



A XIX-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”,
CLUJ NAPOCA, 2019

STUDIUL MANAGEMENTULUI DE ZGOMOT AL SISTEMULUI DE RĂCIRE AL AUTOVEHICULELOR

Thomas BUIDIN

NOISE MANAGEMENT STUDY OF A CAR'S COOLING SYSTEM

The article presents a comparative study of four radiator fans with different blade numbers. The four simulations were conducted at different speeds for each fan, in such a way, that the tonal noise caused by the blade passing frequency has the same value in each case. As a result, the discharged air flow rates of the four fans were analyzed and compared.

Keywords: fan, blade passing frequency, air velocity

Cuvinte cheie: ventilator, frecvență de trecere a paletelor, viteză aer

1. Introducere

Nivelul de zgomot din habitacul automobilelor a devenit de-a lungul timpului o preocupare din ce în ce mai importantă. În cazul autovehiculelor echipate cu un motor cu ardere internă, principala sursă de zgomot era în majoritatea cazurilor motorul, însă nivelul de zgomot produs de acesta a fost redus semnificativ datorită dezvoltării unor sisteme de propulsie avansate. Ca urmare, aeroacustica a înlocuit motorul ca principală sursă de zgomot în habitacul, una din cauzele

aeroacusticii fiind ventilatoarele. Acest fapt se poate constata mai ales la autovehiculele electrice, la care lipsa motorului cu ardere internă are ca efect amplificarea dominanței aeroacusticii în zgomotul resimțit în habitacul. Deși autovehiculele electrice nu sunt echipate cu un motor termic, acestea au nevoie de un sistem de răcire performant pentru disiparea căldurii din jurul motorului electric și al bateriilor, ventilatoarele devenind astfel și în acest caz una din principalele surse de zgomot [1].

Există trei surse principale de zgomot într-un sistem de răcire prin ventilație: zgomot tonal, aerodinamic și mecanic. Zgomotul tonal se manifestă în cazul în care zgomotul este concentrat pe o bandă îngustă de frecvențe sau conține o proporție mare de energie la o singură frecvență, fiind specific ventilatoarelor, compresoarelor și motoarelor. Zgomotul aerodinamic are ca și componente principale zgomotul datorat curgerii aerului printre paletele ventilatorului, turbulențelor și oscilațiilor curgerii aerului după contactul cu paletele ventilatorului. Dintre acestea, zgomotul dominant resimțit în habitacul este cel tonal, acesta fiind rezultatul impulsurilor de aer create de fiecare dată când o paletă trece de un anumit punct. Numărul de impulsuri pe secundă este denumit frecvența de trecere a paletelor sau BPF (blade passing frequency) [2].

2. Stadiu actual

În prezent majoritatea cercetărilor referitoare la sistemul de răcire al autovehiculelor se axează pe reînnoirea componentelor standard, precum termostatul cu ceară, pompa de apă sau ventilatorul, ceea ce are un efect direct asupra zgomotului produs în timpul funcționării motorului. Dezvoltarea rapidă a tehnologiei electronice a permis cercetătorilor să încerce înlocuirea componentelor clasice cu unele electrice, ceea ce oferă posibilitatea aplicării unor strategii de control a temperaturii în timp real în vederea îmbunătățirii performanțelor motorului și reducerii nivelului de zgomot.

Într-un studiu [5] se propune o optimizare a strategiei de control a sistemului de răcire în funcție de puterea consumată de actuarii componentelor (pompa de apă cu viteză de rotație variabilă, valvă inteligentă cu 3 poziții, ventilator electric). Această strategie propune trei niveluri de control a actuatorilor odată cu creșterea necesității de preluare a căldurii, influențând în același timp în mod direct zgomotul produs de sistemul de răcire:

1. Nivelul I - singurul actuator de controlat este valva inteligentă;

2. Nivelul II - pentru preluarea unei cantități mai mari de căldură de la motor, turația pompei este mărită treptat, până la atingerea limitei superioare de funcționare ;
3. Nivelul III - începe a fi acționat și ventilatorul pentru o răcire suplimentară.

Testele efectuate cu o astfel de strategie de control au dezvăluit posibilitatea reducerii consumului de putere pentru funcționarea sistemului de răcire, reducând totodată semnificativ zgomotul produs prin minimizarea timpului de funcționarea a pompei de apă și mai ales a ventilatorului.

