



MODELĂRI NUMERICE ȘI CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU OPTIMIZAREA ENERGETICĂ A FAȚADELOR COMPLET VITRATE TIP DOUBLE - PEAU, PRIN MODIFICĂRI DIMENSIONALE ȘI DE CONFIGURAȚIE

Sinteza lucrării - 2011

1. Efectuarea experimentelor în vederea validării modelării numerice și verificării funcționalității modelului optim stabilit

1.1. Stabilirea condițiilor și a programului de experimentări

În cadrul proiectului a fost conceput și realizat un stand experimental la Departamentul de Ingineria Instalațiilor - UTI, pentru simularea fațadelor dublu vitrate la scară reală, în condiții de laborator. În figura 1 este prezentată geometria canalului fațadei dublu vitrate care constă în două suprafețe plane paralele și verticale. Suprafața exterioară este formată dintr-o zonă încălzită de înălțime A și două zone adiabate de înălțime $A/2$ aflate la partea inferioară și superioară a zonei încălzite. Cele două suprafețe sunt amplasate la o distanță variabilă b . Zona încălzită poate avea condiții de temperatură sau densitate de flux uniform impuse pe suprafață. Suprafața interioară vitrată este considerată adiabată. La intrarea în canal aerul are temperatura T_i având condiție de viteză impusă V_i atunci când considerăm convecție forțată sau condiție de presiune impusă p_i în cazul convecției naturale. La ieșirea din canal fluidul are temperatura T_e în urma încălzirii acestuia în lungul canalului.

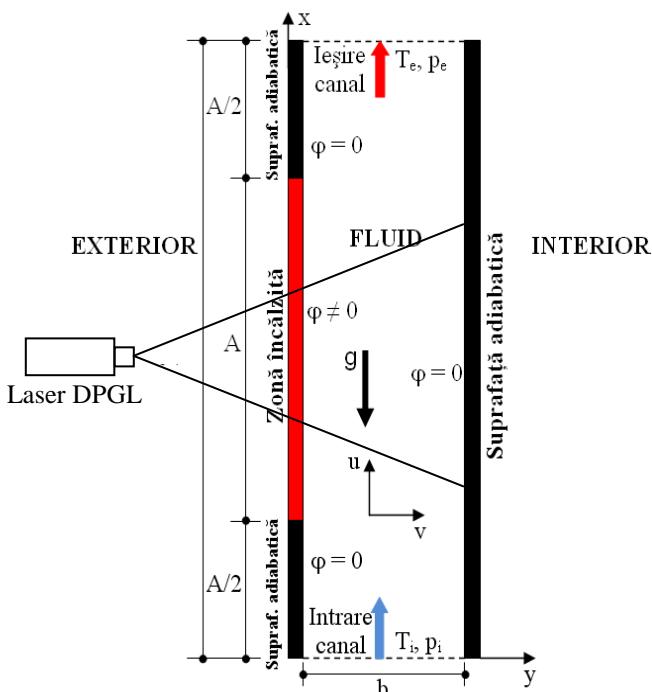


Figura 1. Geometria și condițiile la limită pentru canalul fațadei

La ieșirea din canal fluidul are temperatura T_e în urma încălzirii acestuia în lungul canalului.

Măsurătorile au fost realizate în următoarele ipoteze și condiții la limită (figura 1):

- geometria fațadei: $H=2.1$ m, $L=1.5$ m;
- încălzirea asimetrică a canalului cu un flux termic constant: $\varphi = 408$ W/m², în zona mediană a fațadei, pe o înălțime de $A = 0,6$ m;
- sistem de ventilare exterior cu circulație ascendentă a aerului în canal, între secțiunile de intrare-ieșire.

Experimentările au fost realizate pentru diferite lățimi de canal ($b = 0,4; 0,3; 0,2$ și $0,1$ m) în convecție naturală sau forțată.

Pentru validarea modelului numeric privind structura de curgere a fluidului la interiorul canalului, au fost realizate vizualizări în Laboratorul de Termomecanică de la Universitatea din Reims, Franța, cu ajutorul unui stand la scară redusă, utilizând apa ca fluid de curgere. Programul de experimentări a constat în achiziția de date calitative cu ajutorul vizualizărilor cu laser și particule Rilsan. Canalul este localizat într-un rezervor vertical umplut cu apa ($500 \times 500 \times 1000 \text{ mm}^3$) realizat din plăci de plexiglas de 20mm grosime, (fig. 2). Alegerea apei ca fluid de lucru a condus la neglijarea efectului radiației asupra transferului de căldură. Canalul a fost construit dintr-un material PMMA (Polymethyl methacrylate, denumit și plexiglas) transparent care permite fotografierea. Prin urmare, grosimea plăcilor de PMMA variază de la 10mm până la 20mm. Fluxul termic din partea centrală a peretelui încălzit este furnizat de un sistem de încălzire care distribuie un flux de căldură uniform de-a lungul întregii zone încălzite. Acest sistem termic este realizat dintr-un țesut încălzitor ($20 \times 30 \text{ cm}^2$), acoperit de o placă de aluminiu de 3 mm pentru uniformizare. În plus, partea din spate a peretelui încălzit este foarte bine izolată (prin adăugarea unui strat de 140 mm grosime de polistiren extrudat), pentru a minimiza pierderile de căldură și pentru a preveni apariția fenomenelor de convecție în mediul de lucru.

