

PARTICULARITĂȚI SPECIFICE PRIVIND DEZVOLTAREA MICROTURBINELOR EOLIENE COMBinate CU AX VERTICAL

G. Porcescu, MSc

Universitatea Tehnică a Moldovei

1. GENERALITĂȚI

Asocierea evoluției societății umane cu procesul dezvoltării unor noi tehnologii, mecanisme, principii de cunoaștere și analiză reprezintă cea mai concludentă și elocventă abordare privind aprecierea impactului factorului cognitiv asupra procesului evolutiv în ansamblu. Evident, evocarea acestui raport direct-proportional nu ar fi fost posibilă fără existența unui factor motrice ce condiționează evoluția tehnico științifică, și anume, energia. Istoria utilizării și valorificării resurselor eoliene este atestată prin prezența referințelor istorice asupra multitudinii de soluții tehnice încadrate cu succes în procese precum acționarea morilor de vânt, derularea proceselor de măcinare, pomparea apei pentru irigare sau prevenirea inundațiilor în zone joase față de nivelul oceanului.

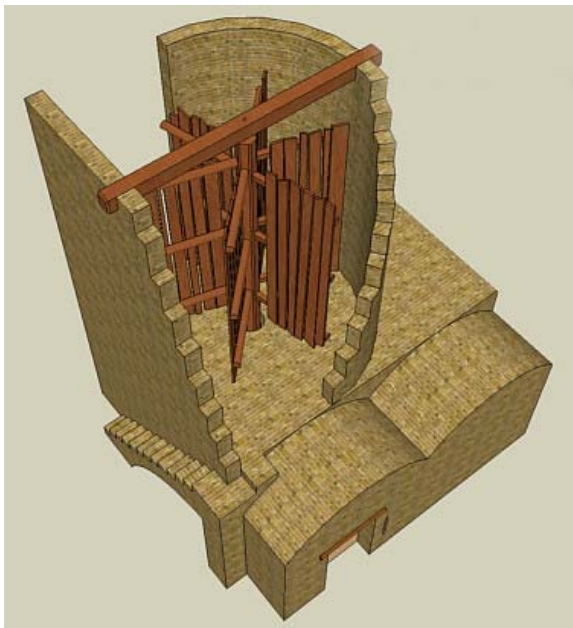


Figura 1. Concept moară de vânt persană 773 d. Hr.

Martori ai jocului bizar dintre certitudini și incertitudini asistăm la un paradox extrem de crud. Într-o eră caracterizată printr-o dinamică complet nouă în sfera producție, prin produsul în sine și procesul de dezvoltare a acestui produs, energia capătă instant statut de cea mai puternică monedă de schimb la nivel global, influențând direct natura

evenimentelor de pe arena geopolitică internațională. Pe de altă parte proporționalitatea dintre dezvoltarea tehnologiei și necesarul energetic se traduce prin creșterea curbei consumului energetic, diminuarea resurselor fosile respectiv creșterea gradului de poluare survenit în urma procesului de ardere și creșterea dependenței politico economice între actorii implicați în procesul de gestionare a resurselor energetice și consumatorii finali.

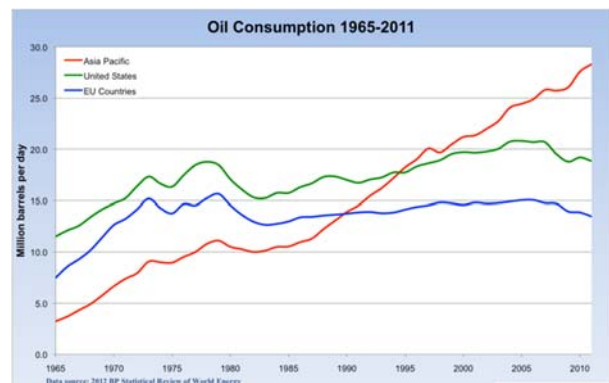


Figura 2. Curba de consum a petrolului 1965-2011.