Alte studii se concentrează pe reducerea efectelor frecvenței de trecere a paletelor [3], respectiv a zgomotului aerodinamic prin analiza CFD a formei și secțiunii paletelor [4, 6]. Estimarea și analiza zgomotului având surse aerodinamice este însă foarte dificilă din cauza complexității fenomenelor fizice implicate în generarea de zgomot, cum ar fi turbulențele, tranzițiile în turbulențe și instabilitățile laminare. [6]. Deoarece identificarea surselor zgomotului este dependentă de structura turbulențelor simulate, în cazul unor astfel de simulări este nevoie de o precizie mărită, fiind folosite în preponderență modele DES (Detached Eddy Simulation), LES (Large Eddy Simulation) sau URANS (Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes). Rezultatele astfel obținute sunt sub forma unor presiuni pe suprafețele paletelor, din care rezultă sursele principale de zgomot.

3. Parte aplicativă

Această lucrare urmărește posibilitățile de îmbunătățire a performanțelor unui ventilator, cu alte cuvinte de mărire a debitului de aer refulat de acesta, menținând frecvența de trecere a paletelor (blade passing frequency) la o valoare constantă. Această frecvență care cauzează zgomotul tonal resimțit în habitacul autovehiculelor poate fi exprimată prin relația următoare:

$$BPF = \frac{n \cdot N}{60} [Hz] \quad (1)$$

în care n reprezintă turația ventilatorului, iar N numărul de palete. Astfel, în această lucrare se vor analiza vitezele aerului refulat (din care se poate aproxima cu ușurință debitul de aer) de patru ventilatoare, dimensiunile acestora și geometriile paletelor fiind identice, singura variabilă fiind numărul de palete. Analizele se vor efectua la o valoare a

BPF-ului constantă, deci modificarea numărului de palete va antrena și modificarea invers proporțională a turației ventilatorului.

S-a început prin modelarea în softul *CATIA V5* a unui ventilator axial cu caracteristici dimensionale uzuale pentru automobile (fig. 1):

- Număr palete: 6
- Înălțime palete: 120 mm
- Diametru rotor: 130 mm
- Grosime palete : 3 mm

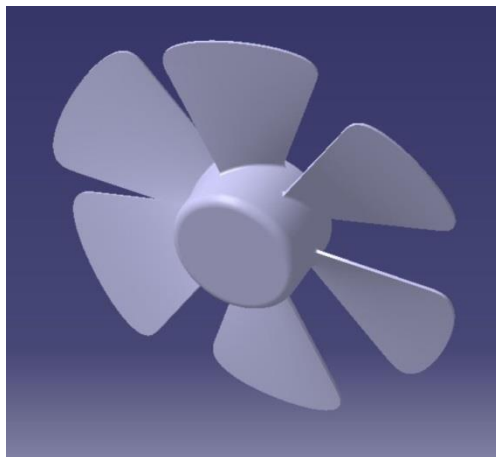


Fig. 1 Ventilator cu șase palete modelat în *CATIA V5*

S-a trecut la simularea curenților de aer refulați de acest ventilator, în această lucrare accentul fiind pe analiza vitezei aerului la ieșirea din ventilator. Astfel se poate aproxima debitul de aer circulat prin radiator și performanțele ventilatorului la o turație dată. Pentru efectuarea acestei simulări s-a folosit softul *ANSYS*, parcurgându-se următorii pași:

1. În *DesignModeler* – crearea și pregătirea domeniului de fluid (aer) din jurul ventilatorului;
2. În *Meshing* – discretizarea domeniului de aer în volume finite;
3. În *ANSYS Fluent* – impunerea condițiilor de funcționare a sistemului creat și selectarea rezultatelor ce se doresc a fi analizate;
4. În *CFD-Post* – vizualizarea și extragerea rezultatelor urmărite.

Pentru această primă simulare, de referință, s-a ales în mod arbitrar o viteză de rotație a ventilatorului de 1800 rot/min, la care frecvența de trecere a paletelor are valoarea de 180 Hz.

În CFD-Post, pentru o exemplificare cât mai bună a rezultatelor care pot fi analizate, se vor afișa trei figuri (figura 2, figura 3, figura 4) pentru această primă simulare de referință, urmând ca din simulările comparative să fie extrasă doar figura în care se poate vizualiza distribuția vitezelor aerului refulat într-un plan vertical, plasat la 0,1 m în fața ventilatorului (figura 4).

