

Aplicația AEF-A.14

Analiza statică a structurilor din bare

CUVINTE CHEIE

Analiza statică liniară, Material liniar, Model geometric 1D, Element finit 1D, Element finit liniar, Structuri din bare, Grinzi cu zăbrele, Comparatie cu metode clasice

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

Barele sunt entități constructive cu una din dimensiuni mult mai mare decât celelalte două, având secțiuni constante diverse (circulară, inelară, pătrată, dreptunghiulară, profile etc.)

Structurile realizate din bare sunt specifice, cu precădere, construcțiilor metalice (poduri, grinzi, stâlpi, ferme etc.). Pentru analiza cu elemente finite structurile din bare se modelează cu elemente finite unidimensionale ale căror proprietăți sunt determinate de parametrii secționali dimensionali și de orientare. Prin aceste modelări se reduc substanțial necesarul de memorie precum și timpul de calcul. Rezultatele obținute în urma analizelor cu aceste elemente finite sunt mai puțin valide în zonele nodale de legătură (suduri, asamblări nituite, asamblări cu bolțuri) care se pot analiza separat folosind elemente finite 3D și de legătură.

A.2 Descrierea aplicației

În vederea susținerii unei conducte de alimentare cu apă la trecerea peste un râu se impune realizarea unei structuri tip grindă cu zăbrele. Conducta este atașată de suportii de pe grindă, plasați la intervale egale, cu ajutorul unor bride de fixare. Pentru a se evita apariția tensiunilor termomecanice la variații de temperatură, grinda este fixată la un capăt prin intermediul unei asamblări cu bolț care permite rotirea iar la celălalt capăt este rezemată și ghidată permițând translația.



A.3 Scopul aplicației

În cazul acestei aplicații se prezintă analiza câmpurilor deplasărilor, deformațiilor și tensiunilor unei structuri din bare solicitate static cu scopul de a optimiza construcția ei, respectiv de a-i minimiza greutatea în condițiile respectării restricțiilor de deformare și de rezistență.

Pentru începutul analizei cu elemente finite, structura de susținere din figura de mai sus, se consideră ca fiind realizat din țevă pătrată din oțel S235 cu dimensiunile 80 x 80 x 5 mm. Dimensiunile structurii de susținere sunt: lungimea $L = 16a = 8$ m iar înălțimea $H = 3a = 1,5$ m. Se consideră că această structură susține, în partea inferioară, o conductă ce este suspendată prin intermediul a două bride, la distanțe egale de margini ($l = 2$ m).

Pentru analiza cu elemente finite, acțiunea conductei susținute asupra structurii se poate modela prin introducerea în fiecare nod în care se agață țeava prin intermediul bridelor de fixare a unei forțe concentrate $F = 5 \text{ kN}$. În plus, de importanță deosebită pentru analiza acestor structuri, este și luarea în considerare a forțelor de tip greutate proprie.

B. ÎNTOCMIREA MODELULUI PENTRU ANALIZĂ

B.1 Definirea modelului pentru analiză

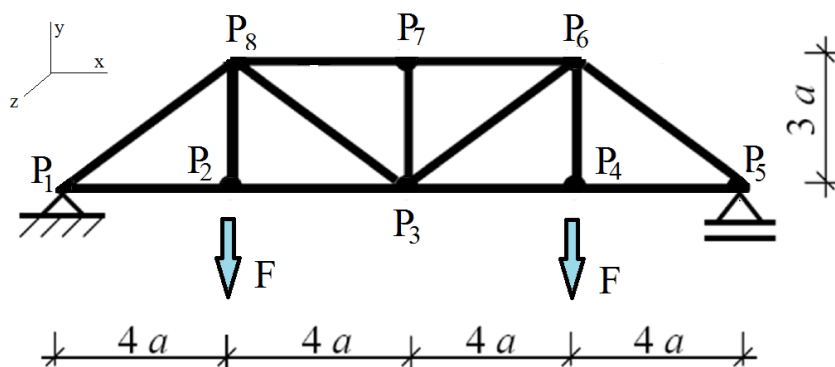
Pentru întocmirea modelului de analiză cu elemente finite asociat aplicației de mai sus se impune identificarea:

- 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

Forma geometrică și dimensiunile modelului de analiză a structurii de susținere sunt identice cu cele ale structurii la nivelul axelor tronsoanelor. Pentru analiza, structura se modelează cu elemente finite 1D și, deci, modelul geometric are configurația din figura de mai jos, având $a = 0,5 \text{ m}$.

Pentru ca modelul de analiză să aibă aceeași comportare cu modelul real este necesar să se asocieze condiții limită care presupun anularea deplasărilor de translație în raport cu axele OX , OY și OZ și a rotațiilor în raport cu axele OX și OY , în punctul P_1 , respectiv a rotațiilor OX , OY și a translațiilor după axele OY și OZ , în punctul P_5 . Structura modelului de analiză se încarcă cu forța concentrată $F = 5 \text{ kN}$ în punctele P_2 și P_4 .



B.3 Stabilirea caracteristicilor materialului și mediului

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

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

Setarea tipului problemei (3D)

A : [Icon] Geometry → [Icon] Properties → Properties of Schematic A3: Geometry , [Icon] Advanced Geometry Options : [Icon] Analysis Type , [se selectează din listă cu [Icon] , 3D] → [se închide fereastra [Icon] X].

Salvarea proiectului

[Icon] Save As... → [Icon] Save As , File name: [se introduce denumirea, AEF-A.1.16.] → [Icon] Save .

C.2 Modelarea caracteristicilor materialului și mediului

[Icon] , **Project Schematic** : [Icon] Engineering Data [Icon] Edit... → Outline of Schematic A2: Engineering Data : [Icon] Structural Steel , Properties of Outline Row 3: Structural Steel : [Icon] Isotropic Elasticity → Young's Modulus , Young's Modulus , [se selectează în lista din coloana C (Unit) cu [Icon] , MPa] , [se introduce în caseta din coloana B (Unit) valoarea,

204000] → ⏮ Update Project → ⏮ Return to Project (ceilalți parametri rămân implicați). 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**.

