

Simularea incendiilor prin utilizarea a trei metode diferite de introducerea fluxului de căldură (HRR-Heat Release Rate)

Fire simulation by using three methods of introducing HRR (Heat Release Rate).

Marius Dorin Lulea¹, Vlad Iordache², Ilinca Năstase³

Centrul de cercetare CAMBI

Bulevardul Pache Protopopescu, nr. 66, București, România

¹E-mail: luleamariusdorin@gmail.com

²E-mail: viordach@yahoo.com

³E-mail: ilinca.nastase@gmail.com

Rezumat. *Prezentul articol își propune să analizeze modelarea incendiilor prin trei posibile metode de introducerea a fluxului de căldură (HRR- Heat Release Rate): constant sau cu creștere și descreștere liniară sau exponențială. În toate cazurile cantitatea totală de energie introdusă este aceeași. Analiza comparativă a celor trei ne-a oferit informații cu privire la efectul metodei utilizate pentru modelarea incendiilor. Urmărind cum evoluează temperatura într-un punct s-a concluzionat că rezultatele sunt sensibil diferite. Cele trei tipuri de sursă duc la temperaturi maxime diferite, duc la temperaturi medii diferite dar și timpi diferiți de apariție a unor temperaturi la care corpul uman este afectat.*

Cuvinte cheie: flux de căldură, modelarea incendiilor, sursă de incendiu, sursă de foc

Abstract. *This article aims to analyze the modeling of fires by three possible methods of introducing HRR (Heat Release Rate): constant or with linear or exponential growth and decrease. In all cases the total amount of energy introduced is the same. The comparative analysis of the three methods give us information about the effect of the method we used for modeling fires. Watching how the temperature evolve to one point we concluded that the results are quite different. The three types of source lead to different maximum temperatures, lead to different average temperatures but also different times of appearance of temperatures to which the human body is irreparably affected.*

Key words: Heat Release Rate, fire modeling, CFD

1. Introducere

Modelarea incendiilor reprezintă la acest moment un subiect important și de actualitate în proiectarea construcțiilor la cerința fundamentală securitate la incendiu

[1]. Riscul dat de către incendiu, prin numărul mare de victime și pagubele materiale rezultate, depășește orice alt risc în ceea ce privește securitatea și siguranța construcțiilor, inclusiv pe cel dat de seism. Prin modelarea cât mai corectă a incendiilor se urmărește îndeplinirea cerințelor impuse de legislația în domeniu cu privire la salvarea utilizatorilor[2].

Trei metode diferite sunt utilizate cu precădere la acest moment:

- un model matematic simplificat în care se consideră spațiul analizat ca fiind unitar și în care principalul parametru luat în considerare este temperatura interioară, aceeași în orice punct al clădirii la un moment dat, dar cu variație în funcție de timp[3];
- metodele zonale care fac un pas în față și împart spațiul în două zone, cea superioară(mai caldă) și cea inferioară(mai rece), temperatura în fiecare punct din acel spațiu fiind aceeași la un moment dat, dar cu variație în funcție de timp[4];
- modelele de câmp și care duc modelarea incendiilor cât mai aproape de realitate și care presupun soluționarea unor ecuații fizice și chimice în fiecare celulă a spațiului analizat; principalul dezavantaj al acestei metode îl reprezintă lipsa la moment a tehnicii necesare soluționării operative a acestor ecuații[5] însă evoluția din ultima perioadă arată că aceasta este direcția de modelare a incendiilor.

Metodele matematice simplificate regăsite la acest moment în reglementările tehnice din România sunt:

- sarcina termică și ce caracterizează un spațiu analizat prin energia rezultată prin arderea completă a materialelor combustibile din acesl spațiu, determinată conform SR 10 903-2[6]:

$$S_Q = \sum_{i=1}^n Q_i M_i \quad [\text{MJ}] \quad (1)$$

unde M_i [kg] este masa materialelor combustibile de același fel aflate în spațiul luat în considerare ; n [-] este numărul de materiale de același fel si Q_i [MJ/kg] sau [MJ/m³N] este puterea calorifică inferioară a unui material.

