

SOLUȚII INOVATIVE DE CONVERSIE A ENERGIEI EOLIENE



GAVRIL PORCESCU, CERCETĂTOR ȘTIINȚIFIC STAGIAR,
CENTRUL DE ELABORARE A SISTEMELOR DE CONVERSIE A ENERGIIILOR
REGENERABILE, UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI (UTM)

PROBLEMATICA SECURITĂȚII ENERGETICE OCUPĂ LA MOMENT UN PUNCT CHEIE PE AGENDA COMUNITĂȚII INTERNAȚIONALE. DEPENDENȚA DE IMPORTURI, DUBLATĂ DE FLUCTUAȚIILE SECTORULUI ENERGETIC INTERNAȚIONAL, IMPUNE DIVERSIFICAREA DIRECȚIILOR DE CERCETARE PRIVIND IDENTIFICAREA UNOR SOLUȚII ALTERNATIVE SUSTENABILE. ÎN CONTEXTUL CLIMATULUI INVESTIȚIONAL EXISTENT, VIRAJUL TEHNOLOGIC REALIZAT ÎN DOMENIUL CONVERSIEI ENERGIIILOR REGENERABILE DESCHIDE NOI PERSPECTIVE PRIVIND INTEGRAREA SOLUȚIILOR TEHNOLOGICE INOVATIVE ÎN CADRUL UNOR CONCEPTE EFICIENTE ȘI FIABILE, EXEMPLU FIIND TURBINELE EOLIENE CU AX VERTICAL DE NOUĂ GENERAȚIE. IMPLEMENTAREA CU SUCCES A CONCEPTULUI DE DEZVOLTARE ENERGETICĂ DURABILĂ PRESUPUNE ÎNȚIEREA POLITICILOR DE CERCETARE ȘI STIMULARE ORIENTATE CĂTRE ACCELERAREA IDENTIFICĂRII RĂSPUNSURILOR VIABILE LA PROBLEMELE CHEIE PRECUM: OPTIMIZAREA POTENȚIALULUI DE CONVERSIE ȘI AMELIORAREA PERFORMANȚELOR AERODINAMICE.

I. Introducere

Sintagma „energia eoliană” creează automat în viziunea oamenilor imaginea morilor de vânt convenționale: o gondolă, un turn și un rotor cu pale uriașe. Tendința ultimelor decenii privind dependența directă dintre putere și diametrul rotorului a condus la ceea ce astăzi este numit deseori *fenomenul dincolo de limite* – înălțimea turnului de peste 100 [m] și diametrul rotorului care depășește ade-

seori mărimea unui teren de fotbal, exemplu fiind Vestas V164 cu puterea de 8 MW. Însă problema cea mai mare a acestor soluții tehnice constă în faptul că plasarea a două sau mai multe turbine eoliene mari în imediata apropiere accentuează efectele de interferență precum vârtejuri sau blocuri de vânt, diminuând astfel capacitatea de generare a parcului în ansamblu. Un alt factor de influență majoră îl constituie parametrii de viteză ai vântului necesari pentru funcționarea eficientă a turbinei. Resursele limitate de vânt dublate de lipsa spațiului de amplasare pot fi însă compensate cu succes prin implementarea conceptului vertical. Practica cercetării și utilizării recente a VAWT (vertical axis wind turbine) a arătat că aceste tipuri de TE (turbine eoliene) posedă unele avantaje semnificative în comparație cu HAWT (horizontal axis wind turbine):

- nu necesită mecanisme auxiliare de orientare față de direcția vântului;
- posibilitatea preluării rafalelor mici de vânt;
- tehnologie de execuție a palelor relativ simplă;
- posibilitatea amplasării sistemului electromecanic la baza TE (comoditatea deservirii);
- tensiunile apărute în rezultatul acțiunii forțelor de greutate cresc direct proporțional în raport cu factorul de scară;

– posibilitatea fixării palelor în mai multe poziții, contribuind la diminuarea cerințelor de rezistență și rigiditate față de acestea.

