

REZUMAT TEZĂ

Prezentată în fața

UNIVERSITĂȚII TEHNICE DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI

Pentru obținerea

GRADULUI DE DOCTOR

Specializarea: inginerie civilă și instalații

De către

LULEA MARIUS DORIN

CERCETĂRI PRIVIND INTERACȚIUNEA SISTEMELOR DE PROTECȚIE ACTIVĂ LA INCENDIU A CLĂDIRILOR

Susținută în data de 27.09.2021

Membrii Juriului

Președinte	Prof. univ. dr. ing. Andrei Mugur GEORGESCU	Universitatea Tehnică de Construcții București
Conducător de doctorat	1.Prof. univ. em. dr. ing. Vlad IORDACHE	Universitatea Tehnică de Construcții București
	2.Conf. univ. dr. ing. Ilinca NĂSTASE	Universitatea Tehnică de Construcții București
Referenți oficiali	Conf. univ. dr. ing. ing. Florin BODE	Universitatea Tehnică Cluj-Napoca
	Conf. univ. dr. Ion ANGHEL	Academia de Poliție “Alexandru Ioan Cuza”
	Conf. univ. dr. Cătălin TEODOSIU	Universitatea Tehnică de Construcții București

CUPRINS

CERCETĂRI PRIVIND INTERACȚIUNEA SISTEMELOR DE PROTECȚIE ACTIVĂ LA INCENDIU A CLĂDIRILOR.....	1
CUPRINS.....	3
1. INTRODUCERE	5
2. STUDIU EXPERIMENTAL	6
3. DETERMINAREA MODELULUI NUMERIC.....	11
4. SIMULARE ȘI REZULTATE	15
5. CONCLUZII	27

1. INTRODUCERE

Prezenta teză de cercetare se referă la două dintre componentele care au un rol fundamental în asigurarea cerinței fundamentale securitatea la incendiu: instalațiile de ventilare mecanică pentru evacuarea fumului și aerului fierbinte încărcat cu poluanți și cele utilizate pentru stingerea automată a incendiilor cu apă, în cazul de față instalațiile de tip sprinkler.

Pentru a putea afla o parte din răspunsurile la aceste întrebări prezenta cercetare a cuprins două componente principale: studiul experimental și studiul numeric.

În timpul unui incendiu principalele atribute ale securității la incendiu a construcțiilor, în ordinea importanței lor, sunt următoarele: salvarea utilizatorilor construcțiilor, împiedicarea prăbușirii construcțiilor, protejarea personalului de intervenție (pompiierilor), împiedicarea propagării incendiului în interiorul construcției precum și către alte construcții alăturate, salvarea bunurilor și reducerea pagubelor materiale.

Obiectul principal al prezentei cercetări îl reprezintă stabilirea modului în care instalația de ventilare mecanică utilizată pentru evacuarea aerului fierbinte încărcat cu noxe și fum afectează prin funcționarea ei timpii de declanșare a instalațiilor de stingere automată cu apă de tip sprinkler.

Instalațiile automate de stingere cu apă de tip sprinkler reprezintă un ansamblu ce folosește apa pentru limitarea și stingerea unui incendiu.

Ventilarea unui spațiu în timpul acțiunii unui incendiu este foarte importantă deoarece duce la evacuarea aerului fierbinte, reduce cantitatea de noxe, asigură o concentrația potrivită de oxigen și elimină fumul asigurând o bună vizibilitate.

În literatura tehnică și științifică de specialitate la momentul de față trei tipuri de modele sunt cele mai utilizate: modele matematice simplificate, modele zonale, modele complex de câmp CFD (computational fluid dynamics).

Studiile în domeniul securității la incendiu și a modelării acțiunii incendiului asupra unei construcții se axează pe două direcții principale: studii experimentale și studii numerice, sau o combinație a acestora. Studiile experimentale sunt realizate fie la scară reală, fie la o scară redusă. Studiile numerice se realizează la scară reală. Concluzia cercetării bibliografice este aceea că în marea majoritate a cazurilor studiarea incendiului se face prin utilizarea modelelor matematice datorită gradului mai mare de accesibilitate.

2. STUDIU EXPERIMENTAL

Studiul experimental a constat în utilizarea unui stand pentru a realiza simularea unor incendii la scară reală. Standul experimental reprezintă o construcție prefabricată de tip container. Aceasta este amplasată în curtea Facultății de Inginerie a Instalațiilor, pe strada Pache Protopopescu, nr. 66, București.

Standul are dimensiunile interioare de $B \times L \times H$: $3 \times 6 \times 2.7$ (m^3). Închiderile exterioare sunt realizate din panouri sandwich cu grosimea de 0.10 (m), realizate din materiale incombustibile, $A2s1d0$, respectiv din vată minerală [6]. Panourile sunt certificate cu performanțe la foc, respectiv o rezistență la foc $EI180$ (Fig. 1) [7].



Fig. 1. Standul experimental.

Pentru accesul în interior s-a prevăzut o ușă cu rezistență la foc, $EI90-C$ [70], cu dimensiunile de 0.9×2.1 (m^2).

