

Studii teoretice și experimentale privind sarcinile induse de vânt asupra unei structuri mecanice. Aplicații la o structură de antenă parabolică.

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul Inginerie Mecanică
de către

ing. Dorin Gheorghe Simoiu

Conducător științific:
Referenți științifici:

Prof. univ. dr. ing. Titus Gh. Cioara
Prof. univ. dr. ing. Liviu Bereteu
Prof. univ. dr. ing. Mircea Radeș
Prof. univ. dr. ing. Nicolae Ursu - Fischer

Ziua susținerii tezei: 05.06.08

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2006

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

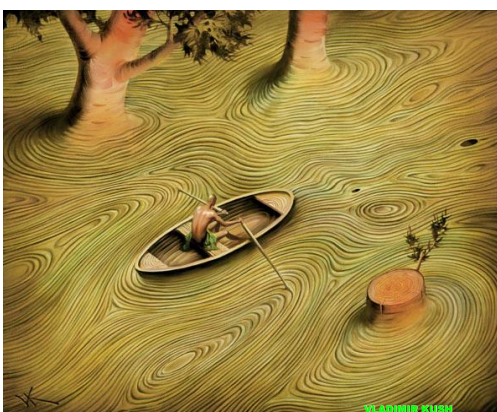
România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Vortexul: o eternă fascinație în știință și artă!



Aduc, pe această cale, mulțumirile mele tuturor care prin sfaturi, încurajări și sprijin material, m-au ajutat să duc la bun sfârșit prezenta teză:

- domnului prof.dr.ing. **Titus Gh. Cioara**, pentru îndrumarea competență, în mod continuu, pe întreg parcursul elaborării tezei;
- colegilor din **Catedra de Mecanică și Vibrații** pentru ambianța creată;
- firmei **Kathrein-Werke KG**, pentru tema propusă și ajutorul material acordat, prin intermediul domnilor:
 - prof.Dr.h.c. **A. Kathrein**, President
 - prof.dr.ing **I. Bogdanov**, director al **Institutului Kathrein** Romania
 - dipl. ing. **D. Tomin**, director general al **Romkatel** Romania
 - dipl.ing.**W. Mummert**, Kathrein Project Department Manager
 - dr.ing. **R. Körtevelyessy**, Kathrein East European Aria Marketing Manager
- firmei **Dunca Expedition**, prin domnul ing. **D. Husarciuc**, director de întreținere , pentru generosul ajutor dat la efectuarea experimentărilor în condiții de teren
- firmei **Microflown Technologies**, prin domnul **Dr. Hans-Elis de Bree**, president, pentru punerea, cu generozitate, la dispoziție noastră a senzorilor **USP**
- domnului **C. Borza** pentru ajutorul acordat la partea experimentală



*"Waves follow our boat as we meander across the lake, and turbulent air currents follow our flight in a modern jet. Mathematicians and physicists believe that an explanation for and the prediction of both the breeze and the turbulence can be found through an understanding of solutions to the Navier-Stokes equations. Although these equations were written down in the 19th Century, our understanding of them remains minimal. The challenge is to make substantial progress toward a mathematical theory which will unlock the secrets hidden in the Navier-Stokes equations The Navier-Stokes equations are also of great interest in a purely mathematical sense. Somewhat surprisingly, given their wide range of practical uses, mathematicians have not yet proven that in three dimensions solutions always exist (*existence*), or that if they do exist they do not contain any infinities, singularities or discontinuities (*smoothness*). These are called the *Navier-Stokes existence and smoothness* problems. The *Clay Mathematics Institute* has called this one of the *seven most important open problems in mathematics*, and offered a \$1,000,000 prize for a solution or a counter-example";[http://en.wikipedia.org/wiki/Navier-Stokes equations](http://en.wikipedia.org/wiki/Navier-Stokes_equations)
http://www.claymath.org/millennium/Navier-Stokes_Equations/*

Timișoara, mai 2008

Dorin Gheorghe Simoiu

Fiicei mele Andreea și soției Alina. Vă mulțumesc și îmi cer scuze.

Simoiu, Dorin Gheorghe

Studii teoretice și experimentale privind sarcinile induse de vânt asupra unei structuri mecanice. Aplicații la o structură de antenă parabolică.

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 31, Editura Politehnica, 2008, 174 pagini, 119 figuri, 4 tabele.

ISSN: 1842-4937

ISBN: 978-973-625-645-5

Cuvinte cheie: interacțiunea fluid structură, vânt, antena parabolică, vibrații, simulări

Rezumat,

Lucrarea cuprinde studii, teoretice și experimentale în domeniul interacțiunii dintre vânt și o structura mecanică elastică plasată în curentul de aer. Ca aplicație s-a folosit o antenă parabolică, pusă la dispoziție de cunoscuta firma germană de antene Kathrein.

CUPRINS

1. Introducere	7
1.1. Problematika tezei	7
1.2. Structura tezei	9
2. Aspecte privind sarcinile induse de curgerea fluidului asupra unei structuri obstacol	10
2.1. Considerații generale privind mecanica fluidelor	10
2.2. Interacțiunea fluidului cu structuri rigide	15
2.2.1. Stratul limită	15
2.2.2. Formarea vârtejurilor	18
2.2.3. Formarea vârtejurilor alternante	22
2.2.4. Efectul Venturi	25
2.3. Interacțiunea fluidului cu structura elastică	27
2.3.1. Efectul autooscilant	27
2.3.2. Efectul de instabilitate a echilibrului unei structuri prin efectul de galopare	32
2.4. Curgeri nestaționare	35
2.4.1. Mișcări turbulente	36
2.4.2. Modele de turbulență	38
3. Dinamica interacțiunii fluid structură elastică	40
3.1. Strategii de soluționare	40
3.1.1. Domeniul fluid	40
3.1.2. Formularea problemei	41
3.2. Rezolvare numerică a ecuațiilor diferențiale care guvernează dinamica sistemului fluid – structură	46
3.2.1. Discretizarea structurii elastice	46
3.2.2. Discretizarea fluidului	48
3.2.3. Racordarea rețelei fluidului la rețeaua structurii	50
3.2.4. Forme discrete ale ecuațiilor diferențiale ce guvernează interacțiunea fluid structură	52
3.3. Analiza interacțiunii fluid structură rigidă prinsă elastic	55
4. Simulări ale acțiunii vântului pe diverse structuri	58
4.1. Curgerea peste un cilindru	59
4.2. Curgerea peste o placa plană	63
4.3. Interacțiunea fluid structură elastică. Curgerea peste un cilindru elastic încăstrat la ambele capete	67
4.4. Analiza curgerii peste structura antenei considerată fixă utilizând programul COSMOS	71
4.5. Simularea interacțiunii fluid structură antenă, în 3D, utilizând programul ANSYS-CFX	72
5. Cercetări experimentale	89
5.1. Cercetări de laborator	89
5.1.1. Verificarea geometrică a profilelor reflectorului parabolic	89
5.1.2. Testarea dinamică structurală pe un stand de laborator	92
5.1.3. Algoritm pentru estimarea parametrilor modali folosind semnalele vibrațiilor libere amortizate	94
5.1.4. Metode speciale pentru înregistrarea vibrațiilor reflectorului parabolic	96
5.1.4.1. Principiul senzorilor Microflown	96

5.1.4.2. Soluția dezvoltată în cadrul tezei pentru măsurare fără contact a vibrațiilor după trei direcții, aplicată la reflectorul antenei	98
5.1.4.3. Calibrarea senzorului USP	100
5.1.4.4. Testarea modală a structurii antenei pe standul de laborator	101
5.2. Testarea antenei parabolice la rafale de vânt în spațiu deschis	106
5.2.1. Senzori bidirecționali de măsurare a presiunii vântului	106
5.2.1.1. Senzor cu traductoare electrorezistive (TER)	107
5.2.1.2. Senzor cu traductoare piezoelectrice	109
5.2.2. Senzori pentru măsurarea forțelor induse de vânt pe structura antenei	111
5.2.3. Înregistrări ale sarcinilor induse de vânt în câmp deschis	115
5.2.3.1. Metode de procesare a semnalelor sarcinilor aleatoare	115
5.2.3.2. Rezultate experimentale cu antena în câmp liber	118
5.2.3.3. Rezultate experimentale cu antena mobilă	123
6. Contribuții și concluzii	131
Bibliografie	134
Anexă	137

1. INTRODUCERE

1.1. Problematika tezei

Sateliții care se folosesc în comunicații se deplasează pe orbite în sincronism cu mișcarea pământului, astfel încât o antenă de transmitere sau de recepție a undelor purtătoare de semnal apare ca fiind în aceeași poziție față de satelit, transmisia realizându-se astfel în bune condiții. O antenă larg utilizată la recepția semnalelor TV este antena parabolică (Fig.1.1.).

Sursa de radiație

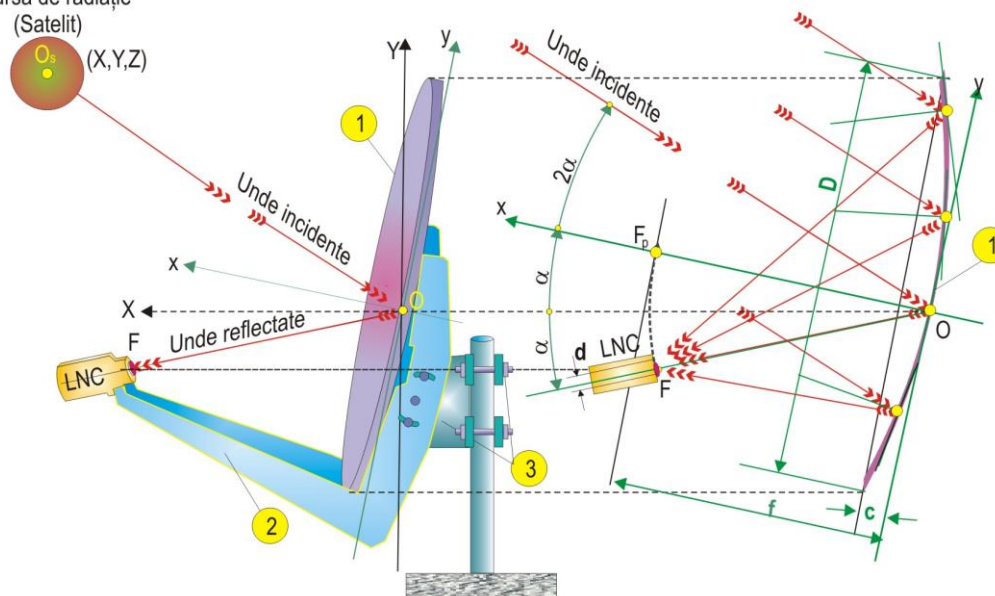


Fig. 1.1. Ilustrarea principiului offset al antenei parabolice

Ea se compune din reflectorul parabolic 1, suportul LNC (Low Noise Converter) 2, și suportul 3 pentru reglarea azimutului. Undele transmise de satelit ajung la antena parabolică paralele și sunt reflectate de suprafața parabolică în focarul F, unde este plasat LNC. În vederea obținerii unui mare câștig de semnal (pentru antena analizată în cadrul tezei, Kathrein CAS 120, de 42.5 dBi la 12.50-12,75 GHz;), focarul F al LNC-ului este deplasat față de focarul F_p cu unghiul 2α , α fiind unghiul de rotație al axei parabolei Ox în jurul axei orizontale Ox . Poziția focarului OF_p sau lungimea focală $2f$ respectă ecuația parabolei în planul Oxy :

$$y^2 - 4fx = 0$$

pentru $x=c$, adâncimea parabolei și $y=D/2$, D este diametrul antenei, rezultă

$$\text{lungimea focală } f = \frac{D^2}{16c}.$$

Această construcție a antenei de tip offset prezintă mari avantaje în ceea ce privește câștigul de semnal recepționat, deoarece suportul 2 și corpul LNC-ului umbresc mai puțin calea undelor recepționate sau transmise.

Antena fiind plasată în aer liber apar perturbații de natură mecanică, legate de condițiile de mediu, ploaie și în special vânt. Componentele antenei sunt structuri elastice, care sub acțiunea încărcărilor mecanice externe, statice și dinamice, se deformează, apărând deviații de la traseul undelor și în final deviații ale undelor reflectate către focarul F. În consecință fluxul energetic al undelor care ajung la LNC scade și recepția este afectată.

Sub acțiunea unei rafale de vânt de viteză $v(t)$ pe suprafața antenei parabolice S_p (Fig. 1.2.) apar forțe datorate presiunii dinamice, ale căror componente sunt în domeniul de frecvență 0 – 45 Hz.

Efectele dinamice care apar sunt complexe, implicând interacțiunea dintre fluid (vânt) și structură, apărând efecte de rezonanță acordate cu frecvențele naturale ale antenei care sunt în domeniul de frecvență al excitației. Datorită deformației structurii antenei un punct P_0 de pe suprafața antenei nedeformată S_p se deplasează la timpul t în poziția variabilă P . Vectorul constant \vec{n}_0 normal la suprafața în punctul P_0 va deveni în punctul P vectorul \vec{n} variabil în timp ca direcție, deci axa fixă de reflexie a unei unde în punctul P_0 , de vector \vec{r}_0 , care trece prin focarul F_0 corespunzător structurii nedeformate va deveni o axă variabilă de reflexie a unei unde de vector \vec{r} care va fi de asemenea variabil.

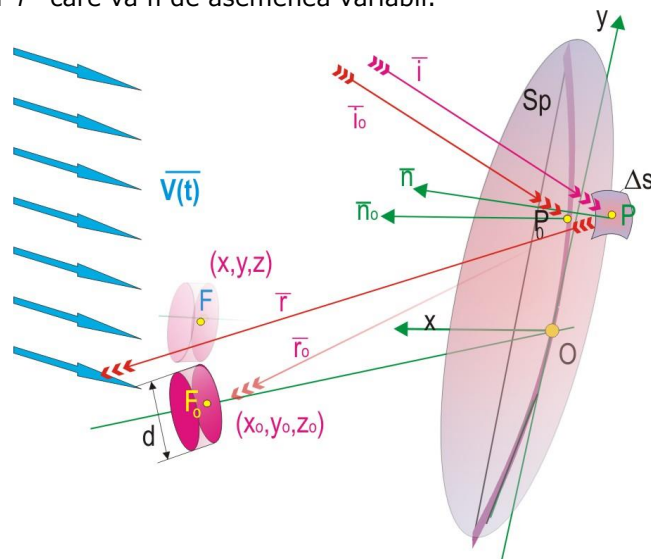


Fig. 1.2. Devierea traseului undelor datorită încărcărilor externe

În același timp focarul F_0 se va deplasa în focarul F , LNC de asemenea își schimbă poziția și axa de sensibilitate a sensorului pentru fluxul de unde.

În aceste condiții, o parte din undele reflectate nu ajung la sensorul plasat în focar și câștigul antenei scade afectându-i performanța.

În vederea găsirii de soluții pentru reducerea vibrației structurii antenei este necesar să se determine parametrii modali cu ajutorul testelor experimentale.

1.2. Structura tezei

Lucrarea cuprinde 6 capitole și este structurată după cum urmează.

Capitolul 1 prezintă structura tezei trecându-se în revistă principalele probleme tratate pe larg în următoarele capitole. Este discutată și problema câștigului semnalului antenei parabolice care poate fi afectat negativ de vibrațiile relative dintre reflectorul antenei și suportul de fixare în focar al LNC-ului (Low Noise Converter), vibrații induse de sarcinile din vânt.

Capitolul 2 prezintă aspectele privind sarcinile induse de curgerea fluidului asupra unei structuri. În subcapitolul 2.1 sunt considerații generale privind mecanica fluidelor, evidențiindu-se ecuațiile care guvernează curgerea fluidului. În subcapitolul 2.2 este descrisă interacțiunea fluidului cu structuri rigide. În subcapitolul 2.3 este prezentată interacțiunea fluidului cu structura elastică, efectul autooscilant și efectul de galopare. În subcapitolul 2.4 este descrisă curgerea nestaționară, prezentându-se mișcarea turbulentă și două din modelele de turbulență utilizate mai frecvent.

Capitolul 3 prezintă dinamica interacțiunii fluid structură elastică, în subcapitolul 3.1 se prezintă ecuațiile care guvernează mișcarea fluidului și cele care descriu mișcarea structurii. În subcapitolul 3.2 se prezintă discretizarea structurii elastice, discretizarea fluidului și racordarea rețelei fluidului la rețeaua structurii, de asemenea sunt prezentate forme discrete ale ecuațiilor diferențiale ce guvernează interacțiunea fluid structură.

Capitolul 4 conține simulări la diverse regimuri de vânt pe diverse structuri realizate cu diferite programe de element finit (ANSYS, CFX, COSMOS). În subcapitolul 4.1 este prezentată curgerea peste un cilindru, simulare realizată în plan (2D). În subcapitolul 4.2 este prezentată curgerea peste o placă, simularea este realizată în 2D. În subcapitolul 4.3 este prezentată interacțiunea fluid – solid – pentru cazul curgerii peste un cilindru încastrat la ambele capete, simularea este tridimensională (3D). În subcapitolul 4.4. este prezentată curgerea peste antenă utilizând programul COSMOS, simularea este realizată în 2D. În subcapitolul 4.5. se prezintă simulare pe antenă a interacțiunii fluid structura, cu ajutorul programului ANSYS-CFX, simularea este realizată în 3D.

Capitolul 5 prezintă cercetările experimentale. În subcapitolul 5.1 sunt prezentate cercetările efectuate în laborator: verificarea geometrică a profilului reflectorului parabolic, testarea dinamică structurală pe stand, măsurarea fără contact a vibrațiilor după trei direcții ortogonale, aplicată la reflectorul antenei, testarea modală a structurii antenei pe stand. În subcapitolul 5.2 este prezentată testarea antenei parabolice la rafale de vânt în spațiu deschis, de asemenea sunt prezentați senzorii bidirecționali de măsurare a presiunii vântului și senzorii pentru măsurarea forțelor induse de vânt pe structura antenei. În finalul capitolului se prezintă rezultatele experimentale cu antena mobilă.

În capitolul 6 sunt prezentate contribuțiile tezei.

În anexa din finalul tezei sunt prezentate programele pentru simulările analizate în subcapitolul 4.5.

2. ASPECTE PRIVIND SARCINILE INDUSE DE CURGEREA FLUIDULUI ASUPRA UNEI STRUCTURI OBSTACOL

Vântul este o componentă a circulației generale a atmosferei, este o deplasare de mase mari de aer, deplasare ce se produce sub efectul diferențelor de presiune barometrică care există între două regiuni ale suprafeței terestre. Aceste diferențe se justifică, la rândul lor prin faptul că radiațiile solare nu încălzesc uniform scoarța terestră. Sub efectul unor diferențe de presiune masele de aer intră în mișcare și viteza cu care se deplasează depinde de gradientul de presiune. Mărimea și direcția acțiunii vântului este obținută de serviciile meteorologice din studiul curbelor izobare (curbe de egală presiune atmosferică).

Vântul posedă energie cinetică în virtutea vitezei și masei aerului în mișcare. Un obstacol plasat în calea curgerii curentului de aer transformă energia cinetică de mișcare în energie potențială de presiune. Intensitatea presiunilor în fiecare punct al obstacolului depinde de forma obstacolului, unghiul de incidență al vântului, viteza și densitatea aerului și rigiditatea laterală a structurii. Forța totală, care rezultă din sumarea algebrică a presiunilor pe fețele obstacolului, depinde evident și de dimensiunile obiectului studiat.

2.1. Considerații generale privind mecanica fluidelor

Mișcarea unei particule de fluid, în cazul de față aerul, de-a lungul unei linii de curent L_c (fig.2.1.), ce trece la momentul t printr-un punct $P(x_1, x_2, x_3)$, fix în spațiu, are componentele vitezei absolute de curgere \vec{V} față de sistemul cartezian $Ox_1x_2x_3$

$$u_i = \frac{dx_i}{dt} \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2.1)$$

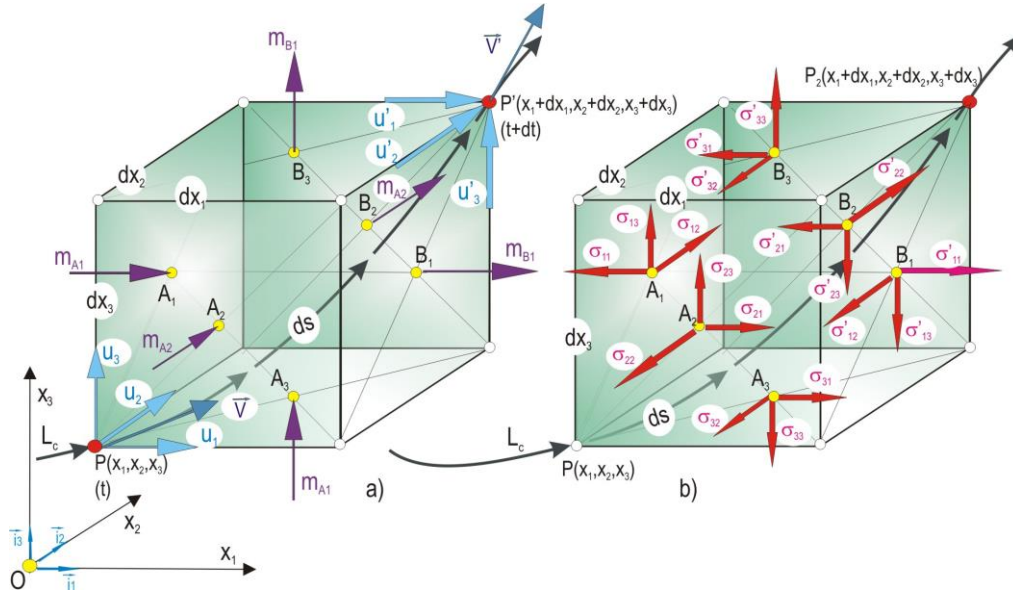


Fig 2.1. a) Ilustrarea deplasării unei particule de fluid de-a lungul unei linii de curent
 b) starea de tensiuni pe elementul infinitesimal de modelare a particulei de fluid
 și, după metoda Euler, sunt funcții atât de coordonatele $x_1, x_2,$ și x_3 ale punctului P și de timp, astfel că:

$$u_i = u_i(x_1, x_2, x_3, t) \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2.2)$$

Din bilanțul masei de fluid, ce intră prin fețele laterale ale paralelipipedului elementar (Fig.2.1.a):

$$\sum_i m_{Ai} = \sum_i \rho u_i dx_1 dx_2 dx_3 dt \quad (2.3)$$

și a masei ce iese prin fețele opuse:

$$\sum_i m_{Bi} = \sum_i \left(\rho u_i + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} \right) dx_1 dx_2 dx_3 dt \quad (2.4)$$

pentru un fluid incompresibil - cum este aerul, la care densitatea fluidului $\rho = ct$, și deci, $d\rho/dt = 0$ - va rezulta ecuația de continuitate:

$$\sum_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2.5)$$

Componentele vitezei \vec{V}' ale fluidului ce trece printr-un punct P', de coordonate $x_1+dx_1, x_2+dx_2,$ și x_3+dx_3 se pot determina funcție de componentele vitezei \vec{V} :

$$\vec{V}' = \vec{i}_1 u_1 + \vec{i}_2 u_2 + \vec{i}_3 u_3 \quad (2.6)$$

rezultând componentele:

$$u'_i = u_i + \frac{\partial u_i}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial u_i}{\partial x_2} dx_2 + \frac{\partial u_i}{\partial x_3} dx_3 \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2.7)$$

cu ajutorul căroră, după o serie de manipulări matematice, se ajunge la forma vectorială:

12 Aspecte privind sarcinile induse de curgerea fluidului asupra unei structuri
obstacol - 2

$$\vec{V}' = \vec{V} + \vec{\omega} \times \vec{ds} + \text{grad}\Phi \quad (2.8)$$

unde componentele vectorului vârtej:

$$\vec{\omega} = \frac{1}{2} \text{rot}\vec{V} \quad (2.9)$$

au expresiile:

$$\omega_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_3}{\partial x_2} - \frac{\partial u_2}{\partial x_3} \right); \quad \omega_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_3} - \frac{\partial u_3}{\partial x_1} \right); \quad \omega_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_2}{\partial x_1} - \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \right) \quad (2.10)$$

Componentele vectorului \vec{ds} sunt dx_1, dx_2 și dx_3 , iar Φ este o funcție pătratică:

$$\Phi = \frac{1}{2} \left(a_{11} dx_1^2 + a_{22} dx_2^2 + a_{33} dx_3^2 + 2a_{12} dx_1 dx_2 + 2a_{13} dx_1 dx_3 + 2a_{23} dx_2 dx_3 \right) \quad (2.11)$$

unde mărimile:

$$a_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial x_1}; \quad a_{22} = \frac{\partial u_2}{\partial x_2}; \quad a_{33} = \frac{\partial u_3}{\partial x_3}, \quad (2.12)$$

reprezintă vitezele de deformație liniară, iar:

$$a_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = a_{ji}; \quad (i, j = 1, 2, 3; i \neq j) \quad (2.13)$$

reprezentând vitezele de deformație unghiulară. Forma pătratică $\Phi(dx, dy, dz)$ reprezintă funcția de potențial al vitezelor de deformație.

Asupra elementului paralelipipedic infinitezimal de masa $dm = \rho dx_1 \cdot dx_2 \cdot dx_3$ acționează următoarele forțe:

- masice $\rightarrow dF_{mi} = F_i \cdot \rho \cdot dx_1 dx_2 dx_3; \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2.14)$

- de suprafață, pe fețele paralelipipedului acționând forțe,
 - a) normale pe suprafețele de intrare a fluidului:

$$dFn_{ij}^{(1)} = \sigma_{ij} dx_j dx_k \quad (i, j, k = 1, 2, 3; j, k \neq i, j \neq k) \quad (2.15)$$

- b) normale pe suprafețele de ieșire ale fluidului:

$$dFn_{ij}^{(2)} = \left(\sigma_{ij} + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} dx_i \right) dx_j dx_k \quad (i, j, k = 1, 2, 3; j, k \neq i, j \neq k) \quad (2.16)$$

unde σ_{ii} este tensiunea paralelă cu axa ox_i , normală pe suprafața dreptunghiului de intrare cu centru în punctul A_i .

În plus, pentru un fluid real, vâcos, se dezvoltă tensiuni de legătură tangențiale $\tau_{ij} = \sigma_{ij}$ ($i, j = 1, 2, 3; i \neq j$), care sunt proporționale cu vitezele de deformație unghiulare:

$$\tau_{ij} = \sigma_{ij} = 2\eta a_{ij} \quad i \neq j \quad (2.17)$$

rezultând forțele tangențiale de suprafață

- c) la intrare pe fețele cu centrele în A_i :

$$dFt_{ij}^{(1)} = \sigma_{ij} dx_j dx_k \quad (i, j, k = 1, 2, 3; j, k \neq i, j \neq k) \quad (2.18)$$

și:

- d) la ieșire pe fețele opuse cu centrele în B_i , pentru care tensiunile tangențiale de pe aceste fețe sunt approximate prin:

$$\tau'_{ij} = \sigma'_{ij} = \left(\sigma_{ij} + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} dx_i \right) \quad j \neq k \quad (2.19)$$

iar forțele tangențiale de suprafață:

$$dF_{ij}^{(2)} = \left(\sigma_{ij} + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} dx_i \right) dx_j dx_k \quad (i, j, k = 1, 2, 3; j, k \neq i, j \neq k) \quad (2.20)$$

Însumând toate forțele elementare de suprafață ce acționează asupra paralelipipedului se obțin componentele rezultantei forțelor elementare de suprafață:

$$dF_{Si} = \left(\frac{\partial \sigma_{ii}}{\partial x_i} + \frac{\partial \sigma_{ji}}{\partial x_j} + \frac{\partial \sigma_{ki}}{\partial x_k} \right) dx_1 dx_2 dx_3 \quad (i, j, k = 1, 2, 3; j, k \neq i, j \neq k) \quad (2.21)$$

Echilibrul dinamic al particulei elementare este dat prin legea lui Newton:

$$dm\vec{a} = d\vec{F}_m + d\vec{F}_s \quad (2.22)$$

unde vectorul accelerație:

$$\begin{aligned} \vec{a} &= \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d\vec{V}}{dt} + u_1 \frac{d\vec{V}}{dx_1} + u_2 \frac{d\vec{V}}{dx_2} + u_3 \frac{d\vec{V}}{dx_3} \\ &= \frac{d\vec{V}}{dt} + \text{grad} \frac{V^2}{2} + \text{rot}\vec{V} \times \vec{V} \end{aligned} \quad (2.23)$$

În cazul mișcării laminare pentru fluidul real incompresibil tensiunile normale pot fi exprimate prin relațiile:

$$\sigma_{ii} = -p + 2\eta a_{11} = -p + 2\eta \frac{\partial u_i}{\partial x_i}; \quad i = 1, 2, 3 \quad (2.24)$$

iar cele tangențiale prin relațiile (2.17), care ținând cont de (2.13), devin:

$$\sigma_{ij} = \eta \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) = \sigma_{ji}; \quad (i, j = 1, 2, 3; i \neq j) \quad (2.25)$$

Prin înlocuiri în (2.21) se ajunge la ecuațiile Navier – Stokes care guvernează curgerea unui fluid incompresibil:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_i}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial u_i}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial u_i}{\partial x_3} = F_i - \frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_3^2} \right) \quad i = 1, 2, 3 \quad (2.26)$$

căroră, li se adaugă ecuația de continuitate (2.5):

$$\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} = 0 \quad (2.5')$$

formând împreună un sistem de patru ecuații neliniare cu derivate parțiale, cu patru funcții necunoscute: componentele vitezelor $u_i(x_1, x_2, x_3, t)$, ($i=1, 2, 3$) și presiunea $p(x_1, x_2, x_3, t)$ la momentul t , în orice punct curent $P(x_1, x_2, x_3)$ al domeniului de curgere.

Vectorial, ecuațiile Navier – Stokes, pentru fluide incompresibile, pentru un regim laminar, au forma:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F} - \text{grad} \frac{p}{\rho} + \nu \Delta \vec{V} \quad (2.27)$$

unde Δ Laplacianul vectorului \vec{V} :

$$\Delta \vec{V} = \vec{i}_1 \Delta u_1 + \vec{i}_2 \Delta u_2 + \vec{i}_3 \Delta u_3 \quad (2.28)$$

are componentele față de sistemul de axe $Ox_1x_2x_3$:

$$\Delta u_i = \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_3^2}; \quad i = 1, 2, 3 \quad (2.29)$$

Ținând seama de forma (2.22) ecuația (2.26) trece sub forma dată de Helmholtz:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \text{grad} \frac{V^2}{2} + \text{rot} \vec{V} \times \vec{V} = \vec{F} - \text{grad} \frac{p}{\rho} + \nu \Delta \vec{V} \quad (2.30)$$

care înmulțită scalar cu vectorul unitar al arcului liniei de curent:

$$\vec{ds} = \vec{i}_1 dx_1 + \vec{i}_2 dx_2 + \vec{i}_3 dx_3 \quad (2.31)$$

trece într-o formă energetică:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} \vec{ds} + d \left(\frac{V^2}{2} + \int \frac{dp}{\rho} \right) + 2 \begin{vmatrix} dx_1 & dx_2 & dx_3 \\ \omega_1 & \omega_2 & \omega_3 \\ u_1 & u_2 & u_3 \end{vmatrix} = -\delta L_f \quad (2.32)$$

unde variația elementară:

$$\delta L = -\nu (\Delta u_1 dx_1 + \Delta u_2 dx_2 + \Delta u_3 dx_3) \quad (2.33)$$

reprezintă lucrul mecanic elementar al forțelor de frecare vâscoase. Termenul este negativ deoarece forțele de frecare sunt dirijate în sens invers sensului de deplasare.

În plus, pentru fluidele reale, pe o linie de curent, sau pe o linie de vârtej sau pe una elicoidală în determinantul din (2.32), în toate cazurile, există două linii proporționale astfel că acesta se anulează:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} \vec{ds} + d \left(\frac{V^2}{2} + \int \frac{dp}{\rho} \right) = -\delta L_f \quad (2.34)$$

Prin integrare între două puncte ale liniei de curent P_1 și P_2 se obține:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = \frac{V_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} \vec{ds} + \int_{1,2} \delta L_f \quad (2.35)$$

reprezentând relația lui Bernoulli în mișcarea semipermanentă în lungul unei traiectorii, relație în care $\int_{1,2} \delta L_f$ este pierderea energetică prin frecare datorită

vâscozității fluidului. În cazul mișcării permanente termenul $\int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} \vec{ds} \Rightarrow 0$.

Revenind la sistemul de ecuații Navier - Stokes componentele $u_i(x_1, x_2, x_3, t)$, ($i=1, 2, 3$) ale vectorului viteză \vec{V} și presiunea $p(x_1, x_2, x_3, t)$ trebuie să satisfacă condițiile inițiale și condițiile la limită impuse de condițiile concrete ale problemei. Condițiile inițiale se dau prin câmpul vitezelor și al presiunii la momentul t_0 considerat inițial:

$$u_i(x_1, x_2, x_3, t_0) = u_{i0}; \quad p(x_1, x_2, x_3, t_0) = p_0; \quad i = 1, 2, 3 \quad (2.36)$$

unde u_{0i} și p_0 sunt funcții cunoscute de coordonatele x_1, x_2 și x_3 .

Condițiile la limită trebuie verificate pe frontierele curentului de fluid, la un moment oarecare, de către câmpurile, vitezelor (condiții la limită cinematice) și presiunilor (condiții la limită dinamice).

2.2. Interacțiunea fluidului cu structuri rigide

2.2.1. Stratul limită

Corpurile situate în curentul de fluid constituie obstacole cu care fluidul interacționează, pentru curgerea în jurul corpului are un caracter special distribuția câmpului de viteze

Soluțiile analitice se pot formula numai pentru anumite condiții, pentru care formarea liniilor de curent este independentă de numărul lui Reynolds, $Re = \frac{VL}{\nu}$,

unde L este o lungime echivalentă definită prin lățimea suprafeței

Astfel, pentru numere Reynolds foarte mici, $Re < 1$, forțele de inerție pot fi neglijate în raport cu forțele de frecare. Aceste curgeri poartă denumirea de *curgeri Stokes*. La numere Reynolds $Re \gg 1$ ponderea frecării este dominantă în apropierea pereților solizi, aceste curgeri numindu-se *curgeri în stratul limită*.

Un exemplu edificator este cel al curgerii unui curent de aer, ca fluid incompresibil, peste un cilindru rigid C_r (fig. 2.2), unde sunt ilustrate câmpurile a), de viteze, și b), de presiuni, obținute prin metoda elementelor finite, folosind programul ANSYS. (detalii în capitolul 4).

Mișcarea fluidului se consideră că are loc în planul Ox_1x_2 (curgere plană în 2D) în sensul pozitiv al axei Ox_1 . Intrarea fluidului se face la viteză constantă \vec{V} pe un domeniu mai larg decât cel prezentat în figura 2.2 unde sunt detaliate distribuțiile vitezelor și presiunilor în jurul secțiunii cilindrului.

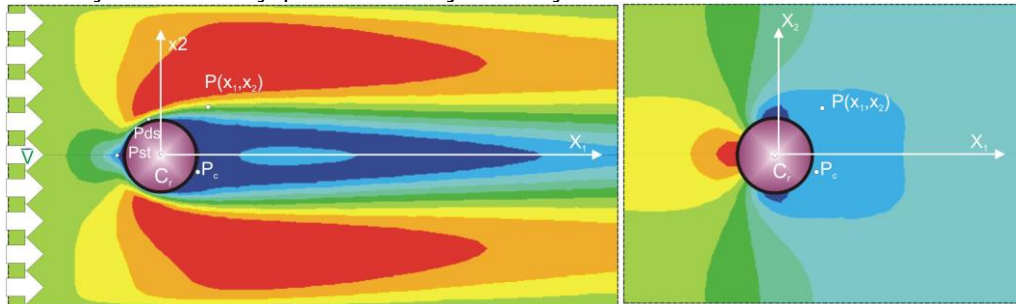


Fig 2.2. Ilustrarea curgerii unui fluid peste un cilindru

a) câmpul de viteze

b) câmpul de presiuni

Din cele două distribuții se poate observa complexitatea curgerii fluidului peste un obstacol, chiar dacă acesta are o secțiune transversală simplă, cum este în cazul cilindrului. Respectând legile de curgere guvernate de ecuațiile Navier - Stokes și condițiile geometrice, pentru fiecare punct $P(x_1, x_2)$ din spațiul fluidului există o viteză și o presiune bine determinate. Distribuția vitezelor relevă domenii de curgere distincte separate prin linii de curgere cu puncte caracteristice cum sunt: P_{st} , de stagnare, unde datorită aderenței stratului de fluid la suprafața structurii viteza în jurul acestui punct tinde spre zero, presiunea pe suprafața structurii fiind maximă iar punctul P_{ds} , numit punct de desprindere, în jurul acestui punct particulele de fluid

16 Aspecte privind sarcinile induse de curgerea fluidului asupra unei structuri
obstacol - 2

își schimbă sensul de curgere, presiunea având o tendință de creștere, ceea ce produce depărtarea particulele, care au o energie cinetică ce se disipează datorită frecării interioare (existența vâscozității).

În jurul structurii se creează un domeniu, numit *strat limită*, sau strat de frecare, unde componenta $\frac{\partial u_1}{\partial x_2}$ a gradientul de viteză are valori semnificative,

tensiunea tangențială de forfecare $\tau_{x1} = \eta \frac{\partial u_1}{\partial x_2}$. atingând și ea valori semnificative.

Noțiunea de strat limită a fost introdusă de L. Prandtl. El a utilizat termenul pentru a defini stratul subțire de fluid care se găsește în vecinătatea unui corp solid față de care fluidul se deplasează, strat în interiorul căreia vâscozitatea fluidului trebuie luată în considerare, prin urmare, mișcarea fluidelor cu vâscozitate mică (aerul, apa) peste corpuri solide poate fi studiată în cadrul a doua zone distincte:

- o zonă îngustă în vecinătatea corpului solid în care efectele vâscozității sunt importante (strat limită)
- o zonă largă, care nu este în apropiere de suprafața corpului solid și în care influența vâscozității este mică și poate fi neglijată

Domeniul stratului limită este dificil de a fi precizat deoarece trecerea de la vitezele de curgere din domeniul stratului limită la vitezele din domeniul curgerii exterioare se face asimptotic. Se consideră că cele două domenii sunt separate când mărimile vitezelor diferă cu 1% de cea corespunzătoare curgerii potențiale exterioare.

Un exemplu la care stratul limită este clar conturat este cel al unei plăci de lungime L situată într-un curent de aer de viteză constantă (Fig 2.3.)

Grosimea stratului limită $\delta(x_1)$ depinde și de regimul de mișcare a fluidului în stratul limită, care poate fi laminar, de tranziție și turbulent.

Pentru definirea regimului se ia în considerare numărul lui Reynolds definit prin relația:

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (2.37)$$

unde L este o lungime caracteristică măsurată

Pentru ca să apară o comportare de tip strat limită numărul Reynolds trebuie să fie relativ mare, limita inferioară este 1000.

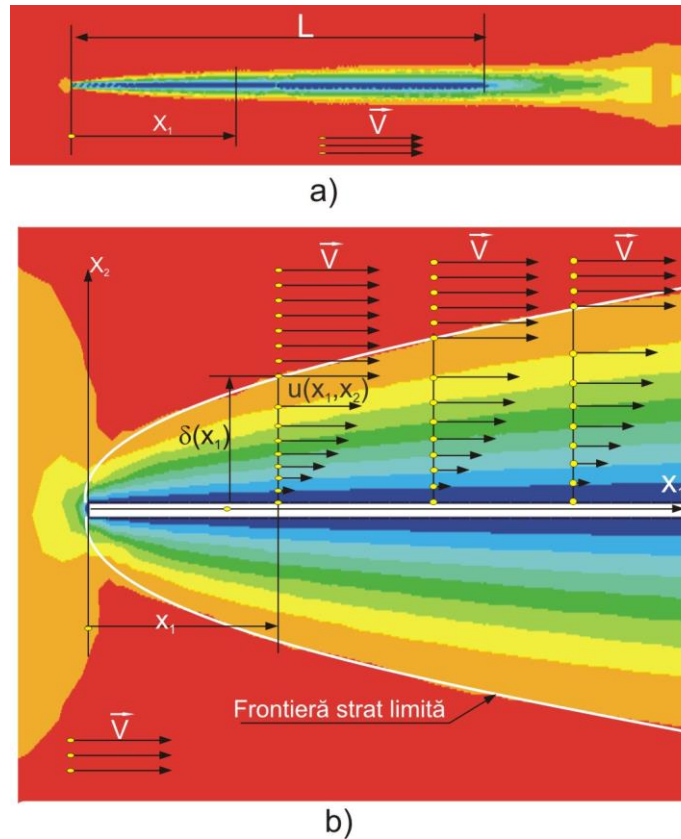


Fig. 2.3 Ilustrarea stratului limită la curgere peste o placă de lungime L .

a) distribuția vitezelor de-a lungul unei plăci

b) distribuția vitezelor în stratul limită

Teoria stratului limita are o largă aplicare în studiul acțiunii vântului asupra structurilor. Ea poate permite determinarea distribuției vitezelor, calcularea presiunilor și a forțelor precum și explicarea fenomenelor complicate de curgere care se produc în jurul structurilor (vârtejuri).

Viteza la suprafața plăcii este zero, grosimea stratului limită, $\delta(x_1)$, crește cu distanța x_1 de la capătul plăcii. Dacă lungimea plăcii este mare, grosimea stratului limită crește până la o anumită valoare, după care, datorită instabilității mișcării, curgerea laminară în stratul limită devine turbulentă. Trecerea de la mișcarea laminară la cea turbulentă în stratul limită apare pentru o anumită valoare a numărului Reynolds.

Când un strat limită turbulent se formează pe o suprafață netedă, în zona respectivă apare și un substrat subțire laminar lângă suprafața corpului solid.

Pentru o placă plană trecerea de la curgerea laminară la cea turbulentă poate să apară la $Re_x = 10^5$ dacă placa este aspră sau nivelul turbulenței în curentul principal este ridicat. Pentru o placă plană netedă și pentru curent principal cu turbulență slabă mișcarea laminară se poate menține până la $Re_x = 3 \times 10^6$. În

zona mișcării laminare cu $\frac{dp}{dx_1} = 0$, dacă se admite pentru profilul vitezelor o curbă parabolică:

$$\frac{u(x_1, x_2)}{V} = 2 \frac{x_2}{\delta(x_1)} - \left(\frac{x_2}{\delta(x_1)} \right)^2 \quad (2.38)$$

astfel că la $x_2 = \delta(x_1)$, pentru puncte situate pe frontiera stratului limită se obține, cum este și normal, $u(x_1, \delta(x_1)) = V = \text{ct.}$

Pentru calculul grosimii stratului limită la distanța x_1 se folosește relația empirică:

$$\delta(x) = 5.48 \left(\frac{vx}{U} \right)^{\frac{1}{2}} = 5.48 \frac{x}{\sqrt{Re_x}} \quad (2.39)$$

Dacă suprafața corpului solid este curbă (figura 2.4. o suprafață cilindrică) și gradientul de presiune este pozitiv ($\frac{dp}{ds} > 0$), creșterile de presiune acționând în același sens cu rezistențele vâscoase, invers sensului de curgere, conduc la o îngroșare a stratului limită.

2.2.2. Formarea vârtejurilor

În timp ce în zona îndepărtată de corp singura rezistență la curgere este produsă de gradientul de presiune pozitiv, în stratul limită rezistența la curgere se datorează atât gradientului de presiune pozitiv cât și rezistențelor vâscoase, care la suprafața corpului au valori importante. Ca urmare, se produce o decalare a mișcării în vecinătatea corpului solid și sensul curgerii se poate inversa.

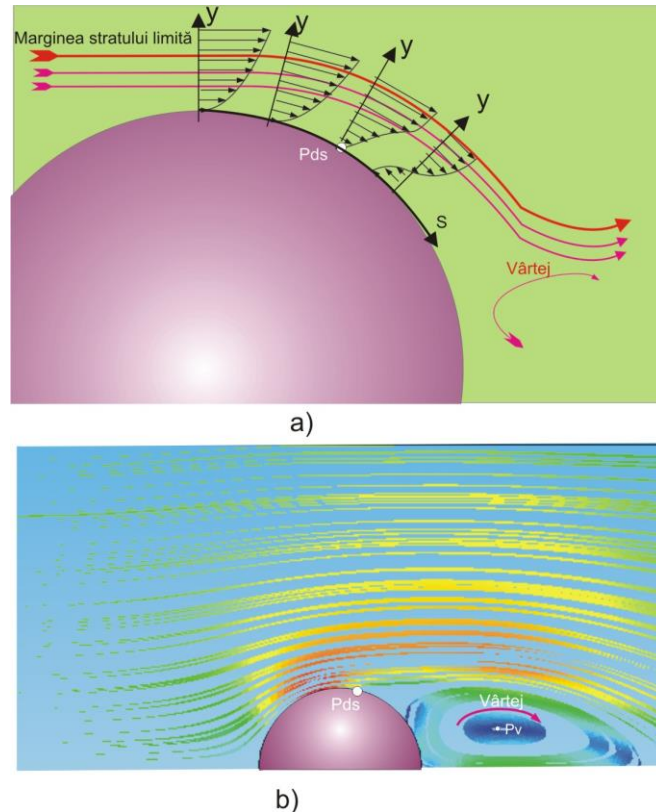


Fig. 2.4. Ilustrarea poșilelor de viteză în stratul limită, în jurul unei suprafețe curbe, în vecinătatea punctului de desprindere

a) distribuția vitezelor

b) distribuția liniilor de curgere cu formarea de vârtejuri

Astfel se formează în spatele corpului obstacol vârtejuri sau turbioane, fiecare având linii de curent spirale ce converg în niște puncte nucleu Pv. Dacă corpul obstacol este geometric simetric, în cazul analizat cilindrul, atunci vârtejurile se pot dezvolta simetric față de axa de simetrie, sau asimetric aceasta depinzând de viteza de curgere a aerului sau de numărul lui Reynolds, poziția corpului față de axa de curgere și forma geometrică.

În cazul curgerii 2D pe lângă un profil rigid de parabolă (antena), (fig. 2.5), se pot observa diferențe evidente între distribuțiile vitezelor de curgere în amonte și aval, vârtejurile situându-se simetric când profilul este situat perpendicular pe direcția de curgere, a), cu fața de recepție în amonte (0°) și b), cu fața de recepție în aval (180°).

În cazul în care profilul este rotit cu 45° sau cu 135° apare câte un singur vârtej, extins pe o suprafață mai mare ca în cazurile din figurile c) și d).

În toate cele patru cazuri viteza staționară de curgere a curentului de aer a fost de $V=30$ m/s, $L=1.2$ m (diametrul paraboloidului)

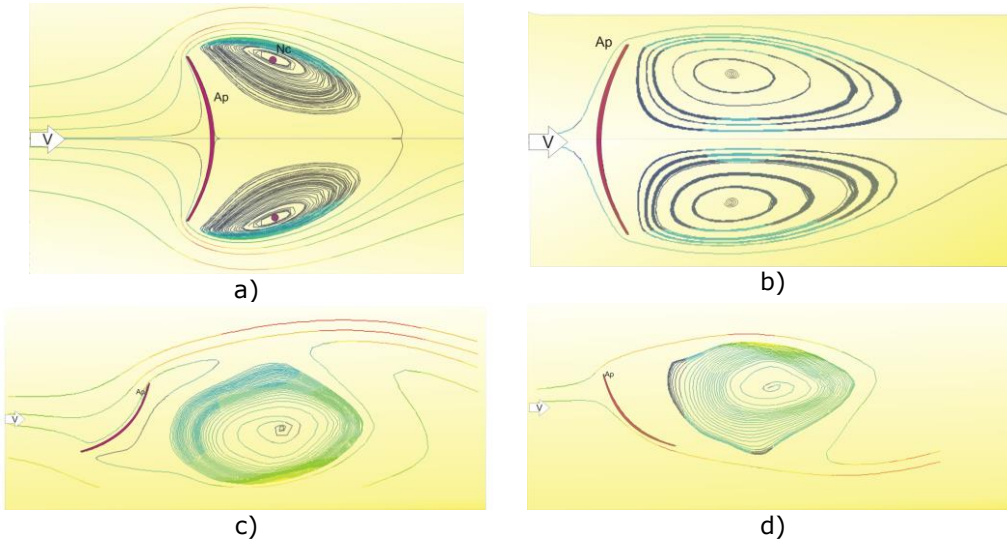
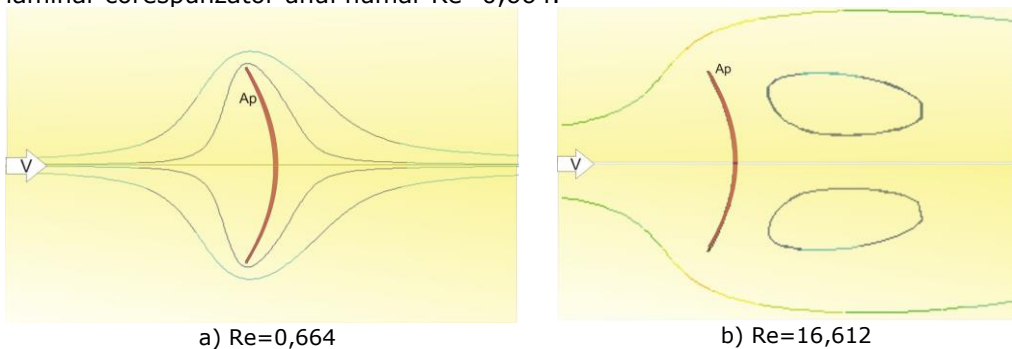


Fig. 2.5. Ilustrarea formării vârtejurilor la curgerea 2D

în jurul unui profil rigid de parabolă la o curgere staționară cu viteza $V=30$ m/s

Parametrul important care intervine în formarea vârtejurilor îl reprezintă numărul lui Reynolds. Astfel, în figura 2.6.a) este ilustrat un regim de curgere laminar corespunzător unui număr $Re=0,664$.



a) $Re=0,664$

b) $Re=16,612$

Fig. 2.6. Ilustrarea formării vârtejurilor la curgerea 2D

în jurul unui profil rigid de parabolă la o curgere staționară la diverse numere Reynolds. La această valoare curgerea este fără vârtejuri, ele apărând pentru valoarea $Re=16,612$ (fig.2.6.b)

Complexitatea curgerii reale peste obiecte nu are, în majoritatea cazurilor, soluții analitice și de aceea se apelează la relații analitico grafice, formulate după experiment.

Astfel, distribuția reală a presiunilor în jurul unui cilindru, măsurate de O. Flachsbar [38] pentru două valori ale numărului Reynolds, sunt reprezentate grafic, prin raportul adimensional:

$$r(\varphi) = \frac{P_s - P_0}{(1/2)\rho V^2} \quad (2.40)$$

funcție de arcul φ , unde p_0 este presiunea mediului fluid iar V viteza curentului de fluid în amonte față de obstacolul cilindru.

Din (2.40) se poate calcula valoarea presiunii la suprafața cilindrului:

$$p_s = p_0 + r(\varphi)\rho \frac{V^2}{2} \quad (2.41)$$

cu ajutorul căreia se pot calcula componentele forței de împingere a cilindrului:

$$F_x = \int_0^{2\pi} p_s L_c R \cos \varphi d\varphi; \quad F_y = \int_0^{2\pi} p_s L_c R \sin \varphi d\varphi \quad (2.42)$$

unde R și L_c sunt raza și respectiv lungimea cilindrului.

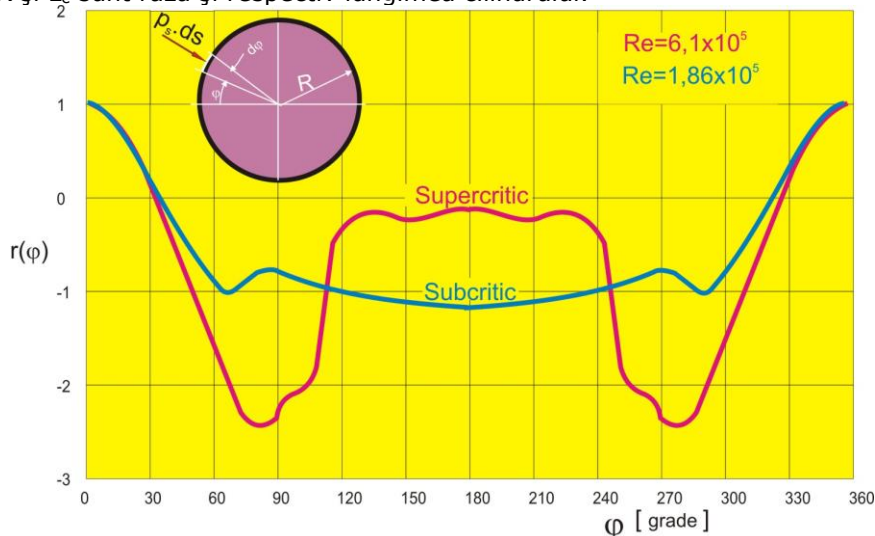


Fig. 2.7. Variația presiunii în jurul unui corp cilindric
Determinări experimentale de O. Flachsbar

Ținând seama de relația (2.42) și de faptul că, p_0 și V sunt constante iar cele două curbe de reprezentare a funcției raport $r(\varphi)$ sunt simetrice față de axa verticală la $\varphi=180^\circ$, se obține:

$$F_x \approx c_a A \rho \frac{V^2}{2} \quad (2.43)$$

Această relație arată că forța de împingere sau de antrenare, pe care o suportă cilindrul este proporțională cu presiunea dinamică $\rho \frac{V^2}{2}$, ceea ce condus la formularea unei relații generale aplicabilă la corpuri cu forme geometrice neaerodinamice:

$$F_x = L_c R \rho \frac{V^2}{2} \int_0^{2\pi} r(\varphi) \cos \varphi d\varphi; \quad F_y = 0 \quad (2.44)$$

unde A este suprafața expusă a corpului solid, normală pe direcția de curgere, iar c_a este coeficientul de antrenare determinat experimental pentru diverse tipuri de corpuri și funcție de numărul lui Reynolds. Pentru cilindru $A=2RL_c$.

În figura 2.8 se dau coeficienții de antrenare c_a pentru corpuri bi și tridimensionale, pentru diferite numere Reynolds. Forța de antrenare, datorită rezistențelor vâscoase este mai mare pentru zona turbulentă a stratului limită decât pentru zona laminară.

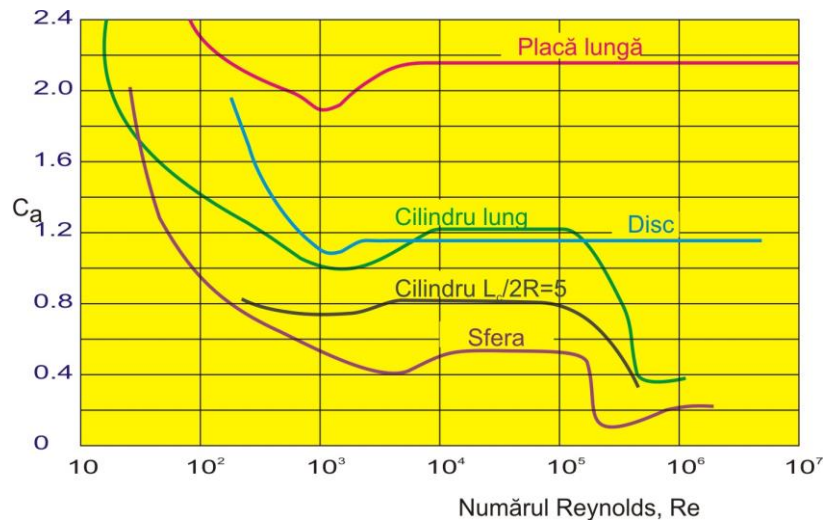


Fig. 2.8 Variația coeficientului de antrenare în funcție de numărul lui Reynolds pentru diverse corpuri

2.2.3. Formarea vârtejurilor alternante

Pentru curgeri staționare peste corpuri fixe plasate în curent, de la anumite valori ale numărului Reynolds pot apare vârtejuri alternante. Vârtejurile la regimuri laminare, apar la valori relativ joase ale numărului Reynolds, după unii autori între 40 și 1000, amorsarea lor fiind, în literatura de specialitate, încă neelucidată. Chiar și simularea numerică a acestui efect dinamic ridică mari probleme, mult discutată în forumurile de specialitate, în legătură cu alegerea densității meshului și a definiției câmpului de studiu din jurul corpului.

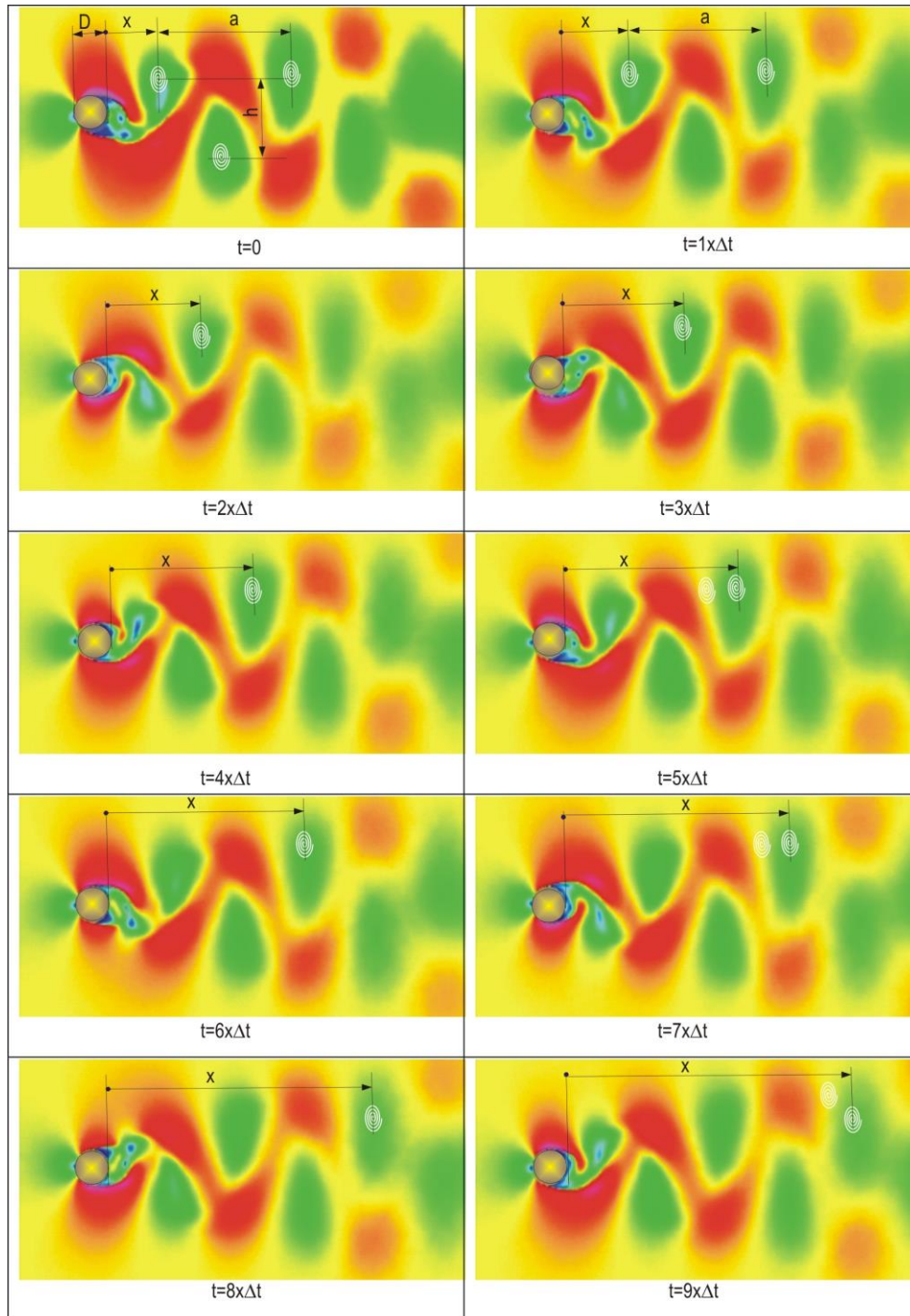


Fig. 2.9. Ilustrarea formării vârtejurilor alternante (Karman vortex street), pentru un cilindru rigid

Pentru exemplificare, în figura 2.9., sunt prezentate 10 imagini consecutive în timp ale câmpului de curgere din vecinătatea unui cilindru de diametru $D=10$ mm, fix într-un curent laminar de apă, cu viteza de intrare $V=120$ mm/s, constantă.

Se consideră că la momentul, $t=0$, este aproape gata format un prim vârtej în partea superioară a imaginii, situat la distanța $x=15.6$ mm de marginea cilindrului, iar cel precedent format, este decalat în față la distanța $a=41,3$ mm față de primul. La momentul următor $t=1 \times \Delta t$, ($\Delta t=0.1$ s), când s-a terminat procesul de formare a primului vârtej, acesta se deplasează la $x=19,5$ mm. Distanța a dintre cele două vârtejuri rămâne constantă, ceea ce arată că vârtejurile se deplasează în grup cu aceeași viteză.

La momentul $t=2 \times \Delta t$ se poate observa procesul de terminare al unui vârtej în partea de jos, iar primul vârtej format în partea superioară ajunge la cota $x=28,6$ mm. În continuare, la momentele, $t=3 \times \Delta t$, $t=9 \times \Delta t$, pasul a , pe orizontală, dintre vârtejuri, se menține constant la $a=41,3$ mm.

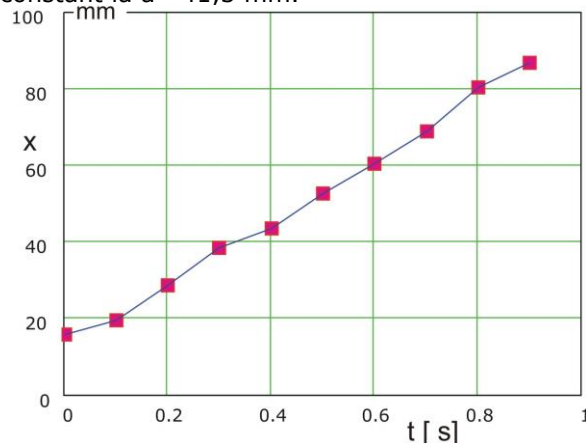


Fig. 2.10. Legea de deplasare a vârtejurilor de-a lungul curentului

Din reprezentarea grafică (fig.2.10) a deplasării x , în timp, a primului vârtej, se poate observa că aceasta se face după o lege liniară, deci la viteză constantă.

Vârtejurile pentru structuri cu forme simetrice, cum este cilindru, se formează de o parte și de alta a corpului, la distanța h , în cazul de față $h=23,4$ mm. Astfel, în momentul în care s-a format, el produce o circulație în jurul cilindrului. Ca urmare, viteza crește pe o parte a cilindrului și descrește pe cealaltă parte, distribuția presiunilor modificându-se în consecință.

Ca urmare a acestei situații, în afară de forța de antrenare dirijată după direcția vântului, apare în planul secțiunii transversale o nouă forță, normală pe direcția de mișcare și variabilă ca mărime și sens. Dacă cilindrul este liber să vibreze, forța respectivă, ca forță perturbatoare, produce oscilații forțate, perpendiculare pe direcția vântului.

Frecvența de formare a perechilor complementare de vârtejuri este exprimată de relația:

$$f_v = S_t \frac{V}{D} \quad (2.45)$$

în care S_t este numărul lui Strouhal, V , viteza vântului (m/s) și D , diametrul cilindrului. Numărul lui Strouhal este o mărime adimensională și depinde de numărul lui Reynolds. În zona subcritică, în care dezvoltarea vârtejurilor este regulată, valoarea numărului Strouhal rămâne constantă și egală cu 0.2. Pentru valori mai

mari, cuprinse între 3.5×10^5 și 3.5×10^6 , în zona supercritică a numerelor Reynolds în care formarea vârtejurilor prezintă un caracter aleatoriu, numărul Strouhal are valori apropiate de 0.45. Pentru numere Reynolds mai mari decât 3.5×10^6 corespunzătoare zonei transcritice în care caracterul regulat de formare a vârtejurilor reappare, numărul Strouhal are valori între 0.25 și 0.27.

În cazul cilindrului valoarea numărului Strouhal, indiferent de valoarea numărului Reynolds, poate fi luată egală cu 0.2.

Forța de antrenare care se dezvoltă pe structură în direcția curgerii, are o componentă constantă dată de relația (2.43) și ea nu are un grad de pericolozitate asupra structurii așa de mare ca forța fluctuantă laterală datorită vârtejurilor

Formarea vârtejurilor Karman în zona de siaj, la trecerea fluidului peste un cilindru, conduce la modificarea distribuției presiunilor pe suprafața acestuia și ca urmare, la apariția unei forțe fluctuante laterale F_p .

Pentru structurile cilindrice supuse acțiunii unui curent uniform, laminar, la valori subcritice ale numărului Reynolds, forța fluctuantă laterală poate fi exprimată prin forma armonică:

$$F_p(t) = c_p \frac{1}{2} \rho V^2 A \sin(2\pi f_v t) \quad (2.46)$$

în care c_p este coeficientul aerodinamic al forței laterale (coeficientul de portanță).

Pentru valori supercritice ale numărului Reynolds, forța fluctuantă $F_p(t)$ capătă un caracter aleator și definirea ei necesită o analiză pe baze statistice, cu utilizarea reprezentărilor spectrale.

Pentru corpuri cu formă oarecare calcularea forței de antrenare devine dificilă. În evaluarea acestei trebuie să se țină seama atât de forța de antrenare care reprezintă însumarea rezistențelor vâscoase cât și de forța de antrenare care rezultă din variația presiunilor pe suprafața corpului solid.

La corpuri cu forma aerodinamică punctul de separație se produce la capătul final al corpului solid, regiunea de vârtejuri este îngustă și forța de antrenare se poate calcula numai ca rezultată a rezistențelor vâscoase, cu ajutorul teoriei stratului limită.

La corpuri cu forme geometrice neaerodinamice, separarea curgerii se produce destul de avansat, zona de vârtejuri fiind destul de largă. Forța de antrenare se calculează în acest caz ca sumă a celor două forțe menționate anterior, calculul teoretic devine în acest caz dificil.

2.2.4. Efectul Venturi

Este un fenomen care apare la strangularea curgerii fluidului prin dispunerea structurilor într-un unghi ascuțit, sau cel mult de 90° , formând în zona îngustă dinspre vârful unghiului, un efect de pâlnie.

Această zonă critică din punct de vedere aerodinamic, unde curgerea se accelerează, este cunoscută și sub numele de gât Venturi.

Un asemenea efect se întâlnește în cazul în care o structură este fixată în apropierea unui perete iar curentul de fluid circulă paralel cu peretele.

26 Aspecte privind sarcinile induse de curgerea fluidului asupra unei structuri
obstacol - 2

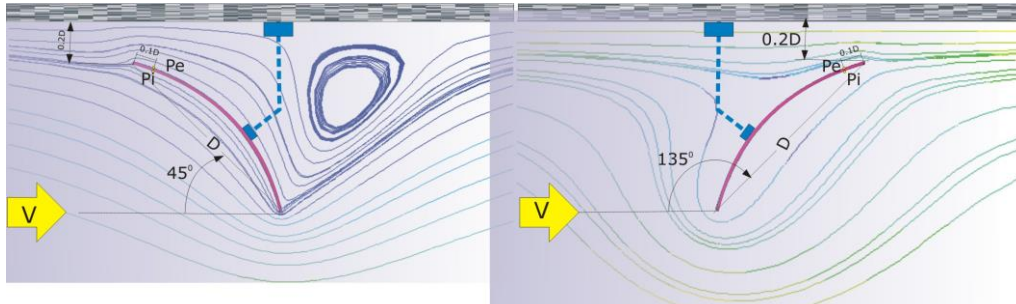


Fig. 2.11. Ilustrarea efectului Venturi la un profil de antenă fixat de un perete,
 $Re = 0.664$

Presiunile pe cele două fețe ale antenei au următoarele valori: $Pe = 0.72448E-09$, $Pi = 0.10768E-08$, pentru unghiul de 45° . Pentru cazul antenei poziționată la 135° presiunile au următoarele valori, $Pe = 0.20890E-08$, $Pi = 0.34222E-09$.

Viteza la care s-a făcut simularea este $v = 0.1e-4$, numărul Reynolds fiind $Re = 0.664$.

Pentru cazul prezentat în figura 2.12. viteza de curgere a fluidului este $v = 2.5e-4$, având numărul Reynolds $Re = 16.612$.

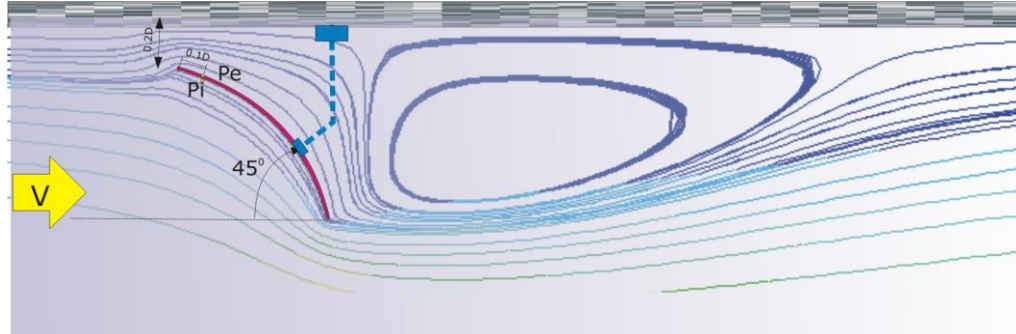


Fig. 2.12 Ilustrarea efectului Venturi la un profil de antenă fixat de un perete,
 $Re = 16.612$

2.3. Interacțiunea fluidului cu structura elastică

2.3.1. Efectul autooscilant

Masa de fluid în procesul de curgere conține energie mecanică din care o parte va fi cedată, în cazul unei structuri elastice plasată în curent, acesteia, sub formă de energie potențială prin deformarea structurii sau în energie cinetică, care compensează energia de disipație interioară structurii. Când energia primită de structură depășește pe cea de disipație apare efectul de instabilitate autooscilant de tip rezonant.

Astfel, pentru o bară elastică B_e , (figura 2.13), plasată transversal pe direcția de curgere, OX , încastrată la ambele capete pe pereții P_f a unui tub de curent, aceasta se deformează sub acțiunea forțelor de interacțiune cu fluidul. Bara poate fi o conductă din rețeaua unui schimbător de căldură tubular într-un canal de fum, (fig. 2.15.) [27], sau diagonală unui grătar amplasat în fața camerei spirale a unei turbine Kaplan, (fig. 2.17.), ambele cazuri sugestive, investigate de Laboratorul de Testări și Cercetări pentru Vibrații Mecanice al Universității Politehnica din Timișoara.

Deplasările în planul normal, rezultate din deformarea prin încovoiere a barei produc la rândul lor modificarea distribuțiilor câmpurilor de viteze și presiuni, cu preponderență în zona stratului limită.

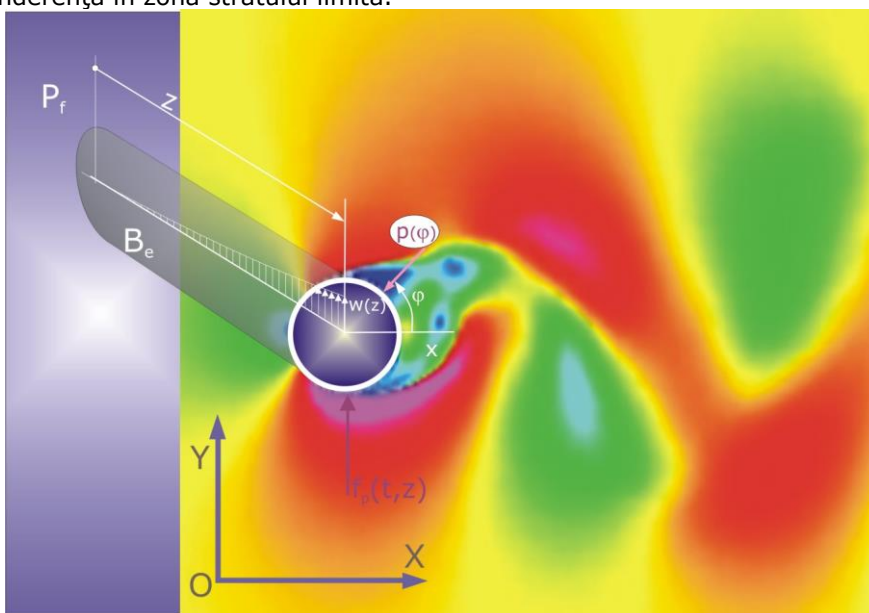


Fig. 2.13. Ilustrarea interacțiunii fluid structură elastică

Pe baza unor observații experimentale s-a constatat că pentru un cilindru prins elastic la capete, excitat de o forță armonică indusă de trenul de vârtejuri alternante expresia (2.46) trece sub forma:

$$F_p(t) = c_p \frac{1}{2} \rho V^2 A \sin(2\pi f_v t) \left(1 + 1,54 \frac{W}{D}\right)^3; \quad \left(\frac{W}{D} < 0,3\right) \quad (2.47) \quad [65]$$

unde w este amplitudinea mișcării vibratorii a cilindrului.

Dacă cilindrul este deformabil atunci de-a lungul lungimii cilindrului acționează o forță distribuită:

$$f_p(t, z) = c_p \frac{1}{2} \rho V^2 D \sin(\omega_v t) \left(1 + 1,54 \frac{W(z)}{D}\right)^3; \quad \left(\frac{W(z)}{D} < 0,3\right) \quad (2.48)$$

unde s-a notat cu $\omega_v = 2\pi f_p$, $W(z)$ fiind amplitudinea vibrațiilor transversale în secțiunea de la cota z a barei.

În această situație ecuația de echilibru dinamic al elementului de bară va avea forma:

$$EI \frac{\partial^4 w(z, t)}{\partial z^2} + \rho_b \frac{\partial w^2(z, t)}{\partial t^2} = c_p \frac{1}{2} \rho V^2 D \sin(\omega_v t) \left(1 + 1,54 \frac{W(z)}{D}\right)^3 \quad (2.49)$$

Excitația fiind armonică, axată după pulsația vârtejurilor alternante, și soluția forțată va fi armonică, după aceeași pulsație:

$$w(z, t) = W(z) \sin(\omega_v t) \quad (2.50)$$

Mai departe rezultă, din (2.49), ecuația diferențială ordinară:

$$EI \frac{d^4 W(z)}{dz^2} - \rho_b \omega_v^2 W(z) = c_p \frac{1}{2} \rho V^2 D \left(1 + 1,54 \frac{W(z)}{D}\right)^3 \quad (2.51)$$

aceasta fiind o ecuație neliniară, a cărei soluție se rezolvă ținând cont de condițiile de margine. Pentru cazul barei încastrate la ambele capete, acestea sunt:

$$W(0) = W(L) = 0; \quad \frac{dW(0)}{dz} = \frac{dW(L)}{dz} = 0 \quad (2.52)$$

În ecuația diferențială (2.51) viteza V a curentului intră ca un parametru cu pătratul valorii sale, distribuția amplitudinilor $W(x)$ crescând cu în acest raport.

Pe baza măsurătorilor experimentale s-a constatat că în cazul structurilor elastice situate într-un curent de fluid apare un efect dinamic special: amorsarea vârtejurilor alternante axate direct după frecvențele proprii ale modurilor naturale de vibrații ale structurii. Efectul acesta este cunoscut ca fenomenul "locking-in" și apare atunci când viteza curentului ajunge în apropierea unei valori:

$$V_{cj} \approx f_j \frac{D}{S_t} \quad (2.53)$$

numită viteză critică, f_j fiind valoarea frecvenței proprii a unui mod natural de vibrații al structurii imersate, atunci frecvența de excitație a vârtejurilor alternante se calează (blochează) pe frecvența proprie a celui mod.

Ilustrarea efectului este dată în figura 2.14.

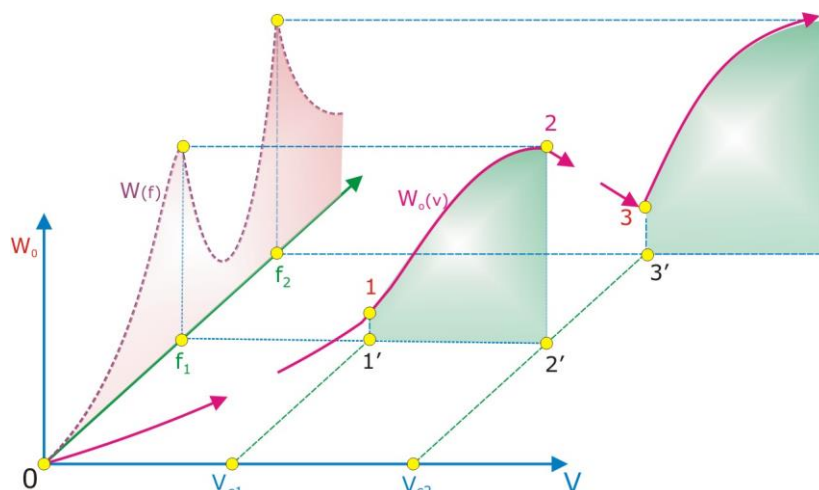


Fig. 2.14. Ilustrarea efectului de calare a frecvenței vârtejurilor alternante după una dintre frecvențele proprii ale structurii

Astfel măririi vitezei curentului de la valoarea 0 aceasta va atinge o primă valoare critică V_{c1} pentru care valoarea frecvenței f_v a vârtejurilor alternante se apropie de valoarea frecvenței f_1 a primului mod natural de vibrații al structurii imersate. În acest moment are loc efectul "locking-in", frecvența vârtejurilor fiind ghidată după frecvența proprie, $f_v=f_1$, rezultând un efect rezonant al structurii după primul mod de vibrații al său.

Acest efect rezonant este unul special, prin faptul că frecvența vârtejurilor alternante este blocată pe frecvența proprie f_1 . Această axare, cu efect rezonant de creștere puternică a amplitudinilor, continuă până când valoarea vitezei de curgere V intră în zona de influență a celui de al doilea mod natural de vibrații al structurii, aceasta întâmplându-se la viteza critică $V_{c2} \approx f_2 \frac{D}{S_t}$, f_2 fiind frecvența proprie a celui de al doilea mod de vibrații.

De semnalat un fapt important: efectul rezonant, după frecvența proprie a modului respectiv, este extins de-a lungul unui domeniu larg al vitezei V a curentului de fluid. Un exemplu edificator l-am analizat în lucrarea [27].

Gazele arse rezultate de la un cuptor de cracare (fig.2.15.) sunt eliminate forțat în atmosferă, prin intermediul unui canal de fum 1, cu ajutorul unui ventilator 2 la un coș înalt 3. Pe canalul de fum s-a plasat transversal pe curentul de gaze arse un recuperator de căldură tubular 4, curentul de gaze arse fiind obligat să treacă prin interstițiile dintre țevile rețelei.

30 Aspecte privind sarcinile induse de curgerea fluidului asupra unei structuri obstacol - 2

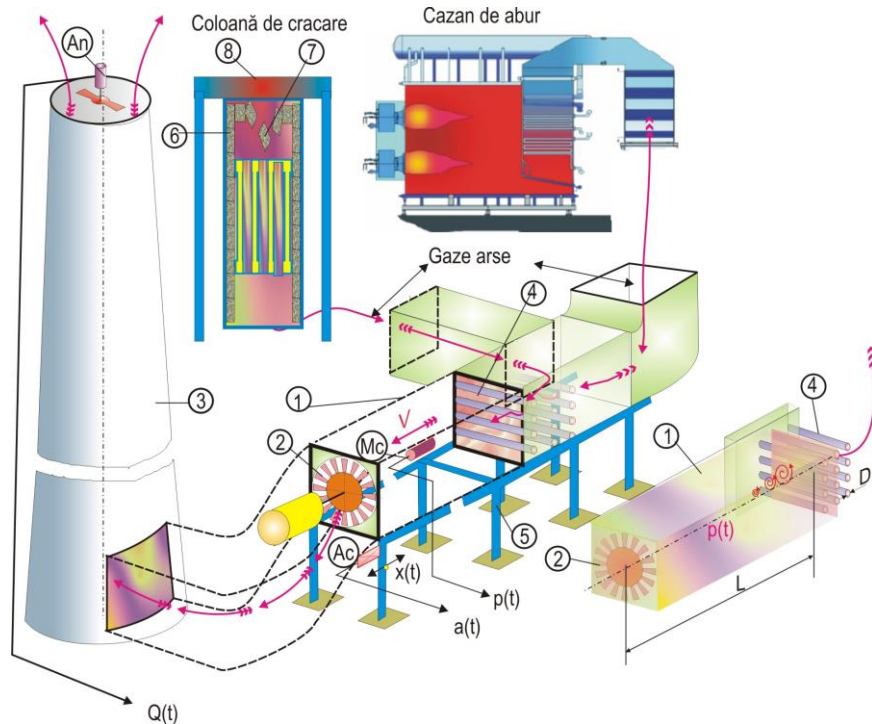


Fig. 2.15. Exemplificarea efectului rezonant excitat prin vârtejuri alternante, la un schimbător de căldură tubular, (4), plasat într-un canal de fum (1)

La valoarea nivelului debitului Q , de evacuare a gazelor arse, considerat ca optim din proiectul tehnologic al instalației, s-a constatat, însă, apariția, pe întreaga construcție metalică a canalului de fum, niveluri de vibrații extrem de puternice, propagate și pe mantaua 6 a cuptorului de cracare, fapt ce a dus la dislocarea de cărămizi refractare 7 din bolta cuptorului. Lipsind protecția termică la grinzile metalice 8, de susținere a cuptorului, acestea au ajuns la temperatură înaltă, de peste 800° ceea ce crea posibilitatea unui colaps structural.

Din primele măsurători s-a constatat că semnalul de vibrații $a(t)$ măsurat, pe structură 5, de susținere a canalului de fum, cu un accelerometru A_c era un semnal curat armonic, caracteristic unui efect rezonant, ceea ce a dus la un program de măsurători complexe care să depășească sursa de excitație. Măsurătorile, efectuate la rece, au inclus pe lângă vibrații și presiunea dinamică $p(t)$ și debitul $Q(t)$, de evacuare a gazelor arse.

Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate sintetic în diagrama înregistrării în timp de-a lungul unei perioade de 25 minute cu variație lentă a debitului $Q(t)$.

