



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2015

MODELUL MATEMATIC SIMPLIFICAT PENTRU VERIFICAREA DIMENSIONĂRII DESCHIDERILOR PENTRU EVACUARE A FUMULUI ÎN CAZ DE INCENDIU

Oleg SUSAN, Constantin ȚULEANU, Iolanda - Roxana BĂDULEȚ,
Valeriu Nicolae PANAITESCU

THE SIMPLIFIED MATHEMATICAL MODEL TO VERIFY DIMENSIONING OF THE OPENINGS FOR SMOKE EVACUATION IN CASE OF FIRE

This article derives engineering equations used to calculate pressure differences across vents, as well as equations for calculating the mass flow of gases out through the vent, for several common enclosure fire scenarios. This gives information on the mass and energy balance and therefore allows calculation of such environmental consequences as hot gas temperature and smoke layer height.

Keywords: fire, smoke, ventilation, smoke vents

Cuvinte cheie: incendiu, fum, ventilare, trape de fum

1. Introducere

Curgerea gazelor printr-o incintă ce conține un focar este dependentă de diferența de presiune între spațiul incendiat și exterior. Cuantificarea diferențelor de presiune are, așadar, o importanță fundamentală.

Principala cauza ce determină mișcarea (curgerea) fumului într-un spațiu incendiat o reprezintă diferența de presiune datorită efectului

de plutire a gazelor fierbinți, sau, altfel spus, datorită diferenței de densitate create între gazele fierbinți și gazele reci.

Această cauză are, deci, o bază solidă în ingineria termo-hidraulică. Astfel, aplicându-se principalele principii a ingineriei hidraulice și termice în diverse cazuri de incendiu din spații închise cu goluri de ventilare, au fost deduse o serie de relații matematice utilizate pentru dimensionarea sistemelor de ventilare în caz de incendiu [1].

În ingineria securității la incendiu a construcțiilor scopul principal pentru dimensionarea corespunzătoare a deschiderilor necesare pentru evacuarea fumului provenit din incendii este pentru a crea un raport optim între suprafețele golurile pentru evacuarea fumului și cele pentru admisia aerului proaspăt, astfel încât să se asigure un start inferior mai puțin contaminat cu fum în raport cu stratul superior cu fum. Creșterea sau descreșterea stratului superior cu fum are efecte directe asupra dezvoltării incendiului prin fluxul de aer și radiația termică, iar stratul inferior este important pentru asigurarea condițiilor minime de siguranță pentru evacuarea utilizatorilor și accesul echipelor de intervenție [2].

Cazurile cele mai uzuale aplicate în scenariile de incendii pentru securitatea construcțiilor în caz de incendiu o reprezintă cele în care golurile de ventilare o reprezintă ușile și ferestrele pentru admisia aerului proaspăt și trapele de fum pentru evacuarea fumului și gazelor fierbinți.

Relațiile simplificate prezentate în continuare pot fi utilizate pentru verificarea, prin aproximare, a datelor rezultate din relațiile complexe utilizate în prezent pentru dimensionarea deschiderilor necesare pentru evacuarea fumului și gazelor fierbinți în caz de incendiu și, de asemenea, pot fi utilizate în unele cazuri și pentru evaluarea dezvoltării unui incendiu în etapele de cercetare a cauzelor de incendiu.

2. Expresii matematice simplificate

La baza modelului matematic simplificat sunt formele simplificate ale conservării masei, momentului și energiei.

Conservarea masei într-un spațiu incendiat presupune că prin toate golurile de ventilare, în stare de echilibru, debitele maselor care intră și care ies din compartiment sunt egale

$$\rho \cdot v \cdot S = \text{const} , \quad (1)$$

unde: ρ este densitatea fluidului gazos, v este viteza gazelor, iar S suprafața prin care trece fluxul gazos.

Conservarea energiei mecanice (energia cinetică și de plutire).

$$\rho \cdot \frac{v^2}{2} + \Delta p = const, \quad (2)$$

unde: Δp este presiune gazelor în stratul de fum.

