

 COMOTI INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE - DEZVOLTARE TURBOMOTOARE	Memoriu tehnic PROIECT: Estimarea nivelului de zgomot produs de turbina eoliana cu ax vertical de tip Lenz cu ajutorul metodelor CFD	Data: 09.08.2019 Pag : 2 /15
---	---	---

ACEST DOCUMENT ESTE PROPRIETATEA INCD TURBOMOTOARE COMOTI SI NU POATE FI TRANSMIS SAU REPRODUS FARA AUTORIZAȚIE

DENUMIRE LUCRARE

Estimarea nivelului de zgomot produs de turbina eoliana urbana cu ax vertical de tip Lenz (fabricata de Rolix Impex Series srl)
cu ajutorul metodelor CFD

Beneficiar:

SC ROLIX IMPEX SRL

Ing. Bogdan Duran

Furnizor:

INCD Turbomotoare COMOTI

CS III. Dr. Ing. Ion MĂLĂEL

Întocmit	CS III. Dr. Ing. Ion Mălăel ion.malael@comoti.ro , 0765182266		09.08.2018	Editia	1				Ex.
----------	--	--	------------	--------	---	--	--	--	-----



CUPRINS

Nr. Crt.	Denumire	Pag.
1.	REZUMAT	03
2.	NOTAȚII ȘI SIMBOLURI	03
3.	INTRODUCERE	03
4.	CONȚINUTUL LUCRĂRII	04
5.	CONCLUZII	17
6.	BIBLIOGRAFIE	19

 COMOTI INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE - DEZVOLTARE TURBOMOTOARE	Memoriu tehnic PROIECT: Estimarea nivelului de zgomot produs de turbina eoliana cu ax vertical de tip Lenz cu ajutorul metodelor CFD	Data: 09.08.2019 Pag : 4 /15
---	---	---

1. REZUMAT

Lucrarea de față are la baza analiza numerica a zgomotului aerodinamic produs in functionarea de o turbina eoliana cu ax vertical. Aceasta turbina apartine societatii Rolix Impex SRL. Turbina a fost testata la o viteza a vantului 12m/s (43.2km/h) folosind softul comercial de CFD Ansys Fluent. Pentru determinarea nivelului de zgomot a fost setare ca surse de zgomot palele turbinei iar receptorii au fost amplasati la 6m respectiv 12m de centrul turbinei eoliene care este instalata intr-un stalp de 6m inaltime si putere instalata maxima de 5kw.

2. NOTAȚII ȘI SIMBOLURI

Toate marimile aparute in lucrare sunt definite pe parcurs.

3. INTRODUCERE

Conform ultimelor normative europene [1], se propune aducerea energiilor regenerabile la o pondere de până la 20% din totalul energiei produse până în anul 2020. Acest prag de 20% poate fi depășit cu ajutorul energiei eoliene însă este nevoie de dezvoltarea de noi sisteme de producere și stocare a energiei. Potențialul eolian al Romaniei este estimat la 14000 MW - putere actualmente instalată [2], ceea ce corespunde la 23000 GWh energie electrică anual.

Cercetarea, în domeniul energiei regenerabile produse cu ajutorul surselor eoliene, a cunoscut în Romania o creștere semnificativă [3, 4]. În 2010, România se plasa pe locul 7 în UE după capacitatea instalată în energie eoliană, iar în anul 2012, energia regenerabilă produsă de cele peste 1000 de turbine eoliene a reprezentat 3% din totalul de energie.

Unul dintre pionierii cercetării în domeniul turbinelor eoliene este I. Paraschivoiu [5,6], care a studiat randamentul turbinelor eoliene folosind metodele numerice. Numeroși factori, precum numărul de pale, coarda profilului și viteza vântului [7] influențează performanțele turbinei eoliene. Pentru estimarea interacțiunilor acestora, sunt intens folosite metodele CFD [8].

Acestea sunt desprinse din domeniile de vârf ca ingineria aerospațială sau industria nucleară și sunt bazate pe metoda volumului finit ce utilizeaza discretizarea spațială a unui domeniu de calcul în elemente de volum (hexa/tetraedrale). Pentru simulări de înaltă precizie sunt folosite grile structurate.

Întocmit	CS III. Dr.Ing. Ion Mălăeș ion.malael@comoti.ro , 0765182266		09.08.2018	Editia	1		Ex.
----------	---	--	------------	--------	---	--	-----

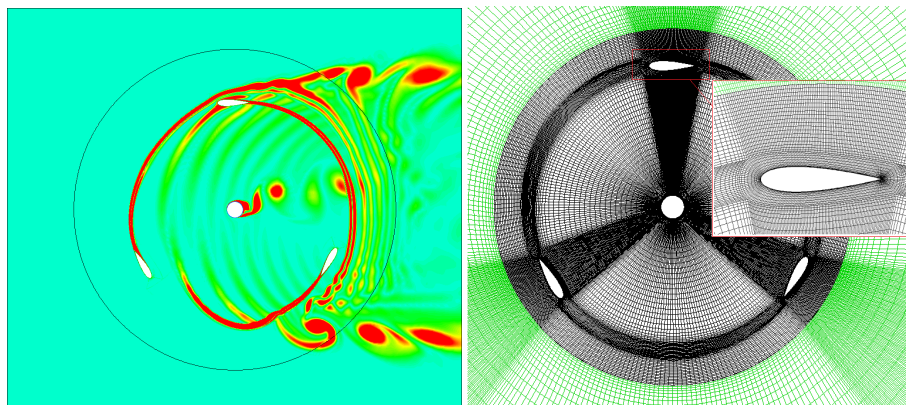


Figura 1 – Vorticitatea la turbina cu ax vertical (stânga) și domeniul discretizat (dreapta)

Printre avantajele utilizării acestor metode se numără capacitatea de a studia fenomene pentru care experimentele ar fi foarte costisitoare dacă nu chiar imposibile. În plus, interacțiunile dintr-un fenomen fizic complex pot fi studiate simultan fără a impune anumite presupuneri.

Vântul reprezintă mișcarea aerului dintr-o zonă cu presiune ridicată către o zonă cu presiune joasă, această mișcare fiind cauzată de încălzirea neuniformă a pământului de către soare. De aceea energia produsă cu ajutorul vântului se mai numește și energie solară indirectă[9]. Puterea vântului variază în funcție de altitudine, acest lucru datorându-se frecării dintre aerul care se mișcă și suprafața Pământului. Terminarea resurselor petroliere combinată cu motive ecologice (legate de poluare) a dus la concentrarea atenției pe producerea energiei din energii regenerabile care sunt practic considerate inepuizabile și cu poluare zero[10].

Pentru captarea energiei vântului sunt folosite turbine de vânt (eoliene) care convertesc energia cinetică din atmosferă, fie în energie mecanică, fie în energie electrică.

O primă clasificare a acestor mașini se poate face în funcție de forțele aerodinamice. Astfel există turbine ce lucrează pe portanță sau pe rezistență la înaintare. Cele mai eficiente sunt cele pe portanță, ele reușind să convertească cel mai bine energia vântului.

Turbinele se pot clasifica și după axa de rotație: **turbină orizontală (HAWT)** și **turbină verticală (VAWT)**. Cea mai întâlnită este cea orizontală care este de tipul „elice” (**HAWT**). Pentru funcționare perfectă, turbina cu ax orizontal trebuie orientată pe direcția vântului, în timp ce turbina cu ax vertical nu ține cont de direcția vântului.

În principiu, ambele tipuri sunt compuse din aceleași componente:

- *rotor* – convertește energia vântului în putere mecanică;
- *turn* – susține rotorul;



- *angrenaje cu roți dințate* (mai nou sunt folosite cele pe bază de magneți)– ajustează viteza de rotație a rotorului pentru generatorul electric;
- *sistem de control* – controlează modurile de funcționare ale turbinei inclusiv perioada de starting și de stop;
- *fundație* – susține întreaga construcție.

