: $\downarrow$ Element Size, [se introduce valoarea, 0,8] $\rightarrow$ $\downarrow$ Butuc $\rightarrow$ $\downarrow$ Show Body $\rightarrow$
 $\downarrow$ Arbore $\rightarrow$ $\downarrow$ Hide Body $\rightarrow$ $\downarrow$ $\rightarrow$ [se selectează cu Ctrl+ $\downarrow$ liniile flancurilor filetului piuliței] $\rightarrow$
 Details of "Edge Sizing 2" - Sizing: $\downarrow$ Element Size, [se introduce valoarea, 0,8]; $\downarrow$ Arbore $\rightarrow$ $\downarrow$ Show Body.

Rediscretizare automată

$\downarrow$ Mesh $\rightarrow$ $\downarrow$ Generate Mesh (fig. c, d).



c.

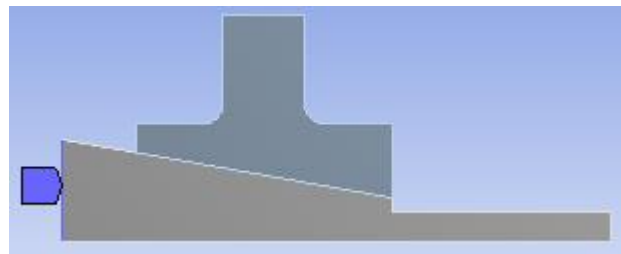


d.

C.5. Modelarea constrângerilor

Generare constrângere de tip încastrare (anulează toate cele 6 grade de mobilitate)

Outline: → Static Structural (A5) → Supports → Fixed Support → Model (A4) → [selectare cu a muchiei cu constrângere (fig. a)]; Fixed Support → Details of "Fixed Support", Scope: → Geometry → No Selection → Apply (fig. a).

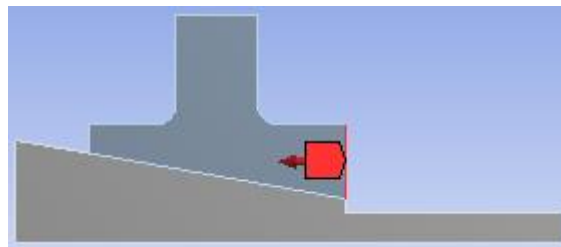


a.

C.5. Modelarea încărcărilor

Încărcare cu forță distribuită pe o muchie

Outline: → Static Structural (A5) → Insert → Force → Details of "Force", Scope: → Geometry → [se va selecta cu a muchia pe care se aplică forța] → Apply; Definition: → Define By → [se selectează din lista cu a, a Components]; → X Component → [se introduce valoarea, -45000] (fig. a).



a.

D. REZOLVAREA MODELULUI CU ELEMENTE FINITE

D.1 Setarea criteriului de convergență pentru rezolvarea modelului neliniar fizic (cu frecare)

Outline: → Solution (A6) → Solution Information, Details of "Solution Information", Solution Information: → Solution Output → [se va selecta din listă cu a, a Force Convergence] (se adoptă criteriul convergenței forței).

D.2 Setarea rezultatelor

Setare deplasare totală

Outline: → Solution (A6) → Insert → Deformation → Total.

Setare tensiune echivalentă

Outline: → Solution (A6) → Insert → Stress → Equivalent (von-Mises).

Setare tensiune normală axială

Outline: → Solution (A6) → Insert → Stress → Normal → Details of "Normal Stress", Scope: → Orientation → [se selectează din lista cu a, a X Axis];

Setare tensiune normală radială

Outline: → Solution (A6) → Insert → Stress → Normal → Details of "Normal Stress", Scope: → Orientation → [se selectează din lista cu a, a Y Axis];

Setare tensiune normală tangențială (circumferențială)

Outline: → Solution (A6) → Insert → Stress → Normal → Details of "Normal Stress", Scope: → Orientation → [se selectează din lista cu a, a Z Axis];

Setarea erorii structurale

Outline: → Solution (A6) → Insert → Stress → Stress → Error.

