

 <p>Universitatea Tehnică de Construcții București</p>	<p>Universitatea Tehnică de Construcții București</p> <p>Departamentul de Sisteme Termohidraulice și pentru Protecția Atmosferei</p> <p><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>
<p>RST - PN-III-P1-1.1-PD-2021-0342</p>		

Raport Tehnic și Științific – RST 01/2022

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

PNEUMA

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

Rezumatul Executiv al Etapei

Primul pachet de lucru (**WP1**) al proiectului **PNEUMA** acoperă elaborarea documentației necesare pentru construirea simulatorului artificial al sistemului respirator uman (**ABS**). Acest pachet de lucru 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. Trebuie menționat că în timpul WP1, din motive care nu țin de directorul de proiect a avut loc o diminuare a bugetului total în valoare de 3798 RON, urmând ca această sumă să fie realocată în anul următor. Această sumă a fost dedusă din bugetul de logistică cu un impact minim asupra procesului de achiziții, întrucât bugetul aferent primei etape nu era suficient pentru a acoperi necesarul de echipamente. Procesul de achiziție al echipamentelor necesare pentru construcția ABS va continua în următoarea etapă a proiectului.

Livrabilele dezvoltate în cadrul **WP1** sunt: (1) schema de funcțională, (2) dimensionarea, (3) proiectul ABS și (4) lista de materiale necesare. În plus, tot în decursul **WP1** a fost demarată procedura de achiziție pentru componentele incluse în lista de materiale în limita bugetului disponibil. Din achizițiile demarate, o parte au fost livrate și se află la sediul instituției gazdă (UTCB) în posesia directorului de proiect. O descriere detaliată a livrabililor și a stadiului actual al achizițiilor va fi furnizată în capitole separate în cadrul prezentului raport.

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.

Descrierea științifică și gradul de realizare al obiectivelor

Activitățile propuse și gradul de realizare al obiectivelor

Planul de lucru al proiectului este împărțit în mai multe pachete de lucru (**WP**), fiecare dintre acestea fiind alcătuit din mai multe sarcini (**T**), pe parcursul cărora au fost identificate două etape de referință (**M**). Planul de lucru este prezentat în **Figura 1**.

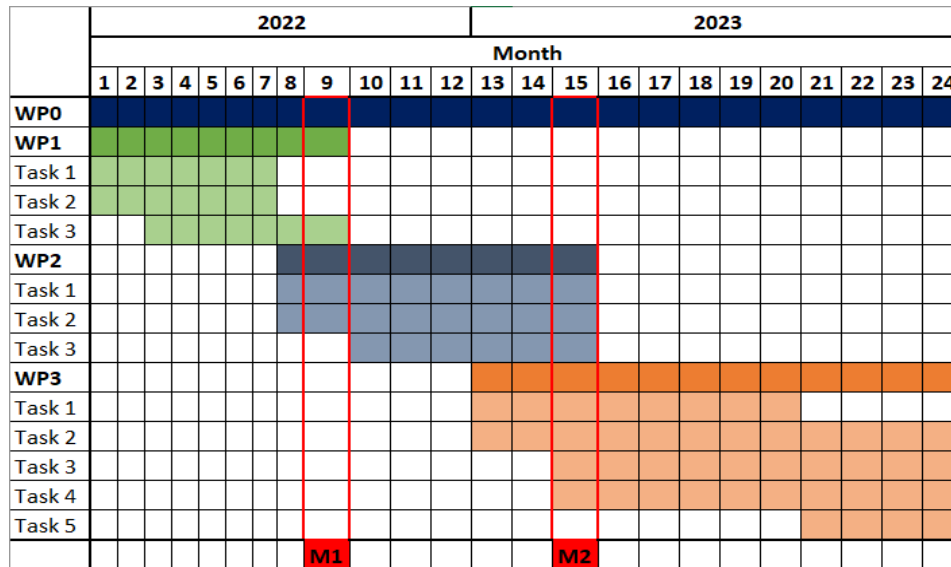


Figura 1 Graficul Gantt al proiectului PNEUMA

WP0 – reprezintă activitățile de management ale proiectului.

WP1 - se referă la documentația și proiectarea pentru construcția ABS, cu următoarele sarcini: (**T1**) proiectare teoretică și pre-dimensionare ABS, pre-dimensionare, estimare a materialelor necesare; (**T2**) Revizuirea proiectării și reitararea dacă este necesar; (**T3**) achiziția materialelor necesare; (**M1**) Documentele de proiectare pentru construcția ABS.

