



COMOTI
INSTITUTUL NATIONAL DE
CERCETARE - DEZVOLTARE
TURBOMOTOARE

**INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE -
DEZVOLTARE TURBOMOTOARE**

PROIECT: Raport tehnic privind campania de testare

ACEST DOCUMENT ESTE PROPRIETATEA INTELECTUALĂ A I.N.C.D.
TURBOMOTOARE COMOTI ȘI NU POATE FI FOLOSIT, TRANSMIS SAU REPRODUS,
TOTAL SAU PARȚIAL, FĂRĂ AUTORIZAREA EXPRESĂ ȘI SCRISĂ a

I.N.C.D. Turbomotoare–COMOTI, bvl. Iuliu Maniu, nr. 220D, sector 6, București, România,
www.comoti.ro

DENUMIRE LUCRARE

Raport tehnic privind campania de testare

Beneficiar:

SC ROLIX IMPEX SRL

Ing. Dragoș PREDA

Furnizor:

INCD Turbomotoare COMOTI

CS I. Dr. Ing. Ion MĂLĂEL



CUPRINS

Nr. Crt.	Denumire	Pag.
1.	REZUMAT	03
2.	NOTAȚII ȘI SIMBOLURI	03
3.	INTRODUCERE	03
4.	CONȚINUTUL LUCRĂRII	05
5.	CONCLUZII	12
6.	BIBLIOGRAFIE	12

1. REZUMAT

Lucrarea propune testarea experimentală a unei noi abordări de configurație de turbine eoliene, în care sunt utilizate mai multe turbine eoliene cu ax vertical de tip Lenz într-o structură a unei părți de gard, ce poate fi utilizat în complexele rezidențiale. Campania de testare a fost realizată în cadrul tunelului aerodinamic al INCDT COMOTI care este capabil să dezvolte viteze ale curentului de până la 20m/s.

2. NOTAȚII ȘI SIMBOLURI

Toate mărimile apărute în lucrare sunt definite pe parcurs.

3. INTRODUCERE

Odată cu resimțirea tot mai puternică a efectelor negative ale poluării asupra mediului înconjurător, interesul față de sursele regenerabile de energie a crescut. Mai mult, la nivel european, Uniunea Europeană a impus statelor membre, prin Directiva UE 2018/2001, ca un procent de cel puțin 32% din energia totală consumată de fiecare stat membru să provină din surse regenerabile de energie până în anul 2030, cu posibilitatea majorării acestui procent până în anul 2023. În anul 2016, conform statisticilor realizate la nivelul Uniunii Europene, în cadrul acesteia un procent de aproape 28% din energia produsă la nivelul statelor membre provenea din surse regenerabile de energie. Dintre care, aproximativ 32% a fost generată de energia eoliană.

Turbinele eoliene reprezintă sisteme complexe care au capacitatea de a capta energia cinetică a vântului și de a o transforma în energie electrică sau mecanică. Astfel de sisteme reprezintă o soluție fezabilă pentru generarea de energie atât la nivel național, cât și internațional, deoarece majoritatea țărilor de pe glob prezintă zone cu relief favorabil amplasării lor (țărmul mărilor sau oceanelor, zone întinse de deal și chiar zone urbane sau rurale). De asemenea, la nivel global, majoritatea țărilor prezintă curenți de aer ce favorizează generarea de energie prin intermediul turbinelor de vânt.

Turbinele de vânt pot fi clasificate în două mari categorii, care la rândul lor se pot divide în mai multe tipuri:

- Turbine de vânt cu ax orizontal
- Turbine de vânt cu ax vertical: Darrieus, Savonius, Lenz

De asemenea, după modul de generare al forțelor pe pale, turbinele eoliene pot fi de tip portanță (Darrieus) sau rezistență (Savonius). În figura următoare sunt ilustrate sistemele eoliene cele mai răspandite și populare cu ax vertical

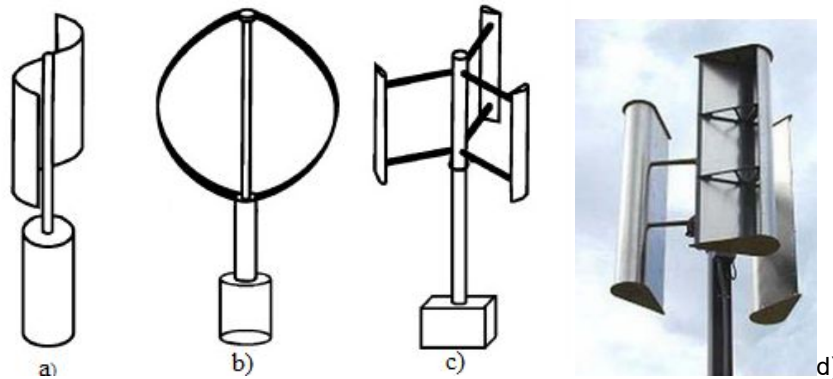


Figura 1. Turbine eoliene cu ax vertical: a) Savonius; b) Darrieus; c) Darrieus H-rotor, d) Lenz]

Diferențele principale dintre turbinele cu ax orizontal și cele cu ax vertical sunt reprezentate de tipurile de aplicații ale acestora și de condițiile optime de funcționare. Sistemele eoliene cu ax orizontal sunt deseori instalate sub formă de parcuri eoliene. Pentru a genera cantități mari de energie și a funcționa la performanțe optime, acestea trebuie amplasate în zone cu viteze relativ mari ale vântului (în general acestea funcționează la viteze de peste 4 m/s, iar vitezele optime de funcționare sunt în intervalul 8-12 m/s), precum cele de deal sau de țărm. De asemenea, aceste zone trebuie să fie întinse și să permită instalarea unor astfel de construcții, precum și destul de izolate, din cauza nivelului mare de zgomot produs. Înălțimea turbinelor eoliene cu ax orizontal și amplasarea lor pot afecta fauna zonei, deoarece ele pot reprezenta un pericol pentru păsări.

În cercetarea și dezvoltarea turbinelor eoliene, o etapă foarte importantă, care succede etapa de proiectare, este cea de testare. În general, modelele dezvoltate sunt în primă fază proiectate la scară redusă – modele de suflerie, astfel încât să fie posibilă analiza comportamentului lor într-un mediu controlat care să simuleze diferite regimuri de funcționare.

Scopul unei campanii experimentale este acela de a stabili performanțele modelului dezvoltat pentru diferite viteze ale vântului. De asemenea, se evaluează și integritatea structurală a turbinei, precum și condițiile optime de funcționare în siguranță ale sistemului.

Campaniile experimentale au un rol foarte important în evaluarea influenței turbulențelor asupra modelelor ce se dezvoltă și ajută la optimizarea acestora. Influența curenților

Întocmit	CS I. Dr.Ing. Ion Mălăeș ion.malael@comoti.ro , 0765182266	11.2023	Editia	1				Ex.
----------	---	---------	--------	---	--	--	--	-----



turbulenți asupra turbinelor cu ax vertical de mici dimensiuni este relevantă în contextual utilizării acestora în zone urbane, iar aceste turbulențe pot fi investigate cu succes în suflerii.

În funcție de parametrii care se doresc și de obiectivele experimentelor, viteza de rotație la axul turbinei poate fi măsurată prin contact direct cu ajutorul unui tahometru sau fără contact, cu laser. Pentru o evaluare mai în amănunt a câmpului de viteze din jurul turbinei și o analiză a vârtejurilor care se formează în spatele acesteia se pot folosi metodele PIV (Particle Image Velocimetry) sau LDA (Laser Doppler Anemometry).

Scopul prezentei lucrări este realizarea testelor în sufleria aerodinamică pentru modelul inovativ de turbina eoliana de tip Lenz. În conținutul lucrării se vor prezenta aparatele de măsurare și modul în care acestea au fost instalate, instrumentarea modelului experimental; vor fi redată rezultatele obținute pentru parametrii monitorizați, iar în urma prelucrării acestora se vor genera curbele de performanță.

4. CONȚINUTUL LUCRĂRII

Testele experimentale au avut loc în sufleria aerodinamică subsonică din infrastructura Institutului Național de Cercetare Dezvoltare Turbomotoare COMOTI amplasată pe platforma din Magurele.





Figura 2. Sufleria COMOTI din Măgurele

Instrumentarea modelului experimental a presupus poziționarea acestuia pe un suport și conectarea turbinelor la generatoare, precum și montarea circuitului electric. Circuitul electric a fost compus dintr-un controller, pentru a ține tensiunea electrică constantă de 12 V (Figura 3), un multimetru pentru a intensității electrice și a tensiunii electrice (Figura 4) și o baterie de 12V cu rol de consumator (Figura. 5).



Figura 3. Controller



Figura 4. Multimetru

Întocmit	CS I. Dr.Ing. Ion Mălăeș ion.malael@comoti.ro , 0765182266	11.2023	Editia	1			Ex.
----------	---	---------	--------	---	--	--	-----



Figura 5. Baterie de 12V

Modelul a fost montat pe  nd in cele doua pozitii, prima in care este perpendicularat pe directia curentului de aer (Figura 6)si cea de a doua in lungul curentului de aer (Figura 7).



Figura 6. Model in suflerie, poz 1



Figura 7. Model in suflerie, poz 2

�ntocmit	CS I. Dr.Ing. Ion Mălăel ion.malael@comoti.ro , 0765182266	11.2023	Editia	1			Ex.
----------	---	---------	--------	---	--	--	-----

Pentru monitorizarea vitezei vântului în suflerie s-a folosit un manometru cu tub Pitot, care a fost instalat așa cum este exemplificat în Figura 8.