Evoluția sectorului eolian la nivel internațional demonstrează eficiența implementării soluțiilor de conversie a energiei vântului, contribuind substanțial la dezvoltarea sectoarelor de profil în țările respective. Totodată, dinamica desfășurării procesului de dezvoltare a parcurilor eoliene atestă un trend ascendent al curbei capacității eoliene instalate la nivel paneuropean (fig. 1).

Conform datelor prezentate de EWEA în raportul anual privind implementarea sistemelor eoliene la nivel european, capacitatea instalată în 2013 constituie 12030 MW, dintre care 11159 MW revin UE. Plafonul investițiilor la nivelul UE a constituit între 13-18 mlrd. euro, iar Germania a reprezentat cea mai mare piață de instalare cu o capacitate de 3238 MW, respectiv Marea Britanie cu 1883 MW, urmată de Polonia (894 MW); Suedia (724 MW); România (695 MW); Danemarca (657 MW); Franța (631 MW) [5].

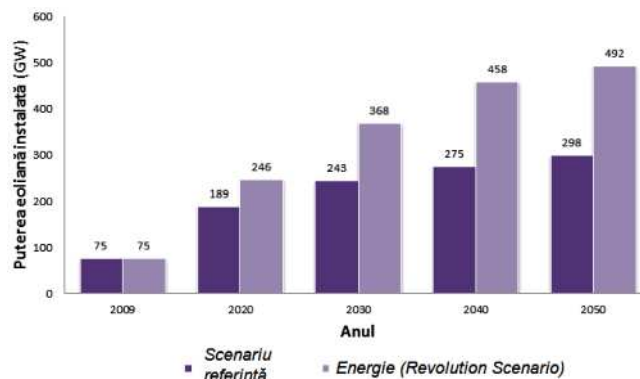


Fig. 1. Evoluția capacităților eoliene în UE

Schimbările tehnologice, care au avut loc în ultimii ani în domeniul turbinelor eoliene verticale, le-au făcut aproape diferite de morile de vânt convenționale. Concentratorii lor sunt instalați perpendicular, asigurând conversia eficientă a energiei cinetice a vântului în lucru mecanic prin mișcarea de rotație a palelor rotorului eolian sub acțiunea fluxului de aer. Ultimele turbine eoliene sunt mai mici, mai simple și mai ieftine decât turbinele convenționale, dar cu un dezavantaj – eficiența lor este de două ori mai mică. Este ușor de înțeles de ce: în orice moment, o jumătate din pale acumulează forța vântului și se deplasează în direcția fluxului de aer, în timp ce cealaltă jumătate previne mișcarea dată. Rezolvarea acestei probleme cheie legată de eficiența de conversie oferă mediului academic un vast diapazon de cercetare privind elaborarea unor concepte cu eficiență sporită, net superioare produselor existente la moment pe piață.

II. PRINCIPII ȘI CONCEPTE ALE VAWT

Tendința de dezvoltare a conceptelor verticale constă în abordarea unor noi soluții privind forma și structura rotorului, trecându-se de la conceptele clasice Savonius și Darrieus la cele bazate pe formă profilată aerodinamică (fig. 2).

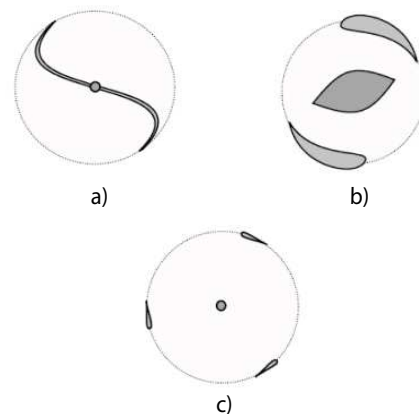


Fig. 2. Concepte de turbine cu ax vertical:
a) Giromill; b) Ropatec; c) Savonius.

Conform principiului de funcționare definim:

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 (fig. 3 a,b) [6].

Turbina posedă o soliditate mai înaltă și rapoarturi ale vitezelor de capăt mai scăzute, asigurând un moment de pornire sporit, iar printr-o geometrie optimă se poate obține C_p (coeficient de putere) estimat la 0,24-0,30. Necesită pentru demaraj cele mai scăzute viteze ale vântului (1.5...5 m/s).

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* (fig. 3c) [7].

