

STUDII PRIVIND REDUCEREA NIVELULUI DE ZGOMOT IN SISTEMELE DE ADMISIE ALE AUTOTURISMELOR

POPESCU Silvia-Emilia¹

Conducător științific: Prof.dr.ing. Cristian DOICIN

REZUMAT: Studiul are drept scop dezvoltarea unei solutii tehnice cu performante ridicate in ameliorarea si reducerea zgomotelor produse in sistemul de admisie a aerului la motoarele cu ardere interna. Dezvoltarea unei astfel de solutii tehnice este necesara pentru a asigura alinierea la normele europene care au devenit din ce in ce mai restrictive in privinta reducerii nivelului de zgomot. Cercetarea analizeaza un sistem clasic de admisie aer si face referire, in egala masura, si la solutiile tehnice curent utilizate pentru diminuarea zgomotelor.

CUVINTE CHEIE: admisie aer, sisteme rezonatoare, reducere zgomot.

1 INTRODUCERE

În momentul actual toți producătorii de automobile fac eforturi susținute pentru creșterea performanțelor dinamice ale acestora, având ca funcții obiectiv reducerea consumului de combustibil, a emisiilor poluante, precum și a poluării fonice. Aceasta orientare a condus la dezvoltarea unor sisteme complexe, cu rezultate directe în îndeplinirea acestor funcții obiectiv.

Unul dintre sistemele autovehiculelor dotate cu motor cu ardere internă, cu importanță deosebită în ceea ce privește eficiența funcționării motorului, este sistemul de admisie de aer. Acesta a evoluat constant, de la o simplă conductă metalică prin care motorul aspiră aer proaspăt din mediul ambiant, la un traseu complex realizat din conducte din material plastic care integrează, pe lângă elemente strict functionale, o serie de noi componente care contribuie la creșterea eficienței. Dintre acestea, un subiect complex îl reprezintă gasirea unor solutii tehnice cu efect în ameliorarea zgomotelor produse de trecerea aerului prin conductele de admisie la motoarele dotate cu turbina, ce lucrează cu viteze, presiuni și debite mari de aer în rețeaua de admisie.

Astfel, prin integrarea unor elemente acustice în sistemul de admisie, zgomotul produs de către motor este atenuat. În cadrul acestui studiu au fost analizate soluțiile tehnice folosite de unii producători pentru reducerea zgomotului produs de motor cu ajutorul sistemului de admisie. Au fost determinați experimental parametrii rezonatoarelor de aer și au fost calculate frecvențele de rezonanță ale acestora.

2 STADIUL ACTUAL

În ultimul timp, silențiozitatea habitaculului a devenit o calitate importantă a autoturismelor, determinând orientarea eforturilor producătorilor către reducerea nivelului de zgomot din compartimentul pasagerilor. Astfel, zgomotul produs de sistemul de admisie de aer, care până nu de mult a reprezentat o sursă minoră de zgomot, a devenit, recent, una dintre cele mai importante, odată cu creșterea performanțelor autovehiculelor.

Sistemul de admisie a aerului asigură buna funcționare a motorului. Rolul principal al acestuia este de a asigura un debit de aer suficient pentru buna funcționare a motorului la turații și regimuri de sarcină diferite. În plus, sistemul trebuie să îndeplinească următoarele condiții [2]:

- Să permită curgerea aerului fără restricții hidraulice importante;
- Să nu favorizeze încălzirea excesivă a aerului admis;
- Să asigure o purificare a aerului admis pentru a nu permite impurităților să ajungă în motor;
- Să nu permită patrunderea de apă sau zăpada în motor;
- Să aibă o rigiditate structurală ridicată, dar să absoarbă mișcările motorului;
- Să fie cât mai ușor;
- Să atenueze cât mai bine zgomotul specific produs de aspirația aerului în motor;
- Să fie izolat din punctul de vedere al vibrațiilor de celelalte componente ale autovehiculului;
- Să aibă un cost cât mai scăzut ;
- Să aibă un impact ecologic cât mai scăzut de-a lungul duratei de viață.

¹ Specializarea Inginerie Economica Industrială, Facultatea IMST; E-mail: emilia_199563@yahoo.com;

In contextul actual European se preconizeaza noi măsuri împotriva poluării fonice și reducerea nivelului de zgomot permis pentru autoturisme. Limitele de zgomot urmează să scadă progresiv, pe diferite categorii de autoturisme, în mai multe etape, începând cu 1 ianuarie 2017 [1]. Noile norme presupun introducerea unui sistem de etichetare care să informeze consumatorii despre nivelul de zgomot produs de mașinile noi, asemănător etichetării eficienței consumului și emisiile de dioxid de carbon.

