Aplicația AEF-A.11

Arcuri elicoidale solicitate la compresiune

CUVINTE CHEIE

Analiza statică liniară, Material liniar, Model geometric 3D, Element finit 3D, Element finit liniar, Verificare prin metode clasice, Element de mașină, Arc elicoidal

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

A. DESCRIEREA PROBLEMEI

A.1 Introducere

În componența multor produse tehnice se regăsesc elemente mecanice care au structuri compacte distincte, cerute de funcția principală de îndeplinit. Reprezentative acestui grup de componente sunt elementele elastice (arcurile), elementele de amortizare, elementele de susținere (carcase) etc. Specificul acestor elemente, de regulă, este dat de legăturile fixe sau cvasifixe ale acestora cu părțile învecinate.

Analiza cu elemente finite a acestor componente, pentru obținerea de rezultate precise, presupune definirea cu acuratețe a modelului solid, a restricțiilor impuse de legăturile cu elementele învecinate, precum și a încărcărilor.

A.2 Descrierea aplicației

Supapele de siguranță sunt destinate protecției rezervoarelor, conductelor, centralelor termice, boilerelor sau a altor echipamente în care se află fluide sub presiune. Acestea previn depășirea unor limite de presiune în momentul în care toate echipamentele automate de control și monitorizare nu mai funcționează.

Multe supape de siguranță (fig. a, Supapă de siguranță cu arc, corp alamă Fi-Fi, PN 16, DN ¹/₂" ... 3", <u>http://www.prestcom-instal.ro</u>, accesat apr. 2014) au în componență elemente elastice active folosite pentru obtinerea de caracteristici elastice impuse de cerințele funcționale. În acest caz, prin schimbarea arcului elicoidal din interiorul supapei, se pot realiza supape cu caracteristici de functionare diferite. Arcul elicoidal are rolul de a genera o fortă axială care compensează forța generată de presiunea fluidului din interiorul instalației iar în momentul în care aceasta din urmă crește, arcul se va comprima deschizând circuitul de evacuare. Arcul elicoidal utilizat trebuie să respecte anumite constrângeri geometrice (să se încadreze în spațiul disponibil) și de funcționare (să asigure forța necesară funcționării instalației, să se comprime la aparitia unei suprapresiuni, să genereze o cursă suficient de mare astfel încât să secțiunea circuitului să fie corespunzătore pentru evacuarea de urgență și, nu în ultimul rând, să revină la forma inițială după restabilirea presiunii de lucru).



A.3 Scopul aplicației

În cazul acestei aplicații se prezintă analiza câmpurilor deplasărilor, deformațiilor și tensiunilor din structura elementului elastic de tip arc elicoidal din componența supapei prezentată mai sus (PN 16, DN 3/4") precum și valorile forțelor generate de comprimarea arcului cu o anumită deplasare, ce se opun deschiderii supapei la presiuni nominale de lucru. Valorile parametrilor geometrici și de montaj ale arcului elicoidal sunt: d = 2 mm, D1 = 17 mm, numărul de spire n = 5 iar pasul t = 5,75 mm. Arcul elicoidal este executat din oțel de arc, 50VCr11A, tratat la 50-55 HRC. Comprimarea axială a arcului (3) cu ajutorul șurubului (6) (subcap. A.2, fig. a) va genera o forță



l.

ce compensează presiunea din interiorul recipientului pe suprafața frontală a pistonului supapei (aria 283 mm²). Prin această aplicație se urmărește determinarea dependenței dintre valoarea comprimării arcului și forța generată asupra pistonului supapei, în vederea proiectării supapei precum și studiul tensiunilor și deplasărilor interne din structura arcului.

Generarea zonelor de capăt ale arcului

Deoarece în această formă geometrică a arcului contactul cu alte elemente de fixare se va face sub forma unor suprafețe de așezare foarte mici (geometric, contactul este doar un punct), se impune realizarea unor zone de așezare corespunzătoare. Există două forme constructive, prezentate în figurile de mai jos. Pentru această aplicație se va utiliza forma 2.

Pentru realizarea capetelor șlefuite, va trebui prelungit arcul într-o parte și în cealaltă cu câte o spiră cu un pas mai mic, astfel încât la frezare să poată fi realizată o pată de contact de minim 270°.



