

## ***Raport științific***

### ***privind implementarea proiectului PN-II-ID-PCE-2011-3-0835 - Modalități inteligente de distribuție a aerului în încăperi : strategii avansate și metode de evaluare in perioada – INADEVA in perioada octombrie 2011 – octombrie 2013***

#### **Introducere**

Sistemele de ventilare si condiționare a aerului trebuie sa asigure calitatea ambianțelor interioare și să asigure condiții confortabile pentru utilizatori. Actorii acestui domeniu sunt confrunțați cu o adevărata dilema. Ei trebuie sa respecte in același timp noile norme de calitate a aerului ce preconizează ambianțe sănătoase si confortabile, cu constrângerile legate de diminuarea consumului energetic. Putem sa constatam totuși ca tehnicile contemporane de refulare a aerului in încăperi nu sunt optimizate pentru a răspunde simultan la cele doua obiective indisociabile in ziua de astăzi : confort termic si economie de energie. Problema est deosebit de critica in cazul răcirii, caz in care aerul rece tinde sa “cada” in zona de ocupație sub efectul forțelor de gravitație. Astfel, daca in perioada estivala climatizarea este destinata sa aducă un plus de confort ocupanților, aceștia se plâng adesea de senzație de “frig”, de “curent” și de dureri de gât. Acest paradox este datorat difuziei neperformante a aerului rece în încăperea tratata legata de calitatea amestecului intre arului de răcire si aerul cald ambient. In ciuda acestor inconveniente, climatizarea a devenit vitala in anumite situații, mai ales datorita verilor caniculare din ultimii din Europa, unde s-a înregistrat o creștere a consumului energetic datorat climatizării de peste 60% din 2003 si pana in prezent. In opinia noastră, acesta problematica își găsește un răspuns tehnologic la nivelul concepției dispozitivelor terminale de refulare a aerului ce trebuiesc optimizate in raport cu antrenarea aerului ambient. Ideea preconizata este legata de îmbunătățirea grilelor de refulare pentru obținerea de jeturi de aer primar mult mai eficiente din punct de vedere al amestecului cu aerul ambient. Aceste difuzoare inovante vor permite o stabilitate a a jetului si o repartiție optimala a sarcinii termice de răcire sau de încălzire, conducând la o ameliorare a confortului termic si la o reducere a consumului de energie. Pe de alta parte aceste difuzoare cu inducție a aerului mărită conduc la posibilitatea funcționarii echipamentelor de climatizare la diferențe de temperatura superioare celor practicate la ora actuala, atât in cazul răcirii cat si al încălzirii. In acest caz pentru sarcini termice constante va fi posibila o reducere a debitelor de aer refulat si in consecința o reducere a consumului electric datorat ventilatorului. Reducerea dimensiunilor circuitului de distribuție a aerului va conduce de asemenea la un casting in termeni de confort acustic. Tehnica de control pasiv al jeturilor de aer este bazata pe o ce consta în a aplica si adapta anumite geometrii folosite în aeronautica si combustie la dispozitivele de difuzie a aerului în încăperi. Aceste geometrii speciale de tip « lobat » au fost subiectul a multor lucrări de specialitate [1-17]. La UTCB a fost dezvoltat un concept inovant de grila de refulare cu aripioare ondulate [15]. Acest concept se bazeaza pe ideea unei modificări relativ simple si ieftine a unor difuzoare murale

clasice, utilizate pe scara larga. A fost arătat faptul ca jetul de aer generat de acest tip nou de difuzoare antrenează mult mai mult aer ambient decât difuzoarele clasice cu aripioare drepte. Mai mult pierderea de sarcina a grilei inovante nu depășește valoarea celei clasice, iar nivelul de zgomot generat este similar [15]. În cadrul proiectului INADEVA, dorim sa plecam de la aceste grile inovante, împreuna cu alte concepte de difuzoare si sa testam diferite configurații corespunzătoare unor strategii de distribuție a aerului în încăperi menite sa favorizeze confortul ambiental si economia de energie.

În domeniul nostru, încă nu este universal acceptat faptul că o concepție judicioasa a parametrilor ambiantelor locuibile trebuie sa tina cont si de curenții de convecție generați de sursele de căldura, cum ar fi corpul uman, ce pot sa schimbe dramatic configurația curgerilor de aer studiate [18]. In general se tine cont doar de curgerile controlate generate de dispozitivele de refulare. Studii recente [18] arata ca poziția zonei în care sunt localizate valori maxime ale vitezei aerului este influențata de repartiția si intensitatea surselor de căldura din încăpere. O serie de studii de tip CFD sunt prezente în literatura, oferind o diversitate de modele ale corpului uman, de la geometrii dintre cele mai complexe pana la cele mai simple [19-21]. Dezvoltarea tehnicii de calcul a permis elaborarea unui număr important de studii numerice în care corpul uman este definit cât mai realist cu putința. Rezultatele arata ca acestea din urma sunt cele mai eficiente din punct de vedere al predicției corecte a curgerilor din ambiate, a confortului termic sau a calitativi aerului. Parametri specifici, cum ar fi, forma, dimensiunile, metabolismul, gradul de imbracare sau activitatea pot influenta percepția termica a mediului interior [22]. În același timp modelele numerice trebuie validate experimental. Campaniile experimentale de caracterizare ale confortului termic ce utilizează subiecți umani sunt costisitoare atât financiar cât si din punct de vedere al timpului, si pot fi dificil de validat. Unele abordări experimentale, cum ar fi măsurările PIV, sunt imposibil de realizat datorita problemelor legate de securitatea subiecților. Un compromis interesant este utilizarea manechinelor termice ce simulează într-un mod mai mult sau mai puțin sofisticat corpul uman [23-25]. In acest sens dorim sa extindem dezvoltarea prin mijloace proprii a unor prototipuri de manechine termice cu un cost relativ scăzut. Un prim prototip a fost elaborat de către echipa noastră [26]. Acesta are forma reala a unui adult si suprafața sa este împărțita în șase zone distincte [27] ale cărui temperaturi pot fi controlate independent cu ajutorul unor circuite electrice ce au drept element de încălzire banda utilizata în mod curent pentru încălzirea prin pardoseala. Fiecare zona este prevăzuta cu patru senzori de temperatura si un microcontroler pentru a se menține constanta temperatura impusa zonei respective. Manechinul este dotat cu o placa si un software de achiziție ce înregistrează consumul de energie electrica pentru fiecare circuit, cuantificând astfel senzația de disconfort « resimțita » de către manechin. Unul dintre obiectivele acestui proiect este acela de a construi un prototip avansat de manechin termic ce va fi capabil sa simuleze corpul uman, sa măsoare fluxurile de căldura schimbate cu mediul sau ambient și să își adapteze răspunsul termic in funcție de stimulii primiți din exterior. Astfel primul nostru prototip va fi ameliorat si transformat într-un manechin cu 35 de segmente si un algoritm de control bazat pe modele de termoreglare fiziologice.

Implementarea acestor obiective necesită integrarea si dezvoltarea tehnicilor de măsura existente la laborator (sistem PIV, prototip de manechin termic, celula experimentală) pentru realizarea condițiilor specifice pentru studierea ambiantelor interioare.

## Activitățile desfășurate în perioada octombrie - decembrie 2011

Proiectul nostru este organizat în jurul a patru obiective principale. Fiecare obiectiv este împărțit în mai multe acțiuni (tasks). Datorita propunerii ambițioase dezvoltate în cadrul INADEVA, planul de lucru din propunerea de proiect a fost organizat într-o manieră ambițioasă cu obiective și acțiuni ce se derulează în paralel (Figura 1). Obiectivele și acțiunile trebuie să fie coordonate astfel încât diferite interacțiuni transversale să poată avea loc. În perioada octombrie - decembrie 2011 au fost prevăzute să se desfășoare în paralel **Obiectivul 1 - Activitatea 1 (O1T1)**, **Obiectivul 4 - Activitatea 1 (O4T1)** și **Obiectivul 4 - Activitatea 2 (O4T2)**

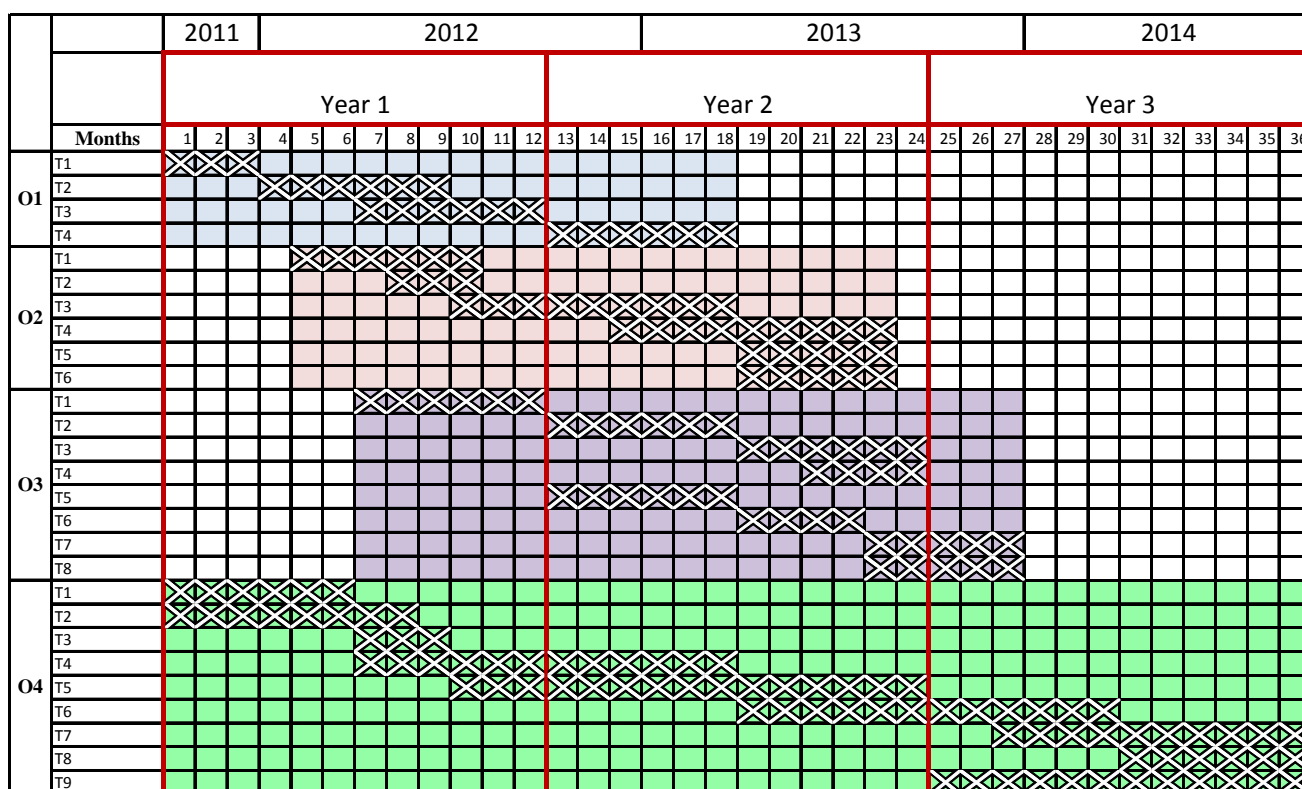


Figura 1: Planul de lucru estimativ al proiectului INADEVA

### Obiectivul 1 - Activitatea 1 (O1T1)

O1T1 constă în evaluarea posibilităților de optimizare a concepției manechinului termic avansat cu 35 de circuite. Echipa a identificat o serie de probleme și soluții legate în principal de trei aspecte majore. Primul aspect este realizarea unei difuzii îmbunătățite a căldurii pe suprafețele manechinului. A fost identificat un nou material încălzitor sub forma unei plase flexibile (Figura 2) ce va reprezenta o sursă de încălzire mai uniformă și mai ușor de fixat la suprafața corpului manechinului. Mostre din acest material au fost comandate pentru a studia caracteristicile electrice și termice.

