

(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2018 00823**

(22) Data de depozit: **22/10/2018**

(41) Data publicării cererii:
30/06/2020 BOPI nr. **6/2020**

(71) Solicitant:
• **NANO PRO START MC S.R.L.**,
STR.MITROPOLIT ANTIM IVIREANU NR.40,
PITEȘTI, AG, RO

(72) Inventatori:
• **JDERU ALEXANDRU ALIN**,
STR.TINERETULUI, NR.2, ET.8, AP.74,
SAT DUDU, COM.CHIAJNA, IF, RO;

• **DOMINIK ZIEGLER**, *DORFSTRASSE 48*
CH 6454, FLUELEN, SZ;
• **ENACHESCU MARIAN**, *STR.URANUS,*
NR.98, U8, SC.D, AP.79, SECTOR 5,
BUCUREȘTI, B, RO

(74) Mandatar:
STRENC SOLUTIONS FOR INNOVATION
S.R.L., *STR.LUJERULUI NR.6, BL.100,*
SC.B, ET.3, AP.56, SECTOR 6, BUCUREȘTI

(54) **METODĂ ȘI DISPOZITIV PENTRU MONITORIZAREA
CALORIMETRICĂ A DEBITULUI SAU FLUXULUI DE FLUID
ORI MASĂ**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și dispozitiv pentru monitorizarea debitului sau fluxului unui fluid printr-o conductă, prin măsurarea distribuției căldurii în fluid cu ajutorul unei fibre optice, utilizând metoda de detecție distribuită optică a reflexiei în domeniul frecvenței optice bazată pe transformata Fourier în timp real. Dispozitivul, conform invenției, este realizat prin introducerea unei fibre optice FO printr-o conductă plină cu fluidul respectiv, un tub de teflon, și încălzirea locală prin efect Joule, cu ajutorul unei bobine de cupru B, ce învelește tubul de teflon. Metoda utilizată constă în scanarea unei fibre optice folosind lumina de la un laser coerent cu lungime de undă cu frecvență variabilă, și cuplarea într-un interferometru, astfel încât o parte a interferometrului este utilizată ca și cale de referință a lungimii fixe, în timp ce cealaltă cale reprezintă dispozitivul optic realizat conform invenției.

Revendicări: 2
Figuri: 6

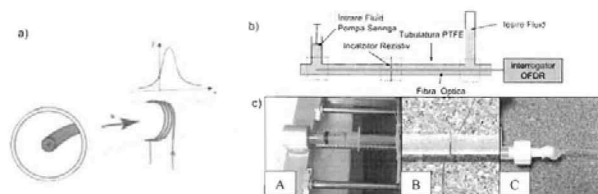


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



1

83

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 2018 00823
Data depozit 22-10-2018

Metoda si dispozitiv pentru monitorizarea calorimetrică a debitului sau fluxului de fluid ori masă

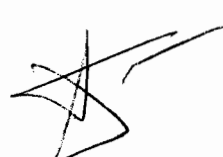
Invenția se referă la o nouă metodă si dispozitivul aferent de monitorizare a debitului sau fluxului unui fluid printr-o conductă prin măsurarea distribuției căldurii/temperaturii în fluid cu ajutorul unei fibre optice, utilizând metoda de detecție distribuita optica a reflexiei in domeniul frecvenței optice bazata pe transformata Fourier in timp real.

Senzorii cu fibră optică sunt bine-cunoscuți si utilizati pentru rezistența lor în condiții extreme de exploatare, inclusiv în medii electromagnetice cu temperaturi ridicate sau medii foarte corozive. Aplicațiile bazate pe senzori de deformare sau de temperatură variază de la monitorizarea defecțiunilor în rețelele de comunicații, monitorizarea sănătății structurilor, detectarea formei, monitorizarea conductelor și a liniilor electrice, la detectarea intruziunilor într-un perimetru.

Sunt cunoscute tipuri de senzori de detecție a debitului ori fluxul cu fibră optică, de regula bazați pe două scheme si metode aferente: interferometrie prin fibra optică [1],[2]și respectiv anemometria optică cu un fir fierbinte [3].