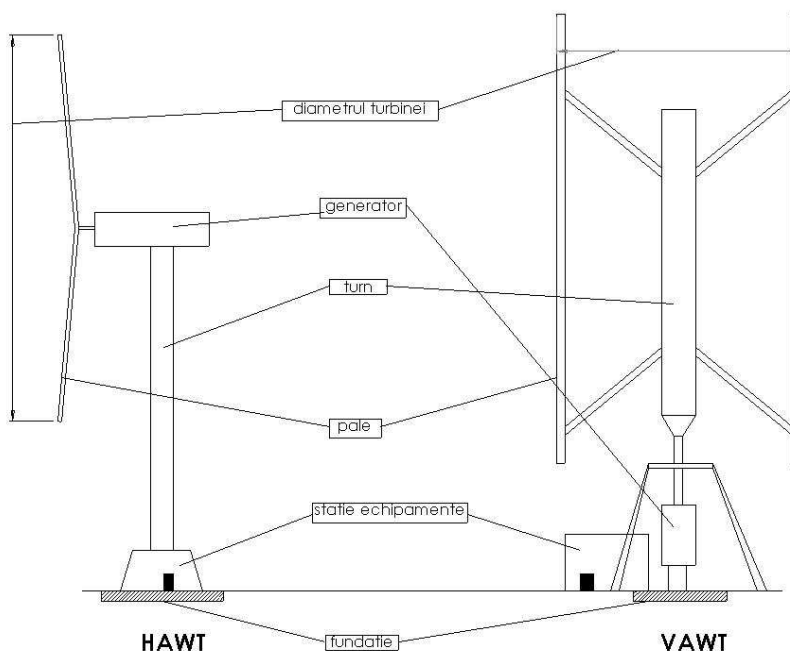


Figura 2 – Componente pentru HAWT și VAWT

VAWT oferă o serie de avantaje față de turbinele eoliene tradiționale cu axă orizontală (**HAWT**):

- porneste la viteze mai mici ale vântului și nu ține cont de direcția și turbulențele acestuia, ele sunt omnidirecționale și nu au nevoie să urmărească vântul, fiind astfel mai eficiente în zone cu turbulențe ale vântului. Aceasta înseamnă că nu necesită un mecanism complex și motoare pentru a răsuci rotorul și a schimba lamele.
- datorită înălțimilor mai mici la care funcționează, instalația de fixare, ancorare pentru turbina eoliana ocupă mult mai puțin spațiu/suprafața de teren;
- datorită vitezei mici de rotație a palelor turbinele eoliene cu ax vertical nu fac mult zgomot, < 40 db la 12 m distanță, iar când crește viteza vântului oricum zgomotul produs de acesta este mai puternic decât cel făcut de palele turbinei. De aceea aceste turbine se pretează foarte bine la mediul urban.
- palele elicei sunt verticale, deci nu mai este nevoie de o “carma” pentru orientarea elicei



- varful palelor elicei au o viteza unghiulara mai mica, deci rezista la vanturi mai puternice decat turbinele cu axa orizontala
- prin constructie turbinele verticale au o eficienta aerodinamica crescuta la presiuni inalte si joase
- pentru acelasi diametru al elicei, palele unei turbine cu axa verticala au o sectiune mai mare decat cele ale unei turbine cu axa orizontala
- inaltimea redusa permite instalarea in zonele unde legislatia nu permite cladiri prea inalte
- pentru aceeasi putere, pretul unei turbine eoliene verticale este sensibil egal cu cel al unei turbine eoliene orizontale dar costul investitiei pentru construire si instalare este mai mic;
- turbina eoliana verticala se comporta mai bine la viteze foarte mari ale vantului (totusi se recomanda sa nu se foloseasca la vanturi mai mari de 42,5 m/s (153 Km/h);
- sunt mai eficiente in zonele cu turbulente ale vantului datorita faptului ca palele elicei sunt plasate mai aproape de pamant
- pot fi construite la dimensiuni mai mari, cu mecanisme care se rotesc in totalitate, nu necesita rulmenti speciali si scumpi
- utilizare casnica sau industrial (montaz pe sol sau pe cladiri), urbana sau rurala, pe orice forma de relief
- se caracterizeaza prin robustete si siguranta in exploatare
- sunt mai usor de intretinut deoarece partile in miscare sunt plasate mai aproape de pamant
- abilitatea de a profita de vânturile turbulente și vântoase. Astfel de vânturi nu sunt recoltate de HAWT-uri și, de fapt, provoacă oboseală accelerată pentru HAWT-uri.
- aripile tip Darrieus au o coardă constantă și astfel sunt mai ușor de fabricat decât lamele unui HAWT, care au o formă și o structură mult mai complexe.
- pot fi grupate mai strâns în fermele eoliene, crescând puterea generată pe unitate de suprafață.
- cutia de viteze a unui VAWT are nevoie de mult mai puțină oboseală decât cea a unui HAWT.
- este mai "placuta" ochiului si se incadreaza mai bine in design-ul si volumetria spatiilor rezidentiale;



- unele VAWT-uri pot utiliza o fundație cu șuruburi , permițând o reducere imensă a costului de carbon al unei instalații, precum și o reducere a transportului rutier de beton în timpul instalării. Acestea pot fi reciclate complet la sfârșitul vieții.
- pot fi instalate într-un parc eolian sub nivelul HAWT existent; aceasta va îmbunătăți eficiența (producția de energie) fermei existente.
- cercetarea de la Caltech a arătat, de asemenea, că un parc eolian proiectat cu atenție, care utilizează VAWT-uri, poate avea o putere de ieșire de zece ori mai mare decât cea a unei ferme eoliene HAWT de aceeași dimensiune.

Dezavantaje

- VAWT s-au dovedit mai puțin fiabile decât HAWTs , deși modele moderne de VAWTs au depășit multe dintre problemele asociate cu modele timpurii.
- Una dintre provocările majore cu care se confruntă tehnologia cu turbine eoliene pe axa verticală este standul dinamic al lamelor, deoarece unghiul de atac variază rapid.
- Lamele unui VAWT sunt predispuse la oboseală datorită variațiilor largi ale forțelor aplicate în timpul fiecărei rotații. Acest lucru poate fi depășit prin utilizarea de materiale compozite moderne și îmbunătățiri în proiectare - inclusiv utilizarea vârfurilor aerodinamice ale aripilor care determină ca racordurile aripilor de distribuție să aibă o sarcină statică. Lamele cu orientare verticală se pot răsuși și se îndoaie în timpul fiecărei rotații, determinându-le să se desprindă.

Turbinele de vânt cu **ax vertical** sunt clasificate în general, fie după caracteristicile aerodinamice, fie după cele mecanice. Astfel se pot distinge patru tipuri de turbine:

- „Giromill” – pale drepte;
- „Savonius” – bazat pe rezistența la înaintare;
- „Musgrove” – geometrie variabilă;
- „Darrieus” – bazat pe portanță.

În literatură de specialitate există o teorie pentru estimarea puterii generate de o turbină de vânt[11].

$$P_{\text{vânt}} = \frac{1}{2} \rho S V_{\infty}^3 C_p \quad (1)$$

Întocmit	CS III. Dr.Ing. Ion Mălăeș ion.malael@comoti.ro , 0765182266		09.08.2018	Editia	1				Ex.
----------	---	--	------------	--------	---	--	--	--	-----

unde C_p – reprezintă coeficientul de putere, care în cazul ideal este 1 (puterea vântului).