Structura dinamică a curgerii este evidențiată prin intermediul unor tehnici de vizualizare bazate pe tomografia laser și utilizarea marcărilor discreți (particule mici solide) sau continui (de colorare). Pentru ambele metode, vizualizarea curgerii a fost obținută cu laserului Coherent Innova 70C-2W, cuplat la un sistem sfero-cilindric optic pentru a crea un fascicol laser prin centrul canalului (fig. 2). Curgerea într-un canal vertical încălzit asimetric a fost analizată experimental.

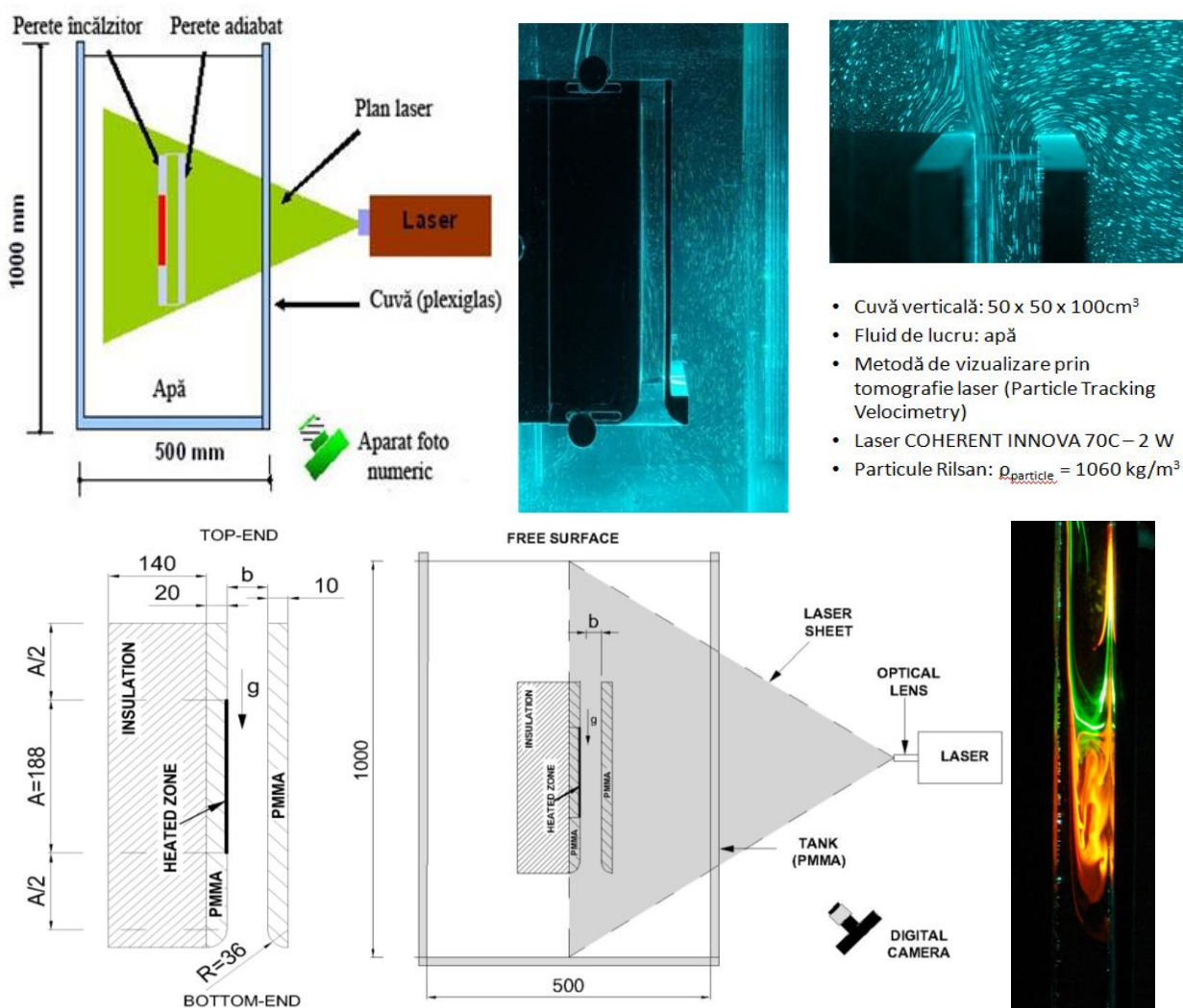


Figura 2. Stand experimental al fațadei dublu vitrate la scară redusă, utilizând apa ca fluid de curgere