Asumarea rezolvării problemelor date prin prisma unei abordări singulare, conduce din start spre eșec, iată de ce tendința de a pune accentul pe tehnologiile cu emisii scăzute de CO₂ reprezintă singurul raspuns viabil și de impact privind diminuarea riscurilor și vulnerabilităților în cadrul sectorului energetic. Drept urmare prin intermediul infuziei de inovație și integrării soluțiilor tehnologice în cadrul platformelor de dezvoltare durabilă se creează mecanisme cu înalt grad aplicativ a căror scop constă în determinarea și rezolvarea problemelor cheie legate de implementarea sistemelor de conversie a energiei eoliene, în special a celor de mică putere cu focusare pe ameliorarea performanțelor aerodinamice și studiul optimizării potențialului de conversie.

Cercetările recente privind comportamentul diverselor tipuri de turbine eoliene în condiții reale de utilizare evidențiază o serie de avantaje a sistemelor de conversie cu ax vertical, urmând a fi enumerate în continuare:

- autoorientare față de direcția vântului;
- posibilitatea amplasării sistemului electromecanic la baza TE (comoditatea deservirii);

- posibilitatea preluării rafalelor mici de vânt,
- tehnologie de execuție a palelor relativ simplă;
- posibilitatea fixării palelor în mai multe poziții, contribuind la diminuarea cerințelor de rezistență și rigiditate față de acestea;
- creșterea direct proporțională a tensiunilor apărute în rezultatul acțiunii forțelor de greutate în raport cu factorul de scară.

O scurtă trecere în revistă a stării actuale a valorificării SRE cât și perspectivele de dezvoltare a sectorului eolian raportat la potențialul energetic al R.M. remarcă faptul că implimentarea sistemelor alternative ar avea drept suport fundamentat 2 argumente forte și anume:

- argumentul economic;
- argumentul ecologic.

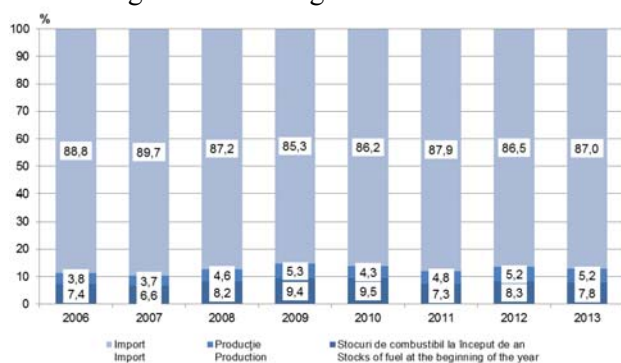


Figura 3. Structura formării resurselor energetice și de combustibil în Republica Moldova.

Conform PNAER (Planul Național de Acțiuni privind Energia Regenerabilă pentru anii 2013-2020) este estimată derularea traiectoriei dezvoltării PE (puterii electrice) produse din SRE în jurul cotei de 400 MW. Aportul energiei eoliene este vital privind atingerea acestui deziderat dat fiind și potențialul de cca 1 TW.

În acord cu noile constante de referință, în cadrul clusterului de inovare al Universității Tehnice a Moldovei au loc cercetări privind dezvoltarea unor platforme tehnologice regenerabile distincte clasei mici de conversie optimizate la parametrii tehnici de intrare raportați condițiilor specifice Moldovei și necesităților consumatorului autohton. Scopul proiectului de referință constă în cercetarea și elaborarea microturbinei eoliene cu ax vertical combinată (tip Darrieus – Savonius) cu puterea de până la 1,5 kW, cu coeficient sporit de conversie, destinată zonelor cu potențial eolian redus.