Figura 8. Tubul Pitot montat în suflerie

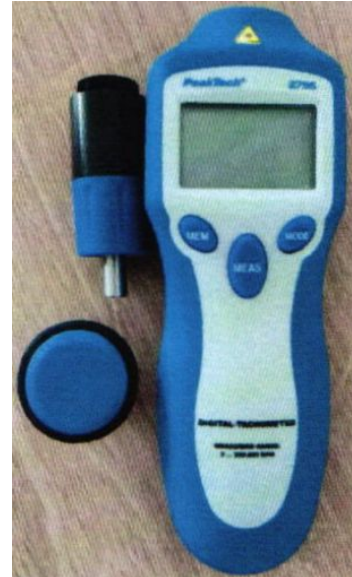


Figura 9. Tahometru PeakTech 2795

Viteza de rotație la ax a fiecărei turbina în parte, pentru diferite viteze ale curentului din suflerie, a fost măsurată folosind tahometrul PeakTech 2795 (Fig. 9). Măsurătorile au fost realizate fără contact, prin folosirea tehnologiei cu laser.

După colectarea datelor experimentale, acestea au fost prelucrate în vederea obținerii performanțelor. Puterea a fost determinată ca fiind produsul dintre intensitatea și tensiunea electrică măsurate.

$$P = UI \tag{1}$$

Indirect, s-a putut determina și coeficientul de putere, din formula puterii.

$$P = \frac{1}{2} \rho V_{\infty}^3 S c_p \tag{2}$$

V_{∞} - viteza vântului în suflerie

S - suprafața turbinei

Cunoscând turația la ax și viteza curentului din suflerie au fost determinate valori pentru TSR.

$$TSR = \frac{\omega R}{V_{\infty}} \quad (3)$$

ω - viteza unghiulară

R - raza turbinei

Mai departe s-a putut determina coeficientul de moment și în final momentul.

$$c_m = \frac{c_p}{TSR} \quad (4)$$

$$M = \frac{\rho}{2} S V_{\infty}^2 R c_m \quad (5)$$

Modelul a fost analizat în sarcină, iar faptul ca geometriile Lenz funcționează la valori reduse pentru TSR a permis realizarea măsurătorilor începând de la viteze de 8 m/s, comparativ cu modelele discutate anterior. Vitezele la care a fost analizat modelul sunt cuprinse în intervalul 8 m/s - 12 m/s. Rezultatele colectate, precum și cele derivate din acestea sunt redate în tabelele de mai jos.

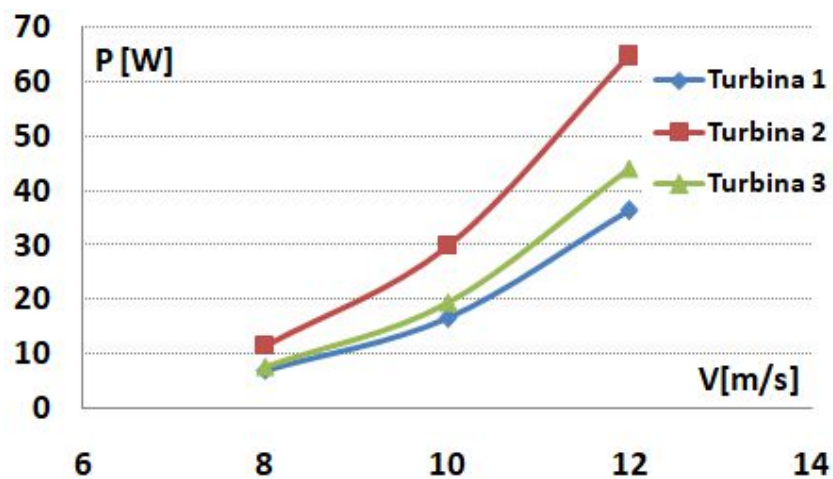
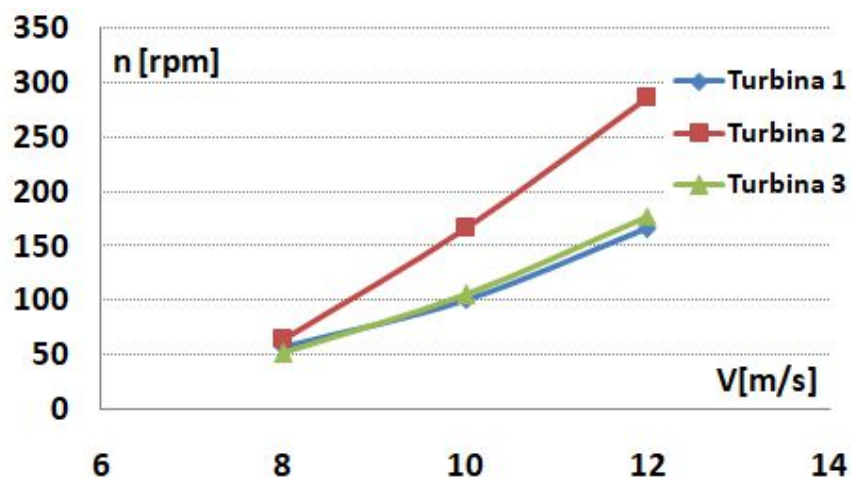
Tabel 1. Rezultate campanie testare - Pozitia 1

	V [m/s]	n [rpm]	P [W]	I [A]	U [V]	ω [rad/s]	TSR	Cp
Turbina 1	8	57,29578	6,912	0,576	12	6	0,15	0,135
	10	100,2676	16,5	1,375	12	10,5	0,21	0,165
	12	166,1578	36,288	3,024	12	17,4	0,29	0,21
Turbina 2	8	64,93522	11,52	0,96	12	6,8	0,17	0,225
	10	167,1127	30	2,5	12	17,5	0,35	0,3
	12	286,4789	64,8	5,4	12	30	0,5	0,375
Turbina 3	8	51,5662	7,68	0,64	12	5,4	0,135	0,15
	10	105,0423	19,5	1,625	12	11	0,22	0,195
	12	177,6169	44,064	3,672	12	18,6	0,31	0,255

Tabel 2. Rezultate campanie testare - Pozitia 2

	V [m/s]	n [rpm]	P [W]	I [A]	U [V]	ω [rad/s]	TSR	Cp
Turbina 1	8	76,39438	5,12	0,426667	12	8	0,2	0,1
	10	152,7888	15	1,25	12	16	0,32	0,15
	12	257,831	34,56	2,88	12	27	0,45	0,2
Turbina 2	8	45,83663	4,608	0,384	12	4,8	0,12	0,09
	10	119,3662	12	1	12	12,5	0,25	0,12
	12	171,8873	28,512	2,376	12	18	0,3	0,165
Turbina 3	8	38,19719	2,56	0,213333	12	4	0,1	0,05
	10	71,61973	8	0,666667	12	7,5	0,15	0,08
	12	103,1324	17,28	1,44	12	10,8	0,18	0,1

În graficele următoare sunt reprezentate puterea în funcție de viteză, evoluția turației în funcție de viteză și variația coeficientului de putere cu TSR-ul pentru fiecare caz in parte.