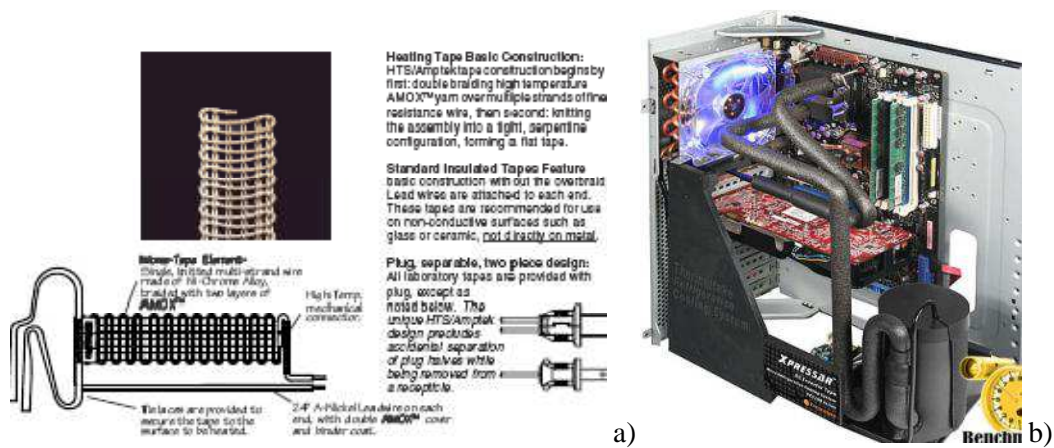


Figura 2: a) Noul tip de material încălzitor propus, b) Sistem de răcire cu agent frigorific pentru computere

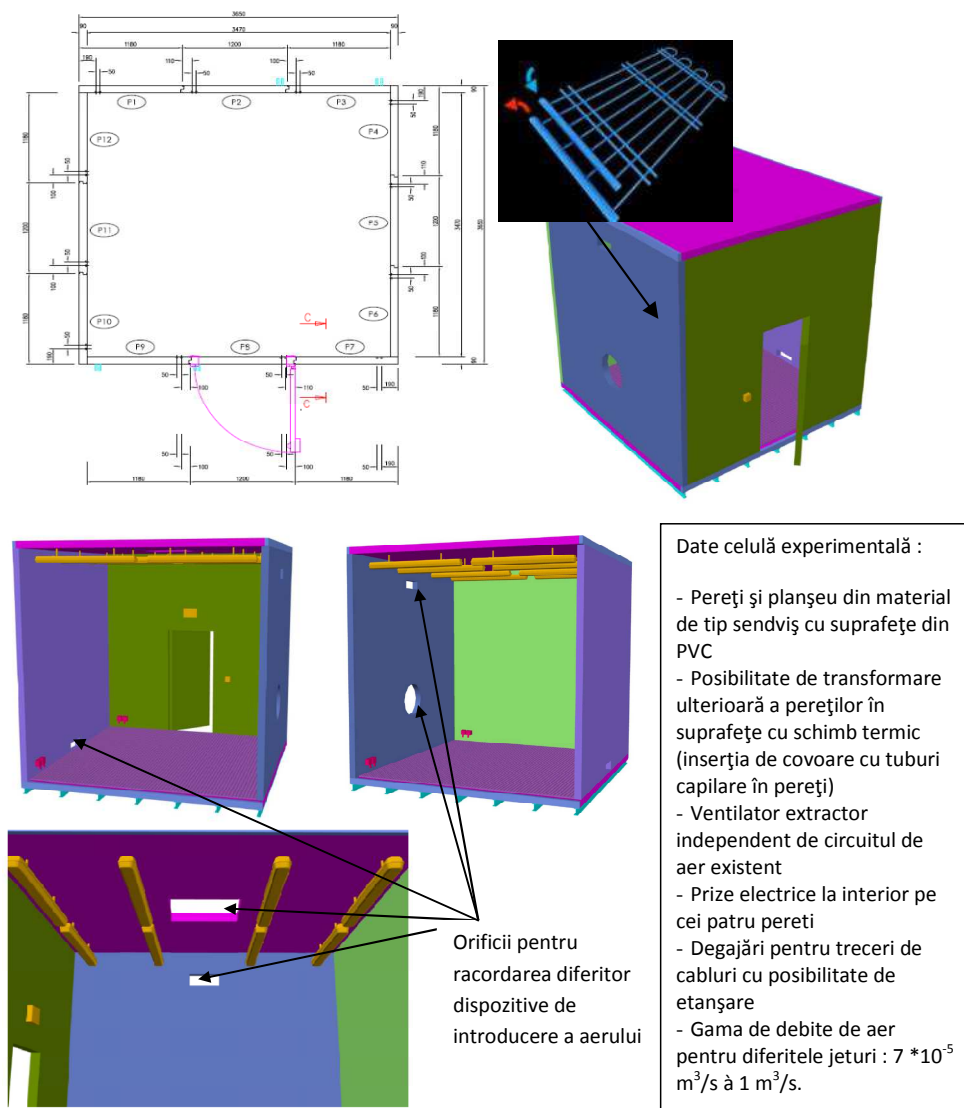


Figura 3: Planul și vederi ale celulei experimentale ce va fi construită la UTCB

Al doilea aspect este legat de numărul mare de circuite electrice pentru alimentarea segmentelor și al circuitelor de date. Astfel, s-a hotărât utilizarea unor module de transfer de date cu module de comunicație bluetooth ce vor rezolva o parte din aceste inconveniente, rămânând problema cablurilor de alimentare.

Cea de-a treia problema este legată de disiparea căldurii generate de numărul mare de surse ce vor alimenta circuitele electrice ale segmentelor manechinului. În aceasta direcție a fost găsită soluția utilizării unor mici chillere dedicate stațiilor de calcul (Figura 2b). Acestea vor fi amplasate la interiorul unei carcase ce va fi legată de partea electronică a manechinului.

#### ***Obiectivul 4 - Activitatea 1 (O4T1)***

O4T1 se derulează pe o perioadă de șase luni și constă în construirea unei celule experimentale, climatică, cu posibilitatea de a realiza diferite strategii de ventilare (de ex.: sus-sus, sus-jos, jos-sus, personalizată), conectată cu circuitul de distribuție a aerului al apartamentului experimental existent, și cu posibilitatea de a fi legată la o mică centrală de tratare a aerului cu debit variabil. Noua celulă va avea pereți termoizolați de tip sendviș cu posibilitatea acestora de a fi transformați ulterior în pereți activi (încalziți sau răciți). Celula va avea dimensiunile de 3.5m x 3.5m x 3m (Figura 3). Ea va fi prevăzută cu un planșeu flotant pentru trecerea canalelor de aer pentru strategia de ventilare jos-sus. În această perioadă a fost realizat un caiet de sarcini pentru celula experimentală, urmând ca ea să fie construită la începutul anului viitor. În Figura 3 sunt prezentate planul și vederi tridimensionale ale viitoarei celule.

#### ***Obiectivul 4 - Activitatea 2 (O4T2)***

O4T2 se derulează pe o perioadă de șase luni și constă în up-grade-ul sistemului PIV existent (descrierea lui detaliată se regăsește în [28]) pentru transformarea lui într-un sistem stereoscopic (Figura 4). În această perioadă a fost luată legătura cu producătorii actuali pentru estimarea posibilităților de up-grade ale sistemului existent și s-au obținut niște estimări de costuri. Sistemul final va fi compus din :

- două camere cu dubla matrice CCD de 4Mpx (una dintre ele există deja la UTCB) și două plăci de achiziție de tip „frame-graber”
- un laser YAG de 200mj (existent)
- un sistem de deplasare tridimensional, cu trei axe liniare cu curse utile de respectiv 1m x 1m x 2m, cu controller dedicat
- un suport pentru amplasarea laserului pe sistemul de deplasare
- un brat optic pentru a asigura poziționarea planului luminos corelată cu sistemul de deplasare
- un sistem de sincronizare (existent)
- o stație de lucru dedicată (existentă)

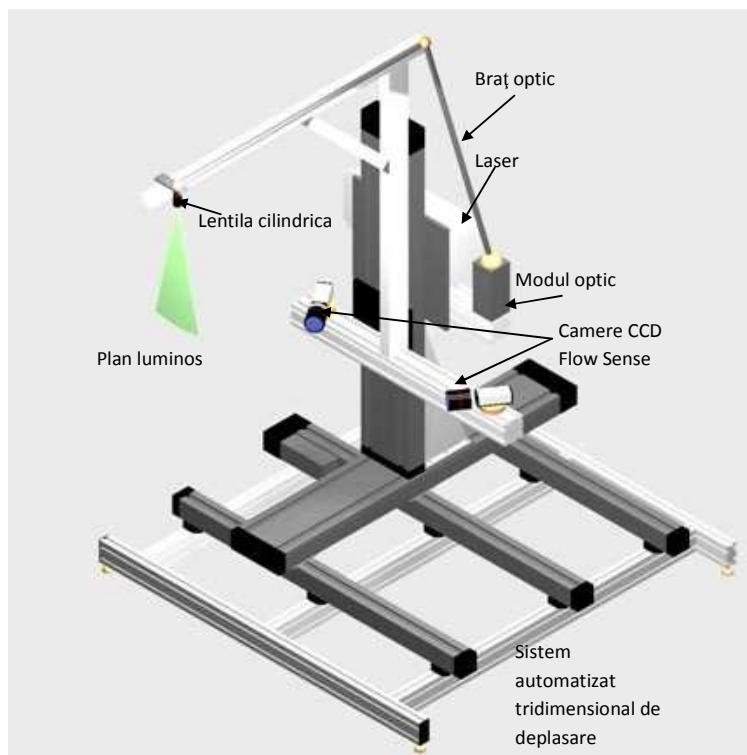


Figura 4: Schema sistemului PIV stereoscopic

## Diseminare

A fost realizată pagina web a proiectului (<http://www.cambi.ro/inadeva/index.html>), în cadrul site-ului centrului de cercetare CAMBI, cu link-uri către pagina Universității Tehnice de Construcții București, și a Facultății de Ingineria Instalațiilor (Figura 5).