WP2 - acoperă construcția ABS și implementarea software-ului de achiziție de date, cu următoarele sarcini: (**T1**) instalarea hardware-ului, configurarea software-ului de achiziție de date; (**T2**) verificarea sistemelor și depanarea (dacă este necesar); (**T3**) validare preliminară pe baza măsurătorilor existente ale ratei de generare de CO₂ de către om; (**M2**) ABS validat pentru simularea experimentală a respirației umane.

WP3 - va acoperi implementarea sistemului de control automat și verificarea și optimizarea acestuia prin comparație cu rezultatele existente, cu următoarele sarcini: (**T1**) conceperea sistemului de control automatizat; (**T2**) determinări experimentale ale ratelor de generare de CO₂ uman pentru diferiți subiecți umani; (**T3**) evaluarea performanțelor ABS prin comparație cu rezultatele experimentale existente; (**T4**) revizuirea și îmbunătățirea sistemului de control automatizat; (**T5**) Validarea finală a sistemului ABS pe baza ratelor medii de generare de CO₂ uman măsurate experimental.

Pentru etapa curentă 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 curentă este prezentat în **Tabelul 1**.

Tabelul 1 Gradul de realizare al obiectivelor propuse pentru etapa curentă

Pachet de lucru / Sarcină	Grad de realizare
WP 0 – Management proiect	37%
WP1 – Proiectare ABS, achiziție echipamente	90%
T1 – Principiu de funcționare și predimensionare	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 CO₂	
T3 – Evaluare performanțe ABS	
T4 – Revizuirea și optimizarea sistemului de control automatizat	
T5 – Validare finală ABS automatizat	

În cursul prezentei etape, 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 va fi 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%.

Desfășurarea activităților din **WP1** din punct de vedere științific, pe parcursul prezentei etape, va fi detaliată în capitolele următoare.

I. Stadiul actual al tehnicii în domeniu

În ultimii ani, preocupările legate de calitatea aerului au crescut în întreaga lume, de la reducerea expunerii umane la poluanți [1–3], la investigarea riscului de contaminare cu agenți patogeni transmiși prin aer [4–6], calitatea aerului se află în prim-planul sănătății ocupanților clădirilor. Cercetările anterioare [7] referitoare la subiectul contaminării cu agenți patogeni au stabilit importanța parametrilor de respirație umană în evaluarea riscului de transmitere al acestor agenți prin aer. Respirația umană este cel mai frecvent reprezentată în studii sub forma unui debit mediu [8,9], adesea pe baza recomandărilor din manualele medicale [10]. Cu toate acestea, parametrii de respirație variază de la o persoană la alta [11], iar sistemele de ventilație proiectate pe baza unor parametri medii ar putea să nu fie capabile să reducă în mod adecvat expunerea ocupantului la poluanți sau la agenți patogeni aerieni.

Setul de date pe care se bazează prezentul studiu bibliografic a fost obținut din cercetări privind debitul de CO₂ generat de oameni în spații închise [11,12]. În cadrul acestor studii, debitul de respirație al fiecărui subiect a fost determinat pe baza debitului individual de generare a CO₂. Monitorizarea CO₂ este utilă în evaluarea parametrilor respirației umane, deoarece corpul uman încearcă să mențină o variabilă cvasi-constantă în timpul respirației, și anume concentrația de CO₂ în aerul expirat (4% CO₂ pe volum) [10,13,14]. Pe baza acestor informații, și cunoscând frecvența respirațiilor pe parcursul unui minut, se pot determina parametrii respiratori ai unui subiect uman de test.

Debitul de CO₂ generat de oameni a fost studiat pentru a oferi o privire cantitativă și detaliată asupra parametrilor respiratori individuali aferenți fiecăruia dintre cei 13 subiecți de test și de a compara rezultatele individuale cu parametrii medii extrași anterior [11,12] (**Tabelul 2**). Scopul este de a evalua plaja de variabilitate a parametrilor respirației umane în comparație atât cu media experimentală, cât și cu debitele respiratorii găsite în alte studii privind calitatea aerului [11] (**Tabelul 3**).

