

 <p>Universitatea Tehnică de Construcții București</p>	<p>Universitatea Tehnică de Construcții București Departamentul de Sisteme Termohidraulice și pentru Protecția Atmosferei <i>Centrul de cercetare avansată pentru calitate ambientală și fizica clădirilor</i></p>	 <p>Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării</p>
RSTF - PN-III-P1-1.1-PD-2021-0342		

Raport Tehnic și Științific Final – RSTF 01/2024

Proiect: *PN-III-P1-1.1-PD-2021-0342*

PNEUMA

*Strategii de control adaptiv pentru un simulator artificial al sistemului respirator
uman*

OBIECTIVELE PROIECTULUI PNEUMA

OBIECTIVE PREVĂZUTE

Obiectivul general al proiectului PNEUMA este de a construi un simulator de respirație artificială cu amplitudine și frecvență respiratorie reglată dinamic în funcție de concentrația de CO₂ din aerul respirat. Scopul proiectului PNEUMA este dezvoltarea unei strategii de control scalabile pentru un sistem experimental de respirație bazat pe măsurători ale respirației umane. Acest sistem ar putea fi apoi utilizat în studiul calității aerului în zona de respirație a oamenilor. Pentru realizarea obiectivului general au fost propuse următoarele obiective specifice:

O1 Construcția unui simulator de respirație artificială (ABS) care să simuleze producția umană de CO₂ în volumul său interior; **O2** Dezvoltarea unei arhitecturi de control pentru frecvența și amplitudinea respirației ABS; **O3** Evaluarea experimentală a ratei de generare a CO₂ de către om, în plus față de cele disponibile, pentru utilizare în calibrarea ABS-ului; **O4** Implementarea unei strategii automate de control pentru ABS și un studiu parametric al diferitelor strategii de control pentru simulări de respirație mai precise.

ABS-ul va fi proiectat ca un piston care va fi umplut cu aer ambient inhalat, și care va fi legat la o sursă externă de CO₂. Între piston și sursa exterioară, un volum controlat de CO₂ va fi introdus pentru a asigura o concentrație de 4% CO₂ în aerul expirat din piston (concentrație corespunzând producției umane de CO₂). Sistemul va fi dotat cu aparatura necesară să măsoare/evalueze debitele și concentrațiile de gaz implicate în procesul de respirație.

Planul de lucru al proiectului PNEUMA (Figura 1) este împărțit în mai multe pachete de lucru (**WP**), fiecare compus din mai multe sarcini (**T**). Au fost identificate două repere (**M**).

	2022										2023															
	Month																									
	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																										
WP1																										
Task 1																										
Task 2																										
Task 3																										
WP2																										
Task 1																										
Task 2																										
Task 3																										
WP3																										
Task 1																										
Task 2																										
Task 3																										
Task 4																										
Task 5																										
									M1							M2										

Figura 1 Graficul Gantt al proiectului PNEUMA

WP0 - reprezintă managementul proiectului, un efort comun între liderul proiectului și mentorul său, care va dura întreaga durată a proiectului. **WP1** - se referă la documentația și proiectarea pentru construcția ABS-ului, cu următoarele sarcini: **(T1)** proiectarea teoretică a ABS-ului, pre-dimensionare, estimarea materialelor necesare, Responsabil: M.-R. Georgescu; **(T2)** Consultare pentru proiectare cu mentorul, reiterare la **(T1)** dacă este necesar, Responsabil: M.-R. Georgescu, I. Năstase; **(T3)** achiziționarea materialelor necesare, Responsabil: M.-R. Georgescu. **(M1)** Documentele de proiectare pentru construcția ABS-ului. **WP2** - acoperă construcția ABS-ului și implementarea software-ului de achiziție a datelor: **(T1)** instalarea hardware-ului, configurarea software-ului de achiziție a datelor, Responsabil: M.-R. Georgescu; **(T2)** verificarea sistemelor și remedierea problemelor (dacă este necesar), Responsabil: M.-R. Georgescu, I. Năstase. **(T3)** Validare preliminară pe baza măsurătorilor existente ale ratei de generare a CO₂ de la subiecții de testare umani, Responsabil: M.-R. Georgescu. **(M2)** ABS validat pentru simularea experimentală a respirației umane. **WP3** - va acoperi implementarea sistemului automatizat de control și verificarea acestuia prin compararea cu rezultatele existente. Acest pachet de lucru acoperă și îmbunătățirea sistemului automatizat de control, care este prevăzut să dureze până la sfârșitul proiectului. **(T1)** proiectarea sistemului automatizat de control, Responsabil: M.-R. Georgescu; **(T2)** determinări experimentale ale ratei de generare a CO₂ de către oameni pentru diferiți subiecți de testare umani, Responsabil: M.-R. Georgescu; **(T3)** evaluarea performanței ABS-ului prin comparare cu rezultatele experimentale existente, Responsabil: M.-R. Georgescu; **(T4)** revizuirea și îmbunătățirea sistemului automatizat de control, Responsabil: M.-R. Georgescu, I. Năstase. Vom continua să iterăm asupra sarcinilor T3 și T4 pentru a optimiza în continuare ABS-ul și logica sa de control. **(T5)** Validare finală a ABS-ului pe baza ratei medii experimentale de generare a CO₂ de la subiecții de testare umani, Responsabil: M.-R. Georgescu.

Conform calendarului de finanțare, proiectul PNEUMA s-a desfășurat în 3 etape în perioada 01.04.2022-31.03.2024, fiecare etapă corespunzând anului calendaristic. Sarcinile de lucru din proiect au fost împărțite între aceste etape. Desfășurarea lor și gradul de realizare sunt prezentate mai jos. Gradul de realizare al sarcinilor a fost reprezentat în procente pe o scară de la 0-100%. Pentru obiectivele care au fost în curs de desfășurare sau unde gradul de realizare nu a putut fi cuantificat direct prin rezultate, procentajul a fost calculat ca ponderea lunii curente din durata totală de desfășurare (conform graficului în Figura 1).

Etapa I – 01/04/2022 – 31/12/2022

Prima etapă a proiectului **PNEUMA** acoperă elaborarea documentației necesare pentru construirea simulatorului artificial al sistemului respirator uman (**ABS**), și corespunde global pachetului de lucru **WP1**. Această etapă s-a derulat în perioada 1 aprilie 2022 – 31 decembrie 2022. Activitățile principale desfășurate în **WP1** au fost activități de studiu bibliografic, activități de cercetare și diseminare și activități de proiectare. Bazat pe repartizarea resurselor financiare în implementarea proiectului față de propunere, procesul de achiziție al echipamentelor necesare pentru construcția **ABS** s-a desfășurat în etapele I și II ale proiectului.

Livrabilele dezvoltate în cadrul **WP1** sunt: (1) schema de funcțională, (2) dimensionarea, (3) proiectul **ABS** și (4) lista de materiale necesare. În decursul **WP1** a fost demarată procedura de achiziție pentru componentele incluse în lista de materiale în limita bugetului disponibil. O descriere detaliată a livrabililor și a stadiului actual al achizițiilor a fost furnizată în Raportul anual pe anul 2022.

Pe durata primului pachet de lucru s-au realizat două materiale de diseminare a rezultatelor proiectului: **(1) un articol de conferință** legat de stadiul actual al tehnicii în domeniu, de problemele frecvent întâmpinate în simularea respirației și posibilele lor soluții, prezentat la o conferință internațională (*EENVIRO 2022*) indexată ISI; **(2) un stand de prezentare al proiectului la o sesiune de postere** la o conferință internațională (*CLIMA 2022*). Tot pe parcursul acestui pachet de lucru a fost realizat **site-ul proiectului**, unde se regăsesc în domeniul public informațiile relevante legate de proiect, articolele și rapoartele dezvoltate în cadrul proiectului (<https://cambi.utcb.ro/researchprojects/pneuma>).

Pe parcursul acestei etape, pe lângă activitățile de documentare, cercetare, proiectare și diseminare s-au desfășurat și activități de management al proiectului, precum: realizarea referatelor pentru achiziția echipamentelor (în conformitate cu legislația în vigoare), realizarea unui audit financiar al proiectului și formalitățile necesare pentru modificările de buget în platforma de management al proiectului.

Activitățile propuse și gradul de realizare al obiectivelor

Pentru etapa I s-a propus următorul grad de realizare pentru obiectivele:

- **WP0 – 37%** (echivalentul perioadei de 9 luni în cursul căreia s-a desfășurat etapa curentă, raportată la durata totală de 24 de luni a proiectului)
- **WP1 – Procentaj variabil, dependent de gradul de realizare al T3**
- **T1 – 100 %**
- **T2 – 100 %**
- **T3 – În măsura bugetului disponibil** (Achiziția echipamentelor se va face în limita bugetului disponibil)
- **M1 – 100%**

Gradul de realizare al obiectivelor propuse pentru etapa I este prezentat în **Tabelul 2**.