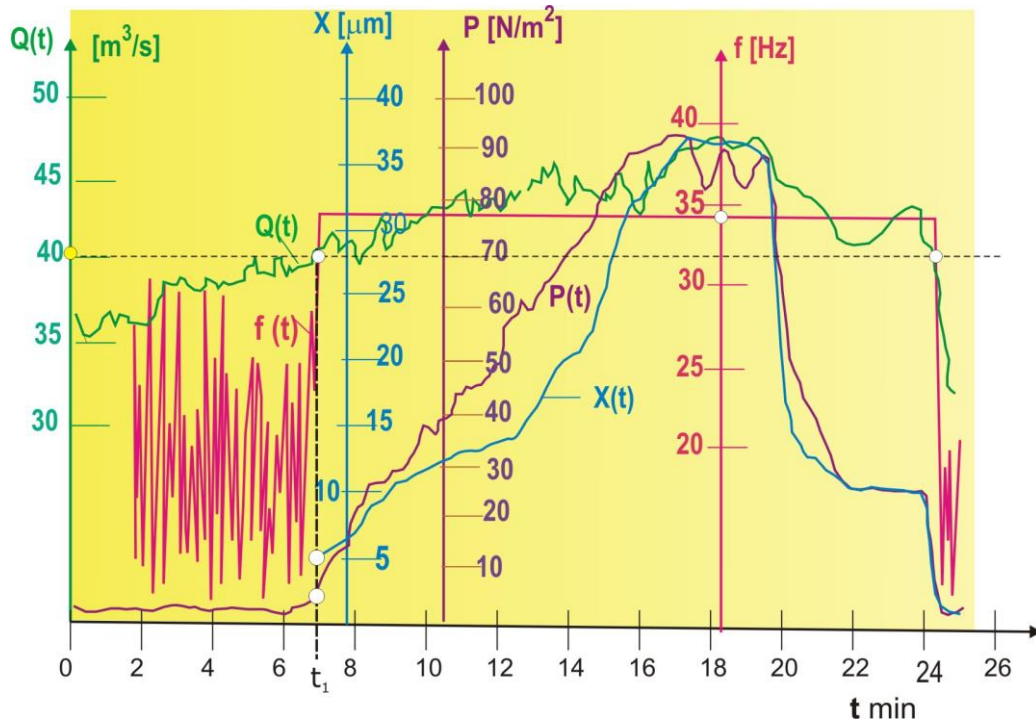


Fig. 2.16 Diagrama evoluției nivelelor vibrațiilor pe structura canalului de fum și a presiunii dinamice interioare, la diverse valori ale debitului de aer.

La baleierea debitului de la $\approx 36 \text{ m}^3/\text{s}$ la $\approx 46 \text{ m}^3/\text{s}$ amplitudinile medii $P(t)$ și $X(t)$ ale presiunii dinamice și respectiv a vibrațiilor pe structura 5, sunt mici și au un caracter aleatoriu, frecvențele $f(t)$ ale componentelor fiind nedefinite, (variații valorice mari). Brusca la atingerea unui debit critic de $\approx 40 \text{ m}^3/\text{s}$ cele două amplitudini cresc brusc iar formele lor devin perfect armonice de frecvență $f \approx 34,5 \text{ Hz}$

Frecvența comună de $34,5 \text{ Hz}$ a celor două semnale se menține perfect constantă și la valori ale debitului peste cel critic de $40 \text{ m}^3/\text{s}$, cu creșteri spectaculoase de amplitudini. La un debit de $\approx 48 \text{ m}^3/\text{s}$, maxim atins în timpul experimentului presiunea dinamică a ajuns la amplitudinea de $\approx 90 \text{ N/m}^2$ iar amplitudinea vibrațiilor a crescut de la $5 \mu\text{m}$ la $36 \mu\text{m}$, deci mai mult de 7 ori.

Deci, evident, este vorba de un efect rezonant excitant prin vârtejuri alternante create de trecerea curentului de gaze arse prin interstițiile dintre rețeaua de conducte ale schimbătorului de căldură.

Un alt exemplu concludent al efectelor dezastruoase pe care îl are efectul rezonant la excitarea prin vârtejuri alternante este prezentat în figura 2.15.

Pentru oprirea corpurilor plutitoare ce vin din amonte la intrarea apei în camera spirală 2, a unei turbine hidraulice 1, este amplasat un grătar rar 3 susținut de o structură plană de rezistență 4. Grătarul rar este manipulat prin translație verticală de două servomotoare hidraulice 5.

Cum viteza V a curentului de apă ce intră în camera spirală este reglabilă, funcție de puterea programată care necesită un anumit debit s-a ajuns la o viteză critică de curgere peste una dintre barele diagonale B_d ale grătarului rar. Excitația prin vârtejuri alternante fiind rezonantă bara respectivă s-a rupt, iar structura grătarului rar și-a pierdut stabilitatea, el a fost antrenat de curentul de apă prin camera spirală, oprindu-se în aparatul director și palele rotorului turbinei.

Pe baza unor cercetări experimentale complexe efectuate de Hidrotim Timișoara la Laboratorul de Testări și Cercetări pentru Vibrații Mecanice al Universității Politehnice din Timișoara s-a re-proiectat grătarul rar, profilul transversal al diagonalelor fiind modificat în sensul măritii valorii vitezei critice în afara domeniului vitezelor de curgere cerută de debitele necesare pentru realizarea încărcării turbinei.

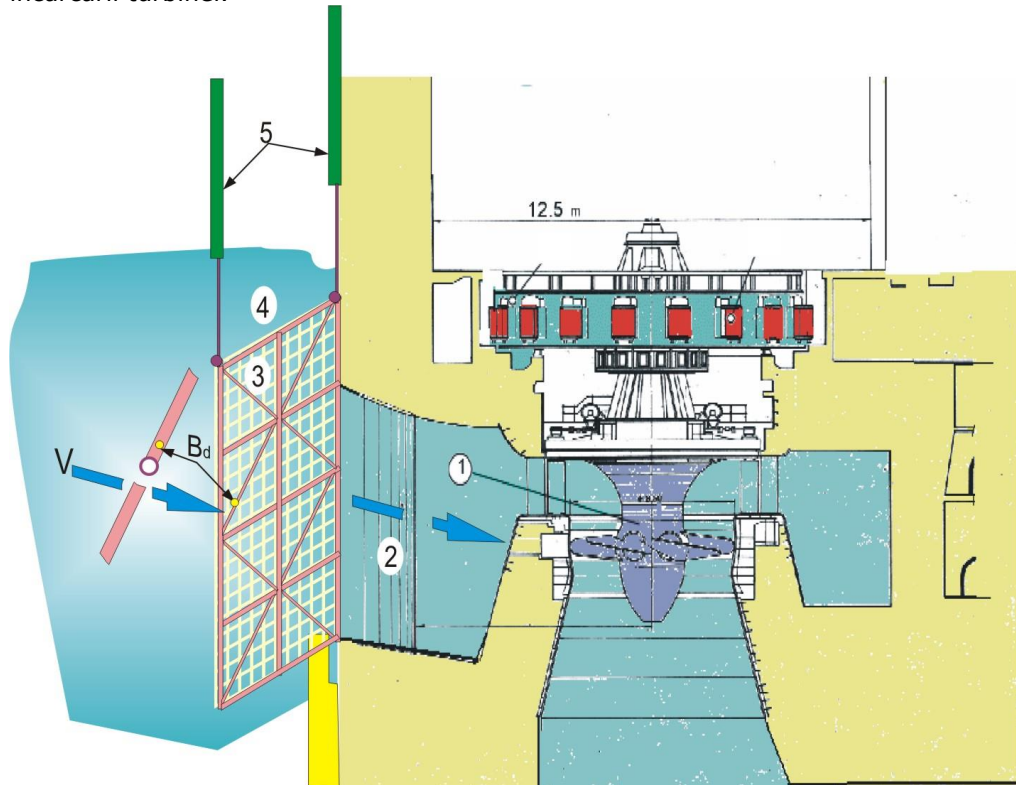


Fig. 2.17 Caz de colaps structural cauzat de un efect rezonant excitat prin vârtejuri alternante pe una dintre diagonalele grătarului rar de la o turbină hidraulică.

2.3.2. Efectul de instabilitate a echilibrului unei structuri prin efectul de galopare.

Un efect aparte ce apare la curgerea unui fluid peste o structură considerată rigidă, dar fixată elastic de un suport, este cel de galopare (*galloping*), când în anumite condiții de curgere și geometrice de poziție a structurii, aceasta își pierde stabilitatea poziției sau chiar ruperea legăturii cu suportul, ceea ce duce la colapsul structural.

Ca exemplu, se consideră o antenă parabolică, (fig. 2.18.), plasată într-un curent de aer având viteza constantă V , de intrare în câmpul de amplasare al antenei.

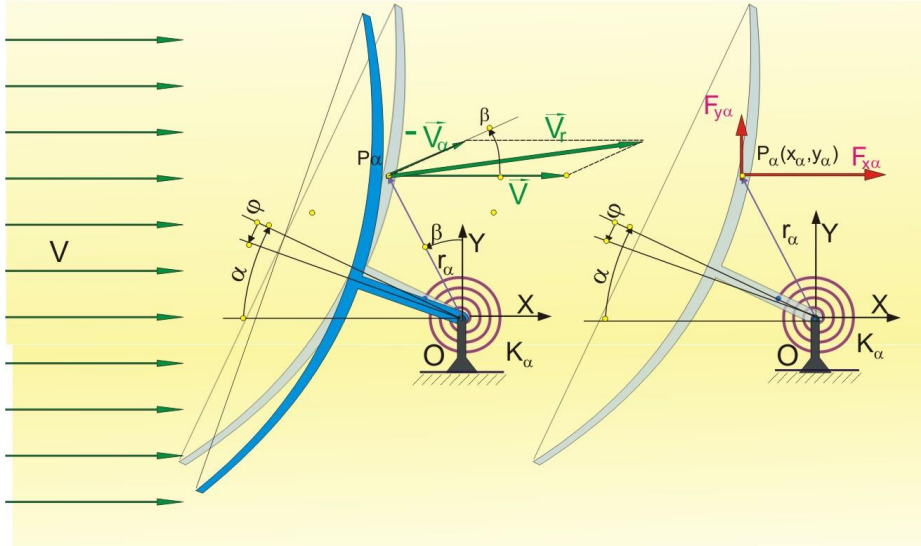


Fig. 2.18 Ilustrarea efectului de galopare la o antenă parabolică

Antena, ca o structură rigidă se poate roti în jurul unei axe ce trece printr-un punct fix O , rotirea cu unghiul φ , fiind împiedecată de momentul forțelor elastice de legătură $-k_\alpha \times \varphi(t)$, unde $\varphi(t)$ este legea mișcării de rotație a antenei față de poziția unghiulară de elevație a antenei α , k_α este constanta elastică echivalentă la unghiul α .

Pentru acest model dinamic simplificat se poate scrie ecuația diferențială de rotație ținând cont de componentele $F_{x\alpha}$ și $F_{y\alpha}$ ale forței rezultante de acțiune a vântului asupra structurii antenei, considerând ca aceasta este redusă în punctul P_α , de pe suprafața antenei:

$$J\ddot{\varphi} + c_\alpha\dot{\varphi} + k_\alpha\varphi = F_{y\alpha}x_\alpha - F_{x\alpha}y_\alpha \quad (2.54)$$

J este momentul de inerție în raport cu punctul O , iar c_α constanta de amortizare a mișcării.

Componentele F_x și F_y provenite din acțiunea vântului asupra structurii antenei pot fi considerate ca fiind proporționale cu pătratul vitezei relative:

$$\vec{V}_r = \vec{V} + (-\vec{V}_\alpha) \quad (2.55)$$

unde \vec{V}_α este viteza punctului P_α , care face o mișcare de rotație, având modulul:

$$|\vec{V}_\alpha| = \dot{\varphi}r_\alpha = \dot{\varphi}\sqrt{x_\alpha^2 + y_\alpha^2} \quad (2.56)$$

astfel că cele două componente pot fi formulate după cum urmează:

$$F_x = \frac{1}{2} \rho C_{x\alpha} A_a |\vec{V}_r|^2; \quad F_y = \frac{1}{2} \rho C_{y\alpha} A_a |\vec{V}_r|^2 \quad (2.57)$$

Parametrii C_x , C_y și A_a depind de unghiul α de elevație al antenei.

Ținând cont de (2.55) și (2.56) cele două componente vor deveni:

$$\begin{aligned} F_x &= \frac{1}{2} \rho C_{x\alpha} A_a (V^2 + \dot{\varphi}^2 r_a^2 - 2Vr_a \dot{\varphi} \cos \beta) \\ F_y &= \frac{1}{2} \rho C_{y\alpha} A_a (V^2 + \dot{\varphi}^2 r_a^2 - 2Vr_a \dot{\varphi} \cos \beta) \end{aligned} \quad (2.58)$$

iar ecuația diferențială (2.54) devine:

$$J\ddot{\varphi} + c_a \dot{\varphi} + k_a \varphi = R_a (V^2 + \dot{\varphi}^2 r_a^2 - 2Vr_a \dot{\varphi} \cos \beta) \quad (2.59)$$

unde:

$$R_a = \frac{1}{2} \rho A_a (C_{x\alpha} y_a - C_{y\alpha} x_a) \quad (2.60)$$

Ținând cont de faptul că termenul $\dot{\varphi}^2 r_a^2$ este neglijabil în raport cu ceilalți doi termeni din paranteza ecuației diferențiale (2.59) aceasta se poate pune sub forma:

$$J\ddot{\varphi} + (c_a + 2VR_a r_a \cos \beta) \dot{\varphi} + k_a \varphi = R_a V^2 \quad (2.61)$$

a cărei soluție particulară este:

$$\varphi_{st} = \frac{R_a V^2}{k_a} \quad (2.62)$$

care dă valoarea deformația unghiulară statică sub acțiunea presiunii vântului având viteza constantă V .

Cum deplasarea unghiulară φ_{st} , față de sistemul de axe OXY, este negativă înseamnă că și R_a trebuie să fie negativ, cea ce duce la posibilitatea negativării termenului $c_a + 2VR_a r_a \cos \beta$ din ecuația (2.59) însemnând că energia disipată de structura antenei:

$$E_d = \frac{1}{2} c_a \dot{\varphi}^2 \quad (2.63)$$

va fi depășită de energiei preluată de la fluid:

$$E_d = VR_a r_a \cos \beta \dot{\varphi}^2 \quad (2.64)$$

cea ce duce la creșterea amplitudinilor φ_{od} ale oscilațiilor $\varphi(t)$, prin cumulări ciclice după pulsația proprie a sistemului, $\omega = \sqrt{k_a / J}$.

Deformația dinamică introdusă prin oscilații se va cumula la componenta statică φ_{st} astfel că la o anumită valoare însumată se atinge un moment critic $M_{cr} = k_a (\varphi_{st} + \varphi_{od})$, pentru care legătura elastică în punctul O cedează.

Un efect similar este cel de fluturare (*flutter*) întâlnit la structuri subțiri elastice cumularea energetică de amplitudini făcându-se prin excitarea modurilor naturale de vibrații ale structurii acum considerată elastică.

2.4. Curgeri nestaționare

În cazul vântului regimul de curgere este nestaționar datorită faptului că acesta acționează în rafale, vitezele și presiunile variind puternic în timp. Curgerea nu mai este laminară iar liniile de curent nu mai sunt paralele cu direcția de curgere, ci se încrucișează. Astfel, în figura 2.19 se prezintă o diagramă tipică a variației în timp a vitezei vântului, înregistrată pe acoperișul clădirii de Orologerie a Facultății de Mecanică de la Universitatea Politehnica din Timișoara, unde a fost amplasată antena parabolică tip Kathrein.

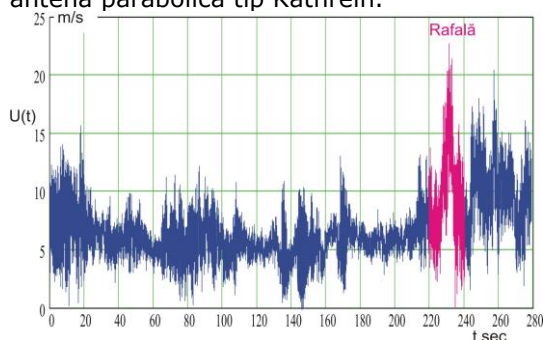


Fig. 2.19 Diagrama tipică de variației în timp a vitezei vântului (montaj de măsură fig.2.20)



Fig. 2.20 Amplasarea senzorului de măsurare a vitezei vântului

Viteza a fost măsurată cu senzorul de presiune, etalonat în viteze.

Din figura 2.19 se poate observa caracterul aleatoriu al vitezei vântului care-și poate modifica și direcția și intensitatea, apărând tot aleatoriu rafala, care se manifestă prin mărirea, pentru un interval relativ scurt, de până la 10 ori a intensității vitezei vântului așa cum se observă din diagramă, unde în intervalul de timp 220 -245 secunde al înregistrării apare un salt în viteza vântului de la viteza medie $U \approx 7,5$ m/s la 21 m/s, ceea ce face ca regimul vântului să fie profund nestaționar, deci o curgere de fluid nepermanentă, de natură turbulentă. Mișcarea turbulentă este structural diferită față de mișcarea laminară, liniile de curent ne mai fiind paralele.

2.4.1. Mișcări turbulente

Caracterul aleatoriu al evoluției în timp a vântului impune utilizarea unor mărimi caracteristice

Astfel, în cazul rafalei, se poate considera că cele trei componente ale vitezei instantanee $u_i(t)$, ($i=1,2,3$), (Fig. 2.21) de curgere printr-un punct oarecare al fluidului, pot fi divizate la momentul t , în câte două componente:

$$u_i(t) = \overline{u_i(t)} + \tilde{u}_i(t) \quad (i = 1,2,3) \quad (2.65)$$

unde:

$$\overline{u_i(t)} = \frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} u_i(\tau) d\tau; \quad (i = 1,2,3) \quad (2.66)$$

este o componentă lentă, mediată pe o bandă temporală de lățime T și o componentă variabilă:

$$\tilde{u}_i(t) = u_i(t) - \overline{u_i(t)}; \quad (i = 1,2,3) \quad (2.67)$$

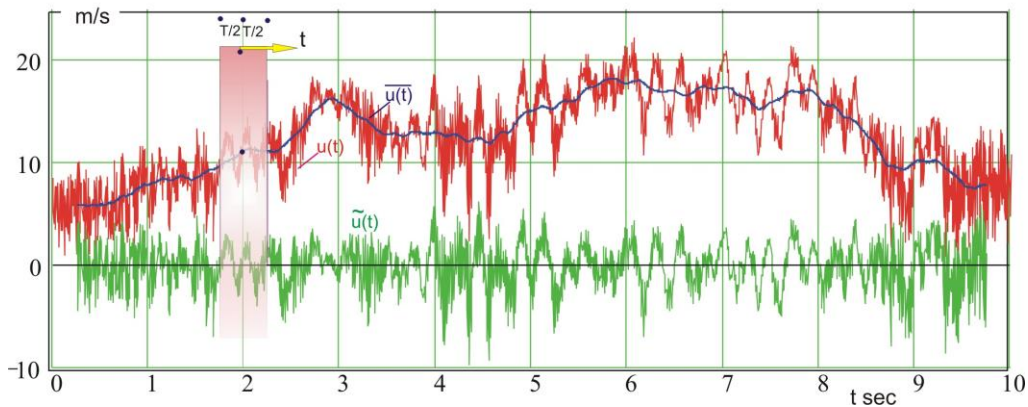


Fig. 2.21. Ilustrarea componentelor vitezei unei rafale
Aceleași mărimi se definesc pentru presiunea instantanee:

$$p(t) = \overline{p(t)} + \tilde{p}_i(t) \quad (2.68)$$

unde:

$$\overline{p(t)} = \frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} p(\tau) d\tau \quad (2.69)$$

Sub o formă discretă, după care s-a determinat valoarea medie $\overline{u(t)}$ din diagrama corespunzătoare figurii 2.21., are forma:

$$\overline{u(t_j = j \times \Delta t)} = \frac{1}{N} \sum_{k=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} u_{j+k} \quad (2.66')$$

unde Δt este incrementul de timp al eșantionării semnalului, iar $N=T/\Delta t$ numărul de eșantioane al benzii T , ce se deplasează pe axa timpului.

Componenta variabilă (pulsatorie) $\tilde{u}_i(t)$ are în general o distribuție Gaussiană, pentru care, valorile medii $\overline{\tilde{u}_i(t)} = 0$. Datorită mișcării turbulente apar așa numitele tensiuni *aparente*, exprimate ca funcții de componentele pulsatorii ale vitezei în punctul curent al fluidului unde curgerea este turbulentă:

$$\tilde{\sigma}_{i,i}(t) = \rho \overline{\tilde{u}_i^2(t)}; \quad (i = 1,2,3) \quad (2.70)$$

care sunt tensiuni normale iar:

$$\tilde{\sigma}_{i,j}(t) = \tilde{\tau}_{i,j}(t) = -\rho \overline{\tilde{u}_i(t) \tilde{u}_j(t)}; \quad (i = 1,2,3; \quad i \neq j) \quad (2.71)$$

tensiuni tangențiale.

Dacă asupra ecuațiilor Navier Stokes (2.26) și de continuitate se aplică integrala de mediere temporară:

$$\frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_i}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial u_i}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial u_i}{\partial x_3} \right) d\tau = \quad (2.25')$$

$$\frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} \left[F_i - \frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_3^2} \right) \right] d\tau$$

$$\frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \right) d\tau = 0 \quad (2.5'')$$

se obține, ținând seama de notațiile de mai sus, ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{u}_2}{\partial x_2} + \frac{\partial \bar{u}_3}{\partial x_3} = 0 \quad (2.5''')$$

și ecuațiile lui Reynolds pentru mișcarea turbulentă a fluidelor reale incompresibile:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_1 \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_1} + \bar{u}_2 \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_2} + \bar{u}_3 \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_3} = F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_3^2} \right) + A_i \quad (2.72)$$

Termenii A_i , suplimentari față de ecuațiile Navier Stokes, sunt funcțiuni de componentele pulsatorii ale vitezelor de curgere:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x_1} (-\rho \bar{u}_1 \bar{u}_1) + \frac{\partial}{\partial x_2} (-\rho \bar{u}_1 \bar{u}_2) + \frac{\partial}{\partial x_3} (-\rho \bar{u}_1 \bar{u}_3) \right] \\ A_2 &= \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x_1} (-\rho \bar{u}_2 \bar{u}_1) + \frac{\partial}{\partial x_2} (-\rho \bar{u}_2 \bar{u}_2) + \frac{\partial}{\partial x_3} (-\rho \bar{u}_2 \bar{u}_3) \right] \\ A_3 &= \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x_1} (-\rho \bar{u}_3 \bar{u}_1) + \frac{\partial}{\partial x_2} (-\rho \bar{u}_3 \bar{u}_2) + \frac{\partial}{\partial x_3} (-\rho \bar{u}_3 \bar{u}_3) \right] \end{aligned} \quad (2.73)$$

Acest sistem nu poate fi integrat deoarece are 7 necunoscute, $\bar{u}_i(t)$, $\bar{p}(t)$ și $\bar{u}_i(t)$, ($i = 1, 2, 3$) și numai patru ecuații (2.72) și (2.5'''). Din acest motiv s-au dezvoltat o serie de metode aproximative, empirice, cum este cea a lui Boussinesq care a introdus coeficientul de viscozitate turbulentă și teoria lungimi de amestec a lui Prandtl, teoria similitudinii vitezelor pulsatorii a lui Karman.

2.4.2. Modele de turbulență

În continuare se prezintă cele mai folosite modele de turbulență utilizate de programele CFD, programele au fost folosite la simulările prezentate în capitolul 4.

Modelul k-ε

Vâscozitatea turbulentă:

$$\mu_T = \rho C_\mu k^2 / \varepsilon \quad (2.74)$$

Ecuația energiei cinetice a turbulenței:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial U_j}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_T / \sigma_k) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (2.75)$$

Ecuația vitezei de disipație a turbulenței:

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial U_j}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_T / \sigma_\varepsilon) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \quad (2.76)$$

Coeficienții:

$$C_{\varepsilon 1} = 1.44, \quad C_{\varepsilon 2} = 1.92, \quad C_{\mu} = 0.09, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_{\varepsilon} = 1.3$$

Relații auxiliare:

$$\omega = \varepsilon / (C_{\mu} k) \quad (2.77)$$

$$l = C_{\mu} k^{3/2} / \varepsilon \quad (2.78)$$

Modelul k- ω

Vâscozitatea turbulentă:

$$\mu_T = \rho k / \omega \quad (2.79)$$

Ecuția energiei cinetice a turbulenței:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \beta^* \rho k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma^* \mu_T) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (2.80)$$

Ecuția vitezei specifice de disipație a turbulenței:

$$\rho \frac{\partial \omega}{\partial t} + \rho U_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = a \frac{\omega}{k} \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma \mu_T) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] \quad (2.81)$$

Coeficienții:

$$a = \frac{5}{9}, \quad \beta = \frac{3}{40}, \quad \beta^* = 0.09, \quad \sigma = \frac{1}{2}, \quad \sigma^* = \frac{1}{2}$$

Relații auxiliare:

$$\varepsilon = \beta^* \omega k \quad (2.82)$$

$$l = k^{1/2} / \omega \quad (2.83)$$

3. DINAMICA INTERACȚIUNII FLUID STRUCTURĂ ELASTICĂ

În forma cea mai generală, modelarea matematică a problemelor de dinamica interacțiunii fluid structură elastică (*fluid structure interaction FSI*) necesită cuplarea ecuațiilor care definesc atât mișcarea fluidelor (*computational fluid dynamics CFD*), cele care definesc mișcarea structurii din dinamica fluidelor (*computational structural dynamics CSD*) cât și probleme de dinamica rețelei discrete de calcul (*computation mesh dynamics CMD*).

Cuplarea matematică a ecuațiilor fundamentale ale celor trei domenii:

- există două tipuri de bază ale algoritmilor de cuplare:
 - simultană
 - independentă

În cazul cuplării simultane, ecuațiile CFD care descriu curgerea fluidului și ecuațiile CSD care descriu comportarea structurii sunt tratate ca un singur sistem cuplat de ecuații și sunt rezolvate simultan. În cazul independent ecuațiile CFD și CSD sunt rezolvate independent una față de alta.

Cazul simultan este recomandat pentru probleme structurale mici, dar este adesea încet și necesită un sistem de calcul puternic cu mult spațiu de memorie. Cazul independent necesită mai puțină memorie și este mai des folosit.

3.1. Strategii de soluționare

3.1.1. Domeniul fluid

Tratarea domeniului de fluid pentru problemele FSI este identică cu cea pentru alte probleme CFD, care implică frontiere deplasabile. Este folosită formularea arbitrară Lagrangian-Eulerian (ALE) pentru asemenea probleme. Formularea ALE este cea mai convenabilă pentru a descrie mișcarea fluidului.

Domeniul structural

Domeniul structural a problemelor FSI arată comportament structural neliniar. Acest comportament poate fi clasificat după cum urmează:

- material, în care relația tensiune – deformație este neliniară
- geometric, pentru care deplasările și rotațiile sunt mari

Analiza neliniarității materialului nu este descrisă aici deoarece implementarea curentă a FSI este restricționată la materiale elastice și izotrope. Analiza neliniarității geometrice a structuri este obișnuit bazată pe formularea Lagrangeană.

În cadrul acestei formulări există două abordări:

- Lagrangean total, în care toate variabilele statice și cinematice se referă la configurația inițială.
- Lagrangean actualizat, în care toate variabilele statice și cinematice se referă la ultima configurație calculată.

Domeniul rețelei

Pentru probleme FSI care au deplasări mari ale structuri elastice, rețeaua fluidului trebuie regenerată după fiecare updatare a deplasării structurii. Pentru a genera o astfel de rețea se folosește un model elastic în care rețeaua este modelată ca un mediu pseudo-elastostatic. Această abordare este relativ simplă și face posibil controlul distorsiunii rețelei cu ajutorul alegerii corecte a proprietății materialului elastic pentru mediul pseudo-elastic.

3.1.2. Formularea problemei

În figura 3.1 se prezintă schema generală a unei probleme FSI pentru o structură elastică cum este o antenă parabolică.

S-a notat cu, $S_{\Omega}(t)$ domeniul ocupat de structura elastică, cu $F_{\Omega}(t)$ domeniul de fluid, cu $W_{\Gamma}(t)$ suprafața udată, cu $S_{\Gamma}(t)$ granița structurii pe care pot fi aplicate condiții de deplasare pe graniță ($^d\Gamma$) sau condiții de tensiune pe graniță ($^{\sigma}\Gamma$), $F_{\Gamma}(t)$ este frontiera regiunii de fluid unde pot fi aplicate condiții de viteză ($^u\Gamma$) sau condiții de tensiune ($^{\sigma}\Gamma$). În plus, o parte a $F_{\Gamma}(t)$ poate fi definită ca suprafață liberă, caz în care poziția graniței este cunoscută sau prescrisă ($^f\Gamma$).

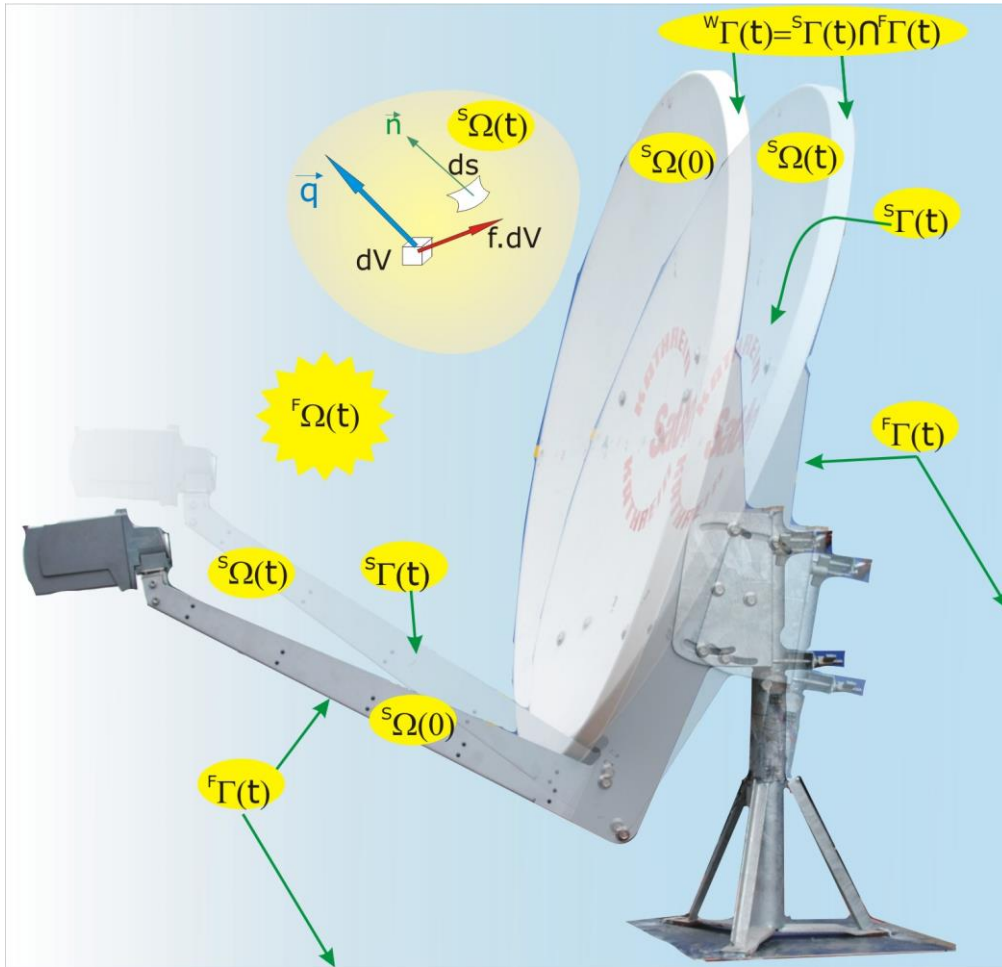


Fig.3.1. Domeniile de separație la interacțiunea fluid structură. Ilustrare pe o structură de antenă parabolică.

Ecuțiile care guvernează curgerea fluidului

Pentru domeniul fluid, $F_\Omega(t)$, sistemul de ecuații Navier Stokes (2.26), scris față de un sistem de referință ce se deplasează cu viteza \hat{u} , având componentele, $(\hat{u}_1, \hat{u}_2, \hat{u}_3)$, devine:

$$\begin{aligned} \frac{du_i}{dt} + (u_1 - \hat{u}_1) \frac{\partial u_i}{\partial x_1} + (u_2 - \hat{u}_2) \frac{\partial u_i}{\partial x_2} + (u_3 - \hat{u}_3) \frac{\partial u_i}{\partial x_3} = \\ = f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_3^2} \right) \quad (i = 1, 2, 3) \end{aligned} \quad (3.1)$$

căruia i se atașează ecuația de continuitate:

$$\sum_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2.5)$$

În cazul mișcării laminare pentru fluidul real incompresibil tensiunile normale exprimându-se prin relațiile deduse în capitolul 2:

$$\sigma_{ii} = -p + 2\eta \frac{\partial u_i}{\partial x_i}; \quad i = 1, 2, 3 \quad (2.24)$$

iar cele tangențiale prin relațiile:

$$\sigma_{ij} = \eta \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) = \sigma_{ji}; \quad (i, j = 1, 2, 3; i \neq j) \quad (2.25)$$

Ecuatiile care guvernează structura

Echilibrul dinamic al unui element de volum dV de pe structură este dat de sistemul de ecuații diferențiale:

$$\rho_s \frac{d^2 q_i}{dt^2} = \frac{\partial \sigma_{1i}^{(s)}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{2i}^{(s)}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{3i}^{(s)}}{\partial x_3} + \rho_s f_i; \quad (i = 1, 2, 3) \quad (3.2)$$

unde ρ_s este masa specifică a elementului de volum ale cărui legi de mișcare după axele sistemului fix de referință $Ox_1x_2x_3$ sunt $q_1(x_1, x_2, x_3, t)$, $q_2(x_1, x_2, x_3, t)$ și $q_3(x_1, x_2, x_3, t)$, $f_i(x_1, x_2, x_3, t)$ sunt componentele forței de volum, $\sigma_{ij}^{(s)}$ ($i, j = 1, 2, 3$) sunt componentele tensorului simetric al tensiunilor pe structură:

$$\sigma^{(s)} = sim \begin{vmatrix} \sigma^{(s)11} & \sigma^{(s)12} & \sigma^{(s)13} \\ & \sigma^{(s)22} & \sigma^{(s)23} \\ & & \sigma^{(s)33} \end{vmatrix} \quad (3.3)$$

indicele $^{(s)}$ fiind necesar pentru separarea componentelor tensorului tensiunilor pe elementul de fluid.

În cazul structurii elastice componentele tensorului tensiunilor pot fi exprimate funcție de componentele tensorului de deformare:

$$\varepsilon = sim \begin{vmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ & & \varepsilon_{33} \end{vmatrix}, \quad (3.4)$$

prin relațiile constitutive, care respectă legea lui Hooke:

$$\sigma_{ii}^{(s)} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\varepsilon_{ii} + \nu(\varepsilon_{jj} + \varepsilon_{kk})]; \quad (i, j, k = 1, 2, 3; i \neq j \neq k) \quad (3.5)$$

care sunt tensiuni normale, și tensiunile tangențiale:

$$\sigma_{ij}^{(s)} = \frac{E}{1+\nu} \varepsilon_{ij}; \quad (i, j = 1, 2, 3; i \neq j) \quad (3.6)$$

E este modulul de elasticitate a lui Young iar ν este coeficientul lui Poisson.

Componentele tensorului de deformare se determină prin variația geometrică a structurii definită prin legile de deplasare ale punctelor structurilor $q_1(x_1, x_2, x_3, t)$, $q_2(x_1, x_2, x_3, t)$ și $q_3(x_1, x_2, x_3, t)$, astfel încât deformările longitudinale pe cele trei direcții sunt date de relația:

$$\varepsilon_{ii} = \frac{\partial q_i(x_1, x_2, x_3)}{\partial x_i}; \quad i = 1, 2, 3 \quad (3.7)$$

și lunecările date de relația:

$$\varepsilon_{ij} = \gamma_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial q_i(x_1, x_2, x_3, t)}{\partial x_j} + \frac{\partial q_j(x_1, x_2, x_3, t)}{\partial x_i} \right); \quad i, j = 1, 2, 3 \quad i \neq j \quad (3.8)$$

Câmpul de deformații al structurii elastice este unic determinat prin îndeplinirea celor șase relații diferențiale de compatibilitate:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \varepsilon_{ij}}{\partial x_j^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_{jj}}{\partial x_i^2} &= 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}; \quad i, j = 1, 2, 3; i \neq j \\ \frac{\partial^2 \varepsilon_{ij}}{\partial x_j \partial x_k} + \frac{\partial^2 \varepsilon_{jk}}{\partial x_i^2} &= \frac{\partial^2 \varepsilon_{ik}}{\partial x_i \partial x_j} + \frac{\partial^2 \varepsilon_{ij}}{\partial x_i \partial x_k}; \quad i, j = 1, 2, 3; i \neq j \neq k \end{aligned} \quad (3.9)$$

Ecuatiile de curgere (3.1) și de deformare dinamică a structurii (3.2) se cupleză prin intermediul condițiilor de margine astfel că pe suprafața structurii elastice care ocupă la momentul t domeniul $S_{\Gamma}(t)$, tensiunile:

$$\sigma_{ij} n_j = \sigma_{ij}^{(S)} \quad (3.10)$$

De asemenea, se impun condiții de viteze pe același domeniu $S_{\Gamma}(t)$:

$$u_i(x_1, x_2, x_3, t) = \frac{dq_i(x_1, x_2, x_3, t)}{dt} \quad (3.11)$$

Integrarea ecuațiilor diferențiale (3.1) și (3.2) se face plecând de la condițiile inițiale:

$$\left. \begin{aligned} q_i &= q_i(0) \\ \dot{q}_i &= \dot{q}_i(0) \end{aligned} \right\} \text{ în } S_{\Omega}(0) \quad (3.12)$$

pentru structură și:

$$\left. \begin{aligned} u_i &= u_i(0) \\ \sigma_i &= \sigma_i(0) \end{aligned} \right\} \text{ în } F_{\Omega}(0) \quad (3.13)$$

pentru fluid.

O formulare energetică globală în care cele două modele sunt considerate împreună ca un sistem energetic este dată în lucrarea [16], unde se dă o extensie a principiului lui Hamilton asupra volumului de control:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} (E_{c_str} + E_{p_str})_{VC} + \frac{d}{dt} (E_{c_fluid})_{VC} &= \frac{1}{2} \int_{SC-int} \rho \bar{u}^2 (\bar{u} - \bar{v}_{contr}) \bar{n} ds + \\ &+ \int_{SC-int} \bar{u} (p \bar{n} - \bar{\tau}_{int}) ds + \int_{SC-ext} \bar{u} (p \bar{n} - \bar{\tau}_{ext}) ds \end{aligned} \quad (3.14)$$

unde E_{c_str} și E_{p_str} sunt energiile cinetică și respectiv potențială, sau de deformație, ale structurii din interiorul volumului de control (VC) al fluidului.

E_{c_fluid} este energia cinetică particulelor fluidului din interiorul volumului de control:

$$E_{c_fluid} = \frac{1}{2} \int_{VC} \rho (\bar{u})^2 dv \quad (3.15)$$

$\bar{u} = \bar{u}(x_1, x_2, x_3, t)$ fiind vectorul viteză de curgere a fluidului prin punctul P de coordonate x_1, x_2, x_3 din interiorul volumului de control.

Partea stângă a ecuației (3.14) reprezintă variația în timp a energiei sistemului fluid structură, (energie totală), care trebuie compensată de variația sumei energiilor, introdusă în sistem pe suprafața de control (SC) și din energia variația energiei

$(\frac{1}{2} \int_{SC-int} \rho \bar{u}^2 (\bar{u} - \bar{v}_{contr}) \bar{n} ds)$ indusă prin suprafața de control și variația energia disipată prin forfecarea între straturile fluidului, $\int_{SC-int} \bar{u} (p\bar{n} - \bar{\tau}_{int}) ds + \int_{SC-ext} \bar{u} (p\bar{n} - \bar{\tau}_{ext}) ds$, $\bar{\tau}_{int}$ și $\bar{\tau}_{ext}$ fiind tensiunile tăietoare în interiorul și exteriorul volumului de control, \bar{n} este vectorul unitar normal la suprafața de control. Vectorul \bar{n} este definit pozitiv în afara suprafeței de control. Un exemplu lămuritor este dat în figura 3.2. unde se prezintă senzorul bidirecțional destinat măsurării presiunii vântului pe două direcții perpendiculare, conceput și realizat special pentru testarea antenei parabolice. Presiunea creată de rafala de vânt asupra corpului senzorului 1, în cazul de față cilindric, produce un moment încovoietor asupra elementului sensibil 2 care se deformează, proporțional cu presiunea curentului de aer având viteza V . Primul termen din stânga al ecuației (3.14) poate fi scris fără dificultate:

$$\frac{d}{dt} (E_{c_str} + E_{p_srt})_{VC} = \dot{\theta}_y (J \ddot{\theta}_y + k_{\theta} \theta_y - mgL \sin \theta_y) \quad (3.16)$$

unde $\theta_y = \theta_y(t)$ este legea de rotație a corpului 1 al senzorului în jurul axei Oy de deformare a lamelei 2 de sensibilitate a senzorului, J este momentul de inerție al corpului senzorului în raport cu axa Oy , m este masa acestuia. Cu k_{θ} s-a notat constanta elastică de încovoiere a lamelei 2 în raport cu axa Oy .

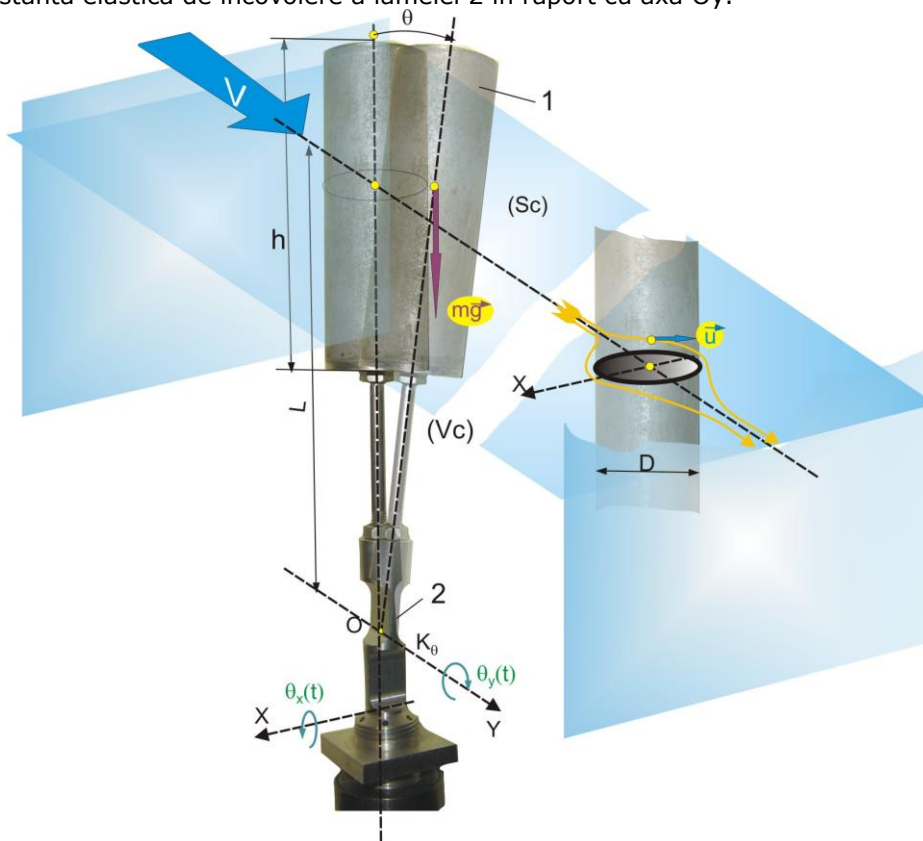


Fig. 3.2. Ilustrarea interacțiunii fluid structură pentru un senzor de presiune

Următorii termeni ai ecuației nu pot fi determinați pe cale analitică și de aceea rezolvarea se face prin metode hibride, implicând analiticul și experimentul sau metode numerice de integrare. Ecuația (3.14) reprezintă ecuația integrală de transport. Termenul din partea stângă reprezintă variația în timp a energiei mecanice în interiorul volumului de control (VC). Acest termen exprimă variația în timp a energiilor cinetică și potențială ale structurii și variația în timp a energiei cinetice a fluidului dintr-un volum de control fix. De asemenea este luată în considerare și energia datorată mișcării volumului de control prin spațiul de curgere. Partea dreaptă conține termeni integrali ce exprimă energia de transport de-a lungul marginilor volumului de control. Ca rezultat, acestea dau forțele de antrenare a structurii, iar ultimele integrale corespund pierderilor energetice prin frecare vâscoasă între straturile volumului de control.

3.2. Rezolvare numerică a ecuațiilor diferențiale care guvernează dinamica sistemului fluid – structură

3.2.1 Discretizarea structurii elastice

Pentru o structură complexă, cum este antena parabolică, rezolvarea, pe cale analitică, a celor două ecuații (3.1) și (3.2) a interacțiunii fluid structură, este practic imposibil de realizat, chiar și pentru structuri cu geometrii mult mai simple.

Astfel, pentru structura elastică amplasată în volumul de fluid se consideră că poziția sa deformată la orice moment poate fi determinată de pozițiile a N_s puncte materiale $P_{si}(x_1, x_2, x_3)$ aparținând structurii nedeforimate, cărora li se atașează până la $6 \times N_s$ legi de mișcare independente $q_i(t)$ ($i=1,2,3,\dots,6 \times N_s$), dintre care trei translații și trei rotații.

O primă aproximare în procesul de discretizare este considerarea că orice lege de mișcare a unui punct curent aparținând structurii se exprimă prin intermediul unei relații de forma:

$$q(t, x_1, x_2, x_3) = \sum_{i=1}^{nc} \Phi_i(x_1, x_2, x_3) q_i(t) \quad (3.17)$$

unde $\Phi_i(x_1, x_2, x_3)$ sunt așa numitele funcții de formă, funcții analitice aproximative care trebuie să îndeplinească numai anumite condiții cum sunt condițiile punctuale de continuitate.

Astfel, dacă punctul curent coincide cu un punct $P_{sr}(x_{1r}, x_{2r}, x_{3r})$ selectat al structurii, având o componentă $q_r(t, x_{1r}, x_{2r}, x_{3r})$ a legii sale de mișcare, impune următoarele relații între funcțiile de formă:

$$\begin{aligned} \Phi_r(x_{1r}, x_{2r}, x_{3r}) &= 1; \\ \Phi_i(x_{1r}, x_{2r}, x_{3r}) &= 0; \quad i = 1, 2, 3, \dots, nc \quad i \neq r \end{aligned} \quad (3.18)$$

Când domeniul de existență al funcțiilor de forță este extins asupra întregii structuri relația (3.17) este de tip Ritz. În acest caz funcțiile de formă sunt extrem de complexe și de aceea s-au dezvoltat forme specifice unor structuri cum sunt structurile aerospațiale.

Metoda elementelor finite împarte structura într-un număr foarte mare de elemente geometrice (fig.3.3), plane pentru cazul 2D sau spațiale pentru cazul 3D.

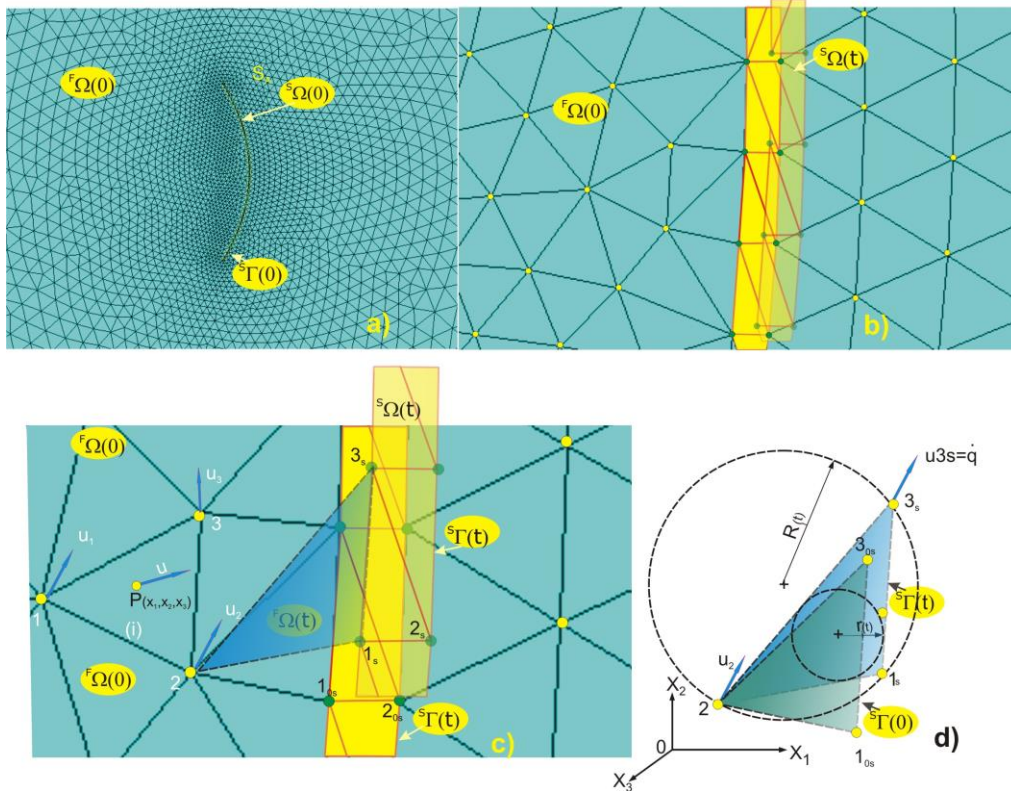


Fig. 3.3. Rețele de elemente finite pentru problema interacțiunii fluid structură. Aplicație 2D pe o structură de antenă parabolică

Fiecărui element geometric, definit prin coordonatele sale geometrice, în puncte numite noduri i se atribuie până la 6 legi de mișcare independente funcțional. Aceasta prezintă avantajul că funcțiile de formă pot fi funcții simple, de obicei polinoame, ale căror coeficienți se determină prin condițiile (3.18) impuse.

Cu aceste forme se pot calcula din expresiile deformațiilor normale:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\partial q_i(x_1, x_2, x_3, t)}{\partial x_j} = \sum_{k=1}^{nc} \frac{\partial \Phi_k(x_1, x_2, x_3)}{\partial x_j} q_k(t); \quad i = 1, 2, 3 \quad (3.7')$$

și a celor tangențiale, de alunecare:

$$\varepsilon_{ij} = \gamma_{ij} = \frac{1}{2} \left(\sum_{k=1}^{nc} \frac{\partial \Phi_k(x_1, x_2, x_3)}{\partial x_i} q_k(t) + \sum_{r=1}^{nc} \frac{\partial \Phi_r(x_1, x_2, x_3)}{\partial x_j} q_r(t) \right) \quad (3.8')$$

$; i, j = 1, 2, 3; i \neq j$

Vectorul coloană de deformație, în punctul P al unui element finit, este de forma:

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_{11} \quad \varepsilon_{22} \quad \varepsilon_{33} \quad \varepsilon_{12} \quad \varepsilon_{13} \quad \varepsilon_{23}\}^T = [\psi(x_1, x_2, x_3)]_{(6 \times nc)} \{q_e(t)\} \quad (3.19)$$

unde $[\psi(x_1, x_2, x_3)]_{(6 \times nc)}$ o matrice funcțională dreptunghiulară $nc \times 6$ ale cărei elemente provin din funcțiile de formă derivate parțial în raport cu x_1, x_2 și x_3 , iar

vectorul matrice coloană $\{q_e(t)\}$, care conține ca elemente cele nc legi de mișcare ce aproximează mișcarea elementului, este de forma:

$$\{q_e(t)\} = \{q_1(t) \ q_2(t) \ q_3(t) \ \dots \ q_{nc}(t)\}^T \quad (3.20)$$

Prin intermediul relațiilor (3.5) și (3.6) dintre tensiuni și deformații și a relațiilor (3.17) de aproximare se obține vectorul matrice coloană al tensiunilor:

$$\{\sigma_e\} = \left\{ \sigma^{(s_{11})} \ \sigma^{(s_{22})} \ \sigma^{(s_{33})} \ \sigma^{(s_{12})} \ \sigma^{(s_{13})} \ \sigma^{(s_{23})} \right\}^T = [\Sigma(x_1, x_2, x_3)]_{(6 \times nc)} \{q_e(t)\} \quad (3.21)$$

unde $[\Sigma(x_1, x_2, x_3)]_{(6 \times nc)}$ este, de asemenea, este o matrice dreptunghiulară.

Energia potențială de deformare a structurii este o formă integrală:

$$E_{d_str} = \frac{1}{2} \int_{s_{\Omega(0)}} \{\epsilon\}^T \{\sigma_e\} dv = \frac{1}{2} \{q(t)\}^T [K_{st}] \{q(t)\} \quad (3.22)$$

unde vectorul matrice coloană $\{q(t)\}$ înglobează legile de mișcare ale tuturor punctelor ce formează rețeaua de noduri (mesh) prin care se definește structura deformată.

$[K_{st}]$ este matricea de rigiditate a structurii, elementele sale rezultând din forme integrale de tipul:

$$k_{st}(i, j) = \sum \int_{s_{\Omega(0)}} a_{ij} \frac{\partial \Phi_k(x_1, x_2, x_3)}{\partial x_i} \frac{\partial \Phi_r(x_1, x_2, x_3)}{\partial x_j} dv \quad (3.23)$$

a_{ij} fiind constante ce rezultă în urma ordonării termenilor după produsele $q_i q_j$.

Prin derivare în raport cu timpul a relației (3.17) se obține viteza punctului curent al elementului:

$$\dot{q}(t, x_1, x_2, x_3) = \sum_{i=1}^{nc} \Phi_i(x_1, x_2, x_3) \dot{q}_i(t) \quad (3.24)$$

cu ajutorul căreia se poate calcula energia cinetică a structurii:

$$\begin{aligned} E_{c_str} &= \frac{1}{2} \int_{s_{\Omega(0)}} \rho_{st} \{\dot{q}(t, x_1, x_2, x_3)\}^T \{\dot{q}(t, x_1, x_2, x_3)\} dv = \\ &= \frac{1}{2} \{\dot{q}(t)\}^T [M_{st}] \{\dot{q}(t)\} \end{aligned} \quad (3.25)$$

unde elementele matricei de inerție a structurii au forma:

$$M_{st}(i, j) = \rho_s \sum \int_{s_{\Omega(0)}} \Phi_k(x_1, x_2, x_3) \Phi_r(x_1, x_2, x_3) dv \quad (3.26)$$

Pentru studiul antenei ca o structură plană în 2D cea mai simplă rețea este rețeaua cu elemente finite triunghiulare, cum este elementul $1_s 2_s 3_s$ (fig.3.3c și d) fiecărui nod atribuindu-se câte două translații, după axele OX_1 și OX_2 și o rotație în jurul axei OX_3 , deci numărul total de legi de mișcare ale elementului este $nc=3 \times 3=9$, dintre care 3×2 sunt comune cu elementele învecinate.

3.2.2. Discretizarea fluidului

Pentru un mediu fluidic nodurile rețelei sunt puncte fixe, prin care curge fluidul. Potențialul de viteze $\phi(x_1, x_2, t)$ al unui punct de curent al unui element triunghiular 123 (fig3.3c) este aproximat, într-o primă formă, printr-o relație liniară:

$$\varphi(x_1, x_2, t) = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (3.27)$$

pentru cele trei noduri 1, 2 și 3, ale vârfurilor triunghiului de potențiale $\phi_1(t)$, $\phi_2(t)$ și $\phi_3(t)$, se pot determina coeficienții a_0 , a_1 și a_2 :

$$\begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix} = [B] \begin{Bmatrix} \phi_1(t) \\ \phi_2(t) \\ \phi_3(t) \end{Bmatrix} \quad (3.28)$$

unde matricea:

$$[B] = \begin{bmatrix} 1 & x_1^{(1)} & x_2^{(1)} \\ 1 & x_1^{(2)} & x_2^{(2)} \\ 1 & x_1^{(3)} & x_2^{(3)} \end{bmatrix}^{-1} \quad (3.29)$$

$x_1^{(i)}$ și $x_2^{(i)}$ fiind coordonatele vârfului i ($i=1,2,3$) al elementului triunghi.

Componentele vitezei de curgere în punctul curent al elementului:

$$\vec{u}(x_1, x_2, t) = \vec{i}_1 u_1(x_1, x_2, t) + \vec{i}_2 u_2(x_1, x_2, t) \quad (3.30)$$

$$u_1(x_1, x_2, t) = \frac{\partial \varphi(x_1, x_2, t)}{\partial x_1} = a_1; \quad u_2(x_1, x_2, t) = \frac{\partial \varphi(x_1, x_2, t)}{\partial x_2} = a_2 \quad (3.31)$$

ceea ce face ca acestea să fie constante pe domeniul elementului, aceasta fiind o aproximare grosieră.

Pentru aproximări mai bune se utilizează forma pătratică:

$$\varphi(x_1, x_2, t) = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_1^2 + a_4 x_1 x_2 + a_5 x_2^2 \quad (3.32)$$

pentru care componentele vitezei în punctul curent al elementului:

$$\begin{aligned} u_1(x_1, x_2, t) &= \frac{\partial \varphi(x_1, x_2, t)}{\partial x_1} = a_1 + 2a_3 x_1 + a_4 x_2 \\ u_2(x_1, x_2, t) &= \frac{\partial \varphi(x_1, x_2, t)}{\partial x_2} = a_2 + a_4 x_1 + 2a_5 x_2 \end{aligned} \quad (3.33)$$

deci dependente linear de coordonatele x_1 și x_2 ale punctului

Cele șase constante a_i se determină considerând componentele $u_1^{(j)}(x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, t)$ și $u_2^{(j)}(x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, t)$ ($j=1,2,3$) independente între ele.

O formă de aproximare mai complexă are ca bază componentele vitezelor de curgere din cele trei noduri 1,2,3 (fig.3.3c). Vectorii $\vec{u}_1(t)$, de componente $u_1(t)$ și $u_2(t)$, $\vec{u}_2(t)$, de componente $u_3(t)$ și $u_4(t)$ și $\vec{u}_3(t)$, de componente $u_5(t)$ și $u_6(t)$ formează o bază pentru aproximarea componentelor vitezei unui punct curent $P(x_1, x_2)$ din interiorul elementului:

$$\begin{aligned} u_1(x_1, x_2, t) &= \sum_{i=1}^6 \Psi_{1i}(x_1, x_2) u_i(t) \\ u_2(x_1, x_2, t) &= \sum_{i=1}^6 \Psi_{2i}(x_1, x_2) u_i(t) \end{aligned} \quad (3.34)$$

$\Psi_{1i}(x_1, x_2)$ și $\Psi_{2i}(x_1, x_2)$ fiind funcții de formă care, de asemenea, trebuie să îndeplinească condiții de tip (3.18)

Energia cinetică a elementului k din rețeaua volumului de control este de forma:

$$\begin{aligned}
E^{(k)}_{C_fluid} &= \frac{1}{2} \int_{V_k} \rho \left[(u_1(x_1, x_2, t))^2 + (u_2(x_1, x_2, t))^2 \right] dv \\
&= \frac{1}{2} \sum_{i,j}^6 \left[u_i u_j \int \rho (\psi_{1i}(x_1, x_2) \psi_{1j}(x_1, x_2) + \psi_{2i}(x_1, x_2) \psi_{2j}(x_1, x_2)) dv \right] \quad (3.35)
\end{aligned}$$

iar prin însumare, energia cinetică a fluidului din volumul de control:

$$E_{C_fluid} = \frac{1}{2} \{u(t)\}^T [M_f] \{u(t)\} \quad (3.36)$$

Aici, vectorul matrice coloană $\{u(t)\}_{(2nf \times 1)}$ are ca elemente componentele vitezelor de curgere prin toate cele nf noduri ale rețelei volumului de control. Matricea pătrată $[M_f]_{(2nf \times 2nf)}$ este matricea maselor de fluid reduse în nodurile rețelei volumului de control.

Sub forme similare, matriceale, se pot obține și ceilalți termeni energetici, cum sunt cei din (3.14).

3.2.3. Racordarea rețelei fluidului la rețeaua structurii

Sub acțiunea forțelor fluidice de suprafață (pe ${}^S\Gamma(t)$) structura imersată se deformează. Pentru a putea fi scrise ecuațiile discretizate ale sistemului fluid structură va trebui ca cele două rețele (mesh-uri) să aibă noduri comune. Cum rețeaua fluidului este definită cu noduri fixe în domeniul ${}^F\Omega(0)$ înseamnă că elementele nodurile de pe suprafața rețelei de fluid, comune cu cele ale elementelor structurii, trebuie să migreze după nodurile rețelei, cel puțin cele de pe ${}^S\Gamma(t)$.

Astfel, elementul triunghiular (fig.3.3d) va avea nodurile, în stare inițială la viteze de curgere zero: 1_{0s} , și 3_{0s} , comune fluid structură, pe ${}^S\Gamma(0)$, și 2 un nod pe ${}^F\Omega(0)$. La momentul t , sub acțiunea sarcinilor cu care fluidul acționează asupra structurii aceasta se va deforma antrenând după ea punctele comune 1_{0s} și 3_{0s} care se vor deplasa în 1_s și 3_s pe ${}^S\Gamma(t)$, deformând elementul deoarece nodul 2 aparținând fluidului rămâne fix.

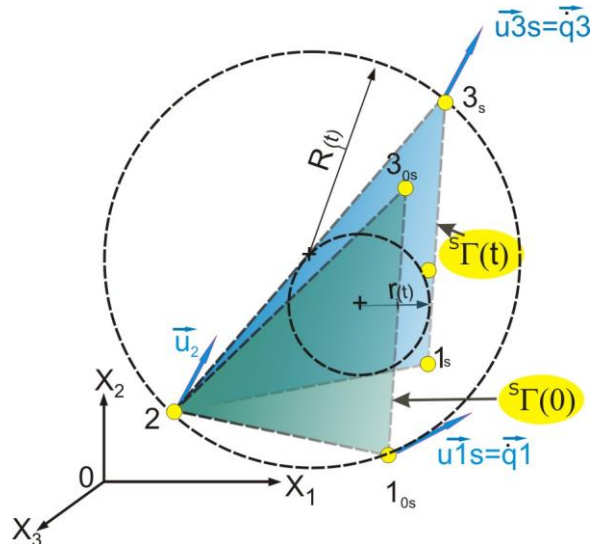


Fig. 3.3d. Ilustrarea deformării elementelor finite fluid structură cu noduri comune

În această situație se pot pune condițiile ca în punctele laturii comune $1_s 3_s$ vectorul vitezei de deplasare $\dot{q}(t)$ să fie egal cu vectorul vitezei de curgere, deoarece punctele fluidului aflat pe $S\Gamma(t)$ aderă la suprafața structurii.

Operația de ajustare a rețelei fluidului este cunoscută ca regenerare a mesh-ului fluidului după fiecare pas de iterație în timpul procesării calculului numeric.

Pentru a ajusta rețeaua, aceasta este tratată ca un mediu pseudo-elastostatic și este folosit același algoritm general care este folosit pentru a calcula deplasările structurii. Condițiile de graniță ale rețelei diferă de acelea pentru structură prin aceea că doar condițiile de deplasare pe graniță sunt permise. Condiții de graniță care implică tensiuni sau forțe proporționale cu deplasările nu au nici o semnificație pentru rețea. Pentru a minimaliza deformarea rețelei, este folosită o tehnică pentru controlul distorsiunii fiecărui element în parte. Problema principală a modelării rețelei ca un mediu elastostatic este că solverul nu garantează producția de rețea în zona în care lipsesc elemente deformate. Distorsiunea rețelei poate fi controlată cu ajutorul matricei de elasticitate a elementelor materialului pseudo-material.

În marea majoritate a aplicațiilor, rețeaua este cea mai deasă în regiunea localizată în apropierea structurii. O tratare simplă a rețelei ca un mediu pseudo-elastic izotrop și omogen tinde să distorsioneze elementele mici din zonele critice. Acest comportament poate fi depășit, distribuind proprietățile materialului în așa fel încât elementele mici ale rețelei localizate în apropierea structurii să fie mai rigide decât elementele care sunt mai departe de structură. Este posibil, de exemplu, ca să fie folosite proprietăți anizotropice și neomogene ale materialului care sunt invers proporționale cu parametrul distorsiune. Avantajul major a acestei abordări este bazarea lui pe proprietățile elastice care pot fi eficient folosite pentru controlul calității rețelei prin răspunsul materialului a pseudo-mediului și este deci o abordare pe baze fizice.

Alegând proprietățile în mod adecvat se poate reduce considerabil nevoia pentru regenerarea rețelei local sau global.

Algoritmul regenerării rețelei folosește un parametru scalar al distorsiunii $\tilde{\phi}_{el}$ ca un indicator al elementului: $\tilde{\phi}_{el} = \phi_{el}^i / \phi_{el}^0$, i este numărul iterației, 0 reprezintă rețeaua inițială.

Modulul lui Young al fiecărui element este calculat cu relația următoare:

$\hat{E}_{el} = \hat{E}^0 (\tilde{\phi}_{el})^n$, \hat{E}^0 este modulul de elasticitate introdus de utilizator, n este o constantă definită de utilizator, $\tilde{\phi}_{el}$ este calculat de program.

Metoda pentru calcularea distorsiunii elementului depinde, în parte, de tipul elementului.

Pentru elemente cu 3 noduri parametrul de distorsiune a elementului este definit prin relația:

$$\phi_{el}^i = \phi_l = \frac{R_i(t)}{r_i(t)} \quad (3.37)$$

$R_i(t)$ și $r_i(t)$ fiind razele cercurilor circumscris și respectiv înscris în elementul triunghiular.

3.2.4. Forme discrete ale ecuațiilor diferențiale ce guvernează interacțiunea fluid structură

Programele de elemente finite destinate soluționării problemelor de interacțiune fluid structură, cum sunt programul FIDAP și programul CFX au algoritmi de procesare ce se bazează pe schema din figura 3.4

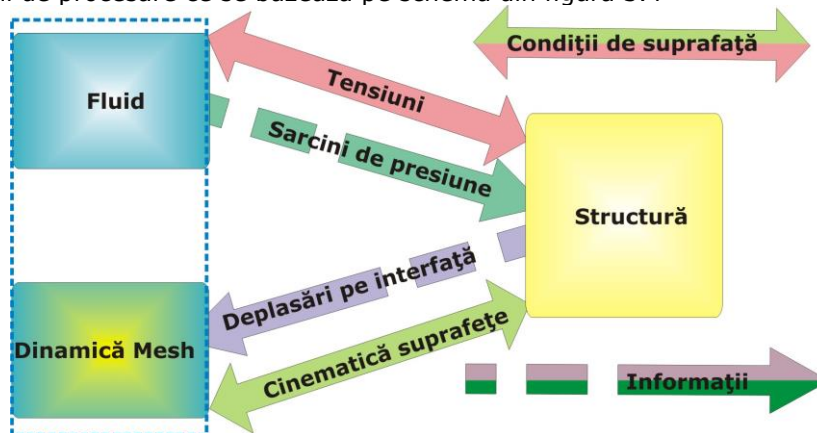


Fig.3.4. Schema de procesare a problemei interacțiune fluid - structură

- Sistemul de ecuații care aproximează **dinamica fluid** ajunge la forma:

$$[M]\{a\} + [N](v - \hat{v})\{\hat{v}\} + [D]\{v\} - [C]\{p\} = \{f\} \quad (3.38)$$

$[M]$ reprezintă matricea de inerție a fluidului iar $[N]$, $[D]$ și $[C]$ sunt matricele convectivă, difuzivă și divergentă. Vectorul $\{f\}$ reprezintă vectorul de excitație al forțelor externe. Vectorii coloană $\{a\}$, $\{v\}$ și $\{p\}$, conțin legile de variație ale accelerațiilor, vitezelor și presiunilor nodurilor sistemului cuplat fluid-structură, $\{\hat{v}\}$ reprezintă vectorul vitezelor rețelei. Matricele $[M]$, $[N]$, $[D]$ și $[C]$ împreună cu vectorul coloană $\{f\}$ sunt dependente de timp.

Sistemului de ecuații diferențiale (3.38) i se atașează sistemul liniar:

$$[C]^T \{v\} = \{0\} \quad (3.39)$$

care derivă din legea conservării masei fluidului.

Vectorii coloană $\{a\}$, $\{v\}$, $\{p\}$ și $\{f\}$ au formele partiționate:

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} F_a \\ u_a^- \\ S_a \end{Bmatrix}; \quad \{v\} = \begin{Bmatrix} F_v \\ u_v^- \\ S_v \end{Bmatrix}; \quad \{f\} = \begin{Bmatrix} F_f \\ u_f^- \\ S_f \end{Bmatrix} \quad (3.40)$$

unde vectorii $\{F_a\}$, $\{F_v\}$, și $\{F_f\}$ sunt asociați domeniului fluidic $^F \Omega(t)$; vectorii $\{u_a^-\}$, $\{u_v^-\}$, și $\{u_f^-\}$ sunt asociați domeniului $^u \Gamma$ de la suprafața; Vectorii $\{S_a\}$, $\{S_v\}$, și $\{S_f\}$ sunt asociați domeniului $^W \Gamma(t)$ suprafeței udată pe structura elastică, pe care se impun relațiile:

$$\{F_v\} = \{S_v\}; \quad \{F_a\} = \{S_a\} \Leftrightarrow ^W \Gamma(t) \quad (3.41)$$

Ecuația conservării momentului (3.38) poate fi scrisă sub forma:

$$\begin{bmatrix} FF_M & Fu_M & FS_M \\ uF_M & uu_M & uS_M \\ SF_M & Su_M & SS_M \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_a \\ u_a^- \\ S_a \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} FF_N & Fu_N & FS_N \\ uF_N & uu_N & uS_N \\ SF_N & Su_N & SS_N \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_v \\ u_v^- \\ S_v \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} FF_D & Fu_D & FS_D \\ uF_D & uu_D & uS_D \\ SF_D & Su_D & SS_D \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_v \\ u_v^- \\ S_v \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} F_C \\ u_C \\ S_C \end{bmatrix} \{p\} = \begin{Bmatrix} F_f \\ u_f^- \\ S_f \end{Bmatrix} \quad (3.42)$$

iar ecuația legii conservării masei (3.39) sub forma partiționată:

$$\begin{bmatrix} F_C^T & u_C^T & S_C^T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_v \\ u_v^- \\ S_v \end{Bmatrix} = \{0\} \quad (3.43)$$

În cazul cuplării tari ecuațiile de mai sus se rezolvă în forma în care sunt. În cazul cuplării slabe ele trebuie rearanjate astfel ca necunoscutele să fie în mod explicit:

$$\begin{bmatrix} FF_M \\ uF_M \\ SF_M \end{bmatrix} \{F_a\} + \begin{bmatrix} FF_N \\ uF_N \\ SF_N \end{bmatrix} \{F_v\} - \begin{bmatrix} F_C \\ u_C \\ S_C \end{bmatrix} \{p\} = \begin{Bmatrix} F_f \\ u_f^- \\ S_f \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} Fu_M \\ FS_M \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_a^- \\ S_a \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} Fu_N \\ FS_N \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_v^- \\ S_v \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} Fu_D \\ FS_D \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_v^- \\ S_v \end{Bmatrix} \quad (3.44)$$

$$\begin{bmatrix} F_C^T \\ u_C^T \\ S_C^T \end{bmatrix} \{F_v\} = - \begin{bmatrix} u_C^T \\ S_C^T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_v^- \\ S_v \end{Bmatrix} \quad (3.45)$$

Încărcarea aplicată de fluid pe corpul elastic în zona suprafeței udate, $^W \Gamma(t)$ este definită de:

$$\begin{aligned} \left\{ \begin{matrix} W \\ \bar{t} \end{matrix} \right\} = \left\{ S_f \right\} &= \left[\begin{matrix} SF_M & Su_M & SS_M \end{matrix} \right] \left\{ \begin{matrix} F_a \\ u_a \\ S_a \end{matrix} \right\} + \left[\begin{matrix} SF_N & Su_N & SS_N \end{matrix} \right] \left\{ \begin{matrix} F_v \\ u_v \\ S_v \end{matrix} \right\} = \\ &= \left[\begin{matrix} SF_D & Su_D & SS_D \end{matrix} \right] \left\{ \begin{matrix} F_v \\ u_v \\ S_v \end{matrix} \right\} - [S_C] \{p\} = - \left\{ S_{\bar{t}} \right\} \end{aligned} \quad (3.46)$$

- Sistemul de ecuații care aproximează **dinamica structurii** este de forma:

$$[S_M] \{S_a\} + [S_k] \{S_q\} = \{S_{\bar{f}}\} + \{S_{\bar{t}}\} \quad (3.47)$$

$[S_M]$, $[S_k]$, sunt matricele, masei și respectiv de rigiditate ale structurii, iar $\{S_f\}$ vectorul încărcării exterioare. $\{S_{\bar{f}}\}$ este vectorul forțelor masice iar $\{S_{\bar{t}}\}$ este vectorul încărcării aplicată de fluid asupra corpului elastic pe suprafața udată, ${}^W \Gamma$, $\{S_q\}$ este vectorul deplasărilor nodale iar:

$$\{S_a(t)\} = \{S_q(t)\} \quad (3.48)$$

este vectorul accelerațiilor nodurilor rețelei structurii.

- Sistemul de ecuații care aproximează **dinamica meshului**

În cazul modelului de rețea pseudo-elastostatică, rețeaua este tratată ca o structură elastostatică pe care tensiunile sunt impuse datorită mișcării structurii. Deplasările sunt obținute prin următoarea ecuație:

$$[\hat{K}] \{\hat{q}\} = \{0\} \quad (3.49)$$

, $[\hat{K}]$ fiind matricea de rigiditate, $\{\hat{q}\}$ vectorul deplasărilor incrementale ale rețelei.

Sistemul de ecuații (3.47) poate fi scris sub forma partiționată:

$$\left[\begin{matrix} [FF\hat{K}] & [FW\hat{K}] \\ [SW\hat{K}] & [SS\hat{K}] \end{matrix} \right] \left\{ \begin{matrix} F\hat{q} \\ W\hat{q} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix} \right\} \quad (3.50)$$

Pe granița domeniului de fluid deplasările rețelei sunt impuse de următoarele condiții de graniță:

$$\begin{aligned} \{q_i\} &= \{0\} \leftarrow {}^U \Gamma \\ \{\hat{q}_i\} &= \{W\hat{q}\} \leftarrow {}^W \Gamma(t) \end{aligned} \quad (3.51)$$

Impunerea acestor condiții conduce la următoarea ecuație:

$$[FF\hat{K}] \{F\hat{q}\} = - [FW\hat{K}] \{W\hat{q}\} \quad (3.52)$$

care arată că mișcarea rețelei fluidului este condusă de mișcarea corpului elastic.

- **Pași prin codul FIDAP pentru rezolvarea problemei FSI sunt următorii:**

1. Inițierea solverelor CFD, CSD, CMD
2. Începutul buclei de timp
3. CFD:

- a) Impunerea condițiilor inițiale și de graniță ($u_{\Gamma}, \sigma_{\Gamma}, f_{\Gamma}$) și condițiile de compatibilitate pe ${}^W\Gamma(t)$.
 - b) Determinarea câmpului de viteză și de presiuni în ${}^F\Omega(t)$.
 - c) Calcularea vectorului tensiune pe suprafața udată, $\left\{ \begin{matrix} S \\ t \end{matrix} \right\} = -\left\{ \begin{matrix} W \\ t \end{matrix} \right\}$
4. CSD:
- d) Aplică încărcările exterioare și tensiunea fluidului, $\left\{ \begin{matrix} S \\ t \end{matrix} \right\}$.
 - e) Impunerea condițiilor inițiale și de graniță pe ${}^S\Gamma(t)$.
 - f) Integrarea ecuației de mișcare pentru determinarea vectorilor deplasărilor, vitezelor și accelerațiilor corpului elastic ($\left\{ S_q \right\}, \left\{ S_{\dot{q}} \right\}, \left\{ S_{\ddot{q}} \right\}$).
 - g) Calculează câmpul de deplasări pe suprafața udată, $\left\{ W_q \right\}$, și actualizează poziția suprafeței.
5. CMD:
- h) Alegerea parametrilor dinamici ai rețelei
 - i) Determină rețeaua ținând cont de formularea ALE și de deplasările corpului pseudo-elastic pe suprafața udată (${}^W\bar{d}$).
 - j) Actualizează geometria rețelei.
 - k) Calculează câmpul de viteze a rețelei.
6. Sfârșitul buclei de timp.

3.3. Analiza interacțiunii fluid structură rigidă prinsă elastic

Structura reprezintă un cilindru de diametru $D = 0.025$ m și fluidul este aer. În figura 3.5 este prezentat fenomenul interacțiunii fluid structură.

Simularea este realizată în 2D. În figura 3.6 este prezentată rețeaua de elemente finite a modelului geometric. Rețeaua de elemente este mai densă în apropierea cilindrului. Simularea este realizată pentru 3 viteze de curgere a fluidului diferite: 6.8630 m/s, 7.2239 m/s, 7.5850 m/s. În figura 3.7 sunt prezentate legile de mișcare pentru cele 3 viteze. În figura 3.8 este prezentat spectrul celor trei legi de mișcare.

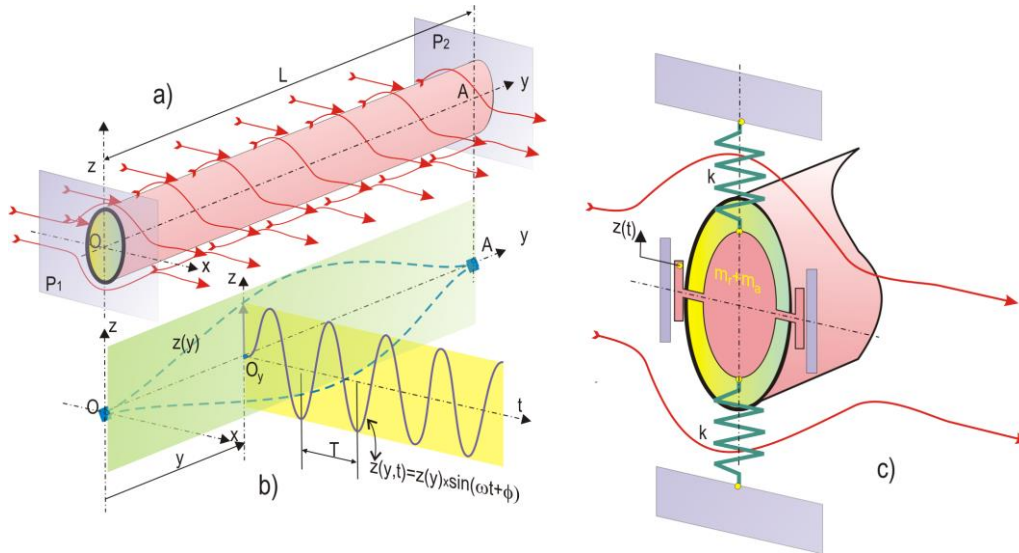


Fig.3.5. Interacțiunea fluid structură

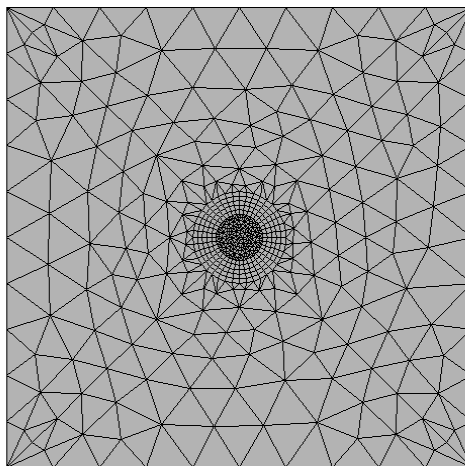


Fig.3.6. Rețeaua de elemente finite

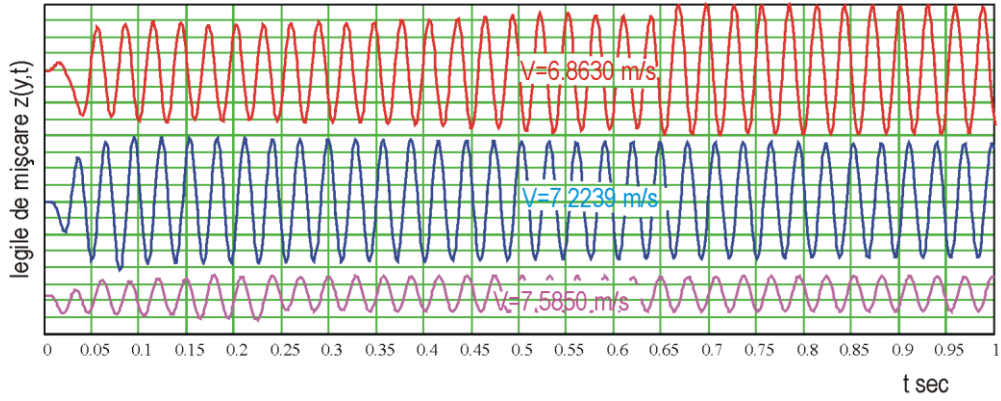


Fig.3.7. Legiile de mișcare ale cilindrului la diferite viteze

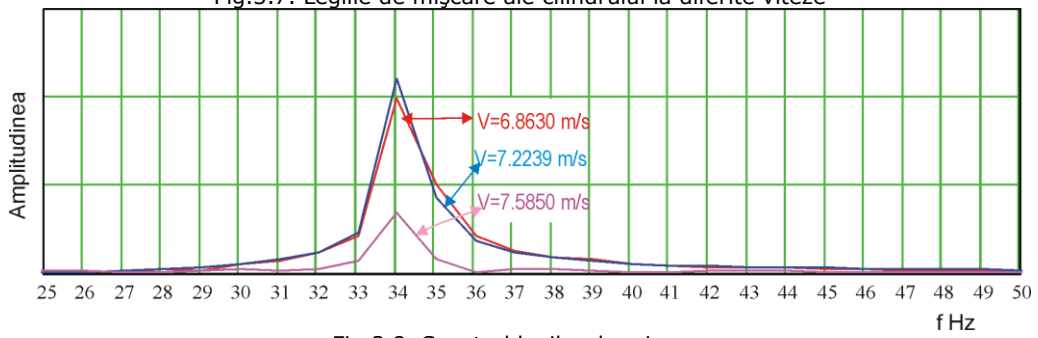
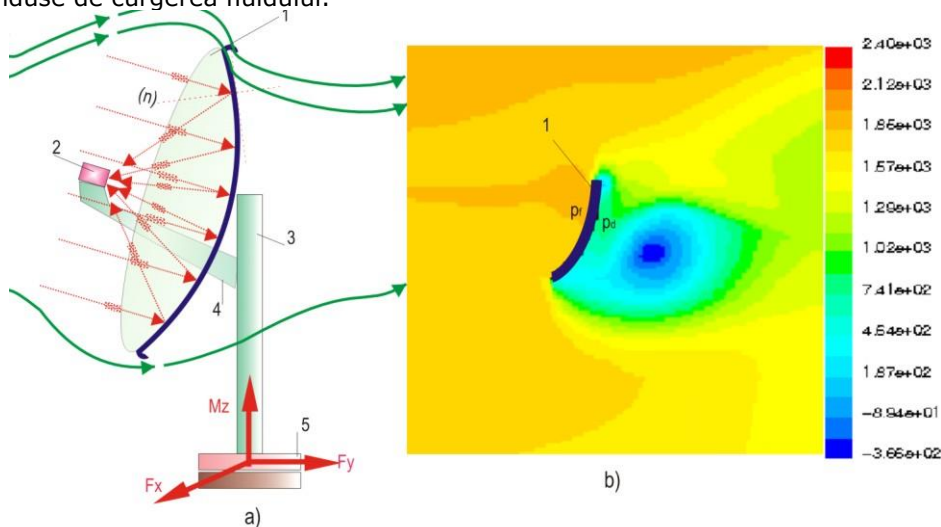


Fig.3.8. Spectrul legilor de mișcare

4. SIMULĂRI ALE ACȚIUNII VÂNTULUI PE DIVERSE STRUCTURI

Așa cum s-a arătat în precedentele capitole studiul interacțiunii fluid structură este deosebit de complex, programele de simulare numerică elaborate pentru utilizatori nu pot cuprinde toate aspectele problemei și de aceea s-au dezvoltat coduri dedicate cum sunt: FIDAP, ANSYS CFX, LINFLOW.

