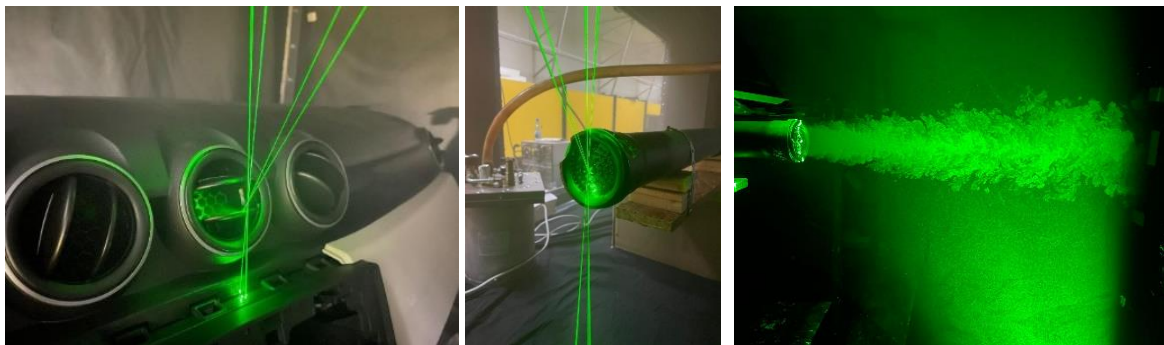


Program P2 - Creșterea competitivității economiei românești prin CDI
Proiect experimental demonstrativ (PED)

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

Etapă 2 - 2023

01.01.2023 – 31.12.2023

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 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 atmosferei cabinei este uniformizarea fluxului de aer 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 antrenarea de aer ambiant, de către fluxul de aer vehiculat de către sistemul de ventilație prin difuzorul de aer cu eleroane lobate s-a constatat a fi mai mare decât în cazul 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	9	20	21	22	23	24
WP0	Project Management	CO	[Gantt bar]																							
T0.1	Coordination and follow up of the project progress	CO	[Gantt bar]																							
T0.2	Communication between partners and reporting results	CO	[Gantt bar]																							
T0.3	Administrative and financial coordination	CO	[Gantt bar]																							
WP1	Requirement formulation	P1	[Gantt bar]																							
T1.1	Requirements prescription for the concept of innovative air diffuser in terms of thermal comfort	CO	[Gantt bar]																							
T1.2	Requirements prescription for the concept of innovative air diffuser system in terms of energy consumption	P1	[Gantt bar]																							
T1.3	Preliminary conception definition for the proposed innovative air diffuser system	CO/P1	[Gantt bar]																							
WP2	Innovative air diffusers design and testing	CO	[Gantt bar]																							
T2.1	Design of the air diffusers	CO	[Gantt bar]																							
T2.2	Numerical simulation of the airflow through the air diffusers	CO	[Gantt bar]																							
T2.3	3D print for the designed innovative diffusers	CO	[Gantt bar]																							
T2.4	Particle Image Velocimetry experimental measurements	CO	[Gantt bar]																							
T2.5	LDV experimental measurements	CO	[Gantt bar]																							
T2.5	Iteration on specifications	CO	[Gantt bar]																							
WP3	Integration of the innovative air diffusers prototypes in the Renault Duster prototype dashboard model and testing	CO	[Gantt bar]																							
T3.1	Integration of the innovative air diffusers prototypes in the Renault Duster prototype dashboard model	CO/P1	[Gantt bar]																							
T3.2	LDV experimental measurements for the integrated air diffusers	CO	[Gantt bar]																							
T3.3	Particle Image Velocimetry experimental measurements	CO	[Gantt bar]																							
T3.4	Complex numerical simulation of the airflow for different configurations	CO/P1	[Gantt bar]																							
WP4	Validation of the innovative air diffusers prototype system	CO	[Gantt bar]																							
T4.1	Acoustical analysis	P1	[Gantt bar]																							
T4.2	Thermal comfort evaluation	CO	[Gantt bar]																							
WP5	Dissemination	CO	[Gantt bar]																							
T5.1	Developing the visual identity of the project	CO	[Gantt bar]																							
T5.2	Valorification and exploitation of the project results	CO	[Gantt bar]																							
T5.3	Develop and maintain the project website	CO	[Gantt bar]																							

Figura 1 Diagrama Gantt corespunzătoare proiectului

WP 2 Designul și testarea difuzoarelor de aer inovatoare

T2.2 Simularea numerică a fluxului de aer prin difuzoarele de aer inovative propuse (Noiembrie 2022-Martie 2023 - realizat)

Etapa 2023 – Simularea numerică a curgerii aerului prin prototipurile de difuzoare de aer (realizat)

În continuare, în etapa a 2 a activității T2.2 s-a impus debitul pentru treapta a 2a de turație a ventilatorului HVAC, aferent difuzorului de aer situat în centru stânga (CLD) pentru toate difuzoarele de aer rezultate din activitatea T2.1.

Rezultatele au fost prelucrate ținându-se cont de rata de antrenare a aerului ambiant de către aerul proaspăt vehiculat de către ventilatorul HVAC pentru treapta 2.

Rezultatele simulării numerice pentru difuzorul de aer din automobilul Dacia Duster sunt prezentate în Figura 2. Astfel se poate vedea distribuția câmpului de viteză în plan longitudinal (stânga), transversal la 100mm de panoul de bord (imaginea din mijloc), transversal la 600mm de bord de panoul de bord (dreapta) (Figura 2).

Au fost studiate prin simulare numerică mai bine de 30 de geometrii de difuzoare de aer în afară de geometria etalon a difuzorului etalon prezent pe automobilul Renault Duster. Geometriile difuzoarelor de aer au rezultat în urma concluziilor obținute din analizarea rezultatelor succesive ale simulărilor numerice secvențiale a geometriilor analizate pe parcurs. Astfel, s-a observat că o buză rotunjită a ieșirii din difuzorul de aer, favorizează o rată mai mare de antrenare, la fel ca o dispunere a lamelor de ghidaj la diferite unghiuri, unghiul crescând de la interior spre exterior, față de utilizarea aceluiași unghi de inclinare pentru toate lamelele. Din aceste geometrii, în Figura 2 sunt prezentate rezultatele a 12 difuzoare de aer analizate prin simulare numerică, împreună cu difuzorul de aer etalon.