Tabelul 1 Gradul de realizare al obiectivelor propuse pentru Etapa I

Pachet de lucru / Sarcină	Grad de realizare
WP 0 – Management proiect	37%
WP1 – Proiectare ABS, achiziție echipamente	90%
T1 – Principiu de funcționare și pre dimensionare	100%
T2 – Proiectare finală	100%
T3 – Achiziții echipamente	60%
M1 – Documente pentru proiectare ABS	100%
WP2 – Construcție ABS	
T1 – Instalare hardware și software	
T2 – Verificare sisteme	

T3 – Validare preliminară ABS	
M2 – ABS validat experimental	
WP3 – Implementarea sistemului de control automatizat	
T1 – Conceperea logicii de control	
T2 – Determinări experimentale generare CO ₂	
T3 – Evaluare performanțe ABS	
T4 – Revizuirea și optimizarea sistemului de control automatizat	
T5 – Validare finală ABS automatizat	

În cursul etapei I, s-au atins toate obiectivele propuse care nu au fost limitate de buget. Pachetul de lucru **WP0** care reprezintă activitățile de management a fost îndeplinit într-un procent echivalent cu raportul dintre durata prezentei etape a proiectului (9 luni) raportată la durata totală a proiectului (24 de luni). **WP0 va atinge un grad de realizare de 100% la finalul proiectului.**

Sarcina **T3** care acoperă achizițiile de echipamente necesare construirii ABS, este dependentă de bugetul de logistică aferent etapei curente (care a suferit o reducere, cu realocare în etapa următoare). În consecință, din lista de achiziții elaborată (și prezentată detaliat în capitolele următoare) s-au achiziționat cca. 60% din materialele necesare, cu precădere materialele care vor trebui prelucrate în vederea construirii ABS (rămânând a fi achiziționată partea de control și măsură). **Sarcina T3 a fost considerată ca fiind realizată în procent de 60%, urmând a fi finalizată în etapa următoare a proiectului când bugetul de logistică va permite acest lucru. Acest procent duce la un grad global de realizare al WP1 de 90%, urmând a atinge 100% odată cu încheierea sarcinii T3 în etapa următoare.**

Toate celelalte obiective propuse pentru prezenta etapă (T1, T2, M1) au fost realizate în procent de 100%.

Etapa II – 01/01/2023 – 31/12/2023

În a doua etapă din cadrul proiectului **PNEUMA** s-au desfășurat în principal două pachete de lucru: **WP2** și **WP3** și a fost încheiat și primul pachet de lucru.

Al doilea pachet de lucru (**WP2**) acoperă dezvoltarea standului experimental al simulatorului artificial al sistemului respirator uman (ABS). Acest pachet de lucru s-a desfășurat în perioada 1 Februarie – 30 Septembrie 2023. Activitățile principale au fost asamblarea și punerea în funcțiune a standului experimental, realizarea sistemului de achiziție de date pentru echipamentele electronice achiziționate și verificarea funcționării ABS. Repartizarea bugetului a împiedicat completarea achiziției în primul an al proiectului, drept urmare etapa WP2 a pornit cu o întârziere cauzată de livrări. Această etapă a fost însă dusă la bun sfârșit. Livrabilul dezvoltat în cadrul **WP2** este standul experimental ABS și testul de funcționare al sistemului respirator. Standul se află la Facultatea de Inginerie a Instalațiilor din cadrul instituției gazdă (UTCBC) în posesia directorului de proiect.

Al treilea pachet de lucru (**WP3**) acoperă dezvoltarea sistemului de control automat pentru ABS. Acest pachet de lucru a demarat la data de 1 Aprilie 2023, în tandem cu **WP2**, mai exact, la începutul implementării sistemului de achiziție de date pentru echipamentele de măsură (din cadrul **WP2**). Activitățile principale au fost conceperea logicii de control în baza funcționării echipamentelor de măsură și verificarea funcționării ABS. Livrabilul dezvoltat în cadrul **WP3** pentru prezenta etapă este schema de control pentru ABS.

Diseminarea realizată în prezenta etapă constă în: **2 articole de conferință** legate de dezvoltarea standului ABS și de posibilitatea implementării ABS într-un manechin termic, prezentate la o conferință internațională (*CIEM 2023*) indexată ISI; **1 articol de jurnal** publicat în revista *Energies*, indexată WOS cu FI 3.2; 1 articol de conferință BDI Conferința NetZeroCities la Unviersitatea din Suceava (participare la o discuție despre eforturi de digitalizare a caselor pasive în sectorul

construcțiilor și echipamente moderne de evaluarea a calității aerului). Toate publicațiile științifice rezultate din prezenta etapă au fost încărcate pe site-ul proiectului (<https://cambi.utcb.ro/researchprojects/pneuma>).

Pe parcursul acestei etape, pe lângă activitățile de realizare a ABS, măsurători experimentale, achiziție de date, cercetare, proiectare și diseminare s-au desfășurat și activități de management al proiectului, precum: realizarea referatelor pentru achiziția echipamentelor necesare (în conformitate cu legislația în vigoare) și realizarea unui audit financiar al proiectului.

Activitățile propuse și gradul de realizare al obiectivelor

Pentru etapa II s-a propus următorul grad de realizare pentru obiectivele:

- **WP0 – 87%** (echivalentul perioadei de 21 luni în cursul căreia s-a desfășurat etapa curentă, raportată la durata totală de 24 de luni a proiectului)
- **WP1 – 100%**
- **WP2 – 100 %**
 - **T1 – 100 %**
 - **T2 – 100 %**
 - **T3 – 100 %**
 - **M2 – 100 %**
- **WP3 – 72 %**
 - **T1 – 100 %**
 - **T2 – 75 %**
 - **T3 – 70 %**
 - **T4 – 70 %**
 - **T5 – 25 %**

Gradul de realizare al obiectivelor propuse pentru etapa curentă este prezentat în **Tabelul 2**.

Tabelul 2 Gradul de realizare al obiectivelor propuse pentru Etapa II

Pachet de lucru / Sarcină	Grad de realizare
WP 0 – Management proiect	87%
WP1 – Proiectare ABS, achiziție echipamente	100%
T1 – Principiu de funcționare și pre dimensionare	100%
T2 – Proiectare finală	100%
T3 – Achiziții echipamente	100%
M1 – Documente pentru proiectare ABS	100%
WP2 – Construcție ABS	100%
T1 – Instalare hardware și software	100%
T2 – Verificare sisteme	100%
T3 – Validare preliminară ABS	100%
M2 – ABS validat experimental	100%
WP3 – Implementarea sistemului de control automatizat	72%
T1 – Conceperea logicii de control	100%
T2 – Determinări experimentale generare CO₂	75%
T3 – Evaluare performanțe ABS	70%
T4 – Revizuirea și optimizarea sistemului de control automatizat	70%
T5 – Validare finală ABS automatizat	25%

În cursul etapei II, s-au atins obiectivele propuse. La data raportării, două obiective nu au atins propunere prevăzută (T2, T4, T5) fiind influențate de întârzierile bugetare din etapa precedentă. În ciuda acestui fapt, obiectivele au fost începute în ultima lună a proiectului și aduse în stadiul de realizare propus, până la sfârșitul Etapei II.

Pachetul de lucru **WP0** care reprezintă activitățile de management a fost îndeplinit într-un procent echivalent cu raportul dintre durata prezentei etape a proiectului (21 de luni) raportată la durata totală a proiectului (24 de luni). **WP0 va atinge un grad de realizare de 100% la finalul proiectului.**

Sarcina **T5** reprezintă etapa finală a proiectului care implică o campanie de măsurători experimentale desfășurată în tandem cu eforturile de evaluare și optimizare a performanțelor ABS (**T3** și **T4**). De îndată ce sarcina **T2** atinge gradul de realizare prevăzut pentru etapa curentă, etapa **T5** poate începe.

Etapa III – 01/01/2024 – 31/03/2024

În a treia etapă din cadrul proiectului **PNEUMA**, activitatea principală a fost încheierea pachetelor de lucru: **WP0** și **WP3**. Pachetul de lucru **WP0**, care a constat în activitățile de management ale proiectului, distribuite pe toată durata proiectului (24 luni) va fi considerat încheiat cu predarea prezentului raport.

Al treilea pachet de lucru (**WP3**) a acoperit dezvoltarea sistemului de control automat pentru ABS. Acest pachet de lucru a fost continuat de la începutul anului 2024, și încheiat în cursul ultimelor săptămâni ale lunii Martie 2024. Activitățile principale din **WP3** desfășurate în etapa a 3-a au fost legate de calibrarea funcționării ABS în vederea obținerii unor rezultate care să valideze funcționarea în funcție de ratele medii de generare a CO₂ în timpul respirației. Livrabilul dezvoltat în cadrul **WP3** pentru etapa III este rezultatul campaniei de măsurători experimentale.

Diseminarea realizată în prezenta etapă constă în: **1 prezentare de conferință** legat de posibilitatea implementării ABS în studii legate de ventilarea personalizată la bordul aeronavelor (prezentare la o conferință internațională ASHRAE Winter Meeting, Chicago 2024). În plus, au fost acceptate spre prezentare și publicare ulterioară **2 articole de conferință** legate de implementarea ABS în manechini termici pentru evaluarea calității aerului la două conferințe internaționale (Roomvent 2024 și Indoor Air 2024), indexate ISI. Mai este plănuț **1 articol de jurnal** pentru finalul anului 2024, pe același subiect menționat anterior. Toate publicațiile științifice rezultate din prezenta etapă au fost încărcate pe site-ul proiectului (<https://cambi.utcb.ro/researchprojects/pneuma>). În plus, sunt prevăzute

Activitățile propuse și gradul de realizare al obiectivelor

Pentru etapa III s-a propus un grad de realizare de 100% pentru toate obiectivele proiectului. Gradul de realizare este prezentat în **Tabelul 3**.

Tabelul 3 Gradul de realizare al obiectivelor propuse pentru Etapa III

Pachet de lucru / Sarcină	Grad de realizare
WP 0 – Management proiect	100%
WP1 – Proiectare ABS, achiziție echipamente	100%
T1 – Principiu de funcționare și pre dimensionare	100%
T2 – Proiectare finală	100%
T3 – Achiziții echipamente	100%
M1 – Documente pentru proiectare ABS	100%
WP2 – Construcție ABS	100%
T1 – Instalare hardware și software	100%
T2 – Verificare sisteme	100%
T3 – Validare preliminară ABS	100%
M2 – ABS validat experimental	100%
WP3 – Implementarea sistemului de control automatizat	100%
T1 – Conceperea logicii de control	100%
T2 – Determinări experimentale generare CO₂	100%
T3 – Evaluare performanțe ABS	100%
T4 – Revizuirea și optimizarea sistemului de control automatizat	100%
T5 – Validare finală ABS automatizat	100%

În cursul etapei III, s-au atins obiectivele propuse. Pachetul de lucru **WP0** care reprezintă activitățile de management a fost îndeplinit într-un procent echivalent cu raportul dintre durata prezentei etape a proiectului (4 de luni) raportată la durata totală a proiectului (24 de luni). **WP0 a atins un grad de realizare de 100% la finalul proiectului.**

Sarcinile **T2, T3, T4 și T5** au fost desfășurate în tandem în etapa finală a proiectului, implicând măsurători experimentale și ajustări ale sistemului pentru validarea ABS-ului.

