Aplicația AEF-A.1.3

CUVINTE CHEIE

Analiza statică liniară, Model geometric plan, Starea plană de tensiuni, Material liniar, Element finit 2D, Element finit liniar, Element finit parabolic, Element de mașină, Verificare cu modele clasice, Bară încastrată, Singularități

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

A. DESCRIEREA PROBLEMEI

A.1 Introducere

În multe situații de instruire în vederea rezolvării de probleme de AEF, mai ales, ca *începător sau la inițierea în vederea folosirii unei noi platforme* de AEF, se recomandă rezolvarea *unor probleme simple care se reduc la modele clasice* cu soluții analitice cunoscute dar și prin evidențierea *situațiilor extreme nerecomandate* (de ex. singularități) în aplicațiile practice curente.

Obiectivul principal al acestei aplicații presupune dezvoltarea unei AEF pentru o structură de tip bară plană încastrată pe un contur, compararea rezultatelor cu cele clasice analitice și evidențierea efectelor singularităților implicate de *cazurile teoretice* de concentrare a tensiunilor în zonele de *racordare cu raze nule* și în zonele de acțiune a *forțelor concentrate pe suprafețe reduse la un punct sau o linie*.

A.2 Descrierea aplicației

În structura dispozitivului de susținere de mai jos, elementul elastic de rezemare 1, poziționat ferm în corpul 2 prin riglele 4 și șuruburile 5, trebuie să asigure o deplasare impusă sub acțiunea forței de apăsare F, dezvoltată de patina 3, și să revină la starea inițială după anularea acesteia.



În cazul acestei aplicații se impune *analiza câmpurilor de deplasări, deformații și tensiuni* din elementul de rezemare 1 executat din oțel C55 și cu următoarele dimensiuni: L=100, h = 10 mm, g = 10 mm, a = 50 mm, b = 20 mm. În urma analizei structurii pornind de la faptul că elementul 1 are grosime constantă redusă și

încărcarea cu F = 1000 N se produce uniform pe lățime se evidențiază încadrarea problemei în *starea plană de tensiuni* (tensiunile sunt invariabile pe grosime) și, deci, analiza cu elemente finite se va face cu personalizări pentru acest caz. În plus, față de analiza din aplicația AEF-A.1.2 se vor studia efectele singularităților de concentrare a tensiunilor în zonele de racordare "ascuțite" (rază nulă) și de acțiune a forțelor de tip "ac" (în punct) sau "cuțit" (pe linie).

B. MODELUL DE AEF

B.1 Definirea modelului

În vederea comparării rezultatelor obținute prin analiza cu elemente finite cu modelul clasic de rezolvare bazat pe metodele rezistenței materialelor (grindă încastrată) se adoptă cel mai simplificat model posibil care presupune:

- formă geometrică simplă,
- adoptarea constrângerilor rezistenței materialelor (încastrare),
- încărcarea cu forță concentrată,
- comportare liniară a materialului.

B.2 Descrierea modelului de analiză

Deoarece structura este încadrabilă în starea plană de tensiuni pentru AEF aceasta se poate modela în plan, considerând forma geometrică dreptunghiulară cu lungimea 100 mm și lățimea 10 mm, cu elemente finite 2D. Constrângerile geometrice care presupun anularea deplasărilor de translație și a rotirilor în raport cu axele X, Y și, respectiv, Z se aplică punctelor de pe muchia poziționată pe axa Y. Încărcarea modelului se face cu forța concentrată F = 1000 N în colțul extrem superior.



- modulul de elasticitate longitudinală, $E = 210000 \text{ N/mm}^2$;
- coeficientul contracției transversale (Poisson), v = 0,3.

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

C. PREPROCESAREA MODELULUI DE AEF

C.1 Activarea, setarea și salvarea proiectului			
Activarea proiectului			
∧, Toolbox : \Box Analysis Systems : $\Box = \Box$ Static Structural (apare automat fereastra cu modulele proiectului) \rightarrow [se			
poate schimba denumirea Static Structural].			
<u>Setarea tipului problemei (2D)</u>			
A: L, 🔞 Geometry — Properties — Properties of Schematic A3: Geometry , E Advanced Geometry Options , Analysis Type , [se			
selectează din listă $\downarrow \square, \downarrow \square] \rightarrow [se închide fereastra \downarrow \blacksquare].$			
<u>Salvarea proiectului</u>			
\downarrow Save As \rightarrow (N Save As, File name: [se introduce denumirea, AEF-A] \rightarrow \downarrow Save			