1.2. Proiectarea și realizarea modificărilor constructive funcționale în vederea experimentării configurației optime stabilite

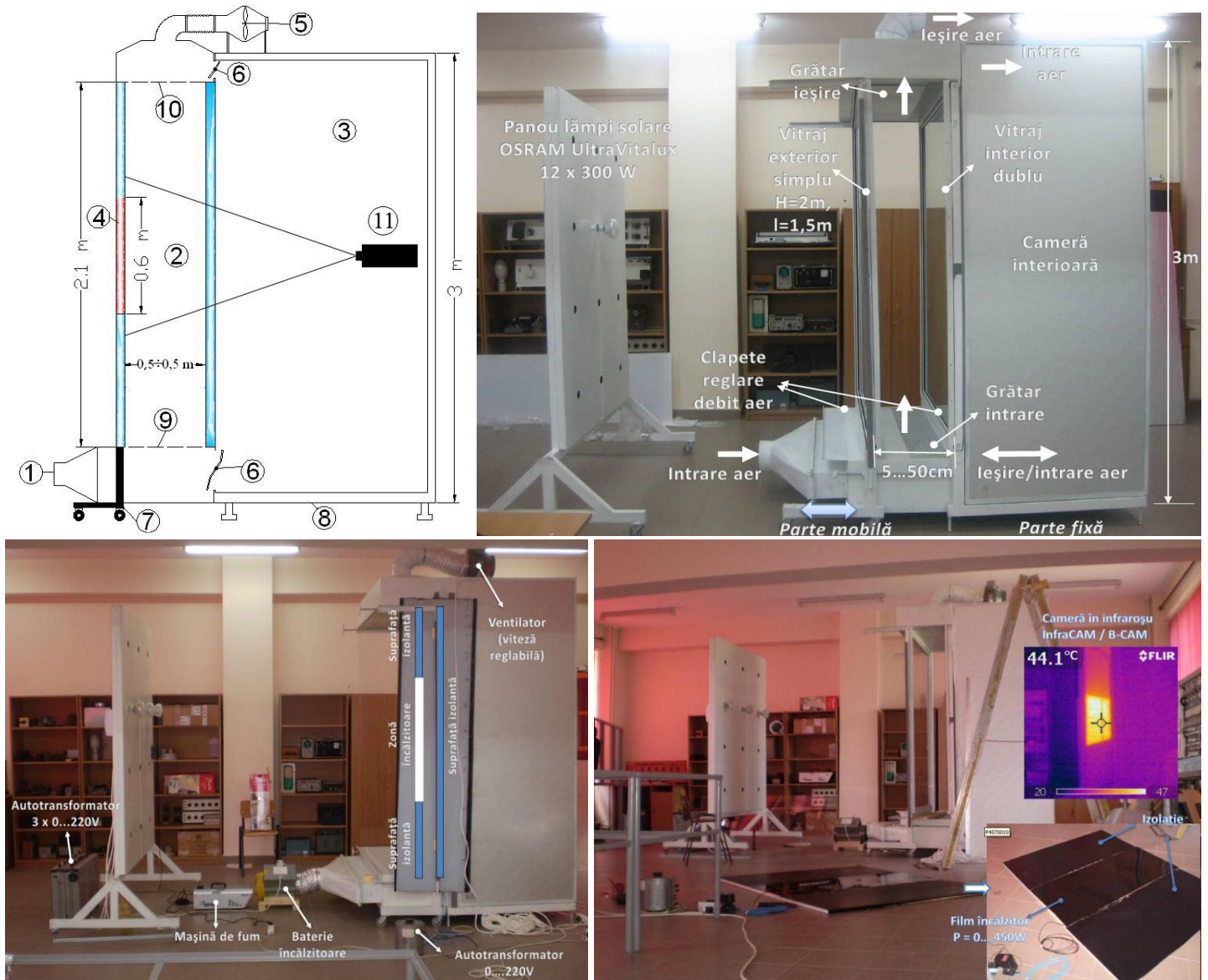


Figura 3. Stand-ul experimental al fațadei ventilate dublu vitrate la scară reală, utilizând aerul ca fluid de lucru (Departamentul de Ingineria Instalațiilor, Univ. Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași), în care:

1. gură de admisie a aerului în canal; 2. canal dublu vitrat cu geometrie variabilă; 3. camera adiacentă fațadei dublu vitrate izolată termic; 4. sursă termică pentru încălzirea aerului interior; 5. ventilator centrifugal cu viteză reglabilă; 6. clapete de reglare și dirijare a curentului de aer, cu posibilități de adaptare funcțională în raport cu metoda de ventilare dorită; 7. cadru mobil pentru reglarea deschiderii canalului între 5 - 50 cm; 8. partea fixă a standului experimental; 9. grilă de intrare a aerului în canalul fațadei dublu vitrate; 10. grilă de ieșire a aerului din canalul fațadei dublu vitrate; 11. Generator de linie laser, 532 nm, DPSS 0-1 W