Figura 10. Putere vs viteza curentului de aer - Poz.1

Figura 11. Turație vs viteza curentului de aer - Poz.1

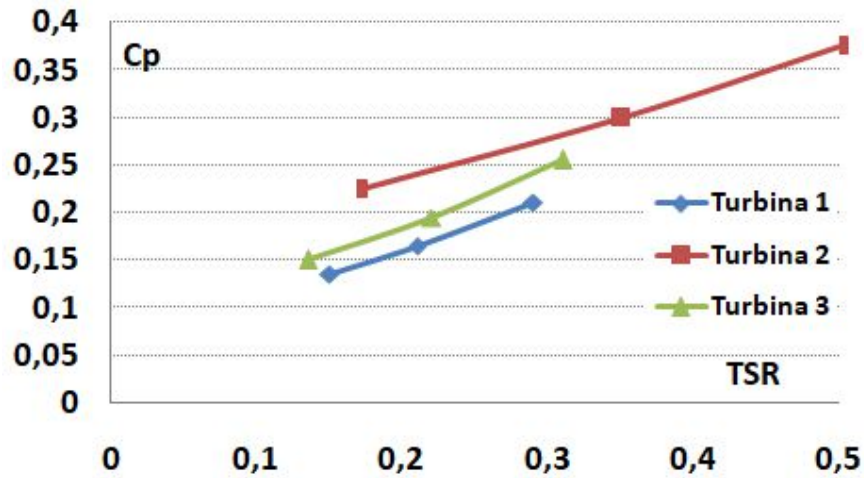


Figura 12. Coeficientul de putere vs TSR - Poz.1

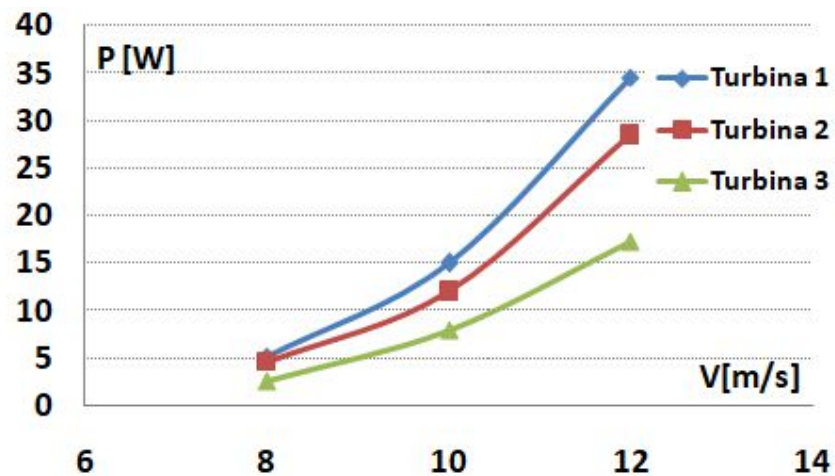


Figura 13. Putere vs viteza curentului de aer - Poz.2

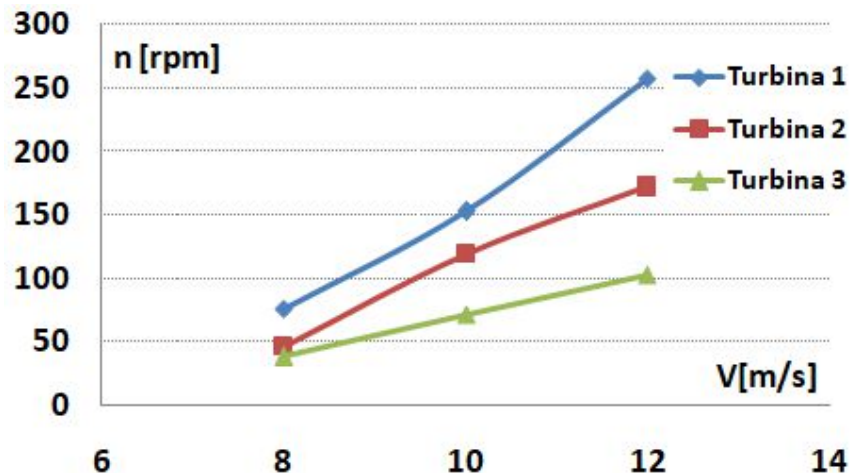


Figura 14. Turație vs viteza curentului de aer - Poz.2

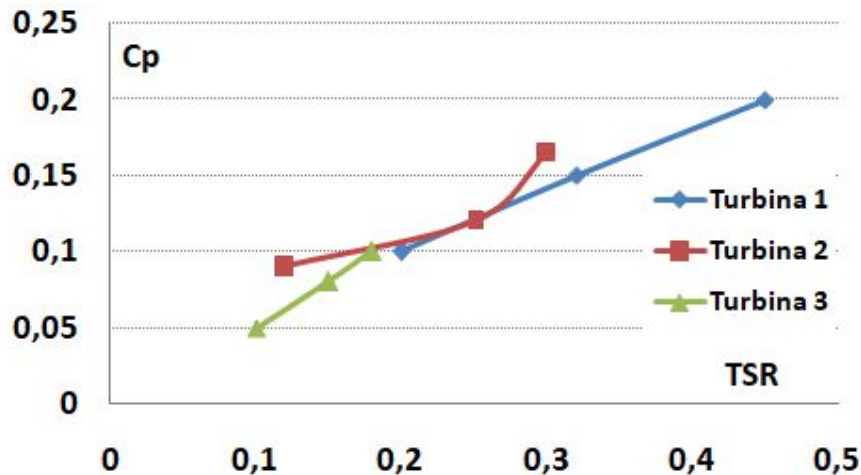


Figura 15. Coeficientul de putere vs TSR - Poz.2

5. CONCLUZII

Scopul studiului actual a fost de a evalua experimental performantele undi configuratii de turbine eoliene dezvoltate pentru utilizarea in zone rezidentiale. Lucrarea cuprinde prezentarea aparatelor de măsură folosite, precum și instrumentarea în suflerie a modelului. De asemenea, sunt prezentate pentru fiecare caz în parte rezultatele obținute în urma testelor efectuate în sufleria aerodinamică.

6. BIBLIOGRAFIE

- [1]. M. Ciucci, Fișe descriptive despre Uniunea Europeană, „Fișă tehnică – Energia din surse regenerabile”, Februarie 2020. Disponibil la: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/ro/sheet/70/energia-din-surse-regenerabile>
- [2]. Renewable Energy facts – Energy Union, South Baltic Bridge, 2019. Disponibil la: <http://sbbridge.eu/renewable-energy/>
- [3]. Gross electricity generation from renewable sources–EU 2016, European Comission, Eurostat. Disponibil la: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20180921-1>
- [4]. A. Mostafaeipour, „Feasibility study of offshore wind turbine installation in Iran compared with the world”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14 (7), 2010, pp. 1722-1743.
- [5]. M. H. Jahangir, A. Shahsavari, M. A. V. Rad, „Feasibility study of a zero emission PV/Wind turbine/Wave energy converter hybrid system for stand-alone power suply: A case study”, Journal of Cleaner Production, Vol. 262, 2020.
- [6]. Global Map of Wind Speed, <https://globalwindatlas.info>
- [7]. Akwa, J. V., Vielmo, H. A. și Petry, A. P., „A review on the performance of Savonius wind turbines”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, 2012, pp. 3054-3064.



- [8]. Zwierzchowski, J., Laski, P. A., Blasiak, S., Takosoglu, J. E., Pietrala, D. S., Bracha, G. F. și Nowakowski, L., „Model tests of wind turbine with a vertical axis of rotation type Lenz 2’, Advances in Dark Matter and Particle Physics, Vol. 143, 2017.
- [9]. M. H. H. Albadi, „On Techno-economic Evaluation of Wind-based DG”, Thesis, Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, 2010.
- [10]. A. Sedaghat, M. Mirhosseini, „Aerodynamic design of a 300 kW horizontal axis wind turbine for province of Semnar”, Energy Conversion and Management, Vol. 63, 2012, pp. 87-94.
- [11]. M. A. Hyams, „Wind energy in the built environment”, Metropolitan Sustainability – Understanding and Improving the Urban Environment, Woodhead Publishing Series in Energy, 2012, pp. 457-499.
- [12]. R. May, T. Nygard, U. Falkdalen, J. Astrom, O. Hamre, B. G. Stokke, „Paint it black: Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities”, Ecology and Evolution, 2020, <https://doi.org/10.1002/ece3.6592>
- [13]. E. Hau, „Commercial Applications of Wind Turbines”, Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics Third Edition, Springer, 2013.
- [14]. M. K. Johari, M. A. A. Jalil, M. F. M. Shariff, „Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT)”, International Journal of Engineering & Technology, Vol. 7, 2018, pp. 74-80.
- [15]. R. Bravo, S. Tullis, S. Ziada, „Performance Testing of a Small Vertical-Axis Wind Turbine”, Mechanical Engineering Department, McMaster University, 2007.
- [16]. R. Howell, N. Qin, J. Edwards, N. Durrani, „Wind tunnel and numerical study of a small vertical axis wind turbine”, Renewable Energy, Vol. 35 (2), 2010, pp. 412-422.
- [17]. J. Edwards, N. Durrani, R. Howell, N. Qin, „Wind Tunnel and Numerical Study of a Small Vertical Axis Wind Turbine”, 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 2008, Reno, Nevada.

Întocmit	CS I. Dr.Îng. Ion Mălăeșel ion.malael@comoti.ro , 0765182266	11.2023	Editia	1				Ex.
----------	---	---------	--------	---	--	--	--	-----



COMOTI
INSTITUTUL NATIONAL DE
CERCETARE - DEZVOLTARE
TURBOMOTOARE

**INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE -
DEZVOLTARE TURBOMOTOARE**

PROIECT: Raport tehnic privind procedura pentru testarea
experimentală

ACEST DOCUMENT ESTE PROPRIETATEA INTELECTUALĂ A I.N.C.D.
TURBOMOTOARE COMOTI ȘI NU POATE FI FOLOSIT, TRANSMIS SAU REPRODUS,
TOTAL SAU PARȚIAL, FĂRĂ AUTORIZAREA EXPRESĂ ȘI SCRISĂ a

I.N.C.D. Turbomotoare – COMOTI, bvl. Iuliu Maniu, nr. 220D, sector 6, București, România,
www.comoti.ro

DENUMIRE LUCRARE

Raport tehnic privind procedura pentru testarea experimentală

Beneficiar:

SC ROLIX IMPEX SRL

Ing. Dragoș PREDA

Furnizor:

INCD Turbomotoare COMOTI

CS I. Dr. Ing. Ion MĂLĂEL

CUPRINS

Nr. Crt.	Denumire	Pag.
1.	REZUMAT	03
2.	NOTAȚII ȘI SIMBOLURI	03
3.	INTRODUCERE	03
4.	CONȚINUTUL LUCRĂRII	05
5.	CONCLUZII	09
6.	BIBLIOGRAFIE	09



1. REZUMAT

În acest raport este prezentată procedura de testare a unei turbine eoliene în cadrul unui tunel aerodinamic. Astfel sunt prezentate etapele premergătoare campaniei de testare și obiectivele care stau la baza campaniei. Testare este realizată într-un tunel aerodinamic capabil să reproducă viteze ale curentului de aer comparabile cu cele ale vântului din zona de amplasament finală a configurației de turbine eoliene.

2. NOTAȚII ȘI SIMBOLURI

Toate mărimile apărute în lucrare sunt definite pe parcurs.