Tabelul 2 Abaterea parametrilor de respirație de la medie conform măsurătorilor experimentale proprii

Nr. Subiect	Debit de generare a CO ₂ [l/min]	Frecvența respiratorie [min ⁻¹]	Volum curent (V _t) [ml]	Rata de ventilare pulmonară (PVR) [l/min]
Subiectul-1	0.41	15	676	10.1
Subiectul-2	0.35	17	519	8.8
Subiectul-3	0.21	16.5	316	5.2
Subiectul-4	0.28	16	434	6.9
Subiectul-5	0.36	10	902	9
Subiectul-6	0.27	16	426	6.8
Subiectul-7	0.25	17	370	6.3
Subiectul-8	0.36	17	536	9.1
Subiectul-9	0.48	17	709	12.1
Subiectul-10	0.43	17	626	10.6
Subiectul-11	0.38	10	945	9.5
Subiectul-12	0.42	15	707	10.6
Subiectul-13	0.31	7	1109	7.8
Media	0.35	14.7	637	8.7

Comparația indică faptul că variabilitatea fiecărui parametru de respirație este ridicată la nivelul subiecților testați, în special în cazul frecvențelor respiratorii și al volumelor de respirație. Valorile PVR-urilor sunt comparativ mai apropiate între ele, sugerând că acesta este parametrul recomandat a fi utilizat la stabilirea ratelor de debit de aer pentru ventilarea incintelor în care calitatea aerului este importantă. Abaterea PVR-urilor individuale de la medie poate varia cu până la ± 40 %. Acest lucru indică faptul că

debitele de ventilație ar putea fi necesar să ventileze cu până la 40% mai mult aer expirat, în funcție de ocupant.

Tabelul 3 Parametrii respirației umane conform studiilor din literatura de specialitate

Autori	Tip studiu	Frecvența respiratorie [min ⁻¹]	Volum curent (V _i) [ml]	Rata de ventilare pulmonară (PVR) [l/min]
Guyton and Hall	Manual medical	12	500	6
Adams	Experimental	19.5	373	7.3
Bjorn, Nielsen	Experimental și numeric	10	600	6
Qian et al.	Experimental	10	600	6
Olmedo et al.	Experimental	19 / 15	570 / 660	10.8 / 9.9
Olmedo et al.	Experimental	14.6 / 10	750 / 660	10.9 / 6.6
Cao et al.	Experimental	16	550	8.8
Liu et al.	Experimental și numeric	15	700	10.5
Yoo, Ito	Numeric	14.8	555	8.2
Berlanga et al.	Experimental	15.6	570	8.9
Cheng et al.	Experimental	17.5	492	8.61
Media din literatură	N/A	13 - 14	577	7.5 - 8
Media studiului actual	N/A	14.7	637	8.7

Studiile referitoare la simularea numerică tranzitorie a respirației umane necesită informații despre frecvența respirației. În studiul de față, frecvențele respiratorii ale subiecților au fost raportate de către aceștia, conform indicațiilor date de supraveghetorii experimentului. Cu toate acestea, respirația umană este un proces automatizat, care nu este de obicei realizat în mod conștient. Astfel, orice studiu bazat pe frecvențe de respirație raportate de către subiecți trebuie să ia în considerare riscul ca simpla conștientizare a necesității de a monitoriza respirația să modifice tiparele de respirație.

Concluzia prezentului studiu bibliografic este că studiul respirației umane prin mijloace experimentale într-un mediu mai controlat este important pentru viitorul optimizării calității aerului interior. Din acest motiv, proiectul PNEUMA abordează dezvoltarea și instrumentarea unui simulator de respirație demonstrativ care să poată reproduce o varietate de modele de respirație.

Scopul proiectului PNEUMA este de a servi, pe termen lung, drept cadru pentru dezvoltarea unor simulatoare de respirație realiste. Lipsa de consens în rândul comunității științifice în ceea ce privește studiul respirației umane, așa cum reiese din diferitele modalități de simulare a funcției respiratorii, reprezintă un obstacol în calea progresului acestui subiect de cercetare.

II. Principiul de funcționare și proiectul ABS

ABS-ul construit în cadrul proiectului PNEUMA ar aborda mai multe dintre problemele întâlnite până în prezent în simularea procesului respirator: (a) în primul rând, prin faptul că dispune de o frecvență și o amplitudine variabilă a respirației, poate funcționa ca un cadru comun pentru cercetătorii care studiază respirația umană. Acest sistem nou ar aborda cea de-a doua problemă (b), permițând ajustarea în timp real a frecvenței și amplitudinii respirației în funcție de parametrii de control (concentrațiile de CO₂ în interiorul ABS și în aerul expirat), în timp ce până acum, în toate sistemele, acești parametri sunt fixați în prealabil de către utilizator. Un studiu parametric în acest sens ar putea permite determinarea unor funcții de respirație mai precise. În plus, problema finală (c) este abordată prin posibilitatea unei logici de control automatizate bazate pe diferența dintre concentrațiile de CO₂ în interiorul ABS și concentrațiile măsurate în aerul expirat din ABS.