3 STRUCTURA UNUI SISTEM DE ADMISIE CLASIC

Un sistem de admisie aer poate fi împărțit în două subsisteme : sistemul de admisie inferior (de la orificiul de admisie al aerului din atmosferă până la clapeta obturatoare) și sistemul de admisie superior (de la clapeta obturatoare până la la intrarea în cilindru).

Părțile componente ale sistemului de admisie inferior pot fi observate în figura 1.

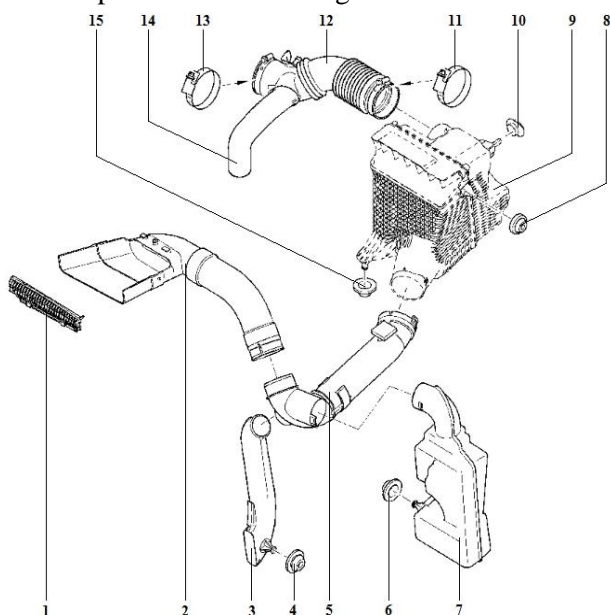


Figura 1. Parti componente ale sistemului de admisie inferior [3]

Aerul este aspirat din atmosferă prin intermediul conductei de admisie de aer principală (2) iar impuritățile de dimensiuni mari sunt oprite de către grilajul (1). Dacă din considerente de natură constructivă, amplasarea unei conducte de admisie de aer principală cu un diametru suficient de mare nu este posibilă, se poate adopta soluția folosirii unui conducte de admisie de aer secundară (3). Conducta de admisie de aer intermediară (5) conduce aerul admis către cutia filtrului de aer (9). Cutia filtrului de aer are rolul de a găzdui filtrul de aer și de a forța aerul aspirat să treacă doar prin

filtru pentru a asigura purificarea acestuia. Rezonatorul de tip Helmholtz (7) are rolul de a reduce zgomotul produs de sistemul de admisie a aerului. Conducta de admisie (12) are rolul de a prelua aerul filtrat din cutia filtrului de aer și de a-l conduce spre corpul clapetei obturatoare. Aceasta este racordată la cutia filtrului și la corpul clapetei obturatoare prin intermediul colierelor (11, 13). Rezonatorul de tip sferic de lungime de undă (14) are rolul de a reduce zgomotul produs de sistemul de admisie de aer. Sistemul de admisie de aer inferior este fixat în interiorul compartimentului motor prin intermediul suporturilor elastice (4, 6, 8, 10 și 15) pentru a nu transmite vibrații [3].

Părțile componente ale sistemului de admisie superior pot fi observate în figura 2.

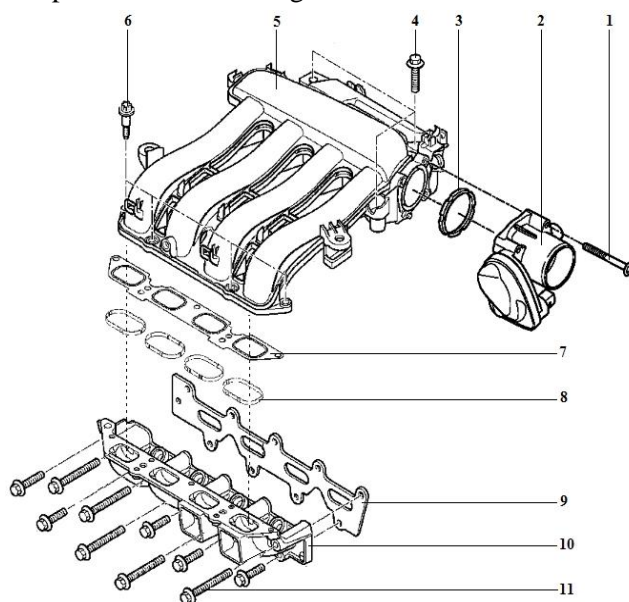


Figura 2. Parti componente sistemului de admisie superior [3]