Figura 5: Pagina web a proiectului

Proiectul a fost prezentat la Salonul cercetării (6 - 10 octombrie 2011) unde am participat cu primul prototip de manechin termic, cu grile inovante, cu un roll-up și cu flyere despre noul proiect (Figura 6). Proiectul a fost de asemenea prezentat la conferința tinerilor cercetători din UTCB - Young researchers conference YRC 2011, unde echipa noastră a prezentat două lucrări [29, 30] și prototipul de manechin termic, grile inovante și cu flyere despre noul proiect.



Figura 6: Participare la Salonul Cercetarii 2011 și la YRC 2011

## Activitățile desfășurate în perioada ianuarie 2012 - decembrie 2012

În perioada ianuarie - decembrie 2012 au fost prevăzute să se desfășoare în paralel Activitățile 2 și 3 precum și o parte Activității 4 ale Obiectivului 1 (**O1T2**, **O1T3** și **O1T4**), Activitățile 1, 2 și o parte din 3 ale Obiectivului 2 (**O2T1**, **O2T2** și **O2T3**), Activitatea 1 a Obiectivului 3 (**O3T1**) și primele 5 Activități ale Obiectivului 4 (**O4T1-T5**).

O1- Realizarea unui manechin termic însoțit cu 35 de circuite	T1: Studiu preliminar pentru optimizarea circuitelor aferente segmentelor	✓
	T2: Achiziția materialelor (manechinul, senzorii, suprafețele încălzitoare, microcontrolere, etc.)	✓
	T3: Dezvoltarea prototipului	✓
	T4: Teste experimentale utilizând manechinul termic	✓
O2 - Adaptarea algoritmului de control realizarea unui model de termoreglare	T1: Studii teoretice și bibliografice pentru alegerea unui model de termoreglare, dezvoltarea unui model avansat.	✓
	T2: Teste preliminare utilizând Thermal Boy 1	✓
	T3: Implementarea algoritmilor de control pe noul prototip	✓
	T4: Studii experimentale folosind manechinul termic dotat cu sistem de termoreglare.	
	T5: Propunerea unei noi metode de evaluare a confortului termic	
	T6: Diseminarea noii metode de evaluare a confortului termic	
O3 - Implementarea unui sistem respirator pe noul prototip de manechin termic	T1: Studiu bibliografic pentru alegerea celui mai bun model respirator pentru studiul curgerilor și generării de CO <sub>2</sub>	✓
	T2: Implementarea circuitului respirator pe Thermal Boy 1	✓
	T3: Implementarea circuitului respirator pe noul prototip de manechin	
	T4 : Studii experimentale pe manechinul termic cu sistem de termoreglare și circuit respirator	
	T5: Achiziționare unui senzor CO <sub>2</sub> și achiziția unui generator de CO <sub>2</sub> pentru stația existentă de măsurare a concentrației	
	T6: Aduagarea sursei de CO <sub>2</sub> în jetul de aer expirat	
	T7 : Studii experimentale utilizând manechinul termic cu circuit respirator și sistem de termoreglare	
	T8: Diseminarea noului prototip de manechin	
O4 – Dezvoltarea strategiilor de ventilare utilizând grile inovante evaluarea confortului termic și a IAQ	T1: Construcția unei noi celule climatice ce permite diferite strategii de ventilare	✓
	T2 : Up-grade sistem PIV	✓
	T3: Studii experimentale în celula climatică	✓
	T4: Studii preliminare și alegerea dispozitivelor de introducere inovante	✓
	T5: Studii de confort termic utilizând diferite strategii de ventilare și grile inovante	✓
	T6: Studii IAQ utilizând diferite strategii de ventilare și grile inovante	
	T7: Optinerea de brevete ale noilor grile inovante	
	T8: Realizarea unei baze de date și a unui catalog pentru noile produse și strategii de ventilare	
	T9: Diseminarea proiectului de cercetare	

Figura 7: Planul de lucru al proiectului INADEVA și activitățile realizate până la sfârșitul lui decembrie 2012

### Obiectivul 1 - T1, T2 și T3

**O1T1** s-a continuat și în anul 2012 astfel încât am testat și evaluat o suită de soluții legate de diferite tipuri de materiale încălzitoare, reținând o soluție avantajoasă din punct de vedere al difuziei temperaturii și fixării pe suprafața manechinului, și anume silicon cu circuit imprimat integrat (Figura 2b). **O1T2** și **O1T3** au constat în achiziția materialelor necesare realizării manechinului cu circuite încălzitoare îmbunătățite și conceperii acestuia. **O1T4** ce privește o suită de teste experimentale utilizând noul manechin termic se va încheia în cursul lunii ianuarie 2013.



Figura 8: a) Film și fir de nichelină testate, b) Noul material ales și reținut pentru dezvoltarea manechinului, c) împărțirea manechinului în 35 de zone și 90 de subzone - prof. A. Meslem de la Universitatea din La Rochelle în vizită la CAMBI

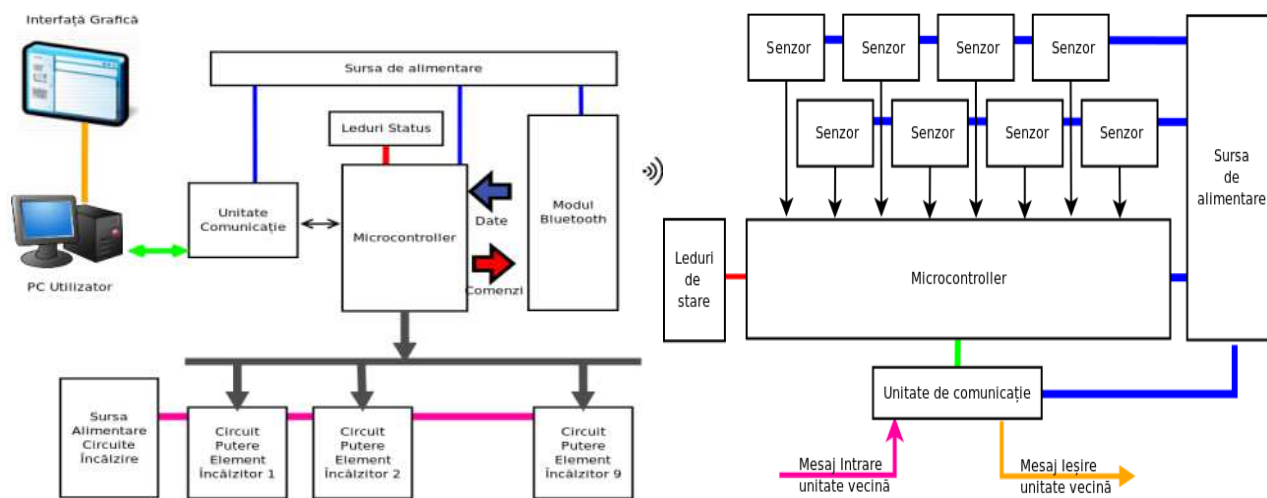


Figura 9: Arhitectura sistemului de control al manechinului termic

## Obiectivul 2 - T1, T2 și T3

O2T1, O2T2 și O2T3 au constat în evaluarea, alegerea și implementarea pe baza literaturii existente a posibilității de utilizare a unui model pentru simularea controlului termo-regulator al suprafețelor încălzite. În literatura sunt precizate trei moduri ce pot fi aplicate pentru a controla un manechin termic: (1) modul „confort”, bazat pe ecuația confortului (ISO 7730 1998), aceasta păstrează pierderile de căldură și temperatura suprafețelor manechinului asemănătoare cu pierderile de căldură

și temperatura pielii unei persoane normale pentru o anumită valoare a PPD; (2) temperatura suprafeței constantă dar diferită pentru fiecare segment al corpului în parte și (3) flux de căldură constant din corpul manechinului. În această etapă s-a încercat o abordare de tip doi – menținerea temperaturii suprafeței constantă pentru fiecare segment al corpului în parte cu ajutorul unui algoritm de reglare dinamic bazat pe modelul IESD-Fiala [31, 32]. Arhitectura sistemului de funcționare a manechinului termic este prezentat în Figura 3

### Obiectivul 3 - T1, T2

O3T1 și O3T2 au constatat în evaluarea cu ajutorul literaturii existente a posibilității de alegere a unui model de circuit respirator și de implementare a acestuia prima dată pe vechiul prototip de manechin termic Thermal Boy 1, urmând ca odată modelul respirator validat acesta să fie implementat pe noul manechin termic.

Am reținut următoarele caracteristici ale acestuia: (1) expirația prin nas generează două jeturi simetrice un plan vertical cu un unghi de 30 între ele, înclinate spre piept la 45 de grade în plan orizontal, expirația din gură trebuie să genereze un jet orizontal, (2) dimensiunea fiecărei nări ar trebui să fie 50.2 mm<sup>2</sup> (diametrul de 8 mm); deschiderea gurii ar trebui să aibă o formă de semi-elipsoid, cu suprafața de 100.4 mm<sup>2</sup>[33-35].

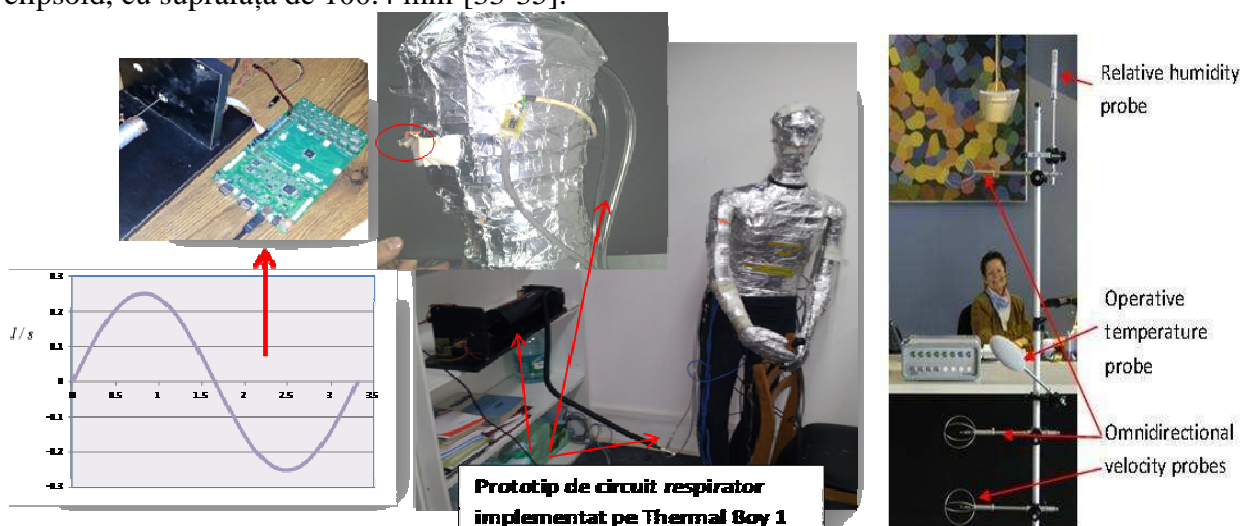


Figura 10: a) Implementarea unui circuit respirator pe primul prototip Thermal Boy 1, b) Sistem standardizat [36] de evaluare a confortului termic (cu sondă omni direcțională de viteză, sondă de temperatura operativă și umiditate relativă) [37]

### Obiectivul 4 - T1, T2, T3, T4 și T5

O4T1s-a derulat pe o perioadă de șase luni și a constatat în construirea unei celule experimentale, climatice, cu posibilitatea de a realiza diferite strategii de ventilare (de ex.: sus-sus, sus-jos, jos-sus, personalizată), conectată cu un circuit propriu de distribuție a aerului și cu posibilitatea de a fi legată la o mică centrală de tratare a aerului cu debit variabil. Noua celulă are termoizolații de tip sendviș cu posibilitatea acestora de a fi transformați ulterior în pereți activi (încălziți sau răciți).

