



Memoriu tehnic


PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene

Data: 28.06.2019

CUPRINS

Nr. Crt.	Denumire	Pag.
1.	REZUMAT	2
2.	NOTAȚII ȘI SIMBOLURI	2
3.	INTRODUCERE	2
4.	CONȚINUTUL LUCRĂRII	2-7
5.	CONCLUZII	8-
24		
6.	BIBLIOGRAFIE	27
7.	ANEXE	
7.1	COMANDA INTERNĂ	
7.2	TEMA	
7.3	PROCES VERBAL DE AVIZARE	

Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						

	Memoriu tehnic	Data: 28.06.2019
	PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene	

Etapa 11. D1.4 - Stabilirea modelului experimental și a parametrilor de funcționare

1. REZUMAT

Prezentul memoriu tehnic conține caracteristicile tehnice, parametrii de funcționare și detalii constructive ale unui model experimental pentru o turbină eoliană cu ax verticală cu o putere debitată de 5 kW,

2. NOTAȚII ȘI SIMBOLURI

Mărimile se definesc pe parcursul lucrării

3. INTRODUCERE

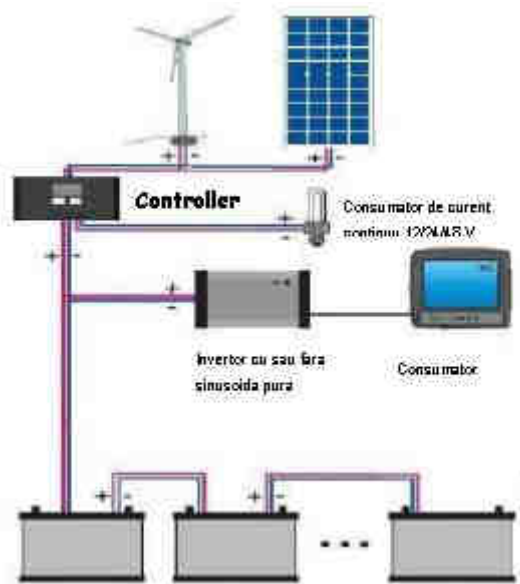
Vântul este rezultatul activității energetice a soarelui și se formează datorită încălzirii neuniforme a suprafeței Pământului. Mișcarea maselor de aer se formează datorită temperaturilor diferite a două puncte de pe glob, având direcția de la punctul cald spre cel rece. În fiecare oră pământul primește 1014 kWh de energie solară. Circa 1-2% din energia solară se transformă în energie eoliană. Acest indiciu înțrece de 5-10 ori cantitatea energiei transformată în biomasă de către toate plantele Pământului. Viteza vântului este cel mai important factor de influență asupra cantității de energie. Viteza mai mare a vântului mărește volumul maselor de aer - cu mărirea vitezei vântului crește cantitatea energiei electrice produse. Energia vântului se schimbă proporțional cu viteza vântului la puterea a treia. Astfel, dacă viteza vântului se dublează, energia cinematică produsă crește de 8 ori.

Energia electrică generată de turbină eoliană se poate converti în mai multe moduri pentru o utilizare finală:

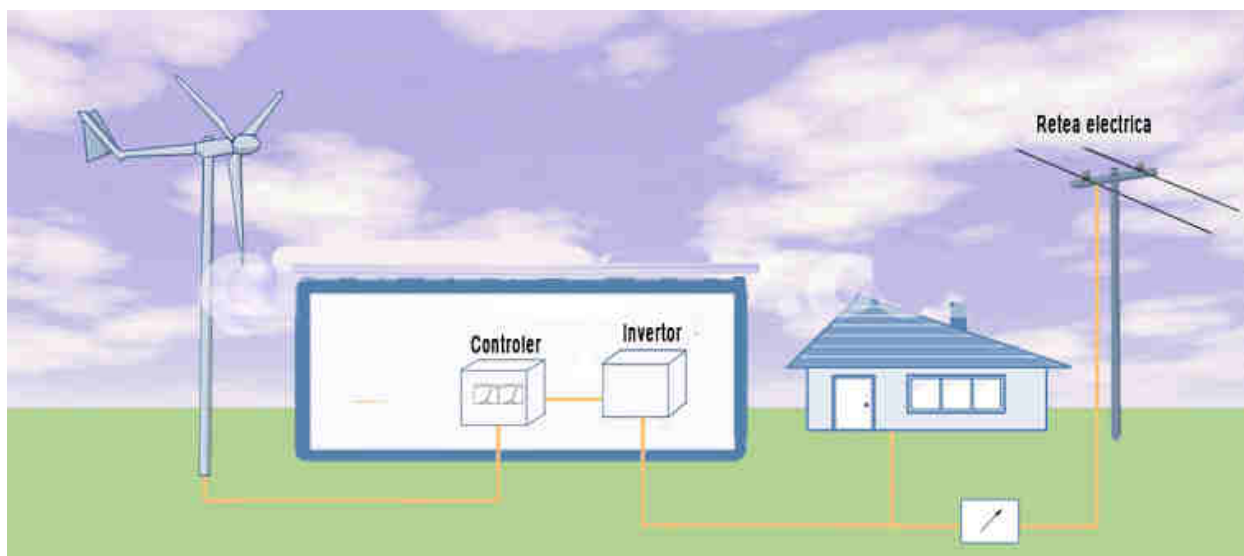
- Generator (trifazic) – Controller (monofazic) – Baterii (12/24/48/36/96)
- Generator (trifazic) – Controller (monofazic) – Baterii (12/24/48/36/96) – Invertor (220/380V) OFF GRID – Rețea internă
- Generator (trifazic) – Controller (monofazic) – Rezistență (ex boiler sau încălzire pardoseală)
- Generator (trifazic) – Controller (monofazic) – Invertor (220/380V) – contor – rețea externă ON GRID

Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1						Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data							


Sistem hibrid (eolian + solar) cu legare la baterii



Sistem hibrid (eolian + solar) cu legare la rețea



Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						

	Memoriu tehnic					Data: 28.06.2019
	PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene					

4. CONȚINUTUL LUCRĂRII

În vederea atingerii obiectivului proiectului, în cadrul fazei de cercetare 2019 (Stabilirea modelului experimental și a parametrilor de funcționare) s-a urmărit prezentarea și analizarea elementelor de predimensionare a turbinelor eoliene pentru sisteme contrarotative și elaborarea temei de proiect a modelelor experimentale.