C 2 Modelarea caracteristicilor materialului si mediului
Project Schematic λ_{1} Project Schematic λ_{1} Project Schematic λ_{2} Engineering Data
\sim , Tructural Steel Dependence of O when Dev 2. Structural Steel \square Jackania Electricity — Vaurada Maddura $T_{\rm event}$
\downarrow Subcuration steel, properties of obtainer rows: subcuratisteel \square Founds from the subcuration of the subcuratisteel \square Founds from the subcuratisteel \square Founds from the subcuration of the subcuratisteel \square Founds from the subcurate \square Founds from the subcuratisteel \square Founds from the subcurate \square Founds from the subcu
In lista din coloana C ($\Box I L$), $\Box I L$, $\Box I$
\rightarrow
C 3 Modelarea geometrică
C.3.1 Încărcarea modulului, DesignModeler (DM)
New Geometry ANSYS Workbench
C.3.2 Generarea schitei
Vizualizarea planului implicit (XY)
\mathbb{G} : \downarrow Sketching $\rightarrow \mathbb{R}$ (Look At Face/Plane/Sketch) [se va vizualiza automat planul implicit, XY].
Generare linii dreptunghiulare
\downarrow Draw \rightarrow \downarrow Rectangle \rightarrow [se va trasa linia dreptunghiulară cu indicatorul de tip creion marcând cu \downarrow \downarrow
punct din stânga axei Y, și se finalizează în punctul opus odată cu eliberarea \dashv] (fig. a) \rightarrow [se vor trasa do
linii dreptunghiulare cu indicatorul de tip creion marcând cu ↓ dintr-un punct de pe axa Y (apare simbolul C
și se finalizează în punctul opus odată cu eliberarea ↓] (fig. b).
<u>Generare contur bară</u>
\rightarrow [se va șterge prin selectare cu \rightarrow porțiunile din segmentele de dreaptă care nu aparț
Conturului (lig. c)]. Centrare linii în raport cu ava X
\rightarrow [se selectează cu , l axa X și anoi cele două linii paralele cu această a
din stânga axei Y (fig. d)] \rightarrow [se selectează cu \rightarrow axa X si apoi cele două linii paralele cu această axă d
dreapta axei Y (fig. d)].
Cotare
\downarrow Dimensions \rightarrow \downarrow $\stackrel{\text{Semi-Automatic}}{\longrightarrow}$ [se activează automat cu \downarrow cotele] \rightarrow Details View, \Box Dimensions: 4:
[se introduc în casetele \Box L1, \Box L2 \Box L3, \Box L4 (fig. e)]. \Box \Box Display (vizualizare cote), Name: \Box (
dezactivează), Value: الله (se activează). الظلمام (mutare cote), [se activează cu الم cota și se mu
menținând activarea până în poziția dorită] (fig. e).
a. b. c.
20,000
10,000
100.000
100,000
20,000
<i>d. e.</i>
C.3.3 Generarea suprafeței
$\textcircled{0}$: \Box Concept \rightarrow \Box Surfaces From Sketches \rightarrow Details View, \Box Details of SurfaceSk1 Base Objects \rightarrow Tree Outline
\oplus XYPlane, $\Box \sim e^{2}$ Sketch1 $\rightarrow \Box$ Apply; Thickness (>=0), [se introduce valoarea grosimii, 10] \rightarrow

🔧 Generate		
$ \Box \sim \mathcal{P} $ Sketch1 $ \rightarrow \Box $ Hide Sketch (mascare schită). $ \Box \stackrel{150}{\clubsuit} $ (vizualizare axonometrică).		
\downarrow \oplus \neg \uparrow \uparrow \downarrow \neg \uparrow \uparrow \downarrow \neg \downarrow \neg \downarrow \neg \downarrow \neg \downarrow	ody, [s	e introduce
denumirea, Suprafață bară].		
C.3.4 Salvarea modelului geometric		
\square : \square (Save Project) \rightarrow \square (Close Design Modeler).		