Se identifică așadar următorii parametri relevanți ai sistemului: **(1)** Volumul de aer inspirat/expirat (Tidal Volume) – V_t [ml]; **(2)** Frecvența respirației – f [respirații/min] și **(3)** Concentrația volumică de CO_2 la inspirație și expirație - C_{CO_2} [ppm].

ABS va folosi volumul de aer inspirat/expirat și frecvența respirației drept parametri de reglaj (impuși de către utilizator), iar concentrația volumică de gaze drept parametru de control (de evaluare) pe baza căruia se vor ajusta parametrii de reglaj.

Ipoieza de verificare, este menținerea concentrația de CO_2 la expirație constantă de către corpul uman (4% concentrație volumică). Dacă concentrație de gaze măsurată la ieșirea aerului din instalație (expirație), se abate de la valoarea de 4%, parametrii de reglaj (V_t , f) vor fi ajustați pentru a atinge această concentrație. După această calibrare, se va compara funcționarea sistemului pe o durată mai lungă (cca 15 min) cu măsurătorile experimentale ale ratei de generare a CO_2 în timpul respirației măsurate anterior pe un calup de 13 subiecți umani.

Instalația experimentală va fi alcătuită dintr-un piston principal care va reprezenta „plămânul” și care va inspira/expira aer din mediul înconjurător (la parametrii ambienali). În interiorul pistonului principal, la un moment dat în timpul unei respirații, se va efectua un amestec de gaze între aerul inspirat la parametrii ambienali și o cantitate cunoscută de CO_2 , astfel încât în urma amestecului cu aerul inspirat, concentrația de CO_2 expirată să atingă valoarea dorită (4%). Schema funcțională a instalației propuse este prezentată mai jos în **Figura 2**.