În mod normal, în anemometrie este folosită pierderea de căldură dintr-un fir metalic pentru a afla debitul/fluxul fluidului[4]. În configurația cea mai simplă, o sârmă metalică fină este încălzită electric peste temperatura ambientală, iar răcirea datorată fluidului care curge pe lângă fir este detectată prin rezistența electrică dependentă de temperatură a firului. Anemometria poate detecta doar pierderea de căldură, astfel poate detecta doar debitul/fluxul, nu poate determina viteza de curgere sau direcția. Pentru a afla și acești parametri, trebuie măsurată asimetria fluxului termic, care poate fi detectată prin introducerea a cel puțin doi senzori termici, unul înaintea încălzitorului și unul după acesta. Astfel se va putea detecta asimetria în distribuția căldurii datorată fluxului de fluid, va rezulta direcția de curgere și prin urmare această metodă permite măsurarea vitezei de curgere.

Deoarece distribuția de căldură variază în funcție de conductivitatea termică a fluidului, multe sisteme tradiționale de măsurare a debitului ce utilizează două termometre au nevoie de calibrare a conductivității termice pentru fiecare fluid.



Problema tehnica rezolvata de prezenta inventie consta in aplicarea detectiei distribuite optice a temperaturii in realizarea unei monitorizari ușor de implementat a debitului ori fluxului de fluid, utilizabilcaă pentru măsurători în orice tip de medii fluide și care prin funcționarea independent de conductivitatea termică a fluidului, elimina necesitatea unei operațiuni prealabile de calibrare

Soluția tehnică se bazeaza pe introducerea unei fibră optice, sensibilă la temperatura si montarea în lungul unei conducte sub forma unui tub cu teflon în interiorul acesteia. O bobină de cupru ce înveleste tubul de teflon va crește local temperatura fluidului astfel ca, prin maparea distribuției termice relative față de sursa de căldură prin aplicarea tehnicii de detectia distribuita optica a reflexiei in domeniul frecventei optice bazata pe transformata Fourier in timp real, se pot măsura debitele ori fluxurile.

Inventia prezinta urmatoarele avantaje:

- este ușor de implementat;
- poate fi utilizată pentru măsurători în orice tip de medii fluide;
- este independentă de puterea de încălzire, geometria și conductivitatea termică a tubulaturii;
- funcționează independent de conductivitatea termică a fluidului, eliminand necesitatea unei operații prealabile de calibrare.

Se da in continuare un exemplu de realizare a inventiei in legatura si cu figurile 1 si 2 care reprezinta: Fig.1-Dispozitivul de monitorizare a debitului cu ajutorul unei fibre optice folosită ca linie de senzori de temperatură;

Fig.2 Sectiune transversala si longitudinala a modelului utilizat pentru analiza elementelor finite

Dispozitivul este realizat prin introducerea unei fibre optice FO printr-o conductă plină cu fluid respectiv, un tub de teflon cu diametrul interior de 1.8mm, conform conceptului prezentat in figura nr. 1a).

Se va produce o încălzire locală prin efectul Joule, practic o bobină de cupru ce înveleste tubul de teflon va crește local temperatura fluidului (TIn figura nr. 1 b) este prezentată schematic configurația dispozitivului iar Implementarea efectivă, a soluției este prezentată la c), unde sunt evidențiate puncte cheie. Astfel, pentru cuplarea fibrei în tubulatura de teflon se folosește un conector T prin intermediul căruia fibra poate fi introdusă fără să fie aplicat un stres

Conform dispozitivului, fluidul este pus în mișcare printr-o pompa de fluid A, încălzirea locală este realizată printr-un încălzitor rezistiv B, iar conexiunea dintre fibra și tubulatura de teflon se realizează printr-un punct C.

Conform secțiunii transversale a modelului utilizat pentru analiza elementelor finite din Fig. 2 a), s-a utilizat un tub de teflon cu diametrul exterior de 3,22 mm., canalul de fluid are diametrul de 1,8 mm., iar fibra optică are diametrul de 0,125 mm., iar conform Fig. 2 b) în secțiune longitudinală se prezintă diversele straturi ale modelului, inclusiv elementele de încălzire și în plus un exemplu de distribuție a temperaturii.

