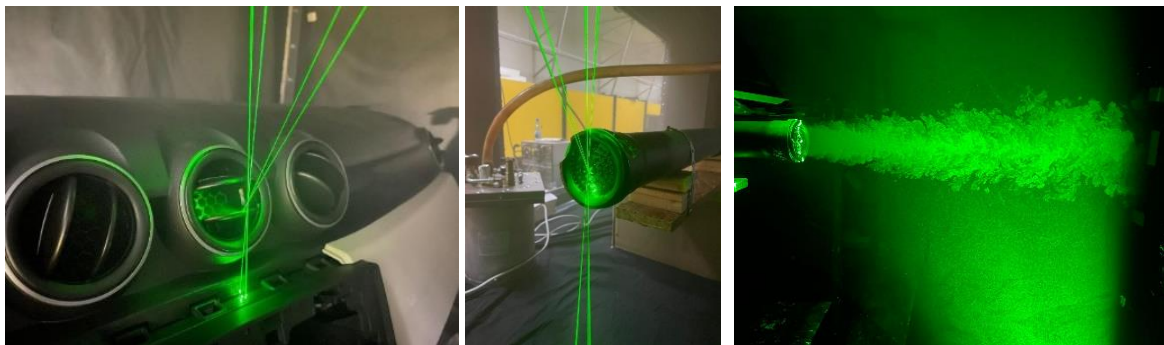


Program P2 - Creșterea competitivității economiei românești prin CDI  
Proiect experimental demonstrativ (PED)

## **Difuzoare de aer inovative cu inducție ridicată pentru îmbunătățirea calității mediului ambiant în vehicule INNOVENT**

**PN-III-P2-2.1-PED-2021-0559**

**697PED din 24.06.2022**



Perioada implementare proiect: 24.06.2022 – 23.06.2024

### **Raport științific**

**Etape 3 - 2024**

**01.01.2024 – 23.06.2024**

**Obiectivul general al proiectului:** este dezvoltarea unui model de difuzor de aer inovator cu amestec ridicat între aerul proaspăt și aerul ambiant, implementat într-un tablou de bord Duster Dacia/Renault dezasamblat pentru a demonstra funcționalitatea acestuia atât în ceea ce privește confortul îmbunătățit, cât și în ceea ce privește reducerea debitului de aer de ventilație.

Proiectul începe de la conceptul (TRL2) și rezultatul va fi un prototip care funcționează în mediu de laborator (TRL4).

Prezenta propunere de proiect se bazează pe constatările anterioare ale membrilor echipei de cercetare de la UTCB care au o activitate îndelungată în acest domeniu al curgerilor de aer. Prototipul rezultat sub forma unui sistem inovator de difuzoare de aer de amestec cu inducție ridicată va fi implementat într-un model funcțional de bord Dacia Duster.

Obiectivele specifice ale proiectului actual sunt:

1. Dezvoltarea unui sistem de difuzie a aerului cu inducție ridicată gata să fie integrat într-un Dacia Duster;
2. Efectuarea de măsurări experimentale neintruzive ale fluxului de aer după difuzorul de aer cu inducție ridicată;
3. Verificarea și validarea simulărilor numerice pentru difuzorul de aer cu inducție ridicată;
4. Modele numerice complexe ale fluxului de aer în interiorul unui vehicul pentru diferite configurații ale difuzoarelor de aer cu inducție ridicată;
5. Validarea prototipului difuzorului de aer utilizând un manechin termic, echipamentul ComfortSense și cu subiecți umani.

## **Introducere**

Timpul petrecut de ocupanții vehiculelor în trafic a crescut semnificativ în ultimele decenii iar îmbunătățirea confortului termic a persoanelor din interiorul vehiculelor a căpătat o mare importanță în ultimii ani atât din motive subiective, cât și obiective. Astfel, fluxul de aer care trece prin difuzoarele de aer va afecta în mod direct starea termică a utilizatorilor prin temperatura, viteza și turbulența acestuia.

O soluție de îmbunătățire a -mediului ambiant din interiorul cabinei este uniformizarea temperaturilor din interiorul vehiculului printr-un amestec mai bun între aerul proaspăt și aerul ambiant. Industria auto prin vehiculele sale produse în ultimii ani nu pare să ia în considerare această strategie inovatoare. O idee de a îmbunătăți amestecarea aerului prin mijloace pasive este utilizarea unor difuzoare de aer inovatoare, care au capacitatea de a antrena mai mult aer decât un difuzor de aer obișnuit. S-a constatat că orificiul în forma de cruce cu lobi rotunjiți antrenează mai mult aer decât o duză obișnuită (de exemplu rotundă) și, derivate din această formă, au apărut mai multe geometrii.

Un compromis bun pentru designul difuzorului de aer din vehicul s-a dovedit a fi utilizarea eleroanelor lobate. Din cercetările anterioare a reieșit faptul că fluxul de aer vehiculat de către sistemul de ventilație prin difuzorul de aer cu eleroane lobate antrenează aerul ambiant într-o măsură considerabil mai mare decât în cazul folosirii difuzorului de aer standard cu eleroane drepte.

În Figura 1 se poate urmări diagrama Gantt aferentă proiectului, modificată în așa fel încât să corespundă modificării de buget din anul 2022 și cu mențiunea că proiectul a început la finalul lunii Iunie și nu în luna Ianuarie (așa cum era în propunerea de proiect).

Task	Activity / Year	partner /month	2022							2023							2024									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<b>WP0</b>	<b>Project Management</b>	CO																								
T0.1	Coordination and follow up of the project progress	CO																								
T0.2	Communication between partners and reporting results	CO																								
T0.3	Administrative and financial coordination	CO																								
<b>WP1</b>	<b>Requirement formulation</b>	P1																								
T1.1	Requirements prescription for the concept of innovative air diffuser in terms of thermal comfort	CO																								
T1.2	Requirements prescription for the concept of innovative air diffuser system in terms of energy consumption	P1																								
T1.3	Preliminary conception definition for the proposed innovative air diffuser system	CO/P1																								
<b>WP2</b>	<b>Innovative air difusers design and testing</b>	CO																								
T2.1	Design of the air diffusers	CO																								
T2.2	Numerical simulation of the airflow through the air diffusers	CO																								
T2.3	3D print for the designed innovative diffusers	CO																								
T2.4	Particle Image Velocimetry experimental measurements	CO																								
T2.5	LDV experimental measurements	CO																								
T2.5	Iteration on specifications	CO																								
<b>WP3</b>	<b>Integration of the innovative air diffusers prototypes in the Renault Duster prototype dashboard model and testing</b>	CO																								
T3.1	Integration of the innovative air diffusers prototypes in the Renault Duster prototype dashboard model	CO/P1																								
T3.2	LDV experimental measurements for the integrated air diffusers	CO																								
T3.3	Particle Image Velocimetry experimental measurements	CO																								
T3.4	Complex numerical simulation of the airflow for different configurations	CO/P1																								
<b>WP4</b>	<b>Validation of the innovative air diffusers prototype system</b>	CO																								
T4.1	Acoustical analysis	P1																								
T4.2	Thermal comfort evaluation	CO																								
<b>WP5</b>	<b>Dissemination</b>	CO																								
T5.1	Developing the visual identity of the project	CO																								
T5.2	Valorification and exploitation of the project results	CO																								
T5.3	Develop and maintain the project website	CO																								

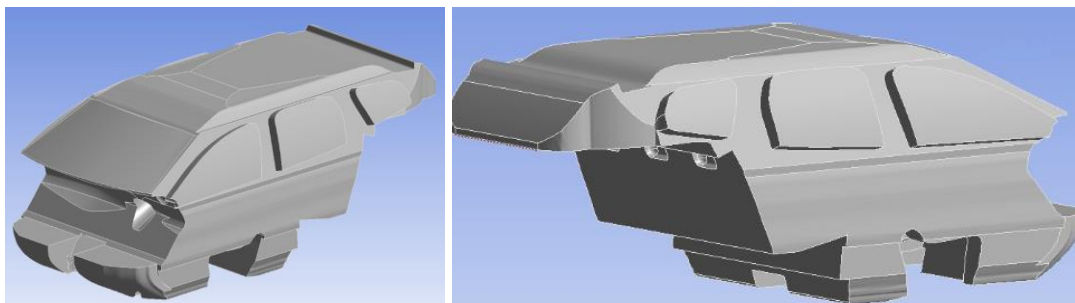
Figura 1 Diagrama Gantt corespunzătoare proiectului

### WP 3 Integrarea prototipului inovator de difuzor de aer în modelul planșă de bord Dacia Renault Duster și testarea acestuia

#### T3.4 Simulare numerică complexă a curgerii în habitacul Dacia/Renault Duster (Octombrie 2023 – Februarie 2024: Finalizat)

Această activitate a implicat simularea numerică complexă a curgerilor de aer din vehicul pentru diferite configurații.