3. INTRODUCERE

Într-o lume care se confruntă cu nevoia urgentă de soluții energetice durabile, turbinele eoliene au apărut ca un jucător esențial în trecerea globală către energia regenerabilă. Energia eoliană nu numai că reduce emisiile de gaze cu efect de seră, dar oferă și o sursă fiabilă de energie electrică. Evoluția tehnologiei turbinelor eoliene rămâne esențială pentru obținerea adoptării pe scară largă a energiei regenerabile. Un aspect esențial al acestei evoluții este testarea turbinelor eoliene în tunelurile aerodinamice.

Turbina eoliană este formată din două componente principale: un turn și pale. Când bate vântul, palele rotorului captează energia cinetică a aerului în mișcare și o transformă în energie mecanică. Această energie mecanică antrenează un generator, producând electricitate. Eficiența și performanța unei turbine eoliene depind de diverși factori, inclusiv de designul palelor rotorului, înălțimea turnului și viteza vântului.

Testarea în tunelul aerodinamic este un pas indispensabil și complex în dezvoltarea și optimizarea turbinelor eoliene. Acest proces implică plasarea fie a unui model la scară redusă, fie la scară completă a unei turbine eoliene în interiorul unei instalații specializate cunoscute sub numele de tunel de vânt. Tunelul creează condiții de vânt controlate și consistente, care permit inginerilor și cercetătorilor să examineze modul în care o turbină eoliană se comportă la diferite viteze ale vântului, unghiuri și niveluri de turbulență. Obiectivele principale ale testării în tunelul eolian pentru turbine eoliene cuprind o gamă largă de aspecte, printre acestea se numără:

1. **analiza aerodinamică**: - tunelurile de vânt oferă un mediu controlat în care inginerii pot efectua o evaluare aprofundată a proprietăților aerodinamice ale palelor turbinelor eoliene. Prin ajustarea vitezei și unghiurilor vântului, cercetătorii pot examina îndeaproape forțele de ridicare și de tracțiune care acționează asupra palelor rotorului. Înțelegerea acestor forțe este

Întocmit	CS I. Dr. Ing. Ion Mălăeș ion.malael@comoti.ro , 0765182266	11.2023	Editia	1				Ex.
----------	--	---------	--------	---	--	--	--	-----



esențială pentru optimizarea designului pentru a obține o eficiență maximă de conversie a energiei;

2. **integritate structurală:** - componentele turbinei eoliene suportă sarcini extreme în timpul funcționării, în special în cazul vântului turbulent. Testarea tunelului de vânt este vitală pentru identificarea potențialelor slăbiciuni structurale, cum ar fi vibrațiile și oscilațiile, care pot duce la oboseală și chiar la defecțiuni. Aceste informații sunt vitale pentru asigurarea fiabilității și siguranței pe termen lung a turbinelor eoliene.

3. **reducerea zgomotului:** - poluarea fonică este o preocupare în proiectele de energie eoliană. Testarea în tunel eolian le permite cercetătorilor să evalueze zgomotul generat de turbinele eoliene și să dezvolte modificări de proiectare pentru a reduce nivelurile de zgomot. Acest lucru are potențialul de a minimiza impactul asupra comunităților locale și de a crește acceptabilitatea socială a proiectelor de energie eoliană.

4. **performanța:** - prin simularea diferitelor condiții de vânt, testarea în tunelul de vânt poate determina puterea unei turbine eoliene la diferite viteze ale vântului. Aceste date sunt vitale pentru optimizarea performanței turbinei și pentru prezicerea cu precizie a generării de energie în condiții reale.

5. **turbulența:** - condițiile vântului variază în funcție de înălțime și sunt adesea turbulente. Testele în tunel îi ajută la înțelegerea modului în care turbulența afectează performanța unei turbine eoliene, permițând proiectarea de turbine mai eficiente, care pot prospera în variabilitatea condițiilor din lumea reală.

6. **validare și certificare:** - testarea este un pas critic în obținerea certificării pentru proiectele de turbine eoliene, asigurându-se că acestea îndeplinesc standardele de siguranță și performanță înainte de a fi implementate în teren.

Testarea tunelului eolian oferă câteva avantaje semnificative în dezvoltarea turbinelor eoliene. Permite o experimentare precisă și controlată, reducând nevoia de prototipuri costisitoare la scară completă și de testare pe teren, care pot fi consumatoare de timp și resurse. Acest lucru duce la economii semnificative și accelerează procesul de dezvoltare. În plus, testarea în tunelul de vânt oferă informații despre comportamentul unei turbine eoliene în condiții extreme, asigurând că aceasta poate rezista cerințelor riguroase ale funcționării în lumea reală. Cu toate acestea, testarea tunelului de vânt nu este lipsită de provocări. Reducerea modelelor de turbine eoliene, menținând în același timp precizia, poate fi o sarcină complexă, iar cercetătorii trebuie să se asigure că rezultatele sunt reprezentative pentru performanța la scară completă. În plus, este posibil ca rezultatele obținute într-un

Întocmit	CS I. Dr.Ing. Ion Mălăeșel ion.malael@comoti.ro , 0765182266	11.2023	Editia	1				Ex.
----------	---	---------	--------	---	--	--	--	-----

tunel eolian să nu reproducă perfect condițiile diverse și dinamice experimentate de turbinele eoliene în teren, ceea ce face esențială combinarea datelor din tunelul eolian cu testele pe teren pentru perspective complete.

Testarea turbinelor eoliene în tunelurile eoliene reprezintă un instrument indispensabil în căutarea unor surse de energie mai curate, mai eficiente și durabile. Pe măsură ce lumea continuă să facă tranziția către energia regenerabilă, optimizarea designului și performanței turbinelor eoliene este esențială. Testarea în tunelul aerodinamic le permite cercetătorilor și inginerilor să ajusteze fin turbinele eoliene, asigurându-se că pot valorifica eficient energia eoliană, respectând în același timp standardele de siguranță și de mediu. Cu progresele tehnologice continue, testarea experimentală rămâne un motor cheie în evoluția tehnologiei energiei eoliene, contribuind în cele din urmă la un viitor mai durabil și mai prietenos cu mediul. Această metodologie de testare continuă să joace un rol esențial în modelarea viitorului energiei regenerabile, ajutându-ne în cele din urmă să renunțăm la combustibilii fosili și să combatem schimbările climatice.

4. CONȚINUTUL LUCRĂRII

Testarea în tunelul de vânt este un proces critic utilizat în mai multe domenii pentru a evalua performanța aerodinamică a obiectelor și pentru a studia fluxul de aer în jurul lor.

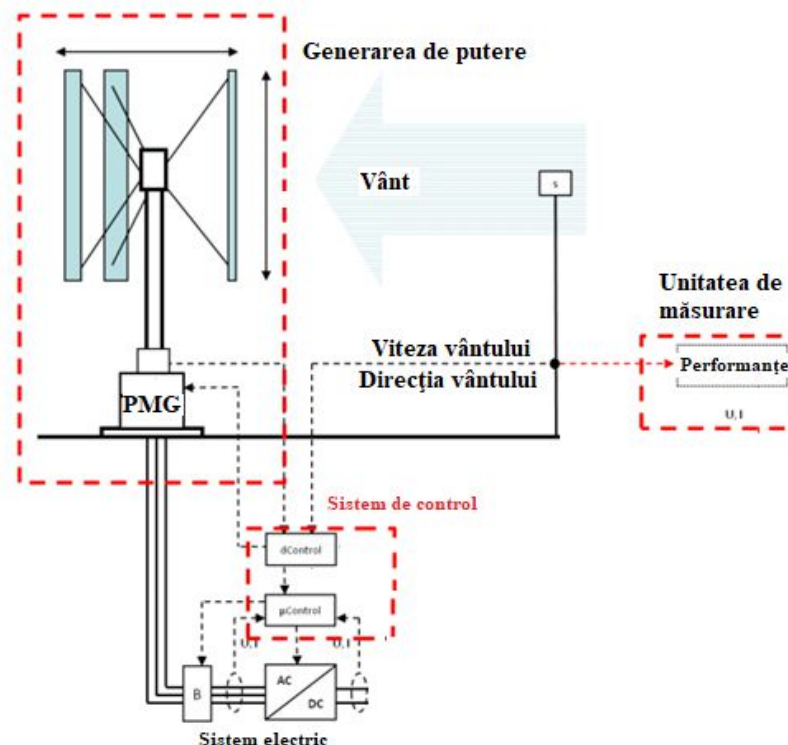


Figura 1. Schema întregului ansamblu pentru testare

Întocmit	CS I. Dr.Ing. Ion Mălăeș ion.malael@comoti.ro , 0765182266	11.2023	Editia	1			Ex.
----------	---	---------	--------	---	--	--	-----



Procedura pentru testarea in tunelul de vânt implică de obicei următorii pași:

1. definirea obiectivelor: - ce aspecte specifice ale aerodinamicii obiectului sau ale fluxului de aer se doresc a fi studiate sau optimizate;

2. selecta tunelului de vânt: - există diferite tipuri de tuneluri de vânt, cum ar fi tunelurile subsonice, supersonice și hipersonice, fiecare proiectat pentru scopuri specifice de testare;

3. pregătirea modelului: - realizarea unui model la scară al obiectului care urmează a fi testat. Mărimea modelului și nivelul de detaliu depind de obiectivele testului și de capacitățile tunelului de vânt;

4. instrumentatie: - instalarea de senzori și dispozitive de măsurare pe model și în secțiunea de testare a tunelului de vânt pentru a colecta date. Instrumentele comune includ sonde de presiune, echilibre de forță și tehnici de vizualizare a fluxului, cum ar fi generatoarele de fum;

5. calibrare: - se realizează o calibrare a tuturor instrumentelor de măsurare pentru a asigura o colectare precisă și fiabilă a datelor în timpul testului.

