

INFLUENȚA GEOMETRIEI CAMEREI DE EXPANSIUNE ASUPRA EFECTULUI DE PISTON DIN METROU SIMULARE 3D ÎN ANSYS

Gabriel TUDOR¹

¹ Universitatea Politehnica din București

REZUMAT. În lucrarea de față este prezentat un studiu privind circulația aerului în camerele de expansiune din metrou și influența geometriei camerei asupra pistonului de aer produs de mișcarea trenurilor prin galeriile metroului. Lucrarea prezintă rezultatele modelărilor și simulărilor 3D în CFD, a unei camere de expansiune normală și a unei camere de expansiune modificată. Rezultatele simulărilor prezentate în acest articol surprind modul în care pistonul de aer este influențat de schimbarea caracteristicilor camerei de expansiune. Simulările CFD surprind fenomenele complexe care au loc în camerele de expansiune privind viteza, presiunea și schimbările de direcție ale aerului precum și devierea parțială a pistonului de aer înainte de a pătrunde în stația de metrou.

Cuvinte cheie: CFD, cameră de expansiune, pistonul de aer, stație de metrou

ABSTRACT. This paper presents a study on air circulation in the expansion chamber in the subway stations and the influence of the geometry of the room on the air piston produced by the movement of trains through the subway galleries. The paper presents the results of 3D models and simulation in CFD of a normal expansion chamber and a modified expansion chamber. The results of the simulation presented in this article capture the way in which the air piston is influenced by the change of the characteristics of the expansion chamber. CFD simulation capture the complex phenomena that occur in the expansion chamber regarding the pressure, velocity and the changes of the direction of the air as well the partial deflection of the air piston before entering the subway station.

Keywords: CFD, expansion chamber, the air piston, subway station

1. INTRODUCERE

Bucureștiul beneficiază de un transport public subteran modern comparabil cu marile metrouri din țările europene. Metroul transportă un volum foarte mare de călători zilnic, peste 750.000 de călători, iar numărul acestora este în continuă creștere datorită dezvoltării urbane din ultimii ani, dar și prin sporirea traficului de suprafață.

Rețeaua de metrou a Bucureștiului are 53 de stații și 4 depouri de metrou cu 71.1 km cale dublă, structurată pe patru magistrale [1].

Datorită întinderii rețelei de metrou sub aproape toate zonele importante ale Bucureștiului și a faptului că în stațiile de metrou, în fiecare moment se află mii de pasagerii în așteptarea trenurilor de metrou, este necesar să li se asigure călătorilor un mediu cu un microclimat în care calitatea aerului și confortul termic să fie favorabil.

Conform unui studiu efectuat în S.U.A. energia consumată de sistemele de control și reglarea a climei metroului reprezintă 50% din energia consumată de metrou pentru tracțiunea trenurilor de metrou, iar 10% din costul construcției totale al unui

metrou îl reprezintă costul echipamentului de control al climei [2].

Prin circulația trenurilor prin galeriile și stațiile de metrou, se produce un curent de aer care poartă numele de efect de piston. Acest efect de piston este caracterizat de schimbări bruște ale direcției și vitezei de deplasare a aerului ceea ce produce modificări ale microclimei cu efecte neplăcute pentru publicul călător.

Acest efect de piston se suprapune peste ventilația tehnologică a metroului ceea ce poate produce un efect de frânare/accelerare a curentului de aer produs de ventilația tehnologică. Cu toate acestea pistonul de aer produs de mișcarea trenurilor de metrou joacă un rol important în schimburile de substanță și temperatură din metrou. Conform studiilor efectuate în lume privind vitezele aerului de la nivelul peronului nu trebuie să depășească de 5 m/s deoarece se produce un efect deranjant cu implicații negative asupra confortului pasagerilor [3].

Studiul de față își propune să realizeze simulări computerizate de tip CFD prin care să se studieze influența dimensiunii camerelor de expansiune asupra efectului de piston. Programul de simulare

computerizată de tip CFD Fluent este o metodă necostisitoare utilizată în întreaga lume pentru rezolvarea problemelor matematice ce implică curgerea fluidelor în special în medii complexe [4, 5]. Prin acest tip de simulare se pot rezolva problemele privind dispersia aerului din mediul subteran [6]. Complexitatea structurală a metroului face aproape imposibilă studiarea prin mijloace clasice a fenomenelor ce au loc în subteran, iar soluția adoptată de ingineria modernă presupune simulări de tip CFD. Modelele matematice sunt reprezentate de sisteme de ecuații care corelează mărimi dimensionale sau adimensionale, iar prin aceste să se reflecte desfășurarea cât mai exactă a fenomenului supus studiului [7].