În primul rând, s-a generat o geometrie realistă a modelului de habitacul de Duster. Au fost necesare foarte multe iterații datorita problemelor legate de unghiuri ascuțite, elemente negative și multe alte situații care au necesitat rezolvarea lor graduală. Geometria rezultată se poate vedea în imaginile următoare.



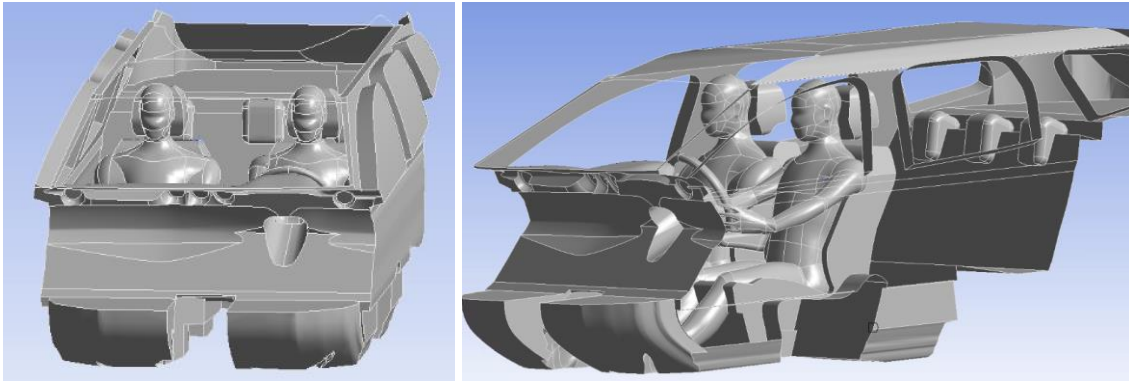


Figura 2 Geometria virtuală a Dacia-Renault Duster pregătită pentru simularea numerică

A urmat un studiu de independență a rezultatelor numerice în funcție de numărul de elemente din grila de calcul. Pentru aceasta, s-au studiat 4 grile de calcul cu un număr de elemente tetraedrale de: 14, 36, 55 și 73 milioane elemente. În urma evaluării rezultatelor, meshul de 55 de milioane elemente a fost utilizat pentru studiile următoare.

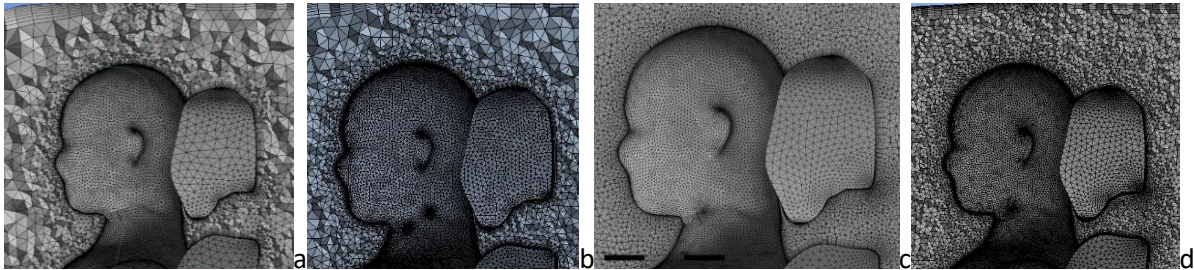


Figura 3 Detaliu grile de calcul a. 14 milioane elemente, b.36 milioane elemente, c.55 milioane elemente, d. 73 milioane elemente.

Alte imagini cu structura meshului de 55 milioane elemente pot să fie văzute în figura următoare.

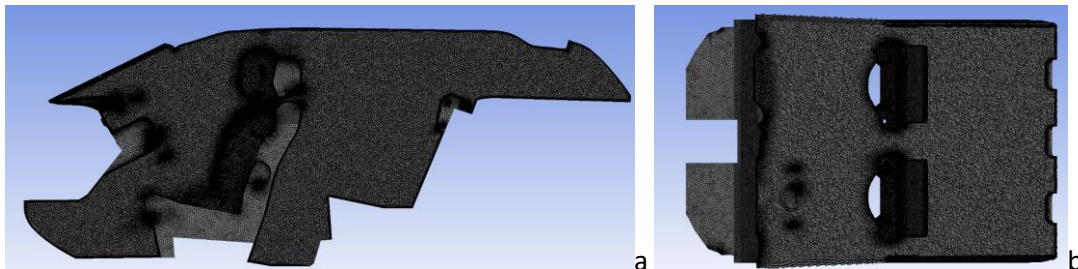


Figura 4 Detalii grila de calcul de 55 milioane elemente tetraedrale

Utilizarea unei grile poliedrale în loc de una tetraedrale în programul ANSYS Fluent aduce avantaje importante în ceea ce privește calitatea și eficiența simulărilor numerice. Grilele poliedrale produc celule de calitate superioară, care sunt mai uniforme și au aspecte geometrice mai regulate. Acest lucru contribuie la stabilitatea și acuratețea soluției numerice, permițând obținerea unor rezultate mai precise. În plus, grilele poliedrale pot reduce erorile de discretizare datorită formei lor mai apropiate de cea a domeniului fizic real. Prin reducerea erorilor de discretizare, simulările numerice devin mai fiabile și reflectă mai bine fenomenele fizice studiate. Flexibilitatea în generarea grilei este un alt avantaj semnificativ al grilelor poliedrale. Acestea se adaptează mai bine la geometrii complexe, permițând o captare mai bună a detaliilor și o reprezentare mai fidelă a suprafețelor. Această flexibilitate face ca procesul de creare a grilei să fie mai eficient și mai puțin susceptibil la probleme legate de calitatea rețelei. În consecință, grila de calcul de 55 milioane elemente a fost importată mai departe în programul de calcul numeric Fluent, unde a fost supusă unui proces de

transformare din grila de calcul teraedrală într-una poliedrală. Grila de calcul finală a avut 20.44 milioanele elemente poliedrale.

Următorul pas a constat în efectuarea unor simulări numerice în condiții de convecție naturală în interiorul habitacului pentru obținerea de rezultate numerice care sa fie comparate cu alte rezultate similare literatură. Comparările au relevat faptul că se poate avea încredere în simulările obținute în acest studiu.

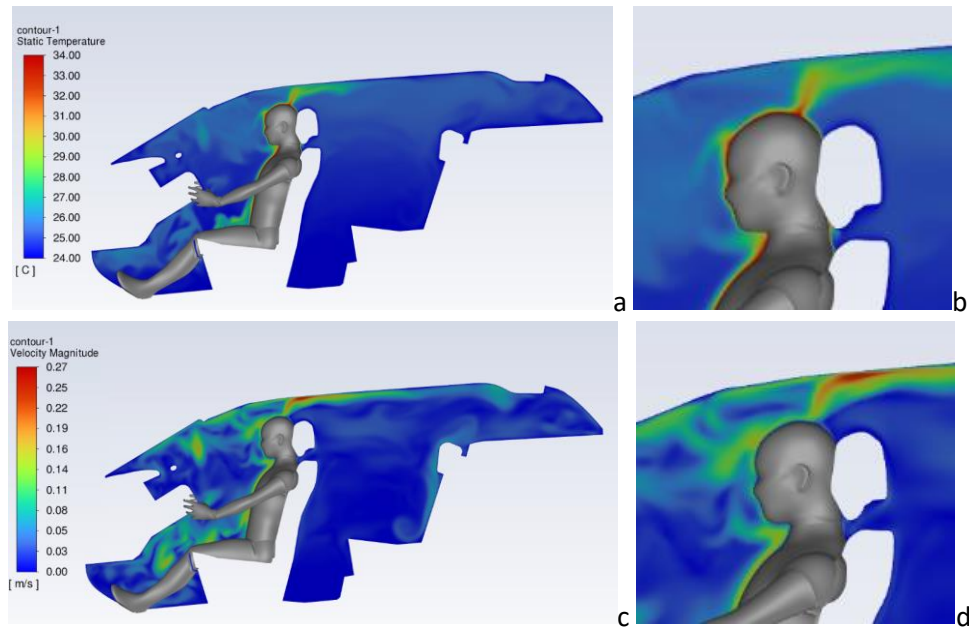


Figura 5 Distribuție, in planul sagital al șoferului pentru scenariul de vară, convecție naturală pentru: a. Temperatura b. Detaliu temperatura, c. Viteza aer, d. detaliu viteza aer

A urmat simularea numerică a unui scenariu de ventilație pe timp de vară. Temperatura de introducere a aerului de ventilație în interiorul habitacului a fost 16C. Se poate vedea distribuția de temperatură atât în plan sagital cât și în plan coronar pentru scenariul de vară.