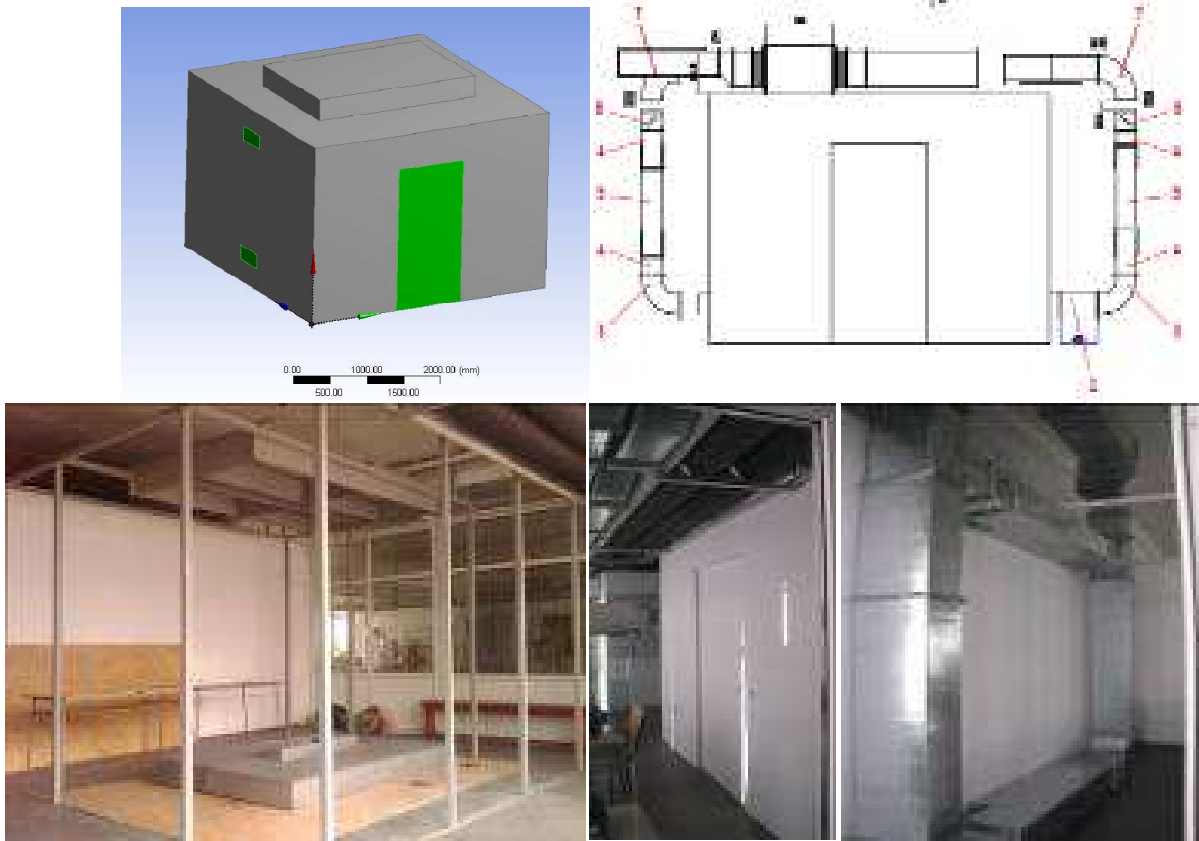


Figura 11: Noua celulă experimentală de la CAMBI

O4T2 a constat în Up-grade-ul sistemului PIV existent (descrierea lui detaliată se regăsește în [28]) pentru transformarea lui într-un sistem stereoscopic. Sistemul este compus din următoarele componente: două camere speciale de vizualizări cu dubla matrice CCD de 4Mpx (una dintre ele exista deja la UTCB) și două plăci de achiziție de tip „frame-graber”; un laser YAG de 200mj (existent); un sistem de deplasare tridimensional, cu trei axe liniare cu curse utile de respectiv 1m x 1m x 2m, cu controller dedicat (achiziționat cu ajutorului unui alt contract); un suport pentru amplasarea laserului pe sistemul de deplasare; un braț optic pentru a asigura poziționarea planului luminos corelată cu sistemul de deplasare; un sistem de sincronizare (existent); o stație de lucru dedicată (existentă).

O4T3 a vizat testarea experimentală a celulei pentru verificarea parametrilor de funcționare. O4T5 constă în implementarea de diferite strategii de ventilare și difuzoare de aer inovante și testarea acestora și se derulează până în martie 2013. O4T6 constă în evaluarea parametrilor de confort termic în condițiile noilor strategii adoptate și se derulează până în martie respectiv octombrie 2013. În acest scop a fost achiziționat și un sistem de evaluare a confortului termic standardizat (Figura 3b)[36].

## Diseminare

### Articole ISI (4 articole)

[1] Nastase, I., Meslem, A., El Hassan, M., Image processing analysis of vortex dynamics of lobed jets from three-dimensional diffusers, Fluid Dynamics Research, 43 (6), art. no. 065502, 2011

- [2] Kristiawan, M., Meslem, A., Nastase, I., Sobolik, V., Wall shear rates and mass transfer in impinging jets: Comparison of circular convergent and cross-shaped orifice nozzles, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55 (1-3), pp. 282-293, 2012
- [3] Meslem, A., Dia, A., Beghein, C., Ammar, A., Nastase, I., El Hassan, M., Numerical simulation of free cross-shaped jet, *Mechanika*, Volume 18 (4): 403-408, 2012
- [4] Meslem A., Nastase I., Bode F., Beghein C., Optimization of lobed perforated panel diffuser: Numerical study of orifices arrangement, *Int. Journal of Ventilation*, Volume 11 (3), 255-270, 2012

#### **Articole BDI(6 articole)**

- [5] Meslem A., Bode F., Nastase I., Martin O., Optimization of Lobed Perforated Panel Diffuser: Numerical Study of Orifice Geometry, *Modern Applied Science*; Vol. 6, No. 12; 15p., 2012
- [6] Meslem A., Kristiawan M., Nastase I., Sobolik V., Wall shear rates and stagnation mass transfer on a plate in axisymmetric and cross impinging jets, *Journal of Physics: Conference Series* 395 (2012) 012034, 8p.
- [7] Florin BODE, Iilca NASTASE, Cristiana CROITORU, Mesh Dependence Study Using Large Eddy Simulation of a Very Low Reynolds Cross-Shaped Jet, *Mathematical Modelling in Civil Engineering – Scientific Journal*, ISSN 2066-6926, ON-LINE ISSN:2066-6934, Vol.7, No.4, December, 2011, p.16-22
- [8] Cristiana CROITORU, Iilca NASTASE, Florin BODE, The Influence of the Geometric Form of the Virtual Thermal Manikin on Convective Flow, *Mathematical Modelling in Civil Engineering – Scientific Journal*, ISSN 2066-6926, ON-LINE ISSN:2066-6934, Vol.7, No.4, December, 2011, p.55-64
- [9] Florin BODE, Iilca NASTASE, Cristiana CROITORU, RANS models comparison for a cross-shaped jet flow with straight lobes, *Mathematical Modelling in Civil Engineering – Scientific Journal*, ISSN 2066-6926, ON-LINE ISSN:2066-6934, Vol.8, No.4, December, 2012, p.14-20(6p)
- [10] Cristiana CROITORU, Iilca NASTASE, Florin BODE, Thermal comfort assesemnt for different ventilation strategies using a CFD approach, *Mathematical Modelling in Civil Engineering – Scientific Journal*, ISSN 2066-6926, ON-LINE ISSN:2066-6934, Vol.8, No.4, December, 2012, p.36-45(10p)

#### **Articole Conferinte internationale - Proceedings(9 articole)**

- [11] A. Meslem, I. Nastase, O. Martin, Sur la validation expérimentale des modèles de turbulence. Application à un jet d'air lobé, *Journées AUGC/IBPSA*, Chambéry, 6-8 juin 2012
- [12] C. Croitoru, I. Nastase, Alegerea modelului de turbulența pentru un caz de convecție naturală a unui corp uman situate într-o încăpere ventilată, "Instalații pentru construcții și economia de energie" iulie 2012
- [13] A. Meslem, M Kristiawan, I. Nastase, V Sobolik, Wall shear rates and stagnation mass transfer on a plate in axisymmetric and cross impinging jets, *Eurotherm 2012*, September 04-07, Poitiers – Futuroscope France.
- [14] A. Meslem, I. Nastase, C. Beghein, Optimization of Lobed perforation panel diffuser – Numerical study of orifices arrangement, *Ventilation 2012*, The 10th International Conference on Industrial Ventilation, September 17-19, Paris, France
- [15] F. Bode, I. Nastase, A. Meslem, C. Croitoru, RANS and LES models comparison for a cross shaped jet flow with application in personalized ventilation, *2012 AIVC-Tightvent Conference*, Copenhagen
- [16] Cristiana CROITORU, Iilca NASTASE, Florin BODE, Air turbulence intensity influence on the thermal comfort evaluation for different ventilation strategies, *Joint Conference 33rd AIVC*

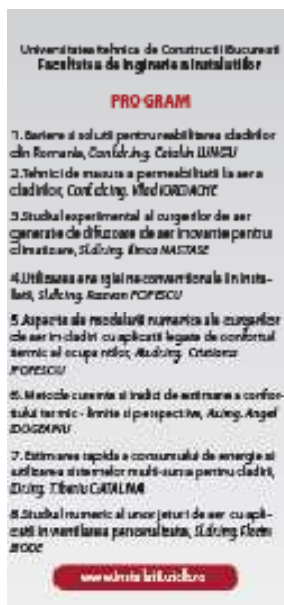
Conference and 2nd TightVent Conference, pag.70-74(10pag), 11-12 October 2012, Copenhagen, Denmark

[17] A. Dogeanu, C. Croitoru, I. Nastase, A review on the main thermal comfort models for indoor spaces and their capabilities, YRC Conference of TUCEB, November 2012

[18] A. Dogeanu, A. Iatan, C. Croitoru, I. Nastase, Conception of a real human shaped thermal manikin for comfort assesment, 8th International PhD & DLA Symposium, October 2012



a)



b)



c)



d)

Figura 12: Participare la: a) Conferința AIVC 2012 Copenhaga, b) Program Workshop desfășurat în cadrul Romtherm, c) Expoziția de la ROMTHERM 2012, d) Salonul Cercetării de la CNDI 2012

De asemenea, alte **4 articole ISI** se afla în **procedura de recenzie** și **6 abstracts** au fost acceptate pentru conferințe prestigioase în domeniul din 2013 (CLIMA 2013, CIFQ, IBPSA, JITH).