Conceptul studiat este caracterizat prin prezența palelor cu profil aerodinamic, având capetele sunt fixate de axul central sus și jos care, plasat fiind într-un flux de aer, este supus unor forțe, ale căror intensitate și direcție sunt diferite, în funcție de diferite unghiuri. 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 ineficientă în condiții de vânt redus.



Fig. 3. TE Savonius cu pale din benzi suprapuse a), b);
TE Darrieus: c) concept structură d) principiu de lucru (P-portanța).

III. DEZVOLTAREA TURBINEI EOLIENE CU AX VERTICAL ȘI PALE ELICOIDALE COMBinate

Analiza acestor două soluții tehnice prin prisma avantajelor și dezavantajelor oferite evidențiază o problemă tehnică ce frânează implementarea cu succes a acestor sisteme de conversie și anume: eficiență de conversie relativ scăzută la viteze reduse ale vântului; nerentabilă astfel în zone cu potențial energetic eolian scăzut, caracteristic Republicii Moldova sau ariilor urbane.

Problema ce se propune a fi rezolvată constă în sporirea eficienței de conversie a energiei eoliene în zonele cu un potențial de vânt scăzut. În scopul elaborării unui concept adecvat sarcinii tehnice impuse, vor fi expuse două soluții constructive ale turbinelor eoliene în baza conceptului Darrieus [1,3,4] respectiv Savonius, care prezintă modele aerodinamice interesante, posedând totodată avantaje semnificative la nivel funcțional. Atât în cadrul rotorului

Darrieus, cât și în cel Savonius persistă elementul elicoidal al palei, fapt care conduce la uniformitatea rotirii organului de lucru și, respectiv, la majorarea coeficientului de utilizare a energiei eoliene. Drept urmare, s-a recurs la soluția optimă privind 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.

Particularitățile noii soluții constructive permit amplasarea în spațiul interior, format de palele Darrieus, a palelor suplimentare legate cu arbore suplimentar, ceea ce permite majorarea puterii generate de turbină. Legătura printr-un cuplaj unisens al arborelui de bază cu cel suplimentar exclude frânarea arborelui generatorului electric la puterea mică a vântului. Imaginile ce urmează prezintă conceptele separate, precum și conceptul final al TE cu ax vertical și pale elicoidale combinate.

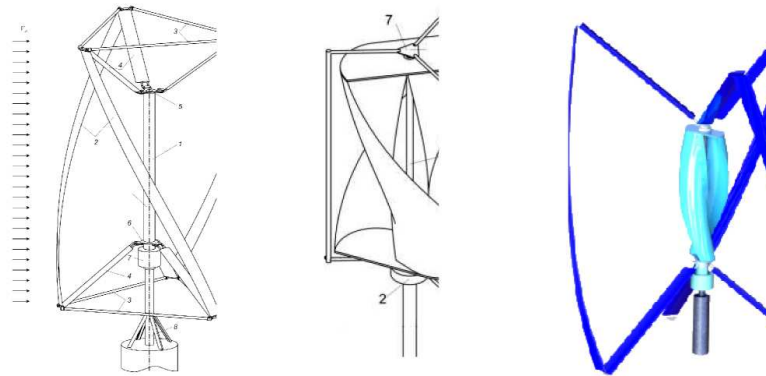


Fig. 4. TE: a) Darrieus; b) Savonius; c) Combinată Darrieus-Savonius
A. Definirea problemei, geometria și rețeaua de elemente finite (EF)

Dezvoltarea unui concept fiabil și eficient presupune stabilirea optimă a parametrilor constructivi și funcționali. Conform literaturii de specialitate, în scopul modelării analitice a turbinei eoliene cu ax vertical combinate, pentru predimensionarea și optimizarea inițială vor fi utilizate succesiv 2 modele de analiză bazate pe metode distincte: una simplificată și una complexă, care au la bază teoria momentului elementului de pală (*Blade Element Momentum theory – BEM*) [2]. Utilizarea codurilor de calcul CFD accelerează și totodată eficientizează procesul integral, având drept scop analiza tablourilor de modelare a interacțiunii cu fluxul de aer, a variantei constructive și stabilirea unghiului optim al elicoidei palei rotorului.