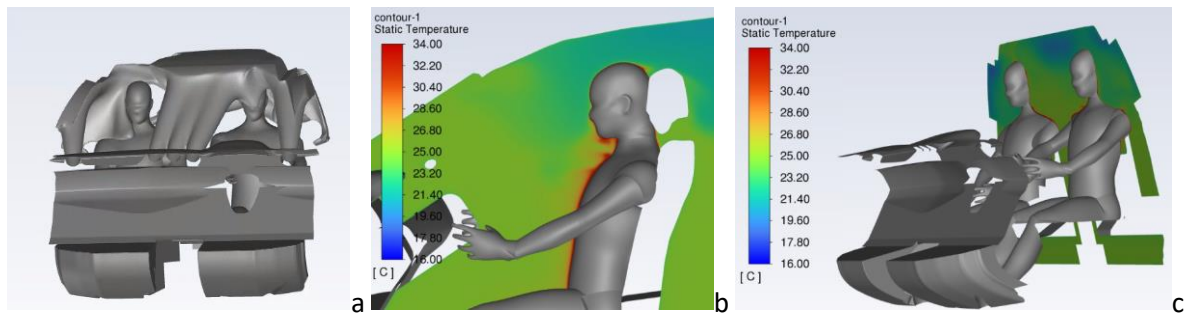


Figura 6 Scenariul de vară a. Izosuprafețe de temperatură constantă, scenariul de vară, de 22.5C, b. distribuție de temperatură in planul sagital al șoferului. c. distribuție de temperatură in planul coronar al ocupanților din vehicul



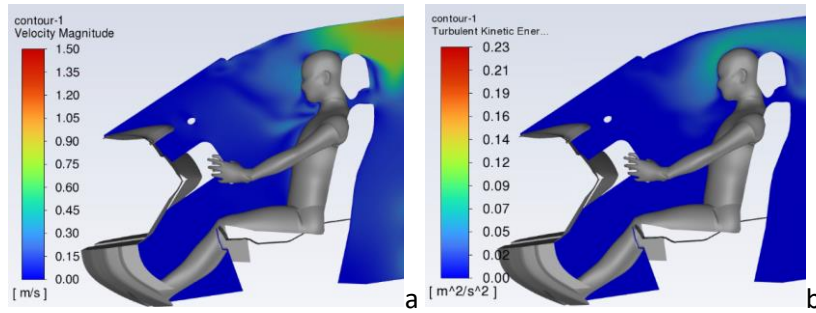


Figura 7 Scenariul de vară a. Distribuție de viteză a aerului din habitacul în planul sagital al șoferului b distribuție de energie cinetică turbulentă în zona ocupanților din vehicul

S-a simulat numeric și situația unui scenariu de ventilație pe timp de iarnă, la diferite temperaturi ale aerului și condiții exterioare.

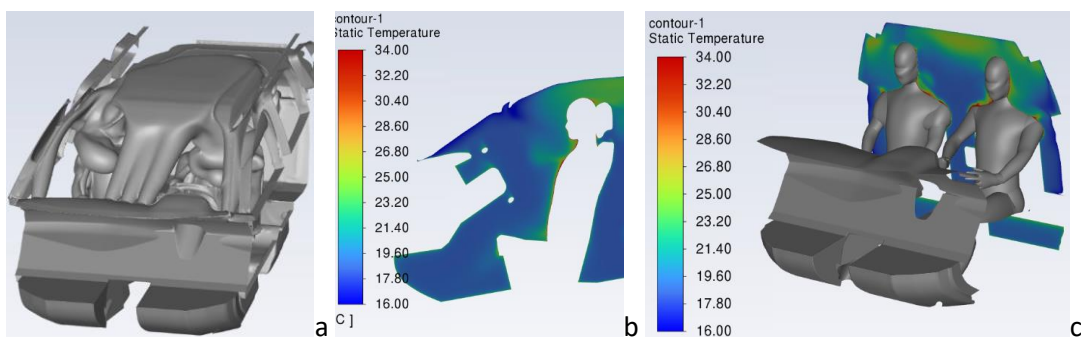


Figura 8 Scenariul de iarnă a. Izosuprafețe de temperatură constantă, scenariul de vară, de 21C, b. distribuție de temperatură în planul sagital al șoferului. c. distribuție de temperatură în planul coronar al ocupanților din vehicul

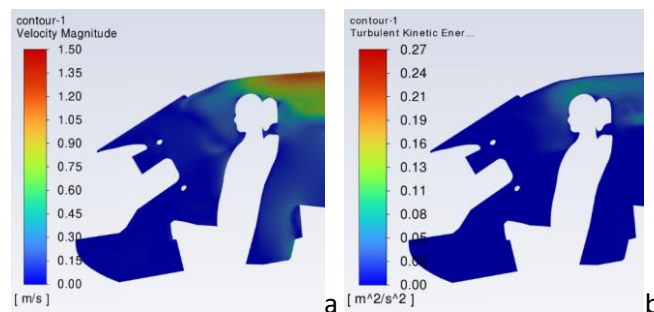


Figura 9 Scenariul de iarnă a. Distribuție de viteză a aerului din habitacul în planul sagital al șoferului b distribuție de energie cinetică turbulentă în zona ocupanților din vehicul

Confortul termic pentru ambele tipuri de scenarii a fost evaluat numeric, aplicând teoria lui Fanger și senzația de curent.



Figura 10 Intervalul PMV conform teoriei lui Fanger

În scenariul de vară (Figura 11), se remarcă faptul că senzația predominantă în habitacul este una de căldură (warm), în timp ce la nivelul capului predomină o senzație de călduț (slightly warm). Prin orientarea corespunzătoare a difuzoarelor de aer, această senzație poate fi uniformizată. În ceea ce privește senzația de curent, evaluările din simularea numerică arată o zonă relativ restrânsă cu valori

peste 25% la nivelul feței, zonele cu valori mai ridicate nefiind în proximitatea ocupantului automobilului.

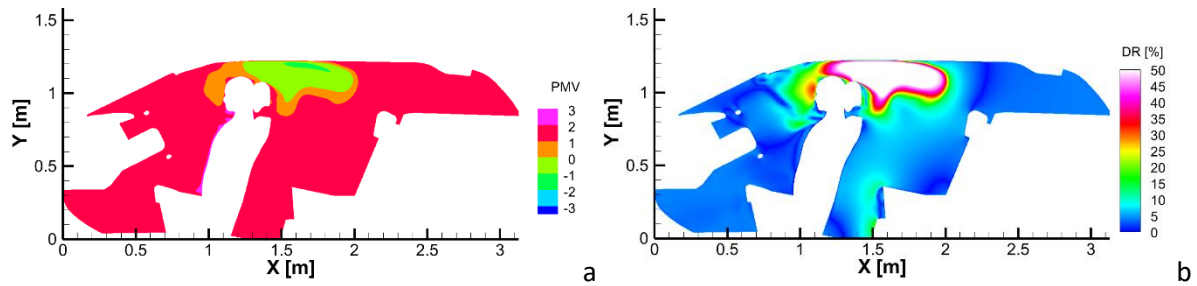


Figura 11 Scenariul de vară a. Distribuție de PMV din habitacul în planul sagital al șoferului b Distribuție de DR în planul sagital al șoferului

În cazul scenariului de iarnă se poate vedea în Figura 12a, că ocupantul din automobil experimentează cu precădere o senzație ușoară de cald, în zona capului senzația termică fiind în zona neutră, adică cea preferată de majoritatea oamenilor. O senzație de curent mai ridicată se poate vedea în Figura 12b în zona dintre cap și plafonul automobilului, dar analizând viteza aerului din acea zonă în Figura 9, se poate vedea că nu depășește valoarea de 0.5-0.6 m/s în proximitatea capului ocupantului, ceea ce indică o senzație de satisfacție termică pentru această situație.

