

CERCETĂRI PRELIMINARE ÎN MEDIUL ANSYS CFX-5 ALE PARAMETRILOR FUNCȚIONALI AI ROTORULUI EOLIAN ELICOIDAL

R. Ciupercă

Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

Utilizarea modelării computerizate a interacțiunii sistemului solid cu mediul fluid, a început în anii 80 ai secolului trecut, odată cu dezvoltarea performanțelor calculatoarelor. Acest tip de modelare/simulare a primit pe bună dreptate denumirea de Computational Fluid Dynamics (CFD).

CFD-ul este un instrument în baza unui cod (program, soft) computerizat care folosește potențialul de calcul al calculatoarelor moderne pentru simularea comportării unui sistem aflat într-un mediu fluid și descrierea proceselor fizice ce au loc în urma acestei interacțiuni.

La baza elaborării codurilor CFD se află aparatul de ecuații matematice, care descriu procesele de transfer al căldurii, maselor de fluid și momentelor – ecuațiile Navier-Stokes pentru mediul fluid [1, 2, 3, 4]. În anii 70 ai secolului trecut au fost propuse algoritme pentru generalizarea acestor ecuații complexe, iar odată cu apariția calculatoarelor s-a început dezvoltarea codurilor CFD care rezolvă aceste ecuații folosind performanțele tehnicii de calcul.

Este important de menționat faptul că utilizarea codurilor CFD ajută la elaborarea unui produs cu minim cheltuieli în timp relativ scurt. Aceasta este posibil în urma simulării proceselor la scară reală cu posibilitatea varierii parametrilor funcționali ai sistemului cercetat.

1. PREZENTAREA GENERALĂ A CALCULULUI CFD

Codurile CFD la început de dezvoltare erau utilizate exclusiv în scopuri de cercetare. Odată cu apariția calculatoarelor personale și mărirea performanțelor acestora pe piață au apărut coduri comerciale CFD. Printre cele mai răspândite coduri CFD pot fi menționate: FLOW3D, PHOENICS, ANSYS CFX-5, FIRE, FLUENT, StarCD, CFdesign, etc. Majoritatea codurilor de acest gen sunt universale și utilizate de ingineri pentru analiza

și rezolvarea unei game largi de probleme în sectorul industrial. Aplicațiile tipice includ:

- *Industria de prelucrare* – malaxoare, reactoare chimice;
- *Construcție* – ventilarea/condiționarea încăperilor și clădirilor, evaluarea rezistenței edificiilor și construcțiilor în rezultatul acțiunii vântului;
- *Sănătate și siguranță* – investigarea efectului focului și emisiilor acestuia;
- *Industria constructoare de automobile* – modelarea procesului de ardere, aerodinamica automobilelor;
- *Electronică* – transferul de căldură în circuitele electronice;
- *Mediul ambiant* – dispersia și poluarea în aer și apă;
- *Putere și energie* – optimizarea proceselor de combustie, optimizarea procesului de conversie a energiei;
- *Medicină* – circulația sângelui.

Procesul de modelare CFD a îmbunătățirii performanței unui sistem poate fi divizat în patru componente de bază:



Geometria/Mech

Acest proces interactiv este primul din etapa de pre-procesare. Obiectivul acestei etape este crearea elementelor finite pentru definirea fizică a procesului cercetat. Evident că pentru crearea elementelor finite este nevoie de elaborat geometria 2D/3D a elementului cercetat (în cazul de față este vorba despre organul de lucru al rotorului eolian elicoidal). Crearea geometriei 3D poate fi elaborată în diverse medii de proiectare CAD (Computational Aided Design). Majoritatea codurilor comerciale CFD nu dispun de medii de proiectare personale CAD a geometriei, în schimb pot importa geometria 2D/3D din majoritatea mediilor cunoscute de proiectare CAD. Mai complicat este cu partea creării elementelor finite (Mesh). Practic toate codurile CFD comerciale, recunoscute pe plan mondial în domeniu, dispun de modulul Mesh, dar

în aceeași măsură pot importa elementele finite create în alte medii. Aceasta este legat de faptul că de calitatea elementului finit depinde direct proporțional rezultatele calculului și respectiv veridicitatea simulării. În general, pașii de bază pentru soluționarea acestei părți sunt:

- definirea geometriei cu zonele de interes;
- crearea regiunilor mediului, regiunilor solidului și definirea suprafețelor de frontieră;
- setarea proprietăților pentru crearea elementelor finite.