Pentru vizualizarea directă din exterior a experimentului și supraveghere a acestuia s-a montat un geam rezistent la foc, $E30$, cu dimensiunile de 0.6×1.2 (m^2).

În pereții exteriori s-au mai prevăzut două goluri necesare pentru funcționarea instalației mecanice de ventilare: un gol pentru extragerea aerului cu ajutorul ventilatorului, dispus la partea superioară a peretelui exterior, cu dimensiunile de 0.25×0.25 (m^2), și un al doilea pentru asigurarea natural-organizată a aerului proaspăt de compensare dispus pe latura

opusă la partea inferioară, în imediata apropiere a arzătorului, cu dimensiunile de 0.25×0.10 (m^2).

Pentru introducerea instalației de distribuție a apei către sprinkler s-a mai prevăzut un gol la partea superioară, cu dimensiunea de 0.25×0.25 (m^2), însă acesta în timpul experimentelor a fost obturat.

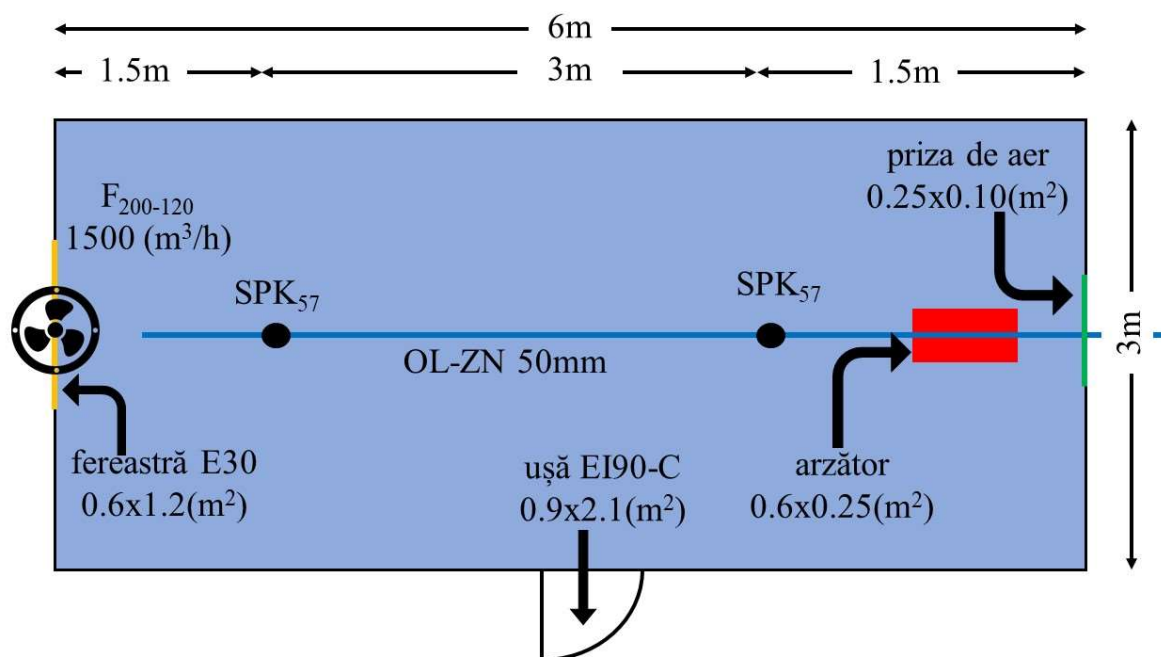


Fig. 2. Plan stand experimental.

Alăturat standului experimental, la doar 1.50 (m) de acesta, s-a montat un container pentru operator. Acesta are următoarele dimensiunile interioare de $3 \times 2 \times 2.7 \text{ (m}^3)$ (Eroare! Fără sursă de referință.). În acest birou s-au dispus echipamentele pentru supravegherea cercetării, cele utilizate pentru înregistrarea datelor în timpul experimentului, tabloul electric, calculatorul utilizat pentru descărcarea și prelucrarea datelor, echipamentele pentru măsură și control, s-au depozitate temporare diverse materiale mărunte utilizate în cercetare.

În cadrul experimentelor și a modelării numerice combustibilul utilizat a fost gazul GPL (amestec de propan și butan) dintr-o butelie de 60 (l) . Principalele componente ale instalației de ardere sunt următoarele: 2 arzătoare cu debit controlat 3 (kW) și 12.2 (kW) , butelie GPL de 60 (l) , conductă metalică de alimentare cu gaz de la butelie la arzătoare, din oțel 20 (mm), regulator de debit/ presiune pentru gaz, robineți de serviciu sau reglaj.

Ventilatorul utilizat este *PR-Q 456T AT*. Acesta este un ventilator ce are garantată funcționarea corectă până la temperaturi ale aerului de maxim $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ventilatorul poate asigura un debit de extragere al aerului de la $0\text{ (m}^3/\text{s)}$ și până la $1500\text{ (m}^3/\text{s)}$.