Aerul filtrat și condus de către tubul de aer final este preluat de către corpul clapetei obturatoare (2). Aceasta este fixat pe colectorul de admisie prin intermediul șuruburilor (1). Clapeta obturatoare are rolul de a controla cantitatea de aer care intră în motor. Etanșarea dintre corpul clapetei obturatoare și colectorul de admisie (5) este realizată prin intermediul garniturii din cauciuc (3). Colectorul de admisie are rolul de a distribui cantitatea de aer, uniform, pentru toți cilindrii motorului și de a asigura un volum tampon de aer necesar motorului în momentul unor treceri bruște la regimuri de sarcină mare. Colectorul de admisie este fixat pe chiulasă prin intermediul celor 3 șuruburi (4) și celor 4 șuruburi (6) [3].

Cei mai importanți parametri caracteristici sistemelor de admisie de aer sunt debitul și temperatura aerului. Acești parametri determină cantitatea de aer care intră în motor, iar această

masă de aer aspirată în motor determină puterea maximă pe care acesta o poate dezvolta.

Din punctul de vedere al creșterii puterii dezvoltate de motor, sistemul de admisie a aerului trebuie să asigure un debit cât mai mare de aer și o temperatură cât mai scăzută a aerului.

O altă caracteristică a sistemului de admisie a aerului este zgomotul pe care acesta îl produce. Odată cu creșterea așteptărilor cu privire la confortul pe care un autoturism trebuie să îl confere, atenția inginerilor s-a îndreptat tot mai mult asupra zgomotului produs de sistemul de admisie a aerului. În timpul funcționării motorului se formează unde de presiune care se transmit de-a lungul sistemului de admisie a aerului care începe să vibreze și astfel produce un zgomot a cărui intensitate și frecvență variază în funcție de turația și sarcina motorului. Una din metodele folosite pentru reducerea zgomotului este introducerea în sistemul de admisie a aerului a unuia sau mai multor rezonatoare Helmholtz. Rezonatoarele pot fi acordate pentru a neutraliza zgomotele de o anumită frecvență.

4 FENOMENUL DE PRODUCERE AL ZGOMOTELOR

Acțiunea de deschidere și închidere a supapelor de admisie determină deplasarea și oprirea bruscă a unor volume de aer. De fiecare dată când supapa de admisie se închide, coloana de aer care se află în mișcare către fiecare cilindru este oprită brusc. Astfel, se formează o undă de presiune care se deplasează în sens invers de-a lungul galeriei și colectorului de admisie. Undele de presiune împreună cu sunetul aerodinamic datorat vitezei mari de deplasare a aerului sunt principalele surse de zgomot ale sistemului de admisie a aerului al unui motor.

Eficiența sistemului de admisie este afectată în mod direct de către felul curgerii aerului prin conducte datorat obstacolelor și restricțiilor hidraulice. În general, în cazul autovehiculelor, curgerea prin conductele sistemului de admisie a aerului este turbulentă (figura 3).

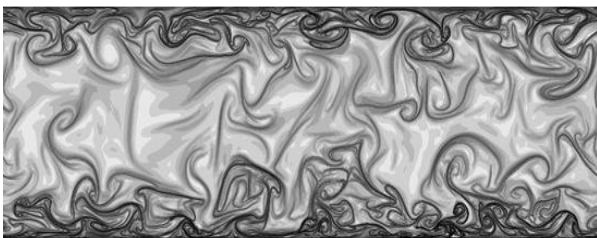


Figura 3. Caracterul turbulent al undelor in interiorul tubulaturii [3]

Acest caracter turbulent se datorează debitului mare de aer necesar funcționării motorului și datorită

diametrului relativ mic al conductelor folosite și neliniarității acestora. Acest lucru are repercursiuni directe asupra nivelului de zgomot produs.

4.1 Factori care influențează zgomotul în Tubulatura [3]

Zgomotul generat în tubulatura de admisie a motorului este influențat de viteza aerului prin conductă și este caracterizat prin frecvența de rezonanță și amplitudine.