- curba de variație a temperaturii aerului pentru incendiul standard conform SR EN 1991-1-2[3];

$$\theta = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (2)$$

unde θ [°C] este temperatura interioară în oricare punct din spațiul incendiat la timpul „ t ” exprimat în [minute](Fig. 1).

Simularea prin metode complexe de tip C.F.D. presupune modelarea incendiului prin introducerea în spațiul analizat a unei anumite cantități de energie(căldură) la un moment dat[7]. Există trei metode uzuale de introducere a surselor:

- Sursa tip 1: o valoare constantă în timp a cantității de căldură introduse;
- Sursă tip 2: o variație liniară de la zero la o valoare maximă a cantității de căldură introduse, apoi un flux constant de căldură urmat de o scădere tot liniară;
- Sursă tip 3: la începutul si la sfarsitul perioadei de ardere avem o variație exponențială în locul celei lineare [8].

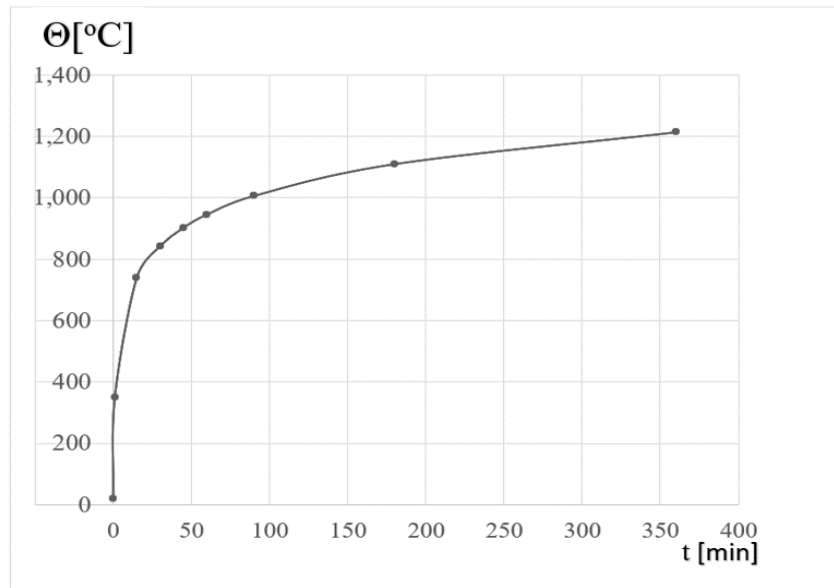


Fig. 1. Curba de variație a temperaturii aerului pentru incendiul standard conform SR EN 1991-1-2

Cantitatea totală de energie ce se introduce în spațiul analizat în toate cazurile trebuie să fie aceeași, respectiv cea rezultată din arderea completă a tuturor materialelor combustibile din interior.

Se pune întrebarea firească: utilizarea a două metode diferite duce la rezultate semnificativ diferite?

2. Modelarea și simularea numerică a incendiului.

În acest capitol vom descrie modelul fizic analizat, situația inițială și condițiile la limită, parametrii ce se vor urmări pentru a se putea trage concluzii cu privire la diferențele rezultate prin utilizarea celor trei metode.

În acest sens se va utiliza un program software ce folosește o metodă C.F.D., respectiv F.D.S.(Fire Dynamic Simulator). Acest software rezolvă numeric o formă particulată a ecuațiilor Navier-Stokes pentru viteze mici de circulație a aerului, cu transport de căldură și fum[9].

Spațiul supus analizei îl reprezintă o cameră cu dimensiunile interioare de 3,00m x 6,00m x 3,00m (Fig. 2). Pe latura [ADD'A'] la partea superioară s-a amplasat un gol de evacuare aer viciat cu dimensiunile de 0,20m x 0,20m. Pe latura opusă, [BCC'B'], s-a amplasat la partea inferioară o fantă pentru aportul de aer de compensare. Spațiul de analiză depășește conturul camerei fiind de 3,80m x 6,80m x 3,80m. Acesta este împărțit în celule cu dimensiuni egale de 20cmx20cm, dispuse pe două direcții ortogonale.