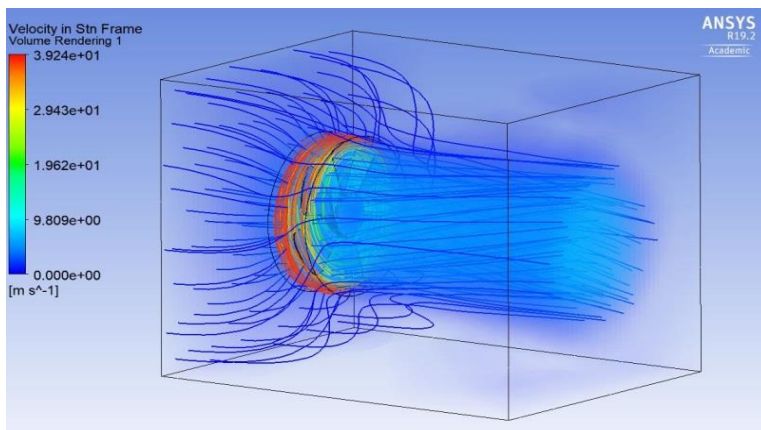


Fig. 2 Traectoria și viteza curenților de aer antrenați de ventilator

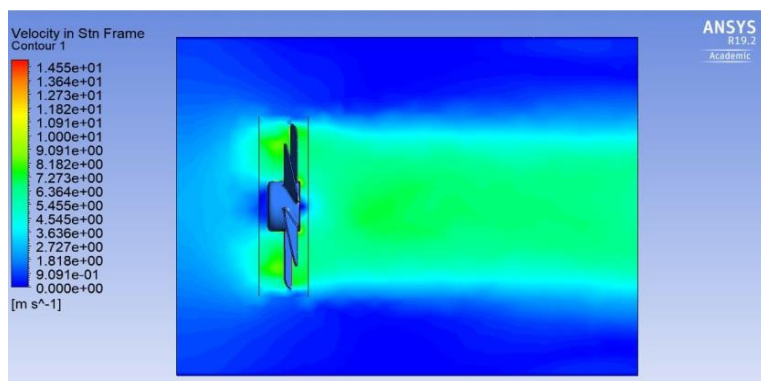


Fig. 3 Distribuția vitezelor aerului în plan longitudinal

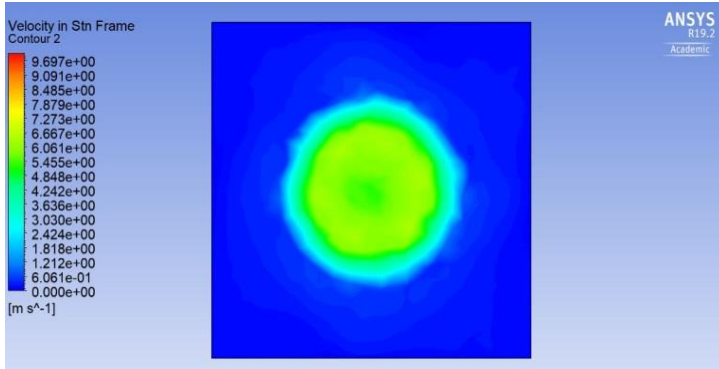


Fig. 4 Distribuția vitezelor aerului într-un plan vertical, plasat la 0,1 m în fața ventilatorului

În vederea efectuării simulărilor comparative, mai întâi s-au proiectat celelalte ventilatoare, cu dimensiuni geometrice și forme ale paletelor identice cu ventilatorul de referință, modificarea fiind la numărul paletelor.

Astfel, s-au proiectat trei ventilatoare adiționale, având 7, 5, respectiv 4 palete (figura 5).

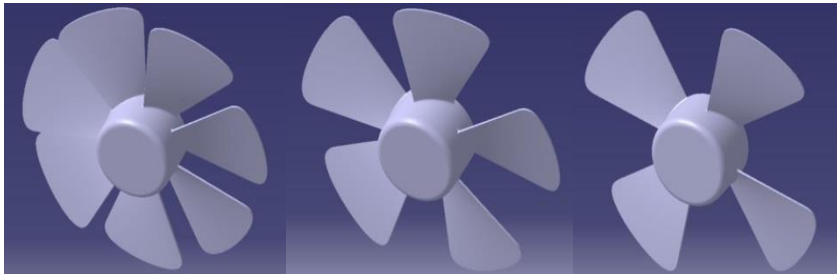


Fig. 5 Ventilatoare adiționale, cu număr de palete modificat

Pentru obținerea aceleiași frecvențe BPF de 180 Hz, s-a impus funcționarea acestor ventilatoare la turațiile de 1543, 2160, respectiv 2700 rot/min. Rezultatele obținute din totalul celor patru simulări sunt reprezentate într-un mod comparativ în figura 6.