În cadrul etapei I s-a efectuat o analiză a cercetărilor din literatura de specialitate pentru a identifica stadiul dezvoltării sistemelor de turbine eoliene contrarotative și problemele teoretice și tehnice întâlnite în realizarea și utilizarea acestora.

Studiul performanței sistemelor contrarotative și a metodelor de optimizare a sistemului de turbine este abordată în numeroase lucrări, cercetările efectuate fiind atât numerice, cât și experimentale, realizate fie în tunele aerodinamice pe modele experimentale la scară, fie pe instalații prototip. Elemente ale metodei de abordare a studiului eficienței sistemelor de turbine contrarotative la scară redusă se regăsesc și în literatură, fapt ce demonstrează actualitatea temei de cercetare și corectitudinea metodelor de studiu propuse, corespunzând obiectivului vizat. Cercetările abordează atât studiul a diferite tipuri de generatoare electrice pretabile utilizării în sisteme cu ax vertical cât și studiul profilelor aerodinamice, a condițiilor de funcționare și a performanțelor obținute. Astfel, în unele studii s-au investigat numeric performanțele aerodinamice ale rotoarelor amonte și aval în vederea obținerii pentru fiecare dintre ele a puterii maxime extrase din vânt. Rezultatele simulărilor CFD efectuate pentru un model clasic vertical de 5-10 kW au fost validate cu date experimentale din literatură. Puterea maximă furnizată a fost prezisă pentru o viteză a vântului de 14 m/s și distanța axială optimă între cele două rotoare a fost calculată ca fiind $0,65d$, unde d reprezintă diametrul rotorului amonte.


În alte studii au fost investigate experimental efectele pozitive ale rotației relative asupra interferențelor din siajul unor modele de turbine cu rotoare contrarotative față de cazul unora cu rotor unic, de același diametru. De asemenea, s-a studiat influența distanței dintre două turbine consecutive. Datorită interferențelor din siaj, puterea celei de a doua turbine s-a identificat ca fiind 55-70% din puterea turbinei amonte.

Unele cercetări au abordat elemente de similitudine necesare realizării la scară a turbinelor eoliene și/sau predicției comportamentului turbinelor în anumite condiții de funcționare.

În prezenta temă de cercetare, spre deosebire de experiența anterioară acumulată de echipa de cercetare, se vizează realizarea unui studiu pe modele de sisteme de turbine eoliene la scară redusă în vederea identificării soluției constructive și a modalității/condițiilor de funcționare care conferă cel mai mare grad de conversie a energiei disponibile a vântului, precum și în vederea creării premiselor determinării condițiilor de transpunere la scară reală a rezultatelor obținute pe modele reduse de turbine eoliene cu ax vertical.

În ceea ce privește elementele de calcul și predimensionare a turbinelor eoliene pentru sisteme cu ax vertical, acestea au fost prezentate și analizate. Astfel, s-au prezentat elementele de

Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						

	Memoriu tehnic				Data: 28.06.2019
	PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene				

aerodinamica turbinelor eoline, cu identificarea parametrilor definitorii în construcția rotoarelor eoliene și care influențează performanțele aerodinamice ale acestora (profil aerodinamic, coeficient de putere și de moment, rapiditate, soliditate, teoria lui Betz, acțiunea vântului asupra palei, coeficienți de portanță și de rezistență la înaintare, aerodinamica turbinelor cu ax orizontal). De asemenea, s-au prezentat elemente privind metodologia de calcul și predimensionare a turbinelor eoliene, inclusiv identificarea claselor de profile aerodinamice cele mai utilizate în cadrul instalațiilor eoliene și metode de calcul clasice ale proiectării rotoarelor eoliene axiale cu pale elicoidale, cum ar fi metode de tip element de pală-impuls pentru proiectarea rotorului eolian. În plus, s-a prezentat o metodă preliminară de calcul a parametrilor caracteristici sistemului de turbine contrarotative cu detalierea modalității de testare a modelelor experimentale de turbine individuale și în tandem contrarotativ, precum și calculele și interpretările necesare în vederea determinării parametrilor caracteristici sistemului eolian cu ax vertical.


Având în vedere că scopul prezentei lucrări de cercetare constă nu numai în elaborarea și caracterizarea unor modele experimentale de microturbine eoliene cu ax vertical, la scară redusă, ci și de a compara și analiza concordanța între caracteristicile estimate prin procedurile de calcul cu cele obținute în cadrul unor experimente concrete, tema de proiect cuprinde următoarele secțiuni:

Tema de proiect pentru modele experimentale de pale "perechi". Perechile de pale pentru ax vertical ce urmează a fi proiectate sunt supuse următoarelor cerințe și restricții: diametrul exterior al rotoarelor să nu depășească 0,66 m, pentru încadrare în spațiul util disponibil în tunelul aerodinamic și pentru evitarea efectului de perete; adoptarea unui profil NACA din seria 44 (fie 4412, 4424), ca fiind cel mai frecvent utilizat la turbine eoline și pentru care colectivul de lucru are deja o anumită experiență; putere utilă estimată a microturbinelor individuale, la viteza de 10 m/s a curentului de aer, cuprinsă în intervalul 20 ... 45 W; raportul între cele două rotoare ale unei perechi de turbine ax vertical să se situeze în intervalul 1:1,05 ... 1:1,4, ilustrativ pentru unele construcții anterioare ale colectivului de lucru; pentru a micșora numărul de variabile care influențează performanțele sistemului de turbine, nu se va proceda la torsadarea palelor. În aceste condiții, urmărind acoperirea plăjei dimensionale compatibile cu spațiul util disponibil în cadrul tunelului aerodinamic, pe de o parte și luând în considerare un diametru maximal de aproximativ 80 mm pentru subansamblul generator electric cu armături contrarotative (generator electric cu puteri de ordinul zecilor de W, la turații până la cc. 1000 rpm), pe de altă parte, stabilim prin temă că se vor proiecta 3 "perechi" de pale, cu pala aval (spate) identică, având lungimile maxime posibile.