6. configurația tunelului de vânt: - poziționarea modelului în secțiunea de testare a tunelului de vânt, asigurând că montarea este în siguranță și aliniată corespunzător; reglarea parametrilor tunelului, cum ar fi viteza aerului, temperatura și presiunea, pentru a se potrivi cu condițiile de testare;

7. procedura de testare: - pornirea tunelului de vânt și creșterea treptată a vitezei aerului până la condițiile de testare dorite; înregistrarea datelor continue în timpul testului. Pot fi necesare mai multe rulări pentru a obține rezultate semnificative statistic;

8. colectarea datelor: - colectarea datelor despre forțele aerodinamice ale modelului (portare, rezistență și forță laterală), distribuțiile presiunii și alți parametri relevanți, deoarece modelul este supus diferitelor condiții de curgere;

9. analiza datelor: - analiza datelor colectate pentru a înțelege caracteristicile aerodinamice ale obiectului în diferite condiții este realizat implicând post-procesarea și interpretarea datelor.

10. testare iterativă: - dacă rezultatele inițiale nu îndeplinesc obiectivele dorite, se fac ajustări la model sau condițiile de testare și se efectuează teste suplimentare.

11. raportare: - se pregătește un raport cuprinzător care rezumă procedurile de testare, rezultatele și concluziile. Se includ și recomandări pentru îmbunătățiri sau optimizări ale designului.

Întocmit	CS I. Dr.Ing. Ion Mălăeș ion.malael@comoti.ro , 0765182266	11.2023	Editia	1				Ex.
----------	---	---------	--------	---	--	--	--	-----



12. documentație: - se documentează toate detaliile testului în tunelul eolian, inclusiv configurarea, instrumentarea și analiza datelor. Această documentație este esențială pentru controlul calității și referințe viitoare.

Testarea tunelului de vânt este un proces complex care poate varia în funcție de obiectivele specifice și de tipul de tunel de vânt utilizat. Este nevoie de expertiză în aerodinamică, instrumentare și analiză a datelor pentru a asigura rezultate precise și semnificative.

Modelul experimental dezvoltat și fabricat va fi testat în condiții atmosferice normale de temperatură și presiune. Sufleria aerodinamică permite testarea acestora la viteze de până la 20m/s. Pentru măsurarea vitezei curentului din sufleria aerodinamică se va folosi un manometru cu tub Pitot, ilustrat în figura 2, iar pentru turație un tahometru cu laser, care poate evalua parametrul vizat fie prin contact (cu ajutorul accesoriilor pe care le are, prezentate în stânga tahometrului în figura 3), fie fără contact prin folosirea tehnologiei cu laser.



Figura 2. Manometru cu tub Pitot



Figura 3. Tahometru cu laser

Manometrul care va fi folosit este PeakTech 5145 și este capabil să măsoare viteza aerului, debitul de aer, temperatura aerului, presiunea barometrică și diferențială. Pentru toți parametrii mășurați, aparatul poate să înregistreze valorile minime, maxime sau medii și are o memorie internă care permite stocarea de până la 99 de citiri. Caracteristicile aparatului sunt prezentate în tabelul 1.

Întocmit	CS I. Dr.Ing. Ion Mălăeș ion.malael@comoti.ro , 0765182266	11.2023	Editia	1				Ex.
----------	---	---------	--------	---	--	--	--	-----



Tabel 1. Caracteristici manometru PeakTech 5145

Parametru	Interval de măsurare	Acuratețe
Presiune [Pa]	0 - 5000 Pa	1 Pa
Viteză [m/s]	1 - 80 m/s	0,01 m/s
Temperatură [°C]	0 - 50 °C	0,1 °C

Tahometrul care va fi utilizat este PeakTech 2795, care permite măsurarea turației, a numărului de revoluții, a frecvenței și a distanței atât prin contact, cât și fără contact. Pentru măsurătorile fără contact intervalul de măsurare este între 2,5 și 200 rpm, în timp ce pentru cele de contact intervalul de măsurare este între 2 și 20 rpm.

Convertizorul folosit este ilustrat în figura 4, având caracteristicile inscripționate pe el. Acesta este potrivit pentru generatoare cu o capacitate de până la 600W și baterii cu tensiune electrică 12V/24V. Bateria este prezentată în figura 5 și caracteristicile sale sunt inscripționate pe carcasa ei.



Figura 4. Convertizorul



Figura 5. Bateria de 12V

Pentru monitorizarea tensiunii electrice și a intensității se vor monta un voltmetru în paralel și un ampermetru în serie, ale căror înregistrări vor fi evaluate cu ajutorul unui multimetru digital, de tipul celui din figura 6.



Figura 6. Multimetru digital



Figura 7. Generatorul cu magneți permanenți

Generatorul folosit este unul sincron cu flux axial, cu magneți permanenți, având 9 de bobine statorice și o putere de aproximativ 50W. Acesta este prezentat în figura 7

5. CONCLUZII

Scopul raportului actual a fost de a prezenta pașii procedurii de testare a configurației de turbinele eoliene în cadrul tunelului aerodinamic. Astfel a fost prezentată schema întregului ansamblu împreună cu toate echipamentele și aparatele de măsură ce vor fi utilizate în campania de testare.

6. BIBLIOGRAFIE

- [1]. Sorknæs, P., Lund, H., & Andersen, A. N. (2015). Future power market and sustainable energy solutions—The treatment of uncertainties in the daily operation of combined heat and power plants. *Applied Energy*, 144, 129-138.
- [2]. Jana, K., Ray, A., Majoumerd, M. M., Assadi, M., & De, S. (2017). Polygeneration as a future sustainable energy solution—A comprehensive review. *Applied energy*, 202, 88-111.
- [3]. Arrambide, I., Zubia, I., & Madariaga, A. (2019). Critical review of offshore wind turbine energy production and site potential assessment. *Electric Power Systems Research*, 167, 39-47
- [4]. Tong, W. (2010). *Wind power generation and wind turbine design*. WIT press.
- [5]. Njiri, J. G., & Söffker, D. (2016). State-of-the-art in wind turbine control: Trends and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 377-393.

Întocmit	CS I. Dr.Ing. Ion Mălăel ion.malael@comoti.ro , 0765182266	11.2023	Editia	1				Ex.
----------	---	---------	--------	---	--	--	--	-----



- [6]. Blaabjerg, F., & Ma, K. (2017). Wind energy systems. *Proceedings of the IEEE*, 105(11), 2116-2131.
- [7]. Bottasso, C. L., Campagnolo, F., & Petrović, V. (2014). Wind tunnel testing of scaled wind turbine models: Beyond aerodynamics. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 127, 11-28.
- [8]. Bastankhah, M., & Porté-Agel, F. (2017). A new miniature wind turbine for wind tunnel experiments. Part I: Design and performance. *Energies*, 10(7), 908.
- [9]. Oerlemans, S., & Migliore, P. (2004, May). Aeroacoustic wind tunnel tests of wind turbine airfoils. In *10th AIAA/CEAS aeroacoustics conference* (p. 3042).
- [10]. Bayati, I., Belloli, M., Bernini, L., & Zasso, A. (2017). Aerodynamic design methodology for wind tunnel tests of wind turbine rotors. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 167, 217-227.
- [11]. Bottasso, C. L., & Campagnolo, F. (2022). Wind tunnel testing of wind turbines and farms. *Handbook of Wind Energy Aerodynamics*, 1077-1126.
- [12]. Selig, M. S., & McGranahan, B. D. (2004). Wind tunnel aerodynamic tests of six airfoils for use on small wind turbines. *J. Sol. Energy Eng.*, 126(4), 986-1001.
- [13]. Mituleț, L. A., Oprina, G., Chihai, R. A., Nicolaie, S., Nedelcu, A., & Popescu, M. (2015). Wind tunnel testing for a new experimental model of counter-rotating wind turbine. *Procedia Engineering*, 100, 1141-1149.
- [14]. Roy, S., & Saha, U. K. (2015). Wind tunnel experiments of a newly developed two-bladed Savonius-style wind turbine. *Applied Energy*, 137, 117-125.
- [15]. Llorente, E., Gorostidi, A., Jacobs, M., Timmer, W. A., Munduate, X., & Pires, O. (2014, June). Wind tunnel tests of wind turbine airfoils at high Reynolds numbers. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 524, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.
- [16]. Vergaerde, A., De Troyer, T., Molina, A. C., Standaert, L., & Runacres, M. C. (2019). Design, manufacturing and validation of a vertical-axis wind turbine setup for wind tunnel tests. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 193, 103949.
- [17]. Monteiro, J. P., Silvestre, M. R., Piggott, H., & André, J. C. (2013). Wind tunnel testing of a horizontal axis wind turbine rotor and comparison with simulations from two Blade Element Momentum codes. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 123, 99-106.
- [18]. Belloli, M., Bayati, I., Facchinetti, A., Fontanella, A., Giberti, H., La Mura, F., ... & Zasso, A. (2020). A hybrid methodology for wind tunnel testing of floating offshore wind turbines. *Ocean Engineering*, 210, 107592.
- [19]. Burdett, T. A., & Van Treuren, K. W. (2012, June). Scaling small-scale wind turbines for wind tunnel testing. In *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air* (Vol. 44724, pp. 811-820). American Society of Mechanical Engineers.
- [20]. Imraan, M., Sharma, R. N., & Flay, R. G. (2013). Wind tunnel testing of a wind turbine with telescopic blades: The influence of blade extension. *Energy*, 53, 22-32.