Definirea fizică

Procesul dat, de asemeni interactiv și al doilea în etapa de pre-procesare, este destinat pentru stabilirea datelor inițiale pentru modulul de rezolvare (Solver). În acest modul primul pas este importarea fișierului Mesh creat anterior, după care se specifică mediul de lucru și se stabilesc condițiile de limită.

Rezolvarea

Această etapă, poate cea mai importantă, este în majoritatea cazurilor automatizată și fără intervenția cercetătorului. Modulul dat, de obicei se numește – Solver (soluționare), este destinat în general pentru rezolvarea ecuațiilor de bază (ecuațiile Navier-Stokes) care descriu procesul, în dependență de modelul de turbulență ales și condițiile de limită setate în modulul anterior. Procesul de soluționare al setului de ecuații poate fi de lungă durată în dependență de complexitatea problemei, preciziei de calcul, etc.

Rezultatele calculului sunt depozitate într-un fișier aparte sau transmise direct modulului de post-procesare.

Post-procesare

Etapa de post-procesare este destinată în general pentru analiză, vizualizarea proceselor de simulare și prezentarea interactivă a rezultatelor cercetării. De asemeni în acest modul există posibilitatea animării proceselor de interacțiune. Exemple din cele mai esențiale posibilități ale post-procesorului:

- Vizualizarea geometriei și a volumului de control;
- Prezentarea direcției și mărimii vectorilor fluidului;
- Vizualizarea varierii variabilelor scalare (temperatura, viteza, presiunea) în cadrul domeniului;
- Calculul cantitativ numeric;
- Animație;
- Prezentarea graficelor dependențelor variabilelor;

De obicei, în prezentările și rapoartele științifice pe marginea cercetărilor CFD sunt aduse practic

numai rezultate primite la etapa de post-procesare și tot efortul etapelor anterioare sunt îndreptate pentru a primi rezultate cât mai reale a interacțiunii sistemului dat cu mediul fluid.

2. ELABORAREA MODELULUI 3D COMPUTERIZAT AL ROTORULUI EOLIAN ELICOIDAL

Modelul computerizat 3D reprezintă de sine proiectarea spațială a obiectului studiat, cu respectarea dimensiunilor, formelor suprafețelor etc., sau mai bine zis, modelul dinamic este o reprezentare reală a obiectului studiat proiectat la calculator într-un anumit mediu specializat de proiectare CAD.

Modelul matematic al rotorului eolian elicoidal elaborat anterior [5, 6, 7], permite determinarea parametrilor cinetostatici și energetici de bază. Pentru aceasta a fost luat sistemul ecuațiilor de mișcare a fluidului ideal incompresibil și izoentropic, care descrie mișcarea fluidului în jurul rotorului cu exactitate destul de înaltă: *ecuația continuității, ecuația impulsului, ecuația energiei*.

Soluțiile acestor ecuații satisfac condițiile de limită pe elicele rotorului turbinei și la distanțe mari în domenii neperturbate ale fluidului. Stabilirea acestor condiții în caz general prezintă anumite dificultăți legate de forma constructivă și regimurile de funcționare a turbinei elicoidale. De aceea s-a recurs la definirea lor pentru anumite condiții optime de funcționare, pentru care erau cunoscute valorile vitezelor în flux ale rotorului și ale vitezei induse în pala elicei. Astfel prin integrarea sistemului dat de ecuații (transcrise pentru turbina elicoidală examinată) s-a efectuat calculul direct al caracteristicilor aerodinamice.