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 arcului elicoidal sunt prezentate în fig. a. Pentru AEF structura arcului elicoidal se modelează cu elemente finite 3D.

În vederea simulării comportării arcului elicoidal cât mai aproape de realitate, având în vedere rigiditatea mărită a suprafețelor pe care se așează arcul, se introduc două elemente rigide asociate, unul în partea inferioară, altul în partea superioară.

Pentru ca modelul de analiză să aibă aceeași comportare cu modelul real, este necesar să se asocieze condiții limită care implică restricții de translație după direcțiile X și Z ale sistemului de coordonate XYZ, respectiv va fi permisă doar mișcarea pe OY, simulând așezarea arcului elicoidal în locașul din supapă.

Pentru a se genera mișcarea de translație de-a lungul axei OY se introduce o legătură de rototranslație asociată punctului master al elementului rigid din partea superioară, corespunzător punctului de aplicare a forței. Solicitarea va fi simulată sub forma unei deformații a arcului de valoare y.



B.3 Stabilirea caracteristicilor materialului

Pentru analiza cu elemente finite, caracteristicile de rezistentă ale materialulu - otel de arc 50VCr11A călit la 50-55 HRC, sunt:

- modulul de elasticitate longitudinală, $E = 209.000 \text{ N/mm}^2$;
- coeficientul contracției transversale (Poisson), v = 0.3; •
- nu se iau în considerare încărcările datorate greutății proprii (greutatea arcului este foarte mică, aprox.75 g iar influența forței de greutate asupra rezultatelor analizei este foarte mică).

C. PREPROCESAREA MODELULUI PENTRU ANALIZĂ

C.1 Activa	rea și	salvarea proiectului					
Activarea proiectului							
N Toolbox : □ □ Analysis Systems → □ □ Static S	Structur	al (apare automat fereastra s	ubproiectu	ului); \rightarrow	[se	e p	oate
schimba denumirea Static Structural în Arc comprim	nat].		1	,,,	-	•	
Setarea tipului problemei (3D)	_						
$ A : \bigsqcup { } \bigcirc \ \ Geometry \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ $	hematio	A3: Geometry 📮 Advanced Geom	etry Options	: _ Analysi	is Ty	/pe	, [se
selectează din listă cu $ \square $, $ \square $ 3D] $ \rightarrow $ [se închid	e fere	astra ↓ ×].					-
Salvarea proiectului		-					
$ \exists Save As \rightarrow \land Save As, File name: [se intro$	duce	denumirea, AEF-A.11] $\rightarrow \downarrow$	<u>S</u> ave				
C.2 Modelarea carac	terist	ticilor materialului și mediu	lui				
🔨 💡 Project Schematic · 🖵	Propertie	es of Outline Row 3: Structural Steel				þ	×
Ingineering Data \checkmark \checkmark \rightarrow \downarrow \diamondsuit Edit \rightarrow		A	В	с	D	E	4
Outline of Schematic A2: Engineering Data	1	Property	Value	Unit	8	φJ	
🔊 🗞 Structural Steel	2	🔁 Density	7850	kg m^-3 🔹 💌			
Properties of Outline Row 3: Structural Steel	3						
🗐 🚱 Isotropic Elasticity 💦 Young's Modulus	6	Isotropic Elasticity					
$ \longrightarrow $ Fourier should be a start $ \longrightarrow $ Fourier should be	7	Derive from	Young's 💌				
Young's Modulus, [se selectează în lista din	8	Young's Modulus	2,09E+11	Pa 💌	<u> </u>		
coloana C (Unit) cu ↓ 【, ↓ MPa], [se	9	Poisson's Ratio	0,3	-			
introduce în caseta din coloana B (Unit)	10	Shear Modulus	1,/41/E+11 8.0385E+10	Pa			
valoarea 2000001 / 7 Update Project	12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	ra		<u> </u>	

المجامعة (ceilalți parametri rămân 24 🚰 Tensile Yield Strength impliciți). C.3 Modelarea geometrică

00)