C.3 Modelarea geometrică

C.3.1 Încărcarea modului DesignModeler (DM)

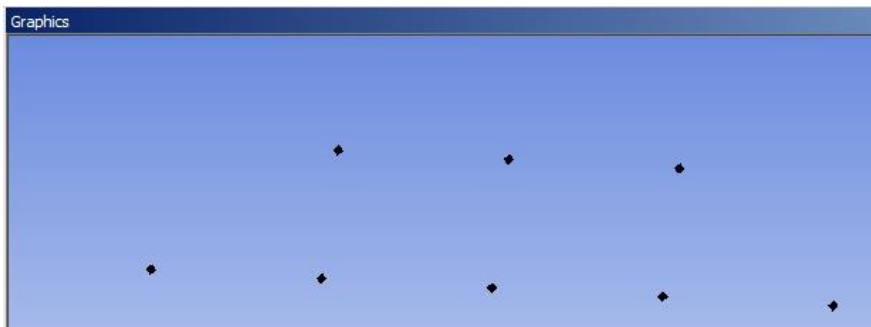
⚠, **Project Schematic**: Geometry → **New Geometry...** → **ANSYS Workbench**: Millimeter, ⏮OK.

C.3.2 Generarea punctelor

→ **Modeling** → **Create** → **Point** [în zona de modelare 3D se crează punctul P1 pe baza coordonatelor carteziane] → **Details View** → **Details of Point 1** → Definition ▾: Manual Input; **Point Group 1 (RMB)** → x = 0; y = 0; z = 0 → ⚡ **Generate**.

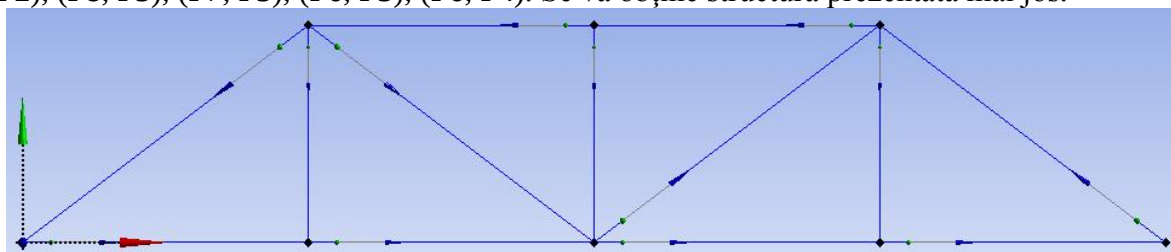
În același mod se construiesc punctele P2...P8, folosind coordonatele carteziane rezultate pe baza dimensiunilor date în modelul pentru analiză: P2 (2000; 0); P3 (4000; 0); P4 (6000; 0); P5 (8000; 0); P6 (6000; 1500); P7 (4000; 1500); P8 (2000; 1500).

Details View	
Details of Point1	
Point	Point1
Type	Construction Point
Definition	Manual Input
Point Group 1 (RMB)	
☐ FD8, X Coordinate	0 mm
☐ FD9, Y Coordinate	0 mm
☐ FD10, Z Coordinate	0 mm



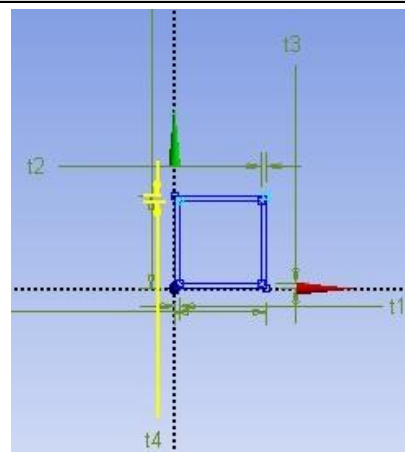
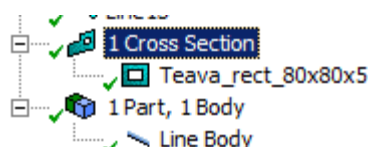
C.3.3 Generarea tronsoanelor grinzii

→ **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 se construiesc segmentele corespunzătoare perechilor de puncte: (P2, P3), (P3, P4), (P4, P5), (P5, P6), (P6, P7), (P7, P8), (P8, P1), (P8, P2), (P8, P3), (P7, P3), (P6, P3), (P6, P4). Se va obține structura prezentată mai jos.



C.3.4 Generarea secțiunii tronsoanelor

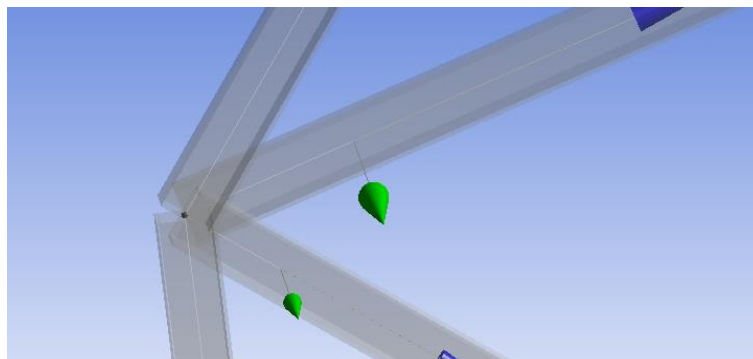
→ **Modeling** → **Concept** → **Cross Section** → **Rectangular Tube** → **Details View** → **Details of Rect Tube 1** → Sketch: Teava_rect_80x80x5; **Dimensions**: W1 = 80 mm, W2 = 80 mm, t1 = 5 mm, t2 = 5 mm, t3 = 5 mm, t4 = 5mm → ⚡ **Generate**.