COMOTI
INSTITUTUL NATIONAL DE
CERCETARE - DEZVOLTARE
TURBOMOTOARE

**INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE -
DEZVOLTARE TURBOMOTOARE**

PROIECT: Memoriu tehnic privind calibrarea instrumentelor

ACEST DOCUMENT ESTE PROPRIETATEA INTELECTUALĂ A I.N.C.D.
TURBOMOTOARE COMOTI ȘI NU POATE FI FOLOSIT, TRANSMIS SAU REPRODUS,
TOTAL SAU PARȚIAL, FĂRĂ AUTORIZAREA EXPRESĂ ȘI SCRISĂ a

I.N.C.D. Turbomotoare – COMOTI, bvl. Iuliu Maniu, nr. 220D, sector 6, București, România,
www.comoti.ro

DENUMIRE LUCRARE

Memoriu tehnic privind calibrarea instrumentelor

Beneficiar:

SC ROLIX IMPEX SRL

Ing. Dragoș PREDA

Prestator:

INCD Turbomotoare COMOTI

CS I. Dr. Ing. Ion MĂLĂEL



CUPRINS

Nr. Crt.	Denumire	Pag.
1.	REZUMAT	03
2.	NOTAȚII ȘI SIMBOLURI	03
3.	INTRODUCERE	03
4.	CONȚINUTUL LUCRĂRII	05
5.	CONCLUZII	11
6.	BIBLIOGRAFIE	11



1. REZUMAT

În cadrul acestui memoriu tehnic este prezentat procesul de calibrare al echipamentelor ce urmează să fie folosite în campania de testare a modelului experimental de turbină eoliană în cadrul tunelului aerodinamic. Cel mai important caz a fost reprezentat de calibrarea manometrului, care este prevăzut cu tub Pitot, pentru măsurarea vitezei curentului de aer care iese din suflerie.

2. NOTAȚII ȘI SIMBOLURI

Toate mărimile apărute în lucrare sunt definite pe parcurs.

3. INTRODUCERE

Ca resursă energetică durabilă, energia eoliană este din ce în ce mai importantă în politica energetică națională și internațională ca răspuns la schimbările climatice dar și noile cerințe impuse de normele Uniunii Europene în ceea ce privește reducerea amprentei de dioxid de carbon.

Cele două tipuri principale de turbine eoliene sunt clasificate după axul lor, turbine eolienele cu ax orizontal (HAWT) și turbine eolienele cu ax vertical (VAWT). Cele cu ax orizontal sunt foarte dezvoltate și utilizate în toate parcurile eoliene actuale la scară largă. Pe de altă parte, majoritatea cercetărilor privind proiectarea VAWT au fost efectuate încă de la sfârșitul anilor 1970 și începutul anilor 1980, în special la Departamentul de Energie din SUA Sandia National Laboratories. Când s-a acceptat că HAWT-urile erau mai eficiente la aceste scări mari, interesul pentru proiectele VAWT a fost pierdut și de atunci HAWT-urile au dominat proiectele de turbine eoliene. Prin urmare, nu este surprinzător că foarte puține cercetări pot fi găsite în ultimele două decenii cu privire la VAWT, aerodinamica acestora și problema interacțiunii palelor încă reprezintă o provocare la care din ce în ce mai mulți cercetători încearcă să găsească o soluție. Cu toate acestea, nu s-a demonstrat niciodată că HAWT-urile sunt fundamental mai eficiente aerodinamic decât VAWT-urile.

Într-adevăr, s-a sugerat că VAWT-urile pot fi mai adecvate decât HAWT-urile la scară foarte mare (10 MW+) datorită încărcării gravitaționale alternative pe pală poate deveni excesivă. Există o serie de avantaje substanțiale față de HAWT, cum ar fi:

- VAWT nu are nevoie să se rotească în mod constant în direcția locală a vântului.
- Datorită vitezei de rotație relativ mai mici, VAWT-urile sunt de obicei mai silențioase decât HAWT-urile.

Întocmit	CS I. Dr.Ing. Ion Mălăeș ion.malael@comoti.ro , 0765182266	11.2023	Editia	1				Ex.
----------	---	---------	--------	---	--	--	--	-----



- Costul de producție pentru un VAWT este mai mic decât cel pentru un HAWT echivalent datorită palelor cu secțiune constantă, dreaptă, mai simplă în comparație cu forma complexă a unei palei tridimensionale din HAWT.
- VAWT este, de asemenea, mai capabila din punct de vedere mecanic să reziste la vânturi puternice prin schimbarea comportamentului de blocare, oferind un avantaj potențial de siguranță operațională în condiții de rafală.

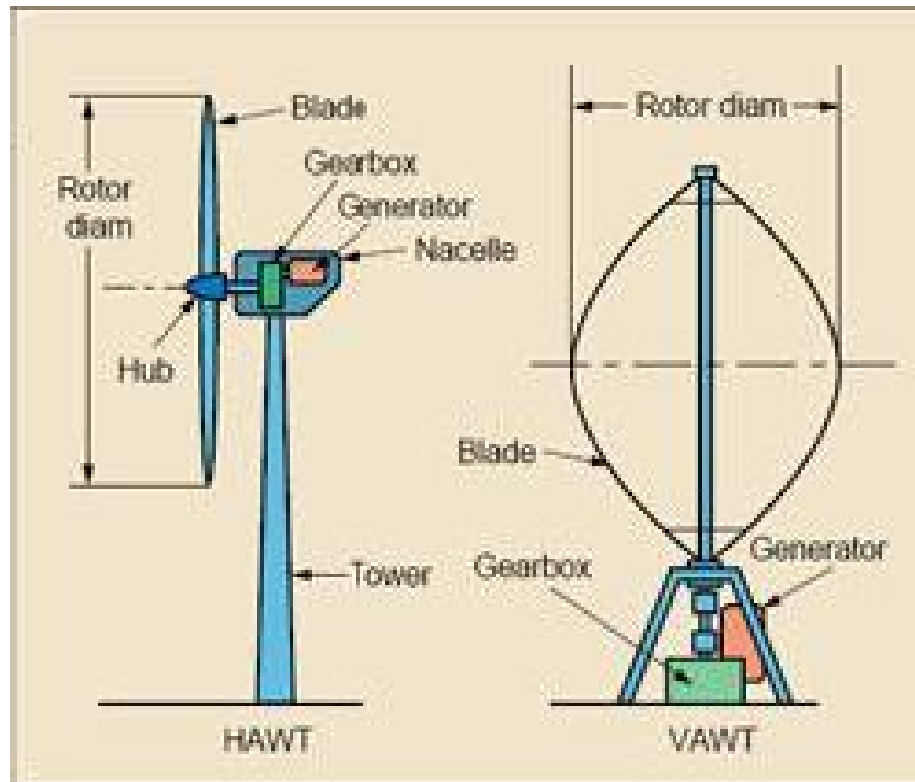


Figura 1. HAWT vs VAWT

Îmbunătățiri considerabile în înțelegerea VAWT pot fi obținute prin utilizarea CFD și măsurători experimentale. În cercetarea și dezvoltarea unui sistem eolian o etapă decisivă o reprezintă realizarea testărilor în suflerie ale modelelor experimentale dezvoltate, astfel încât să se poată evalua performanțele acestora la diferite viteze ale vântului în condiții care simulează regimurile reale de funcționare ale acestora.

Scopul acestei lucrări este de a se asigura ca instrumentele folosite in campania experimentală desfășurată in cadrul sufleriei aerodinamice sunt calibrate pentru intervalele de masurare ce vor fi utilizate pe tot parcursul testelor experimentale desfășurate de un model demonstrativ de turbina eoliana cu ax vertical intr-o configuratie adaptata utilizarii in zone rezidentiale.

4. CONȚINUTUL LUCRĂRII

Este important, atunci când se efectueaza orice măsurătoare într-un tunel de vânt, ca măsurătorile sa fie realizate cu precizie mare, pentru a putea determina coeficienții corespunzători. Una dintre cele mai importante măsurători este cea a presiunii dinamice de referință în vecinătatea modelului de testare. Din presiunea dinamică se poate determina viteza. În cazul testării turbinelor eoliene, planul în care urmează să fie amplasat modelul de plan al palelor ar trebui examinat cu o sondă Pitot-statică. Presiunea dinamică medie peste acest plan poate fi apoi raportată la sistemul de măsurare a presiunii de referință.

Presiunea dinamică de referință este de obicei măsurată cu un traductor de presiune de înaltă calitate conectat fie la prizele de presiune din contracția tunelului de vânt, fie la o sondă Pitot-statică de referință situată bine în amonte și departe de modelul de testare, astfel încât să nu fie influențată de câmpul de presiune generat de modelul însuși. Presiunea de referință este măsurată așa cum se arată în Figura 2. Cel mai important lucru este ca sondele de presiune sa fie montate într-o maniera atenta si profesionista, astfel incat sa nu existe bavuri si sa fie la nivel cu suprafata si normale cu aceasta.