Selectarea profilului palei specific funcționării VAWT reprezintă o etapă a proiectării ce impune o

atenție sporită condiționată de anumite aspecte [1, 4]:

- secțiunea palei să funcționeze într-un diapazon larg de incidențe;
- variația mare a numărului Reynolds pe lungimea palei;
- cost de execuție scăzut și calitate înaltă a suprafeței palei, ceea ce va contribui la majorarea performanței, cât și la diminuarea nivelului de zgomot și vibrații;
- dependența grafică a raportului dintre forța de ridicare și forța de rezistență frontală.

Conform literaturii de specialitate, profilurile pentru viteze mici sunt caracterizate printr-o comportare cvasiliniară la numere Reynolds mici, influențând direct performanța rotorului atât la nivelul puterii obținute, cât și asupra capacității de autopornire [7].

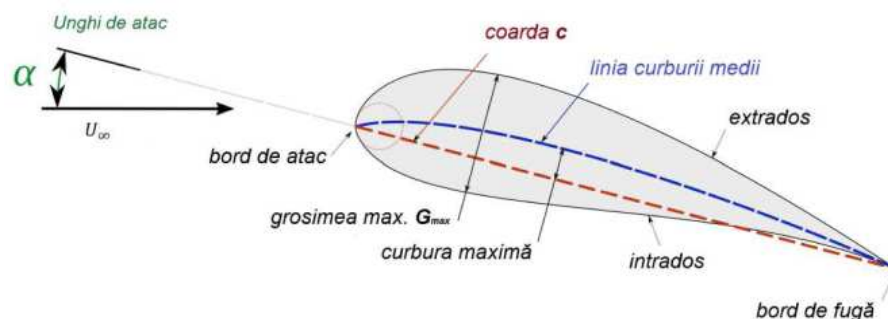
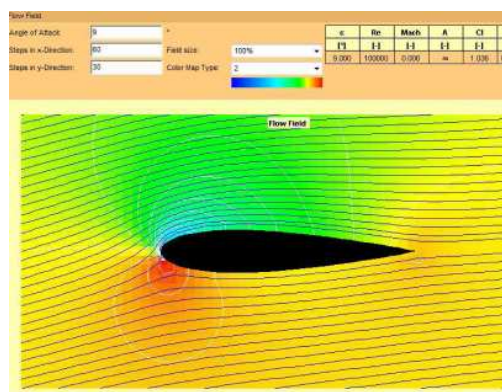
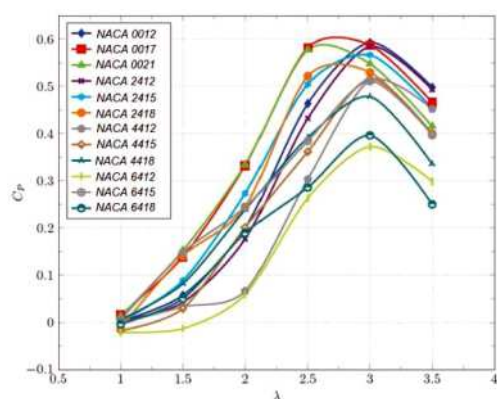


Fig. 5. Parametrii de formă ai profilului aerodinamic

Cazul VAWT presupune utilizarea profilurilor aerodinamice simetrice. Astfel, în scopul determinării profilului aerodinamic al palei în secțiune normală, au fost selectate o serie de profiluri de referință, ana-

lizate ulterior prin intermediul codurilor specializate destinate calculului polarelor. Stabilirea caracterului comportamentului curbelor acestor dependențe permite aprecierea performanței profilului (fig. 6).

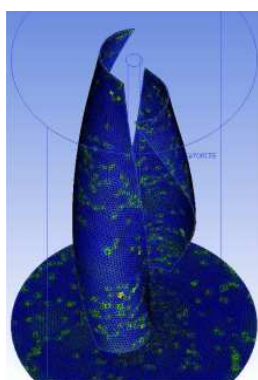


**Fig. 6. a) Studiu comparativ al comportamentului profilurilor;
b) Distribuția vitezelor pentru unghiul de atac de 9 grade NACA 0017**

În urma analizei comparative privind caracteristicile de performanță ale profilurilor de referință, se evidențiază comportamentul superior al profilului NACA 0017.