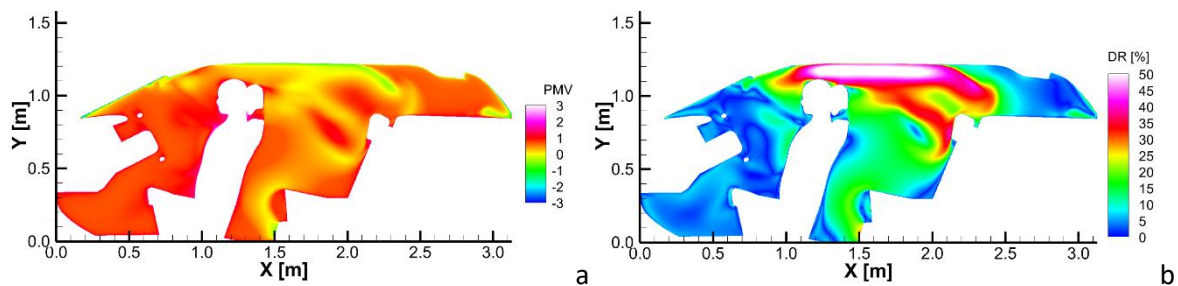


Figura 12 Scenariul de iarnă a. Distribuție de PMV din habitacul în planul sagital al șoferului b Distribuție de DR în planul sagital al șoferului

Prin orientarea personalizată a difuzoarelor de aer, se poate obține o senzație de satisfacție termică mai ridicată. Acest lucru se datorează faptului că distribuția aerului în habitacul poate fi ajustată pentru a răspunde mai bine nevoilor individuale ale ocupanților. Printr-o configurare adecvată, se poate asigura un confort termic uniform, reducând zonele cu senzații de căldură excesivă sau curent deranjant.

În cadrul pachetelor de lucru următoare, se vor efectua studii experimentale cu subiecți umani pentru a investiga aceste aspecte în detaliu. Aceste studii vor implica teste în condiții controlate, unde participanții vor evalua confortul termic în diverse configurații ale difuzoarelor de aer. Parametrii precum temperatura, viteza aerului și distribuția fluxului de aer vor fi monitorizați și ajustați pentru a determina configurațiile optime care maximizează confortul termic.

Rezultatele acestor studii vor oferi date concrete privind modul în care personalizarea orientării difuzoarelor de aer poate îmbunătăți semnificativ experiența termică a ocupanților. Aceste informații vor fi esențiale pentru dezvoltarea unor sisteme de climatizare mai eficiente și mai adaptabile, contribuind la creșterea confortului și satisfacției utilizatorilor în diverse condiții climatice.

## WP 4 Validarea sistemului de difuzoare de aer inovative

### T4.1 Analiza acustică (Martie 2024)

Această activitate a implicat analiza acustică a difuzoarelor inovative prin comparația nivelului de zgomot produs de acestea cu al celor care sunt montate în bordul original al vehiculului Dacia – Renault Duster.

Pentru aceasta a fost folosit un sonometru de tip ONO SOKKI LA-5110 care a fost instalat în proximitatea aeratoarelor și au fost realizate determinări acustice pentru cele treptele 2 și 3 de viteză disponibile în panoul de comandă.

ONO SOKKI LA-5110 este un analizor de sunet portabil, conceput pentru a măsura nivelurile de presiune acustică într-o gamă largă de aplicații. Acest dispozitiv oferă măsurători precise și fiabile, fiind recomandat pentru monitorizarea zgomotului ambiental, testarea acustică în clădiri și alte evaluări acustice. LA-5110 este echipat cu un microfon de înaltă sensibilitate, capabil să detecteze sunete într-un interval de frecvențe cuprins între 20 Hz și 20 kHz. Acesta dispune de funcții avansate de analiză a spectrului și de înregistrare a datelor, cu o precizie de  $\pm 1$  dB și o acuratețe ridicată, asigurând măsurători conforme cu standardele internaționale de acustică. Dispozitivul suportă măsurători de tip A, C și Z, facilitând diverse tipuri de evaluări acustice, iar conectivitatea la PC oferă posibilitatea transferului și analizei ulterioare a datelor colectate.

Standul experimental a fost alimentat cu aer la debitul corespunzător cu ajutorul unui ventilator Ruck MPS-250EC cu turație reglabilă.

Pentru testare, s-au considerat treptele de debit V1-V3, deoarece pentru acestea s-au desfășurat evaluările de confort termic din activitatea 4.2.



Figura 13 a. Colaj cu imagini din timpul măsurărilor acustice b. Trepte debit

Măsurările efectuate pe treapta 1 de viteză, V1, nu au fost concludente datorită zgomotului ambiental care a compromis aceste măsurări, neavând acces la o cameră anecoidă și datorită faptului că nivelul de zgomot a fost foarte redus pentru toate difuzoarele testate la această treaptă de viteză. Astfel, având în vedere studiile întreprinse în [1, 2], când pentru imprimarea 3D a difuzoarelor de aer, s-au utilizat 4 tehnici de imprimare diferită, fiecare cu particularitățile sale, testarea acustică s-a realizat pentru toate aceste difuzoare, împreună cu cel etalon. Astfel, cele 4 difuzoare inovative au fost executate prin tehnicile: FDM (Fused Deposition Modelling), SLS (Selective Laser Sintering), DLP (Digital Light Processing), SLA (Stereolithography). În figura următoare se pot vedea rezultatele măsurărilor.



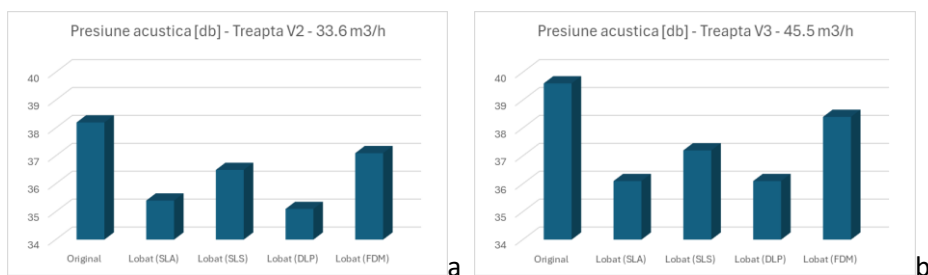


Figura 14 Rezultatele măsurărilor acustice a. Treapta V2 b. Treapta V3

Pentru treapta V2 de debit (23.9 m<sup>3</sup>/h), rezultatele au relevat ca difuzorul de aer clasic a avut cel mai înalt nivel de zgomot (38.2db), fiind cu 7.33% mai zgomotos decât varianta aleasă pentru testele fizice (35.4db).

Pentru treapta V3 de debit (33.6 m<sup>3</sup>/h), rezultatele au relevat ca difuzorul de aer clasic a avut cel mai înalt nivel de zgomot (39.6db), fiind cu 8.84% mai zgomotos decât varianta aleasă pentru testele fizice (36.1db).

Astfel, chiar dacă varianta de difuzor imprimată cu tehnica DLP a fost cel mai silențios, totuși varianta imprimată cu tehnica SLA a fost preferată din considerente legate de toleranțe dimensionale față de modelul geometric virtual.

Chiar dacă diferența de 3.5 dB nu este extrem de mare, într-un mediu silențios, această reducere poate contribui semnificativ la confortul acustic. O reducere a zgomotului de aproape 9% poate face diferența între un sunet care este abia perceptibil și unul care devine o distragere constantă. În cazul unui automobil electric, care staționează, nivelul de zgomot din acesta fiind redus, această valoare de presiune acustică pentru difuzorul de aer la viteza V3 ar putea deveni de interes. În cazul în care automobilul este în mișcare, datorită zgomotului cauzat de deplasarea acestuia, zgomotul ambelor aeratoare s-ar confunda în zgomotul de fond, dar de fapt, ce este important este că geometria inovativă, care este mai complexă constructiv decât cea etalon și are beneficii majore din punct de vedere al inducției și amestecului de aer proaspăt cu cel din habitacul, nu este în niciun caz mai zgomotos decât difuzorul de aer etalon. Testele pentru aceste difuzoare de aer au fost realizate în cadrul unui proiect de cercetare în relație cu automobilul Renault-Dacia Duster, datorită conjuncturii proiectului de cercetare, dar aceste difuzoare de aer, ar putea fi utilizate pe aproape orice automobil electric, adaptate la designul general al acestuia, acolo putând să își atingă potențialul acustic.