C.3.5 Atribuirea profilului transversal structurii metalice

Generarea (construirea) unui profil nu înseamnă atribuirea acestuia unei structuri de grinzi 1D. Pentru finalizarea procedurii, se procedează astfel:

DM → Line Body → Details View → Details of Line Body → Cross Section : Teava_rect_80x80x5;
 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, se poate modifica orientarea astfel: Line Body → Details View → Line Body-Edge → Reverse Orientation? : Yes] → Offset Type : Centroid → Generate.



C.3.6 Salvarea modelului geometric

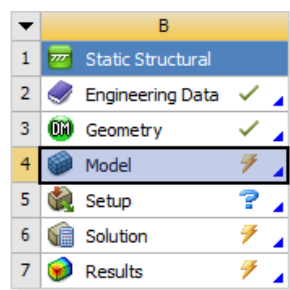
DM → (Save Project) → File → Close Design Modeler.

C.4 Modelarea cu elemente finite

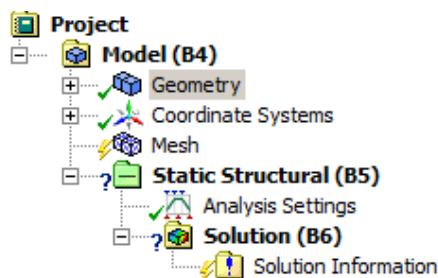
C.4.1 Lansarea modului de modelare cu elemente finite și setarea caracteristicilor de material și tipului problemei

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 .



AEF-A.4.6.



Details of "Geometry"	
Definition	
Source	C:_Documente\Carte MEF\AEF-A_Aplicatie ferma 1D\F...
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Properties	
Statistics	
Basic Geometry Options	
Advanced Geometry Options	

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 → Details of "Geometry" → Material: Assignment → [se va selecta din listă cu],
 Structural Steel (setare implicită).

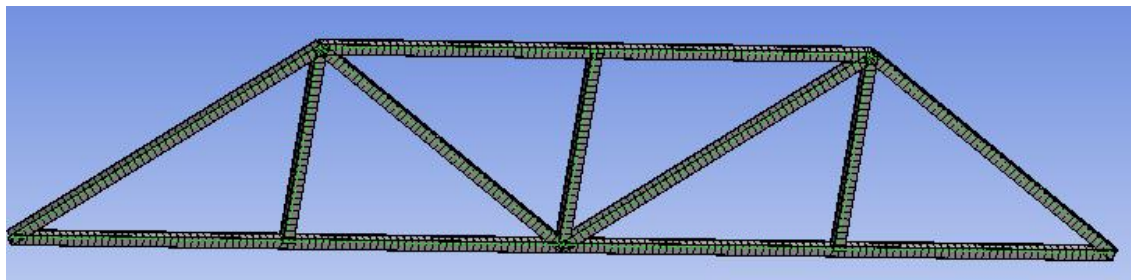
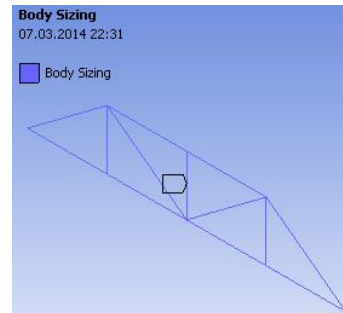
Setarea tipului modelului

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

C.4.2 Discretizarea modelului și setarea dimensiunilor elementelor finite

Outline: Mesh → Mesh Control → Sizing → Details of "Sizing" - Sizing → Scope → Select Geometry: [se va selecta cu geometria structurii, folosind filtrul de selecție (Body)] Apply; Definition Element → Size: 0,05 m → Update

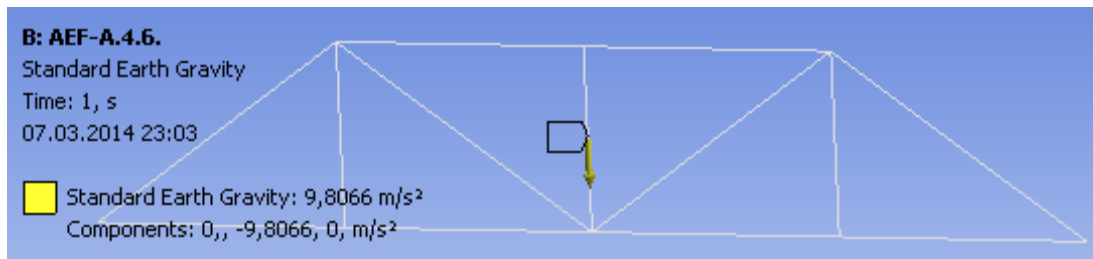
Details of "Body Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
☒ Element Size	5,e-002 m
Behavior	Soft



C.5 Modelarea constrângerilor

Introducerea accelerației gravitaționale

M → **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 reazemelor

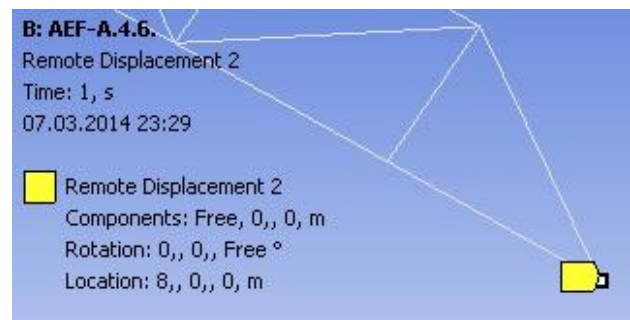
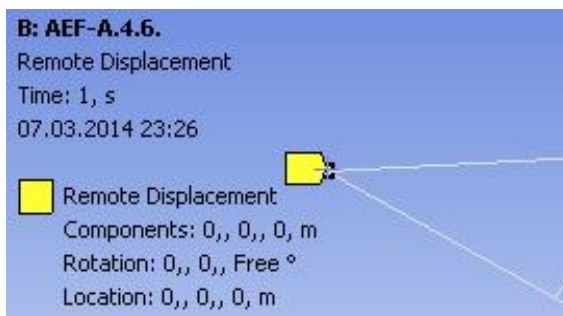
M → **Static Structural (B5)** → **Supports** → **Remote Displacement** → **Details of "Remote Displacement"** →