În baza rezultatelor obținute, a fost elaborat modelul computerizat al rotorului eolian elicoidal cu 4 începuturi și profil aerodinamic al paletelor în secțiune normală, care ulterior a fost simulată și cercetată în mediu CFD, la varierea diferitor parametri funcționali. Preliminar, pentru o analiză mai evidentă, în corespundere cu figura 1, au fost elaborate două modele computerizate ale rotorului eolian elicoidal: a) cu profil constant și miez constant pe direcția axială a rotorului (modelul de bază); b) cu profil variabil și miez constant pe direcția axială.

Aceste modele computerizate 3D au fost elaborate în mediul SolidWorks. Mediul dat de proiectare este un program parametric, fapt care permite modificarea dimensiunilor și respectiv geometria obiectului de studiu cu minimum efort și

maximă operativitate. Facilitatea dată este foarte importantă la etapa inițială de pregătire a geometriei sistemului studiat.

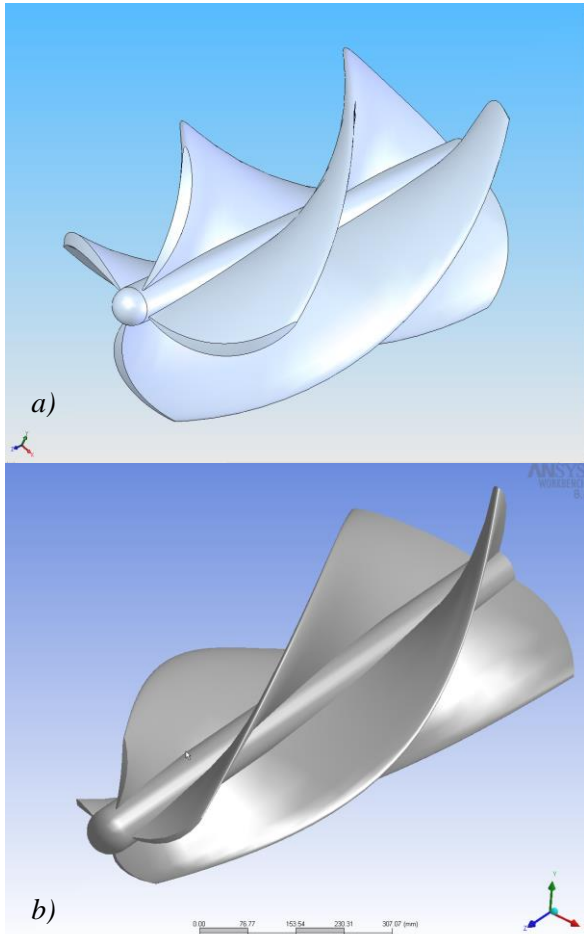


Figura 1. Modelul computerizat 3D al rotorului eolian elicoidal:

- a) – cu profil constant și miez constant pe direcția axială a rotorului; b) cu profil variabil și miez constant pe direcția axială.

3. CALCULUL PRELIMINAR CFD AL ROTORULUI EOLIAN ELICOIDAL

În scopul cercetării interacțiunii unui sistemului (în particular – rotorul turbinei eoliene) cu mediul fluid (aerul) și pentru optimizarea parametrilor funcționali ai sistemului cercetat, s-a utilizat codul de simulare CFD: **ANSYS CFX-5.7**.

ANSYS CFX-5.7 în general este un CFD cod care combină un solver performant și capacități largi ale pre- și post-procesorului. Performanța superioară a mediului CFX-5 nu este bazată doar pe un singur produs dar, este o combinație justă a tehnologiilor de vârf integrate în toate modulele ce intră în componența sa. Această performanță se atinge în rezultatul combinației:

- Tehnologiei înalte de îmbinare a soluționării elementelor finite;
- Flexibilității avansate în crearea elementelor finite;
- Soluționării paralele eficiente;
- Capacității excelente a pre- și post-procesorului.

De asemenea CFX-5 propune soluționare problemei în mod interactiv pas cu pas și exemple soluționate cu explicații. Opțiunile date sunt foarte importante la începutul studierii acestui pachet CFD.