Următorul pas al dezvoltării TE cu ax vertical și pale elicoidale combinate constă în optimizarea parametrilor constructivi-funcționali prin intermediul calculului CFD. 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.

Rețeaua de elemente finite a fost creată în mediul integrat ANSYS Workbench (ANSYS CFX-Mesh), cu transferarea mai departe în ANSYS CFX. Pentru cercetarea interacțiunii rotorului elicoidal combinat cu mediul fluid, au fost discretizate palele rotorului într-o rețea constituită din 5658035 elemente finite tetraedre Mesh (fig. 7). De menționat faptul că în limita performanțelor de calcul disponibile s-a reușit obținerea unei rețele de discretizare de înaltă calitate apreciată prin (indicele calității mesh-ului) de 0.024%.



**Fig. 7. Concept 3D SW: a) Discretizarea în elemente finite a rotorului proiectat (modulul CFX-Mesh)
b) Darrieus, c) Savonius
A Rezultatele calculului CFD de modelare a interacțiunii TE-C cu fluxul de aer**

Rezolvarea numerică a sistemului de ecuații, format de modelul SST și ecuațiile Navier–Stokes, cu condițiile la limită pentru problema examinată, permite obținerea tabloului de curgere 3–D (fig. 8). Condițiile limită stabilite sunt: variație a vitezei normale

$U=3.11$ m/s, modelul fluidului – aer 25°C, temperatura mediului – 18°C, presiunea $p=0$ [2]. În continuare, în corespundere cu figurile de mai jos, sunt prezentate rezultatele calculului numeric CFD pentru varianta constructivă a rotorului eolian cu ax vertical combinat.

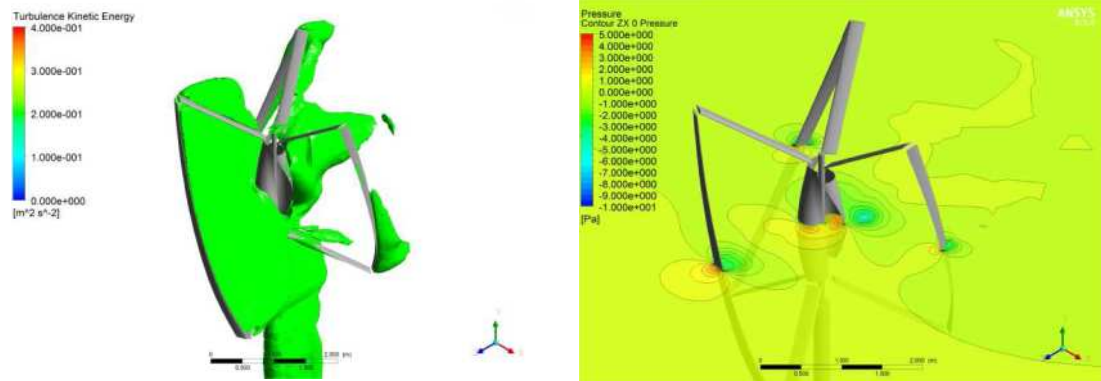


Fig. 8. a) Distribuția presiunii fluxului de aer în zona mediană a rotorului (CFX-Post)
b) Distribuția turbulenței energiei cinetice în amonte de rotorul combinat (CFX-Post)

Concluzii:

Realizarea acestei lucrări se încadrează în direcțiile de cercetare fundamental aplicativă a Centrului de Elaborare a Sistemelor de Conversie a Energiilor Regenerabile (CESCER UTM) și vine ca răspuns la preocupările tot mai intense privind studiul conversiei energiei eoliene, și anume cel al turbinelor eoliene, cu ax vertical de mică putere. Studiul literaturii de specialitate și cercetările teoretice realizate asupra unei game variate de profiluri aerodinamice specifice palelor VAWT au condus la stabilirea preliminară a parametrilor constructivi, realizarea modelului simplificat CAD și efectuarea studiului curgerii tranzitorii a fluidului prin rotor și în vecinătatea palelor. Tabloul datelor obținute prin intermediul programului de analiză reflectă comportarea reală a rotorului dat, prezentând liniile de curgere în contextul interacțiunii cu mediul fluid, oferind astfel suport informațional cu grad înalt de precizie privind desfășurarea ulterioară a cercetărilor. Cert este faptul că, în condițiile cadastrului de vânt redus, specific Republicii Moldova, implementarea turbinei eoliene elicoidale cu ax vertical combinate poate fi o soluție viabilă pentru noua eră energetică.