A fost actualizata pagina web a proiectului (<http://www.cambi.ro/inadeva/index.html>), în cadrul site-ului centrului de cercetare CAMBI, cu link-uri către pagina Universității Tehnice de Construcții București, și a Facultății de Ingineria Instalațiilor.

Proiectul a fost prezentat și popularizat în cadrul unei serii de manifestări tehnice și științifice de popularizare. La Târgul internațional de tehnologii, echipamente utilaje și materiale pentru construcții – CONSTRUCT EXPO - martie 2012 și la Expoziția internațională pentru instalații, echipamente de încălzire, răcire și de condiționare a aerului – ROMTHERM – aprilie 2012, am prezentat prototipul de manechin termic îmbunătățit cu circuit respirator, grile inovante și flyere despre proiect (Figura 6). În cadrul acestor doua manifestari au fost organizate două workshop-uri orientate IEQ (Indoor Environmental Quality) în cadrul cărora au fost prezentate rezultatele și perspectivele imediate ale proiectului. Am participat de asemenea la Salonul Cercetării în cadrul CNDI 2012 cu roll-ups de popularizare ale proiectului.

În cadrul conferinței YRC 2012 a fost organizat un și workshop-ul : *Exploratory research studies for Indoor Ambient Quality : methods, results and perspectives* dedicat proiectului INADEVA și proiectului IEQ (Tinere Echipe), la care au participat atât membrii echipelor de cercetare cât și invitați de la Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, Institutul Național de Cercetări Aero-Spațiale Elie Carafoli, Universitatea Politehnică din Timișoara, etc.



Figura 12: Participare la: a) Conferința YRC 2012 b) Program Workshop desfășurat în cadrul Conferinței YRC 2012

## Activitățile desfășurate în perioada ianuarie 2013 - octombrie 2013

În perioada ianuarie - octombrie 2013 au fost prevăzute inițial să se desfășoare în paralel Activitățile 3, 4, 5 și 6 precum și o parte Activității 4 ale Obiectivului 2 (**O2T3, O2T4, O2T5 și O2T6**), Activitățile 2, 3, 4, 5, 6 și o parte din 7 și 8 ale Obiectivului 3 (**O3T2, O3T3, O3T4, O3T5, O3T6, O3T7 și O3T8**), Activitățile 4 și 5 și parțial activitatea 6 a Obiectivului 4 (**O4T4, O4T5 și O4T6**) conform Figurii 1 – Planul estimativ inițial de lucru al proiectului INADEVA de la pagina 3 a prezentului raport.

Datorită redimensionării bugetului alocat contractelor de finanțare pentru *Proiectele de cercetare Exploratorie – Competiția 2011*, a fost necesară transferarea diferenței între suma solicitată și cea alocată în anul 2014, cu actualizarea activităților pentru 2013 și 2014. În Figura 13 este prezentat noul plan de lucru cu realocările unor activități din 2013 în 2014. Astfel au fost mutate în 2014 O2T5, O2T6, O3T5, O3T6, Activitățile parțiale din O3T7 și O3T8 precum și O4T4 și o parte din O4T5 și O4T6.

În Figura 14 sunt prezentate activitățile realizate până la începutul lui octombrie 2013.

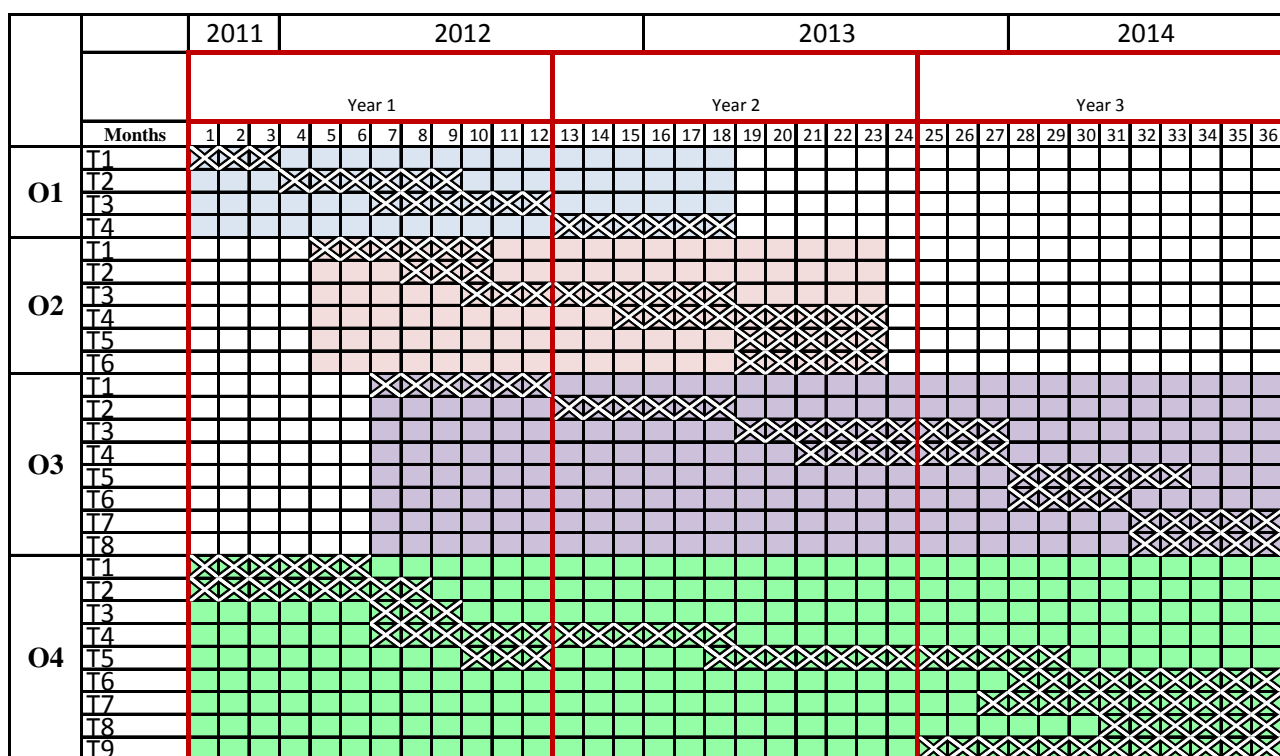


Figura 13: Planul de lucru al proiectului INADEVA reactualizat în funcție de realocările de activități între anii 2013 și 2014

O1- Realizarea unui manechin termic avansat cu 35 circuite	T1: Studiu preliminar pentru optimizarea circuitelor aferente segmentelor	✓	
	T2: Achizitia materialelor (manechin de baza, senzori, suprafete incalzitoare, microcontrolere, etc.)	✓	
	T3: Dezvoltarea prototipului	✓	
	T4: Teste experimentale privind manechinul termic	✓	
O2 - Adaptarea algoritmului de control și realizarea unui model de termoreglare	T1: Studii teoretice si bibliografice pentru alegerea unui model de termoreglare, dezvoltarea unui model avansat	✓	
	T2: Teste preliminare utilizand Thermal Boy 1	✓	
	T3: Implementarea algoritmilor de control pe noul prototip	✓	
	T4: Studii experimentale folosind manechinul termic dotat cu sistem de termoreglare	✓	
	T5: Propunerea unei noi metode de evaluare a confortului termic	✓	} Activități parțial mutate în 2014
	T6: Diseminarea noii metode de evaluare a confortului termic		
O3 – Implementarea noului sistem respirator pe noul prototip de manechin termic	T1: Studiu bibliografic pentru alegerea celui mai bun model respirator pentru studiul curgerilor si generarii de CO <sub>2</sub>	✓	
	T2: Implementarea circuitului respirator pe Thermal Boy 1	✓	
	T3: Implementarea circuitului respirator pe noul prototip	✓	
	T4 : Studii experimentale pe manechinul termic cu sistem de termoreglare si circuit respirator	✓	
	T5: Achizitionarea unui senzor de CO <sub>2</sub> si a unui generator pentru statia existenta de masurare a concentratiei		} Activități mutate în 2014
	T6: Aduagarea senzorului de CO <sub>2</sub> în jetul de aer expirat		
	T7 : Studii experimentale utilizand manechinul termic cu circuit respirator si sistem de termoreglare		
	T8: Diseminarea noului tip de prototip	✓	
O4 – Dezvoltarea strategiilor de ventilare utilizand grile inovante pentru evaluarea confortului termic si a IAQ	T1: Constructia unei noi celule climatice ce permite diferite strategii de ventilare	✓	
	T2 : Up-grade sistem PIV	✓	
	T3: Testarea experimentală a celulei	✓	
	T4: Studii preliminare si alegerea dispozitivelor inovante de introducere a aerului	✓	
	T5: Studii de confort termic utilizand diferite strategii de ventilare si grile inovante	✓	
	T6: Studii IAQ utilizând diferite strategii de ventilare si grile inovante		} Activități parțial mutate în 2014
	T7: Brevetarea noilor prototipuri	✓	
	T8: Realizarea unei baze de date si a unui catalog pentru noile produse si strategii de ventilare		
		T9: Diseminarea proiectului de cercetare	

Figura 14: Activitățile realizate până la începutul lui octombrie 2013

**Obiectivul 2 - T3 și T4**

**O2T3 și O2T4** au constat în: realizarea propriu-zisă a părții de control și testarea modelului de controlului termo-regulator al suprafețelor încălzite pe primul prototip de manechin Thermal Boy 1, implementarea noului tip de control pe noul prototip, și realizarea unor studii experimentale folosind noul prototip de manechin cu sistem de termoreglare. În Figura 15 sunt prezentate schema de principiu pentru toate prototipurile de manechine termice dezvoltate de către echipa noastră și schema de control și alimentare electrică pentru manechinul inițial cu șase zone de control. În paralel a fost abordată pregătirea unui nou soft de achiziție și control pentru toate prototipurile de manechini termice (Figura 16). Acesta este mai complex și totodată mai flexibil în comparație cu softul precedent dezvoltat pentru Thermal Boy 1.