1.3. Experimentarea modelului funcțional realizat. Elaborare fișe de experimentare

Parametri măsurați și aparatura utilizată sunt:

- a) *Temperatura aerului și a suprafețelor vitrate* a fost măsurată cu termocupluri model PT1000TGL40/0 pentru aer, respectiv model PT1000TG7/0 pentru suprafețele vitrate, poziționate în cele trei secțiuni (figura 4) după cum urmează:

- ✓ în secțiunea laterală 1 – termocuplurile (T11-T12-T13) pentru aer, și termocuplul (T41) pentru suprafața vitrată interioară adiabatică;
- ✓ în secțiunea laterală 2 – termocuplurile (T31-T32-T33) pentru aer, și termocuplul (T43) pentru suprafața vitrată interioară adiabatică;
- ✓ în secțiunea mediană - termocuplurile (T21-T22-T23-T24) pentru aer, și termocuplurile (T42-T44) pentru suprafața vitrată adiabatică.

b) Viteza aerului la ieșirea din canal a fost măsurată cu ajutorul unui aparat de măsură AMI 300 STD, cu soft de prelucrare încorporat, cu sondă cu fir cald (domeniul de măsurare: 0÷3 și 3,1÷30 m/s, precizia ±3% din valoarea citită, rezoluția: 0,01 m/s);

Echipele utilizate în cadrul măsurătorilor experimentale sunt: DataLogger MS5 cu 16 intrări pentru Pt1000, mașină de fum, sistem monitorizare mediu, generator de linie laser DPSS, înregistrator de temperatură și umiditate, termometru IR, cameră infraroșu B-CAM, instalație de ventilare, sistem achiziție imagini.

Poziționarea termocuplelor în standul experimental și reprezentarea geometrică a modelului numeric sunt descrise în figura 4. Înregistrarea temperaturilor s-a efectuat cu ajutorul unei stații de achiziție a datelor (DataLogger MS5), setată să înregistreze temperaturile la intervale egale de timp. Parametrii caracteristici – temperaturi și viteze – au fost înregistrați în convecție liberă la intervalele de timp: $t = 0$ min, $t = 30$ min, $t = 60$ min. Pentru fiecare interval de timp, s-au reprezentat trei imagini succesive, cu un pas de timp de 3 secunde, corespunzătoare evoluției curgerii aerului de la intrarea fumului în canal și până la ieșirea acestuia (figura 5).

