

Raport științific final

(2022 - 2024)

(max. 25 pag)

Competiția:	Proiect experimental demonstrativ - PED2021
Nr. contract:	697PED din 24/06/2022
Cod proiect:	PN-III-P2-2.1-PED-2021-0559
Domeniul de cercetare:	3.1 - Energie
Titlul :	Difuzoare de aer inovative cu inducție ridicată pentru îmbunătățirea calității mediului ambiant în vehicule
Acronim:	INNOVENT
Data începere proiect:	24/06/2022
Data finalizare proiect:	23/06/2024
Durata (luni):	24
Buget total:	685.045,00
Sursa 1 Bugetul de stat	598.795,00
Sursa 2 Alte surse atrase (cofinanțare):	86.250,00
Pagina web proiect:	http://cambi.utcb.ro/researchprojects/innovent
Instituția coordonatoare:	UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCTII BUCURESTI
Director de proiect:	Florin BODE
Partener 1 proiect (P1):	RENAULT TECHNOLOGIE ROUMANIE SRL

1. Prezentarea generală a obiectivelor ale proiectului, cu punerea în evidență a rezultatelor și gradul de realizare a obiectivelor. Prezentarea trebuie să includă explicații care să justifice diferențele (dacă există) dintre activitățile preconizate și cele realizate.

1.1 Prezentarea generală a obiectivelor proiectului și gradul de realizare a acestora

1.1.1. Obiectivele generale și specifice ale proiectului

Obiectivul general al proiectului INNOVENT a fost implementarea unui sistem inovativ de difuzoare de aer cu inducție ridicată într-un prototip funcțional de bord Dacia Renault Duster. Acest obiectiv general s-a concretizat prin atingerea următoarelor obiective specifice:

1.1.1.1. Obiectivul specific 1: Dezvoltarea unui sistem de difuzoare de aer cu inducție ridicată, pregătit pentru integrarea într-un model de Dacia-Renault Duster. Pentru realizarea acestui obiectiv au fost prevăzute următoarele activități:

- Proiectarea și optimizarea unor geometrii inovative de difuzoare de aer
- Realizarea prototipurilor utilizând tehnici avansate de imprimare 3D

1.1.1.2. Obiectivul specific 2: Realizarea de măsurători experimentale neintruzive ale curgerilor de aer din difuzoarele de aer cu inducție ridicată. Pentru realizarea acestui obiectiv au fost prevăzute următoarele activități: Utilizarea tehnicilor PIV (Particle Image Velocimetry) și LDV (Laser Doppler Velocimetry) pentru a evalua performanța fluido-dinamică a fiecărui difuzor de aer investigat.

1.1.1.3. Obiectivul specific 3: Verificarea și validarea simulărilor numerice pentru difuzoarele de aer cu inducție ridicată. Pentru realizarea acestui obiectiv au fost prevăzute următoarele activități: Compararea rezultatelor numerice cu datele experimentale pentru a valida modelele numerice.

1.1.1.4. Obiectivul specific 4: Elaborarea de modele numerice complexe ale curgerilor de aer în interiorul unui vehicul pentru diferite scenarii Pentru realizarea acestui obiectiv au fost

prevăzute realizarea de simulări numerice complexe pentru a evalua performanța difuzoarelor în diferite scenarii de ventilare

1.1.1.5. Obiectivul specific 5: Validarea sistemului inovativ de difuzoare de aer folosind un manechin termic și subiecți umani. Pentru realizarea acestui obiectiv au fost prevăzute activități de evaluare a confortului termic utilizând metode obiective (manechin termic și echipamente performante de evaluare a confortului termic) și subiective (evaluări cu subiecți umani)

Diagrama Gantt aferenta proiectului poate să fie vizualizată în Figura 1

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
WP0	Project Management	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T0.1	Coordination and follow up of the project progress	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T0.2	Communication between partners and reporting results	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T0.3	Administrative and financial coordination	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
WP1	Requirement formulation	P1	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T1.1	Requirements prescription for the concept of innovative air diffuser in terms of thermal comfort	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T1.2	Requirements prescription for the concept of innovative air diffuser system in terms of energy consumption	P1	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T1.3	Preliminary conception definition for the proposed innovative air diffuser system	CO/P1	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
WP2	Innovative air diffusers design and testing	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T2.1	Design of the air diffusers	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T2.2	Numerical simulation of the airflow through the air diffusers	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T2.3	3D print for the designed innovative diffusers	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T2.4	Particle Image Velocimetry experimental measurements	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T2.5	LDV experimental measurements	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T2.5	Iteration on specifications	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
WP3	Integration of the innovative air diffusers prototypes in the Renault Duster prototype dashboard model and testing	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T3.1	Integration of the innovative air diffusers prototypes in the Renault Duster prototype dashboard model	CO/P1	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T3.2	LDV experimental measurements for the integrated air diffusers	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T3.3	Particle Image Velocimetry experimental measurements	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T3.4	Complex numerical simulation of the airflow for different configurations	CO/P1	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
WP4	Validation of the innovative air diffusers prototype system	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T4.1	Acoustical analysis	P1	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T4.2	Thermal comfort evaluation	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
WPs	Dissemination	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T5.1	Developing the visual identity of the project	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T5.2	Valorification and exploitation of the project results	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							
T5.3	Develop and maintain the project website	CO	[Gantt bar from month 1 to 24]																							

Figura 1 Diagrama Gantt corespunzătoare proiectului

1.2 Gradul de realizare a obiectivelor și justificarea diferențelor

1.2.1 Dezvoltarea unui sistem de difuzoare de aer cu inducție ridicată

1.2.1.1 Obiectiv realizat:

Au fost dezvoltate și optimizate 30 de geometrii de difuzoare de aer, incluzând modele cu lobi rotunjiți și buze rotunjite. Acestea au fost proiectate pentru a îmbunătăți amestecul aerului proaspăt cu aerul din habitacul, în vederea reducerii disconfortului termic și asigurând o distribuție cât mai uniformă a temperaturii din fluxul de aer.

O parte din difuzoarele de aer proiectate, se pot vedea în figura următoare, împreună cu difuzorul etalon prezent în automobilul Dacia-Renault Duster.

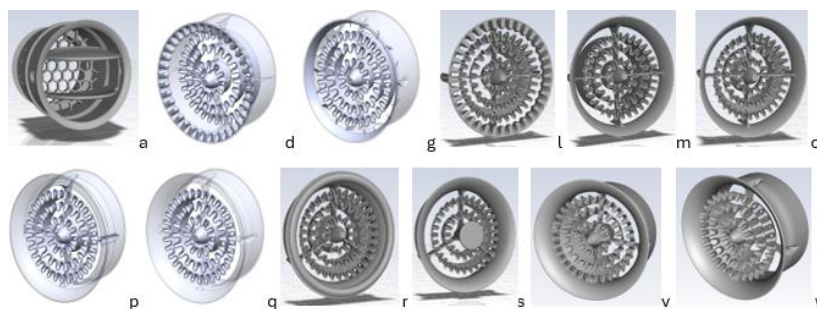


Figura 2 Parte din difuzoarele de aer proiectate: a. Difuzor etalon (Dacia-Renault Duster); d-w Diverse variante

Au fost realizate simulări numerice de curgere în regim izoterm prin toate aceste difuzoare de aer. As vrea sa subliniez ca cele 30 de difuzoare de aer nu au fost generate in același timp ci au rezultat iterativ, ca urmare a analizării rezultatelor din simulările numerice anterioare prin identificarea punctelor tari si punctelor slabe care le caracterizau funcționarea din punct de vedere al indicatorilor de calitate urmăriții și anume: inducție ridicată și amestec rapid între aerul din sistemul HVAC și aerul ambiant din habitacul.

O parte din rezultatele numerice pot să fie vizionate mai jos:

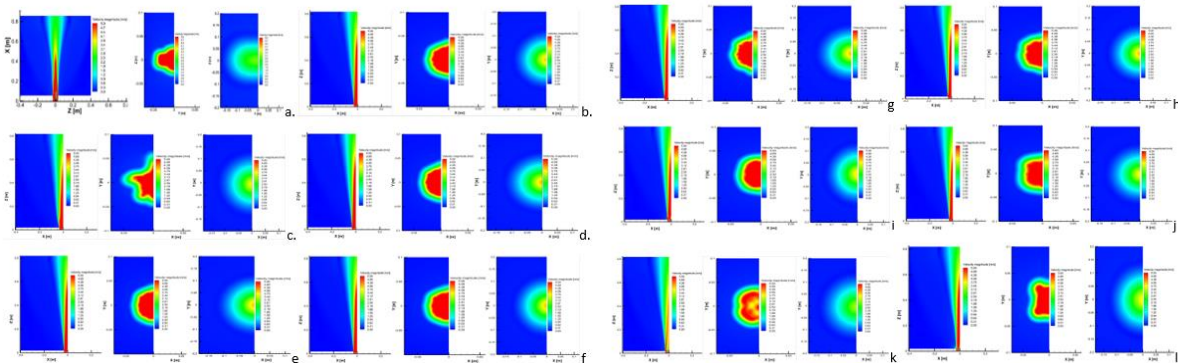


Figura 3 Distribuția câmpului de viteză pentru o parte din difuzoarele de aer analizate: Stânga – Longitudinal, Mijloc – Transversal la 100mm de difuzorul de aer, Dreapta – Transversal la 600mm de difuzorul de aer.