Rezultatele obținute în cadrul proiectului PNEUMA

Rezumatul livrabilelor din Etapa I

Principalele rezultate aferente Etapei I au fost designul CAD și dimensionarea sistemului ABS precum și listele de cantități estimate a fi necesare pentru asamblarea standului experimental. Mai jos urmează prezentarea pe scurt a rezultatelor, detaliile fiind disponibile în primul RST (RST-2022).

Debitul de CO₂ generat de oameni obținut prin măsurători experimentale pentru 13 subiecți de test a fost evaluat pentru a determina parametrii respiratorii medii ai unui om [1], [2] (**Tabelul 4**). Dimensionarea ABS a fost efectuată în funcție de volumele de aer din plămâni descrise în literatura medicală de specialitate [3] (**Figura 2**). Dimensionarea componentelor ABS este prezentată în **Tabelul 5** și **Tabelul 6**.

Tabelul 4 Parametrii respirației conform măsurătorilor experimentale proprii

Nr. Subiect	Debit CO ₂ [l/min]	Frecvența respiratorie [min ⁻¹]	Volum inhalat [ml]	Rata de ventilare pulmonară (PVR) [l/min]
S1	0.41	15	676	10.1
S2	0.35	17	519	8.8
S3	0.21	16.5	316	5.2
S4	0.28	16	434	6.9
S5	0.36	10	902	9
S6	0.27	16	426	6.8
S7	0.25	17	370	6.3
S8	0.36	17	536	9.1
S9	0.48	17	709	12.1
S10	0.43	17	626	10.6
S11	0.38	10	945	9.5
S12	0.42	15	707	10.6
S13	0.31	7	1109	7.8
Media	0.35	14.7	637	8.7

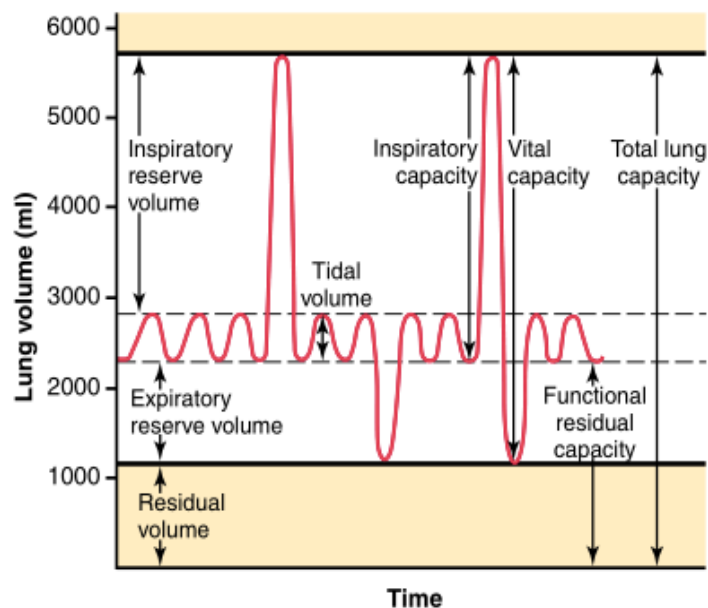


Figura 2 Volumele de aer din plămân și rolul lor în procesul de respirație [3]

Tabelul 5 Dimensionarea pistonului principal (plămân)

Denumire Volum [-]	Valoare teoretică [ml]	Diametru intern piston [mm]	Cursă internă necesară [mm]	Volum intern rezultat [ml]	Eroare față de teorie [%]
Tidal Volume	500	140	33	508	1.6
Inspiratory reserve volume	3000		195	3002	0.1
Expiratory reserve volume	1100		71	1093	-0.6
Residual volume	1200		78	1201	0.1
Total	5800		377	5803	0.1

Tabelul 6 Dimensionarea rezervorului secundar

Denumire Volum [-]	Valoare teoretică [ml]	Concentrație CO ₂ ambiental [-]	Concentrație CO ₂ plămân [-]	V _{CO2} inspirat [ml]	V _{CO2} expirat [ml]	V _{CO2} necesar [ml]
Tidal Volume	500	0.0004	0.038	0.2	19	18.8
Inspiratory reserve volume	3000			1.2	114	112.8
Expiratory reserve volume	1100			0.4	42	41.4
Residual volume	1200			0.5	46	45.1
Total	5800			2.3	220	218.1

În urma dimensionării a fost ales un diametru intern de 140 mm pentru pistonul ABS. Materialul folosit pentru pereții pistonului va fi acrilic transparent (tip plexiglas) pentru a putea urmări elementele de injecție a CO₂ din corpul pistonului. Lungimea totală a pistonului principal va fi de 377 mm, din care 33 mm reprezintă cursa pistonului în timpul unei respirații în condiții de repaus. Rezervorul secundar a fost dimensionat astfel încât să poată acoperi necesarul maxim de CO₂ care ar trebui introdus în volumul de aer inspirat pentru a mima transferul de gaze în plămâni. Rezervorul secundar va fi realizat din același segment cilindric de acrilic folosit pentru pistonul ABS din considerente de economie de material.

Deplasarea pistonului va fi realizată prin intermediul unui motor pas cu pas, care va deplasa partea mobilă a pistonului de-a lungul unui șurub de ghidaj. Pe lângă motoare în sine se vor prevedea și echipamentele conexe necesare funcționării corecte a pistonului (tijă de ghidaj, prinderi, rulmenți, fulii, curele). CO₂ care alimentează pistonul secundar va fi stocat într-o butelie sub presiune. O cantitate controlată va fi stocată în rezervorul secundar. Butelia va fi echipată cu regulatoare de presiune în două trepte și cu clapete de sens pentru a asigura mereu separarea dintre CO₂-ul pur și aerul inspirat. Automatizarea sistemului va fi realizată pe baza măsurătorilor de debit și/sau concentrație de CO₂ măsurate cu senzori instalați pe circuitul de respirație și achiziționați digital printr-un sistem de achiziție al datelor.

Pe baza dimensionării mai sus descrise s-a realizat un desen de execuție pentru pistonul principal, care va fi folosit ca model și pentru pistonul secundar într-o variantă simplificată. Desenul va fi trimis spre execuție în format de fișier .STL (la cererea executantului) conținând toate cotele și dimensiunile necesare în fișierul digital. Imaginile de mai jos prezintă vederile izometrice și o secțiune longitudinală aferente pistonului principal (**Figura 3**):

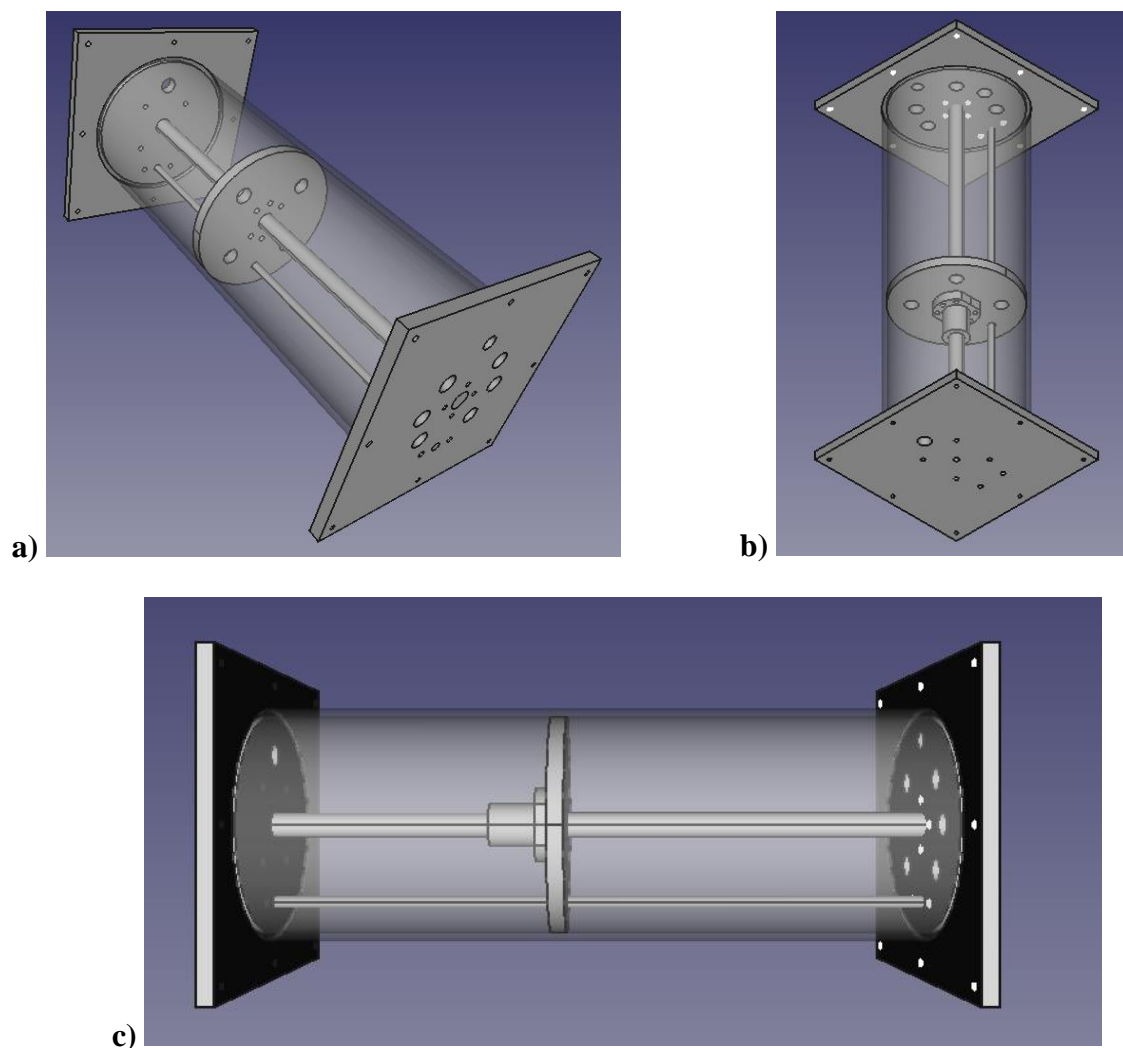


Figura 3 Modelul 3D pentru execuția pistonului principal

Lista echipamentelor necesare construirii ABS au fost concatenate în pachete de achiziții conform tabelului de mai jos.