Monitorizarea conform invenției utilizează tehnica de detecție distribuită optică a reflexiei în domeniul frecvenței optice bazată pe transformata Fourier în timp real, în particular reflectometria optică bazată pe domenii Fourier ce monitorizează distribuția temperaturii de-a lungul întregului tub, pe o distanță de aproximativ un metru.

Folosind această monitorizare a temperaturii ($T(x,t)$) se poate determina cantitativ debitul ori fluxul de fluid prin tub.

Tehnica reflexiei în domeniul frecvenței optice bazată pe transformata Fourier în timp real utilizată presupune scanarea unei rețele de fibră folosind lumina de la un laser coerent cu lungime de undă cu frecvență variabilă, cuplat într-un interferometru. O parte a interferometrului este utilizată ca și cale de referință a lungimii fixe, în timp ce cealaltă cale reprezintă rețeaua optică supusă experimentului. Lumina reflectată din fibra optică este combinată cu lumina de referință, iar rezultanta creează un semnal de interferență. Acest semnal de interferență conține informații referitoare la locația exactă a evenimentelor și informații legate de magnitudinea acestora. Pentru a extrage această informație, se efectuează o serie de transformări Fourier pe semnalul de interferență. Rezultatul acestor transformări Fourier indică locația exactă și magnitudinea evenimentelor de-a lungul lungimii rețelei de fibre supusă testelor. Odată ce coeficientul de reflexie complex este obținut în domeniul de frecvență, reflectivitatea ca funcție de lungime este obținută prin transformarea Fourier[5].

Urmare a analizei constantei termice a sistemului, în figura nr. 3, este prezentată evoluția temporală a temperaturii de vârf, precum și experimentarea simulărilor pentru primele 235 de secunde cu un debit zero.

În simulare au fost folosite date reale de conductivitate termică iar geometria a fost modelată cât mai aproape de realitate însă s-a constatat faptul că distribuția de căldură simulată este mai îngustă decât măsurătorile experimentelor implementate. Amplitudinea de vârf, precum și lățimea vârfului, depind de mulți factori, de exemplu, cât de multe medieri laterale sunt folosite în procesul de achiziție a datelor. De asemenea, dimensiunea exactă a încălzitorului, conductanța termică a tubului (și toate celelalte materiale implicate pot afecta acest lucru). S-a constatat faptul că este dificil să se realizeze o potrivire exactă între simulare și experiment.

Mai multe detalii se pot observa în figura 4 în care în partea din stanga sunt reprezentate date simulate (sus) și experimentale (jos), iar în partea din dreapta sunt datele experimentale suprapuse peste cele simulate pentru a se observa diferența în lățime.

Constanta de timp relativ lungă asociată cu capacitatea mare de încălzire a sistemului poate fi redusă prin micșorarea volumului canalului fluidic la o scala de ordinul micrometric. Alternativ, atunci când sunt necesare rate mai mari de citire, se pot aplica și abordări prin încălzire cu impulsuri. În acest caz, căldura este injectată pentru o perioadă scurtă de timp cunoscută iar distribuția temperaturii este observată în regimul tranzitoriu, adică distribuția temperaturii este măsurată la un interval de timp cunoscut ($<\tau$) după oprirea încălzirii.

Au fost realizate mai multe teste la diverse debite/fluxuri după cum se poate observa în figura nr.5, datele experimentale și cele obținute din simulări fiind foarte apropiate. Analiza vârfului de maxim, respectiv modul de extragere a debitelor cantitative de la distribuția completă a temperaturii ($T(x)$) se face după cum urmează.

Pentru a analiza trecerea de vârf, se efectuează integrarea zonei sub curba temperaturii pentru lungimea întreagă (L) și în aval (R) față de poziția încălzitorului ($x = 0$).

$$L = \int_{x=-\infty}^0 T(x), R = \int_{x=0}^{\infty} T(x)$$

Pentru a cuantifica schimbarea distribuției de căldură, s-au folosit două unități metrice diferite și anume diferența relativă $(R-L) / (R + L)$ și raportul (R / L) . Ambele

cresc odată cu debitul. Figura 6 prezintă aceste valori măsurate cu trei ordine de mărime în ratele de curgere pentru datele simulate (figura 6a) și experimentale (figura 6b). În timp ce pentru rate scăzute de debit ($<10\mu\text{L}/\text{min}$) diferența (indicată în roșu) este o măsură mai favorabilă, raportul (prezentat în albastru) arată un răspuns mai bun pentru debitele mari ($> 10\mu\text{L}/\text{min}$).