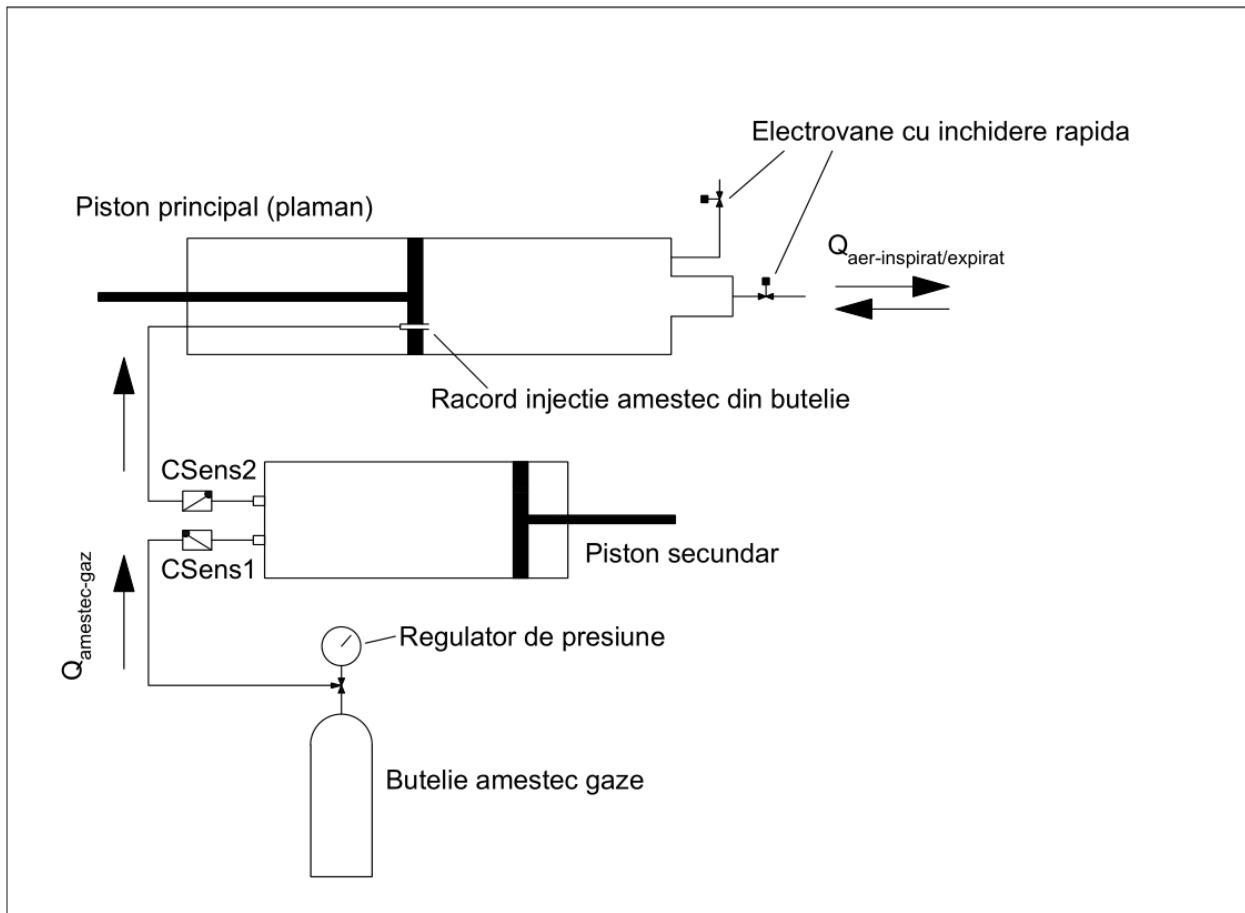


Figura 2 Schema de principiu pentru ABS

Amestecul dintre aerul inspirat și gazul secundar (CO₂) se va face prin introducerea unui volum cunoscut de gaz secundar în pistonul principal. Acest lucru se va realiza prin utilizarea unui piston secundar care va introduce gazul secundar la un anumit moment în pistonul principal (**Figura 2**). Intervalul de timp precis în care gazul secundar va fi introdus se va determina într-o etapă ulterioară a proiectului. Trebuie menționat că în propunerea inițială pentru ABS, transferul de gaze ar fi trebuit realizat printr-o membrană permeabilă. În urma unor investigații nu a putut fi găsită o membrană permeabilă care să permită transferul exclusiv al CO₂ cu o rată de permeabilitate suficientă pentru a mima transferul de gaz din plămânul omului. Ca atare s-a optat pentru prezenta soluție de a injecta o cantitate de CO₂ în pistonul principal în timpul respirației.

Pistonul secundar va avea clapete de sens pe aspirație/refulare astfel încât aerul inspirat să nu intre niciodată în pistonul secundar. Persiunea în interiorul pistonului principal va fi menținută la presiune atmosferică printr-un orificiu mereu deschis și în contact cu atmosfera. Circuitele care vor asigura această legătură sunt circuitul principal de inspirație/expirație și un circuit de purjare al aerului, ambele echipate cu electrovane cu închidere rapidă.

La un moment dat în timpul funcționării, gazul secundar va fi introdus în pistonul principal printr-un racord de injecție aflat în partea mobilă a pistonului. În momentul injectiei gazului secundar, electrovana de pe aspirația de aer va fi închisă și în același timp se va deschide electrovana de pe circuitul de purjare al aerului (care în mod normal stă închisă). Gazul secundar se va amesteca cu aerul, și o parte din amestec va fi evacuat prin circuitul de purjă în atmosferă, astfel încât presiunea în pistonul principal să fie menținută la presiune atmosferică.

După perioada de amestec, electrovana de pe circuitul de purjare va fi închisă, iar cea de pe circuitul de aspirație/refulare va fi deschisă, și amestecul de gaze (aer + gaz secundar) din pistonul principal va fi „expirat”. Concentrația de CO₂ va fi măsurată și parametri de reglaj vor fi ajustați în funcție de nevoie.

Dimensionarea pistoanelor folosite în ABS s-a efectuat în funcție de volumele de aer din plămâni descrise în literatura medicală de specialitate [10] (**Figura 3**) și în funcție de considerente constructive cum ar fi disponibilitatea materialelor prime prefabricate pentru asamblarea pistoanelor. Dimensionarea celor două pistoane este prezentată în **Tabelul 4** și **Tabelul 5**.

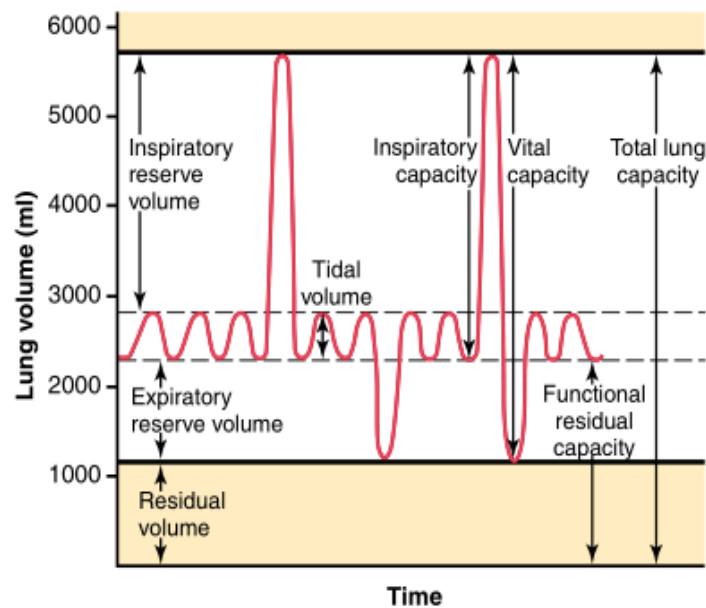


Figura 3 Volumele de aer din plămân și rolul lor în procesul de respirație [10]