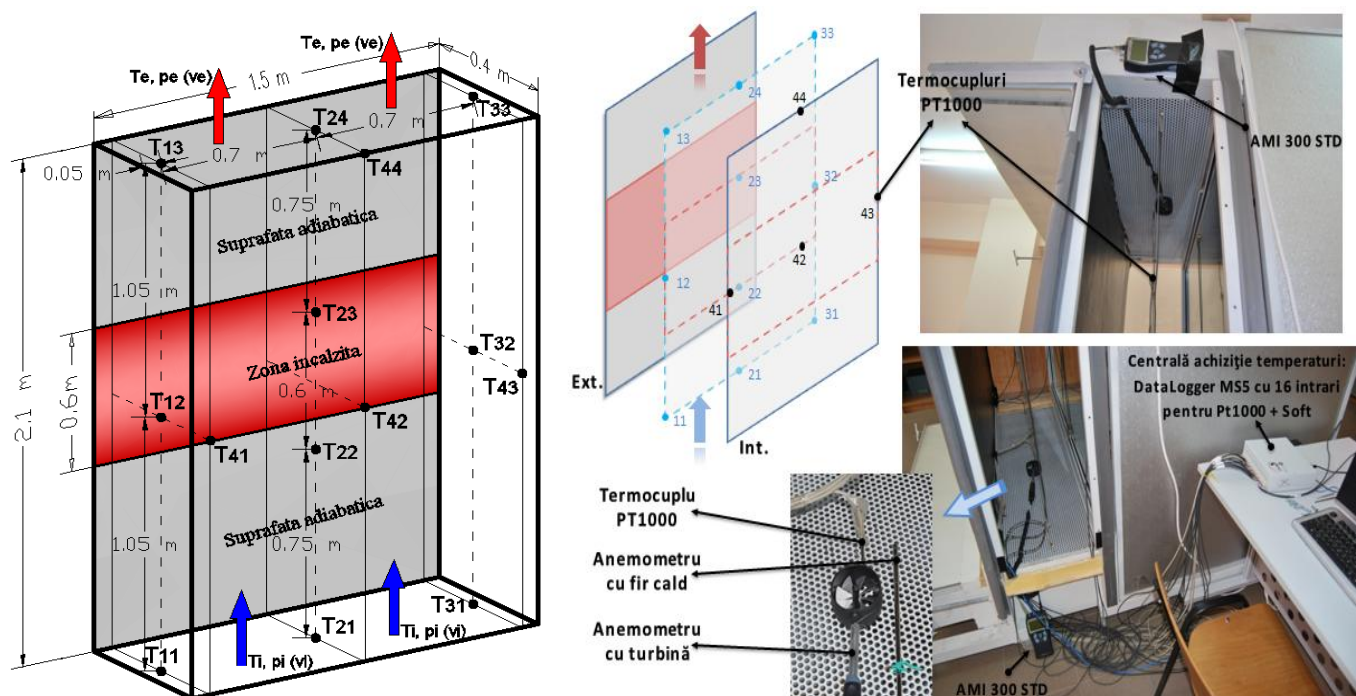


Figura 4. Schema de poziționare a termocuplurilor în canalul standului experimental

1.4. Prelucrarea datelor experimentale și analiza acestora în condițiile finalizării unui model teoretico-experimental reprezentativ

Rezultate experimentale calitative privind dinamica aerului la interiorul canalului fațadei vitrate dublu ventilate (figura 5) au fost obținute utilizând tehnica fumului și a fantei de laser, pentru standul cu aer. Acestea au fost obținute pentru diferite lățimi ale canalului: 40cm, 30cm, 20cm și 10 cm. De asemenea, în figurile 6 și 7 sunt reprezentate valorile temporale ale temperaturilor și vitezelor aerului la ieșirea din canal corespunzătoare fiecărui tip de canal.

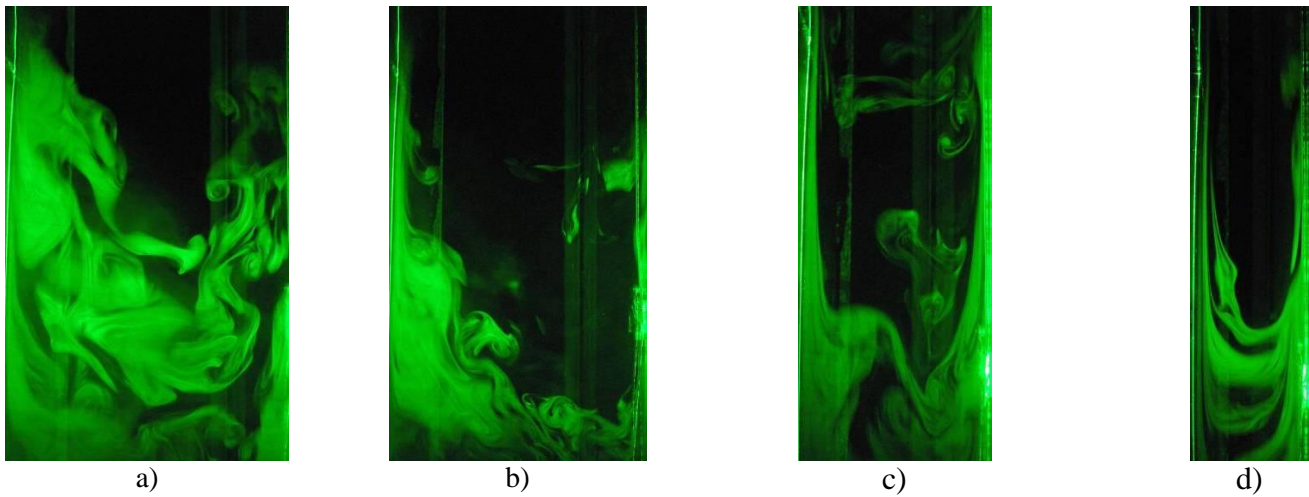


Figura 5. Vizualizarea curgerii aerului la interiorul canalului cu lărgimea de a) 0,4 m; b) 0,3 m; c) 0,2 m; d) 0,1 m.

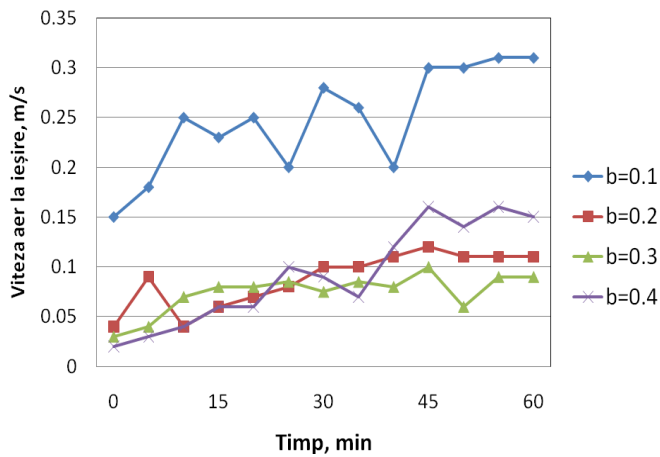


Figura 6. Variația temporală a vitezei aerului la ieșirea din canal pentru diferite lărgimi ale acestuia