2. STUDIU DE CAZ IN DOMENIUL VAWT

Studiu privind situația pe plan mondial și analiza soluțiilor tehnice cu ax vertical posibile

pentru conversia energiei eoliene permite evidențierea a două concepte de bază utilizate preponderent de către companiile axate pe dezvoltare de produs și anume: conceptul Darrieus și conceptul Savonius. (fig. 4 a; b)

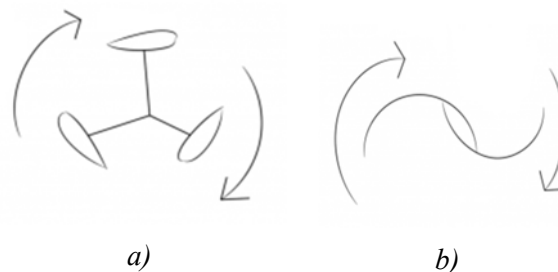


Figura 4. Concepte VAWT: a) Darrieus; b) Savonius.

Darrieus – concept bazat pe principiul portanței (*lift-type*), palele având profil aerodinamic, deci fac posibilă rotirea rotorului cu o viteză mai mare decât cea a vântului. Turbinele cu ax vertical, bazate pe principiul portanței, pot fi la rândul lor împărțite în mai multe soluții constructive: *Darrieus classic*; *Giromill*; *H-Darrieus*; *H-Darrieus cu Pale elicoidale – Gorlov*. [5] Variantele comerciale moderne ale conceptului Darrieus se caracterizează prin palele cu profil aerodinamic, ale căror capete sunt fixate de axul central sus și jos, plasat într-un flux de aer, și în funcție de diferite unghiuri, este supus unor forțe, ale căror intensitate și direcții sunt diferite. Rezultanta acestor forțe determină apariția unui cuplu motor ce rotește turbina de vânt. Acest fapt permite majorarea coeficientului de utilizare a energiei eoliene până la $C_p = 0.43$. Suportă viteze ale vântului destul de mari, dar și viteza de pornire este relativ mare ceea ce o face inefficientă în condiții de vânt redus.

Savonius – concept bazat pe principiul rezistenței aerodinamice (*drag-type*) – vântul “împinge” palele de forma unor cupe, ceea ce implică limitări ale vitezei maxime de rotire posibile, care este întotdeauna egală sau mai mică decât viteza vântului. [3, 5] Turbina posedă o soliditate mai înaltă și rapoarte ale vitezelor de capăt mai scăzute, asigurând un moment de pornire sporit și printr-o geometrie optimă se poate obține C_p estimat la 0,24 – 0,30. Necesită pentru demaraj cele mai scăzute viteze ale vântului (3 ... 5 m/s).

Analiza conceptelor date separat privind avantajele și dezavantajele oferite evidențiază totuși o problemă tehnică ce frânează implimentarea cu succes a acestor sisteme de conversie și anume: eficiență de conversiune relativ scăzută, fapt care nu-i permite să funcționeze eficient în zone cu un potențial energetic eolian scăzut reprezentativ R. Moldova.

Analiza opțiunilor și alegerea alternativei optime constă în posibilitatea unificării acestor două concepte: Savonius VAWT, servind ca demarator pentru rotorul Darrieus, sau pentru aplicații unde este necesar un moment de pornire înalt și turații joase. Astfel, în scopul elaborării unui concept adecvat sarcinii tehnice impuse, vor fi expuse două soluții constructive ale turbinelor eoliene în baza conceptului Darrieus [3] respectiv Savonius, care prezintă modele aerodinamice interesante, posedând totodată avantaje semnificative la nivel funcțional.

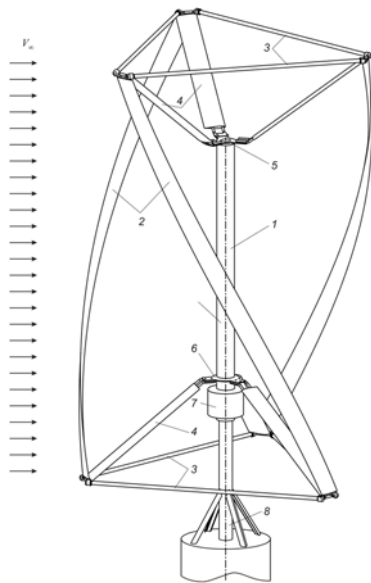


Figura 5. Turbină eoliană cu ax vertical și pale elicoidale Darrieus (REEV).