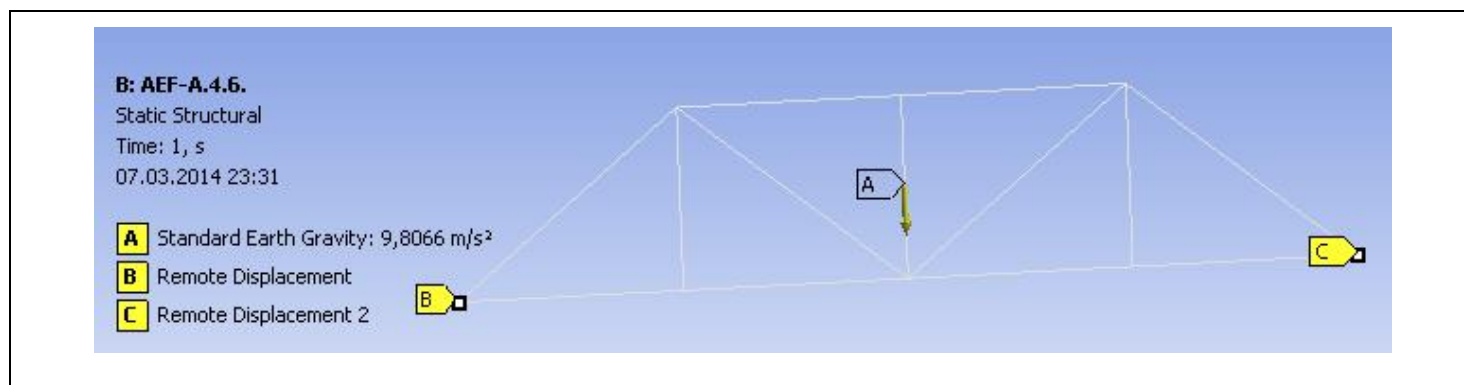
Scope → Geometry: [se va selecta cu **P1** punctul P1, folosind opțiunea **(Vertex)**] → Apply; **Definition** → X Component: 0, Y Component: 0, Z Component: 0, Rotation X: 0, Rotation Y: 0, Rotation Z: Free.

Se va repeta procedura și pentru punctul P5:

M → **Static Structural (B5)** → **Supports** → **Remote Displacement** → **Details of "Remote Displacement"** →

Scope → Geometry: [se va selecta cu **P5** punctul P5, folosind opțiunea **(Vertex)**] → Apply; **Definition** → X Component: Free, Y Component: 0, Z Component: 0, Rotation X: 0, Rotation Y: 0, Rotation Z: Free.





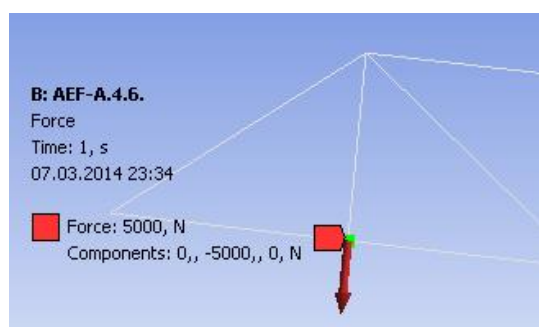
C.6 Modelarea încărcărilor

Introducerea forței într-un punct

M → **Static Structural (B5)** → **Loads** → **Force** → **Details of "Force"** → **Scope** → Geometry: [se va selecta cu **↵** punctul P2 (fig. a), folosind opțiunea **Vertex**] → **Apply**; **Definition** → Magnitude: 5000 N; Direction: axa Y [se va selecta cu **↵** un segment din structura metalică paralel cu axa OY].

Se va repeta procedura și pentru punctul P4 (fig. b):

M → **Static Structural (B5)** → **Loads** → **Force** → **Details of "Force"** → **Scope** → Geometry: [se va selecta cu **↵** punctul P4, folosind opțiunea **Vertex**] → **Apply**; **Definition** → Magnitude: 5000 N; Direction: axa Y [se va selecta cu **↵** un segment din structura metalică paralel cu axa OY].

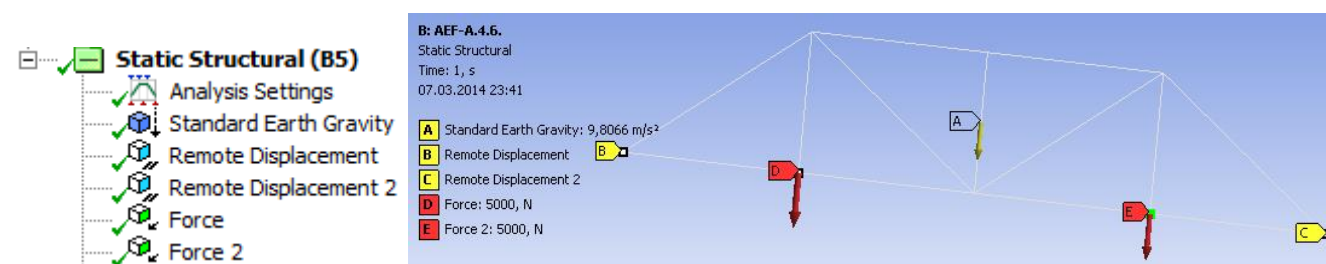


a.



b.

Constrângerile și încărcările structurii vor arăta ca în fig. c.



c.

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.

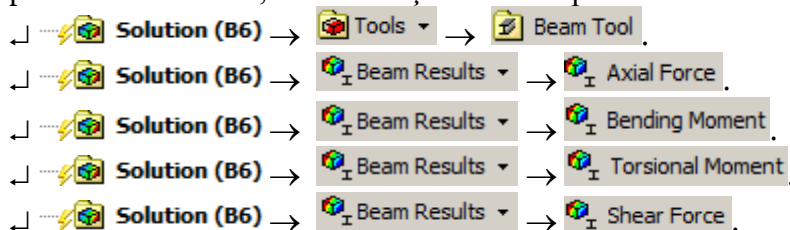
M → **Solution (B6)** → **Insert** → **Deformation** → **Total** [se folosesc comenzile din caseta de comenzi deschisă cu **↵**].