Subansamble de susținere a palelor pentru asamblarea perechilor de turbine cu ax vertical. Subansamblele de susținere a palelor pentru cele două turbine ale perechilor, la fiecare dintre cele 3 variante ale raportului d/D vor fi astfel proiectate încât să permită pivotarea palelor, blocarea lor la un unghi de incidență determinat și să fie compatibile cu poziționarea și fixarea turbinelor la capetele de arbore ale subansamblului generator electric.

Subansamble independente de prindere, cu traductori integrați, pentru caracterizarea separată a turbinelor contrarotative în tunelul aerodinamic. Subansamblele independente de prindere a turbinelor pentru caracterizarea separată a acestora vor fi astfel proiectate încât să permită fixarea la sistemul integrat tunelului aerodinamic existent (cu frână și traductori de cuplu și

Întocmit	Ing. Bogdan Duran	28.06.2019	Ediția	1						Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda	26.06.2019	Data							

	Memoriu tehnic				Data: 28.06.2019
	PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene				

turație) a fiecărei tipo-dimensiuni de turbină, precum și pivotarea-fixarea (la unghi de incidență determinat) a fiecărei pale.

Subansamblul cu generator electric trebuie să fie compatibil cu conversia unor puteri de ordinul zecilor de W la turații de până la 1000 rpm. Proiectul va prevedea una sau două variante (pentru a acoperi plaja de puteri) de micromașină electrică de curent continuu, tarabilă, înglobate într-o construcție care să permită rotirea armăturii și fixarea turbinei pe capete de arbore, la distanță reglabilă.

Suportul subansamblului va fi compatibil cu infrastructura de poziționare și fixare a tunelului aerodinamic. Pentru ca experimentările să fie orientate spre studiul comparativ al eficienței conversiei eolian-mecanic, cu stabilirea condițiilor de optimizare, palele și sistemul de fixare în turbine vor fi astfel proiectate încât să permită pivotarea palelor și blocarea lor la diferite valori ale unghiului de incidență.

Elaborare proiect și realizare modele experimentale cu $d/D=(1:1,05;1:1,4)$, cu putere individuală de 20...45W. Caracterizarea separată, precum și cu distanță fixă între rotoare a ME, folosind oportunitățile tunel de vânt) a urmărit îndeplinirea a două obiective principale. Primul obiectiv principal este reprezentat de proiectarea și realizarea a 2 modele experimentale de turbine cu ax vertical cu raportul diametrelor $d/D=(1:1,05;1:1,4)$.


Pentru realizarea unui ansamblu/sistem de turbine ax vertical, este necesară realizarea a două turbine eoliene individuale, cu diametre în domeniul impus prin proiect. Rezultă astfel necesitatea realizării a minim 3 modele experimentale individuale de turbine eoliene. Cel de al doilea obiectiv principal este reprezentat de testarea modelelor experimentale realizate, utilizând tunelul de vânt.

În cadrul etapei s-au identificat și prezentat parametrii importanți în proiectarea palelor de turbine eoliene, și anume profilul aerodinamic, coeficientul de putere și rapiditatea. S-a optat pentru varianta constructivă de sistem de turbine contrarotative cu turbina față de diametru mai mic și turbina spate de diametru mai mare. Astfel, s-a stabilit să se proiecteze și realizeze un singur rotor spate, având dimensiunea maximă a diametrului rotorului de 620 mm (din care 100 mm butucul rotorului) și pentru rotoarele față (minim două) să se varieze dimensiunea după cum urmează: 588 mm, 530 mm, respectiv 472 mm.

În vederea proiectării modelelor experimentale de turbine cu ax vertical tip Lentz, s-au analizat mai multe tipuri de profile aerodinamice. Cu ajutorul programului de calculare și simulare open access QBlade s-au analizat următoarele profile NACA cu coardă de 40 mm: 4406, 4412, 4424, 9412, 9912.

Concluziile rezultate în urma analizei profilelor au condus la selectarea în vederea analizării aprofundate a performanțelor profilelor NACA 4412 și NACA 9424, pentru care s-a considerat o coardă dublă, și anume 80 mm.

Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						

	Memoriu tehnic	Data: 28.06.2019
	PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene	

Ca urmare a analizei efectuate, a rezultat că eficiența profilului NACA 4412, exprimată prin coeficientul de putere C_p , este superioară celei a profilului NACA 9424. Astfel, s-a selectat pentru studiu și optimizare profilul NACA 4412.

În literatura de specialitate referitoare la turbine eoliene cu funcționare în regim lent, se precizează că pentru valori $\lambda \leq 3$ crește soliditatea (fie prin mărirea numărului de pale, fie prin mărirea coardei profilului), iar influența aerodinamicii palelor este minimă, putându-se alege chiar plăci curbate în locul unor profile aerodinamice pentru palele rotorice. Având în vedere atât concluziile din literatura de specialitate, cât și cele rezultate în urma cercetărilor desfășurate în cadrul acestei etape, în scopul obținerii unor modele de turbine eoliene cu caracteristicile propuse în schema de realizare, și pentru o mai bună interpretare și analiză a rezultatelor, s-au proiectat 3 perechi de pale.

Având în vedere că scopul final al cercetării este realizarea unui sistem de turbine cu ax vertical, pentru ca pala spate să se rotească în sens orbital al palei față, după proiectarea palei spate și identificarea unghiului optim de așezare, aceasta a fost întoarsă “în oglindă”.

Model experimental 1 (scara 1:125) – model plastic ABS (tiparit pe printer 3D)



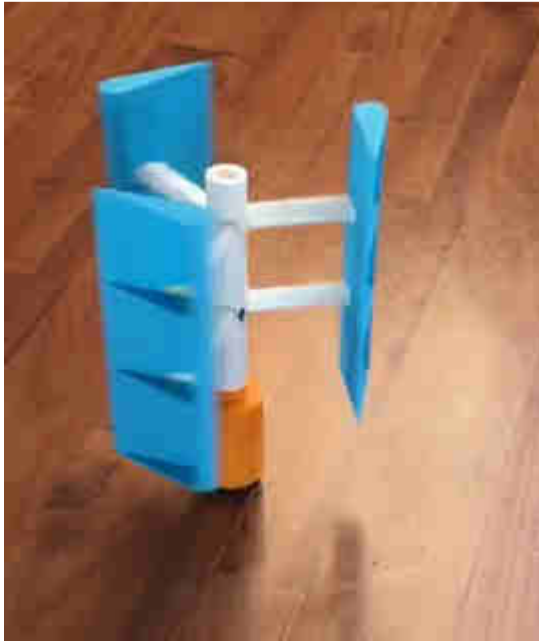
Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						