Din punct de vedere al interacțiunii fluid structură antena parabolică prezintă o serie de particularități. O situație aparte o prezintă structura de tip deschisă a unei antene parabolice, compusă din structura cu suprafața parabolică, cu perete subțire, stâlpul de susținere și brațul în consolă al receptorului. Mișcările relative de tip rezonant dintre suprafața parabolică și receptor pot perturba recepția semnalului captat, mai ales în domeniul transmisiilor de frecvențe ultraînalte (microunde). Pentru analiza interacțiunii fluid – structură trebuie să se urmărească regimurile de curgere la care apar efecte dinamice, cu efecte de vârtejuri perturbatoare staționare și nestaționare, simularea rafalelor de vânt asupra structurii, simularea răspunsului structural și verificarea pe cale experimentală a unora dintre acestea. Pentru o structură de antenă parabolică (fig. 4.1.a) efectele sunt mult mai complexe și nu pot fi cuantificate prin formule simple, ci numai prin rezolvarea pe cale numerică a ecuațiilor constitutive de curgere, obținându-se distribuțiile câmpului de presiuni (fig. 4.1.b) la nivelul suprafeței structurii, cu ajutorul cărora se pot calcula sarcinile induse de curgerea fluidului.



Pentru regimuri de curgere turbulentă distribuția câmpurilor de presiune devin variabile sarcinile ce acționează asupra structurii antenei inducând mișcări vibratorii de tip rezonant, după modurile naturale de vibrații ale structurii elastice.

În cazul antenei, dacă efectul rezonant apare după un mod natural al cărui formă relevă mișcări relative de amplitudini mari, dintre suprafața parabolică 1 (fig. 4.1.a) și receptorul 2, amplasat prin consola 4 în focarul suprafeței parabolice, se produc perturbații deranjante în procesul de recepție al semnalului, mai ales în cazul transmisiilor în banda microundelor.

Pentru înțelegerea fenomenelor care apar la interacțiunea fluid (aer) și structura antenei s-au simulat curgeri peste diverse structuri cum ar fi: simularea 2D a curgerii peste cilindru, simularea 2D a curgerii peste o placă, simularea 3D a curgerii peste un cilindru încastrat la ambele capete, curgerea peste antenă utilizând programul COSMOS, simulare 3D pe antenă a interacțiunii fluid structura cu ajutorul programului ANSYS-CFX.

4.1. Curgerea peste un cilindru

În figura de mai jos sunt schițate datele de intrare ale problemei. Cilindrul are diametrul $D=0.25$ m. Domeniul de analiză este un dreptunghi de dimensiuni $2 \times 0,5$ m. Viteza de intrare este 0.005 m/s. Datorită simetriei, problema se simplifică, doar jumătate de cilindru este calculat.

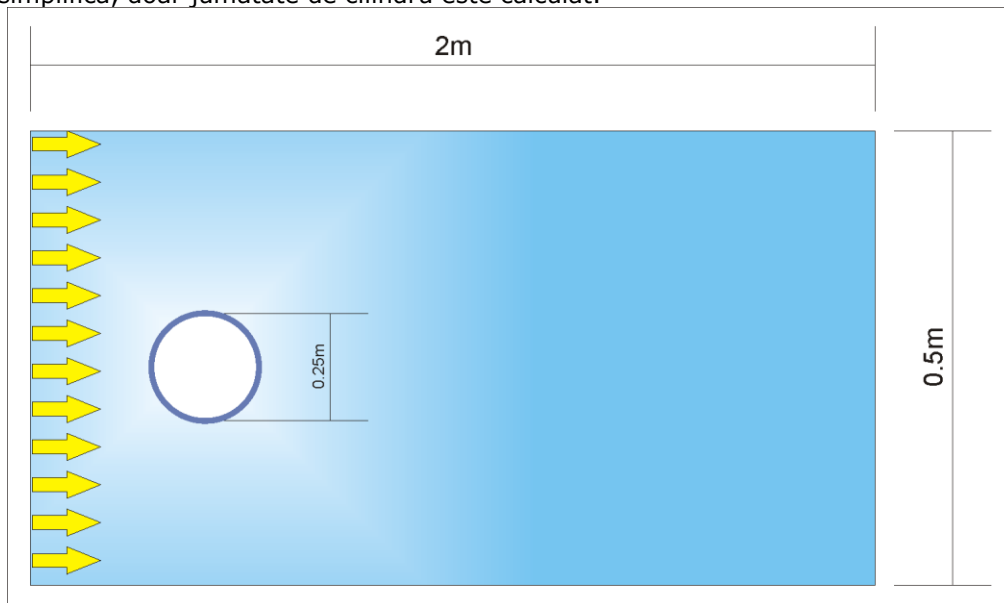


Fig.4.2. Schița problemei

Tipul de element utilizat este FLUID141 de formă patrulater, element folosit în cazul simulării curgerilor fluidelor pentru varianta 2D. Simularea este făcută pentru cazul curgerii staționare, regimul de curgere este laminar și datorită vitezei mici de curgere a fluidului acesta este considerat incompresibil. Deoarece curgerea este adiabatică simularea se face fără rezolvarea ecuației de temperatură. Algoritmul de rezolvare folosit este SIMPLEF. Numărul de iterații folosit pentru simulare este de 1000.

Fluidul este aer având următoarele proprietăți: densitatea 1.205 kg/m³ și vâscozitatea dinamică $1.8135E-05$ Pa s. Algoritmul folosit pentru determinarea

vitezelor este "Tri-Diagonal Matrix" (TDMA). Algoritmul folosit pentru rezolvarea ecuației de presiune este "Preconditioned Conjugate Gradient".

Codul aplicației este următorul:

/PREP7	LESIZE,4,0.02	DL,2,,VX,0.005,1	/SOLU
BLC4,0,0,2,0.5	LESIZE,5,0.02	DL,2,,VY,0,1	FLDATA,ITER,EXEC,1000
CYL4,0.5,0,0.125	LESIZE,6,0.02	DL,6,,VY,0,1	SOLVE
ASBA,1,2	LESIZE,7,0.02	DL,7,,VY,0,1	SAVE
ET,1,FLUID141	AMESH,3	DL,5,,VX,0,1	FINI
NUMCMP,LINE	FLDA,PROT,DENS,AIR-	DL,5,,VY,0,1	/POST1
LPLOT	SI	DL,4,,VX,0,1	SET,LAST
LESIZE,1,0.02	FLDA,PROT,VISC,AIR-	DL,4,,VY,0,1	PLNSOL,V,SUM
LESIZE,2,0.02	SI	DL,1,,PRES,0,1	FINI
LESIZE,3,0.02	DL,3,,VX,0.005,1		
	DL,3,,VY,0,1		

Comanda

/PREP7
 BLC4,0,0,2,0.5
 CYL4,0.5,0,0.125
 ASBA,1,2
 ET,1,FLUID141
 NUMCMP,LINE
 LPLOT
 LESIZE,1,0.02
 LESIZE,2,0.02
 LESIZE,3,0.02
 LESIZE,4,0.02
 LESIZE,5,0.02
 LESIZE,6,0.02
 LESIZE,7,0.02
 AMESH,3
 FLDA,PROT,DENS,AIR-SI
 FLDA,PROT,VISC,AIR-SI
 DL,3,,VX,0.005,1

Funcția comenzii

intrarea în preprocesor pentru crearea modelului.
 generează o arie dreptunghiulară care are coordonatele punctelor de pe diagonala principală 0,0 și 2,0.5
 generează o arie circulară având centrul în punctul de coordonate 0.5,0 și raza 0.125
 extrage aria 2 din aria 1 (extrage din aria dreptunghiulară aria circulară)
 definește tipul de element ca fiind element de fluid 2D
 comprimă numerele liniilor
 afișează pe ecran liniile
 definește pentru linia 1 lungimea elementului ca fiind 0.002
 definește pentru linia 2 lungimea elementului ca fiind 0.002
 definește pentru linia 3 lungimea elementului ca fiind 0.002
 definește pentru linia 4 lungimea elementului ca fiind 0.002
 definește pentru linia 5 lungimea elementului ca fiind 0.002
 definește pentru linia 6 lungimea elementului ca fiind 0.002
 definește pentru linia 7 lungimea elementului ca fiind 0.002
 împarte în elemente aria 3
 setează densitatea fluidului ca fiind cea a aerului
 setează vâscozitatea fluidului ca fiind cea a aerului
 definește constrângeri pe linia 3, viteza VX=0.005

DL,3,,VY,0,1	definește constrângeri pe linia 3, viteza VY=0
DL,2,,VX,0.005,1	definește constrângeri pe linia 2, viteza VX=0.005
DL,2,,VY,0,1	definește constrângeri pe linia 2, viteza VY=0
DL,6,,VY,0,1	definește constrângeri pe linia 6, viteza VY=0
DL,7,,VY,0,1	definește constrângeri pe linia 6, viteza VY=0
DL,5,,VX,0,1	definește constrângeri pe linia 5, viteza VX=0
DL,5,,VY,0,1	definește constrângeri pe linia 5, viteza VY=0
DL,4,,VX,0,1	definește constrângeri pe linia 4, viteza VX=0
DL,4,,VY,0,1	definește constrângeri pe linia 4, viteza VY=0
DL,1,,PRES,0,1	definește constrângeri pe linia 4, presiunea PRES=0
/SOLU	face intrarea în procesorul Solution
FLDATA,ITER,EXEC,1000	setează numărul de iterații, la valoarea 1000
SOLVE	pornește procesorul de rezolvare a problemei
SAVE	salvează toate informațiile curente în fișierul bază de date
FINI	face ieșirea din orice procesor ANSYS
/POST1	face intrarea în preprocesorul de rezultate
SET,LAST	citește ultimul set de date, din fișierul de rezultate
PLNSOL,V,SUM	afișează suma vitezelor sub formă de contururi continue
FINI	face ieșirea din orice procesor ANSYS

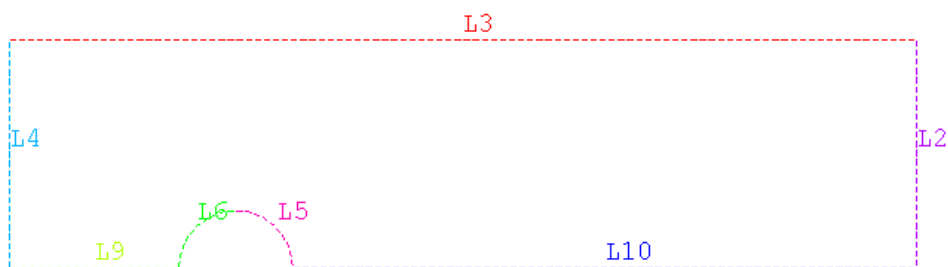


Fig.4.3. Liniile modelului geometric

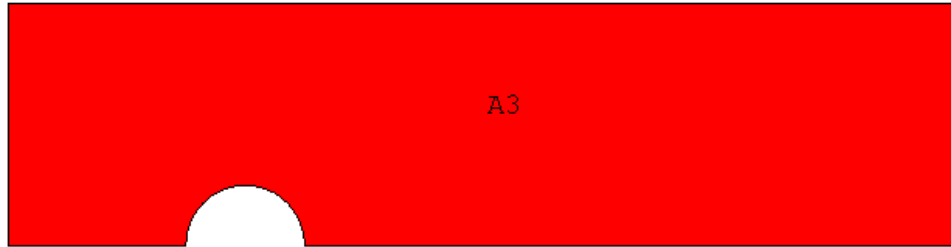


Fig.4.4. Ariile modelului geometric



Fig.4.5. Condițiile de graniță

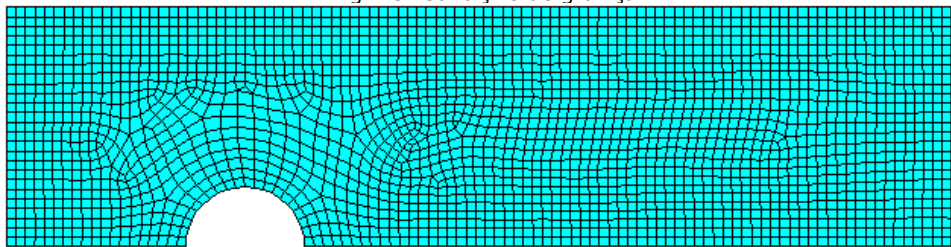


Fig.4.6. Rețeaua de elemente a modelului geometric

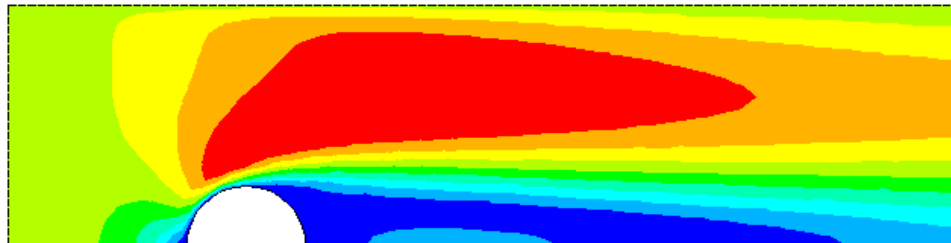


Fig.4.7. Câmpul de viteze



Fig.4.8. Câmpul de presiune

4.2. Curgerea peste o placă plană

Fluidul este aerul la presiunea și temperatura normală. Placa este de 0.001 m grosime și lungime de 1 m. Domeniul de analiză este un pătrat cu latura de 2 m. Viteza de intrare este de 0.072764 m/s. În figura de mai jos este prezentată schematizat problema.

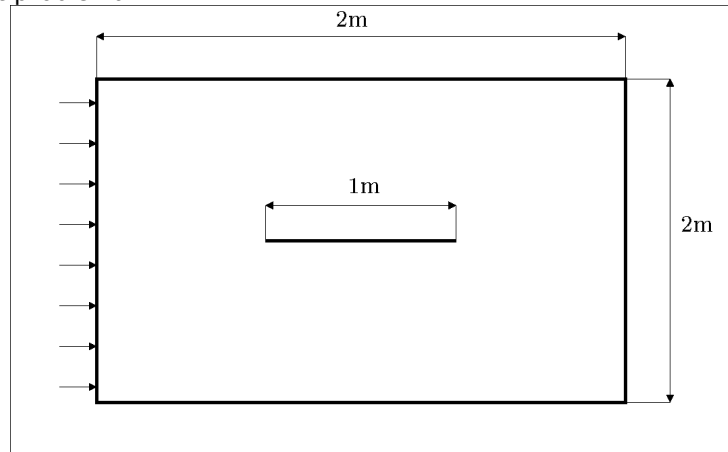


Fig.4.9. Schița problemei

Tipul de element folosit este FLUID141, forma elementului aleasă pentru această simulare este cea triunghiulară. Curgerea este staționară, cu regim laminar fluidul fiind incompresibil. Curgerea fiind adiabatică nu se rezolvă ecuația de temperatură. Algoritmul folosit este SIMPLEF, cu un număr de 500 de iterații. Se folosește aerul, cu densitatea 1.205 kg/m^3 și vâscozitatea dinamică $1.8135\text{E-}05 \text{ Pa s}$. Pentru determinarea vitezelor se folosește algoritmul "Tri-Diagonal Matrix" (TDMA). Rezolvarea ecuației de presiune se face cu ajutorul algoritmului "Preconditioned Conjugate Gradient".

Codul aplicației este următorul:

/PREP7	A,1,2,5,4,7,8,11,10	KSEL,S,KP,,1,3	DL,5,,VY,0,1
ET,1,FLUID141	LESIZE,ALL,,,20	LSLK,S,1	DL,12,,VX,0,1
FLDA,PROT,DENS,AIR	A,2,3,12,11,8,9,6,5	KSEL,S,KP,,10,12	DL,12,,VY,0,1
-SI	KSEL,S,KP,,4,6	LSLK,A,1	DL,13,,VX,0,1
FLDA,PROT,VISC,AIR-	LSLK,S,1	LESIZE,ALL,,,10	DL,13,,VY,0,1
SI	KSEL,S,KP,,7,9	ALLSEL	DL,14,,VX,0,1
K,1,-1,1	LSLK,A,1	MSHAPE,1,2D	DL,14,,VY,0,1
K,2,0,1	LESIZE,ALL,,,200	AMESH,ALL	ALLSEL
K,3,1,1	KSEL,S,KP,,2,5,3	LPLLOT	LPLLOT
K,4,-0.5,0	LSLK,S,1	/PNUM,KP,1	DL,1,,PRES,0,1
K,5,0,0	LESIZE,ALL,,,30,0.0	/SOL	DL,7,,PRES,0,1
K,6,0.5,0	1	DL,8,,VX,0.072764,	DL,9,,PRES,0,1
K,7,-0.5,-0.001	KSEL,S,KP,,8,11,3	1	DL,10,,PRES,0,1
K,8,0,-0.001	LSLK,S,1	DL,3,,VX,0,1	DL,11,,PRES,0,1
K,9,0.5,-0.001	LESIZE,ALL,,,30,100	DL,3,,VY,0,1	FLDATA,ITER,EXEC,50
K,10,-1,-1	KSEL,S,KP,,1,10	DL,4,,VX,0,1	0
K,11,0,-1	LSLK,S,1	DL,4,,VY,0,1	SAVE
K,12,1,-1	KSEL,S,KP,,3,12	DL,5,,VX,0,1	SOLVE
	LSLK,A,1		SAVE

Comanda

/PREP7

Funcția comenzii

intrarea în preprocesor pentru crearea modelului.

64 Simulări ale acțiunii vântului pe diverse structuri - 4

ET,1	FLUID141 tip de element de fluid 2D.
FLDA,PROT,DENS,AIR-SI	setează densitatea fluidului ca fiind cea a aerului
FLDA,PROT,VISC,AIR-SI	setează vâscozitatea fluidului ca fiind cea a aerului
K,1,-1,1	definește punctul 1 de coordonate -1,1
K,2,0,1	definește punctul 2 de coordonate 0,1
K,3,1,1	definește punctul 3 de coordonate 1,1
K,4,-0.5,0	definește punctul 4 de coordonate -0.5,0
K,5,0,0	definește punctul 5 de coordonate 0,0
K,6,0.5,0	definește punctul 6 de coordonate 0.5,0
K,7,-0.5,-0.001	definește punctul 7 de coordonate -0.5,-0.001
K,8,0,-0.001	definește punctul 8 de coordonate 0,-0.001
K,9,0.5,-0.001	definește punctul 9 de coordonate 0.5,-0.001
K,10,-1,-1	definește punctul 10 de coordonate -1,-1
K,11,0,-1	definește punctul 11 de coordonate 0,-1
K,12,1,-1	definește punctul 12 de coordonate 1,-1
A,1,2,5,4,7,8,11,10	definește aria având coordonatele punctele 1,2,5,4,7,8,11,10
A,2,3,12,11,8,9,6,5	definește aria având coordonatele punctele 2,3,12,11,8,9,6,5
KSEL,S,KP,,4,6	selectează punctele 4, 5, 6
LSLK,S,1	selectează liniile care conțin punctele selectate 4,5,6 (liniile 3, 14).
KSEL,S,KP,,7,9	selectează punctele 7, 9
LSLK,A,1	adaugă la liniile deja selectate și liniile care conțin punctele selectate 7,8,9 (liniile 5,12).
LESIZE,ALL,,,200	definește numărul de elemente pentru liniile selectate (3, 5, 12, 14) la valoarea 200
KSEL,S,KP,,2,5,3	selectează punctele 2 și 5
LSLK,S,1	selectează linia care conține punctele selectate 2,5 (linia 2)
LESIZE,ALL,,,30,0.01	definește numărul de elemente pentru linia selectată (2) la valoarea 30, rația de 0,01
KSEL,S,KP,,8,11,3	selectează punctele 8 și 11
LSLK,S,1	selectează linia care conține punctele selectate 8, 11 (linia 6).
LESIZE,ALL,,,30,100	definește numărul de elemente pentru linia selectată (6) la valoarea 30, cu rația de 100
KSEL,S,KP,,1,10	selectează punctele de la 1 la 10
LSLK,S,1	selectează liniile care conțin punctele selectate, de la 1 la 10 (liniile 8, 11, 9, 2, 3, 5, 4, 14, 12, 13)
KSEL,S,KP,,3,12	selectează punctele de la 3 la 12
LSLK,A,1	adaugă la liniile deja selectate și liniile care conțin punctele selectate, de la 3 la 12 (liniile 1, 6, 7, 10)
LESIZE,ALL,,,20	definește numărul de elemente pentru liniile selectate (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14) la valoarea 20
KSEL,S,KP,,1,3	selectează punctele 1, 2 și 3
LSLK,S,1	selectează liniile care conțin punctele

KSEL,S,KP,,10,12	selectate 1, 2, 3 (liniile 1 și 9)
LSLK,A,1	selectează punctele 10, 11, 12
LESIZE,ALL,,10	adaugă la liniile selectate 1 și 9 liniile 7, 11
ALLSEL	definește numărul de elemente pentru liniile selectate (1, 9, 7, 11) la valoarea 10
MSHAPE,1,2D	selectează toate entitățile geometrice
AMESH,ALL	definește forma elementului, ca fiind triunghiulară, iar 2D se referă la faptul că modelul geometric este în plan
LPLOT	generează noduri și elemente în toate ariile selectate
/PNUM,KP,1	afișează toate liniile
/SOL	afișează numerele pentru fiecare linie
DL,8,,VX,0.072764,1	face intrarea în procesorul Solution
DL,3,,VX,0,1	definește constrângerile pe linia 8, inclusiv în punctele de capăt, viteza VX = 0.072764 m/s
DL,3,,VY,0,1	definește constrângerile pe linia 3, inclusiv în punctele de capăt, viteza VY = 0
DL,4,,VX,0,1	definește constrângerile pe linia 3, inclusiv în punctele de capăt, viteza VX = 0
DL,4,,VY,0,1	definește constrângerile pe linia 4, inclusiv în punctele de capăt, viteza VY = 0
DL,5,,VX,0,1	definește constrângerile pe linia 4, inclusiv în punctele de capăt, viteza VX = 0
DL,5,,VY,0,1	definește constrângerile pe linia 5, inclusiv în punctele de capăt, viteza VY = 0
DL,12,,VX,0,1	definește constrângerile pe linia 5, inclusiv în punctele de capăt, viteza VX = 0
DL,12,,VY,0,1	definește constrângerile pe linia 12, inclusiv în punctele de capăt, viteza VY = 0
DL,13,,VX,0,1	definește constrângerile pe linia 12, inclusiv în punctele de capăt, viteza VX = 0
DL,13,,VY,0,1	definește constrângerile pe linia 13, inclusiv în punctele de capăt, viteza VY = 0
DL,14,,VX,0,1	definește constrângerile pe linia 13, inclusiv în punctele de capăt, viteza VX = 0
DL,14,,VY,0,1	definește constrângerile pe linia 14, inclusiv în punctele de capăt, viteza VY = 0
ALLSEL	definește constrângerile pe linia 14, inclusiv în punctele de capăt, viteza VX = 0
LPLOT	definește constrângerile pe linia 13, inclusiv în punctele de capăt, viteza VY = 0
DL,1,,PRES,0,1	selectează toate entitățile geometrice
DL,7,,PRES,0,1	afișează toate liniile
DL,9,,PRES,0,1	definește constrângerile pe linia 1, inclusiv în punctele de capăt, presiunea PRES = 0
DL,10,,PRES,0,1	definește constrângerile pe linia 7, inclusiv în punctele de capăt, presiunea PRES = 0
DL,11,,PRES,0,1	definește constrângerile pe linia 9, inclusiv în punctele de capăt, presiunea PRES = 0
FLDATA,ITER,EXEC,500	definește constrângerile pe linia 10, inclusiv în punctele de capăt, presiunea PRES = 0
SAVE	definește constrângerile pe linia 11, inclusiv în punctele de capăt, presiunea PRES = 0
SOLVE	setează numărul de iterații
	salvează toate datele
	pornește procesorul de rezolvare a problemei

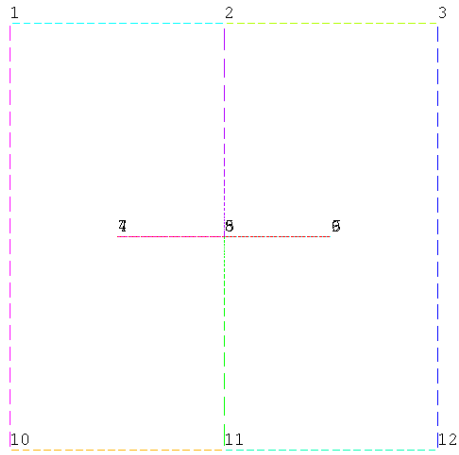


Fig.4.10. Punctele modelului geometric

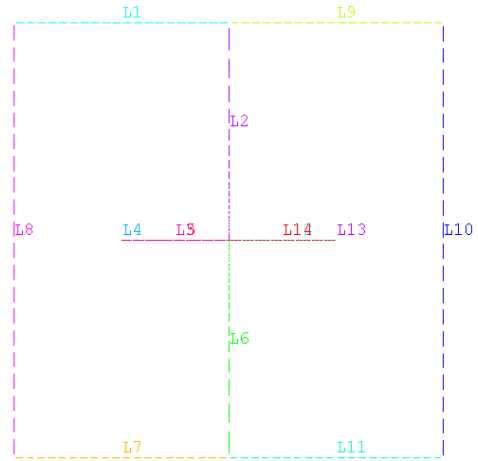


Fig.4.11. Liniile modelului geometric

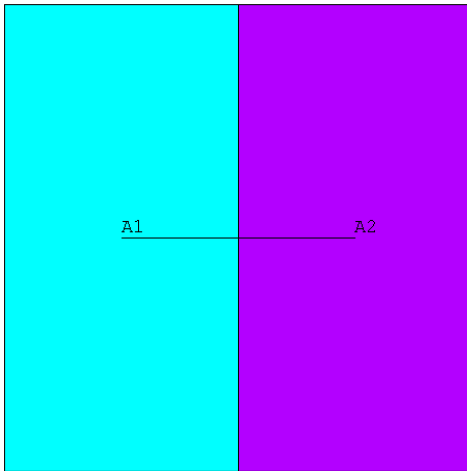


Fig.4.12. Ariile modelului geometric

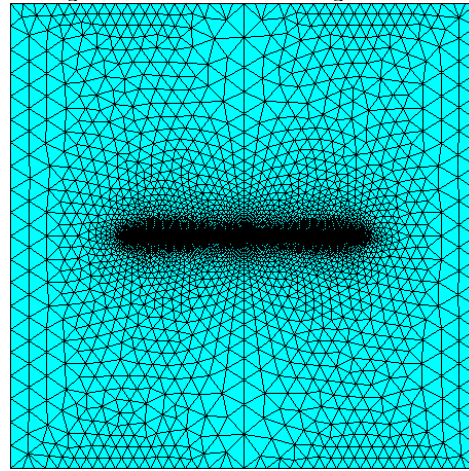


Fig.4.13. Rețeaua de elemente a modelului geometric

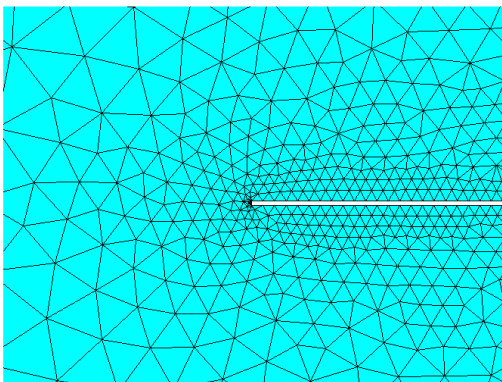


Fig.4.14. Rețeaua de elemente a modelului geometric mărită

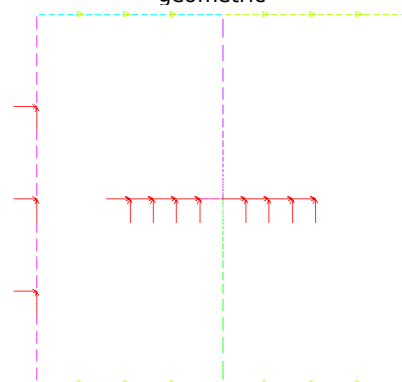


Fig.4.15. Condițiile de graniță

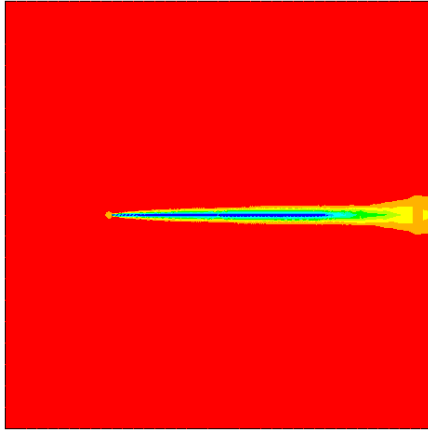


Fig.4.16. Câmpul de viteze

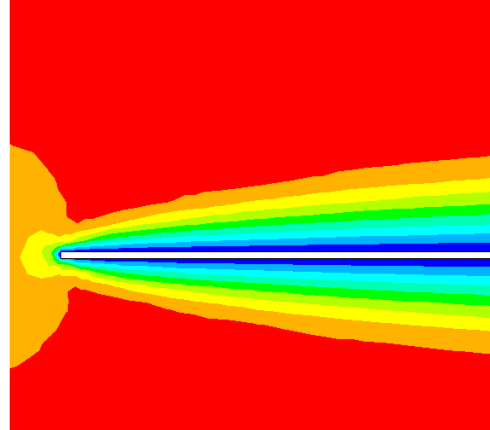


Fig.4.17. Câmpul de viteze detaliu față

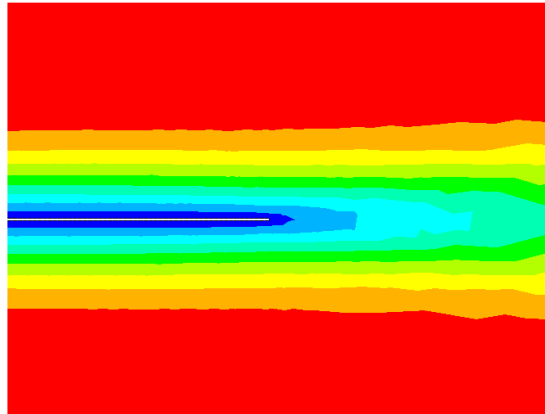


Fig.4.18. Câmpul de viteze – detaliu spate

4.3. Interacțiunea fluid – structură elastică. Curgerea peste un cilindru elastic încastrat la ambele capete

Domeniul de fluid este un paralelipiped cu dimensiunile 0.8 m x 0.6 m x 0.5 m. Cilindrul este de diametru 0.1 m cu lungimea de 0.5 m. Tipul de element folosit pentru domeniul de fluid este FLUID142, element hexaedru având 8 noduri , element folosit pentru simulările 3D. Pentru discretizarea cilindrului este folosit tipul de element SOLID45, element hexaedru cu 8 noduri, elementul este folosit pentru discretizarea structurilor solide 3D. Pentru cilindru au fost definite următoarele caracteristici de material: densitatea 7800 kg/m³, modulul lui Young 2.1 10¹¹ N/m² și coeficientul lui Poisson 0.3. Curgerea este nestaționară, cu regim de curgere turbulent, fluidul fiind incompresibil. Curgerea fiind adiabatică nu se rezolvă ecuația de temperatură. Este setată posibilitatea ca nodurile rețelei să se poată deplasa. Se folosește aerul, cu densitatea 1.205 kg/m³ și vâscozitatea dinamică 1.8135E-05 Pa s. Pentru determinarea vitezelor se folosește algoritmul "Tri-Diagonal Matrix" (TDMA). Rezolvarea ecuației de presiune se face cu ajutorul algoritmului

“Preconditioned Conjugate Gradient”. Pentru determinarea energiei cinetice turbulente și a vitezei de disipație a energiei cinetice turbulente se folosește algoritmul “Tri-Diagonal Matrix” (TDMA). Modelul de turbulență folosit este $k - \varepsilon$. Coeficienții modelului de turbulență sunt: $CMU=0.09$, $C1=1.44$, $C2=1.92$, $SCTK=1$, $SCTD=1.3$. Raportul de turbulență este de 1000. Intensitatea la intrare a turbulenței este de 0.01. Factorul de scara de lungime a turbulenței este 0.01. Este setată opțiunea interacțiunii fluid solid (FSI). Este specificat parametrul FSOR care stabilește ordinea analizei pentru interacțiunea fluid solid, în acest caz analiza domeniului de fluid este făcută înaintea domeniului solid. Este setată opțiunea nestaționară atât pentru domeniul de fluid cât și pentru domeniul solid. Timpul total de calcul este de 0.05 s, cu pasul de timp de 0.01 s.

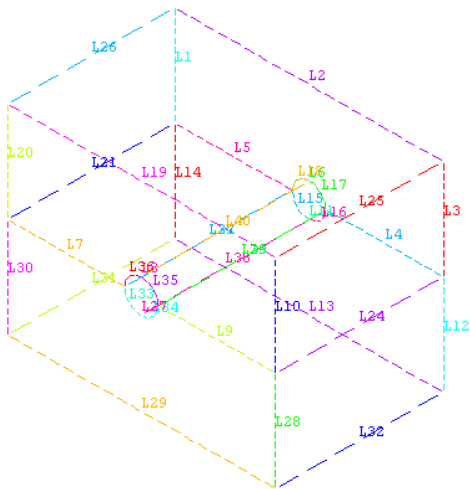


Fig.4.19. Liniile modelului geometric

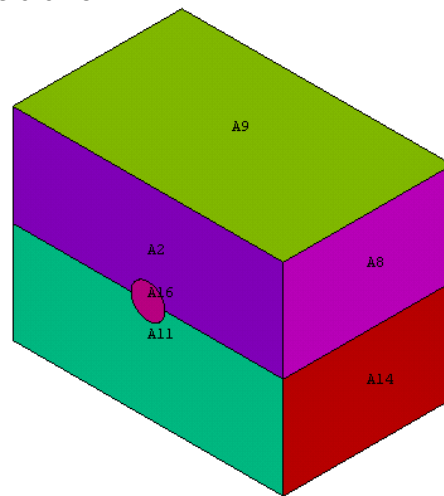


Fig.4.20. Ariile modelului geometric

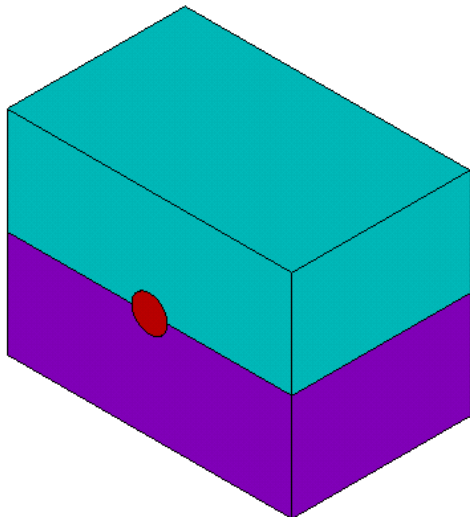


Fig.4.21. Volumele modelului geometric

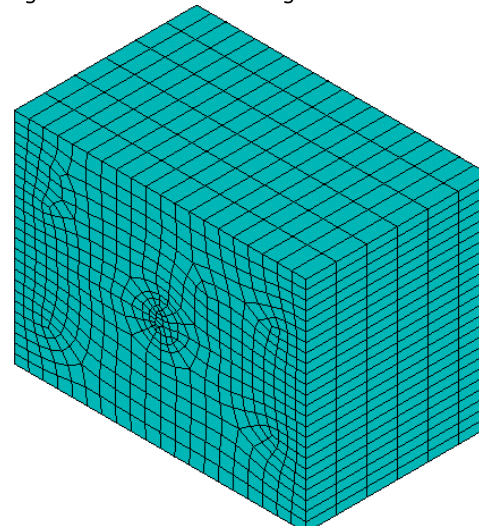


Fig.4.22. Rețeaua de elemente a modelului geometric

4.3. – Interacțiunea fluid – structură elastică. Curgerea peste un cilindru elastic încastrat la ambele capete 69

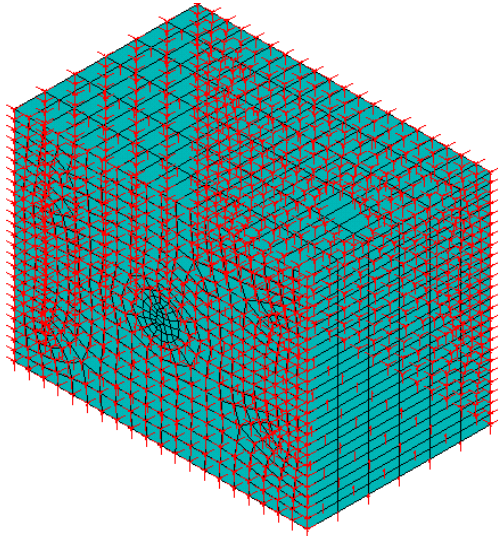


Fig.4.23. Condițiile de viteză pe graniță

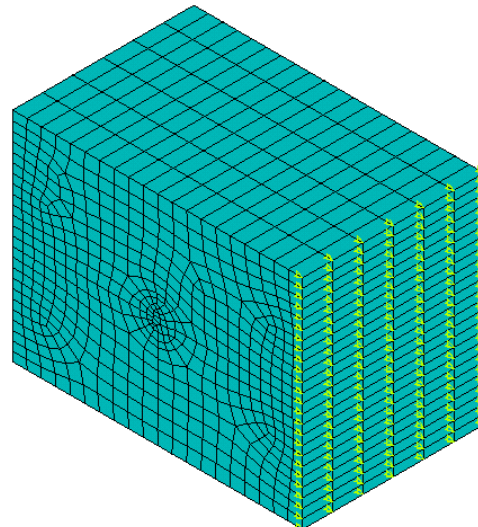


Fig.4.24. Condițiile de presiune pe frontieră

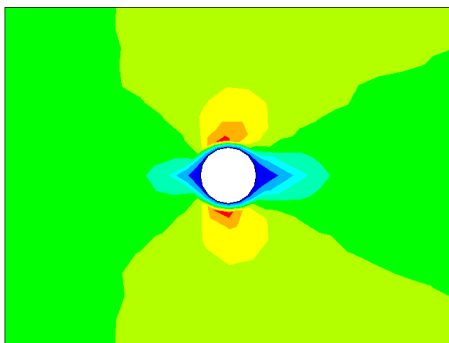


Fig.4.25. Câmpul de viteză în planul median

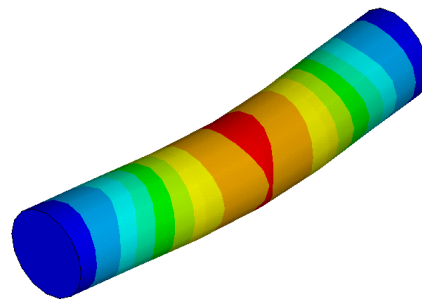


Fig.4.26. Câmpul de deplasări al cilindrului la pas 1

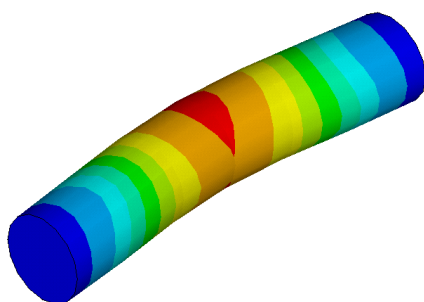


Fig.4.27. Câmpul de deplasări al cilindrului la pas 2

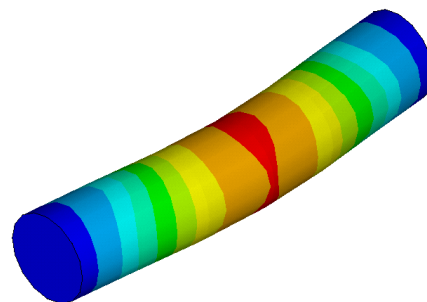


Fig.4.28. Câmpul de deplasări al cilindrului la pas 4

Codul aplicației este următorul

UNITS,SI	FLST,3,2,5,ORDE,2	ACLEAR,ALL	NSLA,S,1
/PREP7	FITEM,3,1	ETDEL,3	D,ALL,UX,0
ET,1,142	FITEM,3,-2	ETDEL,4	D,ALL,UY,0
ET,2,45	AGEN, ,P51X, , , ,-	FLST,5,4,5,ORDE,3	D,ALL,UZ,0
ET,3,141	0.05, , , ,1	FITEM,5,1	FLST,5,2,5,ORDE,2
ET,4,42	FLST,3,1,5,ORDE,1	FITEM,5,-3	FITEM,5,9
KEYOPT,1,4,1	FITEM,3,1	FITEM,5,11	FITEM,5,13
KEYOPT,3,4,1	ARSYM,Y,P51X, , ,	ASEL,S, , ,P51X	ASEL,S, , ,P51X
MSHA,0	,0,0	NSLA,S,1	NSLA,S,1
MSHK,1	NUMMRG,KP	D,ALL,VX,0	
FLST,3,6,8	NUMCMP,ALL	D,ALL,VY,0	D,ALL,VY,0
FITEM,3,-0.5E-	LESI,1,,,12,-1,1	D,ALL,VZ,0	D,ALL,UY,0
01,0.5E-01,0	LESI,2,,,20,-1,1	D,ALL,UZ,0	ALLS
FITEM,3,0.5E-	LESI,3,,,12,-1,1	D,ALL,UX,0	FINI
01,0.5E-01,0	LESI,4,,,12,-1,1	FLST,5,4,5,ORDE,2	/SOLU
FITEM,3,0.4,0.5E-	LESI,5,,,12,-1,1	FITEM,5,17	FLDA,SOLU,FLOW,1
01,0	LESI,6,,,8,-1,1	FITEM,5,-20	FLDA,SOLU,ALE,1
FITEM,3,-0.4,0.5E-	LESI,11,,,8,-1,1	ASEL,S, , ,P51X	FLDA,SOLU,TURB,1
01,0	LESI,7,,,4,-1,1	NSLA,S,1	FLDA,SOLU,TRAN,1
FITEM,3,-	LESI,8,,,4,-1,1	SF,ALL,FSIN,1	FLDA,ITER,EXEC,20
0.4,0.35,0	LESI,9,,,4,-1,1	FLST,5,2,5,ORDE,2	FLDA,PROT,DENS,AIR-SI
FITEM,3,0.4,0.35,0	LESI,10,,,4,-1,1	FITEM,5,6	FLDA,PROT,VISC,AIR-SI
K,,P51X	LESI,12,,,12,-1,1	FITEM,5,15	FLDATA24,TURB,MODL,1
LSTR,4,5	LESI,13,,,20,-1,1	ASEL,S, , ,P51X	FLDATA24,TURB,CMU,0.09,
LSTR,5,6	LESI,14,,,12,-1,1	NSLA,S,1	FLDATA24,TURB,C1,1.44,
LSTR,6,3	ASEL,S,,,2	SF,ALL,FSIN,1	FLDATA24,TURB,C2,1.92,
LSTR,3,2	AATT,,,4	FLST,5,2,5,ORDE,2	FLDATA24,TURB,SCTK,1,
LSTR,4,1	ASEL,INVE	FITEM,5,10	FLDATA24,TURB,SCTD,1.3,
FLST,3,1,8	AATT,,,3	FITEM,5,12	MP,EX,1,2.1E11
FITEM,3,0,0.1,0	MSHA,0	ASEL,S, , ,P51X	MP,NUXY,1,0.3
K,,P51X	MSHK,0	NSLA,S,1	MP,DENS,1,7800
LARC,1,2,7,0.05	ALLS	D,ALL,UX,0	FSAN,ON
FLST,2,6,4	AMESH,ALL	D,ALL,UY,0	FSCO,ALL,1.0E-1
FITEM,2,5	AGEN,2,2	D,ALL,UZ,0	FSRE,ALL,0.5
FITEM,2,1	ACLEAR,2	D,ALL,VX,1	FSOU,1
FITEM,2,2	ADEL,2,,,1	D,ALL,VY,0	FSIT,5
FITEM,2,3	TYPE,1	D,ALL,VZ,0	FSTI,0.05
FITEM,2,4	FLST,5,2,5,ORDE,2	FLST,5,2,5,ORDE,2	FSDT,0.01
FITEM,2,6	FITEM,5,1	FITEM,5,8	FSOR,FLUID
AL,P51X	FITEM,5,3	FITEM,5,14	FSTR,SOLID,
K,8,0,0.05,0	ASEL,S, , ,P51X	ASEL,S, , ,P51X	FSTR,FLUID,
CIRCLE,8,0,0.5	ESIZ,,6	NSLA,S,1	DELTIM,0.01
FLST,2,4,4	VEXT,ALL,,,0,0,0.5	D,ALL,PRES,0	FLDA,TIME,STEP,0.01
FITEM,2,9	ASEL,S, , , 4	FLST,5,2,5,ORDE,2	SAVE
FITEM,2,10	TYPE,2	FITEM,5,4	SOLVE
FITEM,2,7	VEXT,ALL,,,0,0,0.5	FITEM,5,16	SAVE
FITEM,2,8	ALLS	ASEL,S, , ,P51X	
AL,P51X			

4.4. Analiza curgerii peste structura antenei considerată fixă utilizând programul COSMOS

Cu ajutorul programului de analiză cu element finit COSMOS s-au obținut rezultatele de mai jos. În figuri se prezintă câmpurile de viteză și de presiune în cazul unei curgeri a aerului în jurul unei antene parabolice. Mișcarea aerului este turbulentă, nestaționară, viteza variind după o lege sinusoidală cu amplitudinea de 30 m/s. Analiza curgerii s-a făcut pe o perioadă de 1 s, cu pasul de timp de 0.01 s. Câmpurile prezentate corespund momentelor 0.1 s, 0.2 s, 0.3 s, 0.4 s.

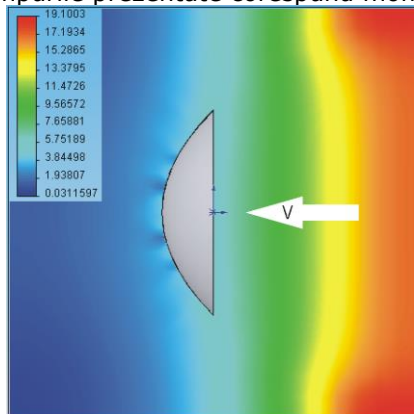


Fig.4.29. Câmpul de viteze la t=0.1 s

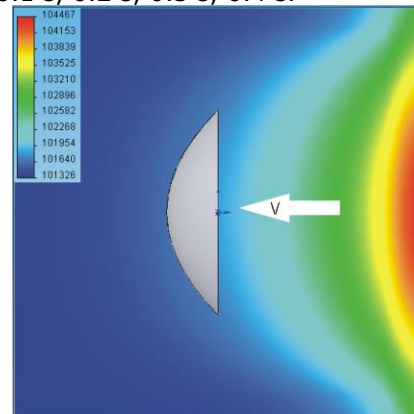


Fig.4.30. Câmpul de presiune la t=0.1 s

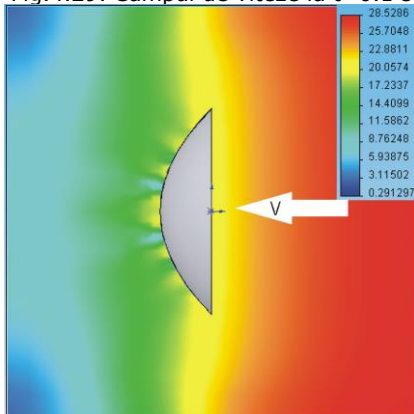


Fig.4.31. Câmpul de viteze la t = 0.2 s

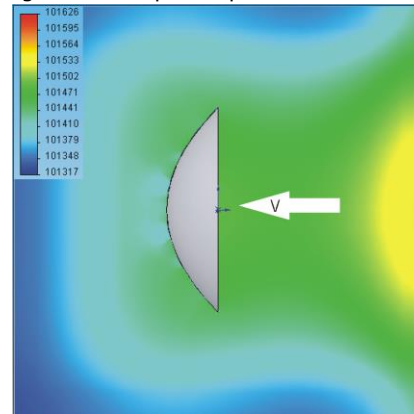


Fig.4.32. Câmpul de presiune la t = 0.2 s

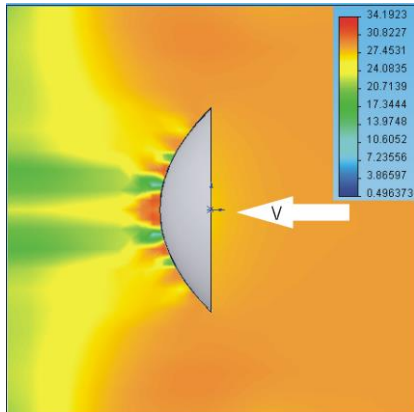


Fig.4.33. Câmpul de viteze la t = 0.3 s

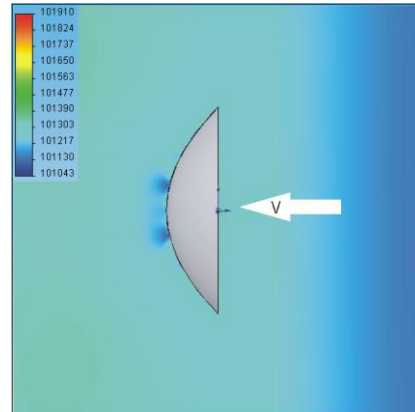


Fig.4.34. Câmpul de presiune la t = 0.3 s

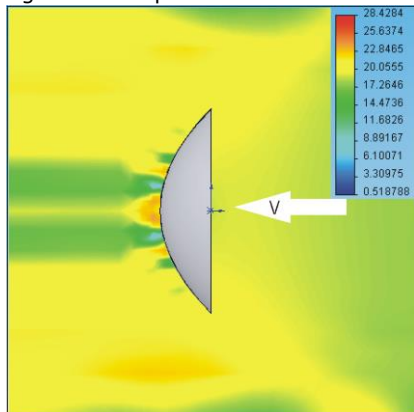


Fig.4.35. Câmpul de viteze la t = 0.4 s

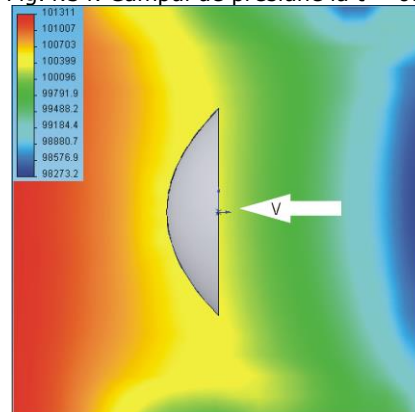


Fig.4.36. Câmpul de presiune la t = 0.4s

Antena parabolică este o structură direcționată după sursa de emisie al semnalului radio sau TV, amplasată în aer liber fără a fi ecranată de alte structuri. În aceste condiții structura antenei parabolice este supusă unei sarcini dinamice complexe provenite din vânt a cărui intensitate și direcție sunt imprevizibile. Vântul are, în general, o curgere puternic turbulentă iar interacțiunea curentului său cu structuri elastice produce efecte netaționare, ale căror sarcini dinamice au un spectru larg, fapt ce duce cu ușurință la inducerea pe structura elastică a unor vibrații de nivele înalte de tip rezonant.

4.5. Simularea interacțiunii fluid structură antenă, în 3D, utilizând programul ANSYS-CFX

Cu ajutorul programului ANSYS se simulează interacțiunea fluid – structură în cazul antenei parabolice. Structura antenei parabolice este rotită la diferite unghiuri în jurul axei verticale, unghiurile la care s-au făcut simulările sunt 0°, 45°, 90°, 135°, 180°. Simulările sunt făcute cu modulul ANSYS Multi-field (MFX). Utilizarea acestui modul implică analiza domeniului de fluid în CFX, iar analiza structurii în ANSYS.

Cele două module sunt cuplate tot timpul calculului, rezultatele calculate la un anumit pas de timp, cu modulul CFX, sunt transferate la modulul care analizează structura din ANSYS. Geometria antenei este realizată în modulul ANSYS DesignModeler, apoi este importată în modulul ANSYS Simulation. Se setează caracteristicile de material: densitatea 2700 kg/m³, modulul de elasticitate 7e10 Pa, coeficientul lui Poisson 0.345 corespunzătoare aluminiului. De asemenea se setează tipul de analiză ca flexibil dinamic. În cadrul tipului de analiză, flexibil dinamic, se setează pasul de timp și timpul total. De asemenea se setează interfața fluid structură.

Am recurs la o simplificare a modelului dinamic al antenei, legătura elastică de prindere a antenei prin suportul tubular a fost înlocuită cu un grup de arcuri. Constante arcurilor s-au ales în așa fel încât frecvența primului mod natural de vibrații al sistemului reflector grup de arcuri să fie apropiată valoric de cea a primului mod, determinată experimental pe structura reală. (14,28 Hz), câmpurile de viteze și presiuni din volumul de control nu se modifică în urma acestei simplificări, suprafața reflectorului scăldată de fluid fiind mult mai mare în comparație cu a celorlalte elemente. În urma acestei simplificări se reduce mult timpul de calcul, care și așa pentru o rulare a modelului simplificat poate ajunge până la 24 de ore, pentru un mesh de 9804 elemente, rularea făcându-se pe o stație SUN cu două procesoare.

Antena este suspendată de 12 arcuri (Fig.4.37.), arcurile sunt introduse cu ajutorul următoarelor lini de comandă:

/PREP7	N,,0.35649E-01,1,0.22859	E,1399,2275
ET,2,COMBIN14	E,1236,2270	N,,-1,-0.22627,-0.24664
R,1,12600	N,,0.35649E-01,0.24892,1	E,1414,2276
TYPE,2	E,1236,2271	N,,0.34967E-01,-1,-0.24664
REAL,1	N,,-1,0.24892,0.22859	E,1414,2277
N,,0.35620E-01,0.25418,-1	E,1236,2272	N,,0.34967E-01,-0.22627,-1
E,1233,2267	N,,-1,-0.24013,0.21494	E,1414,2278
N,,0.35620E-01,1,-0.22251	E,1399,2273	NSEL,S,,,2267,2278
E,1233,2268	N,,0.32420E-01,-1,0.21494	D,ALL,ALL
N,,-1,0.25418,-0.22251	E,1399,2274	ALLS
E,1233,2269	N,,0.32420E-01,-0.24013,1	FINISH

Comanda

ET,2,COMBIN14
R,1,12600
N,,0.35620E-01,0.25418,-1
E,1233,2267
NSEL,S,,,2267,2278
D,ALL,ALL

Funcția comenzii

setarea tipului de element
setarea constantei elastice
crearea nodului care determină capătul de arc
crearea elementului de arc
selectarea nodurilor capete de arc
constrângerea nodurilor capete de arc

Rotirea antenei se realizează cu ajutorul unui macrou în programul ANSYS Multiphysics Macroul pentru rotirea nodurilor antenei la 45 de grade este prezentat în continuare.

PI=4*ATAN(1.0)	nz1_ =nz_ *COS(ANG)-nx_ *SIN(ANG)
MULT =12	*VFILL,k_(I,1),DATA,I
PI15=PI/MULT	*VFILL,k_(I,2),DATA,nx1_
ANG =PI15*3	*VFILL,k_(I,3),DATA,ny_
*DIM,k_,ARRAY,2278,4,1, , ,	*VFILL,k_(I,4),DATA,nz1_
*DO,I,1,2278,1	*CFOPEN,'antena1','txt',''
*GET,nx_,NODE,I,LOC,X	*VWRITE,k_(1,1),k_(1,2),k_(1,3),k_(1,4)

```
*GET,ny_,NODE,I,LOC, Y
*GET,nz_,NODE,I,LOC,Z
nx1_=nz_*SIN(ANG)+nx_*COS(ANG)
(F9.0,TL1,3e20.9e3)
*ENDDO
*CFCLOS
```

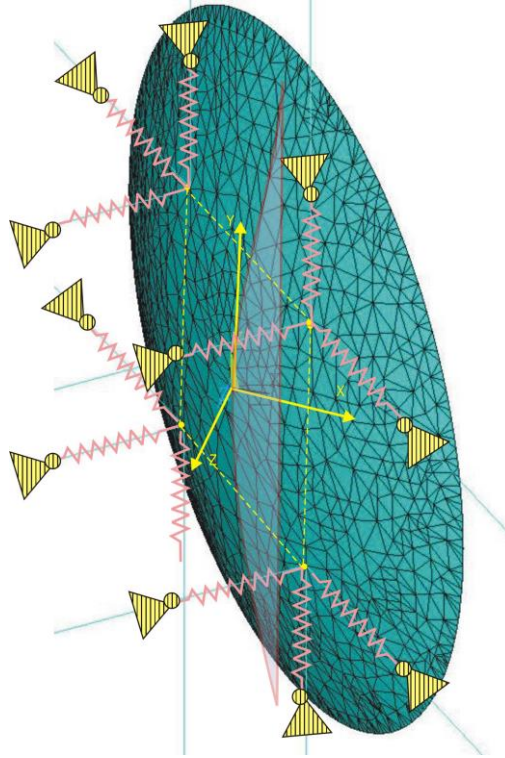


Fig.4.37. Antena cu arcurile in poziția de 45 de grade

După ce setările de mai sus sunt făcute se exportă setările într-un fișier cu extensia *.inp.

Mesh-ul este realizat in modulul Meshing din ANSYS Workbench. Mesh-ul are 2393 de noduri și 9804 de elemente.

Setarea pentru domeniul de fluid se face în modulul ANSYS CFX-Pre.

Se importă mesh-ul domeniului de fluid, care este făcut cu modulul Meshing. Se setează tipul simulării ca tranzient, timpul total, pasul de timp. De asemenea se setează modulul ANSYS Multi-field și fișierul input care a fost exportat din modulul Simulation.

Se alege fluidul, aer, având densitatea de 1.185 kg/m^3 și vâscozitatea dinamică de $1.831e-05 \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$

Se setează modelul de turbulența $k - \epsilon$, model de turbulență prezentat în capitolul 2.

Se setează condițiile de frontieră:

- freewalls – fețele laterale ale domeniului de fluid (paralelipiped); ; condiția de frontieră setată este "WALL" (perete); locația setată este dată de suprafețele F23.21, F24.21, F25.21, F26.21; opțiunea este de alunecare liberă (free slip) a fluidului.

4.5. – Simularea interacțiunii fluid structură antenă, în 3D, utilizând programul ANSYS-CFX 75

```
BOUNDARY:freewalls          Option = Stationary          END
Boundary Type = WALL        MESH MOTION:                WALL INFLUENCE ON
Location=F23.21,F24.21,F25.21,F26.21  BOUNDARY CONDITIONS:        FLOW:
                                          Option = Free Slip
```

- inlet – suprafața prin care intră fluidul; tipul de condiție de frontieră este "INLET" (zona de intrare a fluidului); locația setată este dată de suprafața F22.21; regimul de curgere a fost setat pe subsonic; s-a setat viteza de intrare în domeniul de fluid ca fiind dată de funcția MyVelX(t). Au fost făcute simulări pentru două funcții de viteză, o funcție de creștere a vitezei de la 0 la 60 m/s și o funcție de viteză care are valorile unei rafale de vânt. Rafala de vânt a fost extrasă dintr-un semnal înregistrat, valorile înregistrate fiind multiplicat cu un factor de amplificare pentru a aduce valoarea medie a vitezei rafalei de intrare în simulare la 30 m/s. Funcțiile de viteză MyVelX(t) au forma dată în figurile 4.38 și 4.40. Componentele pe direcțiile y și z ale vitezei vântului au valoare 0, simularea a fost făcută având viteza vântului doar pe direcția x. S-a setat intensitatea turbulenței ca fiind de valoare medie..

```
BOUNDARY:inlet              MASS AND MOMENTUM:          MESH MOTION:
Boundary Type = INLET       Option = Cartesian Velocity  Option = Stationary
Location = F22.21           Components                  END
BOUNDARY CONDITIONS:        U = MyVelX(t)              TURBULENCE:
FLOW REGIME:                V = 0 [m s^-1]             Option = Medium Intensity
Option = Subsonic           W = 0 [m s^-1]             and Eddy Viscosity Ratio
END                           END
```

- interface – suprafețele antenei; tipul de condiție de frontieră este "WALL" (perete); locația setată este dată de suprafețele F18.21, F19.21, F20.21; pentru "MESH MOTION" (deplasarea mesh-ului) s-au setat opțiunile "ANSYS MultiField", "ANSYS Interface = FSIN_1", "Receive from ANSYS = Total Mesh Displacement"- după calculul realizat în modulul ANSYS Multiphysics se trimite către modulul CFX deplasarea totală a mesh-ului, "Send to ANSYS = Total Force"- după calculul realizat în modulul CFX se trimite către modulul ANSYS Multiphysics forța totală; tot acest transfer între cele două module se realizează pe suprafețele de interfață; opțiunea de curgere la perete este fără alunecare (No Slip); opțiunea pentru rugozitatea peretelui este netedă (Smooth Wall).

```
BOUNDARY:interface          MESH MOTION:                Send to ANSYS = Total
Boundary Type = WALL        ANSYS Interface = FSIN_1    Force
Location=F18.21,F19.21,F20.21  Option = ANSYS MultiField  END
BOUNDARY CONDITIONS:        Receive from ANSYS = Total  WALL INFLUENCE ON FLOW:
                                          Mesh Displacement          Option = No Slip
                                          END
                                          WALL ROUGHNESS:
                                          Option = Smooth Wall
```

- outlet – suprafața de ieșire a fluidului; tipul de condiție de frontieră este "OPENING" (deschidere); locația setată este dată de suprafața F27.21; direcția de curgere a fost setată normală pe suprafața de ieșire; regimul de curgere a fost setat ca subsonic; sa setat presiunea relativă 0 Pa; deplasarea mesh-ului este setată ca staționară; intensitatea turbulenței este de valoare medie;

76 Simulări ale acțiunii vântului pe diverse structuri - 4

```
BOUNDARY:outlet
Boundary Type = OPENING
Location = F27.21
BOUNDARY CONDITIONS:
FLOW DIRECTION:
Option = Normal to Boundary Condition
END
Option = Subsonic
END
MASS AND MOMENTUM:
FLOW REGIME:
Option = Opening Pressure and Direction
Relative Pressure = 0 [Pa]
END
MESH MOTION:
Option = Stationary
END
TURBULENCE:
Option = Medium Intensity and Eddy Viscosity
Ratio
```

Pentru cazul simulării antenei la perete (wall) se fac următoarele setări: tipul de condiție de frontieră este "WALL" (perete); locația setată este suprafața F25.21; deplasarea mesh-ului este setată ca staționară; opțiunea de curgere la perete este fără alunecare (No Slip); opțiunea pentru rugozitatea peretelui este netedă (Smooth Wall).

```
BOUNDARY:wall
Boundary Type = WALL
Location = F25.21
BOUNDARY CONDITIONS:
MESH MOTION:
Option = Stationary
END
WALL INFLUENCE ON FLOW:
Option = No Slip
END
WALL ROUGHNESS:
Option = Smooth Wall
```

Valorile inițiale sunt setate cu ajutorul opțiunilor de mai jos:

- viteza inițială este dată de funcția MyVelX(t); presiunea relativă este 0 Pa

```
INITIALISATION:
Option = Automatic
INITIAL CONDITIONS:
Velocity Type = Cartesian
CARTESIAN VELOCITY COMPONENTS:
Option = Automatic with Value
U = MyVelX(t)
V = 0 [m s^-1]
W = 0 [m s^-1]
END
EPSILON:
Option = Automatic with Value
END
K:
Option = Automatic with Value
END
STATIC PRESSURE:
Option = Automatic with Value
Relative Pressure = 0 [Pa]
```

Setarea solverului:

- schema de advecție este setată pe rezoluție ridicată
- criteriul de convergență RMS - root mean square (valoarea medie pătratică) cu valoarea reziduală de $1e-4$
- numărul maxim de iterații este de 10
- calculul domeniului structural cu modulul ANSYS Multiphysics se realizează după calculul domeniului de fluid cu modulul CFX
- este setată metoda de integrare "Backward Euler"

```
SOLVER CONTROL:
ADVECTION SCHEME:
Option = High Resolution
END
CONVERGENCE CONTROL:
Maximum Number of Coefficient Loops = 3
Minimum Number of Coefficient Loops = 2
Timescale Control = Coefficient Loops
END
Convergence Target = 1e-3
Under Relaxation Factor = 0.75
END
COUPLING STEP CONTROL:
Maximum Number of Coupling Iterations = 10
Minimum Number of Coupling Iterations = 1
SOLUTION SEQUENCE CONTROL:
Solve ANSYS Fields = After CFX Fields
END
```

4.5. – Simularea interacțiunii fluid structură antenă, în 3D, utilizând
programul ANSYS-CFX 77

```
CONVERGENCE CRITERIA:                END
Residual Target = 1.E-4                END
Residual Type = RMS                    TRANSIENT SCHEME:
END                                     Option = Second Order Backward Euler
EXTERNAL SOLVER COUPLING CONTROL:      TIMESTEP INITIALISATION:
COUPLING DATA TRANSFER CONTROL:      Option = Automatic
Setarea variabilelor care vor fi scrise de solver și a punctelor monitorizate:
- variabilele care vor fi scrise în fișierele de rezultat sunt presiunea,
  deplasarea totală a mesh-ului și viteza
- punctele monitorizate sunt nodurile care sunt poziționate pe circumferința
  antenei la 90 de grade (nodurile 118, 176, 1, 59) și nodurile de care sunt
  prinse arcurile de antenă (nodurile 1233, 1236, 1399, 1414)
- variabila listată la nodurile monitorizate este deplasarea totală a mesh-ului
  pe cele trei axe x, y, z

OUTPUT CONTROL:                        MONITOR POINT:node1414y
MONITOR OBJECTS:                       Cartesian Coordinates = -0.199125 [m], -
MONITOR BALANCES:                      0.226271 [m], 2.65773 [m]
Option = Full                           Option = Cartesian Coordinates
END                                       Output Variables List = Total Mesh
MONITOR FORCES:                        Displacement Y
Option = Full                           END
END                                       MONITOR POINT:node1414z
MONITOR PARTICLES:                     Cartesian Coordinates = -0.199125 [m], -
Option = Full                           0.226271 [m], 2.65773 [m]
END                                       Option = Cartesian Coordinates
MONITOR POINT:node118x                 Output Variables List = Total Mesh
Cartesian Coordinates = -0.528144 [m],   Displacement Z
3.91123e-15 [m], 2.86379 [m]           END
Option = Cartesian Coordinates          MONITOR POINT:node176x
Output Variables List = Total Mesh      Cartesian Coordinates = -0.0921372 [m], -
Displacement X                         0.624941 [m], 2.42779 [m]
END                                       Option = Cartesian Coordinates
MONITOR POINT:node118y                 Output Variables List = Total Mesh
Cartesian Coordinates = -0.528144 [m],   Displacement X
3.91123e-15 [m], 2.86379 [m]           END
Option = Cartesian Coordinates          MONITOR POINT:node176y
Output Variables List = Total Mesh      Cartesian Coordinates = -0.0921372 [m], -
Displacement Y                         0.624941 [m], 2.42779 [m]
END                                       Option = Cartesian Coordinates
MONITOR POINT:node118z                 Output Variables List = Total Mesh
Cartesian Coordinates = -0.528144 [m],   Displacement Y
3.91123e-15 [m], 2.86379 [m]           END
Option = Cartesian Coordinates          MONITOR POINT:node176z
Output Variables List = Total Mesh      Cartesian Coordinates = -0.0921372 [m], -
Displacement Z                         0.624941 [m], 2.42779 [m]
END                                       Option = Cartesian Coordinates
MONITOR POINT:node1233x                Output Variables List = Total Mesh
Cartesian Coordinates = -0.182527 [m],   Displacement Z
0.254185 [m], 2.64021 [m]             END
Option = Cartesian Coordinates          MONITOR POINT:node1x
Output Variables List = Total Mesh      Cartesian Coordinates = 0.355736 [m],
Displacement X                         2.29613e-16 [m], 1.97991 [m]
END                                       Option = Cartesian Coordinates
MONITOR POINT:node1233y                Output Variables List = Total Mesh
```

```

Cartesian Coordinates = -0.182527 [m],
0.254185 [m], 2.64021 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement Y
END
MONITOR POINT:node1233z
Cartesian Coordinates = -0.182527 [m],
0.254185 [m], 2.64021 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement Z
END
MONITOR POINT:node1236x
Cartesian Coordinates = 0.13643 [m],
0.248921 [m], 2.32121 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement X
END
MONITOR POINT:node1236y
Cartesian Coordinates = 0.13643 [m],
0.248921 [m], 2.32121 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement Y
END
MONITOR POINT:node1236z
Cartesian Coordinates = 0.13643 [m],
0.248921 [m], 2.32121 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement Z
END
MONITOR POINT:node1399x
Cartesian Coordinates = 0.129062 [m], -
0.240133 [m], 2.33315 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement X
END
MONITOR POINT:node1399y
Cartesian Coordinates = 0.129062 [m], -
0.240133 [m], 2.33315 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement Y
END
MONITOR POINT:node1399z
Cartesian Coordinates = 0.129062 [m], -
0.240133 [m], 2.33315 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement Z
END
MONITOR POINT:node1414x
Cartesian Coordinates = -0.199125 [m], -
Displacement X
END
MONITOR POINT:node1y
Cartesian Coordinates = 0.355736 [m],
2.29613e-16 [m], 1.97991 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement Y
END
MONITOR POINT:node1z
Cartesian Coordinates = 0.355736 [m],
2.29613e-16 [m], 1.97991 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement Z
END
MONITOR POINT:node59x
Cartesian Coordinates = -0.080271 [m],
0.624941 [m], 2.41592 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement X
END
MONITOR POINT:node59y
Cartesian Coordinates = -0.080271 [m],
0.624941 [m], 2.41592 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement Y
END
MONITOR POINT:node59z
Cartesian Coordinates = -0.080271 [m],
0.624941 [m], 2.41592 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement Z
END
MONITOR RESIDUALS:
Option = Full
END
MONITOR TOTALS:
Option = Full
END
RESULTS:
File Compression Level = Default
Option = Standard
END
TRANSIENT RESULTS:Transient Results 1
File Compression Level = Default
Include Mesh = No
Option = Selected Variables
Output Variables List = Pressure,Total Mesh
Displacement,Velocity
OUTPUT FREQUENCY:
Option = Every Coupling Step

```

4.5. – Simularea interacțiunii fluid structură antenă, în 3D, utilizând programul ANSYS-CFX 79

0.226271 [m], 2.65773 [m]
Option = Cartesian Coordinates
Output Variables List = Total Mesh
Displacement X
END

Se scrie fișierul pentru solver, fișierul are extensia def, el urmează să fie rulat de către solver-ul CFX-Solver.

Rezultatele obținute în urma rulării sunt prelucrate de către modulul de postprocesare CFX-Post. În continuare se prezintă rezultatele simulărilor.

Simularea curgerii peste structura antenei poziționată cu axa la 0° față de direcția de curgere

Domeniul de fluid este un paralelipiped cu dimensiunile 6 m x 6 m x 12 m. Direcția și sensul vântului este perpendiculara pe fața din dreapta a domeniului de fluid (reprezentată prin săgeată în figura de mai jos).

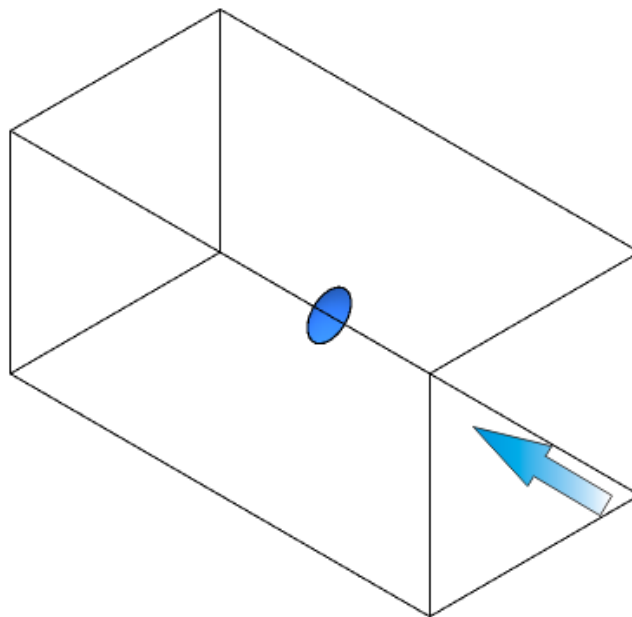


Fig.4.38. Domeniul de fluid și poziția antenei

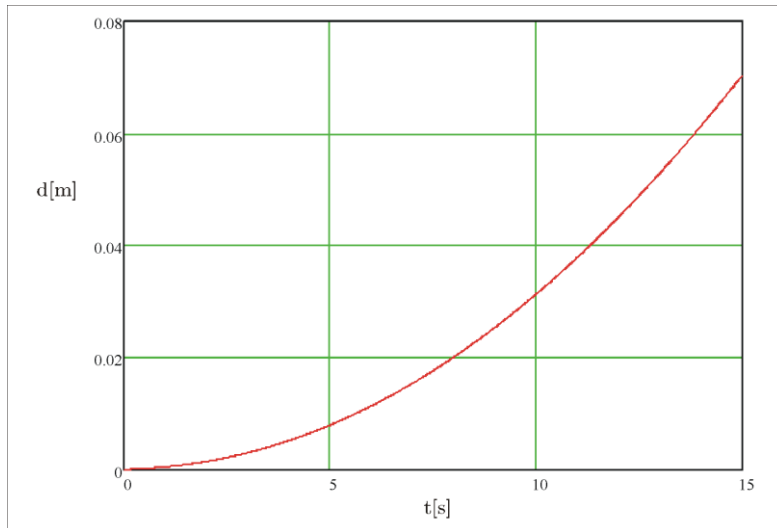


Fig.4.39. Deplasarea nodului de sus al antenei când viteza la intrare este crescătoare de la 0 la 60 m/s

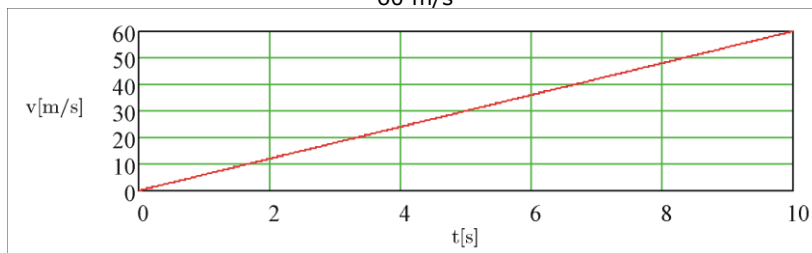


Fig.4.40. Graficul vitezei la intrare în domeniul de fluid

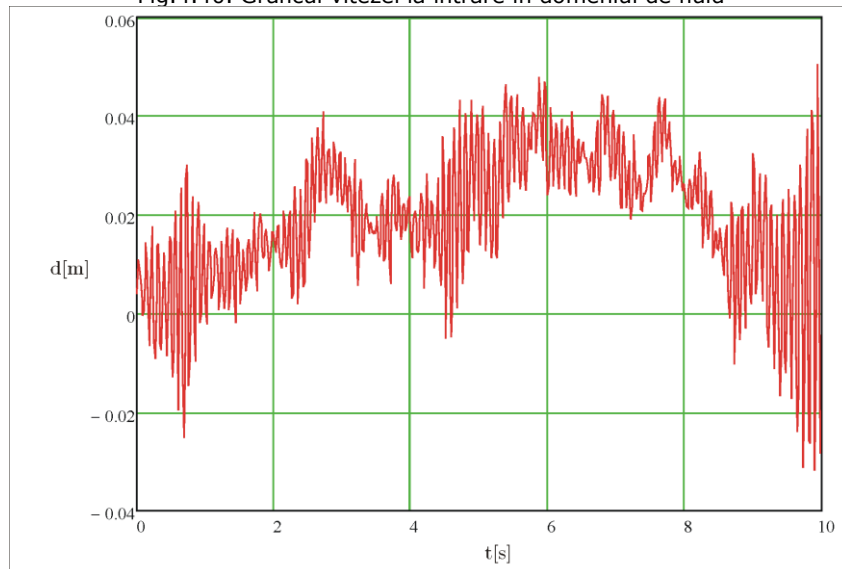


Fig.4.41. Deplasarea nodului de sus al antenei când viteza de la intrare are forma dată în figura 4.42.

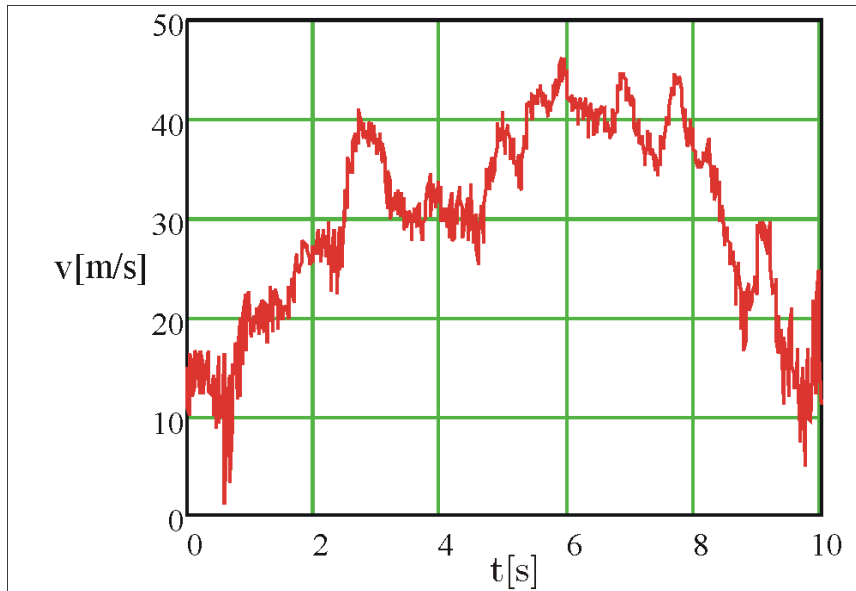


Fig.4.42. Graficul vitezei la intrare în domeniul de fluid

Simularea curgerii peste structura antenei poziționată cu axa la 45° față de direcția de curgere

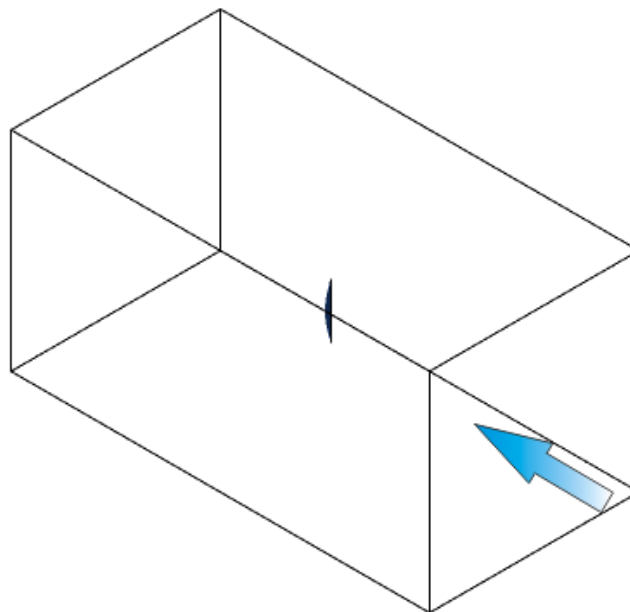


Fig.4.43. Domeniul de fluid și poziția antenei

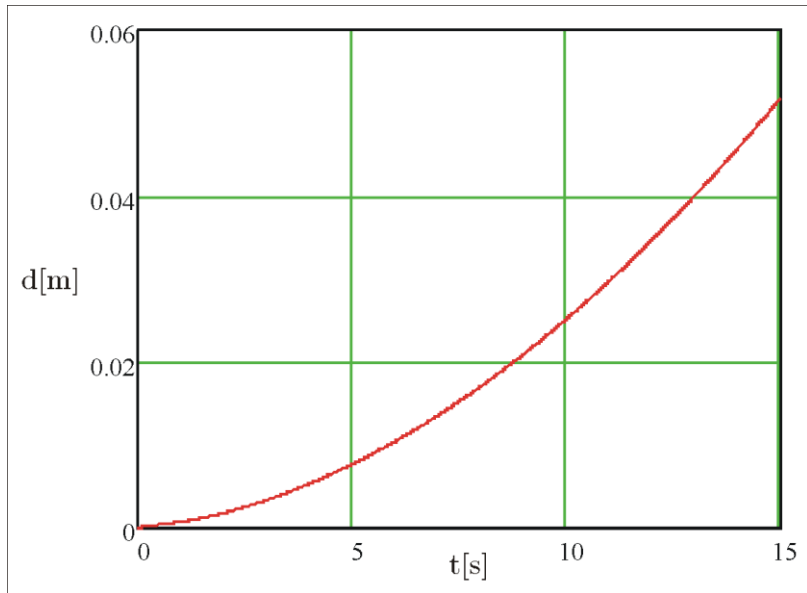


Fig.4.44. Deplasarea nodului de sus al antenei când viteza la intrare este crescătoare de la 0 la 60 m/s (fig.4.40.)