Lucrarea de față prezintă rezultatele obținute din simulările CFD cu ajutorul softului ANSYS.

Cazurile propuse spre simulare CFD din această lucrare sunt reprezentate de două cazuri prin care să se facă o diferențiere a rezultatelor obținute.

2. PARTEA EXPERIMENTALĂ

În figura 1 sunt ilustrate elementele structurale ale geometriei 3D cu dimensiunile descrise în tabelul 1 pentru cele două cazuri studiate:

- tunel
- cameră de expansiune
- diafragmă
- stație nivel peron

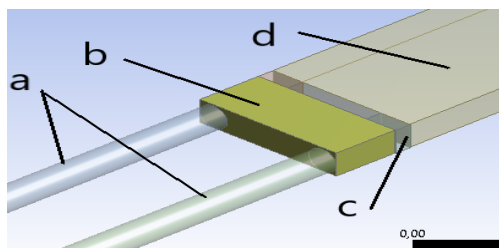


Fig. 1. Structura geometriei 3D.

Geometria 3D a fost realizată cu ajutorul softului de proiectare DesignModeler integrat în platforma de lucru Workbench al programului ANSYS.

Pentru definirea geometriei 3D a celor două cazuri studiate a fost necesară introducerea unor elemente caracteristice unei stații de metrou.

Elementele constructive ale geometriei 3D utilizate în cele două cazuri sunt: tunelele, camerele expansiune, diafragmele, peronul stației de metrou și stația de metrou nivel peron.

Rețelele de discretizare a celor două geometrii pentru cele două cazuri, au fost realizate prin preluarea geometriei din DesignModeler.

Dimensionarea elementelor rețelei a fost realizată astfel încât numărul de noduri alocate să fie

suficiente pentru a genera o rețea cât mai fină în zonele de interes conform figurii 2.

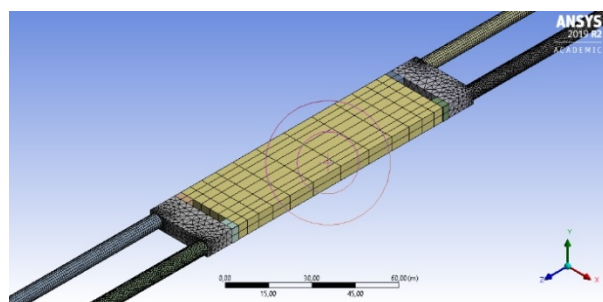


Fig. 2. Rețeaua de discretizare tip mesh.

Tabelul 1. Dimensiunile elementelor constructive introduse în geometria 3D

Cameră de expansiune modificata		
Tip limită	Condiții de operare	Condiții la limită
Inlet_1	11,1 [m/s]	Inlet_velocity
Inlet_2	1 [m/s]	Inlet_velocity
Outlet_1	101,325 [Pa]	Pressure_outlet
Outlet_2	101,325 [Pa]	Pressure_outlet
Tunel	-	Wall
Camera de exp.	-	Wall

Tabelul 2. Dimensiunile elementelor constructive introduse în geometria 3D

Element structural	Diametru [m]	Lungime [m]	Lățime [m]	Înălțime [m]
Peron stație	-	100	28	6
Cam. de exp.	-	6	28	6
Cam. de exp.	-	12	28	6
Diafragme	-	5	7	6
Tunel	5,6	150	-	-

În Fluent au fost stabilite proprietățile materialului utilizat, în acest caz fluidul luat în calcul este aerul. În simulările efectuate, fluidul este considerat ca fiind incompresibil, operează la o temperatură de 20 °C, iar presiunea de lucru a fost stabilită ca fiind cea atmosferică 1atm (101,3251 Pa). Fluentul va utiliza această presiunea internă pentru toate tipurile de curgere a fluidului. Proprietățile fluidului sunt arătate în tabelul 4. Formula numărului lui Reynolds a fost utilizată pentru determinarea tipului de curgere în sistemul creat pentru cazurile A și B. Numărul lui Reynolds > 4000 arată o curgere turbulentă prin sistemul creat. Regimul tranzitoriu al curgerii fluidului este atins la un număr Re cuprins între intervalele 2100 și 4000 [8].