Tabelul 4 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 5 Dimensionarea pistonului 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 s-a ales un diametru intern de 140 mm pentru pistonul principal. Materialul folosit pentru pereții pistonului va fi acrilic transparent (tip plexiglas) pentru a putea urmări elementele de injecție a CO₂ din corpul pistonului. Grosimea materialului a fost aleasă de 5 mm pentru a oferi rezistență la manipulare și la prelucrare. Partea mobilă a pistonului principal va fi similar realizată din acrilic transparent cu o grosime de 10 mm pentru a permite perforarea și instalarea racordurilor de injecție. 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.

Pistonul 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. Volumul necesar al pistonului secundar a fost ales la 250 ml, iar corpul pistonului poate fi realizat dintr-un tub de acrilic transparent cu diametrul intern 50 mm și o lungime de 127 mm.

Deplasarea pistoanelor va fi realizată prin intermediul unor motoare pas cu pas, care vor deplasa partea mobilă a pistoanelor de-a lungul unui șurub de ghidaj. Motoarele pas cu pas permit un control extrem de precis al deplasării, fiind ideale pentru utilizarea cu sistemul de automatizare propus într-o etapă ulterioară. 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. El va fi introdus în pistonul secundar în cantități fixe cunoscute (determinate de cursa pistonului 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. Trebuie menționat că CO₂-ul stocat în butelie va necesita completare periodică pe măsură ce este consumat în timpul măsurătorilor experimentale.

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 4**):