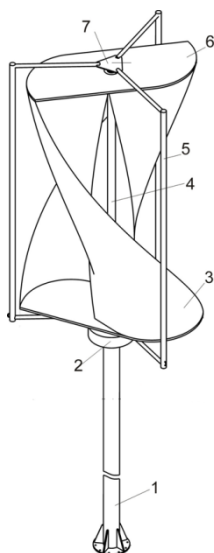


Figura 6. Turbină eoliană cu ax vertical și pale elicoidale Savonius.

Soluțiile tehnice prezentate vor servi astfel ca suport informațional de înaltă valoare științifică și vor contribui la îmbunătățirea performanțelor generale ale conceptului dezvoltat. Prezența

elementul elicoidal al palei, atât în cadrul rotorului Darrieus cât și în cel Savonius asigură uniformitatea rotirii organului de lucru, și, respectiv, conduce la majorarea coeficientul de utilizare a energiei eoliene. În rezultatul îmbinării acestor două concepte și datorită soluțiilor constructive propuse de către autori, turbina de vânt propusă asigură următoarele avantaje:

- eficiență sporită în zone cu potențial eolian scăzut;
- demararea automată a rotorului exterior la viteze mai joase ale vântului grație rotorului interior, care posedă o soliditate înaltă;
- sumarea momentelor de torsiune generate de ambele rotoare și excluderea frânării din partea rotorului interior;
- uniformitatea rotirii rotorului TE datorită formelor elicoidale ale palelor.

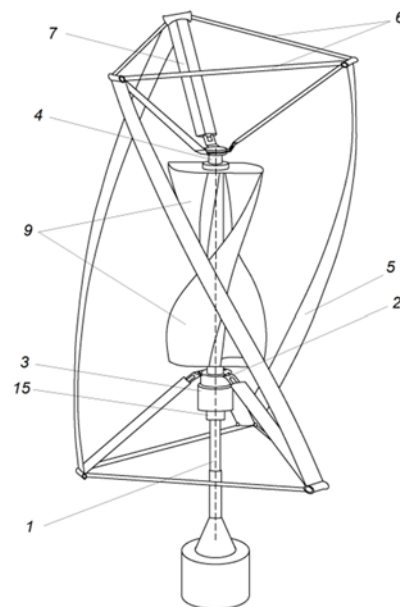


Figura 7. Microturbină eoliană cu ax vertical și pale elicoidale combinată.

3. MODELE AERODINAMICE DE CALCUL A ROTOARELOR VAWT

Elaborarea modelului aerodinamic al microturbinii eoliene cu ax vertical combinată (tip Darrieus –Savonius) are drept scop predimensionarea și optimizarea inițială, prin intermediul a două modele de calcul distinctive care au la bază teoria momentului elementului de pală (*Blade Element Momentum theory – BEM*).

3.1. Modelul simplificat al tuburilor multiple de curent cu un singur disc actuator

Modelul (*single actuator multiple streamtubes*) a fost dezvoltat de Wilson-Lissaman [1] – are la bază

un sigur disc și tuburi multiple de curent. Modelul dat are rolul de a studia influența diverșilor parametri de design și de a ajuta la o predimensionare aproximativă a modelului. Discul care înlocuiește rotorul într-o secțiune perpendiculară pe direcția fluxului – consideră vitezele induse ca fiind constante. Metoda de analiza simplificată poate oferi o idee „globală” asupra performanțelor turbinei, dar, din păcate nu oferă o influență reală a mai multor parametri, cum ar fi numărul de pale, a valorilor în cazul unghiurilor când stratul limită se desprinde. De asemenea, influența profilului aerodinamic este minimă, iar acuratețea predicțiilor este slabă. Un calcul avansat asupra comportării rotorului necesită abordarea metodei complexe cu discuri în tandem.

3.2. Modelul complex al tuburilor de curent multiple cu discuri în tandem

Modelul (*double actuator multiple streamtubes*) dezvoltat de Paraschivoiu [1] – Două discuri în tandem și tuburi multiple de curent. Fluxul de aer este împărțit într-un set de tuburi mai mici, atât pe orizontală cât și pe verticală, la fel ca și în cazul metodei simplificată. Modelul dat este o rafinare a modelului simplificat, prin care putem varia o serie mai mare de parametri, iar sensibilitatea la schimbarea parametrilor este mai mare.