În timpul încercărilor experimentale s-a înregistrat distribuția temperaturilor în timp. Acest lucru s-a făcut cu ajutorul a 35 de senzori de temperatură, termocupluri de tip K. Montarea senzorilor s-a făcut în două planuri ortogonale: unul vertical, median spațiului, și unul dispus la partea superioară, în planul sprinklerelor (**Fig. 3**).

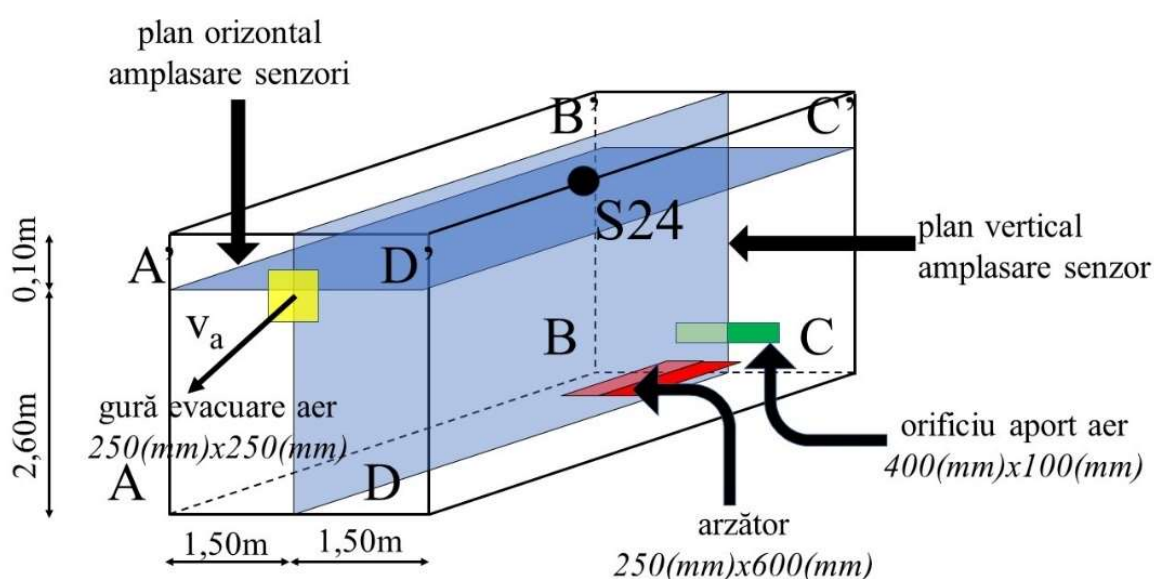


Fig. 3. Planul orizontal și vertical de amplasare a senzorilor de temperatură.

Pentru înregistrarea datelor s-au utilizat 2 centrale de achiziție date ALMEMO 710.

În interiorul containerului s-au montat două sprinklere, în planul superior al încăperii. S-au utilizat sprinklere cu declanșare la temperatura de $68\text{ }^{\circ}\text{C}$. Montajul sprinklerelor s-a realizat cu capul în sus. Sprinklere s-au montat la $0,1\text{ (m)}$ de tavan, distanța dintre ele fiind de 3 (m) . Ele sunt dispuse în planul median al încăperii, la intersecția celor două planuri principale de montaj al senzorilor de temperatură.