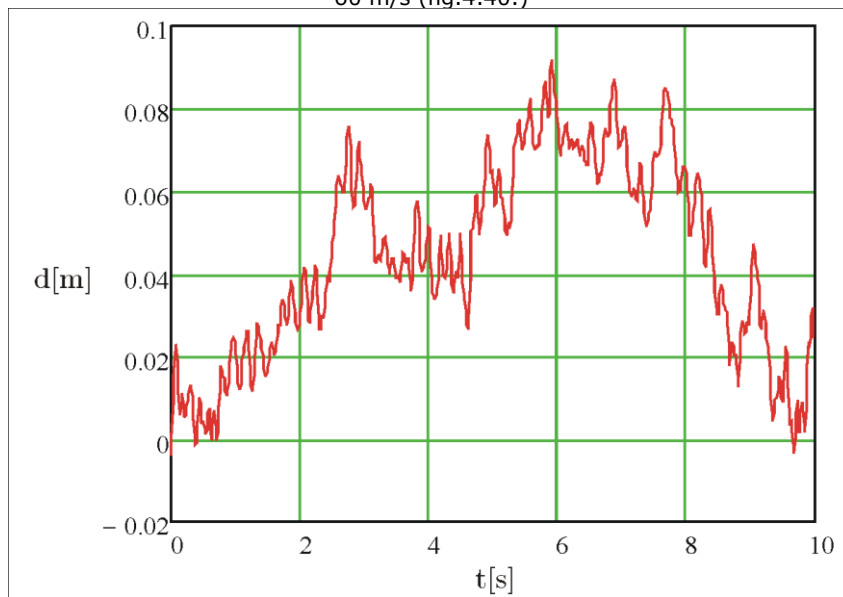


Fig.4.45. Deplasarea nodului de sus al antenei când viteza de la intrare are forma dată în figura 4.42.

Simularea curgerii peste structura antenei poziționată cu axa la 90° față de direcția de curgere

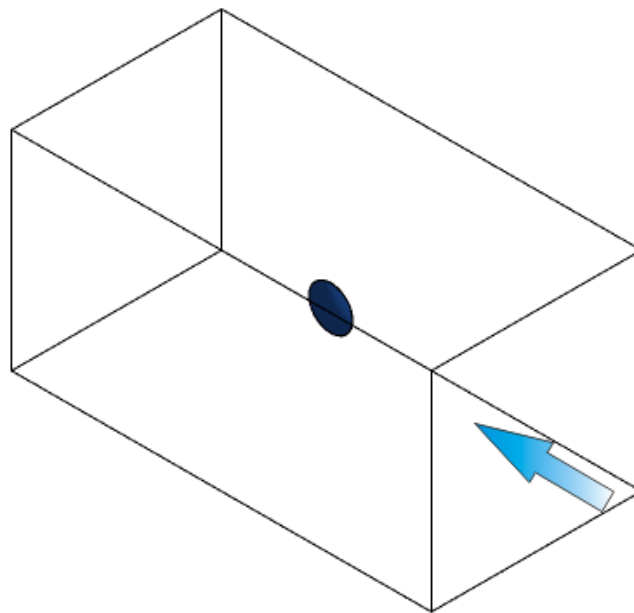


Fig.4.46. Domeniul de fluid și poziția antenei

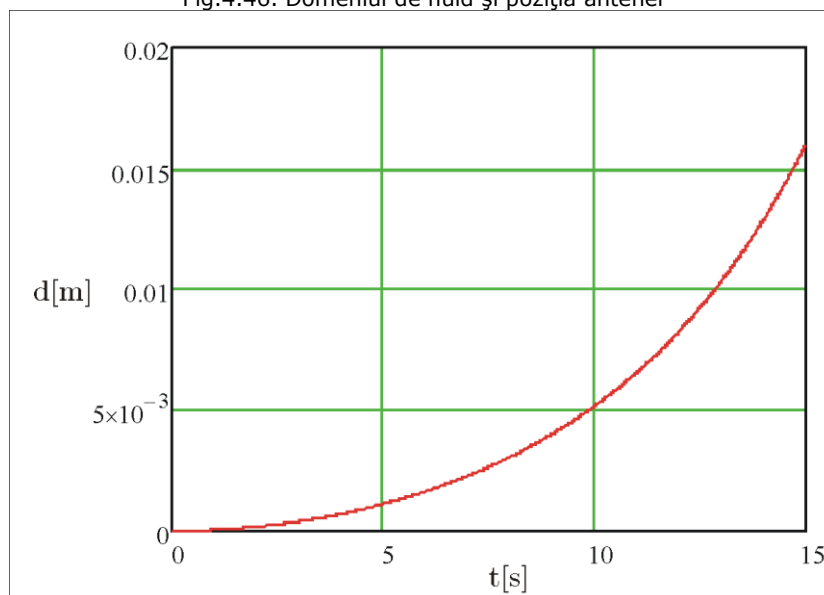


Fig.4.47. Deplasarea nodului de sus al antenei când viteza la intrare este crescătoare de la 0 la 60 m/s(fig.4.40.)

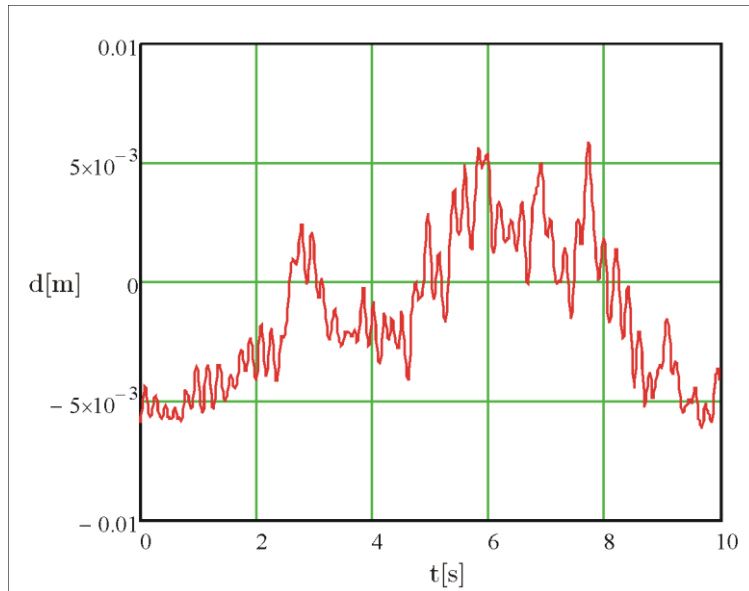


Fig.4.48. Deplasarea nodului de sus al antenei când viteza de la intrare are forma dată în figura 4.42.

Simularea curgerii peste structura antenei poziționată cu axa la 135° față de direcția de curgere

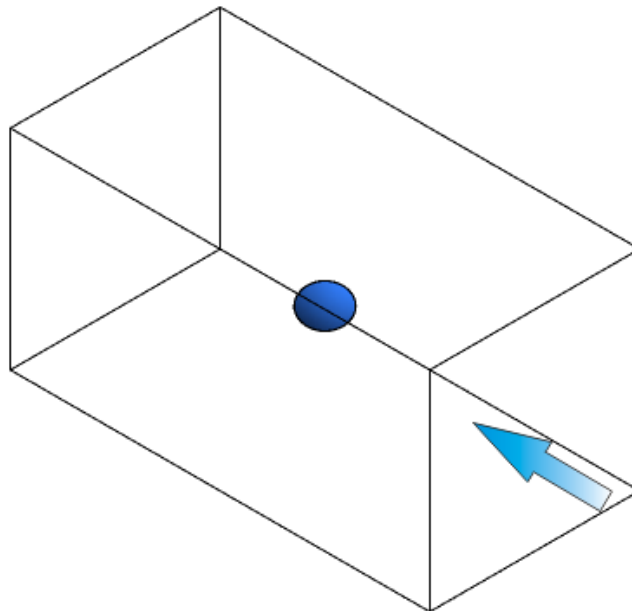


Fig.4.49. Domeniul de fluid și poziția antenei

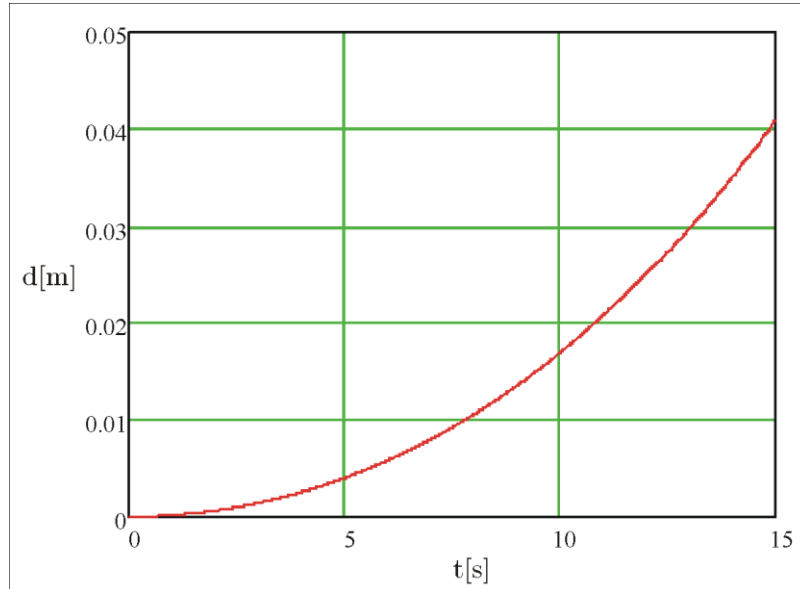


Fig.4.50. Deplasarea nodului de sus al antenei când viteza la intrare este crescătoare de la 0 la 60 m/s(fig. 4.40.)

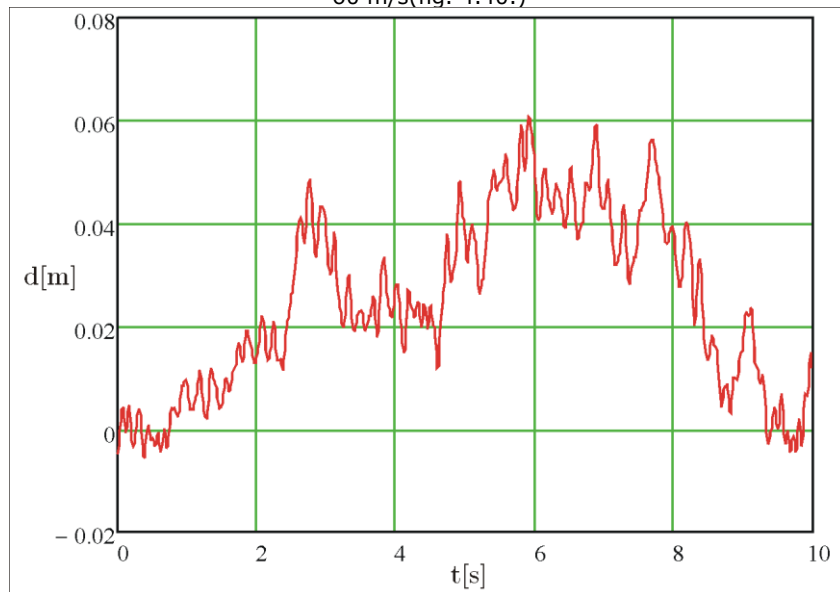


Fig.4.51. Domeniul de fluid și poziția antenei Deplasarea nodului de sus al antenei când viteza de la intrare are forma dată în figura 4.42.

Simularea curgerii peste structura antenei poziționată cu axa la 180° față de direcția de curgere

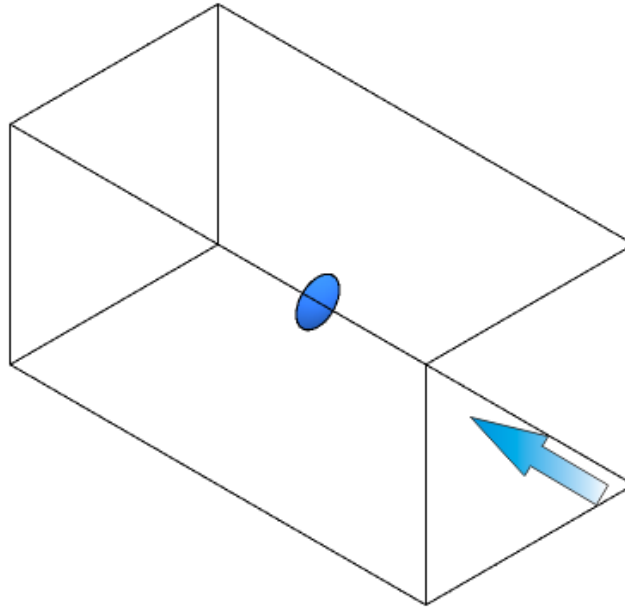


Fig.4.52. Domeniul de fluid și poziția antenei

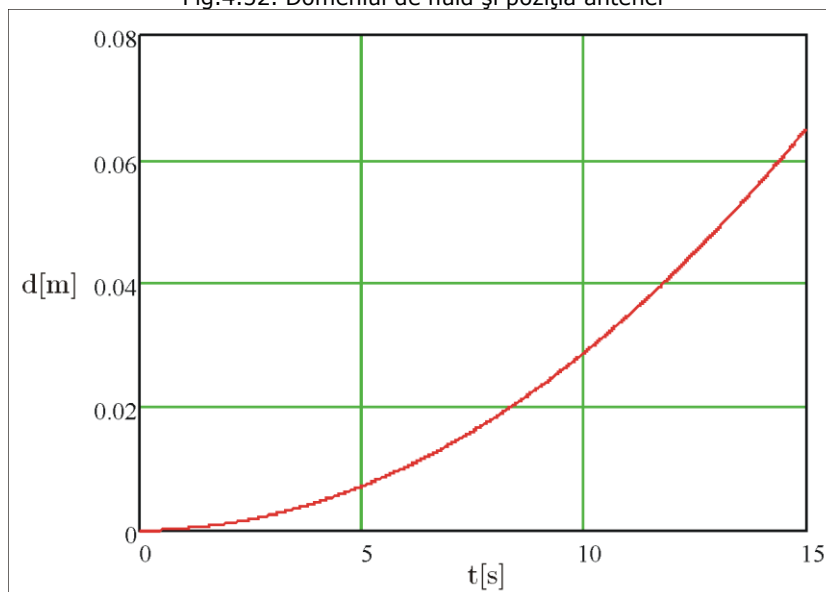


Fig.4.53. Deplasarea nodului de sus al antenei când viteza la intrare este crescătoare de la 0 la 60 m/s(fig. 4.40.)

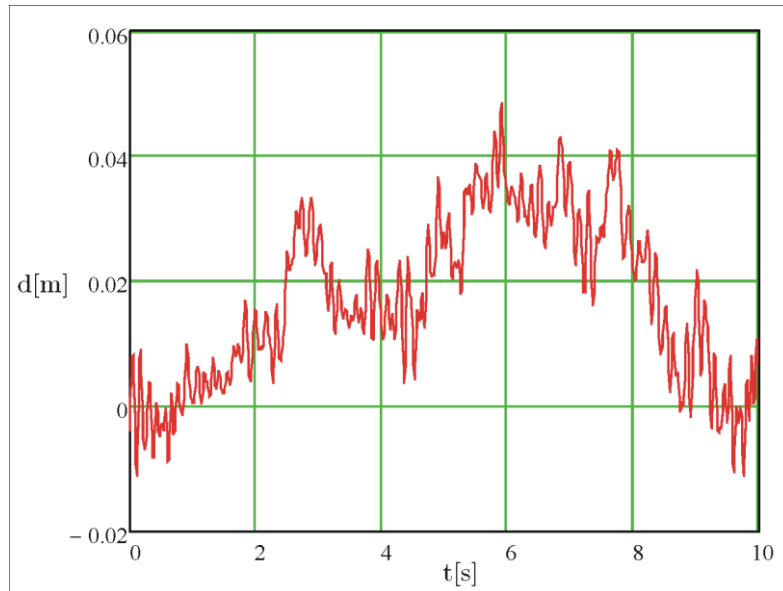


Fig.4.54. Deplasarea nodului de sus al antenei când viteza de la intrare are forma data în figura 4.42.

Simularea curgerii peste structura antenei poziționată cu axa la 135° față de direcția de curgere, la perete

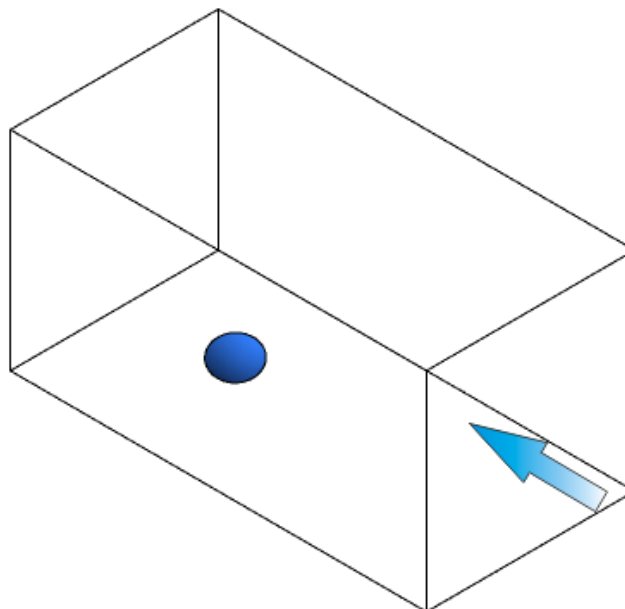


Fig.4.55. Domeniul de fluid și poziția antenei

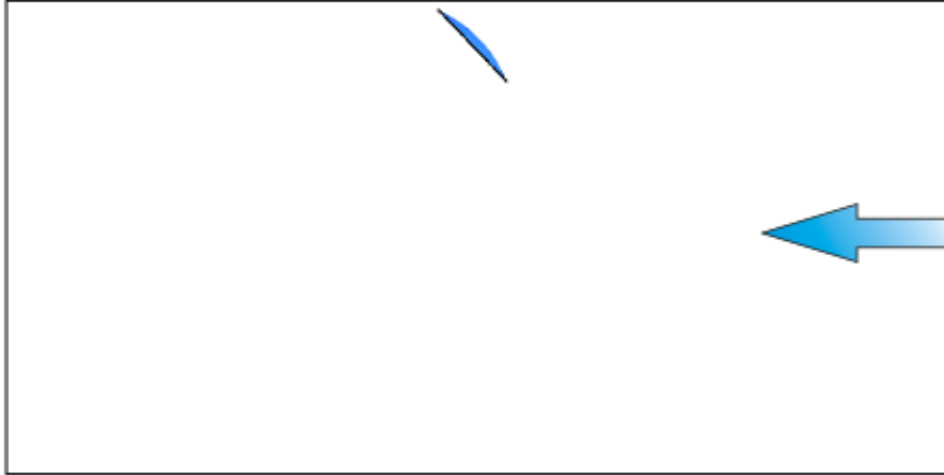


Fig.4.56.Vederea de jos a domeniului de fluid și poziția antenei

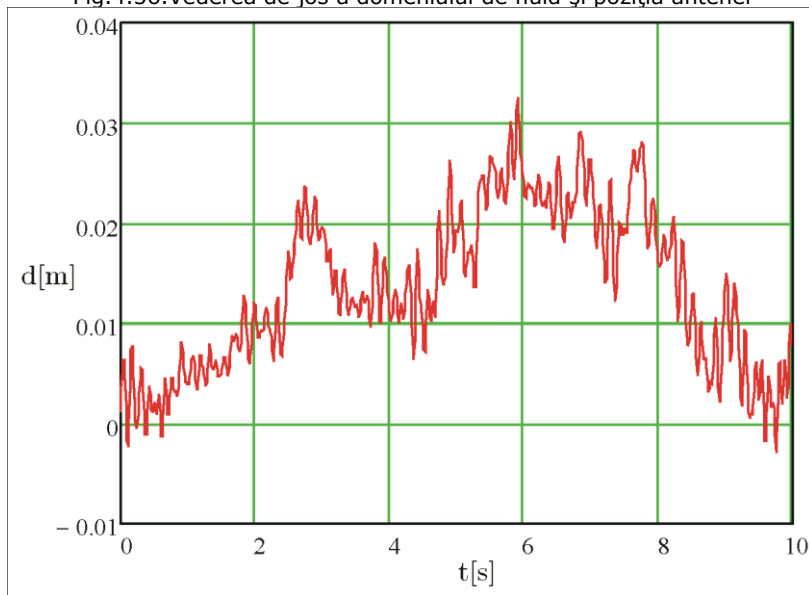


Fig.4.57. Deplasarea nodului de sus al antenei când viteza de la intrare are forma dată în figura 4.42.

În anexă sunt date programele pentru simulările prezentate în subcapitolul 4.5.

5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE

Efectele dinamice care iau naștere în timpul acțiunii vântului asupra unei structuri elastice sunt, așa cum s-a arătat în precedentele capitole, deosebit de complexe, simularea lor prin metode numerice întâmpinând, de asemenea, dificultăți majore, printre care resurse masive de calcul. Din acest motiv, chiar și unde acestea există, la marile centre de cercetări, se impun și se efectuează cercetări experimentale complexe, în tuneluri de vânt, pe modele sau chiar pe structuri la scară naturală.

Neavând la dispoziție asemenea facilități tehnice, extrem de costisitoare, am recurs, pentru structura antenei parabolice, la testări structurale dinamice pe un stand de laborator, la experimentări în aer liber la acțiunea reală a vântului, antena fiind amplasată pe acoperișul clădirii de Orologerie a Facultății de Mecanică de la Universitatea Politehnică din Timișoara (fig.5.17). De asemenea, pentru a provoca o interacțiune controlabilă a structurii antenei cu aerul, am plasat antena pe un vehicul în mișcare cu viteză de deplasare impusă creând astfel o încărcare artificială a structurii antenei. S-a plasat antena pe portbagajul unui autoturism Dacia 1300 și pe șasiul unui autocamion.

5.1. Cercetări de laborator

5.1.1. Verificarea geometrică a profilelor reflectorului parabolic

Geometria reflectorului parabolic al antenei are un rol important în focalizarea undelor pe senzorul LNC-ului. Din acest motiv, și din faptul că nu am avut la dispoziție documentația antenei am efectuat măsurători dimensionale de-a lungul a zece secțiuni ale unui sector de 90° (fig.5.1), utilizând o riglă gradată R_g , plasată în planul reflectorului parabolic, față de care s-au măsurat cu ajutorul unui șubler adâncimile y și funcție de coordonata x indicată pe rigla gradată.

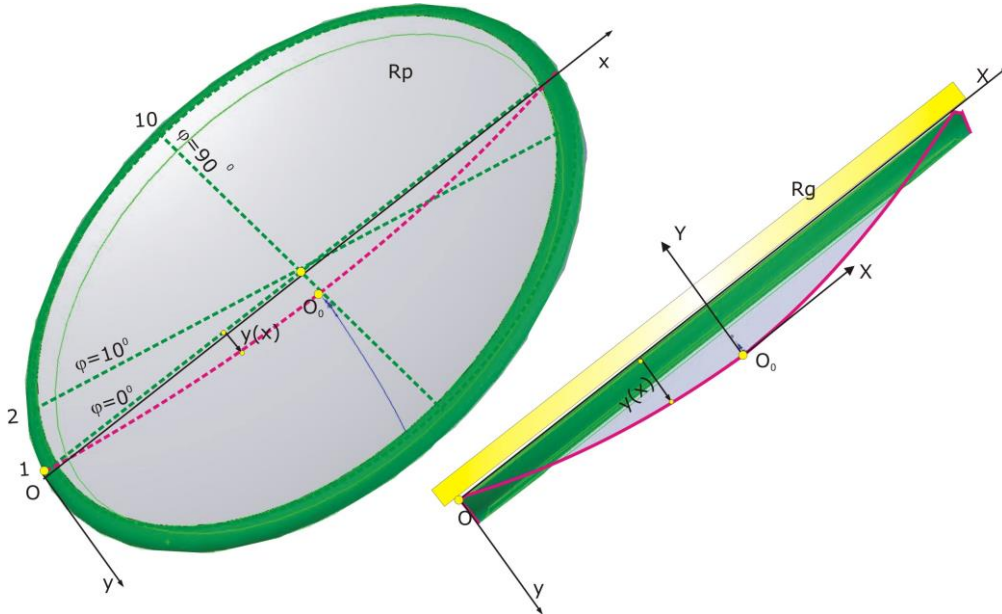


Fig. 5.1 Controlul dimensional al reflectorului parabolic

Tabel 5.1. Cotele punctelor pentru zece secțiuni de profiluri radiale ale reflectorului parabolic

x mm	$\varphi=0^{\circ}$	$\varphi=10^{\circ}$	$\varphi=20^{\circ}$	$\varphi=30^{\circ}$	$\varphi=40^{\circ}$	$\varphi=50^{\circ}$	$\varphi=60^{\circ}$	$\varphi=70^{\circ}$	$\varphi=80^{\circ}$	$\varphi=90^{\circ}$
	y(x) mm									
50	15	14	11	15.4	15.9	16	15.6	15.4	15	13
100	29.4	29.5	30.4	30.1	30.7	30.7	30.5	29	28.5	27
150	42	42.4	43.5	43	43.9	44	43	42.3	41.7	39.5
200	54	54	55.4	55.5	55.3	55.2	54.6	53.5	53	51.3
250	63.8	64.5	66	66	66.6	66.1	66	64.3	64.3	61.9
300	73	73.7	75	75.8	76.2	76	75.2	75	73.3	71.5
350	81.6	81.5	83	83.9	85	84.6	83.7	83.2	82.8	80.2
400	87	89.3	89	90.6	91.7	91.7	91.8	91	89.8	87.8
450	91.5	94	94.8	95.7	96.7	97.3	97.3	97.4	96.4	94.2
500	94.5	96.5	99	100.6	97	101.7	102.3	103.2	101	100.3
550	97	99	100.1	102.5	105.2	106.1	106.5	106.9	105.7	104.9
600	97.2	100.3	100.5	103	106.2	108	108.7	109.1	108.5	108.1
650	97.5	98.5	102	102.6	107.4	108.7	109.6	110.1	110.6	109.3
700	96.5	98	100.9	101.6	106.7	108.6	109.7	111.2	110.6	110
750	93.2	95.7	99.6	101.1	92.8	106.7	109.1	110.2	110.3	109.5
800	87.5	91	95.5	97	99.6	103.1	106.5	107.3	108.3	107.1
850	81	84.8	90	92	95.4	86.2	102.5	103.1	104.1	103.7
900	73.8	76	83.6	84.1	88.7	92.4	96.3	98.7	98.7	98.7
950	64.9	68.4	74	76	80.2	84	88	91.2	91.9	92
1000	54.1	57	61.5	65	71	75	79	83.4	83.5	83.9
1050	40	56	49.8	52.8	58.7	64	69	72.6	73.7	74.7
1100	28	31	36	39.7	45.9	51	56	61.8	62.4	63.1
1150	13.3	17	21.5	24.9	31.3	36.6	42	46.8	49	49.8
1200	0	0.4	5.1	7.5	13.6	19.7	26.2	31	34.4	35
1250	0	0	0	0	0	1	8	13.6	17.7	18.7
1300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2

Pe baza valorilor măsurate (tab.5.1.) în figura 5.2. se prezintă grafic cele zece profiluri transversale radiale investigate, pentru un sector de 90° .

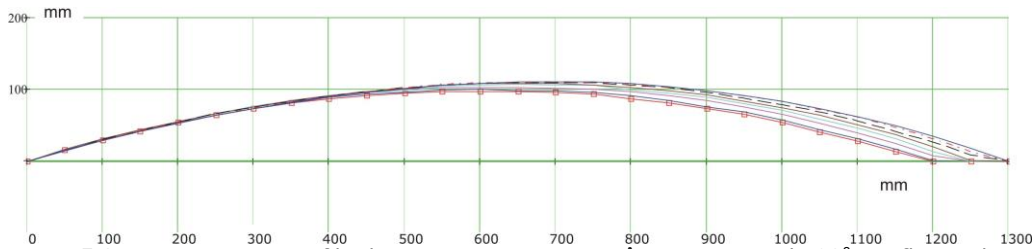


Fig. 5.2 Reprezentarea profilurilor pentru zece secțiuni într-un sector de 90° a reflectorului parabolic

Din motive optice, de concentrarea undelor pe LNC se poate observa că paraboloidul reflectorului are o formă puțin alungită cu diferența de 100 mm. S-au utilizat aceste date pentru construcția modelului antenei. Ca prim pas s-au aproximat aceste profiluri prin intermediul unor polinoame de ordinul doi (incluzând parabola):

$$y(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 \quad (5.1)$$

care va verifica fiecare punct k al profilului formând un sistem de n ecuații lineare:

$$y(x_k) = y_k = c_0 + c_1x_k + c_2x_k^2; \quad k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (5.2)$$

cu trei necunoscute parametrii c_0 , c_1 și c_2 .

Sistemul fiind supraabundent rezolvarea lui se face prin metoda regresivă a celor mai mici pătrate astfel încât:

$$\{c\} = \begin{Bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \end{Bmatrix} = [A]^{-1} \{Y\} \quad (5.3)$$

unde:

$$[A] = \begin{bmatrix} n & \sum_{k=1}^n x_k & \sum_{k=1}^n x_k^2 \\ \sum_{k=1}^n x_k & \sum_{k=1}^n x_k^2 & \sum_{k=1}^n x_k^3 \\ \sum_{k=1}^n x_k^2 & \sum_{k=1}^n x_k^3 & \sum_{k=1}^n x_k^4 \end{bmatrix} \text{ și } \{Y\} = \begin{Bmatrix} \sum_{k=1}^n y_k \\ \sum_{k=1}^n y_k x_k \\ \sum_{k=1}^n y_k x_k^2 \end{Bmatrix} \quad (5.4)$$

Valoarea maximă a cotei y_{\max} va fi pentru:

$$\frac{dy(x)}{dx} = c_1 + 2c_2x = 0 \Rightarrow x_0 = -\frac{c_1}{2c_2} \quad (5.5)$$

cu ajutorul cărora se poate face o translație de axe $Oxy \Rightarrow O_0XZ$

$$Y(X) = y_{\max} - c_0 - c_1(X - x_0) - c_2(X - x_0)^2 \quad (5.6)$$

originea O_0 fiind acum comună pentru fiecare sistem de axe corespunzătoare celor zece profiluri.

5.1.2. Testarea dinamică structurală pe un stand de laborator [26]

În figura 5.3. este prezentat standul pentru testarea dinamică a structurii antenei parabolice, Kathrein CAS 120. Antena este montată pe un bloc metalic rigid, 4, suspendat, prin intermediul a patru curele elastice 5, de un suport metallic auxiliar 6.

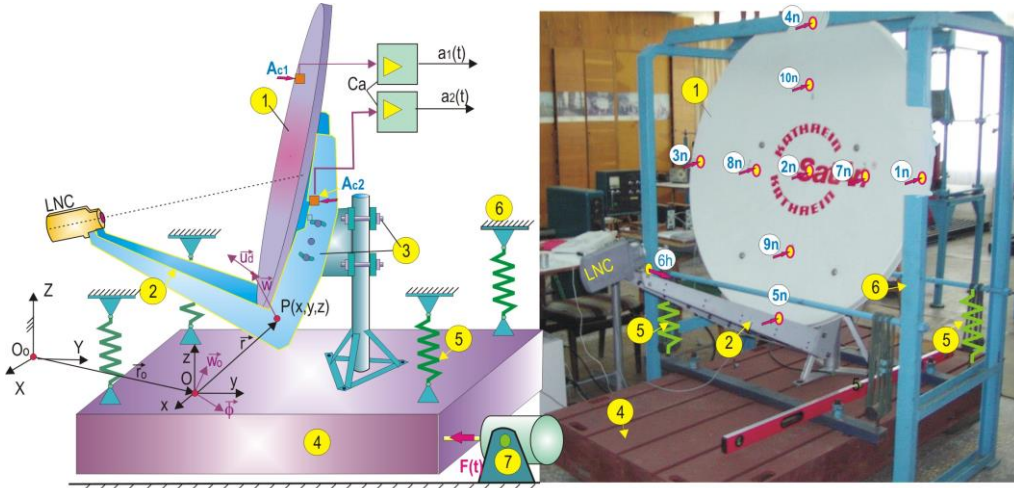


Fig. 5.3 Montajul experimental pentru analiza modală a antenei parabolice

Ansamblul celor două structuri, antena și blocul metalic 4, suspendat de 4 curele elastice, constă într-un sistem vibrator în care toate cele șase frecvențe naturale de corp rigid sunt foarte joase, sub 3 Hz. În cazul excitării sistemului vibrant cu un vibrator 7 la frecvența de excitație de valoare mai mare de 5-7 Hz, comportamentul dinamic al sistemului, este unul cunoscut ca *free-free*, în sensul că sistemul poate fi considerat ca izolat din punct de vedere energetic față de mediul înconjurător.

Pentru structura rigidă, 4, având mișcări vibratorii de elongații mici, legea de distribuție a vibrației este dată de deplasarea vectorului \vec{w} a punctului P de-a lungul structurii (w_x, w_y, w_z sunt componentele de-a lungul axelor sistemului de referință fix O_0XYZ):

$$\vec{w} = \vec{w}_0 + \vec{\varphi} \times \vec{r} \quad (5.7)$$

\vec{w}_0 și $\vec{\varphi}$ sunt vectorii mișcării corpului rigid: trei translații a unui punct arbitrar O (componentele vectorului \vec{w}_0) și trei mișcări vibratorii de rotație (componentele vectorului $\vec{\varphi}$), $\vec{r} = \vec{OP}$ este vectorul de poziție.

Dacă punctul P aparține structurii elastice (antena), la legea (5.7) este atașat vectorul deformație \vec{u}_d :

$$\vec{w} = \vec{w}_0 + \vec{\varphi} \times \vec{r} + \vec{u}_d \quad (5.8)$$

Mișcarea vibratorie a structurii este un proces ciclic de schimbare între două forme de energie: energia cinetică și energia potențială de deformație. În această situație un model dinamic discret al vibrației în deformații trebuie să fie de forma:

$$[M_e]\{\ddot{u}_d\} + [K_e]\{u_d\} = -[M_t]\{\ddot{w}_0\} \quad (5.9)$$

unde $\{u_d\}_{n \times 1}$ este vectorul coloană a deplasărilor pentru deformația în n , care definește deformația structurii elastice. Vectorul coloană $\{\ddot{w}_O\}$ este de forma:

$$\{w_O\} = \{w_{Ox}, w_{Oy}, w_{Oz}, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z\}^T \quad (5.10)$$

componentele lui sunt legile de translație și rotație ale mișcării de transport a corpului rigid.

Matricea $[M_t]$ trebuie să conțină masele și momentele de inerție, deduse din aplicarea metodei de discretizare.

Considerând că cele două structuri sunt formate dintr-un sistem de puncte materiale, putem aplica legea centrului de masă și legea impulsului, care pentru sistemul liber, *free-free* (în absența forțelor exterioare sistemul fiind izolat), sunt de forma:

$$\int_S \vec{w} dm = 0 \quad (5.11)$$

și dacă punctul O este centru de masă:

$$\frac{d}{dt} \left(\int_S \vec{r} \times \vec{w} dm \right) = 0 \quad (5.12)$$

integrala fiind aplicată pe întreaga structură.

Cele două relații (5.11) și (5.12) conduc la 6 ecuații având următoarea formă matricială:

$$[D]_{6 \times N} \{u_d\}_{N \times 1} + m[H]_{6 \times 6} \{w_O\}_{6 \times 1} = \{0\} \quad (5.13)$$

unde matricea:

$$[H] = \begin{bmatrix} [I] & [0] \\ [0] & \frac{1}{m}[J] \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

este matricea de inerție a structurii nedeformate împărțită la m , masa structurii, $[J]$ fiind matricea momentelor de inerție față de sistemul de referință Oxyz (O este centru de masă).

Din ecuația (5.9) și (5.13) rezultă ecuația:

$$\left([M_e] - \frac{1}{m} [M_t][H]^{-1}[D] \right) \{\ddot{u}_d\} + [K_e] \{u_d\} = \{0\} \quad (5.15)$$

Masa m este ~ 1200 kg din care doar 18.3 kg reprezintă masa antenei. În aceste condiții termenii produsului matricial $[M_t][H]^{-1}[D]$ împărțit la valoarea masei m de 1200 kg pot fi neglijați, raportați la termenii matricei de masa $[M_e]$. În acest context rezultă sistemul de ecuații diferențiale:

$$[M_e] \{\ddot{u}_d\} + [K_e] \{u_d\} = \{0\} \quad (5.16)$$

sistemul de ecuații a structurii antenei cu suportul fixat în structura rigidă.

Datorită forței de excitație $f(t)$, introdusă în sistem de vibratorul 7, mișcarea blocului rigid induce structurii elastice a antenei o excitație inerțială similară cu o excitație multipunct.

Aplicând această metodă, toate modurile naturale prezente în domeniul de testare sunt excitate.

Suspensia de tip liber-liber are un alt important avantaj: structura testată este izolată de perturbațiile mediului, care în analiza modală a structurilor cu amortizare slabă pot afecta foarte mult rezultatele.

Pentru structurile cu amortizare foarte slabă excitația armonică, pentru analiza modală, este foarte dificil de setat staționar la frecvențele apropiate de o frecvență naturală dată.

În aceste condiții mai bine este să se oprească brusc excitația când se obține efectul de rezonanță, vibrația liberă amortizată care apare este acordată pe frecvența modului natural vizat.

5.1.3. Algoritmul pentru estimarea parametrilor modali folosind semnalele vibrațiilor libere amortizate [25]

Pentru un model dinamic liniar al structurii legile mișcării liber amortizate sunt descrise de vectorul coloană al sumei modale:

$$\{u_d(t)\} = \sum_{r=1}^n \left(\{X_r\} e^{\lambda_r t} + \{\bar{X}_r\} e^{\bar{\lambda}_r t} \right) \quad (5.17)$$

unde valorile proprii λ_r , $\bar{\lambda}_r$ și vectorii proprii $\{X_r\}$, $\{\bar{X}_r\}$ au forme complex conjugate:

$$\begin{aligned} \lambda_r &= -\sigma_r + j p_r; & \bar{\lambda}_r &= -\sigma_r - j p_r \\ \{X_r\} &= \{X_{rR}\} + j \{X_{rI}\}; & \{\bar{X}_r\} &= \{X_{rR}\} - j \{X_{rI}\} \quad (j = \sqrt{-1}) \end{aligned} \quad (5.18)$$

ecuația (5.17) va ajunge la următoarea formă:

$$\{u(t)\} = 2 \sum_{r=1}^n e^{-\sigma_r t} A_r \cos(p_r t + \varphi_r) \quad (5.19)$$

$$\varphi_r = \tan^{-1} \frac{X_{rI}}{X_{rR}} \quad A_r = \sqrt{X_{rR}^2 + X_{rI}^2} \quad (5.20)$$

Imaginea în domeniul frecvenței a legii de mișcare (5.17) se obține aplicând transformata Fourier:

$$\{u(\omega)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \{u(t)\} e^{-j\omega t} dt = \sum_{r=1}^n \left(\frac{\{X_r\}}{j\omega - \lambda_r} + \frac{\{\bar{X}_r\}}{j\omega - \bar{\lambda}_r} \right) \quad (5.21)$$

matematic similar cu răspunsul staționar la o excitație de pulsație ω .

Pentru un semnal înregistrat pe structura care are mișcarea vibratorie liber amortizată componenta modală corespunzătoare unei excitații de pulsație ω apropiată de cea proprie modul r ($\omega \approx p_r$) poate fi aproximată de:

$$u_r(\omega) \approx \frac{X_{rR} + jX_{rI}}{\sigma_r + j(\omega - p_r)} + B_r + jC_r \quad (5.22)$$

$B_r + jC_r$ este o constantă complexă.

În planul complex OReIm (Fig. 5.4.) diagrama Nyquist a $q_r(\omega)$ este un cerc C_r .

Folosind algoritmul de aproximare prin curbe polare, din [25], pot fi estimați pseudopulsația p_r și σ_r factorul de amortizare modal, rezolvând sistemul de ecuații liniare:

$$\begin{aligned} p_r(\omega_s - \omega_j) + \sigma_r [(\omega_s - \omega_k) \mathcal{F}_{kS} - (\omega_k - \omega_j) \mathcal{F}_{iK}] &= \omega_k(\omega_s - \omega_j) \\ p_r(\omega_s - \omega_k) + \sigma_r [(\omega_s - \omega_j) \mathcal{F}_{jS} - (\omega_k - \omega_i) \mathcal{F}_{iK}] &= \omega_j(\omega_s - \omega_k) \end{aligned} \quad (5.23)$$

unde ω_j , ω_k și ω_s sunt frecvențele corespunzătoare la trei puncte reprezentative $P(\omega_j)$, $P(\omega_k)$ și $P(\omega_s)$ de pe curba C_r , obținute din datele experimentale și:

$$T_{ik} = \frac{1}{\text{tg}(\beta_{ik} / 2)} \quad (5.24)$$

obținut de asemenea din curba C_r . Sistemul (5.23) poate fi rezolvat cu metoda celor mai mici pătrate dacă sunt luate în considerare mai mult de trei puncte. Având determinați cei doi parametri p_r și σ_r poziția punctului reprezentativ $P(p_r)$ este dată de unghiul:

$$\beta_{rk} = 2 \cdot \text{arctg}\left(\frac{\omega_k - p_r}{\sigma_r}\right) \quad (5.25)$$

în sistemul de referință $O_r x_k y_k$ și în sistemul de referință $O \text{ReIm}$ de unghiul θ_r :

$$\theta_r = \delta_k + \beta_{rk} \quad (5.26)$$

unde:

$$\delta_k = \text{arctg}\left(\frac{I_m(\omega_k) - I_c(r)}{R_e(\omega_k) - R_r(r)}\right) \quad (5.27)$$

Constantele A_r și B_r au formele:

$$A_r = R_c(r) - R_0(r) \cos \theta_r \quad (5.28)$$

$$B_r = I_c(r) - R_0(r) \sin \theta_r$$

și contribuțiile modale:

$$X_r = 2\sigma_r R_0(r) \cos \theta_r; \quad Y_r = 2\sigma_r R_0(r) \sin \theta_r \quad (5.29)$$

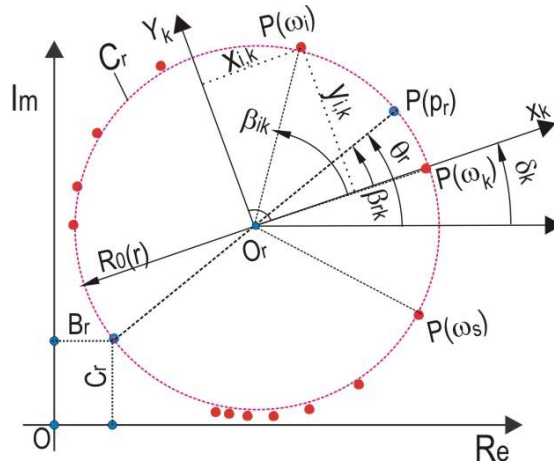


Fig. 5.4. Diagrama Nyquist în jurul unui vârf de rezonanță din spectrul Fourier
Având două semnale $a_1(t)$ și $a_2(t)$ înregistrate simultan cu două accelerometre Ac_1 și Ac_2 amplasate pe suprafața antenei în două puncte diferite (Fig. 5.3), Ac_2 fiind ținut în aceeași poziție M_2 , ca referință și Ac_1 deplasat pe suprafața antenei în punctele M_1 care definesc geometria structurii antenei, putem obține forma modului complex relativ la punctul M_2 :

$$u_r + jv_r = \frac{X1_r + jY1_r}{X2_r + jY2_r} = \frac{R1_0(r)}{R2_0(r)} e^{j(\theta1_r - \theta2_r)} = S_r e^{j\Delta\theta_r} \quad (5.30)$$

S_r definește magnitudinea modului r în punctul M_1 .

Pentru cele N puncte care definesc geometria structurii antenei se obțin două șiruri de valori $S_r^{(i)}$ și $\Delta\theta_r^{(i)}$ ($i=1,2,3,\dots,N$), care definesc forma modului r de-a lungul suprafeței antenei. Forma modului poate fi normalizată:

$$S_n^{(i_r)} = \frac{S_n^{(i_r)}}{\max(S_n^{(i_r)})} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (5.31)$$

cea ce este foarte folositor pentru reprezentarea grafică a formei modurilor.

5.1.4. Metode speciale pentru înregistrarea vibrațiilor reflectorului parabolic

Una dintre problemele dificile pe care le ridică înregistrarea vibrațiilor la structuri ușoare, cum este reflectorul antenei parabolice, este aceea că prin plasarea unui accelerometru seismic pe structură se produce o modificare structurală cu deviații ale frecvențelor proprii și modificări ale formelor modale pentru structura respectivă.

Soluțiile posibile pentru înlăturarea acestui inconvenient sunt legate de utilizarea unor micro accelerometre seismice de mase foarte reduse, de ordinul zecimilor de gram, sau utilizarea unor sisteme optice, în special cele cu raze laser și posibilitate de scanare a întregii structuri. În ambele cazuri echipamentele sunt scumpe în special cele cu scanare laser.

În continuare se va prezenta o nouă metodă folosind echipamentul *Microflown Technologies*, (<http://www.microflown.com>) pus la dispoziție aplicației de mai jos, prin generozitatea domnului dr. Hans-Elis de Bree, co-fondator al firmei Microflown.

Aplicația noastră, pe care am experimentat-o în cadrul Laboratorului de Cercetări pentru Vibrații Mecanice al Universității Politehnica din Timișoara, este inclusă în ebook-ul care se găsește la http://www.microflown.com/data/books/EBook_Microflown/Ebook_7_vibration.pdf.

5.1.4.1. Principiul senzorilor Microflown

Principiul de bază al senzorilor Microflown este cel al anemometrului cu fir cald. Firul încălzit la o temperatură între 200°C și 400°C își modifică temperatura, și respectiv rezistența, sub influența unui curent fluidic ce spală firul. Modificarea rezistivă este funcție de viteza curentului fluidic care spală firul încălzit, scăzând temperatura firului și astfel rezistența sa conectată într-un circuit electric de măsurare. Senzorul Microflown utilizează două fire F_1 și F_2 (fig.5.5), (dimensiuni: 1 mm lungime, 5 mm lățime și 200 nm grosime), realizat, împreună cu conectările la circuitul de măsurare prin tehnologia nanometrică (micromachining).

Particulele de fluid în mișcare pe lângă cele două fire, preiau prin convecție fracțiuni din căldura înmagazinată în fire, firul din amonte, F_1 cedând mai multă căldură decât cel din aval, F_2 , creându-se, astfel, o diferență de temperatură între cele două fire și, respectiv, o diferență între rezistențele lor R_1 și R_2 .

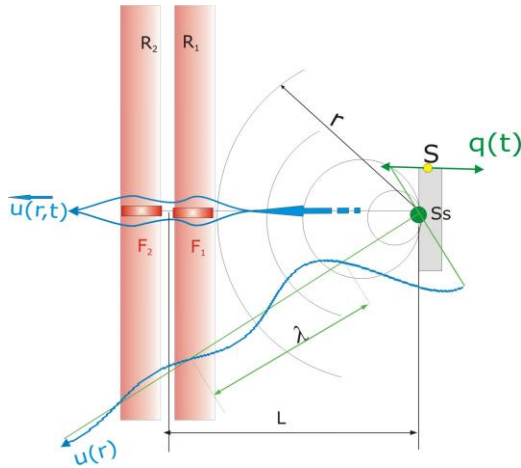


Fig. 5.5. Principiul constructiv al senzorului Microflow

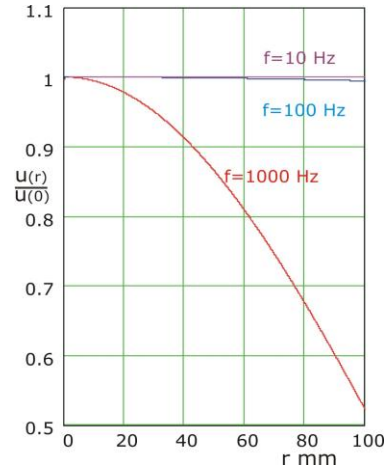


Fig. 5.6. Distribuția radială a vitezei particulelor de aer radiate de sursa S

Pentru o sursă acustică sferică S_s unda de presiune pe sfera de rază raza r , are legea de distribuție:

$$p(r, t) = \text{Re} \left\{ \frac{Ae^{i(\omega t - kr)}}{r} \right\} \quad (5.32)$$

iar vitezele particulelor legea:

$$u(r, t) = \frac{-1}{\rho_0} \int \frac{d}{dr} p(r, t) dt = \frac{A}{i\omega\rho_0} \left(\frac{1}{r} + ik \right) \frac{e^{i(\omega t - kr)}}{r}; \quad i = \sqrt{-1} \quad (5.33)$$

unde A este o constantă ce depinde de intensitatea sursei, ρ_0 , densitatea fluidului, k numărul de undă $k=2\pi/\lambda=2\pi f/c$ (c - viteza de propagare a undei; λ - lungimea de undă, f frecvența temporară a undei).

Dacă sursa de undă de presiune este o suprafață vibrantă S ce vibrează după o lege armonică:

$$q(t) = q_0 \sin(2\pi nft) \quad (5.34)$$

va radia o undă de presiune a cărei viteză de oscilație poate fi exprimată printr-o relație aproximativă:

$$u(r, t) = U(r) \sin(2\pi nft) \quad (5.35)$$

unde forma spațială a undei este:

$$U(r) = U(0) \frac{\sin(kr)}{r} \quad (5.36)$$

Reprezentarea grafică a raportului $U(r)/u(0)$ relevă o bună propagare mai ales pentru emisiile de frecvențe joase unde atenuarea undei de viteză e practic nulă pentru frecvențe sub 100 Hz. Dacă senzorul Microflow este plasat la distanța $L=10$ mm atenuarea devine neglijabilă.

Pentru testul de laborator al antenei am folosit senzorul tip USP (Ultimate Sound Probe) (fig.5.7.), având o construcție compactă, cu posibilitatea măsurării vitezelor particulelor de fluid după trei direcții (3D). Capul de măsurare paralelipipedic pe care sunt amplasați cei trei senzori are dimensiuni reduse, ($5 \times 5 \times 5 \text{ mm}^3$), astfel încât permite utilizarea lui în spații înguste.

Unul dintre cei trei senzori, de exemplu S_1 , este constituit dintr-un cadru închis fixat pe una dintre fețele capului paralelipipedic în așa fel încât se formează o

fereastră Fe_1 prin care pătrunde curentul de aer, de viteză $u_1(t)$, rezultat al mișcării suprafeței plane P_1 , după legea $q(t)$.

Cele două fire calde F_1 și F_2 sunt plasate în interiorul ferestrei Fe_1 care are rolul de a crea un tub ajutor de amplificare a vitezei $u_1(t)$, având deci rol de amplificator.

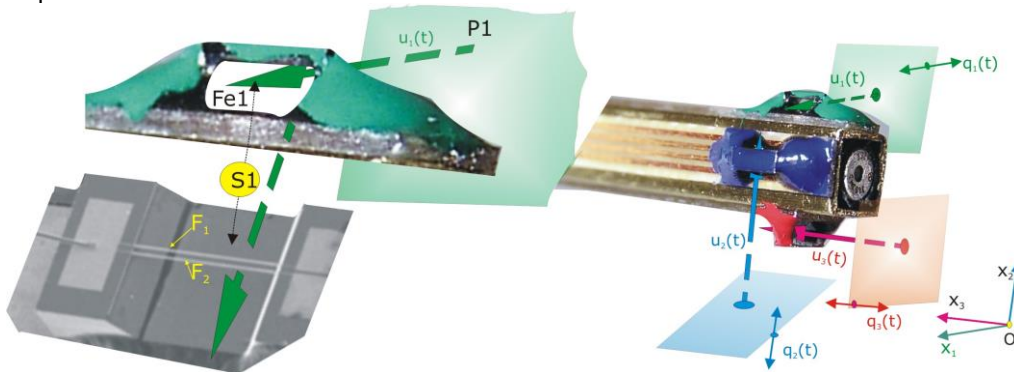


Fig. 5.7 Construcția senzorului USP pentru măsurători de viteze pe 3D

5.1.4.2. Soluția dezvoltată în cadrul tezei pentru măsurare fără contact a vibrațiilor după trei direcții, aplicată la reflectorul antenei

Problemele pe care le ridică măsurarea corectă a vibrațiilor după trei direcții ortogonale, pe o structură ușoară cum este reflectorul antenei parabolice, sunt dificile, de aceea am conceput, realizat și experimentat o metodă originală.

Pe suprafața 1 a reflectorului parabolic al antenei, (fig. 5.8. și 5.9.), se prinde, printr-un strat subțire de ceară de albine, în punctul în care se dorește măsurarea vibrațiilor, un inel, 2, ușor din aluminiu, pe care este frezată o fereastră care delimitează trei suprafețe distincte pe inelul 2, S_1 , S_2 și S_3 , cu normalele lor ortogonale între ele. După aceste trei normale sunt axați senzori capului 3 al senzorului USP.

La mișcarea spațială, prin vibrații, a suprafeței reflectorului 1 suprafețele S_1 , S_2 și S_3 antrenează straturile de aer din vecinătatea lor inițiind unde elastice ce se propagă de-a lungul normalei lor.



Fig. 5.8. Vedere de ansamblu al standului de testare la vibrații al antenei parabolice, cu sistemul de măsurare a vibrațiilor.

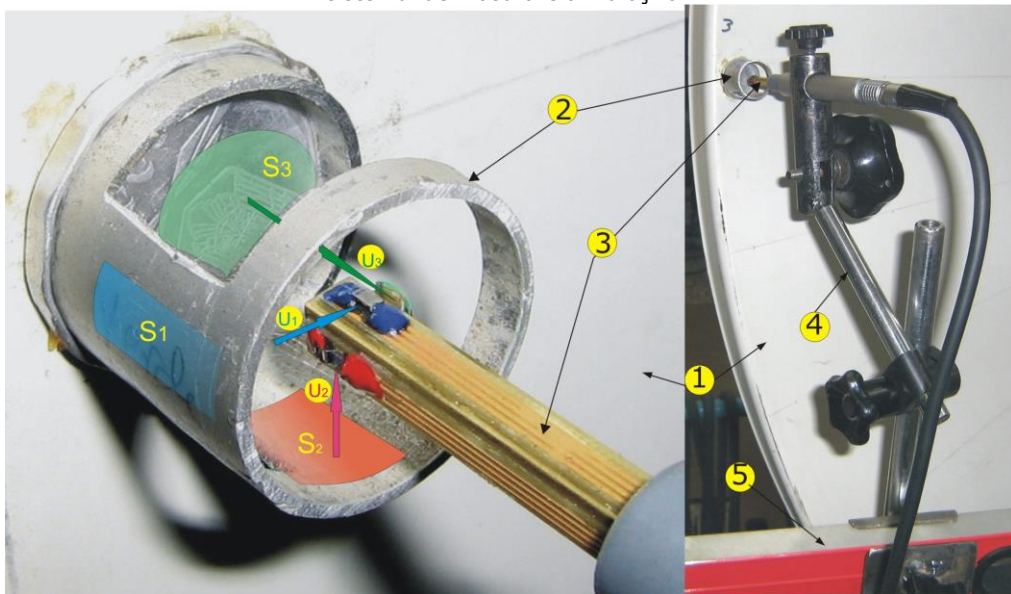


Fig. 5.9 Detaliu cu montajul de măsurare a vibrațiilor prin senzorul USP

Capul 3 al montajului USP, este amplasat în interiorul inelului 2, cu senzorii săi axați după cele trei normale ale suprafețelor S_1 , S_2 și S_3 , prin intermediul suportului reglabil 4 și a riglei gradate 5 prinsă de suportul standului 6.

În acest mod, în timpul vibrațiilor structurii antenei, particulele de aer din vecinătatea firelor calde ale celor trei senzori, vor spăla aceste fire modificându-le temperaturile și respectiv rezistențele lor. Semnalele rezultate la ieșirile amplificatoarelor celor trei senzori sunt proporționale cu viteze u_1, u_2 și u_3 ale particulelor de aer și care la rândul lor sunt proporționale cu componentele \dot{q}_1, \dot{q}_2 și \dot{q}_3 ale vitezei absolute a structurii reflectorului 1 în punctul de fixare al inelului.

5.1.4.3. Calibrarea senzorului USP

Calibrarea senzorului USP s-a făcut utilizând metoda reciprocității.

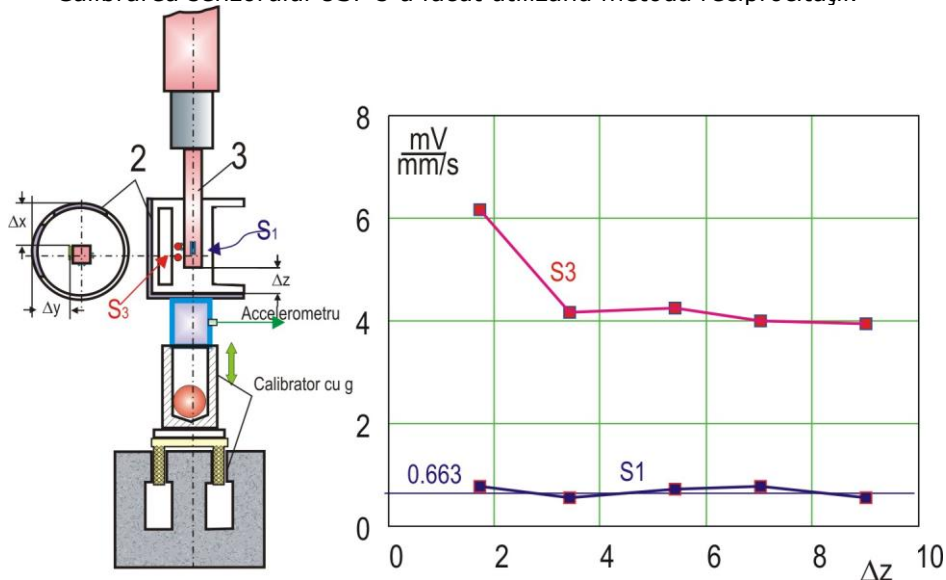


Fig. 5.10 Montajul de calibrare al senzorului UPS și diagramele sensibilităților S_3 după axa longitudinală oz și S_1 după axa transversală, la o excitație longitudinală de $1g$.

Capul 3 al senzorului, s-a centrat după axa inelului 2 la diverse distanțe Δz de fundul acestuia, care vibrează după axa verticală a inelului. Mișcarea vibratorie este asigurată de un calibrator electrodinamic de g ($g=9,81 \text{ m/s}^2$).

Pentru a se cuantifica efectul transversal al montajului de senzori USP cu inelul propus s-au înregistrat simultan (fig. 5.11.) semnalul $Su_3(t)$, al senzorului S_3 cu axa de sensibilitate de-a lungul axei mișcării vibratorii și semnalul $Su_1(t)$ corespunzător senzorului S_1 , cu axa de sensibilitate perpendiculară pe direcția transversală axei vibrațiilor. Pe aceeași diagramă este prezentat și semnalul de accelerație $Sa(t)$ al accelerometrului prin care s-a reglat nivelul de $1g$ al vibrațiilor.

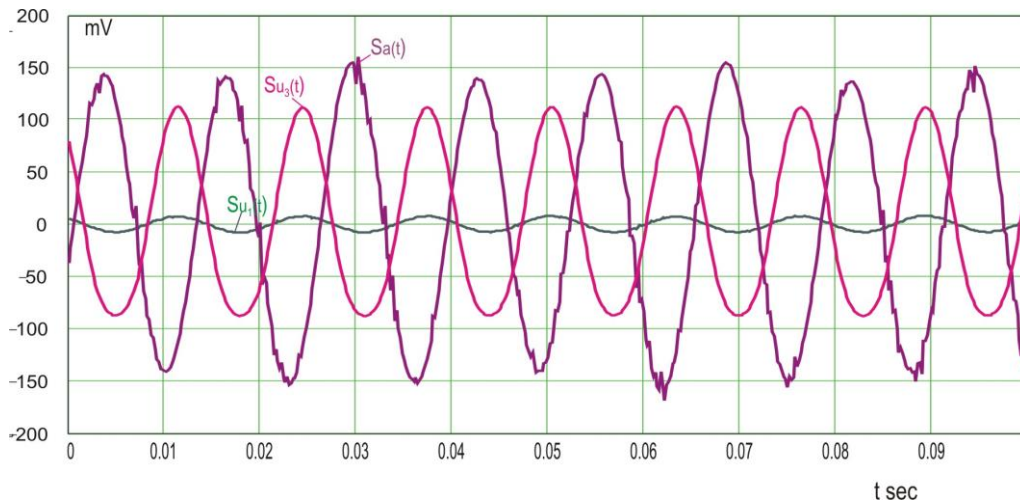


Fig. 5.11 Vibrogramele semnalelor senzorilor, S_3 , cu axa de sensibilitate colineară cu axa mișcării vibratorii, S_1 , cu axa de sensibilitate normală pe axa mișcării vibratorii, înregistrate simultan cu semnalul de accelerație $S_a(t)$ de nivel $1g$.

Diagrama din figura 5.10. și vibrogramele din figura 5.11. scot în evidență o influență de aproximativ 10% a vibrațiilor transversale axei de sensibilitate a senzorului. Acest efect poate fi diminuat prin optimizarea geometrică a inelului, rezultatele de mai sus fiind obținute la prima încercare.

Aceleași nivele de sensibilitate și influență transversală s-au obținut la proba fără inelul de orientare (fig. 5.12.).

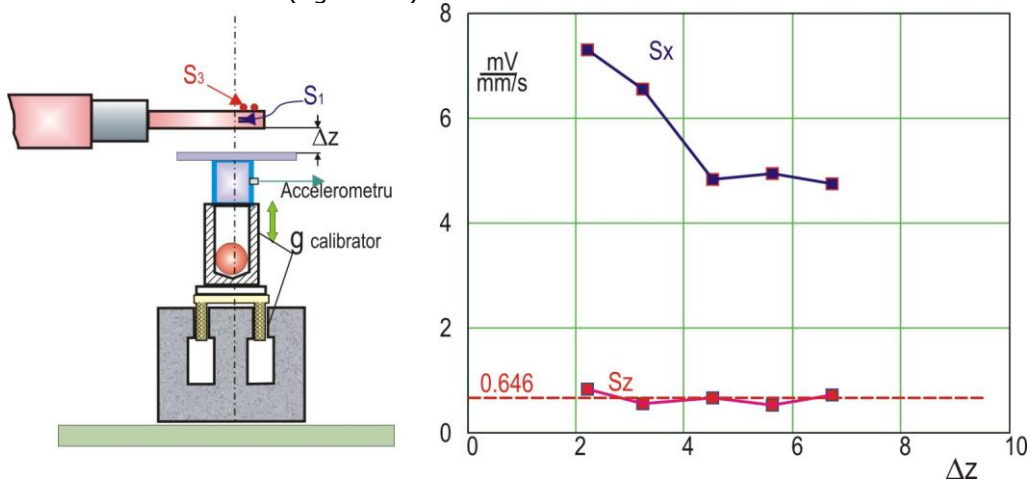


Fig. 5.12 Calibrare senzorului USP în câmp liber, fără inel

5.1.4.4. Testarea modală a structurii antenei pe standul de laborator

Utilizând metoda de investigare prezentată mai sus s-au ales, pentru determinarea parametrilor modali și a formelor modale, 13 puncte de măsurare P_0, \dots, P_{12} , plasate de-a lungul unui profil al reflectorului parabolic (fig. 5.13.). În

aceste puncte s-a plasat succesiv inelul după a cărui axă s-a centrat capul cu cei trei senzorii USP.

Testarea s-a efectuat prin impulsuri aplicate structurii reflectorului parabolic, vibrațiile libere amortizate rezultate fiind înregistrate pentru fiecare din cele 13 puncte după două direcții: una normală la profil după axa P_{iz} (semnalul S_z din vibrogramă) și alta tangențială după axa P_{ix} (semnalul S_x din vibrogramă). În paralel cu cele două semnale s-a înregistrat un semnal al unui accelerometru seismic, semnal luat în considerare ca semnal de fază, accelerometrul fiind fixat într-un singur punct al suprafeței reflectorului.

Vibrogramele celor trei semnale de vibrații arată ca cele din figura 5.14. iar spectrele lor Fourier (fig. 5.15.) relevă mai multe vârfuri modale. Liniile spectrale din jurul acestor vârfuri constituie date de intrare pentru determinarea parametrilor modali, frecvențe proprii și factori de amortizare modali.

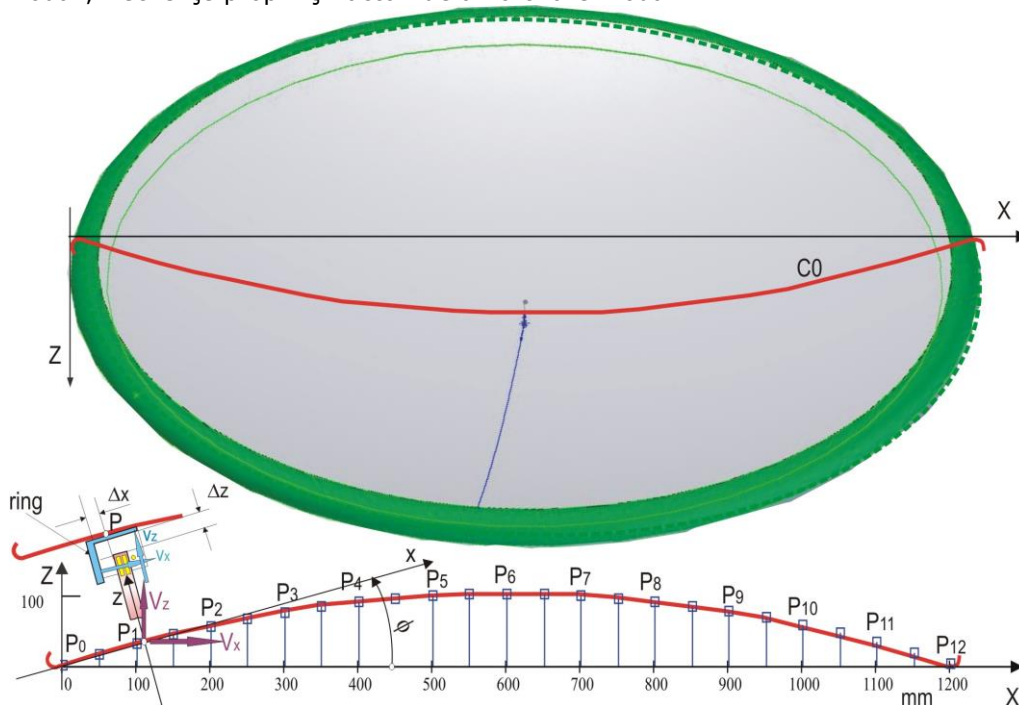


Fig. 5.13. Amplasarea punctelor de măsurare a vibrațiilor de-a lungul unui profil al suprafeței reflectorului parabolic

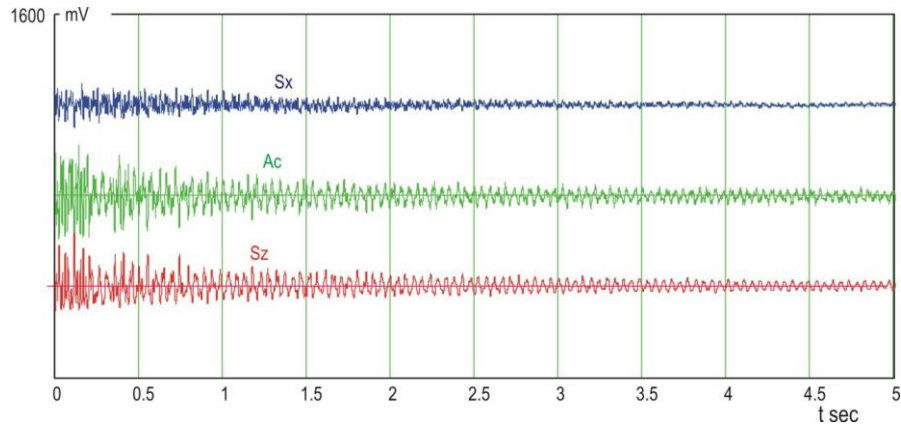


Fig.5.14. Vibrogramele semnalelor de vibrații libere amortizate:
Sx(t), Sz(t) și Ac(t)

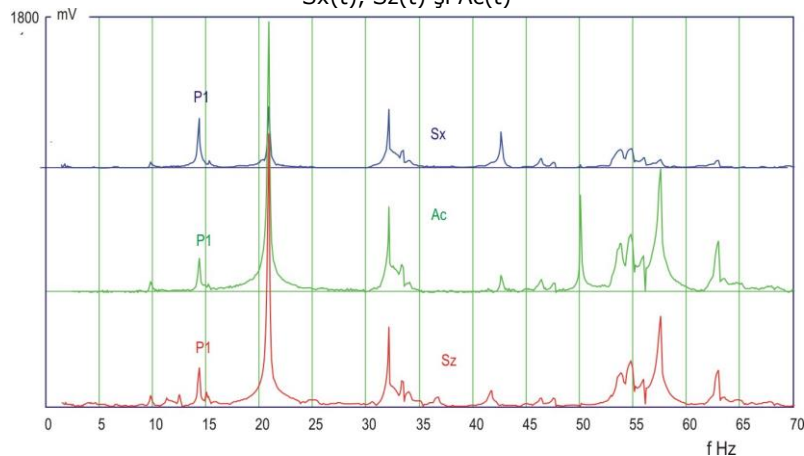


Fig. 5.15. Spectrele Fourier ale semnalelor, Sx(t), Sz(t) și Ac(t)

S-a utilizat algoritmul prezentat succint la 5.1.3., în tabelul 5.2 fiind date valorile parametrilor pentru primul mod de vibrații având frecvența proprie 14.2876 Hz.

Tabel 5.2. Valori ale parametrilor pentru primul mod de vibrație al antenei având frecvența primului mod de **14.2876 Hz**

Punctul de măsură	Valoarea frecvenței proprii f [Hz]			Amplitudinea modală R			Faza componentei modale	
	Determinată din semnalul			Determinată din semnalul			θ_{Sx} ref Ac	θ_{Sz} ref Ac
	Sx(t)	Ac(t)	Sz(t)	Sx(t)	Ac(t)	Sz(t)		
P₀	14.275	14.276	14.276	0.284	0.096	0.086	193.323	202.98
P₁	14.277	14.279	14.275	0.10	0.089	0.14	201.876	201.824
P₂	14.277	14.279	14.279	0.10	0.113	0.165	60.345	208.723
P₃	14.277	14.286	14.285	0.1	0.113	0.145	352.398	197.778
P₄	14.277	14.285	14.282	0.1	0.117	0.115	29.944	202.251
P₅	14.277	14.289	14.29	0.1	0.094	0.076	247.366	209.037
P₆	14.277	14.283	14.281	0.1	0.112	0.042	254.923	197.951
P₇	14.277	14.292	14.292	0.1	0.1	0.0494	8.669	17.861

P₈	14.277	14.288	14.29	0.1	0.106	0.035	210.671	23.965
P₉	14.277	14.275	14.275	0.1	0.105	0.074	71.145	24.724
P₁₀	14.277	14.307	14.311	0.1	0.093	0.091	115.900	25.661
P₁₁	14.293	14.335	14.338	0.03	0.068	0.076	195.384	18.953
P₁₂	14.293	14.319	14.324	0.03	0.079	0.068	279.219	15.687
Valoare medie	14.28	14.2918	14.2911					
	14.2876 Hz							

O primă remarcă este aceea a valorilor frecvențelor proprii foarte apropiate, determinate din semnalele de vibrații ale celor trei senzori, pentru toate cele 13 puncte de măsurare, însemnând că atașarea inelului la structură nu produce efectul de masă adăugată.

Forma modului se construiește luând în considerare că se cunosc coordonatele x_i și y_i față de sistemul de referință fix OXY (fig. 5.13.), la care se adaugă factorii variabili proveniți din mișcările armonice cu frecvența f :

$$\begin{aligned} x_i(t) &= x_i + k(w_{xi} \cos(2nft + \theta_{Sxi}) \cos(\varphi_i) - w_{zi} \cos(2nft + \theta_{Szi}) \sin(\varphi_i)) \\ z_i(t) &= z_i + k(w_{xi} \cos(2nft + \theta_{Sxi}) \sin(\varphi_i) + w_{iz} \cos(2nft + \theta_{Szi}) \cos(\varphi_i)) \end{aligned} \quad (5.37)$$

afecțați de un factor de scară k , din a cărui magnitudine se poate scoate în evidență forma modului.

Amplitudinile adimensionale w_{xi} și w_{zi} se calculează cu ajutorul rapoartelor amplitudinilor modale ale celor trei senzori:

$$w_x = \frac{R_{Sx}}{R_{Ac}}; \quad w_z = \frac{R_{Szi}}{R_{Ac}} \quad (5.38)$$

R_{Sx} a semnalului $S_x(t)$, R_{Sy} a semnalului $S_y(t)$ iar R_{Ac} a semnalului accelerometrului. Cu φ s-a notat unghiul de pantă al profilului reflectorului în punctul de măsurare iar cu θ faza semnalului înregistrat.

Pentru primul mod natural având frecvența proprie $f=14.2876$ Hz s-a reprezentat în figura 5.16., prin patru poziții instantanee ale celor 13 puncte P_i la timpii, $t=0$, $t=T/4$, $t=T/2$ și $t=3T/4$ ai perioadei $T=1/f$ forma primului mod natural de vibrații.

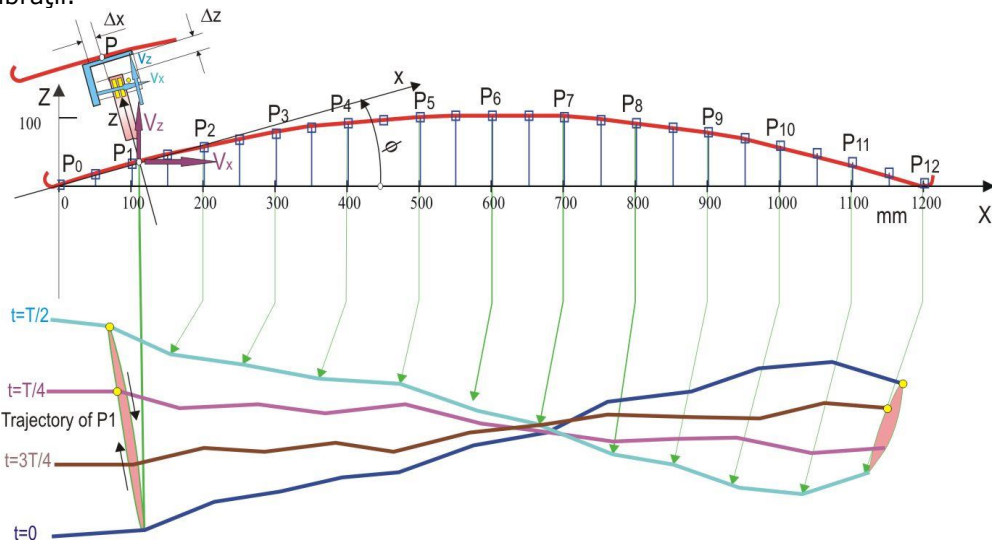


Fig. 5.16 Forma primului mod natural de vibrații reprezentat prin patru poziții instantanee, la timpii, $t=0$, $t=T/4$, $t=T/2$ și $t=3T/4$ ai perioadei $T=1/f$

Tabel 5.3. Valori ale parametrilor modali pentru cel de al doilea mod de vibrație având frecvența proprie **20.840** Hz

Punctul de măsură	Valoarea frecvenței proprii f [Hz]			Amplitudinea modală R			Faza componentei modale	
	Determinată din semnalul			Determinată din semnalul			θ_{sx} ref Ac	θ_{sz} ref Ac
	$Sz(t)$	$Sx(t)$	$Ac(t)$	$Sz(t)$	$Sx(t)$	$Ac(t)$		
P₀	20.876	20.87	20.87	0.922	0.82	0.783	195.	202
P₁	20.86	20.858	20.859	0.191	0.812	0.807	20.9	205
P₂	20.86	20.862	20.863	0.191	0.934	0.55	61.8	206
P₃	20.86	20.867	20.867	0.191	0.854	0.236	137	203
P₄	20.86	20.868	20.885	0.191	0.92	0.0731	184	264
P₅	20.86	20.868	20.868	0.191	0.843	0.137	352	20.3
P₆	20.86	20.867	20.866	0.191	0.902	0.226	359	16.8
P₇	20.86	20.866	20.864	0.191	0.939	0.182	351	15.4
P₈	20.86	20.872	20.859	0.191	0.782	0.016	133	91.6
P₉	20.86	20.866	20.864	0.191	0.876	0.141	245	216
P₁₀	20.86	20.876	20.876	0.191	0.806	0.469	336	205
P₁₁	20.908	20.896	20.194	0.341	0.802	0.776	261	63.5
P₁₂	20.908	20.861	20.44	0.341	0.795	0.684	202	83.6
Valoare medie	20.869	20.869	20.783					
	20.840							

Tabel 5.4. Valori ale parametrilor modali pentru cel de al treilea mod natural de vibrație având frecvența proprie 32.227 Hz

Punctul de măsură	Valoarea frecvenței proprii f [Hz]			Amplitudinea modală R			Faza componentei modale	
	Determinată din semnalul			Determinată din semnalul			θ_{sx} ref Ac	θ_{sz} ref Ac
	$Sz(t)$	$Sx(t)$	$Ac(t)$	$Sz(t)$	$Sx(t)$	$Ac(t)$		
P₀	32.125	32.127	32.128	0.339	0.162	0.122	198.385	205.308
P₁	32.161	32.15	32.161	0.094	0.165	0.19	202.795	205.839
P₂	32.161	32.173	32.172	0.094	0.225	0.213	154.231	202.67
P₃	32.161	32.212	32.199	0.094	0.245	0.183	117.012	200.221
P₄	32.161	32.215	32.213	0.094	0.23	0.119	195.988	202.77
P₅	32.161	32.22	32.233	0.094	0.271	0.092	240.512	207.394
P₆	32.161	32.154	32.289	0.094	0.153	0.024	277.406	243.378
P₇	32.161	32.141	32.144	0.094	0.135	0.047	78.319	347.63
P₈	32.119	32.175	32.136	0.091	0.116	0.092	51.445	253.412
P₉	32.161	32.063	32.01	0.094	0.157	0.084	319.726	228.589
P₁₀	32.294	32.068	32.033	0.1	0.179	0.087	77.033	351.408
P₁₁	32.014	32.054	32.003	0.015	0.187	0.077	318.254	250.869
P₁₂	33.16	33.222	33.159	0.015	0.1	0.127	244.028	192.054
Valoare medie	32.231	32.229	32.222					
	32.227							

Deși dispozitivarea axării capului de măsură a senzorilor USP a fost una improvizată, totuși forma modului se poate distinge clar.

Aceleași rezultate s-au obținut și pentru următoarele două moduri ale căror parametrii modali sunt dați în tabelele 5.3. și 5.4.

Printr-o dispozitivare dedicată, cu reglarea fină a centrării capului cu senzorii USP față de axa inelului, precizia măsurării se va îmbunătăți mult.

5.2. Testarea antenei parabolice la rafale de vânt în spațiu deschis

În scopul studiului comportării structurii antenei la încărcări naturale, din vânt, aceasta a fost amplasată pe acoperișul clădirii de Orologerie din Facultatea de Mecanică a Universității Politehnica (Fig. 5.17.), amplasament unde gradientul de viteze a vântului este mare în comparație cu cel de la sol. Pentru a avea câmp deschis antena Ap a fost fixată pe un stâlp metalic înalt Sm. Presiunea acțiunii vântului la nivelul antenei s-a măsurat cu ajutorul unui senzor bidirecțional de presiune Sbp (paragraf 5.2.1.) iar forțele rezultante din acțiunea vântului au fost măsurate prin montaje speciale de transductoare electrorezistive (TER) aplicate pe piciorul de prindere al antenei de stâlpul antenei.



Fig.5.17 Amplasarea antenei parabolice în aer liber

5.2.1. Senzori bidirecționali de măsurare a presiunii vântului

Pentru înregistrarea vitezei sau presiunii vântului există câteva metode clasice pentru care s-au realizat o serie de senzori. Unul dintre acești senzori este anemometrul clasic cu elice cu trei cupe, viteza vântului fiind măsurată prin înregistrarea vitezei de rotație al axului elicei cu cupe. Direcția rafalelor de vânt se determină prin auto poziționarea suportului basculant al elicei, un traductor potențiometric sesizând această poziție.

În cazul testării structurilor elastice, presiunea dinamică pe care o exercită vântul asupra structurii este necesar ca semnalul senzorului de presiune să conțină un spectru cât mai larg, anemometrul înregistrând doar o valoare medie.

Pentru a putea fi înregistrat un spectru cât mai larg s-a conceput și realizat în cadrul Laboratorului de Testări și Cercetări pentru Vibrații Mecanice al Universității Politehnica un senzor bidirecțional cu traductoare electrorezistive (TER) (paragraful 5.2.1.1.).

În timpul efectuării experiențelor am întâmpinat dificultăți legate de derivă în timp a nului montajelor cu TER-uri și de aceea am conceput și sunt în fază de realizare două soluții originale, prevăzute cu traductoare piezoelectrice.

5.2.1.1. Senzor cu traductoare electrorezistive (TER)

Senzorul se compune din cilindrul C amplasat în calea vântului având viteza $v(t)$ care produce pe unitatea de suprafață presiunea dinamică:

$$p(t) = C_R \rho \frac{v(t)^2}{2} \quad (5.39)$$

unde:

$$C_R = f(\mu, Re) \quad (5.40)$$

este un coeficient ce depinde de rugozitatea relativă μ și Re numărul lui Reynolds, iar ρ densitatea aerului:

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (5.41)$$

D fiind diametrul cilindrului C iar ν vâscozitatea aerului.