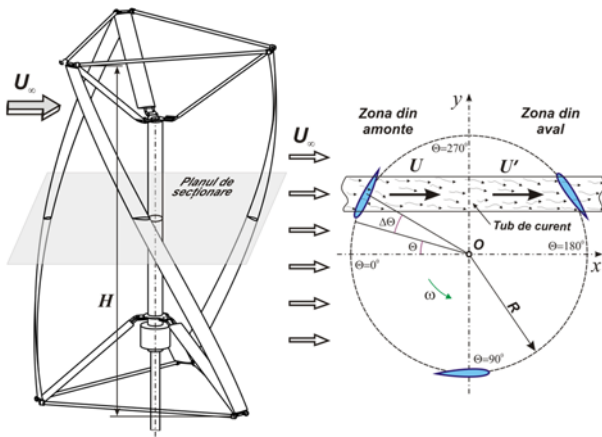


Figura 8. Geometria rotorului eolian elicoidal vertical Darrieus.

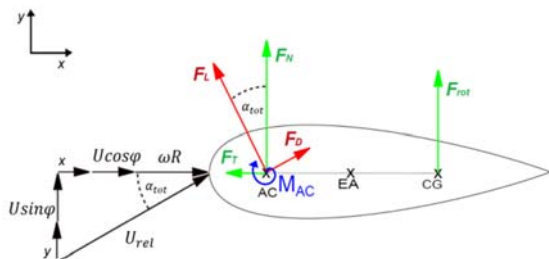


Figura 9. Reprezentare a triunghiurilor de viteze și a forțelor aerodinamice 2D Darrieus.

$$\Delta\theta = \frac{2\pi}{m};$$

unde m este numărul de tuburi de curent multipli. Poziția întregii turbine este caracterizată cu ajutorul unghiului Θ , iar poziția palei prin intermediul unghiului α . Fiecare pală dezvoltă o forță F pe care o caracterizează prin unghiul de atac α , iar întreaga turbină este caracterizată cu ajutorul forței F_t .

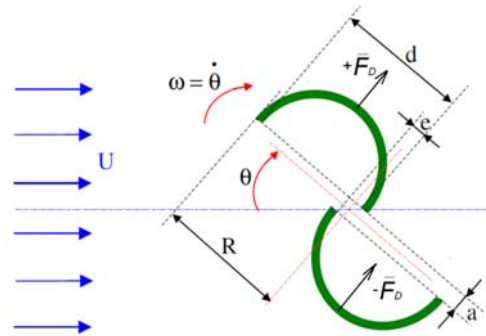


Figura 10. Geometria rotorului eolian elicoidal vertical Savonius și orientarea forțelor.

Determinarea forței care acționează asupra rotorului Savonius poate fi exprimată prin:

$$F = C_d \cdot \frac{\rho \cdot A}{2} \cdot U^2, \quad (1)$$

unde C_d – este coeficientul de drag.

În conformitate cu recomandările [1, 4], pentru proiectul microturbinei combinate fost stabilit pentru rotorul Darrieus numărul de pale $N_{pal} = 3$, minim necesar pentru autodemararea rotorului, îmbunătățirea variației ciclice a momentului de torsiune și diminuarea efectului de rezonanță, care poate apărea în timpul funcționării. Cu referire la aceeași sursă determinarea înălțimii optime H a rotorului eolian se deduce din relația $H = 3A/4R$ pentru rotorul Darrieus, respectiv $h = 2,6 \cdot d$ pentru rotorul Savonius.