$$Re = \frac{\rho \cdot v_m \cdot D_t}{\eta} \quad (1)$$

unde :

- ρ [kg/m³] - reprezintă densitatea fluidului,

INFLUENȚA GOMETRIEI CAMEREI DE EXPANSIUNE ASUPRA EFECTULUI DE PISTON DIN METROU

- v_m [m/s] - reprezintă media vitezei fluidului în secțiunea de intrare,
- η [Pa s] - reprezintă vâscozitatea dinamică a fluidului,
- D_t [m] - reprezintă diametru tunelului.

Rezolvarea ecuațiilor de continuitate de către Fluent CFD se bazează pe ecuațiile de conversie a energiei a masei și a impulsului de aer incompresibil.

Modelul de turbulență ales pentru simulările CFD este *K - epsilon - Realizable*.

Acest tip de model ține cont de procesele relevante, reducând numărul necunoscutelor printr-un set de ecuații care pot fi aplicate unui număr mare de modele turbulente fiind un model clasic folosit pentru a rezolva ecuațiile modelului turbulent [10, 11,12,13].

Tabelul 4. Condițiile de operare stabilite în CFD

Presiunea de operare	P = 101,325	[Pa]
Densitatea aerului	$\rho = 1,225$	[kg/m ³]
Temperatura aerului	20	[°C]
Vâscozitatea dinamică	$\eta = 1.7894 \times 10^{-5}$	[kg/m s]

3. REZULTATE

În figurile 3 și 4 sunt prezentate valorile convergente după 500 de iterații. După examinarea acestora se poate observa că soluția este convergentă pentru ambele cazuri. Rezidual-urile scad după 200 de iterații, iar după 300 de iterații devin stabile îndeplinind condițiile pentru ca o soluție să fie suficient de bună pentru o simulare acceptată.

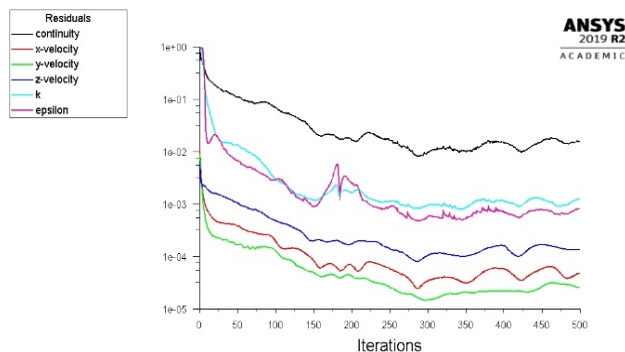


Fig. 3. Atingerea criteriile de convergență stație nemodificată.

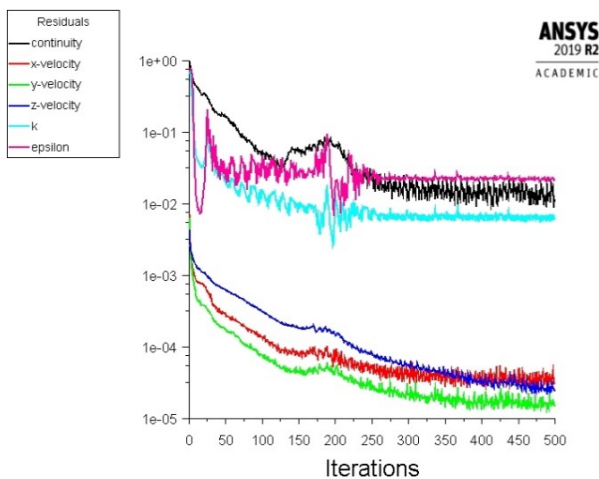


Fig. 4. Atingerea criteriile de convergență stație modificată.

Conform ecuației de continuitate la *Mass Flow Rate* (debitul de masă), dacă soluția găsită de Fluent este bună și criteriile de convergență au fost atinse, atunci la Net vom avea o valoare cât mai apropiată de zero [13]. În tabelul 5 sunt prezentate rezultatele obținute în urma simulărilor celor două cazuri în care debitul de masă la net se află în ambele cazuri sub valoarea de zero, confirmând faptul că criteriile de convergență obținute de Fluent în urma simulărilor au fost atinse și că soluțiile sunt valide.

Tabelul 5. Raportul debitului de masă

Stație nemodificată	
Limită	Debitul de masă [kg/s]
<i>inlet_1</i>	326,452
<i>inlet_2</i>	29,677
<i>outlet</i>	-356,090
Net	-0,0398
Stație nemodificată	
Limită	Debitul de masă [kg/s]
<i>inlet_1</i>	326,452
<i>inlet_2</i>	29,677
<i>outlet 1</i>	-142,003
<i>outlet 2</i>	-214,133
Net	-0,0064

În urma simulărilor tip CFD figurile 8 și 9, se poate observa că pistonul de aer proiectat pe tunel prin inlet 1 urmează o direcție înainte spre stația de metrou, dar înainte de a pătrunde în stație, se produce o deviere parțială prin camera de expansiune. Viteza aerului în camera de expansiune, conform fig. 8, atinge o valoare maximă de 4,8 m/s.

Pistonul de aer care ajunge la intrarea în stație înregistrează o viteză de 8,8 m/s în prima simulare din figurile 8 și 9, iar în a doua simulare fig. 10 și 11 se produce o atenuare a intensității acestuia prin scăderea vitezei la 5,8 m/s. În a doua simulare unde camera de expansiune a fost mărită se poate observa că există o recirculare mai amplă a pistonului de aer în cele două camere de expansiune opuse ale stației,

figura 10 și 11. La nivelul stației de metrou se poate observa de asemenea o atenuare a vitezei aerului în conturul vitezei din figura 10 comparativ cu figura 9.

5. CONCLUZII

Conform datelor obținute în urma modelărilor și simulărilor CFD, se poate concluziona că există diferențe mari între cele două cazuri privind viteza și intensitatea pistonului de aer care pătrunde în stația de metrou prin inlet 1.

Se poate concluziona că schimbarea dimensiunii camerei de expansiune produce schimbări semnificative în ceea ce privește comportamentul pistonului de aer și implicit asupra efectului de piston creat de mișcarea trenurilor prin tunel. Prin schimbarea dimensiunilor camerelor de expansiune se produce o atenuare a efectului de piston și o creștere a gradului de confort oferit pasagerilor aflați în stațiile de metrou.

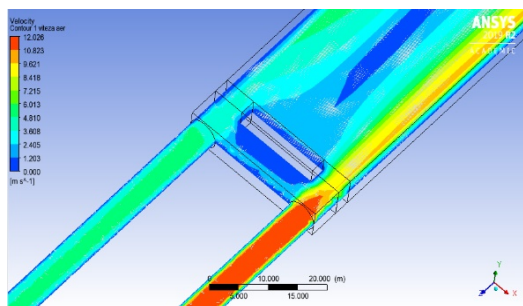


Fig. 8. Conturul vitezei aerului – cameră de expansiune nemodificată.

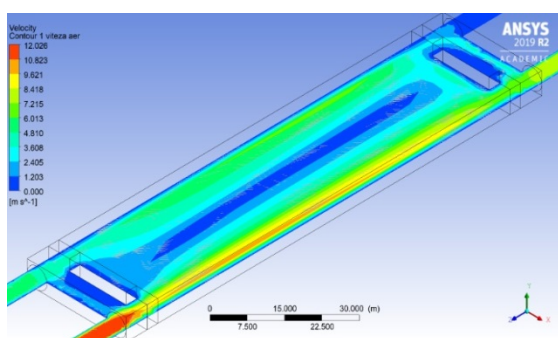


Fig. 9. Conturul vitezei aerului – cameră de expansiune nemodificată.

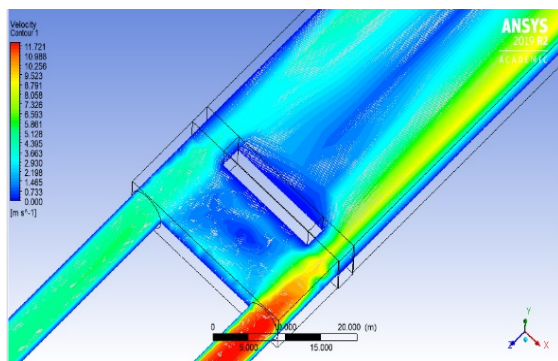


Fig. 10. Conturul vitezei aerului camera de expansiune modificată.