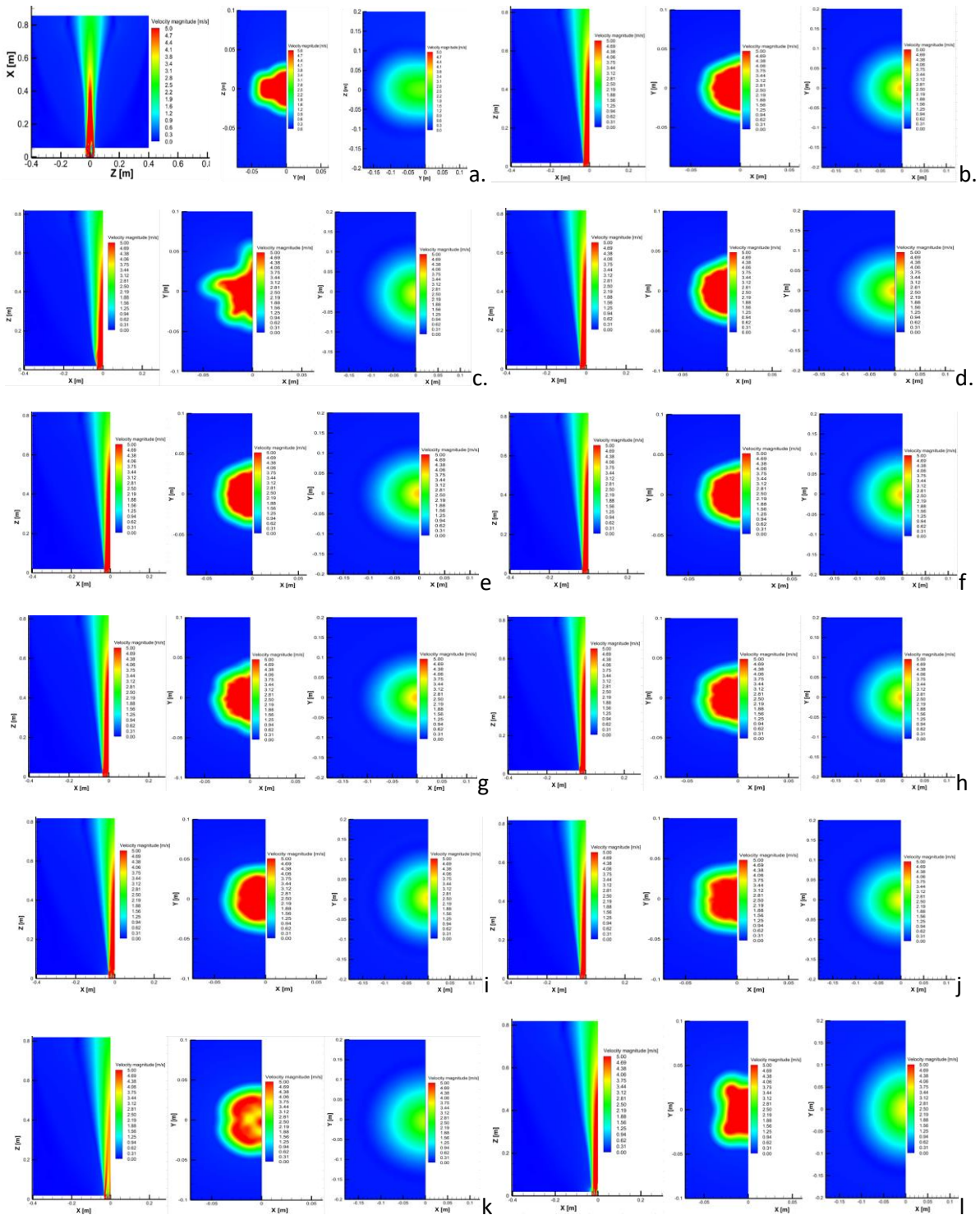


Figura 2 Distribuția câmpului de viteză pentru o parte din difuzoarele de aer analizate: Stânga – Longitudinal, Mijloc – Transversal la 100mm de planșa de bord, Dreapta – Transversal la 600mm de planșa de bord a. Cazul A - Difuzor etalon (Renault Duster) b. Cazul B - Difuzor cu lobi concentrici cu lamele ghidaj dispuse la 0° c. Cazul C - Difuzor cu lobi concentrici cu lamele ghidaj dispuse la 0° și generatori de turbulență pe exterior aerator, d. Cazul D - Difuzor cu lobi concentrici cu lamele ghidaj dispuse la 5° , e. Cazul E - Difuzor cu lobi concentrici cu lamele ghidaj dispuse la 10° , f. Cazul F - Lobi concentrici (același plan) cu lamele ghidaj dispuse la 0° , g. Cazul G - Lobi concentrici (același plan) cu lamele ghidaj dispuse la 5° , h. Lobi concentrici (același plan) cu lamele ghidaj dispuse la 10° , i. Cazul I - Generatori de turbulență - lobi concentrici (același plan) cu lamele ghidaj 0° , j. Cazul M - Difuzor cu lobi concentrici (același plan) cu lamele ghidaj dispuse la 0° - buza rotunjită, k. Cazul O - Difuzor cu lobi concentrici (același plan) cu lamele ghidaj dispuse la diferite unghiuri - buza rotunjită, l. Cazul V - Difuzor de aer care are rata unghiurilor lamelor deflectoare care respecta o creștere specifică

O informație extrem de importantă în vederea atingerii obiectivelor proiectului este evaluarea debitului de aer din mediul ambiant antrenat de către aerul vehiculat prin aeratorul analizat. Această informație se poate obține prin postprocesarea rezultatelor numerice în programul Tecplot, astfel s-a determinat că la distanța de 0.6m de planșa de bord, debitul de aer este de 73.359 m³/h, față de valoarea vehiculată prin aerator care este de 31.78 m³/h. Se observă că rata de antrenare este de 2.31 pentru difuzorul de aer etalon din Duster. În același mod au fost evaluate toate difuzoarele de aer analizate. Astfel, în tabelul următor se pot vedea rezultatele comparative ale prelucrării datelor numerice pentru 20 de difuzoare de aer.

Tabel 1 Rezultatele comparative ale prelucrării datelor numerice ale cazurilor studiate prin simulare numerică

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	Adimensionalizare	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 concentrici 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 - 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%

Astfel, se observă că în cazul V, corespunzător difuzorului cu lobi concentrici (în același plan) cu lamele ghidaj dispuse la o rata a creșterii unghiului de 1.618 (golden ratio), buza rotunjită, rata de antrenare a aerului ambiant este cu 49% mai ridicată decât pentru cazul etalon.

T2.3 Imprimarea 3D a difuzoarelor de aer (Decembrie 2022 - Aprilie 2023: Realizat)

Imprimarea 3D pentru difuzoarele inovatoare proiectate, care vor fi realizate cu ajutorul unei imprimante 3D, va debuta în luna Decembrie, executându-se acele difuzoare de aer care au un grad ridicat de antrenare, conform simulărilor numerice care se vor efectua pentru aeratoarele simulate numeric în activitatea T.2.2. În prima etapă au fost executate prin imprimare 3D, o serie de difuzoare de aer, pentru evaluarea calității suprafețelor în vederea determinării celei mai bune metode de imprimare 3D pentru obținerea unei calități cât mai bune. Pentru aceasta au fost abordate 4 tehnologii diferite de imprimare 3D, fiecare dintre acestea având o serie de avantaje și dezavantaje față de celelalte tehnologii.

1. Tehnica FDM: Astfel, în această primă fază, s-a imprimat 3D prin tehnica FDM (Fused Deposition Modeling): Aceasta este cea mai răspândită tehnologie de imprimare 3D. FDM implică extrudarea unui material termoplastic, prin intermediul unui cap de imprimare care se deplasează în coordonatele X, Y și Z. Materialul este topit și depus în straturi subțiri succesive, care se răcesc și se solidifică rapid, formând obiectul imprimat. Au fost utilizate 2 materiale diferite pentru imprimarea 3D a 3 modele și anume: PLA (acid polilactic) și ABS (acid acrilonitril-butadien-stiren). Totuși, datorită depunerii succesive a straturilor și din cauza rezoluției limitate, piesele nu corespund din punct de vedere calitativ.

2. Tehnica SLS (Selective Laser Sintering) utilizează un laser pentru a topi și a sintetiza în mod selectiv un material granular, cum ar fi pulberea de poliamidă (nylon), pentru a forma obiectul imprimat. Laserul încălzește și "sinterizează" (unește) particulele de pulbere în straturi subțiri pentru a crea obiectul dorit. Piesa imprimată prin această tehnică a avut o calitate superioară celor imprimate prin tehnica FDM. Totuși, în zona lobilor, arcul de cerc a fost executat în anumite zone în trepte, ceea ce afectează curgerea aerului prin acele zone.