În final, prin evacuarea superioară căldura transferată în exteriorul compartimentului este

$$Q_c = m_o \cdot c_p \cdot (T - T_a) + q_p, \quad (3)$$

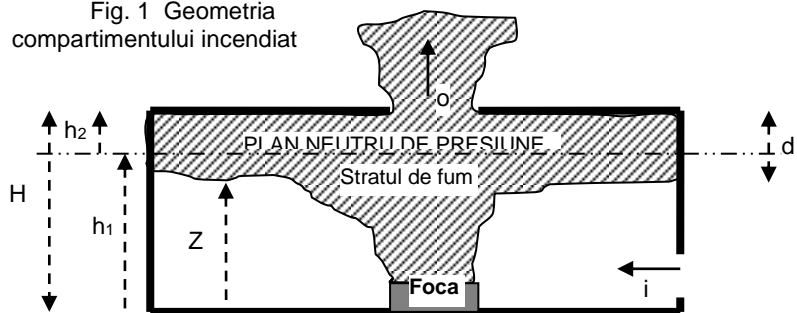
unde: Q_c este fluxul de căldură transferată de la focar prin convecție stratului de fum, m_o este debitul masic prin deschiderea de ventilare, c_p este căldura specifică a aerului la presiune constantă, T - temperatura din stratul de fum, T_a - temperatura absolută a aerului, iar q_p este pierderea de căldură prin conducție sau radiație în exterior.

Ecuatiile 1, 2 și 3 reprezintă formele simplificate ale conservării masei, momentului și energiei.

3. Modelul matematic

În figura 1 este reprezentat fenomenul evacuării naturale a fumului conform abordării modelului pe zone, cu scopul de a realiza un calcul discret și pentru a face ecuațiile mai simplu de rezolvat manual.

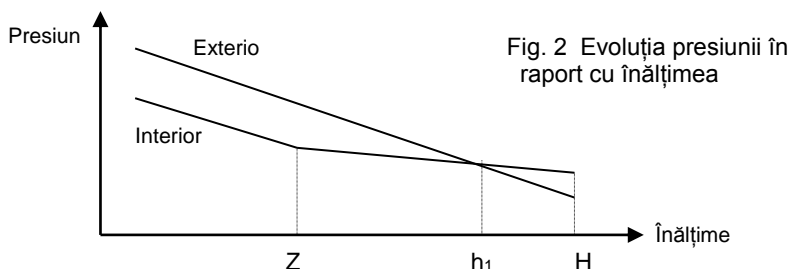
Fig. 1 Geometria compartimentului incendiat



Dependența presiunii din exteriorul și interiorul compartimentului în raport cu înălțimea este redată în figura 2. În calculul sistemului de evacuare naturală a fumului, debitul masic de fum ce trebuie evacuat depinde de diferența de presiune dintre interior și exterior la nivelul poziției deschiderilor, care creează o viteză de evacuare exprimat prin relația:

$$\Delta P_o = \Delta \rho \cdot g \cdot h_2, \quad (4)$$

unde: ΔP_o este diferența de presiune dintre interior și exterior, $\Delta\rho$ reprezintă variația densității între densitatea ambientului ρ_a și densitatea gazelor ρ din stratul de fum, g este accelerația gravitațională, iar h_2 este înălțimea tavanului față de planul neutru de presiune (PNP).



Cum poziția planului neutru de presiune nu este încă cunoscută, conform teoriei lui Bjorn Karlsoon și Jamers G. Quintiere [3] este mai bine să se exprime această diferență de presiune prin stratul de fum în funcție de diferența de presiune prin deschiderea de la intrare, astfel:

$$\Delta P_o = \Delta\rho \cdot g \cdot d - \Delta P_i, \quad (5)$$

unde: d este grosimea stratului de fum, iar ΔP_i reprezintă diferența de presiune prin deschiderea inferioară.

Debitul masic de fum prin golul de evacuare va fi:

$$m_o = C_v A_v \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (\Delta\rho \cdot g \cdot d - \Delta P_i)}, \quad (6)$$

unde: $C_v A_v$ este aria liberă aerodinamică a ventilatoarelor, A fiind suprafața geometrică a golului, iar C_v coeficient de performanță și d este grosimea stratului de fum.

Căderea de presiune prin intrare în stratul de fum este

$$\Delta P_i = \Delta\rho \cdot g \cdot (h_1 - Z), \quad (7)$$

unde: Z este înălțimea până la baza stratului de fum, iar h_2 este înălțimea planului neutru de presiune.

Debitul masic de aer care intră este reprezentat prin relația

$$m_l = \rho_a \cdot C_i A_i \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho_a} \cdot g \cdot (h_1 - Z)}, \quad (8)$$

unde: m_l este debitul masic de aer care intră în compartimentul incendiat, $C_i A_i$ este aria liberă aerodinamică la admisie, iar ρ_a este densitatea ambientului.