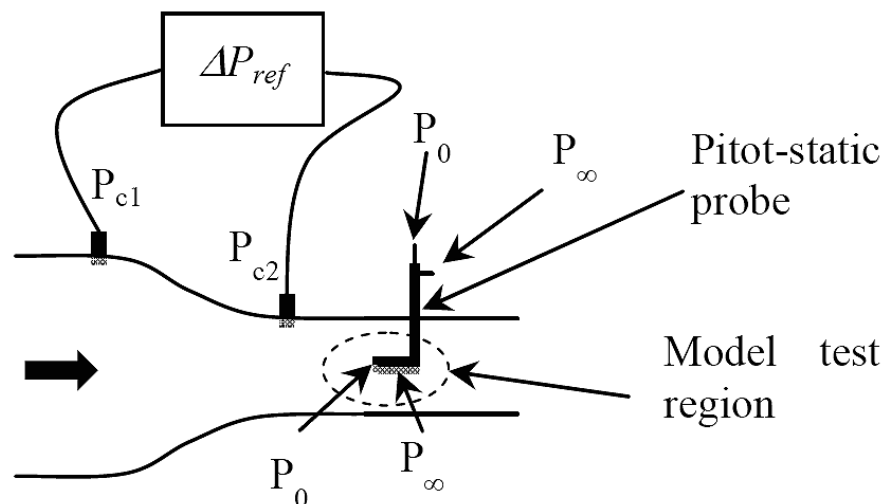


Figura 2. Diagrama tunel de vânt cu sonde de presiune și o sondă Pitot-statică situată în centrul regiunii de testare

Calibrarea tunelului aerodinamic este efectuată înainte de a pune modelul experimental în zona de testare. Se presupune că toate diferențele de presiune din tunel sunt proporționale între ele. Ventilatorul tunelului este apoi pornit și se variază viteza în intervalul de timp care va fi utilizat și pentru testare. În același timp, se măsoară simultan diferențele de presiune $P_{c1} - P_{c2}$, $P_\infty - P_{c2}$ și $P_0 - P_\infty$. Diferențele de presiune $P_0 - P_\infty$ și $P_\infty - P_{c2}$ sunt apoi

reprezentate în raport cu $P_{c1} - P_{c2}$ așa cum se arată în Figura 3 pentru a obține pantele, $k_{q\infty}$ și $k_{p\infty}$ ale liniilor drepte ajustate la punctele de date.

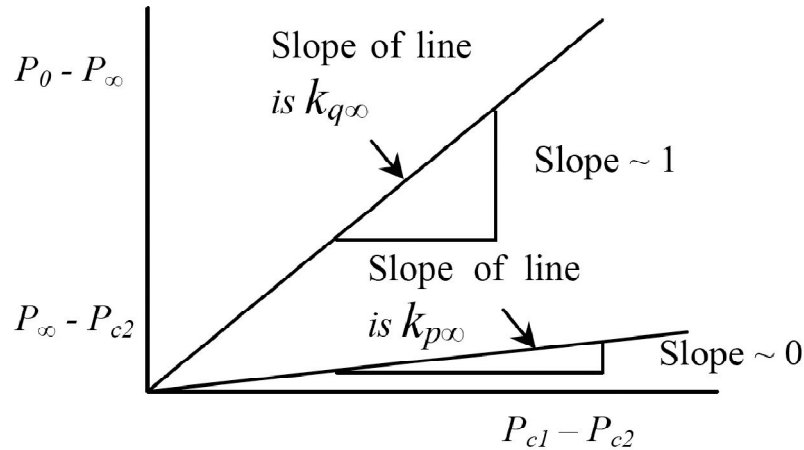


Figura 3. Graficul datelor de măsurare a presiunii tunelului pentru a obține datele de calibrare a secțiunii de testare

Conform Figurii 3:

$$k_{q\infty} = \frac{P_0 - P_{\infty}}{P_{c1} - P_{c2}} \quad (1)$$

și

$$k_{p\infty} = \frac{P_{\infty} - P_{c2}}{P_{c1} - P_{c2}} \quad (2)$$

În timpul testării experimentale, modelul va fi amplasat în tunel la locația sondei statice Pitot prezentate în Figura 2. Totuși, presiunea dinamică acolo poate fi determinată prin măsurarea căderii de presiune de contracție și folosind (1), adică:

$$q_{\infty} = P_0 - P_{\infty} = k_{q\infty}(P_{c1} - P_{c2}) \quad (3)$$

Presiunea statică la locul modelului este determinată prin rearanjarea ecuației (3) care devine:

$$P_{\infty} = P_{c2} + k_{p\infty}(P_{c1} - P_{c2}) \quad (4)$$

Coeficienții forțelor, de ex. forței de tracțiune asupra turbinei eoliene pot fi acum determinați din presiunea dinamică rezultată din (3). De exemplu, dacă forța măsurată este T , atunci coeficientul este dat de (5).

$$C_T = \frac{T}{A_{ref} q_\infty} \quad (5)$$

unde A_{ref} este o aria de referință.

Coeficienții de presiune, de ex. pe o pală de turbină eoliană în poziția „x”, pot fi de asemenea determinați. Un coeficient aproximativ poate fi determinat folosind ec. (6).

$$Cp_x^* = \frac{P_x - P_{c2}}{P_{c1} - P_{c2}} \quad (6)$$

Un coeficient de presiune corectat poate fi determinat folosind ec. (7).

$$Cp_x = \frac{P_x - P_\infty}{P_0 - P_\infty} = \frac{P_x - (P_{c2} + k_{p\infty}(P_{c1} - P_{c2}))}{k_{q\infty}(P_{c1} - P_{c2})} \quad (7)$$

Acum prin extinderea ec. (7), poate fi scris în termeni de valori Cp_x^* , așa cum se arată mai jos în ec. (8).

$$Cp_x = \frac{P_x - P_{c2}}{k_{q\infty}(P_{c1} - P_{c2})} - \frac{k_{p\infty}(P_{c1} - P_{c2})}{k_{q\infty}(P_{c1} - P_{c2})} = \frac{Cp_x^*}{k_{q\infty}} - \frac{k_{p\infty}}{k_{q\infty}} \quad (8)$$

Variabilele adimensionale relevante pentru testarea turbinelor eoliene sunt prezentate în cele ce urmează. Probabil cea mai importantă mărime dimensională este așa-numitul raport al vitezei la vârful palei, adesea dat fiind simbolul λ , $\lambda = \omega R / V_\infty$ unde ω este viteza de rotație în radiani pe secundă, R este raza și V_∞ este viteza vântului în flux liber. λ este adesea în jur de 2-4 pentru turbinele eoliene cu ax vertical. Este important în testarea în tunelul de vânt să se păstreze acest parametru la fel ca la scară maximă, deoarece controlează direcția fluxului pe pală.

Numărul Mach pentru o turbină eoliană poate fi definit prin $M = u_{tip} / a$, unde $u_{tip} = \omega R$, a este viteza sunetului și este de obicei în jur de 340 m/s. Viteza vârfului palei este de obicei de până la aproximativ 100 m/s, la această viteză $M = 0,3$, care este suficient de mic pentru a se neglija compresibilitatea adică densitatea este constantă.



Numărul Reynolds, $Re = VL/v$, unde V este viteza de referință, L este o lungime de referință și v este vâscozitatea cinematică a fluidului. În cazul de față, putem scrie $V = \omega r$ și $L = c$, coarda palei de referință, care este proporțională cu R pentru o pală similară geometric.

Prin urmare, pentru testarea turbinelor eoliene, numărul Reynolds poate fi scris $Re = \omega R^2/v$. Pentru testarea în aer, vâscozitatea cinematică este neschimbată. Modelul este redus în dimensiune cu factorul de scară. Prin urmare, dacă viteza tunelului de vânt este aceeași cu viteza la scară 1:1, produsul ωR va fi, de asemenea, același pentru a păstra același raport al vitezei de vârf, și astfel Re va fi mai mic cu aproximativ factorul de scară a modelului.

Când un model este plasat într-un tunel de vânt cu perete solid, se vor introduce erori de măsurare a forței rezultaente din cauza accelerației aerului în golul dintre perete și modelul în sine. Această creștere a presiunii dinamice în spațiu determină o cădere de presiune mai mare decât ar avea loc în „zona liberă”, și astfel presiunea de bază a modelului scade, provocând astfel o creștere a diferenței de presiune dintre față și spate și, astfel, o creștere a rezistenței la înaintare. Acest fenomen nu apare din testele într-un curent liber cu o condiție de limită de presiune constantă la limitele curentului de aer, deoarece fluxul este liber să se extindă departe de model și, în general, forța este subestimată, iar eroarea este de ordinul jumătate sau mai puțin decât care s-ar produce într-un tunel de vânt cu perete solid. Pot apărea și alte erori, de ex. pentru modelele lungi într-un tunel de vânt cu un gradient de presiune static longitudinal trebuie aplicată o corecție de „flotabilitate”.