Frecvența de rezonanță poate fi influențată în funcție de o serie de parametri:

- volumul interior al încălții principale a elementului rezonator; cu cât volumul este mai mare cu atât mai joasă este frecvența de rezonanță datorită faptului că pentru reducerea presiunii interioare trebuie să fie evacuată o cantitate mai mare de aer;
- suprafața secțiunii gâtului de acces; cu cât este mai mare cu atât mai înaltă este frecvența de rezonanță datorită faptului că aerul poate să intre și să iasă mai repede din încălta rezonatorului;
- lungimea gâtului de acces: cu cât este mai lung cu atât frecvența de rezonanță este mai joasă. Aerul trebuie să parcurgă o distanță mai mare pentru a ieși din rezonator.
- viteza sunetului (depinde de densitatea gazului admis și implicit temperatura acestuia) influențează direct proporțional frecvența de rezonanță.

Pentru exemplificare se prezintă formula de calcul a frecvenței de rezonanță a unui rezonator Helmholtz :

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V \cdot L}} \text{ [Hz]}$$

c - viteza sunetului [m/s];

S - suprafața secțiunii de trecere a gâtului de acces [mm^2];

V - volumul interior al încălții [dm^3];

L - lungimea gâtului de acces [mm].

5 EXEMPLE DE SISTEME FOLOSITE

Pentru reducerea zgomotului produs de sistemul de admisie a aerului, în industria auto se utilizează o serie de soluții tehnice pentru a neutraliza/reduce nivelul de zgomot, după cum este prezentat în continuare.

5.1 Camere de expansiune

Prin folosirea unor cutii pentru filtrele de aer care au un volum interior mare sau prin conectarea în serie în circuitul hidraulic al sistemului de admisie de aer a unor încălți suplimentare zgomotul

poate fi redus substanțial. Sistemele care folosesc incinte de dimensiuni foarte mari pot reduce zgomotul cu până la 10dB. Dezavantajul acestei metode de reducere a zgomotului este volumul mare necesar pentru amplasarea acestor incinte suplimentare. Ținând cont de tendința actuală de creștere a spațiului dedicat pasagerilor în detrimentul spațiului alocat compartimentului motor această metodă devine din ce în ce mai greu de aplicat.

5.2 Absorbție

Această metodă presupune folosirea unui material fonoabsorbant pentru căptușirea pereților interiori ai conductelor și/sau incintelor sistemului de admisie de aer. Un avantaj al acestei metode este faptul că materialul fonoabsorbant poate fi adăugat ulterior sistemelor deja existente și, în plus, folosirea acestei metode nu necesită spațiu suplimentar în compartimentul motor. Zgomotul poate fi redus cu până la 2-5 [dB]. Această soluție tehnică a fost folosită în anii '80 de către Nissan prin plasarea unei plăci perforate din oțel căptușită cu material fonoabsorbant în partea superioară a cutiei filtrului de aer.

5.3 Neutralizare

Această metodă folosește rezonatoare acordate la o anumită frecvență și conectate la sistemul de admisie aer. Atunci când sistemul de admisie de aer produce sunet la frecvența la care a fost acordat rezonatorul, aerul din rezonator este excitat. Acesta, la rândul său, produce un sunet cu aceeași frecvență și amplitudine însă defazat cu 180°. Astfel, cele două unde se neutralizează reciproc.

Sunt folosite două tipuri de rezonatoare: Helmholtz și sfert de lungime de undă. Frecvența de rezonanță a rezonatoarelor Helmholtz depinde de volumul incintei acestuia, diametrul gâtului și lungimea acestuia. Rezonatoarele sfert de lungime de undă au diametrul constant. Frecvența lor de rezonanță este determinată de lungime. De exemplu, un rezonator sfert de lungime de undă acordat la frecvența de rezonanță de 67 [Hz] (frecvența aprinderii unui motor cu patru cilindrii la turația de 2000 [rot/min]) trebuie să aibă o lungime de 1250 mm. Zgomotul poate fi redus cu până la 5-10 [dB] însă doar pe o gamă îngustă de frecvențe [4].

Dezavantajul folosirii volumelor de neutralizare este, la fel ca și în cazul camerelor de absorbție, necesitatea unui spațiu alocat în compartimentul motor. În plus, trebuie folosite mai multe rezonatoare pentru ca neutralizarea zgomotelor să se facă pe o gamă mai largă de frecvențe.

În general se folosesc soluții mixte. De exemplu, în figura 4, elementul indicat cu poziția 1 este un rezonator de tip sfert de lungime de undă, elementul indicat cu poziția 2 este un rezonator Helmholtz, iar cel indicat cu poziția 3 este o camera de expansiune.