Mărimea h_1 este de asemenea necunoscută, dar pornind de la considerația că debitul masic care intră este egal cu debitul masic care iese din compartimentul incendiat, în regim staționar, se obține:

$$h_1 = \frac{(C_i A_i)^2 \cdot \rho_a \cdot Z + (C_v A_v)^2 \cdot \rho \cdot H}{(C_i A_i)^2 \cdot \rho_a + (C_v A_v)^2 \cdot \rho} \quad (9)$$

Astfel debitul masic al fumului prin evacuare va avea relația:

$$m_o = C_v A_v \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_a \cdot d \cdot g \cdot \Delta T}{\frac{\rho_a}{\rho} + \left(\frac{C_v A_v}{C_i A_i}\right)^2}} \quad (10)$$

Împreună cu relațiile specifice legii gazului ideal:

$$\rho \cdot T = \rho_a \cdot T_a \quad (11)$$

obținem:

$$m_o = \frac{C_v A_v \cdot \rho_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d \cdot \Delta T \cdot T_a}}{\sqrt{T \cdot \left(T + \left(\frac{C_v A_v}{C_i A_i}\right)^2 \cdot T_a\right)}} \quad (12)$$

În ecuația de mai sus sunt două necunoscute, d – grosimea stratului de fum [m] și T – temperatura din stratul de fum [K], sau creșterea de temperatură din acesta, $\Delta T = T - T_a$ [K sau °C].

În practică grosimea stratului de fum cel mai des este un criteriu de proiectare (ca exemplu, înălțimea stratului de fum trebuie să fie peste 2 m față de pardoseala incintei), iar creșterea medie de temperatura este considerată de 300 °C, având în vedere că peste această temperatură incendiul poate fi scăpat de sub control, iar sub această temperatură nu se formează cele două straturi [4], astfel inginerul trebuie să furnizeze date despre mărimea deschiderilor din tavan pentru satisfacerea criteriilor cerute.

Pentru propunerile de proiect, debitul masic cerut este cel mai des corelat cu debitul masic din pana de fum ce se ridică la o înălțime de siguranță, Z . Când debitul masic este cunoscut, este obligatoriu să se găsească mărimea deschiderii.

4. Concluzii

În mod special, aceste calcule simplificate au stat la baza experimentelor care au dat naștere la o serie de formule empirice foarte necesare în dimensionarea ventilatoarelor de evacuare a fumului din

diverse structuri. Calcule prezentate în acest articol pot fi un instrument foarte util inginerilor cu securitatea la incendiu pentru dimensionarea ventilatoarelor de evacuare a fumului și gazelor fierbinți, deoarece acestea se pot rezolva și manual. Totuși, aceste relații presupun o serie de limitări cum ar fi:

- metoda este aplicată pentru faze de creștere a incendiului; energia produsă din ardere trebuie cunoscută;
- se asumă condițiile pentru un strat staționar, altfel spus, temperatura gazelor constantă; condițiile sunt, oricum, temporare;
- efectele vântului nu sunt luate aici în calcul.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Susan, O., *Contribuții privind evacuarea fumului din clădiri incendiate*, Teză de doctorat, Universitatea Politehnică din București, Universitatea Tehnică a Moldovei din Chișinău, București, decembrie 2010.
- [2] Susan, O., Țuleanu, C., Panaitescu, V.N., *The functional algorithm of ventilation systems for evacuating the smoke and hot gases out of a multistory building on fire*, University "Politehnica" of Bucharest, Scientific Bulletin, Series D, vol. 71, no. 4, pp. 173-182, 2009.
- [3] Karlsson, B., Quintiere, J.G., *Enclosure Fire Dynamics book*, CRC PRES LLC, 2000.
- [4] Susan, O., Popa, C., Panaitescu, V. N., Țuleanu, C., *Experimental research on the formation of hot smoke and gases in a burning enclosure and on their flow through the ventilation openings*, University "Politehnica" of Bucharest, Scientific Bulletin, Series D, vol. 73, iss. 3, pp. 227- 238, 2011.

Dr. Ing. Oleg SUSAN

ofițer specialist Avizare-Autorizare,

Inspectoratul pentru Situații de Urgență al județului Galați,

membru AGIR, e-mail: susan_oleg@yahoo.com

Conf. Dr. Ing. Constantin ȚULEANU

șef catedră Alimentații cu Căldură și Gaze, Ventilație, Universitatea Tehnică a

Republicii Moldova din Chișinău, e-mail: ctuleanu@mail.ru

Iolanda - Roxana BĂDULEȚ

profesor matematică Liceul Tehnologic "Ghenuță Coman", județul Vaslui,

e-mail: badurox@yahoo.com

Prof. emerit Dr. Ing. Valeriu Nicolae PANAITESCU

Departamentul de Hidraulică, Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului,

Universitatea "Politehnica" din București, membru AGIR,

e-mail: valeriu.panaitescu@yahoo.com.