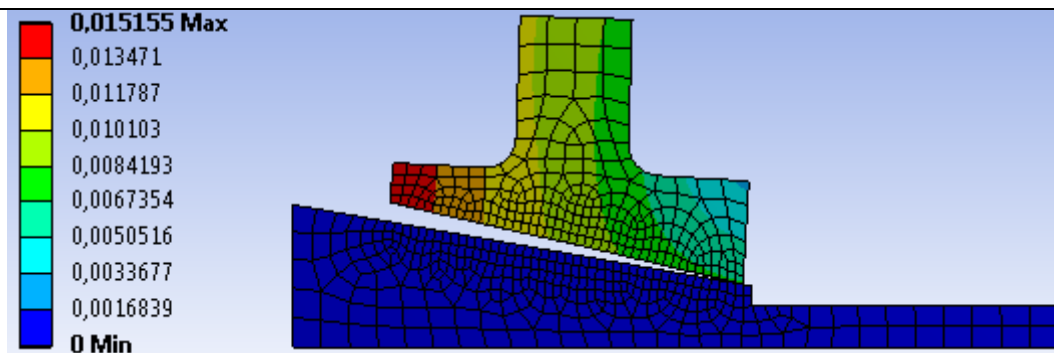
D.3 Lansarea modului de rezolvare a modelului

Outline: → Solution (A6) → Solve.

E. POSTPROCESAREA REZULTATELOR

E.1. Vizualizarea câmpului deplasărilor totale

Outline: → Solution (A6) → Total Deformation (fig. a); → [se selectează din listă a, a Contour Bands] (vizualizarea conturilor în benzi); → [se selectează din listă cu a, a Show Elements] (vizualizarea structurii cu EF); → Result → [se selectează din listă cu a, a 1,3e+002 (0.5x Auto)] (selectarea factorului de scalare); Graph → Animation → [vizualizarea animației].

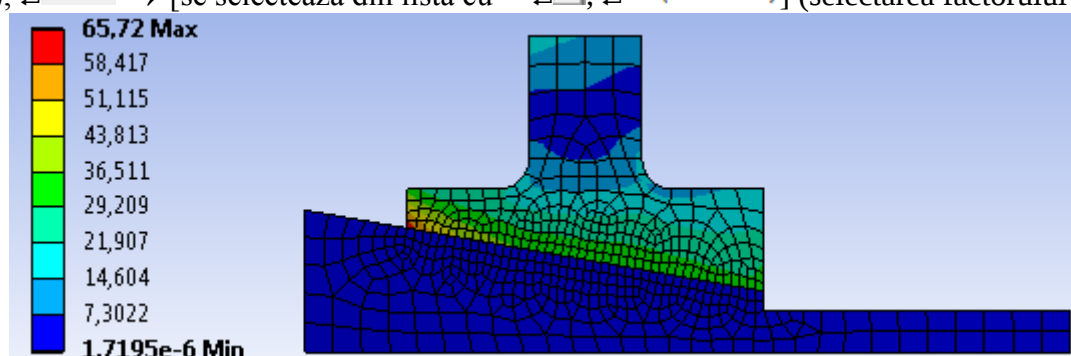


a.