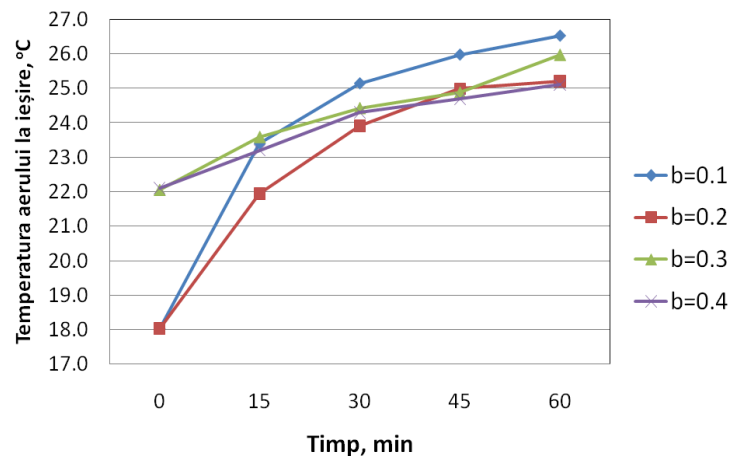


Figura 7. Variația temporală a temp. aerului la ieșirea din canal pentru diferite lărgimi ale acestuia, T_e m/s

Măsurători privind viteza aerului în canal ($d=30\text{cm}$) au fost realizate folosind tehnica LDV (Laser Doppler Velocimetry) în convecție naturală și forțată, rezultatele fiind prezentate în figura 8.

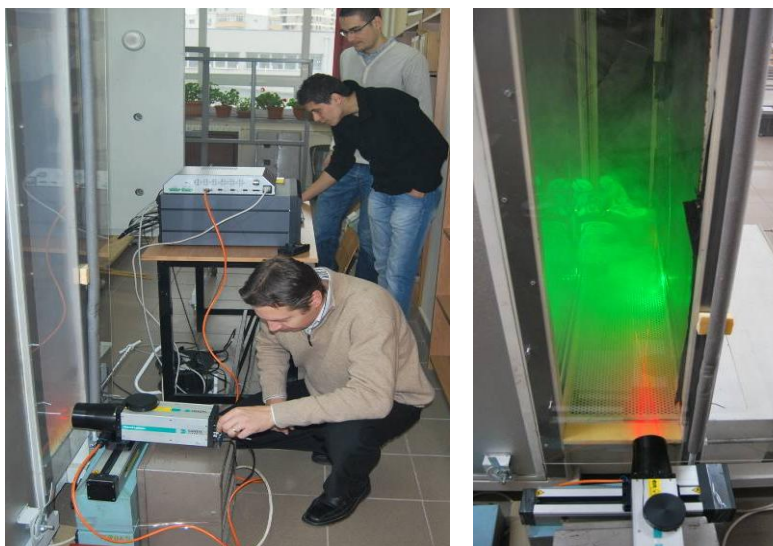
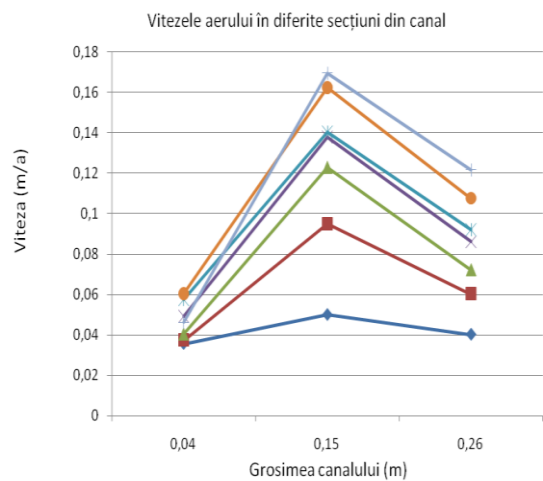


Figura 8. Măsurători de viteze folosind tehnica LDV



2. Finalizarea modelelor numerice privind intensificarea proceselor de transfer de căldură și de curgere a fluidului. Interpretarea rezultatelor obținute.

2.1. Compararea și interrelaționarea dintre datele experimentale, precum și dintre datele simulării numerice

Modelările numerice au fost realizate pentru cele două fluide (apă și aer) corespunzătoare celor două stand-uri experimentale la scară redusă și reală. Rezultatele obținute atât experimental cât și numeric în ambele cazuri, au fost comparate în vederea validării modelului numeric folosit. Discretizarea ecuațiilor caracteristice curgerii și transferului de căldură de la interiorul canalului fațadei, se realizează cu ajutorul programului *Ansys-Fluent*, pentru analiza comportamentului termodinamic a acestei fațade aflate sub influența diferitor factori interni și/sau externi.