CFX-5 consistă din cinci module separate care sunt verigi importante în lanțul soluționării CFD:

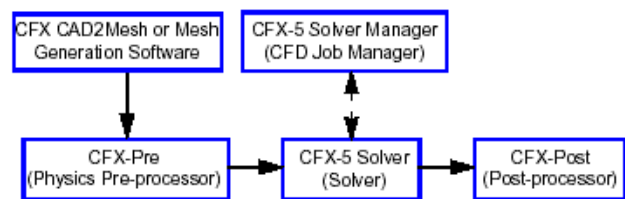


Figura 2. Structura mediului CFX-5.

- Cad2Mech – pentru elaborarea geometriei și rețelei de elemente finite (Mesh);
- CFX-Pre – modulul de definire a condițiilor de limită și valorilor inițiale;
- CFX-5 Solver Manager – modulul de gestionare a procesului de soluționare (procesare paralelă, start/stop CFX-Solver, monitorul de progresare a soluționării, etc.)
- CFX-5 Solver – modul de soluționare a problemei specificate în CFX-Pre;
- CFX-Post – modul de analiză și prezentare a rezultatelor simulării.

Mediul CFX-5 este capabil pentru modelarea:

- fluidului în stare uniformă și temporară;
- regimului de curgere laminar și turbulent;
- diapazonului de curgere a fluidului: subsonic, transonic și supersonic;
- transferului de căldură radiației termale;
- flotației;
- fluidelor non-Newtoniene;
- fluidelor multifazice;
- arderii;
- fluidului în multiple cadre de referință;
- efectului de cavitație.

Scopul simulării date ale modelelor rotorului eolian elicoidal, prezentate mai sus, este cercetarea interacțiunii lor cu mediul fluid, care ne va permite să alegem varianta optimă pentru studiul de mai departe și dezvoltarea acestuia.

În continuare, în corespundere cu figurile de mai jos, sunt prezentate rezultatele simulării ambelor variante ale conceptului de rotor eolian elicoidal în succesiunea dezvoltării etapei de simulare.

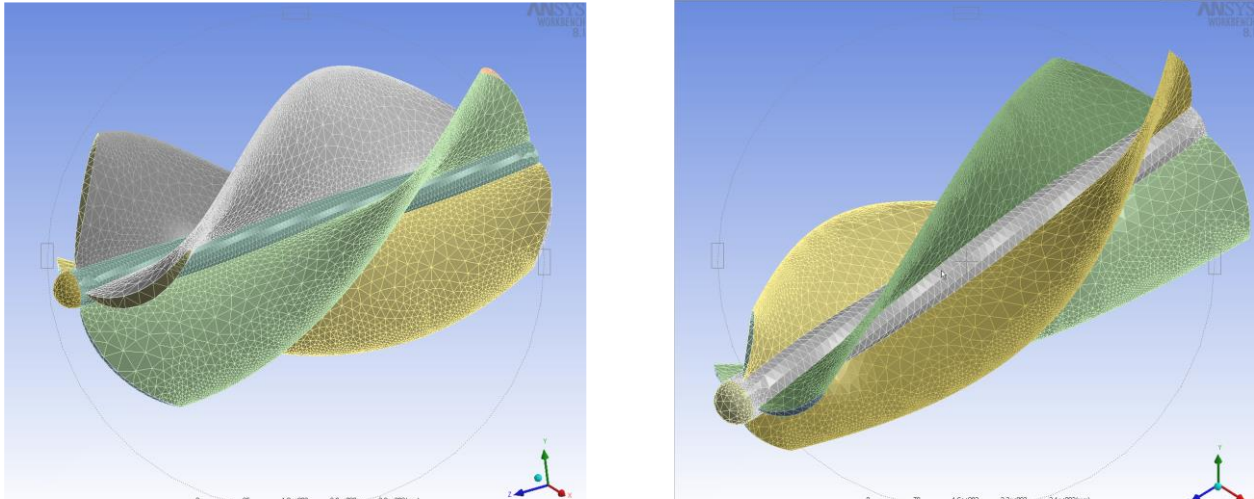


Figura 3. Împărțirea rotorului eolian elicoidal în elemente finite (tetraedru), ANSYS 8.1, Cad2Mesh.