Memoriu tehnic

PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene

Data: 28.06.2019



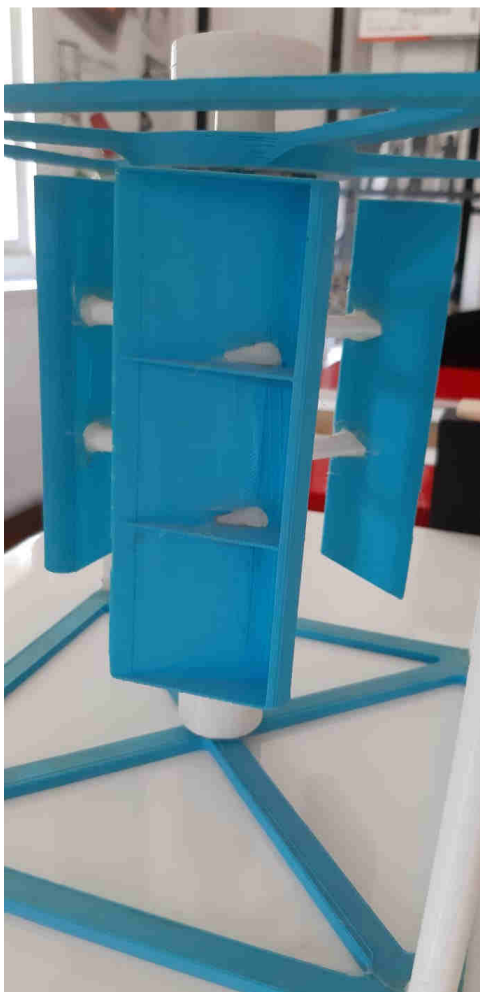
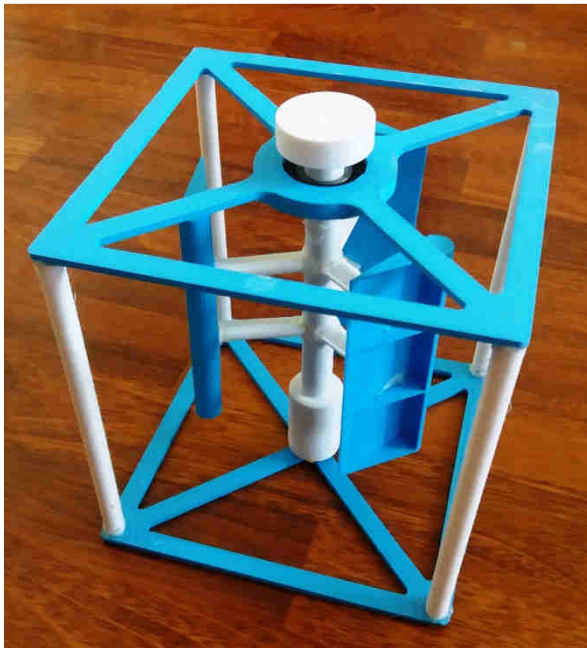
Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						