C.3.1 Încărcarea modulului DesignModeler (DM) **New Geometry...** \rightarrow ANSYS Workbench \downarrow \bigcirc Millimeter, \downarrow OK. C3.2 Generarea elicei arcului ØQ. Tree Outline Sketching \rightarrow (Look at face/Plane/Sketching) [se va vizualiza automat planul Graphics implicit, XY]; P4 *Generare* puncte $\textcircled{Modeling} \rightarrow \text{Create} \rightarrow \textcircled{Point}$ [în zona de modelare 3D] P3 se crează punctul P1 pe baza coordonatelor carteziene] \rightarrow

16

🚰 Strain-Life Parameters

Details View \rightarrow Details of Point 1 \rightarrow Definition \checkmark : Manual Input; **Point Group 1 (RMB)** \rightarrow x = 0; y = 0; z = 0 \rightarrow ³Generate</sup>. În același mod se construiesc punctele P2...P4, folosind coordonatele carteziene rezultate pe baza dimensiunilor date în modelul pentru analiză: P2 (0; 2; 0); P3 (0; 30.75; 0); P4 (0; 32.75; 0).



2,5E+08

Pa

-



Obs. Aplatizarea se realizează prin extrudarea (folosind opțiunea de decupare din material) a unor suprafețe dreptunghiulare desenate în plane paralele cu planul xOz aflate la cotele de 1,25 mm, respectiv 31,5 mm.





	De	tails of "Body Sizi	ng" - Sizing 무	(Company)
	Ξ	Scope		A ROAD
		Scoping Method	Geometry Selection	
		Geometry	1 Body	
	Ξ	Definition		
		Suppressed	No	
		Туре	Element Size	
		Element Size	2,e-003 m	
		Behavior	Soft	
0,015			1	



C.6 Modelarea încărcărilor

Introducerea deplasării impuse (Remote Displacement)

 $\begin{array}{cccc} \textcircled{\begin{tabular}{|c|c|c|} \hline \begin{tabular}{|c|c|} \hline \begin{$

Obs. S-a realizat un element rigid virtual ce este format din suprafața frezată frontală a arcului, aflată la cota 31,5 mm, ce este conectat la o cuplă de rototranslație pe axa OY și căruia i se imprimă o deplasare de 10 (15) mm pe direcția OY.





D. REZOLVAREA MODELULUI CU ELEMENTE FINITE

D 1 Sataraa critariului da convargantă nantru razolvaraa modalului
Outline Solution (A6) Solution Information Details of "Solution Information"
\downarrow \blacksquare Solution Information: \downarrow Solution Output \rightarrow [se va selecta din listă cu \downarrow], \downarrow [ote convergence] (se adoptă
criteriul convergenței forței). Se vor repeta acești pași și pentru cazul convergenței deplasărilor, "Displacements
Convergence .
D 2 Sataraa ragultatalar
D.2. Setarea rezultatelor
<u>Selectarea tipurilor de rezultate</u>
În vederea selectării tipurilor de date finale ce urmează a fi analizate după lansarea modulului de calcul, se va
urma seria de comenzi prezentată mai jos.
$[\mathbf{W}]$, Outline: $\Box = \mathbf{M}$ Solution (A6) $\rightarrow \Box$ Insert $\rightarrow \Box$ Deformation $\rightarrow \Box$ Total. [se folosesc comenzile din meniul
contextual deschis cu $ \downarrow $].
Selectarea tipurilor de rezultate vizate se poate obține prin utilizarea comenzilor:
$\downarrow \neg \not \otimes$ Solution (A6) $\rightarrow \downarrow$ Insert $\rightarrow \lor$ Deformation $\checkmark \rightarrow \lor$ Total [se follosesc butoanele din barele de meniuri]
precum și
\downarrow
\Box \sim Solution (A6) \rightarrow Insert \rightarrow \sim Stress \sim \rightarrow \sim Equivalent (von-Mises)
$\downarrow \neg \not \otimes$ Solution (A6) $\rightarrow \downarrow$ Insert $\rightarrow \otimes$ Stress $\neg \rightarrow \otimes$ Error
\Box \sim \sim Solution (A6) \rightarrow \Box Insert \rightarrow \sim Stress \sim \rightarrow \sim Maximum Principal
$\downarrow \neg \not \otimes$ Solution (A6) $\rightarrow \downarrow$ Insert $\rightarrow \otimes$ Strain $\checkmark \rightarrow \otimes$ Equivalent (von-Mises)
$\downarrow \neg \phi$ Solution (A6) $\rightarrow \downarrow$ Insert $\rightarrow \phi$ Strain $\bullet \rightarrow \phi$ Vector Principal
$\Box = 4$ Solution (A6) $\rightarrow \Box$ Insert $\rightarrow \textcircled{2}$ Tools $\bullet \rightarrow \textcircled{2}$ Stress Tool \rightarrow Safety Factor.
$ \sqsubseteq - \cancel{2} $ Solution (A6) $ \rightarrow $ Insert $ \rightarrow $ $ \stackrel{@}{=} $ Energy $ \rightarrow $ $ \stackrel{@}{=} $ Strain Energy
În continuare, se setează și celelalte tipuri de rezultate ce se doresc a fi analizate, respectiv reacțiunile din
reazeme:

	D.3	Lansarea modulului de	e rezolvare a modelului
🙆 Outline :	······	\rightarrow Details of "Analysis Settings"	\rightarrow Solver Controls \rightarrow Large Deflection \checkmark : On \rightarrow
⁄👰 Solut	tion (A6) $\rightarrow \frac{1}{2}$ Solve		

E. POSTPROCESAREA REZULTATELOR

E.1 Vizualizarea câmpurilor de deplasări
Pentru a obține rezultate sugestive, se va seta scala de vizualizare din barele de meniuri:
Result 8,6e+002 (Auto Scale) ▼ → Result 1.0 (True Scale) ▼
Vizualizare deformației totale
\square , Outline: $\square \square \square$
nu sunt destul de sugestive, în ceea ce privește modul de deformație a piesei, 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 nedeformat și deformat.
Pot fi modificate caracteristicile de 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 deformației pe o anumită direcție
\mathbf{M} , Outline: $\mathbf{M} \xrightarrow{\mathbf{M}} \mathbf{Solution} (A6) \xrightarrow{\mathbf{M}} \mathbf{M}$ Directional Deformation $\mathbf{M} \xrightarrow{\mathbf{M}} \mathbf{M}$ animation $\mathbf{M} \xrightarrow{\mathbf{M}} \mathbf{M}$.







F. ANALIZA REZULTATELOR



Caracteristica arcului a fost trasată în urma efectuării a două simulări cu deformații de 10 mm (puncte albastre), respectiv 15 mm (puncte roșii). Se observă o suprapunere perfectă a rezultatelor, putând concluziona că acest grafic este corect.



Din punct de vedere al deformațiilor în zona 0...15 mm, se observă că graficul este un segment de dreaptă, deci în acest interval arcul funcționează în zona elastică a deformațiilor. Din grafic poate fi extrasă valoarea forței generată de arc, în funcție de valoarea deformației acestuia. De exemplu, la o comprimare a arcului de 10 mm, forța generată asupra pistonului supapei este de aproximativ 65 N. Conform datelor tehnice ale supapei de siguranță analizată, scaunul supapei are o suprafață frontală de 283 mm².

Conform relației p = F / S, se obține valoarea presiunii nominale la care rezistă supapa: p = 2,3 bari. Pentru o comprimare a arcului de 15 mm, presiunea de funcționare devine p = 3,4 bari. Deoarece comprimarea maximă a acestui arc depinde de pasul, numărul de spire și de diametrul spirei, $x = (p - d) \cdot n = (5,75 - 2) \cdot 5 = 18,75 mm$, se poate trage concluzia că această supapă va funcționa într-o gamă de presiuni de lucru situată între valorile de 0,7 bari (corespunzător unei comprimări a arcului de 2 mm) și 3,75 bari (pentru 16 mm comprimare).

F.2 Analiza preciziei și convergenței

Informațiile referitoare la deplasări, coroborate cu informațiile referitoare la tensiunile echivalente, eroarea structurală, convergența soluțiilor conduc la concluzia că arcul rezistă fără probleme sarcinilor, valorile tensiunilor maxime nedepășind valoarea limita admisă a materialului. O atenție sporită trebuie avută la racordările de la ieșirea din elicea arcului, la ambele capete, aceste două zone fiind concentratori importanți de tensiuni și se impune o finisare a discretizării, aici apărând erorile structurale maxime.