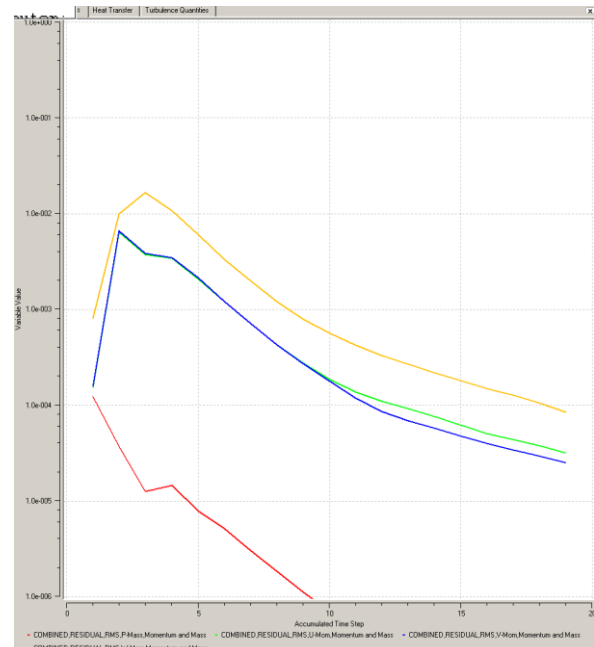
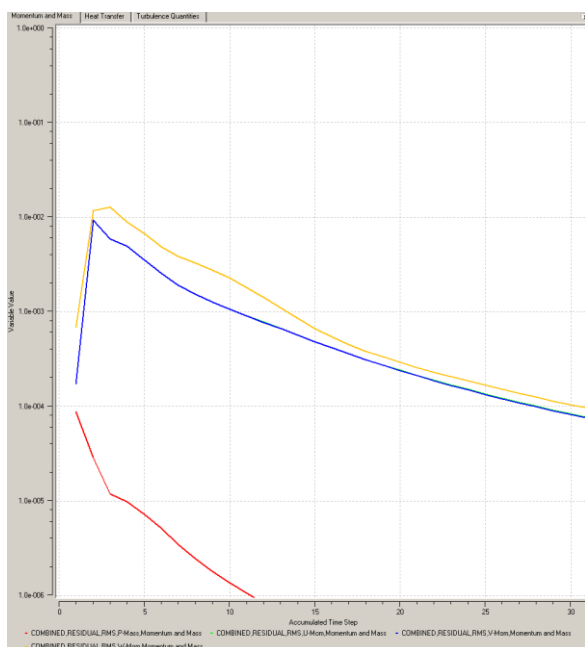


Figura 4. Definirea condițiilor de limită, CFX-Pre; soluționarea problemei, CFX Solver.

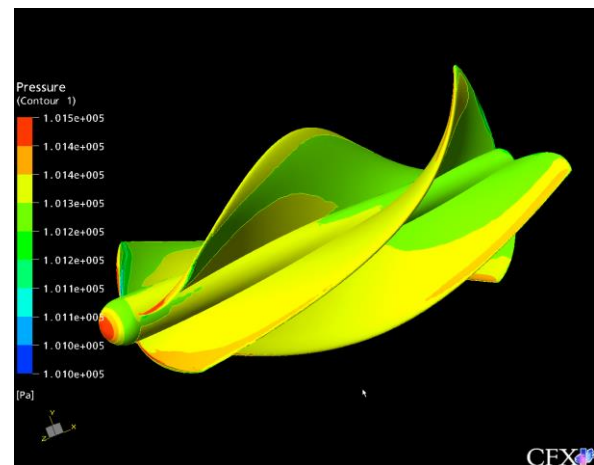
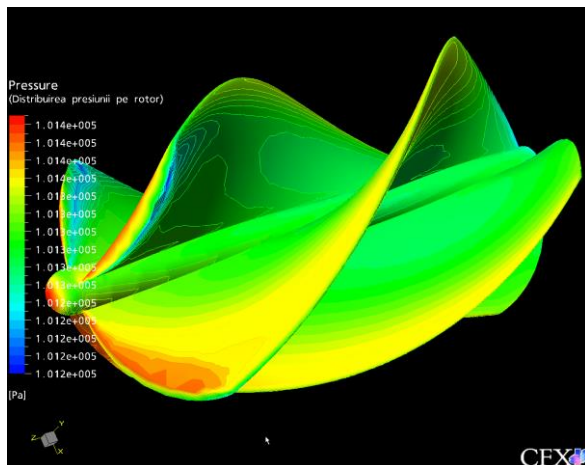