Memoriu tehnic

PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene

Data: 28.06.2019



Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						

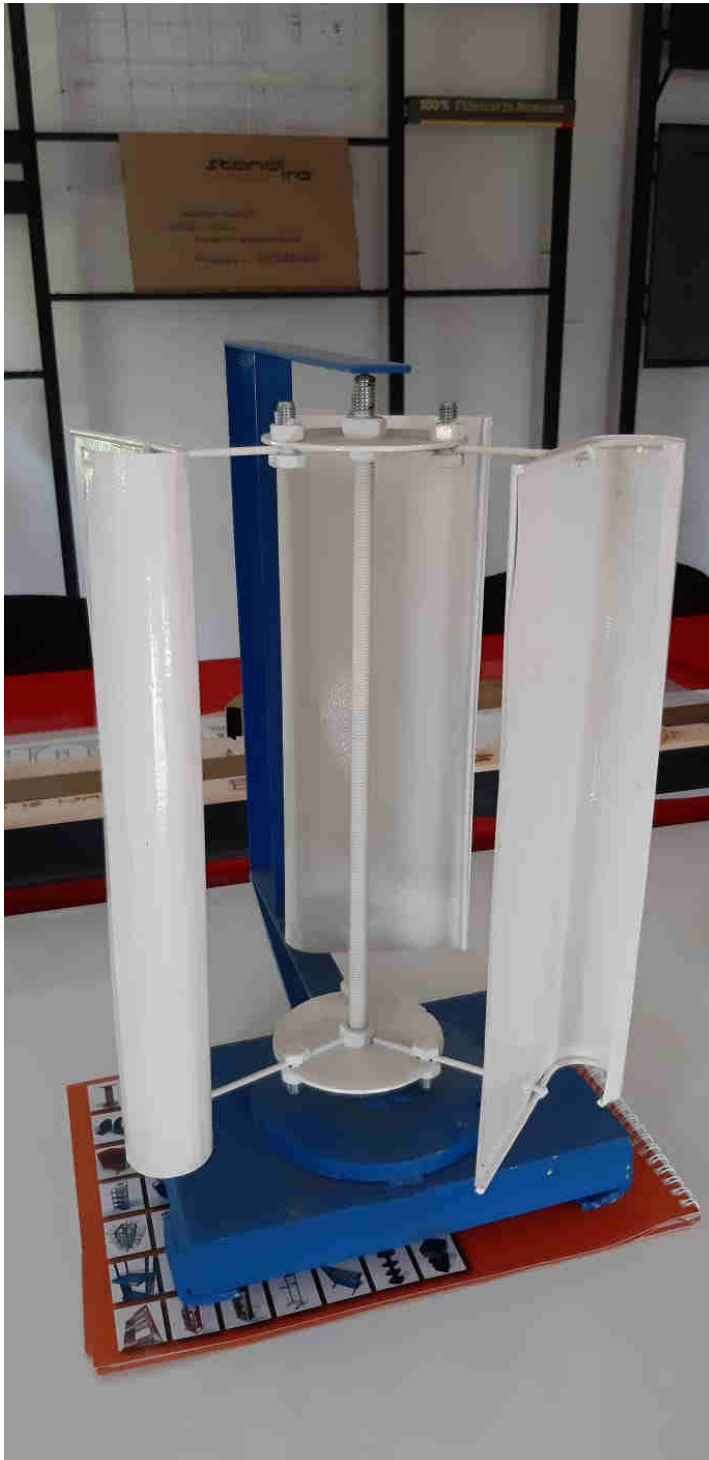


Memoriu tehnic

PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene

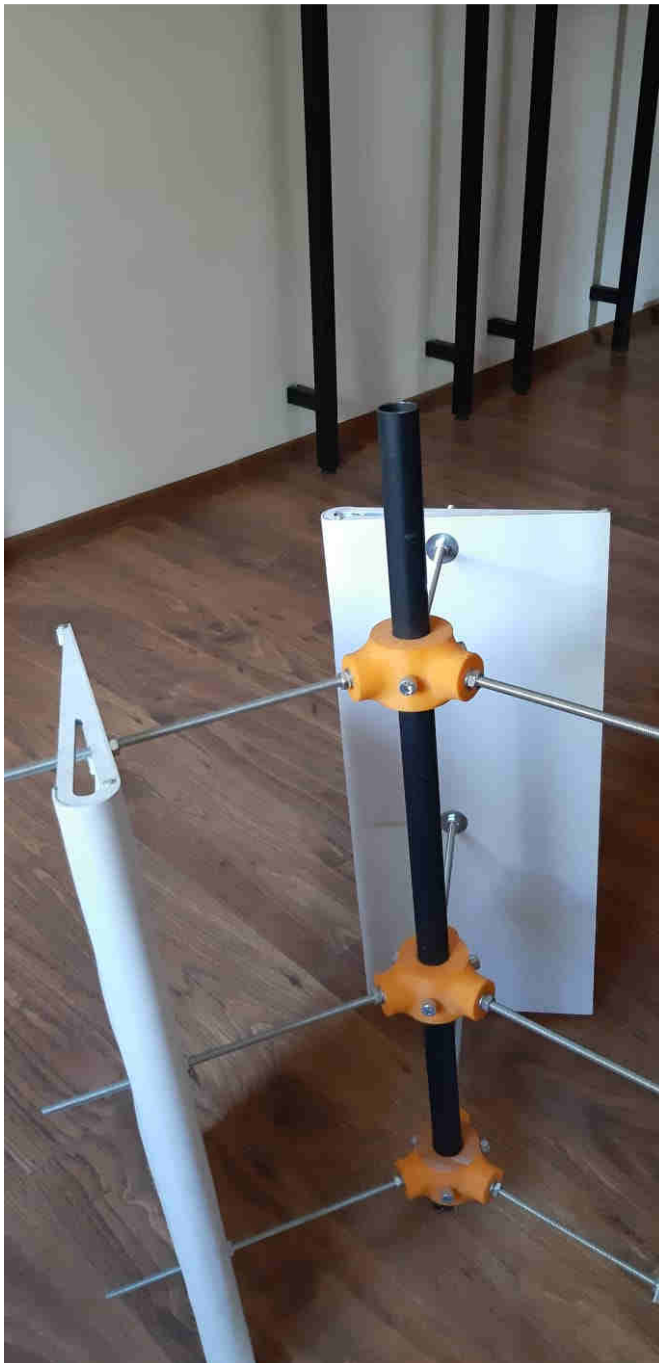
Data: 28.06.2019

Model experimental 2 (scara 1:100) - model metalic



Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						

Model experimental 3 (scara 1:6.5) - model hibrid plastic + metalic



Materiale:

- Pale (forex – invelitoarea, print 3D abs – armatura)
- Brate (tije metalice filetate M8, cu posibilitate de reglaj a bratului palei)
- Butuc prindere brate pale (print 3D abs cu insertii metalice tip piulite M8)
- Ax central (teava otel D32)

Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1						Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data							



Memoriu tehnic

PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene

Data: 28.06.2019

Teste in tunelul aerodinamic din cadrul ICPE-CA

- ICPE-CA detine unul din cele mai moderne tunele aerodinamice de cercetare din Europa
- Acest tunel este unic in Europa (singurul asemanator gasindu-se in America) si este util pentru experimente care pot imbunatati semnificativ constructia de cladiri inalte, infrastructura pentru energia regenerabila, dar pot si ajuta in cazul unor dezastre naturale precum inundatiile sau acumularile de zapada.
- Colectivul care utilizeaza aceasta infrastructura este alcatuit din specialisti romani recunoscuti pe plan international in domeniul experimental al ingineriei vantului.
- Capacitatile grupului de cercetare au fost crescute in mod evident o data cu introducerea noilor capacitati de experimentare in tunelul aerodinamic si upgradarea echipamentelor de masura si control al curgerii.

Utilizare:


- Testarea microturbinelor eoliene cu ax orizontal și vertical;
- Testarea modelelor la scară de turbine eoliene cu ax orizontal și vertical;
- Testarea subansamblelor active din punct de vedere aerodinamic pentru microturbine eoliene și pentru modele la scară de turbine eoliene;
- Diferite teste aerodinamice pentru repere și subansamble specifice.

Caracteristici tehnice și funcționale:

- Secțiune de testare: 1 m X 1 m;
- Lungimea zonei de testare: 1 m;
- Gama vitezelor de lucru: 2 - 30 m/s;
- Lungimea totală a standului: 10 m



Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						

	Memoriu tehnic	Data: 28.06.2019
	PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene	

Componente ale tunelului de vânt:

- Sistemul de încărcare cu sarcină mecanică a rotoarelor eoliene și a modelelor de rotoare eoliene pentru trasarea caracteristicilor mecano-energetice aferente;
- Modul pentru caracterizarea regimului aerodinamic – balanța aerodinamică: forța maximă = 50 N, cuplul maxim măsurat: 10 Nm;
- Modul pentru caracterizarea parametrilor mecano-energetici, dotat cu traductoare pentru determinarea turației (turația va fi măsurată în domeniul 10 - 3000 rpm) și cuplului la arborele unei turbine supuse testelor (în intervalul: 0,2 - 10 Nm);
- Sistem de vizualizare a curentului de aer și turbulențelor, sistem de achiziție, analiză și afișare a datelor preluate de la modulele și echipamentele de măsură de mai sus.