3. Tehnica DLP (Digital Light Processing): Această tehnologie utilizează o sursă de lumină, cum ar fi un proiector digital, pentru a întări straturile succesive de rășină fotosensibilă. În loc de un laser, un model 2D al stratului este proiectat pe rășină, solidificând-o și construind obiectul în straturi subțiri. Platforma pe care se află obiectul este ridicată treptat din rășină pentru a crea noi straturi. Calitatea produsă a fost superioară din punct de vedere a aerodinamicității acestuia dar datorită detaliilor la o rezoluție ridicată unele dintre acestea nu au fost reprezentate corect.

4. Tehnica SLA (Stereolithography): Această tehnică utilizează o rășină fotosensibilă lichidă care se întărește sub acțiunea unui laser ultraviolet. Un laser este focalizat pe suprafața rășinii pentru a polimeriza și a solidifica straturile succesive ale obiectului. Platforma pe care se află obiectul este ridicată treptat din rășină pentru a crea noi straturi. Calitatea piesei a fost superioară din toate punctele de vedere mai sus amintite, față de celelalte tehnologii utilizate, astfel, difuzorul de aer final a fost executat prin imprimarea 3D cu această tehnică.



Figura 3 Imagini din cadrul etapei de imprimare 3D

Pentru cea de-a 2 etapă, pentru asigurarea interschimbării difuzoarelor de aer în planșele de bord furnizate de către partenerul RTR, s-a scanat 3D un difuzor de aer prezent în Dacia/Renault Duster utilizându-se un scanner 3D de la Creaform (HandySCAN 3D). Dintre specificațiile tehnice ale acestui scanner se pot aminti precizia și rezoluția: astfel are o precizie de până la 0,030 mm, o rezoluție punctuală de până la 0,050 mm și o rezoluție volumetrică de până la 0,100 mm/m. Ulterior piesa s-a curățat și s-a importat în programul SolidWorks unde s-a înlocuit geometria originală cu geometria obținută din rezultatele etapei de simulare numerică, păstrându-se toate detaliile de prindere ale acestui difuzor pentru o montare facilă în planșa de bord. Pentru imprimarea 3D s-au utilizat toate tehnicile menționate anterior. În cadrul acestei activități, s-au efectuat o serie de studii pentru determinarea celei mai bune soluții pentru imprimarea 3D pentru aeratoarele rezultate din simularea numerică.

În primul studiu s-a determinat că tehnica SLA (Stereolitografie) depășește alte metode de imprimare 3D precum DLP (Procesare Digitală a Luminii), SLS (Sinterizare Selectivă cu Laser) și FDM (Modelare

prin Depunere de Material Topit) pentru fabricarea difuzoarelor de aer destinate sistemelor HVAC în vehicule. Concluziile se bazează pe mai mulți factori cheie care contribuie la superioritatea tehnicii SLA în această aplicație specifică. În primul rând, SLA oferă o precizie superioară în producerea geometriilor complexe și a detaliilor foarte fine, ceea ce este esențial pentru performanța eficientă și optimizată a difuzoarelor de aer. Capacitatea de rezoluție ridicată a tehnicii SLA asigură producerea suprafețelor netede, dimensiunilor precise și a caracteristicilor intricate necesare pentru distribuția eficientă a aerului, esențială pentru aplicațiile aerodinamice.

În plus, procesul SLA permite producția de difuzoare de aer cu un nivel ridicat de complexitate, inclusiv lobi necesari pentru fenomenul de aspirație a aerului ambiant în fluxul de aer. Aceste caracteristici de design contribuie la îmbunătățirea inducerii aerului, amestecarea mai bună a aerului proaspăt și a celui ambiant și distribuția superioară a aerului condiționat în interiorul cabinelor vehiculelor, maximizând calitatea mediului interior. Astfel, tehnica SLA oferă o viteză de imprimare relativ mai mare în comparație cu alte metode de imprimare 3D, permițând producția eficientă a difuzoarelor de aer pentru sistemele HVAC în vehicule. Acest timp de producție mai scurt este avantajos pentru industriile care necesită prototipuri rapide și producție personalizată de difuzoare de aer pentru diferite modele de vehicule. În ansamblu, rezultatele acestei studii susțin ferm ideea că tehnica SLA reprezintă alegerea superioară pentru imprimarea 3D a difuzoarelor de aer destinate sistemelor HVAC în vehicule. Combinarea preciziei, versatilității materialelor, capacităților de design complex, stabilitatea dimensională și producția eficientă fac din SLA soluția ideală pentru obținerea calității optime a mediului interior și a confortului termic în vehicule.

Prin utilizarea tehnologiilor și metodologiilor de ultimă generație, am 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 R_a și R_z , 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 acurateței 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.

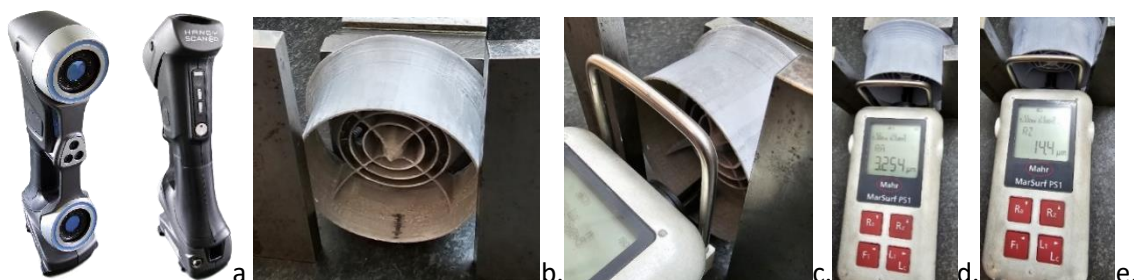


Figura 4. a. HandyScan 700 Silver Series, Creafom 3D; b. Așezarea difuzorului în vederea efectuării măsurătorilor de rugozitate; c. Poziționarea echipamentului MarSurf PS1; d. Măsurarea parametrului R_a ; e. R_z

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.

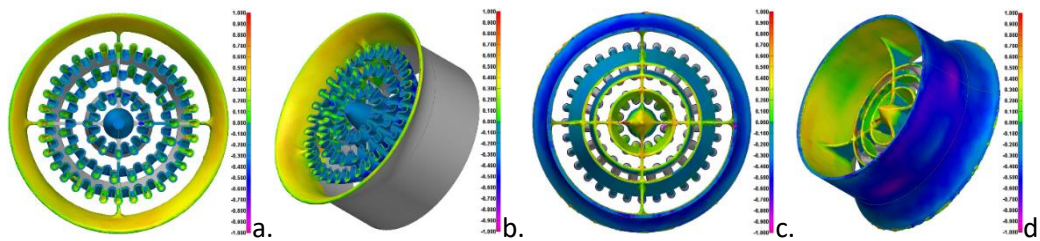


Figura 5 Măsurători pentru tehnica SLA - a. Vedere frontală; b. Vedere din partea de jos, în stânga c. Vedere din spate; d. Vedere din partea de jos, în dreapta

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.

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 palelor 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 paletei este din nou, cu un unghi corect, dar deviația este inversată față de celelalte două, având o deviere de +0,18mm.

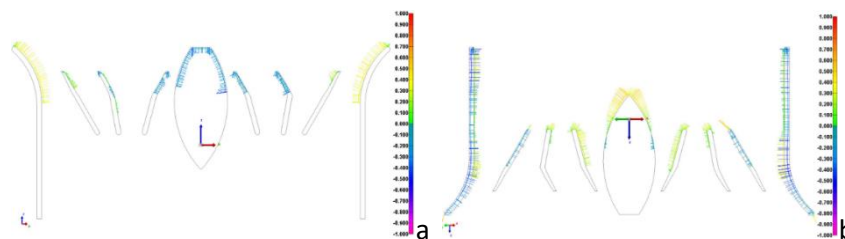


Figura 6 Vedere secționată a măsurătorilor SLA din a. partea frontală; b. partea din spate

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 ferm ideea că tehnica SLA reprezintă alegerea superioară pentru imprimarea 3D a difuzoarelor de aer pentru sistemele HVAC în vehicule. Combinarea preciziei, versatilității materialelor, capacităților de design complex, stabilității dimensionale și producției eficiente fac din SLA soluția ideală pentru obținerea calității optime a mediului interior și a confortului termic în vehicule.