Figura 5. Distribuția presiunii totale pe suprafața rotorului elicoidal, CFX Post.

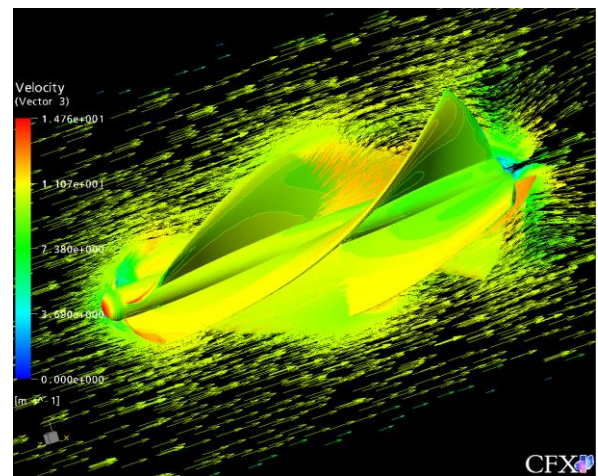
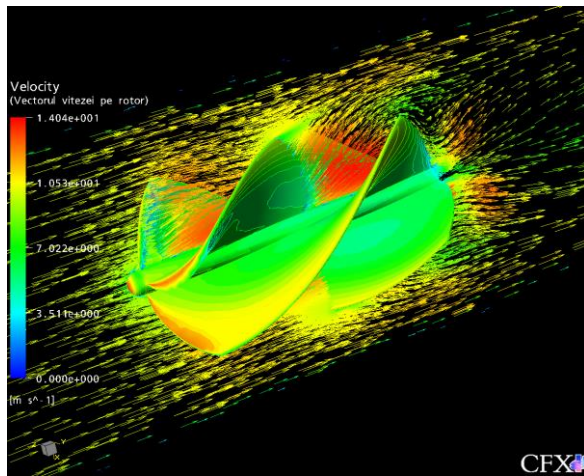


Figura 6. Vectorii vitezelor pe o suprafață plană orientată pe lungimea axei de rotație, CFX Post.

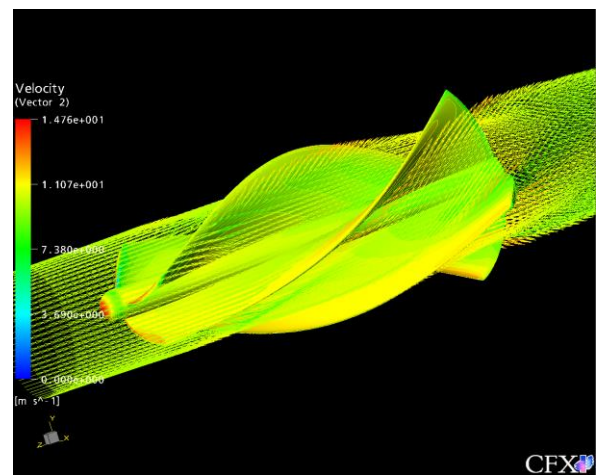
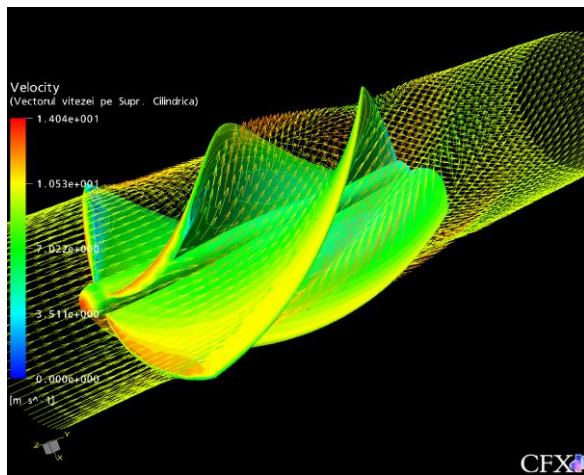


