

ANALIZA CURGERII FLUIDELOR CARE CONȚIN PARTICULE SOLIDE DISPERSATE OMOGEN ÎN CANALE CU PEREȚI MOBILI CU VITEZE UNGHIULARE CONSTANTE, FOLOSIND METODA ELEMENTULUI FINIT

Mihai TĂLU, Marian BICA

UNIVERSITATEA din Craiova, E-mail: mihai_talu@yooho.com

Abstract. In this paper is presented a study with the element finit method, of the flow with particles in uniform dispersion, into the canals with moving walls. The study shows the spatial fields of: pressure, velocity and temperature of flow and the trajectory of particles.

1. INTRODUCERE

Există numeroase exemple în care proiectanții motoarelor: electrice, hidraulice, pneumatice sau aviație etc., prevăd soluții constructive ale unor subansamblu componente la care apar curgeri prin canale cu secțiuni transversale profilate, având pereți mobili. Aceste canale sunt tranzitate de fluide: lichide sau gaze fiind folosite la diferite sisteme de: ungere, răcire, combustie etc.

Studiul curgerii în aceste canale se complică atunci când fluidele care tranzitează aceste canale, aflate în regimuri de curgere: turbulente, laminare sau de tranziție, se deplasează de-a lungul unor pereți mobili, cu mișcări de rototranslație. Pătrunderea fluidului în secțiunea de intrare a canalului pe o direcție diferită față de normală, complică și mai mult studiul curgerii.

Mai este de amintit și faptul că în cazul regimurilor de funcționare tranzitorii ale subansamblelor care conțin aceste canale, întâlnite în fazele de accelerare sau decelerare, au loc modificări ale mișcării pereților mobili ai canalului după legi impuse sau cu sensuri diferite, peste care se poate suprapune debite variabile de fluid la intrare în secțiunea canalului. Nu este de neglijat nici faptul că fluidul prezintă o anumită temperatură atunci când sosește în secțiunea de intrare a canalului, iar pereții fixi sau mobili, pot avea în cazul cel mai general câmpuri de temperatură cu legi diferite de evoluție, datorate unor sisteme proprii de răcire alese de proiectant.

Ca un fapt real al funcționării se va analiza situația în care fluidul este impurificat cu particule solide dispersate uniform în masa de fluid, având cunoscute: dimensiunea, concentrația și debitul. Acest lucru este justificat în mod real de imposibilitatea sistemelor de filtrare folosite în scopul eliminării impurităților, de a le elimina.

Se vor vizualiza traекторiile descrise de către aceste particule solide și simultan pe acestea traectorii variația: vitezei, presiunii și temperaturii.

Această analiză este recomandată cu scopul identificării secțiunilor critice ale canalului în care are loc depunerile de particule în timp, cât și calcularea ratei depunerilor, proces care influențează în mod direct câmpul de distribuție al: vitezei, presiunii și câmpul termic, înrăutățind eliminarea căldurii acumulate în timpul procesului de curgere al fluidului.

Se va face o analiză comparativă a curgerii și distribuției câmpului de temperatură pentru cazul în care pereții prezintă suprafețe cu rugozitate sau nu. Simultan se ia în considerare și efectul gravitațional exercitat asupra curgerii cât și asupra procesului de depunere a particulelor solide transportate de fluid.

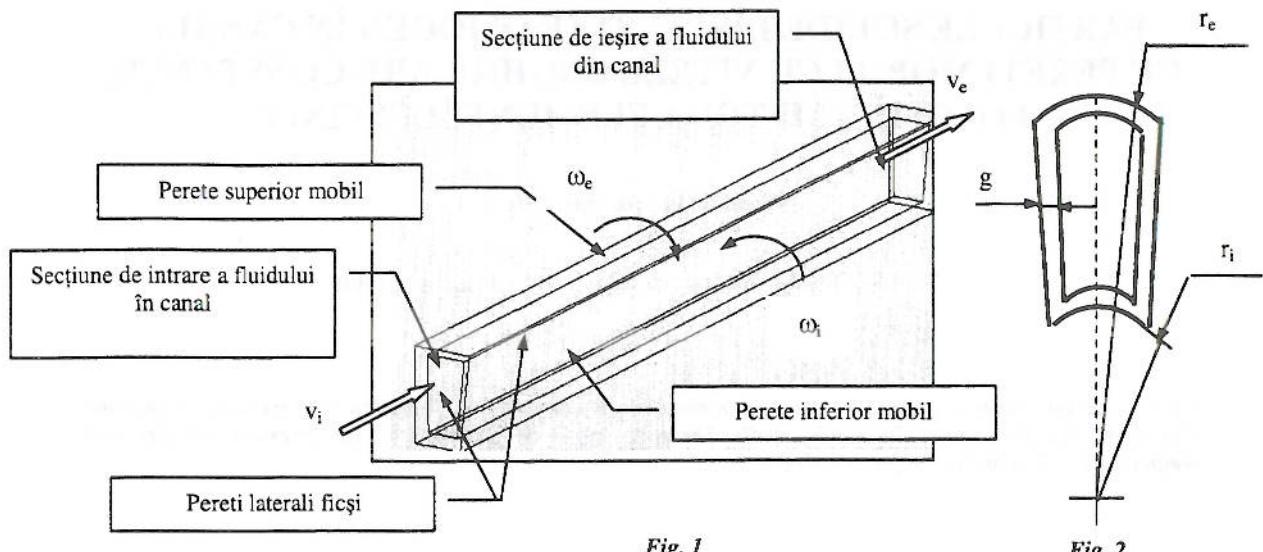
2. MODELAREA 3D A CANALULUI ÎN CARE ARE LOC DE CURGEREA [6]

În prezentă lucrare se face un studiu al curgerii pe un caz particular de canal obținut prin secționarea unui domeniu inelar cuprins între razele: $r_i = 100 \text{ mm}$ și $r_e = 120 \text{ mm}$ cu o deschidere unghiulară de $\alpha = 6^\circ$ pornită din centrul inelului.

Lungimea acestui canal este de $L = 100 \text{ mm}$, având pereți realizati din aluminiu cu grosimea de $g = 2 \text{ mm}$, iar aria transversală a secțiunii de intrare a fluidului în canal are o valoare cunoscută, egală cu $A_i = 30,08 \text{ mm}^2$, fig. 2.

Suprafețele arcuite: interioare și exterioare, cu razele: r_i și r_e , sunt mobile, având mișcări cunoscute cu vitezele unghiulare constante și sensuri opuse de rotere: ω_i și ω_e .

În continuare se prezintă în fig. 1 modelarea spațială a canalului, iar în fig. 2 secțiunea transversală a acestuia.



3. ECUAȚII FOLOSITE ÎN MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESULUI DE CURGERE

În canalul prin care se face curgerea, fluidul poate fi într-o mișcare laminară sau turbulentă, stabilită concret prin calcularea criteriului adimensional *numărul Reynolds*.

În cazul fluidului dacă curgerea este în mișcare laminară atunci aceasta este descrisă de ecuația Navier-Stokes [4]:

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + (\bar{v} \nabla) \bar{v} = \bar{f} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \Delta \bar{v} + \frac{\mu}{3\rho} \nabla (\nabla \bar{v}) \quad (1)$$

sau pentru cazul mișcării turbulente, de ecuația Reynolds [4]:

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \nabla(\bar{v} \cdot \bar{v}) = \bar{f} - \frac{1}{\rho} \nabla p + v \Delta \bar{v} + \nabla(v' \cdot \bar{v}') \quad (2)$$

Soluționarea ecuațiilor de mișcare se face prin metode de calcul aproximative, la care se adaugă ecuația de continuitate a masei împreună cu condiții la limită și inițiale legate concret de procesul de curgere [4]. Deoarece se face și analiza câmpului de temperaturi, la sistemul ecuațiilor de mișcare se atașează și ecuațiile termodynamice ale procesului de curgere [1, 2].

4. CAZUL DE STUDIU ANALIZAT FOLOSIND ANALIZA CU ELEMENT FINIT

Se va studia curgerea longitudinală a aerului în interiorul canalului în ipotezele următoare de funcționare:

- în secțiunea de intrare: $v_i = 2 \text{ m/s}$, $T = 379 \text{ K}$;
- în secțiunea de ieșire: $T = 293 \text{ K}$;
- la peretele superior mobil viteza unghiulară: $\omega_e = 59,45 \text{ rad/s}$;
- la peretele inferior mobil viteza unghiulară: $\omega_i = -59,45 \text{ rad/s}$;
- rugozitate pe suprafață interioară a peretilor canalului poate fi de: $R_z = 0 \text{ } \mu\text{m}$ (în primul caz) și de $R_z = 250 \text{ } \mu\text{m}$ (în cazul secund);
- mediul ambiantul exterior al canalului este caracterizat de către următorii parametri: $T = 293 \text{ K}$ și $\lambda = 10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Caracteristicile materialului din care s-au confectionat peretii canalului [7]:

- material: aluminiu;
- $\rho = 2688,9 \text{ Kg/m}^3$;
- căldura specifică:

T [K]	250	298,1	400
$c_p [\text{J/Kg K}]$	850	902	951

- conductivitatea termică:

T [K]	200	300	400
$\lambda [\text{W/m K}]$	237	238,5	240

Caracteristicile fluidului care curge prin canal [7]:

- fluid: aer;
- $c_p / cv = 1,399$;
- căldura specifică:

T [K]	270	280	290	300	350	400
$c_p [\text{J/Kg K}]$	1006,087	1006,506	1006,506	1006,929	1009,855	1014,870

- conductivitatea termică:

T [K]	233,15	273,15	373,15
$\lambda [\text{W/m K}]$	0,02016	0,02430	0,02431

- vâscozitatea dinamică:

T [K]	200	300	400
$\mu [\text{Pa m}]$	$1,33 \cdot 10^{-5}$	$1,85 \cdot 10^{-5}$	$2,30 \cdot 10^{-5}$

Se va studia simultan curgerea fluidului și distribuția câmpului de temperaturi considerând în masa acestuia o dispersie omogenă de particule solide.

Particulele solide au următoarele caracteristici [7]:

- materialul particulei: oțel;
- diametrul particulei: $d = 0,001 \text{ m}$;
- temperatura în secțiunea de intrare a particulei: $T = 373 \text{ K}$;
- debitul de injecție a particulelor în masa de fluid este de $q = 0,005 \text{ kg/s}$.

Caracteristicile oțelului [5]:

- $\rho = 8100 \text{ kg/m}^3$;
- căldura specifică:

T [K]	200	300	400
$c_p [\text{J/Kg K}]$	500	510	520

– conductivitatea termică:

T [K]	150	300	600
λ [W/m K]	11	15,1	19,8

Prin centrul de masă a secțiunii canalului, pe direcție longitudinală, s-a trazat o traекторie de curgere a elementelor de fluid pe care urmează să calculăm o serie de mărimi care caracterizează curgerea în cazurile analizate.

Traectoria de studiu adoptată este marcată cu linie punctată în fig. 3.

Pe această traectorie se va determina: presiunea, viteza de curgere și temperatura fluidului, urmând a fi reprezentate pe același grafic, pentru cazurile de curgere în care rugozitatea interioară a pereților canalului este

de: $R_z = 0 \mu\text{m}$ (perete ideal) sau $R_z = 250 \mu\text{m}$ (perete real).

5. REZULTATELE SIMULĂRII CU ELEMENT FINIT [4]

Studiul de analiză cu element finit se face cu ajutorul softwearu-lui CosmosM 2.8.

Curbele evoluției: presiunii, vitezei și temperaturii de-a lungul traectoriei de studiu sunt prezentate comparativ în: fig. 4, 5 și 6.

Curbele evoluției presiunii în funcție de rugozitatea pereților canalului de-a lungul traectoriei de studiu sunt prezentate comparativ în: fig. 4 și fig. 5 sunt prezentate curbele evoluției vitezei, iar în fig. 6 cele ale temperaturii.

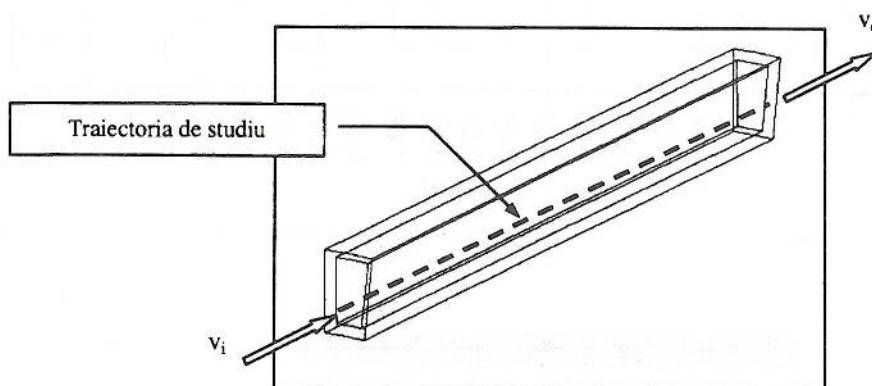


Fig. 3

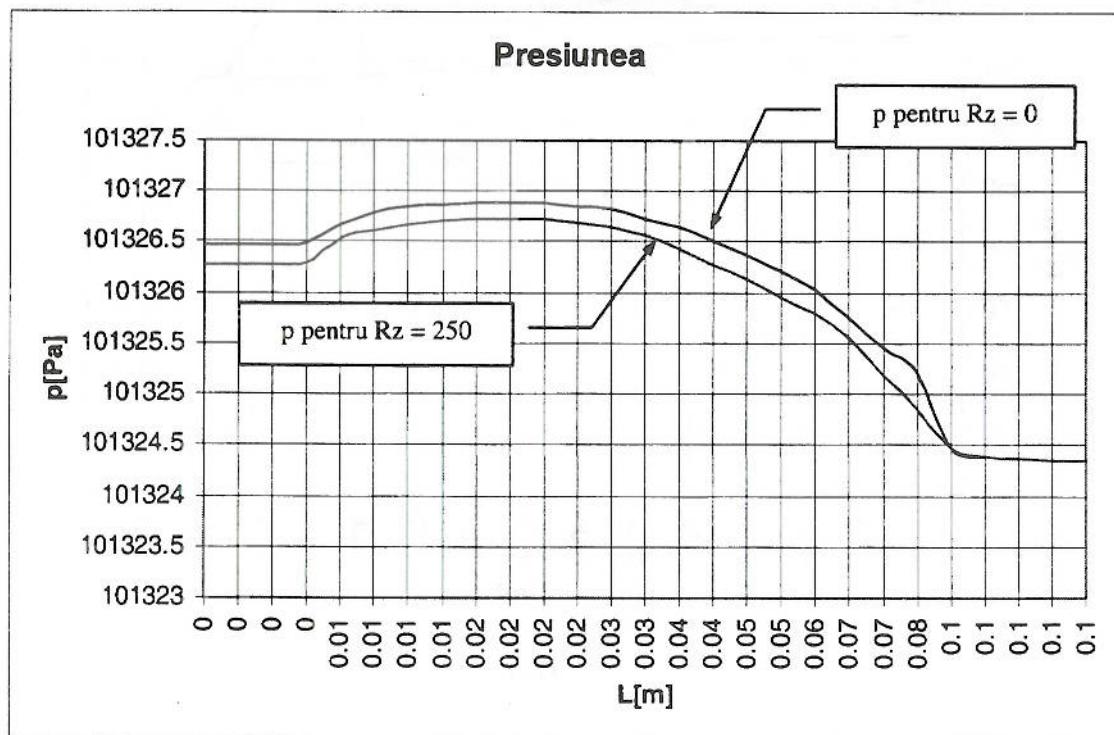


Fig. 4

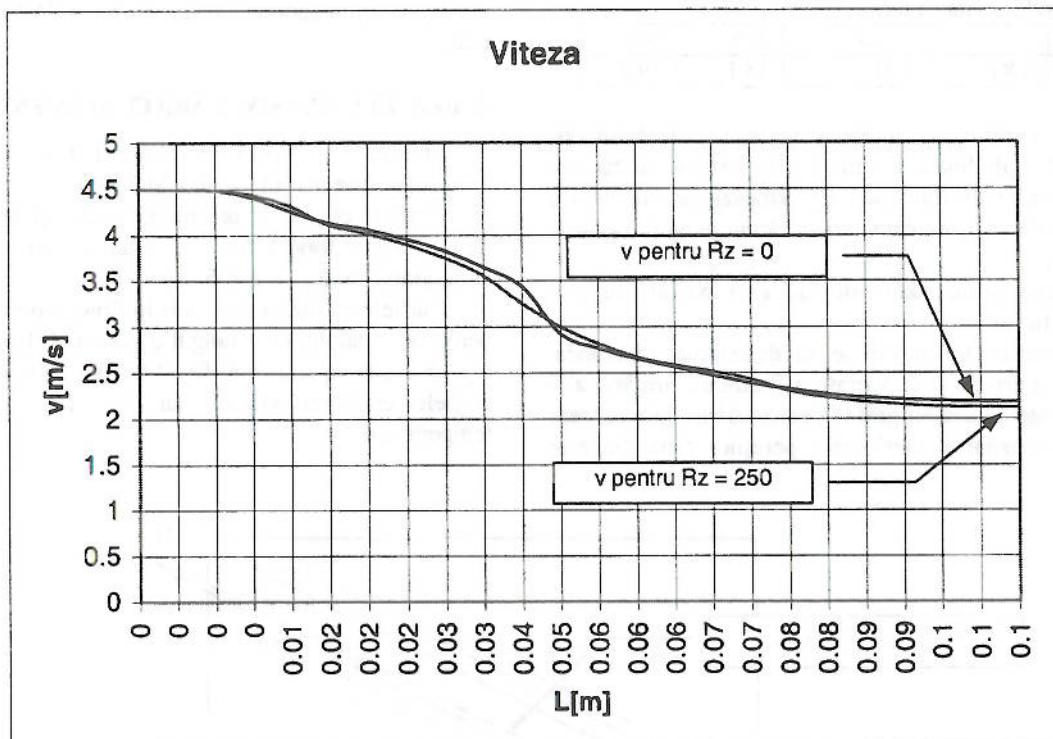


Fig. 5

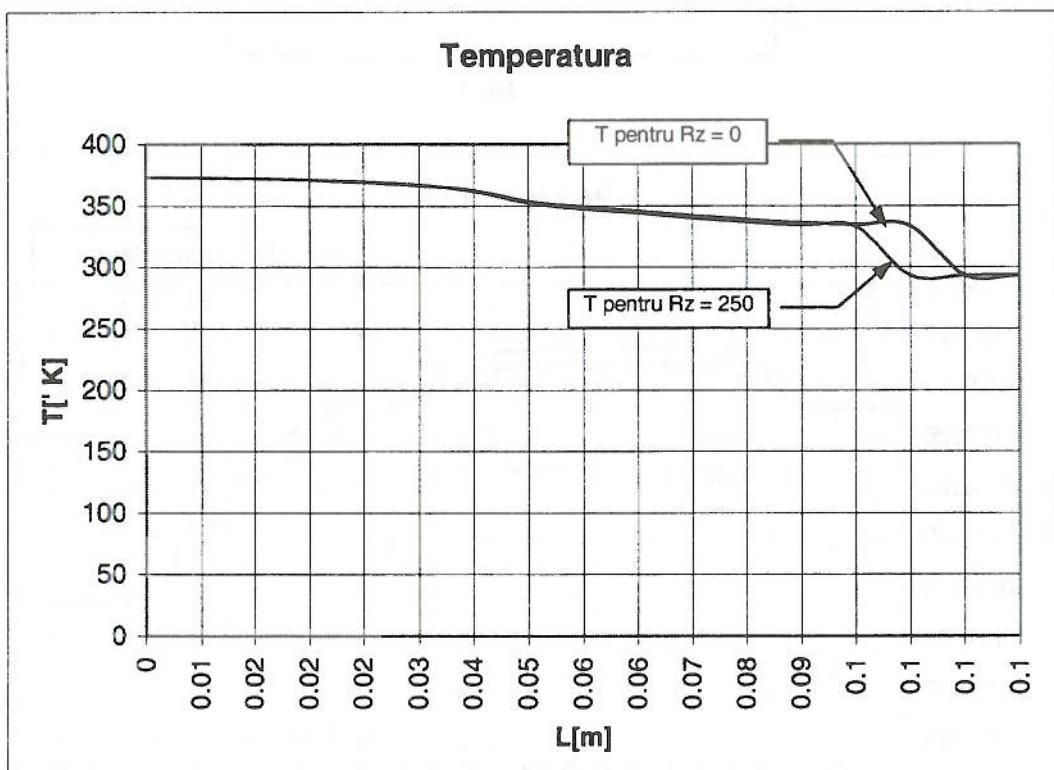


Fig. 6

Distribuția câmpurilor: presiunii, vitezei și temperaturii (p , v și T) într-un plan de secțiune care conține axa de simetrie a secțiunii canalului și traiectoria longitudinală de studiu, comparativ pentru cazurile de curgere în care rugozitatea interioară a pereților canalului este de: $R_z = 0 \mu\text{m}$ și $R_z = 250 \mu\text{m}$, sunt prezentate în: fig. 7–12.

dinală de studiu, comparativ pentru cazurile de curgere în care rugozitatea interioară a pereților canalului este de: $R_z = 0 \mu\text{m}$ și $R_z = 250 \mu\text{m}$, sunt prezentate în: fig. 7–12.

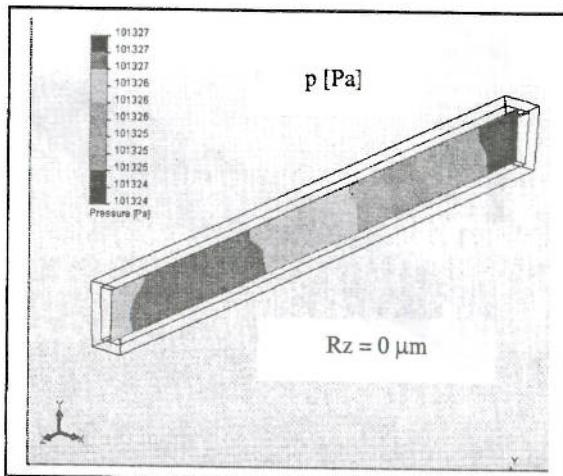


Fig. 7

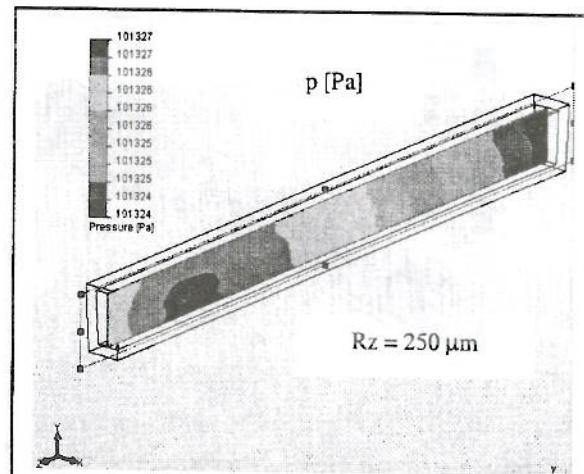


Fig. 8

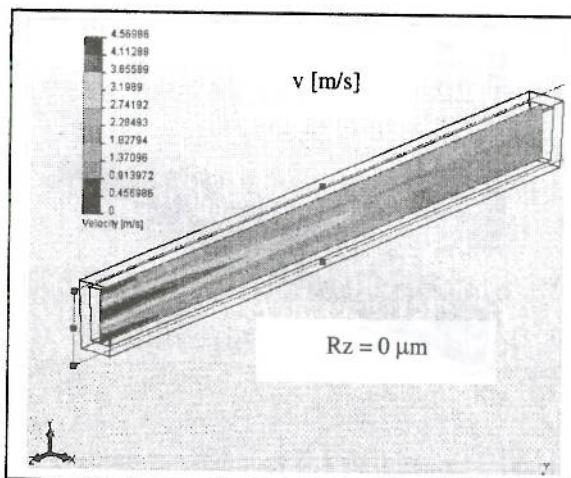


Fig. 9

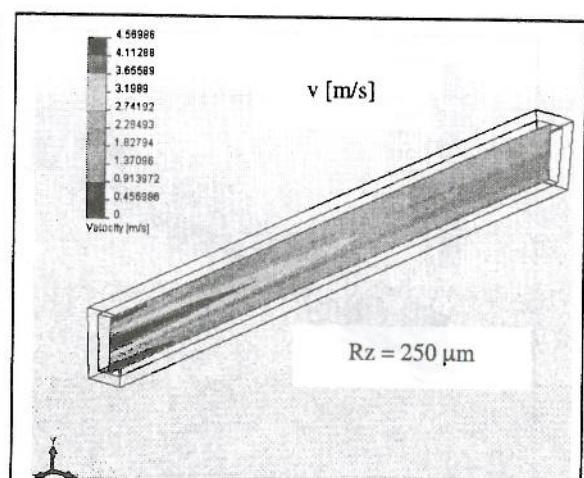


Fig. 10

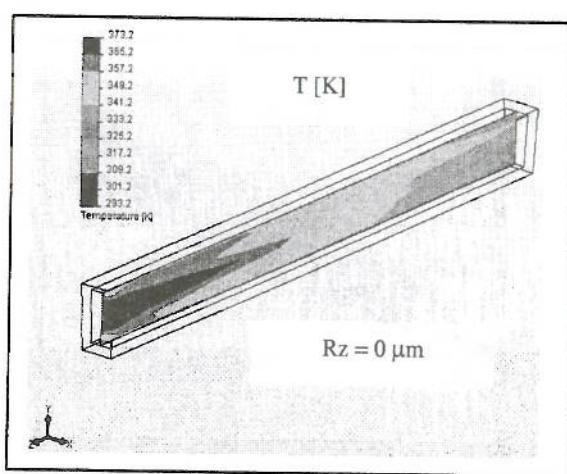


Fig. 11

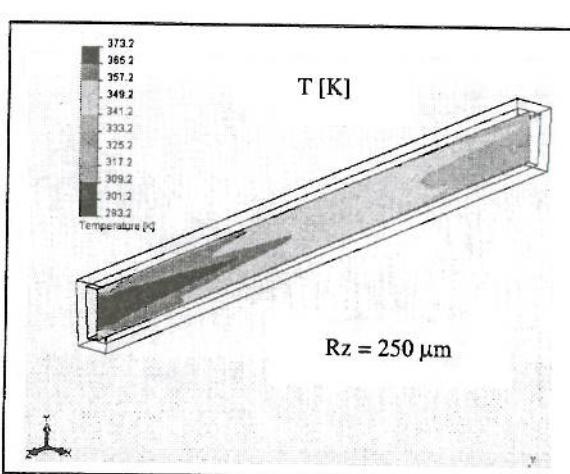


Fig. 12

Distribuția 3D a câmpurilor: presiunii, vitezei și temperaturii (p , v și T) pe suprafețele interioare ale canalului, comparativ pentru cazurile de curgere în

care rugozitatea interioară a pereților canalului este egală cu: $R_z = 0 \mu\text{m}$ și $R_z = 250 \mu\text{m}$, este prezentată în: fig. 13–18.

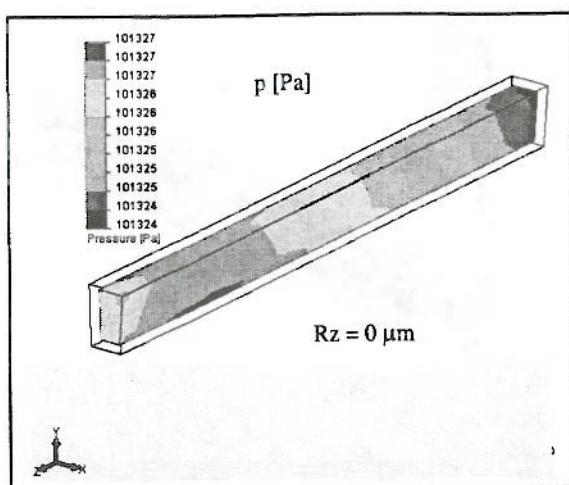


Fig. 13

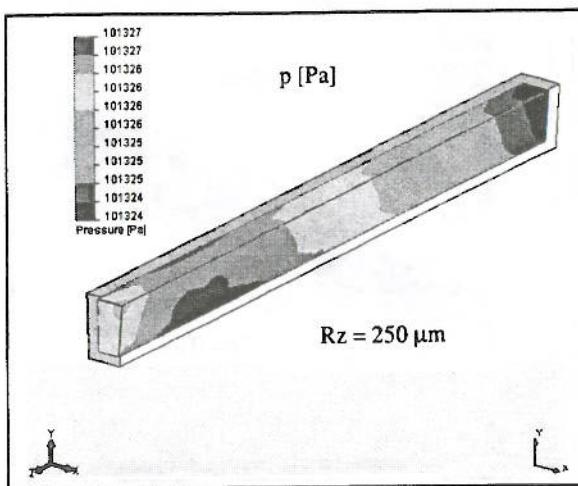


Fig. 14

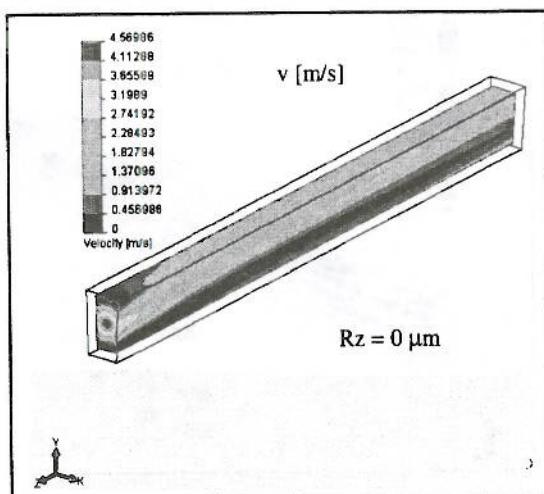


Fig. 15

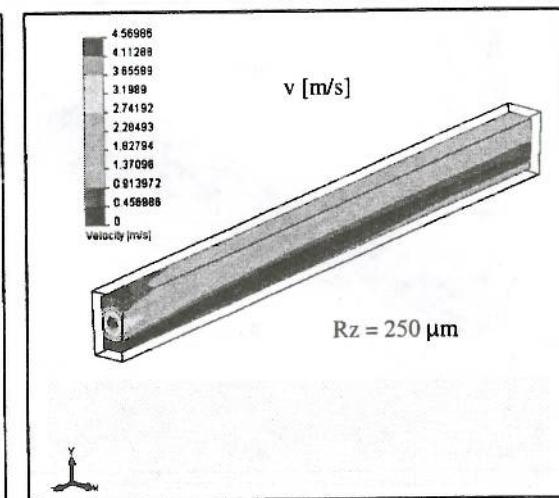


Fig. 16

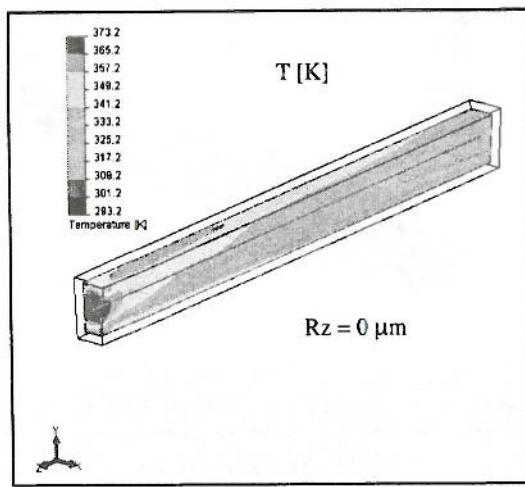


Fig. 17

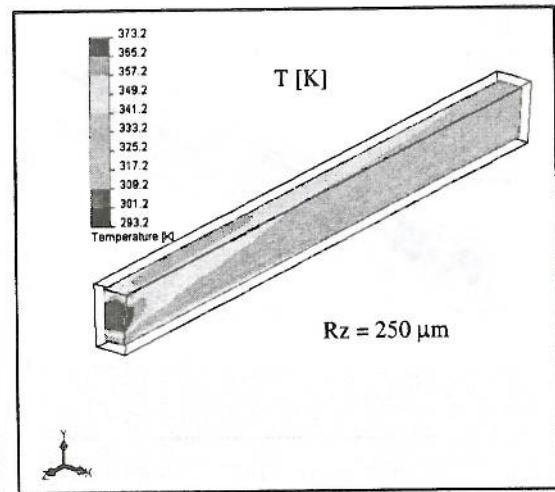


Fig. 18

Traекторiile de curgere ale elementelor de fluid cu indicare cîmpurilor: presiunii, vitezei și temperaturii (p , v și T), comparativ pentru cazurile de curgere în

care rugozitatea interioară a pereților canalului este de: $R_z = 0 \mu\text{m}$ și $R_z = 250 \mu\text{m}$, sunt prezentate în: fig. 19–24.

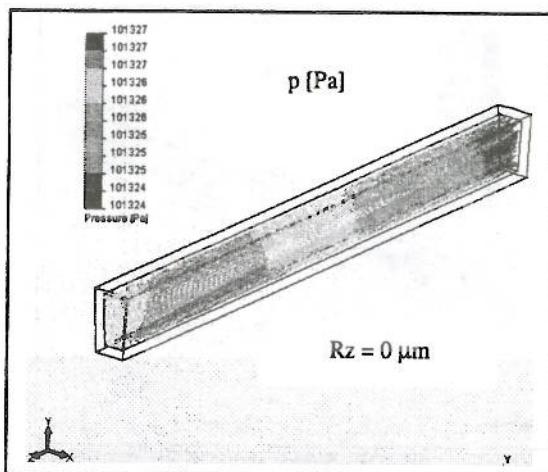


Fig. 19

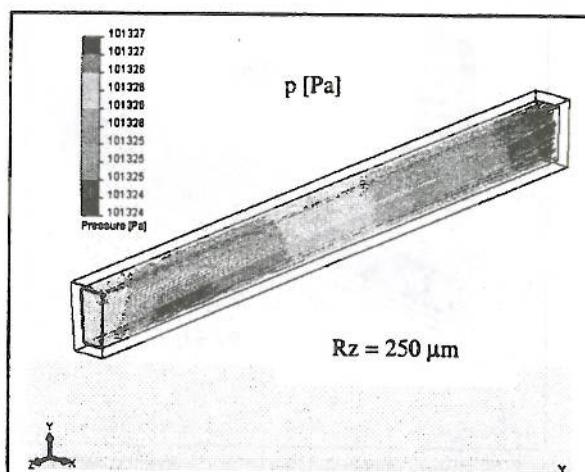


Fig. 20

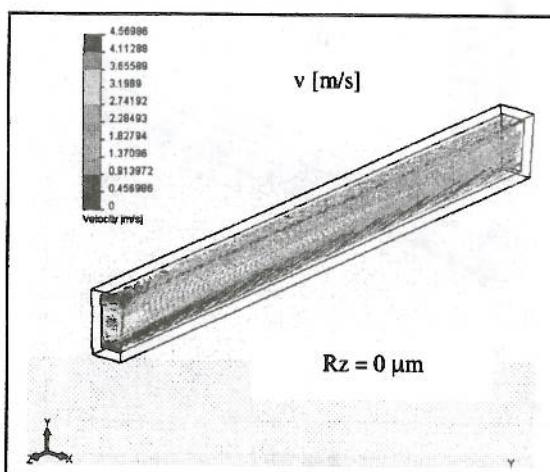


Fig. 21

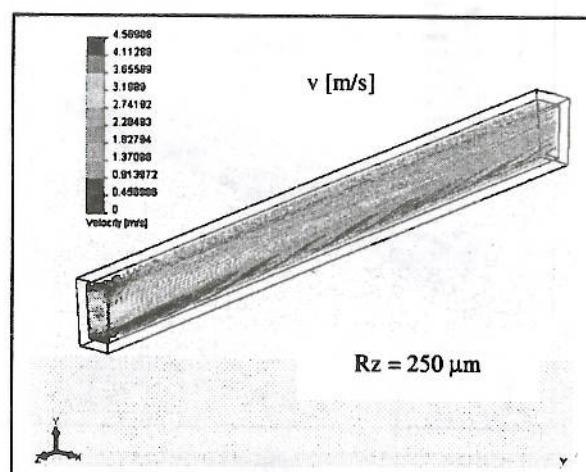


Fig. 22

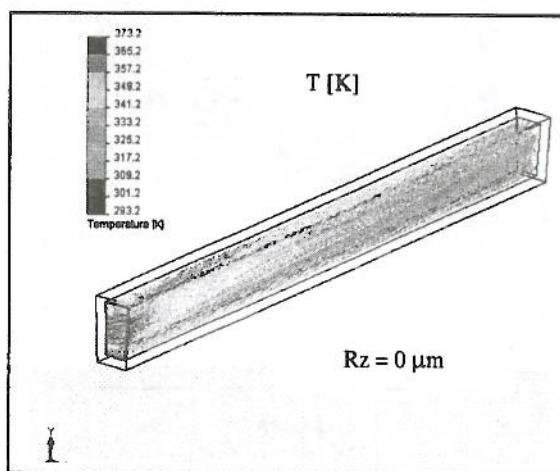


Fig. 23

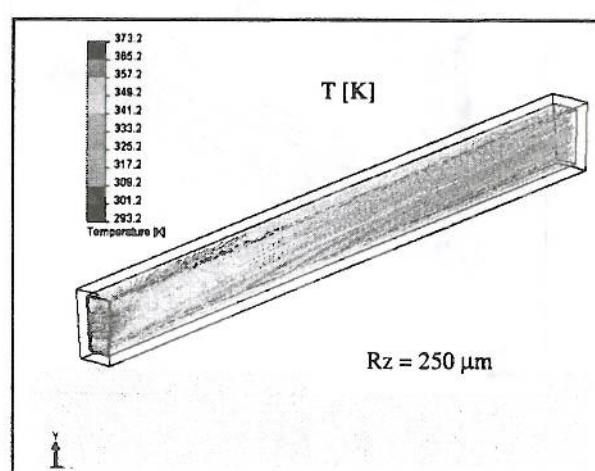


Fig. 24

Traекторiile de curgere ale particulelor solide aflate în suspensie omogenă în domeniul ocupat de fluid cu marcarea câmpurilor: presiunii, vitezei și temperaturii

(p , v și T), comparativ cu cazurile de curgere în care rugozitatea interioară a pereților canalului este de: $R_z = 0 \mu\text{m}$ și $R_z = 250 \mu\text{m}$, sunt prezentate în fig. 25–30.