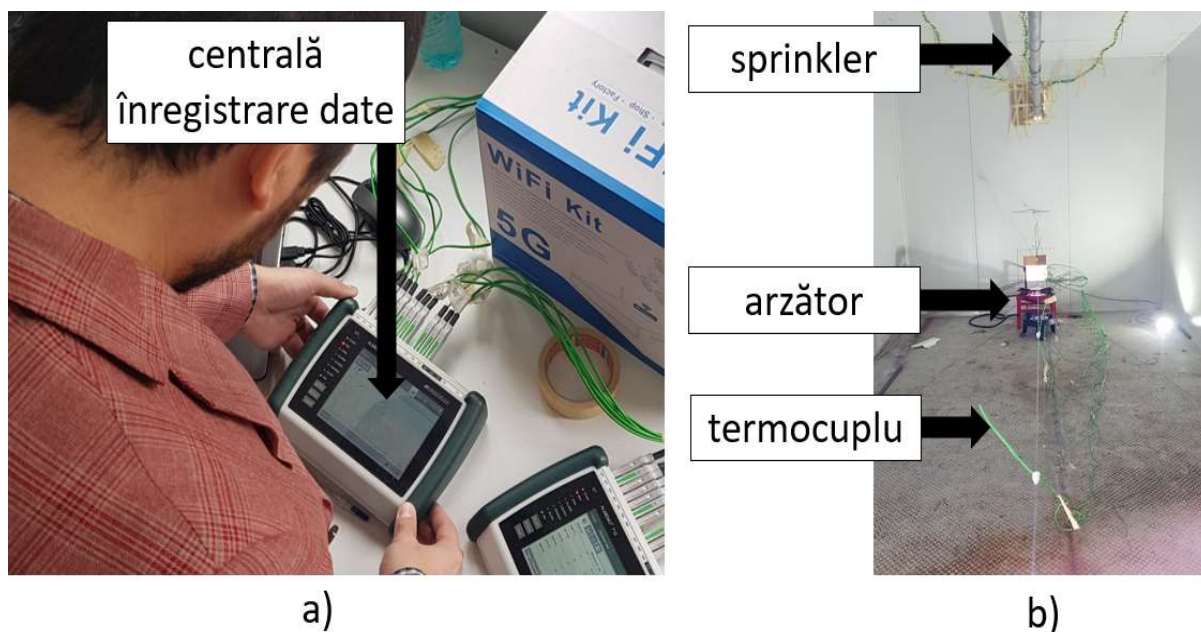


Fig. 4. Imagini din timpul încercărilor experimentale: a) operare centrală ALMEMO și b) efectuare experiment.

În timpul fiecărui experiment s-au parcurs următorii pași prestabiliți:

- au existat 2 operatori: unul în birou, pentru supravegherea permanentă cu ajutorul camerelor video, și unul pentru posibile intervenții sau reglaje;
- se realizează conectarea senzorilor de temperatură la centralele de înregistrare ALMEMO710;
- se verifică funcționarea senzorului de G.P.L. pentru a se putea înregistra eventuale arderi incomplete sau scurgeri accidentale (se făcea acest lucru cu ajutorul gazului dintre-o brichetă);
- se verifică funcționarea camerelor de înregistrare video;
- butelia de G.P.L. se așează pe un cântar calibrat; se notează greutatea înainte de începerea experimentului și după finalizarea experimentului;
- în cadrul încercărilor ce au implicat și pornirea ventilatorului declanșarea acestuia s-a făcut înainte de pornirea experimentului și aprinderea flăcării;
- un operator deschide alimentarea de la butelie, robinetul de intervenție de pe conducta de alimentare cu gaz și reglează debitul, în timpul ce al doilea asigură aprinderea

arzătoarelor; prin intermediul regulatorului de presiune se fixează debitul de alimentare cu gaz petrolier;

- se părăsește standul experimental și se închide ușa;
- un operator urmărește din interiorul containerului birou camerele video și funcționarea corespunzătoare a centralelor de înregistrare date;
- al doilea operator asigură urmărirea directă prin intermediul ferestrei dispuse în pereții exteriori;
- la finalizarea duratei de experiment se închide alimentarea cu G.P.L. prin acționarea robinetului de la butelie și ulterior al celui de serviciu;
- se asigură deschiderea ușii fără ca vreun operator să intre în spațiu timp de 5 minute pentru a se asigura răcirea aerului și evacuarea gazelor fierbinți (temperaturile în multe cazuri au atins aproape punctul de fierbere al apei, deci temperaturi care puteau face rău corpului uman); răcirea spațiului interior se face natural prin deschiderea ușii, evacuându-se aerul cald și pătrunzând aer rece;
- se măsoară greutatea buteliei după finalizarea experimentului;
- al doilea experiment se desfășoară după ce s-a asigurat răcirea aerului și a anvelopei, în general după cel puțin o oră; dacă nu se mai asigura temperatura exterioară de 20°C se revine a doua zi;
- descărcarea datelor pe calculator s-a realizat la finalul fiecărei zile de experimente.

3. DETERMINAREA MODELULUI NUMERIC

Cazul experimental cu ajutorul căruia s-a realizat determinarea modelului numeric s-a notat cu *CALIB1* (*v0,SQ1*). Acesta este caracterizat printr-o rată de eliberare a energiei $HRRPUA=105$ (kW/m^2) (heat release rate per unit area) și o viteză medie de evacuare a aerului viciat $v_a = 0$ (m/s), adică un debit de evacuare a aerului de $Q_v = 0$ (m^3/s). Parametrul utilizat pentru calibrare l-a reprezentat evoluția temperaturii interioare într-un punct prestabilit din spațiu.

A doua etapă a reprezentat validarea modelului numeric. Acest lucru s-a făcut prin compararea rezultatelor obținute experimental pe alte trei cazuri, notate cu *CALIB2*, *CALIB3* și *CALIB4* cu cele rezultate din modelarea numerică (**Tab. 1**).

Tab. 1. Elemente caracteristice ale încercărilor experimentale.

Cod experiment	Utilizat pentru	Cod model	HRRPUA (kW/m^2)	S_Q (kWh)	v_a (m/s)	Q_v (m^3/s)	n_a (h^{-1})
CALIB1	determinare	v0,SQ1	105	3.938	0	0.0000	0.0
CALIB2	validare	v0.5,SQ1	105	3.938	0.5	0.0313	2.3
CALIB3	validare	v1,SQ1	105	3.938	1	0.0625	4.6
CALIB4	validare	v4.5,SQ1	105	3.938	4.5	0.2813	20.8

Identificarea modelului numeric presupune parcurgerea mai multor etape în stabilirea corectă a următoarelor aspecte: domeniul de analiză, timpul de analiză, modelarea geometrică, modelarea anvelopei standului experimental, stabilirea rețelei optime, modelarea sursei, stabilirea condițiilor inițiale și la limită.