T2.4 Măsurări experimentale utilizând tehnica Particle Image Velocimetry (Dec. 2022-Feb. 2023)

În această activitate, măsurările experimentale PIV (Particle Image Velocimetry) au fost realizate în laboratorul de cercetare CAMBI utilizând camera climatică, unde s-a măsurat câmpul de viteză al curgerii de aer prin difuzorul de aer inovator, rezultat la finalul activității T2.2.

Pentru această activitate a fost construit un stand experimental special adaptat pentru testarea modelelor de difuzoare. Acesta este compus dintr-un ventilator axial ce permite variația debitului, o camera de liniștire, o conductă cu lungimea de 1500 mm și diametrul de 70 mm, o zonă de tip HoneyComb și difuzorul de aer testat. Astfel, în Figura 7 se poate vedea standul experimental realizat pentru aceste măsurări iar în Figura 8a se poate vedea o vedere din față. În Figura 8b se poate vedea schița ansamblului experimental pregătit pentru măsurările PIV.

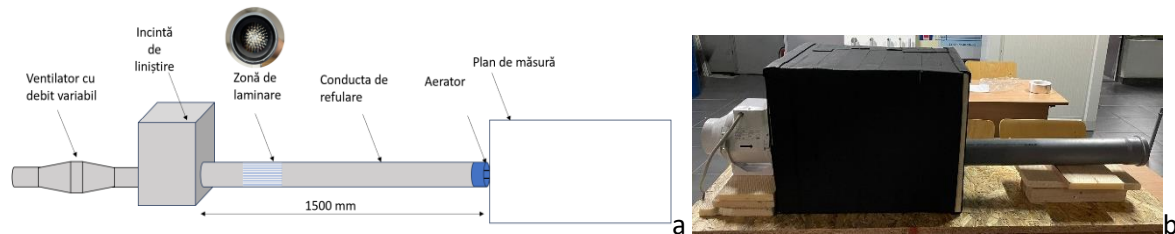


Figura 7. Stand experimental realizat pentru încercarea difuzoarelor de aer a. Schița b. Experimental

Măsurătorile PIV au fost realizate cu tehnica PIV disponibilă în cadrul UTCB, schița configurației experimentale fiind prezentată în Figura 8b. Laserul a fost poziționat astfel încât ca planul de lumină creat de acesta să fie vertical și pe centrul difuzorului. Camera de luat vederi a fost poziționată în lateralul standului, cu obiectivul paralel cu planul de lumină generat de către laser. Pentru a capta cât mai mult din zona investigată, camera a fost amplasată la distanța de 170 cm perpendicular pe planul luminos. Următorul pas înainte de măsurători a constat în calibrarea sistemului, prin care au fost făcute reglaje fine ale laserului și ale camerei, precum cele de a furniza informații dimensionale măsurărilor PIV. Astfel s-a stabilit relația dintre dimensiunea zonei de investigație din curgerea analizată și dimensiunile imaginii obținute în pixeli.

După calibrarea sistemului PIV au fost realizate mai multe seturi de măsurători, cu cele două geometrii de difuzoare alese. Debitul impus a fost similar cu cel măsurat în cazul planșei de bord din standul experimental real. Pentru fiecare set de măsurători au fost captate 200 de perechi de imagini, timpul de captură Δt a avut mai multe valori 100, 200 și 500 μs . Valoarea ratei de achiziție a fost 4Hz.

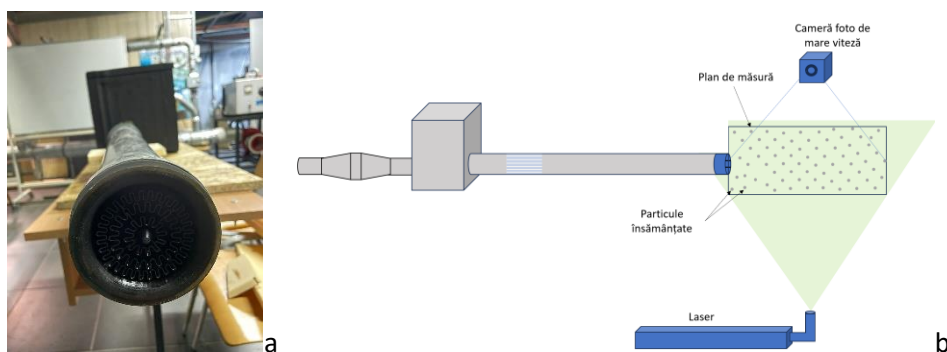


Figura 8. Stand experimental pentru încercarea difuzoarelor de aer a. Vedere din față b. Schița pentru măsurarea PIV

Tratarea datelor obținute în cadrul măsurărilor 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.

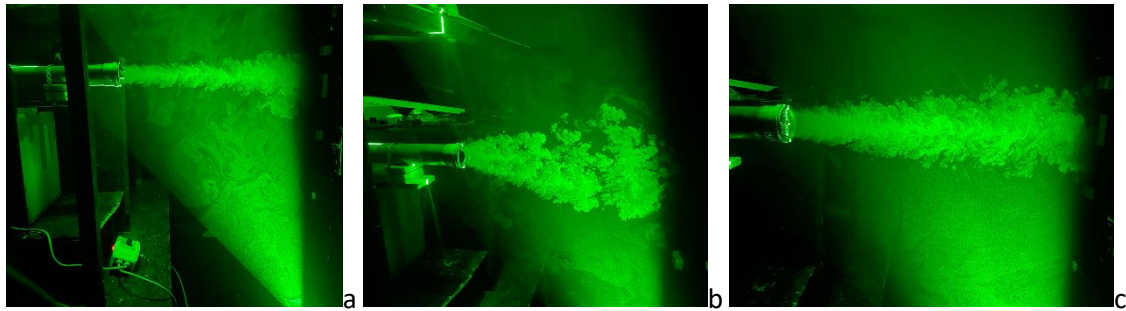


Figura 9. Măsurări PIV a.b. Aerator Duster a. plan vertical b. plan orizontal c. Aerator lobat

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 câteva exemple din măsurările efectuate, iar în Figura 11 rezultatele prelucrate în urma măsurărilor PIV.

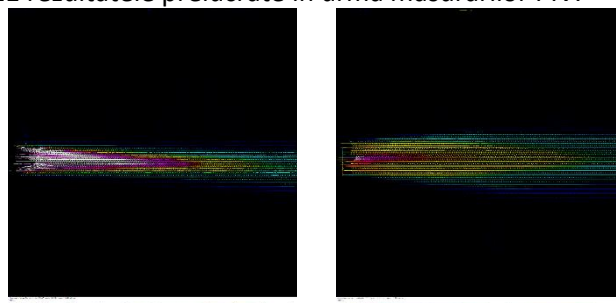


Figura 10. Câmpuri de viteze măsurate prin tehnica PIV

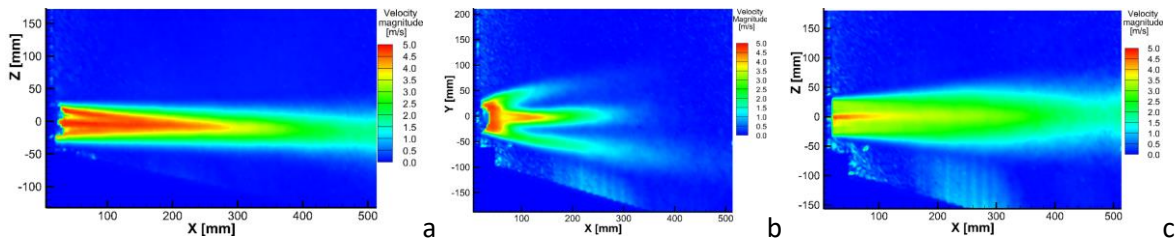


Figura 11. Câmpuri de viteze măsurate prin tehnica PIV

T2.5 Măsurări experimentale utilizând tehnica Laser Doppler Velocimetry (Ian - Mar 2023: Realizat)

Același stand experimental conceput pentru măsurările din T2.4, a fost utilizat și pentru aceste măsurări experimentale. Scopul este de a măsura intensitatea turbulenței jetului de aer și de a obține viteza instantanee a curgerii din difuzoarele de aer. Măsurarea a fost efectuată în cadrul laboratorului TASL1 de la UTCB.