Astfel, se poate vedea din Figura 14 că difuzoarele de aer, imprimate cu toate tehnicile de imprimare considerate, au avut valori mai scăzute de zgomot față de difuzorul etalon montat pe Dacia-Renault Duster.

#### T4.2. Evaluarea confortului termic (Martie – Iunie 2024)

Această activitate a constat în evaluarea confortului termic utilizând trei metode diferite: manechin termic, echipamentul Testo 480 și evaluare subiectivă cu subiecți umani.

Evaluarea s-a desfășurat în camera climatică, astfel încât condițiile termice ambientale să interfereze cât mai puțin posibil cu evaluarea difuzoarelor de aer în termeni de confort termic.

Această activitate a inclus de asemenea evaluarea confortului termic pentru difuzoarele de aer analizate, folosind diverse instrumente de măsurare, inclusiv un manechin termic construit în acest scop în centrul nostru de cercetare, echipamentul Comfort Sense și subiecți umani.

Protocolul de măsurare a fost stabilit astfel încât perioada de timp aferenta fiecărui set de măsurători să fie relevantă și să cuprindă cât mai multe configurații ale sistemului de ventilare. Au fost realizate 210 seturi de măsurători în funcție de configurația sistemului de ventilare și în funcție de metoda de evaluare/ poziția senzorilor echipamentului Testo (vezi Tabel 1).

Tabel 1 Descrierea campaniilor de măsurare

Metoda de măsurare	Tip aerator	Treapta de viteze sistem de ventilare			Seturi de măsurători realizate
		V1	V2	V3	
Manechin	Aerator clasic	V1	V2	V3	3
	Aerator lobat	V1	V2	V3	3
Subiecți umani	Aerator clasic	V1	V2	V3	90
	Aerator lobat	V1	V2	V3	90
Testo 480	Aerator clasic	V1	V2	V3	9
	Aerator lobat	V1	V2	V3	9
Total					204

Numărul total de configurații evaluate poate să fie vizualizat în Tabel 2.

Tabel 2 Configurații evaluate

Tip aerator	Treapta de viteze sistem de ventilare			Total
Aerator clasic	V1	V2	V3	2 modele de difuzor de aer
Aerator lobat	V1	V2	V3	
Total	3 trepte de viteza			6 configurații de testare

Măsurările aferente fiecărei proceduri experimentale pot fi urmărite în continuare.

#### A. Evaluarea sistemului de ventilare cu manechinul termic

Pentru aceasta evaluare a fost folosit un manechin termic poziționat pe locul șoferului. Pe toată perioada de experimentare a fost monitorizată atât temperatura suprafeței manechinului cât și temperaturile mai multor suprafețe interioare ale elementelor din habitacul.

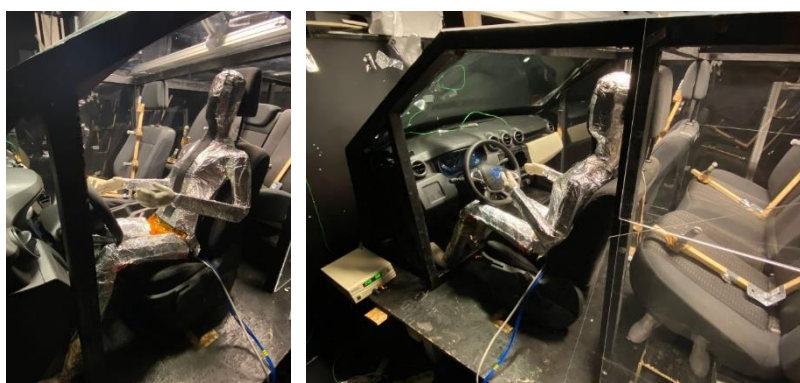


Figura 15 Imagini cu integrarea manechinului termic în habitacul aflat în celula experimentală

Suprafața manechinului termic a fost împărțită în 6 zone acestea fiind: capul, trunchi, mâna stângă, mâna dreaptă, piciorul stâng, piciorul drept. Fluxul de aer introdus de sistemul de ventilare poate intensifica transferul termic pe anumite suprafețe ale corpului, afectând astfel temperatura suprafeței manechinului aceasta, variația acesteia fiind monitorizată prin intermediul senzorilor de temperatură amplasați pe suprafața manechinului.

Experimentările cu manechinul termic au debutat cu o perioadă de timp necesară pentru încălzirea acestuia, până a ajuns la temperatura impusă de 34°C.

Pentru încă 5 minute, manechinul termic a fost lăsat să funcționeze pentru uniformizările cauzate de eventualele inerții termice inerente.

Pentru a măsura eficiența difuzoarelor de aer din punct de vedere al confortului termic, s-au utilizat senzorii de temperatură amplasați pe suprafața manechinului termic. Aceștia au fost distribuiți pe cele șase zone desemnate: cap, trunchi, mâna stângă, mâna dreaptă, piciorul stâng și piciorul drept. Temperatura suprafeței manechinului a fost monitorizată constant în timpul experimentării pentru a evalua influența fluxului de aer asupra transferului termic.

S-au evaluat cele două difuzoare de aer: unul standard utilizat în modelul Dacia-Renault Duster și un difuzor de aer inovativ, proiectat pentru a oferi o inducție și un amestec ridicat între aerul din sistemul HVAC și aerul din habitacul (Figura 16 cu roșu – difuzor lobat; cu albastru – difuzor clasic). Experimentările s-au realizat pe trei trepte de ventilare (V1, V2 și V3), iar rezultatele obținute sunt următoarele:

- Pentru treptele V1 și V2 de ventilare, difuzorul de aer inovativ a demonstrat performanțe superioare din punct de vedere al confortului termic comparativ cu difuzorul standard. Distribuția de temperatură de pe corpul manechinului termic a evidențiat un transfer de căldură mai uniform pe suprafața acestuia, ceea ce va conduce la o senzație de confort termic sporit pentru utilizator.
- Pentru treapta V3 de ventilare, performanțele celor două difuzoare de aer au fost similare din punct de vedere al senzației de confort termic, cu un ușor avans în favoarea difuzorului inovativ. Difuzorul inovativ a continuat să ofere o distribuție mai echilibrată a temperaturii, menținând un confort termic mai accentuat.

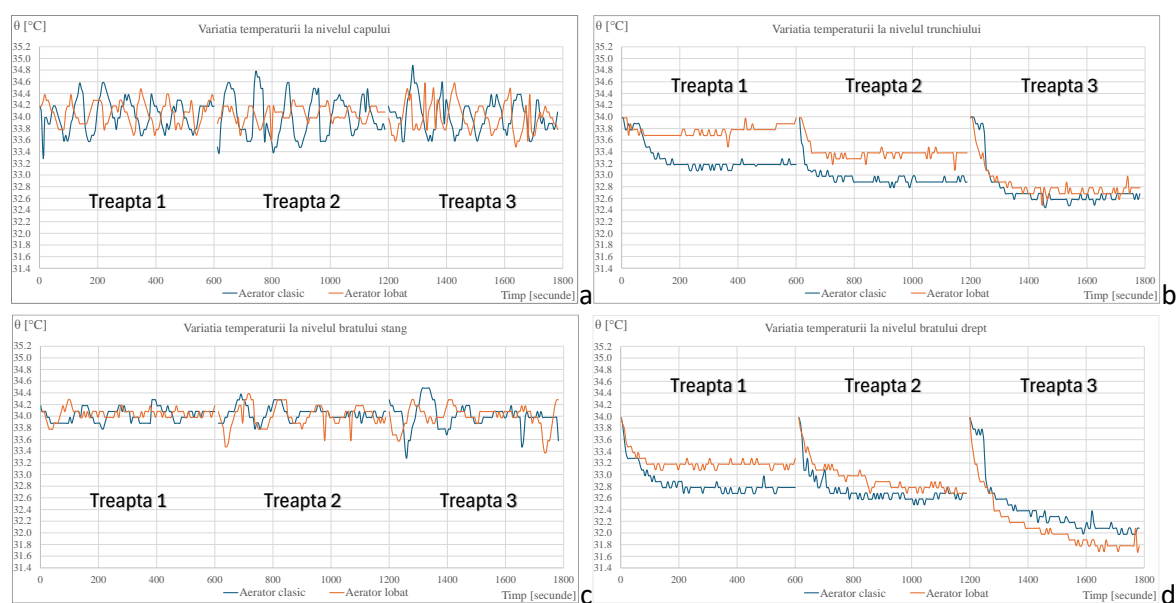


Figura 16 Evoluția temperaturii pe diferite segmente ale manechinului termic pentru cele 3 trepte de viteză pentru cele două difuzoare de aer (roșu – difuzor lobat; albastru – difuzor clasic)  
a. Cap, b. Trunchi, c. Braț stâng, d. Braț dreapta