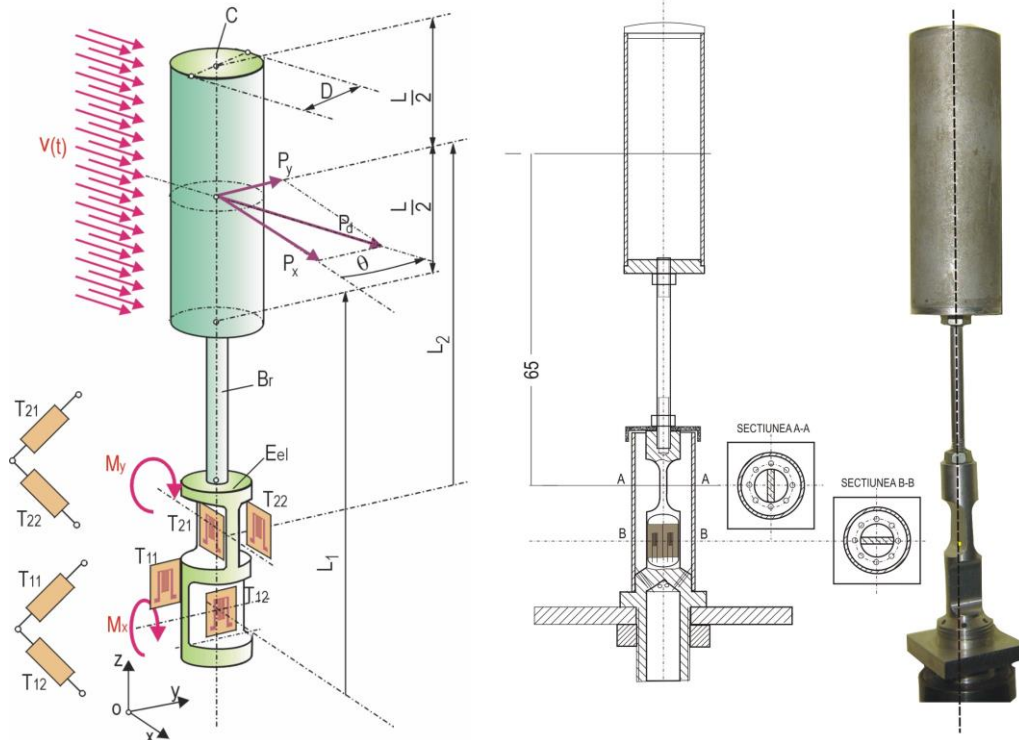


Fig. 5.18 Schema senzorului bidirecțional cu traductoare TER

Pentru zona subcritică $Re \leq (2...10) \times 10^4$, $C_R = 1,1...1,22$, la $L/D \rightarrow \infty$, iar pentru zona supracritică $Re \leq (2...4) \times 10^5$, $C_R = 0,35...0,43$, la L/D diferit.

Forța P rezultantă din presiunea dinamică $p(t)$ a vântului:

$$P = p(t)LD \quad (5.42)$$

este transmisă, prin intermediul unui braț Br , la un element elastic de încovoire bidirecțională Eel realizat din două lamele elastice frezate pe elementul Eel la 90° între ele, după axele Ox și Oy .

Proiecțiile P_x și P_y ale forței rezultante P după axele Ox și Oy dau momente încovoietoare M_x și M_y în secțiunile de aplicare a două montaje de traductoare electrezistive (TER) pe cele două lamele ale elementului elastic Eel . Momentele încovoietoare:

$$M_x = L_1 P_x; \quad M_y = L_2 P_y \quad (5.43)$$

dezvoltă deformații ale căror lungiri specifice sunt:

$$\varepsilon_x = \frac{6M_x}{Ebh^2}; \quad \varepsilon_y = \frac{6M_y}{Ebh^2} \quad (5.44)$$

unde, cu E s-a notat modulul de elasticitate al materialului elementului elastic, iar prin b și h lățimea și respectiv grosimea celor două lamele pe care sunt aplicate, prin lipire, montajele de TER-uri T_{11} și T_{12} , pentru măsurarea componentei P_x și T_{21} și T_{22} pentru componenta P_y .

Semnalele de tensiune la ieșirile celor două montaje în semipunte Wheatstone sunt:

$$\Delta u_x = \frac{1}{2} U_a k \varepsilon_x; \quad \Delta u_y = \frac{1}{2} U_a k \varepsilon_y \quad (5.45)$$

unde U_a este tensiunea de alimentare a montajului iar k este constanta de sensibilitate a TER-urilor utilizate.

Cu relațiile de mai sus semnalele Δu_x și Δu_y se pot exprima prin două relații de proporționalitate cu componentele p_x și p_y ale presiunii dinamice $p(t)$:

$$\Delta u_x = C_1 p_x; \quad \Delta u_y = C_2 p_y \quad (5.46)$$

unde C_1 și C_2 sunt două constante:

$$C_1 = 3k \frac{U_a L_1}{Ebh^2 DL}; \quad C_2 = 3k \frac{U_a L_2}{Ebh^2 DL} \quad (5.47)$$

iar:

$$p_x = \frac{P_x}{LD}; \quad p_y = \frac{P_y}{LD} \quad (5.48)$$

Prin raportul componentelor p_x și p_y măsurate se pot determina:

$$p(t) = \sqrt{p_x^2 + p_y^2} \quad (5.49)$$

valoarea instantanee a presiunii dinamice și direcția rafalei de vânt dată prin unghiul:

$$\theta = \arctg \frac{p_y}{p_x} \quad (5.50)$$

Constantele de proporționalitate C_1 și C_2 pot fi determinate pe cale experimentală prin etalonare în tunelul aerodinamic.

O etalonare mai simplă se poate realiza prin încărcarea cilindului la cota $L/2$ cu o greutate de masă m a cărei încărcare echivalentă în presiune este $p_e = mg/LD$ care va da un semnal de tensiune:

$$\Delta u_{e,x,y} = C_{1,2} p_e \quad (5.51)$$

ceea ce permite determinarea constantelor de etalonare C_1 și C_2 .

5.2 1.2. Senzor cu traductoare piezoelectrice

O construcție pe care am conceput-o în scopul eliminării efectului de derivă a nului este cea din figura 5.19. Senzorul se compune din cilindrul 1 plasat în calea curentului de aer având vectorul viteză \vec{V} , suportul său fiind rotit cu unghiul α față de un sistem de axe fixe OXYZ OZ este axă longitudinală a cilindrului 1 care se poate roti în jurul acesteia, cilindrul este prins, prin intermediul lamelei elastice 2 de un ax 4 centrat pe o pereche de rulmenți 7. Rotirea ansamblului cilindru, lamelă elastică 2 - ax 4, este asigurată de perechea de cupe 5, antrenate de curentul de aer.

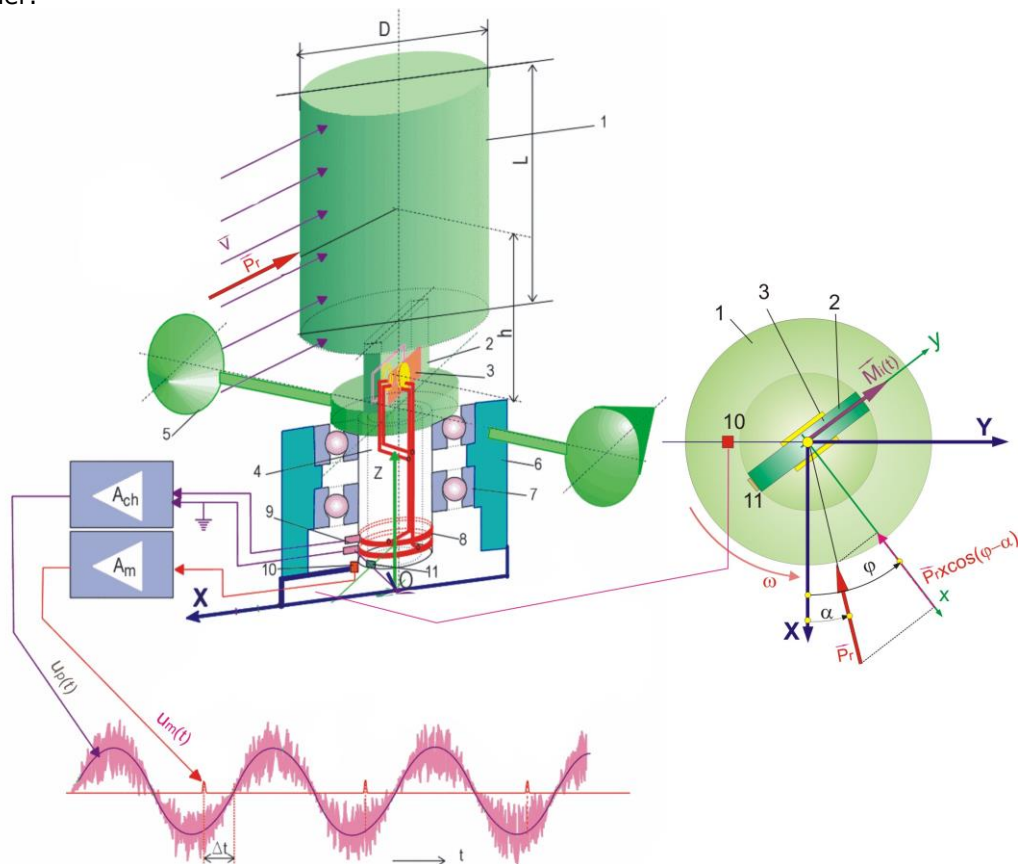


Fig. 5.19 Schema senzorului cu traductor piezoelectric. Varianta 1

Sub acțiunea curentului de aer, de viteză instantanee v , ia naștere o forță rezultantă Pr a cărei direcție se află deviată cu unghiul α față de axa fixă OX.

La momentul t axa mobilă Ox, normală la suprafața frontală a lamelei 2, se află la unghiul de poziție $\varphi(t)$, care, pentru o viteză unghiulară constantă ω și o plecare, la $t=0$, din suprapunere peste axa fixă OX, forța rezultantă Pr va da o proiecție pe axa mobilă Ox, $Pr \cdot \cos(\omega t - \alpha)$.

Această forță va produce în secțiunea mijlocie a lamelei 2 un moment de încovoiere:

$$M_i(t) = Pr(t)h \cos(\omega t - \alpha) \quad (5.52)$$

Momentul încovoietor $M_i(t)$, având o undă purtătoare armonică de pulsație ω va produce, prin deformarea lamelei 2 pe care sunt aplicate două traductoare

piezoelectrice 3 conectate la un amplificator de sarcină A_{ch} , dă la ieșirea acestora un semnal $u_p(t)$ proporțional cu momentul $M_i(t)$. În paralel cu semnalul $u_p(t)$ se înregistrează un semnal $u_m(t)$ dat de un senzor magnetic fără contact 10, fix, care trece periodic în timpul rotației prin dreptul unui știft metallic 11, amplasat pe axul 4 în dreptul planului lamelei elastice 2. Acest semnal periodic, cu perioada $T=2\pi/\omega$, este un semnal de fază cu care se determină direcția α a rafalei vântului iar amplitudinea semnalului $u_p(t)$ dând magnitudinea presiunii rafalei.

Pentru transmiterea semnalului de sarcină de la traductorii piezoelectrice 3 la amplificatorul A_{ch} se utilizează contactul alunecător format din inelele 8 și periile 9.

O soluție simplificată față de cea din fig. 5.19. este cea din figura 5.20. unde cilindrul este înlocuit cu paleta profilată 1, care preia sarcina din presiunea vântului și o transmite lamelei 2 cu traductorii piezoelectrice și totodată, datorită profilării ei, este antrenată în mișcare de rotație cu viteza unghiulară ω .

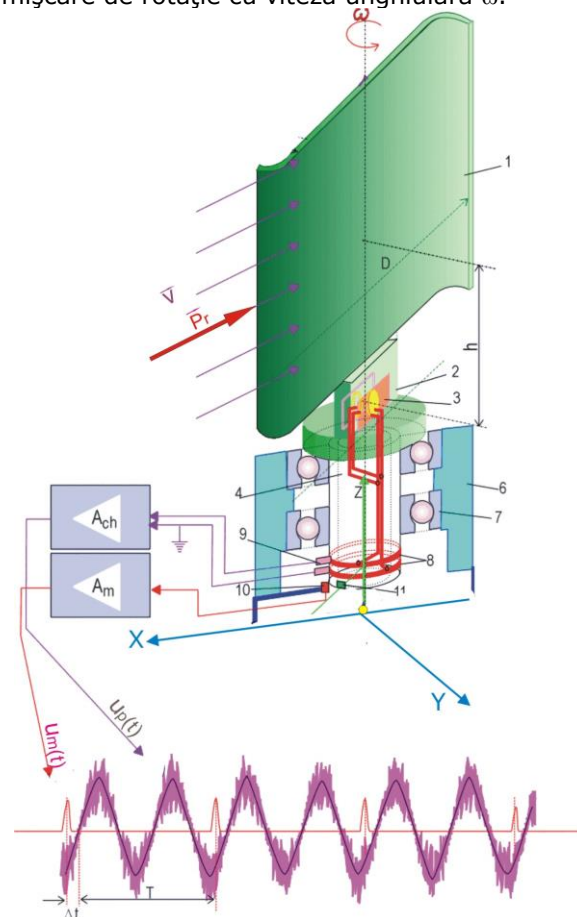


Fig. 5.20 Schema senzorului cu traductor piezoelectric. Varianta 2

5.2.2. Senzori pentru măsurarea forțelor induse de vânt pe structura antenei

Pentru determinarea sarcinilor induse de vânt asupra structurii s-a conceput un montaj de pseudosenzor multicomponent, cu montaje de traductoare TER, aplicate pe stâlpul St (fig.5.21.). Montajele de traductoare au permis determinarea principalelor componente:

- F_x componenta rezultantă orizontală a forțelor din presiunea dinamică a vântului, orientată după axa Ox care trece prin centrul O_1 al suprafeței parabolice Pa;
- F_y componenta rezultantă orizontală a forțelor din presiunea dinamică a vântului, orientată după axa Oy;
- M_z momentul de torsiune al stâlpului sub acțiunea forțelor din presiunea dinamică a vântului, componentă după axa Oz.

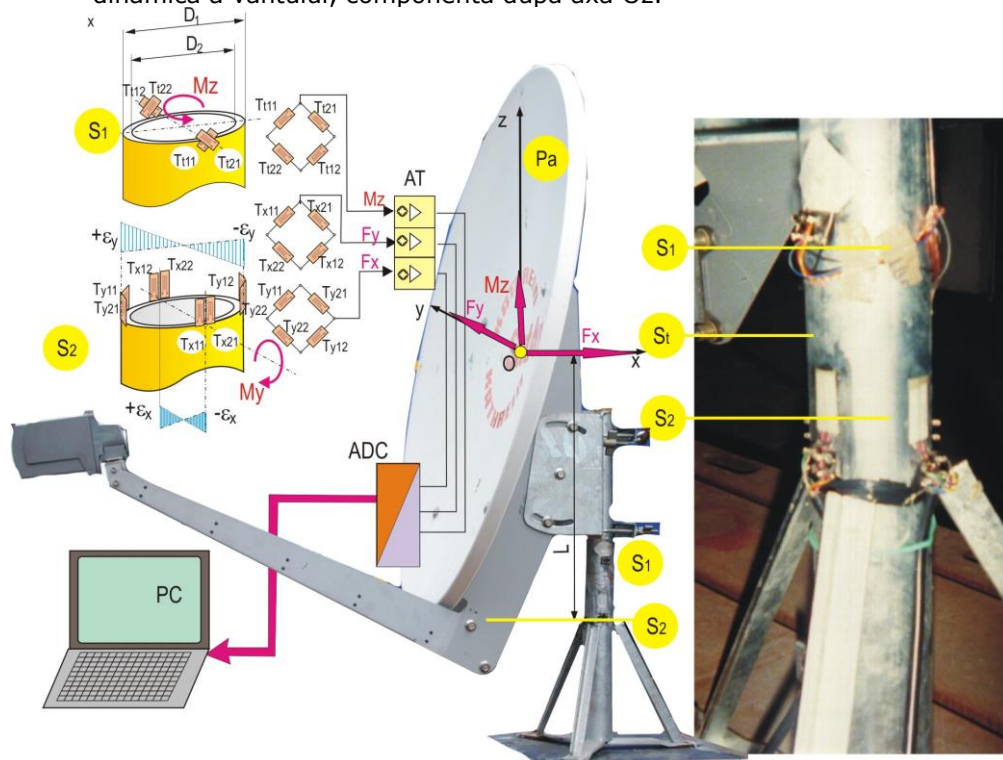


Fig. 5.21 Montajele cu traductoare TER ale pseudosenzorilor pentru măsurarea forțelor orizontale F_x și F_y și a momentului de torsiune M_z

Componente F_x și F_y se determină prin intermediul momentelor de încovoiere M_x și M_y din secțiunea S_2 :

$$F_x = \frac{M_y}{L}; \quad F_y = \frac{M_x}{L} \quad (5.53)$$

unde L este cota secțiunii S_2 față de planul orizontal Oxy .

În secțiunea S_2 sunt amplasate montajele de traductoare electrorezistive (TER) $T_{x11} \dots T_{x22}$ și $T_{y11} \dots T_{y22}$ conectate în punte completă Wheatstone. Lungirile specifice ϵ_x și ϵ_y , corespunzătoare momentelor încovoietoare M_x și M_y , au expresiile:

$$\varepsilon_x = \frac{M_x}{EW}; \quad \varepsilon_y = \frac{M_y}{EW} \quad (5.54)$$

unde $E=2.07e11$ N/m² este modulul de elasticitate a lui Young iar:

$$W = \frac{\pi}{32D_1} (D_1^4 - D_2^4) \quad (5.55)$$

este modulul de rezistență al secțiunii transversale a stâlpului S_t , o țevă de diametre: $D_1=75$ mm, exterior și $D_2=67$ mm interior.

Lungirile specifice preluate de TER-uri au expresiile:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{x11} = \varepsilon_{x12} = \varepsilon_x; \quad \varepsilon_{x12} = \varepsilon_{x22} = -\varepsilon_x \\ \varepsilon_{y11} = \varepsilon_{y12} = \varepsilon_y; \quad \varepsilon_{y12} = \varepsilon_{y22} = -\varepsilon_y \end{aligned} \quad (5.56)$$

unde indicii de la ε s-au păstrat cei de la TER-uri.

Tensiunile de ieșire din cele două montaje au expresiile:

$$\begin{aligned} u_x &= \frac{1}{4} kU_a (\varepsilon_{x11} + \varepsilon_{x12} - \varepsilon_{x21} - \varepsilon_{x22}) \\ u_y &= \frac{1}{4} kU_a (\varepsilon_{y11} + \varepsilon_{y12} - \varepsilon_{y21} - \varepsilon_{y22}) \end{aligned} \quad (5.57)$$

unde k este constanta de sensibilitate a TER-urilor utilizate iar U_a tensiunea de alimentare a unui montaj.

Semnalele de tensiune u_x și u_y se pot exprima, ținând cont de (5.54)-(5.57):

$$u_x = kU_a \frac{L}{EW} F_x; \quad u_y = kU_a \frac{L}{EW} F_y \quad (5.58)$$

deci proporționale cu forțele reduse F_x și F_y .

Cele două montaje de TER-uri sunt cuplate la canalele 1 și 2 ale amplificatorului tensometric AT la a cărui ieșiri se obțin două semnale de tensiune proporționale cu forțele F_x și F_y , semnale ale căror nivele sunt în plaja ± 10 V.

Pentru măsurare momentului de torsiune M_t s-a aplicat, pe stâlpul S_t al antenei la partea sa superioară în secțiunea S_1 , un montaj de patru TER-uri $T_{t11} \dots T_{t22}$, amplasate la $\pm 45^\circ$ față de axa stâlpului.

Momentul de torsiune M_t produce tensiuni de răsucire:

$$\tau = \frac{M_t}{W_p} \quad (5.59)$$

unde W_p este modulul de rezistență polar, $W_p=W$.

Tensiunile principale $\sigma_{1,2}$ dezvoltate după axele TER-urilor sunt:

$$\sigma_{1,2} = \pm \tau \quad (5.60)$$

iar lungirile specifice ce se dezvoltă pe cele 4 TER-uri sunt:

$$\varepsilon_{t11} = \varepsilon_{t12} = \frac{\sigma_1}{E} = \frac{\tau}{E}; \quad \varepsilon_{t21} = \varepsilon_{t22} = \frac{\sigma_2}{E} = -\frac{\tau}{E} \quad (5.61)$$

Semnalul de tensiune corespunzător montajului de TER-uri amplasat în secțiunea S_1 va fi:

$$u_t = \frac{1}{4} kU_a (\varepsilon_{t11} + \varepsilon_{t12} - \varepsilon_{t21} - \varepsilon_{t22}) \quad (5.62)$$

care devine prin intermediul relațiilor (5.58)-(5.60):

$$u_t = kU_a \frac{1}{EW_p} M_t \quad (5.63)$$

Ca interfață de preluare a semnalelor către calculator s-a utilizat un convertor ADC, constând dintr-o placă de achiziție de date tip KPCI-3102, produsă

de firma Keithly. (pus la dispoziția acestui proiect de către Kathrein), ca soft pentru procesul de achiziție a semnalelor s-a utilizat mediul Test Point dezvoltat de firma Keithly.

Sensibilitatea pseudosenzorilor este una joasă datorită supradimensionării stâlpului S_t , care a fost proiectat să reziste la sarcini provenite de rafale de vânt puternice. În acest context cele trei semnale u_x , u_y și u_t , fiind de nivel jos, în timpul înregistrărilor de lungă durată, cu antena amplasată pe acoperișul clădirii de Orologerie, au intervenit probleme de derivă a nulului semnalelor înregistrate, necesitând dese operații de echilibrare a amplificatoarelor tensometrice.

Pentru a elimina acest inconvenient am conceput și realizat, parțial, un senzor complex pentru determinarea celor trei componente, care să aibă sensibilitatea necesară captării semnalelor corespunzătoare sarcinilor pentru rafale ușoare de vânt.

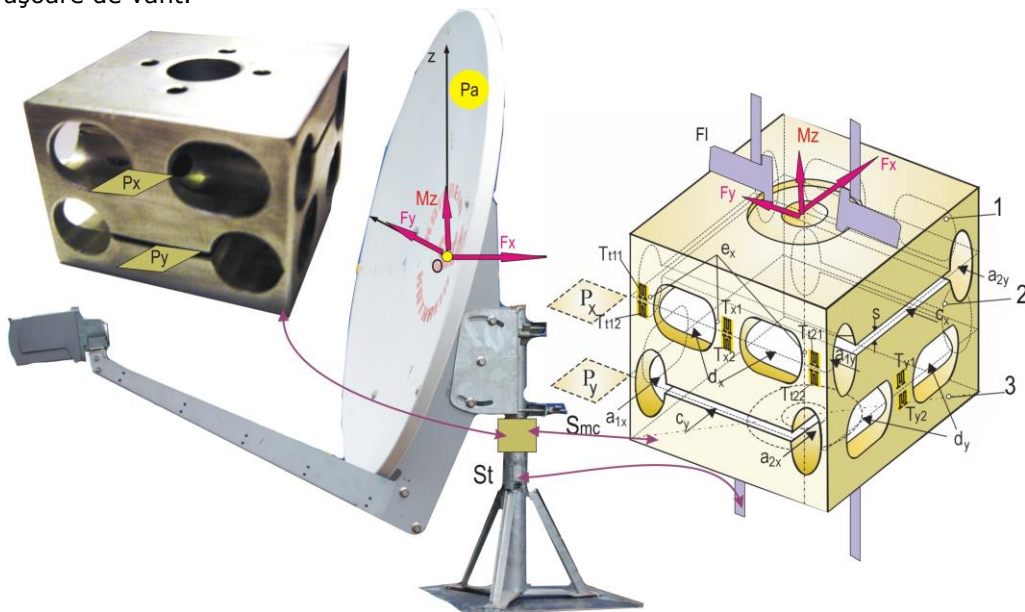


Fig. 5.22. Soluția de măsurare a componentelor F_x , F_y și M_z

Senzorul multicomponent S_{mc} (fig. 5.22.) se compune dintr-un paralelipiped care se intercalează prin flanșare (flanșele FI) în secțiunea superioară a stâlpului S_t . Pe blocul paralelipipedic masiv se execută o rețea de orificii care împart blocul în trei porțiuni 1, 2 și 3 considerate rigide, ce sunt unite prin elemente considerate legături elastice care se deformează sub acțiunea celor trei componente, pe care se aplică montaje de senzori.

Astfel, corpul senzorului se realizează prin două orificii a_{1y} și a_{2y} , care străpung paralelipipedul, orificii cu axele lor paralele cu Oy , după care se taie un rost c_x , de grosime s plan paralel cu Oxz , de comunicare între cele două orificii. Aceleași operații se execută și pe fețele perpendiculare prin orificiile de străpungere a_{1x} și a_{2x} .

În final se execută orificiile ovale d_x și d_y de străpungere până la orificiile a_{1y} și a_{2y} , obținându-se un cadru dublu, format din trei porțiuni 1, 2 și 3, considerate rigide, unite prin șase elemente elastice e_x , e_y încastrate între cele trei porțiuni.

Sub acțiunea forțelor F_x și F_y și a momentului M_z elementele elastice se deformează, așa cum se observă în figura 5.23., reprezentând distribuția tensiunilor

de-a lungul corpului senzorului, determinate cu programul ANSYS. Câmpurile maxime se înregistrează pe elementele elastice pe care sunt aplicate trei montaje de traductoare TER, conexiunile realizate ducând la decuplarea celor trei semnale corespunzătoare forțelor F_x , F_y și momentului M_z .

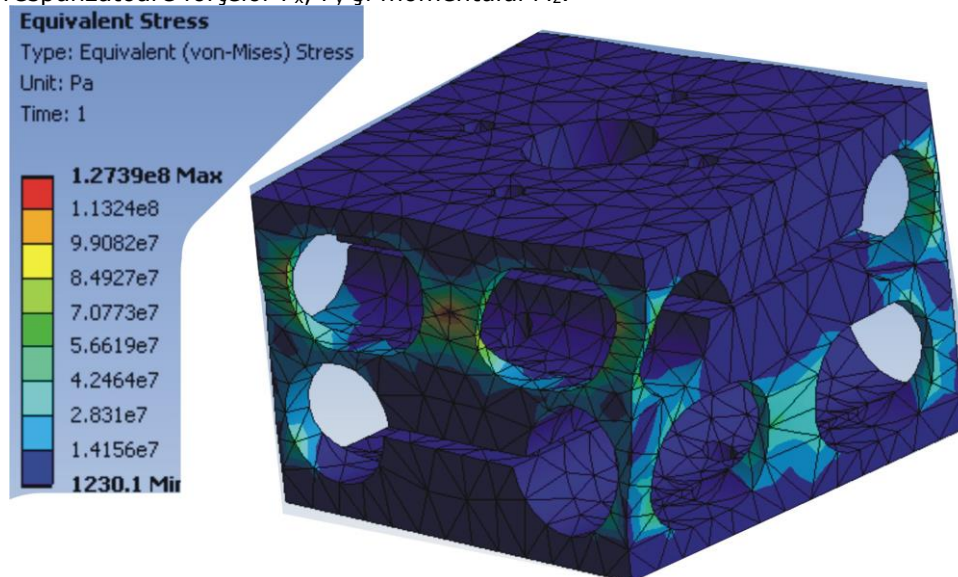


Fig. 5.23. Distribuția stării de tensiuni pe corpul senzorului de măsurare a trei componente F_x , F_y și M_z

În figura 5.24 se prezintă poziționarea TER-urilor pe elementele elastice și montajele lor pentru măsurarea forței F_x și a momentului M_z . Pentru măsurarea forței F_y amplasarea și montajul TER-urilor se face pe lamelele din secțiunea cu planul P_y (fig. 5.22.)

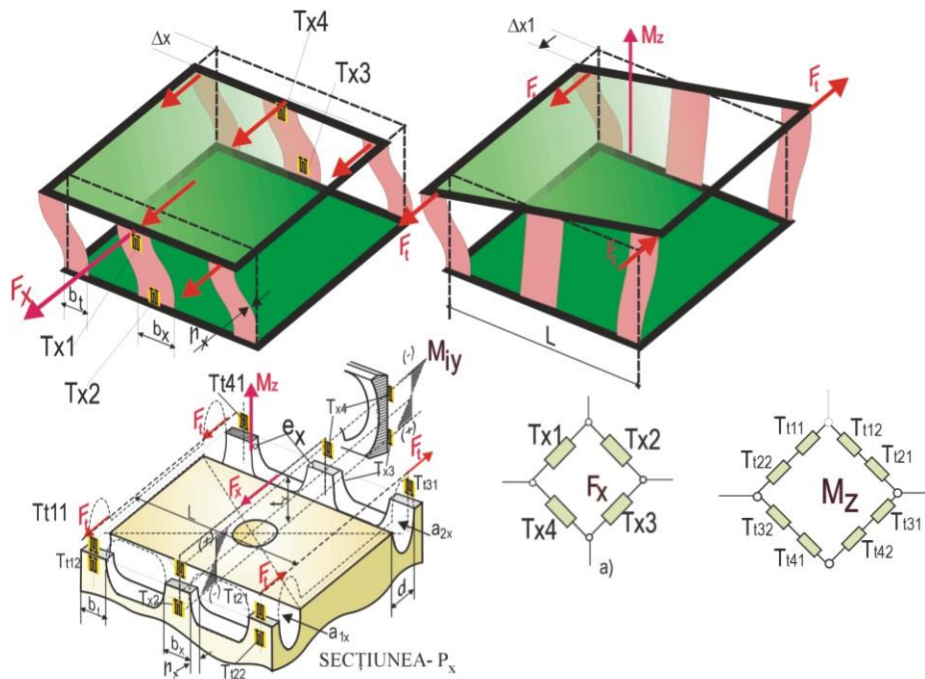


Fig. 5.24. Montajele de TER-uri pentru măsurarea forței F_x și a momentului M_z

5.2.3. Înregistrări ale sarcinilor induse de vânt în câmp deschis

5.2.3.1. Metode de procesare a semnalelor sarcinilor aleatoare

Evoluția netaționară a vântului a necesitat înregistrări pe secvențe lungi de timp, interval în care se succed mai multe rafale de vânt. Acestea au un caracter aleatoriu, staționar când se păstrează o valoare medie cu variații mici de-a lungul secvenței observate, sau netaționară cu acțiune tranzitorie.

În capitolul 2 s-a argumentat din punct de vedere al modelării curgerii turbulente că viteza $u_i(t)$ poate fi descompusă în două componente:

$$u_i(t) = \overline{u_i(t)} + \tilde{u}_i(t) \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2.62)$$

unde:

$$\overline{u_i(t)} = \frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} u_i(\tau) d\tau; \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2.63)$$

este o componentă lentă, mediată pe o bandă temporală de lățime T și o componentă variabilă $\tilde{u}(t)$ cu variație mult mai rapidă. Definiția acestei rapidități pare ambiguă, dar trebuie privită în cazul interacțiunii fluid - structură, funcție de

spectrul frecvențelor proprii al structurii, vizavi de spectrul acțiunii vântului caracterizat prin densitatea spectrală de putere:

$$S_{XY}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{T_s} R_{XY}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (5.64)$$

care este transformata Fourier, pe intervalul de timp finit T_s , a funcției de corelație:

$$R_{XY}(\tau) = \lim_{T_s \rightarrow \infty} \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u_X(t) u_Y(t + \tau) dt \quad (5.65)$$

unde $u_X(t)$ și $u_Y(t)$ sunt două semnale temporale ce se corelează între ele. Corelarea există atunci când funcția $R_{X,Y}(\tau)$ este o funcție diferită de zero în intervalul T_s .

Când $u_X(t) \equiv u_Y(t)$ funcția (5.65) este funcția de autocorelație $R_{XX}(\tau)$ care scoate în evidență componentele din spectru ce au un caracter repetitiv de-a lungul secvenței T_s .

O normalizare a acestei funcții este dată prin coeficientul de corelație definit prin expresia:

$$r_{XX}(\tau) = \frac{R_{XX}(\tau) - (\overline{u_{XX}})^2}{\sigma_X^2} \quad (5.66)$$

unde:

$$R_{XX}(\tau) = \lim_{T_s \rightarrow \infty} \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u_X(t) u_X(t + \tau) dt \quad (5.67)$$

este funcția de autocorelație:

$$\overline{u_{XX}} = E[u_X(t)] = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u_X(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} xp(x) dx \quad (5.68)$$

este valoarea medie a semnalului pe intervalul $0 \rightarrow T_s$, $p(x)$ fiind densitatea de repartiție:

$$\sigma_X = \sqrt{E[u_X^2(t)] - \{E[u_X(t)]\}^2} \quad (5.69)$$

deviația standard și:

$$E[u_X^2(t)] = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u_X^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x) dx \quad (5.70)$$

Turbulența rafalei de vânt are un conținut energetic ce este distribuit într-un anumit domeniu de frecvență $0 \rightarrow f_s$, conținut ce poate fi definit prin:

$$\int_0^{f_s} S_{uu}(f) df = \sigma_u^2 \quad (5.71)$$

unde $S_{uu}(f)$ este funcția densității spectrale de putere a vitezei rafalei de lege $u(t)$. Această relație conduce la o altă formă a spectrului logaritmic:

$$S_{uu}^L = \frac{fS(f)}{\sigma_{uu}^2} \quad (5.72)$$

reprezentat la o scară logaritmică funcție de frecvența f , astfel că:

$$\int_0^{f_s} S_{uu}^L(f) df = 1 \quad (5.73)$$

În vederea determinării mărimii pulsațiilor de viteză în jurul vitezei medii temporale \bar{u} se mai utilizează o mărime adimensională numită intensitatea adimensională a turbulenței:

$$I_u = \frac{\sigma_u}{\bar{u}} \quad (5.74)$$

exprimând nivelul de turbulență dintr-un punct din curentul de aer.

Un model dinamic linear discret al unei structurii asupra căruia acționează o rafală de vânt se poate scrie de forma aproximativă:

$$[M]\{\ddot{q}(t)\} + [C]\{\dot{q}(t)\} + [K]\{q(t)\} = \{D\}p(t) \quad (5.75)$$

$\{q(t)\}$ este vectorul deplasărilor nodurilor ce definesc mișcarea structurii iar $[M]$, $[C]$ și $[K]$ sunt matricele de inerție, amortizare și respectiv de rigiditate.

Acțiune vântului asupra structurii este dată de vectorul de excitație aproximativ ca produsul dintre o presiunea de lege $p(t)$ a rafalei, care ponderează vectorul $\{D\}$, produsul dintre $p(t)$, care are o variație aleatoare, și elementul D_i dă componenta forței de excitație redusă într-un anumit nod.

Acest model simplifică mult procesul de calcul, deoarece excitația $\{D\}p(t)$ se calculează din modelarea curgerii peste structură considerată fixă, după care se calculează răspunsul structurii. Totuși, modelul scapă unele efecte, cum este efectul de instabilitate provocată de interacțiunea fluid structură elastică.

Multiplicând sistemul de ecuații diferențiale cu $p(t+\tau)$ și aplicând integralele de convoluție se obțin funcțiile de corelație:

$$\{R_{wp}(\tau)\} = \lim_{T_s \rightarrow \infty} \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} \{w(t)\}p(t+\tau)dt; \quad (\{w(t)\} = p(t), \{q(t)\}, \{\dot{q}(t)\}, \{\ddot{q}(t)\}) \quad (5.76)$$

asupra cărora se aplică transformata Fourier obținându-se funcțiile de densitate spectrală:

$$\{S_{wp}(\omega)\} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{T_s} \{R_{wp}(\tau)\}e^{-j\omega\tau}d\tau \quad (\{w\} = p, \{q\}, \{\dot{q}\}, \{\ddot{q}\}) \quad (5.77)$$

Se poate demonstra că există relațiile:

$$\{S_{\dot{q}p}(\omega)\} = j\omega\{S_{qp}(\omega)\}; \quad \{S_{\ddot{q}p}(\omega)\} = -\omega^2\{S_{qp}(\omega)\} \quad (5.78)$$

cu ajutorul cărora se obține vectorul densităților spectrale ale deplasării nodurilor:

$$\{S_{qp}(\omega)\} = [H_q(\omega)]\{D\}S_{pp}(\omega) \quad (5.79)$$

unde $S_{pp}(\omega)$ este vectorul densităților spectrale ale presiunii rafalei, iar:

$$[H_q(\omega)] = (-\omega^2[M] + j\omega[C] + [K])^{-1} \quad (5.80)$$

este matricea funcțiilor de transfer, ce poate fi descompusă într-o sumă modală.

Din (5.79) se constată că spectrul densităților spectrale ale deplasărilor structurii este un produs dintre funcția densității auto spectrului $S_{pp}(\omega)$ a presiunii vântului care ponderează produsul $[H_q(\omega)]\{D\}$.

Forme similare se pot obține și pentru tensiuni și forțele de legătură măsurate cu montajele de TER-uri (Fig.5.21.).

Vibrațiile aleatoare produc sarcini ciclice ce pot cauza degradări prin oboseală ale structurii prin cumulări și de aceea semnalele înregistrate pe antenă și viteza vântului au fost analizate în amplitudine prin densitate de repartiție $p(x)$, care în multe cazuri are o formă normală de tip Gaussian:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2}} \quad (5.81)$$

5.2.3.2. Rezultate experimentale cu antena în câmp liber

Dintre numeroasele înregistrări făcute la diverse regimuri de vânt în figurile 5.25. sunt prezentate grafic rezultatele unei înregistrări pe o durată de 350 secunde, durată edificatoare pentru a cuprinde mai multe rafale. Frecvența de eșantionare cu care s-a făcut achiziția a fost de 200 eșantioane/secundă ceea ce a permis o analiză precisă a componentelor în domeniul de frecvență 0→100 Hz, domeniu în care se află situate spectrul presiunii vântului cât și primele moduri de vibrații ale structurii antenei, intervalul este edificator pentru obținerea diagramelor de variație în timp ale:

- presiunii $p(t)$, măsurată cu ajutorul senzorului (fig.5.18.), vectorizată după axele Ox și Oy , prin cele două componente $p_x(t)$ și $p_y(t)$;
- componentele $F_x(t)$ și $F_y(t)$ ale rezultantei sarcinilor ce acționează asupra structurii antenei;
- momentul de torsiune M_z după axa Oz ;

În figura 5.25.1. sunt prezentate diagramele componentelor vectorizate $p_x(t)$ și $p_y(t)$ ale presiunii la o secvență de 350 secunde. În laterale, sunt reprezentate densitățile de repartiție ale elongațiilor de presiune, stânga pentru $p_x(t)$ și dreapta pentru $p_y(t)$. Pentru a vedea gradul de abatere de la distribuția normală, Gaussiană, de forma (5.81), s-au reprezentat și diagramele approximate ale acestei distribuții (liniile continue).

Pentru a vedea și cine influențează aceste abateri de la legea distribuției normale s-au descompus, prin filtrare cu mediere (după 2.68 și 2.69), cele două componente ale semnalelor de presiune în câte două componente, $\overline{p_x(t)}$ și $\overline{p_y(t)}$, de joasă frecvență și în câte două componente ale pulsațiilor de presiune $\tilde{p}_x(t)$ și $\tilde{p}_y(t)$. Reprezentarea lor grafică în figurile 5.25.2. și 5.25.3., după același mod ca în figura 5.25.1., scoțând în evidență o distribuție mai aproape de una normală a componentelor pulsatorii $\tilde{p}_x(t)$ și $\tilde{p}_y(t)$, ceea ce justifică și presupunerile ce se fac la studiul mișcărilor turbulente a fluidelor reale prin ecuațiile lui Reynolds (2.72).

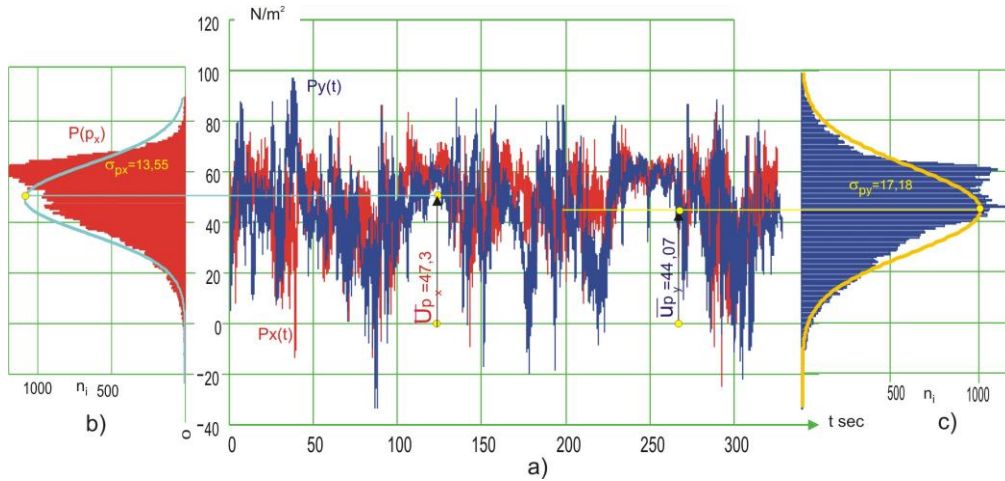


Fig. 5.25.1. Diagrama variațiilor în timp ale presiunilor $p_x(t)$ și $p_y(t)$

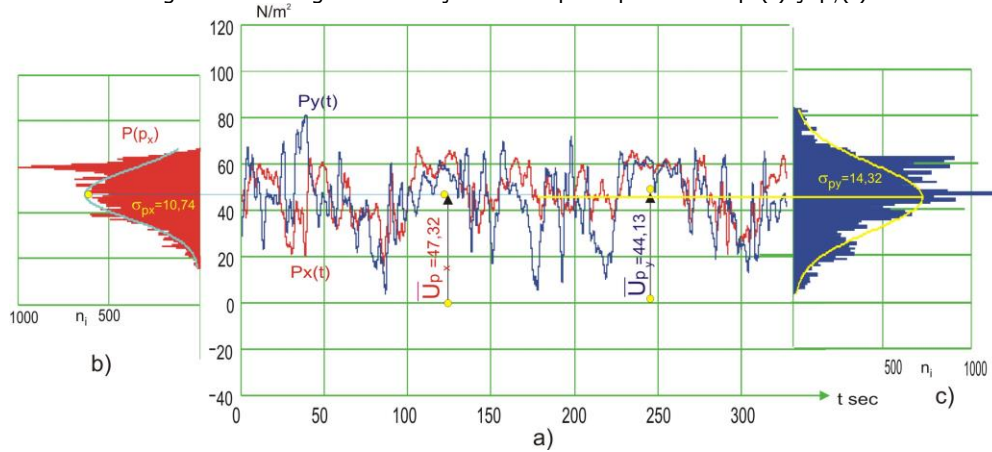


Fig. 5.25.2. Diagrama variațiilor în timp ale presiunilor mediate $\bar{p}_x(t)$ și $\bar{p}_y(t)$

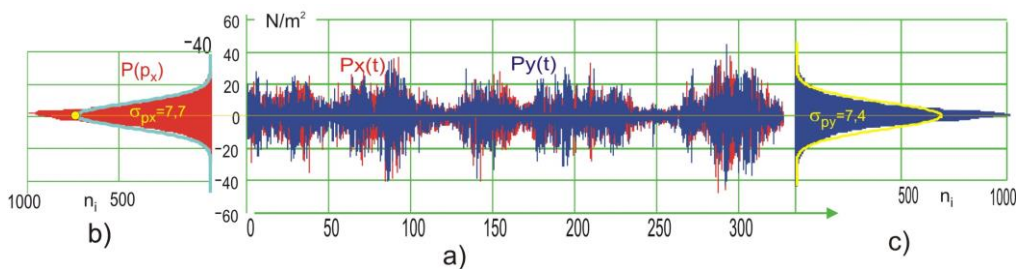


Fig. 5.25.3. Diagrama variațiilor în timp ale pulsațiilor de presiune $\tilde{p}_x(t)$ și $\tilde{p}_y(t)$

În diagrame sunt date și reprezentate valorile medii ale presiunilor pe întreaga secvență înregistrată de durată T_s :

$$\bar{U}_{p_{x,y}} = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} p_{x,y_i}(t) dt \quad (5.82)$$

S-au obținut valorile medii $\overline{Up_x} = 47,32 \text{ N/m}^2$ și $\overline{Up_y} = 44.1 \text{ N/m}^2$, egale pentru componentele nefiltrate (fig. 5.25.1.) și filtrate (fig. 5.25.2.). Mici diferențe se înregistrează între valorile deviației standard σ (5.69):

- $\sigma_x = 13,55 \text{ N/m}^2$ pentru componenta $p_x(t)$ nefiltrată
- $\sigma_y = 17,18 \text{ N/m}^2$ pentru componenta $p_y(t)$ nefiltrată
- $\sigma_x = 10,74 \text{ N/m}^2$ pentru componenta $p_x(t)$ filtrată
- $\sigma_y = 14,32 \text{ N/m}^2$ pentru componenta $p_y(t)$ filtrată

Pentru componentele pulsatorii $\tilde{p}_x(t)$ și $\tilde{p}_y(t)$ valorile deviației standard sunt $\sigma_x = 7,7 \text{ N/m}^2$ și respectiv $\sigma_y = 7,4 \text{ N/m}^2$, rezultând, conform relației (5.74), intensitatea adimensională a turbulenței, cu o valoare maximă $I_U = \frac{17,4}{44.1} \approx 0,4$.

Pentru calculul funcției de corelație (5.65) s-a apelat la expresia finită:

$$R_{p_x, p_y}(\tau) = \frac{1}{T_s - \tau} \int_0^{T_s - \tau} p_{x,y}(t) p_{x,y}(t + \tau) dt \quad (5.83)$$

care sub o formă discretă devine:

$$R_{p_x, p_y}(i \cdot \Delta\tau) = \frac{1}{n\Delta\tau - i\Delta\tau} \sum_{k=1}^{n-i} p_{x,y}(k\Delta\tau) p_{x,y}(k\Delta\tau + i\Delta\tau) \Delta\tau \quad (5.84)$$

rezultând pentru $\Delta t = \Delta\tau$:

$$R_{p_x, p_y}(i) = \frac{1}{n-i} \sum_k^{n-i} p_{x,y}(k) p_{x,y}(k+i); \quad (i = 1, 2, 3, \dots, nr) \quad (5.85)$$

În cazul când componenta presiunii conține o valoare medie de valoare mult diferită de valoarea zero, ca în cazul de față, $\overline{Up_x} = 47,32 \text{ N/m}^2$, atunci funcția de corelație se calculează cu relația:

$$R_{p_x}(i) = \frac{1}{n-i} \sum_k^{n-i} [p_{x,y}(k) - \overline{Up_x}] [p_{x,y}(k+i) - \overline{Up_x}]; \quad (i = 1, 2, 3, \dots, nr) \quad (5.86)$$

În figura 5.25.4.a) este prezentat grafic coeficientului de corelație adimensional al semnalului de presiune $p_x(t)$, calculat cu relația (5.66), care ajunge la forma $r_{p_x}(\tau) = \frac{R_{p_x}(\tau)}{\sigma_x^2}$, ținând cont de faptul că la calculul funcției de corelație s-a utilizat relația (5.86).

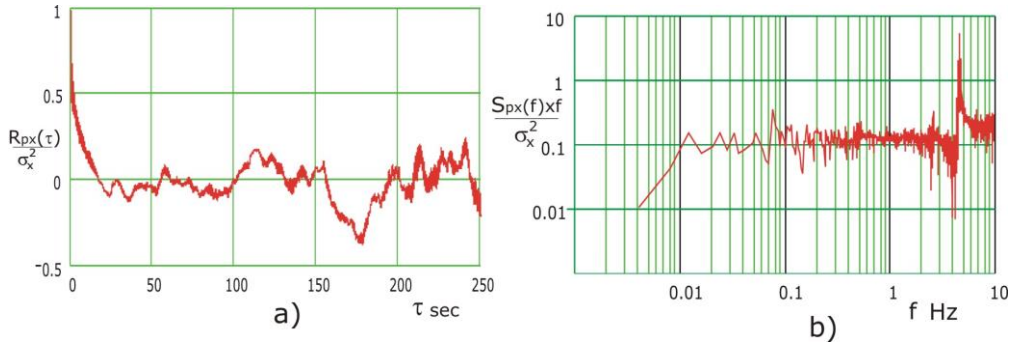


Fig. 5.25.4. Ilustrarea funcțiilor; a) coeficientul de corelație și b) spectrul logaritmic de putere al semnalului $p_x(t)$

În figura 5.25.4.b) este prezent spectrul logaritmic de putere al componentei $p_x(t)$, calculat cu relația (5.72). Spectrul prezentat, logaritmic pe ambele axe, relevă un domeniu plat în banda 0,01 → 10 Hz cu un vârf la 4,8 Hz cauzat de excitarea suportului elastic de prindere al senzorului S_{bp} , (fig. 5.17.), o țevă de diametru 25 mm și lungime 1,8 m prinsă la bază de stâlpul de amplasare al antenei.

Acțiunea vântului asupra antenei măsurată prin pseudosenzorii cu traductoare TER este dată prin semnalele forțelor $F_x(t)$ și $F_y(t)$.

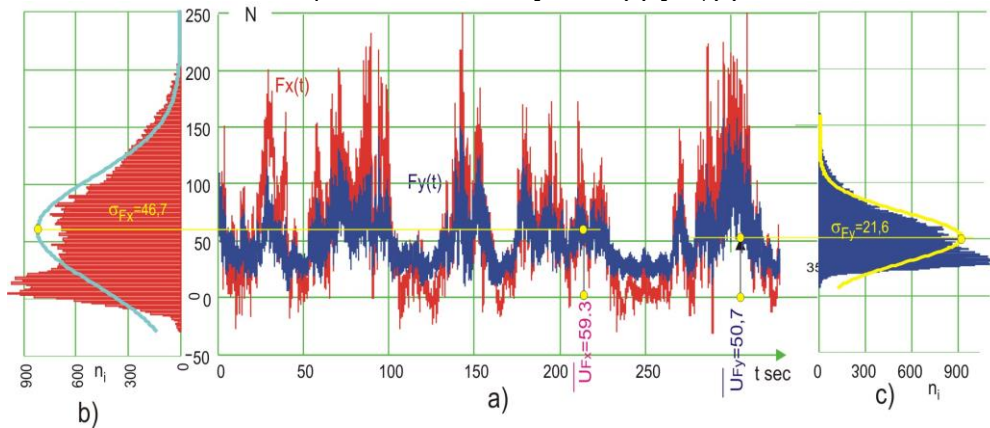


Fig. 5.26.1. Diagramele variațiilor în timp ale forțelor $F_x(t)$ și $F_y(t)$

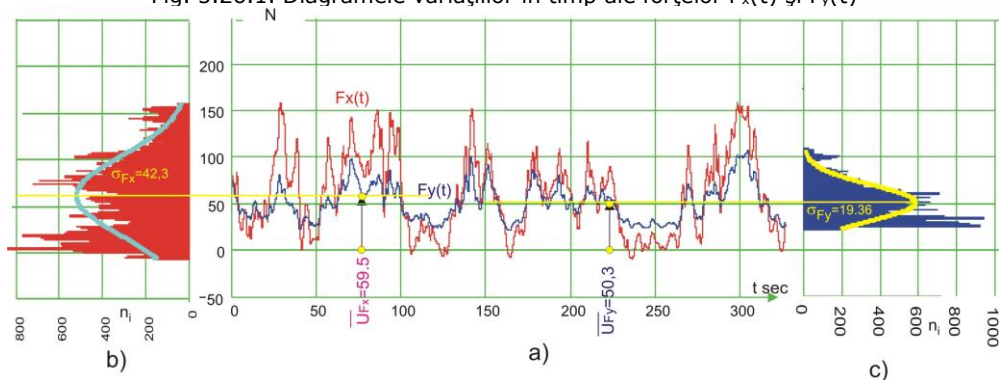


Fig. 5.26.2. Diagramele variațiilor în timp ale componentelor mediate $\overline{F_x(t)}$ și $\overline{F_y(t)}$

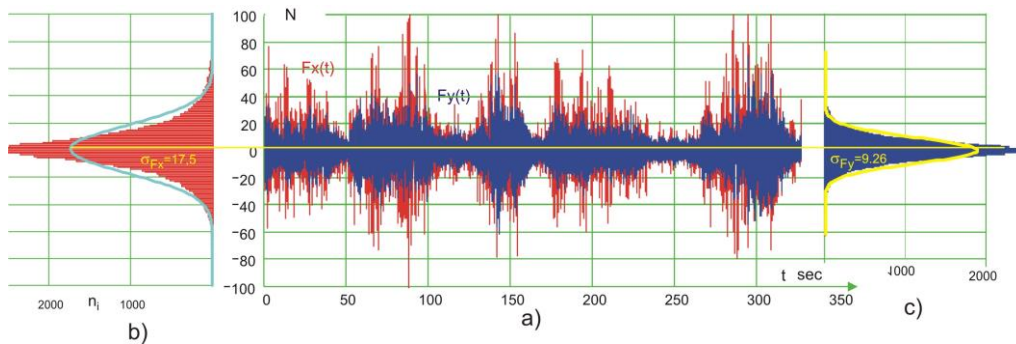


Fig. 5.26.3. Diagramele variațiilor în timp ale componentelor pulsatorii $\tilde{F}_x(t)$ și $\tilde{F}_y(t)$

Cum este și normal diagramele corespunzătoare forțelor $F_x(t)$ și $F_y(t)$ au forme asemănătoare cu cele ale componentelor $p_x(t)$ și $p_y(t)$ ale presiunii măsurate.

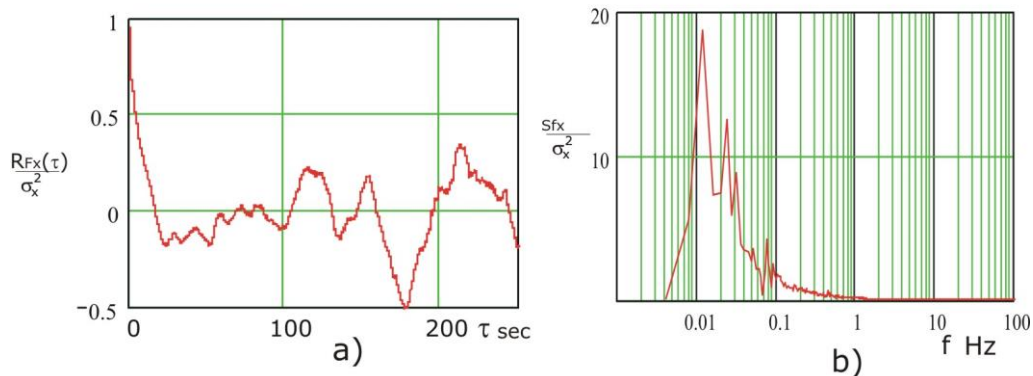


Fig. 5.26.4. Diagrama: a) a coeficientului de corelație și b) a densității spectrale de putere, a componentei $F_x(t)$.

În figura 5.26.4.a) este dată diagrama coeficientului de corelație a forței $F_x(t)$ iar în figura 5.26.4.b) densitatea spectrală de putere normalizată prin deviația standard. Domeniul în frecvență al acestei funcții este de la ≈ 0.005 la 1 Hz, același cu cel al presiunii $p(t)$.

Diagrama de variație în timp a momentului de torsiune $M_z(t)$ a stâlpului tubular de susținere al antenei este prezentată în figura 5.27.1. iar diagramele coeficientului de corelație și densitatea spectrală de putere corespunzătoare în figura 5.27.2.

Din aceste diagrame și din cele ale forțelor $F_x(t)$ și $F_y(t)$ rezultă că în răspunsul structurii antenei la excitația indusă de acțiunea vântului nu sunt excitate modurile naturale ale structurii care au domeniul frecvențelor proprii peste 10 Hz, așa cum s-a constatat și la testarea structurii antenei pe standul de laborator.

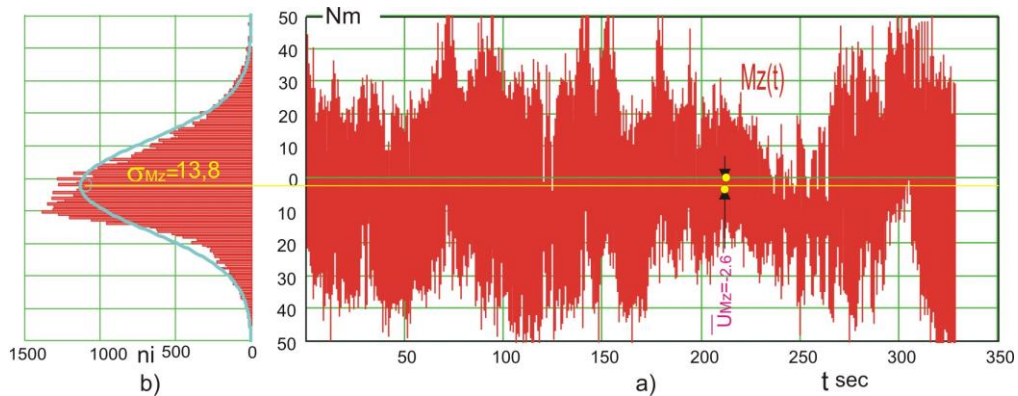


Fig. 5.27.1. a) Diagrama variației în timp a momentului de torsiune $M_z(t)$ și b) Diagrama distribuției elongațiilor

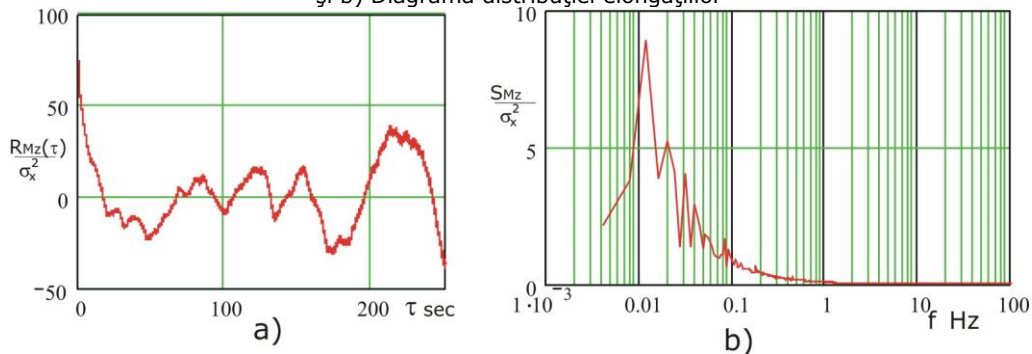


Fig. 5.27.2. Diagrama: a) a coeficientului de corelație și b) a densității spectrale de putere, a momentului de torsiune $M_z(t)$.

5.2.3.3. Rezultate experimentale cu antena mobilă.

Testarea antenei la diverse viteze ale vântului se face numai în tuneluri de vânt unde curentul de aer este asigurat de un ventilator puternic cu debit reglabil, fiind necesară asigurarea unei suprafețe de control de 10 ori mai mare decât diametrul echivalent al suprafeței transversale a structurii testate. Această condiție este necesară pentru a nu modifica câmpurile de viteze și de presiuni care se formează la expunerea structurii în câmp liber.

În consecință pentru o structură ca a antenei Kathrein CAS 120, cu diametrul reflectorului de 1,2 m ar trebui să fie testată utilizând un tunel de vânt cu diametrul de 10 -12 m, indisponibil în țară, și dacă ținem cont de costurile extrem de mari ale unei asemenea operații, am recurs la o soluție mult mai ieftină, amplasând antena pe un vehicul mobil (figurile 5.28. și 5.29.).

O primă experiență s-a efectuat cu antena amplasată pe portbagajul unui autoturism Dacia 1300, pus la dispoziție prin generozitatea domnului tehnician Cornel Borza. Autoturismul a rulat la diverse viteze de deplasare (20 - 70 km/h) pe două trasee din municipiul Timișoara: zona Stadion Dan Păltinișan și Calea Lugoșului.

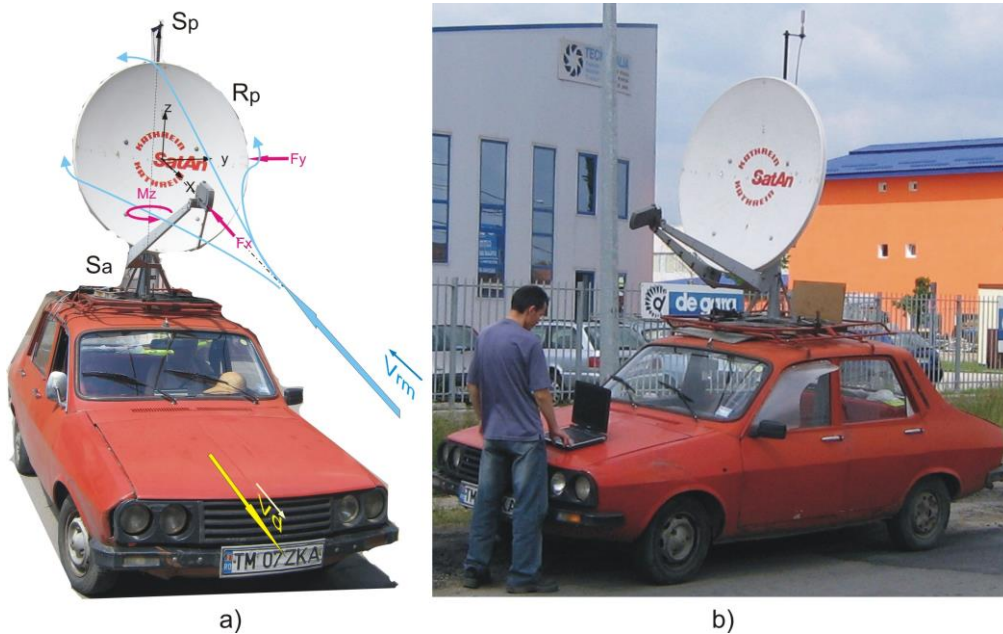


Fig. 5.28. Amplasarea antenei pe portbagajul unui autoturism:

- a) ilustrarea câmpului vitezelor relative curent - structură mobilă;
- b) operație de echilibrare a senzorilor pe traseul din Calea Lugojului.

O altă experiență s-a efectuat cu antena amplasată pe șaua unui trailer IVECO (figura 5.29.1.) pus la dispoziție de firma DUNCA EXPEDITION, prin generozitatea domnului ing. Doru Husarciuc, director de exploatare. Probele au fost efectuate pe un traseu de drum drept de pe Calea Aradului.



Fig. 5.29.1. Amplasarea antenei pe șaua trailerului IVECO în poziție longitudinală nerotită

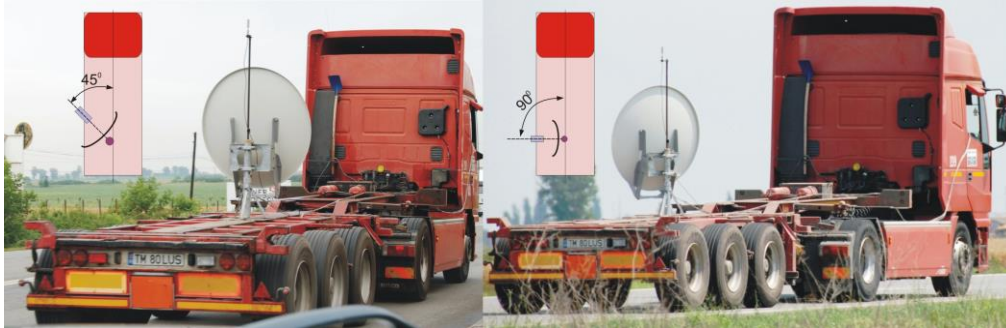


Fig. 5.29.2. Amplasarea antenei pe șaua trailerului IVECO rotită la $\approx 45^\circ$ și 90°

În figurile 5.30 sunt prezentate, în formă concisă, rezultatele la probele efectuate cu antena amplasată pe portbagajul autoturismului Dacia 1300 (fig.5.28.), cu antena la unghiul de rotire 0° , poziție la care sarcinile pe antenă sunt maxime. Diagramele care reprezintă componenta $p_x(t)$ a presiunii pe corpul cilindric al sensorului de presiune, corespunzătoare la patru valori ale vitezei de deplasare $v_d=40; 50; 60$ și 70 km/h, sunt date în figurile 5.30.1., a) reprezentând componentele mediate $\overline{p_x(t)}$, b) componentele pulsatorii $\tilde{p}_x(t)$ și spectrele în frecvență ale acestora.

Din diagramele componentelor mediate se observă că acestea au variații lente, acestea putând fi cauzate de, variații ale vitezelor de deplasare, perturbații inerțiale introduse de denivelările de teren și existența unor regimuri netaționare de curgere.

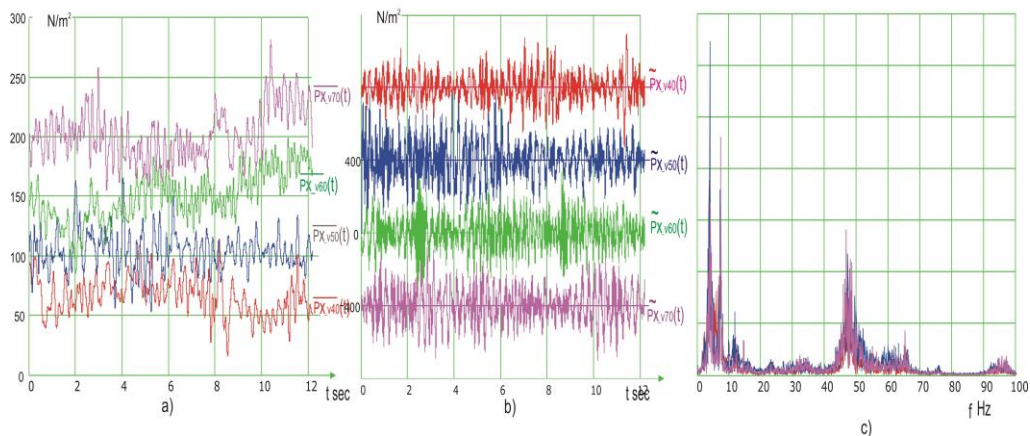


Fig. 5.30.1. Variațiile componentei $p_x(t)$ a presiunii pe sensorul de presiune, la patru viteze de rulare, a vehiculului Dacia 1300, 40, 50, 60 și 70 km/h.

- Diagramele componentelor mediate ale presiunii vectorizată $\overline{p_x}_{-v}(t)$; la valori ale vitezei $v=40, 50, 60$ și 70 km/h
- Diagramele componentelor pulsatorii ale presiunii vectorizată $\tilde{p}_x_{-v}(t)$ la valori ale vitezei $v=40, 50, 60$ și 70 km/h
- Spectrele în frecvență ale componentelor pulsatorii ale presiunii $p(t)$

Pentru a avea valori de comparație între cele patru regimuri de rulare se poate calcula o valoare medie pe întregul interval T_s al secvenței înregistrate:

$$\overline{p_{mx_v}} = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} p_x(t) dt \quad (5.87)$$

Pentru cele patru viteze rezultă valorile:

- $p_{mx_40} = 66, \text{ N/m}^2$ la viteza de deplasare $v_{m,40} = 40 \text{ km/h}$
- $p_{mx_50} = 88.9 \text{ N/m}^2$ la viteza de deplasare $v_{m,50} = 50 \text{ km/h}$
- $p_{mx_60} = 134,7 \text{ N/m}^2$ la viteza de deplasare $v_{m,60} = 60 \text{ km/h}$
- $p_{mx_70} = 162,1 \text{ N/m}^2$ la viteza de deplasare $v_{m,70} = 70 \text{ km/h}$

Cum presiunea pe suprafața unui corp plasat în curent poate fi scris sub forma:

$$p_{mx_vi} = C_p \frac{(v_{m,vi})^2}{2} \quad vi = 40, 50, 60, 70 \quad (5.88)$$

unde C_p este un coeficient ce ține seama de geometria senzorului, se poate scrie o relație de verificare:

$$\frac{p_{mx_vi}}{p_{mx_vj}} \left(\frac{v_{m,vj}}{v_{m,vi}} \right)^2 = 1 \quad (5.89)$$

Pentru cele patru viteze rezultă:

$$\frac{p_{mx_50}}{p_{mx_40}} \left(\frac{v_{m,40}}{v_{m,50}} \right)^2 = 0,868 \quad \frac{p_{mx_60}}{p_{mx_40}} \left(\frac{v_{m,40}}{v_{m,60}} \right)^2 = 0.903$$

$$\frac{p_{mx_70}}{p_{mx_40}} \left(\frac{v_{m,40}}{v_{m,70}} \right)^2 = 0.799$$

valori acceptabile dacă se ține cont că vitezele de rulare nu au fost păstrate constante.

Spectrele în frecvență (fig.5.30.1c) ale componentelor pulsatorii $\tilde{p}_x(t)$ relevă un grup de vârfuri la frecvențele 4, 12 și 15,5 Hz care aparțin modurilor sistemului elastic de prindere al senzorului de presiune.

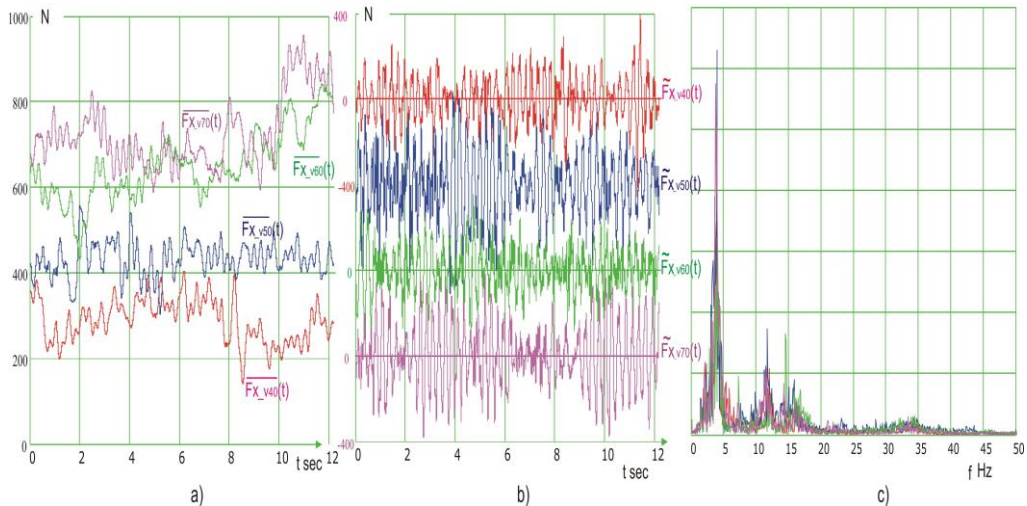


Fig. 5.30.2. Variațiile componentei $F_x(t)$ a forței induse de aer, pe direcția de rulare a vehiculului Dacia 1300, la patru viteze: 40, 50, 60 și 70 km/h.

- a) Diagramele componentelor mediate ale forței $\overline{F_{x-v}(t)}$ la valori ale vitezei $v=40, 50, 60$ și 70 km/h
- b) Diagramele componentelor pulsatorii, $\tilde{F}_{x-v}(t)$ la valori ale vitezei $v=40, 50, 60$ și 70 km/h
- c) Spectrele în frecvență ale componentelor pulsatorii $\tilde{F}_{x-v}(t)$

Diagramele de variație ale componentele $F_x(t)$ și $F_y(t)$, ale rezultantei sarcinilor din vânt, sunt date în figurile 5.30.2. și 5.30.3., în a), componentele mediate, în b) componentele pulsatorii iar în c) spectrele componentelor pulsatorii.

Pentru componenta $F_x(t)$ relațiile adimensionale de verificare (5.89) au forma:

$$\frac{F_{mx-vi}}{F_{mx-vj}} \left(\frac{v_{m,vj}}{v_{m,vi}} \right)^2 = 1 \quad (5.90)$$

$$\frac{F_{mx-50}}{F_{mx-40}} \left(\frac{v_{m,40}}{v_{m,50}} \right)^2 = 0,958 ; \frac{F_{mx-60}}{F_{mx-40}} \left(\frac{v_{m,40}}{v_{m,60}} \right)^2 = 0,998 ;$$

$$\frac{F_{mx-70}}{F_{mx-40}} \left(\frac{v_{m,40}}{v_{m,70}} \right)^2 = 0.822$$

valori mai apropiate de unitate.

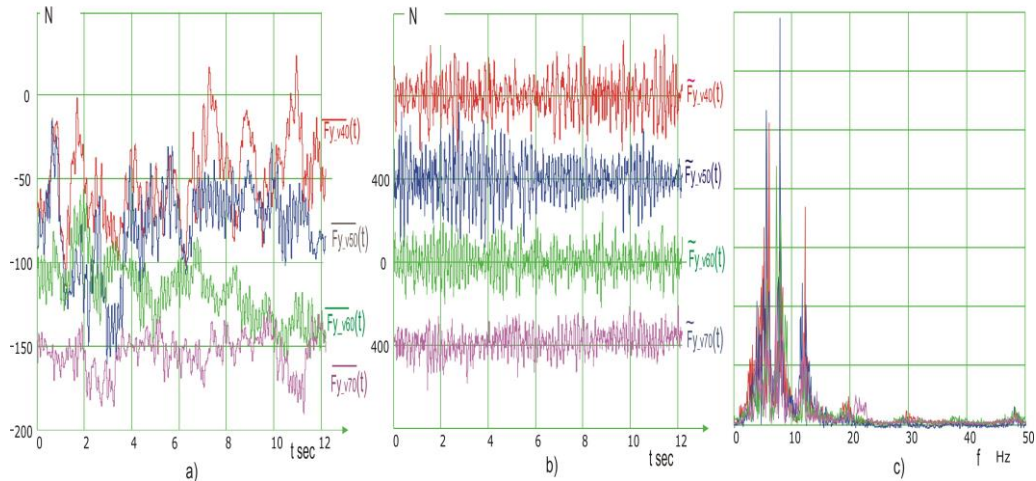


Fig. 5.30.3. Variațiile componenteii $F_y(t)$ a forței indusă de aer, pe direcția normală față de direcția de rulare a vehiculului Dacia 1300, la patru viteze: 40, 50, 60 și 70 km/h.

- Diagramele componentelor mediate ale forței $\overline{F}_{y-v}(t)$ la valori ale vitezei $v=40, 50, 60$ și 70 km/h
- Diagramele componentelor pulsatorii ale forței $\tilde{F}_{y-v}(t)$ la valori ale vitezei $v=40, 50, 60$ și 70 km/h
- Spectrele în frecvență ale componentelor pulsatorii $\tilde{F}_{y-v}(t)$

Spectrele (fig. 5.30.2.a) corespunzătoare componenteii pulsatorii $\tilde{F}_{x-v}(t)$ relevă linii spectrale la 6, 8 și 12 Hz apropiate frecvențelor proprii a structurii antenei prinsă de structura elastică a portbagajului.

Componenta $F_y(t)$ (fig. 5.30.3.) prezintă variații asemănătoare componenteii $F_x(t)$, dar normal, de niveluri mult mai mici, componenta fiind măsurată pe direcția perpendiculară mișcării, structura fiind simetrică pe această direcție.

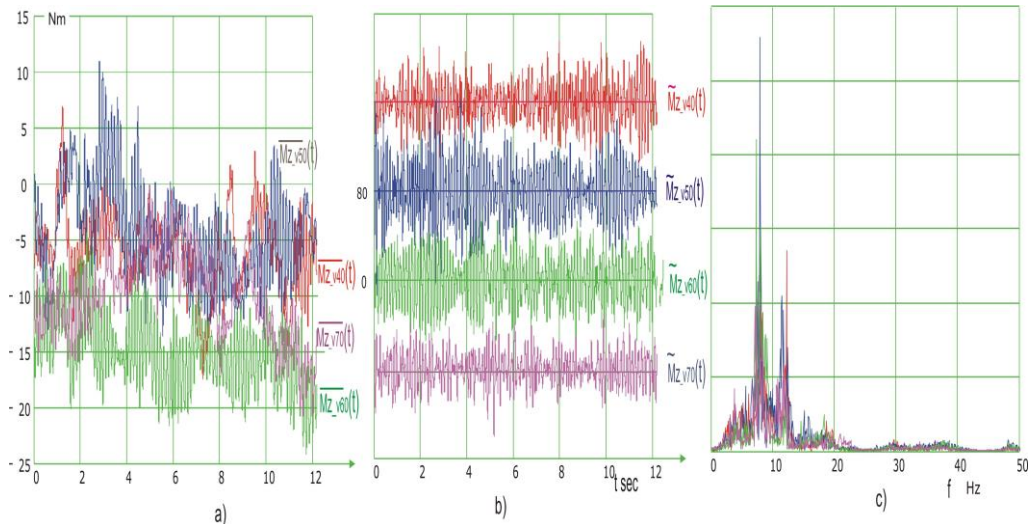


Fig. 5.30.4. Variațiile componenteii $M_z(t)$ a momentului de torsiune, indus de sarcinile de aer, la patru viteze: 40, 50, 60 și 70 km/h.

- Diagramele componentelor mediate ale momentului $\overline{M_{z-v}(t)}$ la valori ale vitezei $v=40,50,60$ și 70 km/h
- Diagramele componentelor pulsatorii ale momentului $\tilde{M}_{z-v}(t)$ la valori ale vitezei $v=40,50,60$ și 70 km/h
- Spectrele în frecvență ale componentelor pulsatorii $\tilde{M}_{z-v}(t)$

Componenta $M_z(t)$ a momentului de torsiune (fig.5.30.4) este de asemenea de niveluri joase, din același motiv, de simetrie a structurii, față de axa de curgere, distribuțiile câmpurilor de viteze și presiuni fiind, așa cum s-a simulat numeric, simetrice față de această axă.

Programul experimental a cuprins și alte poziții de rotire a antenei față de axa de rulare, care vor fi valorificate în viitoare lucrări.

Același program experimental s-a efectuat cu antena amplasată pe trailerul IVECO, pe traseul din Calea Aradului.

În figura 5.31. sunt prezentate diagramele corespunzătoare componentelor forței $F_x(t)$, rezultată la deplasarea vehiculului la patru viteze, de 65, 75, 85, și 90 km/h.

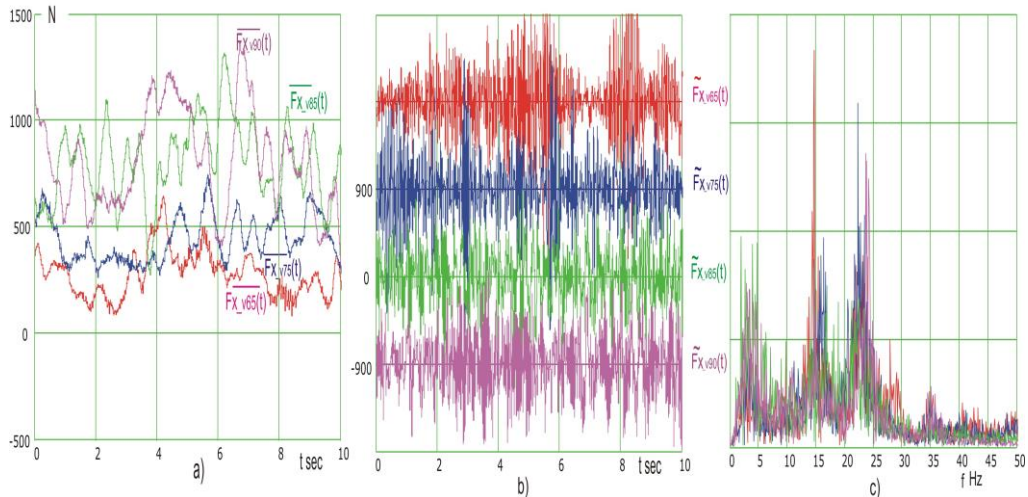


Fig. 5.31. Variațiile componenteii $F_x(t)$ a forței induse de aer, pe direcția de rulare a trailerului IVECO, la patru viteze: 65, 75, 85 și 90 km/h.

- Diagramele componentelor mediate ale forței $\overline{F_{x-v}(t)}$ la valori ale vitezei $v=65, 75, 85$ și 90 km/h
- Diagramele componentelor $\tilde{F}_{x-v}(t)$ ale forței pulsatorii la valori ale vitezei $v=65, 75, 85$ și 90 km/h
- Spectrele în frecvență ale componentelor pulsatorii $\tilde{F}_{x-v}(t)$

Viteza maximă atinsă fiind de 90 km/h, nivelul maxim al forței $F_x(t)$ atinge, pentru valoare mediată $\overline{F_{x-v}(t)}$, 1450 N (fig.5.31a).

De asemenea, sunt crescute valorile componentelor pulsatorii $\tilde{F}_{x-v}(t)$ (fig.5.31a), iar liniile spectrele sunt de bandă în jurul frecvențelor 4, 15, 22 Hz, demonstrând că în spatele cabinei ia naștere un curent de aer puternic turbulent.

În concluzie rezultă că testul structurii antenei la interacțiunea cu aerul poate fi o alternativă la testul în tunelul aerodinamic, operația putând fi îmbunătățită printr-o prindere corespunzătoare care să scoată structura antenei din zona de umbră a cabinei vehiculului. De asemenea se poate realiza o prindere care să elimine efectele vibrațiilor induse de neregularitățile terenului de rulare.

Pentru o dispozitivare corectă este necesară în prealabil o simulare numerică a distribuțiilor câmpurilor de viteze și presiuni din câmpul înconjurător vehiculului, tematică vizată pentru viitoare lucrări în domeniul interacțiunii fluid – structură.

6. CONTRIBUȚII ȘI CONCLUZII

Principalul obiectiv al tezei este studiul teoretic și experimental privind sarcinile induse de vânt asupra unei structuri mecanice cu aplicație la o structură de antenă parabolică.

Tematica problemei este deosebit de complexă implicând modelări ale structurii elastice și ale fluidului cu care interacționează. Pentru a scoate în evidență amploarea fenomenelor care apar am structurat teza în așa fel încât formulările analitice să fie expuse în mod logic, bine susținute de ilustrațiile grafice explicative, pe care le-am conceput în acest sens.

Astfel în capitolul 1 am făcut o trecere în revistă a conținutului tezei scoțând în evidență legătura dintre deformațiile structurii și câștigul semnalului captat, vibrațiile relative dintre LNC și suprafața reflectorului putând afecta negativ nivelul semnalului.

În capitolul 2 am prezentat ecuațiile de curgere ale fluidului cu accent pe particularitățile ce apar în apropierea suprafețelor structurii, toate ilustrațiile prezentate fiind rezultate pe baza unor simulări numerice.

Astfel datorită acestor ilustrații s-au evidențiat mai clar efecte subtile de curgere în stratul limită, folosind rezultatele simulării curgerii peste o placă plană. Apariția vârtejurilor și inițierea lor în stratul limită au fost puse în evidență prin ilustrarea simulată numeric peste un corp cilindric, plasat transversal în calea curentului.