C.4. Modelarea cu elemente finite				
C4.1 Lansarea modulului de modelare cu elemente finite și setarea tipului problemei, caracteristicilor de				
material și sistemului de unități de măsură				
Lansarea modulului de modelare cu elemente finite				
\mathbb{N} , Project Schematic: $\mathbb{L} \otimes \mathbb{N}$ Model $\rightarrow \mathbb{N} \otimes \mathbb{N}$ Edit \rightarrow [se lansează modulul <i>Mechanical [ANSYS Multiphysics</i>].				
<u>Setarea tipului problemei</u>				
\downarrow \checkmark Geometry \rightarrow Details of "Geometry", \Box Definition: 2D Behavior, [se selectează din listă \downarrow], \downarrow Plane Stress (setare				
implicită)].				
<u>Setarea</u> caracteristicilor de material				
$ \Box = \Box $				
listă , J Structural Steel] (de obicei, când este un singur material această setare este implicită).				
Setarea sistemului de unități de măsură				
M : J Units $\rightarrow J$ Metric (mm, kg, N, s, mV, mA).				
C.4.2 Discretizarea modelului geometric				
Cazul I (discretizare grosieră cu element finit liniar)				
<u>Adoptarea elementului finit liniar</u> (cu latura linie dreaptă				
respectiv fără nod intermediar)				
$\boxed{\mathbf{M}}, \underline{Outline} : \rightarrow \mathbf{J} \overset{W}{=} \underline{Mesh} \rightarrow \underline{Details of "Mesh"}, \underline{Mesh} = \underline{Mesh}, \underline{Mesh} = \underline$				
Advanced : Element Midside Nodes, [se selectează din listă →				
, →Dropped].				
<u>Discretizarea automată</u>				
\downarrow \checkmark \checkmark Mesh \rightarrow \downarrow \checkmark Generate Mesh				
<u>Vizualizarea statisticii discretizării</u>				
\rightarrow "# Mesh \rightarrow Details of "Mesh", \oplus Statistics: Nodes, 106; Elements, 74.				
Obs. Se va continua începând cu etapa C.4.3 și după postprocesare se va reveni și se va rediscretiza conform				
următorului caz.				
Cazul II (discretizare cu finețe mărită în zona singularităților)				
<u>Adoptarea elementului finit neliniar</u> (cu latura linie parabolică respectiv cu nod intermediar)				
, → [#] Mesh → ^{Details} of "Mesh", → Advanced : Element Midside Nodes, [se selectează din listă → [▲] , → ^{Kept}].				
<u>Setarea discretizării globale</u>				
$\downarrow \not \ll Mesh \rightarrow Details of "Mesh", \Box Defaults: Relevance, [se modifică cu \downarrow \neg \neg \neg valoarea, 100].$				
Setarea discretizării locale într-un punct				
filtrul de selecție punct) \rightarrow [se selectează cu $ \downarrow$ colțul de sus (fig. a)] $\rightarrow \downarrow \frac{\text{Apply}}{\text{Apply}}$; Sphere Radius, $ \downarrow \text{Please Define}$				
\rightarrow [se introduce valoarea, 5]; Element Size, $\square^{\text{Please Define}} \rightarrow$ [se introduce valoarea, 1].				
filtrul de selecție punct) \rightarrow [se selectează cu \dashv colțul de jos (fig. b)] $\rightarrow \dashv$ Apply ; Sphere Radius, \dashv Please Define				



D. REZOLVAREA MODELULUI DE AEF





E. POSTPROCESAREA REZULTATELOR







-	1,443 Max		
	1,2626		
I III III III III III III III III III	1,0822		
	0,90186		
	0,72149		
	0,54112	Max Max	
	0,36075		
	0,18037		
	7,8682e-8 Min		

