

Raport stiintific

privind implementarea proiectului PN-II-RU-PD-2011-3-0099 – Cercetari fluido-dinamice aplicate in dezvoltarea de difuzoare inovante pentru ventilarea personalizata in vehicule si cladiri in perioada IANUARIE– DECEMBRIE 2012

Activitatea 1 – Simularea numerica a curgerii aerului in jurul manechinului

Prima etapa in simularea numerica a constat in validarea sa prin comparatie cu rezultatele obtinute de Croitoru [1, 2]. In acest mod a fost validat panasul termic care se formeza dasupra capului unei persoane datorita convectiei naturale. In Fig.1 este prezentata distributia campului de temperatura in jurul capului manechinului virtual pentru cazul convectiei naturale fara prezenta jetului de ventilare personalizata. Analiza numerica de tip Computational Fluid Dynamics (CFD) a fost realizata cu ajutorul solverului Fluent, inclus in pachetul Ansys 13.0.

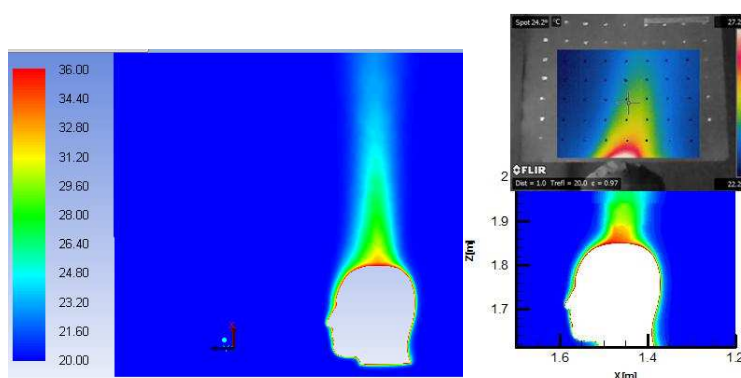


Fig. 1 Distributia campului de temperatura in jurul capului manechinului virtual – Comparatie cu rezultatele obtinute de Croitoru [1, 2] pentru cazul convectiei naturale fara prezenta jetului de ventilare personalizata

In Fig.2 se prezinta distributia campului de temperatura in acelasi plan ca si anterior, dar in prezenta unui jet de aer pentru ventilarea personalizata. Distributia campului de viteza intr-un plan median este prezentata in Fig.3 pentru intregul domeniu de valori de viteza calculate, iar in Fig.4 au fost reprezentate doar valorile de viteza mai mici sau egale cu 0.3m/s. Pentru cazul studiat, se observa ca aerul utilizat pentru ventilarea personalizata atinge fata ocupantului cu o viteza mai mica de 0.2m/s si la o temperatura mai mare de 21°C, acesti parametri ai aerului neafectand in vreun fel confortului utilizatorului, dar creandu-i o senzatie de confort sporit raportat la conditiile anterioare pornirii sistemului de ventilare personalizata. De asemenea, poate fi vizualizat si panasul termic de deasupra capului.

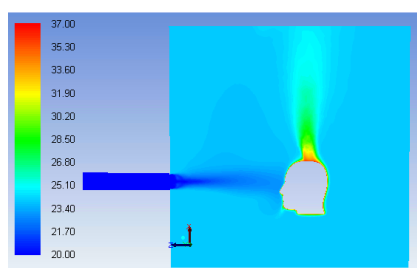


Fig.2 Distributia campului de temperatura pentru cazul ventilarii personalizate

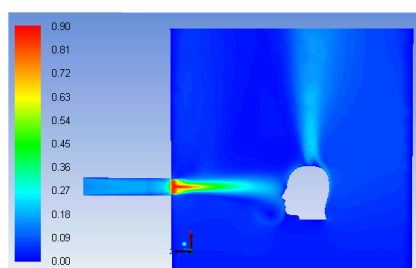


Fig.3 Distributia campului de viteza intr-un plan median pentru cazul ventilarii personalizate

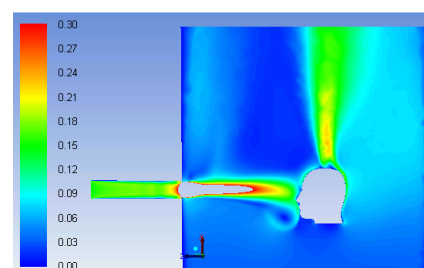


Fig.4 Distributia campului de viteza intr-un plan median pentru cazul ventilarii personalizate considerand doar valorile de viteza mai mici sau egale cu 0.3m/s

O analiza ulterioara prin simulare numerica va fi integrarea jetului obtinut la curgerea printr-un orificiu in forma de cruce intr-o configuratie de ventilare personalizata, land in considerare interactiunea complexa dintre jet, suprafata capului si respiratia ocupantului, in scopul de a realiza un sistem personalizat eficient, eliminand in acelasi timp riscul de curent.

Activitatea 2 – Simularea numerica a curgerii aerului pentru diferite prototipuri de difuzoare

Pana in acest moment a fost efectuat studiul curgerii prin simulare numerica pentru un orificiu in forma de cruce cu lobi rotunjiti si pentru un orificiu in forma de cruce cu lobi drepti, ambele orificii avand un diametru echivalent (D_e) de 10mm (Fig.5). In acest moment au loc rulari pentru studiul curgerii printr-un orificiu cu forma circulara cu $D_e=10$ mm.

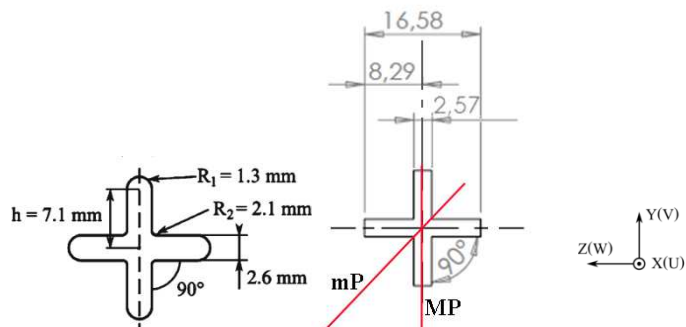


Fig. 5 Geometria orificiilor in forma de cruce cu lobi rotunjiti si lobi drepti studiate prin simulare numerica

Rezultatele simularilor numerice pot fi urmarite in cadrul activitatii 6 unde a fost efectuata validarea acestora.

Activitatea 3 – Curgerea pulsata - partea numerica

In prima etapa a fost determinata ecuatia necesara pentru modelarea respiratiei (Fig.6-7)

$$Dm = a \cdot \sin(b \cdot t) \quad (\text{Ec. 1})$$

unde Dm reprezinta debitul masic,
 t este timpul in secunde,
 a coeficient determinat empiric egal cu 0.25,
 b coeficient determinat empiric egal cu 1.9.

Datorita dificultatilor intampinate in regimul nestationar, cauzate de faptul ca implementarea valorilor negative in conditia la limita de tip "mass flow rate" se realizeaza cu dificultate, conditia la limita utilizata a fost "velocity inlet". Pentru implementarea acestei conditii a fost scrisa o functie de tip UDF (User Defined Function) care a facut posibila variatia vitezei de la intrare pe curba descrisa de Ec.2.

$$v = \frac{a \cdot \sin(b \cdot t)}{A} \quad (\text{Ec.2})$$

unde v este viteza aerului in m/s,
 A reprezinta aria sectiunii de intrare (pentru o nara) in m^2 .

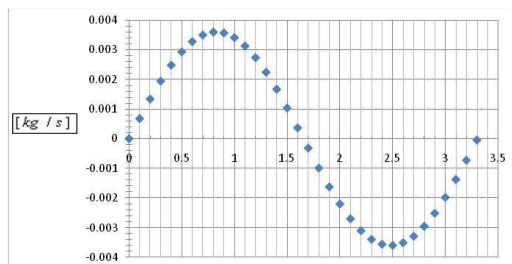


Fig. 6 Variatia debitului masic inspirat/expirat pentru o persoana in activitate usoara

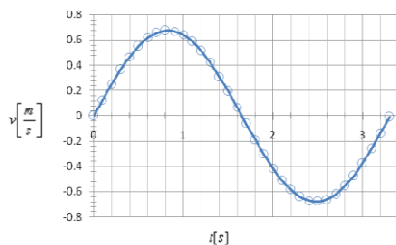


Fig. 7 Variatia vitezei aerului inspirat/expirat pentru o persoana in activitate usoara

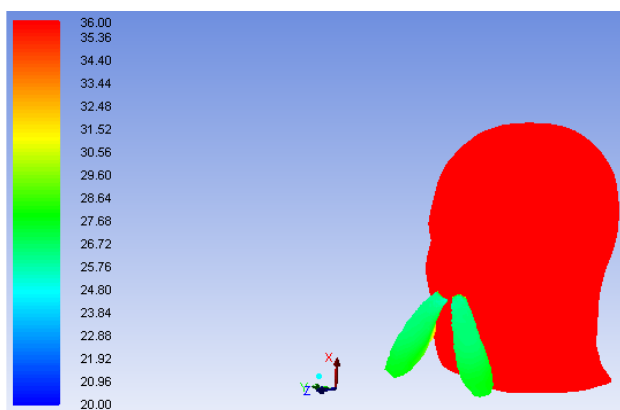
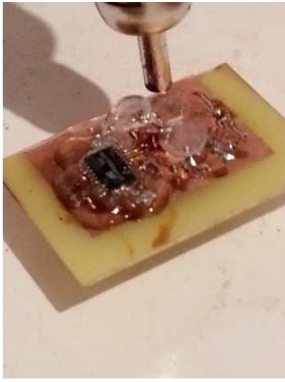


Fig. 8 Distributia campului de temperatura pe suprafata capului (36°C) si pe o izosuprafata de viteza constanta de 0.5m/s pentru cazul in care manechinul virtual respira

Activitatea 4 – Curgerea pulsata - partea experimentală

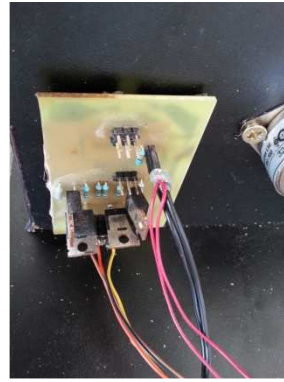
Pentru partea experimentală a fost achizitionat un actuator liniar, care a fost programat sa comande miscarea unui piston intr-un cilindru, dupa Ec.1. A fost realizat un ansamblu experimental care a fost utilizat pentru reproducerea respiratiei unei persoane in activitate usoara (Fig. 9).



a. Etapa conceperii placii de control a actuatorului (spatele placii – vedere microcontroller)



b. Etapa programarii microcontoller-ului care comanda miscarea actuatorului



c. Imagine placa de control actuator montata in ansamblul experimental (vedere fata)



d. Imagine actuator liniar montat in ansamblul experimental

Fig. 9 Etapele conceperii ansamblului experimental utilizat pentru reproducerea respiratiei umane

Ansamblul experimental utilizat pentru reproducerea respiratiei unei persoane in activitate usoara poate fi vizualizat in Fig.10

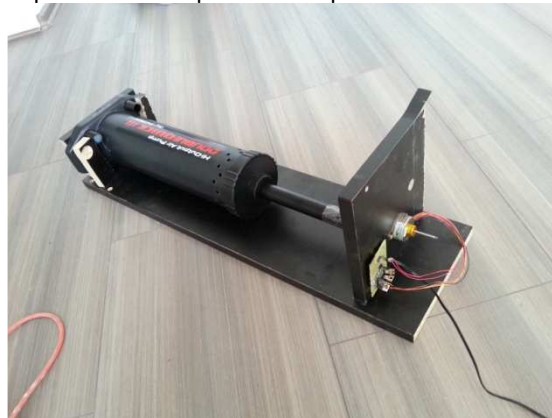


Fig. 10 Ansamblu experimental utilizat pentru reproducerea respiratiei umane

Activitatea 5 – Masuratori prin metoda Particle Image Velocimetry (PIV)

Diferite curgeri elementare de tip jet ce vor fi integrate ulterior în dispozitive de ventilare personalizată au fost investigate experimental cu ajutorul tehnicii PIV, rezultatele obținute fiind folosite la validarea modelelor numerice propuse în activitatea 6.

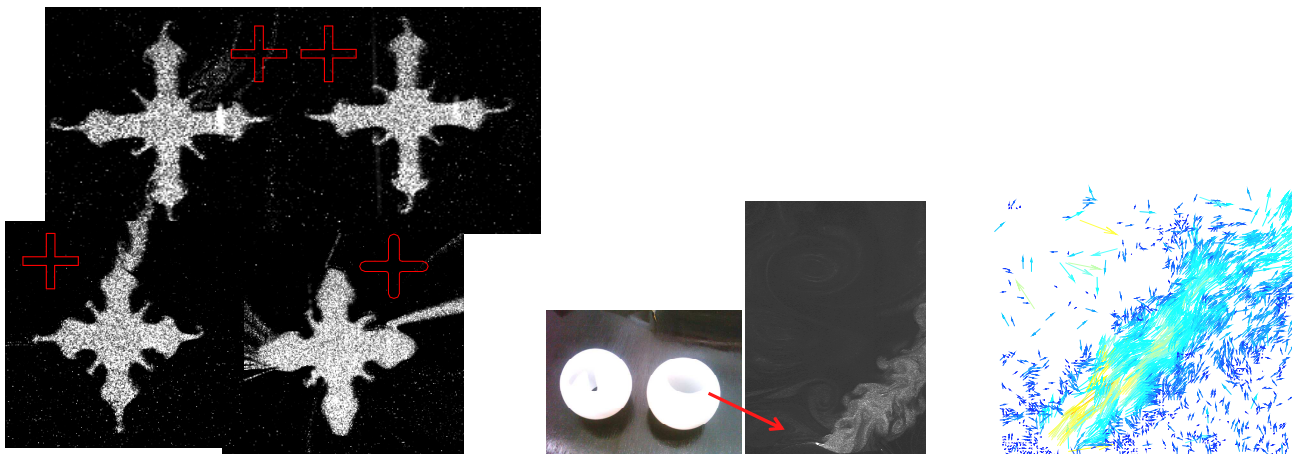


Fig. 11 Configurații de jeturi elementare pentru care s-au facut masurari PIV

Activitatea 6 – Validarea simularilor numerice

Pentru cazul jetului format la curgerea printr-un orificiu in forma de cruce cu lobi drepti validarea s-a realizat prin comparatia mai multor marimi urmarite (viteza axiala in centrul jetului, debitul de aer antrenat, profile de viteza axiala la diferite distante de zona orificiului) cu masuratori experimentale obtinute prin metodele PIV si Hot Wire Anemometry (HWA). In aceasta etapa a fost efectuat atat studiul de independenta de grila (Fig. 12-13) cat si studiul de alegere a modelului de tubulenta utilizat (Fig. 14-17).

Investigatia numerica a unui jet care provine dintr-o cruce cu lobi drepti a fost investigata numeric, utilizand sapte modele de turbulenta: SST k- ω , k- ω standard, k- ϵ RNG, k- ϵ realizable, k- ϵ standard, RMS, Spalart-Allmaras.

Obiectivul studiului a fost acela de a determina capacitatea modelelor de turbulenta de tip RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) de a prezice suficient de bine toate caracteristicile importante ale jetului de aer provenit dintr-un orificiu in forma de cruce cu lobi drepti. In cadrul studiului, s-a observat ca niciunul dintre modelele analizate nu este suficient pentru a prezice toate caracteristicile semnificative ale jetului, de unul singur. Singurele modele care au reușit sa fie mai aproape de evolutia jetului masurata experimental au fost RSM și k- ω SST. Modelul de turbulenta RSM a avut rezultate mai bune decat celelalte modele pentru surprinderea cu acuratete a punctului de inflexiune situat la 0.7De. Evolutia globala a jetului, precum si rata de antrenare a aerului inconjurator sunt mai bine prezise de modelele SST k- ω si RSM. Evoluția medie a vitezei axiale in centrul jetului a fost mai bine prezisa de k- ω SST. Toate modelele k- ϵ au rezultate slabe in cazul studiat nefiind capabile sa prezică locația corecta a punctul de inflexiune a vitezei axiale. Concluzia care s-a depsins este aceea ca atat modelul RSM cat si SST k- ω au prezis diferite aspecte ale evolutiei jetului, și folosindu-le impreuna se pot rezolva toate aspectele primare ale jetului prin aceste tipuri de duze lobate.

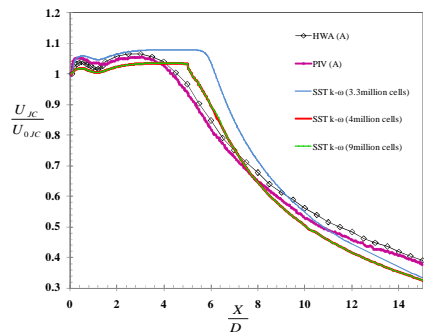


Fig. 12 Viteza axiala normalizata in centul jetului fata de viteza axiala in centul jetului la distanta de 0De – Studiu de independenta a grilei pentru 3.3, 4 and 9 milioane de elemente hexaedrale – comparatie intre rezultate experimentale (PIV and HWA) si rezultate obtinute prin simulare numerica cu modelul k- ω SST

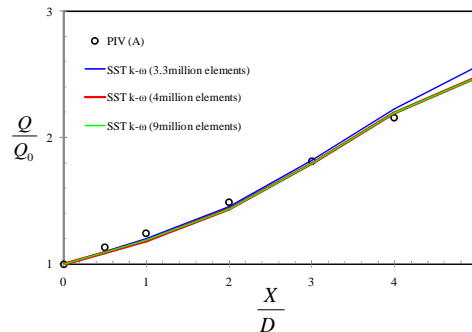


Fig. 13 Debitul de aer antrenat normalizat fata de debitul de aer care intra in domeniu – Studiu de independenta a grilei pentru 3.3, 4 and 9 milioane de elemente hexaedrale – comparatie intre rezultate experimentale (PIV) si rezultate obtinute prin simulare numerica cu modelul k- ω SST

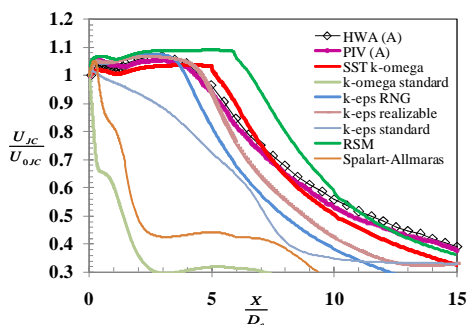


Fig. 14 Viteza axiala normalizata in centul jetului – Studiu de alegere a modelului viscos prin comparatia cu rezultate experimentale (PIV and HWA)

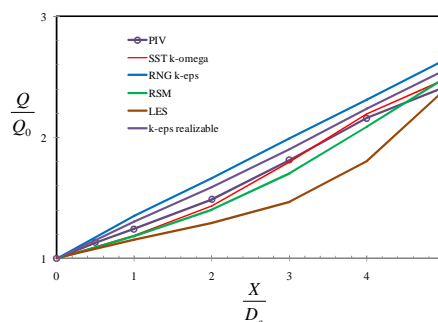


Fig. 15 Debitul de aer antrenat normalizat – Studiu de alegere a modelului viscos prin comparatia cu rezultate experimentale (PIV)

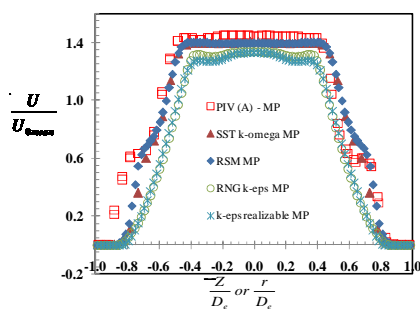


Fig. 16 Viteza axiala normalizata la distanta de 1De de orificiu in Planul Principal (MP) - Studiu de alegere a modelului viscos prin comparatia cu rezultate experimentale (PIV)

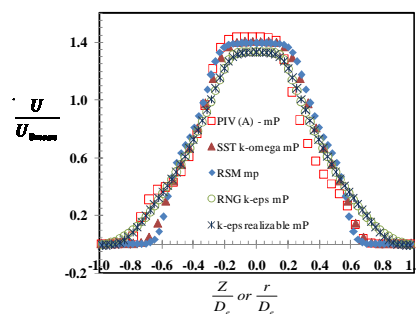


Fig. 17 Viteza axiala normalizata la distanta de 1De de orificiu in Planul Principal (MP) - Studiu de alegere a modelului viscos prin comparatia cu rezultate experimentale (PIV)

Activitatea 7 – Masuratori utilizand o camera de mare viteza (High Speed Camera – HSC) si o camera in InfraRed (IR).

In cadrul acestei activități au fost realizate vizualizari rapide ale curgerilor elementare studiate pentru o analiză complexă a dinamicii acestora. Au fost de asemenea realizate determinari ale distribuțiilor câmpurilor de temperatură cu ajutorul masurarilor infraroșu ale curgerilor elementare. In Fig. 18 sunt prezentate cateva exemple.

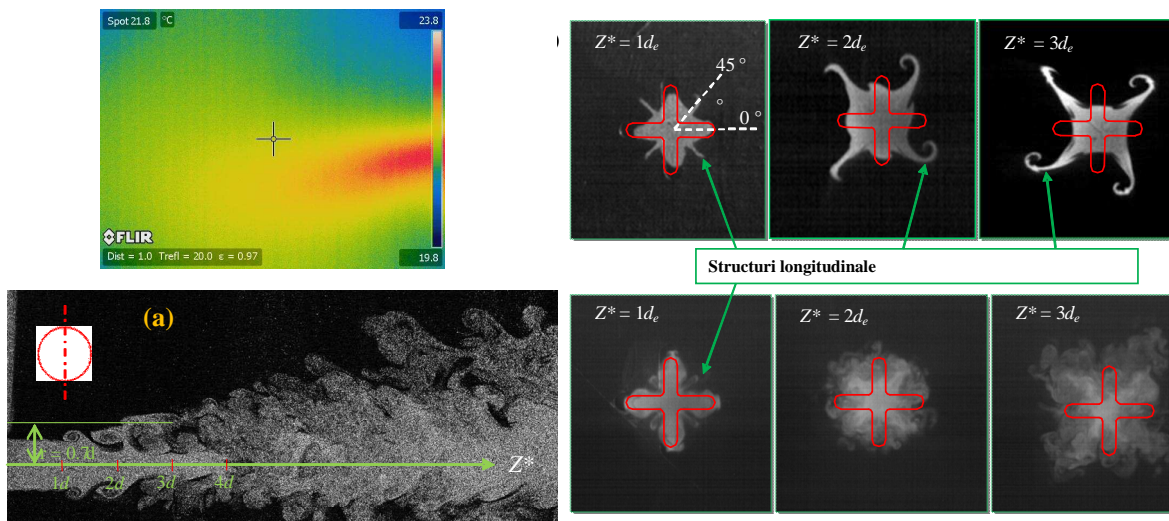


Fig. 18 a) Exemplu de distribuție a temperaturii pentru un jet de aer neizoterm, b) vizualizari HSC ale unui jet elementar

Rezultate

Totodata munca depusa in cadrul acestui proiect, pana in acest moment, a fost concretizata prin publicarea mai multor articole:

a unui articol ISI indexat Web of Science,

1. Meslem AMINA, Ilinca NASTASE, Florin BODE, Claudine BEGHEIN, Optimization of a Lobed Perforated Panel Diffuser - A Numerical Study of Orifice Arrangement, The International Journal of Ventilation, Volume 11, No 3, pp.255-270 (16pag), December, 2012

a unui articol indexat SCOPUS:

2. Meslem AMINA, Florin BODE, Ilinca NASTASE, Olivier MARTIN, Optimization of lobed perforated panel diffuser: Numerical study of orifice geometry, Modern Applied Science, (ISSN 1913-1844 (Print) ISSN 1913-1852 (Online) doi:10.5539/mas.v6n12p59, URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v6n12p59>, vol6, no12, p59-73(15pag), 2012

a patru articole B+, indexate BDI in ProQuest:

3. Florin BODE, Ilinca 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(7p)
4. Cristiana CROITORU, Ilinca 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(10p)
5. Florin BODE, Ilinca 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)
6. Cristiana CROITORU, Ilinca 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)

prin publicarea a doua articole in Proceedings de conferinte:

7. Florin BODE, Ilinca NASTASE, Amina MESLEM, Cristiana CROITORU, RANS and LES models comparison for a cross shaped jet flow with application in personalized ventilation, Joint Conference 33rd AIVC Conference and 2nd TightVent Conference, pag.113-117(10pag), 11-12 October 2012, Copenhagen, Denmark
8. Cristiana CROITORU, Ilinca 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

De asemenea, doua articole se afla in procedura de recenzie la doua jurnale cu factor de impact, indexate Web of Science.

Proiectul a fost prezentat si popularizat in cadrul unei serii de manifestari tehnice si stiintifice de popularizare. La Targul international de tehnologii, echipamente utilaje si materiale pentru constructii – CONSTRUCT EXPO - martie 2012 si la Expozitia internationala pentru instalatii, echipamente de incalzire, racire si de conditionare a aerului – ROMTHERM – aprilie 2012.

Director proiect,
Dr. Ing. Florin BODE

Referinte

1. Croitoru, C., *Theoretical and experimental studies regarding the influence of air turbulence intensity inside buildings on thermal comfort*, in Technical University of civil Engineering, Bucharest. 2011.
2. Croitoru, C., et al. *Numerical and experimental modeling of airflow and heat transfer of a human body*. in Roomvent 2011. 2011. Trondheim, Norway.