Complexitatea problemei formării vârtejurilor și a diverselor lor forme este ilustrată prin rezultatele simulării, în 2D. a curgerii peste un profil rigid de parabolă plasat la diferite unghiuri (0° , 45° , 90° , 135° , 180°) față de direcția de curgere a aerului. La simulare s-a utilizat, codul ANSYS Multiphysics.

Formarea vârtejurilor alternante este deosebit de subtilă, chiar pentru un cilindru rigid, cerând anumite condiții legate de numerele Reynolds, Strouhal și geometria secțiunii structurii, transversală direcției de curgere. Am ilustrat și analizat formarea vârtejurilor alternante, demonstrând deplasarea lor cu viteză constantă, diferită de cea a fluidului, în spatele structurii pe traseul liniar, efect întâlnit în literatură ca și "Karman vortex street", după numele celui care le-a pus în evidență pentru prima dată, pe cale experimentală, Theodore Von Karman (1881-1963).

Majoritatea amplasărilor de antene TV satelit sunt pe pereții laterali ai unor clădiri. La furtuni cu rafale puternice de vânt ce se propagă de-a lungul unui perete apare efectul de strangulare a curentului, de tip Venturi. Acest efect l-am simulat pe un profil de antenă fixat față de perete la două unghiuri față de direcția de curgere a fluidului, (45° , 135°) pentru diferite numere Reynolds. Simularea s-a efectuat utilizând un program în codul ANSYS Multiphysics.

În cazul în care structura este elastică apar condiții de calare a frecvenței vârtejurilor alternante pe una dintre frecvențele proprii ale structurii. Am ilustrat și analizat acest efect rezonant pe o diagramă spațială. Am prezentat două cazuri analizate de Laboratorul de Testări și Cercetări în Vibrații, cazuri cu urmări catastrofale: distrugerea unui canal de fum ce deservea o instalație chimică și colapsul unei structuri de grătar la intrarea în camera spirală a unei turbine hidraulice, colaps rezultat în urma unei rezonanțe excitate prin vârtejuri alternate, cauzate de un regim de curgere peste profilul unei bare diagonale.

Un alt efect ce poate apare la curgerea peste o structură elastică este cel de galopare la care structura poate să-și piardă stabilitatea elastică. Am scris ecuațiile dinamice ale structurii parabolice și am analizat condițiile de instabilitate.

Curgerile nestaționare, le-am tratat în paragraful 2.4, regim pentru care se deduc ecuațiile Reynolds, derivate din ecuațiile Navier Stokes pentru mișcări turbulente ale fluidului real incompresibil cum este vântul. Am arătat și exemplificat, pe un semnal de presiune al rafalei, înregistrat cu antena amplasată în câmp liber, că semnalul poate fi descompus în două componente. Am analizat, pe o secvență de vânt cu rafale multiple înregistrată în câmp liber, componente ce intervin în ecuațiile lui Reynolds.

Ca aplicație a interacțiunii fluid (vânt) structură (capitolul 3) s-au scris ecuațiile cuplate pentru interacțiunea vânt și corpul cilindric al senzorului bidirecțional de presiune, conceput și realizat pentru testarea antenei.

În subcapitolul 3.2 am prezentat problemele pe care le ridică discretizările, structurii elastice, fluidului și racordarea celor două rețele prin mesh variabil. Și aici, ilustrarea este făcută pe interacțiunea vânt antenă parabolică. Sunt analizate și formele discrete ale ecuațiilor diferențiale ce guvernează interacțiunea fluid structură, ecuații neliniare cuplate. Ca aplicație pentru problema interacțiunii fluid structură, am realizat o simulare în 2D cu ajutorul programului ANSYS Multiphysics.

Capitolul 4 este dedicat analizei programelor de simulare la diverse regimuri de vânt pe diverse structuri, cu detalierea liniilor de comandă pentru simularea curgerii: peste un cilindru în (2D), peste o placă și peste un cilindru în (3D) considerat elastic încastrat la ambele capete.

Pentru simularea interacțiunii fluid - structură antenă, în 3D s-au realizat programe în codul ANSYS-CFX pentru o serie de regimuri ale vântului, cu antena în diverse poziții unghiulare față de linia curentului (0° , 45° , 90° , 135° , 180°).

La simularea în 3D am recurs la o simplificare a modelului dinamic al antenei. Am înlocuit legătura elastică de prindere a antenei prin suportul tubular, cu un grup de arcuri, ale căror constante s-au ales în așa fel încât frecvența primului mod natural de vibrații al sistemului reflector grup de arcuri să fie apropiată valoric de cea a primului mod determinată experimental pe structura reală (14,28 Hz). S-a recurs la această simplificare care nu modifică practic câmpurile de viteze și presiuni din volumul de control, suprafața reflectorului scăldată de fluid fiind mult mai mare decât aceea a celorlalte elemente. Prin acest artificiu se reduce mult timpul de procesare, care și așa pentru o rulare a modelului simplificat poate ajunge la 24 de ore, pentru un mesh de 9804 elemente, cu rulare pe o stație SUN cu două procesoare.

Ca date de intrare s-a ales o viteză la intrarea în volumul de control uniform crescătoare de la 0 la 60 m/s în 10 secunde, ceea ce baleiază întreg domeniu al nivelelor de vânt posibil de atins.

O altă simulare a fost una de tip rafală, luându-se ca date de intrare variația în timp a vitezei unei rafale reale (fig.2.19), înregistrată cu antena amplasată pe acoperișul clădirii de Orologerie, valorile înregistrate fiind înmulțite cu un factor de amplificare care a adus valoarea medie a vitezei rafalei de intrare în simulare la 30 m/s.

Aceiași variație de tip rafală a vitezei de intrare s-a utilizat și pentru cazul amplasării antenei sub un unghi de 135° față de un perete, unde, așa cum s-a arătat, apar curgeri de tip Venturi.

Contribuții originale importante am adus și în cadrul lucrărilor experimentale care fac obiectul capitolului 5.

Deoarece nu am avut la dispoziție o documentație de execuție a reflectorului parabolic și la testele de vibrații ale antenei era necesară localizarea cu precizie a punctelor de amplasare a senzorilor de măsurare a vibrațiilor, am recurs la o metoda simplă de ridicare a suprafeței paraboloidului prin zece profiluri pe un sector simetric de 90° .

Am conceput și realizat un stand de analiză modală a structurii antenei, aceasta fiind amplasată pe un bloc masiv rigid, care la rândul său este suspendat de elemente elastice, ansamblul astfel format fiind izolat energetic de mediul înconjurător.

La testarea modală a structurii pe standul de laborator am conceput un sistem original de măsurare a vibrațiilor după trei direcții ortogonale, utilizând senzorul USP pus la dispoziția laboratorului nostru de firma Microflown, metoda concepută de noi fiind expusă în ebook-ul http://www.microflown.com/data/books/EBook_Microflown/Ebook_7_vibration.pdf.

În ceea ce privește testarea antenei în condiții de câmp deschis la rafale de vânt reale, constatând unele probleme legate de deriva nulului electric, am conceput un senzor compact, care să măsoare cele trei componente $F_x(t)$, $F_y(t)$ și $M_z(t)$, ale sarcinilor induse de vânt. Senzorul realizat parțial urmează să înlocuiască pseudosenzorul realizat prin montaje de TER-uri amplasate pe suportul tubular al reflectorului antenei.

Și în ceea ce privește măsurarea presiunii vântului am conceput două tipuri de senzori cu traductoare piezoelectrice. Sarcina din vânt este proiectată periodic pe axa traductorului piezoelectric amplasat pe o lamă elastică rotativă.

Semnalele înregistrărilor efectuate în câmp liber, cu antena amplasată pe clădirea Orologerie a Facultății de Mecanică, au fost prelucrate atât în domeniul timp cât și în domeniul frecvență prin componentele mediate, în cazul semnalelor de presiune ($\overline{p_x(t)}$ și $\overline{p_y(t)}$) și pulsatorii ($\tilde{p}_x(t)$ și $\tilde{p}_y(t)$), ale căror distribuții statistice verifică destul de bine legea normală, condiție impusă de scrierea ecuațiilor Reynolds.

Densitățile spectrale ale semnalelor de presiune obținute prin intermediul funcțiilor de corelație, relevând valori notabile în domeniu 0,01 la 1 Hz. Aceleași tipuri de diagrame s-au obținut și pentru diagramele semnalelor forțelor $F_x(t)$ și $F_y(t)$, prin componentele mediate $\overline{F_x(t)}$ și $\overline{F_y(t)}$ și componentele pulsatorii $\tilde{F}_x(t)$ și $\tilde{F}_y(t)$ și a momentului de torsiune a stâlpului de prindere al reflectorului, $M_z(t)$.

Rezultate notabile am obținut și la probele cu antena amplasată pe portbagajul unui autoturism și pe șaua unui trailer IVECO. În ambele cazuri autovehiculele au rulat cu diverse viteze.

Din înregistrările efectuate s-a verificat legea de variație a sarcinilor pe antenă ca o funcție pătratică a vitezei de deplasare. Înseamnă că sarcinile principale provin din acțiunea aer structură antenă, testul pe vehiculul în mișcare putând fi o alternativă la testul în tunelul aerodinamic.

În concluzie, o preocupare de viitor va fi aceea a simulării acestei interacțiuni ținând seama și de influența geometriei vehiculului și de îmbunătățirea sistemului de fixare a antenei pe vehicul, la testul experimental, vizându-se diminuarea perturbațiilor inerțiale provenite prin rularea vehiculului.

BIBLIOGRAFIE

1. *** ANSYS 10.0 Workbench Tutorial, ANSYS Inc., 2006
2. *** ANSYS CFX Release 11.0-Solver Theory Guide, ANSYS Inc., 2006
3. *** CatMan, Operating Manual, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH
4. *** COSMOSFloWorks Tutorial, SolidWorks Corporation
5. *** FIDAP 8 Theory Manual, Fluent Inc., 1998
6. *** FIDAP 8.5 Update Manual, Fluent Inc., 1999
7. *** FLUENT 6. User's Guide, Fluent Inc., 2001
8. *** HÜTTE – Manualul inginerului, Ed. Tehnică, București , 1995
9. *** Mechanical engineering handbook, CRC Press, 1999
10. *** Spider8, Operating Manual, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH
11. *** TestPoint Reference Guide, Capital Equipment Corporation, 1998
12. Ancușa, V., Mecanica fluidelor și mașini hidraulice, Institutul Politehnic Traian Vuia, Timișoara, 1979
13. Aris R. Vectors, Tensors, și the Basic Equations of Fluid Mechanics, Dover, 1962.
14. Axinte E., Pescaru R. A., Studiul acțiunii vântului în tunelul aerodinamic, Ed. Cermi, Iași, 2000.
15. Bathe K. J., Finite Element Procedures, Prentice-Hall, 1996
16. Benaroya H., Wei T., HAMILTON'S PRINCIPLE FOR EXTERNAL VISCOUS FLUID-STRUCTURE INTERACTION, Journal of Sound și Vibration (2000) 238(1), 113-145
17. Bereteu L., Smicală I., Vibrații mecanice cu aplicații, Editura Mirton, Timișoara, 1993
18. Brădeanu P., Mecanica fluidelor, Ed. Tehnică, București, 1973
19. Buzdugan G., Mihăilescu E., Radeș M., Măsurarea vibrațiilor, Editura Academiei, București, 1979
20. Cebeci T., Analysis of Turbulent Flows, Elsevier, 2004
21. Cioara T. Gh., Bereteu L., Determinarea solicitărilor dinamice induse de vânt în structura unei antene parabolice, Proceedings of the X-th conference on mechanical vibration, Journal of Politehnica University Timișoara Romania, Tom 47(61), Supplement, Editura Politehnica, Timișoara 23-24 Mai 2002
22. Cioara T. Gh., Cristescu Al., Dragomir D., Hâncu M., Popescu S., Oprea L., Traductor tensometric pentru măsurarea forțelor statice și dinamice de nivele foarte joase. Brevet Ro. 94563
23. Cioara T. Gh., Dragomir D., Gherescu N. Senzor de forță miniatural. Brevet Ro. 94564
24. Cioara T. Gh., Gherescu N. Dragomir D. Procedeu și dispozitiv pentru confecționarea traductoarelor electrotensometrice. Brevet Ro 89664
25. Cioara T. Gh., On a Curve-Fitting Algorithm for Modal Parameter Estimation, Proceedings of the 6th International Modal Analysis Conference, Kissimmee, Florida, February 1988
26. Cioara T. Gh., Simoiu D., Modal Testing of a Parabolic Dish Antenna Structure, IMAC XXIV A CONFERENCE ON STRUCTURAL DYNAMICS St. Louis, Missouri January 30 – February 2, 2006 CD paper no 206143

27. Cioara T. Gh., Simoiu D., Tocarciuc A., Jîrdea A., Căplescu C., Resonant vibration induced in a flue structure with a heat exchanger. Case study, , Proceedings of the XI th International Conference on Vibration Engineering pp 255-259
28. Cioara T. Vibrații și zgomote. Note de curs, format electronic, Universitatea Politehnica Timișoara
29. Cioara T., Tehnici experimentale în inginerie. Traductoare și senzori, Editura Politehnica Timișoara, 1999
30. Cioara T., Testarea la vibrații a structurilor mecanice, Note de curs, format electronic, Universitatea Politehnica Timișoara
31. Currie I. G., Fundamental mechanics of fluids, Marcel Dekker Inc, 2003
32. Degeratu M., Stratul limită atmosferic, Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara, 2002.
33. Deutsch I., Rezistența materialelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1976
34. Felippa C. A., Introduction to Finite Element Methods, Lecture Notes, <http://caswww.colorado.edu/courses.d/IFEM.d/Home.html>
35. Ferziger J. H., Perić M., Computational methods for fluid dynamics, Springer, 2002
36. Florea J, Panaitescu V., Mecanica fluidelor, Ed. Didactică și pedagogică, 1979
37. Fung Y. C., An introduction to the theory of aeroelasticity, Dover, 1994
38. Ghiocel D., Lungu D., Acțiunea vântului, zăpezii și variațiilor de temperatură în construcții, Ed. Tehnică, București, 1972
39. Harris C. M., Piersol A. G., HARRIS' SHOCK AND VIBRATION HANDBOOK, McGraw-Hill, 2002
40. Heinbockel J. H., Introduction to Tensor Calculus și Continuum Mechanics, ediție electronică, 2001
41. Hodges D. H., Pierce G. A., Introduction to structural dynamics și aeroelasticity, Cambridge University Press, 2002
42. Iacob, C., Mecanică teoretică, Ed. didactică și pedagogică, București, 1971
43. Johnson R. C., Antenna Engineering Handbook, McGraw-Hill, 1993
44. Kocin, N.E., Calcul Vectorial și Introducere în Calculul Tensorial, Editura Tehnică, 1954.
45. Kundu P. K., Cohen I. M., Fluid mechanics, Academic Press - Elsevier Science, 2002
46. Lai W. M., Rubin D., Krempf E., Introduction to continuum mechanics, Butterworth-Heinemann, 1999
47. Lesieur M., Turbulence in Fluids, Kluwer Academic Publishers, 1997
48. Liu G. R., Quek S. S., The Finite Element Method: A Practical Course, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2003
49. Lungu A., Modelări numerice în hidrodinamică, Ed. Tehnică, București, 2000
50. Madenci E., Guven I., The finite element method și applications in engineering using ANSYS, Springer, 2006
51. Meirovitch L., Computational Methods in Structural Dynamics, Sijthoff & Noordhoff, 1980
52. Meirovitch L., Elements of Vibration Analysis, McGraw Hill, 1975
53. Moaveni S., Finite Element analysis – Theory și applications with ANSYS, Prentice Hall, 1999
54. Møller H., Analysis și Optimization for Fluid-Structure Interaction Problems, Ph.D. thesis, Institute of Mechanical Engineering Aalborg University, 2002
55. Nakayama Y., Boucher R. F., Introduction to fluid mechanics, Elsevier, 1998

56. Olariu V., Sima P. Achiriloaie V., Mecanica tehnică, Editura Tehnică, București, 1982
57. Panofsky H. A., Dutton J. A., Atmosferic turbulence, John Wiley & Sons, 1983
58. Peyret R., Handbook of Computational Fluid Mechanics, Elsevier, 1996
59. Raangs R., EXPLORING THE USE OF THE MICROFLOWN, Ph.D. thesis, Universiteit Twente, 2005
60. Rank E., Scholz D., Halfmann A., Gluck M., Breuer M., Durst F., Fluid-structure interaction in civil engineering, Proceedings Second MIT Conference on Computational Fluid și Solid Mechanics June 17–20, 2003, Pages 1488-1491
61. Rao A., Fluid-solid interaction analysis using ANSYS/multiphysics, Proceedings Second MIT Conference on Computational Fluid și Solid Mechanics June 17–20, 2003, Pages 1492-1496
62. Rao S. S., The Finite Element Method in Engineering, Elsevier, 2005
63. Resiga R., Elemente de mecanica fluidelor și tehnici de soluționare numerică, Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara, 1999
64. Resiga R., Mecanica Fluidelor Numerică, Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara, 2003
65. Sachs P., Wind forces in engineering, Pergamon Press, 1972
66. Schlichting H., Boundary-layer theory, McGraw-Hill, 1979
67. Seteanu I., Rădulescu V, Vasiliu N., Vasiliu D, Mecanica fluidelor și sisteme hidraulice, Editura Tehnică, București 1998
68. Simoiu D., A CONSIDERATION ON FLUID STRUCTURE INTERACTION (FSI), The Proceedings of the 8-th Symposium AVSM2005, Timisoara, Romania, (2005).
69. Simoiu D., Referat 1, Stadiul actual al cercetărilor privind sarcinile statice și dinamice induse de vânt asupra unei structuri mecanice, 2004
70. Simoiu D., Referat 2, Simulări și programe de calcul privind acțiunea vântului asupra unei structuri de antenă parabolică, 2005
71. Simoiu D., Referat 3, Metode, echipamente și teste experimentale privind investigarea sarcinilor dinamice induse de vânt asupra structurii unei antene parabolice, 2005
72. Simoiu D., Tocarciuc A., Cercetari privind influența vântului asupra unor structuri elastice. Considerații teoretice, *Annals of the Oradea University, fascicle of Management și Technological Engineering*, Vol. III (XIII), May 2004, pp 53 d, ISSN 1583-0691
73. Simoiu D., Tocarciuc A., Cercetări privind influența vântului asupra unor structuri elastice. Aplicație la o antenă parabolică, *Annals of the Oradea University, fascicle of Management și Technological Engineering*, Vol. III (XIII), May 2004, pp 53 c, ISSN 1583-0691
74. Thomson W. T., Theory of Vibrations with Applications, Unwin Hyman, 1988
75. White F. M., Fluid mechanics, McGraw-Hill, 1998
76. Wilcox, D., W., Turbulence modelling for CFD, DCW. Industries, 1998
77. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., The Finite Element Method, Butterworth-Heinemann, 2000
78. Zienkiewicz R. L., Taylor R. L., Nithiarasu P., The finite element method for fluid dynamics, Elsevier, 2005

Anexă

Simularea curgerii peste structura antenei poziționată cu axa la 0° față de direcția de curgere, viteza rafala 30 m/s

```
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:freewalls
Boundary Type = WALL
Location = F23.21,F24.21,F25.21,F26.21
BOUNDARY CONDITIONS:
MESH MOTION:
Option = Stationary
END
WALL INFLUENCE ON FLOW:
Option = Free Slip
END
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:inlet
Boundary Type = INLET
Location = F22.21
BOUNDARY CONDITIONS:
FLOW REGIME:
Option = Subsonic
END
MASS AND MOMENTUM:
Option = Cartesian Velocity Components
U = MyVelX(t)
V = 0 [m s^-1]
W = 0 [m s^-1]
END
MESH MOTION:
Option = Stationary
END
TURBULENCE:
Option = Medium Intensity și Eddy Viscosity
Ratio
END
END
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:interface
Boundary Type = WALL
Location = F18.21,F19.21,F20.21
BOUNDARY CONDITIONS:
MESH MOTION:
ANSYS Interface = FSIN_1
Option = ANSYS MultiField
Receive from ANSYS = Total Mesh
Displacement
Send to ANSYS = Total Force
END
WALL INFLUENCE ON FLOW:
Option = No Slip
END
WALL ROUGHNESS:
Option = Smooth Wall
END
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:outlet
Boundary Type = OPENING
Location = F27.21
BOUNDARY CONDITIONS:
FLOW DIRECTION:
Option = Normal to Boundary Condition
END
FLOW REGIME:
Option = Subsonic
END
MASS AND MOMENTUM:
Option = Opening Pressure și Direction
Relative Pressure = 0 [Pa]
END
MESH MOTION:
Option = Stationary
END
TURBULENCE:
Option = Medium Intensity și Eddy Viscosity
Ratio
END
END
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
DOMAIN MODELS:
DOMAIN MOTION:
Option = Stationary
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
DOMAIN MODELS:
REFERENCE PRESSURE:
Reference Pressure = 1 [atm]
END
END
END
```

```

END
FLOW:
  DOMAIN:Default Domain
  FLUID MODELS:
    TURBULENCE MODEL:
      Option = k epsilon
    END
  END
END
END
FLOW:
  DOMAIN:Default Domain
  FLUID MODELS:
    TURBULENT WALL FUNCTIONS:
      Option = Scalable
    END
  END
END
FLOW:
  INITIALISATION:
    Option = Automatic
  INITIAL CONDITIONS:
    Velocity Type = Cartesian
  CARTESIAN VELOCITY COMPONENTS:
    Option = Automatic with Value
    U = MyVelX(t)
    V = 0 [m s^-1]
    W = 0 [m s^-1]
  END
  EPSILON:
    Option = Automatic with Value
  END
  K:
    Option = Automatic with Value
  END
  STATIC PRESSURE:
    Option = Automatic with Value
    Relative Pressure = 0 [Pa]
  END
END
END
FLOW:
  SIMULATION TYPE:
    Option = Transient
  EXTERNAL SOLVER COUPLING:
    ANSYS Input File =
E:/teza/ansys/antena_rotation_0g/v30/antena11.inp
    Option = ANSYS MultiField
  COUPLING TIME CONTROL:
    COUPLING INITIAL TIME:
      Option = Automatic
    END
    COUPLING TIME DURATION:
      Option = Total Time
      Total Time = 9.99 [s]
    END
    COUPLING TIME STEPS:
      Option = Timesteps
      Timesteps = 0.015 [s]
    END
  END
  INITIAL TIME:
    Option = Coupling Initial Time
  END
  TIME DURATION:
    Option = Coupling Time Duration
  END
  TIME STEPS:
    Option = Coupling Timesteps
  END
  END
  FLOW:
  SOLVER CONTROL:
    ADVECTION SCHEME:
      Option = High Resolution
    END
    CONVERGENCE CONTROL:
      Maximum Number of Coefficient Loops = 3
      Minimum Number of Coefficient Loops = 2
      Timescale Control = Coefficient Loops
    END
    CONVERGENCE CRITERIA:
      Residual Target = 1.E-4
      Residual Type = RMS
    END
  EXTERNAL SOLVER COUPLING CONTROL:
  COUPLING DATA TRANSFER CONTROL:
    Convergence Target = 1e-3
    Under Relaxation Factor = 0.75
  END
  COUPLING STEP CONTROL:
    Maximum Number of Coupling Iterations = 10
    Minimum Number of Coupling Iterations = 1
  SOLUTION SEQUENCE CONTROL:
    Solve ANSYS Fields = After CFX Fields
  END
  END
  END
  TRANSIENT SCHEME:
    Option = Second Order Backward Euler
  TIMESTEP INITIALISATION:
    Option = Automatic
  END
  END
  END
  LIBRARY:
  CEL:
  FUNCTION:MyVelX
    Argument Units = [s]
    Option = Interpolation
    Result Units = [m s^-1]
  INTERPOLATION DATA:
    Data Pairs =
0,14.81,0.015,10.74,0.03,9.981,0.045,14.29,0.06,1
6.36,0.075,15.2,0.09,14.36,0.105,11.94,0.12,12.92,
0.135,16.6,0.15,16.16,0.165,15.53,0.18,14.79,0.19
5,12.21,0.21,14.2,0.225,16.64,0.24,15.24,0.255,13.
79,0.27,12.3,0.285,15.14,0.3,13.57,0.315,14.07,0.3
3,16.53,0.345,12.56,0.36,12.32,0.375,12.62,0.39,1
2.35,0.405,14.23,0.42,13.84,0.435,10.05,0.45,10.3
2,0.465,8.79,0.48,11.98,0.495,15.93,0.51,9.108,0.5
25,10.93,0.54,10.03,0.555,9.702,0.57,16.25,0.585,
12.87,0.6,1.171,0.615,8.67,0.63,10.93,0.645,11.09,
0.66,14.14,0.675,10.75,0.69,3.261,0.705,8.853,0.7
2,14.29,0.735,15.1,0.75,14.2,0.765,14.17,0.78,17.3
8,0.795,11.71,0.81,16.67,0.825,19.92,0.84,11.84,0.
855,16.02,0.87,18.99,0.885,15.29,0.9,20.49,0.915,

```

22.16,0.93,16.55,0.945,20.88,0.96,22.64,0.975,19.51,0.99,22.58,1.005,17.87,1.02,19.42,1.035,18.52,1.05,19.54,1.065,20.23,1.08,19.3,1.095,20.39,1.11,21.02,1.125,18.31,1.14,20.43,1.155,20.89,1.17,21.36,1.185,21.76,1.2,19.13,1.215,18.47,1.23,21.58,1.245,21.24,1.26,17.43,1.275,20.02,1.29,19.97,1.305,19.64,1.32,23,1.335,21.6,1.35,18.57,1.365,21.19,1.38,22.81,1.395,21.19,1.41,22.84,1.425,21.74,1.44,18.74,1.455,19.99,1.47,21.72,1.485,19.79,1.5,19.84,1.515,20.1,1.53,20.98,1.545,20.63,1.56,20.85,1.575,21.2,1.59,19.83,1.605,20.67,1.62,23.15,1.635,22.06,1.65,22.62,1.665,24.04,1.68,21.52,1.695,23.98,1.71,26.4,1.725,25.42,1.74,24.6,1.755,24.5,1.77,24.59,1.785,25.06,1.8,25.48,1.815,26.95,1.83,27.76,1.845,27.43,1.86,26.99,1.875,27.32,1.89,27.12,1.905,26.6,1.92,25.8,1.935,25.77,1.95,25.16,1.965,25.79,1.98,25.63,1.995,27.06,2.01,26.87,2.025,27.26,2.04,26.42,2.055,28.72,2.07,28.18,2.085,26.45,2.1,27.88,2.115,25.47,2.13,25.66,2.145,28.89,2.16,27.24,2.175,27.02,2.19,28.17,2.205,26.15,2.22,28.4,2.235,29.59,2.25,25.37,2.265,26.97,2.28,22.68,2.295,26.39,2.31,28.85,2.325,24.57,2.34,27.68,2.355,25.78,2.37,22.27,2.385,29.2,2.4,27.16,2.415,24.77,2.43,28.55,2.445,25.09,2.46,26.45,2.475,31.56,2.49,29.66,2.505,32.79,2.52,30.87,2.535,31.68,2.55,36.15,2.565,34.41,2.58,35.01,2.595,35.88,2.61,34.47,2.625,37.77,2.64,38.58,2.655,36.57,2.67,37.92,2.685,37.41,2.7,38.4,2.715,40.98,2.73,39.72,2.745,39.57,2.76,39.87,2.775,37.98,2.79,39.78,2.805,38.55,2.82,37.92,2.835,38.85,2.85,37.26,2.865,38.55,2.88,39.54,2.895,38.61,2.91,39.69,2.925,37.92,2.94,37.47,2.955,39.51,2.97,38.52,2.985,36.96,3.38,13,3.015,36.48,3.03,37.59,3.045,38.64,3.06,35.7,3.075,35.85,3.09,37.62,3.105,36.18,3.12,36.24,3.135,34.23,3.15,30.87,3.165,34.44,3.18,34.74,3.195,33.81,3.21,33.21,3.225,29.83,3.24,32.1,3.255,31.41,3.27,30.78,3.285,32.61,3.3,31.02,3.315,30.72,3.33,32.94,3.345,30.51,3.36,30.3,3.375,32.67,3.39,30.03,3.405,31.26,3.42,32.01,3.435,28.79,3.45,30.72,3.465,29.95,3.48,29.3,3.495,29.82,3.51,30.75,3.525,30.12,3.54,27.68,3.555,29.4,3.57,30.39,3.585,30.42,3.6,31.08,3.615,29.03,3.63,29.07,3.645,31.02,3.66,31.5,3.675,30.57,3.69,29.94,3.705,27.82,3.72,29.3,3.735,29.88,3.75,30.96,3.765,31.17,3.78,33.36,3.795,32.1,3.81,32.58,3.825,34.47,3.84,32.28,3.855,30.24,3.87,33.42,3.885,32.01,3.9,31.47,3.915,32.88,3.93,31.02,3.945,31.32,3.96,33.57,3.975,31.59,3.99,33.12,4.005,31.5,4.02,29.49,4.035,30.87,4.05,29.75,4.065,29.49,4.08,31.05,4.095,28.95,4.11,29.19,4.125,29.83,4.14,27.92,4.155,30.9,4.17,32.58,4.185,27.66,4.2,28.4,2.15,29.04,4.23,30.21,4.245,31.74,4.26,29.23,4.275,31.44,4.29,33.12,4.305,31.17,4.32,31.77,4.335,30.99,4.35,28.58,4.365,28.1,4.38,29.83,4.395,30.54,4.41,32.01,4.425,28.56,4.44,27.6,4.455,31.05,4.47,33.39,4.485,32.91,4.5,28.13,4.515,27.78,4.53,27.48,4.545,29.47,4.56,30.3,4.575,26.9,4.59,25.37,4.605,27.3,4.62,28.59,4.635,31.08,4.65,31.32,4.665,27.39,4.68,28.15,4.695,31.53,4.71,33.39,4.725,35.1,4.74,34.38,4.755,32.88,4.77,34.32,4.785,34.65,4.8,36.21,4.815,35.94,4.83,33.75,4.845,34.71,4.86,35.79,4.875,37.17,4.89,39.66,4.905,39.27,4.92,37.89,4.935,39.15,4.95,38.94,4.965,39.24,4.98,4.99,4.995,38.49,5.01,36.57,5.025,36.48,5.04,38.49,5.055,39.36,5.07,38.46,5.085,37.77,5.1,36.03,5.115,35.85,5.13,37.95,5.145,37.29,5.16,35.49,5.175,35.22,5.19,34.14,5.205,34.98,5.22,36.48,5.235,35.1,5.25,33.24,5.265,32.82,5.28,35.07,5.295,35.94,5.31,37.41,5.325,38.31,5.34,36.84,5.355,38.13,5.37,41.58,5.385,41.28,5.4,41.61,5.415,41.97,5.43,40.05,5.445,40.32,5.46,42.3,5.475,42.03,5.49,42.42,5.505,41.55,5.52,41.55,5.535,42.93,5.55,42.99,5.565,43.38,5.58,43.26,5.595,41.31,5.61,41.22,5.625,42.69,5.64,41.94,5.655,42.42,5.67,41.85,5.685,40.26,5.7,41.1,5.715,41.91,5.73,40.83,5.745,41.43,5.76,2.03,5.775,43.35,5.79,43.23,5.805,43.92,5.82,43.95,5.835,42.3,5.85,43.59,5.865,45.3,5.88,45.33,5.895,46.26,5.91,45.51,5.925,43.65,5.94,44.85,5.955,46.08,5.97,44.76,5.985,44.88,6.42,18.6,0.015,41.88,6.03,41.94,6.045,42.06,6.06,42.36,6.075,40.65,6.09,40.74,6.105,42.18,6.12,41.13,6.135,41.61,6.15,40.95,6.165,39.45,6.18,40.98,6.195,42.18,6.21,41.16,6.225,41.49,6.24,40.41,6.255,39.96,6.27,42.24,6.285,40.35,6.3,41.16,6.315,40.38,6.33,38.13,6.345,41.1,6.36,41.67,6.375,39.84,6.39,40.95,6.405,40.23,6.42,38.37,6.435,41.01,6.45,39.72,6.465,38.46,6.48,41.16,6.495,41.04,6.51,40.86,6.525,41.19,6.54,40.89,6.555,40.77,6.57,40.95,6.585,40.17,6.6,38.91,6.615,38.73,6.63,39.66,6.645,39.54,6.66,38.7,6.675,37.98,6.69,38.64,6.705,39.93,6.72,41.1,6.735,40.11,6.75,38.52,6.765,40.53,6.78,40.65,6.795,41.91,6.81,43.56,6.825,42.93,6.84,42.96,6.855,44.58,6.87,44.64,6.885,44.28,6.9,43.89,6.915,41.79,6.93,42.27,6.945,43.32,6.96,42.75,6.975,42.21,6.99,41.28,7.005,41.85,7.02,42.27,7.035,41.91,7.05,41.22,7.065,39.03,7.08,38.37,7.095,39.51,7.11,39.81,7.125,38.43,7.14,37.62,7.155,37.86,7.17,38.29,7.185,37.89,7.2,36.39,7.215,35.28,7.23,36.06,7.245,37.14,7.26,38.94,7.275,37.17,7.29,37.68,7.305,38.55,7.32,36.54,7.335,36.99,7.35,37.02,7.365,34.68,7.38,35.43,7.395,36.33,7.41,34.2,7.425,34.98,7.44,35.82,7.455,35.34,7.47,38.04,7.485,38.4,7.5,37.56,7.515,37.08,7.53,37.62,7.545,39.36,7.56,40.11,7.575,39.42,7.59,39.81,7.605,41.13,7.62,42.57,7.635,43.2,7.65,42.87,7.665,42.45,7.68,43.02,7.695,44.43,7.71,44.1,7.725,43.56,7.74,43.47,7.755,44.13,7.77,44.34,7.785,42.72,7.8,43.29,7.815,41.25,7.83,39.09,7.845,40.98,7.86,39.36,7.875,37.11,7.89,39.24,7.905,38.4,7.92,37.56,7.935,40.02,7.95,38.16,7.965,37.14,7.98,39.24,7.995,37.02,8.01,36.6,8.025,35.91,8.04,34.92,8.055,35.58,8.07,35.85,8.085,35.64,8.1,35.13,8.115,34.92,8.13,35.79,8.145,36.72,8.16,36.15,8.175,35.79,8.19,36.09,8.205,36.69,8.22,37.95,8.235,37.47,8.25,33.9,8.265,35.19,8.28,32.64,8.295,33.5,7.8,31,35.4,8.325,31.86,8.34,32.82,8.355,34.92,8.37,32.31,8.385,33.69,8.4,33.51,8.415,29.57,8.43,31.23,8.445,31.29,8.46,27.29,8.475,28.83,8.49,27.72,8.505,28.32,8.52,29.11,8.535,27.81,8.55,27.47,8.565,26.25,8.58,25.2,8.595,26.33,8.61,26.76,8.625,26.04,8.64,24.46,8.655,21.21,8.67,22.64,8.685,25.6,3.8,7.24,57.8,7.15,22.42,8.73,19.33,8.745,18.65,8.76,22.6,8.775,20.2,8.79,16.46,8.805,17.7,8.82,21.1,8.835,22.6,8.85,23.42,8.865,22.04,8.88,20.69,8.895,21.34,8.91,22.18,8.925,22.97,8.94,24.12,8.955,22.93,8.97,22.21,8.985,25.22,9.29,43.9,0.15,28.94,9.03,29.56,9.045,29.02,9.06,27.78,9.075,28.28,9.09,29.71,9.105,29.2,9.12,28.94,9.135,27.4,9.15,26.23,9.165,28.16,9.18,29.75,9.195,27.46,9.21,24.62,9.225,22.41,9.24,22.56,9.255,22.63,9.27,23.35,9.285,24.02,9.3,18.01,9.315,16.2,9.33,19.98,9.345,17.05,9.36,17.84,9.375,18.71,9.39,11.06,9.405,11.78,9.42,2,17.98,9.435,15.02,9.45,16.61,9.465,16.87,9.48,1.89,9.495,16.59,9.51,18.88,9.525,20.95,9.54,19.7

```

2,9.555,14.83,9.57,14.21,9.585,12.71,9.6,15.5,9.61
5,16.82,9.63,14.74,9.645,9.147,9.66,7.446,9.675,9.
066,9.69,14.28,9.705,14.97,9.72,12.13,9.735,5.328
,9.75,4.977,9.765,10.38,9.78,16.9,9.795,11.39,9.81
,9.885,9.825,9.417,9.84,9.822,9.855,17.81,9.87,21.
75,9.885,18.19,9.9,12.32,9.915,16.22,9.93,21.38,9.
945,24.77,9.96,23.72,9.975,17.22,9.99,11.06
  Extend Max = On
  Extend Min = On
  Option = One Dimensional
END
END
END
END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
  DYNAMIC VISCOSITY:
    Dynamic Viscosity = 1.831E-05 [kg m^-1 s^-
1]
  Option = Value
  END
  END
  END
  END
  END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
  EQUATION OF STATE:
    Density = 1.185 [kg m^-3]
    Molar Mass = 28.96 [kg kmol^-1]
    Option = Value
  END
  END
  END
  END
  END
COMMAND FILE:
  Version = 11.0
END

Simularea curgerii peste structura antenei
poziționată cu axa la 0° față de direcția de
curgere, viteza 0-60 m/s

FLOW:
  DOMAIN:Default Domain
  BOUNDARY:freewalls
  Boundary Type = WALL
  Location = F23.21,F24.21,F25.21,F26.21
  BOUNDARY CONDITIONS:
  MESH MOTION:
    Option = Stationary
  END
  WALL INFLUENCE ON FLOW:
    Option = Free Slip
  END
  END
  END
  END
  END
FLOW:
  DOMAIN:Default Domain
  BOUNDARY:inlet
  Boundary Type = INLET
  Location = F22.21
  BOUNDARY CONDITIONS:
  FLOW REGIME:
    Option = Subsonic
  END
  MASS AND MOMENTUM:
    Option = Cartesian Velocity Components
    U = MyVelX(t)
    V = 0 [m s^-1]
    W = 0 [m s^-1]
  END
  MESH MOTION:
    Option = Stationary
  END
  TURBULENCE:
    Option = Medium Intensity și Eddy Viscosity
  END
Ratio
  END
  END
  END
  END
  END
FLOW:
  DOMAIN:Default Domain
  BOUNDARY:interface
  Boundary Type = WALL
  Location = F18.21,F19.21,F20.21
  BOUNDARY CONDITIONS:
  MESH MOTION:
    ANSYS Interface = FSIN_1
    Option = ANSYS MultiField
    Receive from ANSYS = Total Mesh
  Displacement
    Send to ANSYS = Total Force
  END
  WALL INFLUENCE ON FLOW:
    Option = No Slip
  END
  WALL ROUGHNESS:
    Option = Smooth Wall
  END
  END
  END
  END
  END
FLOW:
  DOMAIN:Default Domain
  BOUNDARY:outlet
  Boundary Type = OPENING
  Location = F27.21
  BOUNDARY CONDITIONS:
  FLOW DIRECTION:
    Option = Normal to Boundary Condition
  END
  FLOW REGIME:
    Option = Subsonic
  END
  MASS AND MOMENTUM:
    Option = Opening Pressure și Direction
    Relative Pressure = 0 [Pa]
  END
  MESH MOTION:
    Option = Stationary
  END
  TURBULENCE:
    Option = Medium Intensity și Eddy Viscosity
  END
Ratio
  END

```


LIBRARY:

CEL:

FUNCTION: MyVelX

Argument Units = [s]

Option = Interpolation

Result Units = [m s⁻¹]

INTERPOLATION DATA:

Data Pairs =

0,0,0.01,0.06,0.02,0.12,0.03,0.18,0.04,0.24,0.05,0.3,0.06,0.36,0.07,0.42,0.08,0.48,0.09,0.54,0.1,0.6,0.11,0.66,0.12,0.72,0.13,0.78,0.14,0.84,0.15,0.9,0.16,0.96,0.17,1.02,0.18,1.08,0.19,1.14,0.2,1.2,0.21,1.26,0.22,1.32,0.23,1.38,0.24,1.44,0.25,1.5,0.26,1.56,0.27,1.62,0.28,1.68,0.29,1.74,0.3,1.8,0.31,1.86,0.32,1.92,0.33,1.98,0.34,2.04,0.35,2.1,0.36,2.16,0.37,2.22,0.38,2.28,0.39,2.34,0.4,2.4,0.41,2.46,0.42,2.52,0.43,2.58,0.44,2.64,0.45,2.7,0.46,2.76,0.47,2.82,0.48,2.88,0.49,2.94,0.5,3,0.51,3.06,0.52,3.12,0.53,3,3.18,0.54,3.24,0.55,3.3,0.56,3.36,0.57,3.42,0.58,3.48,0.59,3.54,0.6,3.6,0.61,3.66,0.62,3.72,0.63,3.78,0.64,3.84,0.65,3.9,0.66,3.96,0.67,4.02,0.68,4.08,0.69,4.14,0.7,4.2,0.71,4.26,0.72,4.32,0.73,4.38,0.74,4.44,0.75,4.5,0.76,4.56,0.77,4.62,0.78,4.68,0.79,4.74,0.8,4.8,0.81,4.86,0.82,4.92,0.83,4.98,0.84,5,0.85,5.1,0.86,5.16,0.87,5.22,0.88,5.28,0.89,5.34,0.9,5.4,0.91,5.46,0.92,5.52,0.93,5.58,0.94,5.64,0.95,5.7,0.96,5.76,0.97,5.82,0.98,5.88,0.99,5.94,1,6,1.01,6.06,1.02,6.12,1.03,6.18,1.04,6.24,1.05,6.3,1.06,6.36,1.07,6.42,1.08,6.48,1.09,6.54,1.1,6.6,1.11,6.66,1.12,6.72,1.13,6.78,1.14,6.84,1.15,6.9,1.16,6.96,1.17,7.02,1.18,7.08,1.19,7.14,1.2,7.2,1.21,7.26,1.22,7.32,1.23,7.38,1.24,7.44,1.25,7.5,1.26,7.56,1.27,7.62,1.28,7.68,1.29,7.74,1.3,7.8,1.31,7.86,1.32,7.92,1.33,7.98,1.34,8.04,1.35,8.1,1.36,8.16,1.37,8.22,1.38,8.28,1.39,8.34,1.4,8.4,1.41,8.46,1.42,8.52,1.43,8.58,1.44,8.64,1.45,8.7,1.46,8.76,1.47,8.82,1.48,8.88,1.49,8.94,1.5,9,1.51,9.06,1.52,9.12,1.53,9.18,1.54,9.24,1.55,9.3,1.56,9.36,1.57,9.42,1.58,9.48,1.59,9.54,1.6,9.6,1.61,9.66,1.62,9.72,1.63,9.78,1.64,9.84,1.65,9.9,1.66,9.96,1.67,10.02,1.68,10.08,1.69,10.14,1.7,10.2,1.71,10.26,1.72,10.32,1.73,10.38,1.74,10.44,1.75,10.5,1.76,10.56,1.77,10.62,1.78,10.68,1.79,10.74,1.8,10.8,1.81,10.86,1.82,10.92,1.83,10.98,1.84,11.04,1.85,11.1,1.86,11.16,1.87,11.22,1.88,11.28,1.89,11.34,1.9,11.4,1.91,11.46,1.92,11.52,1.93,11.58,1.94,11.64,1.95,11.7,1.96,11.76,1.97,11.82,1.98,11.88,1.99,11.94,12,12.01,12.06,12.02,12.12,12.03,12.18,12.04,12.24,12.05,12.3,12.06,12.36,12.07,12.42,12.08,12.48,12.09,12.54,12.1,12.6,12.11,12.66,12.12,12.72,12.13,12.78,12.14,12.84,12.15,12.9,12.16,12.96,12.17,13.02,12.18,13.08,12.19,13.14,12.2,13.2,12.21,13.26,12.22,13.32,12.23,13.38,12.24,13.44,12.25,13.5,12.26,13.56,12.27,13.62,12.28,13.68,12.29,13.74,12.3,13.8,12.31,13.86,12.32,13.92,12.33,13.98,12.34,14.04,12.35,14.1,12.36,14.16,12.37,14.22,12.38,14.28,12.39,14.34,12.4,14.4,12.41,14.46,12.42,14.52,12.43,14.58,12.44,12.45,14.7,12.46,14.76,12.47,14.82,12.48,14.88,12.49,14.94,12.5,15,15.06,15.12,15.18,15.24,15.3,15.36,15.42,15.48,15.54,15.6,15.66,15.72,15.78,15.84,15.9,15.96,16.02,16.08,16.14,16.2,16.26,16.32,16.38,16.44,16.5,16.56,16.62,16.68,16.74,16.8,16.86,16.92,16.98,17,17.06,17.12,17.18,17.24,17.3,17.36,17.42,17.48,17.54,17.6,17.66,17.72,17.78,17.84,17.9,17.96,18,18.06,18.12,18.18,18.24,18.3,18.36,18.42,18.48,18.54,18.6,18.66,18.72,18.78,18.84,18.9,19,19.06,19.12,19.18,19.24,19.3,19.36,19.42,19.48,19.54,19.6,19.66,19.72,19.78,19.84,19.9,20,20.06,20.12,20.18,20.24,20.3,20.36,20.42,20.48,20.54,20.6,20.66,20.72,20.78,20.84,20.9,21,21.06,21.12,21.18,21.24,21.3,21.36,21.42,21.48,21.54,21.6,21.66,21.72,21.78,21.84,21.9,22,22.06,22.12,22.18,22.24,22.3,22.36,22.42,22.48,22.54,22.6,22.66,22.72,22.78,22.84,22.9,23,23.06,23.12,23.18,23.24,23.3,23.36,23.42,23.48,23.54,23.6,23.66,23.72,23.78,23.84,23.9,24,24.06,24.12,24.18,24.24,24.3,24.36,24.42,24.48,24.54,24.6,24.66,24.72,24.78,24.84,24.9,25,25.06,25.12,25.18,25.24,25.3,25.36,25.42,25.48,25.54,25.6,25.66,25.72,25.78,25.84,25.9,26,26.06,26.12,26.18,26.24,26.3,26.36,26.42,26.48,26.54,26.6,26.66,26.72,26.78,26.84,26.9,27,27.06,27.12,27.18,27.24,27.3,27.36,27.42,27.48,27.54,27.6,27.66,27.72,27.78,27.84,27.9,28,28.06,28.12,28.18,28.24,28.3,28.36,28.42,28.48,28.54,28.6,28.66,28.72,28.78,28.84,28.9,29,29.06,29.12,29.18,29.24,29.3,29.36,29.42,29.48,29.54,29.6,29.66,29.72,29.78,29.84,29.9,30,30.06,30.12,30.18,30.24,30.3,30.36,30.42,30.48,30.54,30.6,30.66,30.72,30.78,30.84,30.9,31,31.06,31.12,31.18,31.24,31.3,31.36,31.42,31.48,31.54,31.6,31.66,31.72,31.78,31.84,31.9,32,32.06,32.12,32.18,32.24,32.3,32.36,32.42,32.48,32.54,32.6,32.66,32.72,32.78,32.84,32.9,33,33.06,33.12,33.18,33.24,33.3,33.36,33.42,33.48,33.54,33.6,33.66,33.72,33.78,33.84,33.9,34,34.06,34.12,34.18,34.24,34.3,34.36,34.42,34.48,34.54,34.6,34.66,34.72,34.78,34.84,34.9,35,35.06,35.12,35.18,35.24,35.3,35.36,35.42,35.48,35.54,35.6,35.66,35.72,35.78,35.84,35.9,36,36.06,36.12,36.18,36.24,36.3,36.36,36.42,36.48,36.54,36.6,36.66,36.72,36.78,36.84,36.9,37,37.06,37.12,37.18,37.24,37.3,37.36,37.42,37.48,37.54,37.6,37.66,37.72,37.78,37.84,37.9,38,38.06,38.12,38.18,38.24,38.3,38.36,38.42,38.48,38.54,38.6,38.66,38.72,38.78,38.84,38.9,39,39.06,39.12,39.18,39.24,39.3,39.36,39.42,39.48,39.54,39.6,39.66,39.72,39.78,39.84,39.9,40,40.06,40.12,40.18,40.24,40.3,40.36,40.42,40.48,40.54,40.6,40.66,40.72,40.78,40.84,40.9,41,41.06,41.12,41.18,41.24,41.3,41.36,41.42,41.48,41.54,41.6,41.66,41.72,41.78,41.84,41.9,42,42.06,42.12,42.18,42.24,42.3,42.36,42.42,42.48,42.54,42.6,42.66,42.72,42.78,42.84,42.9,43,43.06,43.12,43.18,43.24,43.3,43.36,43.42,43.48,43.54,43.6,43.66,43.72,43.78,43.84,43.9,44,44.06,44.12,44.18,44.24,44.3,44.36,44.42,44.48,44.54,44.6,44.66,44.72,44.78,44.84,44.9,45,45.06,45.12,45.18,45.24,45.3,45.36,45.42,45.48,45.54,45.6,45.66,45.72,45.78,45.84,45.9,46,46.06,46.12,46.18,46.24,46.3,46.36,46.42,46.48,46.54,46.6,46.66,46.72,46.78,46.84,46.9,47,47.06,47.12,47.18,47.24,47.3,47.36,47.42,47.48,47.54,47.6,47.66,47.72,47.78,47.84,47.9,48,48.06,48.12,48.18,48.24,48.3,48.36,48.42,48.48,48.54,48.6,48.66,48.72,48.78,48.84,48.9,49,49.06,49.12,49.18,49.24,49.3,49.36,49.42,49.48,49.54,49.6,49.66,49.72,49.78,49.84,49.9,50,50.06,50.12,50.18,50.24,50.3,50.36,50.42,50.48,50.54,50.6,50.66,50.72,50.78,50.84,50.9,51,51.06,51.12,51.18,51.24,51.3,51.36,51.42,51.48,51.54,51.6,51.66,51.72,51.78,51.84,51.9,52,52.06,52.12,52.18,52.24,52.3,52.36,52.42,52.48,52.54,52.6,52.66,52.72,52.78,52.84,52.9,53,53.06,53.12,53.18,53.24,53.3,53.36,53.42,53.48,53.54,53.6,53.66,53.72,53.78,53.84,53.9,54,54.06,54.12,54.18,54.24,54.3,54.36,54.42,54.48,54.54,54.6,54.66,54.72,54.78,54.84,54.9,55,55.06,55.12,55.18,55.24,55.3,55.36,55.42,55.48,55.54,55.6,55.66,55.72,55.78,55.84,55.9,56,56.06,56.12,56.18,56.24,56.3,56.36,56.42,56.48,56.54,56.6,56.66,56.72,56.78,56.84,56.9,57,57.06,57.12,57.18,57.24,57.3,57.36,57.42,57.48,57.54,57.6,57.66,57.72,57.78,57.84,57.9,58,58.06,58.12,58.18,58.24,58.3,58.36,58.42,58.48,58.54,58.6,58.66,58.72,58.78,58.84,58.9,59,59.06,59.12,59.18,59.24,59.3,59.36,59.42,59.48,59.54,59.6,59.66,59.72,59.78,59.84,59.9,60,60.06,60.12,60.18,60.24,60.3,60.36,60.42,60.48,60.54,60.6,60.66,60.72,60.78,60.84,60.9,61,61.06,61.12,61.18,61.24,61.3,61.36,61.42,61.48,61.54,61.6,61.66,61.72,61.78,61.84,61.9,62,62.06,62.12,62.18,62.24,62.3,62.36,62.42,62.48,62.54,62.6,62.66,62.72,62.78,62.84,62.9,63,63.06,63.12,63.18,63.24,63.3,63.36,63.42,63.48,63.54,63.6,63.66,63.72,63.78,63.84,63.9,64,64.06,64.12,64.18,64.24,64.3,64.36,64.42,64.48,64.54,64.6,64.66,64.72,64.78,64.84,64.9,65,65.06,65.12,65.18,65.24,65.3,65.36,65.42,65.48,65.54,65.6,65.66,65.72,65.78,65.84,65.9,66,66.06,66.12,66.18,66.24,66.3,66.36,66.42,66.48,66.54,66.6,66.66,66.72,66.78,66.84,66.9,67,67.06,67.12,67.18,67.24,67.3,67.36,67.42,67.48,67.54,67.6,67.66,67.72,67.78,67.84,67.9,68,68.06,68.12,68.18,68.24,68.3,68.36,68.42,68.48,68.54,68.6,68.66,68.72,68.78,68.84,68.9,69,69.06,69.12,69.18,69.24,69.3,69.36,69.42,69.48,69.54,69.6,69.66,69.72,69.78,69.84,69.9,70,70.06,70.12,70.18,70.24,70.3,70.36,70.42,70.48,70.54,70.6,70.66,70.72,70.78,70.84,70.9,71,71.06,71.12,71.18,71.24,71.3,71.36,71.42,71.48,71.54,71.6,71.66,71.72,71.78,71.84,71.9,72,72.06,72.12,72.18,72.24,72.3,72.36,72.42,72.48,72.54,72.6,72.66,72.72,72.78,72.84,72.9,73,73.06,73.12,73.18,73.24,73.3,73.36,73.42,73.48,73.54,73.6,73.66,73.72,73.78,73.84,73.9,74,74.06,74.12,74.18,74.24,74.3,74.36,74.42,74.48,74.54,74.6,74.66,74.72,74.78,74.84,74.9,75,75.06,75.12,75.18,75.24,75.3,75.36,75.42,75.48,75.54,75.6,75.66,75.72,75.78,75.84,75.9,76,76.06,76.12,76.18,76.24,76.3,76.36,76.42,76.48,76.54,76.6,76.66,76.72,76.78,76.84,76.9,77,77.06,77.12,77.18,77.24,77.3,77.36,77.42,77.48,77.54,77.6,77.66,77.72,77.78,77.84,77.9,78,78.06,78.12,78.18,78.24,78.3,78.36,78.42,78.48,78.54,78.6,78.66,78.72,78.78,78.84,78.9,79,79.06,79.12,79.18,79.24,79.3,79.36,79.42,79.48,79.54,79.6,79.66,79.72,79.78,79.84,79.9,80,80.06,80.12,80.18,80.24,80.3,80.36,80.42,80.48,80.54,80.6,80.66,80.72,80.78,80.84,80.9,81,81.06,81.12,81.18,81.24,81.3,81.36,81.42,81.48,81.54,81.6,81.66,81.72,81.78,81.84,81.9,82,82.06,82.12,82.18,82.24,82.3,82.36,82.42,82.48,82.54,82.6,82.66,82.72,82.78,82.84,82.9,83,83.06,83.12,83.18,83.24,83.3,83.36,83.42,83.48,83.54,83.6,83.66,83.72,83.78,83.84,83.9,84,84.06,84.12,84.18,84.24,84.3,84.36,84.42,84.48,84.54,84.6,84.66,84.72,84.78,84.84,84.9,85,85.06,85.12,85.18,85.24,85.3,85.36,85.42,85.48,85.54,85.6,85.66,85.72,85.78,85.84,85.9,86,86.06,86.12,86.18,86.24,86.3,86.36,86.42,86.48,86.54,86.6,86.66,86.72,86.78,86.84,86.9,87,87.06,87.12,87.18,87.24,87.3,87.36,87.42,87.48,87.54,87.6,87.66,87.72,87.78,87.84,87.9,88,88.06,88.12,88.18,88.24,88.3,88.36,88.42,88.48,88.54,88.6,88.66,88.72,88.78,88.84,88.9,89,89.06,89.12,89.18,89.24,89.3,89.36,89.42,89.48,89.54,89.6,89.66,89.72,89.78,89.84,89.9,90,90.06,90.12,90.18,90.24,90.3,90.36,90.42,90.48,90.54,90.6,90.66,90.72,90.78,90.84,90.9,91,91.06,91.12,91.18,91.24,91.3,91.36,91.42,91.48,91.54,91.6,91.66,91.72,91.78,91.84,91.9,92,92.06,92.12,92.18,92.24,92.3,92.36,92.42,92.48,92.54,92.6,92.66,92.72,92.78,92.84,92.9,93,93.06,93.12,93.18,93.24,93.3,93.36,93.42,93.48,93.54,93.6,93.66,93.72,93.78,93.84,93.9,94,94.06,94.12,94.18,94.24,94.3,94.36,94.42,94.48,94.54,94.6,94.66,94.72,94.78,94.84,94.9,95,95.06,95.12,95.18,95.24,95.3,95.36,95.42,95.48,95.54,95.6,95.66,95.72,95.78,95.84,95.9,96,96.06,96.12,96.18,96.24,96.3,96.36,96.42,96.48,96.54,96.6,96.66,96.72,96.78,96.84,96.9,97,97.06,97.12,97.18,97.24,97.3,97.36,97.42,97.48,97.54,97.6,97.66,97.72,97.78,97.84,97.9,98,98.06,98.12,98.18,98.24,98.3,98.36,98.42,98.48,98.54,98.6,98.66,98.72,98.78,98.84,98.9,99,99.06,99.12,99.18,99.24,99.3,99.36,99.42,99.48,99.54,99.6,99.66,99.72,99.78,99.84,99.9,100,100.06,100.12,100.18,100.24,100.3,100.36,100.42,100.48,100.54,100.6,100.66,100.72,100.78,100.84,100.9,101,101.06,101.12,101.18,101.24,101.3,101.36,101.42,101.48,101.54,101.6,101.66,101.72,101.78,101.84,101.9,102,102.06,102.12,102.18,102.24,102.3,102.36,102.42,102.48,102.54,102.6,102.66,102.72,102.78,102.84,102.9,103,103.06,103.12,103.18,103.24,103.3,103.36,103.42,103.48,103.54,103.6,103.66,103.72,103.78,103.84,103.9,104,104.06,104.12,104.18,104.24,104.3,104.36,104.42,104.48,104.54,104.6,104.66,104.72,104.78,104.84,104.9,105,105.06,105.12,105.18,105.24,105.3,105.36,105.42,105.48,105.54,105.6,105.66,105.72,105.78,105.84,105.9,106,106.06,106.12,106.18,106.24,106.3,106.36,106.42,106.48,106.54,106.6,106.66,106.72,106.78,106.84,106.9,107,107.06,107.12,107.18,107.24,107.3,107.36,107.42,107.48,107.54,107.6,107.66,107.72,107.78,107.84,107.9,108,108.06,108.12,108.18,108.24,108.3,108.36,108.42,108.48,108.54,108.6,108.66,108.72,108.78,108.84,108.9,109,109.06,109.12,109.18,109.24,109.3,109.36,109.42,109.48,109.54,109.6,109.66,109.72,109.78,109.84,109.9,110,110.06,110.12,110.18,110.24,110.3,110.36,110.42,110.48,110.54,110.6,110.66,110.72,110.78,110.84,110.9,111,111.06,111.12,111.18,111.24,111.3,111.36,111.42,111.48,111.54,111.6,111.66,111.72,111.78,111.84,111.9,112,112.06,112.12,112.18,112.24,112.3,112.36,112.42,112.48,112.54,112.6,112.66,112.72,112.78,112.84,112.9,113,113.06,113.12,113.18,113.24,113.3,113.36,113.42,113.48,113.54,113.6,113.66,113.72,113.78,113.84,113.9,114,114.06,114.12,114.18,114.24,114.3,114.36,114.42,114.48,114.54,114.6,114.66,114.72,114.78,114.84,114.9,115,115.06,115.12,115.18,115.24,115.3,115.36,115.42,115.48,115.54,115.6,115.66,115.72,115.78,115.84,115.9,116,116.06,116.12,116.18,116.24,116.3,116.36,116.42,116.48,116.54,116.6,116.66,116.72,116.78,116.84,116.9,117,117.06,117.12,117.18

```

.12,6.03,36.18,6.04,36.24,6.05,36.3,6.06,36.36,6.0
7,36.42,6.08,36.48,6.09,36.54,6.1,36.6,6.11,36.66,
6.12,36.72,6.13,36.78,6.14,36.84,6.15,36.9,6.16,36
.96,6.17,37.02,6.18,37.08,6.19,37.14,6.2,37.2,6.21,
37.26,6.22,37.32,6.23,37.38,6.24,37.44,6.25,37.5,6
.26,37.56,6.27,37.62,6.28,37.68,6.29,37.74,6.3,37.
8,6.31,37.86,6.32,37.92,6.33,37.98,6.34,38.04,6.35
,38.1,6.36,38.16,6.37,38.22,6.38,38.28,6.39,38.34,
6.4,38.4,6.41,38.46,6.42,38.52,6.43,38.58,6.44,38.
64,6.45,38.7,6.46,38.76,6.47,38.82,6.48,38.88,6.49
,38.94,6.5,39.6,51,39.06,6.52,39.12,6.53,39.18,6.5
4,39.24,6.55,39.3,6.56,39.36,6.57,39.42,6.58,39.48
,6.59,39.54,6.6,39.6,6.61,39.66,6.62,39.72,6.63,39.
78,6.64,39.84,6.65,39.9,6.66,39.96,6.67,40.02,6.68
,40.08,6.69,40.14,6.7,40.2,6.71,40.26,6.72,40.32,6.
73,40.38,6.74,40.44,6.75,40.5,6.76,40.56,6.77,40.6
2,6.78,40.68,6.79,40.74,6.8,40.8,6.81,40.86,6.82,4
0.92,6.83,40.98,6.84,41.04,6.85,41.1,6.86,41.16,6.
87,41.22,6.88,41.28,6.89,41.34,6.9,41.4,6.91,41.46
,6.92,41.52,6.93,41.58,6.94,41.64,6.95,41.7,6.96,4
1.76,6.97,41.82,6.98,41.88,6.99,41.94,7.01,7.02,7.0
3,7.04,7.05,7.06,7.07,7.08,7.09,7.1,7.11,7.12,7.13,7.14,7.15,7.16,7.17,7.18,7.19,7.2,7.21,7.22,7.23,7.24,7.25,7.26,7.27,7.28,7.29,7.3,7.31,7.32,7.33,7.34,7.35,7.36,7.37,7.38,7.39,7.4,7.41,7.42,7.43,7.44,7.45,7.46,7.47,7.48,7.49,7.5,7.51,7.52,7.53,7.54,7.55,7.56,7.57,7.58,7.59,7.6,7.61,7.62,7.63,7.64,7.65,7.66,7.67,7.68,7.69,7.7,7.71,7.72,7.73,7.74,7.75,7.76,7.77,7.78,7.79,7.8,7.81,7.82,7.83,7.84,7.85,7.86,7.87,7.88,7.89,7.9,7.91,7.92,7.93,7.94,7.95,7.96,7.97,7.98,7.99,8,8.01,8.02,8.03,8.04,8.05,8.06,8.07,8.08,8.09,8.1,8.11,8.12,8.13,8.14,8.15,8.16,8.17,8.18,8.19,8.2,8.21,8.22,8.23,8.24,8.25,8.26,8.27,8.28,8.29,8.3,8.31,8.32,8.33,8.34,8.35,8.36,8.37,8.38,8.39,8.4,8.41,8.42,8.43,8.44,8.45,8.46,8.47,8.48,8.49,8.5,8.51,8.52,8.53,8.54,8.55,8.56,8.57,8.58,8.59,8.6,8.61,8.62,8.63,8.64,8.65,8.66,8.67,8.68,8.69,8.7,8.71,8.72,8.73,8.74,8.75,8.76,8.77,8.78,8.79,8.8,8.81,8.82,8.83,8.84,8.85,8.86,8.87,8.88,8.89,8.9,8.91,8.92,8.93,8.94,8.95,8.96,8.97,8.98,8.99,9,9.01,9.02,9.03,9.04,9.05,9.06,9.07,9.08,9.09,9.1,9.11,9.12,9.13,9.14,9.15,9.16,9.17,9.18,9.19,9.2,9.21,9.22,9.23,9.24,9.25,9.26,9.27,9.28,9.29,9.3,9.31,9.32,9.33,9.34,9.35,9.36,9.37,9.38,9.39,9.4,9.41,9.42,9.43,9.44,9.45,9.46,9.47,9.48,9.49,9.5,9.51,9.52,9.53,9.54,9.55,9.56,9.57,9.58,9.59,9.6,9.61,9.62,9.63,9.64,9.65,9.66,9.67,9.68,9.69,9.7,9.71,9.72,9.73,9.74,9.75,9.76,9.77,9.78,9.79,9.8,9.81,9.82,9.83,9.84,9.85,9.86,9.87,9.88,9.89,9.9,9.91,9.92,9.93,9.94,9.95,9.96,9.97,9.98,9.99,10,10.0
Extend Max = On
Extend Min = On
Option = One Dimensional
END
END
END
END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
DYNAMIC VISCOSITY:
Dynamic Viscosity = 1.831E-05 [kg m^-1 s^-1]
Option = Value
END
END
END
END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
EQUATION OF STATE:
Density = 1.185 [kg m^-3]
Molar Mass = 28.96 [kg kmol^-1]
Option = Value
END
END
END
END
COMMAND FILE:
Version = 11.0
END
Simularea curgerii peste structura antenei poziționată cu axa la 45° față de direcția de curgere, viteza rafala 30 m/s
FLOW:
DOMAIN: Default Domain
BOUNDARY: freewalls
Boundary Type = WALL
Location = F20.18,F21.18,F22.18,F23.18
BOUNDARY CONDITIONS:
MESH MOTION:
Option = Stationary
END
WALL INFLUENCE ON FLOW:

```

```
Option = Free Slip
END
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:inlet
Boundary Type = INLET
Location = F19.18
BOUNDARY CONDITIONS:
FLOW REGIME:
Option = Subsonic
END
MASS AND MOMENTUM:
Option = Cartesian Velocity Components
U = MyVelX(t)
V = 0 [m s^-1]
W = 0 [m s^-1]
END
MESH MOTION:
Option = Stationary
END
TURBULENCE:
Option = Medium Intensity și Eddy Viscosity
Ratio
END
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:interface
Boundary Type = WALL
Location = F25.18,F26.18,F27.18
BOUNDARY CONDITIONS:
MESH MOTION:
ANSYS Interface = FSIN_1
Option = ANSYS MultiField
Receive from ANSYS = Total Mesh
Displacement
Send to ANSYS = Total Force
END
WALL INFLUENCE ON FLOW:
Option = No Slip
END
WALL ROUGHNESS:
Option = Smooth Wall
END
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:outlet
Boundary Type = OPENING
Location = F24.18
BOUNDARY CONDITIONS:
FLOW DIRECTION:
Option = Normal to Boundary Condition
END
FLOW REGIME:
Option = Subsonic
END
MASS AND MOMENTUM:
Option = Opening Pressure și Direction
Relative Pressure = 0 [Pa]
END
MESH MOTION:
Option = Stationary
END
TURBULENCE:
Option = Medium Intensity și Eddy Viscosity
Ratio
END
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
DOMAIN MODELS:
DOMAIN MOTION:
Option = Stationary
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
DOMAIN MODELS:
REFERENCE PRESSURE:
Reference Pressure = 1 [atm]
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
FLUID MODELS:
TURBULENCE MODEL:
Option = k epsilon
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
FLUID MODELS:
TURBULENT WALL FUNCTIONS:
Option = Scalable
END
END
END
FLOW:
INITIALISATION:
Option = Automatic
INITIAL CONDITIONS:
Velocity Type = Cartesian
CARTESIAN VELOCITY COMPONENTS:
Option = Automatic with Value
U = MyVelX(t)
V = 0 [m s^-1]
W = 0 [m s^-1]
END
EPSILON:
Option = Automatic with Value
END
```



```

K:
  Option = Automatic with Value
END
STATIC PRESSURE:
  Option = Automatic with Value
  Relative Pressure = 0 [Pa]
END
END
END
FLOW:
  SIMULATION TYPE:
    Option = Transient
  EXTERNAL SOLVER COUPLING:
    ANSYS Input File =
E:/teza/ansys/antena_rotita_45_rotation_macro/v30
/antena10_45.inp
    Option = ANSYS MultiField
  COUPLING TIME CONTROL:
    COUPLING INITIAL TIME:
      Option = Automatic
    END
    COUPLING TIME DURATION:
      Option = Total Time
      Total Time = 9.99 [s]
    END
    COUPLING TIME STEPS:
      Option = Timesteps
      Timesteps = 0.015 [s]
    END
  END
  INITIAL TIME:
    Option = Coupling Initial Time
  END
  TIME DURATION:
    Option = Coupling Time Duration
  END
  TIME STEPS:
    Option = Coupling Timesteps
  END
END
FLOW:
  SOLVER CONTROL:
    ADVECTION SCHEME:
      Option = High Resolution
    END
    CONVERGENCE CONTROL:
      Maximum Number of Coefficient Loops = 3
      Minimum Number of Coefficient Loops = 2
      Timescale Control = Coefficient Loops
    END
    CONVERGENCE CRITERIA:
      Residual Target = 1.E-4
      Residual Type = RMS
    END
  EXTERNAL SOLVER COUPLING CONTROL:
    COUPLING DATA TRANSFER CONTROL:
      Convergence Target = 1e-3
      Under Relaxation Factor = 0.75
    END
    COUPLING STEP CONTROL:
      Maximum Number of Coupling Iterations = 10
      Minimum Number of Coupling Iterations = 1
    SOLUTION SEQUENCE CONTROL:
      Solve ANSYS Fields = After CFX Fields
    END
  END
  END
  TRANSIENT SCHEME:
    Option = Second Order Backward Euler
  TIMESTEP INITIALISATION:
    Option = Automatic
  END
  END
  LIBRARY:
    CEL:
      FUNCTION: MyVelX
      Argument Units = [s]
      Option = Interpolation
      Result Units = [m s^-1]
    INTERPOLATION DATA:
      Data Pairs =
0,14.81,0.015,10.74,0.03,9.981,0.045,14.29,0.06,1
6.36,0.075,15.2,0.09,14.36,0.105,11.94,0.12,12.92,
0.135,16.6,0.15,16.16,0.165,15.53,0.18,14.79,0.19
5,12.21,0.21,14.2,0.225,16.64,0.24,15.24,0.255,13.
79,0.27,12.3,0.285,15.14,0.3,13.57,0.315,14.07,0.3
3,16.53,0.345,12.56,0.36,12.32,0.375,12.62,0.39,1
2.35,0.405,14.23,0.42,13.84,0.435,10.05,0.45,10.3
2,0.465,8.79,0.48,11.98,0.495,15.93,0.51,9.108,0.5
25,10.93,0.54,10.03,0.555,9.702,0.57,16.25,0.585,
12.87,0.6,1.171,0.615,8.67,0.63,10.93,0.645,11.09,
0.66,14.14,0.675,10.75,0.69,3.261,0.705,8.853,0.7
2,14.29,0.735,15.1,0.75,14.2,0.765,14.17,0.78,17.3
8,0.795,11.71,0.81,16.67,0.825,19.92,0.84,11.84,0.
855,16.02,0.87,18.99,0.885,15.29,0.9,20.49,0.915,
22.16,0.93,16.55,0.945,20.88,0.96,22.64,0.975,19.
51,0.99,22.58,1.005,17.87,1.02,19.42,1.035,18.52,
1.05,19.54,1.065,20.23,1.08,19.3,1.095,20.39,1.11,
21.02,1.125,18.31,1.14,20.43,1.155,20.89,1.17,21.
36,1.185,21.76,1.2,19.13,1.215,18.47,1.23,21.58,1.
245,21.24,1.26,17.43,1.275,20.02,1.29,19.97,1.305
,19.64,1.32,23,1.335,21.6,1.35,18.57,1.365,21.19,1
.38,22.81,1.395,21.19,1.41,22.84,1.425,21.74,1.44,
18.74,1.455,19.99,1.47,21.72,1.485,19.79,1.5,19.8
4,1.515,20.1,1.53,20.98,1.545,20.63,1.56,20.85,1.5
75,21.2,1.59,19.83,1.605,20.67,1.62,23.15,1.635,2
2.06,1.65,22.62,1.665,24.04,1.68,21.52,1.695,23.9
8,1.71,26.4,1.725,25.42,1.74,24.6,1.755,24.5,1.77,
24.59,1.785,25.06,1.8,25.48,1.815,26.95,1.83,27.7
6,1.845,27.43,1.86,26.99,1.875,27.32,1.89,27.12,1.
905,26.6,1.92,25.8,1.935,25.77,1.95,25.16,1.965,2
5.79,1.98,25.63,1.995,27.06,2.01,26.87,2.025,27.2
6,2.04,26.42,2.055,28.72,2.07,28.18,2.085,26.45,2.
1,27.88,2.115,25.47,2.13,25.66,2.145,28.89,2.16,2
7.24,2.175,27.02,2.19,28.17,2.205,26.15,2.22,28.4,
2.235,29.59,2.25,25.37,2.265,26.97,2.28,22.68,2.2
95,26.39,2.31,28.85,2.325,24.57,2.34,27.68,2.355,
25.78,2.37,22.27,2.385,29.2,2.4,27.16,2.415,24.77,
2.43,28.55,2.445,25.09,2.46,26.45,2.475,31.56,2.4
9,29.66,2.505,32.79,2.52,30.87,2.535,31.68,2.55,3
6.15,2.565,34.41,2.58,35.01,2.595,35.88,2.61,34.4
7,2.625,37.77,2.64,38.58,2.655,36.57,2.67,37.92,2.
685,37.41,2.7,38.4,2.715,40.98,2.73,39.72,2.745,3
9.57,2.76,39.87,2.775,37.98,2.79,39.78,2.805,38.5
5,2.82,37.92,2.835,38.85,2.85,37.26,2.865,38.55,2.
88,39.54,2.895,38.61,2.91,39.69,2.925,37.92,2.94,
37.47,2.955,39.51,2.97,38.52,2.985,36.96,3,38.13,

```

```

3.015,36.48,3.03,37.59,3.045,38.64,3.06,35.7,3.07
5,35.85,3.09,37.62,3.105,36.18,3.12,36.24,3.135,3
4.23,3.15,30.87,3.165,34.44,3.18,34.74,3.195,33.8
1,3.21,33.21,3.225,29.83,3.24,32.1,3.255,31.41,3.2
7,30.78,3.285,32.61,3.3,31.02,3.315,30.72,3.33,32.
94,3.345,30.51,3.36,30.3,3.375,32.67,3.39,30.03,3.
405,31.26,3.42,32.01,3.435,28.79,3.45,30.72,3.465
,29.95,3.48,29.3,495,29.82,3.51,30.75,3.525,30.12,
3.54,27.68,3.555,29.4,3.57,30.39,3.585,30.42,3.6,3
1.08,3.615,29.03,3.63,29.07,3.645,31.02,3.66,31.5,
3.675,30.57,3.69,29.94,3.705,27.82,3.72,29.3,3.73
5,29.88,3.75,30.96,3.765,31.17,3.78,33.36,3.795,3
2.1,3.81,32.58,3.825,34.47,3.84,32.28,3.855,30.24,
3.87,33.42,3.885,32.01,3.9,31.47,3.915,32.88,3.93,
31.02,3.945,31.32,3.96,33.57,3.975,31.59,3.99,33.
12.4,0.05,31.5,4.02,29.49,4.035,30.87,4.05,29.75,4.
065,29.49,4.08,31.05,4.095,28.95,4.11,29.19,4.125
,29.83,4.14,27.92,4.155,30.9,4.17,32.58,4.185,27.6
6,4.2,2.28,4.215,29.04,4.23,30.21,4.245,31.74,4.26,2
9.23,4.275,31.44,4.29,33.12,4.305,31.17,4.32,31.7
7,4.335,30.99,4.35,28.58,4.365,28.1,4.38,29.83,4.3
95,30.54,4.41,32.01,4.425,28.56,4.44,27.6,4.455,3
1.05,4.47,33.39,4.485,32.91,4.5,28.13,4.515,27.78,
4.53,27.48,4.545,29.47,4.56,30.3,4.575,26.9,4.59,2
5.37,4.605,27.3,4.62,28.59,4.635,31.08,4.65,31.32,
4.665,27.39,4.68,28.15,4.695,31.53,4.71,33.39,4.7
25,35.1,4.74,34.38,4.755,32.88,4.77,34.32,4.785,3
4.65,4.8,36.21,4.815,35.94,4.83,33.75,4.845,34.71,
4.86,35.79,4.875,37.17,4.89,39.66,4.905,39.27,4.9
2,37.89,4.935,39.15,4.95,38.94,4.965,39.24,4.98,4
0.65,4.995,38.49,5.01,36.57,5.025,36.48,5.04,38.4
9,5.055,39.36,5.07,38.46,5.085,37.77,5.1,36.03,5.1
15,35.85,5.13,37.95,5.145,37.29,5.16,35.49,5.175,
35.22,5.19,34.14,5.205,34.98,5.22,36.48,5.235,35.
1,5.25,33.24,5.265,32.82,5.28,35.07,5.295,35.94,5.
31,37.41,5.325,38.31,5.34,36.84,5.355,38.13,5.37,
41.58,5.385,41.28,5.4,41.61,5.415,41.97,5.43,40.0
5,5.445,40.32,5.46,42.3,5.475,42.03,5.49,42.42,5.5
05,41.55,5.52,41.55,5.535,42.93,5.55,42.99,5.565,
43.38,5.58,43.26,5.595,41.31,5.61,41.22,5.625,42.
69,5.64,41.94,5.655,42.42,5.67,41.85,5.685,40.26,
5.7,41.1,5.715,41.91,5.73,40.83,5.745,41.43,5.76,4
2.03,5.775,43.35,5.79,43.23,5.805,43.92,5.82,43.9
5,5.835,42.3,5.85,43.59,5.865,45.3,5.88,45.33,5.89
5,46.26,5.91,45.51,5.925,43.65,5.94,44.85,5.955,4
6.08,5.97,44.76,5.985,44.88,6.42,18.6,0.015,41.88,6.
03,41.94,6.045,42.06,6.06,42.36,6.075,40.65,6.09,
40.74,6.105,42.18,6.12,41.13,6.135,41.61,6.15,40.
95,6.165,39.45,6.18,40.98,6.195,42.18,6.21,41.16,
6.225,41.49,6.24,40.41,6.255,39.96,6.27,42.24,6.2
85,40.35,6.3,41.16,6.315,40.38,6.33,38.13,6.345,4
1.1,6.36,41.67,6.375,39.84,6.39,40.95,6.405,40.23,
6.42,38.37,6.435,41.01,6.45,39.72,6.465,38.46,6.4
8,41.16,6.495,41.04,6.51,40.86,6.525,41.19,6.54,4
0.89,6.555,40.77,6.57,40.95,6.585,40.17,6.6,38.91,
6.615,38.73,6.63,39.66,6.645,39.54,6.66,38.7,6.67
5,37.98,6.69,38.64,6.705,39.93,6.72,41.1,6.735,40.
11,6.75,38.52,6.765,40.53,6.78,40.65,6.795,41.91,
6.81,43.56,6.825,42.93,6.84,42.96,6.855,44.58,6.8
7,44.64,6.885,44.28,6.9,43.89,6.915,41.79,6.93,42.
27,6.945,43.32,6.96,42.75,6.975,42.21,6.99,41.28,
7.005,41.85,7.02,42.27,7.035,41.91,7.05,41.22,7.0
65,39.03,7.08,38.37,7.095,39.51,7.11,39.81,7.125,
38.43,7.14,37.62,7.155,37.86,7.17,38.28,7.185,37.
89,7.2,36.39,7.215,35.28,7.23,36.06,7.245,37.14,7.
26,38.94,7.275,37.17,7.29,37.68,7.305,38.55,7.32,
36.54,7.335,36.99,7.35,37.02,7.365,34.68,7.38,35.
43,7.395,36.33,7.41,34.2,7.425,34.98,7.44,35.82,7.
455,35.34,7.47,38.04,7.485,38.4,7.5,37.56,7.515,3
7.08,7.53,37.62,7.545,39.36,7.56,40.11,7.575,39.4
2,7.59,39.81,7.605,41.13,7.62,42.57,7.635,43.2,7.6
5,42.87,7.665,42.45,7.68,43.02,7.695,44.43,7.71,4
4.1,7.725,43.56,7.74,43.47,7.755,44.13,7.77,44.34,
7.785,42.72,7.8,43.29,7.815,41.25,7.83,39.09,7.84
5,40.98,7.86,39.36,7.875,37.11,7.89,39.24,7.905,3
8.4,7.92,37.56,7.935,40.02,7.95,38.16,7.965,37.14,
7.98,39.24,7.995,37.02,8.01,36.6,8.025,35.91,8.04,
34.92,8.055,35.58,8.07,35.85,8.085,35.64,8.1,35.1
3,8.115,34.92,8.13,35.79,8.145,36.72,8.16,36.15,8.
175,35.79,8.19,36.09,8.205,36.69,8.22,37.95,8.235
,37.47,8.25,33.9,8.265,35.19,8.28,32.64,8.295,33.5
7,8.31,35.4,8.325,31.86,8.34,32.82,8.355,34.92,8.3
7,32.31,8.385,33.69,8.4,33.51,8.415,29.57,8.43,31.
23,8.445,31.29,8.46,27.29,8.475,28.83,8.49,27.72,
8.505,28.32,8.52,29.11,8.535,27.81,8.55,27.47,8.5
65,26.25,8.58,25.2,8.595,26.33,8.61,26.76,8.625,2
6.04,8.64,24.46,8.655,21.21,8.67,22.64,8.685,25.6
3,8.7,24.57,8.715,22.42,8.73,19.33,8.745,18.65,8.7
6,22.6,8.775,20.2,8.79,16.46,8.805,17.7,8.82,21.1,
8.835,22.6,8.85,23.42,8.865,22.04,8.88,20.69,8.89
5,21.34,8.91,22.18,8.925,22.97,8.94,24.12,8.955,2
2.93,8.97,22.21,8.985,25.22,9.29,43.9,0.015,28.94,9.
03,29.56,9.045,29.02,9.06,27.78,9.075,28.28,9.09,
29.71,9.105,29.2,9.12,28.94,9.135,27.4,9.15,26.23,
9.165,28.16,9.18,29.75,9.195,27.46,9.21,24.62,9.2
25,22.41,9.24,22.56,9.255,22.63,9.27,23.35,9.285,
24.02,9.3,18.01,9.315,16.2,9.33,19.98,9.345,17.05,
9.36,17.84,9.375,18.71,9.39,11.06,9.405,11.78,9.4
2,17.98,9.435,15.02,9.45,16.61,9.465,16.87,9.48,1
1.89,9.495,16.59,9.51,18.88,9.525,20.95,9.54,19.7
2,9.555,14.83,9.57,14.21,9.585,12.71,9.6,15.5,9.61
5,16.82,9.63,14.74,9.645,9.147,9.66,7.446,9.675,9.
066,9.69,14.28,9.705,14.97,9.72,12.13,9.735,5.328
,9.75,4.977,9.765,10.38,9.78,16.9,9.795,11.39,9.81
,9.885,9.825,9.417,9.84,9.822,9.855,17.81,9.87,21.
75,9.885,18.19,9.9,12.32,9.915,16.22,9.93,21.38,9.
945,24.77,9.96,23.72,9.975,17.22,9.99,11.06
Extend Max = On
Extend Min = On
Option = One Dimensional
END
END
END
END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
DYNAMIC VISCOSITY:
Dynamic Viscosity = 1.831E-05 [kg m^-1 s^-
1]
Option = Value
END
END
END
END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
EQUATION OF STATE:
Density = 1.185 [kg m^-3]
Molar Mass = 28.96 [kg kmol^-1]
Option = Value