Denumire pachet	Conținut pachet
Echipamente pentru acționarea mecanică a pistonului	Motor pas cu pas, cuplaje elastice, șurub cu bile, rulmenți, fulii, curele, suporturi de capăt.
Circuite pneumatice pentru transferul de gaze în piston	Furtun spiralat, cuple cu push-in, cuple de legătură, nipluri.
Materiale pentru construcția pistonului	Tub acrilic transparent, placa acrilic transparentă
Regatoare de presiune	Regulator presiune treapta I și treapta II, racord butelie
Sistem producție piese conexe	Imprimantă 3D
Sistem stocare CO ₂	Butelie CO ₂ reîncărcabilă
Sistem măsurare CO ₂ în timp real	Senzor CO ₂ IR sau cu Diode
Sistem achiziție date	Unitate de calcul și monitorizare, unitate achiziție date, cabluri USB, cabluri Serial, Sursă de alimentare

Rezumatul Livrabililor din Etapa II

Principalele rezultate aferente Etapei II au fost asamblarea și testarea ABS, dezvoltarea sistemului de achiziție al datelor, a logicii de control și validarea debitului de aer vehiculat în cadrul funcționării normale a ABS. Mai jos urmează prezentarea pe scurt a rezultatelor, detaliile fiind disponibile în al doilea RST (RST-2023).

Corpul ABS (Figura 4) a fost construit cu dimensiunile prezentate în Tabelul 5. În interiorul cilindrului se află pistonul (din acrilic transparent) care glisează pe un șurub cu bile acționat de un motor pas cu pas. În partea opusă față de motor, se află admisia de aer și CO₂ în sistem.

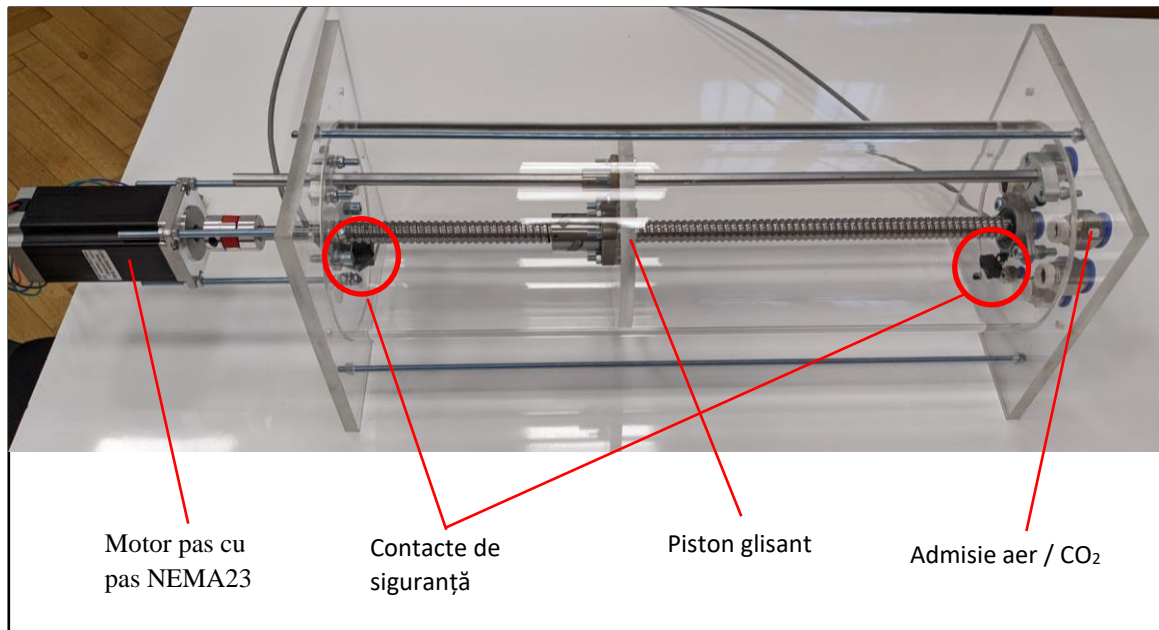


Figura 4 Corpul ABS cu elementele componente principale

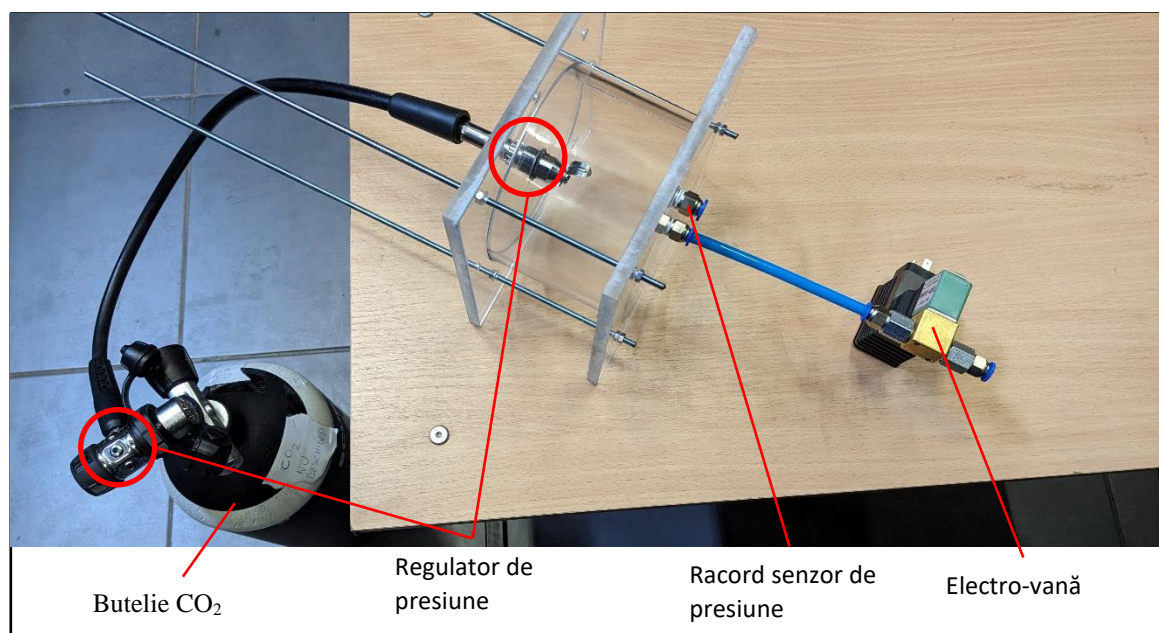


Figura 5 Rezervorul de alimentare cu CO₂

Aerul va fi introdus/evacuat prin șase orificii conform documentelor de proiectare. Un al șaptelea orificiu de dimensiuni reduse va asigura admisia de CO₂ din rezervorul secundar pentru a

atinge concentrația de 4% CO₂ în interiorul cilindrilor în timpul inspirației. Sursa de CO₂ care va alimenta corpul principal al ABS constă într-un rezervor aflat la suprapresiune față de atmosferă, alimentat de la o butelie umplută cu CO₂ (Figura 5). În capătul opus alimentării de la butelia cu CO₂ se află două orificii. Primul orificiu face legătura dintre rezervorul cu CO₂, și corpul ABS printr-un furtun de poliuretan pe care este montată o electro-vană cu solenoid (electromagnetică) și un debitmetru de gaz.

Datele propuse pentru controlul ABS sunt: concentrația de CO₂ din aerul inspirat/expirat, debitul de aer inspirat/expirat, debitul de CO₂ introdus în timpul inspirației de la rezervorul de CO₂.

Tabelul 7 Lista senzorilor utilizați pentru evaluarea ABS

Parametru măsurat	Denumire Senzor	Interval de măsură
Concentrație CO ₂	GSS SprintIR®-R	0-5% volumic la 50Hz
Debit gaz	D6F-10A7D-000-0 / D6F-70AB71D-000-0	0-10 L/min; 0-70 L/min

Cele 6 orificii de admisie a aerului inspirat/expirat au fost racordate cu multiple secțiuni de furtun de poliuretan și cuplate prin îmbinări de tip Y. În capătul acestor îmbinări au fost montate două debitmetre de gaz model D6F-70AB71D-000-0, pentru a măsura între 0-70 L/min. Debitmetrele au fost conectate în serie astfel încât vor citi alternativ valoarea debitului în funcție de caz (inspirație/expirație). În urma primelor investigații a fost constatată o problemă de etanșare a ABS. După trei iterații ale procesului de etanșare, au fost într-un final eliminate toate neetanșitățile vizibile. Măsurile finale au constatat în: aplicarea unei garnituri între cilindru și plăcile de capăt, fixarea unui strat dublu de neopren între două discuri care vor constitui pistonul (au fost produse discuri noi cu un diametru redus pentru a acomoda garnitura de neopren), garnitură de etanșare pentru flanșa șurubului cu bile și utilizarea unor lungimi mai mari de furtun pentru a asigura etanșarea cuplelor Y din circuitul de admisie (Figura 6).