Determinarea temperaturilor se va face într-un punct S_1 de coordonate [1.50, 2.40, 2.70] iar determinarea vitezelor aerului viciat evacuat în centrul grilei de evacuare S_2 de coordonate [1.50, 0.00, 2.70].

În cazul unui incendiu în mod simplificat se poate considera că există următoarele patru faze importante[9]:

- faza de inițiere,
- faza de creștere,
- faza de incendiere totală,
- fază de scădere(Fig. 3).

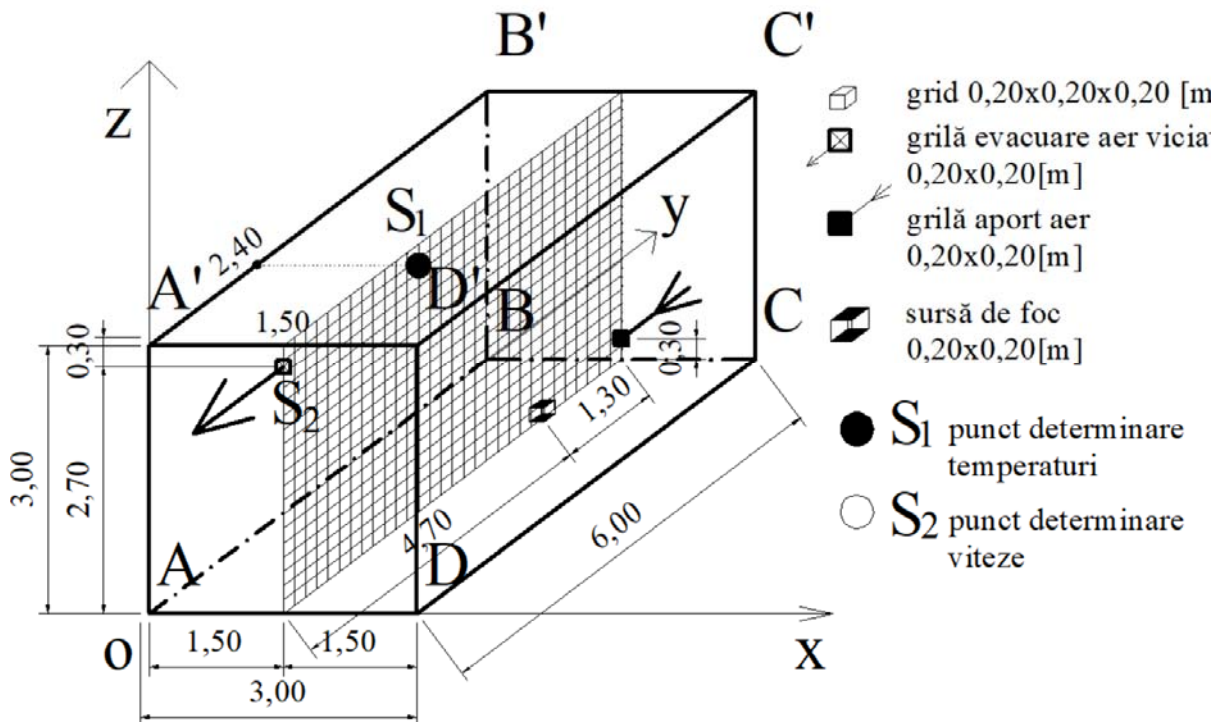


Fig. 2. Model 3D al spațiului supus analizei

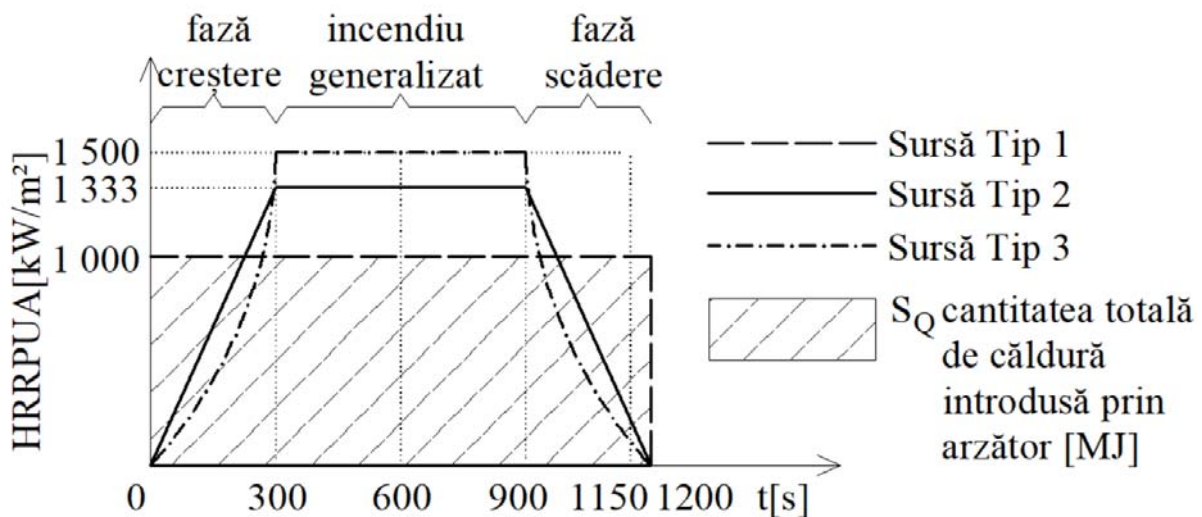


Fig. 3. Cele trei metode de modelare a incendiului cu ajutorul HRRPUA

Sursa de foc are dimensiunile de 0,20mx0,20m și este amplasată în punctul de coordonate-[1.50, 4.70, 0.20].

Simularea incendiilor prin utilizarea a trei metode de introducere a HRR(Heat Release Rate)

Incendiul în toate cazurile se va modela prin prezența unei surse de căldură care începe să acționeze la timpul $t_0=0s$ și se oprește la momentul $t_f=1200s$. Deși cantitatea totală de energie(căldură) introdusă în sistem este aceeași în toate cazurile, ceea ce diferă este funcția care definește introducerea ei în cameră.

Sursă Tip 1: se introduce o valoare constantă de 1000 kW/m^2 (de arzător) printr-un arzător cu dimensiunea de $0,20m \times 0,20m$.