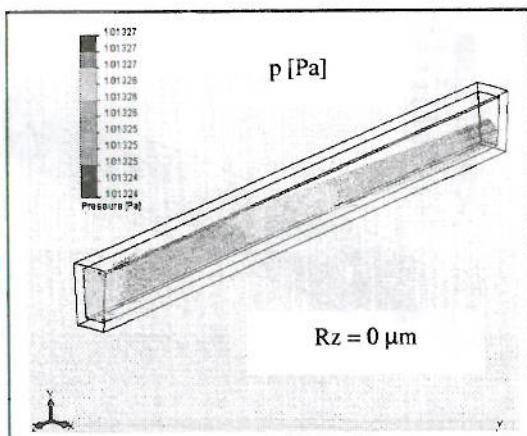


Fig. 25

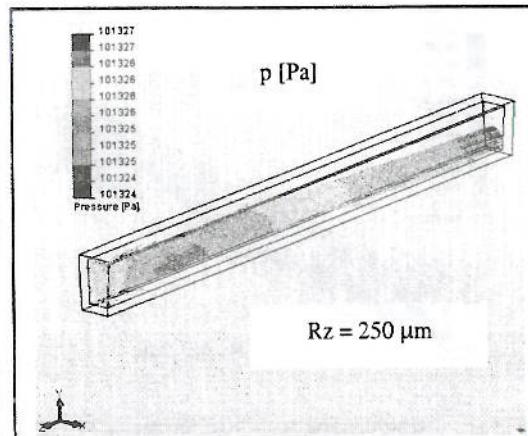


Fig. 26

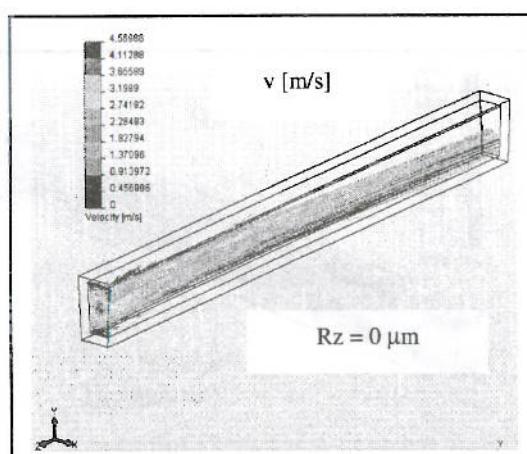


Fig. 27

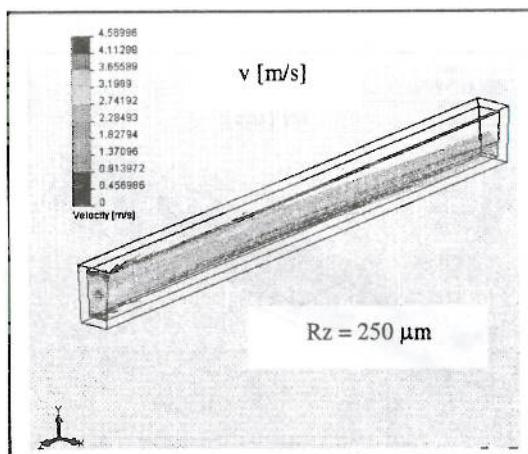


Fig. 28

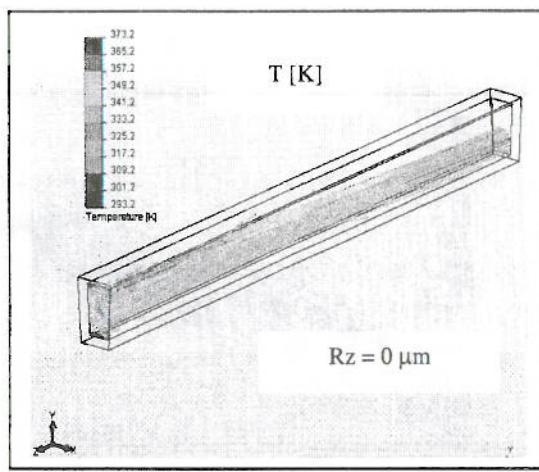


Fig. 29

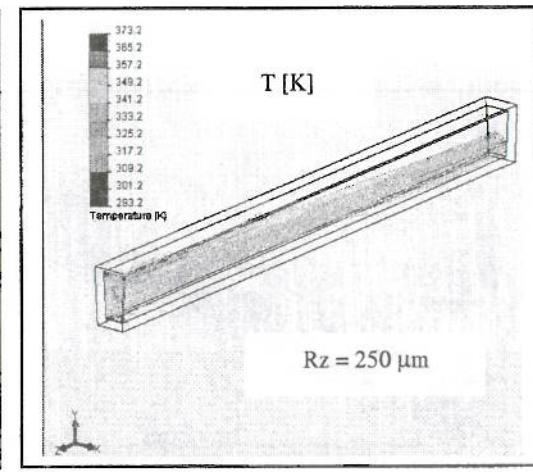


Fig. 30

CONCLUZII

- Căderea de presiune în timpul curgerii pe traекторia de studiu este mai mare la peretele cu rugozitate, fig. 4, existând o viteză de curgere este mai redusă, fig. 5 și o temperatură mai scăzută, fig. 6.

- În planul median de secțiune longitudinală a canalului, viteza de curgere este mai mare în cazul canalului cu pereti fără rugozitate, fig. 9 și fig. 10, schimbul de caldură mai intens, fig. 11 și fig. 12, iar căderea de presiune mai redusă.

- Pe suprafetele interioare ale canalului gradientul pierderii de presiune este mai mare în direcție axială la canalul cu suprafete interioare rugoase, fig. 13 și fig. 14, viteza adiacentă peretilor este mai redusă în apropierea peretilor rugoși, fig. 15 și fig. 16 iar câmpul de distribuție al temperaturilor indică un gradient al vitezei de scădere a temperaturii pe direcție longitudinală mai mare, fig. 17 și fig. 18.
- Traекторiile spațiale ale elementelor de fluid scot în evidență imprimarea unor mișcări turbionare în sensul mișcărilor de rotire ale peretilor, vizualizate mai bine în secțiunile de curgere transversale ale canalului.
- Datorită sensului contrar de rotire a peretilor mobili, apar vârtejuri localizate în apropierea lor, care se delimitizează distinct în zona mediană a secțiunii, cu sensuri de rotire diferite, ceea ce duce la o atenuare a vârtejurilor în zonele de frontieră mediană acționând în sensul frânării mișcării turbionare.
- Curgerea are un caracter turbulent, intensificând procesul de schimb termic care apare între fluid și peretii canalului.
- Traectoriile elementelor solide dispersate uniform în masa de fluid care sunt purtate de către acesta în procesul de curgere, combinat cu efectul gravitațional au un caracter descendant către suprafața mobilă inferioară a canalului spre secțiunea de ieșire din canal, fig. 25, .. , fig. 30.
- Se constată că în timpul funcționării are loc o depunere a particulelor solide cu preponderență pe suprafață inferioară mobilă.
- Analizând și distribuția câmpului de temperaturi, ca urmare a depunerilor de particule solide pe suprafață mobilă inferioară, scade fluxul termic transmis către exterior și viteza de curgere a fluidului din apropierea peretelui, crescând căderea de presiune pe direcție longitudinală a canalului.
- Temperatura inițială pe care particulele le au în secțiunea de intrare a canalului influențează în mod direct distribuția câmpului de temperatură.
- Prezența elementelor solide încetinește viteza de curgere a fluidului, care acum este determinat să consume o parte din energia lui internă pentru a realiza transportul lor.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bică M., *Termotehnică și mașini termice*. Editura Universitară Craiova, 2000.
- [2] Bică M., Nagi M., *Transfer de căldură și masă*. Editura Universitară Craiova, 2003.
- [3] Nagi M., Bică M., *Transfer de căldură în regim nestacionar*. Editura Universitară Craiova, 2004.
- [4] Tălu M., Rădulescu M., *Mecanica fluidelor*. Editura ICMET Craiova, 2004.
- [5] Tălu M., Rădulescu M., *ACTIONARI SI AUTOMATIZARI HIDRAULICE. Teorie si simulare*. Editura Universitară Craiova, 2005.
- [6] Cosmos M.2.6. *User guide, Structural Research and Analysis Corporation*, Los Angeles, California, 2000;
- [7] *** *Manualul inginerului termotehnician*. Editura Tehnică, București, 1986.