Totuși, conform teoriei lui Betz[12], coeficientul de putere nu poate să depășească valoarea de 0.593.

$$C_{pT} = \frac{P_T}{P_{v\text{ânt}}} = \frac{M \cdot \omega}{\frac{1}{2} \rho S V_\infty^3} = \frac{\frac{1}{2} \rho S V_\infty^2 L C_m \omega}{\frac{1}{2} \rho S V_\infty^3} = C_m \cdot \frac{L \omega}{V_\infty} = C_m \cdot \lambda < 0.593 \approx \frac{16}{27} \quad (2)$$

Maximul de putere ce poate fi scos dintr-o turbină de vânt poate fi estimat cu ajutorul lui Betz(Legea lui Betz). Conform celor spuse de Betz, turbina eoliană nu poate să scoată mai mult de 16/27 (Coeficientul lui Betz - 0.593) din energia cinetică a vântului.

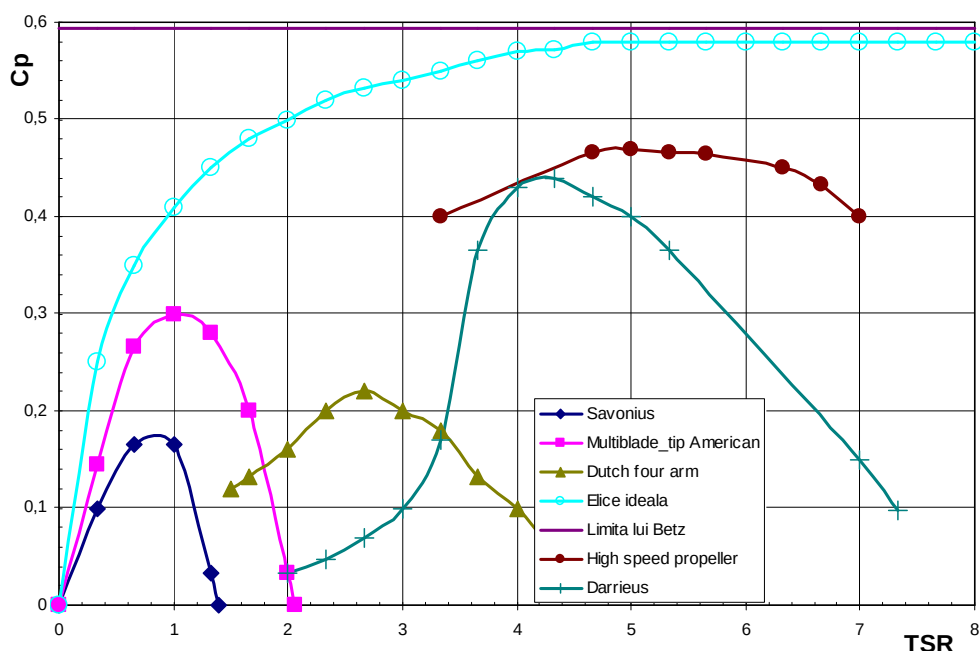


Figura 3 – Variația coeficientului de putere în funcție de TSR pentru diferite tipuri de turbine eoliene [13]

Totuși, având în vedere toate cele spuse mai sus, energia produsă de vânt, care prezintă numeroase avantaje, de la faptul că este "prietenosă" cu mediul, adică prezintă poluare zero, până la dezvoltarea tehnologiei pentru aceste mașini ce reușesc să capteze această energie, începe să fie o alternativă destul de promițătoare pentru viitor.

Revenind la turbinele cu ax vertical de tip Darrieus, în cadrul analizei a fost urmărit nivelul de zgomot produs de turbina eoliana cu ax vertical care funcționează la o viteză a vântului de 12m/s (43.2km/h) este amplasată la o înălțime de 6m și are o putere maximă instalată de 5kW.

Pentru simulare a fost folosit un cod comercial de CFD—ANSYS-Fluent [14]. Schema de discretizare folosită este una de ordinul 2 de tip upwind, iar modelul de turbulență folosit este $k-\omega$ SST. Acest model este unul cu doua ecuații și combină două modele standard de turbulență, $k-\epsilon$ și $k-\omega$.

Acest studiu a fost făcut pe cazul 3D al unei turbine de vânt cu ax vertical de tip Lenz cum sunt cele fabricate de catre compania Rolix.

Geometria unei astfel de turbine este prezentată în figura 4.

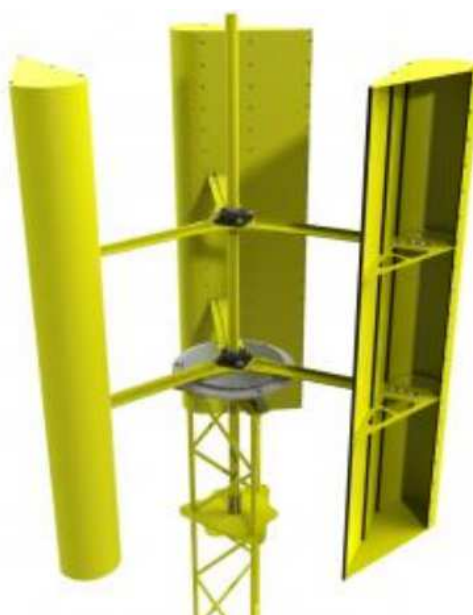


Figura 4 – Geometria unei turbine de vânt cu ax vertical



 COMOTI INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE - DEZVOLTARE TURBOMOTOARE	Memoriu tehnic PROIECT: Estimarea nivelului de zgomot produs de turbina eoliana cu ax vertical de tip Lenz cu ajutorul metodelor CFD	Data: 09.08.2019 Pag : 11 /15
---	---	--

4. CONȚINUTUL LUCRĂRII

Domeniul computațional este alcătuit din două părți, una statorică și cealaltă este reprezentată de către rotor. La intersecția dintre cele două subdomenii este declarată o interfață care ajută la transferul informației între domeniul rotitor reprezentat de către pale, axul împreună cu tije de susținere și domeniul statoric reprezentat de către mediul înconjurător.

În figura 5 sunt prezentate cele două domenii, domeniul rotitor și cel statoric utilizate în analiza numerică efectuată cu ajutorul metodelor CFD. Raza turbinei eoliene cu ax vertical a fost impusă ($R = 1 \text{ m}$). Intrarea în domeniul statoric a fost plasată la zece raze unde a fost impusă o valoare constantă a vitezei vântului de $V_{\infty} = 12 \text{ m/s}$ (43.2km/h).

Tabel 1. – Setări caz în solverul ANSYS-Fluent

Models	Solver	Pressure Based	Unsteady	3d
	Viscous Model	k- ω SST		
Materials	Air	Density, constat		
Operating conditions	Pressure 101325[Pa]			
Boundary Condition	Intrare	Velocity inlet $V_x=12\text{m/s}$ (43.2km/h)		
	Pale	wall		
	Ax	wall		
	Interfata	Interface rotor-stator		
	Rotor	Mesh motion		
	Stator	Stationary		
Solve	Controls	Solution	Courant nr=2	Discretization 2 nd order upwind
	Initialize	Intrare		
	Monitors	Residuals	10^{-6}	
		Force	Momentum coeficient	
	Iterate	10^6 Steps	0.001s time step size	
Report	Reference values	Intrare	Length=raza turbinii	

Pentru generarea grilei de calcul a fost folosită metoda de blocking în cadrul softului de generat grila de calcul – ICEM CFD.