Teste

În conformitate cu informațiile specificate în propunerea de proiect, palele modelelor experimentale de turbine eoliene s-au realizat prin imprimare 3D, utilizând imprimanta Fortus 360 mc large, aflată în dotarea Rolix. Pentru realizarea palelor și a conului turbinelor ansamblului contrarotator s-a utilizat materialul plastic ABS, care are o rezistență la rupere de 36 Mpa. În vederea eficientizării procesului de printare (durată scăzută a imprimării efective) și a minimizării costurilor (consum relativ scăzut de ABS și de energie electrică), s-a ales ca palele să aibă un strat exterior plin, cu grosime de 4 mm (realizat din 4 straturi) și o structură pătratică țesută în interior.

În scopul creșterii rezistenței palelor, pe o distanță de aproximativ 30% din lungimea acestora, s-au introdus tije metalice zincate. În figurile anterioare se prezintă etape ale realizării și prelucrării palelor din ABS.

Pe lângă palele rotorice ale modelelor experimentale de turbine eoliene, s-au realizat și ale componente precum: butuc, con rotoric, subansamble mecanice de prindere etc.

Având în vedere că fiecare model experimental (ME) de turbină eoliană este proiectat să aibă punctul nominal de funcționare la o viteză a vântului de 10 m/s, vitezele pentru care s-a efectuat testarea fiecărui ME în tunelul aerodinamic au fost cuprinse între 9 și 12 m/s

Prin utilizarea sistemului de încărcare mecanică (frâna), s-au obținut valorile cuplului corespondent fiecărei viteze a vântului, respectiv a încărcării. Valorile măsurate (timp, viteză aer, forțe și cupluri pe cele 3 axe, turație), atât instantanee, cât și mediate, au fost vizualizate pe ecranul unui laptop și au fost înregistrate în baze de date. Valorile astfel obținute, au fost analizate pentru fiecare ME în parte și s-au trasat curbele caracteristice putere în funcție de turație $P = f(n)$, respectiv cuplu în funcție de turație $M = f(n)$.

Întocmit	Ing. Bogdan Duran	28.06.2019	Ediția	1						Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda	26.06.2019	Data							

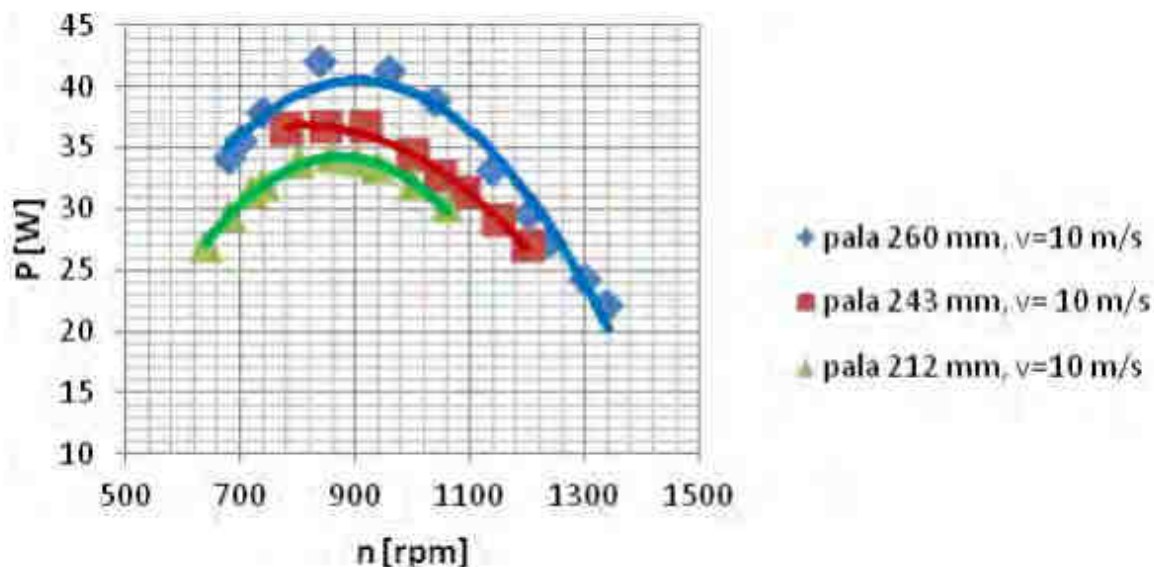


Memoriu tehnic

PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene

Data: 28.06.2019


Variația cuplului în funcție de turație și de viteza vântului pentru cele 3 ME de turbine eoliene individuale selectate



Referitor la puterea dezvoltată de către sistemul contrarotativ, în tabelul 3 se prezintă rezultatele obținute de către ansamblu în diferite configurații.

Turbina cu diametrul de 620 mm în contrarotație cu turbina cu diametrul de 586 mm				
n_f [rpm]	n_s [rpm]	n_{tot} [rpm]	M [Nm]	P [W]
1000	1090	2090	0,3	65,66
900	1050	1950	0,36	73,51
800	970	1770	0,4	74,14
725	950	1670	0,42	73,45
Turbina cu diametrul de 620 mm în contrarotație cu turbina cu diametrul de 524 mm				
1200	1240	2440	0,2	51,10
1060	1120	2180	0,3	68,49
860	975	1835	0,4	76,86
700	890	1590	0,45	74,93
Turbina cu diametrul de 586 mm în contrarotație cu turbina cu diametrul de 524 mm				
1000	1055	2055	0,3	64,56
700	760	1460	0,36	55,04
800	860	1660	0,4	69,53

Întocmit	Ing. Bogdan Duran	28.06.2019	Ediția	1						Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda	26.06.2019	Data							

	Memoriu tehnic				Data: 28.06.2019
	PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene				

În vederea atingerii obiectivului proiectului, în cadrul fazei I de cercetare/2019 s-a urmărit îndeplinirea a două obiective principale, cu scopul final de a permite identificarea soluției constructive și a variantei de funcționare care conferă cel mai bun randament de conversie a energiei vântului în energie electrică.