F. ANALIZA REZULTATELOR

F.1 Modelul teoretic (analitic) de calcul
Studiile analitice clasice asupra structurii de analiză (bară încastrată) se sintetizează în calculul
următorilor parametri (v. aplicatia AEF-A.1.1, subcap. F.1): deplasarea maximă, $\delta = 2$ mm, tensiunea
normală maximă de încovoiere (conform relației lui Navier), $\sigma_{i} = 600$ MPa, tensiunea tangențială maximă de
forfecare (conform relației lui Juravschi), $\tau_f = 15$ MPa.
F.2 Compararea și evaluarea rezultatelor
In urma analizei rezultatelor obținute ca urmare a modelării și AEF (subcap. E) și a folosirii relațiilor de
calcul clasice (subcap. E și F.1) obținute în condițiile ipotezelor rezistenței materialelor se evidențiază
următoarele:
- Deplasarea totală maximă, 2,179 mm (cazul I) sau 2,216 mm (cazul II), obținută cu AEF (E.1), este
cvasiaceeași cu deplasarea (2 mm) obținută din modelul teoretic analitic (subcap. F.1).
- Tensiunea normală maximă în direcția X, -563,2 MPa (cazul I) sau 746,2 MPa, obținută cu analiza cu
elemente finite (subcap. E.2.2) are o abatere de -6% (cazul I) sau 24,36% MPa (cazul II) față de
tensiunea normală maximă (600 MPa) teoretică (subcap. F.1).
- Distribuția tensiunii de forfecare (E.2.3) evidențiază valori maxime, 47,44 MPa (cazul I) sau 101,75 MPa
(cazul II), în zona de încastrare este de 3,12 ori (cazul I) sau de 6,78 ori (cazul II) față de valoarea
teoretică, 15 MPa.
- Tensiunea echivalentă (von Mises) are valoarea maximă, 571,1 MPa (cazul I) sau 836,72 MPa (cazul II)
în zona de încastrare comprimată, respectiv întinsă; se observă că odată cu creșterea fineței de discretizare
(cazul II) valoarea tensiunii echivalente (von Mises) are abaterea de 39,4% din cauza singularității de colț
(racordare cu rază nulă).
F.2 Analiza preciziei bazat pe eroarea structurală
În subcap. E.2.3 se evidențiază eroarea structurală cu valoarea maximă 11,96 mJ (cazul I) sau 1,443 mJ
(cazul II); valoarea maximă din cazul I evidențiază erori maxime ale tensiunilor în zona de încastrare.
Eroarea structurală se determină ca diferența energiilor de deformare calculate folosind tensiunile medii
asociate elementului finit și tensiunile nodale. Finețea de discretizare mărită conduce la valori ale erorii
structurale reduse și, deci, aceasta poate fi utilizată pe de-o parte, ca <i>indicator global al fineței de discretizare</i>
la rediscretizarea întregii structuri și, pe de altă parte, ca indicator local al fineței de discretizare la
rediscretizarea locală.
În vederea aprecierii preciziei rezultatelor de tip tensiune, se analizează câmpul erorii structurale, urmărind o
distribuție uniformă cu valori reduse (de preferat subunitare) a erorii structurale pentru precizii acceptabile;
zonele unde eroarea structurală este mărită în vederea creșterii preciziei rezultatelor (scăderea erorii
structurale) se va face rediscretizare locală (subcap. E.2.3).
F.3 Analiza convergenței tensiunii normale în direcția X
Pentru evidențierea efectelor singularitățiilor de colț (racordare cu rază nulă) și de forță concentrată (acțiune
în punct) se va face analiza modelului cu diverse discretizări urmărind valorile tensiunilor normale în direcția
X, în special, în zonele cu singularități. În acest scop se va se parcurge succesiunea de modificare a fineței de
discretizare la nivel global (se va păstra elementul finit parabolic setat anterior):
$\downarrow \neg \sqrt{2}$ Mesh \rightarrow Details of "Mesh", \Box Sizing: Use Advanced Size Function, [se selectează din listă cu $\downarrow \checkmark$, $\downarrow Off$];
La Element Size, [se introduce valoarea dimensiunii elementului finit conform coloanei întâi din tabelul de mai
jos]. , → 🖓 Mesh → 🚽 Generate Mesh , → 🖓 Mesh → Details of "Mesh", 🗉 Statistics: [se evidențiază numărul
de noduri din caseta, 🗆 Nodes (coloana a treia) și numărul de elemente, 🗆 Elements (coloana a doua)].
Rezultatele obtinute sunt centralizate si vizualizate în tabelul și graficele de mai ios



În punctul de colţ cu singularitate a tensiunii normale valorile acesteia cresc cu creşterea numărului de noduri (nu există o asimptotă spre care să tindă). Eroarea structurală scade odată cu creșterea fineței de discretizare dar la valori mărite ale nodurilor are valori reduse și rămâne cvasiconstantă și *valorile tensiunii normale cresc neasimptotic*, fapt ce demonstrează neconvergența procesului în zona de colţ cu singularitate (fig. a, c). Aceeași situație specifică singularității tensiunii se observă și în zona punctului de aplicație a forței concentrate (fig. c)



G. CONCLUZII

Modelarea și analiza cu elemente finite din această lucrare s-au realizat mai mult *cu scop didactic didactic* urmărind, pe de-o parte, *inițierea utilizatorului* cu etapele principale de dezvoltare a unei aplicații de AEF în ANSYS Workbench și, pe de altă parte, compararea și evaluarea rezultatelor cu unele *cvasiexacte* obținute prin modele analitice clasice.

Modelul de AEF adoptat are abateri grosiere de la modelul real (racordare cu rază nulă și încărcare cu forță concentrată). Analiza rezultatelor, în special a tensiunilor, pentru *discretizări cu finețe mărită*, evidențiază că *în zonele cu singularități,* deși *eroarea structurală scade* la valori admisibile (precizie mărită), *valorile tensiunilor nu converg* către valoarea exactă, ci cresc neasimptotic.

Modelul de AEF studiat în această lucrare este *ineficient din punct de vedere al posibilităților de modelare*

oferite de platforma ANSYS deoarece zona de racordare din încastrare este cu rază nulă (caz teoretic) și forța este concentrată într-un punct (de asemenea, caz teoretic). Aceste aspecte, nerecomandate în practica de proiectare, sunt evitate în aplicația AEF-A.