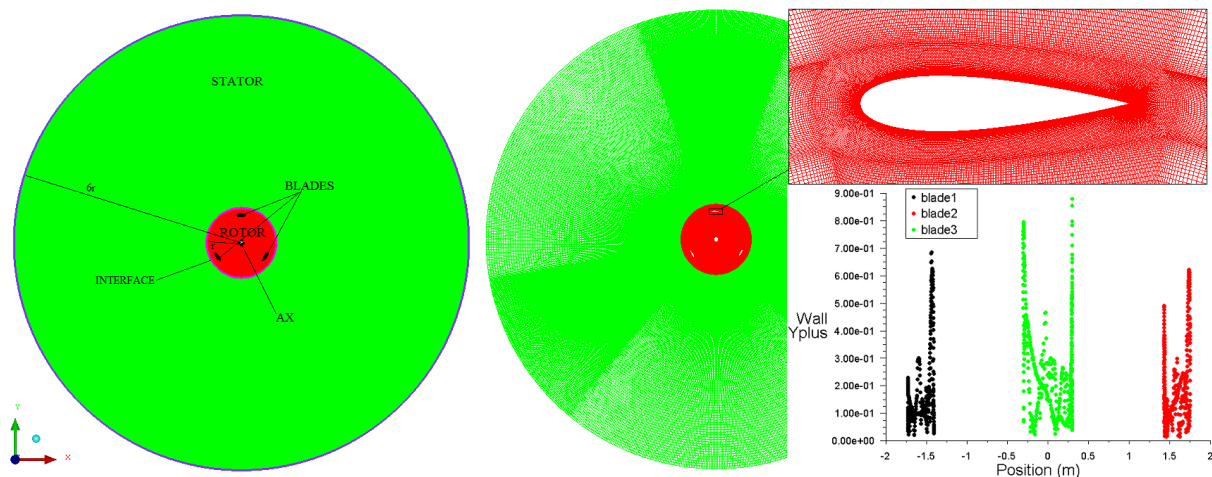


Figura 5. – dectiune prin domeniul de calcul cu y+ pentru toate palele

Pentru a rezolva problemele ce pot apărea în zona stratului limită, la generarea grilei de calcul, s-a luat în considerare ca valoarea lui Y+ să nu fie mai mare de 1, iar rația de creștere a elementelor să nu depășească 1.1.

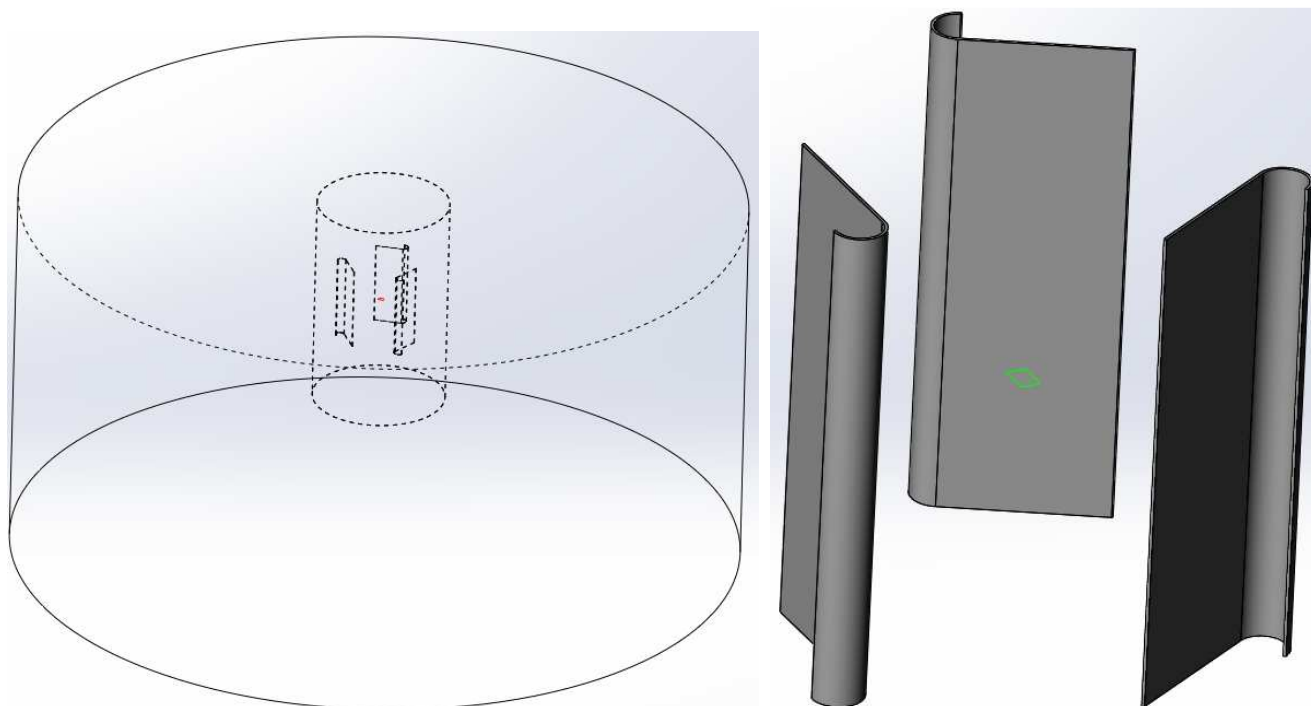


Figura 6. – Domeniul de calcul de calcul in 3D impreuna cu cele trei pale ale turbinei eoliene cu ax vertical

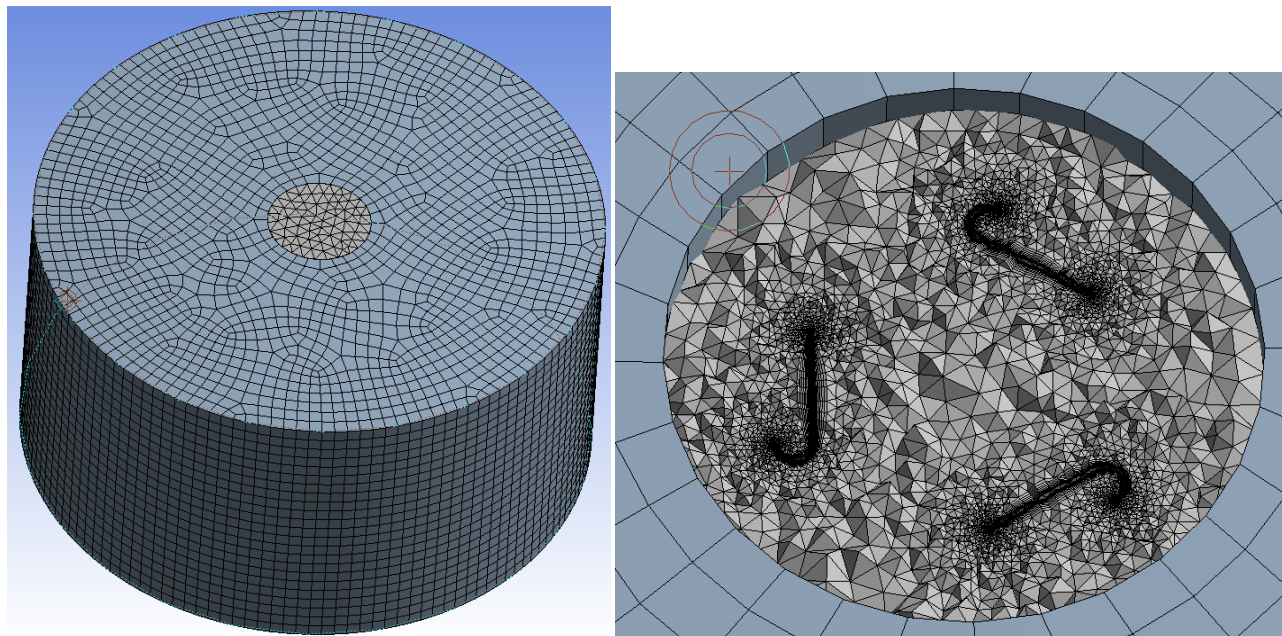


Figura 7. – Grila de calcul cu volume finite utilizata in analiza cu metodele CFD