3.3. Determinarea profilului aerodinamic de referință al palei în secțiunea normală

Cazul VAWT presupune utilizarea profilelor aerodinamice simetrice, caracterizate printr-o comportare cvasiliniară la numere Reynolds mici. Criteriul de apreciere comparativă a proprietăților profilelor selectate rezidă din dependența grafică a raportului dintre forța de ridicare și forța de rezistență frontală funcție de unghiul de atac și nr. Re calculat - *finețea profilului*. [1] Atât datele de referință comparative cât și restricțiile tehnologice privind procesul de prelucrare au evidențiat comportamentul superior al profilului NACA 0017, care va fi supus cercetării în mediul fluid privind elaborarea unui model numeric performant adaptat condițiilor impuse.

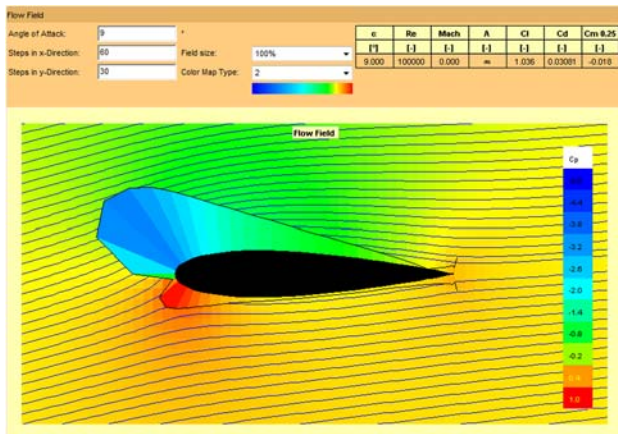


Figura 11. Distribuția presiunii pentru unghiul de atac de 9 grade NACA 0017

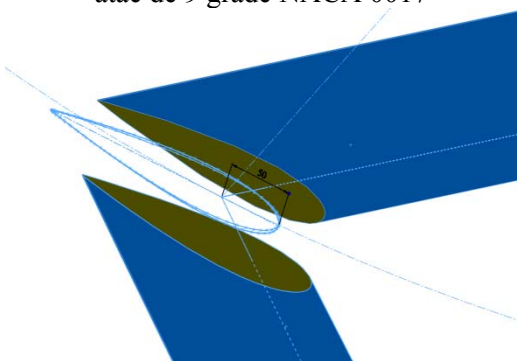


Figura 1. Pale cu profil aerodinamic NACA 0017.

4. CERCETĂRI NUMERICE ASUPRA MICROTURBINEI EOLIENE CU AX VERTICAL COMBINATĂ

Scopul simulărilor numerice din cadrul dinamicii fluidelor asistate de calculator (CFD) constă în analiza tablourilor de modelare a interacțiunii cu fluxul de aer pentru diferite variante constructive și stabilirea unghiului optim al elicei palei. Pentru pregătirea și realizarea experimentului numeric CFD a fost utilizată stația grafică Intel(R) Core(TM) i7-4770 CPU 3,40 GHz, memoria operativă – 8GB, cartela video – NVIDIA GeForce GT640. Conform recomandărilor ANSYS parametrii computaționali raportați la factorul de alocarea memoriei 1,2, impun realizarea unui mesh nu mai mare de 6.6 mil. elemente. O etapă esențială a procesului de calcul constă în definirea condițiilor la limită [2]:

- Zona „Inlet” – intrarea fluxului de aer cu varierea vitezei normale $U = 8 - 10$ m/s (factorul de discretizare 1);
- Zona „Outlet” – ieșirea liberă a fluxului de aer cu presiunea $p = 0$;
- Zona „Opening” – zona deschisă cu presiunea $p = 0$;

- Zona „Wall” – „free slip” impune suprafeței laterale a statorului, specificația „no slip” impune suprafețelor care materializează geometria rotorului.
- Modelul fluidului – Air at 25°C;
- Temperatura mediului – 18°C;
- Modelul de turbulență – SST (Turbulence intensity – medium);
- Durata ciclului de lucru – automat;
- Precizia calculului – ridicată.

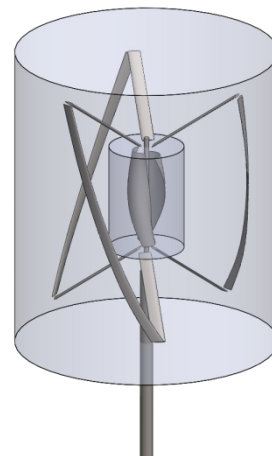


Figura 12. Subdomeniilor destinate studiului CFD.