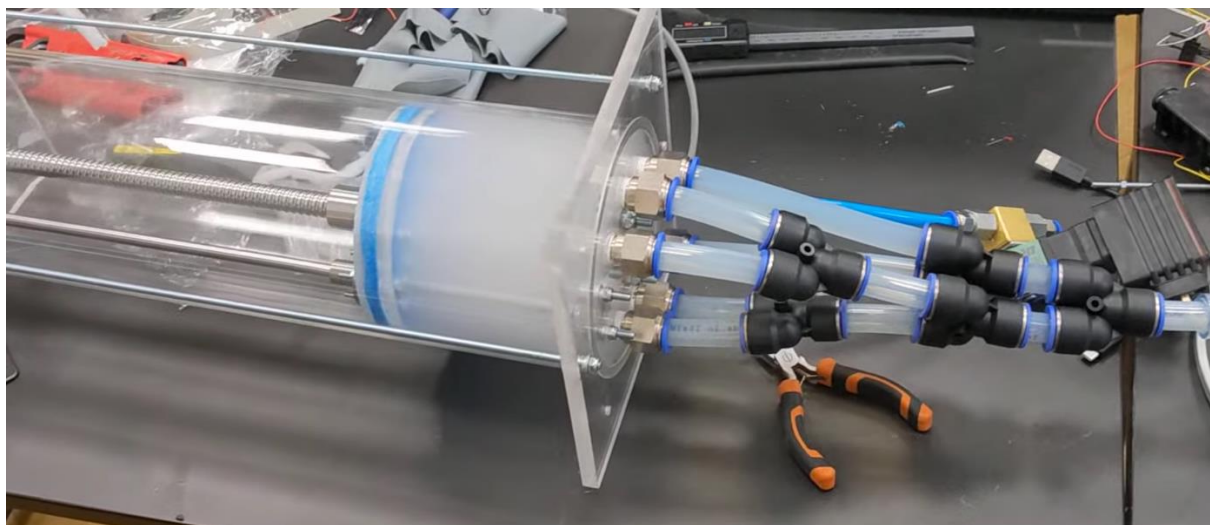


Figura 6 Confirmarea eliminării neetanșităților vizibile din corpul ABS

Tabelul 8 Rezultatele măsurărilor de debit desfășurate în timpul validării corpului ABS

Timp [s]	Debit [L/min]	Interval de măsură [s]	Volum introdus [ml]
0,0	0,00	0,2	0
0,2	0,76		1,26
0,4	4,52		8,79
0,6	10,75		25,45
0,8	14,88		42,72
1,0	18,67		55,91
1,2	19,65		63,86
1,4	15,66		58,86

1,6	11,90		45,94
1,8	6,04		29,90
2,0	0,84		11,46
Total			~344 ml

Se poate observa că în urma măsurărilor a rezultat un debit introdus de cca. 344 ml. În literatura medicală [3] este specificat că în cadrul volumul respirat în mod normal (tidal volume) intră și un volum de aer „mort” aflat pe esofag și în cavitatea nazală, echivalent cu 150 ml. A fost estimat volumul de aer aflat pe circuitul de admisie din cadrul ABS prin calculul volumelor cunoscute și a fost obținută o valoare de cca. 135 ml (115 pe traseu, cca 20 ml în armături). Însușind valoarea introdusă în ABS cu volumul de aer mort din circuitul de admisie **rezultă un volum total de 479 ml**. Comparat cu volumul teoretic estimat de 508 ml, **eroarea rezultatelor experimentale este de 5.6%**. **În consecință, corpul ABS a fost considerat validat experimental pentru simularea respirației.**

În cadrul ABS, parametrii de control sunt debitele de aer și de CO₂, diferența de presiune dintre rezervorul cu CO₂ și concentrația de CO₂ în aerul inspirat/expirat; parametrii acționați sunt viteza și numărul de pași ai motorului NEMA23 și gradul și rata de deschidere al electro-vanei cu solenoid. Drept urmare a fost propusă schema de control logic prezentată în Figura 7. **Logica de control prezentată mai jos reprezintă principalul livrabil pentru sarcina T1 din cadrul WP3.**

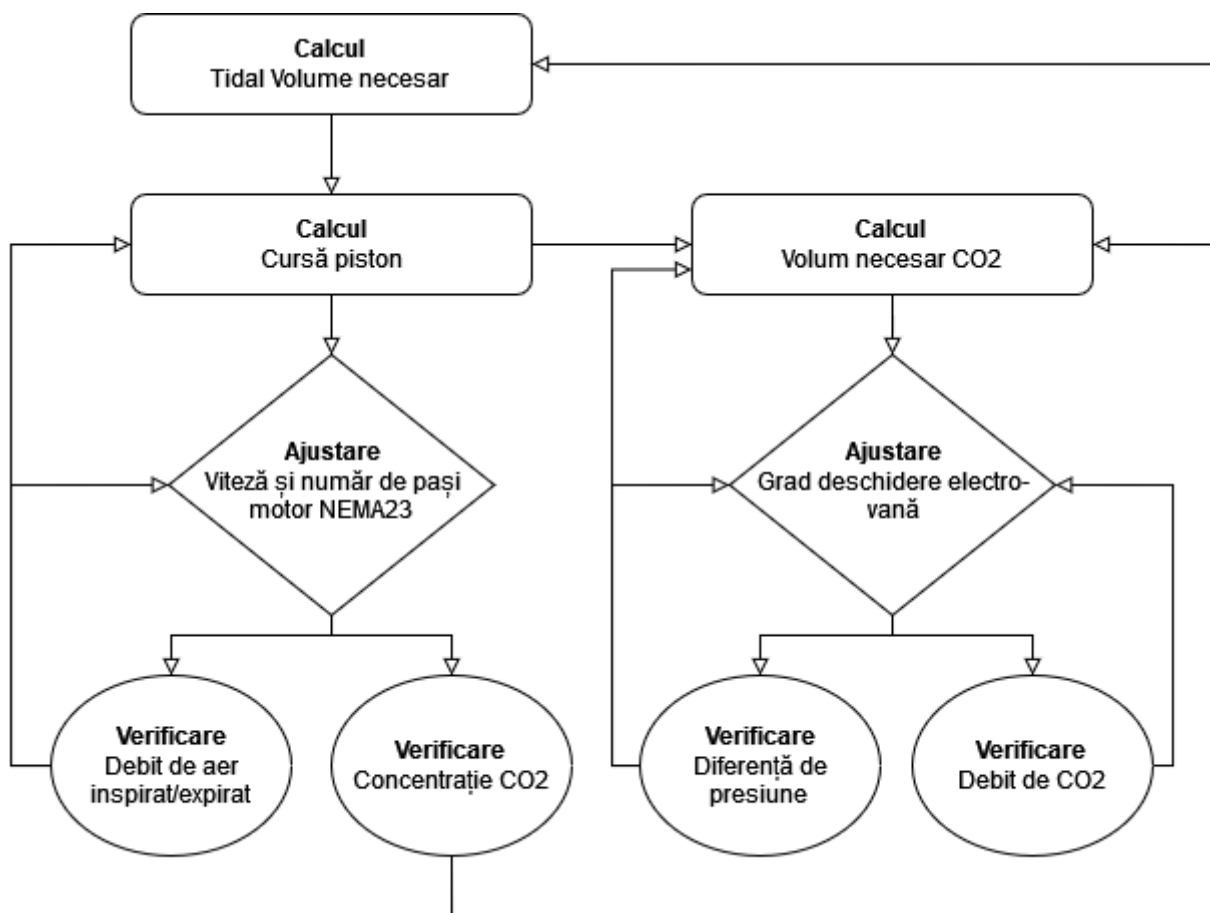


Figura 7 Schema de control pentru sistemul de automatizare al ABS

La finalul Etapei II, sistemul de achiziție al datelor era capabil să înregistreze valorile debitelor și ale diferenței de presiune la intervale de 0.2s. Electro-vana cu solenoid are două poziții de funcționare: închisă sau deschisă, iar datorită solenoidului trecerea dintre poziții se face practic instantaneu. Gradul de deschidere este controlat prin modularea curentului care alimentează electro-vana, rezultând ca în

timp această să fie parcursă de o cantitate de fluid echivalentă cu cea care ar trece printr-un robinet clasic parțial deschis.

Motorul pas cu pas este controlat prin intermediul unui driver logic. Acest driver este acționat de placa de achiziție Arduino Mega (având nevoie de 5.5V pentru a funcționa). Driverul transmite motorului informația legată de numărul de pași pe care motorul trebuie să-i parcurgă (200 de pași per revoluție și 1.8° rotație per pas), de viteza maximă pe care poate să o atingă și de accelerația motorului. Mai jos este prezentat un exemplu de logica de control pentru motorul pas cu pas.

Control Motor NEMA23

```
const int MOTOR_STEP_PIN = 16;
const int MOTOR_DIRECTION_PIN = 14;
FlexyStepper stepper;
void setup() {
  // setup the LED pin and enable print statements
  //pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  // connect and configure the stepper motor to its IO pins
  stepper.connectToPins(MOTOR_STEP_PIN, MOTOR_DIRECTION_PIN); }
void loop() {
  // set the speed and acceleration rates for the stepper motor
  stepper.setSpeedInStepsPerSecond(20000);
  stepper.setAccelerationInStepsPerSecondPerSecond(1200);
  // Rotate the motor in the forward direction, then wait 800 milliseconds.
  // This function call will not return until the motion is complete.
  stepper.moveRelativeInSteps(2640);
  delay(800);
  // rotate backward, then wait 1 millisecond
  stepper.setAccelerationInStepsPerSecondPerSecond(3300);
  stepper.moveRelativeInSteps(-2640);
  delay(100); }
```

Până în acest punct, realizările Etapei II au contribuit la realizarea sarcinilor **T2**, **T3** și **T4** din **WP3**.