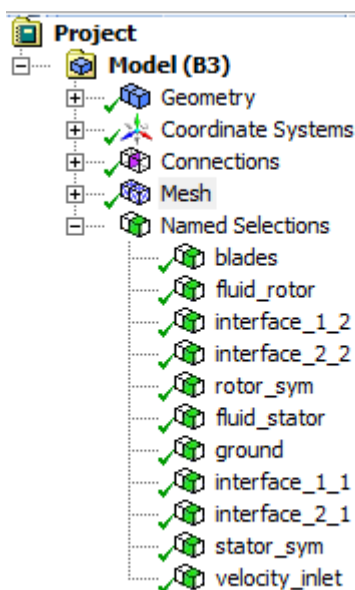


Figura 8. – Condițiile la limita impuse in analiza

Formularea detaliată a unui model de turbulenta poate fi găsită în lucrările lui Menter et al.[15] și Langtry et al. Modelul de turbulență SST Transition a fost enunțat de către Menter și care este un model cu patru ecuații. La ecuațiile standard ale modelului k- ω SST se adaugă încă două ecuații menite să rezolve problemele ce apar în zona de tranziție dintre zona laminară și cea turbulentă.

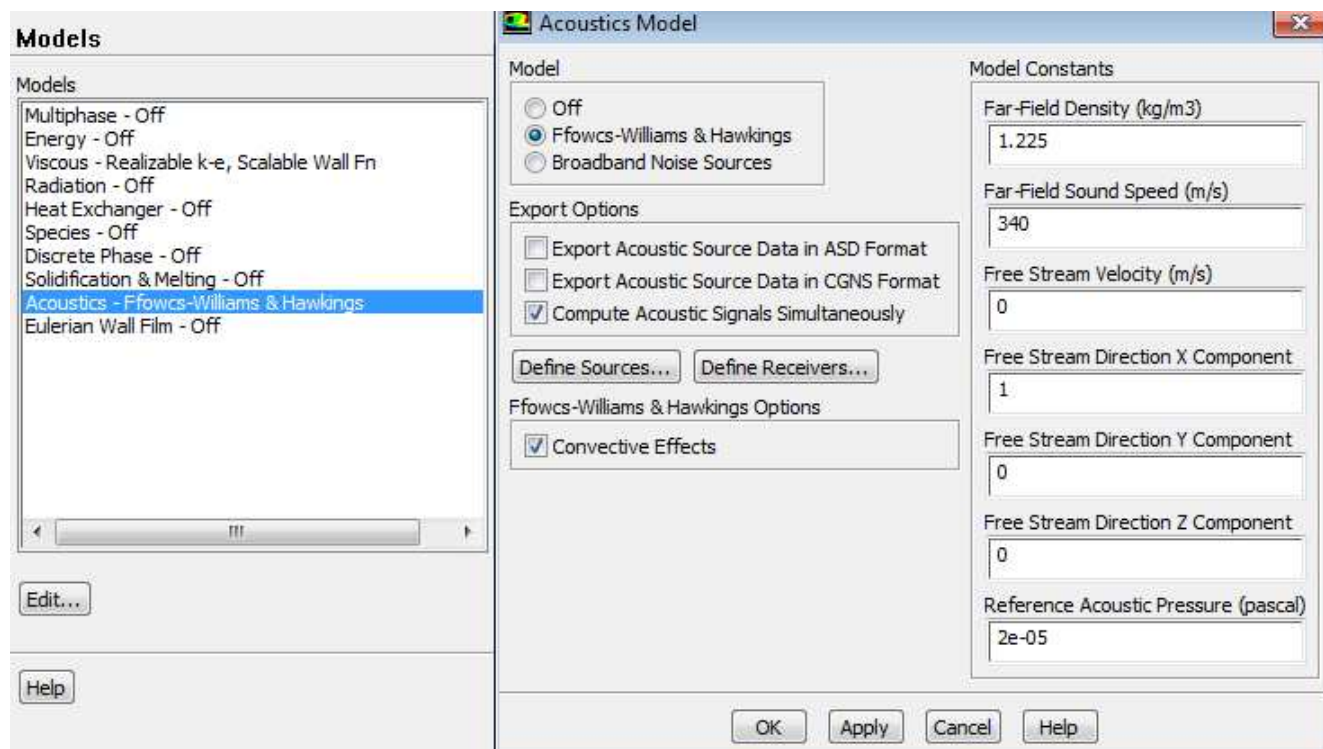


Figura 9. – Setarea modelului de acustica din softul Ansys Fluent

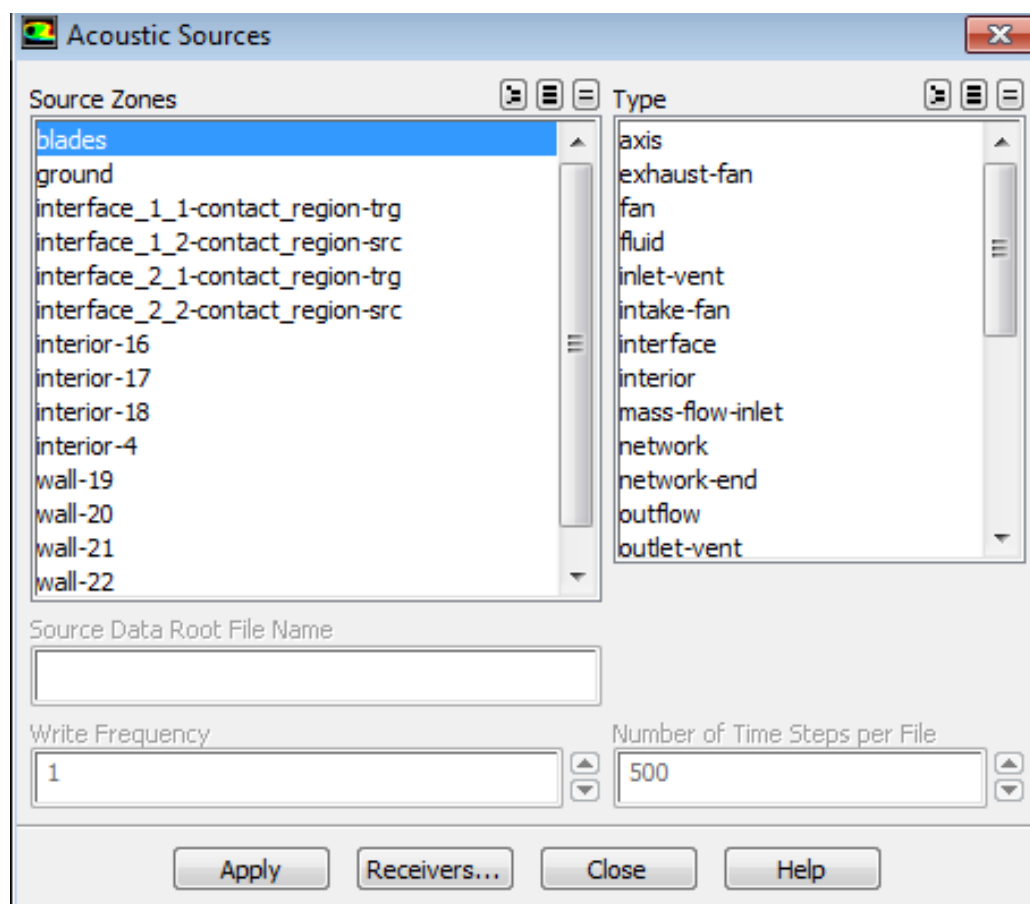


Figura 10. – Definirea surselor de zgomot

Acoustic Receivers

☐ Moving Receivers

Number of Receivers:

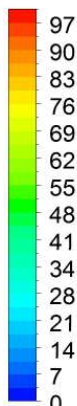
Name	X-Coord. (m)	Y-Coord. (m)	Z-Coord. (m)	Signal File Name
receiver-1	2	0	-6	receiver-1.ard
receiver-2	2	0	-12	receiver-2.ard

OK Cancel Help

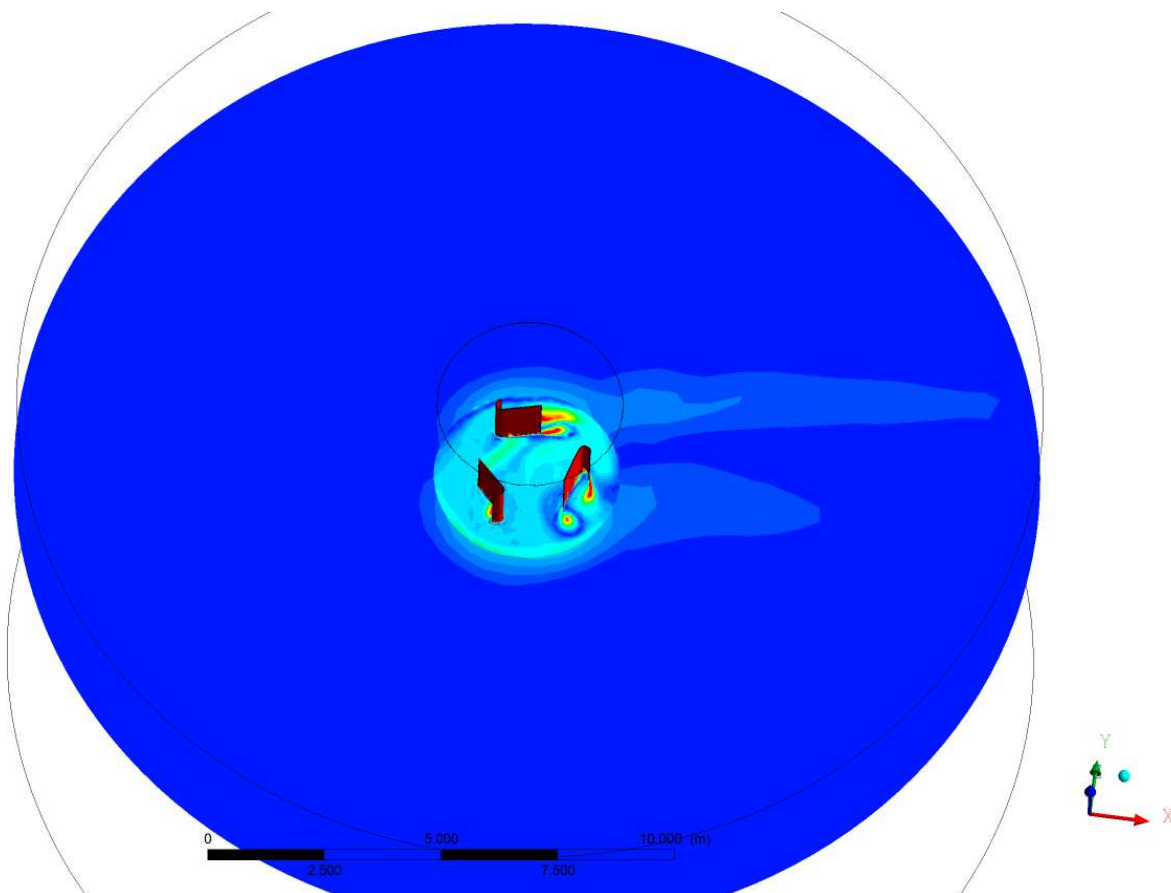
Figura 11. – Stabilirea celor doi receptori la 6 m respectiv la 12m de centrul turbinei eoliene

Rezultatele obtinute in urma analizei numerice au la baza variatia vorticitatii si a presiuni atat pe palele turbinei cat si in domeniul inconjurator. In figurile de mai sus sunt reprezentate variatii ale vorticitatii, presiunii dar si structura liniilor de curgere care dicteaza curgere in jurul turbinei eoline cu ax vertical.

Velocity.Curl
Contour 1



[s⁻¹]



Pressure
Contour 1

248
211
174
137
100
63
26
-11
-48
-85
-122
-159
-196
-233
-270

[Pa]

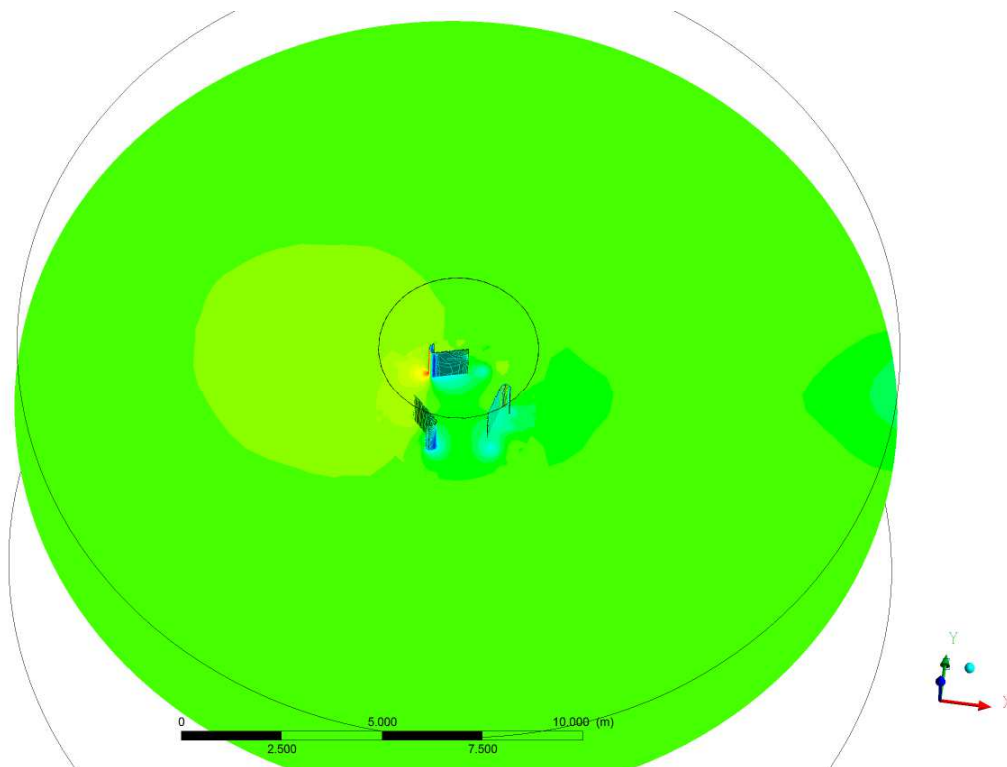


Figura 13. – Variatia presiunii

Velocity
Streamline 1

31
23
15
8
0

[m s⁻¹]

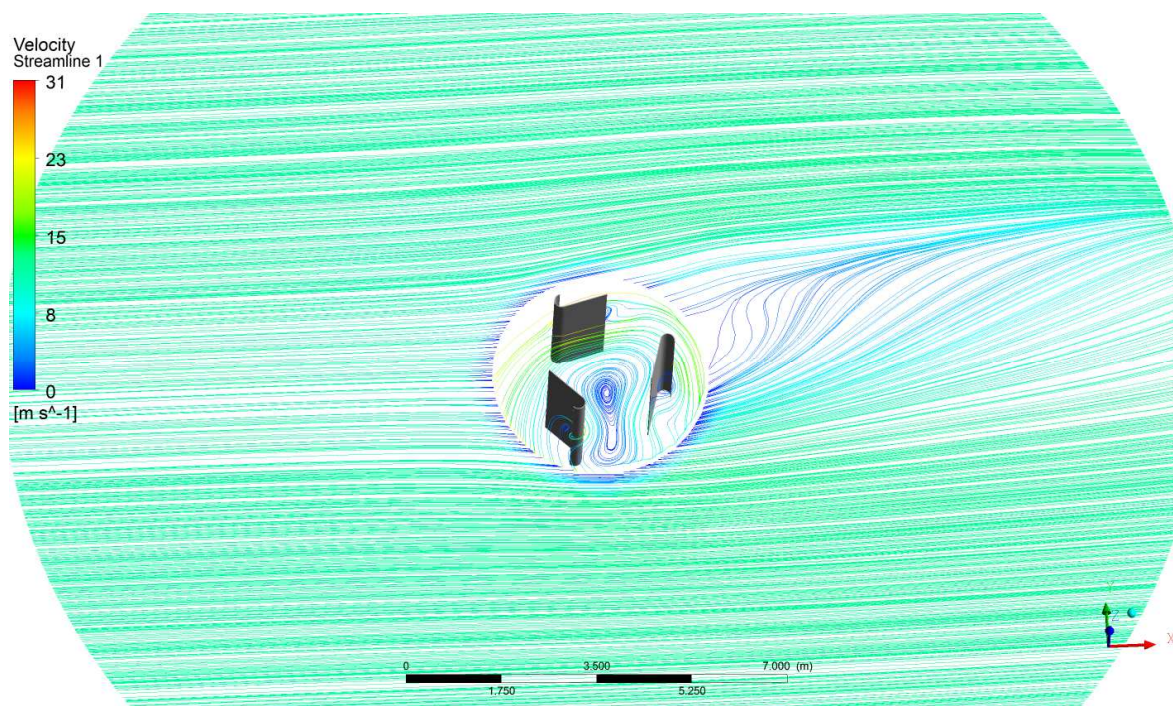
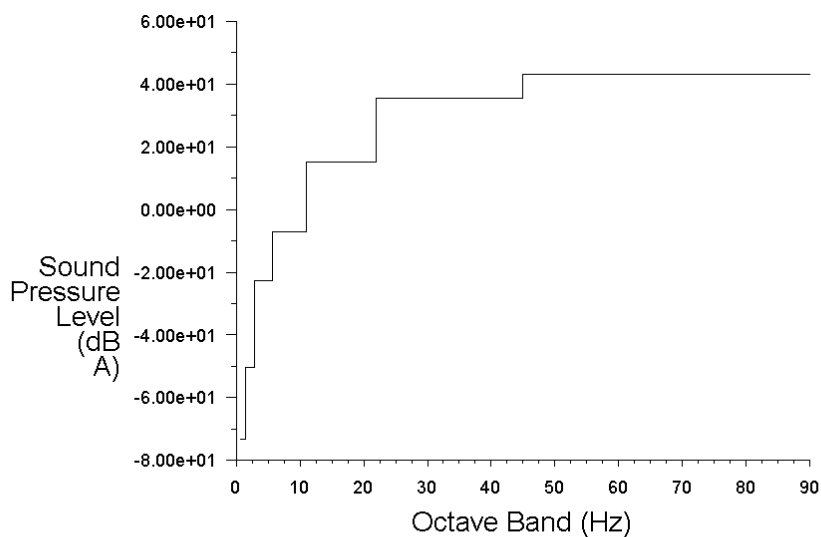


Figura 13. – Distributia liniilor de curgere la nivelul palelor turbinei eoliene

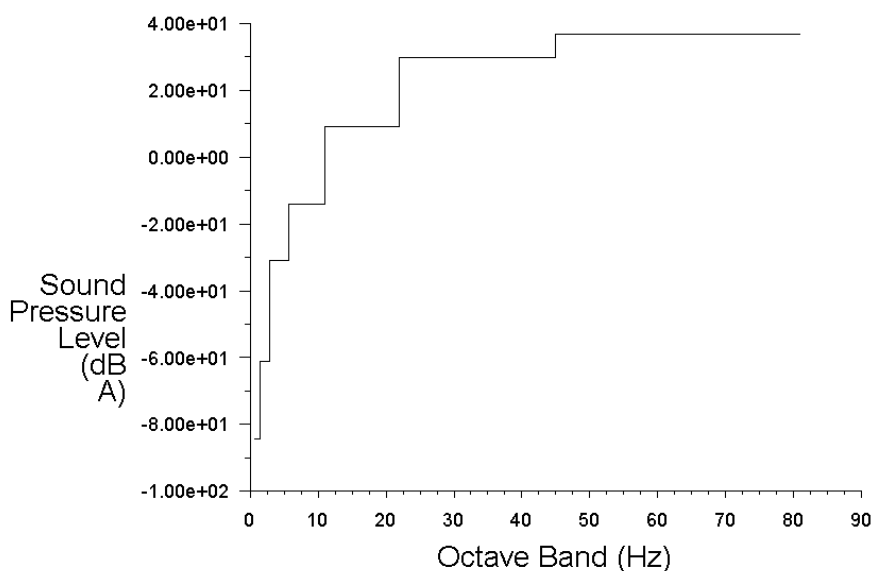
In ceea ce priveste analiza de zgomot produs in functionare, in figurile 14 si 15 este prezentata variata presiunii de zgomot pentru cei doi receptori plasati la **6m** si la **12 m**.



Spectral Analysis of Pressure at receiver-1 (Time=4.0347e+00)

Aug 08, 2018
ANSYS Fluent 15.0 (3d, dp, pbns,transient)

Figura 14. – Distributia nivelului de zgomot pentru primul receptor de la **6 m**



Spectral Analysis of Pressure at receiver-2 (Time=4.0347e+00)

Aug 08, 2018
ANSYS Fluent 15.0 (3d, dp, pbns,transient)

Figura 15. – Distributia nivelului de zgomot pentru al doilea receptor de la **12 m**

5. CONCLUZII

În această lucrare a fost analizat nivelul de zgomot produs de turbina eoliana cu ax vertical a beneficiarului SC Rolix Impex SRL. Aceasta turbina are un diametru de 2m, o înălțime a palelor de 2,5 m și este instalată pe un stâlp de 6m. Turbina a fost analizată la o viteză a vântului de 12m/s (43.2km/h) cu ajutorul metodelor CFD. Softurile utilizate sunt programe comerciale de CFD de a căror licență dispune INCDT COMOTI. Pentru realizarea grilei de calcul a fost utilizat soft ICEM CFD iar pentru rezolvarea sistemului de ecuații ce definește curgerea în jurul turbinei eoliene a fost folosit softul Ansys Fluent.

În determinarea numerică a zgomotului au fost definite ca surse palele turbinei care produc un zgomot aerodinamic în funcționare iar receptorii au fost stabiliți la 6m și la 12m de centrul turbinei. Astfel a fost determinat nivelul de zgomot pentru receptorul numărul unu și are o valoare de **43 dB** iar pentru receptorul doi o valoare de **36 dB**. Conform site-ului de determinare a zgomotului produs de avioane, (aircraftnoise.com.au) acest zgomot poate fi asociat cu zgomotul dintr-o cameră de zi. În figura de mai jos sunt reprezentate aceste nivele de zgomot asociate cu activitățile care le produc.