Sursă Tip 2: ține cont în mod simplificat de faptul că incendiul are o perioadă de inițiere în care cantitatea de energie este mai mică, considerându-se o creștere liniară, apoi are loc incendiul propriu-zis în care se consideră o valoare constantă maximă și apoi faza de stingere, în care pe fondul consumului combustibilului din încăpere are loc o scădere liniară a cantității de energie introduse. Pentru simplificare se consideră că rata de creștere este egală cu rata de scădere.

Sursă Tip 3: se aplică aceleași principii ca și la sursa precedentă cu diferența că avem o creștere și ulterior o scădere exponențială a fluxului de căldură.

Temperatura inițială în orice punct din încăpere este de 20°C iar viteza aerului este de 0°C . Întotdeauna pe conturul camerei viteza de circulația a aerului va fi zero, mai puțin în zona golurilor de introducere a aerului de compensare și de evacuare a aerului viciat. Aerul nou introdus ca urmare a schimbului natural desfășurat în perioada incendiului intră în cameră la temperatura de 20°C . Circulația aerului este una naturală și nu mecanică, deci debitul de aer introdus și evacuat nu este unul controlat.

3. Rezultate

În cadrul prezentului capitol vom identifica modul în care cei doi parametri, temperatură și viteza de evacuare a aerului, sunt influențați de către metoda de introducere în cele două puncte de control. S-au reținut grafic diagramele de temperaturi (Fig. 4., Fig. 5., Fig. 6.) în planul $z=1,50m$ la momentele $t_1=600s$ (momentul în care fluxul de căldură este maxim în toate variantele) și $t_2= 1150s$ (aproape de faza de stingere).