Discretizarea în elemente finite a rotorului Savonius a fost posibilă abordând algoritmul: *Volume Mesh Type: Tetra/Mixed; Tetra/Mixed Mesh Method: Robust (Octree)*. Astfel au fost generate 1122723 elemente finite cu indicele calității 0.102. Fig. 13.

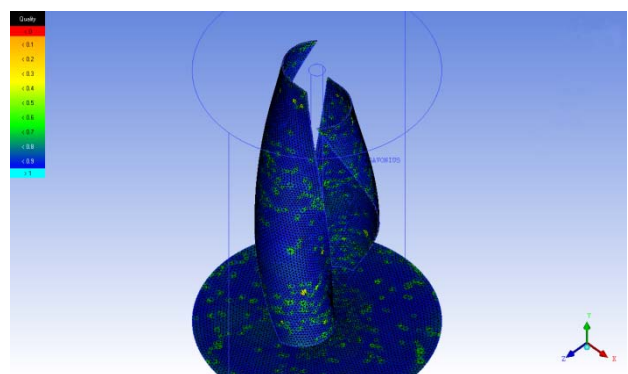


Figura 13. Discretizarea în elemente finite a subdomeniului Savonius.

Pentru domeniul rotorului Darrieus cu profil NACA 0017, a fost realizat un mesh compus din 3584942 elemente cu indicele calității 0.005 utilizând opțiunea *Volume Mesh Type: Tetra/Mixed și Tetra/Mixed Mesh Method: Quick (Delaunay)*. Determinarea totală a calității mesh-ului se exprimă prin numărul total sumat de elemente a căror calitate este sub 0.2 raportat la numărul total sumat de elemente finite și constă în 0.024. În limita performanțelor de calcul

disponibile s-a reușit obținerea unei rețele de discretizare de calitate înaltă.

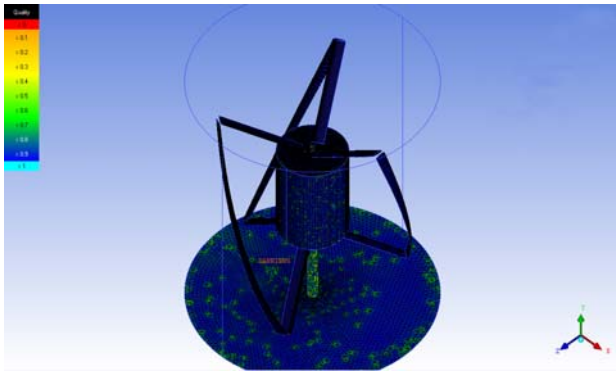


Figura 14. Discretizarea în elemente finite a rotorului Darrieus.

Următoarea etapă constă în rezolvarea numerică a sistemului de ecuații format de modelul SST și ecuațiile Navier–Stokes [2] cu condițiile la limită pentru problema examinată. Imaginile ce urmează prezintă tabloul curgerii tranzitorii a fluidului prin rotor și în vecinătatea palelor.

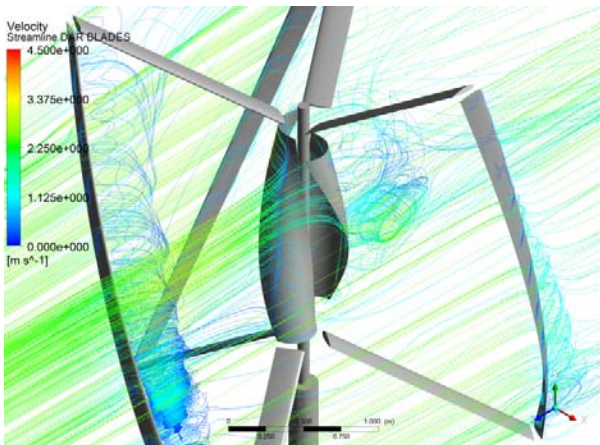


Figura 15. Liniile de curent ale fluxului de aer care baleiază rotorul combinat(CFX–Post).