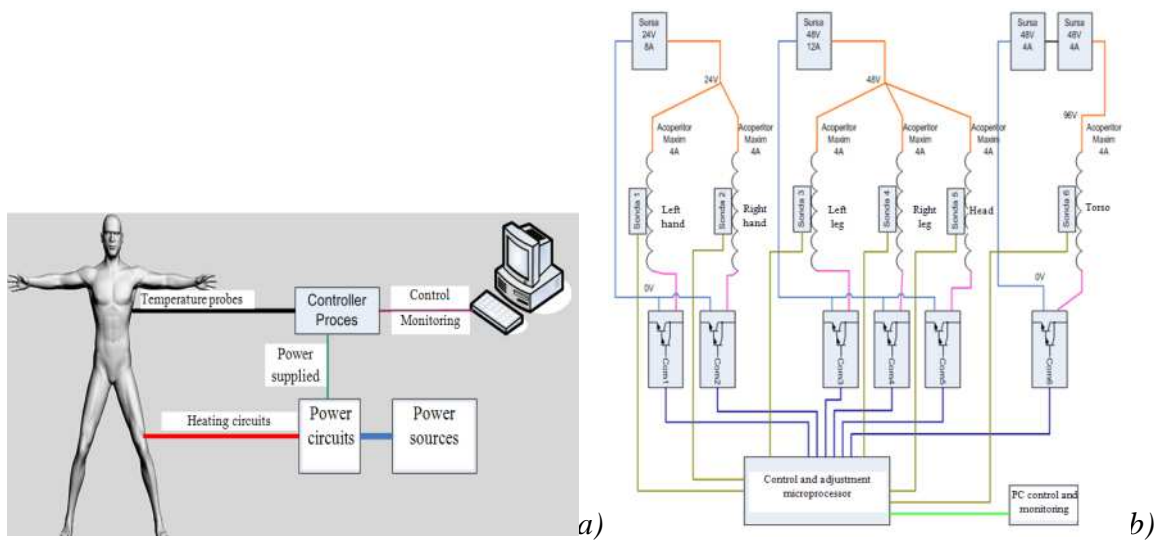


Figura 15: a) Schema de principiu a prototipurilor noastre de manechini termice, b) Schema de control și alimentare a manechinului Thermal Boy 1

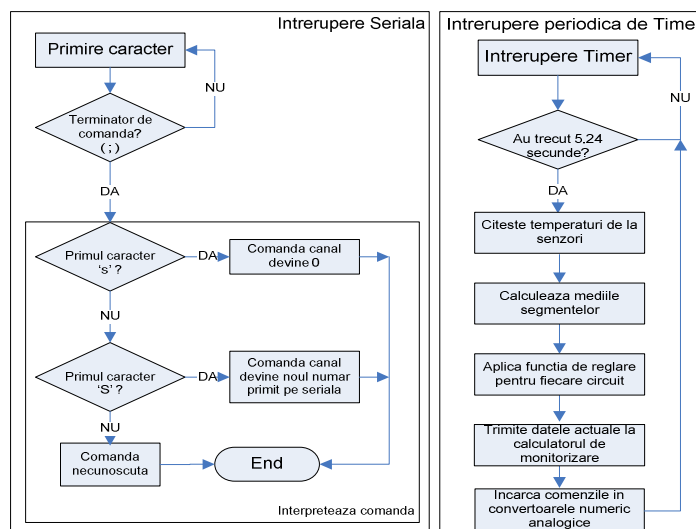


Figura 16: Algoritm de control și funcționare

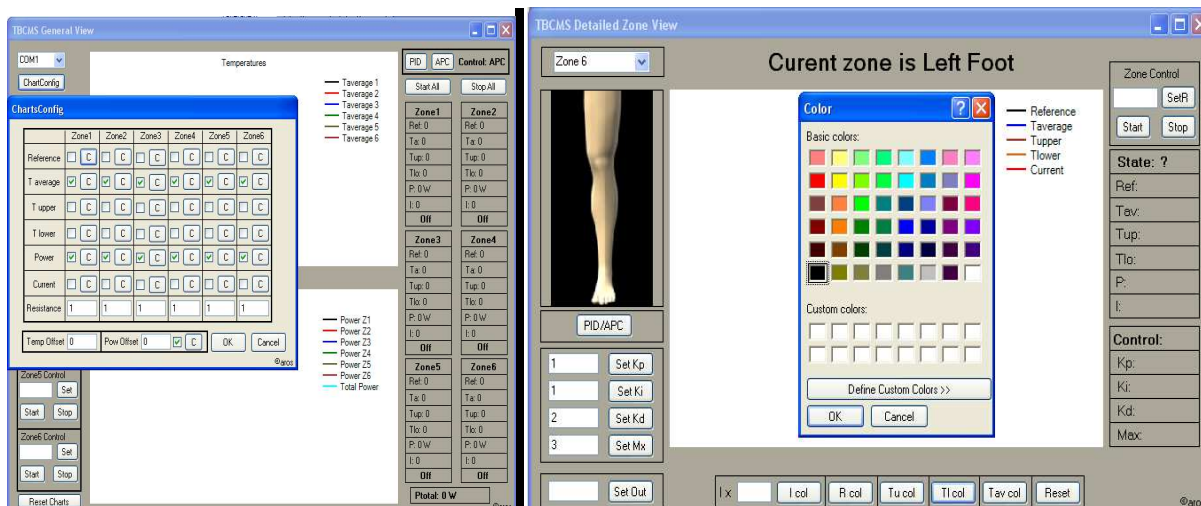


Figura 17: Noul software de achizitie si control

A mai fost dezvoltat un prototip intermediar cu mai multe zone decât Thermal Boy 1 (Figura 18) dar cu o geometrie simplificată pentru testarea algoritmilor de control propuși. Acest manechin are o geometrie formată din module paralelipipedice ce permite realizarea cu ușurință a unor modele numerice pentru calculul de tip Computational Fluid Dynamics, modele ce ne permit sa testăm rapid anumite ipoteze de lucru legate de dinamica curgerilor investigate.

In Figura 19 sunt prezentate diferite comparații între distribuțiile de temperatură măsurate prin termografie IR, obținute prin controlarea celor 9 zone ale prototipului intermediar.

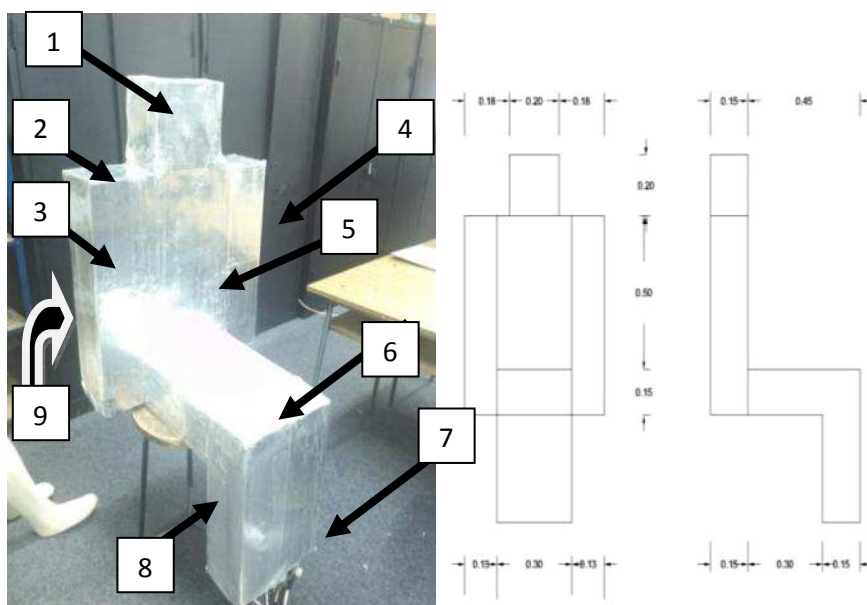


Figura 18: Un nou prototip intermediar, de forma simplificată dar cu mai multe zone față ThermalBoy 1 – Zonele individual controlate ale corpului pentru modelul realizat: 1 – Capul; 2 – Umerii; 3, 4 – Mana dreapta/stanga; 5 – Tors; 6 - Zona femurala; 7 – Partea anterioara a gambelor; 8 – Partea posterioară a gambelor + sezut; 9 – spatele

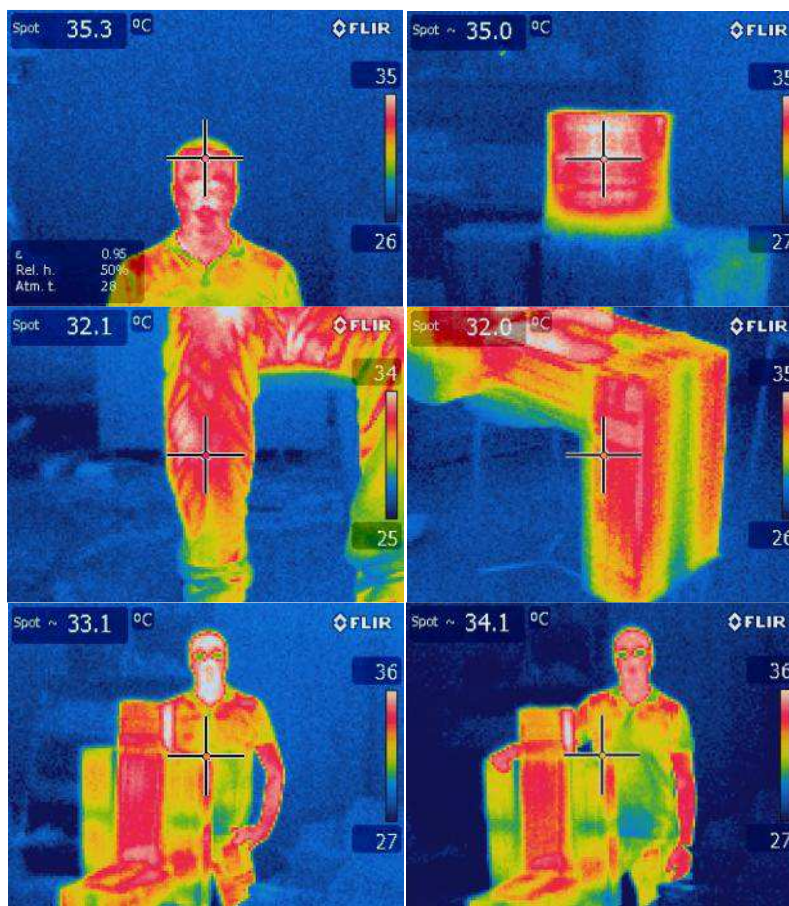


Figura 19: Comparații între distribuțiile de temperatură obținute prin controlarea celor 9 zone ale prototipului intermediar și cele ale unui corp uman

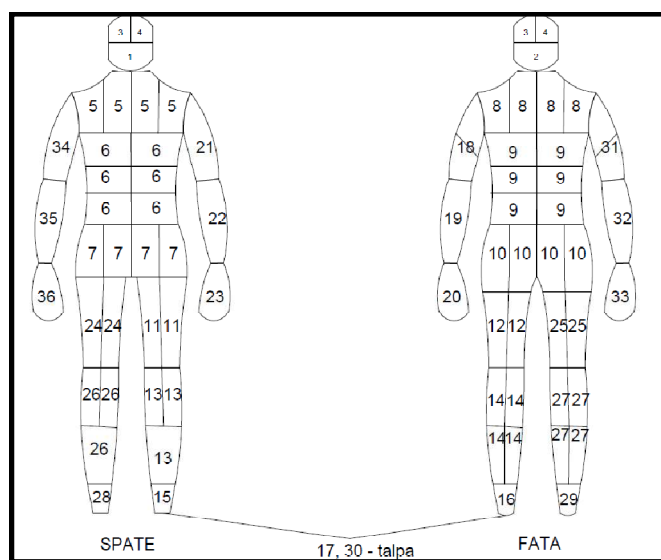


Figura 20: Distribuția zonelor anatomice de control individual al temperaturii pentru noul prototip de manechin termic