Prima etapă a constat în verificare, alinierea laserelor și calibrarea acestora. Alinierea laserelor constă în poziționarea celor două sonde astfel încât punctul de intersecție a perechilor de fascicule să coincidă. Calibrarea constă în determinarea matricei de corelare și introducerea valorilor acesteia în programul de control și măsură – cele 6 fascicule laser au fost trecute printr-un pinhole (dispozitiv calibrare) și au fost notate coordonatele pe cele 3 axe. Cu ajutorul unui program de calcul complex în care sunt introduse coordonatele au rezultat valorile matricei folosite pentru calibrarea sistemului LDV. În urma proceselor detaliate anterior, sistemul LDV a fost pregătit pentru măsurări (Figura 12).

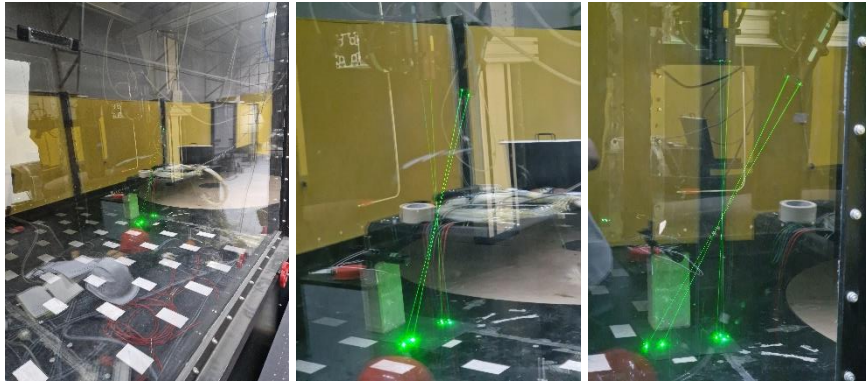


Figura 12 Calibrare sistem LDV

Următorul pas a fost pregătirea incintei în care se vor realiza măsurătorile. Sistemul LDV este amplasat într-un tunel a cărui dimensiuni sunt $L \times l \times h$ $50 \times 1,8 \times 1,8$ m. Pentru un asemenea volum, ar fi fost necesară o cantitate mare de particule. În plus pentru măsurătorile necesare lungimea maximă necesară este de 5 m.

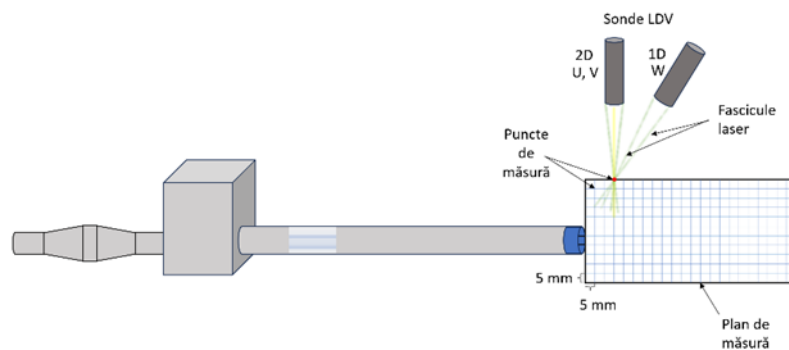


Figura 13 Schiță măsurare tehnică LDV

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

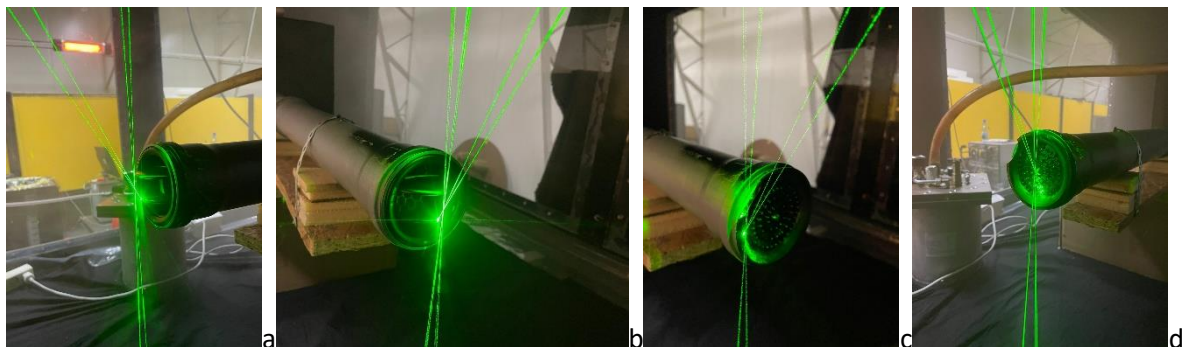


Figura 14 Măsurări LDV. a. b. Aerator clasic; c. d. Aerator inovativ

Mediul de măsură a fost însămânțat cu particule, acestea fiind generate cu un atomizator și un compresor. Pentru însămânțare s-a utilizat ulei de măsline. Standul experimental prezentat anterior a fost poziționat pe centrul canalului la o înălțime de 0.30 m.

Poziția punctelor de măsură s-a realizat cu un sistem de traverse. Au fost realizate măsurări în puncte atât într-o serie de planuri de interes (transversale și longitudinale), cât și păstrând direcția unor linii importante cum ar fi: descreșterea valorii vitezei axiale în centrul axei sau determinarea profilului de viteză vertical și orizontal la diverse distanțe într-un plan transversal de gura difuzorului de aer.

Au fost realizate o serie de măsurări experimentale cu această tehnică iar rezultatele pot să fie văzute în Figura 15.

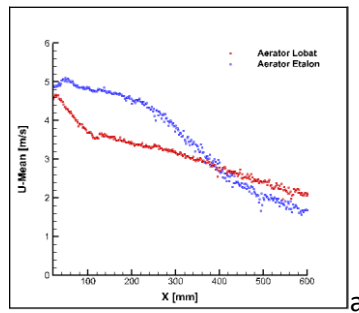


Figura 15. Rezultate măsurări LDV - Descreșterea vitezei axiale

Profilele de viteză în planul de măsurare LDV vertical și cel orizontal pot să fie observate în Figura 16ab pentru distanța de 40mm de gura aeratorului, la 120mm în Figura 17ab și la 400mm în Figura 18ab.