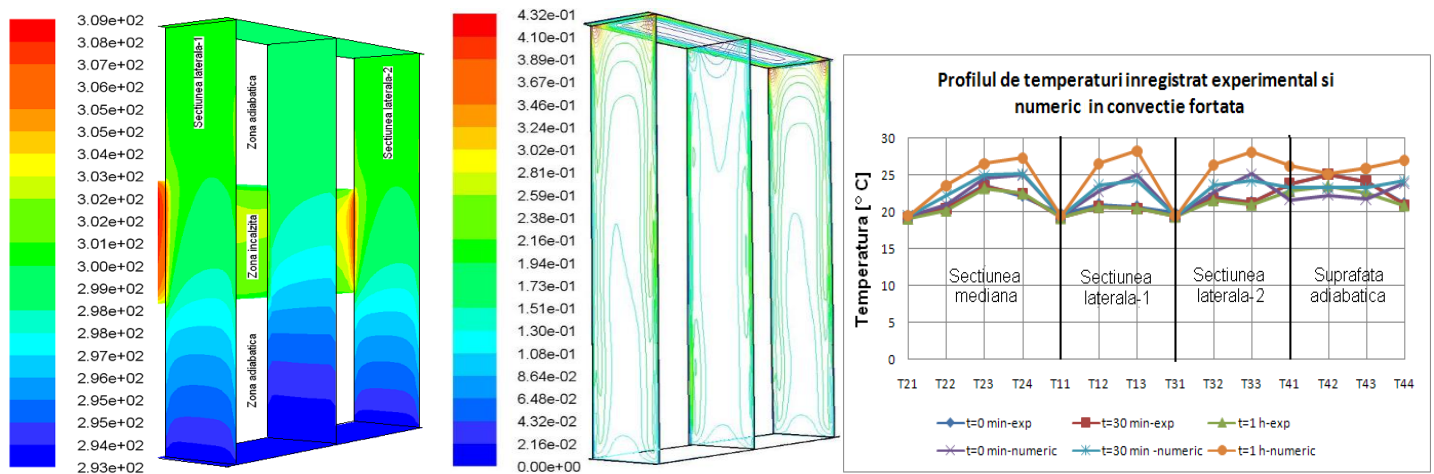


Figura 10. Spectre de temperatură și de viteză în convecție forțată

Rezultate numerice obținute în urma iterațiilor realizate în programul de calcul *Fluent* au pus în evidență profilele de viteză și de temperatură, spectre ale acestora (figura 10), fenomenele de recirculare și de oscilare ale curgerii fluidului, curgeri ce au loc datorită transferului convectiv natural sau forțat care se realizează între agentul de lucru și un perete al canalului, având impuse diferite fluxuri termice în funcție de tipul regimului de curgere. Astfel, se constată că rezultatele experimentale și numerice prezintă o bună concordanță, validând astfel modelul numeric utilizat.

2.2. Finalizarea modelelor numerice ce vor descrie comportarea în exploatare a fațadelor de tip double peau. Stabilirea gradului de eficientizare a acestora

Modelele numerice au fost realizate pentru diferite valori ale numărului adimensional al lui Rayleigh modificat și diferite configurații geometrice caracterizate prin raportul de formă R_f . Zonele de recirculare experimentale au fost comparate cu cele rezultate din simulările numerice, rezultatele arătând bune concordanțe între acestea. Analiza rezultatelor finale au pus în evidență faptul că dinamica fluidului este mai intensă lângă peretele încălzit și prezintă o frânare lângă cel adiabatic unde vitezele sunt negative, ceea ce indică o zonă de recirculare (figura 11). Zona de recirculare este creată de fluidul mai rece care are tendința să coboare, având o densitate mai mare față de fluidul mai cald. În concluzie, se poate stabili că pentru un raport de formă mai mare și respectiv canale cu grosimi b mici, viteza axială crește, ceea ce conduce la debite mai mari în canal pentru același număr de Ra^* . În consecință se obține o mai bună evacuare a căldurii acumulate la interiorul canalului fațadei ventilate în timpul sezonului de vară reducând astfel consumul de energie necesar pentru asigurarea parametrilor de confort termic.

2.3. Analiza, in echipa, a rezultatelor finale ale proiectului si estimarea gradului de îndeplinire a obiectivelor

Obiectivele prevăzute în planul de realizare a proiectului au fost realizate, obținându-se rezultatele planificate. Astfel, în cadrul acestor obiective, membrii echipei de cercetare au conceput un stand original pentru simularea fațadelor dublu vitrate de tip „double-peau”, la scară reală pentru un nivel de clădire, utilizând aerul ca fluid de curgere. De asemenea, au fost realizate încercări experimentale cu ajutorul unui stand la scară redusă, utilizând apa ca fluid de curgere. Programul de experimentări pentru cele două stand-uri a constatat în achiziția de date calitative cu ajutorul vizualizărilor cu laser și fum / particule Rilsan pentru determinarea structurii de curgere a fluidelor la interiorul canalului și de date cantitative privind valorile vitezelor și temperaturilor fluidelor și suprafețelor cu ajutorul termocuplelor, anemometrelor și utilizând tehnici LDV.