Analiza rezultatelor indică faptul că difuzorul de aer inovativ oferă avantaje semnificative în îmbunătățirea confortului termic, în special la treptele inferioare de ventilare. Acest aspect este încurajator pentru aceste cercetări și implicit pentru utilizatori, deoarece majoritatea timpului de

utilizare a sistemului de ventilare se realizează la trepte de ventilare mai mici, cum ar fi debitele de aer vehiculate pe treptele de ventilare V1 și V2.

De asemenea, distribuția uniformă a temperaturii pe suprafața manechinului termic sugerează o performanță superioară a difuzorului inovativ în gestionarea fluxului de aer și a amestecului acestuia cu aerul din habitacul. Aceasta va contribui la o experiență de utilizare mai plăcută și la un mediu interior mai confortabil în vehicul.

Evaluarea cu ajutorul manechinului termic a permis monitorizarea precisă a distribuției temperaturii pe diferite zone ale corpului, simulând condițiile reale ale unui șofer / pasager. Rezultatele au arătat că difuzorul de aer inovativ, comparativ cu cel clasic, a oferit o uniformitate mai mare a temperaturii pe suprafața manechinului, ceea ce sugerează un confort termic superior. Transferul termic îmbunătățit și distribuția uniformă a aerului au fost evidențiate în special la treptele de ventilare inferioare (V1 și V2), unde manechinul termic a ajuns rapid la temperatura de 34°C, menținând un grad optim de confort.

### B. Evaluarea efectelor aeratoarelor asupra confortului termic prin intermediul indicilor PMV/PPD

Prin intermediul acestui echipament (Testo 480) sunt determinați doi indici de evaluare a confortului termic – Votul Mediu Predicabil – PMV și Procentul de Persoane Nesatisfăcute din punct de vedere termic (PPD).

Acestea au la baza două ecuații de calcul în care sunt luate în considerare mărimi fizice ale mediului ambiant (temperatura, viteza și umiditatea aerului, temperatura medie de radiație) precum și factori ce țin de activitatea metabolică și izolația îmbrăcămintei. Rezultatul numeric al calculului indicelui PMV este tradus în stare termică printr-o scară cu valori de la -3 la +3 unde -3 reprezintă o stare termică de foarte rece, 0 reprezintă o stare termică neutră, iar +3 reprezintă o stare termică de foarte cald.

Prin determinarea indicelui PMV este posibilă determinarea indicelui PPD. Conform acestei teorii a confortului termic, un mediu este considerat ca fiind neutru atunci când valorile PMV sunt între -0,5 și +0,5, sau când PPD are valori de maxim 10% (Figura 17a). Deși acest indice este unul global, valoarea obținută este considerată pentru întregul mediu evaluat, în mediile neomogene și tranziții similare celor din vehicule este necesară realizarea unei evaluări locale.

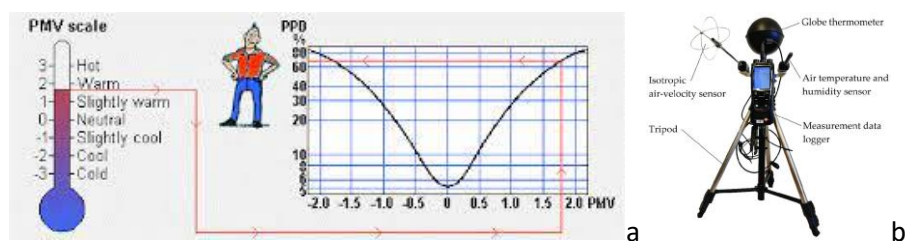


Figura 17 a Corelația dintre indicii PMV și indicii PPD, b Echipament TESTO 480

Determinarea indicilor PMV și PPD s-a realizat cu un echipament TESTO 480 (Figura 17b), senzorii de monitorizare ai parametrilor mediului termic au fost poziționați pe locul șoferului în diferite zone, după cum urmează: la nivelul pieptului, la nivelul capului și la nivelul umărului drept al șoferului (Figura 18).



Figura 18 Imagini cu echipamentul TESTO 480 amplasat in diferite zone pe scaunul șoferului

Valorile de PMV si PPD returnate de echipamentul TESTO 480, pot să fie studiate în tabelele de mai jos.

Tabel 3 Valori PMV si PPD pentru diverse locații specifice corpului uman pentru difuzorul de aer standard

Piept						
Aeratoare Clasice	PMV [-]	PPD [%]	$\theta$ [°C]	$\theta_{MRT}$ [°C]	$V_{aer}$ [m/s]	RH [%]
Treapta 1	-0.06	5	25.8	25.6	0.15	37
Treapta 2	-0.17	6	25.7	25.5	0.21	37
Treapta 3	-0.31	7	25.7	25.5	0.31	38
Cap						
Aeratoare Clasice	PMV [-]	PPD [%]	$\theta$ [°C]	$\theta_{MRT}$ [°C]	$V_{aer}$ [m/s]	RH [%]
Treapta 1	-0.23	6	25.7	25.6	0.26	38
Treapta 2	-0.44	9	25.6	25.5	0.42	38
Treapta 3	-0.57	12	25.5	25.5	0.58	38
Umar dreapta						
Aeratoare Clasice	PMV [-]	PPD [%]	$\theta$ [°C]	$\theta_{MRT}$ [°C]	$V_{aer}$ [m/s]	RH [%]
Treapta 1	-0.10	5	25.6	25.6	0.16	37
Treapta 2	-0.30	7	25.5	25.5	0.27	37
Treapta 3	-0.51	11	25.5	25.5	0.43	37

Tabel 4 Valori PMV si PPD pentru diverse locații specifice corpului uman pentru difuzorul de aer inovativ

Piept						
Aeratoare Lobate	PMV [-]	PPD [%]	$\theta$ [°C]	$\theta_{MRT}$ [°C]	$V_{aer}$ [m/s]	RH [%]
Treapta 1	-0.01	5	25.8	25.7	0.14	37
Treapta 2	-0.21	6	25.6	25.5	0.21	37
Treapta 3	-0.34	8	25.6	25.6	0.32	36
Cap						
Aeratoare Lobate	PMV [-]	PPD [%]	$\theta$ [°C]	$\theta_{MRT}$ [°C]	$V_{aer}$ [m/s]	RH [%]
Treapta 1	-0.16	6	25.7	25.5	0.22	40
Treapta 2	-0.41	9	25.5	25.4	0.38	39
Treapta 3	-0.52	11	25.6	25.6	0.52	38
Umar dreapta						
Aeratoare Lobate	PMV [-]	PPD [%]	$\theta$ [°C]	$\theta_{MRT}$ [°C]	$V_{aer}$ [m/s]	RH [%]
Treapta 1	-0.05	6	25.8	25.7	0.17	36
Treapta 2	-0.41	9	25.5	25.6	0.37	35
Treapta 3	-0.46	10	25.6	25.6	0.41	35



Analizând valorile PMV (Votul Mediu Predictibil) și PPD (Procentul de Persoane Nesatisfăcute) obținute din tabelele de mai sus pentru difuzoarele de aer clasice și inovative, putem trage următoarele concluzii:

În cazul difuzorului de aer clasic (Dacia-Renault Duster):

- La nivelul pieptului, valorile PMV se încadrează între -0.06 și -0.31, iar PPD între 5% și 7%. Aceste valori sugerează un confort termic relativ bun, cu un mic disconfort pe treapta 3 de ventilare.
- La nivelul capului, valorile PMV variază între -0.23 și -0.57, iar PPD între 6% și 12%. Disconfortul termic crește pe măsură ce treapta de ventilare crește, indicând un potențial disconfort puțin mai ridicat la treapta 3.
- La nivelul umărului drept, valorile PMV sunt cuprinse între -0.10 și -0.51, iar PPD între 5% și 11%. Similar cu zona capului, disconfortul crește la treapta 3 de ventilare.