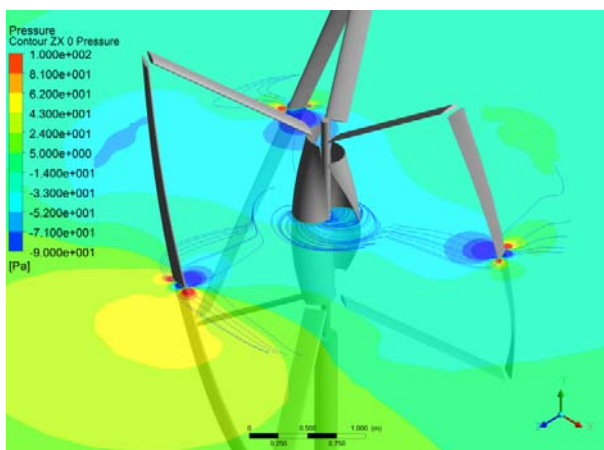


Figura 16. Distribuția presiunii fluxului de aer în zona mediană a rotorului (CFX–Post)

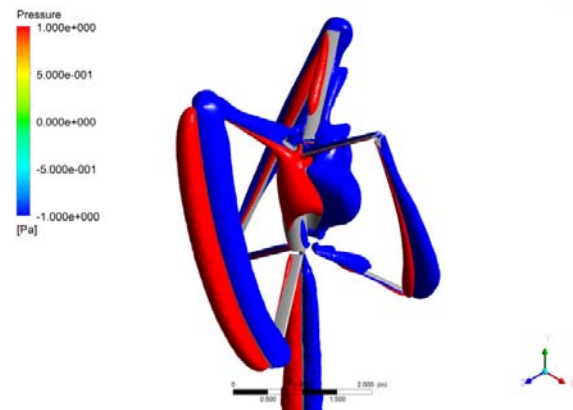


Figura 17. Distribuția presiunii în amonte și aval de rotorul combinat (CFX–Post)

5. CONCLUZII

Procesul de elaborare și dezvoltare a unui model eficient de microturbină eoliană cu ax vertical presupune abordarea unei metodologii specifice bazate pe studiul literaturii de specialitate și a cercerărilor teoretice existente, determinarea modelului aerodinamic de calcul optim conceptului propus, și efectuarea simulărilor CFD, specifice curgerii tranzitorii a fluidului prin rotor și în vecinătatea palelor, privind determinarea gradului de influență a parametrilor constructiv-cinematici asupra caracteristicilor de putere și factorilor de performanță aero-dinamică a rotorului. Rezultatele obținute prezintă grad înalt de precizie condiționând desfășurarea ulterioară a cercetărilor.

Bibliografie

1. **Ciupercă R.** *Contribuții la elaborarea și cercetarea rotorului eolian elicoidal / Teză de doctor în științe tehnice, Univ.Tehn. a Moldovei, Chișinău 2010, 237p.*
2. **Bostan V.** *Modele matematice în inginerie / Monografie, Univ.Tehn. a Moldovei, Chișinău 2014, 470p. ISBN 978-9975-80-831-6.*
3. **Bostan I., Dulgheru V., Bostan V., Ciupercă R.** *Antologia invențiilor: Sisteme de conversie a energiilor regenerabile. Univ.Tehn. a Moldovei.-Ch.: Ed. (Tipografia BONS Offices). 2009- 458 p. ISBN 978-9975-80.*
4. **Kirke B.K.** *Evaluation of self-starting vertical axis wind turbines for stand-alone applications. – Phd. Thesis, Griffith University Gold Coast Campus, 1998. 340 p.*
5. **Ionescu R.** *Designul și optimizarea turbinelor eoliene cu ax vertical, de mică putere, implementabile în mediul urban, Teză de doctor în științe tehnice Brasov, 2014.*

Recomandat spre publicare: 29.06.2015.