Figura 7. Vectorii vitezelor pe o suprafață circulară orientată pe lungimea axei de rotație, CFX Post.

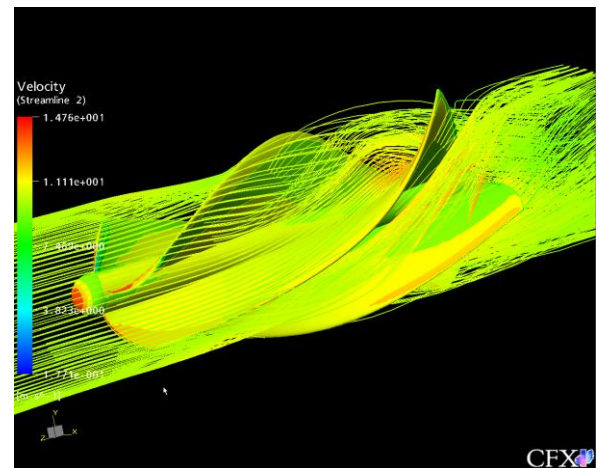
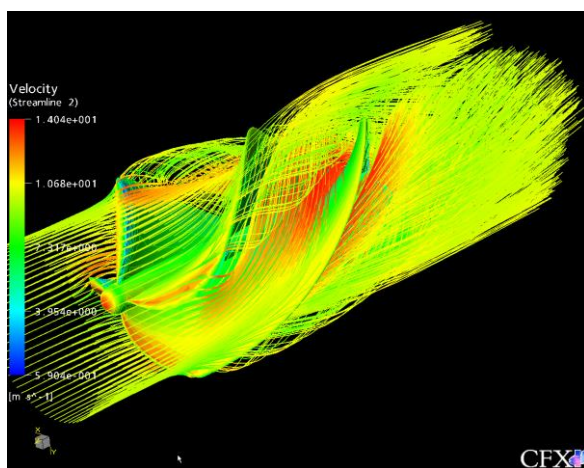


Figura 8. Liniile de curgere a lichidului pe suprafețele paletelor rotorului (proiecția pe suprafață cilindrică coaxială cu axa rotorului), CFX Post.