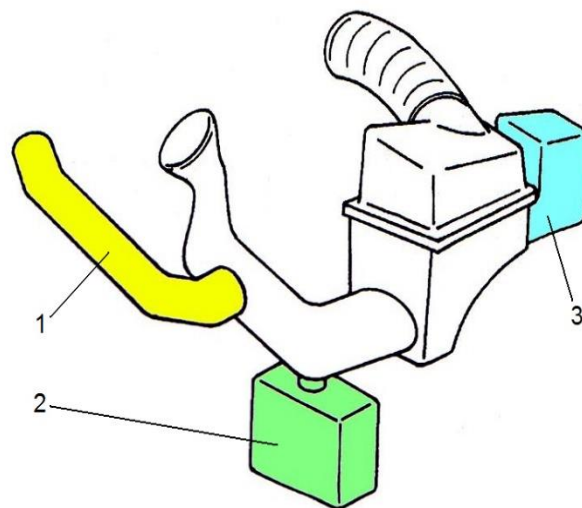


Figura 4. Exemplificarea unei soluții mixte pentru reducerea zgomotului [3]

6 STUDIU DE CAZ

Pe baza datelor existente în literatura de specialitate și a informațiilor puse la dispoziție de unii producători auto, prin intermediul acestui studiu se încearcă conceperea unei noi soluții tehnice pentru îmbunătățirea performanțelor acustice (reducerea nivelului de zgomot) a unui sistem de admisie a aerului.

Studiul presupune realizarea unui nou tronson în sistemul de admisie aer al unui motor în 6 cilindri și al cărui tip de carburant este benzină. Acesta necesită un aport sporit de aer pentru o funcționare optimă. Ca urmare, a fost proiectat să funcționeze cu admisie aspirată, ceea ce implică utilizarea unui sistem turbo care aspiră aerul cu viteze foarte mari [2].

Toate aceste aspecte anterior enunțate constituie premisele unui nivel de zgomot ridicat în tubulatură de admisie.

Pentru a obține cantitatea de aer purificat necesară funcționării acestui motor s-a proiectat un sistem de admisie dublu, tip „Twin”, cu două parcursuri inferioare de admisie și două cutii de filtre. Urmează un tronson ce reunește caile de aer ce pleacă din cele două cutii de filtre, conducând aerul colectat către turbina, similar cu exemplul din figura 5.

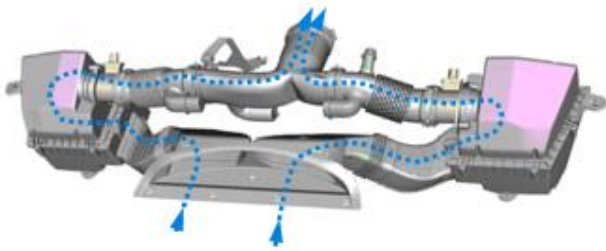


Figura 5. Exemplu de sistem admisie „Twin” [3]
Sistemul de admisie folosit pentru acest studiu de caz are urmatoarea schema functionala:

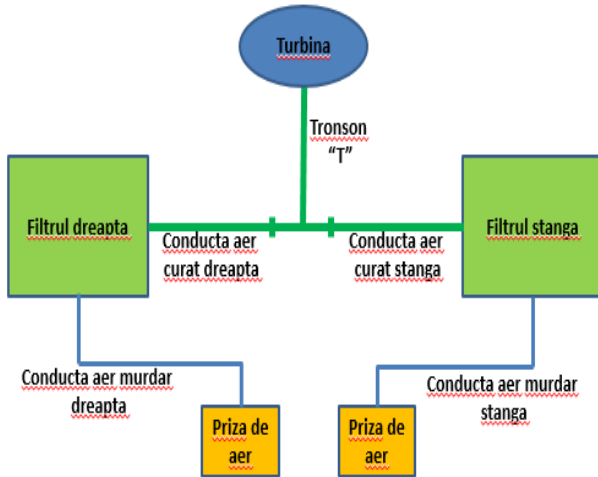


Figura 6. Scema functionala sistem „Twin”

Obiectul studiului il reprezinta modificarea tronsonului tip „T” aferent acestui sistem, astfel incat sa se realizeze o reducere a nivelului de zgomot. Acesta a fost proiectat in faza initiala fara niciun element atenuator de zgomot asa cum se vede in figura 7.