Programul de control pentru rezervorul de CO₂ și interacțiunea acestuia cu corpul ABS erau în lucru la finalul Etapei II. Regulatorul de presiune instalat în rezervorul de CO₂ este conceput să elibereze CO₂ la aplicarea unei depresiuni echivalente cu cea a plămânilor față de racordul de alimentare cu CO₂ care are o presiune nominală de 10 bar. Regulatorul este instalat într-un rezervor deoarece nu poate fi acționat fără prezența unui plenum în care să fie resimțită diferența de presiune. Acest plenum va trebui ținut la o suprapresiune față de corpul ABS. Principiul fiind ca în momentul deschiderii electrovanei să se stabilească un debit de CO₂ din rezervor către ABS în timpul inspirației.

Livrabilele Etapei III

Principalele activități din Etapa III sunt legate de testarea, evaluarea și ajustarea performanțelor ABS în vederea obținerii unui set de măsurători pentru validarea respirației și a generării de CO₂. Aceste activități sunt corelate cu sarcinile **T2, T3, T4 și T5 din WP3**. Activitățile s-au desfășurat pe o durată de 3 luni calendaristice (01/01/2024 – 31/03/2024). Mai jos, urmează prezentarea rezultatelor măsurătorilor și testelor efectuate în această perioadă.

Prima observație din Etapa III a fost legată de senzorul de CO₂. Concepția inițială a ABS prevedea un senzor de CO₂ montat pe circuitul de inhalație/expirație ala ABS, cu capacitatea de evaluare rapidă a concentrației de CO₂. Senzorul Cozir SPRINT-IR CO₂ a fost instalat în această poziție, însă în timpul testelor s-a constatat o evaluare eronată a concentrația de CO₂. Frecvența de achiziție a senzorului (principalul criteriu de alegere) a fost suficientă pentru surprinderea fenomenului de respirație, însă constructiv senzorul prezintă o cameră de dimensiuni reduse în care concentrația de CO₂ din aer este evaluată. Acest detaliu constructiv a făcut ca aerul inhalat de ABS să nu poată elimina tot CO₂-ul acumulat în camera de măsură a senzorului în intervalul scurt de timp necesar unei inspirații.

Soluția acestei probleme ar putea fi reducerea pierderilor de sarcină de pe circuitul senzorului pentru a mări debitul de aer (amintim că rata de ventilare pulmonară medie experimentală este 8.7 l/min), însă acest lucru ar depăși debitul maxim la care a fost tentat senzorul (0.2 l/min). Senzorul a fost introdus pe traseul principal de aer (în serie cu debitmetrele) și valori de CO₂ au fost înregistrate însă acuratețea acestora nu poate fi garantată fără teste suplimentare de re-calibrare a senzorului.

În consecință, s-a optat pentru determinarea concentrației de CO₂ din ABS prin calcul matematic bazat pe debitul de aer introdus în timpul inspirației din mediul ambiant (volumul a fost determinat de cursa pistonului și validat de debitmetru) și volumul de gaz introdusă din rezervorul de CO₂ (determinat printr-un debitmetru secundar). Senzorul de CO₂ a fost amplasat în exteriorul ABS în proximitatea direcției de inspirație/inhalație pentru a evalua concentrația de CO₂ din aerul ambiant.

În urma experienței cu senzorul de CO₂ și pierderile de sarcină introduse de componentele sistemului (debitmetru, racorduri etc), pierderi de sarcină care nu au putut fi pe deplin luate în considerare datorită informației incomplete legate de aceste pierderi de sarcină în fișele tehnice ale echipamentelor, circuitul de inhalare/expirație a fost modificat. El consta în 6 orificii circulare de diametru cca 12 mm. Racordul de CO₂, conectat inițial la un racord de dimensiuni mai mici (cca 5 mm) a fost instalat pe unul dintre cele șase orificii de 12 mm pentru a reduce pierderile de sarcină de pe circuitul de introducere al CO₂. Acest lucru a fost necesar întrucât pierderile de sarcină introduse de electro-vana de reglaj împiedicau curgerea dioxidului de carbon în cantități suficiente.

Consecințele acestei decizii sunt reducerea suprafeței de curgere a aerului inhalat/expirat, lucru care pentru un debit constant inhalat, va duce la o creștere a vitezei în tubulaturi, ceea ce va aduce o creștere a pierderilor de sarcină prin circuitul de inhalare. Comportamentul așteptat al ABS-ului în acest punct a fost o reducere a debitului total inhalat/expirat față de Etapa II dar cu obținerea unei concentrații adecvate de CO₂.

Așadar, testele de calibrare au continuat cu diferite iterații care acționau asupra gradului de deschidere al electro-vanei (amintim că electro-vana modulează curgerea). Cel mai important rezultat din procesul de testare și calibrare este prezentat mai jos în Figurile 8 și 9.

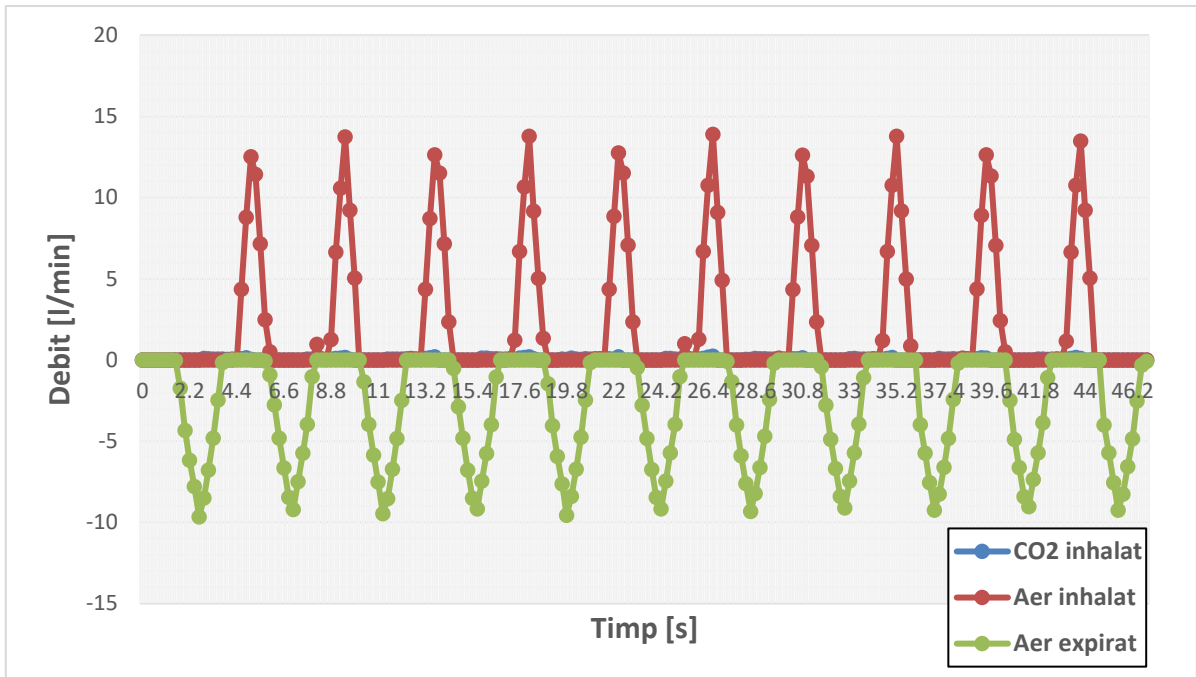


Figura 8 Ciclul respirator din timpul primului test de calibrare

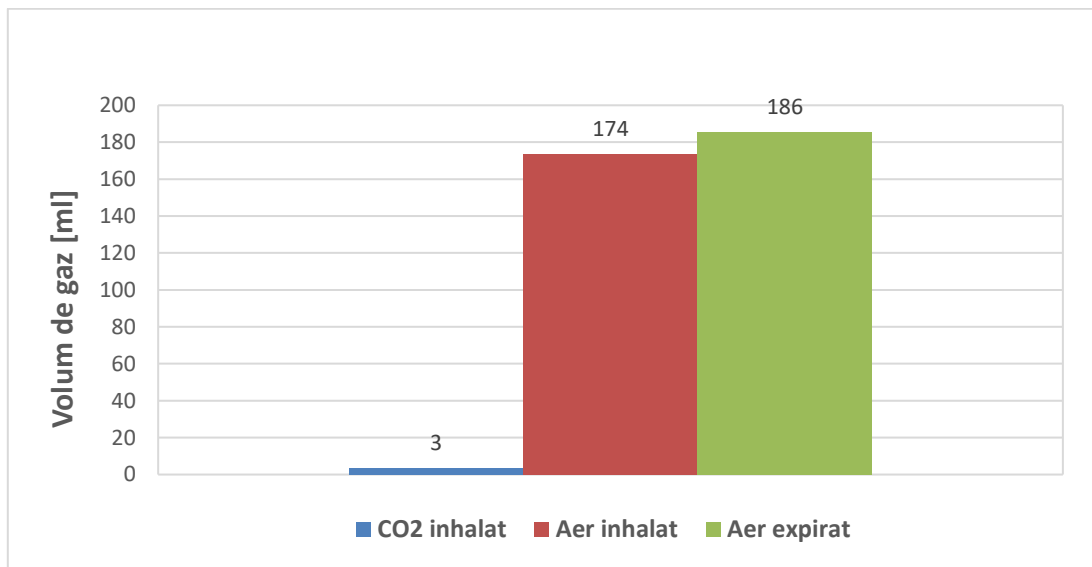


Figura 9 Valorile medii ale volumelor de gaze vehiculate în timpul primului test de calibrare

În urma testului de calibrare prezentat mai sus, s-a constatat că în ciuda modificărilor, un grad de deschidere de 100% al electro-vanei nu a fost suficient pentru asigurarea concentrației de 4% CO₂ în aerul expirat (primul rezultat fiind o concentrație de doar 1.5%), precum se poate observa în Figura 9. În medie, diferența dintre aerul inhalat (aer inhalat + CO₂ inhalat) și aerul expirat a fost de cca 5%. O valoare global acceptabilă, ecartul fiind explicat de pierderile de sarcină crescute de pe circuitul de introducere al CO₂ și din erorile cumulate de măsură ale debitmetrelor pentru debite mici. Se observă de asemenea o scădere a debitului total inhalat/expirat față de Etapa II la cca 190 ml per respirație. În acest moment, concluzia a fost că circuitul de introducere al CO₂ trebuie alterat suplimentar. Electro-vana a fost eliminată și s-a optat pentru racordarea directă la sursa de CO₂ prin intermediul regulatorului de presiune de treapta a II-a printr-un muștic (similar cu cel folosit în scufundări). Logica acestei decizii a fost că în teorie prin eliminarea rezervorului și a electro-vanei de pe traseu, vor

scădea pierderile de sarcină și debitul de CO₂ va crește. Rezultatele sunt prezentate în Figurile 10, 11 și 12.