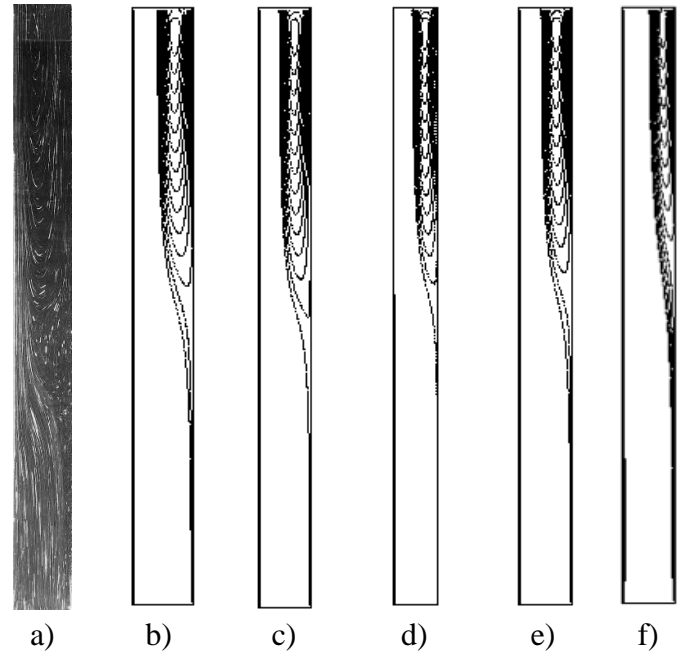


Figura 11. Zonele de recirculare experimentale (a) $R_f = 5.2$, $Ra^* \approx 4 \times 10^6$ și numerice (b) $R_f = 5.2$, $Ra^* \approx 4 \times 10^6$, (c) $R_f = 6$, $Ra^* \approx 4 \times 10^6$, (d) $R_f = 6.9$, $Ra^* \approx 4 \times 10^6$, (e) $R_f = 6$, $Ra^* \approx 2 \times 10^6$, (f) $R_f = 6$, $Ra^* \approx 4 \times 10^5$

În paralel, au fost efectuate simulări numerice pentru cele două fluide de curgere, comparațiile arătând un bun acord între rezultatele numerice și experimentale. Din punct de vedere fundamental, a fost realizat un studiu analitic original pentru determinarea spațiului optim dintre suprafețele unui canal vertical și pentru stabilirea criteriilor de selecție a regimurilor termice convective.

Simulările experimentale și numerice au fost realizate pentru diferite configurații geometrice (raport de formă) și valori ale numărului lui Rayleigh modificat. Rezultatele au arătat că în toate cazurile există o curgere ascendentă lângă peretele încălzit, și o zonă de recirculare (curgere descendentă) lângă peretele neîncălzit, la partea superioară a canalului. Lungimea zonei de recirculare este comparabilă pentru simulările experimentale și numerice, cu o diferență de până 6%, ceea ce validează modelul numeric. Aceste recirculări de la ieșirea din canal scad în intensitate atunci când avem fluxuri mici de căldură (Ra^* mic) și raporturi de formă mai mari (grosimi de canal mici).

Rezultatele obținute au pus în evidență faptul că odată cu creșterea numărului lui Rayleigh modificat Ra^* și implicit a fluxului termic la interiorul canalului sau cu creșterea raportului de formă R_f (grosimi mici de canal) se vor obține viteze mai mari ale fluidului la interiorul canalului și în consecință debite mai mari ce transportă o cantitate mai mare de căldură spre exteriorul canalului ventilat al fațadei dublu vitrate, reducând astfel consumul de energie necesar asigurării parametrilor de confort termic la interiorul clădirii.

3. Diseminarea rezultatelor obținute

Rezultatele obținute în urma activității desfășurate în cadrul proiectului de cercetare, sunt diseminate cu ajutorul paginii web www.idei327.tuiasi.ro. În anul 2011 s-au realizat următoarele publicații cu acknowledgment: **o carte, un brevet, 9 articole științifice** (4 ISI, 3 BDI, 2 conferințe naționale). De asemenea, în anii 2009 și 2010 diseminarea rezultatelor s-a realizat prin publicarea a **9 articole** cu acknowledgment (2 ISI, 5 BDI, 2 conferințe internaționale și naționale), două dintre acestea fiind citate în reviste internaționale.

Director proiect,
Ș.I.dr.ing. Cherecheș Nelu-Cristian