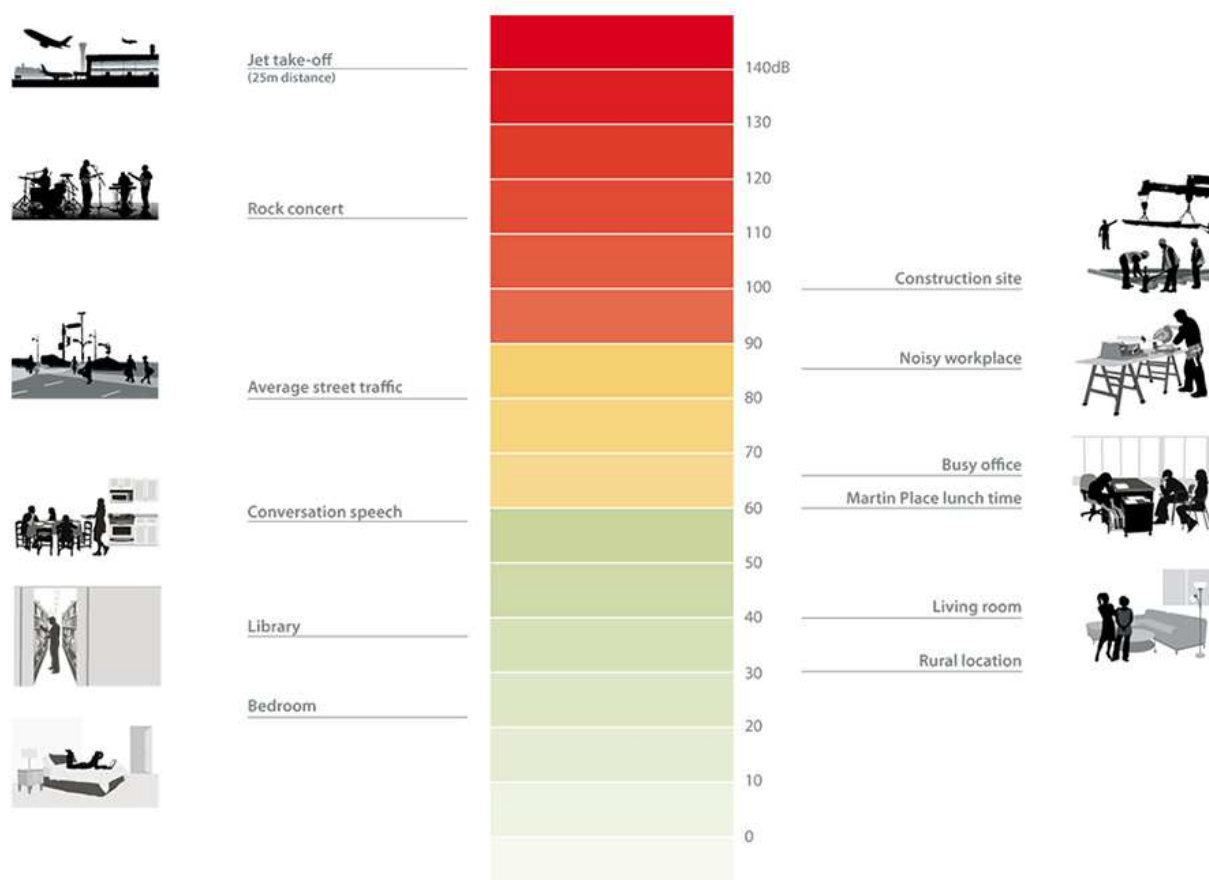


Figura 16. – Asocierea nivelelor de zgomot cu activitățile care le produc

 COMOTI INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE - DEZVOLTARE TURBOMOTOARE	Memoriu tehnic PROIECT: Estimarea nivelului de zgomot produs de turbina eoliana cu ax vertical de tip Lenz cu ajutorul metodelor CFD	Data: 09.08.2019 Pag : 19 /15
---	---	--

Pentru exemplificare turbina eoliana din lucrarea noastra face un zgomot mai redus decat un aparat de aer conditionat, media la astfel de aparate fiind in jur de 50dB.

Zgomotul produs de vant (acustica ambientala), prin frecarea particulelor de aer (rafale de vant) de cladiri sau arbori, are de asemenea o importanta deosebita in evaluarea generala cand se doreste stabilirea tuturor factorilor ce produc zgomot in mediul ambiant. Conform masuratorilor realizate de Ministry of the Environment and Climate Change din Canada (aprilie 2017) nivelul de zgomot produs de miscarea vantului la nivelul de 10ms este de aproximativ 51dB, adica mult peste nivelul turbinei studiate de noi.

Standardized Wind Speed at 10 m Height, m/s	sound Level Limit dBA
< 4	40.0
5	40.0
6	40.0
7	43.0
8	45.0
9	49.0
10	51.0

Concluzia finala: turbina studiata de noi se preteaza din punct de vedere acustic utilizarii in mediu urban sau rural nivelul de zgomot produs de aceasta fiind sub limitele legale (conform OMS 536 nivelul de zgomot exterior se măsoară la 3 m de peretele exterior al locuinței și trebuie să fie mai mic sau egal cu 50dB pentru ziua si 40dB pentru noapte).

Întocmit	CS III. Dr.Ing. Ion Mălăeș ion.malael@comoti.ro , 0765182266		09.08.2018	Editia	1				Ex.
----------	---	--	------------	--------	---	--	--	--	-----

 COMOTI INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE - DEZVOLTARE TURBOMOTOARE	Memoriu tehnic PROIECT: Estimarea nivelului de zgomot produs de turbina eoliana cu ax vertical de tip Lenz cu ajutorul metodelor CFD	Data: 09.08.2019 Pag : 20 /15
---	---	--

6. BIBLIOGRAFIE

- [1] European Wind Energy Association, EU energy policy after 2020, www.ewea.org,2011.
- [2] www.romania-eoliene.ro
- [3] ADR Centru, « Analiza potentialului energetic eolian la nivelul regiunii centru in perspectiva dezvoltarii economice durabile » martie 2010;
- [4] D.Jurcau, « Energia eoliana », Stiinta si viata noastra, 2011;
- [5] Paraschivoiu I., „Double – Multiple Streamtube model for Darrieus wind turbine”, Institute de recherche d’Hydro-Quebec, Canada.
- [6] Paraschivoiu I., Saeed F., Desobry V.”Prediction capabilities in vertical axis wind turbine aerodynamics” Berlin, Germany 2002
- [7] Dumitrescu, H., V. Cardos, "Indicial Dynamic Stall Model Applied to a Hawt", 1996 European Union Wind Energy Conference and Exhibition, Goteborg, Sweden, 20-24 May 1996.
- [8] Wind Directions, Volume XX,nr5, 2001
- [9] Renewable energy world, jan 1999
- [10] M.D. Ionescu, C.Haraguta, M.Ignat, V.Silivestru, R.Petcu, G.Fetea, “Turbine eoliene cu ax vertical – contribuții românești”, Ed Graph Byte,2012 ISBN 978-606-92852-9-9
- [11] M. Ragheb1,A. M. Ragheb, “Wind Turbines Theory - The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio ”, Fundamental and Advanced Topics in Wind Power
- [12] <http://urjart.wordpress.com/2008/10/10/types-of-wind-energy-converters/>
- [13] R.B. Langtry,F.R. Menter, “Transition Modeling for General CFD Applications in Aeronautics”, AIAA 2005-522
- [14] Menter, F. R., Esch, T. and Kubacki, S., “Transition Modelling Based on Local Variables”, 5th International Symposium on Turbulence Modeling and Measurements, Spain, 2002.
- [15] Wilcox, David C., “Turbulence Modeling for CFD” (3 ed.). DCW Industries, Inc. ISBN 978-1-928729-08-2. 2006
- [16] aircraftnoise.com.au
- [17] <https://www.ontario.ca/page/compliance-protocol-wind-turbine-noise> (cap C2.6)

Întocmit	CS III. Dr.Ing. Ion Mălăeș ion.malael@comoti.ro , 0765182266		09.08.2018	Editia	1			Ex.
----------	---	--	------------	--------	---	--	--	-----