E.2. Vizualizarea câmpurilor tensiunilor

Vizualizare câmp tensiune echivalentă

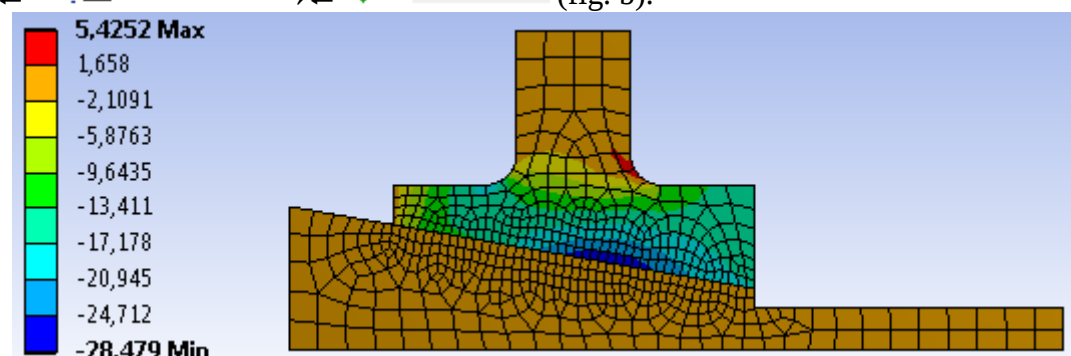
M, Outline: Solution (A6) → Equivalent Stress (fig. a); Graph → Animation (vizualizarea animației); Result → [se selectează din listă cu , 1.0 (True Scale)] (selectarea factorului de scalare);



a.

Vizualizare câmp tensiune normală axială

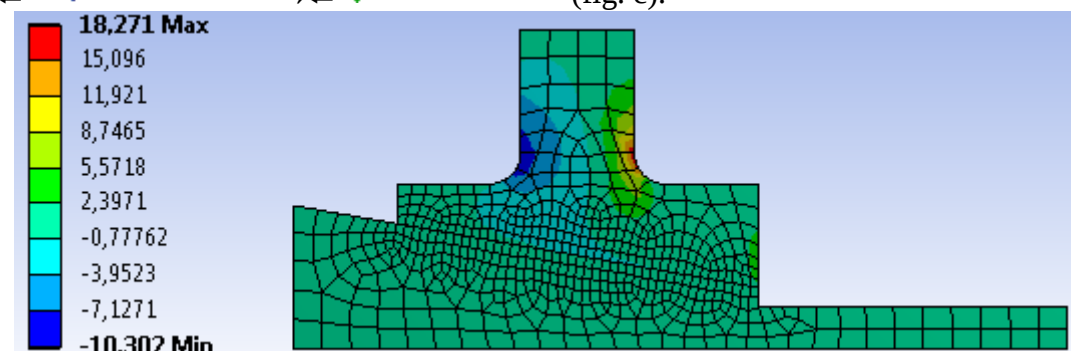
M, Outline: Solution (A6) → Normal Stress (fig. b).



b.

Vizualizare câmp tensiune normală radială

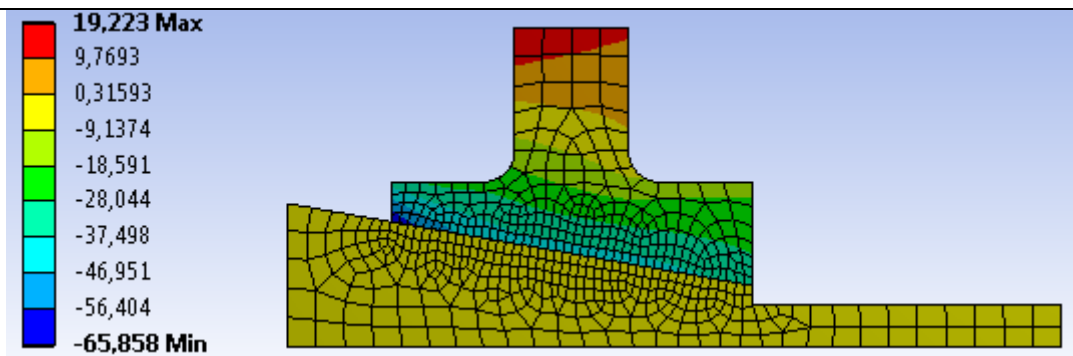
M, Outline: Solution (A6) → Normal Stress 2 (fig. c).



c.