Același rezultat se poate obține prin utilizarea comenzilor:

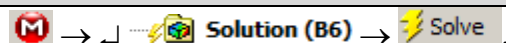
↵ **Solution (B6)** → **Deformation** → **Total** [se folosesc butoanele din barele de meniuri] precum și

↵ **Solution (B6)** → **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:



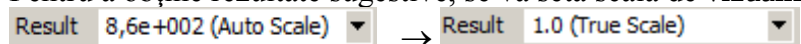
D.2. Lansarea modului de rezolvare a modelului



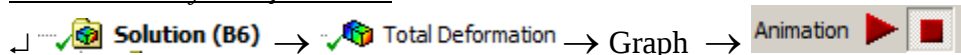
E. POSTPROCESAREA REZULTATELOR

E.1 Vizualizarea câmpurilor de deplasări

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



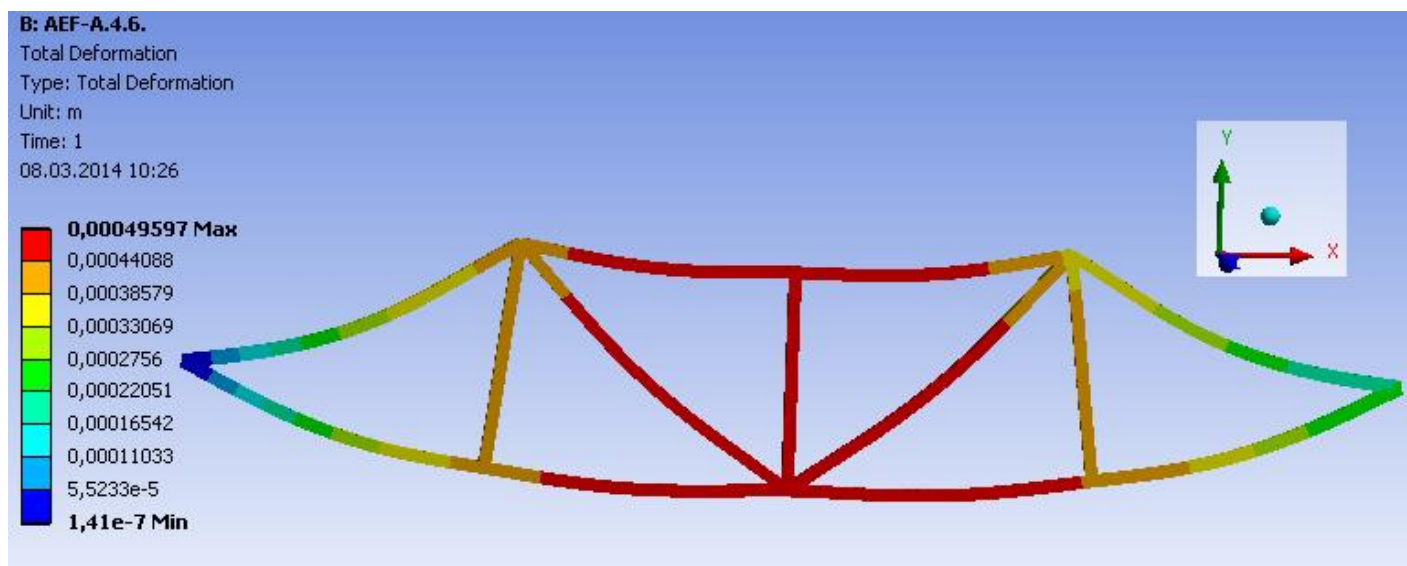
Vizualizare deformăției totale



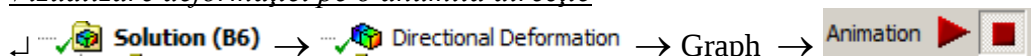
Dacă imaginile nu sunt destul de sugestive, în ceea ce privește modul de deformare a structurii, se poate reveni la modificarea scalei de vizualizare, selectând o valoare superioară: Result 1,7e+003 (2x Auto).

Se pot utiliza diverse forme de reprezentare a stării deformate, apelând butonul (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*.

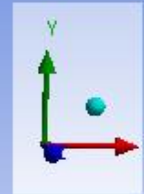
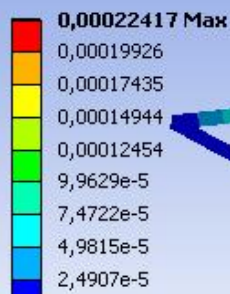


Vizualizare deformăției pe o anumită direcție



B: AEF-A.4.6.

Directional Deformation
 Type: Directional Deformation(X Axis)
 Unit: m
 Global Coordinate System
 Time: 1
 08.03.2014 10:19

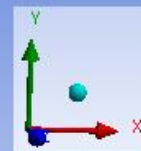
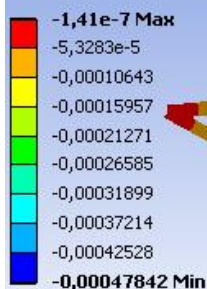


În cazul în care se dorește vizualizarea pe altă direcție, se urmează pașii prezentați mai jos:

Solution (B6) →
 Directional Deformation →
 Details of „Directional Deformation” →
 Definition →
 Orientation ▾: Y Axis →
 Solve .

B: AEF-A.4.6.

Directional Deformation
 Type: Directional Deformation(Y Axis)
 Unit: m
 Global Coordinate System
 Time: 1
 08.03.2014 10:34



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

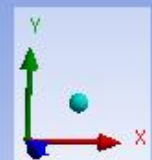
Tensiunea normală (Direct Stress)

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

Solution (B6) →
 Direct Stress →
 Graph →
 Animation .

B: AEF-A.4.6.