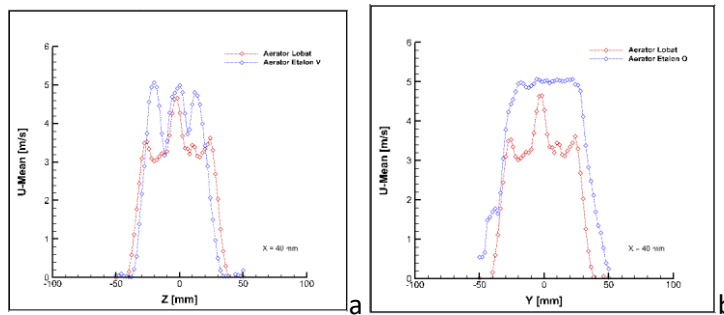


Figura 16. Rezultate măsurări LDV - Profil viteza medie la 40 mm a. plan vertical b. plan orizontal

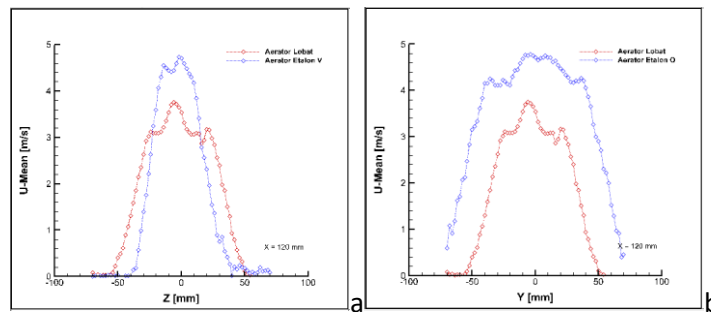


Figura 17. Rezultate măsurări LDV - Profil viteza medie la 120 mm a. plan vertical b. plan orizontal

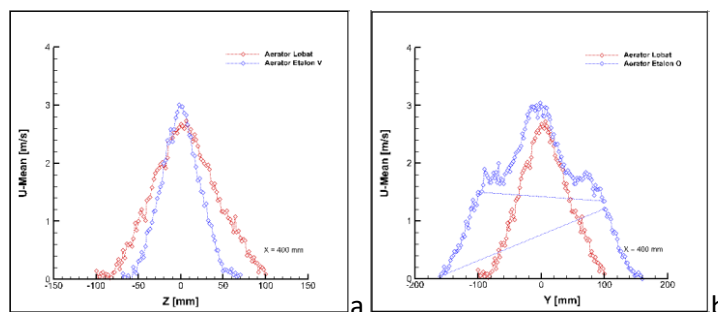


Figura 18. Rezultate măsurări LDV - Profil viteza medie la 400 mm a. plan vertical b. plan orizontal

T2.6 Iterații asupra specificațiilor (Martie – Aprilie 2023: realizat)

Această activitate a constat în evaluarea rezultatelor din sarcina 2.2 și compararea rezultatelor pentru difuzoarele de aer inovatoare pentru al alege pe cel eficient din punct de vedere al amestecului pasiv de aer. Abordarea a fost una iterativă, noi geometrii fiind dezvoltate pe baza observațiilor anterioare. Astfel, rezultatele obținute în cadrul acestei activități au dus la crearea unor geometrii cu o rată de antrenare superioară, în cazul P ajungându-se la o rată de antrenare de 46% față de cei 38% din cazul O. Această geometrie a fost imprimată 3D pentru a putea fi utilizată în continuare. Studiul a continuat și cu alte cazuri, ajungând până la 49% rată de antrenare mai mare pentru cazul V față de cazul etalon.

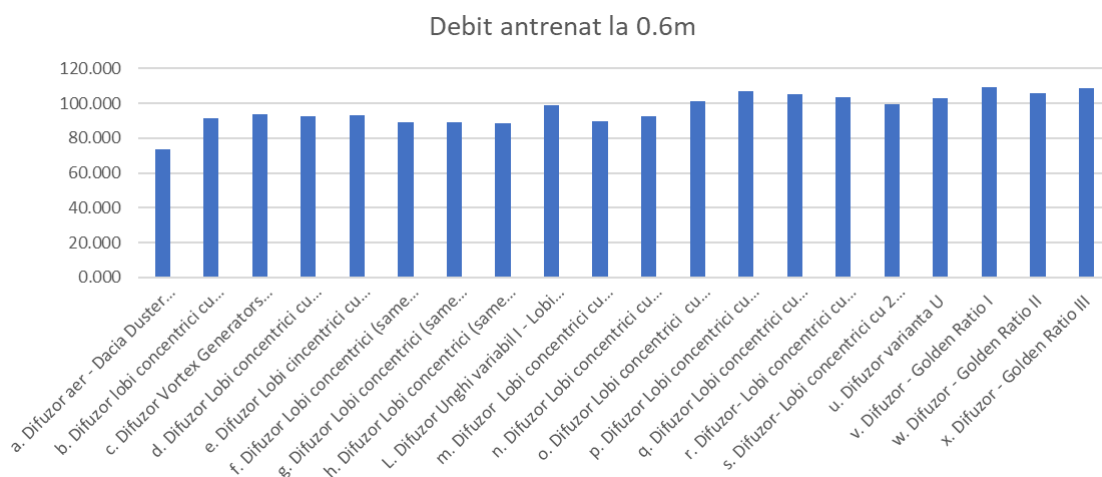


Figura 19 Debitul de aer antrenat la 600mm de zona de introducere (numeric)

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

T3.1 Integrarea prototipului inovator de difuzor de aer în modelul planșă de bord Dacia Renault Duster (Mai 2023 – Realizat)

Planșele de bord au fost livrate de către partenerul RTR în data de 26.04.2023.



Figura 20 Planșele de bord Duster Dacia/Renault

Imediat după aceasta s-a început munca la realizarea standurilor experimentale necesare măsurărilor cu tehnicile LDV și PIV.

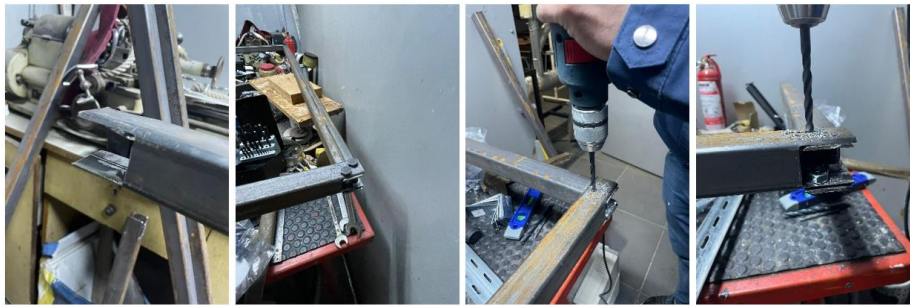


Figura 21 Executare stand experimental pentru fixare planșa bord

A fost realizat un stand experimental în care a fost montat bordul de Dacia Duster furnizat de partenerul RTR (Figura 22a). Difuzoarele de aer imprimare 3D au fost montate în planșa de bord (Figura 22b).

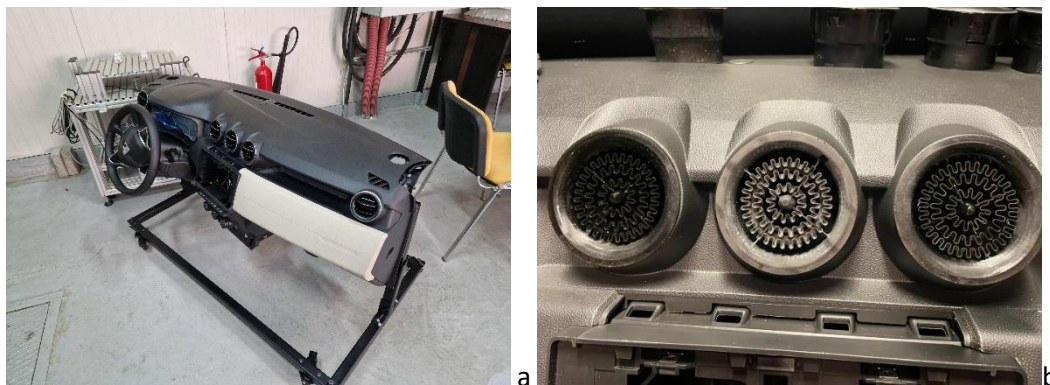


Figura 22 a. Planșa de bord fixată în stand experimental b. Difuzoare de aer inovative printate 3D și montate în bordul Dacia Duster (dreapta).