Vizualizare câmp tensiune normală tangențială (circumferențială)

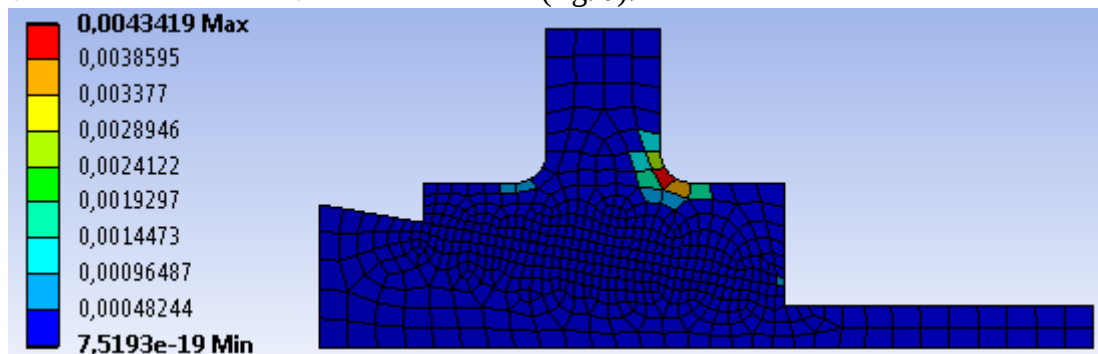
M, Outline: Solution (A6) → Normal Stress 3 (fig. d).



d.

E.3. Vizualizarea câmpului erorii structurale

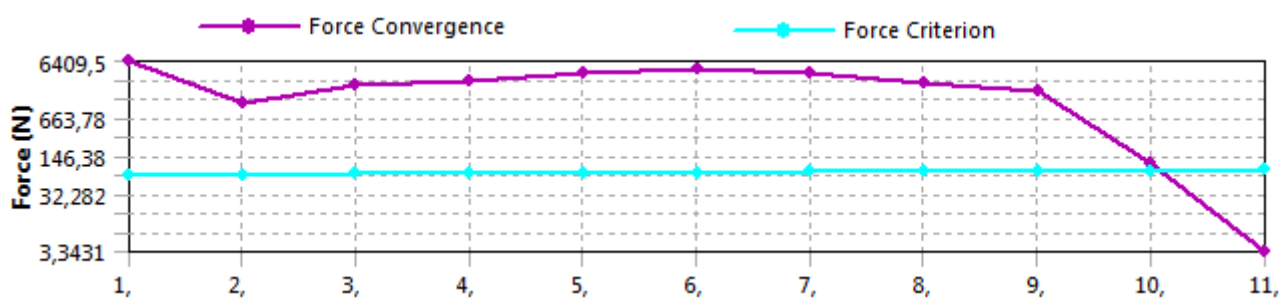
Outline: Solution (A6) Structural Error (fig. a).



d.

E.4 Vizualizarea graficului de convergență a soluției problemei neliniare

Outline: Solution Information (fig. a).



a.

F. ANALIZA REZULTATELOR

F.1 Interpretarea rezultatelor

În urma analizei rezultatelor obținute, ca urmare, a modelării și postprocesării rezultatelor (subcap. E) se evidențiază următoarele:

- În urma procesului de deformare a elementelor subansamblului ca urmare a acțiunii piuliței (subcap. A.2, fig. a) se observă deplasări mărite (max. 0,015155 mm, subcap. E.1) în zona butucului cu diametrul maxim al alezajului.
- Tensiunea echivalentă are valori mărite (max 65,72 MPa; subcap. E.2, fig. a) în corpul butucului în zona cu diametrul maxim al alezajului (subcap. A.2, fig. a).
- Din analiza tensiunii axiale (subcap. E.2, fig. b) se evidențiază solicitarea de compresiune a corpului butucului cu valoare maximă, -28,479 MPa, și solicitarea de întindere cu valori reduse în butuc în zona racordării dinspre exterior.
- Tensiunile normale radiale, cu precădere de compresiune, au valori reduse (subcap. E.2, fig. c)
- În subcap. E.2, fig. d se evidențiază solicitarea de compresiune cu valori mărite (65,858 MPa) ale tensiuni tangențiale (circumferențiale) în butuc în zona cu diametrul maxim al alezajului și solicitarea de întindere cu valori mult reduse în corpul but.