Criteriul utilizat l-a reprezentat obținerea unei abateri medii minime, σ_{ERR} ($^{\circ}C$), între distribuția experimentală a temperaturilor în punctul *S24* și cea din cadrul modelului. În acest sens au fost iterate mai multe situații probabile până la identificarea celei corecte.

Domeniul de analiză a fost stabilit cu 0.5 (m) mai mare decât limita exterioară a standului experimental. Astfel dimensiunea domeniului de analiză este de : $7.2 \times 4.2 \times 3.9$ (m^3), extinderea domeniului de analiză dovedindu-se necesară pentru acuratețea rezultatelor.

Timpul de analiză s-a stabilit în funcție de durata și rezultatele experimentale obținute. S-a constatat astfel că pentru *CALIB1* o durată a evenimentului de 760 (s) a fost suficientă pe pentru a se atinge temperaturile de declanșare a sprinklerelor.

Modelarea geometrică s-a făcut prin măsurarea directă a dimensiunilor standului experimental, a detaliilor, a poziției și a dimensiunilor dotărilor standului experimental. Apoi acestea au fost reproduse în interiorul modelului.

Caracteristicile geometrice, adică cele de suprafață, poziție, grosime, se consideră cunoscute. Însă în afară de acestea caracteristicile de material ale anvelopei au o importanță deosebită: densitatea materialului, conductivitatea termică și căldura specifică. Pentru densitatea pereților exteriori și căldura specifică a materialului din care sunt realizați pereții exteriori s-au utilizat valorile din fișa tehnică a panourile de fațadă: $\rho=120 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ și $c_p=0.840 \text{ (kJ/kg.K)}$. S-a constatat că prin utilizarea acestor valori rezultatele obținute sunt corespunzătoare. În cazul conductivității termice a fost necesară determinarea unei conductivități termice echivalente $\lambda_{eqv} \text{ (W/m.K)}$. Aceasta are un rol foarte important deoarece de ea pierderile de căldură din container către exterior [8]. Valoarea de detaliu pentru conductivitatea termică echivalentă $\lambda_{eqv}=0.061 \text{ (W/m.K)}$ a fost stabilită prin iterații de detaliu cu ajutorul programului FDS, iterații care nu sunt reproduse în prezentul grafic deoarece curbele devin foarte apropiate și nu ar fi util pentru explicarea cercetării.

Pentru modelarea cu ajutorul FDS spațiul analizat este împărțit în celule. În situația de față celulele de calcul au aceeași dimensiune pe toate cele trei axe. S-a stabilit în prezenta cercetare s-a stabilit prin compararea rezultatelor experimentale cu cele numerice un grid cu dimensiunea laturii de $0.10(m)$.

Simularea prin metode complexe de tip CFD presupune modelarea incendiului prin introducerea în spațiul analizat a unei anumite cantități de energie(căldură) la un moment dat [9]. Geometria sursei se referă la poziția în spațiu a arzătorului și suprafața de ardere. În cazul de față se aproximează, pornind de la modelul real, o suprafață a arzătorului de $0.25 \times 0.60 \text{ (m}^2\text{)}$, iar poziția acestuia este similară cu cea a arzătoarelor din experimentul real. În acest caz pentru un consum de combustibil de 0.315 (kg) de G.P.L. avem o cantitatea de energie introdusă în sistem în perioada experimentului de $HR=3.938 \text{ (kW)}$ și $HRRPUA= 105 \text{ (kW / m}^2\text{)}$.

Modelarea unui ventilator în FDS s-a făcut prin precizarea debitului de aer evacuat într-o secundă printr-o suprafață.

Următoarele condiții inițiale se aplică în cazul *CALIBI*: temperatura inițială în tot spațiul este similară și egală cu $20 \text{ (}^\circ\text{C)}$; viteza inițială în toate punctele din spațiul analizat este similară și egală cu 0 (m/s) ; concentrația inițială de oxigen din aer este egală cu 0.208

(mol/mol); concentrația inițială de dioxid de carbon din aer este egală cu: 0.000387 (mol/mol); vizibilitatea inițială în toate punctele libere din spațiu este egală cu 30 (m).

Următoarele condiții la limită se aplică în cazul CALIB1: temperatura aerului la suprafața arzătorului este una impusă, depinzând de cantitatea de energie introdusă în sistem; viteza aerului aflat în contact cu suprafața elementelor de anvelopă și cu restul suprafețelor arzătorului (nu cea pe care se introduce căldura) este egală cu 0 (m/s); viteza aerului aflat la contactul cu suprafața interioară și exterioară a gurii de extragere este egală cu 0 (m/s).