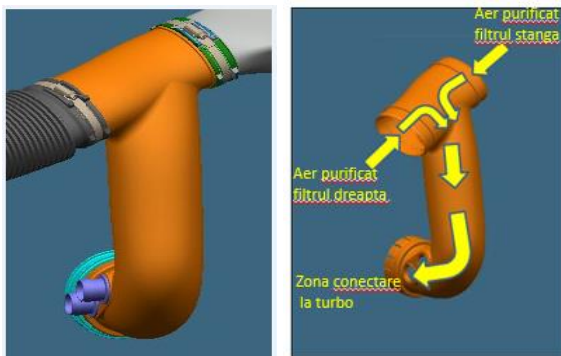


Figura 7. Tronson „T” simplu

Solutia propusa pentru modificare acestui tronson in scopul reducerii nivelului de zgomot consta in proiectarea unei cutii rezonatoare care sa fie integrata pe portiunea mai lunga a tronsonului.

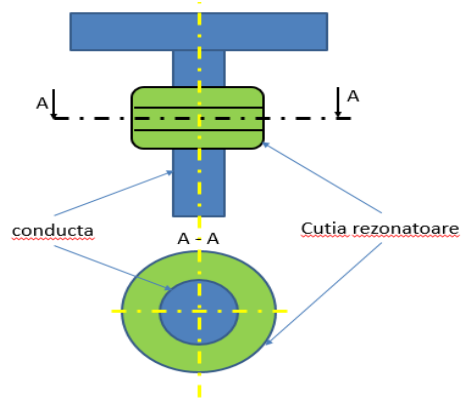


Figura 8. Schita implementarii cutiei rezonatoare

Cutia rezonatoare trebuie sa fie dispusa pe cat posibil concentric cu tronsonul, in limita spatiului disponibil ramas in compartimentul motorului in aceasta zona.

Aceasta solutie tehnica se va baza pe ideea spargerii undelor sonore prin folosirea unui element interior prevazut cu multe gauri si care imparte spatiul interior al cutiei in trei sub camere, asa cum este schitat in figura 9.

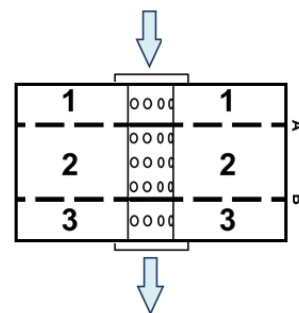


Figura 9. Schita cutiei rezonatoare

Rezultatul proiectarii 3D in mediul virtual oferit de software-ul Catia, pe baza restrictiilor de volum existente in aceasta zona si a distantelor obligatorii reglementate ce trebuie sa fie strict respectate a fost ameliorat progresiv pana s-a ajuns la modelul din figura 10.

De exemplu, distanta fata de colectorul de evacuare aflat in zona trebuie sa fie cel putin 35mm deoarece acesta ajunge la temperaturi foarte mari. De asemenea, aceasta conducta fiind solidara cu motorul, ea se misca odata cu acesta si, ca urmare, a fost necesara respectare unei distante minime de acomodare a dinamicii de cel putin 25mm in raport cu orice alt element fixat pe caroserie, din vecinatatea sa.

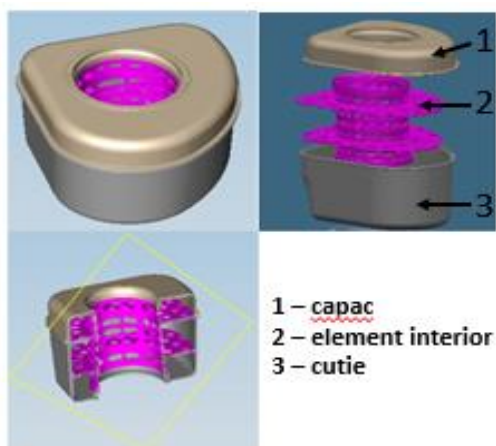


Figura 10. Cutia rezonatoare proiectata

Cele trei elemente ale cutiei rezonatoare, fiind mase plastice, se vor asambla prin lipire, folosindu-se procedeul sudurii prin vibratii si frictiune. Principiul care stă la baza sudurii prin vibrații constă în mișcarea relativă dintre două piese aflate în contact asupra cărora acționează o forță de apăsare. Cutia rezonatoare va fi solidarizata cu restul conductei prin acelasi procedeu de lipire, asa cum este sugerat in figura 11:

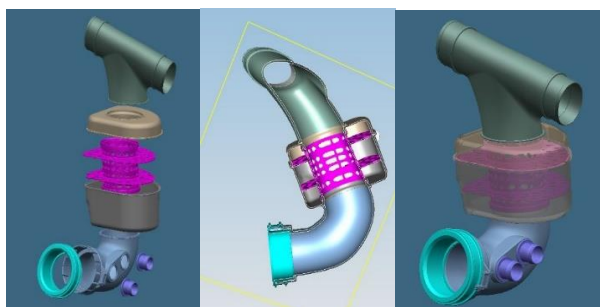


Figura 11. Reconfigurarea tronsonului „T”

Volumul cutiei rezonatoare nu a putut fi foarte marit din cauza limitarilor de spatiu, astfel atingandu-se o valoare de 1,375 litri. Aceasta valoare exclude volumul conductei „T”, asa cum se vede in figura 12.

