

NUMERICAL MODELLING AND SIMULATION OF SEPARATION PROCESS IN CYCLONE

MODELAREA NUMERICĂ ȘI SIMULAREA PROCESULUI DE SEPARARE ÎN CICLON

Ph.D. Stud. Eng. Marinuc M.¹⁾, Assist. Ph.D. Eng. Ipate G.²⁾, Prof. Ph.D. Eng. Rus F.¹⁾

¹⁾Transylvania University Brasov / Romania; ²⁾Politehnica University of Bucharest / Romania

E-mail: mimy_85@yahoo.com

Abstract: In the paper are presented the theoretical research regarding the numerical modelling and simulation of separation process in centrifugal field of heterogeneous solid-gas mixtures with cyclone equipment type. The use of the CFD numerical analysis, in this case ANSYS CFX-5.7, within air cleaning systems research with cyclones, has allowed the determination of important parameters such as: pressure distribution and velocity field inside the cyclone, determining the flow lines of the current generated by tangential supply and assessing performance of the cyclone separator. To describe the complex flow inside the cyclone separator must be made several simplifying assumptions. The turbulence terms of Navier-Stokes equations are formulated based on k- ϵ model.

Keywords: cyclone, 3D modelling, numerical simulation.

INTRODUCTION

Given the need to further increase product quality resulting from industry and the tightening of legislative activity, importance of studies and researches on the separation of heterogeneous solid-gas mixtures in order to modernize the equipment of installations of the air becomes evident [9].

Initially, environmental pollution was only a natural process. As human activity has grown and diversified, the relationship between artificial and natural pollution has changed continuously. Currently, industrial, urban and agricultural pollution has become a serious problem that threatens not only the further development of the industry but even the flora and fauna of the planet [2].

Cyclones are widely used in industrial processes for removing the dust. Cyclone dust collectors have been used in many industrial facilities to collect solid particles from gas-solid flows and to reduce air pollution originating in chimney smoke from chemical plant dryer equipment [8].

There are various cyclone models in the specialty literature, but the most famous are the Stairmand (1951) and the Lapple (1951) ones. These cyclones were developed through experimental tests with the aim of optimizing the performance. However, according to Dirgo and Leith (1985), there is no theoretical base to assure that a specific model has all high performance characteristics.

Since its conception over a century ago, many researchers have contributed to the large volume of work on improving the efficiency of cyclones by introducing new design and operation variables [6]. However, in most cases, the improvement in efficiency is marginal and in some cases it is associated with complex structure and additional operating costs [3].

A good understanding of the fluid dynamics in a cyclone is required in order to make further design improvements. Analytical techniques do not allow variations in the geometry to be readily assessed. Computational fluid dynamics (CFD) models provide an economical mean of understanding the complex fluid dynamics and how it is influenced by changes in both design and operating conditions.

The first application of CFD techniques to cyclone simulation was presented by Boysan et al. (1982).

Rezumat: În lucrare sunt prezentate cercetările teoretice privind modelarea și simularea procesului de separare în câmp centrifugal a amestecurilor eterogene solid - gaz cu ajutorul echipamentelor de tip ciclon. Utilizarea mediilor de analiză numerică CFD, în acest caz ANSYS CFX-5.7, în cadrul cercetării sistemelor de epurare a aerului cu cicloane, a permis determinarea parametrilor importanți cum ar fi: distribuția presiunii și câmpului de viteze în interiorul ciclonului; determinarea liniilor de curgere ale curentului generat de alimentarea tangențială; aprecierea performanței de separare a cicloanelor. Pentru a descrie curgerea complexă din interiorul ciclonului trebuie să fie asumate câteva ipoteze simplificatoare. Termenii de turbulență ai ecuațiilor Navier-Stokes sunt formulați pe baza modelului k- ϵ .

Cuvinte cheie: ciclon, modelare 3D, simulare numerică.

INTRODUCERE

Ținând cont de necesitatea creșterii continue a calității produselor rezultate din industrie, cât și de înăsprirea legislației din domeniu, importanța unor studii și cercetări privind separarea amestecurilor eterogene solid-gaz în vederea modernizării echipamentelor din instalațiile de epurare a aerului devine evidentă [9].

Inițial, poluarea mediului a fost exclusiv un proces natural. Pe măsură ce activitatea umană s-a dezvoltat și diversificat, raportul între poluarea artificială și naturală s-a modificat continuu. În prezent, poluarea industrială, urbană și agricolă a devenit un fenomen îngrijorător care amenință nu numai dezvoltarea ulterioară a industriei, dar pune în pericol însăși flora și fauna planetei [2].

Cicloanele sunt utilizate pe scară largă în procesele industriale de îndepărtare a prafului. Colectoarele de praf ciclon au fost folosite în multe instalații industriale pentru a colecta particulele solide din debitele gaz-solid și pentru a reduce poluarea aerului datorată coșurilor de fum ale uscătoarelor centralelor chimice [8].

Există modele diferite de cicloane în literatura de specialitate, dar cele mai renumite sunt Stairmand (1951) și Lapple (1951). Aceste cicloane au fost dezvoltate prin teste experimentale cu scopul optimizării performanței. Cu toate acestea, conform cu Dirgo și Leith (1985), nu există nici o bază teoretică pentru a asigura că un anumit model are toate caracteristicile de înaltă performanță.

De la concepția sa, cu peste un secol în urmă, mulți cercetători și-au adus contribuția la îmbunătățirea eficienței cicloanelor prin introducerea designului nou și condițiilor variabile de exploatare [6]. Însă, în majoritatea cazurilor, creșterea eficienței este marginală și aceasta este asociată cu o structură complexă și costuri suplimentare de funcționare [3].

Este necesară o bună înțelegere a dinamicii fluidelor în ciclon în scopul realizării îmbunătățirii suplimentare a designului. Tehnicile analitice nu permit ca variațiile geometriei să fie evaluate ușor. Computational Fluid Dynamics (CFD) oferă un mijloc economic de înțelegere a complexității dinamicii fluidelor și modul în care este influențată de schimbări atât de design cât și de condițiile de funcționare.

Prima aplicare a tehnicilor CFD în simularea ciclonului a fost prezentată de către Boysan și alții (1982).

After this pioneering work, several studies were done on turbulence modelling in order to improve through prediction of velocity and pressure fields to modify the turbulence models [7].

MATERIAL AND METHOD

Numerical simulations were performed using CFX-5.7, a Computational Fluid Dynamics tool from Ansys Inc. The dimensions of the cyclone used in simulation are presented in figure 1 where: 1 - cylindrical body; 2 - cone-shaped body; 3 - outlet of solid particle; 4 - outlet of gas; 5 - gas supply pipe; diameter of cylindrical body, $D = 0.240$ m; outer diameter of central tube of exhausting gas purified, $D_e = 0.122$ m; diameter of exhausting solid particles (dirt), $D_b = 0,061$ m; cyclone height, $H = 1.06$ m; height of the cyclone feed inlet, $a = 0.122$ m; width of the cyclone feed inlet; $b = 0.061$ m; upper height of the cyclone; $h = 0.56$ m; depth of penetration of purified gas into cyclone, $s = 0.28$ m.

După această muncă de pionierat, mai multe studii au fost făcute în scopul îmbunătățirii modelelor de turbulență prin folosirea unor intervalele de viteză și de presiune date [7].

MATERIAL ȘI METODĂ

Simulările numerice au fost efectuate folosind CFX-5.7, un instrument al CFD de la ANSYS Inc. Dimensiunile cicloului utilizat în simulare sunt prezentate în figura 1 în care: 1-corp cilindric; 2-corp conic; 3-ecluză de colectare a particulelor solide; 4-tub central de evacuare a aerului purificat; 5-racord de alimentare; diametrul corpului cilindric, $D=0,240$ m; diametrul tubului central de evacuare a aerului purificat, $D_e=0,122$ m; diametrul ecluzei, $D_b = 0,061$ m; înălțimea cicloului, $H=1,06$ m; înălțimea racordului de alimentare, $a = 0,122$ m; lățimea racordului de alimentare, $b=0,061$ m; înălțimea părții cilindrice, $h=0,56$ m; adâncimea de pătrundere a tubului central în interiorul cicloului, $s = 0,28$ m.

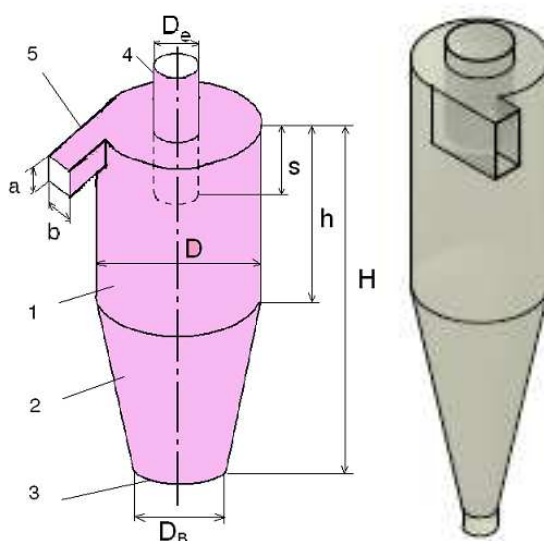


Fig. 1 - Cyclone with tangential entry dimensions / Dimensiunile cicloului cu intrare tangențială

As boundary conditions, data used and applied in this paper are shown in Table 1.

Drept condiții de frontieră, datele utilizate și aplicate în această lucrare sunt prezentate în tabelul 1.

Table 1 / Tabelul 1

Gas Phase - Air / Faza gazoasă - Aer	Solid Phase - Flour / Faza solidă - Făină
Gas velocity / Viteza gazului - 14.7 / 14,7 [m/s]	Solid velocity / Viteza solidului - 15.5 / 15,5 [m/s]
Density / Densitatea - 1.23 / 1,23 [kg/m ³]	Density / Densitatea - 1250 [kg/m ³]

The topology of the simulation model is established in the initial phase of the geometrical model design with CAD programs. In this phase are set interfaces of interaction between main solid and fluid regions. To design the geometric 3D model of the cyclone was used the program SolidWorks produced by Dassault Systèmes (France), as shown in figure 2. After creating the geometrical model of the cyclone and appropriate definition of the domain fluid simulation we may pass to performing the finite element network.

The network shown in figure 3 uses a tetrahedral network type for the main body of the cyclone, a total of 4384 nodes and 19,987 elements. The tetrahedral network elements are easily accommodating with the complex geometric models, particularly at the points where the supply pipe joins the cylindrical body of the cyclone.

In this model, to simplify the modelling, the tangential entry in the cyclone was built also with tetrahedral network elements. Tangential entry joins the cylindrical

Topologia modelului de simulare este stabilită în faza inițială de proiectare a modelului geometric cu programele CAD. În această fază sunt stabilite interfețele de interacțiune dintre regiunile principale solid și fluid. Pentru proiectarea modelului geometric 3D a cicloului a fost folosit programul SolidWorks produs de Dassault Systèmes (Franța), după cum se poate vedea în figura 2. După crearea modelului geometric și definirea corespunzătoare a domeniului fluid de simulare, se poate trece la realizarea rețelei de elemente finite.

Rețeaua prezentată în figura 3 utilizează un tip de rețea tetraedrală pentru corpul principal al cicloului, un număr de 4384 de noduri și 19987 de elemente. Rețeaua de elemente tetraedrale se acomodează ușor modelelor geometrice complicate, în particular în punctele în care conducta de alimentare se unește cu corpul cilindric al cicloului.

În acest model, pentru simplificarea modelării, intrarea tangențială în ciclon a fost construită tot din elemente de rețea tetraedrale. Intrarea tangențială se

body of the cyclone through a non-conforming interface by small overlaps. The non-conforming interface interpolates between flows from one side and other side of the network.

unește cu corpul cilindric al ciclonului printr-o interfață non-conformală de mici suprapuneri. Interfața non-conformală se interpoolează între fluxurile dintr-o parte și cealaltă parte a rețelei.

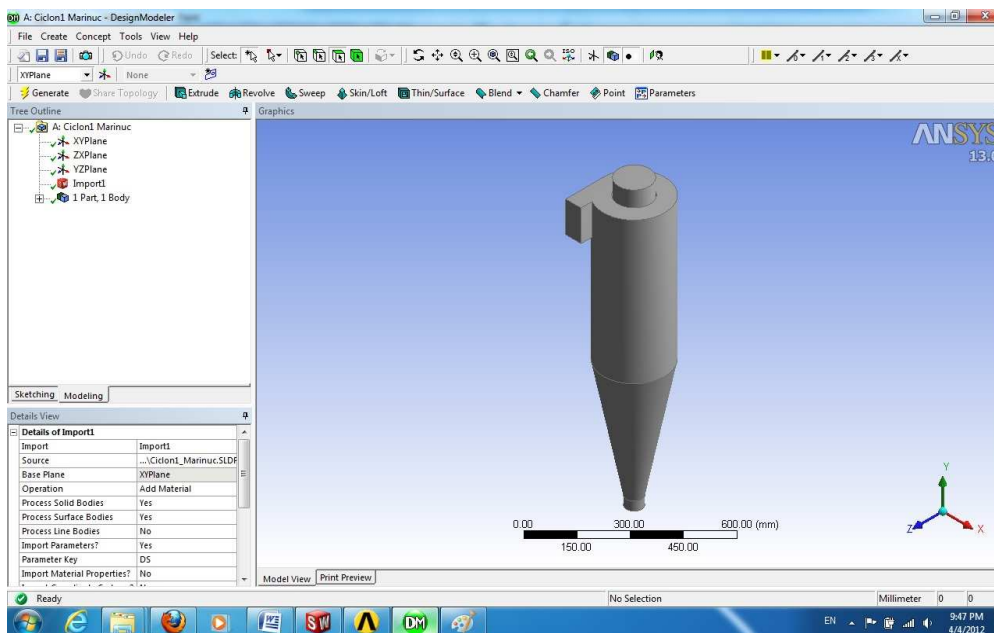


Fig. 2 - Design geometric 3D model / *Proiectarea modelului geometric 3D*

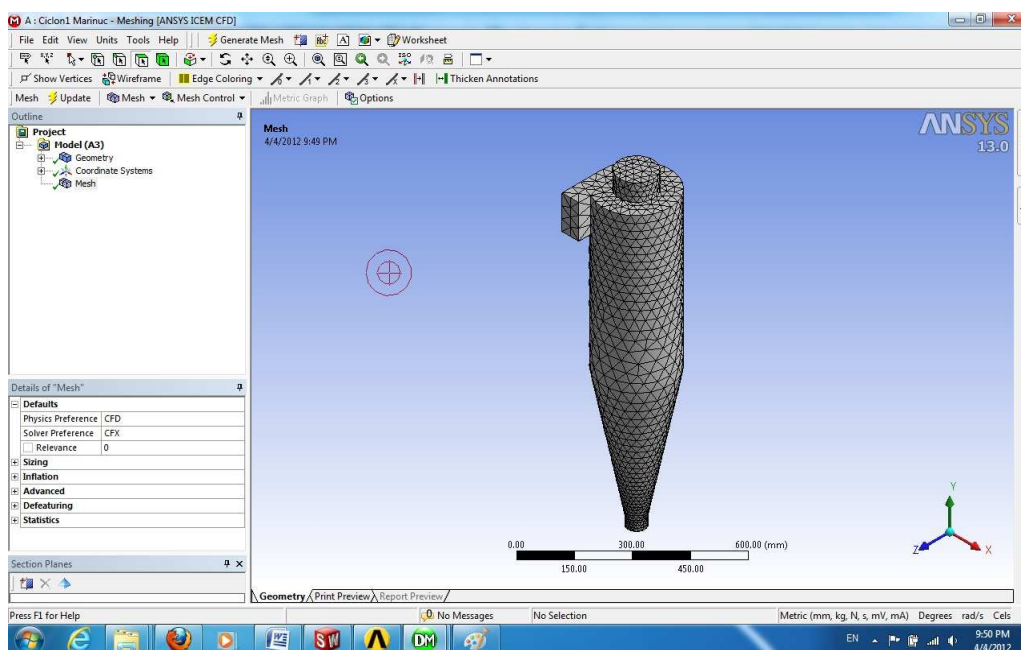


Fig. 3 - Tetrahedral meshing in finite element (CFX-Mesh module) / *Discretizarea în elemente finite tetraedrale (modulul CFX-Mesh)*

In the simulations accomplished, the initial solution for the fluid flow in the entrance area of the cyclone was set as a constant mass flow of mixture who penetrates through the normal direction of the entrance area.

It was used a model of mixture of air and solid particles of flour with a diameter between 20 and 170 μm . Simulations were performed for both steady and non-stationary flow, using in the most cases a turbulent regime with two equations "k- ϵ ".

In figures 4 and 5 are represented the velocity vectors for the air, respectively for the solid particles of flour using the CFD program, in this figures the vectors are coloured by magnitude.

În simulările efectuate, soluția inițială pentru curgerea fluidului în zona de intrare a ciclonului a fost setată ca fiind debitul masic constant de amestec ce pătrunde pe direcția normală a zonei de intrare.

S-a utilizat un model de amestec de aer și particule solide de făină cu diametrul cuprins între 20 și 170 μm . Simulările au fost efectuate pentru curgerea atât în regim staționar cât și nestaționar, utilizându-se în marea majoritate un regim turbulent cu două ecuații "k- ϵ ".

În figurile 4 și 5 sunt reprezentați vectorii viteze pentru aer, respectiv pentru particulele solide de făină cu ajutorul programului CFD, în aceste figuri vectorii sunt colorați după magnitudine.

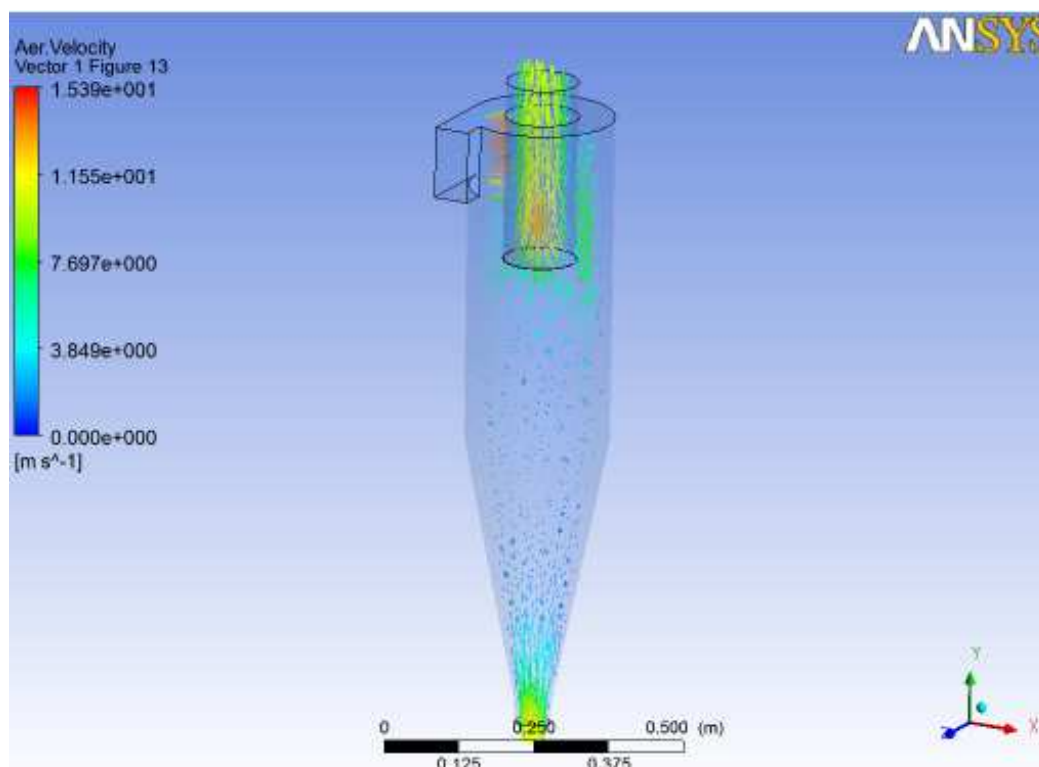


Fig. 4 - Representation of air velocity vector obtained by CFD /
 Reprezentarea vectorului vitează pentru aer obținută cu CFD [m/s]