În Fig. 4. se poate vedea că pentru Tipul 1 de sursă, adică sursă constantă de căldură, aceasta menține temperaturi ridicate și constante pe toată durata incendiului o dată ce acestea au atins o anumită valoare.

În Fig. 5. și Fig. 6 se poate vedea că pentru Tipurile 2 și 3 de sursă, adică sursă cu creștere și descreștere liniară sau exponențială, temperaturile interioare scad o dată cu scăderea spre zero a fluxului de căldură. Temperaturile în perioada de incendiere generalizată sunt maxime și urmează curba de evoluție a fluxului de căldură.

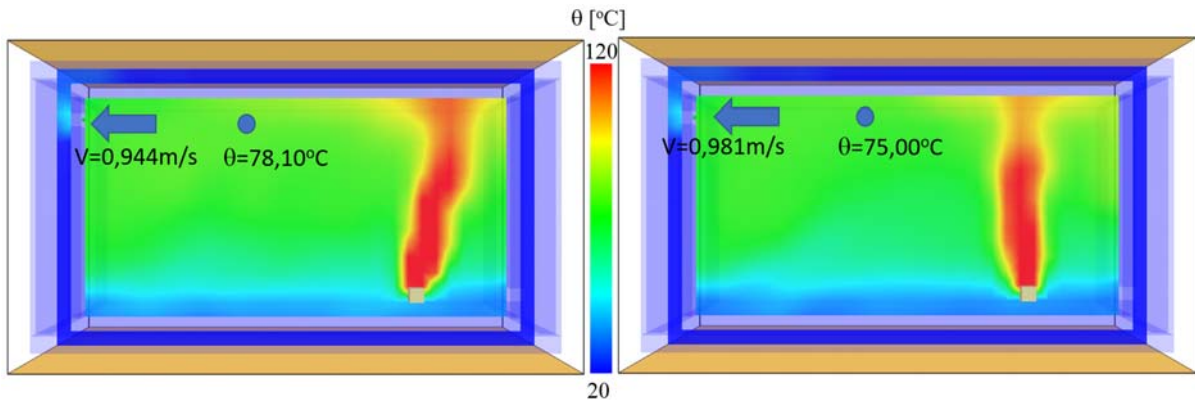


Fig. 4. Sursa Tip 1. Graficul temperaturilor la momentul $t_1=600s$ (stânga) și la momentul $t_2=1150s$ (dreapta)

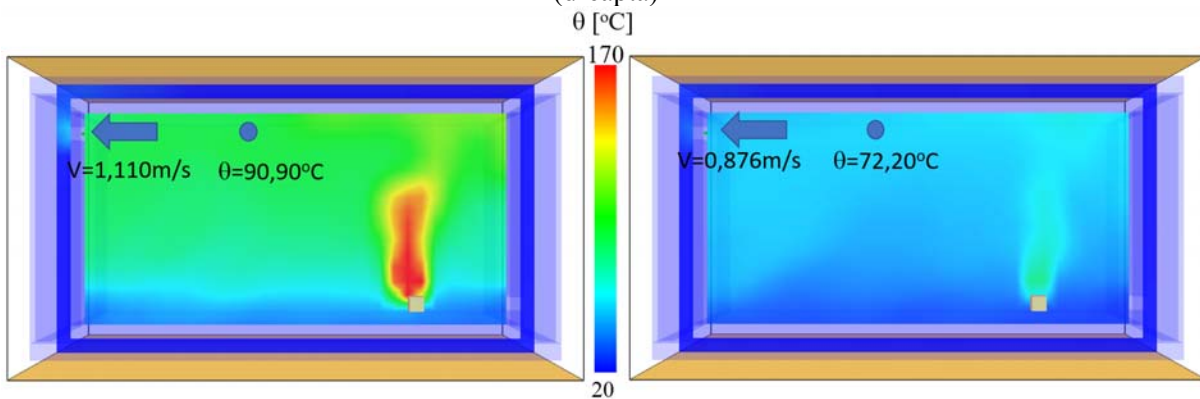


Fig. 5. Sursa Tip 2. Graficul temperaturilor la momentul $t_1=600s$ (stânga) și la momentul $t_2=1150s$ (dreapta)

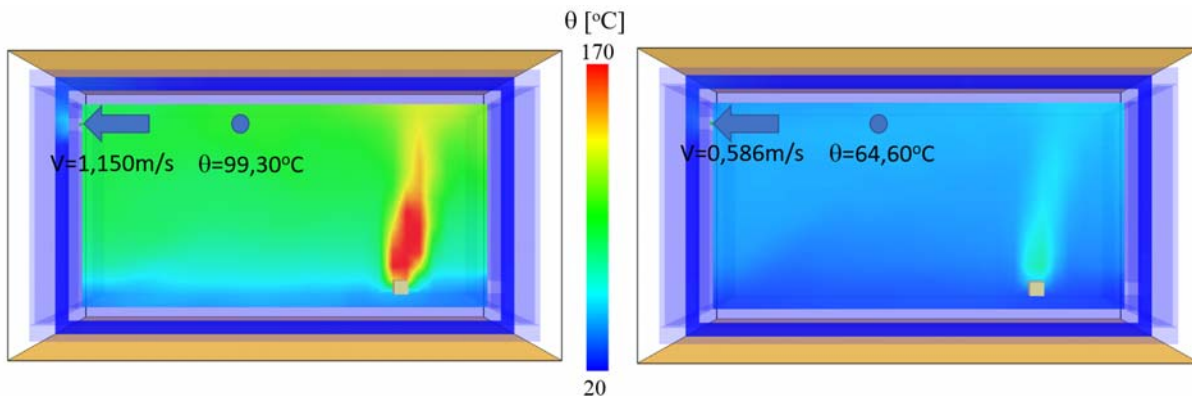


Fig. 6. Sursa Tip 3. Graficul temperaturilor la momentul $t_1=600s$ (stânga) și la momentul $t_2=1150s$ (dreapta)

Temperaturile interioare în punctul S_1 urmăresc funcția de introducere a fluxului de căldură: sunt maxime în perioada în care fluxul de căldură este maxim și scad pe măsură ce fluxul de căldură scade(Fig. 7.). Se poate observa că la un moment dat are loc o stabilizare a temperaturilor deși sursa de căldură există în continuare. Acest lucru se poate explica prin faptul că aceasta este utilizată exclusiv încălzirii aerului de compensare de la temperatura de $20^{\circ}C$ la temperatura interioară existentă la un moment(apare un tiraj între două fante și care aduce aer proaspăt și evacuează aer cald).

Simularea incendiilor prin utilizarea a trei metode de introducere a HRR(Heat Release Rate)