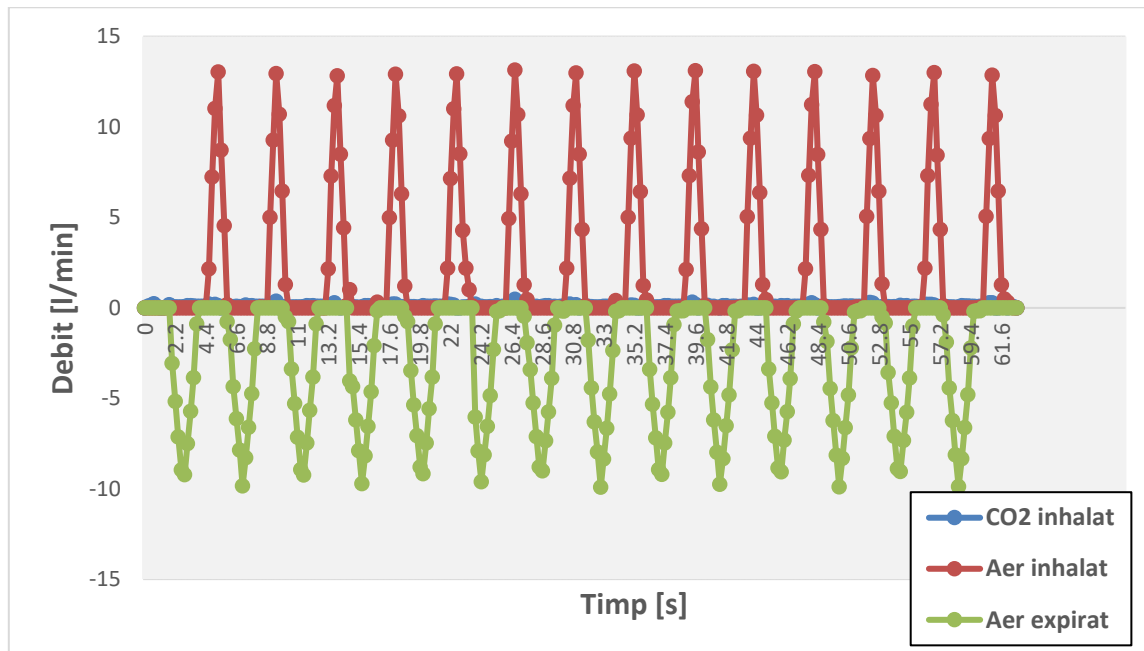


Figura 10 Ciclul respirator din timpul testului final de calibrare

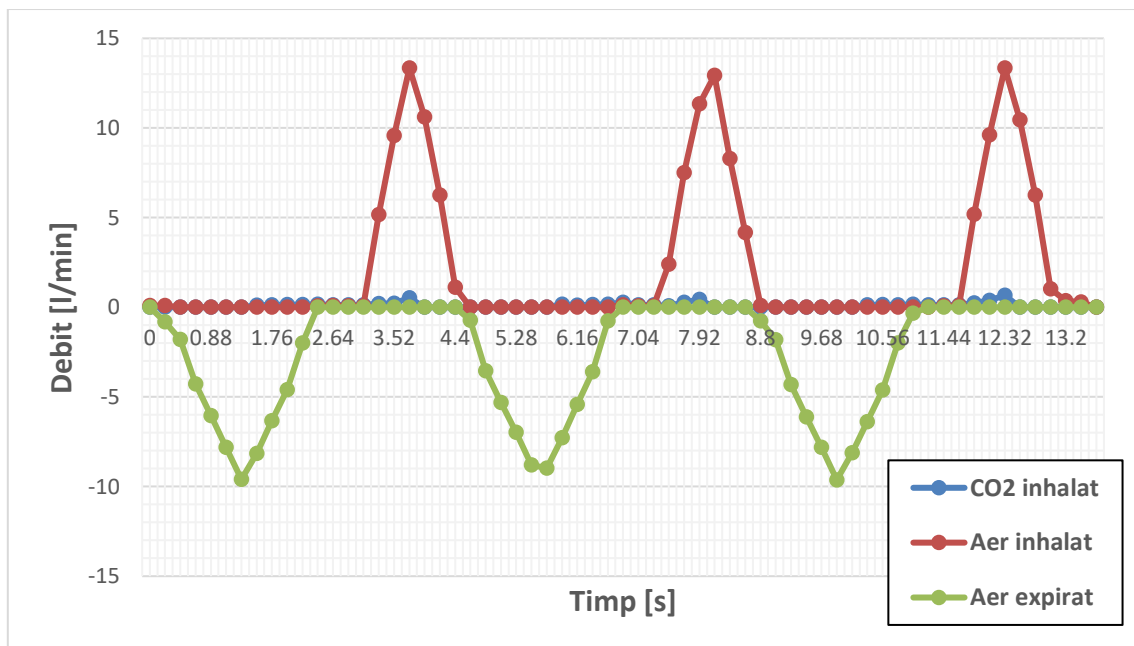


Figura 11 Primele trei respirații (R1-R3) din testul final de calibrare

Testul final de calibrare a fost, în final suficient pentru a atinge concentrația dorită de CO₂ (4% din volum). În medie, diferența dintre aerul inhalat (aer inhalat + CO₂ inhalat) și aerul expirat a fost de cca 7%. Respirații individuale, precum primele trei din testul final (R1 – R3) prezentate în Figurile 11 și 12, prezintă ocazional diferențe mai mici în jur de 5%. Atât în cele trei respirații inițiale cât și în medie, concentrația de CO₂ este în jur de 4% (valori între 4% și 4,7%). Racordarea directă la sursa de CO₂ prin intermediul muștiucului a dat rezultate pozitive, deși având o structură complexă etanșarea

este greu de stabilit. Debitul este în continuare scăzut față de Etapa II datorat modificării secțiunii totale de curgere a aerului prin ABS.

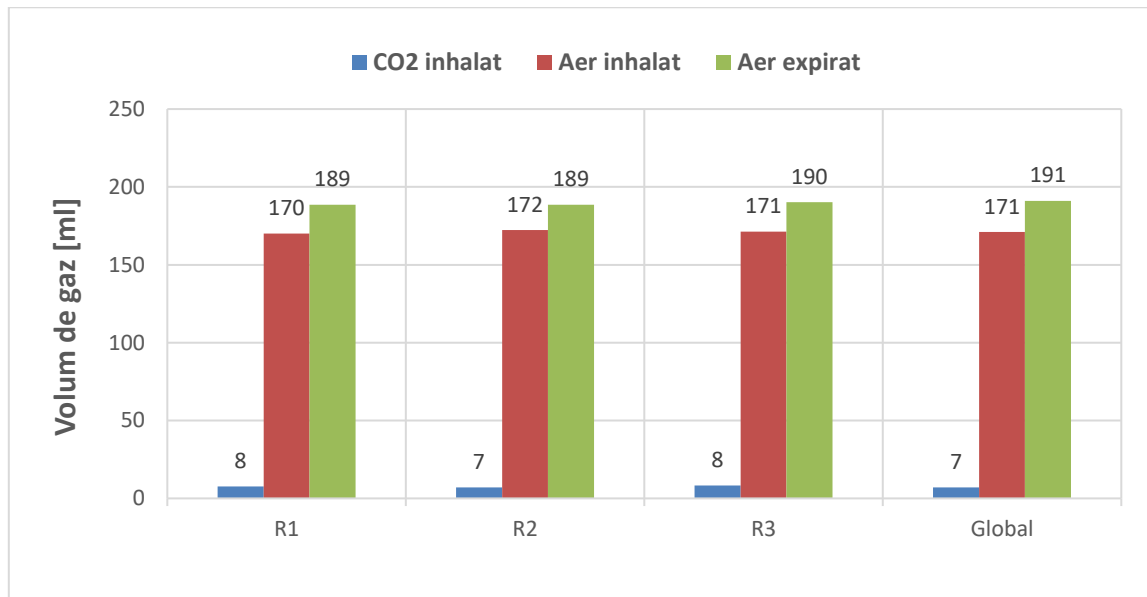


Figura 12 Valorile medii ale volumelor de gaze vehiculate în testul final de calibrare

La data acestei raportări, ABS-ul este în stadiul de modificare a geometriei de admisie a aerului (principala modificare fiind lărgirea orificiului de dimensiuni reduse prevăzută inițial pentru CO₂). Debitul în ABS poate fi modificat prin variația vitezei motorului pas cu pas și/sau mărirea cursei pistonului. Mărirea cursei ar trebui considerată o soluție de rezervă întrucât ar limita posibilitatea studiului unor cazuri extreme de respirație. Modificarea vitezei va aduce cu sine riscuri privind acuratețea senzorilor (debitmetrele). Este de preferat identificarea unei soluții de reducere a pierderilor de sarcină prin sistem, cum ar fi modificarea suprafeței de admisie.