Standul experimental astfel realizat a fost utilizat pentru măsurările experimentale aferente T3.2 și T3.3.

T3.2 Măsurări experimentale utilizând tehnica Laser Doppler Velocimetry pe ansamblul experimental cu difuzoarele de aer montate (Iunie - August 2023)

Măsurările au fost realizate utilizând tehnica Laser Doppler Velocimetry din cadrul Laboratorului de Aerodinamică și Ingineria Vântului "Constantin Iamandi". O serie de imagini din cadrul măsurătorilor LDV pot să fie văzute mai jos.



Figura 23 Imagini din timpul măsurătorilor LDV

S-au efectuat mai multe teste legate de rezoluția de lucru acceptabilă din punct de vedere științific pentru exploatarea rezultatelor. Astfel, în Figura 24 se poate vedea diferența dintre pasul de măsurare, între 2 puncte de măsurare consecutive, la 2mm, 5mm și 10mm.

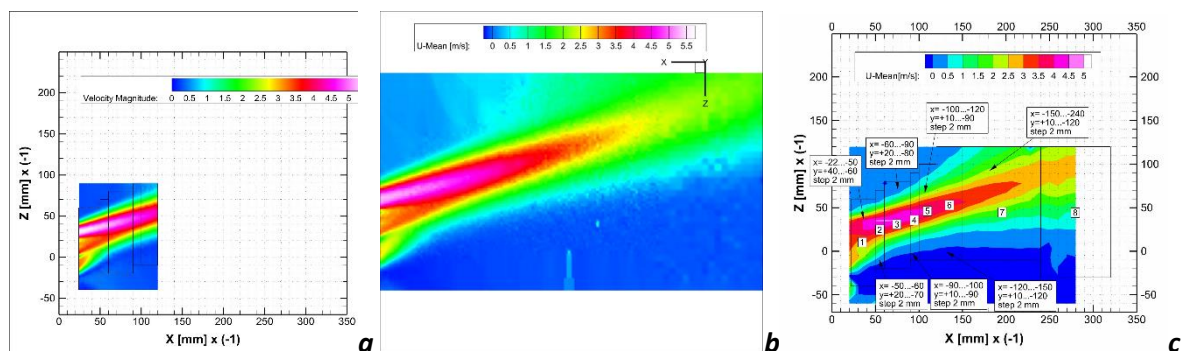


Figura 24 Câmp de viteză în plan longitudinal Pas de măsurare la a. 2mm b.5mm c.10mm

Tehnica LDV permite măsurarea câmpurilor de viteză 3D și în plan transversal. Câteva imagini pot să fie văzute mai jos:

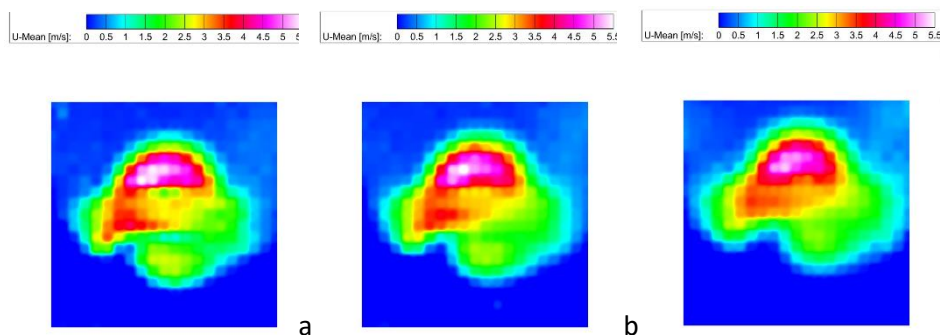


Figura 25 Câmp de viteză în plan transversal măsurate cu un pas de 5mm a. 10mm b.15mm c.20mm

Măsurările au continuat până la obținerea tuturor planurilor 2D și a profilurilor de viteză în zonele de interes.

T3.3 Măsurări experimentale utilizând tehnica Particle Image Velocimetry pe ansamblul experimental cu difuzoarele de aer montate (August-Octombrie 2023)

Bordul a fost fixat în cadrul realizat și ulterior a fost introdus în locul bordului într-un simulator de automobil care a fost construit pentru a respecta dimensiunile Dacia-Duster. Simulatorul de habitacul de automobil a fost construit în celula climatică de la UTCB pentru a putea controla temperatura din exteriorul sau indiferent de anotimp (Figura 26).

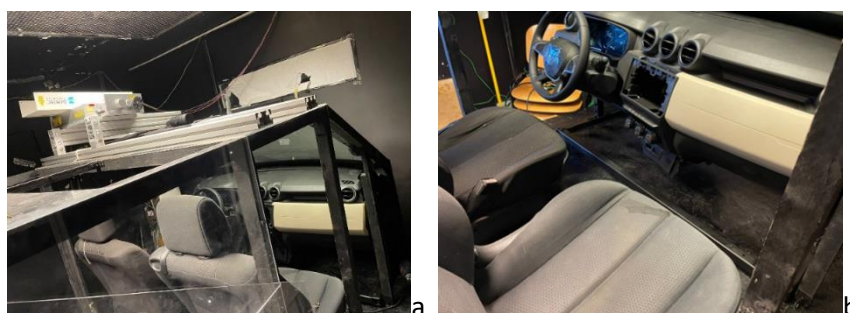


Figura 26 Planșă de bord introdusă în simulator automobil din celula climatică din centrul de cercetare CAMBI

Măsurările au fost efectuate atât pentru situația cu aeratoarele originale cât și cu varianta rezultată în urma cercetărilor din acest proiect. În figura următoare se poate vedea aranjamentul experimental în etapa de calibrare a măsurărilor.



Figura 27 Configurație experimentală și calibrare măsurări PIV

Au fost efectuate mai multe campanii de măsurări iar o parte din rezultate pot să fie văzute mai jos.

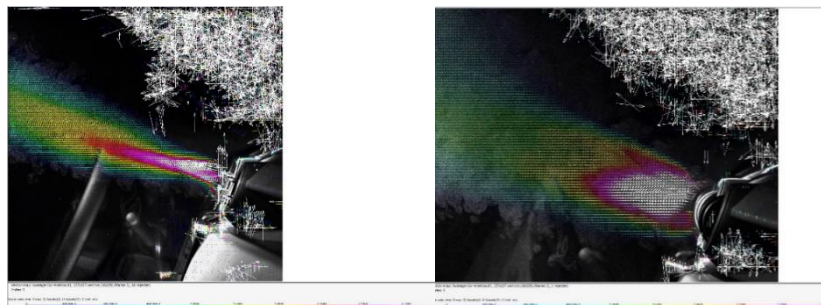


Figura 28 Exemplu de distribuție a câmpului de viteză în 2D măsurat prin tehnica PIV în plan longitudinal vertical (stânga), plan longitudinal orizontal (dreapta)

Au fost efectuate măsurări utilizând tehnica PIV în diverse planuri de interes. Un exemplu de postprocesare a rezultatelor câmpului de viteză longitudinal vertical și orizontal pentru aeratorul clasic se poate vedea în Figura 29a, respectiv Figura 29b iar pentru aeratorul lobat în Figura 29c.