În cazul difuzorului de aer inovativ (cu inducție ridicată):

- La nivelul pieptului, valorile PMV se încadrează între -0.01 și -0.34, iar PPD între 5% și 8%. Difuzorul inovativ oferă un confort termic ușor mai bun decât cel clasic, cu valori PMV mai apropiate de zero.
- La nivelul capului, valorile PMV variază între -0.16 și -0.52, iar PPD între 6% și 12%. Difuzorul inovativ oferă performanțe comparabile cu cele ale difuzorului clasic, dar cu o distribuție mai uniformă a temperaturii.
- La nivelul umărului drept, valorile PMV sunt cuprinse între -0.05 și -0.46, iar PPD între 5% și 10%. Difuzorul inovativ prezintă valori PMV mai mici decât cele ale difuzorului clasic, indicând un confort termic mai bun.

Măsurătorile efectuate cu echipamentul Testo 480 au confirmat rezultatele obținute cu manechinul termic. Indicii PMV (Votul Mediu Predictibil) și PPD (Procentul de Persoane Nesatisfăcute) au arătat clar că difuzorul inovativ oferă un confort termic mai bun. Valorile PMV s-au situat în intervalul neutru (-0.5 până la +0.5) în majoritatea cazurilor, iar PPD a fost sub 10%, indicând un nivel ridicat de satisfacție termică. Difuzorul inovativ a demonstrat performanțe superioare la toate treptele de ventilare, reducând semnificativ senzațiile de disconfort termic.

### C. Evaluarea sistemului de ventilare cu subiecți umani

Pentru desfășurarea acestui studiu, a fost obținut avizul comisiei de etică și deontologie universitară, care a aprobat efectuarea acestor experimente nonintruzive cu subiecți umani pe baza de voluntariat, în scopul determinării senzației de confort termic în diverse condiții de ventilare ale sistemului HVAC al vehiculului Dacia – Renault Duster.



Figura 19 a. Colaj cu o parte din participanții studiului cu subiecți umani pentru evaluarea celor două difuzoare de aer în habitacul de autovehicul construit în celula climatică b. Rezultate studiu cu subiecți umani – Sus – Rezultate pentru aeratorul Dacia-Renault Duster, Jos – Rezultate pentru aeratorul inovativ

Fiecare participant a studiat și luat la cunoștință: Documentul „Anexa 1 – Informarea voluntarilor pentru participare la proiectul „Difuzoare de aer inovative cu inducție ridicată pentru îmbunătățirea calității mediului ambiant în vehicule INNOVENT”. În acest document s-a detaliat procedurile și condițiile de participare a voluntarilor la acest studiu ce vizează evaluarea confortului termic în vehicule prin utilizarea unui sistem inovator de difuzoare de aer. Participanții au fost informați că implicarea lor este complet voluntară și sunt încurajați să citească cu atenție documentul și să adreseze întrebări înainte de a-și exprima consimțământul scris.

Studiul implică exprimarea opiniei voluntarilor despre confortul termic resimțit în diverse condiții de funcționare ale sistemului de ventilare, integrat într-un tablou de bord dezasamblat al unui Dacia Duster/Renault. Participanții au fost informați și că riscurile studiului sunt minime, limitându-se la posibilele senzații de disconfort termic limitate în timp datorate ajustărilor sistemului HVAC. Confidențialitatea participanților a fost asigurată, datele colectate fiind anonimizate și utilizate doar în scopuri de cercetare, cu posibilitatea publicării rezultatelor în lucrări de specialitate.

Prin intermediul acestei evaluări a fost determinat indicele Votul Senzației Termice – TSV, obținut prin completarea chestionarelor de către subiecții umani la intervale de timp bine stabilite. Aceste chestionare au fost realizate în conformitate cu standardele actuale și conțin întrebări referitoare la starea și senzația termică resimțită atât la nivel local (brațe, antebrațe, palme, gambe, coapse, etc.) dar și la nivelul întregului corp. Scările de valori folosite sunt similare cu cele ale indicelui PMV, astfel facilitându-se comparațiile între rezultatele obținute cu echipamentul TESTO și cele rezultate în urma studiului cu subiecți umani.

Subiecții umani și-au exprimat votul senzației termice pentru diferite condiții de funcționare a sistemului de ventilare: cele două aeratoare și diferite debite de aer. Fiecare măsurare cu subiect uman a durat aproximativ 55-60 de minute. 10-15 minute, instalarea, instructajul și restul

pregătirilor pentru fiecare subiect uman, 15 minute pentru fiecare treaptă de viteză (V1-V3), în total 45 de minute pentru măsurările efective.

Analiza rezultatelor chestionarelor completate de subiecții umani au relevat că în cazul difuzoarelor de aer clasice:

- La viteza V1, majoritatea utilizatorilor au raportat o senzație termică neutră (59%), însă există un procent semnificativ care a simțit ușor cald (25%) și ușor rece (13%). Aceasta indică o distribuție inegală a temperaturii, cu o parte din utilizatori simțindu-se inconfortabil.
- La viteza V2, procentul de utilizatori care simt rece crește semnificativ la 25%, în timp ce 59% simt neutră. Aceasta sugerează că la viteze mai mari, aeratoarele clasice pot provoca disconfort termic mai mare pentru unii utilizatori.
- La viteza V3, 50% dintre utilizatori raportează o senzație termică neutră, iar restul de 50% se simt fie ușor cald (25%) fie rece (25%), indicând din nou o distribuție inegală a temperaturii și potențialul de disconfort.

Analiza rezultatelor chestionarelor completate de subiecții umani au relevat că în cazul difuzoarelor de aer inovative:

- La viteza V1, 93% dintre utilizatori au raportat o senzație termică neutră, iar 7% ușor rece, indicând o performanță superioară în menținerea confortului termic față de aeratoarele clasice.
- La viteza V2, 100% dintre utilizatori au raportat o senzație termică neutră, ceea ce sugerează o performanță excelentă a grilelor lobate în menținerea confortului termic la această viteză.
- La viteza V3, 64% dintre utilizatori au raportat o senzație termică neutră, iar 36% ușor rece. Deși performanța scade comparativ cu vitezele V1 și V2, grilele lobate încă oferă un confort termic superior comparativ cu aeratoarele clasice la această viteză.

În concluzie, analiza valorilor TSV evidențiază diferențe semnificative între performanțele aeratoarelor clasice și grilelor lobate. Din răspunsurile date de subiecții umani, s-a desprins că grilele lobate oferă un confort termic superior la toate vitezele analizate, cu o distribuție a senzației termice mult mai uniformă și un procent mai mare de utilizatori raportând senzații termice neutre.

Astfel, la viteza V1 și V2, grilele lobate au o performanță excelentă, cu un procent aproape complet de utilizatori raportând senzații termice neutre. La viteza V3, deși performanța grilelor lobate scade ușor, ele continuă să fie superioare aeratoarelor clasice, menținând un procent mai mare de utilizatori confortabil termic.

Evaluările subiective, prin intermediul valorilor TSV (Thermal Sensation Vote), au oferit o perspectivă directă asupra percepției utilizatorilor. Subiecții umani au raportat un confort termic mult mai mare atunci când s-au folosit grilele lobate comparativ cu aeratoarele clasice. La treptele de ventilare V1 și V2, un procent covârșitor de subiecți au raportat o senzație termică neutră, iar la V3, deși performanța a scăzut ușor, grilele lobate au continuat să ofere un confort superior.