F.2 Analiza preciziei și convergenței rezolvării modelului neliniar

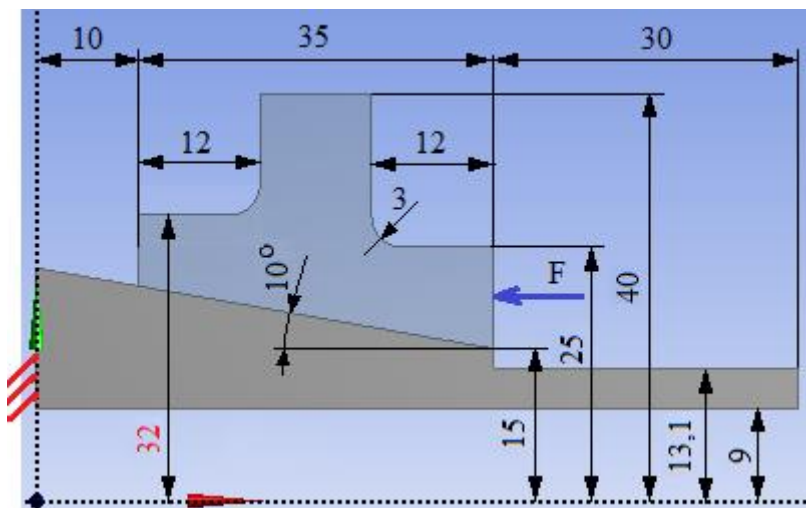
Valorile mult reduse ale câmpului erorii structurale (max 0,0436 mJ, subcap. E.3) indică că valorile tensiunilor sunt apropiate de cele exacte. În plus, din subcap. E.4 se evidențiază convergența rapidă (19 pași)

a algoritmul de rezolvare a modelului și timpul de calcul este redus.

F.3 Studii pentru proiectare

Din analiza rezultatelor de mai sus se evidențiază neuniformitatea strângerii de-a lungul alezajului conic și corelat cu aceasta tensiuni mărite în zona umărului butucului din partea stânga. Pentru diminuarea acestor dezavantaje se propune creșterea umărului butucului din partea stânga (fig. a). Astfel, se impune modificarea modelului de analiză și rerezolvarea acestuia prin parcurgerea succesiunilor:

modificare valoare dimensiune ...
Generate; Outline: Geometry
→ Refresh Geometry; Solve. După ce se rezolvă modelul se reanalizează și se reinterpretează rezultatele.



a.

G. CONCLUZII

Modelarea și analiza cu elemente finite din această lucrare s-au realizat și *cu scop didactic* urmărind *inițierea utilizatorului* cu etapele principale de dezvoltare a unei aplicații de AEF în ANSYS Workbench, în care se insistă, cu precădere, pe modelarea și analiza unui element deformabil și a contactelor acestuia cu alt element adiacent.

Modelul de AEF adoptat implică considerarea *contactului cu frecare* ale unei asamblări cu strângere pe con. Pentru analiză s-a elaborat un model geometric plan axial simetric (2D) cu legătură de tip contact linie-linie. Încărcarea exterioară s-a realizat prin intermediul unei forțe distribuite pe o linie.

Ca urmare a rezolvării modelului cu elemente finite neliniar adoptând metoda convergenței forței s-au obținut rezultate cu precizie mărită, valorile parametrilor obținuți (deplasări, tensiuni, eroare structurală) fiind utile pentru optimizarea formei și dimensională a elementului Butuc.