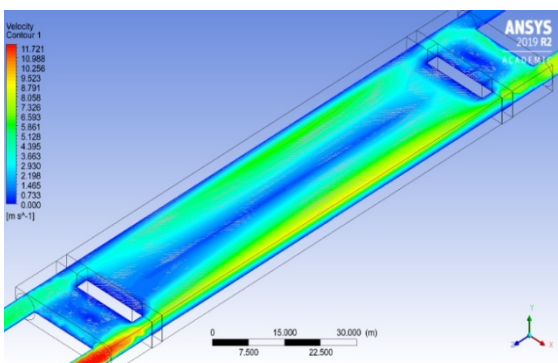


Fig. 11. Conturul vitezei aerului – stație metrou.

BIBLIOGRAFIE

- [1] *** Raportul de activitate 2017 al Metrorex S.A, pp.5, Avialbe: <http://www.metrorex.ro/Resurse/RaportActivitate/Raport%20de%20activitate-2017-RO.pdf>
- [2] Ghe. Udriște, A. *Aspecte privind microclima metroului bucureștean* (Aspects of the Bucharest subway microclimate), Revista Transporturilor și Telecomunicațiilor, no 10, 1988, pp. 166.
- [3] *** *Manual for the Design of Underground Communication Systems*, Vol. I., Manual for Designing the Environment of a Metro System, Principles and Applications, 1975, Washington, DC 20590, S.U.A.
- [4] Yang, H., *Numerical simulation of piston wind on platform air environment*, Journal of Beijing University of Civil Engineering and Architecture, no. 2, 2007, p. 8–13.
- [5] Zhang, L., Feng, J., Chow, T.T., Tsang, C.F., Lu, W.Z., *CFD analysis of ventilation effectiveness in a public transport interchange*. Building and Environment, no. 41, 2006, pp. 254–261.
- [6] Cascetta, P., Labruna, A., Palombo, A., *Numerical approach for air velocity predictions in front of exhaust flange slot openings*. Building and Environment, 2004, pp. 39, 9–18.
- [7] Li, J.S.M., Chow, W.K., *Numerical studies on performance evaluation of tunnel ventilation safety systems*. Tunnelling and Underground Space Technology, 2003, Vol. 18, no.5, pp. 435–452.
- [8] Robescu, Dan, Robescu, Diana, Verestoy, A., Lanyi, S., *Modelarea și simularea proceselor de epurare*, Ed. Tehnică, 2004, București, România.
- [9] Hâncu, S., Marin, G., *Hidraulică teoretică și aplicată*, Ed. Cartea Universitară, ISBN 978-973-731-477-2, 2007, București, pp. 17.
- [10] Launder, B.E., Spalding, D.B., *The numerical computation of turbulent flows: Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3 (2), March 1974, pp. 269–289
- [11] Wilcox, C., David, *Turbulence Modeling for CFD*, Second edition. Anaheim: DCW Industries, 1998, p. 174.
- [12] Launder, B.E., Sharma, B.I., *Application of the Energy Dissipation Model of Turbulence to the Calculation of Flow Near a Spinning Disc*, Letters in Heat and Mass Transfer, vol. 1, no. 2, 1974, pp. 131-138.
- [13] Bardina, J.E., Caleum Research Corporation, Moffett Field, California, Huang P.G., University of Kentucky, Lexington, Kentucky, Coakley, T.J., Ames Research Center, Moffett Field, California, *Turbulence Modeling Validation, Testing and*

INFLUENȚA GOMETRIEI CAMEREI DE EXPANSIUNE ASUPRA EFECTULUI DE PISTON DIN METROU

Development, NASA Technical Memorandum 110446, 1997, pp. 19. <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19970017828.pdf>

[14] *** Manual ANSYS 56, Available: <http://research.me.udel.edu/lwang/teaching/MEx81/ansys56manual.pdf>

Despre autor

Drd. Gabriel TUDOR

Facultatea de Energetică, Universitatea Politehnică din București

Absolvent al Facultății de Științe Politice, Universitatea Dimitrie Cantemir, diplomă de licență în domeniul sociologiei, absolvent al studiilor de master din cadrul Facultății de Energetică, Universitatea Politehnică din București.