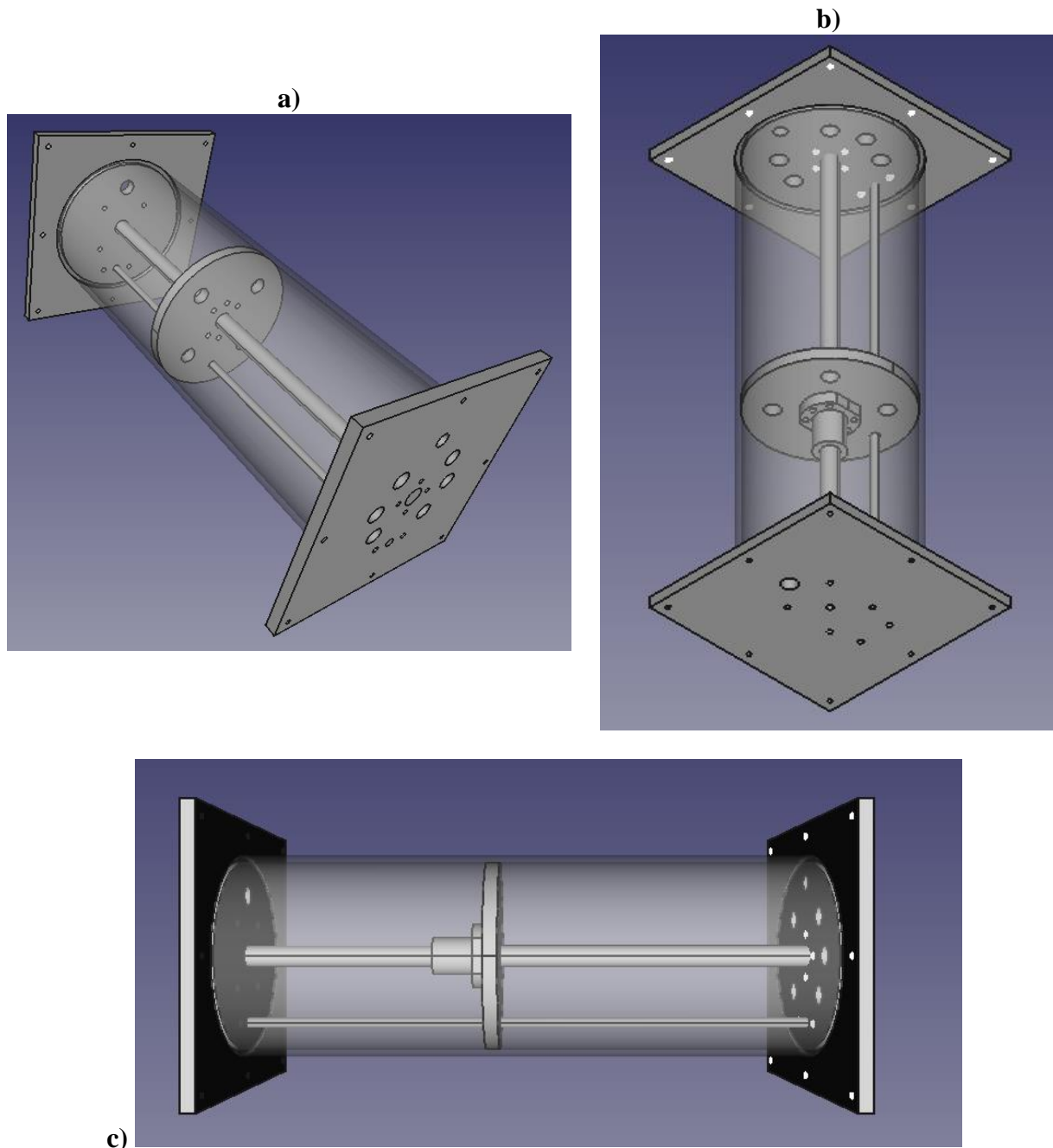


Figura 4 Modelul 3D pentru execuția pistonului principal

Ultimele două componente esențiale pentru funcționarea ABS-ului sunt un senzor de gaz pentru evaluarea concentrației de CO_2 în timpul inspirației/expirației cât și un sistem de achiziție a datelor pentru

logica de automatizare a sistemului. Integrarea senzorului de gaz în ABS ar putea necesita piese pentru onexiuni suplimentare de mici dimensiuni, produse la comandă, în funcție de cerințele constructive impuse de producătorul senzorului. Întrucât aceste piese sunt dificil de comandat este mai rentabilă achiziția unui sistem de producere al acestor piese, cum ar fi o imprimantă 3D, care va putea fi folosită pe parcursul proiectului pentru orice eventuale modificări minore care trebuie aduse echipamentelor experimentale.

Planurile 3D și lista de materiale prezentată în capitolul următor reprezintă finalizarea laturii științifice și de cercetare aferente primului pachet de lucru (**WP1**) propus al proiectului PNEUMA. **WP1** în propunerea de proiect includea și finalizarea achizițiilor însă datorită limitărilor de buget, această parte a pachetului nu a putut fi finalizată în decursul prezentei etape a proiectului, urmând ca achizițiile să fie finalizate în etapa a doua.

III. Lista de materiale

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

Denumire pachet	Conținut pachet	Starea actuală a comenzii	Data estimată a livrării
Echipamente pentru acționarea mecanică a pistonului	Motor pas cu pas, cuplaje elastice, surub cu bile, rulmenți, fulii, curele, suporturi de capăt.	Comandă plasată	Comandă livrată
Circuite pneumatice pentru transferul de gaze în piston	Furtun spiralat, cuple cu push-in, cuple de legătură, nipluri.	Comandă plasată	Comandă livrată
Materiale pentru construcția pistonului	Tub acrilic transparent, placa acrilic transparentă	Comandă plasată	Comandă livrată
Reglatoare de presiune	Regulator presiune treapta I și treapta II, racord butelie	Comandă plasată	Comandă livrată
Sistem producție piese conexe	Imprimantă 3D	Comandă plasată	Decembrie 2022
Sistem stocare CO ₂	Butelie CO ₂ reîncărcabilă	În așteptarea bugetului pe anul 2023	Primul trimestru al anului 2023
Sistem măsurare CO ₂ în timp real	Senzor CO ₂ IR sau cu Diode	Ofertă solicitată la producător	Prima jumătate a anului 2023
Sistem achiziție date	Unitate de calcul și monitorizare, unitate achiziție date, cabluri USB, cabluri Serial, Sursă de alimentare	Oferte solicitate la producători	Prima jumătate a anului 2023

Lista prezentată mai sus reprezintă necesarul de materiale determinat până în prezent. Investițiile semnificative din punct de vedere financiar din următorul an vor fi sistemul de măsurare al CO₂ și sistemul de achiziție de date. Fiindcă aceste sisteme implică componente electronice de precizie, se admite riscul ca livrarea acestora să fie întârziată datorită capacității reduse de producție la nivel global. Această posibilă întârziere a fost reflectată în timpul de livrare prevăzut. De asemenea, lista nu este definitivă, directorul de proiect admitând posibilitatea apariției unui echipament necesar neprevăzut sau ca înlocuitor pentru un pachet care nu este disponibil. În acest sens, în așteptarea ofertelor, directorul de proiect va căuta soluții alternative pentru senzorii de CO₂ și sistemul de achiziție al datelor, astfel încât riscul indisponibilității echipamentelor să fie minim.