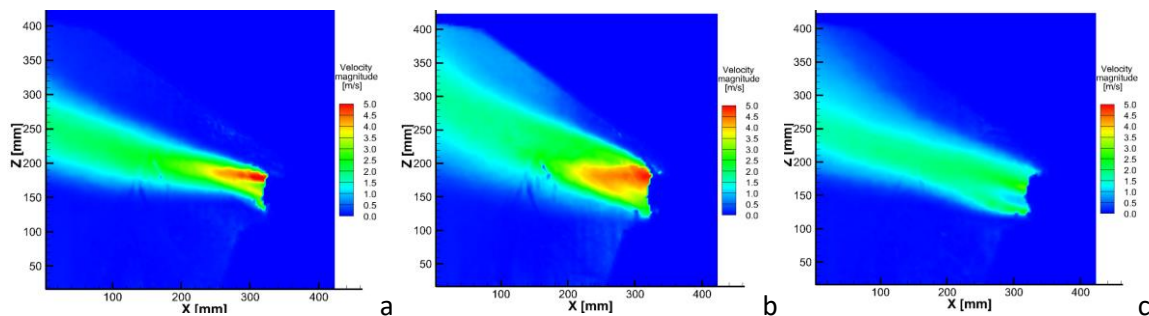


Figura 29 Rezultate măsurări tehnica PIV pentru a. aerator clasic plan longitudinal vertical b. aerator clasic plan longitudinal orizontal c. aerator lobat plan longitudinal vertical

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

Geometria habitacului a fost realizată cu dificultate datorită multiplelor detalii necesare în reprezentarea acesteia. La acesta dată încă mai sunt o serie de detalii de corectat înainte de pregătirea geometriei pentru simularea numerică și realizarea grilei de calcul.

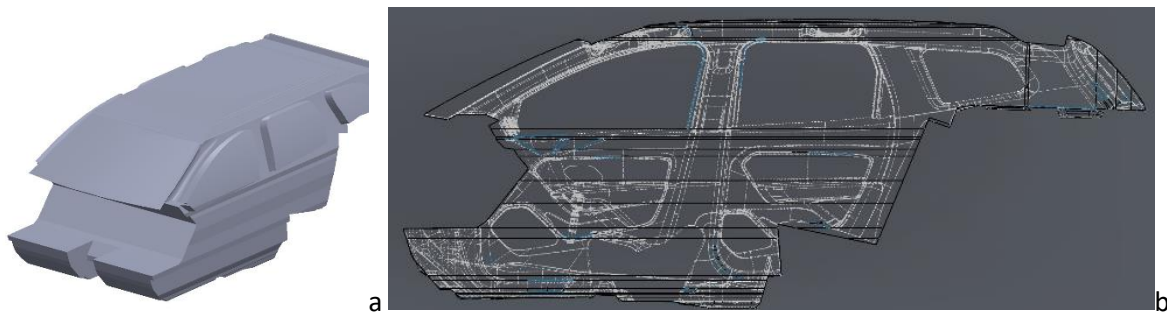


Figura 30 Geometria habitaculului (în lucru) a. vedere izometrică b. Schita 3D

Sumar progres

Notele și rapoartele tehnice au fost integrate în raportul științific aferent etapei 2 a proiectului.

Activități de diseminare și popularizare desfășurate

În cadrul Etapei din 2023, 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, 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.
2. **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.
3. 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 2023.
4. 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 2023.

Articole științifice indexate în baze de date internaționale (SCOPUS)

5. **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, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339601102>, 2023.

Articole științifice prezentate la conferințe internaționale

6. **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

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 anului 2022 și 2023, astfel în 2023 a fost actualizată pagina web a proiectului INNOVENT: <http://cambi.utcb.ro/researchprojects/innovent>.

S-au susținut prezentări la 3 conferințe în 2023 în scopul diseminării rezultatelor obținute în urma cercetărilor întreprinse în cadrul proiectului INNOVENT și anume la:

- A. Conferința internațională IAQVEC 2023 - The 11th International conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings - May 20-23, 2023, Tokyo, Japonia (titlu: Numerical study on high induction air diffusers for improved indoor environmental quality in vehicles – Speaker: Florin BODE) – (Figura 31a);
- B. Conferința internațională SUDBE 2023 - International Conference on Sustainable Development in Building and Environment - 14-18th August 2023, Espoo, Finlanda (titlu: Novel air diffuser with increased induction of ambient air for ventilation in vehicles – Speaker: Florin BODE / Titus JOLDOS) – (Figura 31b);
- C. Conferința MTEM 2023 - The 15th International Conference on Modern Technologies In Manufacturing - 18-20th October 2023 – Cluj-Napoca, Romania (titlu: Advancements in 3D printing techniques for low-speed aerodynamics in vehicle ventilation – Speaker: Titus JOLDOS) – (Figura 31c).

În cadrul etapei 2 -2023 au avut loc multiple întâlniri de lucru atât online cât și în laboratoarele de la UTCB, pe tot parcursul anului 2023, 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 (Figura 31d).

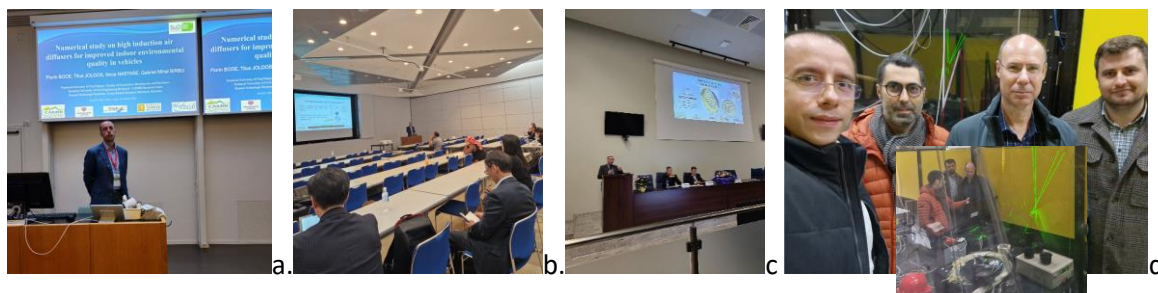


Figura 31 Prezentări a. IAQVEC 2023, b. SUDBE 2023, c. MTEM 2023 d. Întâlnire de lucru LDV

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 2 – 2023 - 01.01.2023 – 31.12.2023

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 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 2 Designul și testarea difuzoarelor de aer inovatoare

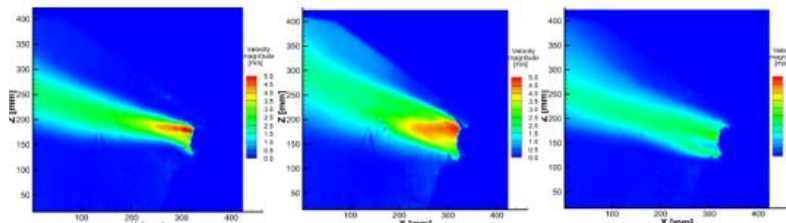
T2.2 Simularea numerică a fluxului de aer prin difuzoarele de aer inovative propuse (în derulare).

T2.3 Imprimarea 3D a difuzoarelor de aer

T2.4 Măsurări experimentale utilizând tehnica Particle Image Velocimetry

T2.5 Măsurări experimentale utilizând tehnica Laser Doppler Velocimetry

T2.6 Iterații asupra specificațiilor



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

T3.1 Integrarea prototipului inovator de difuzor de aer în modelul planșă de bord Dacia Renault Duster

T3.2 Măsurări experimentale utilizând tehnica Laser Doppler Velocimetry pe ansamblul experimental cu difuzoarele de aer montate

T3.3 Măsurări experimentale utilizând tehnica Particle Image Velocimetry pe ansamblul experimental cu difuzoarele de aer montate

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