Tabel 1 Rezultate numerice centralizate pentru cele mai performante 20 de difuzoare de aer

Crt	Cod	Identificare caz studiat	Debit masic [kg/s]	Debit volumic [m ³ /s]	Debit volumic [m ³ /h]	Debit masic inlet [kg/s]	Debit volumic inlet [m ³ /h]	Rata de antrenare	Adimensio nalizare	Cresterea ratei de antrenare fata de etalon
1	A	a. Difuzor aer - Dacia Duster Original	0.0245	0.020378	73.359	0.010609	31.788	2.31	1.00	0%
2	B	b. Difuzor lobi concentrici cu lamele de ghidaj la 0 grade	0.0304	0.025343	91.236	0.010609	31.788	2.87	1.24	24%
3	C	c. Difuzor Vortex Generators pozitie variabila (unghiulara) a lobilor	0.0313	0.026041	93.748	0.010609	31.788	2.95	1.28	28%
4	D	d. Difuzor Lobi concentrici cu lamele de ghidaj la 5 grade	0.0309	0.025722	92.601	0.010609	31.788	2.91	1.26	26%
5	E	e. Difuzor Lobi cintrici cu lamele de ghidaj la 10 grade	0.0311	0.025872	93.138	0.010609	31.788	2.93	1.27	27%
6	F	f. Difuzor Lobi concentrici (same plane) cu lamele de ghidaj 0 grade	0.0298	0.024773	89.183	0.010609	31.788	2.81	1.21	21%
7	G	g. Difuzor Lobi concentrici (same plane) cu lamele de ghidaj 5 grade	0.0298	0.024788	89.236	0.010609	31.788	2.81	1.22	22%
8	H	h. Difuzor Lobi concentrici (same plane) cu lamele de ghidaj 10 grade	0.0296	0.024627	88.657	0.010609	31.788	2.79	1.21	21%
9	L	L. Difuzor Unghi variabil I - Lobi concentrici (same plane) cu lamele de ghidaj in unghi variabil	0.0331	0.027543	99.154	0.010609	31.788	3.12	1.35	35%
10	M	m. Difuzor Lobi concentrici cu lamele de ghidaj la 0 grade cu margine rotunjita	0.0299	0.024890	89.604	0.010609	31.788	2.82	1.22	22%
11	N	n. Difuzor Lobi concentrici cu lamele de ghidaj la 15 grade cu margine rotunjita	0.0308	0.025665	92.392	0.010609	31.788	2.91	1.26	26%
12	O	o. Difuzor Lobi concentrici cu lamele de ghidaj in unghi variabil cu margine rotunjita	0.0338	0.028140	101.302	0.010609	31.788	3.19	1.38	38%
13	P	p. Difuzor Lobi concentrici cu lamele de ghidaj in unghi variabil cu margine rotunjita la o raza mare	0.0357	0.029712	106.963	0.010609	31.788	3.36	1.46	46%
14	Q	q. Difuzor Lobi concentrici cu lamele de ghidaj in unghi variabil cu margine rotunjita la o raza mica	0.0351	0.029214	105.171	0.010609	31.788	3.31	1.43	43%
15	R	r. Difuzor - Lobi concentrici cu lamele de ghidaj in unghi variabil cu margine rotunjita la o raza mare + Eleror	0.0345	0.028753	103.511	0.010609	31.788	3.26	1.41	41%
16	S	s. Difuzor - Lobi concentrici cu 2 lamele de ghidaj in unghi variabil cu margine rotunjita la o raza mare + Con	0.0332	0.027666	99.598	0.010609	31.788	3.13	1.36	36%
17	U	u. Difuzor varianta U	0.0344	0.028636	103.091	0.010609	31.788	3.24	1.40	40%
18	V	v. Difuzor - Golden Ratio I	0.0365	0.030350	109.261	0.010609	31.788	3.44	1.49	49%
19	W	w. Difuzor - Golden Ratio II	0.0354	0.029426	105.933	0.010609	31.788	3.33	1.44	44%
20	X	x. Difuzor - Golden Ratio III	0.0363	0.030253	108.910	0.010609	31.788	3.43	1.48	48%

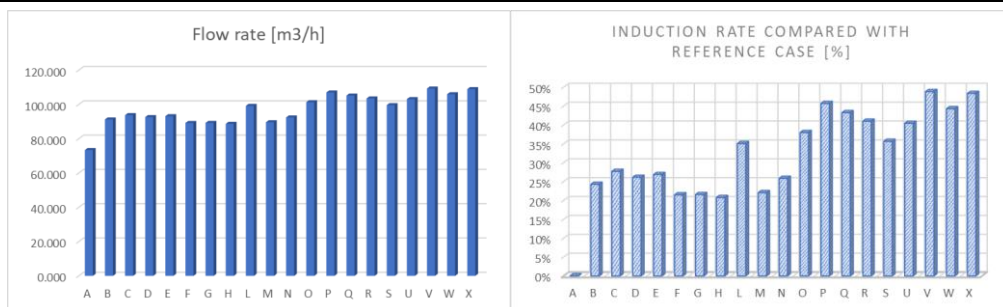


Figura 4 Rata de inducție pentru difuzoarele de aer studiate la 600 mm de la planșa de bord: Stânga – Debit volumic la 600mm, Dreapta – Rata de creștere a inducției curentului de aer.

1.2.1.2 Dificultăți și diferențe față de planul inițial:

Deși inițial s-a planificat dezvoltarea unui număr mai redus de geometrii diferite, numărul acestora a crescut la 30 datorită necesității de iterații multiple pentru a ajunge la configurații mai performante. Acest lucru a extins puțin timpul necesar pentru această etapă, dar a condus la rezultate superioare din punct de vedere al performanței difuzoarelor de aer, atingându-se valori de 48% respectiv 49% ale inducției (Figura 4).

1.2.2 Realizarea de măsurători experimentale neintruzive ale curgerilor de aer

1.2.2.1 Obiectiv realizat:

1.2.2.1.1 Realizarea și verificarea difuzoarelor de aer prin imprimare 3D

Prototipurile difuzoarelor inovative au fost fabricate utilizând patru tehnici de imprimare 3D: FDM (Fused Deposition Modelling), SLS (Selective Laser Sintering), DLP (Digital Light Processing), SLA (Stereolithography). Fiecare metodă a fost evaluată prin compararea difuzoarelor de aer imprimate 3D atât dimensional cât și din punct de vedere al rugozității suprafețelor pentru a determina cea mai bună calitate și performanță. A rezultat astfel ca metoda SLA este cea mai potrivită atât din punct de vedere dimensional cât și al rugozității suprafețelor.

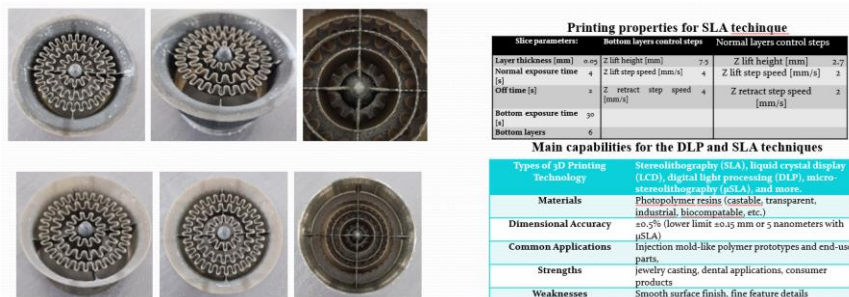


Figura 5 Prezentarea modelor 3D imprimate cu tehnica SLA (stânga sus), DLP (stânga jos), dreapta – detalii imprimare 3D și asemănări între tehnica SLA și DLP

Prin utilizarea tehnologiilor și metodologiilor de ultimă generație, s-a examinat rugozitatea suprafeței și măsurătorile dimensionale ale difuzoarelor de aer imprimate 3D. Echipamentul MarSurf PS1 a avut un rol central în evaluarea parametrilor rugozității suprafeței precum Ra și Rz, asupra calității și conformității componentelor imprimate. Datele au dezvăluit variații în rugozitate între diferitele tehnici de imprimare 3D, cu avantaje ușoare observate pentru SLA. În plus, măsurătorile dimensionale utilizând metoda de scanare 3D a suprafeței, în special seria HandyScan 700 Silver de la Creafom 3D, au furnizat o analiză detaliată a acurateții modelelor imprimate. Tehnica FDM a evidențiat inconsistențe semnificative în dimensiuni, cu deviații evidente care afectau performanța fluxului de aer a designului. SLS a prezentat rezultate îmbunătățite în comparație cu FDM, dar încă a avut probleme legate de grosime și formă. DLP a arătat o calitate generală mai bună, dar variațiile dimensionale au persistat, afectând caracteristici critice precum corpul aerodinamic și paletele interioare.

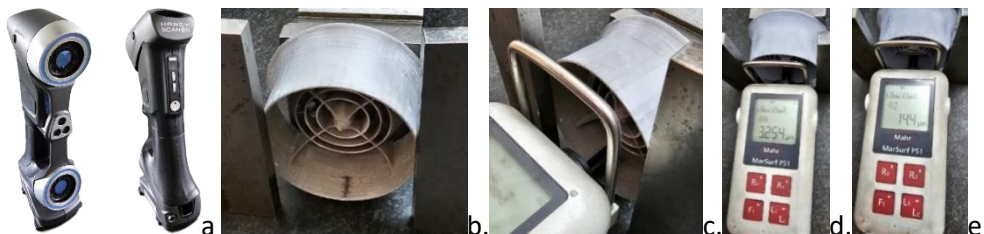


Figura 6. a. HandyScan 700 Silver Series, Creafom 3D; b. Așezarea difuzorului în vederea efectuării măsurătorilor de rugozitate; c. Poziționarea echipamentului MarSurf PS1; d. Măsurarea parametrului Ra; e. Rz Având o mai mare rigiditate a materialului, suprafețe mai netede și o precizie sporită a detaliilor mici, tehnica SLA este cu mult mai bună și demonstrează o calitate superioară în comparație cu celelalte metode de imprimare 3D utilizate până în prezent. Geometriile lobate au o bună consistență a dimensiunilor, chiar dacă există deviații de maxim +0,4 mm și minim -0,4 mm, forma generală a lobilor este îmbunătățită în comparație cu celelalte trei metode.

Observând profilul curbat al geometriei, este evident că există diferențe în dimensiune între varianta ideală și cea printată 3D cu tehnica SLA. Vârful prezintă o mică deviere de maximum +0,1mm, dar pe măsură ce curbura continuă spre interiorul geometriei, există o creștere a abaterii geometriei imprimate, ajungând la valoarea de +0,62mm.

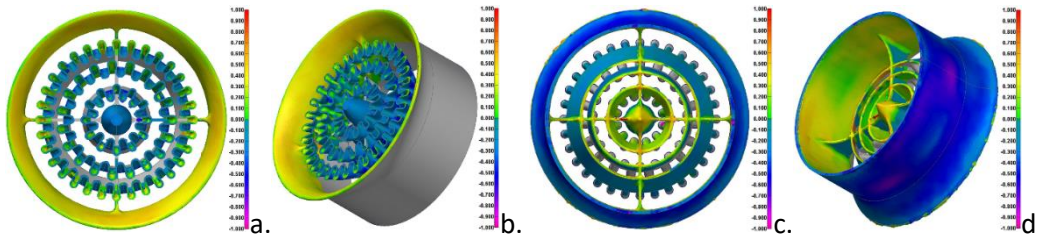


Figura 7 Măsurători pentru tehnica SLA - a. Vedere frontală; b. Vedere din partea de jos, în stânga c. Vedere din spate; d. Vedere din partea de jos, în dreapta

Partea din spate prezintă dimensiunile de la -0,5mm pentru peretele exterior, având mici zone în care dimensiunile ajung în regiunea de -0,7mm. Acest lucru înseamnă că suprafața interioară a peretelui va avea o valoare pozitivă, ceea ce este corect, deoarece există dimensiuni care depășesc geometria originală cu o dimensiune generală de +0,38mm și un maxim de +0,5mm.

Cele două pale mari ale deflectorului interior sunt imprimate cât mai aproape posibil de dimensiunile așteptate, având doar o deviere de -0,02mm față de geometria propusă, chiar dacă vârful paletelor este mai lung cu +0,3mm, dimensiunile generale sunt apropiate de ceea ce ar trebui să fie. Sfera aerodinamică poziționată în centrul modelului 3D este mai lungă decât ar trebui, dar nu cu mult, având o creștere generală a dimensiunii de +0,5mm. Cel mai mic deflector al paletelor este din nou, cu un unghi corect, dar deviația este inversată față de celelalte două, având o deviere de +0,18mm.

Dintre tehnici, metoda SLA s-a remarcat datorită preciziei superioare, deviațiilor minime și capacității de a replica forme geometrice complexe cu precizie. Precizia înaltă a imprimării SLA are un impact pozitiv asupra performanței aerodinamice a difuzorului. În ansamblu, rezultatele acestei studii susțin ideea că tehnica SLA reprezintă alegerea superioară pentru imprimarea 3D a difuzoarelor de aer pentru sistemele HVAC în vehicule.

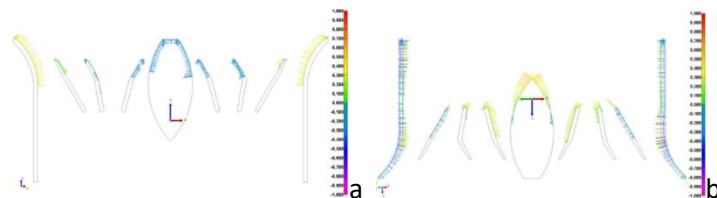


Figura 8 Vedere secționată a măsurătorilor SLA din a. partea frontală; b. partea din spate

Combinarea preciziei, versatilității materialelor, capacităților de design complex, stabilității dimensionale și producției eficiente fac din SLA soluția potrivită pentru obținerea calității optime a difuzoarelor de aer.

1.2.2.1.2 Măsurătorile experimentale au fost realizate folosind tehnici avansate, precum PIV și LDV, pentru a evalua performanțele curgerilor de aer.

În prima fază s-a măsurat câmpul de viteză al curgerii de aer prin difuzorul de aer inovator utilizând tehnica PIV (Figura 9).

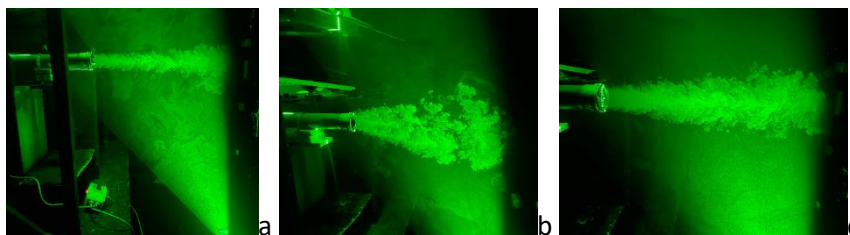


Figura 9. Măsurări PIV a.b. Aerator Duster a. plan vertical b. plan orizontal c. Aerator lobat

Tratarea datelor obținute în cadrul măsurătorilor PIV s-a realizat în softul Dynamic Studio. Printre operațiile de tratare se numără, mascarea zonelor cu reflexii sau din afara ariei de interes, realizarea corelațiilor între perechile de imagini capturate, pregătirea formei finale a câmpului 2D de viteză.

Au fost realizate o serie de măsurări experimentale cu această tehnică în vederea validării rezultatelor numerice obținute în etapele anterioare prin compararea câmpului de viteză longitudinal între rezultatele numerice și cele experimentale. Se pot vedea în Figura 10 rezultatele prelucrate în urma măsurărilor PIV.

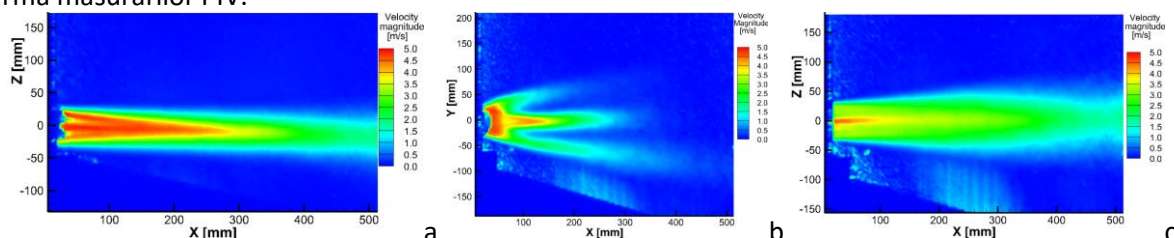


Figura 10. Câmpuri de viteze măsurate prin tehnica PIV

O serie de imagini din timpul măsurărilor LDV pentru difuzorul de aer pot să fie vizualizate mai jos.

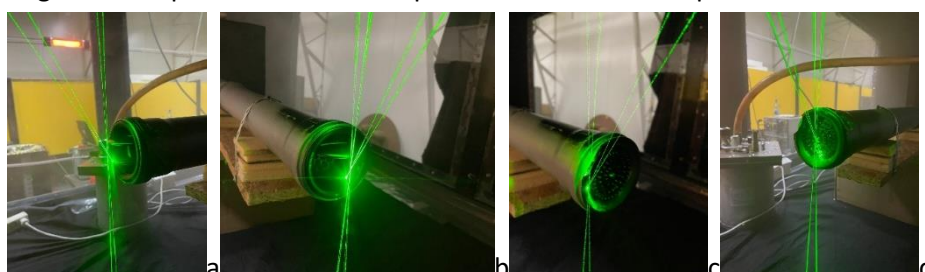


Figura 11 Măsurări LDV. a. b. Aerator clasic; c. d. Aerator inovativ

În Figura 12 se poate observa o serie de imagini din cadrul măsurărilor cu tehnicile Laser Doppler Velocimetry (LDV) și Particle Image Velocimetry (PIV) în habitacul de Duster.

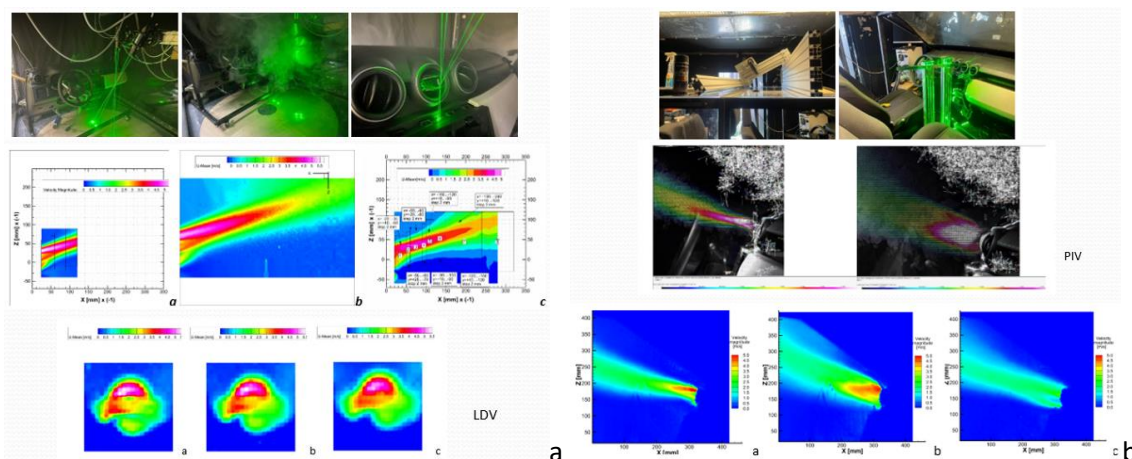


Figura 12 Standuri experimentale și măsurări prin tehnicile a. LDV b. PIV

Datele obținute din aceste măsurări experimentale au fost utilizate pentru validarea rezultatelor numerice aferente campaniilor de simulare numerică. Totodată, aceste date experimentale obținute prin tehnicile PIV și LDV au furnizat o serie de informații prețioase cu privire la câmpul curgerii atât pentru situația în care a fost evaluat doar difuzorul de aer cât și pentru situația când difuzorul de aer a fost integrat în planșa de bord a Dacia / Renault Duster, curgerea fiind influențată în această situație de arhitectura conductelor HVAC din bordul automobilului.

1.2.2.2 Dificultăți și diferențe față de planul inițial:

În urma imprimării primului difuzor de aer prin utilizarea tehnicii FDM (Fused Deposition Modelling), s-a observat calitatea redusă a suprafeței, nepotrivită pentru curgeri aerodinamice. Aceasta a presupus luarea în considerare a altor tehnologii de imprimare 3D și efectuarea unui studiu de identificare a celei mai potrivite tehnologii de imprimare pentru această aplicație. După studiu a rezultat că tehnica SLA (Stereolithography), dintre cele 4 tehnologii evaluate, s-a dovedit a fi cea mai potrivită din punct de vedere dimensional și al rugozității suprafeței. Tehnologiile evaluate au fost Fused Deposition Modeling (FDM), Stereolithography (SLA), Digital Light Processing (DLP) și Selective Laser Sintering (SLS)

O altă dificultate a apărut în cadrul măsurărilor cu tehnica LDV. Unul dintre cele trei lasere a suferit o defecțiune care s-a manifestat printr-o lentă creștere a măsurărilor. Aceasta a crescut durata campaniei de măsurare de 3-5 ori dar măsurările au fost efectuate cu succes.

1.2.3 Verificarea și validarea simulărilor numerice

1.2.3.1 Obiectiv realizat:

Simulările numerice au fost validate prin compararea rezultatelor numerice cu cele experimentale. Validarea modelului numeric prin compararea rezultatelor sale cu datele experimentale este foarte importantă în cercetarea dinamicii fluidelor. În următoarele imagini se compară vitezele axiale normalizate măsurate prin două metode experimentale de înaltă fidelitate, LDV și PIV, cu rezultatele simulării CFD. Analiza a fost efectuată la trei distanțe diferite de gura difuzorului de aer, pe direcția fluxului transversal: 33 mm, 58 mm și 108 mm (Figura 13), pentru a acoperi o gamă cât mai largă de distanțe.

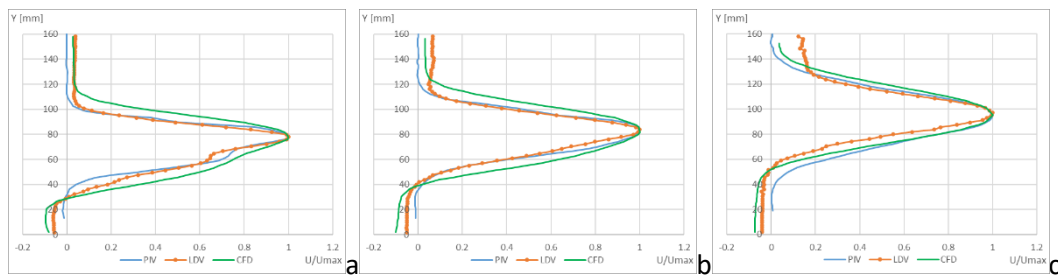


Figura 13 Comparări normalizate ale vitezei axiale între LDV, măsurători PIV și rezultate numerice CFD at a. 33mm, b. 58mm, c. 108mm.

Rezultatele demonstrează o concordanță notabilă între datele experimentale și cele numerice, evidențiind acuratețea modelului CFD în captarea dinamicii fluidelor în condiții variate. Această apropiere între valorile măsurate și simulate confirmă faptul că modelul numeric poate reproduce fidel comportamentul fluxului în domeniul testat, sugerând că modelul CFD poate fi considerat un instrument valid și precis pentru studierea fenomenelor dinamicii fluidelor.

1.2.3.2 Dificultăți și diferențe față de planul inițial:

Procesul de validare a necesitat mai multe iterații decât s-a anticipat, datorită complexității modelelor numerice și necesității de ajustări continue pentru a asigura corectitudinea rezultatelor.

1.2.4 Elaborarea de modele numerice complexe ale curgerilor de aer

1.2.4.1 Obiectiv realizat:

Au fost realizate simulări numerice complexe pentru a evalua performanța difuzoarelor de aer în diferite scenarii de ventilare și anume vară și iarnă.

În primul rând, s-a generat o geometrie realistă a modelului de habitacul de Duster. Au fost necesare foarte multe iterații datorită 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.

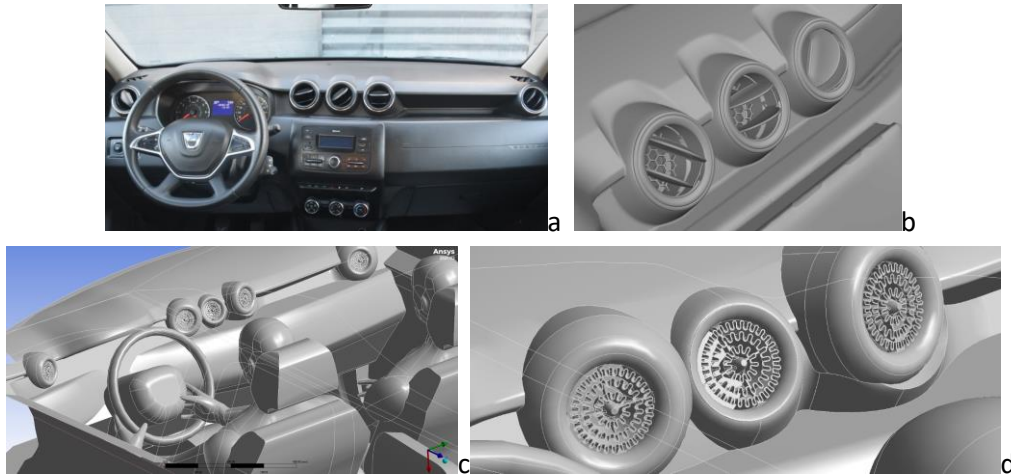


Figura 14 Bord Duster a. Bord Duster real b. Aeratoare geometrie Duster (bord Duster virtual) c. Aeratoare inovative integrate în geometria de Renault Duster d. Detaliu aeratoare inovative

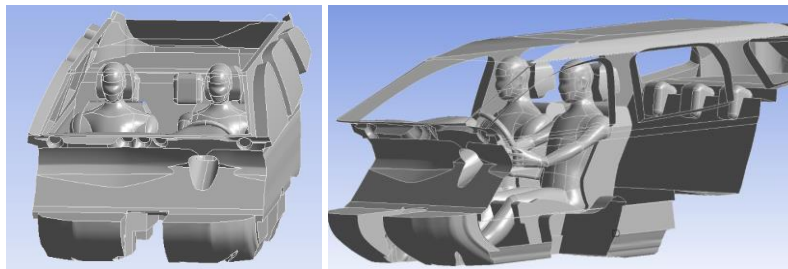


Figura 15 Geometria virtuală a Dacia-Renault Duster pregătită pentru simularea numerică

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.

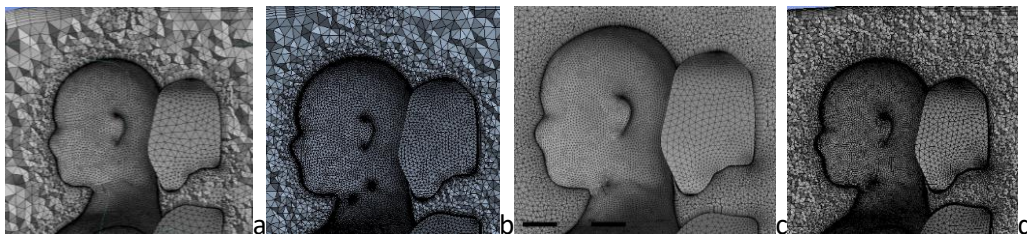
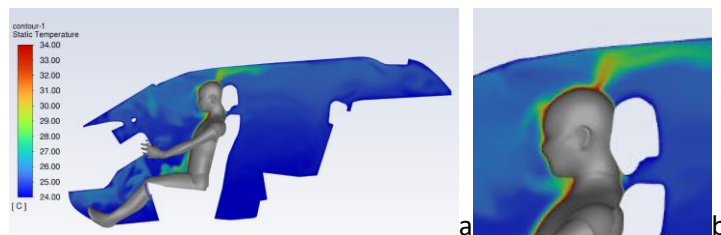


Figura 16 Detaliu grile de calcul a. 14 milioane elemente, b.36 milioane elemente, c.55 milioane elemente, d. 73 milioane elemente.

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



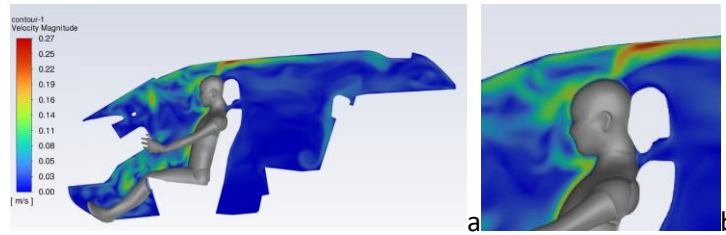


Figura 17 Distribuție, în planul sagital al șoferului de: a. Temperatura b. Detaliu temperatura, c. Viteza aer, d. detaliu viteza aer

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.

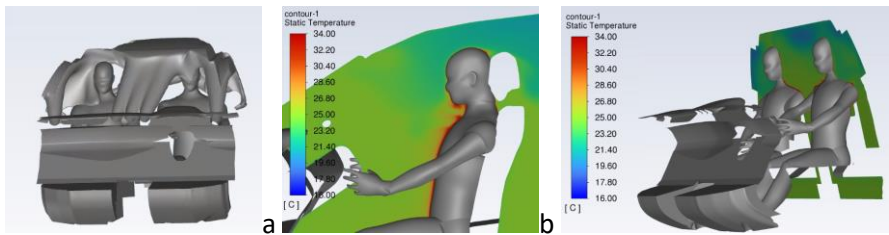


Figura 18 a. Izosuprafețe de temperatură constată de 22.5C, b distribuție de temperatură în planul sagital al șoferului b distribuție de temperatură în planul coronar al ocupanților din vehicul

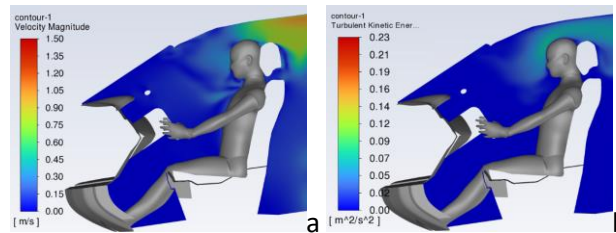


Figura 19 a. Distribuție de viteză a aerului din habitacul în planul sagital al șoferului b distribuție de energie cinetică turbulentă în zona ocupanților din vehicul

1.2.4.2 Dificultăți și diferențe față de planul inițial:

Etapa de generare a geometriei a fost mult mai îndelungată decât s-a anticipat inițial datorită complexității habitacului și iterațiilor multiple de refacere a geometriei în vederea identificării și modificării unghiurilor prea ascuțite sau a nișelor prea înguste care au dus la imposibilitatea generării unei grile de calcul de calitate. Până la urmă s-a reușit generarea unei grile de calcul care a permis obținerea rezultatelor prezentate mai sus.

Simulările numerice au necesitat resurse computaționale semnificative și timp extins de calcul, ceea ce a dus la prelungirea acestei etape. Cu toate acestea, rezultatele obținute au fost de calitate și au furnizat informații valoroase pentru optimizarea și înțelegerea fluido-dinamicii difuzoarelor de aer.

1.2.5 Validarea sistemului inovativ de difuzoare de aer

1.2.5.1 Obiectiv realizat:

1.2.5.1.1 Testele acustice

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.

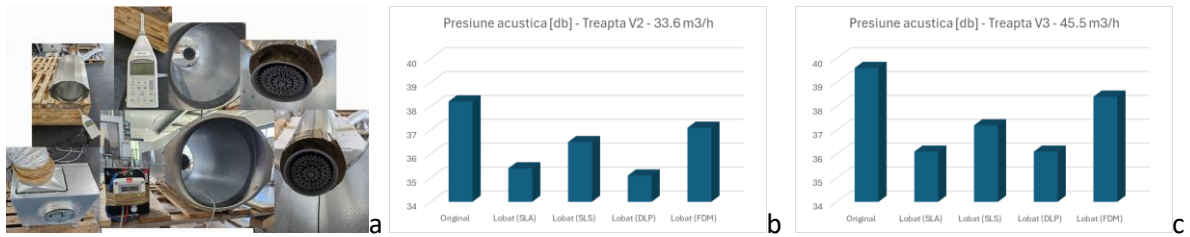


Figura 20 Rezultatele măsurărilor acustice a. Colaj stand experimental, b. Treapta V2 c. Treapta V3
 Pentru treapta V2 de debit (23.9 m³/h), rezultatele au relevat ca difuzorul de aer clasic a avut cel mai înalt nivel de zgomot (38.2db), fiind cu 7.33% mai zgomotos decât varianta aleasă pentru testele fizice (35.4db). Pentru treapta V3 de debit (33.6 m³/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).

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 20 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.

1.2.5.1.2 *Difuzoarele inovative au fost testate folosind un manechin termic, un echipament de măsură performant al confortului termic și subiecți umani pentru a evalua confortul termic. Evaluările obiective și subiective au confirmat performanțele superioare ale difuzoarelor inovative comparativ cu cele standard.*

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 aferentă 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 2).

Tabel 2 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 3.

Tabel 3 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 viteză			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. Măsurările au fost realizate în celula climatică existentă la Facultatea de Inginerie a Instalațiilor din cadrul UTCB.

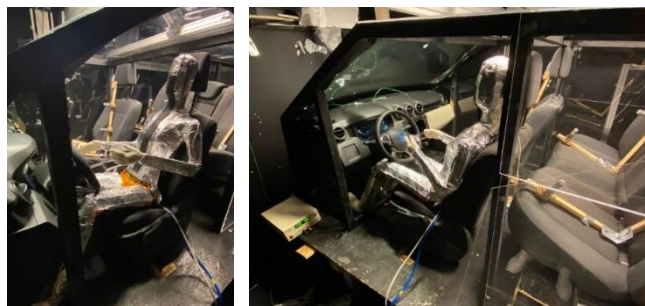


Figura 21 Imagini cu integrarea manechinului termic în habitacul aflat în celula experimentală

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 22 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.

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 treptele de ventilare mai mici, cum ar fi debitele de aer vehiculate pe treptele de ventilare V1 și V2.

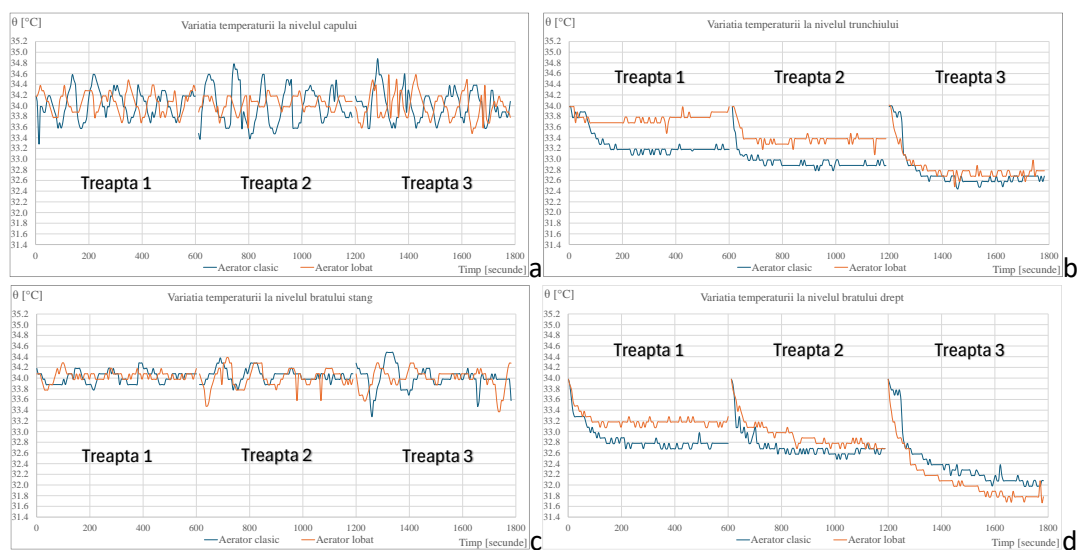


Figura 22 Evoluția temperaturii pe diferite segmente ale manechinului termic pentru cele 3 trei trepte de viteză pentru cele două difuzoare de aer (roșu – difuzor lobat; albastru – difuzor clasic)
a. Cap, b. Trunchi, c. Braț stâng, d. Braț dreapta

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 doua ecuații de calcul in care sunt luate in considerare mărimi fizice ale mediului ambiant (temperatura, viteza și umiditatea aerului, temperatura medie de radiație) precum și factori ce țin de activitatea metabolica și izolația îmbrăcăminte. Rezultatul numeric al calculului indicelui PMV este tradus in stare termica printr-o scara cu valori de la -3 la +3 unde -3 reprezintă o stare termica de foarte rece, 0 reprezintă o stare termica neutra, iar +3 reprezintă o stare termica de foarte cald.

Prin determinarea indicelui PMV este posibila 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 23a). Deși acest indice este unul global, valoarea obținută este considerată pentru întregul mediu evaluat, în mediile neomogene și tranzitorii similare celor din vehicule este necesară realizarea unei evaluări locale.

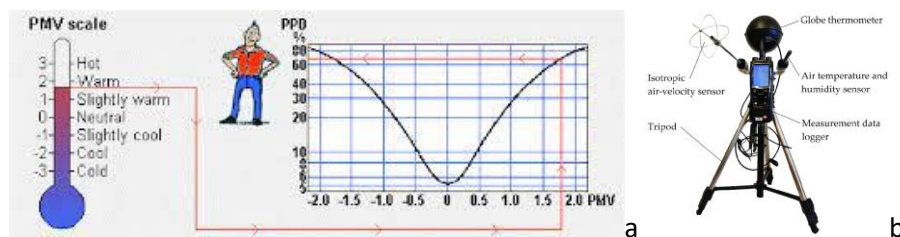


Figura 23 a Corelația dintre indicele PMV și indicele PPD, b Echipament TESTO 480

Determinarea indicilor PMV și PPD s-a realizat cu un echipament TESTO 480 (Figura 23b), 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 24).



Figura 24 Imagini cu echipamentul TESTO 480 amplasat in diferite zone pe scaunul șoferului
 Valorile de PMV și PPD returnate de echipamentul TESTO 480, pot să fie studiate în tabelele de mai jos.

Tabel 4 Valori PMV și PPD pentru diverse locații specifice corpului uman pentru difuzorul de aer standard

		Piept				
Aeratoare Clasice	PMV [-]	PPD [%]	θ [°C]	θ_{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 [%]	θ [°C]	θ_{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 [%]	θ [°C]	θ_{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 5 Valori PMV si PPD pentru diverse locații specifice corpului uman pentru difuzorul de aer inovativ

Piept						
Aeratoare Lobate	PMV [-]	PPD [%]	θ [°C]	θ_{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 [%]	θ [°C]	θ_{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 [%]	θ [°C]	θ_{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.

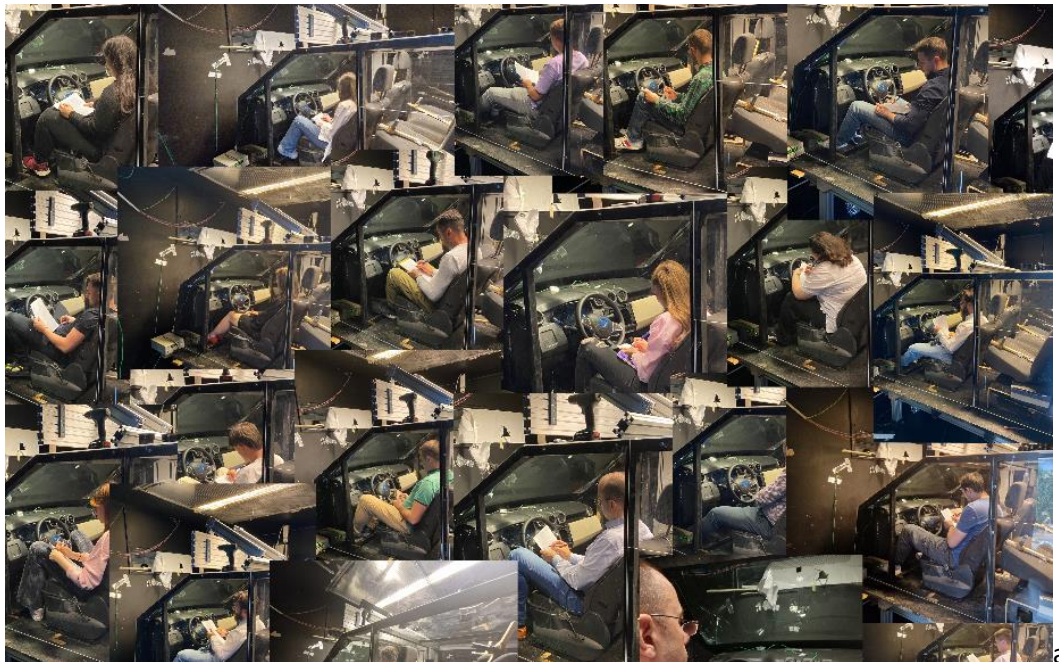
Măsurătorile efectuate cu echipamentul Testo 480 au confirmat rezultatele obținute cu manechinul termic. Indicii PMV (Votul Mediu Predicabil) și PPD (Procentul de Persoane Nesatisfăcute) au arătat clar că difuzorul inovativ oferă un confort termic mai bun. Valorile PMV s-au situat în intervalul neutru (-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.

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.



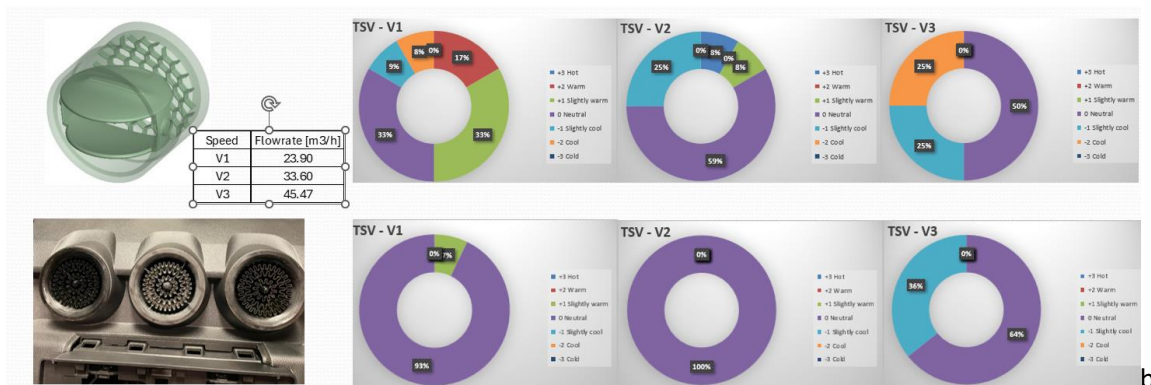


Figura 25 a. Colaj cu o parte din participanții studiului cu subiecți umani pentru evaluarea celor două difuzoare de aer în habitacul de autovehicul construit în celula climatică b. Rezultate studiu cu subiecți umani – Sus – Rezultate pentru aeratorul Dacia-Renault Duster, Jos – Rezultate pentru aeratorul inovativ

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.

1.2.5.2 Dificultăți și diferențe față de planul inițial:

Ipotezele inițiale au generat temerea că difuzoarele inovative ar putea să fie mai zgomotoase decât difuzoarele standard. Testele acustice au arătat însă că difuzoarele inovative nu doar că nu au fost mai zgomotoase decât difuzoarele standard ci chiar au fost puțin mai silențioase decât cele standard, cu aproximativ 7-9%.

Procesul de validare cu subiecți umani a necesitat obținerea avizelor etice și coordonarea detaliată a testelor, ceea ce a adăugat complexitate logistică. Cu toate acestea, toate testele au fost realizate cu succes, de o echipă formată din 3 persoane din cadrul echipei proiectului iar rezultatele au confirmat ipotezele inițiale provenite din analizele numerice.

1.3 Concluzii

Proiectul INNOVENT a realizat cu succes obiectivele stabilite, demonstrând că difuzoarele de aer cu inducție ridicată pot îmbunătăți semnificativ confortul termic al ocupanților din vehicule. Diferențele minore între activitățile preconizate și cele realizate au fost justificate de necesitatea îmbunătățirii continue și adaptării la condițiile reale din cercetare și de funcționare a difuzoarelor de aer.

Rezultatele proiectului oferă soluții viabile pentru industria auto, contribuind la crearea unor medii interioare mai confortabile și eficiente din punct de vedere energetic în vehicule. Această soluție a fost prezentată și diseminată și de către partenerul Renault Technologie Romania în cadrul companiei Renault.

2 Prezentarea și argumentarea nivelului de maturitate tehnologică (TRL) la finalul proiectului **Nivelul de maturitate tehnologică (TRL) planificat: TRL 4**

Conform propunerii inițiale a proiectului, obiectivul a fost să se atingă un nivel de maturitate tehnologică (TRL) de 4. Acest nivel presupune validarea tehnologiei în medii de laborator și integrarea într-un sistem experimental relevant.

2.2 Obiectivele specifice necesare și atinse pentru atingerea TRL 4:

2.2.1 Dezvoltarea unui sistem de difuzoare de aer cu inducție ridicată gata de integrat în Dacia-Renault Duster

S-a demonstrat că a fost dezvoltat conceptul de difuzor de aer cu inducție ridicată și adaptat pentru a putea fi integrat în vehicule. Pentru acestea fost realizate modele experimentale și prototipuri ale difuzoarelor de aer.

2.2.2 Realizarea măsurărilor experimentale neintruzive ale curgerilor de aer generate de difuzoarele de aer cu inducție ridicată:

Pentru aceasta s-au efectuat măsurători experimentale în condiții controlate de laborator pentru a evalua performanțele difuzoarelor de aer. S-au utilizat tehnicile de măsurare non-intruzive Particle Image Velocimetry (PIV) și Laser Doppler Velocimetry (LDV) pentru a obține date precise privind câmpul de viteză generat de curgerea prin difuzorul de aer.

2.2.3 Verificarea și validarea simulărilor numerice pentru difuzoarele de aer cu inducție ridicată.

Simulările numerice au fost realizate și comparate cu datele experimentale pentru a valida modelele teoretice.

2.2.4 Integrarea prototipurilor în modele de planșă de bord dezmembrate ale vehiculului Dacia-Renault Duster:

Prototipurile difuzoarelor de aer au fost integrate în planșe de bord dezmembrate pentru a evalua compatibilitatea și performanța în medii relevante. Această integrare a permis testarea sistemului într-un mediu controlat, relevant pentru aplicația finală, atât cu metode de măsurare experimentală cât și prin utilizarea subiecților umani.

2.3 Rezultatele obținute în conformitate cu TRL 4:

- Difuzoarele de aer cu inducție ridicată au fost proiectate, fabricate și testate.
- S-au utilizat tehnici avansate de imprimare 3D pentru a produce prototipuri cu geometrie complexă, necesară pentru inducție ridicată.
- Măsurătorile experimentale au demonstrat că difuzoarele de aer inovative au performanțe superioare în ceea ce privește amestecul și inducția aerului comparativ cu difuzoarele standard.
- Datele experimentale au fost utilizate pentru a valida modelele numerice și pentru a optimiza designul difuzoarelor.
- Prototipurile de difuzoare au fost integrate cu succes în planșele de bord dezmembrate ale vehiculului Dacia-Renault Duster.
- Testele inițiale au arătat că difuzoarele inovative pot fi instalate și funcționează corect în configurația vehiculului.

2.4 Argumentarea nivelului TRL 4:

Dezvoltarea și testarea difuzoarelor de aer inovative a avut loc în condiții de laborator unde s-a realizat atât validarea experimentală a performanțelor difuzoarelor de aer într-un mediu controlat cât și integrarea prototipurilor în modele relevante de planșă de bord și efectuarea testelor inițiale pentru a asigura compatibilitatea și funcționalitatea în vehicul. Toate aceste realizări în cadrul proiectului demonstrează că tehnologia difuzoarelor de aer cu inducție ridicată este validată la nivel de laborator (TRL4) și este pregătită pentru următoarele etape de dezvoltare și testare în medii operaționale reale.

3 Gradul de atingere a rezultatelor estimate (prezentarea produsului/tehnologiei sau a serviciului rezultat al proiectului).

Gradul de atingere a rezultatelor estimate a fost atins în totalitate, toate obiectivele proiectului fiind realizate cu succes. Prototipurile de difuzoare de aer cu inducție ridicată au fost dezvoltate și testate experimental, confirmând performanțele superioare față de difuzoarele standard. Integrarea prototipurilor în planșele de bord ale vehiculului Dacia-Renault Duster a demonstrat compatibilitatea și funcționalitatea acestora, atingând astfel nivelul de maturitate tehnologică TRL 4. Acest succes validează potențialul sistemului inovativ de a îmbunătăți semnificativ confortul termic și eficiența sistemului HVAC în vehicule.

Acest sistem oferă ca avantaje atât o eficiență termică îmbunătățită prin faptul că difuzoarele de aer inovative asigură un amestec mai bun al aerului proaspăt cu aerul din habitacul, rezultând într-o distribuție uniformă a temperaturii și un confort termic superior pentru ocupanții vehiculului, cât și faptul că prototipurile de difuzoare au fost integrate cu succes în planșele de bord existente, demonstrând că pot fi utilizate în configurația actuală a vehiculelor fără modificări majore.

Toate obiectivele propuse în proiect au fost atinse cu succes, demonstrând că sistemul inovativ de difuzoare de aer cu inducție ridicată este viabil și performant. Atingerea TRL 4 confirmă că tehnologia a fost validată în medii de laborator și este pregătită pentru următoarele etape de dezvoltare și testare în medii operaționale reale. Implementarea acestui sistem în vehiculele Dacia-Renault Duster poate contribui semnificativ la îmbunătățirea confortului termic și a experienței utilizatorilor.

4 Impactul rezultatelor obținute, cu sublinierea celui mai semnificativ rezultat obținut.

Impactul rezultatelor obținute în cadrul proiectului este ridicat, având potențialul de a schimba modul de adresare a confortului termic în vehicule prin utilizarea difuzoarelor de aer cu inducție ridicată.

Cel mai semnificativ rezultat obținut este dezvoltarea și validarea experimentală a difuzorului de aer inovativ, care a demonstrat o performanță superioară în ceea ce privește uniformitatea distribuției aerului și reducerea senzației de disconfort termic pentru pasageri, lucru confirmat în cadrul campaniilor experimentale cu subiecți umani. A fost depus un brevet de invenție la OSIM legat de acest brevet (A/00299 din 06.06.2024).