Valorile mult reduse ale câmpului erorii structurale (max 0,107 mJ, subcap. E.2) indică că valorile tensiunilor sunt apropriate de cele exacte. În plus, din subcap. E.3 se evidențiază convergența rapidă (25 pași) a algorimul de rezolvare a modelului și timpul de calcul este redus.

F.3 Studii pentru proiectare

În vederea utilizării supapei pentru game superioare ale presiunilor de lucru (corpul acesteia rezistând la presiuni de 16 barr), se impune schimbarea arcului cu unele cu caracteristici diferite: fie cu diametrul spirei mai mare, fie din materiale mai bune.

Pentru	demonstrarea	conceptului,	se	va	modifica	diametrul
spirei d	le la 2 mm la 2	,5 mm, astfel	:			

 $\textcircled{0} \rightarrow \texttt{Sketching} \rightarrow \dashv \textcircled{Sketch1} \rightarrow \texttt{Details View}$

 $00 \rightarrow \text{Sketching} \rightarrow \square \qquad \bigcirc \text{Sweep2} \rightarrow \text{Details View}$

Details of Sweep2 \rightarrow Twist Specifications \blacksquare : Pitch \rightarrow Pitch = 2,5 mm \checkmark Generate. Se repetă pașii și pentru *Sweep3*. Se va obține arcul din figura alăturată. În continuare, se vor efectua operațiile de analiză conform pașilor prezentați anterior.



$ \begin{array}{c} \textcircled{\bullet} & \rightarrow \underline{\text{File}} \rightarrow \text{Refresh All Data} \\ \downarrow \neg \sqrt{\textcircled{B}} & \underline{\text{Solution (A6)}} \rightarrow \neg \neg \sqrt{\textcircled{A}} \end{array} $	ι → ジ Force Rea	Solve $_{\cdot}$	\rightarrow Tabular Dat	a.	
A: APL-A.4.8.	Tabular Dat	a			
13.04.2014 22:14	Time [s]	Force Reaction (X) [N]	Force Reaction (Y) [N]	Force Reaction (Z) [N]	Force Reaction (Total) [N]
	1 0,5	-4,4687e-003	-24,4	-2,2287	24,501
	2 1,	-1,9466e-002	-48,712	-4,5406	48,923
	3 1,75	-6,717e-002	-85,019	-8,1745	85,411
	4 2,25	-0,11957	-109,11	-10,713	109,64
	5 2,75	-0,19182	-133,12	-13,346	133,79
	6 3,5	-0,3436	-168,97	-17,471	169,87
	7 4,	-0,47781	-192,76	-20,33	193,83
	8 4,5	-0,6425	-216,45	-23,265	217,7
	9 5,	-0,8382	-240,05	-26,259	241,49

Pe baza datelor obținute prin simularea unei comprimări de 15 mm, se obține caracteristica arcului cu spira de diametru 2,5 mm. Deformația maximă a acestui arc este de 16,25 mm.



Conform caracteristicii acestui arc, presiunile nominale de lucru vor fi cuprinse în intervalul (1,2; 8,4) bari.

G. CONCLUZII

În această lucrare au fost prezentate noțiuni de modelare a pieselor de tip arc elicoidal, utilizând facilitățile modulului *Design Modeler*. De asemenea, au fost evidențiate tipurile de zone de capăt de arc (suprafețele de așezare) și modalitățile de execuție ale acestora. Pentru discretizarea modelului, au fost utilizate elemente finite tetraedrale.

Solicitarea de comprimare a arcului, ținând cont de destinația acestuia, a fost introdusă în modelul de analiză sub forma unei deplasări impuse (*Remote Displacements*).

Rezultatele obținute în urma analizei au condus la posibilitatea determinării caracteristicii arcului. Se poate observa că, pentru orice arc, în urma unei analize relativ simple, se poate verifica dacă acesta va funcționa corespunzător în condițiile de lucru impuse. Totodată, pot fi estimate și valorile presiunilor nominale de lucru ale supapelor de siguranță ce folosesc acest tip de arcuri.