```



```

DOMAIN:Default Domain
FLUID MODELS:
TURBULENT WALL FUNCTIONS:
  Option = Scalable
END
END
END
END
FLOW:
INITIALISATION:
  Option = Automatic
INITIAL CONDITIONS:
  Velocity Type = Cartesian
CARTESIAN VELOCITY COMPONENTS:
  Option = Automatic with Value
  U = MyVelX(t)
  V = 0 [m s^-1]
  W = 0 [m s^-1]
END
EPSILON:
  Option = Automatic with Value
END
K:
  Option = Automatic with Value
END
STATIC PRESSURE:
  Option = Automatic with Value
  Relative Pressure = 0 [Pa]
END
END
END
END
FLOW:
SIMULATION TYPE:
  Option = Transient
EXTERNAL SOLVER COUPLING:
  ANSYS Input File =
E:/teza/ansys/antena_rotita_45_rotation_macro/v_0
_60/antena10_45.inp
  Option = ANSYS MultiField
COUPLING TIME CONTROL:
COUPLING INITIAL TIME:
  Option = Automatic
END
COUPLING TIME DURATION:
  Option = Total Time
  Total Time = 10 [s]
END
COUPLING TIME STEPS:
  Option = Timesteps
  Timesteps = 0.01 [s]
END
END
INITIAL TIME:
  Option = Coupling Initial Time
END
TIME DURATION:
  Option = Coupling Time Duration
END
TIME STEPS:
  Option = Coupling Timesteps
END
END
FLOW:
SOLVER CONTROL:
ADVECTION SCHEME:
  Option = High Resolution
END
CONVERGENCE CONTROL:
  Maximum Number of Coefficient Loops = 3
  Minimum Number of Coefficient Loops = 2
  Timescale Control = Coefficient Loops
END
CONVERGENCE CRITERIA:
  Residual Target = 1.E-4
  Residual Type = RMS
END
EXTERNAL SOLVER COUPLING CONTROL:
COUPLING DATA TRANSFER CONTROL:
  Convergence Target = 1e-3
  Under Relaxation Factor = 0.75
END
COUPLING STEP CONTROL:
  Maximum Number of Coupling Iterations = 10
  Minimum Number of Coupling Iterations = 1
SOLUTION SEQUENCE CONTROL:
  Solve ANSYS Fields = After CFX Fields
END
END
END
TRANSIENT SCHEME:
  Option = Second Order Backward Euler
TIMESTEP INITIALISATION:
  Option = Automatic
END
END
END
LIBRARY:
CEL:
  FUNCTION:MyVelX
  Argument Units = [s]
  Option = Interpolation
  Result Units = [m s^-1]
INTERPOLATION DATA:
  Data Pairs =
0,0,0.01,0.06,0.02,0.12,0.03,0.18,0.04,0.24,0.05,0.
3,0.06,0.36,0.07,0.42,0.08,0.48,0.09,0.54,0.1,0.6,0
.11,0.66,0.12,0.72,0.13,0.78,0.14,0.84,0.15,0.9,0.1
6,0.96,0.17,1.02,0.18,1.08,0.19,1.14,0.2,1.2,0.21,1
.26,0.22,1.32,0.23,1.38,0.24,1.44,0.25,1.5,0.26,1.5
6,0.27,1.62,0.28,1.68,0.29,1.74,0.3,1.8,0.31,1.86,0
.32,1.92,0.33,1.98,0.34,2.04,0.35,2.1,0.36,2.16,0.3
7,2.22,0.38,2.28,0.39,2.34,0.4,2.4,0.41,2.46,0.42,2
.52,0.43,2.58,0.44,2.64,0.45,2.7,0.46,2.76,0.47,2.8
2,0.48,2.88,0.49,2.94,0.5,3,0.51,3.06,0.52,3.12,0.5
3,3.18,0.54,3.24,0.55,3.3,0.56,3.36,0.57,3.42,0.58,
3.48,0.59,3.54,0.6,3.6,0.61,3.66,0.62,3.72,0.63,3.7
8,0.64,3.84,0.65,3.9,0.66,3.96,0.67,4.02,0.68,4.08,
0.69,4.14,0.7,4.2,0.71,4.26,0.72,4.32,0.73,4.38,0.7
4,4.44,0.75,4.5,0.76,4.56,0.77,4.62,0.78,4.68,0.79,
4.74,0.8,4.8,0.81,4.86,0.82,4.92,0.83,4.98,0.84,5,0
4,0.85,5.1,0.86,5.16,0.87,5.22,0.88,5.28,0.89,5.34,
0.9,5.4,0.91,5.46,0.92,5.52,0.93,5.58,0.94,5.64,0.9
5,5.7,0.96,5.76,0.97,5.82,0.98,5.88,0.99,5.94,1,6,1
.01,6.06,1.02,6.12,1.03,6.18,1.04,6.24,1.05,6.3,1.0
6,6.36,1.07,6.42,1.08,6.48,1.09,6.54,1.1,6.6,1.11,6
.66,1.12,6.72,1.13,6.78,1.14,6.84,1.15,6.9,1.16,6.9
6,1.17,7.02,1.18,7.08,1.19,7.14,1.2,7.2,1.21,7.26,1
.22,7.32,1.23,7.38,1.24,7.44,1.25,7.5,1.26,7.56,1.2

```

7,7.62,1.28,7.68,1.29,7.74,1.3,7.8,1.31,7.86,1.32,7.92,1.33,7.98,1.34,8.04,1.35,8.1,1.36,8.16,1.37,8.22,1.38,8.28,1.39,8.34,1.4,8.4,1.41,8.46,1.42,8.52,1.43,8.58,1.44,8.64,1.45,8.7,1.46,8.76,1.47,8.82,1.48,8.88,1.49,8.94,1.5,9,1.51,9.06,1.52,9.12,1.53,9.18,1.54,9.24,1.55,9.3,1.56,9.36,1.57,9.42,1.58,9.48,1.59,9.54,1.6,9.6,1.61,9.66,1.62,9.72,1.63,9.78,1.64,9.84,1.65,9.9,1.66,9.96,1.67,10.02,1.68,10.08,1.69,10.14,1.7,10.2,1.71,10.26,1.72,10.32,1.73,10.38,1.74,10.44,1.75,10.5,1.76,10.56,1.77,10.62,1.78,10.68,1.79,10.74,1.8,10.8,1.81,10.86,1.82,10.92,1.83,10.98,1.84,11.04,1.85,11.1,1.86,11.16,1.87,11.22,1.88,11.28,1.89,11.34,1.9,11.4,1.91,11.46,1.92,11.52,1.93,11.58,1.94,11.64,1.95,11.7,1.96,11.76,1.97,11.82,1.98,11.88,1.99,11.94,2.12,2.01,12.06,2.02,2.12,2.03,12.18,2.04,12.24,2.05,12.3,2.06,12.36,2.07,12.42,2.08,12.48,2.09,12.54,2.1,12.6,2.11,12.66,2.12,12.72,2.13,12.78,2.14,12.84,2.15,12.9,2.16,2.17,12.96,2.18,13.02,2.19,13.08,2.2,13.14,2.2,13.2,2.2,13.26,2.22,13.32,2.23,13.38,2.24,13.44,2.25,13.5,2.26,13.56,2.27,13.62,2.28,13.68,2.29,13.74,2.3,13.8,2.31,13.86,2.32,13.92,2.33,13.98,2.34,14.04,2.35,14.1,2.36,14.16,2.37,14.22,2.38,14.28,2.39,14.34,2.4,14.4,2.41,14.46,2.42,14.52,2.43,14.58,2.44,14.64,2.45,14.7,2.46,14.76,2.47,14.82,2.48,14.88,2.49,14.94,2.5,15,2.51,15.06,2.52,15.12,2.53,15.18,2.54,15.24,2.55,15.3,2.56,15.36,2.57,15.42,2.58,15.48,2.59,15.54,2.6,15.6,2.61,15.66,2.62,15.72,2.63,15.78,2.64,15.84,2.65,15.9,2.66,15.96,2.67,16.02,2.68,16.08,2.69,16.14,2.7,16.2,2.71,16.26,2.72,16.32,2.73,16.38,2.74,16.44,2.75,16.5,2.76,16.56,2.77,16.62,2.78,16.68,2.79,16.74,2.8,16.8,2.81,16.86,2.82,16.92,2.83,16.98,2.84,17.04,2.85,17.1,2.86,17.16,2.87,17.22,2.88,17.28,2.89,17.34,2.9,17.4,2.91,17.46,2.92,17.52,2.93,17.58,2.94,17.64,2.95,17.7,2.96,17.76,2.97,17.82,2.98,17.88,2.99,17.94,3,18,3.01,18.06,3.02,18.12,3.03,18.18,3.04,18.24,3.05,18.3,3.06,18.36,3.07,18.42,3.08,18.48,3.09,18.54,3.1,18.6,3.11,18.66,3.12,18.72,3.13,18.78,3.14,18.84,3.15,18.9,3.16,18.96,3.17,19.02,3.18,19.08,3.19,19.14,3.2,19.2,3.21,19.26,3.22,19.32,3.23,19.38,3.24,19.44,3.25,19.5,3.26,19.56,3.27,19.62,3.28,19.68,3.29,19.74,3.3,19.8,3.31,19.86,3.32,19.92,3.33,19.98,3.34,20.04,3.35,20.1,3.36,20.16,3.37,20.22,3.38,20.28,3.39,20.34,3.4,20.4,3.41,20.46,3.42,20.52,3.43,20.58,3.44,20.64,3.45,20.7,3.46,20.76,3.47,20.82,3.48,20.88,3.49,20.94,3.5,21,3.51,21.06,3.52,21.1,21.16,3.53,21.18,3.54,21.24,3.55,21.3,3.56,21.36,3.57,21.42,3.58,21.48,3.59,21.54,3.6,21.6,3.61,21.66,3.62,21.72,3.63,21.78,3.64,21.84,3.65,21.9,3.66,21.96,3.67,22.02,3.68,22.08,3.69,22.14,3.7,22.2,3.71,22.26,3.72,22.32,3.73,22.38,3.74,22.44,3.75,22.5,3.76,22.56,3.77,22.62,3.78,22.68,3.79,22.74,3.8,22.8,3.81,22.86,3.82,22.92,3.83,22.98,3.84,23.04,3.85,23.1,3.86,23.16,3.87,23.22,3.88,23.28,3.89,23.34,3.9,23.4,3.91,23.46,3.92,23.52,3.93,23.58,3.94,23.6,23.66,3.95,23.7,3.96,23.76,3.97,23.82,3.98,23.88,3.99,23.94,4,24,4.01,24.06,4.02,24.12,4.03,24.18,4.04,24.2,4.05,24.3,4.06,24.36,4.07,24.42,4.08,24.48,4.09,24.54,4.1,24.6,4.11,24.66,4.12,24.72,4.13,24.78,4.14,24.84,4.15,24.9,4.16,24.96,4.17,25.02,4.18,25.08,4.19,25.14,4.2,25.2,4.21,25.26,4.22,25.32,4.23,25.38,4.24,25.44,4.25,25.5,4.26,25.56,4.27,25.62,4.28,25.68,4.29,25.74,4.3,25.8,4.31,25.86,4.32,25.92,4.33,25.98,4.34,26.04,4.35,26.1,4.36,26.16,4.37,26.22,4.38,26.28,4.39,26.34,4.4,26.4,4.41,26.46,4.42,26.52,4.43,26.58,4.44,26.64,4.45,26.7,4.46,26.76,4.47,26.82,4.48,26.88,4.49,26.94,4.5,27,4.51,27.06,4.52,27.12,4.53,27.18,4.54,27.24,4.55,27.3,4.56,27.36,4.57,27.42,4.58,27.48,4.59,27.54,4.6,27.6,4.61,27.66,4.62,27.72,4.63,27.78,4.64,27.84,4.65,27.9,4.66,27.96,4.67,28.02,4.68,28.08,4.69,28.14,4.7,28.2,4.71,28.26,4.72,28.32,4.73,28.38,4.74,28.44,4.75,28.5,4.76,28.56,4.77,28.62,4.78,28.68,4.79,28.74,4.8,28.8,4.81,28.86,4.82,28.92,4.83,28.98,4.84,29.04,4.85,29.1,4.86,29.16,4.87,29.22,4.88,29.28,4.89,29.34,4.9,29.4,4.91,29.46,4.92,29.52,4.93,29.58,4.94,29.64,4.95,29.7,4.96,29.76,4.97,29.82,4.98,29.88,4.99,29.94,5,30,5.01,30.06,5.02,30.12,5.03,30.18,5.04,30.24,5.05,30.3,5.06,30.36,5.07,30.42,5.08,30.48,5.09,30.54,5.1,30.6,5.11,30.66,5.12,30.72,5.13,30.78,5.14,30.84,5.15,30.9,5.16,30.96,5.17,31.02,5.18,31.08,5.19,31.14,5.2,31.2,5.21,31.26,5.22,31.32,5.23,31.38,5.24,31.44,5.25,31.5,5.26,31.56,5.27,31.62,5.28,31.68,5.29,31.74,5.3,31.8,5.31,31.86,5.32,31.92,5.33,31.98,5.34,32.04,5.35,32.1,5.36,32.16,5.37,32.22,5.38,32.28,5.39,32.34,5.4,32.4,5.41,32.46,5.42,32.52,5.43,32.58,5.44,32.64,5.45,32.7,5.46,32.76,5.47,32.82,5.48,32.88,5.49,32.94,5.5,33,5.51,33.06,5.52,33.12,5.53,33.18,5.54,33.24,5.55,33.3,5.56,33.36,5.57,33.42,5.58,33.48,5.59,33.54,5.6,33.6,5.61,33.66,5.62,33.72,5.63,33.78,5.64,33.84,5.65,33.9,5.66,33.96,5.67,34.02,5.68,34.08,5.69,34.14,5.7,34.2,5.71,34.26,5.72,34.32,5.73,34.38,5.74,34.44,5.75,34.5,5.76,34.56,5.77,34.62,5.78,34.68,5.79,34.74,5.8,34.8,5.81,34.86,5.82,34.92,5.83,34.98,5.84,35.04,5.85,35.1,5.86,35.16,5.87,35.22,5.88,35.28,5.89,35.34,5.9,35.4,5.91,35.46,5.92,35.52,5.93,35.58,5.94,35.64,5.95,35.7,5.96,35.76,5.97,35.82,5.98,35.88,5.99,35.94,6,36,6.01,36.06,6.02,36.08,6.03,36.14,6.04,36.2,6.05,36.26,6.06,36.32,6.07,36.38,6.08,36.44,6.09,36.5,6.1,36.56,6.11,36.62,6.12,36.68,6.13,36.74,6.14,36.8,6.15,36.86,6.16,36.92,6.17,37.02,6.18,37.08,6.19,37.14,6.2,37.2,6.21,37.26,6.22,37.32,6.23,37.38,6.24,37.44,6.25,37.5,6.26,37.56,6.27,37.62,6.28,37.68,6.29,37.74,6.3,37.8,6.31,37.86,6.32,37.92,6.33,37.98,6.34,38.0,6.35,38.06,6.36,38.12,6.37,38.18,6.38,38.24,6.39,38.3,38.36,6.4,38.42,6.41,38.48,6.42,38.54,6.43,38.6,6.44,38.66,6.45,38.72,6.46,38.78,6.47,38.84,6.48,38.9,6.49,38.96,6.5,39.02,6.51,39.08,6.52,39.14,6.53,39.2,6.54,39.26,6.55,39.32,6.56,39.38,6.57,39.44,6.58,39.5,6.59,39.56,6.6,39.62,6.61,39.68,6.62,39.74,6.63,39.8,6.64,39.86,6.65,39.92,6.66,39.98,6.67,40.04,6.68,40.1,6.69,40.16,6.7,40.22,6.71,40.28,6.72,40.34,6.73,40.4,6.74,40.46,6.75,40.52,6.76,40.58,6.77,40.64,6.78,40.7,6.79,40.76,6.8,40.82,6.81,40.88,6.82,40.94,6.83,40.98,6.84,41.04,6.85,41.1,6.86,41.16,6.87,41.22,6.88,41.28,6.89,41.34,6.9,41.4,6.91,41.46,6.92,41.52,6.93,41.58,6.94,41.64,6.95,41.7,6.96,41.76,6.97,41.82,6.98,41.88,6.99,41.94,7,42,7.01,42.06,7.02,42.12,7.03,42.18,7.04,42.24,7.05,42.3,7.06,42.36,7.07,42.42,7.08,42.48,7.09,42.54,7.1,42.6,7.11,42.66,7.12,42.72,7.13,42.78,7.14,42.84,7.15,42.9,7.16,42.96,7.17,43.02,7.18,43.08,7.19,43.14,7.2,43.2,7.21,43.26,7.22,43.32,7.23,43.38,7.24,43.44,7.25,43.5,7.26,43.56,7.27,43.62,7.28,43.68,7.29,43.74,7.3,43.8,7.31,43.86,7.32,43.92,7.33,43.98,7.34,44.04,7.35,44.1,7.36,44.16,7.37,44.22,7.38,44.28,7.39,44.34,7.4,44.4,7.41,44.46,7.42,44.52,7.43,44.58,7.44,44.64,7.45,44.7,7.46,44.76,7.47,44.82,7.48,44.88,7.49,44.94,7.5,45,7.51,45.06,7.52,45.12,7.5

```

3,45.18,7.54,45.24,7.55,45.3,7.56,45.36,7.57,45.42
,7.58,45.48,7.59,45.54,7.6,45.6,7.61,45.66,7.62,45.
72,7.63,45.78,7.64,45.84,7.65,45.9,7.66,45.96,7.67
,46.02,7.68,46.08,7.69,46.14,7.7,46.2,7.71,46.26,7.
72,46.32,7.73,46.38,7.74,46.44,7.75,46.5,7.76,46.5
6,7.77,46.62,7.78,46.68,7.79,46.74,7.8,46.8,7.81,4
6.86,7.82,46.92,7.83,46.98,7.84,47.04,7.85,47.1,7.
86,47.16,7.87,47.22,7.88,47.28,7.89,47.34,7.9,47.4
,7.91,47.46,7.92,47.52,7.93,47.58,7.94,47.64,7.95,
47.7,7.96,47.76,7.97,47.82,7.98,47.88,7.99,47.94,8
,48,8.01,48.06,8.02,48.12,8.03,48.18,8.04,48.24,8.
05,48.3,8.06,48.36,8.07,48.42,8.08,48.48,8.09,48.5
4,8.1,48.6,8.11,48.66,8.12,48.72,8.13,48.78,8.14,4
8.84,8.15,48.9,8.16,48.96,8.17,49.02,8.18,49.08,8.
19,49.14,8.2,49.2,8.21,49.26,8.22,49.32,8.23,49.38
,8.24,49.44,8.25,49.5,8.26,49.56,8.27,49.62,8.28,4
9.68,8.29,49.74,8.3,49.8,8.31,49.86,8.32,49.92,8.3
3,49.98,8.34,50.04,8.35,50.1,8.36,50.16,8.37,50.22
,8.38,50.28,8.39,50.34,8.4,50.4,8.41,50.46,8.42,50.
52,8.43,50.58,8.44,50.64,8.45,50.7,8.46,50.76,8.47
,50.82,8.48,50.88,8.49,50.94,8.5,51,8.51,51.06,8.5
2,51.12,8.53,51.18,8.54,51.24,8.55,51.3,8.56,51.36
,8.57,51.42,8.58,51.48,8.59,51.54,8.6,51.6,8.61,51.
66,8.62,51.72,8.63,51.78,8.64,51.84,8.65,51.9,8.66
,51.96,8.67,52.02,8.68,52.08,8.69,52.14,8.7,52.2,8.
71,52.26,8.72,52.32,8.73,52.38,8.74,52.44,8.75,52.
5,8.76,52.56,8.77,52.62,8.78,52.68,8.79,52.74,8.8,
52.8,8.81,52.86,8.82,52.92,8.83,52.98,8.84,53.04,8
.85,53.1,8.86,53.16,8.87,53.22,8.88,53.28,8.89,53.
34,8.9,53.4,8.91,53.46,8.92,53.52,8.93,53.58,8.94,
53.64,8.95,53.7,8.96,53.76,8.97,53.82,8.98,53.88,8
.99,53.94,9.0,54.0,9.01,54.06,9.02,54.12,9.03,54.18,9.
04,54.24,9.05,54.3,9.06,54.36,9.07,54.42,9.08,54.4
8,9.09,54.54,9.1,54.6,9.11,54.66,9.12,54.72,9.13,5
4.78,9.14,54.84,9.15,54.9,9.16,54.96,9.17,55.02,9.
18,55.08,9.19,55.14,9.2,55.2,9.21,55.26,9.22,55.32
,9.23,55.38,9.24,55.44,9.25,55.5,9.26,55.56,9.27,5
5.62,9.28,55.68,9.29,55.74,9.3,55.8,9.31,55.86,9.3
2,55.92,9.33,55.98,9.34,56.04,9.35,56.1,9.36,56.16
,9.37,56.22,9.38,56.28,9.39,56.34,9.4,56.4,9.41,56.
46,9.42,56.52,9.43,56.58,9.44,56.64,9.45,56.7,9.46
,56.76,9.47,56.82,9.48,56.88,9.49,56.94,9.5,57,9.5
1,57.06,9.52,57.12,9.53,57.18,9.54,57.24,9.55,57.3
,9.56,57.36,9.57,57.42,9.58,57.48,9.59,57.54,9.6,5
7.6,9.61,57.66,9.62,57.72,9.63,57.78,9.64,57.84,9.
65,57.9,9.66,57.96,9.67,58.02,9.68,58.08,9.69,58.1
4,9.7,58.2,9.71,58.26,9.72,58.32,9.73,58.38,9.74,5
8.44,9.75,58.5,9.76,58.56,9.77,58.62,9.78,58.68,9.
79,58.74,9.8,58.8,9.81,58.86,9.82,58.92,9.83,58.98
,9.84,59.04,9.85,59.1,9.86,59.16,9.87,59.22,9.88,5
9.28,9.89,59.34,9.9,59.4,9.91,59.46,9.92,59.52,9.9
3,59.58,9.94,59.64,9.95,59.7,9.96,59.76,9.97,59.82
,9.98,59.88,9.99,59.94,10,60
    Extend Max = On
    Extend Min = On
    Option = One Dimensional
END
END
END
END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
DYNAMIC VISCOSITY:
    Dynamic Viscosity = 1.831E-05 [kg m^-1 s^-
1]
    Option = Value
END
END
END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
EQUATION OF STATE:
    Density = 1.185 [kg m^-3]
    Molar Mass = 28.96 [kg kmol^-1]
    Option = Value
END
END
END
COMMAND FILE:
    Version = 11.0
END
Simularea curgerii peste structura antenei
poziționată cu axa la 90° față de direcția de
curgere, viteza rafala 30 m/s
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:freewalls
    Boundary Type = WALL
    Location = F20.18,F21.18,F22.18,F23.18
BOUNDARY CONDITIONS:
MESH MOTION:
    Option = Stationary
END
WALL INFLUENCE ON FLOW:
    Option = Free Slip
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:inlet
    Boundary Type = INLET
    Location = F19.18
BOUNDARY CONDITIONS:
FLOW REGIME:
    Option = Subsonic
END
MASS AND MOMENTUM:
    Option = Cartesian Velocity Components
    U = MyVelX(t)
    V = 0 [m s^-1]
    W = 0 [m s^-1]
END
MESH MOTION:
    Option = Stationary
END
TURBULENCE:
    Option = Medium Intensity și Eddy Viscosity
Ratio
END
END
END
END

```

```

FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:interface
Boundary Type = WALL
Location = F25.18,F26.18,F27.18
BOUNDARY CONDITIONS:
MESH MOTION:
ANSYS Interface = FSIN_1
Option = ANSYS MultiField
Receive from ANSYS = Total Mesh
Displacement
Send to ANSYS = Total Force
END
WALL INFLUENCE ON FLOW:
Option = No Slip
END
WALL ROUGHNESS:
Option = Smooth Wall
END
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:outlet
Boundary Type = OPENING
Location = F24.18
BOUNDARY CONDITIONS:
FLOW DIRECTION:
Option = Normal to Boundary Condition
END
FLOW REGIME:
Option = Subsonic
END
MASS AND MOMENTUM:
Option = Opening Pressure și Direction
Relative Pressure = 0 [Pa]
END
MESH MOTION:
Option = Stationary
END
TURBULENCE:
Option = Medium Intensity și Eddy Viscosity
Ratio
END
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
DOMAIN MODELS:
DOMAIN MOTION:
Option = Stationary
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
DOMAIN MODELS:
REFERENCE PRESSURE:
Reference Pressure = 1 [atm]
END
END
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
FLUID MODELS:
TURBULENCE MODEL:
Option = k epsilon
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
FLUID MODELS:
TURBULENT WALL FUNCTIONS:
Option = Scalable
END
END
END
FLOW:
INITIALISATION:
Option = Automatic
INITIAL CONDITIONS:
Velocity Type = Cartesian
CARTESIAN VELOCITY COMPONENTS:
Option = Automatic with Value
U = MyVelX(t)
V = 0 [m s^-1]
W = 0 [m s^-1]
END
EPSILON:
Option = Automatic with Value
END
K:
Option = Automatic with Value
END
STATIC PRESSURE:
Option = Automatic with Value
Relative Pressure = 0 [Pa]
END
END
END
FLOW:
SIMULATION TYPE:
Option = Transient
EXTERNAL SOLVER COUPLING:
ANSYS Input File =
E:/teza/ansys/antena_rotita_90g/v30/antena10_90.i
np
Option = ANSYS MultiField
COUPLING TIME CONTROL:
COUPLING INITIAL TIME:
Option = Automatic
END
COUPLING TIME DURATION:
Option = Total Time
Total Time = 9.99 [s]
END
COUPLING TIME STEPS:
Option = Timesteps
Timesteps = 0.015 [s]
END
END
END

```

```

INITIAL TIME: 8,0.64,3.84,0.65,3.9,0.66,3.96,0.67,4.02,0.68,4.08,
Option = Coupling Initial Time 0.69,4.14,0.7,4.2,0.71,4.26,0.72,4.32,0.73,4.38,0.7
END 4,4.44,0.75,4.5,0.76,4.56,0.77,4.62,0.78,4.68,0.79,
TIME DURATION: 4.74,0.8,4.8,0.81,4.86,0.82,4.92,0.83,4.98,0.84,5.0
Option = Coupling Time Duration 4,0.85,5.1,0.86,5.16,0.87,5.22,0.88,5.28,0.89,5.34,
END 0,9,5.4,0.91,5.46,0.92,5.52,0.93,5.58,0.94,5.64,0.9
TIME STEPS: 5,5.7,0.96,5.76,0.97,5.82,0.98,5.88,0.99,5.94,1,6,1
Option = Coupling Timesteps .01,6.06,1.02,6.12,1.03,6.18,1.04,6.24,1.05,6.3,1.0
END 6,6.36,1.07,6.42,1.08,6.48,1.09,6.54,1.1,6.6,1.11,6
END .66,1.12,6.72,1.13,6.78,1.14,6.84,1.15,6.9,1.16,6.9
END 6,1.17,7.02,1.18,7.08,1.19,7.14,1.2,7.2,1.21,7.26,1
FLOW: .22,7.32,1.23,7.38,1.24,7.44,1.25,7.5,1.26,7.56,1.2
SOLVER CONTROL: 7,7.62,1.28,7.68,1.29,7.74,1.3,7.8,1.31,7.86,1.32,7
ADVECTION SCHEME: .92,1.33,7.98,1.34,8.04,1.35,8.1,1.36,8.16,1.37,8.2
Option = High Resolution 2,1.38,8.28,1.39,8.34,1.4,8.4,1.41,8.46,1.42,8.52,1.
END .43,8.58,1.44,8.64,1.45,8.7,1.46,8.76,1.47,8.82,1.4
CONVERGENCE CONTROL: 8,8.88,1.49,8.94,1.5,9,1.51,9.06,1.52,9.12,1.53,9.1
Maximum Number of Coefficient Loops = 3 8,1.54,9.24,1.55,9.3,1.56,9.36,1.57,9.42,1.58,9.48,
Minimum Number of Coefficient Loops = 2 1,59,9.54,1.6,9.6,1.61,9.66,1.62,9.72,1.63,9.78,1.6
Timescale Control = Coefficient Loops 4,9.84,1.65,9.9,1.66,9.96,1.67,10.02,1.68,10.08,1.6
END 9,10.14,1.7,10.2,1.71,10.26,1.72,10.32,1.73,10.38,
CONVERGENCE CRITERIA: 1,74,10.44,1.75,10.5,1.76,10.56,1.77,10.62,1.78,10
Residual Target = 1.E-4 .68,1.79,10.74,1.8,10.8,1.81,10.86,1.82,10.92,1.83,
Residual Type = RMS 10,98,1.84,11.04,1.85,11.1,1.86,11.16,1.87,11.22,1
END .88,11.28,1.89,11.34,1.9,11.4,1.91,11.46,1.92,11.5
EXTERNAL SOLVER COUPLING CONTROL: 2,1.93,11.58,1.94,11.64,1.95,11.7,1.96,11.76,1.97,
COUPLING DATA TRANSFER CONTROL: 11,82,1.98,11.88,1.99,11.94,2,12,2.01,12.06,2.02,1
Convergence Target = 1e-3 2,12,2.03,12.18,2.04,12.24,2.05,12.3,2.06,12.36,2.
Under Relaxation Factor = 0.75 07,12.42,2.08,12.48,2.09,12.54,2.1,12.6,2.11,12.66
END .2,12,12.72,2.13,12.78,2.14,12.84,2.15,12.9,2.16,1
COUPLING STEP CONTROL: 2,96,2.17,13.02,2.18,13.08,2.19,13.14,2.2,13.2,2.2
Maximum Number of Coupling Iterations = 10 1,13.26,2.22,13.32,2.23,13.38,2.24,13.44,2.25,13.5
Minimum Number of Coupling Iterations = 1 .2,26,13.56,2.27,13.62,2.28,13.68,2.29,13.74,2.3,1
SOLUTION SEQUENCE CONTROL: 3,8,2.31,13.86,2.32,13.92,2.33,13.98,2.34,14.04,2.
Solve ANSYS Fields = After CFX Fields 35,14.1,2.36,14.16,2.37,14.22,2.38,14.28,2.39,14.3
END 4,2,4,14.4,2.41,14.46,2.42,14.52,2.43,14.58,2.44,1
END 4,64,2.45,14.7,2.46,14.76,2.47,14.82,2.48,14.88,2.
END 49,14.94,2.5,15,2.51,15.06,2.52,15.12,2.53,15.18,2
TRANSIENT SCHEME: .54,15.24,2.55,15.3,2.56,15.36,2.57,15.42,2.58,15.
Option = Second Order Backward Euler 48,2.59,15.54,2.6,15.6,2.61,15.66,2.62,15.72,2.63,
TIMESTEP INITIALISATION: 15,78,2.64,15.84,2.65,15.9,2.66,15.96,2.67,16.02,2
Option = Automatic .68,16.08,2.69,16.14,2.7,16.2,2.71,16.26,2.72,16.3
END 2,2,73,16.38,2.74,16.44,2.75,16.5,2.76,16.56,2.77,
END 16,62,2.78,16.68,2.79,16.74,2.8,16.8,2.81,16.86,2.
END 82,16.92,2.83,16.98,2.84,17.04,2.85,17.1,2.86,17.1
END 6,2.87,17.22,2.88,17.28,2.89,17.34,2.9,17.4,2.91,1
LIBRARY: 7,46,2.92,17.52,2.93,17.58,2.94,17.64,2.95,17.7,2.
CEL: 96,17.76,2.97,17.82,2.98,17.88,2.99,17.94,3,18,3,0
FUNCTION: MyVelX 1,18.06,3.02,18.12,3.03,18.18,3.04,18.24,3.05,18.3
Argument Units = [s] .3,06,18.36,3.07,18.42,3.08,18.48,3.09,18.54,3.1,1
Option = Interpolation 8,6,3.11,18.66,3.12,18.72,3.13,18.78,3.14,18.84,3.
Result Units = [m s^-1] 15,18.9,3.16,18.96,3.17,19.02,3.18,19.08,3.19,19.1
INTERPOLATION DATA: 4,3,2,19.2,3.21,19.26,3.22,19.32,3.23,19.38,3.24,1
Data Pairs = 9,44,3.25,19.5,3.26,19.56,3.27,19.62,3.28,19.68,3.
0,0,0.01,0.06,0.02,0.12,0.03,0.18,0.04,0.24,0.05,0. 29,19.74,3.3,19.8,3.31,19.86,3.32,19.92,3.33,19.98
3,0.06,0.36,0.07,0.42,0.08,0.48,0.09,0.54,0.1,0.6,0 .3,34,20.04,3.35,20.1,3.36,20.16,3.37,20.22,3.38,2
.11,0.66,0.12,0.72,0.13,0.78,0.14,0.84,0.15,0.9,0.1 0,28,3.39,20.34,3.4,20.4,3.41,20.46,3.42,20.52,3.4
6,0.96,0.17,1.02,0.18,1.08,0.19,1.14,0.2,1.2,0.21,1 3,20.58,3.44,20.64,3.45,20.7,3.46,20.76,3.47,20.82
.26,0.22,1.32,0.23,1.38,0.24,1.44,0.25,1.5,0.26,1.5 .3,48,20.88,3.49,20.94,3.5,21,3.51,21.06,3.52,21.1
6,0.27,1.62,0.28,1.68,0.29,1.74,0.3,1.8,0.31,1.86,0 .2,3,53,21.18,3.54,21.24,3.55,21.3,3.56,21.36,3.57,
.32,1.92,0.33,1.98,0.34,2.04,0.35,2.1,0.36,2.16,0.3 21,42,3.58,21.48,3.59,21.54,3.6,21.6,3.61,21.66,3.
7,2.22,0.38,2.28,0.39,2.34,0.4,2.4,0.41,2.46,0.42,2 .62,21.72,3.63,21.78,3.64,21.84,3.65,21.9,3.66,21.9
.52,0.43,2.58,0.44,2.64,0.45,2.7,0.46,2.76,0.47,2.8 6,3.67,22.02,3.68,22.08,3.69,22.14,3.7,22.2,3.71,2
2,0.48,2.88,0.49,2.94,0.5,3,0.51,3.06,0.52,3.12,0.5 2.26,3.72,22.32,3.73,22.38,3.74,22.44,3.75,22.5,3.
3,3.18,0.54,3.24,0.55,3.3,0.56,3.36,0.57,3.42,0.58, .76,22.56,3.77,22.62,3.78,22.68,3.79,22.74,3.8,22.8
3.48,0.59,3.54,0.6,3.6,0.61,3.66,0.62,3.72,0.63,3.7 ,3.81,22.86,3.82,22.92,3.83,22.98,3.84,23.04,3.85,

```


23.1,3.86,23.16,3.87,23.22,3.88,23.28,3.89,23.34,3
 .9,23.4,3.91,23.46,3.92,23.52,3.93,23.58,3.94,23.6
 4,3.95,23.7,3.96,23.76,3.97,23.82,3.98,23.88,3.99,
 23.94,4,24,4.01,24.06,4.02,24.12,4.03,24.18,4.04,2
 4.24,4.05,24.3,4.06,24.36,4.07,24.42,4.08,24.48,4.
 09,24.54,4.1,24.6,4.11,24.66,4.12,24.72,4.13,24.78
 ,4.14,24.84,4.15,24.9,4.16,24.96,4.17,25.02,4.18,2
 5.08,4.19,25.14,4.2,25.2,4.21,25.26,4.22,25.32,4.2
 3,25.38,4.24,25.44,4.25,25.5,4.26,25.56,4.27,25.62
 ,4.28,25.68,4.29,25.74,4.3,25.8,4.31,25.86,4.32,25.
 92,4.33,25.98,4.34,26.04,4.35,26.1,4.36,26.16,4.37
 ,26.22,4.38,26.28,4.39,26.34,4.4,26.4,4.41,26.46,4.
 42,26.52,4.43,26.58,4.44,26.64,4.45,26.7,4.46,26.7
 6,4.47,26.82,4.48,26.88,4.49,26.94,4.5,27,4.51,27.
 06,4.52,27.12,4.53,27.18,4.54,27.24,4.55,27.3,4.56
 ,27.36,4.57,27.42,4.58,27.48,4.59,27.54,4.6,27.6,4.
 61,27.66,4.62,27.72,4.63,27.78,4.64,27.84,4.65,27.
 9,4.66,27.96,4.67,28.02,4.68,28.08,4.69,28.14,4.7,
 28.2,4.71,28.26,4.72,28.32,4.73,28.38,4.74,28.44,4.
 75,28.5,4.76,28.56,4.77,28.62,4.78,28.68,4.79,28.
 74,4.8,28.8,4.81,28.86,4.82,28.92,4.83,28.98,4.84,
 29.04,4.85,29.1,4.86,29.16,4.87,29.22,4.88,29.28,4.
 89,29.34,4.9,29.4,4.91,29.46,4.92,29.52,4.93,29.5
 8,4.94,29.64,4.95,29.7,4.96,29.76,4.97,29.82,4.98,
 29.88,4.99,29.94,5,30,5.01,30.06,5.02,30.12,5.03,3
 0.18,5.04,30.24,5.05,30.3,5.06,30.36,5.07,30.42,5.
 08,30.48,5.09,30.54,5.1,30.6,5.11,30.66,5.12,30.72
 ,5.13,30.78,5.14,30.84,5.15,30.9,5.16,30.96,5.17,3
 1.02,5.18,31.08,5.19,31.14,5.2,31.2,5.21,31.26,5.2
 2,31.32,5.23,31.38,5.24,31.44,5.25,31.5,5.26,31.56
 ,5.27,31.62,5.28,31.68,5.29,31.74,5.3,31.8,5.31,31.
 86,5.32,31.92,5.33,31.98,5.34,32.04,5.35,32.1,5.36
 ,32.16,5.37,32.22,5.38,32.28,5.39,32.34,5.4,32.4,5.
 41,32.46,5.42,32.52,5.43,32.58,5.44,32.64,5.45,32.
 7,5.46,32.76,5.47,32.82,5.48,32.88,5.49,32.94,5.5,
 33,5.51,33.06,5.52,33.12,5.53,33.18,5.54,33.24,5.5
 5,33.3,5.56,33.36,5.57,33.42,5.58,33.48,5.59,33.54
 ,5.6,33.6,5.61,33.66,5.62,33.72,5.63,33.78,5.64,33.
 84,5.65,33.9,5.66,33.96,5.67,34.02,5.68,34.08,5.69
 ,34.14,5.7,34.2,5.71,34.26,5.72,34.32,5.73,34.38,5.
 74,34.44,5.75,34.5,5.76,34.56,5.77,34.62,5.78,34.6
 8,5.79,34.74,5.8,34.8,5.81,34.86,5.82,34.92,5.83,3
 4.98,5.84,35.04,5.85,35.1,5.86,35.16,5.87,35.22,5.
 88,35.28,5.89,35.34,5.9,35.4,5.91,35.46,5.92,35.52
 ,5.93,35.58,5.94,35.64,5.95,35.7,5.96,35.76,5.97,3
 5.82,5.98,35.88,5.99,35.94,6,36,6.01,36.06,6.02,36
 .12,6.03,36.18,6.04,36.24,6.05,36.3,6.06,36.36,6.0
 7,36.42,6.08,36.48,6.09,36.54,6.1,36.6,6.11,36.66,
 6.12,36.72,6.13,36.78,6.14,36.84,6.15,36.9,6.16,36
 .96,6.17,37.02,6.18,37.08,6.19,37.14,6.2,37.2,6.21,
 37.26,6.22,37.32,6.23,37.38,6.24,37.44,6.25,37.5,6
 .26,37.56,6.27,37.62,6.28,37.68,6.29,37.74,6.3,37.
 8,6.31,37.86,6.32,37.92,6.33,37.98,6.34,38.04,6.35
 ,38.1,6.36,38.16,6.37,38.22,6.38,38.28,6.39,38.34,
 6.4,38.4,6.41,38.46,6.42,38.52,6.43,38.58,6.44,38.
 64,6.45,38.7,6.46,38.76,6.47,38.82,6.48,38.88,6.49
 ,38.94,6.5,39.6,5.1,39.06,6.52,39.12,6.53,39.18,6.5
 4,39.24,6.55,39.3,6.56,39.36,6.57,39.42,6.58,39.48
 ,6.59,39.54,6.6,39.6,6.61,39.66,6.62,39.72,6.63,39.
 78,6.64,39.84,6.65,39.9,6.66,39.96,6.67,40.02,6.68
 ,40.08,6.69,40.14,6.7,40.2,6.71,40.26,6.72,40.32,6.
 73,40.38,6.74,40.44,6.75,40.5,6.76,40.56,6.77,40.6
 2,6.78,40.68,6.79,40.74,6.8,40.8,6.81,40.86,6.82,4
 0.92,6.83,40.98,6.84,41.04,6.85,41.1,6.86,41.16,6.
 87,41.22,6.88,41.28,6.89,41.34,6.9,41.4,6.91,41.46
 ,6.92,41.52,6.93,41.58,6.94,41.64,6.95,41.7,6.96,4
 1.76,6.97,41.82,6.98,41.88,6.99,41.94,7,42,7.01,42
 .06,7.02,42.12,7.03,42.18,7.04,42.24,7.05,42.3,7.0
 6,42.36,7.07,42.42,7.08,42.48,7.09,42.54,7.1,42.6,
 7.11,42.66,7.12,42.72,7.13,42.78,7.14,42.84,7.15,4
 2.9,7.16,42.96,7.17,43.02,7.18,43.08,7.19,43.14,7.
 2,43.2,7.21,43.26,7.22,43.32,7.23,43.38,7.24,43.44
 ,7.25,43.5,7.26,43.56,7.27,43.62,7.28,43.68,7.29,4
 3.74,7.3,43.8,7.31,43.86,7.32,43.92,7.33,43.98,7.3
 4,44.04,7.35,44.1,7.36,44.16,7.37,44.22,7.38,44.28
 ,7.39,44.34,7.4,44.4,7.41,44.46,7.42,44.52,7.43,44.
 58,7.44,44.64,7.45,44.7,7.46,44.76,7.47,44.82,7.48
 ,44.88,7.49,44.94,7.5,45,7.51,45.06,7.52,45.12,7.5
 3,45.18,7.54,45.24,7.55,45.3,7.56,45.36,7.57,45.42
 ,7.58,45.48,7.59,45.54,7.6,45.6,7.61,45.66,7.62,45.
 72,7.63,45.78,7.64,45.84,7.65,45.9,7.66,45.96,7.67
 ,46.02,7.68,46.08,7.69,46.14,7.7,46.2,7.71,46.26,7.
 72,46.32,7.73,46.38,7.74,46.44,7.75,46.5,7.76,46.5
 6,7.77,46.62,7.78,46.68,7.79,46.74,7.8,46.8,7.81,4
 6.86,7.82,46.92,7.83,46.98,7.84,47.04,7.85,47.1,7.
 86,47.16,7.87,47.22,7.88,47.28,7.89,47.34,7.9,47.4
 ,7.91,47.46,7.92,47.52,7.93,47.58,7.94,47.64,7.95,
 47.7,7.96,47.76,7.97,47.82,7.98,47.88,7.99,47.94,8
 ,48,8.01,48.06,8.02,48.12,8.03,48.18,8.04,48.24,8.
 05,48.3,8.06,48.36,8.07,48.42,8.08,48.48,8.09,48.5
 4,8.1,48.6,8.11,48.66,8.12,48.72,8.13,48.78,8.14,4
 8.84,8.15,48.9,8.16,48.96,8.17,49.02,8.18,49.08,8.
 19,49.14,8.2,49.2,8.21,49.26,8.22,49.32,8.23,49.38
 ,8.24,49.44,8.25,49.5,8.26,49.56,8.27,49.62,8.28,4
 9.68,8.29,49.74,8.3,49.8,8.31,49.86,8.32,49.92,8.3
 3,49.98,8.34,50.04,8.35,50.1,8.36,50.16,8.37,50.22
 ,8.38,50.28,8.39,50.34,8.4,50.4,8.41,50.46,8.42,50.
 52,8.43,50.58,8.44,50.64,8.45,50.7,8.46,50.76,8.47
 ,50.82,8.48,50.88,8.49,50.94,8.5,51,8.51,51.06,8.5
 2,51.12,8.53,51.18,8.54,51.24,8.55,51.3,8.56,51.36
 ,8.57,51.42,8.58,51.48,8.59,51.54,8.6,51.6,8.61,51.
 66,8.62,51.72,8.63,51.78,8.64,51.84,8.65,51.9,8.66
 ,51.96,8.67,52.02,8.68,52.08,8.69,52.14,8.7,52.2,8.
 71,52.26,8.72,52.32,8.73,52.38,8.74,52.44,8.75,52.
 5,8.76,52.56,8.77,52.62,8.78,52.68,8.79,52.74,8.8,
 52.8,8.81,52.86,8.82,52.92,8.83,52.98,8.84,53.04,8
 .85,53.1,8.86,53.16,8.87,53.22,8.88,53.28,8.89,53.
 34,8.9,53.4,8.91,53.46,8.92,53.52,8.93,53.58,8.94,
 53.64,8.95,53.7,8.96,53.76,8.97,53.82,8.98,53.88,8
 .99,53.94,9,54,9.01,54.06,9.02,54.12,9.03,54.18,9.
 04,54.24,9.05,54.3,9.06,54.36,9.07,54.42,9.08,54.4
 8,9.09,54.54,9.1,54.6,9.11,54.66,9.12,54.72,9.13,5
 4.78,9.14,54.84,9.15,54.9,9.16,54.96,9.17,55.02,9.
 18,55.08,9.19,55.14,9.2,55.2,9.21,55.26,9.22,55.32
 ,9.23,55.38,9.24,55.44,9.25,55.5,9.26,55.56,9.27,5
 5.62,9.28,55.68,9.29,55.74,9.3,55.8,9.31,55.86,9.3
 2,55.92,9.33,55.98,9.34,56.04,9.35,56.1,9.36,56.16
 ,9.37,56.22,9.38,56.28,9.39,56.34,9.4,56.4,9.41,56.
 46,9.42,56.52,9.43,56.58,9.44,56.64,9.45,56.7,9.46
 ,56.76,9.47,56.82,9.48,56.88,9.49,56.94,9.5,57,9.5
 1,57.06,9.52,57.12,9.53,57.18,9.54,57.24,9.55,57.3
 ,9.56,57.36,9.57,57.42,9.58,57.48,9.59,57.54,9.6,5
 7.6,9.61,57.66,9.62,57.72,9.63,57.78,9.64,57.84,9.
 65,57.9,9.66,57.96,9.67,58.02,9.68,58.08,9.69,58.1
 4,9.7,58.2,9.71,58.26,9.72,58.32,9.73,58.38,9.74,5
 8.44,9.75,58.5,9.76,58.56,9.77,58.62,9.78,58.68,9.
 79,58.74,9.8,58.8,9.81,58.86,9.82,58.92,9.83,58.98
 ,9.84,59.04,9.85,59.1,9.86,59.16,9.87,59.22,9.88,5
 9.28,9.89,59.34,9.9,59.4,9.91,59.46,9.92,59.52,9.9
 3,59.58,9.94,59.64,9.95,59.7,9.96,59.76,9.97,59.82
 ,9.98,59.88,9.99,59.94,10,60
 Extend Max = On


```
    Option = Stationary
  END
END
END
END
FLOW:
  DOMAIN:Default Domain
  DOMAIN MODELS:
    REFERENCE PRESSURE:
      Reference Pressure = 1 [atm]
    END
  END
END
END
END
FLOW:
  DOMAIN:Default Domain
  FLUID MODELS:
    TURBULENCE MODEL:
      Option = k epsilon
    END
  END
END
END
FLOW:
  DOMAIN:Default Domain
  FLUID MODELS:
    TURBULENT WALL FUNCTIONS:
      Option = Scalable
    END
  END
END
FLOW:
  INITIALISATION:
    Option = Automatic
  INITIAL CONDITIONS:
    Velocity Type = Cartesian
  CARTESIAN VELOCITY COMPONENTS:
    Option = Automatic with Value
    U = MyVelX(t)
    V = 0 [m s^-1]
    W = 0 [m s^-1]
  END
  EPSILON:
    Option = Automatic with Value
  END
  K:
    Option = Automatic with Value
  END
  STATIC PRESSURE:
    Option = Automatic with Value
    Relative Pressure = 0 [Pa]
  END
END
END
END
FLOW:
  SIMULATION TYPE:
    Option = Transient
  EXTERNAL SOLVER COUPLING:
    ANSYS Input File =
E:/teza/ansys/antena_rotita_90g/antena10_90.inp
    Option = ANSYS MultiField
  COUPLING TIME CONTROL:
    COUPLING INITIAL TIME:
      Option = Automatic
    END
  COUPLING TIME DURATION:
    Option = Total Time
    Total Time = 10 [s]
  END
  COUPLING TIME STEPS:
    Option = Timesteps
    Timesteps = 0.01 [s]
  END
  END
  INITIAL TIME:
    Option = Coupling Initial Time
  END
  TIME DURATION:
    Option = Coupling Time Duration
  END
  TIME STEPS:
    Option = Coupling Timesteps
  END
  END
  FLOW:
  SOLVER CONTROL:
    ADVECTION SCHEME:
      Option = High Resolution
    END
    CONVERGENCE CONTROL:
      Maximum Number of Coefficient Loops = 3
      Minimum Number of Coefficient Loops = 2
      Timescale Control = Coefficient Loops
    END
    CONVERGENCE CRITERIA:
      Residual Target = 1.E-4
      Residual Type = RMS
    END
    EXTERNAL SOLVER COUPLING CONTROL:
    COUPLING DATA TRANSFER CONTROL:
      Convergence Target = 1e-3
      Under Relaxation Factor = 0.75
    END
    COUPLING STEP CONTROL:
      Maximum Number of Coupling Iterations = 10
      Minimum Number of Coupling Iterations = 1
    SOLUTION SEQUENCE CONTROL:
      Solve ANSYS Fields = After CFX Fields
    END
  END
  END
  TRANSIENT SCHEME:
    Option = Second Order Backward Euler
  TIMESTEP INITIALISATION:
    Option = Automatic
  END
  END
  END
  LIBRARY:
  CEL:
    FUNCTION:MyVelX
    Argument Units = [s]
    Option = Interpolation
    Result Units = [m s^-1]
  INTERPOLATION DATA:
    Data Pairs =
0,0,0.01,0.06,0.02,0.12,0.03,0.18,0.04,0.24,0.05,0.
```

3,0.06,0.36,0.07,0.42,0.08,0.48,0.09,0.54,0.1,0.6,0
.11,0.66,0.12,0.72,0.13,0.78,0.14,0.84,0.15,0.9,0.1
6,0.96,0.17,1.02,0.18,1.08,0.19,1.14,0.2,1.2,0.21,1
.26,0.22,1.32,0.23,1.38,0.24,1.44,0.25,1.5,0.26,1.5
6,0.27,1.62,0.28,1.68,0.29,1.74,0.3,1.8,0.31,1.86,0
.32,1.92,0.33,1.98,0.34,2.04,0.35,2.1,0.36,2.16,0.3
7,2.22,0.38,2.28,0.39,2.34,0.4,2.4,0.41,2.46,0.42,2
.52,0.43,2.58,0.44,2.64,0.45,2.7,0.46,2.76,0.47,2.8
2,0.48,2.88,0.49,2.94,0.5,3.0,0.51,3.06,0.52,3.12,0.5
3,3.18,0.54,3.24,0.55,3.3,0.56,3.36,0.57,3.42,0.58,
3.48,0.59,3.54,0.6,3.6,0.61,3.66,0.62,3.72,0.63,3.7
8,0.64,3.84,0.65,3.9,0.66,3.96,0.67,4.02,0.68,4.08,
0.69,4.14,0.7,4.2,0.71,4.26,0.72,4.32,0.73,4.38,0.7
4,4.44,0.75,4.5,0.76,4.56,0.77,4.62,0.78,4.68,0.79,
4.74,0.8,4.8,0.81,4.86,0.82,4.92,0.83,4.98,0.84,5.0
4,0.85,5.1,0.86,5.16,0.87,5.22,0.88,5.28,0.89,5.34,
0.9,5.4,0.91,5.46,0.92,5.52,0.93,5.58,0.94,5.64,0.9
5,5.7,0.96,5.76,0.97,5.82,0.98,5.88,0.99,5.94,1.6,1
.01,6.06,1.02,6.12,1.03,6.18,1.04,6.24,1.05,6.3,1.0
6,6.36,1.07,6.42,1.08,6.48,1.09,6.54,1.1,6.6,1.11,6
.66,1.12,6.72,1.13,6.78,1.14,6.84,1.15,6.9,1.16,6.9
6,1.17,7.02,1.18,7.08,1.19,7.14,1.2,7.2,1.21,7.26,1
.22,7.32,1.23,7.38,1.24,7.44,1.25,7.5,1.26,7.56,1.2
7,7.62,1.28,7.68,1.29,7.74,1.3,7.8,1.31,7.86,1.32,7
.92,1.33,7.98,1.34,8.04,1.35,8.1,1.36,8.16,1.37,8.2
2,1.38,8.28,1.39,8.34,1.4,8.4,1.41,8.46,1.42,8.52,1
.43,8.58,1.44,8.64,1.45,8.7,1.46,8.76,1.47,8.82,1.4
8,8.88,1.49,8.94,1.5,9,1.51,9.06,1.52,9.12,1.53,9.1
8,1.54,9.24,1.55,9.3,1.56,9.36,1.57,9.42,1.58,9.48,
1.59,9.54,1.6,9.6,1.61,9.66,1.62,9.72,1.63,9.78,1.6
4,9.84,1.65,9.9,1.66,9.96,1.67,10.02,1.68,10.08,1.6
9,10.14,1.7,10.2,1.71,10.26,1.72,10.32,1.73,10.38,
1.74,10.44,1.75,10.5,1.76,10.56,1.77,10.62,1.78,10
.68,1.79,10.74,1.8,10.8,1.81,10.86,1.82,10.92,1.83,
10.98,1.84,11.04,1.85,11.1,1.86,11.16,1.87,11.22,1
.88,11.28,1.89,11.34,1.9,11.4,1.91,11.46,1.92,11.5
2,1.93,11.58,1.94,11.64,1.95,11.7,1.96,11.76,1.97,
11.82,1.98,11.88,1.99,11.94,2.12,2.01,12.06,2.02,1
2.12,2.03,12.18,2.04,12.24,2.05,12.3,2.06,12.36,2.
07,12.42,2.08,12.48,2.09,12.54,2.1,12.6,2.11,12.66
.2,12.72,2.13,12.78,2.14,12.84,2.15,12.9,2.16,1
2.96,2.17,13.02,2.18,13.08,2.19,13.14,2.2,13.2,2.2
1,13.26,2.22,13.32,2.23,13.38,2.24,13.44,2.25,13.5
.2,26,13.56,2.27,13.62,2.28,13.68,2.29,13.74,2.3,1
3.8,2.31,13.86,2.32,13.92,2.33,13.98,2.34,14.04,2.
35,14.1,2.36,14.16,2.37,14.22,2.38,14.28,2.39,14.3
4,2.4,14.4,2.41,14.46,2.42,14.52,2.43,14.58,2.44,1
4.64,2.45,14.7,2.46,14.76,2.47,14.82,2.48,14.88,2.
49,14.94,2.5,15,2.51,15.06,2.52,15.12,2.53,15.18,2
.54,15.24,2.55,15.3,2.56,15.36,2.57,15.42,2.58,15.
48,2.59,15.54,2.6,15.6,2.61,15.66,2.62,15.72,2.63,
15.78,2.64,15.84,2.65,15.9,2.66,15.96,2.67,16.02,2
.68,16.08,2.69,16.14,2.7,16.2,2.71,16.26,2.72,16.3
2,2.73,16.38,2.74,16.44,2.75,16.5,2.76,16.56,2.77,
16.62,2.78,16.68,2.79,16.74,2.8,16.8,2.81,16.86,2.
82,16.92,2.83,16.98,2.84,17.04,2.85,17.1,2.86,17.1
6,2.87,17.22,2.88,17.28,2.89,17.34,2.9,17.4,2.91,1
7.46,2.92,17.52,2.93,17.58,2.94,17.64,2.95,17.7,2.
96,17.76,2.97,17.82,2.98,17.88,2.99,17.94,3,18,3.0
1,18.06,3.02,18.12,3.03,18.18,3.04,18.24,3.05,18.3
.06,18.36,3.07,18.42,3.08,18.48,3.09,18.54,3.1,1
8.6,3.11,18.66,3.12,18.72,3.13,18.78,3.14,18.84,3.
15,18.9,3.16,18.96,3.17,19.02,3.18,19.08,3.19,19.1
4,3.2,19.2,3.21,19.26,3.22,19.32,3.23,19.38,3.24,1
9.44,3.25,19.5,3.26,19.56,3.27,19.62,3.28,19.68,3.
29,19.74,3.3,19.8,3.31,19.86,3.32,19.92,3.33,19.98

,3.34,20.04,3.35,20.1,3.36,20.16,3.37,20.22,3.38,2
0.28,3.39,20.34,3.4,20.4,3.41,20.46,3.42,20.52,3.4
3,20.58,3.44,20.64,3.45,20.7,3.46,20.76,3.47,20.82
,3.48,20.88,3.49,20.94,3.5,21,3.51,21.06,3.52,21.1
2,3.53,21.18,3.54,21.24,3.55,21.3,3.56,21.36,3.57,
21.42,3.58,21.48,3.59,21.54,3.6,21.6,3.61,21.66,3.
62,21.72,3.63,21.78,3.64,21.84,3.65,21.9,3.66,21.9
6,3.67,22.02,3.68,22.08,3.69,22.14,3.7,22.2,3.71,2
2.26,3.72,22.32,3.73,22.38,3.74,22.44,3.75,22.5,3.
76,22.56,3.77,22.62,3.78,22.68,3.79,22.74,3.8,22.8
,3.81,22.86,3.82,22.92,3.83,22.98,3.84,23.04,3.85,
23.1,3.86,23.16,3.87,23.22,3.88,23.28,3.89,23.34,3
.9,23.4,3.91,23.46,3.92,23.52,3.93,23.58,3.94,23.6
4,3.95,23.7,3.96,23.76,3.97,23.82,3.98,23.88,3.99,
23.94,4,24,4.01,24.06,4.02,24.12,4.03,24.18,4.04,2
4.24,4.05,24.3,4.06,24.36,4.07,24.42,4.08,24.48,4.
09,24.54,4.1,24.6,4.11,24.66,4.12,24.72,4.13,24.78
,4.14,24.84,4.15,24.9,4.16,24.96,4.17,25.02,4.18,2
5.08,4.19,25.14,4.2,25.2,4.21,25.26,4.22,25.32,4.2
3,25.38,4.24,25.44,4.25,25.5,4.26,25.56,4.27,25.62
,4.28,25.68,4.29,25.74,4.3,25.8,4.31,25.86,4.32,25.
92,4.33,25.98,4.34,26.04,4.35,26.1,4.36,26.16,4.37
,26.22,4.38,26.28,4.39,26.34,4.4,26.4,4.41,26.46,4.
42,26.52,4.43,26.58,4.44,26.64,4.45,26.7,4.46,26.7
6,4.47,26.82,4.48,26.88,4.49,26.94,4.5,27,4.51,27.
06,4.52,27.12,4.53,27.18,4.54,27.24,4.55,27.3,4.56
,27.36,4.57,27.42,4.58,27.48,4.59,27.54,4.6,27.6,4.
61,27.66,4.62,27.72,4.63,27.78,4.64,27.84,4.65,27.
9,4.66,27.96,4.67,28.02,4.68,28.08,4.69,28.14,4.7,
28.2,4.71,28.26,4.72,28.32,4.73,28.38,4.74,28.44,4
.75,28.5,4.76,28.56,4.77,28.62,4.78,28.68,4.79,28.
74,4.8,28.8,4.81,28.86,4.82,28.92,4.83,28.98,4.84,
29.04,4.85,29.1,4.86,29.16,4.87,29.22,4.88,29.28,4
.89,29.34,4.9,29.4,4.91,29.46,4.92,29.52,4.93,29.5
8,4.94,29.64,4.95,29.7,4.96,29.76,4.97,29.82,4.98,
29.88,4.99,29.94,5,30,5.01,30.06,5.02,30.12,5.03,3
0.18,5.04,30.24,5.05,30.3,5.06,30.36,5.07,30.42,5.
08,30.48,5.09,30.54,5.1,30.6,5.11,30.66,5.12,30.72
,5.13,30.78,5.14,30.84,5.15,30.9,5.16,30.96,5.17,3
1.02,5.18,31.08,5.19,31.14,5.2,31.2,5.21,31.26,5.2
2,31.32,5.23,31.38,5.24,31.44,5.25,31.5,5.26,31.56
,5.27,31.62,5.28,31.68,5.29,31.74,5.3,31.8,5.31,31.
86,5.32,31.92,5.33,31.98,5.34,32.04,5.35,32.1,5.36
,32.16,5.37,32.22,5.38,32.28,5.39,32.34,5.4,32.4,5.
41,32.46,5.42,32.52,5.43,32.58,5.44,32.64,5.45,32.
7,5.46,32.76,5.47,32.82,5.48,32.88,5.49,32.94,5.5,
33,5.51,33.06,5.52,33.12,5.53,33.18,5.54,33.24,5.5
5,33.3,5.56,33.36,5.57,33.42,5.58,33.48,5.59,33.54
,5.6,33.6,5.61,33.66,5.62,33.72,5.63,33.78,5.64,33.
84,5.65,33.9,5.66,33.96,5.67,34.02,5.68,34.08,5.69
,34.14,5.7,34.2,5.71,34.26,5.72,34.32,5.73,34.38,5.
74,34.44,5.75,34.5,5.76,34.56,5.77,34.62,5.78,34.6
8,5.79,34.74,5.8,34.8,5.81,34.86,5.82,34.92,5.83,3
4.98,5.84,35.04,5.85,35.1,5.86,35.16,5.87,35.22,5.
88,35.28,5.89,35.34,5.9,35.4,5.91,35.46,5.92,35.52
,5.93,35.58,5.94,35.64,5.95,35.7,5.96,35.76,5.97,3
5.82,5.98,35.88,5.99,35.94,6,36,6.01,36.06,6.02,36
.12,6.03,36.18,6.04,36.24,6.05,36.3,6.06,36.36,6.0
7,36.42,6.08,36.48,6.09,36.54,6.1,36.6,6.11,36.66,
6.12,36.72,6.13,36.78,6.14,36.84,6.15,36.9,6.16,36
.96,6.17,37.02,6.18,37.08,6.19,37.14,6.2,37.2,6.21,
37.26,6.22,37.32,6.23,37.38,6.24,37.44,6.25,37.5,6
.26,37.56,6.27,37.62,6.28,37.68,6.29,37.74,6.3,37.
8,6.31,37.86,6.32,37.92,6.33,37.98,6.34,38.04,6.35
,38.1,6.36,38.16,6.37,38.22,6.38,38.28,6.39,38.34,
6.4,38.4,6.41,38.46,6.42,38.52,6.43,38.58,6.44,38.

```

64,6.45,38.7,6.46,38.76,6.47,38.82,6.48,38.88,6.49
,38.94,6.5,39.6,51,39.06,6.52,39.12,6.53,39.18,6.5
4,39.24,6.55,39.3,6.56,39.36,6.57,39.42,6.58,39.48
,6.59,39.54,6.6,39.6,6.61,39.66,6.62,39.72,6.63,39.
78,6.64,39.84,6.65,39.9,6.66,39.96,6.67,40.02,6.68
,40.08,6.69,40.14,6.7,40.2,6.71,40.26,6.72,40.32,6.
73,40.38,6.74,40.44,6.75,40.5,6.76,40.56,6.77,40.6
2,6.78,40.68,6.79,40.74,6.8,40.8,6.81,40.86,6.82,4
0.92,6.83,40.98,6.84,41.04,6.85,41.1,6.86,41.16,6.
87,41.22,6.88,41.28,6.89,41.34,6.9,41.4,6.91,41.46
,6.92,41.52,6.93,41.58,6.94,41.64,6.95,41.7,6.96,4
1.76,6.97,41.82,6.98,41.88,6.99,41.94,7.0,42.0,42
.06,7.02,42.12,7.03,42.18,7.04,42.24,7.05,42.3,7.0
6,42.36,7.07,42.42,7.08,42.48,7.09,42.54,7.1,42.6,
7.11,42.66,7.12,42.72,7.13,42.78,7.14,42.84,7.15,4
2.9,7.16,42.96,7.17,43.02,7.18,43.08,7.19,43.14,7.
2,43.2,7.21,43.26,7.22,43.32,7.23,43.38,7.24,43.44
,7.25,43.5,7.26,43.56,7.27,43.62,7.28,43.68,7.29,4
3.74,7.3,43.8,7.31,43.86,7.32,43.92,7.33,43.98,7.3
4,44.04,7.35,44.1,7.36,44.16,7.37,44.22,7.38,44.28
,7.39,44.34,7.4,44.4,7.41,44.46,7.42,44.52,7.43,44.
58,7.44,44.64,7.45,44.7,7.46,44.76,7.47,44.82,7.48
,44.88,7.49,44.94,7.5,45,7.51,45.06,7.52,45.12,7.5
3,45.18,7.54,45.24,7.55,45.3,7.56,45.36,7.57,45.42
,7.58,45.48,7.59,45.54,7.6,45.6,7.61,45.66,7.62,45.
72,7.63,45.78,7.64,45.84,7.65,45.9,7.66,45.96,7.67
,46.02,7.68,46.08,7.69,46.14,7.7,46.2,7.71,46.26,7.
72,46.32,7.73,46.38,7.74,46.44,7.75,46.5,7.76,46.5
6,7.77,46.62,7.78,46.68,7.79,46.74,7.8,46.8,7.81,4
6.86,7.82,46.92,7.83,46.98,7.84,47.04,7.85,47.1,7.
86,47.16,7.87,47.22,7.88,47.28,7.89,47.34,7.9,47.4
,7.91,47.46,7.92,47.52,7.93,47.58,7.94,47.64,7.95,
47.7,7.96,47.76,7.97,47.82,7.98,47.88,7.99,47.94,8
,48,8.01,48.06,8.02,48.12,8.03,48.18,8.04,48.24,8.
05,48.3,8.06,48.36,8.07,48.42,8.08,48.48,8.09,48.5
4,8.1,48.6,8.11,48.66,8.12,48.72,8.13,48.78,8.14,4
8.84,8.15,48.9,8.16,48.96,8.17,49.02,8.18,49.08,8.
19,49.14,8.2,49.2,8.21,49.26,8.22,49.32,8.23,49.38
,8.24,49.44,8.25,49.5,8.26,49.56,8.27,49.62,8.28,4
9.68,8.29,49.74,8.3,49.8,8.31,49.86,8.32,49.92,8.3
3,49.98,8.34,50.04,8.35,50.1,8.36,50.16,8.37,50.22
,8.38,50.28,8.39,50.34,8.4,50.4,8.41,50.46,8.42,50.
52,8.43,50.58,8.44,50.64,8.45,50.7,8.46,50.76,8.47
,50.82,8.48,50.88,8.49,50.94,8.5,51,8.51,51.06,8.5
2,51.12,8.53,51.18,8.54,51.24,8.55,51.3,8.56,51.36
,8.57,51.42,8.58,51.48,8.59,51.54,8.6,51.6,8.61,51.
66,8.62,51.72,8.63,51.78,8.64,51.84,8.65,51.9,8.66
,51.96,8.67,52.02,8.68,52.08,8.69,52.14,8.7,52.2,8.
71,52.26,8.72,52.32,8.73,52.38,8.74,52.44,8.75,52.
5,8.76,52.56,8.77,52.62,8.78,52.68,8.79,52.74,8.8,
52.8,8.81,52.86,8.82,52.92,8.83,52.98,8.84,53.04,8.
85,53.1,8.86,53.16,8.87,53.22,8.88,53.28,8.89,53.
34,8.9,53.4,8.91,53.46,8.92,53.52,8.93,53.58,8.94,
53.64,8.95,53.7,8.96,53.76,8.97,53.82,8.98,53.88,8.
99,53.94,9.0,54.0,9.01,54.06,9.02,54.12,9.03,54.18,9.
04,54.24,9.05,54.3,9.06,54.36,9.07,54.42,9.08,54.4
8,9.09,54.54,9.1,54.6,9.11,54.66,9.12,54.72,9.13,5
4.78,9.14,54.84,9.15,54.9,9.16,54.96,9.17,55.02,9.
18,55.08,9.19,55.14,9.2,55.2,9.21,55.26,9.22,55.32
,9.23,55.38,9.24,55.44,9.25,55.5,9.26,55.56,9.27,5
5.62,9.28,55.68,9.29,55.74,9.3,55.8,9.31,55.86,9.3
2,55.92,9.33,55.98,9.34,56.04,9.35,56.1,9.36,56.16
,9.37,56.22,9.38,56.28,9.39,56.34,9.4,56.4,9.41,56.
46,9.42,56.52,9.43,56.58,9.44,56.64,9.45,56.7,9.46
,56.76,9.47,56.82,9.48,56.88,9.49,56.94,9.5,57,9.5
1,57.06,9.52,57.12,9.53,57.18,9.54,57.24,9.55,57.3
,9.56,57.36,9.57,57.42,9.58,57.48,9.59,57.54,9.6,5
7.6,9.61,57.66,9.62,57.72,9.63,57.78,9.64,57.84,9.
65,57.9,9.66,57.96,9.67,58.02,9.68,58.08,9.69,58.1
4,9.7,58.2,9.71,58.26,9.72,58.32,9.73,58.38,9.74,5
8.44,9.75,58.5,9.76,58.56,9.77,58.62,9.78,58.68,9.
79,58.74,9.8,58.8,9.81,58.86,9.82,58.92,9.83,58.98
,9.84,59.04,9.85,59.1,9.86,59.16,9.87,59.22,9.88,5
9.28,9.89,59.34,9.9,59.4,9.91,59.46,9.92,59.52,9.9
3,59.58,9.94,59.64,9.95,59.7,9.96,59.76,9.97,59.82
,9.98,59.88,9.99,59.94,10,60
Extend Max = On
Extend Min = On
Option = One Dimensional
END
END
END
END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
DYNAMIC VISCOSITY:
Dynamic Viscosity = 1.831E-05 [kg m^-1 s^-
1]
Option = Value
END
END
END
END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
EQUATION OF STATE:
Density = 1.185 [kg m^-3]
Molar Mass = 28.96 [kg kmol^-1]
Option = Value
END
END
END
COMMAND FILE:
Version = 11.0
END

Simularea curgerii peste structura antenei poziționată cu axa la 135° față de direcția de curgere, viteza rafala 30 m/s

FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:freewalls
Boundary Type = WALL
Location = F20.18,F21.18,F22.18,F23.18
BOUNDARY CONDITIONS:
MESH MOTION:
Option = Stationary
END
WALL INFLUENCE ON FLOW:
Option = Free Slip
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:inlet

```

```

Boundary Type = INLET
Location = F19.18
BOUNDARY CONDITIONS:
FLOW REGIME:
  Option = Subsonic
END
MASS AND MOMENTUM:
  Option = Cartesian Velocity Components
  U = MyVelX(t)
  V = 0 [m s^-1]
  W = 0 [m s^-1]
END
MESH MOTION:
  Option = Stationary
END
TURBULENCE:
  Option = Medium Intensity și Eddy Viscosity
Ratio
END
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:interface
  Boundary Type = WALL
  Location = F25.18,F26.18,F27.18
BOUNDARY CONDITIONS:
MESH MOTION:
  ANSYS Interface = FSIN_1
  Option = ANSYS MultiField
  Receive from ANSYS = Total Mesh
Displacement
  Send to ANSYS = Total Force
END
WALL INFLUENCE ON FLOW:
  Option = No Slip
END
WALL ROUGHNESS:
  Option = Smooth Wall
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:outlet
  Boundary Type = OPENING
  Location = F24.18
BOUNDARY CONDITIONS:
FLOW DIRECTION:
  Option = Normal to Boundary Condition
END
FLOW REGIME:
  Option = Subsonic
END
MASS AND MOMENTUM:
  Option = Opening Pressure și Direction
  Relative Pressure = 0 [Pa]
END
MESH MOTION:
  Option = Stationary
END
TURBULENCE:
  Option = Medium Intensity și Eddy Viscosity
Ratio
END
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
DOMAIN MODELS:
DOMAIN MOTION:
  Option = Stationary
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
DOMAIN MODELS:
REFERENCE PRESSURE:
  Reference Pressure = 1 [atm]
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
FLUID MODELS:
TURBULENCE MODEL:
  Option = k epsilon
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
FLUID MODELS:
TURBULENT WALL FUNCTIONS:
  Option = Scalable
END
END
END
FLOW:
INITIALISATION:
  Option = Automatic
INITIAL CONDITIONS:
  Velocity Type = Cartesian
CARTESIAN VELOCITY COMPONENTS:
  Option = Automatic with Value
  U = MyVelX(t)
  V = 0 [m s^-1]
  W = 0 [m s^-1]
END
EPSILON:
  Option = Automatic with Value
END
K:
  Option = Automatic with Value
END
STATIC PRESSURE:
  Option = Automatic with Value
  Relative Pressure = 0 [Pa]
END
END
END

```

```

END
FLOW:
SIMULATION TYPE:
  Option = Transient
EXTERNAL SOLVER COUPLING:
  ANSYS Input File =
E:/teza/ansys/antena_rotation_135g/v30/antena10_
135.inp
  Option = ANSYS MultiField
COUPLING TIME CONTROL:
  COUPLING INITIAL TIME:
    Option = Automatic
  END
  COUPLING TIME DURATION:
    Option = Total Time
    Total Time = 9.99 [s]
  END
  COUPLING TIME STEPS:
    Option = Timesteps
    Timesteps = 0.015 [s]
  END
END
INITIAL TIME:
  Option = Coupling Initial Time
END
TIME DURATION:
  Option = Coupling Time Duration
END
TIME STEPS:
  Option = Coupling Timesteps
END
FLOW:
SOLVER CONTROL:
ADVECTION SCHEME:
  Option = High Resolution
END
CONVERGENCE CONTROL:
  Maximum Number of Coefficient Loops = 3
  Minimum Number of Coefficient Loops = 2
  Timescale Control = Coefficient Loops
END
CONVERGENCE CRITERIA:
  Residual Target = 1.E-4
  Residual Type = RMS
END
EXTERNAL SOLVER COUPLING CONTROL:
COUPLING DATA TRANSFER CONTROL:
  Convergence Target = 1e-3
  Under Relaxation Factor = 0.75
END
COUPLING STEP CONTROL:
  Maximum Number of Coupling Iterations = 10
  Minimum Number of Coupling Iterations = 1
SOLUTION SEQUENCE CONTROL:
  Solve ANSYS Fields = After CFX Fields
END
END
TRANSIENT SCHEME:
  Option = Second Order Backward Euler
TIMESTEP INITIALISATION:
  Option = Automatic
END
END
LIBRARY:
CEL:
FUNCTION: MyVelX
  Argument Units = [s]
  Option = Interpolation
  Result Units = [m s^-1]
INTERPOLATION DATA:
  Data Pairs =
0,14.81,0.015,10.74,0.03,9.981,0.045,14.29,0.06,1
6.36,0.075,15.2,0.09,14.36,0.105,11.94,0.12,12.92,
0.135,16.6,0.15,16.16,0.165,15.53,0.18,14.79,0.19
5,12.21,0.21,14.2,0.225,16.64,0.24,15.24,0.255,13.
79,0.27,12.3,0.285,15.14,0.3,13.57,0.315,14.07,0.3
3,16.53,0.345,12.56,0.36,12.32,0.375,12.62,0.39,1
2.35,0.405,14.23,0.42,13.84,0.435,10.05,0.45,10.3
2,0.465,8.79,0.48,11.98,0.495,15.93,0.51,9.108,0.5
25,10.93,0.54,10.03,0.555,9.702,0.57,16.25,0.585,
12.87,0.6,1.171,0.615,8.67,0.63,10.93,0.645,11.09,
0.66,14.14,0.675,10.75,0.69,3.261,0.705,8.853,0.7
2,14.29,0.735,15.1,0.75,14.2,0.765,14.17,0.78,17.3
8,0.795,11.71,0.81,16.67,0.825,19.92,0.84,11.84,0.
855,16.02,0.87,18.99,0.885,15.29,0.9,20.49,0.915,
22.16,0.93,16.55,0.945,20.88,0.96,22.64,0.975,19.
51,0.99,22.58,1.005,17.87,1.02,19.42,1.035,18.52,
1.05,19.54,1.065,20.23,1.08,19.3,1.095,20.39,1.11,
21.02,1.125,18.31,1.14,20.43,1.155,20.89,1.17,21.
36,1.185,21.76,1.2,19.13,1.215,18.47,1.23,21.58,1.
245,21.24,1.26,17.43,1.275,20.02,1.29,19.97,1.305
,19.64,1.32,23.1,335,21.6,1.35,18.57,1.365,21.19,1
.38,22.81,1.395,21.19,1.41,22.84,1.425,21.74,1.44,
18.74,1.455,19.99,1.47,21.72,1.485,19.79,1.5,19.8
4,1.515,20.1,1.53,20.98,1.545,20.63,1.56,20.85,1.5
75,21.2,1.59,19.83,1.605,20.67,1.62,23.15,1.635,2
2.06,1.65,22.62,1.665,24.04,1.68,21.52,1.695,23.9
8,1.71,26.4,1.725,25.42,1.74,24.6,1.755,24.5,1.77,
24.59,1.785,25.06,1.8,25.48,1.815,26.95,1.83,27.7
6,1.845,27.43,1.86,26.99,1.875,27.32,1.89,27.12,1.
905,26.6,1.92,25.8,1.935,25.77,1.95,25.16,1.965,2
5.79,1.98,25.63,1.995,27.06,2.01,26.87,2.025,27.2
6,2.04,26.42,2.055,28.72,2.07,28.18,2.085,26.45,2.
1,27.88,2.115,25.47,2.13,25.66,2.145,28.89,2.16,2
7.24,2.175,27.02,2.19,28.17,2.205,26.15,2.22,28.4,
2.235,29.59,2.25,25.37,2.265,26.97,2.28,22.68,2.2
95,26.39,2.31,28.85,2.325,24.57,2.34,27.68,2.355,
25.78,2.37,22.27,2.385,29.2,2.4,27.16,2.415,24.77,
2.43,28.55,2.445,25.09,2.46,26.45,2.475,31.56,2.4
9,29.66,2.505,32.79,2.52,30.87,2.535,31.68,2.55,3
6.15,2.565,34.41,2.58,35.01,2.595,35.88,2.61,34.4
7,2.625,37.77,2.64,38.58,2.655,36.57,2.67,37.92,2.
685,37.41,2.7,38.4,2.715,40.98,2.73,39.72,2.745,3
9.57,2.76,39.87,2.775,37.98,2.79,39.78,2.805,38.5
5,2.82,37.92,2.835,38.85,2.85,37.26,2.865,38.55,2.
88,39.54,2.895,38.61,2.91,39.69,2.925,37.92,2.94,
37.47,2.955,39.51,2.97,38.52,2.985,36.96,3.38,13,
3.015,36.48,3.03,37.59,3.045,38.64,3.06,35.7,3.07
5,35.85,3.09,37.62,3.105,36.18,3.12,36.24,3.135,3
4.23,3.15,30.87,3.165,34.44,3.18,34.74,3.195,33.8
1,3.21,33.21,3.225,29.83,3.24,32.1,3.255,31.41,3.2
7,30.78,3.285,32.61,3.3,31.02,3.315,30.72,3.33,32.
94,3.345,30.51,3.36,30.3,3.375,32.67,3.39,30.03,3.
405,31.26,3.42,32.01,3.435,28.79,3.45,30.72,3.465
,29.95,3.48,29.3,495,29.82,3.51,30.75,3.525,30.12,
3.54,27.68,3.555,29.4,3.57,30.39,3.585,30.42,3.6,3