Figura 21: a) Diferite etape de realizare ale noului prototip de manechin termic, b) placuțe de control ale zonelor, c) testarea fiecărei zone în parte

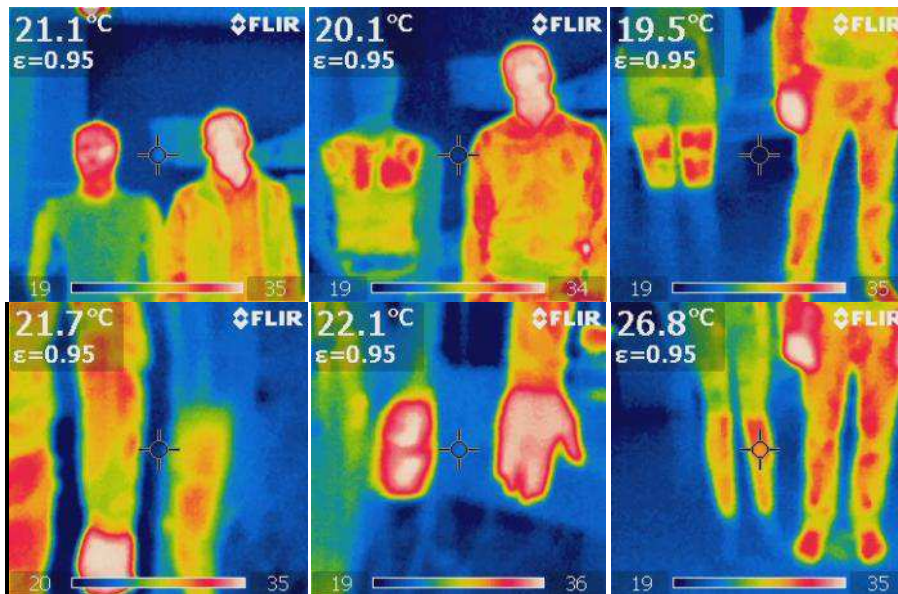


Figura 22: Comparații între distribuțiile de temperatură obținute prin controlarea diferitelor zone ale noului prototip de manechin termic și cele ale unui corp uman

Noul prototip de manchin termic cu circuit respirator are 36 de zone (circuite) distribuite după zonele anatomice ale corpului uman. Distribuția acestor zone este prezentată în Figura 20. În Figura 21 sunt prezentate diferite etape de realizare a construcției manechinului iar în Figura 22 diferite comparații între distribuțiile de temperatură măsurate prin termografie IR, obținute prin controlarea a diverse zone ale noului prototip cu cele ale unui corp uman.

### Obiectivul 3 - T2, T3 și T4

O3T2, O3T3 și O3T4 au constat în: implementarea finală a circuitului respirator pregătit anterior pe Thermal Boy 1, Pregătirea și introducerea circuitului respirator pe noul prototip și studii experimentale pe manechinul termic cu sistem de termoreglare și circuit respirator.

Circuitul respirator pregătit în etapa precedentă a fost implementat și testat pe noul prototip de manechin termic (Figura 23).

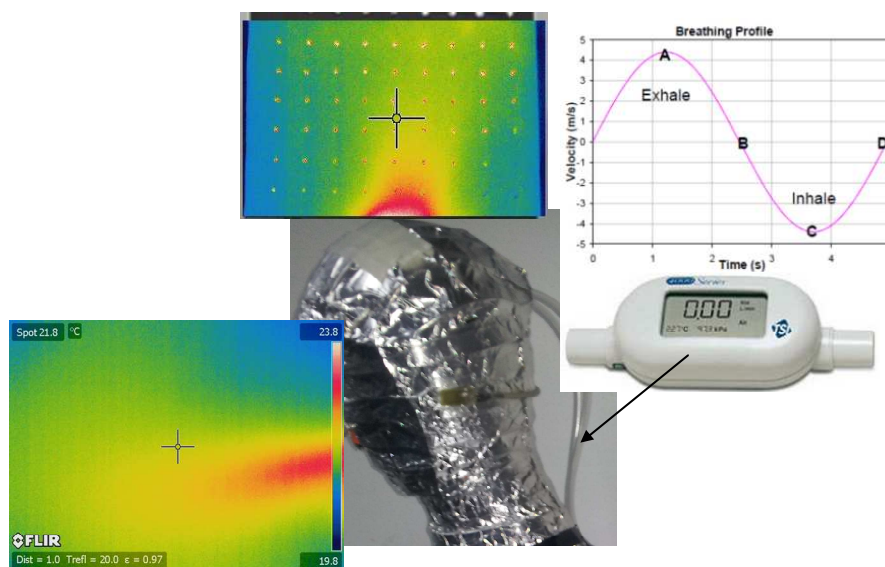


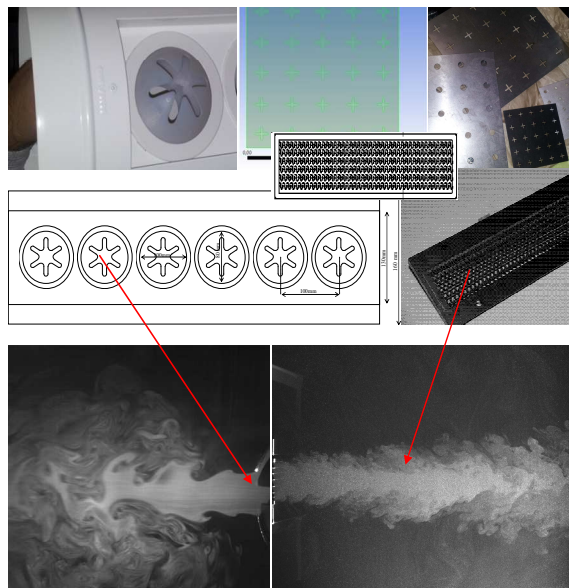
Figura 23: Testarea circuitului respirator

### Obiectivul 4 - T3, T4 și T5

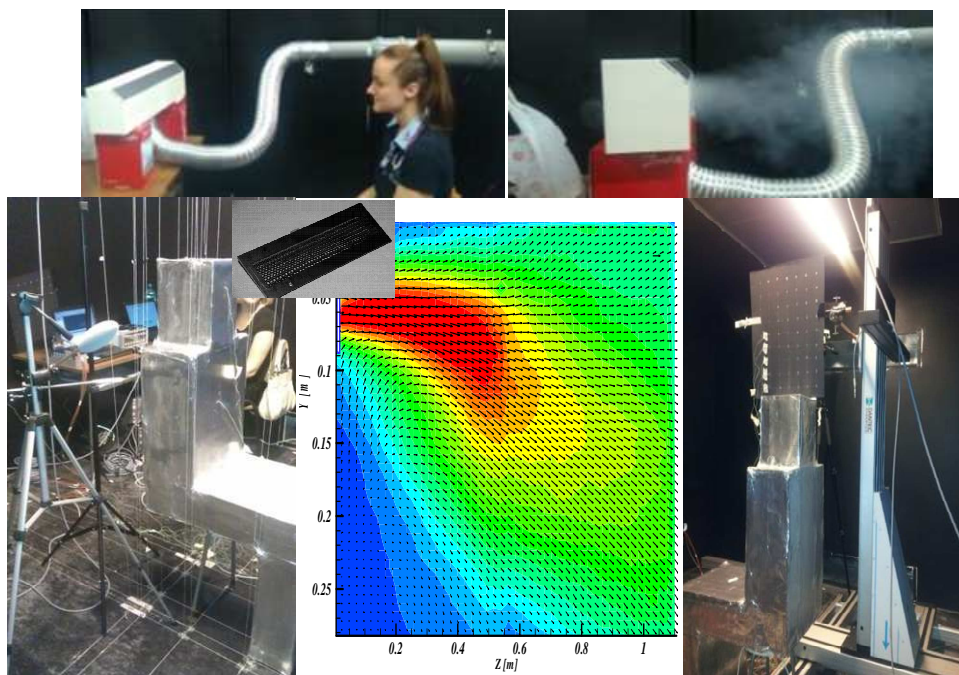
O4T3 a vizat inițial testarea experimentală a celulei pentru verificarea parametrilor de funcționare din punct de vedere aerulic. Pe parcursul acestui an a fost implementat, cu ajutorul unui alt contract de cercetare, controlul activ al pereților celulei experimentale și a fost adăugat un nou tip de plenum plafonier. Astfel, se poate considera că obiectivul O4T3 a continuat prin testarea parametrilor de control climatic ce a fost posibil datorită noilor funcționalități ale celulei.

O4T4 și O4T5 au constat în: studii preliminare și alegerea dispozitivelor inovante de introducere a aerului, studii de confort termic utilizând diferite strategii de ventilare și grile inovante. Activități din cadrul O4T5 au fost realocate pentru 2014, iar o parte din sinteza și analiza rezultatelor din O4T4 este încă în curs.

Au fost testate o serie de dispozitive inovante de refulare (Figura 24) atât din punct de vedere al performanțelor aeraulice și acustice cât și din punct de vedere al parametrilor de confort termic (Figura 25).



*Figura 24: Dispozitive inovante de refulare testate*



*Figura 25: Testarea difuzoarelor din punct de vedere al confortului termic*

A fost de asemenea abordat și **O4T7** și anume brevetarea noilor prototipuri de grile inovante. S-au depus la OSIM trei cereri de brevet sunt urmând să se mai depună alte trei. Cele trei cereri de brevet sunt intitulate :

- 1) Difuzor orientabil, cu inducție sporită prin control pasiv al curgerii, pentru ventilarea personalizată
- 2) Caseta cu duze orientabile, cu inducție sporită prin control pasiv al curgerii, pentru ventilarea prin amestec
- 3) Difuzor perforat, cu inducție sporită prin control pasiv al curgerii, pentru ventilarea prin amestec

## **Diseminare**

### **Articole ISI (3 articole)**

[1] A. Meslem, V. Sobolik, F. Bode, K. Sodjavi, Y. Zaouali, I. Nastase, C. Croitoru, Flow dynamics and mass transfer in impinging circular jet at low Reynolds number. Comparison of convergent and orifice nozzles, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 67, 25-45

[2] A. Meslem, F. Bode, I. Nastase, C. Croitoru, Comparison of turbulence models in simulating jet flow from a cross-shaped orifice, *European Journal of Mechanics B – Fluids*, accepted for publication, in press.

[3] Z. Bolashikov, A. Melikov, S. Michal, I. Nastase, A. Meslem, Improved inhaled air quality at reduced ventilation rate by control of airflow interaction at the breathing zone with lobed jets, *ASHRAE Journal*, accepted for publication.