Concluzia generală este că prin utilizarea combinată a celor trei metode experimentale de evaluare, s-a demonstrat clar că difuzorul de aer inovativ cu inducție ridicată și amestec mai rapid între aerul din sistemul HVAC și aerul din habitacul oferă un confort termic superior față de difuzoarele de aer clasice. Avantajele principale ale difuzorului inovativ includ:

- Distribuția mai uniformă a temperaturii pe suprafața corpului utilizatorului.
- Reducerea semnificativă a senzației de disconfort termic pentru toate treptele de ventilare.

- Îmbunătățirea generală a confortului termic, confirmată atât prin măsurători obiective (manechin termic și Testo 480), cât și prin evaluări subiective cu subiecți umani (TSV).

Astfel, implementarea difuzoarelor inovative în vehicule poate contribui semnificativ la îmbunătățirea experienței de condus și a confortului pasagerilor, asigurând un mediu interior plăcut și confortabil în orice condiții de ventilare.

### Sumar progres

Notele și rapoartele tehnice au fost integrate în raportul științific aferent etapei 3 a proiectului.

### Activități de diseminare și popularizare desfășurate

În cadrul Etapei din 2024, rezultatele obținute au fost diseminate atât în cadrul manifestărilor științifice cât și în publicații cu impact.

#### Articole științifice indexate Web of Science

1. Florin BODE, Titus JOLDOS, Gabriel Mihai SIRBU, Paul DANCA\*, Costin COSOIU and Ilinca NASTASE\*, **Innovative high induction air diffuser for enhanced air mixing in vehicles and personalized ventilation applications**, *Energies*, 17(12), 2930; <https://doi.org/10.3390/en17122930>, 2024.
2. Titus Otniel JOLDOS, Lucian FECHETE TUTUNARU, Matei GEORGESCU, **Advancements in 3D printing techniques for low-speed aerodynamics in vehicle ventilation – part 1**, *Acta Technica Napocensis*, ISSN 1221 – 5872, Accepted for publication in 2024.
3. Titus OTNIEL JOLDOS, Lucian FECHETE TUTUNARU, Matei GEORGESCU, **Advancements in 3D printing techniques for low-speed aerodynamics in vehicle ventilation – part 2**, *Acta Technica Napocensis*, ISSN 1221 – 5872, Accepted for publication in 2024.

#### Articole științifice indexate în baze de date internaționale

4. Florin BODE, Ilinca NASTASE, Paul DANCA, **Reducing Indoor Air Pollution through Personalized Ventilation for Occupants in Office Environments and Confined Spaces**, Volume 514, 2024, 10th International Conference on Environment and Renewable Energy (ICERE 2024) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451404004>, 2024.

#### Articole științifice la conferințe internaționale

5. Florin BODE, Ilinca NASTASE, **Personalized Ventilation in Confined Spaces. A Solution for Increased Thermal Comfort, Health and Energy Efficiency**, Conferința internațională INNOEE 2024 - 29th Conference of FPEPM at TU-Sofia, 14-15 May 2024, Sofia (Bulgaria) 2024 (indexare SCOPUS)
6. Titus Otniel JOLDOS, Paul DANCA, Alexandru CERNEI, **Comparative acoustic analysis of standard and innovative air diffusers with enhanced mixing capabilities**, Acceptat la Conferința EU-CONEXUS EENVIRO Research Conference, Bucharest, 29-31 October 2024 (indexare SCOPUS)

#### Întâlniri, stagii și participări la conferințe

Activitatea de diseminare a întregului proiect a fost inițiată încă de la începutul proiectului și a continuat pe tot parcursul anilor 2022 - 2024, astfel și în 2024 a fost actualizată pagina web a proiectului INNOVENT: <http://cambi.utcb.ro/researchprojects/innovent>.

În 2024 s-au susținut 2 prezentări la 2 conferințe internaționale în scopul diseminării rezultatelor obținute în urma cercetărilor întreprinse în cadrul proiectului INNOVENT și anume la:

- A. Conferința internațională ICERE 2024 - 10th International Conference on Environment and Renewable Energy, Nha Trang, Vietnam (titlu: **Reducing Indoor Air Pollution through Personalized Ventilation for Occupants in Office Environments and Confined Spaces**, 25-27 Februarie 2024 – Speaker: Florin BODE) – (Figura 20a);
- B. KeyNote Speaker la Conferința internațională INNOEE 2024 - 29th Conference of FPEPM at TU-Sofia, 14-15 May 2024, Sofia (Bulgaria), **Personalized Ventilation in Confined Spaces. A Solution for Increased Thermal Comfort, Health and Energy Efficiency**, KeyNote Speaker: Florin BODE– (Figura 20b);

În cadrul etapei 3 -2024 au avut loc multiple întâlniri de lucru atât online cât și în laboratoarele de la UTCB, pe tot parcursul derulării proiectului în 2024, fie de prezentare a rezultatelor și a soluțiilor aferente activităților proiectului, între echipele implicate în proiect, fie de abordare a direcției viitoare a următoarelor activități din cadrul proiectului. Un ultim workshop s-a organizat pe 30 mai 2024, la Universitatea Tehnică de Construcții din București, în Aula Constantin Iamandi, cu ocazia INNOCONSTRUCT. Participanții au avut ocazia să afle detalii despre realizările cheie ale proiectului INNOVENT. Am prezentat studii de caz și exemple de bune practici dezvoltate pe parcursul proiectului. Participanții au fost invitați să ofere feedback cu privire la rezultatele proiectului și la relevanța acestora (Figura 20c).



Figura 20 Prezentări a. ICERE 2024, b. INNOEE 2024, c. Workshop 30.05.2024

#### Coordonator

Denumire: Universitatea Tehnică de Construcții București

Director Proiect: dr. ing. Florin BODE

Semnătura:



## Rezumat executiv al activităților realizate în perioada de implementare pentru proiectul

### Difuzoare de aer inovative cu inducție ridicată pentru îmbunătățirea calității mediului ambiant în vehicule - INNOVENT - PN-III-P2-2.1-PED-2021-0559 / 697PED din 24.06.2022

**Etapa 3 – 2024 - 01.01.2023 – 23.06.2024**

**Obiectivul general al proiectului:** Obiectivul general al proiectului actual va fi dezvoltarea unui model de difuzor de aer inovator cu amestec ridicat între aerul proaspăt și aerul ambiant, implementat într-un tablou de bord Dacia Renault dezasamblat pentru a demonstra funcționalitatea acestuia atât în ceea ce privește confortul îmbunătățit, cât și în ceea ce privește reducerea debitului de aer de ventilație.

Proiectul începe de la conceptul (TRL2) și rezultatul va fi un prototip care funcționează în mediu de laborator (TRL4). Proiectul de cercetare se bazează pe constatările anterioare ale membrilor echipei de cercetare de la UTCB care au o activitate îndelungată în acest domeniu al curgerilor de aer. Prototipul rezultat sub forma unui sistem inovator de difuzoare de aer de amestec cu inducție ridicată va fi instalat într-un model funcțional de bord Dacia Duster.

În cadrul Etapei 2 (2023) au fost realizate următoarele activități:

#### **WP 3 Integritatea prototipului inovator de difuzor de aer în modelul planșă de bord Dacia Renault Duster și testarea acestuia**

T3.4 Simulare numerică complexă a curgerii în habitacul Dacia/Renault Duster

#### **WP 4 Validarea sistemului de difuzoare de aer inovative**

T4.1 Analiza acustică (Martie 2024)

T4.2. Evaluarea confortului termic (Martie – Iunie 2024)

**Concluzia generală** este că prin utilizarea combinată a celor trei metode experimentale de evaluare, s-a demonstrat clar că difuzorul de aer inovativ cu inducție ridicată și amestec mai rapid între aerul din sistemul HVAC și aerul din habitacul oferă un confort termic superior față de difuzoarele de aer clasice. Avantajele principale ale difuzorului inovativ includ:

- Distribuția mai uniformă a temperaturii pe suprafața corpului utilizatorului.
- Reducerea semnificativă a senzațiilor de disconfort termic pentru toate treptele de ventilație.
- Îmbunătățirea generală a confortului termic, confirmată atât prin măsurători obiective (manechin termic și Testo 480), cât și prin evaluări subiective cu subiecți umani (TSV).

Astfel, implementarea difuzoarelor inovative cu inducție ridicată și amestec rapid al aerului, în vehicule, poate contribui semnificativ la îmbunătățirea experienței de condus și a confortului pasagerilor, asigurând un mediu interior plăcut și confortabil în orice condiții de ventilație.