Procesul de validare a modelului numeric stabilit precedent reprezintă o etapă necesară pentru a putea identifica dacă acesta este valabil și pentru alte situații. În aceste sens rezultatele altor trei încercări experimentale au fost utilizate: CALIB2(v0.5,SQ1), CALIB3(v1,SQ1), CALIB4(v4.5,SQ1).

Față de CALIB1, experiment în care nu se făcea evacuarea aerului, $Q_{v1} = 0$ (m³/s), diferența între celelalte cazuri o reprezintă debitul de ventilație: $Q_{v1} = 0.5$ (m³/s), $Q_{v2} = 1$ (m³/s), $Q_{v3} = 4.5$ (m³/s).

Dacă analizăm comparativ modul cum evoluează în timp temperaturile în cele 4 cazuri experimentale, cu modelele numerice aferente, putem observa că la aceeași sarcină termică ($HRR_{PUA} = 105$ (kW/m²)) pentru o ventilație la debite mari (CALIB4) temperaturile nu depășesc 50°C , aproximativ jumătate din valorile înregistrate atunci când nu există ventilație sau aceasta are debite mici (CALIB1 și CALIB2) (Fig. 5.).

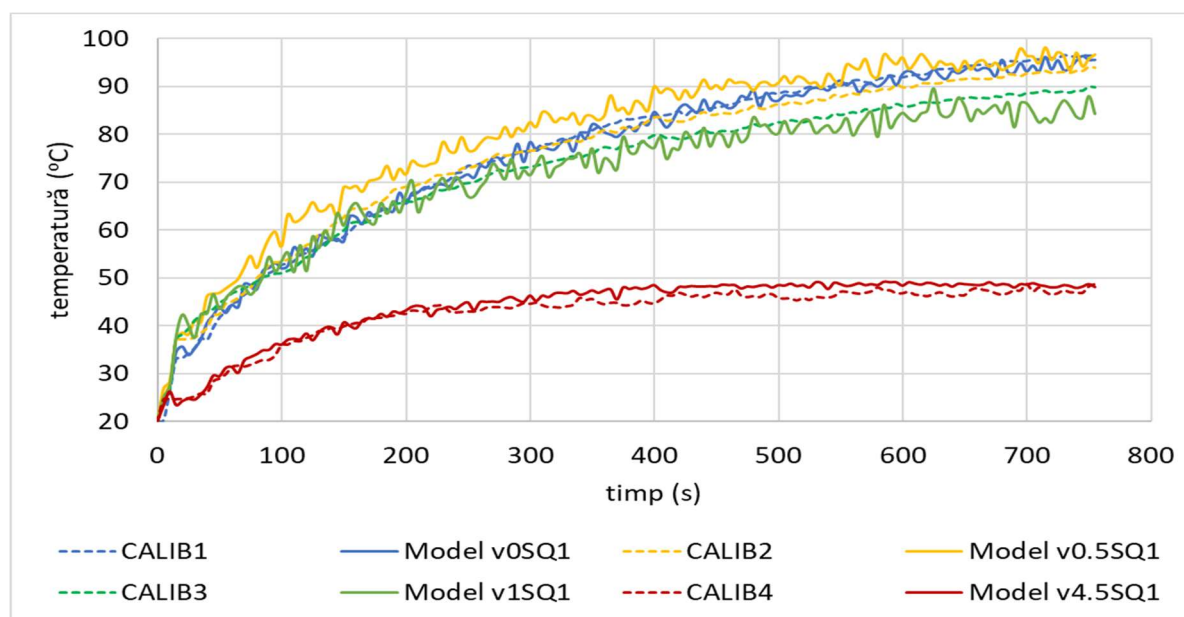


Fig. 5. Grafic compartiv de evoluția a temperaturilor în punctul S24 pentru toate cele 4 situații experimentale și modelele matematice aferente.

Se poate constata că modelul stabilit cu ajutorul *CALIB1* este corespunzător și pentru încercările experimentale *CALIB2*, *CALIB3* și *CALIB4*. Se consideră că modelul este validat și se poate folosi pentru extinderea cercetării și pentru alte debite de ventilare sau valori ale sarcinii termice.

4. SIMULARE ȘI REZULTATE

Cu ajutorul programului FDS au fost realizate 168 de simulări, variind doi parametri: viteza medie de evacuare a aerului v_a , de la 0 (m/s) și până la 9 (m/s) și cantitatea de energie introdusă în sistem $HRRPUA$, de la 89 (kW/m^2) și până la 10 500 (kW/m^2).

Parametrii care au fost înregistrați și care vor folosi la interpretarea fenomenului sunt: temperatura interioară în punctul $S24$; concentrația de oxigen în punctul $S24$; concentrația de dioxid de carbon în punctul $S24$; vizibilitatea în punctul $S24$.

S-au putut stabili diferite grafice ce ajută la înțelegerea fenomenului precum variația temperaturilor interioare în funcție de debitul ventilatorului de evacuare a aerului fierbinte, cum este spre exemplu figura [65] de mai jos și care evidențiază în clar rolul important al unei bune ventilări în menținerea unor temperaturi scăzute care să permită supraviețuirea și evacuarea utilizatorilor unei clădiri.