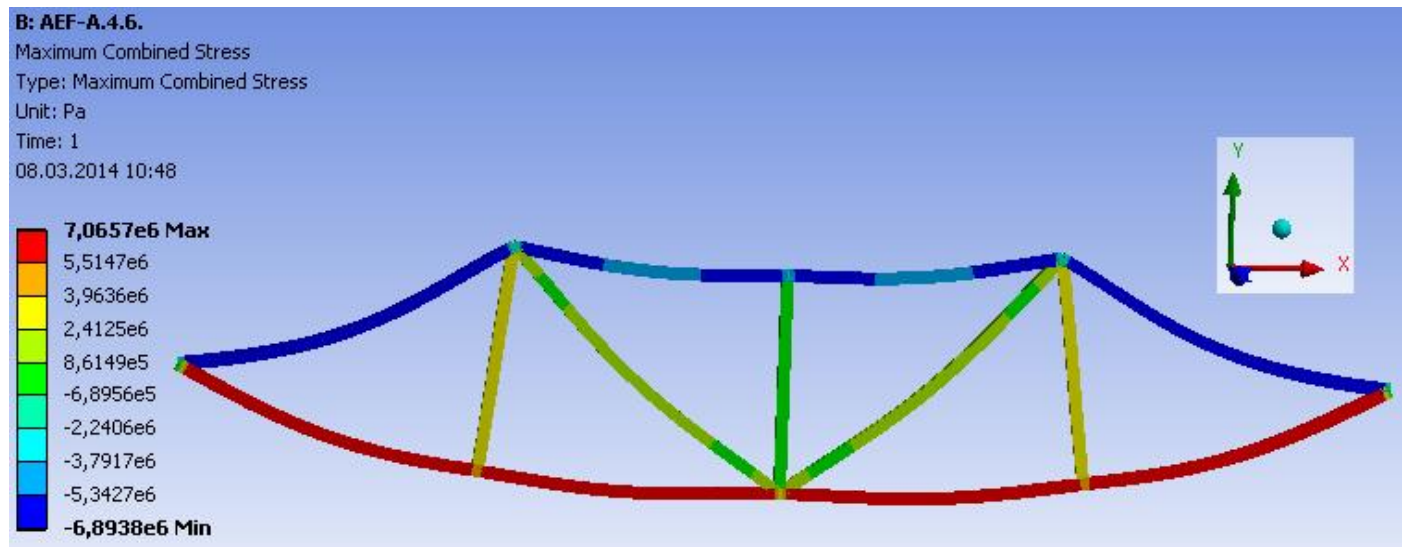
Direct Stress
 Type: Direct Stress
 Unit: Pa
 Time: 1
 08.03.2014 10:45



Tensiunea maximă combinată (Maximum Combined Stress)

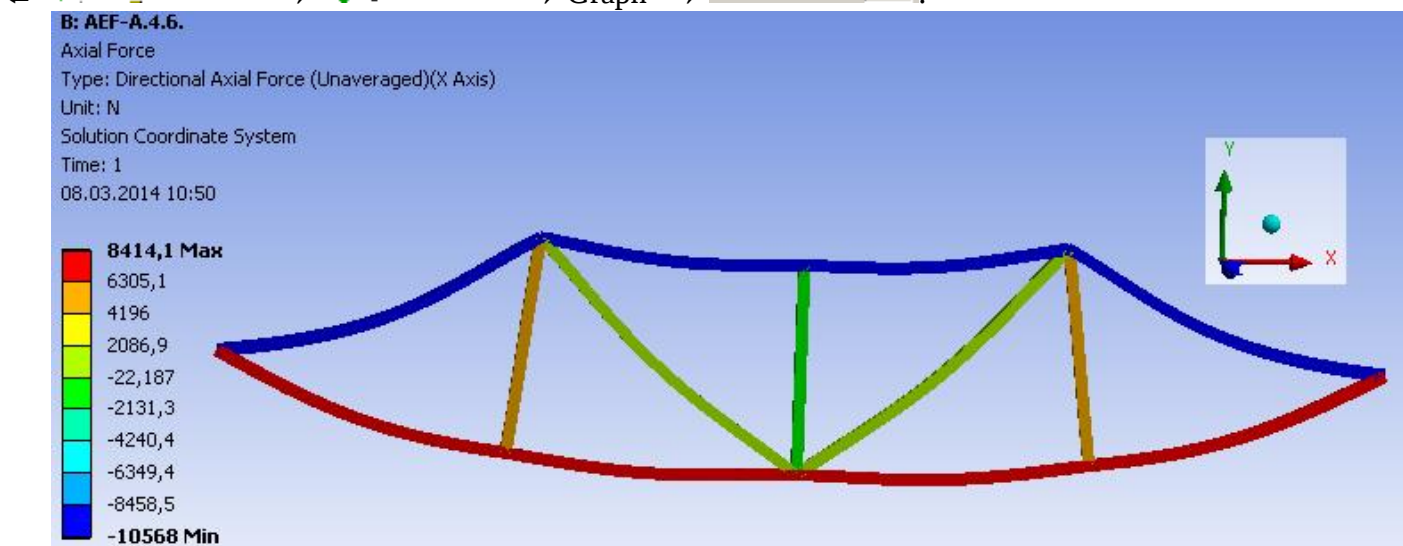
Maximum Combined Stress – reprezintă o combinație liniară între *Direct Stress* și *Maximum Bending Stress*.