### **Articole BDI (2 articole)**

[4] I. Nastase, R. Dolinski, F. Bode, A. Meslem, C. Croitoru, Influence of the choice of the inlet turbulence intensity on the performance of numerically simulated low Reynolds jet flows, *INCAS Buletin*, 5(4), 2013

[5] A. Dogeanu, A. Iatan, F. Bode, C. Croitoru, I. Nastase, Conception of a simplified seated thermal manikin for CFD validation purposes, *Revista Romana de Inginerie Civila - Romanian Journal of Civil Engineering*, 4(4), 2013

### **Articole Conferinte internationale – Proceedings (10 articole)**

[6] A. Meslem, V. Sobolik, I. Nastase, F. Bode, Transfert de masse par jet impactant sur paroi plane. Comparaison de jets d'orifice et de convergent à bas nombre de Reynolds, *XIème Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois sur la Thermique des Systèmes*, Reims, 2013

[7] F. Bode, I. Nastase, A. Meslem, C. Croitoru, RANS and LES Models of a Lobed Jet Flow Integrated in a Personalized Ventilation System, *Proceedings of CLIMA 2013*, Prague, Czech Republic

[8] F. Bode, C. Croitoru, I. Nastase, A. Dogeanu, Thermal comfort and IEQ assessment of an under-floor air distribution system, *Proceedings of IBPSA 2013*, Chambéry, France

[9] I. Cruceanu, C. Maalouf, I. Nastase, I. Colda, A. Dogeanu, Etude et validation expérimentale d'un modèle zonal du panache thermique génère par un mannequin en position assise, *Actes des communications de la session Francophone de la Conférence EENVIRO 2013*, Bucarest

[10] A. Meslem, I. Nastase, Contrôle passif des jets et son intégration dans le bâtiment – diagnostic expérimental et optimisation numérique *Actes des communications de la session Francophone de la Conférence EENVIRO 2013*, Bucarest

- [11] C. Croitoru, A. Meslem, V. Badescu, Influence de la dynamique de tourbillons longitudinaux sur le transfert de chaleur lors de l'écoulement d'air à travers un élément de diffusion d'une façade innovante, Actes des communications de la session Francophone de la Conférence EENVIRO 2013, Bucarest
- [12] A. Meslem, V. Sobolik, I. Nastase, F. Bode, Transfert de masse par jet impactant sur paroi plane, Proceedings de Journées Internationales de Thermique 2013, Marrakech, Maroc
- [13] A. Meslem, V. Sobolik, I. Nastase, K. Sodjavi, I. Nastase, Numerical prediction of wall shear rate in impinging cross-shaped jet at moderate reynolds number, Proceedings of CIEM 2013, Bucarest
- [14] R. Greffet, A. Meslem, I. Nastase, Analysis of a Low Reynolds Jet Flow from a Notched Orifice Jet for HVAC Applications, Proceedings of CLIMA 2013, Prague, Czech Republic

De asemenea, alte **3 articole ISI** se afla in **procedura de recenzie** și **3 abstracts** au fost acceptate pentru conferințe prestigioase în domeniu din 2014.



Figura 26: Participare la: a) Conferinta EENVIRO 2013, b) INNOBUILD 2013, c) Conferința IBPSA 2013, d) Salonul Cercetării de la CNDI 2013

A fost actualizata pagina web a proiectului (<http://www.cambi.ro/inadeva/index.html>), în cadrul site-ului centrului de cercetare CAMBI, cu link-uri către pagina Universității Tehnice de Construcții București, și a Facultății de Ingineria Instalațiilor.

Proiectul a fost prezentat și popularizat în cadrul unei serii de manifestări tehnice și științifice de popularizare. Am participat la expoziția INNOBUILD 2013 în cadrul Trienei de Arhitectura de la București și la Salonul Cercetării în cadrul CNDI 2013 cu roll-ups de popularizare ale proiectului.

În cadrul conferinței EENVIRO 2013 a fost organizat un și workshop-ul : *Exploratory research studies for Indoor Ambient Quality : methods, results and perspectives* dedicat proiectului INADEVA și proiectului IEQ (Tinere Echipe), la care au participat atât membrii echipelor de cercetare cât și invitați internaționali din Franța, Maroc, Kosovo, și din țară, de la Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, Institutul Național de Cercetări Aero-Spațiale Elie Carafoli, Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, etc.



Figura 26: Workshop desfășurat în cadrul Conferinței EENVIRO 2013

## Referințe

1. Nastase, I., *Analyse des jets lobés en vue de leur intégration dans les Unités Terminales de Diffusion d'air*. 2007, Université de La Rochelle: Ph.D. Thesis.
2. Nastase, I. and A. Meslem, *Vortex dynamics and entrainment mechanisms in lobed jets*. Bulletin of the American Physical Society, 2007. **52 (12)**.
3. Nastase, I. and A. Meslem, *Passive control of jet flows using lobed nozzle geometries*. Mécanique & Industries, 2007. **8(2)**: p. 101-109.
4. Nastase, I. and A. Meslem. *Lobed jets for improving air diffusion performance in buildings*. in *The 29th AIVC Conference*. 2008. Kyoto, Japon.
5. Nastase, I. and A. Meslem, *Vortex dynamics and entrainment mechanisms in low Reynolds orifice jets*. Journal of Visualization, 2008. **11(4)**.
6. Nastase, I. and A. Meslem, *Vortex dynamics and mass entrainment in turbulent lobed jets with and without lobe deflection angles*. Experiments in Fluids, 2010. **48(4)**: p. 693-714.
7. Nastase, I., A. Meslem, and T. Bowmans, *Vortical structures analysis in jet flows using a classical 2D-PIV system and time resolved visualization image processing*. Journal of Flow Visualization and Image Processing, 2008. **15(4)**: p. 275-300.
8. Nastase, I., A. Meslem, and I. Colda. *Innovative passive mixing devices for better air diffusion performance in buildings*. in *43-th National Conference, Building services for the beginning of the third millennia*. 2008. Sinaia, Roumanie.
9. Meslem, A. and I. Nastase. *Analysis of free or twin-jets for innovative air diffusion terminal units*. in *Roomvent 2009*. 2009. Busan, South Korea.
10. Meslem, A., I. Nastase, and K. Abed-Meraim, *Experimental investigation of a lobed jet flow mixing performance*. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2007. **81(1)**.
11. Meslem, A., I. Nastase, and F. Allard, *Passive mixing control for innovative air diffusion terminal devices for buildings*. Building and Environment, 2010. **45** ( 2679-2688).
12. Nastase, I., A. Meslem, and P. Gervais, *Primary and secondary vortical structures contribution in the entrainment of low Reynolds number jet flows*. Experiments in Fluids, 2008. **44(6)**: p. 1027-1033.
13. Nastase, I. and A. Meslem, *Vortex Dynamics and Entrainment Mechanisms in Low Reynolds Orifice Jets*. Journal of Visualisation, 2008. **11(4)**: p. 309-318.
14. Nastase, I. and A. Meslem, *Vortex dynamics and mass entrainment in turbulent lobed jets with and without lobe deflection angles*. Experiments in Fluids, 2010. **48(4)**: p. 693-714.
15. Nastase, I., et al., *Lobed grilles for high mixing ventilation - An experimental analysis in a full scale model room*. Building and Environment, 2010.
16. Meslem, A., M. El-Hassan, and I. Nastase, *Analysis of jet entrainment mechanism in the transitional regime by time-resolved PIV*. Journal of Visualization, 2010. **14(1)**: p. 41-52.
17. El-Hassan, M. and A. Meslem, *Time-resolved stereoscopic PIV investigation of the entrainment in the near-field of circular and daisy-shaped orifice jets*. Physics of Fluids, 2010. **22(3)**.
18. Kosonen, R., et al., *Impact of heat load location and strength on air flow pattern with a passive chilled beam system* Energy and Buildings, 2010. **42(1)**: p. 34-42.
19. Sorensen, D.N. and L.K. Voigt, *Modeling airflow and heat transfer around a seated human body by computational dynamics*. Building and Environment 2003. **38(6)**: p. 753-762.
20. Murakami, S., S. Kato, and J. Zeng, *Combined simulation of airflow, radiation and moisture transport for heat release from a human body*. Building Environment, 2000. **35**: p. 489-500.
21. Murakami, S., S. Kato, and J. Zeng, *CFD analysis of thermal environment around human body*. 1996. **2**: p. 479-484.
22. Gao, N.P. and J.L. Niu, *Indoor and Built Environment*. CFD study of thermal environment around a human body: A review, 2005. **14**: p. 5-16.

23. Havenith, G., I. Holmér, and K. Parsons, *Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat rate production*. Energy and buildings, 2002 **43**(5): p. 581-591.
24. Holmér, I., *Thermal manikin history and applications*. European Journal of Applied Physiology, 2004. **92** p. 614-618.
25. Gökhan, S. and M. Kilic, *Numerical analysis of air flow, heat transfer, moisture transport and thermal comfort in a room heated by two-panel radiators*. Energy and Buildings, 2011. **43**(1): p. 137-146.
26. Croitoru, C., et al. *Numerical and experimental modeling of airflow and heat transfer of a human body*. in *Roomvent 2011*. 2010. Trondheim, Norway.
27. Einberg, G., et al., *CFD modeling of an industrial air diffuser-predicting velocity and temperature in the near zone*. Building and Environment 2005. **40**: p. 601-615.
28. Nastase, I., et al., *Lobed grilles for high mixing ventilation - An experimental analysis in a full scale model room*. Building and Environment, 2011. **46**( 3): p. 547-555.
29. Bode, F., I. Nastase, and C. Croitoru, *Mesh dependency study using large eddy simulation of a very low reynolds cross-shaped jet*. Mathematical modelling 2011. **4**: p. 16-23.
30. Croitoru, C., I. Nastase, and F. Bode, *The influence of the geometric form of the virtual thermal manikin on the convective flow*. Mathematical modelling, 2011. **4**: p. 55-65.
31. Cropper, P.C., et al. *Exchange of simulation data between CFD programmes and a multi-segmented human thermal comfort model*. in *Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge*. 2008. Windsor, UK.
32. Zhang, Y. and T. Yang. *Simulation of human thermal responses in a confined space*. in *INDOOR AIR*. 2008. Copenhagen, Denmark.
33. Khalifa, E.H., M.I. Janos, and D.J. F., *Experimental investigation of reduced-mixing personal ventilation jets*. Building and environment, 2009. **44**(8): p. 1551-1558
34. Melikov, A., *Breathing thermal manikins for indoor environment assessment: important characteristics and requirements*. Eur J Appl Physiol., 2004 **92**(6): p. 710-713.
35. Melikov, A.K., *Personalized ventilation*. Indoor Air Pollution, 2004. **14**(suppl. 7): p. 157-167.
36. \*\*\*, *Moderate thermal environments - determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort in ISO 7730*, I.O.f. Standardization, Editor. 1984.
37. Dantec Dynamics, S.A.S., *Comfort Sense system brochure, available on <http://www.dantecdynamics.com/>*.