Considerand un rotor de turbină eoliană plasat într-un tunel eolian cu secțiune transversală circulară din zona C, presupunem că rezistența este distribuită uniform pe întreaga zonă măturată și că viteza axială a aerului are o valoare constantă pe acest disc și pe o secțiune transversală a valului bine în aval. Această situație este prezentată schematic în Figura 4. Tubul de flux care învâluie planul palei se extinde în zonă atât în amonte, cât și în spatele planului palei, pe măsură ce aerul experimentează rezistența discului. Aerul se apropie de planul palei cu viteza V_∞ . u este viteza axială în planul palei, u_1 este viteza în interiorul tubului de flux în aval și u_2 este viteza axială în afara tubului de flux în aval. A_∞ este aria din amonte tubului de flux care învâluie planul palei, care crește până la aria A la planul palelor și crește în continuare până la zona A_1 bine în aval. P_∞ este presiunea statică în tunelul de vânt în amonte de planul palelor, iar P_1 este presiunea statică în aval.

Întocmit	CS I. Dr.Ing. Ion Mălăeș ion.malael@comoti.ro , 0765182266	11.2023	Editia	1				Ex.
----------	---	---------	--------	---	--	--	--	-----

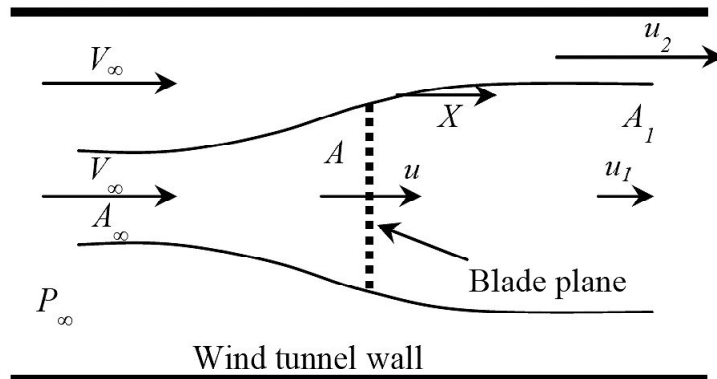


Figura 4. Diagrama tubului de flux care pentru un rotor de turbină eoliană situat central într-un tunel de vânt

Din ecuația de continuitate rezultă:

$$u_1 A_1 = u A \quad (9)$$

$$u_2 (C - A_1) = V_\infty C - u A \quad (10)$$

Presiunea totală a fluxului (H_∞) rămâne constantă în afara tubului de flux, în timp ce presiunea totală din interiorul tubului de flux se reduce la H_1 din cauza rezistenței care este aplicată de discul turbinei.

$$H_\infty = P_\infty + \frac{1}{2} \rho V_\infty^2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho u_2^2 \quad (11)$$

$$H_1 = P_1 + \frac{1}{2} \rho u_1^2 \quad (12)$$

Din (11) și (12) reducerea presiunii totale este:

$$H_\infty - H_1 = \frac{1}{2} \rho (u_2^2 - u_1^2) \quad (13)$$

Această reducere a presiunii totale este egală cu scăderea de presiune statică pe planul palei și, prin urmare, forța de rezistență (T) asupra palelor este dată de ec. (14).

$$T = A \frac{1}{2} \rho (u_2^2 - u_1^2) \quad (14)$$

Ecuația impulsului este acum aplicată fluxului atât în interiorul, cât și în exteriorul tubului de flux și permite determinarea reducerii presiunii în dăra îndepărtată.

$$(P_{\infty} - P_1)C - T = A_1 \rho u_1 (u_1 - V_{\infty}) + (C - A_1) \rho u_2 (u_2 - V_{\infty}) \quad (15)$$

Astfel, reducerea presiunii în dăra este dată de Ecn. (16).

$$P_{\infty} - P_1 = \frac{1}{2} \rho (u_2^2 - V_{\infty}^2) \quad (16)$$

Coeficientul de rezistență al discului este acum definit ca

$$C_T = \frac{T}{A_2^1 \rho V_{\infty}^2} \quad (17)$$

Testarea într-un jet de aer are avantaje semnificative pentru turbinele eoliene. În timp ce o secțiune de testare cu perete solid constrânge fluxul în așa fel încât liniile de curgere adiacente peretelui trebuie să se deplaseze de-a lungul peretelui, condiția limită pentru un jet liber este o presiune constantă. Prin urmare, jetul se poate extinde datorită câmpului de presiune impus de rotorul unei turbine eoliene. În acest caz, coeficientul de putere determinat într-un test în tunelul eolian poate fi de așteptat să fie mai mic decât în aer liber, deoarece jetul se va extinde mai mult decât ar trebui. Cu toate acestea, acest efect este mult mai mic decât supraestimarea oferită de o limită de perete solidă.

Utilizand un manometru cu tub Pitot a fost masurata viteza atat in amonte modelului experimental, in valul modelului dar si in locatiile celor trei turbinele eoliene ce compun demonstratorul. In figura 5 este ilustrat modelul experimental montat in cadrul sufleriei, pregatit pentru pornirea campaniei de testare.

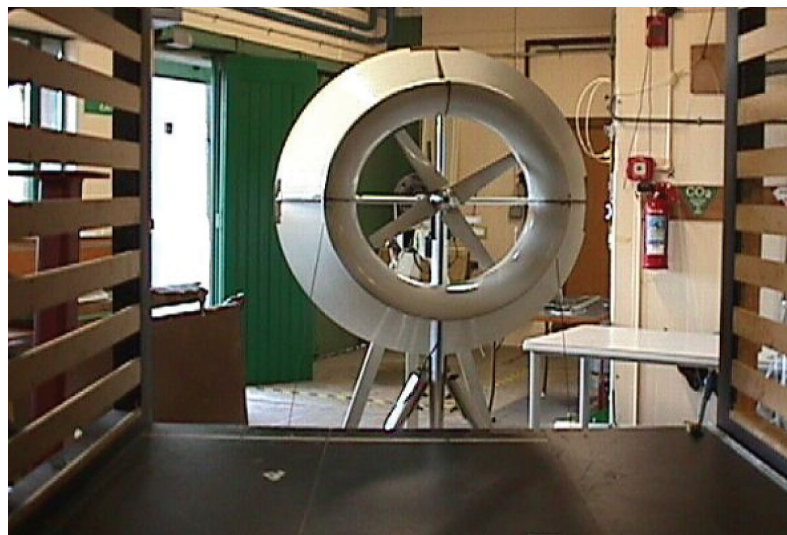


Figura 5. Modelul experimental poziționat în tunelul aerodinamic



5. CONCLUZII

În această lucrare a fost prezentata calibrarea instrumentelor de masura a vitezei curentului de aer ce va fi folosit pentru evaluarea experimentală a unei configurații de turbină eoliana formată din trei turbine cu ax vertical de tip Lenz.

6. BIBLIOGRAFIE

- [1] European Wind Energy Association. (2009). *The economics of wind energy*. EWEA
- [2] Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). *Wind energy explained: theory, design and application*. John Wiley & Sons.
- [3] Johari, M. K., Jalil, M., & Shariff, M. F. M. (2018). Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT). *International Journal of Engineering and Technology*, 7(4.13), 74-80.
- [4] Paraschivoiu, I., Ammar, S., & Saeed, F. (2018). VAWT versus HAWT: a comparative performance study of 2–6 MW rated capacity turbines. *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, 42(4), 393-403.
- [5] Vivek, C. M., Gopikrishnan, P., Muruges, R., & Mohamed, R. R. (2017). A review on vertical and horizontal axis wind turbine. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(4), 247-250.
- [6] Pope, K., Dincer, I., & Naterer, G. F. (2010). Energy and exergy efficiency comparison of horizontal and vertical axis wind turbines. *Renewable energy*, 35(9), 2102-2113.
- [7] Zhao, Z., Wang, D., Wang, T., Shen, W., Liu, H., & Chen, M. (2022). A review: Approaches for aerodynamic performance improvement of lift-type vertical axis wind turbine. *Sustainable energy technologies and assessments*, 49, 101789.
- [8] Tjiu, W., Marnoto, T., Mat, S., Ruslan, M. H., & Sopian, K. (2015). Darrieus vertical axis wind turbine for power generation I: Assessment of Darrieus VAWT configurations. *Renewable energy*, 75, 50-67.
- [9] Shires, A. (2013). Design optimisation of an offshore vertical axis wind turbine. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy*, 166(1), 7-18.
- [10] Ahmed, M. F., & Gawad, A. F. A. (2016, December). Utilization of wind energy in green buildings. In *12th International Conference of Fluid Dynamics, Le Méridien Pyramids Hotel, Cairo, Egypt* (pp. 19-20)
- [11] Nishioka, A. H., & de Almeida, O. (2018). Study, Design and test of a LENZ-type wind turbine. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 5(3), 264-269.
- [12] Habig, D. M., Mayer, T., Ransbury, T., Frymire, B., McClung, L., & Canino, J. (2023). Optimization of Lenz-Type VAWT Geometries with Computational Fluid Dynamics. In *AIAA SCITECH 2023 Forum* (p. 0017).
- [13] Mălăel, I., et al. (2019, October). Drag based vertical axis wind turbine numerical efficiency evaluation. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2164, No. 1). AIP Publishing.
- [14] Bucur, I. O., et al. (2021, May). Numerical investigation of a reduced scale Lenz wind turbine model for aerodynamic tunnel applications. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 664, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
- [15] Sivamani, S., Sohail, M., Mohan, T., & Hariram, V. (2017). Experimental data on load test and performance parameters of a LENZ type vertical axis wind turbine in open environment condition. *Data in brief*, 15, 1035-1042.