```

```
1.08,3.615,29.03,3.63,29.07,3.645,31.02,3.66,31.5,
3.675,30.57,3.69,29.94,3.705,27.82,3.72,29.3,3.73
5,29.88,3.75,30.96,3.765,31.17,3.78,33.36,3.795,3
2.1,3.81,32.58,3.825,34.47,3.84,32.28,3.855,30.24,
3.87,33.42,3.885,32.01,3.9,31.47,3.915,32.88,3.93,
31.02,3.945,31.32,3.96,33.57,3.975,31.59,3.99,33.
12,4.005,31.5,4.02,29.49,4.035,30.87,4.05,29.75,4.
065,29.49,4.08,31.05,4.095,28.95,4.11,29.19,4.125
,29.83,4.14,27.92,4.155,30.9,4.17,32.58,4.185,27.6
6,4.2,28,4.215,29.04,4.23,30.21,4.245,31.74,4.26,2
9.23,4.275,31.44,4.29,33.12,4.305,31.17,4.32,31.7
7,4.335,30.99,4.35,28.58,4.365,28.1,4.38,29.83,4.3
95,30.54,4.41,32.01,4.425,28.56,4.44,27.6,4.455,3
1.05,4.47,33.39,4.485,32.91,4.5,28.13,4.515,27.78,
4.53,27.48,4.545,29.47,4.56,30.3,4.575,26.9,4.59,2
5.37,4.605,27.3,4.62,28.59,4.635,31.08,4.65,31.32,
4.665,27.39,4.68,28.15,4.695,31.53,4.71,33.39,4.7
25,35.1,4.74,34.38,4.755,32.88,4.77,34.32,4.785,3
4.65,4.8,36.21,4.815,35.94,4.83,33.75,4.845,34.71,
4.86,35.79,4.875,37.17,4.89,39.66,4.905,39.27,4.9
2,37.89,4.935,39.15,4.95,38.94,4.965,39.24,4.98,4
0.65,4.995,38.49,5.01,36.57,5.025,36.48,5.04,38.4
9,5.055,39.36,5.07,38.46,5.085,37.77,5.1,36.03,5.1
15,35.85,5.13,37.95,5.145,37.29,5.16,35.49,5.175,
35.22,5.19,34.14,5.205,34.98,5.22,36.48,5.235,35.
1,5.25,33.24,5.265,32.82,5.28,35.07,5.295,35.94,5.
31,37.41,5.325,38.31,5.34,36.84,5.355,38.13,5.37,
41.58,5.385,41.28,5.4,41.61,5.415,41.97,5.43,40.0
5,5.445,40.32,5.46,42.3,5.475,42.03,5.49,42.42,5.5
05,41.55,5.52,41.55,5.535,42.93,5.55,42.99,5.565,
43.38,5.58,43.26,5.595,41.31,5.61,41.22,5.625,42.
69,5.64,41.94,5.655,42.42,5.67,41.85,5.685,40.26,
5.7,41.1,5.715,41.91,5.73,40.83,5.745,41.43,5.76,4
2.03,5.775,43.35,5.79,43.23,5.805,43.92,5.82,43.9
5,5.835,42.3,5.85,43.59,5.865,45.3,5.88,45.33,5.89
5,46.26,5.91,45.51,5.925,43.65,5.94,44.85,5.955,4
6.08,5.97,44.76,5.985,44.88,6.015,41.88,6.
03,41.94,6.045,42.06,6.06,42.36,6.075,40.65,6.09,
40.74,6.105,42.18,6.12,41.13,6.135,41.61,6.15,40.
95,6.165,39.45,6.18,40.98,6.195,42.18,6.21,41.16,
6.225,41.49,6.24,40.41,6.255,39.96,6.27,42.24,6.2
85,40.35,6.3,41.16,6.315,40.38,6.33,38.13,6.345,4
1.1,6.36,41.67,6.375,39.84,6.39,40.95,6.405,40.23,
6.42,38.37,6.435,41.01,6.45,39.72,6.465,38.46,6.4
8,41.16,6.495,41.04,6.51,40.86,6.525,41.19,6.54,4
0.89,6.555,40.77,6.57,40.95,6.585,40.17,6.6,38.91,
6.615,38.73,6.63,39.66,6.645,39.54,6.66,38.7,6.67
5,37.98,6.69,38.64,6.705,39.93,6.72,41.1,6.735,40.
11,6.75,38.52,6.765,40.53,6.78,40.65,6.795,41.91,
6.81,43.56,6.825,42.93,6.84,42.96,6.855,44.58,6.8
7,44.64,6.885,44.28,6.9,43.89,6.915,41.79,6.93,42.
27,6.945,43.32,6.96,42.75,6.975,42.21,6.99,41.28,
7.005,41.85,7.02,42.27,7.035,41.91,7.05,41.22,7.0
65,39.03,7.08,38.37,7.095,39.51,7.11,39.81,7.125,
38.43,7.14,37.62,7.155,37.86,7.17,38.28,7.185,37.
89,7.2,36.39,7.215,35.28,7.23,36.06,7.245,37.14,7.
26,38.94,7.275,37.17,7.29,37.68,7.305,38.55,7.32,
36.54,7.335,36.99,7.35,37.02,7.365,34.68,7.38,35.
43,7.395,36.33,7.41,34.2,7.425,34.98,7.44,35.82,7.
455,35.34,7.47,38.04,7.485,38.4,7.5,37.56,7.515,3
7.08,7.53,37.62,7.545,39.36,7.56,40.11,7.575,39.4
2,7.59,39.81,7.605,41.13,7.62,42.57,7.635,43.2,7.6
5,42.87,7.665,42.45,7.68,43.02,7.695,44.43,7.71,4
4.1,7.725,43.56,7.74,43.47,7.755,44.13,7.77,44.34,
7.785,42.72,7.8,43.29,7.815,41.25,7.83,39.09,7.84
5,40.98,7.86,39.36,7.875,37.11,7.89,39.24,7.905,3
```

```
8.4,7.92,37.56,7.935,40.02,7.95,38.16,7.965,37.14,
7.98,39.24,7.995,37.02,8.01,36.6,8.025,35.91,8.04,
34.92,8.055,35.58,8.07,35.85,8.085,35.64,8.1,35.1
3,8.115,34.92,8.13,35.79,8.145,36.72,8.16,36.15,8.
175,35.79,8.19,36.09,8.205,36.69,8.22,37.95,8.235
,37.47,8.25,33.9,8.265,35.19,8.28,32.64,8.295,33.5
7,8.31,35.4,8.325,31.86,8.34,32.82,8.355,34.92,8.3
7,32.31,8.385,33.69,8.4,33.51,8.415,29.57,8.43,31.
23,8.445,31.29,8.46,27.29,8.475,28.83,8.49,27.72,
8.505,28.32,8.52,29.11,8.535,27.81,8.55,27.47,8.5
65,26.25,8.58,25.2,8.595,26.33,8.61,26.76,8.625,2
6.04,8.64,24.46,8.655,21.21,8.67,22.64,8.685,25.6
3,8.7,24.57,8.715,22.42,8.73,19.33,8.745,18.65,8.7
6,22.6,8.775,20.2,8.79,16.46,8.805,17.7,8.82,21.1,
8.835,22.6,8.85,23.42,8.865,22.04,8.88,20.69,8.89
5,21.34,8.91,22.18,8.925,22.97,8.94,24.12,8.955,2
2.93,8.97,22.21,8.985,25.22,9.29,43.9,015,28.94,9.
03,29.56,9.045,29.02,9.06,27.78,9.075,28.28,9.09,
29.71,9.105,29.2,9.12,28.94,9.135,27.4,9.15,26.23,
9.165,28.16,9.18,29.75,9.195,27.46,9.21,24.62,9.2
25,22.41,9.24,22.56,9.255,22.63,9.27,23.35,9.285,
24.02,9.3,18.01,9.315,16.2,9.33,19.98,9.345,17.05,
9.36,17.84,9.375,18.71,9.39,11.06,9.405,11.78,9.4
2,17.98,9.435,15.02,9.45,16.61,9.465,16.87,9.48,1
1.89,9.495,16.59,9.51,18.88,9.525,20.95,9.54,19.7
2,9.555,14.83,9.57,14.21,9.585,12.71,9.6,15.5,9.61
5,16.82,9.63,14.74,9.645,9.147,9.66,7.446,9.675,9.
066,9.69,14.28,9.705,14.97,9.72,12.13,9.735,5.328
,9.75,4.977,9.765,10.38,9.78,16.9,9.795,11.39,9.81
,9.885,9.825,9.417,9.84,9.822,9.855,17.81,9.87,21.
75,9.885,18.19,9.9,12.32,9.915,16.22,9.93,21.38,9.
945,24.77,9.96,23.72,9.975,17.22,9.99,11.06
```

Extend Max = On

Extend Min = On

Option = One Dimensional

END

END

END

END

LIBRARY:

MATERIAL: Air at 25 C

PROPERTIES:

DYNAMIC VISCOSITY:

Dynamic Viscosity = 1.831E-05 [kg m⁻¹ s⁻¹]

1]

Option = Value

END

END

END

END

LIBRARY:

MATERIAL: Air at 25 C

PROPERTIES:

EQUATION OF STATE:

Density = 1.185 [kg m⁻³]

Molar Mass = 28.96 [kg kmol⁻¹]

Option = Value

END

END

END

COMMAND FILE:

Version = 11.0

END


```

FLOW:
INITIALISATION:
  Option = Automatic
INITIAL CONDITIONS:
  Velocity Type = Cartesian
CARTESIAN VELOCITY COMPONENTS:
  Option = Automatic with Value
  U = MyVelX(t)
  V = 0 [m s^-1]
  W = 0 [m s^-1]
END
EPSILON:
  Option = Automatic with Value
END
K:
  Option = Automatic with Value
END
STATIC PRESSURE:
  Option = Automatic with Value
  Relative Pressure = 0 [Pa]
END
END
END
FLOW:
SIMULATION TYPE:
  Option = Transient
EXTERNAL SOLVER COUPLING:
  ANSYS Input File =
E:/teza/ansys/antena_rotation_135g/v_0_60/antena
10_135.inp
  Option = ANSYS MultiField
COUPLING TIME CONTROL:
COUPLING INITIAL TIME:
  Option = Automatic
END
COUPLING TIME DURATION:
  Option = Total Time
  Total Time = 10 [s]
END
COUPLING TIME STEPS:
  Option = Timesteps
  Timesteps = 0.01 [s]
END
END
INITIAL TIME:
  Option = Coupling Initial Time
END
TIME DURATION:
  Option = Coupling Time Duration
END
TIME STEPS:
  Option = Coupling Timesteps
END
END
FLOW:
SOLVER CONTROL:
ADVECTION SCHEME:
  Option = High Resolution
END
CONVERGENCE CONTROL:
  Maximum Number of Coefficient Loops = 3
  Minimum Number of Coefficient Loops = 2
  Timescale Control = Coefficient Loops
END
CONVERGENCE CRITERIA:
  Residual Target = 1.E-4
  Residual Type = RMS
END
EXTERNAL SOLVER COUPLING CONTROL:
COUPLING DATA TRANSFER CONTROL:
  Convergence Target = 1e-3
  Under Relaxation Factor = 0.75
END
COUPLING STEP CONTROL:
  Maximum Number of Coupling Iterations = 10
  Minimum Number of Coupling Iterations = 1
SOLUTION SEQUENCE CONTROL:
  Solve ANSYS Fields = After CFX Fields
END
END
TRANSIENT SCHEME:
  Option = Second Order Backward Euler
TIMESTEP INITIALISATION:
  Option = Automatic
END
END
LIBRARY:
CEL:
  FUNCTION:MyVelX
  Argument Units = [s]
  Option = Interpolation
  Result Units = [m s^-1]
INTERPOLATION DATA:
  Data Pairs =
0,0,0.01,0.06,0.02,0.12,0.03,0.18,0.04,0.24,0.05,0.
3,0.06,0.36,0.07,0.42,0.08,0.48,0.09,0.54,0.1,0.6,0.
11,0.66,0.12,0.72,0.13,0.78,0.14,0.84,0.15,0.9,0.1
6,0.96,0.17,1.02,0.18,1.08,0.19,1.14,0.2,1.2,0.21,1
.26,0.22,1.32,0.23,1.38,0.24,1.44,0.25,1.5,0.26,1.5
6,0.27,1.62,0.28,1.68,0.29,1.74,0.3,1.8,0.31,1.86,0.
32,1.92,0.33,1.98,0.34,2.04,0.35,2.1,0.36,2.16,0.3
7,2.22,0.38,2.28,0.39,2.34,0.4,2.4,0.41,2.46,0.42,2.
52,0.43,2.58,0.44,2.64,0.45,2.7,0.46,2.76,0.47,2.8
2,0.48,2.88,0.49,2.94,0.5,3,0.51,3.06,0.52,3.12,0.5
3,3.18,0.54,3.24,0.55,3.3,0.56,3.36,0.57,3.42,0.58,
3.48,0.59,3.54,0.6,3.6,0.61,3.66,0.62,3.72,0.63,3.7
8,0.64,3.84,0.65,3.9,0.66,3.96,0.67,4.02,0.68,4.08,
0.69,4.14,0.7,4.2,0.71,4.26,0.72,4.32,0.73,4.38,0.7
4,4.44,0.75,4.5,0.76,4.56,0.77,4.62,0.78,4.68,0.79,
4.74,0.8,4.8,0.81,4.86,0.82,4.92,0.83,4.98,0.84,5.0
4,0.85,5.1,0.86,5.16,0.87,5.22,0.88,5.28,0.89,5.34,
0.9,5.4,0.91,5.46,0.92,5.52,0.93,5.58,0.94,5.64,0.9
5,5.7,0.96,5.76,0.97,5.82,0.98,5.88,0.99,5.94,1,6,1
.01,6.06,1.02,6.12,1.03,6.18,1.04,6.24,1.05,6.3,1.0
6,6.36,1.07,6.42,1.08,6.48,1.09,6.54,1.1,6.6,1.11,6
.66,1.12,6.72,1.13,6.78,1.14,6.84,1.15,6.9,1.16,6.9
6,1.17,7.02,1.18,7.08,1.19,7.14,1.2,7.2,1.21,7.26,1
.22,7.32,1.23,7.38,1.24,7.44,1.25,7.5,1.26,7.56,1.2
7,7.62,1.28,7.68,1.29,7.74,1.3,7.8,1.31,7.86,1.32,7
.92,1.33,7.98,1.34,8.04,1.35,8.1,1.36,8.16,1.37,8.2
2,1.38,8.28,1.39,8.34,1.4,8.4,1.41,8.46,1.42,8.52,1
.43,8.58,1.44,8.64,1.45,8.7,1.46,8.76,1.47,8.82,1.4
8,8.88,1.49,8.94,1.5,9,1.51,9.06,1.52,9.12,1.53,9.1
8,1.54,9.24,1.55,9.3,1.56,9.36,1.57,9.42,1.58,9.48,
1.59,9.54,1.6,9.6,1.61,9.66,1.62,9.72,1.63,9.78,1.6
4,9.84,1.65,9.9,1.66,9.96,1.67,10.02,1.68,10.08,1.6

```

9,10.14,1.7,10.2,1.71,10.26,1.72,10.32,1.73,10.38,
 1.74,10.44,1.75,10.5,1.76,10.56,1.77,10.62,1.78,10
 .68,1.79,10.74,1.8,10.8,1.81,10.86,1.82,10.92,1.83,
 10.98,1.84,11.04,1.85,11.1,1.86,11.16,1.87,11.22,1
 .88,11.28,1.89,11.34,1.9,11.4,1.91,11.46,1.92,11.5
 2,1.93,11.58,1.94,11.64,1.95,11.7,1.96,11.76,1.97,
 11.82,1.98,11.88,1.99,11.94,2.12,2.01,12.06,2.02,1
 2.12,2.03,12.18,2.04,12.24,2.05,12.3,2.06,12.36,2.
 07,12.42,2.08,12.48,2.09,12.54,2.1,12.6,2.11,12.66
 ,2.12,12.72,2.13,12.78,2.14,12.84,2.15,12.9,2.16,1
 2.96,2.17,13.02,2.18,13.08,2.19,13.14,2.2,13.2,2.2
 1,13.26,2.22,13.32,2.23,13.38,2.24,13.44,2.25,13.5
 ,2.26,13.56,2.27,13.62,2.28,13.68,2.29,13.74,2.3,1
 3.8,2.31,13.86,2.32,13.92,2.33,13.98,2.34,14.04,2.
 35,14.1,2.36,14.16,2.37,14.22,2.38,14.28,2.39,14.3
 4,2.4,14.4,2.41,14.46,2.42,14.52,2.43,14.58,2.44,1
 4.64,2.45,14.7,2.46,14.76,2.47,14.82,2.48,14.88,2.
 49,14.94,2.5,15,2.51,15.06,2.52,15.12,2.53,15.18,2
 .54,15.24,2.55,15.3,2.56,15.36,2.57,15.42,2.58,15.
 48,2.59,15.54,2.6,15.6,2.61,15.66,2.62,15.72,2.63,
 15.78,2.64,15.84,2.65,15.9,2.66,15.96,2.67,16.02,2
 .68,16.08,2.69,16.14,2.7,16.2,2.71,16.26,2.72,16.3
 2,2.73,16.38,2.74,16.44,2.75,16.5,2.76,16.56,2.77,
 16.62,2.78,16.68,2.79,16.74,2.8,16.8,2.81,16.86,2.
 82,16.92,2.83,16.98,2.84,17.04,2.85,17.1,2.86,17.1
 6,2.87,17.22,2.88,17.28,2.89,17.34,2.9,17.4,2.91,1
 7.46,2.92,17.52,2.93,17.58,2.94,17.64,2.95,17.7,2.
 96,17.76,2.97,17.82,2.98,17.88,2.99,17.94,3,18,3.0
 1,18.06,3.02,18.12,3.03,18.18,3.04,18.24,3.05,18.3
 ,3.06,18.36,3.07,18.42,3.08,18.48,3.09,18.54,3.1,1
 8.6,3.11,18.66,3.12,18.72,3.13,18.78,3.14,18.84,3.
 15,18.9,3.16,18.96,3.17,19.02,3.18,19.08,3.19,19.1
 4,3.2,19.2,3.21,19.26,3.22,19.32,3.23,19.38,3.24,1
 9.44,3.25,19.5,3.26,19.56,3.27,19.62,3.28,19.68,3.
 29,19.74,3.3,19.8,3.31,19.86,3.32,19.92,3.33,19.98
 ,3.34,20.04,3.35,20.1,3.36,20.16,3.37,20.22,3.38,2
 0.28,3.39,20.34,3.4,20.4,3.41,20.46,3.42,20.52,3.4
 3,20.58,3.44,20.64,3.45,20.7,3.46,20.76,3.47,20.82
 ,3.48,20.88,3.49,20.94,3.5,21,3.51,21.06,3.52,21.1
 2,3.53,21.18,3.54,21.24,3.55,21.3,3.56,21.36,3.57,
 21.42,3.58,21.48,3.59,21.54,3.6,21.6,3.61,21.66,3.
 62,21.72,3.63,21.78,3.64,21.84,3.65,21.9,3.66,21.9
 6,3.67,22.02,3.68,22.08,3.69,22.14,3.7,22.2,3.71,2
 2.26,3.72,22.32,3.73,22.38,3.74,22.44,3.75,22.5,3.
 76,22.56,3.77,22.62,3.78,22.68,3.79,22.74,3.8,22.8
 ,3.81,22.86,3.82,22.92,3.83,22.98,3.84,23.04,3.85,
 23.1,3.86,23.16,3.87,23.22,3.88,23.28,3.89,23.34,3
 .9,23.4,3.91,23.46,3.92,23.52,3.93,23.58,3.94,23.6
 4,3.95,23.7,3.96,23.76,3.97,23.82,3.98,23.88,3.99,
 23.94,4,24,4.01,24.06,4.02,24.12,4.03,24.18,4.04,2
 4.24,4.05,24.3,4.06,24.36,4.07,24.42,4.08,24.48,4.
 09,24.54,4.1,24.6,4.11,24.66,4.12,24.72,4.13,24.78
 ,4.14,24.84,4.15,24.9,4.16,24.96,4.17,25.02,4.18,2
 5.08,4.19,25.14,4.2,25.2,4.21,25.26,4.22,25.32,4.2
 3,25.38,4.24,25.44,4.25,25.5,4.26,25.56,4.27,25.62
 ,4.28,25.68,4.29,25.74,4.3,25.8,4.31,25.86,4.32,25.
 92,4.33,25.98,4.34,26.04,4.35,26.1,4.36,26.16,4.37
 ,26.22,4.38,26.28,4.39,26.34,4.4,26.4,4.41,26.46,4.
 42,26.52,4.43,26.58,4.44,26.64,4.45,26.7,4.46,26.7
 6,4.47,26.82,4.48,26.88,4.49,26.94,4.5,27,4.51,27.
 06,4.52,27.12,4.53,27.18,4.54,27.24,4.55,27.3,4.56
 ,27.36,4.57,27.42,4.58,27.48,4.59,27.54,4.6,27.6,4.
 61,27.66,4.62,27.72,4.63,27.78,4.64,27.84,4.65,27.
 9,4.66,27.96,4.67,28.02,4.68,28.08,4.69,28.14,4.7
 2,28.2,4.71,28.26,4.72,28.32,4.73,28.38,4.74,28.44,
 .75,28.5,4.76,28.56,4.77,28.62,4.78,28.68,4.79,28.
 74,4.8,28.8,4.81,28.86,4.82,28.92,4.83,28.98,4.84,
 29.04,4.85,29.1,4.86,29.16,4.87,29.22,4.88,29.28,4
 .89,29.34,4.9,29.4,4.91,29.46,4.92,29.52,4.93,29.5
 8,4.94,29.64,4.95,29.7,4.96,29.76,4.97,29.82,4.98,
 29.88,4.99,29.94,5,30,5.01,30.06,5.02,30.12,5.03,3
 0.18,5.04,30.24,5.05,30.3,5.06,30.36,5.07,30.42,5.
 08,30.48,5.09,30.54,5.1,30.6,5.11,30.66,5.12,30.72
 ,5.13,30.78,5.14,30.84,5.15,30.9,5.16,30.96,5.17,3
 1.02,5.18,31.08,5.19,31.14,5.2,31.2,5.21,31.26,5.2
 2,31.32,5.23,31.38,5.24,31.44,5.25,31.5,5.26,31.56
 ,5.27,31.62,5.28,31.68,5.29,31.74,5.3,31.8,5.31,31.
 86,5.32,31.92,5.33,31.98,5.34,32.04,5.35,32.1,5.36
 ,32.16,5.37,32.22,5.38,32.28,5.39,32.34,5.4,32.4,5.
 41,32.46,5.42,32.52,5.43,32.58,5.44,32.64,5.45,32.
 7,5.46,32.76,5.47,32.82,5.48,32.88,5.49,32.94,5.5,
 33,5.51,33.06,5.52,33.12,5.53,33.18,5.54,33.24,5.5
 5,33.3,5.56,33.36,5.57,33.42,5.58,33.48,5.59,33.54
 ,5.6,33.6,5.61,33.66,5.62,33.72,5.63,33.78,5.64,33.
 84,5.65,33.9,5.66,33.96,5.67,34.02,5.68,34.08,5.69
 ,34.14,5.7,34.2,5.71,34.26,5.72,34.32,5.73,34.38,5.
 74,34.44,5.75,34.5,5.76,34.56,5.77,34.62,5.78,34.6
 8,5.79,34.74,5.8,34.8,5.81,34.86,5.82,34.92,5.83,3
 4.98,5.84,35.04,5.85,35.1,5.86,35.16,5.87,35.22,5.
 88,35.28,5.89,35.34,5.9,35.4,5.91,35.46,5.92,35.52
 ,5.93,35.58,5.94,35.64,5.95,35.7,5.96,35.76,5.97,3
 5.82,5.98,35.88,5.99,35.94,6,36,6.01,36.06,6.02,36
 .12,6.03,36.18,6.04,36.24,6.05,36.3,6.06,36.36,6.0
 7,36.42,6.08,36.48,6.09,36.54,6.1,36.6,6.11,36.66,
 6.12,36.72,6.13,36.78,6.14,36.84,6.15,36.9,6.16,36
 .96,6.17,37.02,6.18,37.08,6.19,37.14,6.2,37.2,6.21,
 37.26,6.22,37.32,6.23,37.38,6.24,37.44,6.25,37.5,6
 .26,37.56,6.27,37.62,6.28,37.68,6.29,37.74,6.3,37.
 8,6.31,37.86,6.32,37.92,6.33,37.98,6.34,38.04,6.35
 ,38.1,6.36,38.16,6.37,38.22,6.38,38.28,6.39,38.34,
 6.4,38.4,6.41,38.46,6.42,38.52,6.43,38.58,6.44,38.
 64,6.45,38.7,6.46,38.76,6.47,38.82,6.48,38.88,6.49
 ,38.94,6.5,39.6,5.1,39.06,6.52,39.12,6.53,39.18,6.5
 4,39.24,6.55,39.3,6.56,39.36,6.57,39.42,6.58,39.48
 ,6.59,39.54,6.6,39.6,6.61,39.66,6.62,39.72,6.63,39.
 78,6.64,39.84,6.65,39.9,6.66,39.96,6.67,40.02,6.68
 ,40.08,6.69,40.14,6.7,40.2,6.71,40.26,6.72,40.32,6.
 73,40.38,6.74,40.44,6.75,40.5,6.76,40.56,6.77,40.6
 2,6.78,40.68,6.79,40.74,6.8,40.8,6.81,40.86,6.82,4
 0.92,6.83,40.98,6.84,41.04,6.85,41.1,6.86,41.16,6.
 87,41.22,6.88,41.28,6.89,41.34,6.9,41.4,6.91,41.46
 ,6.92,41.52,6.93,41.58,6.94,41.64,6.95,41.7,6.96,4
 1.76,6.97,41.82,6.98,41.88,6.99,41.94,7,42,7.01,42
 .06,7.02,42.12,7.03,42.18,7.04,42.24,7.05,42.3,7.0
 6,42.36,7.07,42.42,7.08,42.48,7.09,42.54,7.1,42.6,
 7.11,42.66,7.12,42.72,7.13,42.78,7.14,42.84,7.15,4
 2.9,7.16,42.96,7.17,43.02,7.18,43.08,7.19,43.14,7.
 2,43.2,7.21,43.26,7.22,43.32,7.23,43.38,7.24,43.44
 ,7.25,43.5,7.26,43.56,7.27,43.62,7.28,43.68,7.29,4
 3.74,7.3,43.8,7.31,43.86,7.32,43.92,7.33,43.98,7.3
 4,44.04,7.35,44.1,7.36,44.16,7.37,44.22,7.38,44.28
 ,7.39,44.34,7.4,44.4,7.41,44.46,7.42,44.52,7.43,44.
 58,7.44,44.64,7.45,44.7,7.46,44.76,7.47,44.82,7.48
 ,44.88,7.49,44.94,7.5,45,7.51,45.06,7.52,45.12,7.5
 3,45.18,7.54,45.24,7.55,45.3,7.56,45.36,7.57,45.42
 ,7.58,45.48,7.59,45.54,7.6,45.6,7.61,45.66,7.62,45.
 72,7.63,45.78,7.64,45.84,7.65,45.9,7.66,45.96,7.67
 ,46.02,7.68,46.08,7.69,46.14,7.7,46.2,7.71,46.26,7.
 72,46.32,7.73,46.38,7.74,46.44,7.75,46.5,7.76,46.5
 6,7.77,46.62,7.78,46.68,7.79,46.74,7.8,46.8,7.81,4
 6.86,7.82,46.92,7.83,46.98,7.84,47.04,7.85,47.1,7.
 86,47.16,7.87,47.22,7.88,47.28,7.89,47.34,7.9,47.4

```

,7.91,47.46,7.92,47.52,7.93,47.58,7.94,47.64,7.95,
47.7,7.96,47.76,7.97,47.82,7.98,47.88,7.99,47.94,8
,48,8.01,48.06,8.02,48.12,8.03,48.18,8.04,48.24,8.
05,48.3,8.06,48.36,8.07,48.42,8.08,48.48,8.09,48.5
4,8.1,48.6,8.11,48.66,8.12,48.72,8.13,48.78,8.14,4
8.84,8.15,48.9,8.16,48.96,8.17,49.02,8.18,49.08,8.
19,49.14,8.2,49.2,8.21,49.26,8.22,49.32,8.23,49.38
,8.24,49.44,8.25,49.5,8.26,49.56,8.27,49.62,8.28,4
9.68,8.29,49.74,8.3,49.8,8.31,49.86,8.32,49.92,8.3
3,49.98,8.34,50.04,8.35,50.1,8.36,50.16,8.37,50.22
,8.38,50.28,8.39,50.34,8.4,50.4,8.41,50.46,8.42,50.
52,8.43,50.58,8.44,50.64,8.45,50.7,8.46,50.76,8.47
,50.82,8.48,50.88,8.49,50.94,8.5,51.8,51.51,51.06,8.5
2,51.12,8.53,51.18,8.54,51.24,8.55,51.3,8.56,51.36
,8.57,51.42,8.58,51.48,8.59,51.54,8.6,51.6,8.61,51.
66,8.62,51.72,8.63,51.78,8.64,51.84,8.65,51.9,8.66
,51.96,8.67,52.02,8.68,52.08,8.69,52.14,8.7,52.2,8.
71,52.26,8.72,52.32,8.73,52.38,8.74,52.44,8.75,52.
5,8.76,52.56,8.77,52.62,8.78,52.68,8.79,52.74,8.8,
52.8,8.81,52.86,8.82,52.92,8.83,52.98,8.84,53.04,8.
85,53.1,8.86,53.16,8.87,53.22,8.88,53.28,8.89,53.
34,8.9,53.4,8.91,53.46,8.92,53.52,8.93,53.58,8.94,
53.64,8.95,53.7,8.96,53.76,8.97,53.82,8.98,53.88,8.
99,53.94,9.01,54.06,9.02,54.12,9.03,54.18,9.
04,54.24,9.05,54.3,9.06,54.36,9.07,54.42,9.08,54.4
8,9.09,54.54,9.1,54.6,9.11,54.66,9.12,54.72,9.13,5
4.78,9.14,54.84,9.15,54.9,9.16,54.96,9.17,55.02,9.
18,55.08,9.19,55.14,9.2,55.2,9.21,55.26,9.22,55.32
,9.23,55.38,9.24,55.44,9.25,55.5,9.26,55.56,9.27,5
5.62,9.28,55.68,9.29,55.74,9.3,55.8,9.31,55.86,9.3
2,55.92,9.33,55.98,9.34,56.04,9.35,56.1,9.36,56.16
,9.37,56.22,9.38,56.28,9.39,56.34,9.4,56.4,9.41,56.
46,9.42,56.52,9.43,56.58,9.44,56.64,9.45,56.7,9.46
,56.76,9.47,56.82,9.48,56.88,9.49,56.94,9.5,57,9.5
1,57.06,9.52,57.12,9.53,57.18,9.54,57.24,9.55,57.3
,9.56,57.36,9.57,57.42,9.58,57.48,9.59,57.54,9.6,5
7.6,9.61,57.66,9.62,57.72,9.63,57.78,9.64,57.84,9.
65,57.9,9.66,57.96,9.67,58.02,9.68,58.08,9.69,58.1
4,9.7,58.2,9.71,58.26,9.72,58.32,9.73,58.38,9.74,5
8.44,9.75,58.5,9.76,58.56,9.77,58.62,9.78,58.68,9.
79,58.74,9.8,58.8,9.81,58.86,9.82,58.92,9.83,58.98
,9.84,59.04,9.85,59.1,9.86,59.16,9.87,59.22,9.88,5
9.28,9.89,59.34,9.9,59.4,9.91,59.46,9.92,59.52,9.9
3,59.58,9.94,59.64,9.95,59.7,9.96,59.76,9.97,59.82
,9.98,59.88,9.99,59.94,10,60
    Extend Max = On
    Extend Min = On
    Option = One Dimensional
END
END
END
END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
DYNAMIC VISCOSITY:
    Dynamic Viscosity = 1.831E-05 [kg m^-1 s^-
1]
    Option = Value
END
END
END
END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
EQUATION OF STATE:
    Density = 1.185 [kg m^-3]
    Molar Mass = 28.96 [kg kmol^-1]
    Option = Value
END
END
END
COMMAND FILE:
    Version = 11.0
END
Simularea curgerii peste structura antenei
poziționată cu axa la 180° față de direcția de
curgere, viteza rafala 30 m/s
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:freewalls
    Boundary Type = WALL
    Location = F20.18,F21.18,F22.18,F23.18
BOUNDARY CONDITIONS:
MESH MOTION:
    Option = Stationary
END
WALL INFLUENCE ON FLOW:
    Option = Free Slip
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:inlet
    Boundary Type = INLET
    Location = F19.18
BOUNDARY CONDITIONS:
FLOW REGIME:
    Option = Subsonic
END
MASS AND MOMENTUM:
    Option = Cartesian Velocity Components
    U = MyVelX(t)
    V = 0 [m s^-1]
    W = 0 [m s^-1]
END
MESH MOTION:
    Option = Stationary
END
TURBULENCE:
    Option = Medium Intensity și Eddy Viscosity
Ratio
END
END
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:interface
    Boundary Type = WALL
    Location = F25.18,F26.18,F27.18
BOUNDARY CONDITIONS:
MESH MOTION:
    ANSYS Interface = FSIN_1

```



```

END ,19.64,1.32,23,1.335,21.6,1.35,18.57,1.365,21.19,1
END .38,22.81,1.395,21.19,1.41,22.84,1.425,21.74,1.44,
END 18.74,1.455,19.99,1.47,21.72,1.485,19.79,1.5,19.8
FLOW: 4,1.515,20.1,1.53,20.98,1.545,20.63,1.56,20.85,1.5
SOLVER CONTROL: 75,21.2,1.59,19.83,1.605,20.67,1.62,23.15,1.635,2
ADVECTION SCHEME: 2.06,1.65,22.62,1.665,24.04,1.68,21.52,1.695,23.9
Option = High Resolution 8,1.71,26.4,1.725,25.42,1.74,24.6,1.755,24.5,1.77,
END 24.59,1.785,25.06,1.8,25.48,1.815,26.95,1.83,27.7
CONVERGENCE CONTROL: 6,1.845,27.43,1.86,26.99,1.875,27.32,1.89,27.12,1.
Maximum Number of Coefficient Loops = 3 905,26.6,1.92,25.8,1.935,25.77,1.95,25.16,1.965,2
Minimum Number of Coefficient Loops = 2 5.79,1.98,25.63,1.995,27.06,2.01,26.87,2.025,27.2
Timescale Control = Coefficient Loops 6,2.04,26.42,2.055,28.72,2.07,28.18,2.085,26.45,2.
END 1,27.88,2.115,25.47,2.13,25.66,2.145,28.89,2.16,2
CONVERGENCE CRITERIA: 7.24,2.175,27.02,2.19,28.17,2.205,26.15,2.22,28.4,
Residual Target = 1.E-4 2.235,29.59,2.25,25.37,2.265,26.97,2.28,22.68,2.2
Residual Type = RMS 95,26.39,2.31,28.85,2.325,24.57,2.34,27.68,2.355,
END 25.78,2.37,22.27,2.385,29.2,2.4,27.16,2.415,24.77,
EXTERNAL SOLVER COUPLING CONTROL: 2.43,28.55,2.445,25.09,2.46,26.45,2.475,31.56,2.4
COUPLING DATA TRANSFER CONTROL: 9,29.66,2.505,32.79,2.52,30.87,2.535,31.68,2.55,3
Convergence Target = 1e-3 6.15,2.565,34.41,2.58,35.01,2.595,35.88,2.61,34.4
Under Relaxation Factor = 0.75 7,2.625,37.77,2.64,38.58,2.655,36.57,2.67,37.92,2.
END 685,37.41,2.7,38.4,2.715,40.98,2.73,39.72,2.745,3
COUPLING STEP CONTROL: 9.57,2.76,39.87,2.775,37.98,2.79,39.78,2.805,38.5
Maximum Number of Coupling Iterations = 10 5,2.82,37.92,2.835,38.85,2.85,37.26,2.865,38.55,2.
Minimum Number of Coupling Iterations = 1 88,39.54,2.895,38.61,2.91,39.69,2.925,37.92,2.94,
SOLUTION SEQUENCE CONTROL: 37.47,2.955,39.51,2.97,38.52,2.985,36.96,3,38.13,
Solve ANSYS Fields = After CFX Fields 3.015,36.48,3.03,37.59,3.045,38.64,3.06,35.7,3.07
END 5,35.85,3.09,37.62,3.105,36.18,3.12,36.24,3.135,3
END 4.23,3.15,30.87,3.165,34.44,3.18,34.74,3.195,33.8
END 1,3.21,33.21,3.225,29.83,3.24,32.1,3.255,31.41,3.2
TRANSIENT SCHEME: 7,30.78,3.285,32.61,3.3,31.02,3.315,30.72,3.33,32.
Option = Second Order Backward Euler 94,3.345,30.51,3.36,30.3,3.375,32.67,3.39,30.03,3.
TIMESTEP INITIALISATION: 405,31.26,3.42,32.01,3.435,28.79,3.45,30.72,3.465
Option = Automatic 2,29.95,3.48,29.3,49.5,29.82,3.51,30.75,3.525,30.12,
END 3.54,27.68,3.555,29.4,3.57,30.39,3.585,30.42,3.6,3
END 1.08,3.615,29.03,3.63,29.07,3.645,31.02,3.66,31.5,
END 3.675,30.57,3.69,29.94,3.705,27.82,3.72,29.3,3.73
END 5,29.88,3.75,30.96,3.765,31.17,3.78,33.36,3.795,3
LIBRARY: 2.1,3.81,32.58,3.825,34.47,3.84,32.28,3.855,30.24,
CEL: 3.87,33.42,3.885,32.01,3.9,31.47,3.915,32.88,3.93,
FUNCTION:MyVelX 31.02,3.945,31.32,3.96,33.57,3.975,31.59,3.99,33.
Argument Units = [s] 12.4,0.005,31.5,4.02,29.49,4.035,30.87,4.05,29.75,4.
Option = Interpolation 065,29.49,4.08,31.05,4.095,28.95,4.11,29.19,4.125
Result Units = [m s^-1] 29.83,4.14,27.92,4.155,30.9,4.17,32.58,4.185,27.6
INTERPOLATION DATA: 6,4.2,28,4.215,29.04,4.23,30.21,4.245,31.74,4.26,2
Data Pairs = 9.23,4.275,31.44,4.29,33.12,4.305,31.17,4.32,31.7
0,14.81,0.015,10.74,0.03,9.981,0.045,14.29,0.06,1 7,4.335,30.99,4.35,28.58,4.365,28.14,38.29,83,4.3
6.36,0.075,15.2,0.09,14.36,0.105,11.94,0.12,12.92, 95,30.54,4.41,32.01,4.425,28.56,4.44,27.6,4.455,3
0.135,16.6,0.15,16.16,0.165,15.53,0.18,14.79,0.19 1.05,4.47,33.39,4.485,32.91,4.5,28.13,4.515,27.78,
5,12.21,0.21,14.2,0.225,16.64,0.24,15.24,0.255,13. 4.53,27.48,4.545,29.47,4.56,30.3,4.575,26.9,4.59,2
79,0.27,12.3,0.285,15.14,0.3,13.57,0.315,14.07,0.3 5.37,4.605,27.3,4.62,28.59,4.635,31.08,4.65,31.32,
3,16.53,0.345,12.56,0.36,12.32,0.375,12.62,0.39,1 4.665,27.39,4.68,28.15,4.695,31.53,4.71,33.39,4.7
2.35,0.405,14.23,0.42,13.84,0.435,10.05,0.45,10.3 25,35.1,4.74,34.38,4.755,32.88,4.77,34.32,4.785,3
2,0.465,8.79,0.48,11.98,0.495,15.93,0.51,9.108,0.5 4.65,4.8,36.21,4.815,35.94,4.83,33.75,4.845,34.71,
25,10.93,0.54,10.03,0.555,9.702,0.57,16.25,0.585, 4.86,35.79,4.875,37.17,4.89,39.66,4.905,39.27,4.9
12.87,0.6,1.171,0.615,8.67,0.63,10.93,0.645,11.09, 2,37.89,4.935,39.15,4.95,38.94,4.965,39.24,4.98,4
0.66,14.14,0.675,10.75,0.69,3.261,0.705,8.853,0.7 0.65,4.995,38.49,5.01,36.57,5.025,36.48,5.04,38.4
2,14.29,0.735,15.1,0.75,14.2,0.765,14.17,0.78,17.3 9,5.055,39.36,5.07,38.46,5.085,37.77,5.1,36.03,5.1
8,0.795,11.71,0.81,16.67,0.825,19.92,0.84,11.84,0. 15,35.85,5.13,37.95,5.145,37.29,5.16,35.49,5.175,
855,16.02,0.87,18.99,0.885,15.29,0.9,20.49,0.915, 35,22.5,19.34,14.5,205,34.98,5.22,36.48,5.235,35.
22.16,0.93,16.55,0.945,20.88,0.96,22.64,0.975,19. 1,5.25,33.24,5.265,32.82,5.28,35.07,5.295,35.94,5.
51,0.99,22.58,1.005,17.87,1.02,19.42,1.035,18.52, 31,37.41,5.325,38.31,5.34,36.84,5.355,38.13,5.37,
1.05,19.54,1.065,20.23,1.08,19.3,1.095,20.39,1.11, 41,58,5.385,41.28,5.4,41.61,5.415,41.97,5.43,40.0
21.02,1.125,18.31,1.14,20.43,1.155,20.89,1.17,21. 5,5.445,40.32,5.46,42.3,5.475,42.03,5.49,42.42,5.5
36,1.185,21.76,1.2,19.13,1.215,18.47,1.23,21.58,1. 05,41.55,5.52,41.55,5.535,42.93,5.55,42.99,5.565,
245,21.24,1.26,17.43,1.275,20.02,1.29,19.97,1.305 43,38,5.58,43.26,5.595,41.31,5.61,41.22,5.625,42.

```

```

69,5.64,41.94,5.655,42.42,5.67,41.85,5.685,40.26,
5.7,41.1,5.715,41.91,5.73,40.83,5.745,41.43,5.76,4
2.03,5.775,43.35,5.79,43.23,5.805,43.92,5.82,43.9
5,5.835,42.3,5.85,43.59,5.865,45.3,5.88,45.33,5.89
5,46.26,5.91,45.51,5.925,43.65,5.94,44.85,5.955,4
6.08,5.97,44.76,5.985,44.88,6.42,18.6,0.15,41.88,6.
03,41.94,6.045,42.06,6.06,42.36,6.075,40.65,6.09,
40.74,6.105,42.18,6.12,41.13,6.135,41.61,6.15,40.
95,6.165,39.45,6.18,40.98,6.195,42.18,6.21,41.16,
6.225,41.49,6.24,40.41,6.255,39.96,6.27,42.24,6.2
85,40.35,6.3,41.16,6.315,40.38,6.33,38.13,6.345,4
1.1,6.36,41.67,6.375,39.84,6.39,40.95,6.405,40.23,
6.42,38.37,6.435,41.01,6.45,39.72,6.465,38.46,6.4
8,41.16,6.495,41.04,6.51,40.86,6.525,41.19,6.54,4
0.89,6.555,40.77,6.57,40.95,6.585,40.17,6.6,38.91,
6.615,38.73,6.63,39.66,6.645,39.54,6.66,38.7,6.67
5,37.98,6.69,38.64,6.705,39.93,6.72,41.1,6.735,40.
11,6.75,38.52,6.765,40.53,6.78,40.65,6.795,41.91,
6.81,43.56,6.825,42.93,6.84,42.96,6.855,44.58,6.8
7,44.64,6.885,44.28,6.9,43.89,6.915,41.79,6.93,42.
27,6.945,43.32,6.96,42.75,6.975,42.21,6.99,41.28,
7.005,41.85,7.02,42.27,7.035,41.91,7.05,41.22,7.0
65,39.03,7.08,38.37,7.095,39.51,7.11,39.81,7.125,
38.43,7.14,37.62,7.155,37.86,7.17,38.28,7.185,37.
89,7.2,36.39,7.215,35.28,7.23,36.06,7.245,37.14,7.
26,38.94,7.275,37.17,7.29,37.68,7.305,38.55,7.32,
36.54,7.335,36.99,7.35,37.02,7.365,34.68,7.38,35.
43,7.395,36.33,7.41,34.2,7.425,34.98,7.44,35.82,7.
455,35.34,7.47,38.04,7.485,38.4,7.5,37.56,7.515,3
7.08,7.53,37.62,7.545,39.36,7.56,40.11,7.575,39.4
2,7.59,39.81,7.605,41.13,7.62,42.57,7.635,43.2,7.6
5,42.87,7.665,42.45,7.68,43.02,7.695,44.43,7.71,4
4.1,7.725,43.56,7.74,43.47,7.755,44.13,7.77,44.34,
7.785,42.72,7.8,43.29,7.815,41.25,7.83,39.09,7.84
5,40.98,7.86,39.36,7.875,37.11,7.89,39.24,7.905,3
8.4,7.92,37.56,7.935,40.02,7.95,38.16,7.965,37.14,
7.98,39.24,7.995,37.02,8.01,36.6,8.025,35.91,8.04,
34.92,8.055,35.58,8.07,35.85,8.085,35.64,8.1,35.1
3,8.115,34.92,8.13,35.79,8.145,36.72,8.16,36.15,8.
175,35.79,8.19,36.09,8.205,36.69,8.22,37.95,8.235
37.47,8.25,33.9,8.265,35.19,8.28,32.64,8.295,33.5
7,8.31,35.4,8.325,31.86,8.34,32.82,8.355,34.92,8.3
7,32.31,8.385,33.69,8.4,33.51,8.415,29.57,8.43,31.
23,8.445,31.29,8.46,27.29,8.475,28.83,8.49,27.72,
8.505,28.32,8.52,29.11,8.535,27.81,8.55,27.47,8.5
65,26.25,8.58,25.2,8.595,26.33,8.61,26.76,8.625,2
6.04,8.64,24.46,8.655,21.21,8.67,22.64,8.685,25.6
3,8.7,24.57,8.715,22.42,8.73,19.33,8.745,18.65,8.7
6,22.6,8.775,20.2,8.79,16.46,8.805,17.7,8.82,21.1,
8.835,22.6,8.85,23.42,8.865,22.04,8.88,20.69,8.89
5,21.34,8.91,22.18,8.925,22.97,8.94,24.12,8.955,2
2.93,8.97,22.21,8.985,25.22,9.29,43.9,0.15,28.94,9.
03,29.56,9.045,29.02,9.06,27.78,9.075,28.28,9.09,
29.71,9.105,29.2,9.12,28.94,9.135,27.4,9.15,26.23,
9.165,28.16,9.18,29.75,9.195,27.46,9.21,24.62,9.2
25,22.41,9.24,22.56,9.255,22.63,9.27,23.35,9.285,
24.02,9.3,18.01,9.315,16.2,9.33,19.98,9.345,17.05,
9.36,17.84,9.375,18.71,9.39,11.06,9.405,11.78,9.4
2,17.98,9.435,15.02,9.45,16.61,9.465,16.87,9.48,1
1.89,9.495,16.59,9.51,18.88,9.525,20.95,9.54,19.7
2,9.555,14.83,9.57,14.21,9.585,12.71,9.6,15.5,9.61
5,16.82,9.63,14.74,9.645,9.147,9.66,7.446,9.675,9.
066,9.69,14.28,9.705,14.97,9.72,12.13,9.735,5.328
,9.75,4.977,9.765,10.38,9.78,16.9,9.795,11.39,9.81
,9.885,9.825,9.417,9.84,9.822,9.855,17.81,9.87,21.
75,9.885,18.19,9.9,12.32,9.915,16.22,9.93,21.38,9.
945,24.77,9.96,23.72,9.975,17.22,9.99,11.06
Extend Max = On
Extend Min = On
Option = One Dimensional
END
END
END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
DYNAMIC VISCOSITY:
Dynamic Viscosity = 1.831E-05 [kg m^-1 s^-
1]
Option = Value
END
END
END
LIBRARY:
MATERIAL: Air at 25 C
PROPERTIES:
EQUATION OF STATE:
Density = 1.185 [kg m^-3]
Molar Mass = 28.96 [kg kmol^-1]
Option = Value
END
END
END
COMMAND FILE:
Version = 11.0
END
Simularea curgerii peste structura antenei
poziționată cu axa la 180° față de direcția de
curgere ,viteza 0-60 m/s
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:freewalls
Boundary Type = WALL
Location = F20.18,F21.18,F22.18,F23.18
BOUNDARY CONDITIONS:
MESH MOTION:
Option = Stationary
END
WALL INFLUENCE ON FLOW:
Option = Free Slip
END
END
FLOW:
DOMAIN:Default Domain
BOUNDARY:inlet
Boundary Type = INLET
Location = F19.18
BOUNDARY CONDITIONS:
FLOW REGIME:
Option = Subsonic
END
MASS AND MOMENTUM:
Option = Cartesian Velocity Components

```

```

    U = MyVelX(t)
    V = 0 [m s^-1]
    W = 0 [m s^-1]
  END
  MESH MOTION:
    Option = Stationary
  END
  TURBULENCE:
    Option = Medium Intensity și Eddy Viscosity
Ratio
  END
  END
  END
  END
  END
  FLOW:
    DOMAIN:Default Domain
    BOUNDARY:interface
    Boundary Type = WALL
    Location = F25.18,F26.18,F27.18
    BOUNDARY CONDITIONS:
    MESH MOTION:
      ANSYS Interface = FSIN_1
      Option = ANSYS MultiField
      Receive from ANSYS = Total Mesh
Displacement
  Send to ANSYS = Total Force
  END
  WALL INFLUENCE ON FLOW:
    Option = No Slip
  END
  WALL ROUGHNESS:
    Option = Smooth Wall
  END
  END
  END
  END
  FLOW:
    DOMAIN:Default Domain
    BOUNDARY:outlet
    Boundary Type = OPENING
    Location = F24.18
    BOUNDARY CONDITIONS:
    FLOW DIRECTION:
      Option = Normal to Boundary Condition
    END
    FLOW REGIME:
      Option = Subsonic
    END
    MASS AND MOMENTUM:
      Option = Opening Pressure și Direction
      Relative Pressure = 0 [Pa]
    END
    MESH MOTION:
      Option = Stationary
    END
    TURBULENCE:
      Option = Medium Intensity și Eddy Viscosity
Ratio
  END
  END
  END
  END
  END
  FLOW:
    DOMAIN:Default Domain
    DOMAIN MODELS:
    DOMAIN MOTION:
      Option = Stationary
    END
    END
    END
    FLOW:
    DOMAIN:Default Domain
    DOMAIN MODELS:
    REFERENCE PRESSURE:
      Reference Pressure = 1 [atm]
    END
    END
    END
    END
    FLOW:
    DOMAIN:Default Domain
    FLUID MODELS:
    TURBULENCE MODEL:
      Option = k epsilon
    END
    END
    END
    FLOW:
    DOMAIN:Default Domain
    FLUID MODELS:
    TURBULENT WALL FUNCTIONS:
      Option = Scalable
    END
    END
    END
    FLOW:
    INITIALISATION:
      Option = Automatic
    INITIAL CONDITIONS:
      Velocity Type = Cartesian
    CARTESIAN VELOCITY COMPONENTS:
      Option = Automatic with Value
      U = MyVelX(t)
      V = 0 [m s^-1]
      W = 0 [m s^-1]
    END
    EPSILON:
      Option = Automatic with Value
    END
    K:
      Option = Automatic with Value
    END
    STATIC PRESSURE:
      Option = Automatic with Value
      Relative Pressure = 0 [Pa]
    END
    END
    END
    FLOW:
    SIMULATION TYPE:
      Option = Transient
    EXTERNAL SOLVER COUPLING:
      ANSYS Input File =
E:/teza/ansys/antena_rotation_180g/v_0_60/antena
10_180.inp

```



```

Option = ANSYS MultiField
COUPLING TIME CONTROL:
COUPLING INITIAL TIME:
  Option = Automatic
END
COUPLING TIME DURATION:
  Option = Total Time
  Total Time = 10 [s]
END
COUPLING TIME STEPS:
  Option = Timesteps
  Timesteps = 0.01 [s]
END
END
INITIAL TIME:
  Option = Coupling Initial Time
END
TIME DURATION:
  Option = Coupling Time Duration
END
TIME STEPS:
  Option = Coupling Timesteps
END
END
FLOW:
SOLVER CONTROL:
ADVECTION SCHEME:
  Option = High Resolution
END
CONVERGENCE CONTROL:
  Maximum Number of Coefficient Loops = 3
  Minimum Number of Coefficient Loops = 2
  Timescale Control = Coefficient Loops
END
CONVERGENCE CRITERIA:
  Residual Target = 1.E-4
  Residual Type = RMS
END
EXTERNAL SOLVER COUPLING CONTROL:
COUPLING DATA TRANSFER CONTROL:
  Convergence Target = 1e-3
  Under Relaxation Factor = 0.75
END
COUPLING STEP CONTROL:
  Maximum Number of Coupling Iterations = 10
  Minimum Number of Coupling Iterations = 1
SOLUTION SEQUENCE CONTROL:
  Solve ANSYS Fields = After CFX Fields
END
END
TRANSIENT SCHEME:
  Option = Second Order Backward Euler
TIMESTEP INITIALISATION:
  Option = Automatic
END
END
END
LIBRARY:
CEL:
  FUNCTION: MyVelX
  Argument Units = [s]
  Option = Interpolation
Result Units = [m s^-1]
INTERPOLATION DATA:
Data Pairs =
0,0,0.01,0.06,0.02,0.12,0.03,0.18,0.04,0.24,0.05,0.
3,0.06,0.36,0.07,0.42,0.08,0.48,0.09,0.54,0.1,0.6,0.
11,0.66,0.12,0.72,0.13,0.78,0.14,0.84,0.15,0.9,0.1
6,0.96,0.17,1.02,0.18,1.08,0.19,1.14,0.2,1.2,0.21,1
.26,0.22,1.32,0.23,1.38,0.24,1.44,0.25,1.5,0.26,1.5
6,0.27,1.62,0.28,1.68,0.29,1.74,0.3,1.8,0.31,1.86,0.
32,1.92,0.33,1.98,0.34,2.04,0.35,2.1,0.36,2.16,0.3
7,2.22,0.38,2.28,0.39,2.34,0.4,2.4,0.41,2.46,0.42,2
.52,0.43,2.58,0.44,2.64,0.45,2.7,0.46,2.76,0.47,2.8
2,0.48,2.88,0.49,2.94,0.5,3,0.51,3.06,0.52,3.12,0.5
3,3.18,0.54,3.24,0.55,3.3,0.56,3.36,0.57,3.42,0.58,
3.48,0.59,3.54,0.6,3.6,0.61,3.66,0.62,3.72,0.63,3.7
8,0.64,3.84,0.65,3.9,0.66,3.96,0.67,4.02,0.68,4.08,
0.69,4.14,0.7,4.2,0.71,4.26,0.72,4.32,0.73,4.38,0.7
4,4.44,0.75,4.5,0.76,4.56,0.77,4.62,0.78,4.68,0.79,
4.74,0.8,4.8,0.81,4.86,0.82,4.92,0.83,4.98,0.84,5.0
4,0.85,5.1,0.86,5.16,0.87,5.22,0.88,5.28,0.89,5.34,
0.9,5.4,0.91,5.46,0.92,5.52,0.93,5.58,0.94,5.64,0.9
5,5.7,0.96,5.76,0.97,5.82,0.98,5.88,0.99,5.94,1,6,1
.01,6.06,1.02,6.12,1.03,6.18,1.04,6.24,1.05,6.3,1.0
6,6.36,1.07,6.42,1.08,6.48,1.09,6.54,1.1,6.6,1.11,6
.66,1.12,6.72,1.13,6.78,1.14,6.84,1.15,6.9,1.16,6.9
6,1.17,7.02,1.18,7.08,1.19,7.14,1.2,7.2,1.21,7.26,1
.22,7.32,1.23,7.38,1.24,7.44,1.25,7.5,1.26,7.56,1.2
7,7.62,1.28,7.68,1.29,7.74,1.3,7.8,1.31,7.86,1.32,7
.92,1.33,7.98,1.34,8.04,1.35,8.1,1.36,8.16,1.37,8.2
2,1.38,8.28,1.39,8.34,1.4,8.4,1.41,8.46,1.42,8.52,1
.43,8.58,1.44,8.64,1.45,8.7,1.46,8.76,1.47,8.82,1.4
8,8.88,1.49,8.94,1.5,9,1.51,9.06,1.52,9.12,1.53,9.1
8,1.54,9.24,1.55,9.3,1.56,9.36,1.57,9.42,1.58,9.48,
1.59,9.54,1.6,9.6,1.61,9.66,1.62,9.72,1.63,9.78,1.6
4,9.84,1.65,9.9,1.66,9.96,1.67,10.02,1.68,10.08,1.6
9,10.14,1.7,10.2,1.71,10.26,1.72,10.32,1.73,10.38,
1.74,10.44,1.75,10.5,1.76,10.56,1.77,10.62,1.78,10
.68,1.79,10.74,1.8,10.8,1.81,10.86,1.82,10.92,1.83,
10.98,1.84,11.04,1.85,11.1,1.86,11.16,1.87,11.22,1
.88,11.28,1.89,11.34,1.9,11.4,1.91,11.46,1.92,11.5
2,1.93,11.58,1.94,11.64,1.95,11.7,1.96,11.76,1.97,
11.82,1.98,11.88,1.99,11.94,12,12.01,12.06,12.02,1
2.12,12.03,12.18,12.04,12.24,12.05,12.3,12.06,12.36,2
.07,12.42,12.08,12.48,12.09,12.54,12.1,12.6,12.11,12.6
6,12.12,12.72,12.13,12.78,12.14,12.84,12.15,12.9,12.16,1
2.96,12.17,13.02,12.18,13.08,12.19,13.14,12.2,13.2,12.2
1,13.26,12.22,13.32,12.23,13.38,12.24,13.44,12.25,13.5
,12.26,13.56,12.27,13.62,12.28,13.68,12.29,13.74,12.3,1
3.8,12.31,13.86,12.32,13.92,12.33,13.98,12.34,14.04,12
.35,14.1,12.36,14.16,12.37,14.22,12.38,14.28,12.39,14.3
4,12.4,14.4,12.41,14.46,12.42,14.52,12.43,14.58,12.44,1
4.64,12.45,14.7,12.46,14.76,12.47,14.82,12.48,14.88,12
.49,14.94,12.5,15,12.51,15.06,12.52,15.12,12.53,15.18,12
.54,15.24,12.55,15.3,12.56,15.36,12.57,15.42,12.58,15
.48,12.59,15.54,12.6,15.6,12.61,15.66,12.62,15.72,12.63,
15.78,12.64,15.84,12.65,15.9,12.66,15.96,12.67,16.02,12
.68,16.08,12.69,16.14,12.7,16.2,12.71,16.26,12.72,16.3
2,12.73,16.38,12.74,16.44,12.75,16.5,12.76,16.56,12.77,
16.62,12.78,16.68,12.79,16.74,12.8,16.8,12.81,16.86,12
.82,16.92,12.83,16.98,12.84,17.04,12.85,17.1,12.86,17.1
6,12.87,17.22,12.88,17.28,12.89,17.34,12.9,17.4,12.91,1
7.46,12.92,17.52,12.93,17.58,12.94,17.64,12.95,17.7,12
.96,17.76,12.97,17.82,12.98,17.88,12.99,17.94,13,18,13
.01,18.06,13.02,18.12,13.03,18.18,13.04,18.24,13.05,18.3
,13.06,18.36,13.07,18.42,13.08,18.48,13.09,18.54,13.1,1
8.6,13.11,18.66,13.12,18.72,13.13,18.78,13.14,18.84,3.

```

15,18.9,3.16,18.96,3.17,19.02,3.18,19.08,3.19,19.1
4,3.2,19.2,3.21,19.26,3.22,19.32,3.23,19.38,3.24,1
9.44,3.25,19.5,3.26,19.56,3.27,19.62,3.28,19.68,3.
29,19.74,3.3,19.8,3.31,19.86,3.32,19.92,3.33,19.98
,3.34,20.04,3.35,20.1,3.36,20.16,3.37,20.22,3.38,2
0.28,3.39,20.34,3.4,20.4,3.41,20.46,3.42,20.52,3.4
3,20.58,3.44,20.64,3.45,20.7,3.46,20.76,3.47,20.82
,3.48,20.88,3.49,20.94,3.5,21,3.51,21.06,3.52,21.1
2,3.53,21.18,3.54,21.24,3.55,21.3,3.56,21.36,3.57,
21.42,3.58,21.48,3.59,21.54,3.6,21.6,3.61,21.66,3.
62,21.72,3.63,21.78,3.64,21.84,3.65,21.9,3.66,21.9
6,3.67,22.02,3.68,22.08,3.69,22.14,3.7,22.2,3.71,2
2.26,3.72,22.32,3.73,22.38,3.74,22.44,3.75,22.5,3.
76,22.56,3.77,22.62,3.78,22.68,3.79,22.74,3.8,22.8
,3.81,22.86,3.82,22.92,3.83,22.98,3.84,23.04,3.85,
23.1,3.86,23.16,3.87,23.22,3.88,23.28,3.89,23.34,3
.9,23.4,3.91,23.46,3.92,23.52,3.93,23.58,3.94,23.6
4,3.95,23.7,3.96,23.76,3.97,23.82,3.98,23.88,3.99,
23.94,4.24,4.01,24.06,4.02,24.12,4.03,24.18,4.04,2
4.24,4.05,24.3,4.06,24.36,4.07,24.42,4.08,24.48,4.
09,24.54,4.1,24.6,4.11,24.66,4.12,24.72,4.13,24.78
,4.14,24.84,4.15,24.9,4.16,24.96,4.17,25.02,4.18,2
5.08,4.19,25.14,4.2,25.2,4.21,25.26,4.22,25.32,4.2
3,25.38,4.24,25.44,4.25,25.5,4.26,25.56,4.27,25.62
,4.28,25.68,4.29,25.74,4.3,25.8,4.31,25.86,4.32,25.
92,4.33,25.98,4.34,26.04,4.35,26.1,4.36,26.16,4.37
,26.22,4.38,26.28,4.39,26.34,4.4,26.4,4.41,26.46,4.
42,26.52,4.43,26.58,4.44,26.64,4.45,26.7,4.46,26.7
6,4.47,26.82,4.48,26.88,4.49,26.94,4.5,27,4.51,27.
06,4.52,27.12,4.53,27.18,4.54,27.24,4.55,27.3,4.56
,27.36,4.57,27.42,4.58,27.48,4.59,27.54,4.6,27.6,4.
61,27.66,4.62,27.72,4.63,27.78,4.64,27.84,4.65,27.
9,4.66,27.96,4.67,28.02,4.68,28.08,4.69,28.14,4.7,
28.2,4.71,28.26,4.72,28.32,4.73,28.38,4.74,28.44,4
.75,28.5,4.76,28.56,4.77,28.62,4.78,28.68,4.79,28.
74,4.8,28.8,4.81,28.86,4.82,28.92,4.83,28.98,4.84,
29.04,4.85,29.1,4.86,29.16,4.87,29.22,4.88,29.28,4
.89,29.34,4.9,29.4,4.91,29.46,4.92,29.52,4.93,29.5
8,4.94,29.64,4.95,29.7,4.96,29.76,4.97,29.82,4.98,
29.88,4.99,29.94,5.0,5.01,30.06,5.02,30.12,5.03,3
0.18,5.04,30.24,5.05,30.3,5.06,30.36,5.07,30.42,5.
08,30.48,5.09,30.54,5.1,30.6,5.11,30.66,5.12,30.72
,5.13,30.78,5.14,30.84,5.15,30.9,5.16,30.96,5.17,3
1.02,5.18,31.08,5.19,31.14,5.2,31.2,5.21,31.26,5.2
2,31.32,5.23,31.38,5.24,31.44,5.25,31.5,5.26,31.56
,5.27,31.62,5.28,31.68,5.29,31.74,5.3,31.8,5.31,31.
86,5.32,31.92,5.33,31.98,5.34,32.04,5.35,32.1,5.36
,32.16,5.37,32.22,5.38,32.28,5.39,32.34,5.4,32.4,5.
41,32.46,5.42,32.52,5.43,32.58,5.44,32.64,5.45,32.
7,5.46,32.76,5.47,32.82,5.48,32.88,5.49,32.94,5.5,
33,5.51,33.06,5.52,33.12,5.53,33.18,5.54,33.24,5.5
5,33.3,5.56,33.36,5.57,33.42,5.58,33.48,5.59,33.54
,5.6,33.6,5.61,33.66,5.62,33.72,5.63,33.78,5.64,33.
84,5.65,33.9,5.66,33.96,5.67,34.02,5.68,34.08,5.69
,34.14,5.7,34.2,5.71,34.26,5.72,34.32,5.73,34.38,5.
74,34.44,5.75,34.5,5.76,34.56,5.77,34.62,5.78,34.6
8,5.79,34.74,5.8,34.8,5.81,34.86,5.82,34.92,5.83,3
4.98,5.84,35.04,5.85,35.1,5.86,35.16,5.87,35.22,5.
88,35.28,5.89,35.34,5.9,35.4,5.91,35.46,5.92,35.52
,5.93,35.58,5.94,35.64,5.95,35.7,5.96,35.76,5.97,3
5.82,5.98,35.88,5.99,35.94,6.0,6.01,36.06,6.02,36
.12,6.03,36.18,6.04,36.24,6.05,36.3,6.06,36.36,6.0
7,36.42,6.08,36.48,6.09,36.54,6.1,36.6,6.11,36.66,
6.12,36.72,6.13,36.78,6.14,36.84,6.15,36.9,6.16,36
.96,6.17,37.02,6.18,37.08,6.19,37.14,6.2,37.2,6.21,
37.26,6.22,37.32,6.23,37.38,6.24,37.44,6.25,37.5,6

.26,37.56,6.27,37.62,6.28,37.68,6.29,37.74,6.3,37.
8,6.31,37.86,6.32,37.92,6.33,37.98,6.34,38.04,6.35
,38.1,6.36,38.16,6.37,38.22,6.38,38.28,6.39,38.34,
6.4,38.4,6.41,38.46,6.42,38.52,6.43,38.58,6.44,38.
64,6.45,38.7,6.46,38.76,6.47,38.82,6.48,38.88,6.49
,38.94,6.5,39.6,51,39.06,6.52,39.12,6.53,39.18,6.5
4,39.24,6.55,39.3,6.56,39.36,6.57,39.42,6.58,39.48
,6.59,39.54,6.6,39.6,6.61,39.66,6.62,39.72,6.63,39.
78,6.64,39.84,6.65,39.9,6.66,39.96,6.67,40.02,6.68
,40.08,6.69,40.14,6.7,40.2,6.71,40.26,6.72,40.32,6.
73,40.38,6.74,40.44,6.75,40.5,6.76,40.56,6.77,40.6
2,6.78,40.68,6.79,40.74,6.8,40.8,6.81,40.86,6.82,4
0.92,6.83,40.98,6.84,41.04,6.85,41.1,6.86,41.16,6.
87,41.22,6.88,41.28,6.89,41.34,6.9,41.4,6.91,41.46
,6.92,41.52,6.93,41.58,6.94,41.64,6.95,41.7,6.96,4
1.76,6.97,41.82,6.98,41.88,6.99,41.94,7.0,7.01,42
.06,7.02,42.12,7.03,42.18,7.04,42.24,7.05,42.3,7.0
6,42.36,7.07,42.42,7.08,42.48,7.09,42.54,7.1,42.6,
7.11,42.66,7.12,42.72,7.13,42.78,7.14,42.84,7.15,4
2.9,7.16,42.96,7.17,43.02,7.18,43.08,7.19,43.14,7.
2,43.2,7.21,43.26,7.22,43.32,7.23,43.38,7.24,43.44
,7.25,43.5,7.26,43.56,7.27,43.62,7.28,43.68,7.29,4
3.74,7.3,43.8,7.31,43.86,7.32,43.92,7.33,43.98,7.3
4,44.04,7.35,44.1,7.36,44.16,7.37,44.22,7.38,44.28
,7.39,44.34,7.4,44.4,7.41,44.46,7.42,44.52,7.43,44.
58,7.44,44.64,7.45,44.7,7.46,44.76,7.47,44.82,7.48
,44.88,7.49,44.94,7.5,45,7.51,45.06,7.52,45.12,7.5
3,45.18,7.54,45.24,7.55,45.3,7.56,45.36,7.57,45.42
,7.58,45.48,7.59,45.54,7.6,45.6,7.61,45.66,7.62,45.
72,7.63,45.78,7.64,45.84,7.65,45.9,7.66,45.96,7.67
,46.02,7.68,46.08,7.69,46.14,7.7,46.2,7.71,46.26,7.
72,46.32,7.73,46.38,7.74,46.44,7.75,46.5,7.76,46.5
6,7.77,46.62,7.78,46.68,7.79,46.74,7.8,46.8,7.81,4
6.86,7.82,46.92,7.83,46.98,7.84,47.04,7.85,47.1,7.
86,47.16,7.87,47.22,7.88,47.28,7.89,47.34,7.9,47.4
,7.91,47.46,7.92,47.52,7.93,47.58,7.94,47.64,7.95,
47.7,7.96,47.76,7.97,47.82,7.98,47.88,7.99,47.94,8
,48.01,48.06,8.02,48.12,8.03,48.18,8.04,48.24,8.
05,48.3,8.06,48.36,8.07,48.42,8.08,48.48,8.09,48.5
4,8.1,48.6,8.11,48.66,8.12,48.72,8.13,48.78,8.14,4
8.84,8.15,48.9,8.16,48.96,8.17,49.02,8.18,49.08,8.
19,49.14,8.2,49.2,8.21,49.26,8.22,49.32,8.23,49.38
,8.24,49.44,8.25,49.5,8.26,49.56,8.27,49.62,8.28,4
9.68,8.29,49.74,8.3,49.8,8.31,49.86,8.32,49.92,8.3
3,49.98,8.34,50.04,8.35,50.1,8.36,50.16,8.37,50.22
,8.38,50.28,8.39,50.34,8.4,50.4,8.41,50.46,8.42,50.
52,8.43,50.58,8.44,50.64,8.45,50.7,8.46,50.76,8.47
,50.82,8.48,50.88,8.49,50.94,8.5,51,8.51,51.06,8.5
2,51.12,8.53,51.18,8.54,51.24,8.55,51.3,8.56,51.36
,8.57,51.42,8.58,51.48,8.59,51.54,8.6,51.6,8.61,51.
66,8.62,51.72,8.63,51.78,8.64,51.84,8.65,51.9,8.66
,51.96,8.67,52.02,8.68,52.08,8.69,52.14,8.7,52.2,8.
71,52.26,8.72,52.32,8.73,52.38,8.74,52.44,8.75,52.
5,8.76,52.56,8.77,52.62,8.78,52.68,8.79,52.74,8.8,
52.8,8.81,52.86,8.82,52.92,8.83,52.98,8.84,53.04,8
.85,53.1,8.86,53.16,8.87,53.22,8.88,53.28,8.89,53.
34,8.9,53.4,8.91,53.46,8.92,53.52,8.93,53.58,8.94,
53.64,8.95,53.7,8.96,53.76,8.97,53.82,8.98,53.88,8
.99,53.94,9.01,54.06,9.02,54.12,9.03,54.18,9.
04,54.24,9.05,54.3,9.06,54.36,9.07,54.42,9.08,54.4
8,9.09,54.54,9.1,54.6,9.11,54.66,9.12,54.72,9.13,5
4.78,9.14,54.84,9.15,54.9,9.16,54.96,9.17,55.02,9.
18,55.08,9.19,55.14,9.2,55.2,9.21,55.26,9.22,55.32,
9.23,55.38,9.24,55.44,9.25,55.5,9.26,55.56,9.27,5
5.62,9.28,55.68,9.29,55.74,9.3,55.8,9.31,55.86,9.3
2,55.92,9.33,55.98,9.34,56.04,9.35,56.1,9.36,56.16


```

END ,19.64,1.32,23,1.335,21.6,1.35,18.57,1.365,21.19,1
.38,22.81,1.395,21.19,1.41,22.84,1.425,21.74,1.44,
18.74,1.455,19.99,1.47,21.72,1.485,19.79,1.5,19.8
4,1.515,20.1,1.53,20.98,1.545,20.63,1.56,20.85,1.5
75,21.2,1.59,19.83,1.605,20.67,1.62,23.15,1.635,2
2.06,1.65,22.62,1.665,24.04,1.68,21.52,1.695,23.9
8,1.71,26.4,1.725,25.42,1.74,24.6,1.755,24.5,1.77,
24.59,1.785,25.06,1.8,25.48,1.815,26.95,1.83,27.7
6,1.845,27.43,1.86,26.99,1.875,27.32,1.89,27.12,1.
905,26.6,1.92,25.8,1.935,25.77,1.95,25.16,1.965,2
5.79,1.98,25.63,1.995,27.06,2.01,26.87,2.025,27.2
6,2.04,26.42,2.055,28.72,2.07,28.18,2.085,26.45,2.
1,27.88,2.115,25.47,2.13,25.66,2.145,28.89,2.16,2
7.24,2.175,27.02,2.19,28.17,2.205,26.15,2.22,28.4,
2.235,29.59,2.25,25.37,2.265,26.97,2.28,22.68,2.2
95,26.39,2.31,28.85,2.325,24.57,2.34,27.68,2.355,
25.78,2.37,22.27,2.385,29.2,2.4,27.16,2.415,24.77,
2.43,28.55,2.445,25.09,2.46,26.45,2.475,31.56,2.4
9,29.66,2.505,32.79,2.52,30.87,2.535,31.68,2.55,3
6.15,2.565,34.41,2.58,35.01,2.595,35.88,2.61,34.4
7,2.625,37.77,2.64,38.58,2.655,36.57,2.67,37.92,2.
685,37.41,2.7,38.4,2.715,40.98,2.73,39.72,2.745,3
9.57,2.76,39.87,2.775,37.98,2.79,39.78,2.805,38.5
5,2.82,37.92,2.835,38.85,2.85,37.26,2.865,38.55,2.
88,39.54,2.895,38.61,2.91,39.69,2.925,37.92,2.94,
37.47,2.955,39.51,2.97,38.52,2.985,36.96,3,38.13,
3.015,36.48,3.03,37.59,3.045,38.64,3.06,35.7,3.07
5,35.85,3.09,37.62,3.105,36.18,3.12,36.24,3.135,3
4.23,3.15,30.87,3.165,34.44,3.18,34.74,3.195,33.8
1,3.21,33.21,3.225,29.83,3.24,32.1,3.255,31.41,3.2
7,30.78,3.285,32.61,3.3,31.02,3.315,30.72,3.33,32.
94,3.345,30.51,3.36,30.3,3.375,32.67,3.39,30.03,3.
405,31.26,3.42,32.01,3.435,28.79,3.45,30.72,3.465
,29.95,3.48,29,3.495,29.82,3.51,30.75,3.525,30.12,
3.54,27.68,3.555,29.4,3.57,30.39,3.585,30.42,3.6,3
1.08,3.615,29.03,3.63,29.07,3.645,31.02,3.66,31.5,
3.675,30.57,3.69,29.94,3.705,27.82,3.72,29.3,3.73
5,29.88,3.75,30.96,3.765,31.17,3.78,33.36,3.795,3
2.1,3.81,32.58,3.825,34.47,3.84,32.28,3.855,30.24,
3.87,33.42,3.885,32.01,3.9,31.47,3.915,32.88,3.93,
31.02,3.945,31.32,3.96,33.57,3.975,31.59,3.99,33.
12,4.005,31.5,4.02,29.49,4.035,30.87,4.05,29.75,4.
065,29.49,4.08,31.05,4.095,28.95,4.11,29.19,4.125
,29.83,4.14,27.92,4.155,30.9,4.17,32.58,4.185,27.6
6,4.2,28,4.215,29.04,4.23,30.21,4.245,31.74,4.26,2
9.23,4.275,31.44,4.29,33.12,4.305,31.17,4.32,31.7
7,4.335,30.99,4.35,28.58,4.365,28.1,4.38,29.83,4.3
95,30.54,4.41,32.01,4.425,28.56,4.44,27.6,4.455,3
1.05,4.47,33.39,4.485,32.91,4.5,28.13,4.515,27.78,
4.53,27.48,4.545,29.47,4.56,30.3,4.575,26.9,4.59,2
5.37,4.605,27.3,4.62,28.59,4.635,31.08,4.65,31.32,
4.665,27.39,4.68,28.15,4.695,31.53,4.71,33.39,4.7
25,35.1,4.74,34.38,4.755,32.88,4.77,34.32,4.785,3
4.65,4.8,36.21,4.815,35.94,4.83,33.75,4.845,34.71,
4.86,35.79,4.875,37.17,4.89,39.66,4.905,39.27,4.9
2,37.89,4.935,39.15,4.95,38.94,4.965,39.24,4.98,4
0.65,4.995,38.49,5.01,36.57,5.025,36.48,5.04,38.4
9,5.055,39.36,5.07,38.46,5.085,37.77,5.1,36.03,5.1
15,35.85,5.13,37.95,5.145,37.29,5.16,35.49,5.175,
35.22,5.19,34.14,5.205,34.98,5.22,36.48,5.235,35.
1,5.25,33.24,5.265,32.82,5.28,35.07,5.295,35.94,5.
31,37.41,5.325,38.31,5.34,36.84,5.355,38.13,5.37,
41.58,5.385,41.28,5.4,41.61,5.415,41.97,5.43,40.0
5,5.445,40.32,5.46,42.3,5.475,42.03,5.49,42.42,5.5
05,41.55,5.52,41.55,5.535,42.93,5.55,42.99,5.565,
43.38,5.58,43.26,5.595,41.31,5.61,41.22,5.625,42.

```

```

69,5.64,41.94,5.655,42.42,5.67,41.85,5.685,40.26, 75,9.885,18.19,9.9,12.32,9.915,16.22,9.93,21.38,9.
5.7,41.1,5.715,41.91,5.73,40.83,5.745,41.43,5.76,4 945,24.77,9.96,23.72,9.975,17.22,9.99,11.06
2.03,5.775,43.35,5.79,43.23,5.805,43.92,5.82,43.9
Extend Max = On
5,5.835,42.3,5.85,43.59,5.865,45.3,5.88,45.33,5.89
Extend Min = On
5,46.26,5.91,45.51,5.925,43.65,5.94,44.85,5.955,4
Option = One Dimensional
6.08,5.97,44.76,5.985,44.88,6.42,18.6,0.15,41.88,6.
END
03,41.94,6.045,42.06,6.06,42.36,6.075,40.65,6.09,
END
40.74,6.105,42.18,6.12,41.13,6.135,41.61,6.15,40.
END
95,6.165,39.45,6.18,40.98,6.195,42.18,6.21,41.16,
END
6.225,41.49,6.24,40.41,6.255,39.96,6.27,42.24,6.2
85,40.35,6.3,41.16,6.315,40.38,6.33,38.13,6.345,4
LIBRARY:
1.1,6.36,41.67,6.375,39.84,6.39,40.95,6.405,40.23,
MATERIAL:Air at 25 C
6.42,38.37,6.435,41.01,6.45,39.72,6.465,38.46,6.4
PROPERTIES:
8,41.16,6.495,41.04,6.51,40.86,6.525,41.19,6.54,4
DYNAMIC VISCOSITY:
0.89,6.555,40.77,6.57,40.95,6.585,40.17,6.6,38.91,
Dynamic Viscosity = 1.831E-05 [kg m^-1 s^-
6.615,38.73,6.63,39.66,6.645,39.54,6.66,38.7,6.67
1]
5,37.98,6.69,38.64,6.705,39.93,6.72,41.1,6.735,40.
Option = Value
11.6,75,38.52,6.765,40.53,6.78,40.65,6.795,41.91,
END
6.81,43.56,6.825,42.93,6.84,42.96,6.855,44.58,6.8
END
7,44.64,6.885,44.28,6.9,43.89,6.915,41.79,6.93,42.
END
27,6.945,43.32,6.96,42.75,6.975,42.21,6.99,41.28,
END
7.005,41.85,7.02,42.27,7.035,41.91,7.05,41.22,7.0
LIBRARY:
65,39.03,7.08,38.37,7.095,39.51,7.11,39.81,7.125,
MATERIAL:Air at 25 C
38.43,7.14,37.62,7.155,37.86,7.17,38.28,7.185,37.
PROPERTIES:
89,7.2,36.39,7.215,35.28,7.23,36.06,7.245,37.14,7.
EQUATION OF STATE:
26,38.94,7.275,37.17,7.29,37.68,7.305,38.55,7.32,
Density = 1.185 [kg m^-3]
36.54,7.335,36.99,7.35,37.02,7.365,34.68,7.38,35.
Molar Mass = 28.96 [kg kmol^-1]
43,7.395,36.33,7.41,34.2,7.425,34.98,7.44,35.82,7.
Option = Value
455,35.34,7.47,38.04,7.485,38.4,7.5,37.56,7.515,3
END
7.08,7.53,37.62,7.545,39.36,7.56,40.11,7.575,39.4
END
2,7.59,39.81,7.605,41.13,7.62,42.57,7.635,43.2,7.6
END
5,42.87,7.665,42.45,7.68,43.02,7.695,44.43,7.71,4
END
4.1,7.725,43.56,7.74,43.47,7.755,44.13,7.77,44.34,
LIBRARY:
7.785,42.72,7.8,43.29,7.815,41.25,7.83,39.09,7.84
MATERIAL:Air at 25 C
5,40.98,7.86,39.36,7.875,37.11,7.89,39.24,7.905,3
PROPERTIES:
8.4,7.92,37.56,7.935,40.02,7.95,38.16,7.965,37.14,
EQUATION OF STATE:
7.98,39.24,7.995,37.02,8.01,36.6,8.025,35.91,8.04,
Density = 1.185 [kg m^-3]
34.92,8.055,35.58,8.07,35.85,8.085,35.64,8.1,35.1
Molar Mass = 28.96 [kg kmol^-1]
3,8.115,34.92,8.13,35.79,8.145,36.72,8.16,36.15,8.
Option = Value
175,35.79,8.19,36.09,8.205,36.69,8.22,37.95,8.235
END
37.47,8.25,33.9,8.265,35.19,8.28,32.64,8.295,33.5
LIBRARY:
7,8.31,35.4,8.325,31.86,8.34,32.82,8.355,34.92,8.3
MATERIAL:Air at 25 C
7,32.31,8.385,33.69,8.4,33.51,8.415,29.57,8.43,31.
PROPERTIES:
23,8.445,31.29,8.46,27.29,8.475,28.83,8.49,27.72,
EQUATION OF STATE:
8.505,28.32,8.52,29.11,8.535,27.81,8.55,27.47,8.5
Density = 1.185 [kg m^-3]
65,26.25,8.58,25.2,8.595,26.33,8.61,26.76,8.625,2
Molar Mass = 28.96 [kg kmol^-1]
6.04,8.64,24.46,8.655,21.21,8.67,22.64,8.685,25.6
Option = Value
3,8.7,24.57,8.715,22.42,8.73,19.33,8.745,18.65,8.7
LIBRARY:
6,22.6,8.775,20.2,8.79,16.46,8.805,17.7,8.82,21.1,
MATERIAL:Air at 25 C
8.835,22.6,8.85,23.42,8.865,22.04,8.88,20.69,8.89
PROPERTIES:
5,21.34,8.91,22.18,8.925,22.97,8.94,24.12,8.955,2
EQUATION OF STATE:
2.93,8.97,22.21,8.985,25.22,9.29,43,9.015,28.94,9.
Density = 1.185 [kg m^-3]
03,29.56,9.045,29.02,9.06,27.78,9.075,28.28,9.09,
Molar Mass = 28.96 [kg kmol^-1]
29.71,9.105,29.2,9.12,28.94,9.135,27.4,9.15,26.23,
Option = Value
9.165,28.16,9.18,29.75,9.195,27.46,9.21,24.62,9.2
LIBRARY:
25,22.41,9.24,22.56,9.255,22.63,9.27,23.35,9.285,
MATERIAL:Air at 25 C
24.02,9.3,18.01,9.315,16.2,9.33,19.98,9.345,17.05,
PROPERTIES:
9.36,17.84,9.375,18.71,9.39,11.06,9.405,11.78,9.4
EQUATION OF STATE:
2,17.98,9.435,15.02,9.45,16.61,9.465,16.87,9.48,1
Density = 1.185 [kg m^-3]
1.89,9.495,16.59,9.51,18.88,9.525,20.95,9.54,19.7
Molar Mass = 28.96 [kg kmol^-1]
2,9.555,14.83,9.57,14.21,9.585,12.71,9.6,15.5,9.61
Option = Value
5,16.82,9.63,14.74,9.645,9.147,9.66,7.446,9.675,9.
LIBRARY:
066,9.69,14.28,9.705,14.97,9.72,12.13,9.735,5.328
MATERIAL:Air at 25 C
9.75,4.977,9.765,10.38,9.78,16.9,9.795,11.39,9.81
PROPERTIES:
9.885,9.825,9.417,9.84,9.822,9.855,17.81,9.87,21.
EQUATION OF STATE:

```