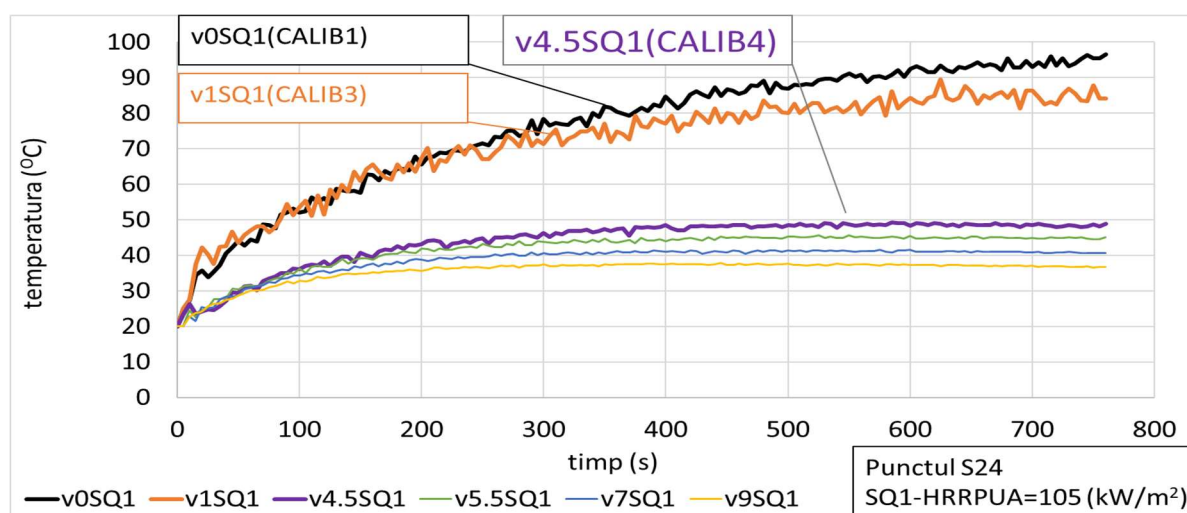


Fig. 6. Grafice de evoluție în timp a temperaturilor în punctul $S24$ atunci când sarcina termică este $SQ1-HRRPUA=105$ (kW/m^2), la diferite rate de ventilare caracterizate prin viteze de evacuare ale aerului cuprinse între 0 (m/s) și 9 (m/s).

În **Fig. 66** de mai jos se poate vedea cum variază temperaturile interioare în funcție de cantitatea de material combustibil care este arsă.

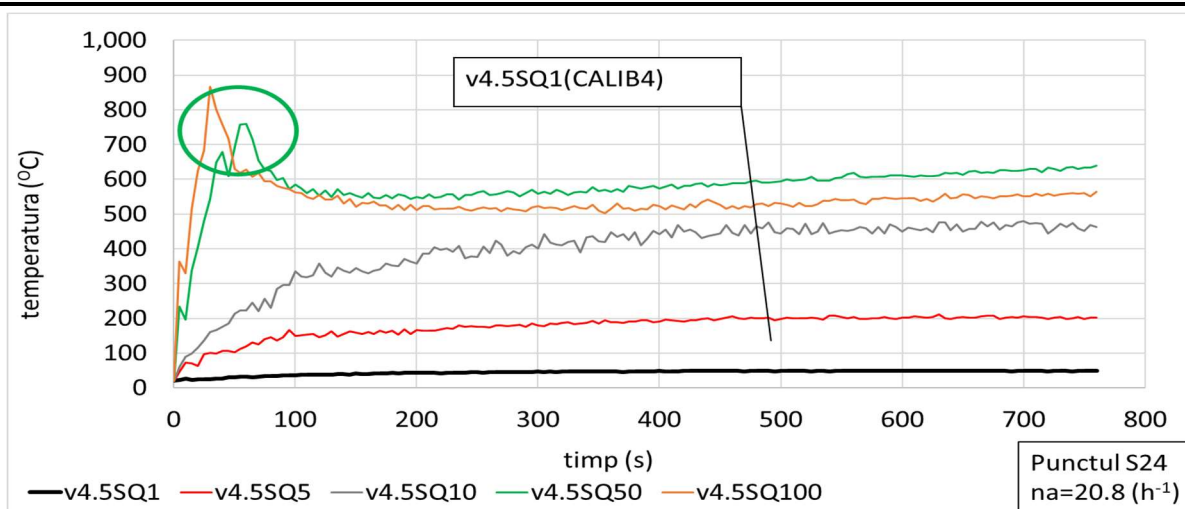


Fig. 7. Grafice de evoluție în timp a temperaturilor în punctul S24 atunci când ventilarea este pornită la 20.8 schimburi orare pe oră, la diferite valori ale sarcinii termice cuprinse între SQ1-HRRPUA=105 (kW/m²) și SQ100-HRRPUA=10 500 (kW/m²)

Cunoscându-se evoluția temperaturilor interioare s-a putut determina timpul la care un anumit sprinkler s-ar putea declanșa (**Fig. 75**).