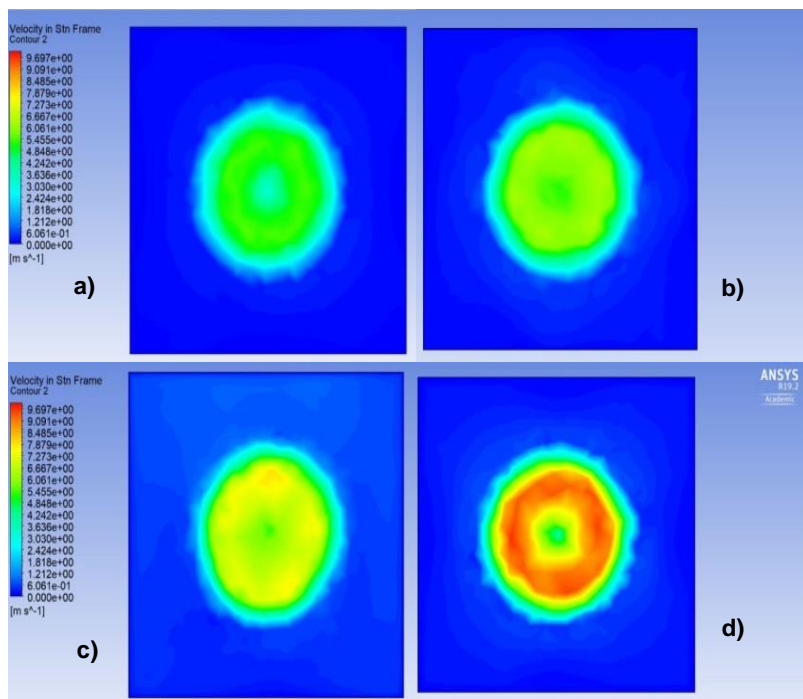


Fig. 6 Compararea rezultatelor obținute
a) 7 palete, 1543 rot/min b) 6 palete, 1800 rot/min
c) 5 palete, 2160 rot/min d) 4 palete, 2700 rot/min

4 .Concluzii și perspective de dezvoltare

■ Din rezultatele obținute se poate observa că deși numărul de palete a fost redus, turația are o influență mai semnificativă asupra debitului de aer refulat, viteza aerului crescând de la o maximă de aproximativ 5,6 m/s în cazul ventilatorului cu 7 palete până la aproximativ 9,7 m/s în cazul ventilatorului cu 4 palete. Așadar, considerând doar zgomotul tonal, respectiv frecvența de trecere a paletelor unui ventilator și izolând toate celelalte fenomene care apar odată cu modificarea numărului de palete și a turației, se poate concluziona că la același BPF ventilatoarele cu un număr mai redus de palete pot refula un debit de aer superior.

■ Totodată, pentru o analiză mai precisă ar trebui simulate în continuare efectele acestor modificări asupra zgomotului suplimentar datorat curgerii aerului cu o viteză mai mare printre paletel ventilatorului, respectiv datorat modificării caracterului turbulențelor. Mai mult, pentru a analiza viabilitatea implementării unor astfel de soluții, trebuie considerate și modificările puterii consumate datorate funcționării ventilatoarelor la turații mai ridicate, respectiv limitările cu privire la turațiile critice ale ventilatoarelor.

■ Alte posibilități de abordare a problemei zgomotului produs de ventilatoare sunt analiza formei și secțiunii paletelor, respectiv a materialelor folosite.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Park, M.-J., Lee, D.-J., *Sources of broadband noise of an automotive cooling fan*, În: Applied Acoustics, Vol. 118, pag. 66-75, 2017
- [2] Rama Krishna, S., Rama Krishna, A., Ramji, K., *Reduction of motor fan noise using CFD and CAA simulations*, În: Applied Acoustics, Vol. 72, pag. 982-992, 2011
- [3] Suzuki, A., Tominaga, T., Eguchi, T., Kudo, T., Takata, T., *Study of Fan Noise Reduction for Automotive Radiator Cooling Fans*
- [4] Tannoury, T., Khelladi, S., Demory, B., Henner, M., Bakir, F., Influence of blade compactness and segmentation strategy on tonal noise prediction of an automotive engine cooling fan, În: Applied Acoustics, Vol. 74, pag. 782-787, 2013
- [5] Wang, T., Wagner, J., Advanced automotive thermal management – Nonlinear radiator fan matrix control, În: Control Engineering Practice, Vol. 41, pag. 113-123, 2015
- [6] Zanon, A., De Gennaro, M., Kuehnelt, H., Giannattasio, P., *Assessment of the broadband noise from an unducted axial fan including the effect of the inflow turbulence*, În: Journal of Sound and Vibration, Vol. 429, pag. 18-33, 2018

Thomas BUIDIN

Departamentul de Autovehicule Rutiere și Transport,
Facultatea de Autovehicule Rutiere, Mecatronică și Mecanică,
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca