

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 octombrie – decembrie 2011

Introducere

Ventilarea personalizata (PV) este de actualitate in domeniul distributiei aerului in cladiri, dar este utilizata pe scara larga in cazul ventilarii automobilelor, cabinelor aeronavelor sau in vagoanele trenurilor. Principalul scop al PV este de furniza aer proaspat aproape de fata fiecarui ocupant si de a imbunatati confortul termic al acestuia. Sistemele HVAC trebuie sa asigure puritatea aerului vehiculat si sa contribuie la mentinerea conditiilor interioare confortabile pentru utilizatori, datorita faptului ca in tarile industrializate, oamenii isi petrec mai mult de 90% din timpul lor in interiorul cladirilor [1]. In contextul crizei acuale in domeniul energiei exista o presiune crescanda asupra membrilor Uniunii Europene cu privire la o eventuala reducere a consumurilor energetice cu cel putin 20% pana in 2020 [2]. Acest lucru are ca rezultat o dilema reala a proiectantilor sistemelor de ventilare si climatizare pentru cladiri, deoarece sunt pusi in a alege intre mentinerea calitatii aerului interior si economia de energie. In consecinta, cladirile rezultate vor avea un consum redus de energie, iar puterile termice injectate si debitele de aer vehiculate ar trebuie sa fie reduse in comparatie cu cladirile clasice. In acelasi timp, nu trebuie sa uitam ca oamenii, materialele de constructie, mobilierul, echipamentele electronice, cele de birou sunt generatoare de poluare interioara [3-7]. In acest context, se impune dezvoltarea de dispozitive inovante de introducere a aerului in incaperi, insotite de strategii adecvate de difuzie a aerului in aceste spatii, pentru a asigura un confort cat mai bun in conditiile unor consumuri de energie cat mai mici. Dispozitivele inovante ar trebuie sa genereze o inductie puternica, in special in regiunea initiala a jetului de aer introdus in incapere. In acest mod, un amestec imbunatatit va conduce la o curgere mai stabila, precum si la o distributie mai uniforma a incarcarii termice, imbunatatind calitatea aerului.

Privind partea de implementare a proiectului, s-a participat in luna Octombrie la Salonul Cercetarii 2011, in care s-a prezentat proiectul pe slide-uri de tip Powepoint. De asemenea in luna Noiembrie, s-a participat la Conferinta YRC 2011, organizata de UTCB, unde a fost prezenta o lucrare stiintifica care corespunde activitatii doi din prima faza a prezentului proiect, care apoi a fost selectata spre publicare in *Mathematical Modelling in Civil Engineering – Scientific Journal*, o revista de categoria B+, indexata in BDI.

Activitatea 1 - Simularea numerica a curgerii aerului in jurul manechinului - din cadrul primului obiectiv este in derulare. Pana in acest moment s-au cautat tipologii de manechine 3D CAD care s-ar potrivi pentru cazul studiat. S-au gasit mai multe modele 3D, dar dintre acestea doar doua [8-9] corespund criteriilor de cautare stabilite anterior. In continuare se va efectua un studiu pentru determinarea manechinului care va fi utilizat pentru simularea numerica a curgerii aerului din incapere in jurul acestuia.



Figura 1. Modele manechin studiate pentru implementare

Activitatea 2 – Simularea numerică pentru diferite tipuri de prototipuri de difuzoare – este de asemenea în derulare. Până în acest moment a fost studiată curgerea unui jet de aer în formă de cruce.

Studiul efectuat în acest raport își propune să identifice configurația geometrică optimă și numărul de elemente de discretizare geometrică necesar pentru studiul numeric al unui jet de aer în formă de cruce. Curgerea este studiată prin simulare numerică de tip CFD (Computational Fluid Dynamics) utilizând metoda LES (Large Eddy Simulation), pe trei grile nestructurate cu numere diferite de elemente de discretizare (0.4, 1.35, 2.2 milioane elemente tetraedrale). Rezultatele obținute din simularea numerică sunt comparate cu rezultatele corespunzătoare obținute prin investigație optică utilizând metoda LDV (Laser Doppler Velocimetry). Obiectivul acestui studiu este de a evalua avantajele și limitările grilelor studiate în a prezice aspectele semnificative ale curgerii unui jet de aer în formă de cruce prin simulare numerică.

Geometria investigată și detaliile de calcul

Jetul de aer, studiat este generat cu ajutorul unui orificiu în formă de cruce, având diametrul echivalent (D_e) de 10mm.

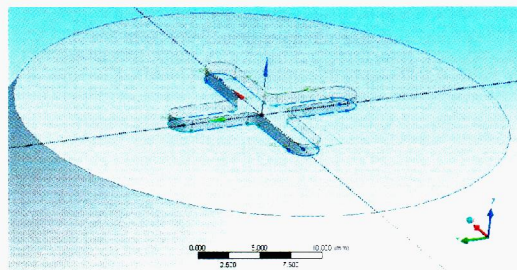


Figura 2 Orificiul în formă de cruce investigat

Geometria utilizată în cadrul simulării numerice a fost reprodusă pentru a se potrivi cu partea terminală a instalației experimentale descrisă în Figura 3 [10]. Această instalație experimentală este situată în laboratorul LEPTIAB, Universitatea din La Rochelle, Franța. În acest laborator au fost efectuate o serie de studii experimentale cu privire la diferite configurații [1-7]. Instalația este compusă dintr-un ventilator axial plasat în interiorul unei conducte metalice de un metru cu diametrul de 0.16m. O conductă convergentă plasată la capătul țevii asigură reducerea nivelului turbulenței la ieșirea jetului. În același scop, în amonte este plasată o structură de tip fagure. Numărul Reynolds bazat pe viteza medie de ieșire $U_{0\text{mean}}$ (0.92 m/s) și pe diametrul echivalent D_e este 515, curgerea fiind una laminară.

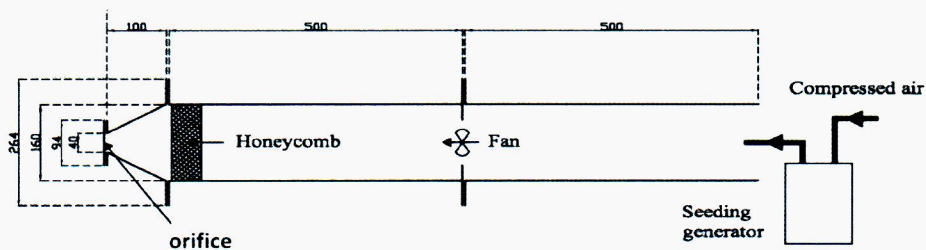


Figura 3. Instalația experimentală utilizată pentru curgerea studiată numeric [10]

Domeniul de calcul este compus din două părți separate printr-un orificiu în formă de cruce. Placa în care este executat orificiul are grosimea de 1mm. Partea din amonte are dimensiunile $16D_e \times 16D_e \times 20D_e$, iar partea din aval are dimensiunile $20D_e \times 20D_e \times 40D_e$.

Condiția la limita specificată pentru intrare a fost "velocity inlet" cu o valoare de 0.0036 m/s și o intensitate a turbulenței de 2%. Având în vedere simetria problemei, doar 1/8 din domeniul curgerii este modelată (Figura 4). Pentru ieșire a fost specificată condiția "pressure outlet". Celelalte condiții la limita sunt reprezentate în Figura 4.

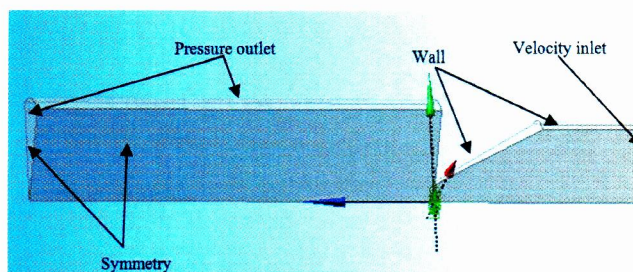


Figura 4 – Geometria utilizata pentru simularea numerica si impunerea conditiilor la limita

Studiul de independenta a solutiei in functie de discretizarea geometrica a fost realizat cu ajutorul a trei grile formate din 0,4, 1.35 și 2,2 milioane de elemente tetraedrale (Figura 5). Toate grilele au fost realizate foarte dense in zona orificiului.



a. 0.4 milioane elemente

b. 1.35 milioane elemente

c. 2.2 milioane elemente

Figura 5. Detaliu din zona orificiului, in sectiune longitudinala, cu cele trei grile studiate

Analiza numerică a fost realizată cu ajutorul solverului Fluent, inclus în pachetul Ansys 12.1. Simularea numerică a fost realizată cu LES, iar modelul scala-subgrila (SGS) ales a fost Smagorinsky-Lilly. Datorită vitezelor foarte mici, curgerea a fost considerată incompresibilă, în acest caz utilizându-se solverul "pressure based". Algoritmul "SIMPLE" a fost utilizat pentru cuplarea presiune-viteză. O schemă de ordinul doi, Bounded Central Differencing, a fost utilizată pentru toate ecuațiile de transport, deoarece este o alegere ideală pentru LES, având în vedere difuzia numerică scăzută [11]

Având în vedere că formularea FLUENT este complet implicată, nu există nici un criteriu de stabilitate, care trebuie să fie îndeplinit în vederea stabilirii valorii pentru pasul de timp. O modalitate bună de a alege un pas de timp este de a observa numărul de iterații din Fluent, necesar pentru atingerea criteriului de convergență impus pentru fiecare pas de timp. Numărul ideal de iterații pe pas de timp este de 5-10. Dacă Fluent are nevoie de un număr de iterații în mod substanțial mai mare decât cele de mai sus, pas de timp este prea mare. Dacă Fluent are nevoie doar de câteva iterații pe pas de timp, acesta poate fi crescut [11]. Pasul de timp a fost ales, astfel încât numărul Courant (CFL), să nu depășească valoarea 1, pentru toate grilele studiate. În ceea ce privește exactitatea rezultatelor, criteriul de convergență impus a fost 10^{-6} pentru toate ecuațiile.

Rezultate și discuții

Profilele mediate de viteză axială în planul principal, la distanțe diferite (1De, 2De, 3De, 4De) de planul de ieșire sunt prezentate în Figura 6 a-d. Putem vedea o contracție a jetului în planul principal pentru toate grilele studiate. Putem nota, de asemenea, similitudinea rezultatelor obținute prin simulare numerică pentru toate geometriile grilelor la distanța de 1De și 2De (Figura 6a, 6b). Putem vedea însă o dispariție mai mare decât rezultatele măsurate LDV la 3De pentru a grila de 0.4 milioane elemente și la 4De pentru grila de 1.35 milioane elemente.

Profilele mediate de viteză axială în plan secundar, la distanțe egale de planul de ieșire sunt prezentate în Figura 6 e-h. În planul secundar, putem vedea o expansiune a jetului pentru toate cazurile studiate. Comportamentul global al curgerii simulate numeric este similar cu cel real pentru toate grilele testate, dar se observă că numai geometria de 2,2 milioane de elemente tetraedrale se apropie de cazul real în toate zonele studiate.

Este interesant de observat apariția fenomenului de comutare a axei jetului în forma de cruce. Acest fenomen este bine prezis după modelul LES, în cazul 2.2 milioane elemente.

În Figura 7 sunt prezentate profilurile mediate a componentei radiale vitezei la distanțe diferite (1De, 2De) de planul de ieșire. Atât în planul principal cât și în cel secundar, putem vedea că viteza medie radială este rezolvată în mod corespunzător pentru toate cazurile studiate. Având în vedere valorile scăzute ale componentei vitezei radiale, acuratețea măsurătorilor LDV este foarte scăzută și prezintă încredere pentru această componentă doar pentru 1De și 2De, atât în planul principal cât și în cel secundar.

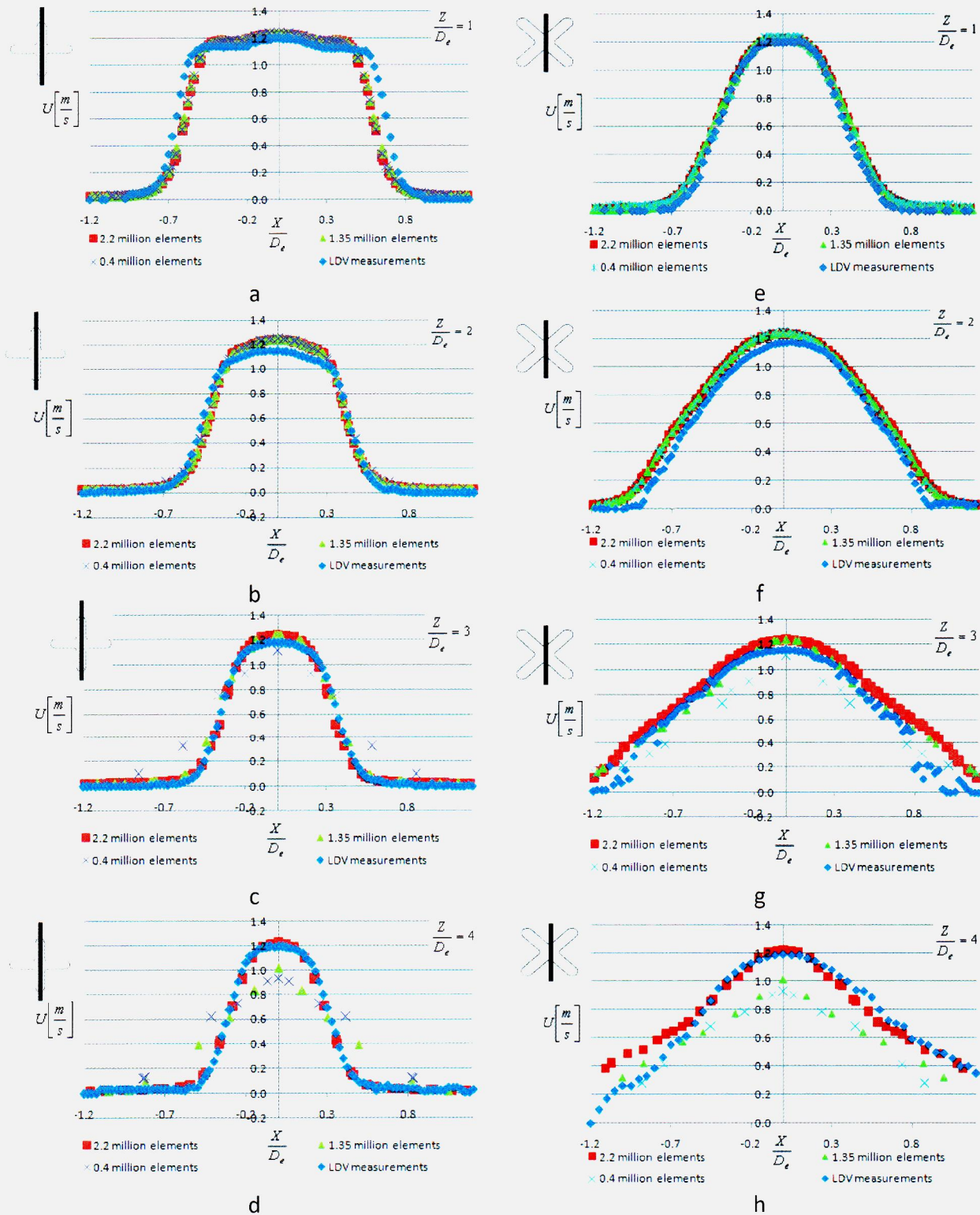


Figura 6. Profil mediat al componentei axiale a vitezei la diferite distanțe de planul de ieșire a-d planul principal; e-h planul secundar

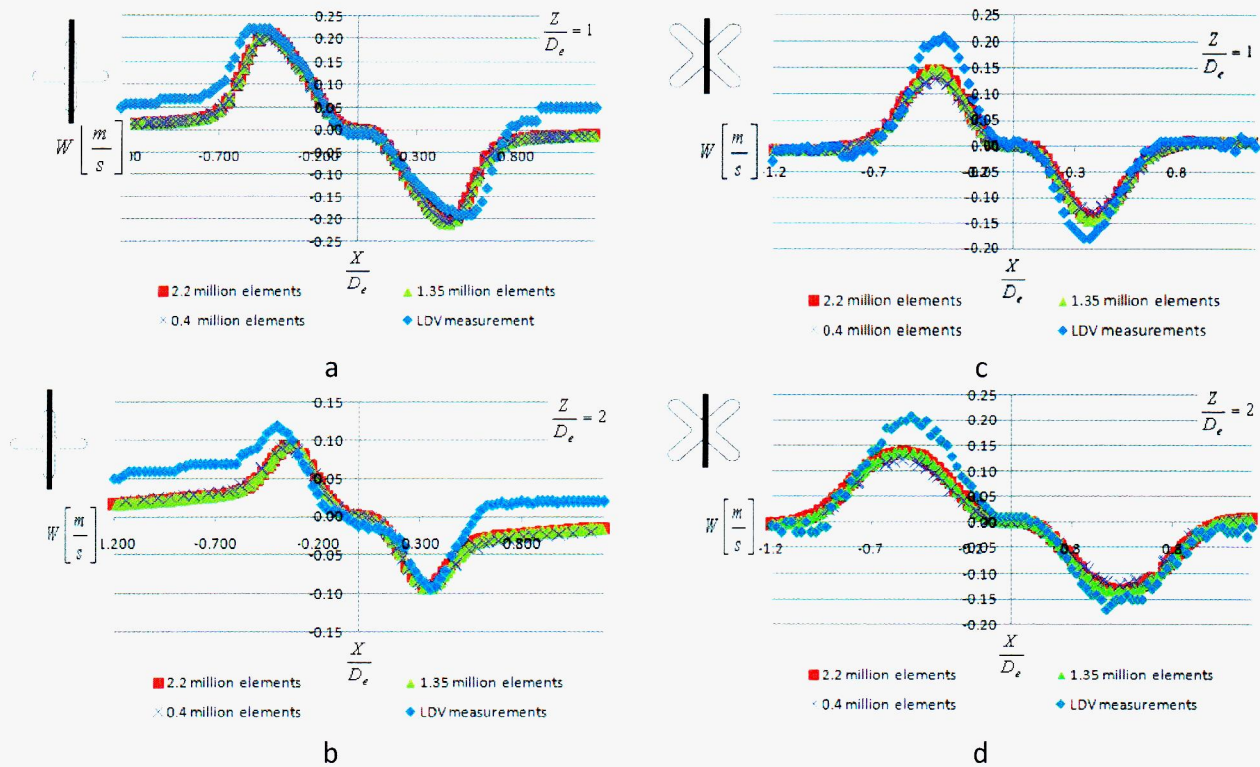


Figura 7. Profil mediat al componenteii radiale a vitezei la diferite distante de planul de iesire a-b planul principal; c-d planul secundar

Concluzii

Folosind o comparație a rezultatelor obținute prin simulare numerică și rezultatele obținute prin măsuratori LDV am constatat că o geometrie cu un număr de elemente de 2,2 milioane este necesar pentru a surprinde caracteristicile complexe ale curgerii precum și fenomenul de schimbare a axei.

În continuare se vor încerca diferite soluții pentru implementarea activității 4 care va începe în luna Martie 2012, și care se referă la măsuratori în curgerea pulsatorie a aerului respirat utilizând tehnica de investigație nonintruzivă PIV (Particle Image Velocimetry).

Referințe

1. Abadie, M., Contribution à l'étude de la pollution particulaire : rôle des parois, rôle de la ventilation, in LEPTAB. 2000, Université de La Rochelle.
2. Fanger, P.O., ed. Thermal Comfort-Analysis and Applications in Environmental Engineering. ed. C.D.T. Press. 1970.
3. Iordache, V., Statistical prediction model of the outdoor/indoor pollutant transfer. Journal of Mathematical Modelling in Civil Engineering,, 2011. 7(1-2).
4. Iordache, V., Etude de l'impact de la pollution atmosphérique sur l'exposition des enfants en milieu scolaire, Thèse de doctorat. 2003, Université de La Rochelle.
5. Blondeau, P., M. Spérandio, and F. Allard., Multicriteria analysis of ventilation in summer period. Building and Environment,, 2002. 37(2): p. 165-176.
6. Blondeau, P., Etude de l'impact de la pollution atmosphérique sur l'exposition des enfants en milieu scolaire, National Research Project PRIMEQUAL - PREDIT 2002. 2002, LEPTIAB - University of La Rochelle.
7. Blondeau, P., Contribution à l'évaluation de la qualité globale des ambiances habitées - Rôle de la ventilation en période estivale, thèse de doctorat, University of La Rochelle, France. 1996.
8. <http://www.makehuman.org/>
9. <http://grabcad.com/library/working-man>
10. 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.
11. FLUENT, User's Guide, Software and Documentation, in Fluent, Inc, V. 6.1.18, 2003.

Director proiect,
Dr.ing. Florin BODE