Conduita liniară pe întreaga ordine de magnitudine poate fi găsită pentru $R / L-1$ (stelele albastre din Figura 6).

Este important de menționat faptul că, luând în considerare distribuția completă a căldurii, această metodă devine independentă de puterea de încălzire, adică de curentul de încălzire, geometria și conductivitatea termică a tubulaturii. Normalizarea cu lățimea vârfului poate chiar face ca această metodă să fie independentă de conductivitatea termică a fluidului în sine, adică nu este necesară calibrarea atunci când se efectuează măsurători de debite pentru lichide cu vâscozitate diferită.

Din figura 6 a) rezulta ca datele simulate arată că debitele pot fi măsurate în mod consecvent în mai multe ordine de mărimi utilizând diferențialul (pătrat roșu) sau raportul distribuției căldurii (cercuri albastre). Triunghiurile verzi marchează suprafața totală de sub curba temperaturii. Iar din figura 6 b) rezulta datele experimentale corepondente.

Rezultatele experimentale au atins o sensibilitate de $17\text{nL}/\text{s}$, un interval dinamic de până la $1\mu\text{L}/\text{minut}$ și un timp de răspuns la nivelul secundelor, cu o rezoluție spațială de $200\mu\text{m}$. Este de mentiona ca o analiza completa a limitei de detectie sau a zgomotului este foarte dificila deoarece depinde de modul in care este masurat debitul/fluxul. O metoda ce poate genera un zgomot mult mai scazut poate fi, fitarea intregii curbe a graficului obtinut, sau prin reducerea diametrului conductei putem masura debite/fluxuri mult mai mici.

Unul dintre avantajele cheie față de senzorii fluidici bazați pe microsisteme mai complexe este costul relativ scăzut al fibrei optice și faptul că mai multe puncte de detectare pot fi citite cu un singur senzor. Aplicații se pot găsi în industria alimentară, medicină, automatizări industriale, industria farmaceutică, Dincolo de monitorizarea debitului/fluxului, aplicațiile pot include detectarea scurgerilor, în acest scop mai multe surse de căldură pot fi combinate pe o fibră, iar debitele pot fi măsurate cu un efort suplimentar minim. Se pot monitoriza reacțiile exo-sau endoterme, la controlul calității fluxurilor de proces în industria chimică și la studiul ratelor metabolice în sistemele biologice.

Deși metoda de monitorizare a fost implementată pentru măsurători pe distanță scurtă, aceasta poate fi fără îndoială aplicată și în cazul detecției pe distanțe mari. Prin adăugarea elementelor de încălzire, conductele de gaz sau lichide cu senzori de temperatură sau de tensiune pot fi modernizate pentru monitorizarea debitului.


Referinte bibliografice

- [1]. G. D. Byrne, S. W. James, and R. P. Tatam, "A Bragg grating based fibre optic reference beam laser Doppler anemometer," *Meas. Sci. Technol.* 12, 909–914 (2001).
- [2]. O. Frazão, P. Caldas, F. M. Araújo, L. A. Ferreira, and J. L. Santos, "Optical flowmeter using a modal interferometer based on a single nonadiabatic fiber taper," *Opt. Lett.* 32(14), 1974–1976 (2007).
- [3]. H. H. Bruun, *Hot-Wire Anemometry: Principles and Signal Analysis* (Oxford University, 1995)
- [4]. Michael T. V. Wylie, Anthony W. Brown, and Bruce G. Colpitts, "Distributed hot-wire anemometry based on Brillouin optical time-domain analysis", *Optical Society of America*, 15669-15678 (2012).
- [5]. Kreger, S., Gifford, D., Froggatt, M., Soller, B., and Wolfe, M., "*High resolution distributed strain or temperature measurements in single- and multi-mode fiber using swept-wavelength interferometry*," OFS 18 Technical Digest, Cancun, Mexico, Oct 2006, paper ThE42., and doi: 10.1117/12.734931.