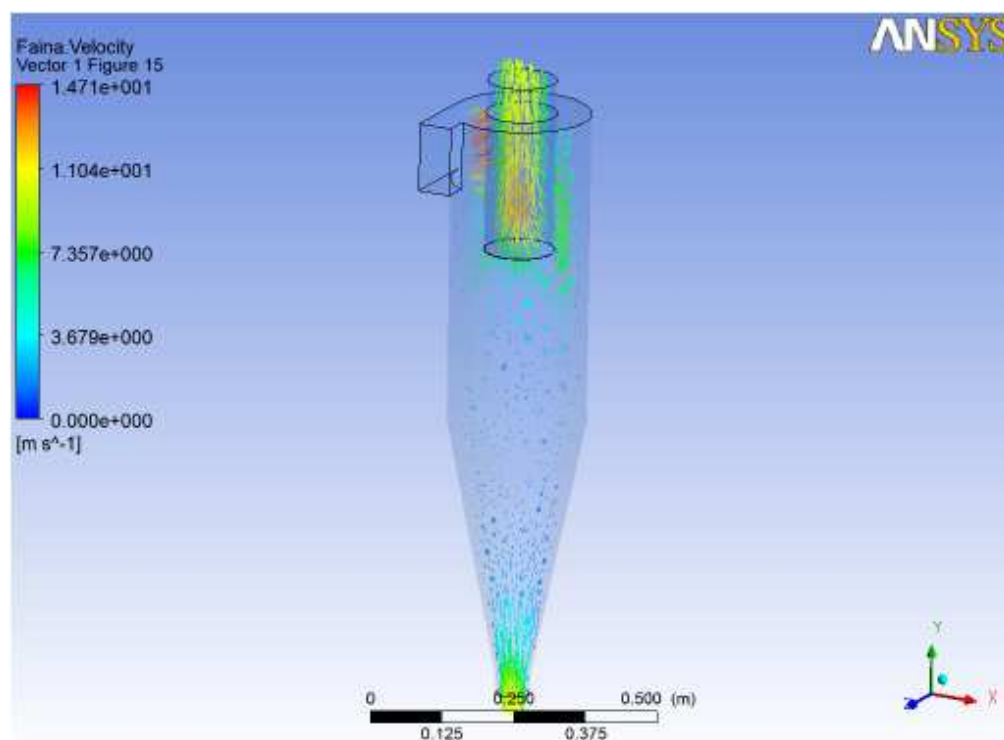


Fig. 5 - Representation of flour particles velocity vector obtained with CFD /
 Reprezentarea vectorului vitează pentru particulele de făină obținută cu CFD [m/s] /

RESULTS

To model a highly turbulent fluid flow in a cyclone, Reynolds averaged continuity and Reynolds averaged Navier–Stokes equations were solved. They can be written in Cartesian component form as follows, [5]:

REZULTATE

Pentru a modela curgerea turbulentă într-un ciclon, ecuațiile mediate Reynolds ale continuității și Navier–Stokes au fost rezolvate. Ele pot fi scrise sub formă de componente carteziene, după cum urmează [5]:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \overline{\rho u_i u_j} \right] + \rho g_i \quad (2)$$

where: u_i is the fluid velocity component;
 x_i - the Cartesian coordinate component;
 ρ - the fluid density;
 t - time;
 P - the pressure;
 μ - the fluid viscosity;
 g_i - the component of gravitational acceleration vector.
 The term, $\overline{\rho u_i u_j}$, of Eq. (2) is often named the

Reynolds stress and represents the effects of the turbulent velocity fluctuations on the mean flow. By analogy with the molecular diffusion of momentum, the Boussinesq hypothesis relates the turbulent momentum transport to the gradients of the mean velocity field. The Reynolds stress in Eq. (2) is then expressed by:

unde: u_i este componenta vitezei fluidului;
 x_i - componenta coordonatei carteziene;
 ρ - densitatea fluidului;
 t - timpul;
 P - presiunea;
 μ - vâscozitatea fluidului;
 g_i - componenta vectorului accelerației gravitaționale.
 Termenul $\overline{\rho u_i u_j}$ din Ec. (2) este adesea numit

tensiunea Reynolds și reprezintă efectul fluctuațiilor vitezei turbulente asupra debitului mediu. Prin analogie cu difuzia moleculară a impulsului, ipoteza Boussinesq, se referă la transportul impulsului turbulent la gradientii domeniului vitezei medii. Tensiunea Reynolds din Ec. (2) este apoi exprimată prin:

$$-\overline{\rho u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \delta_{ij} \quad (3)$$

where μ_t is the turbulent viscosity, k is the turbulent kinetic energy, δ_{ij} is the Kronecker delta. The turbulent viscosity is related directly to the turbulent kinetic energy and the viscous dissipation, ε , as:

unde μ_t este vâscozitatea turbulentă, k este energia cinetică turbulentă, δ_{ij} este funcția Kroneker. Vâscozitatea turbulentă este legată direct de energia cinetică turbulentă și de disiparea vâscoasă, ε , după cum:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

where, $C_\mu=0.0845$ derived from renormalization group (RNG) methods [1].

In order to calculate the trajectories of the particles, it was assumed that the effect of the motions of particles on the flow and the particle/particle interactions are not negligible for a dense sludge considered in the present study. The particles were regarded as rigid spheres. Then, the computation of the particle trajectories can be carried out independently, once the flow field of the liquid phase is obtained. Based on the Newton's second law of motion, the equation of motion for the particle is written as, [10]:

unde $C_\mu=0.0845$, derivat cu metoda renormalizării grupului (RNG) [1].

În scopul calculării traiectoriilor particulelor, s-a considerat că efectul mișcării particulelor asupra curgerii și interacțiunile particulă/particulă nu sunt neglijabile pentru amestecul luat în considerare în studiul de față. Particulele au fost considerate ca sfere rigide. Apoi, calculul traiectoriilor particulelor pot fi efectuate în mod independent odată ce câmpul curgerii fazei gazoase este obținut. Pe baza celei de-a doua legi a lui Newton de mișcare, ecuația mișcării particulei este scrisă după cum urmează, [10]:

$$\frac{\pi d^3 \rho_p}{6} \frac{dv_p}{dt} = \frac{1}{8} \pi \rho_f d^2 |v_f - v_p| (v_f - v_p) + F_b - \frac{\pi d^3}{6} (\rho_p - \rho_f) \omega \times (\omega \times \vec{R}) - \frac{\pi d^3 \rho_p}{3} \omega \times v_p \quad (5)$$

equation which represents the particle transport model implemented in ANSYS CFX, where p is the density of the particle, v is the velocity vector of the particle, and first term is the drag force F_d , second term F_b represents buoyant force, third term is centrifugal force F_c , and last term denotes inertial forces F_i exerted on the particle, respectively. Indexes p and f refer to the solid, respectively fluid particles. The expressions for the above forces can be found in He et al. (1999) [4]. Eq. (5) is an ordinary differential equation for the particle velocity vector, v_p , with respect to time. To obtain v_p , Eq. (5) has to be integrated with time. The trajectories of the particles can be found by integrating v_p with respect to time once again. Equation is available in flows where the particle density is much greater than the fluid density, where the particle inertia is related to the instantaneous difference in velocity between the particle and the fluid, and the rotational and external body forces.

In the environment ANSYS Workbench it was discretized the cyclone profile in a network of finite

ecuație care reprezintă modelul de transport a particulei puse în aplicare în ANSYS CFX, unde p este densitatea particulei, v este vectorul vitezei particulei, primul termen este forța de rezistență F_d , al doilea termen F_b , forța ascensională, al treilea termen este forța centrifugă F_c și ultimul termen reprezintă forțele de inerție F_i exercitate asupra particulelor. Indicii p și f se referă la solid, respectiv la particulele de fluid. Expresiile pentru forțele de mai sus pot fi găsite în He și al. (1999) [4]. Eq. (5) este o ecuație diferențială pentru vectorul vitezei particulei, v_p , în raport cu timpul. Pentru a-l obține pe v_p , Ec. (5) trebuie integrată cu timpul. Traiectoriile particulelor pot fi obținute prin integrarea lui v_p încă o dată în raport cu timpul. Ecuația este valabilă în curgerile în care densitatea particulelor este mai mare decât cea a fluidului, atunci când inerția particulelor este legată de diferența instantanee de viteză între solid și fluid și forțele de rotație și externe ale corpului.

În mediul ANSYS Workbench a fost discretizat profilul cicloanului într-o rețea de elemente finite, care, în

elements, which then was exported to the environment CFX. In the result of the establishing of limit conditions, choosing of turbulence model, accuracy of calculation etc., it was determined the distribution of fluid pressure exercised on the separator cyclone wall (figure 6). Also, in the visualization module of the experiment results CFD (CFX-Post) were analyzed qualitatively the flowing lines of fluid and solid particles of flour on the vertical flat surfaces facing on the direction of flow of the mixture (figure 7, a,b) and lines of flowing particles of air and solid particles of flour on flat horizontal surfaces (figure 8). It was also determined the superficial velocity distribution of the air and flour (figure 9).

continuare, a fost exportat în mediul CFX. În rezultatul stabilirii condițiilor de limită, alegerii modelului de turbulență, preciziei de calcul etc., s-a determinat distribuția presiunii exercitate de fluid asupra peretelui ciclonului (figura 6). De asemenea, în modulul de vizualizare a rezultatului experimentului CFD (CFX-Post) au fost analizate calitativ liniile de curgere a fluidului și particulelor solide de făină pe suprafețe plane verticale orientate pe direcția de curgere a amestecului (figura 7, a,b) și liniile de curgere a aerului și particulelor solide de făină pe suprafețe plane orizontale (figura 8). De asemenea, s-a determinat distribuția vitezei superficiale a aerului și a făinii (figura 9).

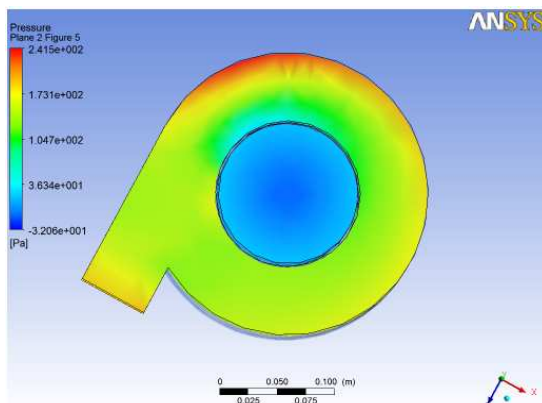
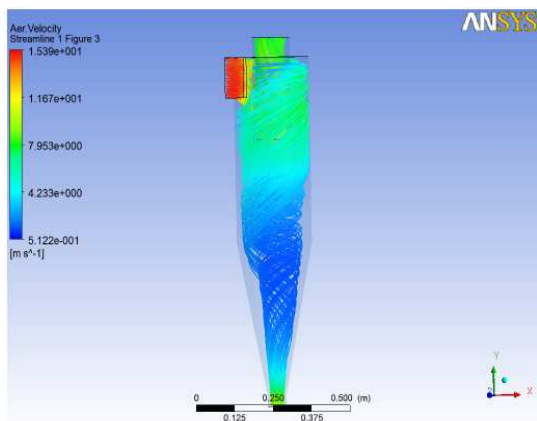
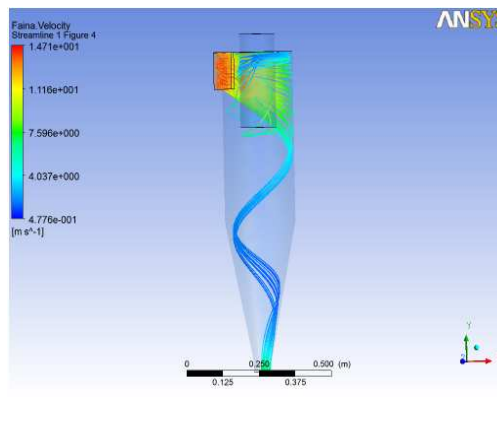


Fig. 6 - Cyclone wall pressure distribution / Distribuția presiunii pe peretele ciclonului

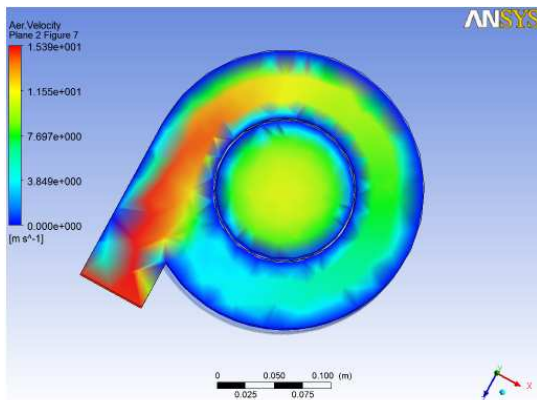


a)

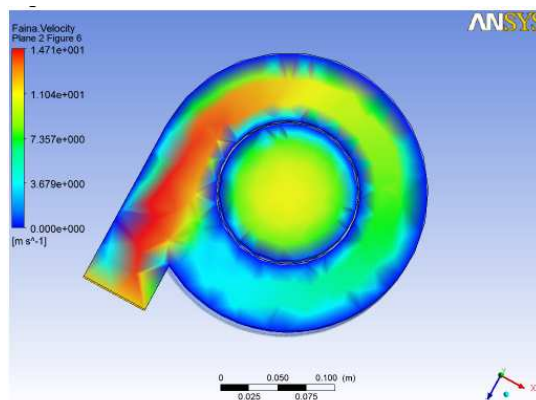


b)

Fig. 7 - Flow lines for the two phases of heterogeneous mixture: a) air, b) flour / Liniile de curgere pentru cele două faze ale amestecului eterogen: a) pentru aer; b) pentru făină



a)



b)

Fig. 8 - Contour plots of velocity in the horizontal plane XZ: a) air, b) flour / Conturul vitezei în plan orizontal XZ: a) pentru aer; b) pentru făină /

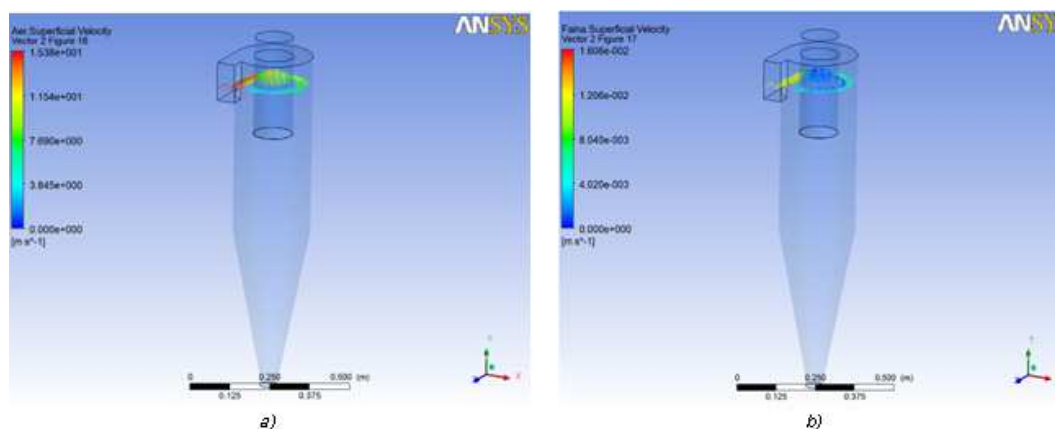


Fig. 9 - Superficial velocity distribution: a) air, b) flour /
Distribuția vitezei superficiale: a) pentru aer; b) pentru făină

CONCLUSIONS

CFD method is becoming increasingly used in modelling the systems which include the fluid flow from many areas. The CFD codes make possible to solve numerically the transport of fluids, mass and energy balances in systems with very complicated geometry. The results show special patterns of flow and heat transfer that are very difficult to obtain by experimental methods or conventional modelling methods.

The use of the CFD numerical analysis, in this case ANSYS CFX-5.7, in air cleaning systems research with cyclones, allowed the determination of important parameters such as: pressure distribution and velocity field inside the cyclone, determining the flow lines of the current generated by tangential supply and the assessing performance of the cyclone separator. This allows assessing the performance of the object studied without significant expense, with minimum effort and maximum efficiency.

To describe the complex flow inside the cyclone taking into account the interaction from heterogeneous mixture with high content of solid particle must be made several simplifying assumptions. The turbulence terms of Navier-Stokes equations are formulated based on $k-\epsilon$ model. The mediation Reynolds leads to the turbulence diffusion equation of particles transported and the diffusivity of the particles can be estimated by considering only the random movement of the most intense turbulent eddies.

Due to particle inertia, large particles are less affected by turbulence. The particle interaction in the heterogeneous systems is attributed to disturbance of the process of free particles sedimentation.

Dimensional calculations are very helpful to explain the separation process, which should contain all its essential elements, including the interaction of particle with the cyclone wall or their accumulation near the bottom drain hole.

Acknowledgements

This paper is supported by the Sectoral Operational Programme of Human Resources Development (SOP HRD), financed from the European Social Fund and by the Romanian Government under the contract number POS-DRU: ID 59321.

REFERENCES

- [1]. Choudhury, D. (1993) - *Introduction to the renormalization group method and turbulence modelling*, Fluent Inc. Technical Memorandum, TM-107;
- [2]. Florea, J., Robescu, D. (1982) - *Hydrodynamic facilities of hydropneumatic transport and water and air remediation*, București.

CONCLUZII

Metoda CFD devine din ce în ce mai utilizată în modelarea sistemelor care includ curgerea fluidelor din multe domenii. Codurile CFD fac posibilă rezolvarea numerică a transportului fluidelor, bilanșurilor de masă și energie în sisteme cu geometrie foarte complicată. Rezultatele prezintă modele deosebite ale curgerii și transferului de căldură ce sunt foarte greu de obținut experimental sau prin metode de modelare convenționale.