Direcțiile viitoare de cercetare implică concepția unui mecanism care să permită utilizarea senzorilor de CO₂ la două scări de măsură diferite: una pentru aerul inspirat la cca 0.04% CO₂/volum, una pentru aerul expirat la 4% CO₂/volum. Acest mecanism cel mai probabil implică proiectarea unor piese specifice acestei aplicații care să permită curgerea unidirecțională a unei fracțiuni neglijabile din debitul de aer către senzori. Astfel, parametrii ar putea fi evaluați pentru contra-verificarea calculelor de concentrație rezultate din debit, fără să fie afectat fluxul global de aer în ABS. În plus se vor investiga metode de reducere a pierderii de sarcină prin tubulatură ABS-ului, în special pentru posibilă integrare a ABS într-un manechin termic. Pentru prezentul proiect, evaluarea concentrației de CO₂ a fost suficientă pentru îndeplinirea obiectivelor propuse, procesul de iterație asupra ABS-ului va continua pentru a testa limitele modificării debitelor prin variația vitezei de deplasare a pistonului.

Bibliografie

- [1] M. R. Georgescu, A. Meslem, and I. Nastase, "Accumulation and spatial distribution of CO₂ in the astronaut's crew quarters on the International Space Station," *Build. Environ.*, vol. 185, no. September, p. 107278, 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107278.
- [2] M. R. Georgescu, I. Nastase, A. Meslem, M. Sandu, and F. Bode, "Human CO₂ generation rates in small enclosures for different test cases," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 664, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/664/1/012006.
- [3] A. C. Guyton and J. E. Hall, *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*, 12th ed., vol. 12. SAUNDERS Elsevier, 2011.

Indicatori de rezultat în cadrul proiectului PNEUMA

Indicatorii de rezultat din punct de vedere științific ai proiectului PNEUMA sunt publicațiile științifice în jurnale cu factor de impact (de tip „research” sau „review”) și articole științifice prezentate la conferințe internaționale (indexate ISI). În tabelul de mai jos este prezentată o listă a indicatorilor de rezultat științific prevăzuți prin cererea de finanțare și producția științifică rezultată în cadrul proiectului. Trebuie menționat că există în continuare o componentă a producției științifice în lucru care va fi publicată sau trimisă spre publicare în decursul anului 2024, după încheierea oficială a proiectului. Toate publicațiile care au beneficiat de pe urma proiectului PNEUMA vor face referire la proiect în secția de „acknowledgements”, indiferent de data publicării.

Indicator de rezultat	Prevăzut	Realizat	În curs de realizare	Total prevăzut pentru finalul anului 2024
Pagina web a proiectului	1	1	0	1
Articol Jurnal	1	1	1	2
Articol Conferință ISI	2	3	2	5
Articol Conferință BDI	0	3	0	3

Toate rezultatele științifice publicate la data redactării prezentului raport au fost publicate pe **pagina web a proiectului PNEUMA**: <https://cambi.utcb.ro/researchprojects/pneuma>. Articolele aflate în lucru vor apărea pe pagina web a proiectului după publicare. Mai jos, se regăsește lista completă a articolelor publicate sau în curs de publicare datorate proiectului PNEUMA.

Publicații științifice

I. Articole de Jurnal (2 în total, 1 publicat, 1 în stadiul final de redactare)

Articole publicate

Cristiana Croitoru, Florin Bode, Razvan Calota, Charles Berville, M.-R. Georgescu, *Harnessing Nanomaterials for Enhanced Energy Efficiency in Transpired Solar Collectors: A Review of Their Integration in Phase-Change Materials*, *Energies* 17(5), 1239, 2024. **(FI 3.2)**

<https://doi.org/10.3390/en17051239>

Articole în curs de redactare / review

Alexandru Cernei, M.-R. Georgescu, Paul Danca, Frédéric Thevenet, Marie Verrielle, Ilinca Nastase, *Human Thermal Manikins as a Tool for the Dynamic Evaluation of Interior Air Quality*, **Stare Articol**: În stadiul final de redactare, va fi trimis către un jurnal Q1. Articolul va apărea la secțiunea „Diseminare” de pe pagina web a proiectului după publicare.

II. Articole de Conferință ISI (5 în total, 3 publicate, 2 în așteptarea prezentării și publicării)

Articole publicate

M.-R. Georgescu, I. Nastase, Experimental evaluation of the variation of human breathing flow parameters for multiple test subjects, The 8th Conference of the Sustainable Solutions for Energy and Environment, EENVIRO 2022, Bucharest, Romania. <https://www.eenviro.ro/>

M.-R. Georgescu, I. Năstase, Design Proposal for Artificial Breathing Simulators for Human Thermal Manikins, The 11th International Conference on Energy and Environment, CIEM 2023, Bucharest, Romania. <http://ciem.upb.ro/2023/>

M.-R. Georgescu, A. Cernei, I. Năstase, P. Dancă, D.-I. Guță, I. Ursu, Development and Use of a New Architecture of Thermal Manikin for Assessing Local Thermal Comfort, The 11th International Conference on Energy and Environment, CIEM 2023, Bucharest, Romania. <http://ciem.upb.ro/2023/>

Articole în curs de redactare / review

M.-R. Georgescu, Paul Danca, Alexandru Cernei, Frédéric Thevenet, Marie Verrielle, and Ilinca Nastase, *Innovative thermal manikin for assessing local thermal comfort - development of a new hardware architecture* Conferință: ROOMVENT 2024. **Stare Articol:** Redactat, Acceptat în urma procesului de review, în așteptarea prezentării și a publicării. Articolul va apărea la secțiunea „Diseminare” de pe pagina web a proiectului după publicare.

Paul Danca, Florin Bode, **M.-R. Georgescu**, Cristiana Croitoru, Mihnea Sandu and Ilinca Nastase, *Advanced Personalized Ventilation strategies in aircraft cabins for enhanced protection against airborne pathogens*, Conferință: INDOOR AIR 2024 **Stare Articol:** Redactat, Acceptat în urma procesului de review, în așteptarea prezentării și a publicării. Articolul va apărea la secțiunea „Diseminare” de pe pagina web a proiectului după publicare.

III. Articole de Conferință BDI (3 în total, 3 prezentate)

Articole prezentate

M.-R. Georgescu, Paul Danca, Alexandru Cernei, Frédéric Thevenet, Marie Verrielle, Ilinca Nastase, *Advanced thermal manikin for assessing local thermal comfort in aircraft cabin*, KGH, 54 International, HVAC R Congress and Exhibition, December 2023

Paul Danca, **M.-R. Georgescu**, Florin Bode, Razvan Calota, Costin Ioan Coșoiu, and Ilinca Nastase, *An Overview Of The Airplanes Cabin Ventilation – Exploring The Feasibility Of Protective Ventilation*, KGH, 54 International, HVAC R Congress and Exhibition, December 2023

Paul Danca, **M.-R. Georgescu**, Florin Bode, Razvan Calota, Costin Ioan Coșoiu, and Ilinca Nastase, *Advanced Personalized Ventilation strategies in aircraft cabins for enhanced protection against airborne pathogens*, ASHRAE Winter Meeting, Chicago, January 2024

Impact prevăzut / realizat

În cererea de finanțare, impactul prevăzut a fost legat de producția științifică și de rezultatele cercetării, prezentate mai sus. Din punct de vedere științific, un ABS cu frecvență variabilă de respirație și producție internă de CO₂ este o noutate. Din punct de vedere al rezultatelor cercetării, indicatorii de rezultat au fost concentrațiile de CO₂ din aerul expirat al ABS și rata sa de generare a CO₂-ului. Echivalența cu ratele de generare a CO₂ măsurate experimental la om, în procent volumic (4% din volumul de aer expirat) este considerată un indicator al succesului.

Proiectul a reprezentat o continuare naturală a specializării în cercetare a liderului proiectului, dezvoltată în timpul tezei sale de doctorat, și va ajuta liderul proiectului să-și construiască cariera în cercetare și învățământ superior la instituția gazdă. Sistemul de respirație propus va permite o înțelegere mai profundă a măsurătorilor experimentale existente ale ratelor de generare a CO₂ la om, evidențiind potențial corelații nemaivăzute anterior între amplitudinea și frecvența respirației și schimbul de gaze CO₂ măsurat.

Din punct de vedere economic, parametrii de respirație determinați ca optimi prin iterație de ABS după integrarea mai multor seturi de date de respirație umană ar putea fi utilizați în studii experimentale și numerice ale calității aerului în mediul construit sau în vehicule. Acest lucru ar reduce necesitatea altor grupuri de cercetare de a-și utiliza timpul și resursele pentru a efectua măsurători de respirație umană, reducând astfel costurile pentru potențiali parteneri de cercetare.

Principalul impact realizat de proiectul PNEUMA este faptul că ABS-ul a îmbogățit capacitățile de cercetare ale instituției gazdă, care este deja implicată în studiul confortului uman prin mai mulți manechini termici de ultimă generație. Sistemul de respirație a fost deja implementat (în variante mai simple, fără generare de CO₂) în mai multe proiecte în desfășurare privind confortul în avioane sau calitatea aerului interior. În plus standul dezvoltat va fi pus la dispoziția viitorilor doctoranzi în caz că aceștia vor avea nevoie de el pentru lucrările lor de cercetare.

În mod notabil, proiectul PNEUMA a oferit directorului de proiect oportunitatea de a stabili o colaborare internațională cu o universitate din Franța (IMT Lille Douai), prin potențialul pe care ABS-ul îl are în studiile de calitatea aerului interior (specialitate, echipei de cercetare din Franța) mai ales atunci când este integrat în manechini termici de ultimă generație. Această colaborare este evidențiată prin articole de conferințe și un articol de jurnal, planuit a fi publicat în anul 2024 la care echipa de cercetare a directorului de proiect și a mentorului a colaborat îndeaproape cu echipa de cercetare de la IMT Lille Douai.

PNEUMA

<https://cambi.utcb.ro/researchprojects/pneuma>

Director Proiect,

Asist. Univ. dr. ing. Georgescu Matei-Răzvan

.....