↓ ✓  **Solution (B6)** →  Maximum Combined Stress → Graph → Animation  



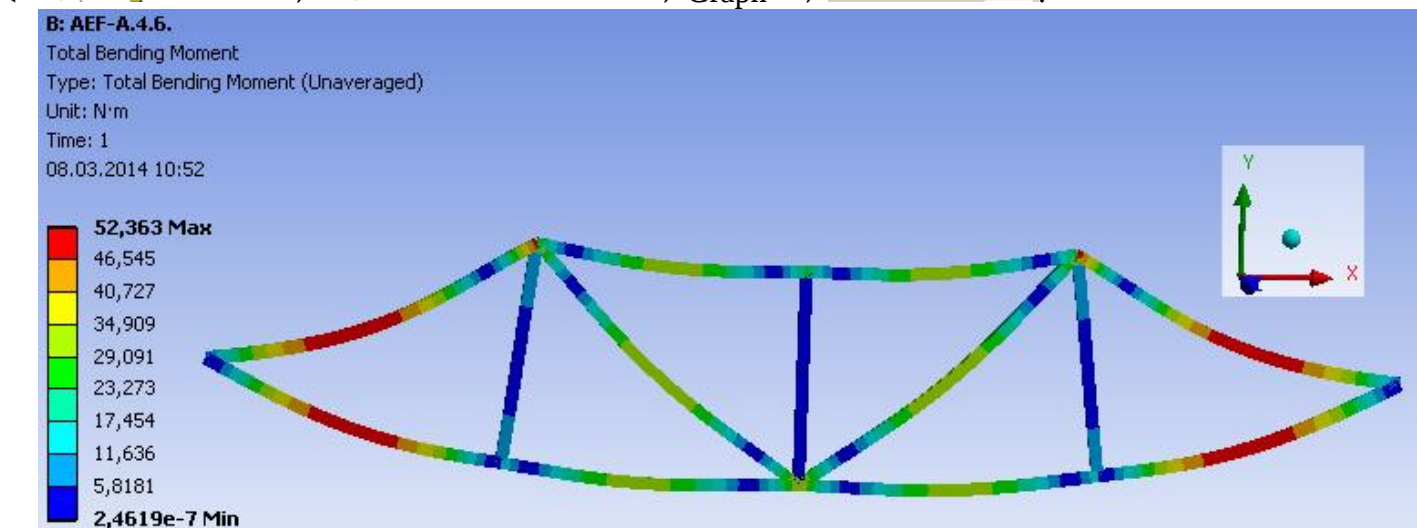
Forțe axiale (Directional Axial Force)

↓ ✓  **Solution (B6)** →  Axial Force → Graph → Animation  



Momente de încovoiere (Bending Moment)

↓ ✓  **Solution (B6)** →  Total Bending Moment → Graph → Animation  



Forțe de forfecare totale (Shear Force)

Solution (B6) → **Total Shear Force** → Graph → Animation

B: AEF-A.4.6.

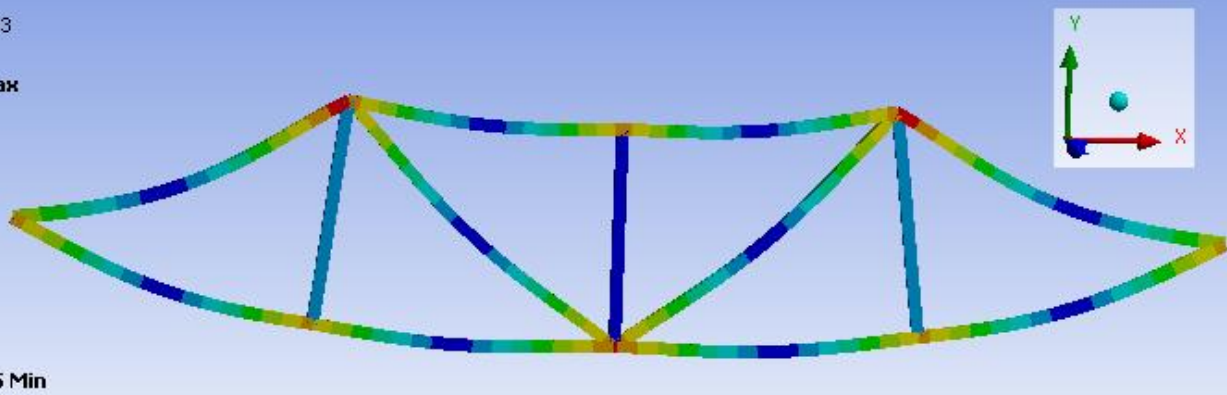
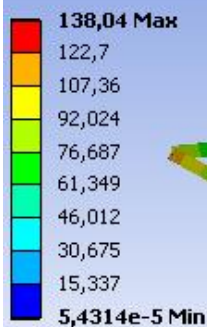
Total Shear Force

Type: Total Shear Force (Unaveraged)

Unit: N

Time: 1

08.03.2014 10:53



F. ANALIZA REZULTATELOR

F.1 Interpretarea rezultatelor

Se observă că, în pofida faptului că modelarea structurii de bare a fost efectuată cu ajutorul unor corpuri 1D, rezultatele obținute sunt sugestive, fiind prezentate într-un mediu 3D.

Din punct de vedere al deformațiilor totale, se observă că valoarea maximă este de 0,5 mm în zona de mijloc a structurii metalice. Pe direcția Ox, deplasarea maximă se obține în lagărul corespunzător punctului P5, având o valoare relativ mică, 0,2 mm.

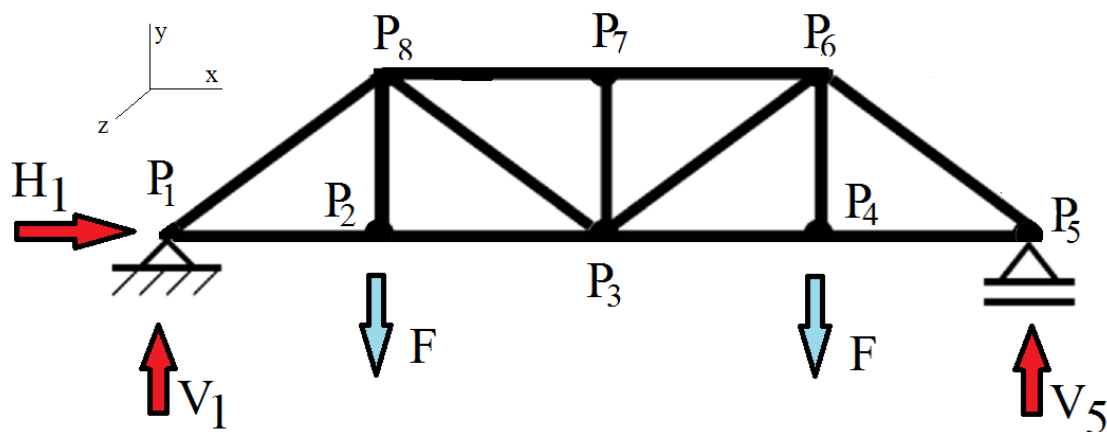
Se observă că zonele cu eforturi mari de forfecare sunt cele corespunzătoare punctelor de asamblare a tronsoanelor iar cele sollicitate la încovoiere fiind zonele de mijloc ale tronsoanelor (explicată prin valoarea maximă a brațelor forțelor din noduri).