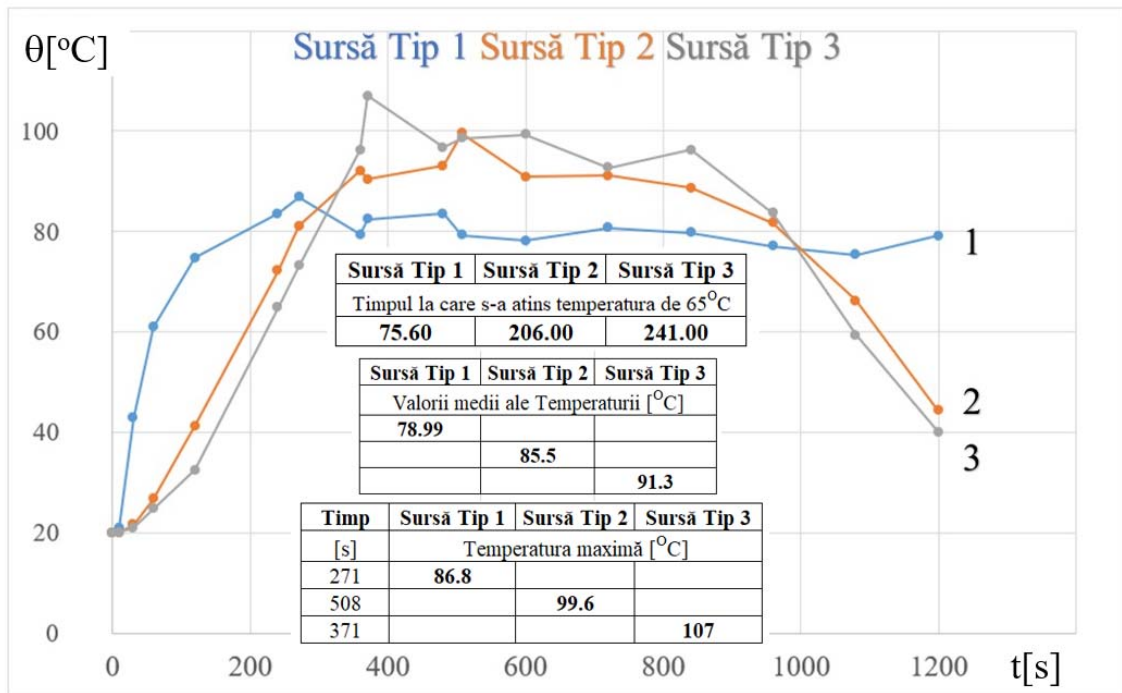


Fig. 7. Variația temperaturilor în timp în punctul S₁.

Din Fig. 8. se poate observa și că viteza de evacuare a aerului are aceeași alură cu cea de temperaturi: urmărește funcția de variație a fluxului de căldură. Cu cât fluxul este mai mare cu atât se intensifică tirajul și crește viteza aerului evacuat. Și de această dată se poate observa o stabilizare a vitezei de evacuare, fapt corelat și cu stabilizarea temperaturilor interioare.

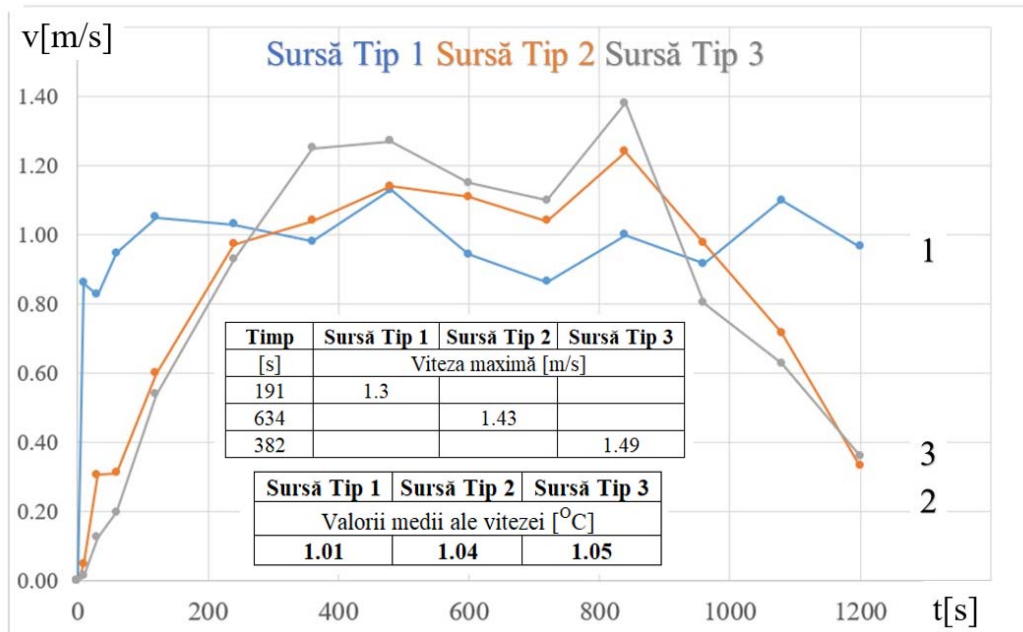


Fig. 8. Variația vitezei aerului evacuat în timp în punctul S₂.