5 Detalii privind exploatarea și diseminarea rezultatelor proiectului.

5.1 Exploatarea rezultatelor proiectului:

1. Rezultatele obținute au fost integrate într-un prototip de Dacia-Renault Duster, demonstrând aplicabilitatea practică a difuzoarelor de aer inovative. Aceasta deschide calea pentru implementarea acestor tehnologii în producția de masă, îmbunătățind confortul termic în vehiculele viitoare.
2. Dezvoltarea acestor difuzoare poate oferi producătorilor auto un avantaj competitiv, permițându-le să ofere vehicule cu un confort termic superior, ceea ce poate atrage un segment mai larg de consumatori preocupați de confort termic. Această soluție a fost prezentată și diseminată și de către partenerul Renault Technologie Românie în cadrul companiei Renault.
3. A fost depus un brevet de invenție la OSIM România pentru difuzorul de aer cu inducție ridicată și amestec îmbunătățit, rezultat în urma cercetărilor acestui proiect (A/00299 din 06.06.2024). Brevetul protejează inovația adusă de geometria specială a difuzorului, care permite o uniformizare mai eficientă a fluxului de aer și o îmbunătățire semnificativă a confortului termic în vehicule. Prin acest brevet, se asigură protecția intelectuală a soluției tehnice inovatoare și se creează premisele pentru valorificarea comercială a rezultatelor proiectului.

5.2 Diseminarea rezultatelor proiectului:

5.2.1 Publicații Științifice indexate Web of Science

Articolele publicate în jurnale indexate Web of Science și lucrările prezentate la conferințe internaționale indexate Web of Science acoperă diverse aspecte legate de confortul termic, optimizarea fluxului de aer și utilizarea tehnologiilor de imprimare 3D pentru dezvoltarea difuzoarelor de aer inovative. Prin investigarea numerelor Reynolds scăzute pentru jeturile de aer și prin dezvoltarea unor sisteme de încălzire inovative, articolele explorează metode avansate de îmbunătățire a confortului termic în vehicule. Utilizarea tehnologiilor de imprimare 3D este esențială pentru crearea și testarea difuzoarelor de aer inovative, permițând realizarea unor geometrii complexe care contribuie la o inducție și un amestec mai eficient al aerului. Un alt aspect important abordat în articole este reducerea poluării aerului interior și îmbunătățirea eficienței energetice prin ventilație personalizată, toate acestea fiind direct relevante pentru proiectul de dezvoltare a difuzoarelor de aer inovative. Studiile asupra sistemelor de stocare a energiei electrice în vehicule și despre confortul termic completează imaginea de ansamblu a eforturilor de a crea un mediu interior

confortabil și eficient din punct de vedere energetic în vehiculele cu motor cu ardere internă și mai ales în cele cu propulsie electrică.

5.2.1.1 Jurnale indexate Web of Science cu Factor de Impact

Autorii cu numele îngroșat fac parte din echipa proiectului, toate articolele având acknowledgment proiectul de cercetare INNOVENT.

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. **Florin BODE, Ilinca NASTASE**, Numerical investigation of very low Reynolds cross orifice jet for personalized ventilation applications in aircraft cabins, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, ISSN: 1660-4601; *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2023, 20(1), 740; <https://doi.org/10.3390/ijerph20010740>, 2023.
3. **Florin BODE, Nicolae Vlad BURNETE, Lucian FECHETE TUTUNARU, and Ilinca NASTASE**. Improving Electric Vehicle Range and Thermal Comfort through an Innovative Seat Heating System, *Sustainability*, 15, no. 6: 5534. <https://doi.org/10.3390/su15065534>, 2023.
4. **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.
5. **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.
6. Diana LEMIAN, **Florin BODE***, Battery-Supercapacitor Energy Storage Systems for Electrical Vehicles: A Review, *Energies*, 2022, 15(15), 5863, <https://doi.org/10.3390/en15155683>, IF2021: 3.252 (Q3), ISSN: 1996-1073, 2022. *Premiul pentru Cel Mai Bun Articol al Anului 2022 în Jurnalul Energies (Best Paper Award) fiind nominalizat în baza de date Web of Science ca „Extrem de citat” (Highly cited paper) în zona primelor celor mai citate 1% articole științifice indexate Web of Science din categoria “Engineering”.*
7. **Ilinca NASTASE, Paul DANCA, Florin BODE*, Cristiana CROITORU, Lucian FECHETE, Mihnea SANDU, Costin Ioan COȘOIU**, A regard on the thermal comfort theories from the standpoint of Electric Vehicle design — Review and perspectives, *Energy Reports*, Volume 8, November 2022, Pages 10501-10517, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.08.186>, ISSN 2352-4847, IF:2021:4.937 (Q2), 2022

5.2.1.2 Lucrări științifice indexate Web of Science

8. **Titus JOLDOS, Florin BODE***, Dan OPRUȚA, Numerical and experimental studies to increase the HVAC fan performance for electrical vehicles – Part 1, The 8th Conference of the Sustainable Solutions for Energy and Environment, EENVIRO 2022, Bucharest, Romania, 17-20 Oct 2022
9. **Titus JOLDOS, Florin BODE***, Dan OPRUȚA, Numerical and experimental studies to increase the HVAC fan performance for electrical vehicles – Part 2 The 8th Conference of the Sustainable Solutions for Energy and Environment, EENVIRO 2022, Bucharest, Romania

5.2.2 Publicații științifice și prezentări la conferințe

Rezultatele au fost prezentate la mai multe conferințe internaționale de renume, organizate în România, Uniunea Europeană sau în afara Europei cum ar fi EENVIRO 2022, IAQVEC 2023, SUDBE 2023, MTEM 2023, ICERE 2024, INNOEE 2024. Aceste prezentări au oferit o platformă pentru discutarea inovațiilor și pentru schimbul de idei cu alți experți din domeniu. Cu litere îngroșate sunt evidențiați autorii care sunt membrii în echipa proiectului, toate prezentările având acknowledgment proiectul de cercetare INNOVENT.

1. **Florin BODE, Titus JOLDOS, Ilinca NASTASE, Gabriel Mihai SIRBU, Paul DANCA**, Enhancing air mixing through air diffusers for ventilation in vehicles and enclosed spaces, Acceptat spre prezentare orală la INDOOR AIR 2024 – 18th Conference of the International Society of Indoor Air Quality and Climate - Sustaining the Indoor Air Revolution: Raise Your Impact, SUA (2024, 7-11 July)
2. **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 (Figura 26a).
3. **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 (Figura 26b) – **KeyNote Speaker**
4. **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
5. **Titus OTNIEL JOLDOS, Lucian FECHETE TUTUNARU, Matei GEORGESCU**, Advancements in 3D printing techniques for low-speed aerodynamics in vehicle ventilation, The 15th International Conference on Modern Technologies in Manufacturing (MTEM2023), 18-20 October 2023 – Cluj-Napoca, Romania (Figura 26c)
6. **Florin BODE, Titus JOLDOS, Ilinca NASTASE, Gabriel Mihai SIRBU**, Numerical study on high induction air diffusers for improved indoor environmental quality in vehicles, IAQVEC 2023, the 11th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings (IAQVEC 2023), Tokyo, May 20-23, 2023 (Figura 26d).
7. **Florin BODE, Titus JOLDOS, Gabriel Mihai SIRBU, Paul DANCA, Ilinca NASTASE**, Novel air diffuser with increased induction of ambient air for ventilation in vehicles, Sustainable Development in Building and Environment Conference (SUDBE 2023), 14-18th August 2023, Espoo, Finland (Figura 26e)
8. **Florin BODE, Amaury JAMIN, Gabriel Mihai SIRBU**, Influence of the air diffusers on human thermal comfort inside vehicles – a review article, 27th Power Engineering and Power Machines Conference - PEPM 2022, Bulgaria, 16-19 Sep 2022 (Figura 26f) - **KeyNote Speaker**



Figura 26 Prezentări la conferințele a. ICERE2024, b. INNOEE2024, c. MTEM 2023, d. IAQVEC2023, e. SUDBE2023, f. PEPM2024

5.2.3 Workshop-uri și Întâlniri de Lucru

În cadrul proiectului s-au organizat 3 workshop-uri (2 în anul 2022 și ultimul la finalul proiectului în 2024) cu ocazia unor conferințe. În cadrul etapei 1 -2022 a avut loc un workshop online în data de 29.08.2022 de prezentare a rezultatelor și soluțiilor aferente T1.1 și T1.2 proiectului între echipele implicate în proiect, precum și a direcției viitoare de abordare a următoarelor activități din cadrul proiectului. Un alt workshop a avut loc în data de 17.10.2022, ca sesiune paralelă în cadrul conferinței internaționale EENVIRO 2022, fiind cuprins în programul conferinței (Figura 27a). Sesiunea de workshop a avut loc între orele 14:30-15:30 (Sala I.4) și au participat membrii din ambele echipe ale proiectului. La întâlnire s-au analizat rezultatele obținute și s-au prezentat direcțiile viitoare de parcurs în cadrul proiectului, pe termen scurt, mediu și lung. Un ultim workshop s-a organizat pe 30 mai 2024, ora 16:00-17:00, la Universitatea Tehnică de Construcții din București, în Aula Constantin Iamandi. Participanții au avut ocazia să afle detalii despre realizările cheie ale proiectului INNOVENT (Figura 27b).

O broșură informativă cu informații legate de rezultatele din proiect a fost realizată și diseminată către colaboratori și potențiale alte contacte (Figura 27c).



Figura 27 Workshop-uri în cadrul proiectului a. EENVIRO 2022 b. 2024

Au fost realizate multiple întâlniri de lucru între echipele implicate (RTR + UTGB), atât online (Figura 28a) cât și fizic, la sediul partenerului RTR (Figura 28b) sau la UTGB (Figura 28c), ori de câte ori a fost nevoie, pentru a discuta progresul, pentru a planifica activitățile viitoare, pentru efectuarea de măsurări, prelucrarea de date sau scrierea de articole în vederea diseminărilor. Aceste întâlniri au facilitat colaborarea eficientă și au asigurat alinierea tuturor părților implicate la obiectivele proiectului.



Figura 28 Întâlniri de lucru în cadrul proiectului între membrii celor doi parteneri (UTGB + RTR)

Activitățile de diseminare realizate în cadrul acestui proiect de cercetare au fost foarte importante pentru prezentarea rezultatelor și inovațiilor cu comunitatea științifică și industrială. Publicațiile științifice indexate Web of Science și prezentările la conferințele internaționale au acoperit aspecte diverse legate de confortul termic, optimizarea fluxului de aer și utilizarea tehnologiilor de imprimare 3D pentru dezvoltarea difuzoarelor de aer inovative.