Examinând reprezentarea grafică a forțelor axiale, se observă că tronsoanele situate în partea inferioară a structurii (segmentele 1-2, 2-3, 3-4, 4-5) sunt supuse solicitării de întindere – reprezentate cu culoarea roșie iar cele situate în partea superioară a structurii (1-8, 8-7, 7-6, 6-5) sunt sollicitate la compresiune – reprezentate cu culoarea albastră. Tronsoanele aflate la mijlocul structurii (8-3, 7-3, 6-3) sunt foarte puțin sollicitate axial, valoarea eforturilor tinzând spre 0.

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 7×10^6 Pa, valoare sub limita admisă a materialului.

F.2 Prezentarea rezultatelor obținute prin metoda clasică

Se calculează reacțiunile din lagărele corespunzătoare punctelor P1 și P5 scriind ecuațiile de echilibru.



$$\sum M_{(P1)} = -F \cdot 4a - F \cdot 12a + V_5 \cdot 16a = 0$$

$$\sum M_{(P5)} = -F \cdot 4a - F \cdot 12a + V_1 \cdot 16a = 0$$

$$\sum F_{(Oy)} = V_1 + V_5 - 2F = 0$$

Se obțin următoarele valori: $V_1 = V_5 = F = 5.000 \text{ N}$; $H_1 = 0$.

F.3 Studii pentru proiectare

Se poate constata că structura de grinzi analizată în această aplicație este foarte puțin solicitată, putându-se folosi profile mult mai mici, în vederea realizării unor economii. Modificarea profilului secțiunilor grinzilor și recalcularea se realizează într-un timp foarte scurt, fiind o procedură facilă.

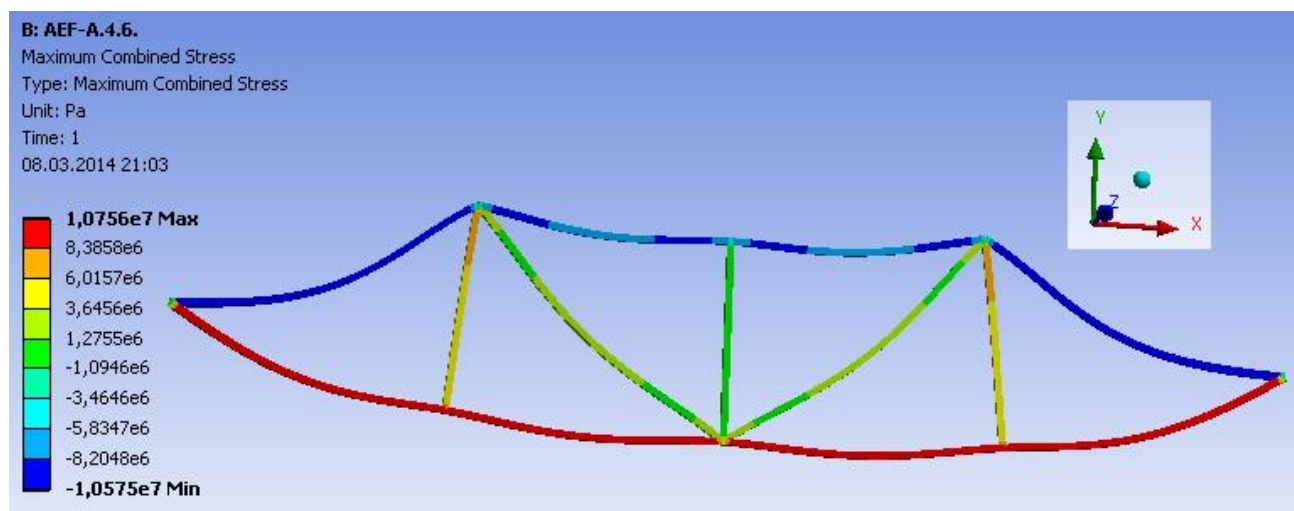
De exemplu, profilul de țevă rectangulară 80 x 80 x 5 mm va fi înlocuit cu 50 x 50 x 5. Este prezentat mai jos rezultatul obținut la *Tensiunea maximă combinată (Maximum Combined Stress)*.

DM → Modeling → Concept → Cross Section → Rectangular Tube → Details View → Details of Rect Tube 2 → Sketch: Teava_rect_50x50x5; **Dimensions:** W1 = 50 mm, W2 = 50 mm, t1 = 5 mm, t2 = 5 mm, t3 = 5 mm, t4 = 5 mm → Generate.

DM → Line Body → Details View → Details of Line Body → Cross Section: Teava_rect_50x50x5;

M → Line Body → Update Selected Parts → Update: Use Geometry Parameter Value → Solve.

Odată cu micșorarea secțiunii, valorile tensiunilor combinate și a deformațiilor cresc, fără a atinge, însă, valorile maxim admise.



G. CONCLUZII

În cadrul acestei aplicații au fost abordate mai multe direcții ale analizei. 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.

Comparând rezultatele obținute prin metoda clasică și MEF, se poate constata că acestea sunt comparabile, cel puțin în cazul eforturilor axiale, caz care a fost calculat clasic, metoda elementelor finite oferind mult mai multe date, într-un timp și cu consumuri de resurse mult mai mici.