Revendicari

1. Dispozitiv pentru monitorizarea calorimetrică a debitului sau fluxului de fluid ori masă realizat pe baza unui interferometru cu fibra optica avand o parte a interferometrului utilizata ca si cale de referință a lungimii fixe, iar dispozitivul care constituie cealaltă cale este caracterizat prin aceea ca pentru maparea distribuției termice relative față de o sursa de caldură si măsurarea debitelor ori fluxurilor are in compunere fibra optică FO sensibilă la temperatura, montată cu ajutorul punctului de contact C în lungul unei conducte din teflon, în interiorul acesteia, incalzita prin efect Joule cu ajutorul bobinei de cupru B . Cu ajutorul acestui sistem, prin maparea distribuției termice relative față de sursa de caldură se pot măsura debitele/fluxurile.
2. Metoda pentru monitorizarea calorimetrică a debitului sau fluxului de fluid ori masă, realizata cu ajutorul dispozitivului de la revendicarea 1, si implementata pe baza tehnicii de detectie distribuita optic a reflexiei in domeniul frecventei optice bazata pe transformata Fourier in timp real, caracterizata prin aceea ca intr-un interferometru cu fibra optica se combina calea de referință a lungimii fixe, cu calea cu lungimea de undă cu frecvență variabilă, obtinuta urmare a încălzirii locale , produse de bobina de cupru B ce învelește tubul de teflon in care este inserata fibra optica FO , astfel incat prin folosirea tehnicii de reflectometrie optica bazata pe domenii Fourier se monitorizează distribuția temperaturii ($T(x,t)$) de-a lungul întregului tub, rezultanta creind un semnal de interferență ce conține informații referitoare la debitul sau fluxul monitorizate.



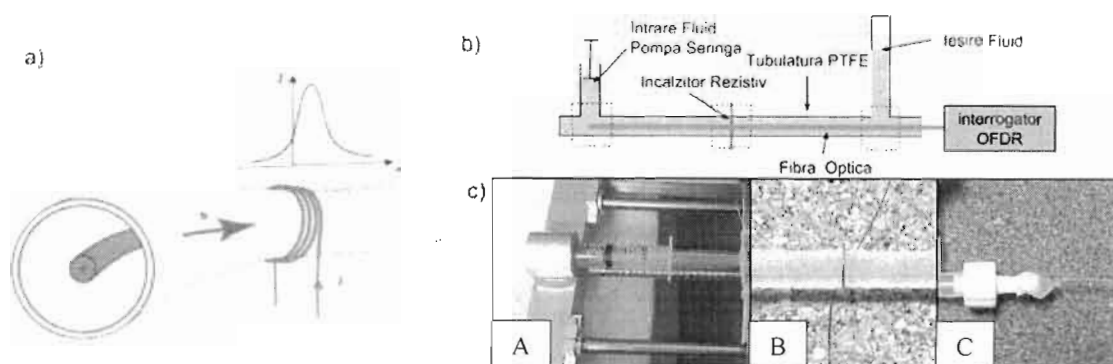


Figura 1, Dispozitivul de monitorizare a debitului cu ajutorul unei fibre optice folosită ca linie de senzori de temperatură.

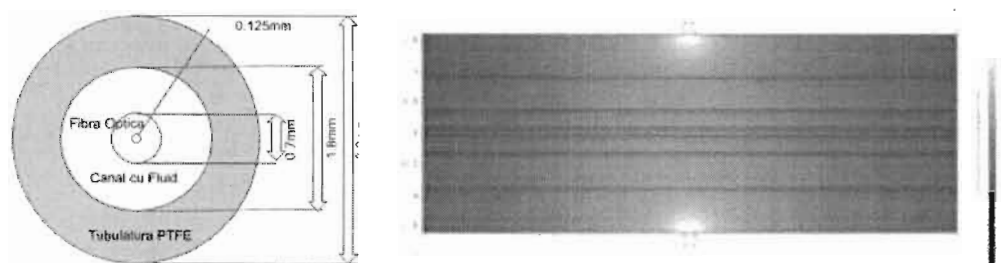


Figura 2. Secțiune transversală și longitudinală a modelului utilizat pentru analiza elementelor finite.