REFERINȚE

- 1) CIUPERCĂ, R. *Contribuții la elaborarea și cercetarea rotorului eolian elicoidal* / Teză de doctor în științe tehnice, Univ. Tehn. a Moldovei, Chișinău 2010, 237 p.
- 2) BOSTAN, V. *Modele matematice în inginerie* / Monografie, Univ. Tehn. a Moldovei, Chișinău 2014, 470 p.
- 3) BOSTAN, I., VIȘA I., DULGHERU, V., CIUPERCĂ, R., *Turbină de vânt cu ax vertical combinată*; Brevet de invenție nr. RO127909; BOPI nr. 11/2013.
- 4) 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.
- 5) PINEDA, I., WILKES, J. (EWEA) *Wind in power 2013 European statistics*, February 2014
- 6) BOS, R., *Self-starting of a small urban Darrieus rotor*. Strategies to boost performance in low-reynolds-number flows, TU Delft University, Master Thesis 2012.
- 7) IONESCU, R. *Designul și optimizarea turbinelor eoliene cu ax vertical, de mică putere, implementabile în mediul urban*, Teză de doctor în științe tehnice Brașov, 2014.

REZUMAT

Soluții inovative de conversie a energiei eoliene. Asigurarea securității energetice europene reprezintă o prioritate comunitară a sec XXI. Tematica acestei lucrări se încadrează în direcțiile de cercetare fundamental aplicativă și vine ca răspuns la preocupările tot mai intense privind studiul soluțiilor alternative sustenabile din domeniul sistemelor de conversie a energiei eoliene, și anume cel al turbinelor eoliene cu ax vertical de mică putere. Cercetarea și dezvoltarea unui concept optim caracterizat prin eficiență sporită de conversie, adaptat unei game largi de viteze ale vântului specifice Republicii Moldova impune identificarea răspunsurilor viabile la probleme cheie precum: optimizarea potențialului de conversie și ameliorarea performanțelor aerodinamice. Posibilitatea cumulării avantajelor oferite de rotorul Savonius și cel Darrieus a condus la elaborarea unei soluții tehnice cu caracter inovativ și perspectivă de cercetare ulterioară.

ABSTRACT

Innovative Solutions for Wind Energy Conversion. Ensuring European energy security is a Community priority of the twenty-first century. The theme of this work fits into the fundamentally applied research directions and comes as a response to more intense concerns on the study of sustainable alternative solutions in the field of wind energy conversion systems, namely, that of low-power wind turbines with vertical axis. Research and development of an optimal concept characterized by

high efficiency of conversion, adapted to a wide range of wind speeds specific to Moldova requires the identification of viable responses to key issues such as: optimization of the conversion potential and improvement of aerodynamic performances. The possibility of cumulating the benefits of the Savonius and Darrieus rotor led to the development of an innovative technical solution and subsequent research perspective.

РЕФЕРАТ

Инновационные решения для преобразования энергии ветра. Обеспечение энергетической безопасности является приоритетом Европейского сообщества XXI века. Тема этой работы вписывается в фундаментально-прикладные направления научных исследований и является ответом на интенсивное изучение устойчивых альтернативных решений в области систем преобразования энергии ветра, а именно, вертикальных осевых ветровых турбин с низким энергопотреблением. Исследование и разработка оптимальной концепции с высокоэффективной конверсией, адаптированной к широкому спектру скорости ветра, специфичному Республике Молдова, требует определения жизнеспособных ответов на ключевые вопросы, такие как: оптимизация потенциала преобразования и улучшение аэродинамических характеристик. Возможность агрегации преимуществ ротора Savonius и Darrieus привела к разработке инновационного технического решения с перспективой последующего исследования.