Primul obiectiv principal este reprezentat de proiectarea unui sistem de turbine eoliene contrarotitoare cu distanță reglabilă între pale pe verticala dar și pe orizontala. Proiectarea a vizat, în special, stabilirea unor distanțe de montaj dm , incrementate cu Δdm și s-a realizat ținând cont de: concluziile extrase în urma studiului cercetărilor teoretice și experimentale în domeniu, raportate în literatura de specialitate, caracteristicile modelelor experimentale de turbine eoliene individuale proiectate, realizate și caracterizate în fazele anterioare ale proiectului, de dimensiunile și caracteristicile tunelului aerodinamic și aparatul de măsură și control cu care acesta este dotat.


Cel de al doilea obiectiv principal este reprezentat de realizarea sistemului de turbine eoliene cu ax vertical Lentz cu unghi variabil la pale. În acest scop: s-a ținut cont de perechile de turbine amonte/aval care să intre în componența sistemului și care să corespundă restricțiilor impuse prin proiect: raportul diametrelor $d/D=(1:1,05;1:1,4)$ și puterea estimată în intervalul 50...70 W pentru o viteză a vântului de 10 m/s; s-a realizat un sistem care să permită amplasarea rotoarelor la distanțele stabilite prin proiect, s-a realizat un sistem de măsură și control care integrează echipamentele din dotare și care permite testarea sistemului contrarotativ - funcționarea simultană, în contrarotație, a perechilor de rotoare eoliene.

Pentru determinarea stadiului dezvoltării și a rezultatelor cercetărilor teoretice și experimentale obținute în studiul sistemelor de turbine eoliene cu ax vertical, s-a analizat o serie de articole publicate în domeniu. Astfel, studiul efectuat, susținut de 45 de referințe bibliografice, a privit investigarea bazelor teoretice ale sistemelor eoliene contrarotitoare și a metodelor de investigare a performanțelor acestora.

Ca urmare a studiului bibliografic s-a constatat că s-a efectuat o serie de studii vizând fie determinarea influenței unui număr limitat de parametri asupra performanței unui sistem eolian cu ax vertical, fie a unui număr mai mare de parametri. Cu toate că în studiile analizate se regăsesc o serie de rezultate valoroase, având în vedere că eficiența sistemelor verticale depinde de o multitudine de parametri (precum tipul profilului aerodinamic, soliditatea celor două rotoare, aria măturată de fiecare dintre acestea, raportul dintre diametrul rotorului amonte și cel al rotorului aval, distanța dintre rotoare, sistemul de transmitere a mișcării de la rotoare la generator/generatoare), există încă necesitatea efectuării de studii extensive asupra acestui sistem de conversie a energiei cinetice a curenților de aer. De asemenea, sistemele de turbine eoliene cu ax vertical tip Lentz trebuie să își demonstreze fiabilitatea în condiții reale de operare. Însă, studiile efectuate în ultimii ani au demonstrat avantajele acestor sisteme.

În ceea ce privește distanța dintre axe, ca o concluzie generală, se desprinde faptul că sunt de evitat distanțe de amplasare mai mici de 50% din diametrul rotorului amonte deoarece acestea nu conduc la creșterea eficienței totale a sistemului. Mai mult, în cazul unei distanțe axiale de 44%, puterea obținută de către sistemul Lentz este mai mică decât puterea unei singure turbine clasice. În

Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						

	Memoriu tehnic	Data: 28.06.2019
	PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene	

consecință, în proiectarea microaerogeneratorului cu modele experimentale de turbine contrarotitoare cu distanță reglabilă între rotoare, acestea se vor amplasa la distanțe mai mari de 50% din diametrul rotorului amonte. În scopul determinării distanței axiale între rotoare este necesară trasarea unei curbe de variație a puterii cu turația/rapiditatea la diferite distanțe. Astfel, în proiectarea sistemului de reglare a distanței dintre axe se vor prevedea câte 3 distanțe diferite, în intervalul 50% ÷ 100% din diametrul rotorului amonte, pentru fiecare sistem.

Tema de proiect ME cu turbine Lentz. Se vor proiecta modelele de microaerogeneratoare cu turbine contrarotative prin integrare cu echipamentele existente (tunelul aerodinamic și cele două sisteme de încărcare în sarcină și de măsurare a parametrilor) după cum urmează:

1. Dispozitiv suport cu braț de susținere vertical pentru ansamblul cilindric independent (cu capăt de arbore pentru turbină și dotat cu frână electromagnetică și traductori de cuplu și turație) și sistem de ancorare pe un dispozitiv tip tijă orizontală de ancorare. Dispozitivul va cuprinde suportul efectiv de prindere a ansamblului cilindric. Înălțimea dispozitivului suport va fi în concordanță cu înălțimea de amplasare a turbinei amonte în tunelul aerodinamic.

2. Dispozitivul tijă orizontală cu perforații pentru montarea brațului de susținere la distanța dorită între cele două axe. Acest dispozitiv se va ancora de tubul vertical de susținere a turbinei aval (echipat cu frână electromagnetică și traductori de cuplu și turație) din dotarea tunelului aerodinamic. Dispozitivul va permite amplasarea în tandem a turbinelor amonte și aval la distanțele de montaj dm cuprinse între 262 mm și 586 mm.

3. Piese de adaptare, dacă este cazul, a turbinelor la capetele de arbore ale echipamentelor de măsură și control amonte și aval.

Având în vedere că tunelul aerodinamic este dotat cu un singur dispozitiv de susținere și testare a unei turbine eoliene, este necesară proiectarea și realizarea unui al doilea sistem de susținere și caracterizare a celei de a doua turbine din cadrul sistemului contrarotitor. În plus, în vederea testării tandemului contrarotitor la diferite distanțe între cele două turbine, a fost necesară proiectarea și realizarea unei tije cu perforații ancorată atât de turnul de susținere a turbinei aval, cât și de brațul de susținere a turbinei amonte. Pentru fixarea și rigidizarea întregului montaj și pentru minimizarea vibrațiilor în funcționare, având în vedere că turbinele eoliene operează la cca. 800 - 1100 rpm, a fost necesară proiectarea și realizarea unei plăci cu ajutorul căreia tija cu perforații să se prindă într-o structură tip sandwich de placa inferioară a camerei de testare a tunelului.

Ansamblul modelului experimental de aerogenerator cu turbine contrarotitoare și cu distanță reglabilă între rotoare și putere estimată în intervalul 50...70 W pentru o viteză a vântului de 10 m/s, conținând suportul pentru sistemul de frânare cu traductor de cuplu și turație, sistemul de frânare cu traductor decuplu și turație, tija orizontală perforată pentru brațul de susținere a turbinei amonte.

Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						



5. CONCLUZII

În vederea transpunerii la scară a rezultatelor obținute la experimentarea turbinelor eoliene, este necesară îndeplinirea a cel puțin unei condiții de similitudine, fie totale, fie doar pentru o componentă a sistemului. Două turbine eoliene – model și prototip/natură, respectiv turbina supusă studiului și model – se pot afla în similitudine geometrică, cinematică și dinamică. Pentru a fi în similitudine cinematică, turbinele trebuie să fie deja în similitudine geometrică, respectiv pentru a fi în similitudine dinamică, cele două turbine trebuie să respecte deja similitudinea cinematică. Pentru a obține similitudinea cinematică, triunghiurile de viteze în secțiunile omoloage ar trebui să fie similare geometric. Toate vitezele omoloage trebuie să fie reduse la scară cu același coeficient de similitudine cinematică, hc. Realizarea simultană a tuturor condițiilor care asigură toate cele 3 tipuri de similitudine conduce la situația absurdă în care coeficientul de scară a lungimii este 1, ceea ce ar însemna că modelul este însuși prototipul. Acest fapt conduce la concluzia că este imposibilă testarea unui model în condițiile păstrării similitudinii dintre model și prototip pentru toate forțele. Pentru a satisface similitudinea dinamică dintre model și prototip, ceea ce înseamnă funcționarea la același număr Re, modelul ar trebui să se rotească la o viteză foarte mare și, din această cauză, ar trebui să se țină cont de compresibilitatea aerului; altfel, similitudinea cinematică nu ar fi îndeplinită. În concluzie, cel mai important parametru adimensional de care trebuie să se țină cont în testarea modelelor de turbine eoliene este rapiditatea λ . Similitudinea geometrică impune ca turbinele eoliene să aibă același număr de pale. Acest fapt a fost respectat în toate cazurile de modele experimentale de turbine eoliene realizate, impunându-se un număr fix de pale, și anume 3.

Pentru perechile de rotoare eoliene au fost impuse următoarele condiții:

- diametrul exterior al rotoarelor < 0,66 m pentru încadrare în spațiul util disponibil în tunelul aerodinamic și pentru evitarea efectului de perete;
- putere utilă estimată a modelelor de turbine individuale în intervalul 20 ... 45 W, la viteza de 10 m/s a curentului de aer;

Întocmit	Ing. Bogdan Duran	28.06.2019	Ediția	1						Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda	26.06.2019	Data							



Memoriu tehnic

PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene

Data: 28.06.2019

- adoptarea unui profil NACA, ca fiind cel mai frecvent utilizat la turbine eoliene;
- raportul între cele două rotoare ale unei perechi de turbine contrarotative să fie $d/D=(1:1,05;1:1,4)$; pentru a micșora numărul de variabile care influențează performanțele

Inițial, pentru realizarea similitudinii geometrice a modelelor experimentale cu turbine eoliene la scară naturală, s-a proiectat, realizat și testat o pala cu profil aerodinamic Lentz optimizat. S-a constatat că turbina pornește la o viteză superioară celei nominale și dezvoltă o putere inferioară celei de proiectare – de exemplu se obține o putere de 3W la o viteză a vântului de 12,4 m/s. S-a concluzionat astfel că, pentru acest model de pale, nu se poate obține puterea de proiectare de minim 20W la o viteză de 10 m/s, ci la viteze mult mai mari ale vântului, care nu ar respecta condițiile impuse în tema de proiect. În plus, ar însemna ca turbina să aibă o turație mult mai mare de 1000 rpm, ceea ce ar conduce la dificultăți tehnice și structurale, precum și la diminuarea siguranței în funcționare.



Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						



Memoriu tehnic

PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene

Data: 28.06.2019



6. BIBLIOGRAFIE

- [https:// http://turbineeoliene.rolix.ro](https://http://turbineeoliene.rolix.ro)
- *Effect of the pitch angle and of the number of blades on depression created under impellers*, 21st Innovative Manufacturing Engineering and Energy Conference (IManE&E) 2017, DOI: 10.1051/mateconf/201711208011 , Băbuțanu C., Mândrea L.
- “Power Prediction Method Applicable to Horizontal Axis Hydrokinetic Turbines”, The 8th International Conference on Energy and Environment, 19 - 20 October 2017, Bucharest, Romania, ID044. R.A. Chihaiia, F. Bunea, G. Oprina, L.A. El-Leathey
- „Assessing the blade chord length influence on the efficiency of a horizontal axis hydrokinetic turbine”, Proceedings of 2016 International Conference on Hydraulics and Pneumatics – HERVEX, November 9-11, Baile Govora, Romania, Rareș-Andrei CHIHAIA, Gabriela OPRINA, Sergiu NICOLAIE, Andreea EL-LEATHEY, Corina BĂBUȚANU, Adrian

Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						



Memoriu tehnic

PROIECT: Cercetarea și dezvoltarea unei instalații mobile de obținere a energiei regenerabile eoliene

Data: 28.06.2019

- Spindler Eberhard “Electronica Aplicata” autor, 1983
- Buonarota A., Magistris P., Testa A., Zagliani F., Traditional and advanced energy storage systems for new strategies for the development and the exploitation of MV and LV network, CIRED Barcelona 2003, R4-08
- Bórmio E. Jr ș.a., Development and implementation of FACTS - „Flexible alternating current systems” – în distribution system, CIRED, Torino, 2005, 0733
- Vatră F. - Aspecte ale calității energiei electrice referitoare la consumatori. - Secțiunea 1 din Modulul 10 - Utility package , Note de Curs din cadrul cursurilor LPQIVES – Calitatea Energiei Electrice - Gradul 2, organizate de SIER în anul 2009.
- CEI 61000-4-30:2008 - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement technique - Power quality measurement methods.
- Power Quality în European Electricity Supply Networks, EURELECTRIC, noiembrie 2003.

7. ANEXE

- 7.1 COMANDA INTERNĂ
- 7.2 TEMA
- 7.3 PROCES VERBAL DE AVIZARE

Întocmit	Ing. Bogdan Duran		28.06.2019	Ediția	1					Ex.
Verificat	Ing. Dragos Preda		26.06.2019	Data						