4. Concluzii

În urma cercetării realizate se poate concluziona că prezintă importanță metoda, modul în care se modelează incendiul și funcția după care se introduce fluxul de căldură(HRRPUA- Heat Release Rate per Unit Area).

Temperatura maximă obținută prin utilizarea Sursei de Tip 2 este cu 14,75% mai mare decât în cazul Sursei de Tip 1, iar prin utilizarea Sursei de Tip 3(cea mai ridicată temperatură înregistrată) este cu 23,24% mai mare decât în cazul Sursei de Tip 1.

$$T_{max1} < T_{max2} < T_{max3} \quad (3)$$

În cazul vitezei aerului evacuat diferențele nu sunt notabile, impactul fiind mai redus.

La o temperatură exterioară de 65°C omul poate supraviețui o perioadă scurtă de timp, când temperatura urcă la 120°C se vor produce daune irecuperabile, iar la 180°C corpul uman poate arde. Din datele de mai sus se poate constata că la Sursa de Tip 1 se atinge mult mai repede această temperatură fapt care indică cum că aceasta prezintă un grad mai ridicat de siguranță pentru utilizator decât celelalte 2 metode(în 75,6s, aproape o treime din timpul necesar atingerii acestei temperaturile pentru celelalte două modele: 206,0s și 241,0s). Ori în securitatea la incendiu timpii de evacuare sunt de ordinul zecilor de secunde(spre exemplu: 50 de secunde pentru cele mai sigure construcții destinate elevilor)[11].

Însă o altă concluzie ce se poate trage prin compararea alurei graficelor de temperaturi rezultate și cea din SR EN 1991-1-2[3], este că totuși că Sura de Tip 1 de modelare este cea mai apropiată ca și reprezentare de graficul de evoluție al temperaturilor interioare în funcție doar timp.

În cadrul acestui studiu s-a analizat influența doar asupra a doi parametri dar este de analizat și modul în care alți parametri sunt afectați cum ar fi concentrația de oxigen din aer, concentrația de noxe, vizibilitatea, factori ce au o influență deosebită asupra utilizatorilor și care pot îngreuna evacuarea și salvarea acestora.

Mulțumiri: domnului Ion Anghel, cadru universitar în cadrul Facultății de Pompieri, Academia de Poliția „A.I. Cuza” și lui Florin Bode, cadru universitar în cadrul Facultății de Inginerie a Instalațiilor pentru ajutorul oferit în înțelegerea modelării incendiilor prin utilizarea softului F.D.S..

Referințe

- [1] Legea 10/1995 privind Calitatea în Construcții, modificată și completată, 1995.
- [2] Legea 307/2006 privind Apărarea împotriva incendiilor, modificată și completată, 2006.
- [3] ***, SR EN 1991-1-2, Acțiuni asupra construcțiilor. Acțiuni generale- Acțiuni asupra structurilor expuse la foc, 2004
- [4] Hurley, M.J., Gottuk, D.T., Hall Jr., J.R., Harada, K., Kuligowski, E.D., Puchovsky, M., Torero, J.L., Watts Jr., J.M., Wieczorek, C.J. (Eds.), SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, SFPE, S.U.A., 2016
- [5] F. Bode, P. Ungureșan, “Combustie și Instalații de Ardere”, UTPRESS, Cluj, 2014.
- [6] SR 10903-2, „Măsuri de protecție contra incendiilor. Determinarea sarcinii termice în construcții.”, ASRO, 2016
- [7] Z.-C. Grigoraș, D. Diaconu-Șotropa, “Establishing the design fire parameters for building”, Buletinul Institutului Politehnic Din Iași, 2013
- [8] B., G., Brănișteanu-Albulescu, Studiul prevenirii și stingerii incendiilor prin cunoașterea caracteristicilor de declanșare, evoluție și funcționare a mijloacelor de stingere, Universitatea Politehnică Timișoara, 2018
- [9] L. Staffansson, Selecting design fires. Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University, 2010.
- [10] K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk, K. Overholt, Fire Dynamics Simulator. User’s Guide, 2017.
- [11] P118/1999 “Normativ de siguranță la foc a construcțiilor”, 1999