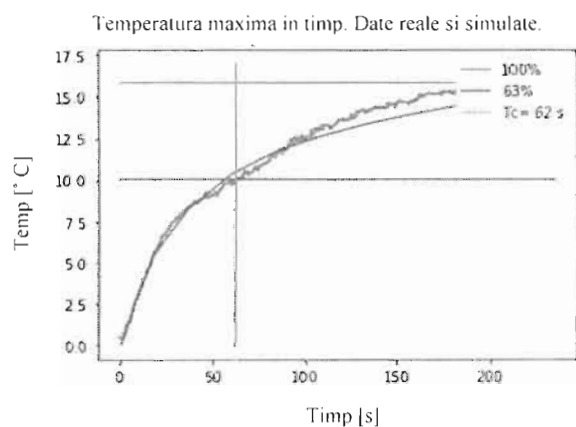


Figura 3. Constanta termică a sistemului. Date experimentale suprapuse pe datele simulate la debit zero.

25

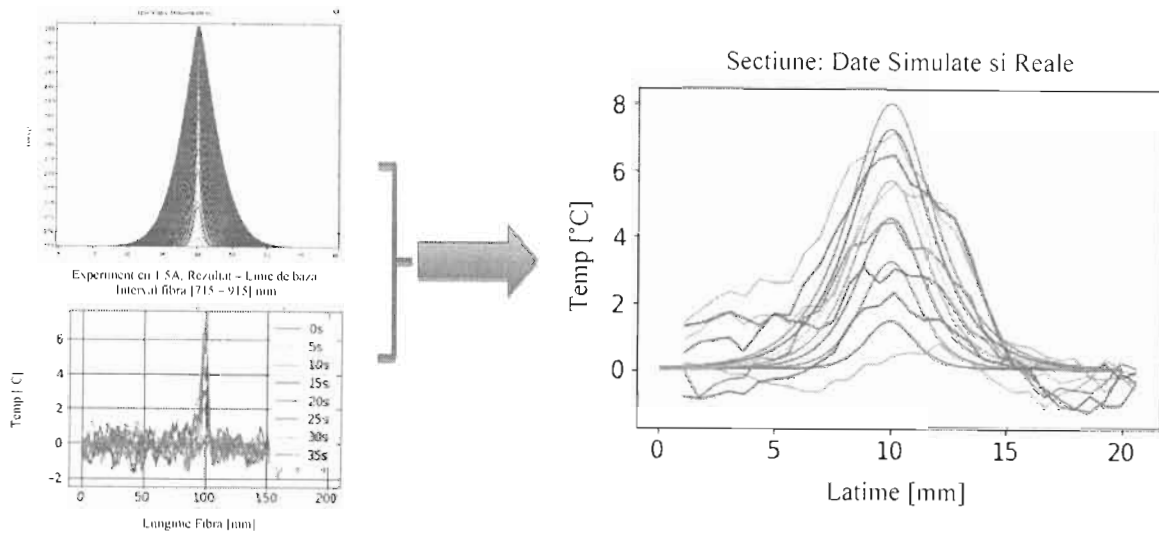


Figura 4. Date experimentate si simulate

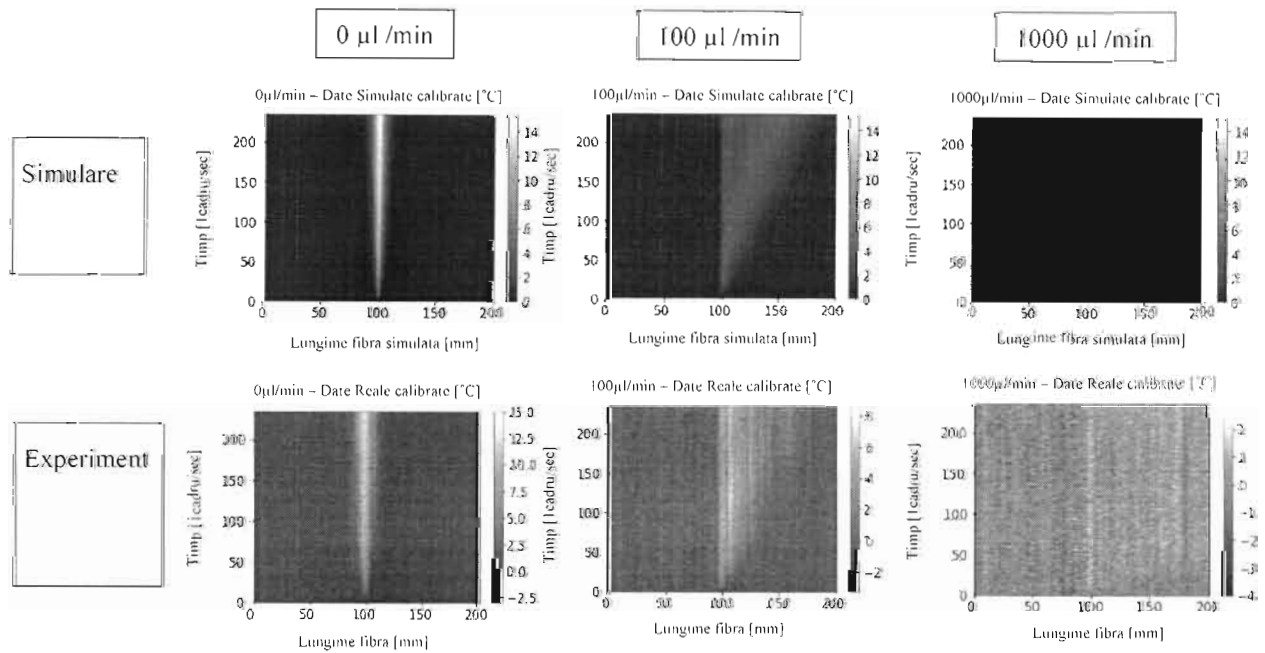