Bibliografie

- [1] Maag B, Zhou Z and Thiele L 2018 W-Air *Proc. ACM Interactive, Mobile, Wearable Ubiquitous Technol.* **2** 1–25
- [2] Zou Z, He J and Yang X 2020 An experimental method for measuring VOC emissions from individual human whole-body skin under controlled conditions *Build. Environ.* **181** 107137
- [3] He G, Yang X and Srebric J 2005 Removal of contaminants released from room surfaces by displacement and mixing ventilation: Modeling and validation *Indoor Air* **15** 367–80
- [4] Bolashikov Z D, Barova M I and Melikov A K 2014 Control of exposure to exhaled air from sick occupant with wearable personal exhaust unit *Indoor Air 2014 - 13th Int. Conf. Indoor Air Qual. Clim.* 412–9
- [5] Olmedo I, Nielsen P V., de Adana M R and Jensen R L 2013 The risk of airborne cross-infection in a room with vertical low-velocity ventilation *Indoor Air* **23** 62–73
- [6] Cao G, Nielsen P V., Jensen R L, Heiselberg P, Liu L and Heikkinen J 2015 Protected zone ventilation and reduced personal exposure to airborne cross-infection *Indoor Air* **25** 307–19
- [7] Villafruela J M, Olmedo I and San José J F 2016 Influence of human breathing modes on airborne cross infection risk *Build. Environ.* **106** 340–51
- [8] Olmedo I, Nielsen P V., Ruiz de Adana M, Jensen R L and Grzelecki P 2012 Distribution of exhaled contaminants and personal exposure in a room using three different air distribution strategies *Indoor Air* **22** 64–76
- [9] Rahimi-Gorji M, Pourmehran O, Gorji-Bandpy M and Gorji T B 2015 CFD simulation of airflow behavior and particle transport and deposition in different breathing conditions through the realistic model of human airways *J. Mol. Liq.* **209** 121–33
- [10] Guyton A C and Hall J E 2011 *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology* vol 12 (SAUNDERS Elsevier)
- [11] Georgescu M R, Meslem A and Nastase I 2020 Accumulation and spatial distribution of CO₂ in the astronaut's crew quarters on the International Space Station *Build. Environ.* **185** 107278
- [12] Georgescu M R, Nastase I, Meslem A, Sandu M and Bode F 2021 Human CO₂ generation rates in small enclosures for different test cases *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **664**
- [13] Halek G 1951 Physics of breathing *Br. Med. J.* **1** 246
- [14] Parker F and West R 1973 *BIOASTRONAUTICS DATA BOOK* ed B Inc. (NASA)

Sumar al progresului

Rezultate cuantificabile

1. **Site-ul proiectului** (<https://cambi.utcb.ro/researchprojects/pneuma>)
2. **Poster prezentare proiect** (https://bit.ly/PNEUMA_poster) – Prezentat la standul UTCB din cadrul conferinței internaționale CLIMA 2022 (https://clima2022.org/wp-content/uploads/2022/05/TVVL-20220354-CLIMA-programmaboekje-A5_DIGI-small.pdf pagina 12 a programului).
3. **Articol științific de conferință** - 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/>. Articolul este în curs de publicare.

Rezultatele propuse pentru prima etapă a proiectului PNEUMA au fost elaborarea documentației pentru proiectarea ABS (prezentată mai sus în capitolele I-III), site-ul proiectului și un articol științific de conferință. **Toate aceste obiective au fost atinse cu succes în intervalul de timp propus.**

Diseminarea rezultatelor

În prima etapă a proiectului PNEUMA, rezultatele au fost diseminate în cadrul a două congrese științifice internaționale: (1) CLIMA 2022 și (2) EENVIRO 2022. Pentru etapa următoare a proiectului, pe parcursul anului 2023 s-a propus diseminarea rezultatelor sub forma unui articol științific prezentat la o conferință internațională și un articol științific publicat într-un jurnal internațional indexat ISI.

Întocmit

27 Noiembrie 2022

Director de proiect

Dr. Ing. Matei-Răzvan GEORGESCU