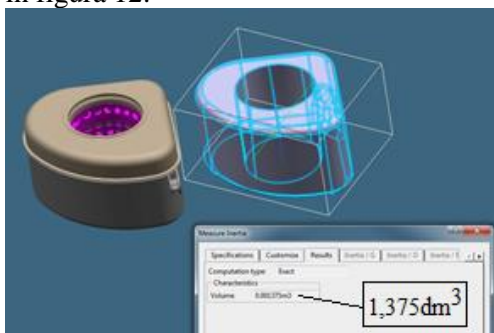


Figura 12. Volumul cutiei rezonatoare

Conform teoriei, cu cat volumul unei astfel de cutii rezonatoare este mai mare, cu atat undele sonore ce o parcurg pierd mai mult din amplitudine, in timp ce dezvoltarea pe directia sensului de

parcursere a undelor preia din frecventa acestora. In cazul cutiei proiectate, dimensiunea pe directia de parcursere a undelor este de 105mm (figura 13), iar pentru elementul interior au fost prevazute perforatii multiple cu diametrul de 10mm dispuse concentric asa cum se observa in figura 13:

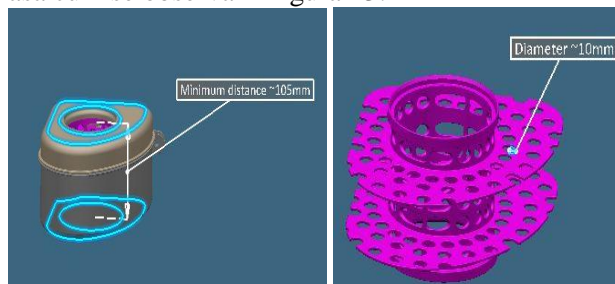


Figura 13. Dimensiuni prevazute cutiei rezonatoare

O forma finala a cutiei rezonatoare montata pe tronsonul „T” este prezentata comparativ cu modelul initial in figura 14.

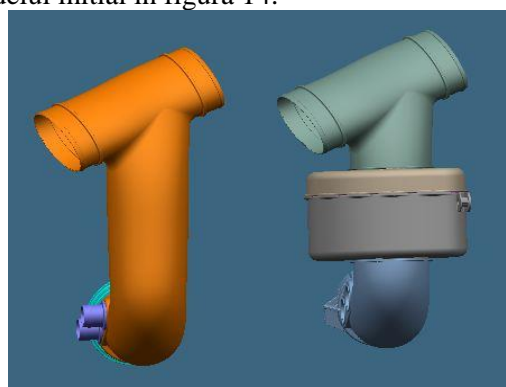


Figura 14. Tronsonul „T” si cutia rezonatoare

In faza de testare, cutia rezonatoare si conducta au fost realizate prin prototipare rapida si solidarizate prin alte mijloace la nivel de atelier (lipire cu adeziv si banda adeziva). Ansamblul astfel realizat a fost montat pe un stand de proba, dotat cu o instalatie care simuleaza regimurile de viteza si unde ale aerului create in corespondenta cu regimurile de turatii din functionarea motorului real.



Figura 15. Standul de testare

In ciclurile de testare au fost simulate conditiile din functionarea reala a motorului prevazut cu un astfel de sistem, rezultatele fiind inregistrate de un calculator. Astfel s-au obtinut graficele analitice in functie de turatiile specifice ale motorului pentru tronsonul "T" in ambele variante: cu si fara cutie rezonatoare.

Rezultatele obtinute

In graficul din figura 16 este prezentat rezultatul obtinut pentru simulari privind comportamentul cutiei rezonatoare la trecerea undelor la anumite frecvente. Se observa ca intensitatea zgomotului se reduce pentru majoritatea intervalelor de frecvente. De interes este, in special, intervalul de frecvente marcat pe fond roz, deoarece reprezinta intervalul in care se accelereaza pentru schimbarea treptei de viteza:

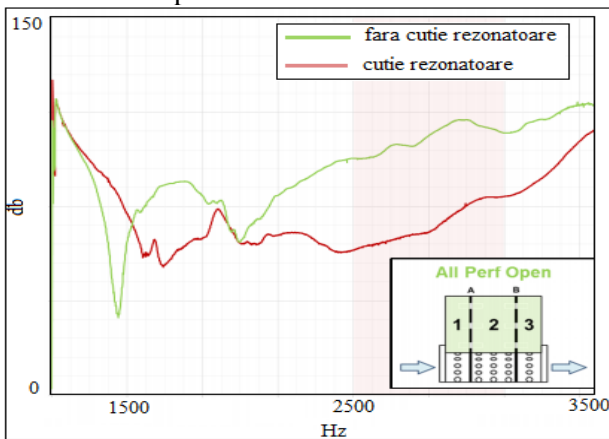


Figura 16. Grafic - Intensitate functie de frecvente

In graficul din figura 17 este prezentat comportamentul celor doua variante din punct de vedere al frecventelor obtinute in functie de turatiile motorului. Se observa ca aplicarea cutiei rezonatoare contribuie la atenuarea anumitor intervale de frecvente.

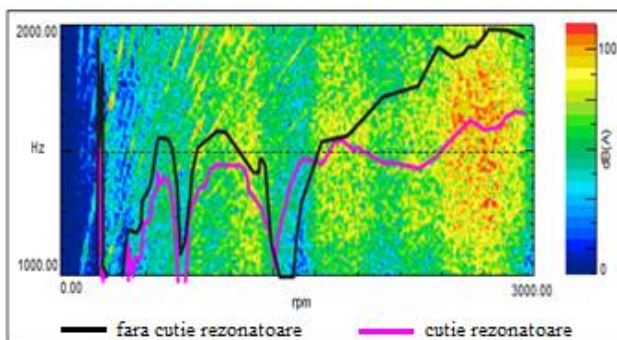


Figura 17. Grafic - Frecventa functie de turatii

In graficul din figura 18 este prezentat rezultatul obtinut pentru cele doua variante prin raportare la limita superioara admisa pentru intensitatea zgomotului la nivelul unui automobil (reglementare europeana):

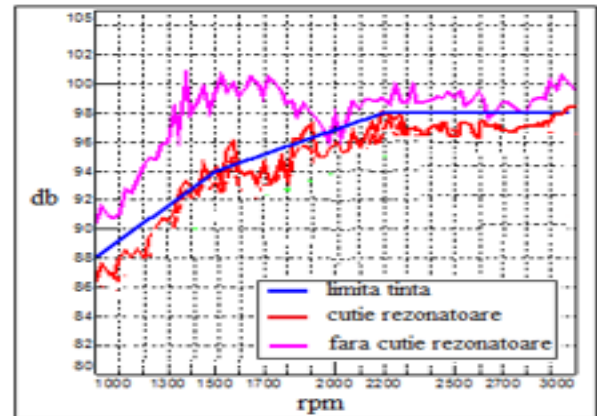


Figura 18. Grafic – Intensitate zgomotului in functie de turatiile motorului

Din analiza graficului se observa ca prin aplicarea cutiei rezonatoare s-au obtinut valori in limita celor admise de reglementarile in vigoare (maxim 98db pentru un autoturism aflat in miscare).

7 CONCLUZII

In urma analizei graficelor obtinute in baza simularilor realizate se observa ca aplicarea cutiei rezonatoare are rezultate foarte bune in reducerea intensitatii zgomotului.

Prin aplicarea acestei solutii tehnice, nivelul de zgomot este redus in conformitate cu valorile impuse de legislatia europeana.

Studiul poate fi continuat prin realizarea unui program experimental de variatie a parametrilor de intrare: a formei, a dimensiunilor perforatiilor, a volumului, a inaltimei pentru a vedea influenta directa a acestora asupra rezultatului obtinut.

8 BIBLIOGRAFIE

► [1] Petre, Ghika, Articol: „Valori-limită ale zgomotului emis de masini in Europa”.

<http://europeanul.org/impact-romania/uniunea-europeana-pregateste-noi-limite-pentru-poluarea-fonica-la-autoturisme-citeste-care-sunt-valorile-limita-ale-zgomotului-pentru-diferitele-categorii-de-vehicule/>

Accesat la data:23.04.2016.

► [2]Honeywell – Presentare: Principiu functionare al turbosufiantelor.

► [3] Vasile, Pop, Licenta: „Studii privind Procesul de Admisie la MAI”, 2014.

► [4] Rezonatoare Helmholtz și sfert de lungime de undă.

https://translate.google.ro/translate?hl=ro&sl=en&u=https://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz_resonance&prev=search

Accesat la data:27.04.2016.