Figura 5. Datele obtinute cu ajutorul simulării pentru diferite debite, si datele experimentale pentru aceleasi debite,

Handwritten signature or mark at the bottom right of the page.

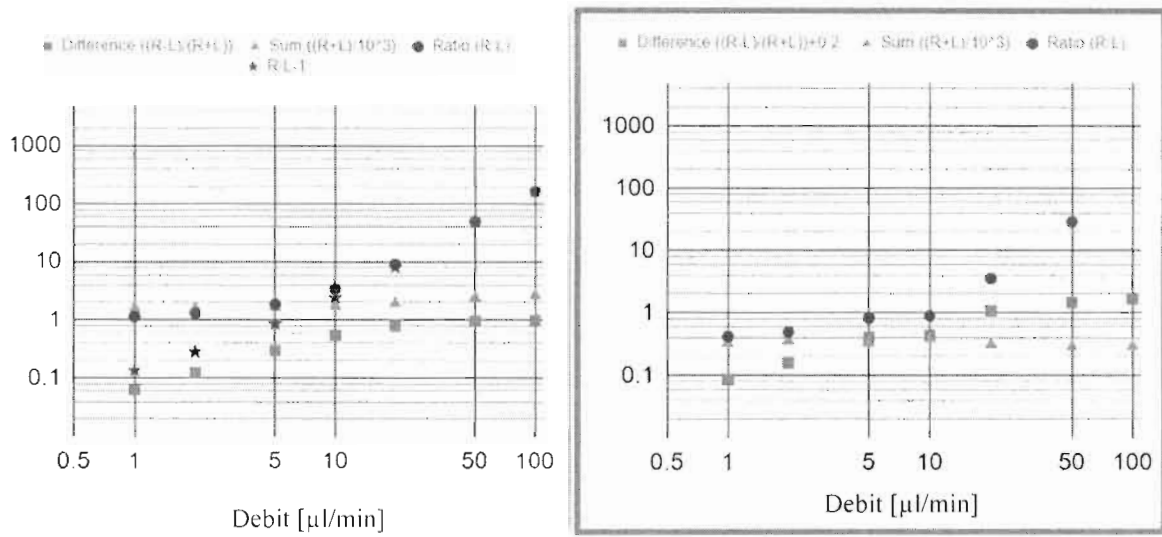


Figura 6. Rezultate simulari si date experimentale