Utilizarea mediilor de analiză numerică CFD, în cazul dat ANSYS CFX-5.7, în cadrul cercetării sistemelor de purificare a aerului cu cicloane, permite determinarea parametrilor importanți cum ar fi: distribuția presiunii și câmpului de viteze în interiorul ciclonului; determinarea liniilor de curgere ale curentului generat de alimentarea tangențială; aprecierea performanței de separare a cicloanelor și mulți alți parametri. Acest fapt permite aprecierea performanței obiectului studiat fără cheltuieli considerabile, cu efort minim și maximă operativitate.

Pentru a descrie curgerea complexă din interiorul ciclonului luând în considerare interacțiunile din amestecul eterogen cu conținut ridicat de particule solide, trebuie să fie asumate câteva ipoteze simplificatoare. Termenii de turbulență ai ecuațiilor Navier-Stokes sunt formulați pe baza modelului $k-\epsilon$. Mediarea Reynolds conduce la ecuația difuziei turbulenței a particulelor transportate, iar difuzibilitatea particulelor poate fi estimată luând în considerare numai mișcarea aleatoare a celor mai intense vârtejuri turbulente.

Datorită inerției particulelor, particulele mari sunt mai puțin afectate de turbulențe. Interacțiunea particulelor în sistemele eterogene este atribuită perturbării sedimentării libere a particulelor.

Calculul tridimensional este de un real ajutor pentru a explica procesul de separare, care să cuprindă toate elementele sale esențiale, inclusiv interacțiunea particulelor cu peretele ciclonului sau acumularea acestora în apropierea orificiului de scurgere inferior.

Aknowlegement

Lucrarea este suportată de Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane (SOP HRD), finanțată de Fondul Social European și de către Guvernul Român în baza contractului cu numărul POS-DRU: ID 59321.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Choudhury D. (1993) – *Introducere în metoda renormalizării grupului și modelarea turbulenței*, Fluent – Memorandum Tehnic, TM-107;
- [2]. Florea J., Robescu D. (1982) - *Hidrodinamica instalațiilor de transport hidropneumatic și de depoluare a apei și a aerului*, București;

[3]. Gregg, W.W. (1995) - *High Efficiency Cyclones for Powder Processing Applications*, Adv. Filtration and Separation Technology, vol. 9, pg. 240;

[4]. He, P., Salcudean, M., Gartshore, I.S. (1999) - *A numerical simulation of hydrocyclones*, Transactions of the Institution of Chemical Engineers 77, 429–441.

[5]. Ipate, G., Casandroi, T. (2007) - *A three-dimensional simulation of separation process in hydrocyclones with different generatrix of the cone*, Proc Symposium "Engineering and Management of Sustainable Development in Agriculture, Transport and Food Industry", INMATEH-III, Bucharest, 25:168-176;

[6]. Jo, Y., Tien, C. and Ray, M.B. (2000) - *Development of a Post Cyclone to Improve the Efficiency of Reverse Flow Cyclones*, Powder Technology, n.113, pg. 97;

[7]. Martignoni, W. P., Bernardo, S. and Quintani, C. L. (2007) - *Evaluation of cyclone geometry and its influence on performance parameters by computational fluid dynamics (CFD)*, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 24, No. 01, pg. 83 – 94;

[8]. Ogawa, A. (1997) - *Mechanical Separation Process and Flow Patterns of Cyclone Dust Collectors*, Applied Mechanics Reviews, vol. 50, n. 3, p. 97;

[9]. Vișan, S., Angelescu, A., Alpopi, C. (2000) - *Environment - pollution and protection*, Economic Publishing, București;

[10]. *** ANSYS CFX-Solver, Release 10.0: Theory (2005)

[3]. Gregg W.W. (1995) – *Cicloanele de înaltă eficiență pentru aplicații de prelucrare a pulberilor*, Tehnologia avansată a filtrării și a separării, vol. 9, p. 240;

[4]. He P., Salcudean M., Gartshore I.S. (1999) – *Simularea numerică a hidrocicloanelor*, Procesele verbale ale Institutului Inginerilor Chimiciști, 429–441.

[5]. Ipate G., Casandroi T. (2007) - *Simularea numerică tridimensională a procesului de separare în hidrocicloane cu diferite generatoare ale conului*, Simpozionul "Ingineria și managementul dezvoltării durabile în agricultură, transporturi și industria alimentară", INMATEH-III, București, vol. 25, pag. 168-176;

[6]. Jo Y., Tien C. and Ray M.B. (2000) - *Dezvoltarea unui ciclon pentru a îmbunătăți eficiența cicloanelor cu flux invers*, Tehnologia Pulberilor, no. 113, p. 97;

[7]. Martignoni W. P., Bernardo S. and Quintani C.L. (2007) – *Evaluarea geometriei ciclonului și influența sa asupra parametrilor de performanță cu computational fluid dynamics (CFD)*, Jurnalul brazilian al Ingineriei Chimice, Vol. 24, No. 01, pp. 83 – 94;

[8]. Ogawa A. (1997) – *Procesul de separare mecanică și modelul debitului în cicloanele colectoare de praf*, Recenzii ale Mecanicii Aplicate, vol. 50, no. 3, p. 97;

[9]. Vișan S., Angelescu A., Alpopi C. (2000) - *Mediul – poluare și protecție*, Ed. Economică, București;

[10]. *** ANSYS CFX-Solver, Ediția 10.0: Teorie (2005).