5.2.4 Pagina Web a Proiectului: <http://cambi.utcb.ro/researchprojects/innovent> (Figura 29)

Proiectul a fost prezentat și actualizat constant pe pagina web dedicată, oferind acces public la informații despre obiectivele, progresul și rezultatele proiectului. Aceasta a asigurat o transparență crescută și a facilitat accesul publicului larg și al specialiștilor la datele și concluziile proiectului.

Prin aceste activități, proiectul a reușit să disemineze pe larg rezultatele sale, să implice comunitatea științifică și industrială și să pună bazele pentru implementarea practică a inovațiilor dezvoltate.

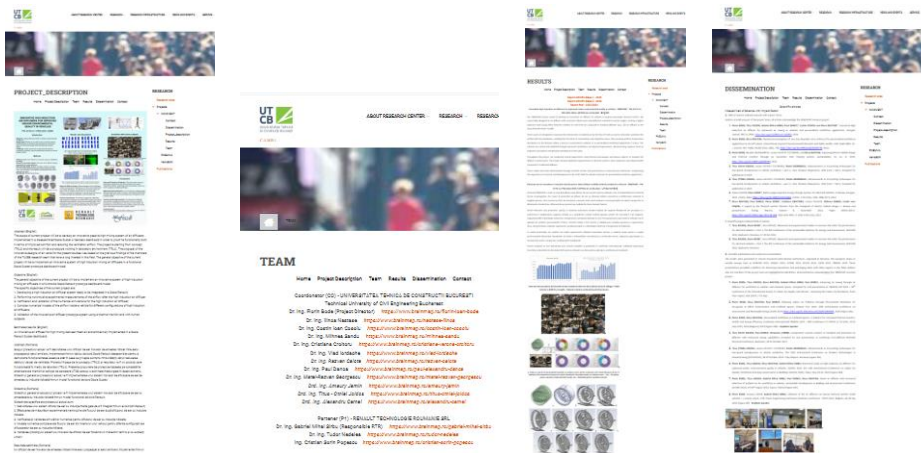


Figura 29 Pagina web a proiectului INNOVENT

6 Prezentarea livrabilelor/indicatorilor obținuți la finalul proiectului comparativ cu cei propuși. Notele și rapoartele tehnice au fost integrate în rapoartele științifice aferente etapelor proiectului.

Nr. crt.	Livrabile/indicatori planificați	Nr.	Livrabile/indicatori realizați	Nr.
1.	Pagina web proiect	1	Pagina web proiect	1
2.	Articole indexate Web of Science	6	Articole indexate Web of Science	9
3.	Articole indexate Web of Science cu factor de impact	2	Articole indexate Web of Science cu factor de impact	7
4.	Participari conferinte	3	Conferences participations	8
5.	Broșură promovare proiect	1	Broșură promovare proiect	1
6.	Workshops	2	Workshops	3
7.	Brevet de invenție	1	Brevet de invenție depus (A/00299 din 06.06.2024)	1

Director de proiect
Dr. ing. Bode Florin Ioan

Notă:

Pe lângă cele menționate mai sus, raportul final trebuie să conțină și o prezentare succintă (2-3 paragrafe) a rezultatelor obținute în cadrul proiectului, rezultate ce urmează a fi diseminate de Autoritatea Contractantă în materiale de promovare a rezultatelor obținute în cadrul programelor de finanțare. Menționăm că acest text trebuie să fie pe înțelesul publicului.

Prezentarea trebuie să fie însoțită de 2-4 poze reprezentative pentru proiect (format JPG).

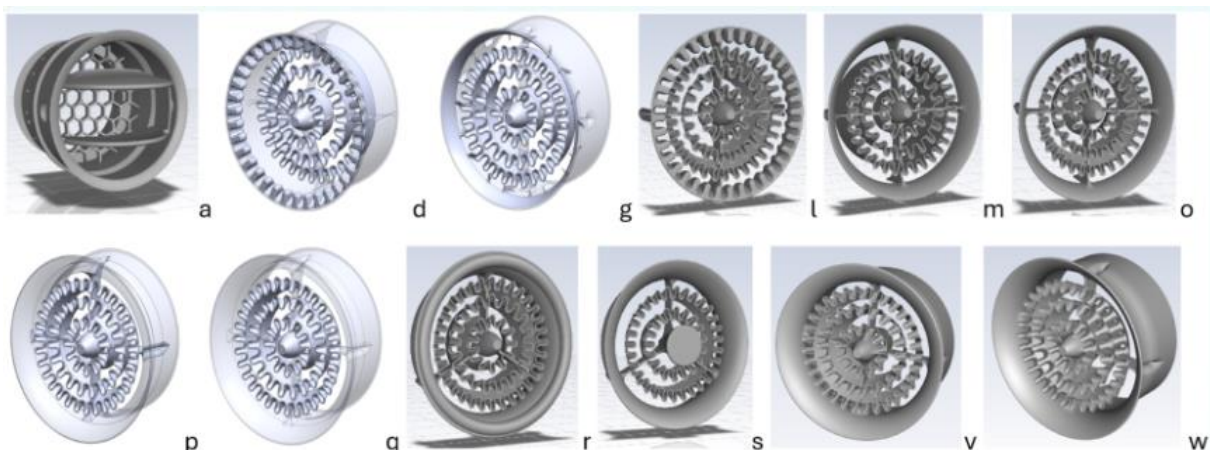
Acestea trebuie să se regăsească și pe pagina web a proiectului.

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

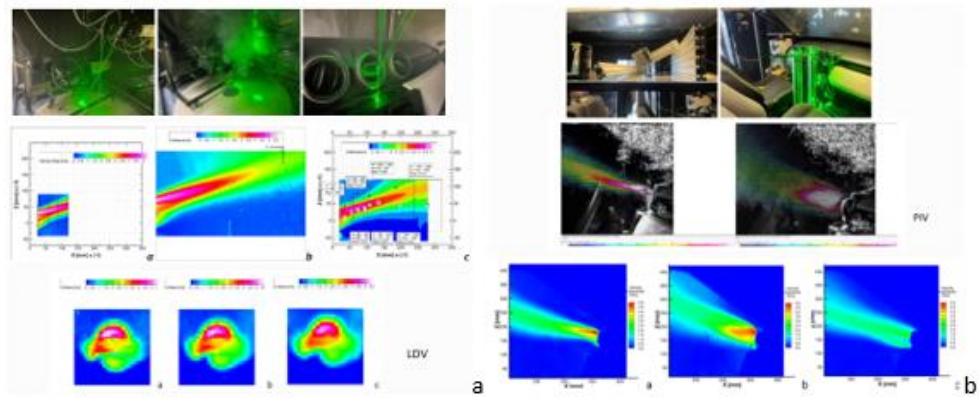
Proiectul INNOVENT a avut ca scop dezvoltarea unui difuzor de aer inovativ pentru vehicule, care să îmbunătățească confortul termic al pasagerilor. S-a reușit proiectarea un difuzor de aer cu eleroane lobate concentrice și deflectoare orientate la unghiuri precise, care creează un efect de antrenare și amestec între aerul ambiant și aerul proaspăt mai ridicat comparativ cu difuzoarele standard (ex: difuzorul de aer prezent pe modelul de Dacia-Renault Duster care a servit ca difuzor etalon în prezentul studiu).

Aceste eleroane sunt proiectate pentru a maximiza antrenarea aerului ambiant de către curgerea fluxului de aer proaspăt și a uniformiza și unidirecționa curgerea aerului cu o turbulență scăzută evitând apariția zonelor de recirculare și de stagnare, asigurând astfel o distribuție uniformă a temperaturii a aerului la distanța la care este poziționată o persoană în vehicule sau în alte aplicații de ventilare personalizată (~0.6m). Această soluție a fost testată și validată prin simulări numerice și experimente fizice, demonstrând o antrenare superioară a aerului proaspăt și o distribuție uniformă a temperaturii în habitacul.

În cadrul proiectului, s-au realizat mai multe experimente utilizând instrumente speciale pentru măsurarea câmpurilor de viteză a aerului, evaluarea confortului termic, manechine termice și subiecți umani pentru a putea evalua performanțele difuzorului de aer. Rezultatele au arătat o îmbunătățire semnificativă a confortului termic, reducerea zgomotului și a senzației de curent, comparativ cu difuzoarele tradiționale. Aceste rezultate au fost diseminate prin articole științifice și prezentări la conferințe internaționale, subliniind importanța cercetării și dezvoltării în domeniul HVAC a astfel de difuzoare de aer pentru vehicule sau chiar pentru aplicații în ventilarea personalizată.



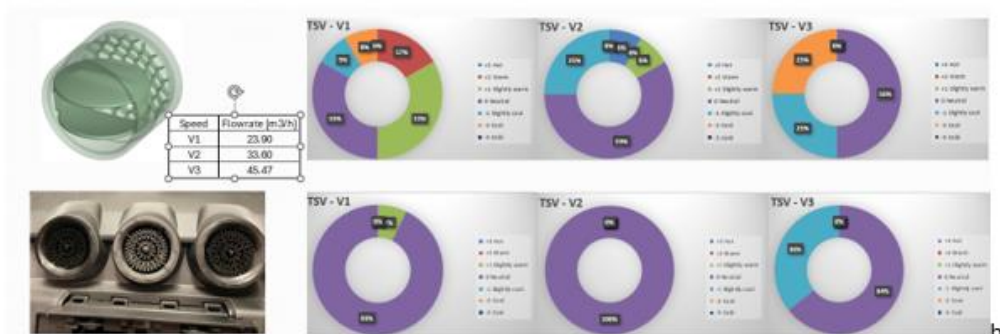
Difuzoare de aer testate a. etalon d-w inovative



Standuri experimentale și măsurări prin tehnicile a. LDV b. PIV



Rata de inducție pentru difuzoarele de aer studiate la 600 mm de la planșa de bord: Stânga – Debit volumic la 600mm, Dreapta – Rata de creștere a inducției curentului de aer.



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