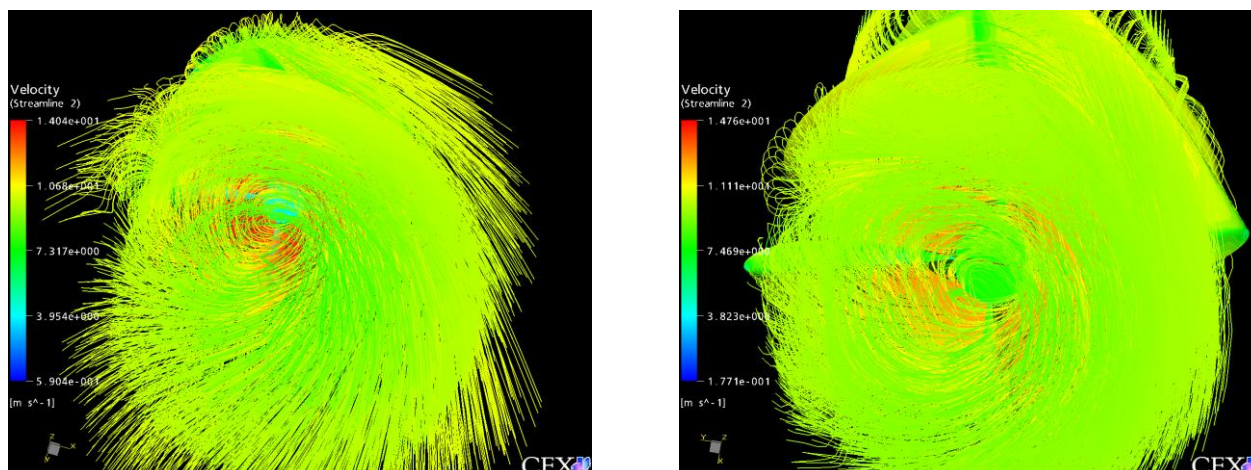


Figura 9. Liniile de curgere a lichidului în avalul rotorului (proiecția pe suprafață cilindrică coaxială cu axa rotorului), CFX Post.

CONCLUZIE

Utilizarea mediilor de analiză CFD, în cazul dat ANSYS CFX-5, în cadrul cercetării rotorului eolian elicoidal, permite determinarea parametrilor importanți cum ar fi: distribuția presiunii pe paletele rotorului; determinarea momentului de torsiune; aprecierea performanței rotorului eolian elicoidal; determinarea coeficientului de utilizare a energiei eoliene și mulți alți parametri. Acest fapt ne permite să apreciem fără cheltuieli considerabile cu minim efort și maximă operativitate performanța obiectului studiat.

În rezultatul analizei preliminare și prelucrării datelor simulărilor interacțiunii a două modele de rotor elicoidal se observă ușor performanța rotorului elicoidal cu profil variabil pe direcția de rotație. Aceasta permite dezvoltarea de mai departe a modelului dat și ulterior execuția modelului funcțional al acestuia.

Bibliografie

1. **Batcelor G. K.**, *An Introduction to Fluid Dynamics*, Cambridge at the University Press, 1970.
2. **Malalasekera H., Malalasekera W.** *An Introduction to Computational Fluid Dynamics, The Finite Volume Method*, Longman, 1995.
3. **Sedov L. I.** *Mehanica sploşnoi sredy. Tom 1.* Izdatelistvo Nauka, Moskva 1970.
4. **Belov I. A., Isaev S. A.** *Modelirovanie turbulentnyh tecenii. Uchebnoe posobie, Baltiischii gosudarstvennyi tehniceshii universitet, Sanct-Petersburg, 2001.*

5. **Bostan I., Dulgheru V., Ciupercă R.** *Brevet de invenție nr. 2106MD, 2003.02.28, BOPI nr. 2/2003.*
6. **Bostan I., Dulgheru V., Ciupercă R.** *Helical Turbine for aeolian systems and microhidrostation// Advanced Summer Institute on Product Engineering, Eco-Design, Technology and Green Energy. Transilvania University Press, Braşov 14-21 July, 2004, p. 385-391.*
7. **Bostan I., Dulgheru V., Ciupercă R.** *Turbină elicoidală pentru agregate eoliene și microhidrocentrale. Simpozionul Ştiinţific al Inginerilor de Pretutindeni, ediția VI-a. Bucureşti 10-11 septembrie, 2004.*
8. **Shaw C. T.** *Using Computational Fluid Dynamics*, Prentice Hall, 1992.
9. **Massey B. S.** *Mechanics of Fluids*, Chapman and Hall, 1989.
10. **Bardina J., Huang P., Coakley T.** *AEA Technology, 2001, CFX-TASCflow and CFX-5 Documentation. 1997, "Turbulence modeling validation", AIAA Paper 97-2121.*
11. **Wilcox D.** *Turbulence Modeling for CFD.* DCW Industries, Inc., La Canada, CA, 1993.
12. **Vieser W., Esch Th., Menter F.** *Heat Transfer Predictions using Advanced Two-Equation Turbulence Models. CFX Technical Memorandum: CFX-VAL10/0602. 2002.*

Recomandat spre publicare: 12.01.2005