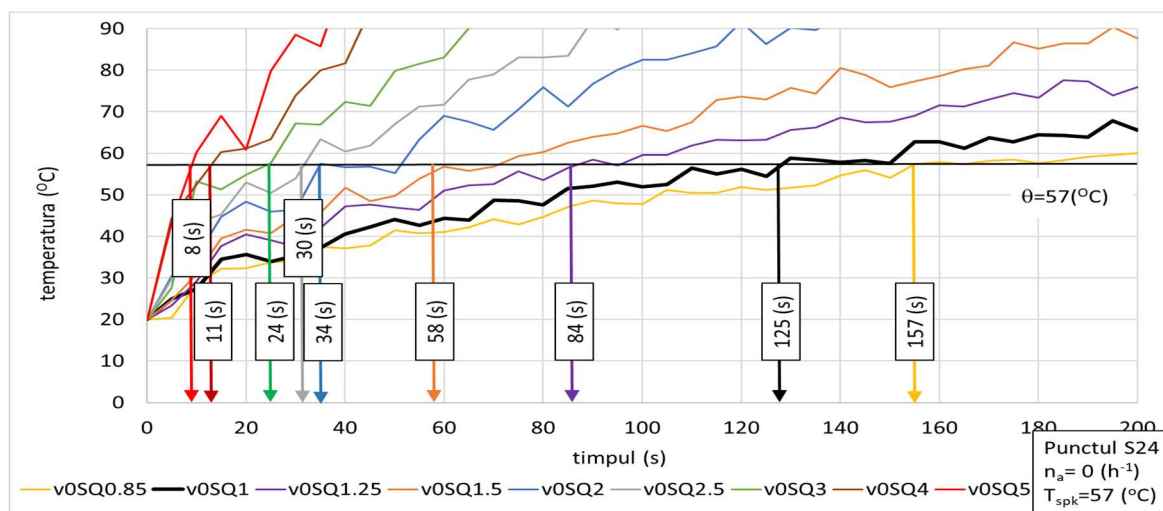


Fig. 8. Grafic de detaliu al evoluției temperaturilor cu marcarea punctului de declanșare a sprinklerului cu $T_{spk}=57$ (°C).

Simularea numerică a permis trasarea unui grafic ce arată corelația între timpii de declanșare a sprinklerelor și cantitatea de combustibil arsă(sarcina termică), pentru anumite debite de ventilare(exemplu **Fig. 79**).

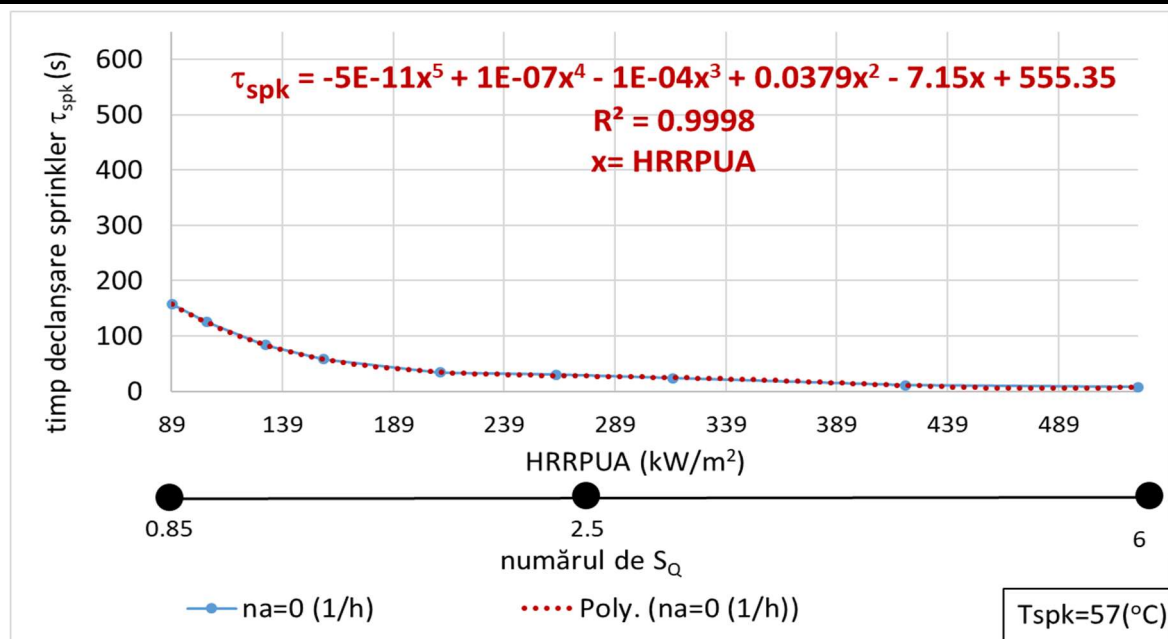


Fig. 9. Graficul de evoluție al timpului de declanșare a sprinklerelor τ_{spk} în funcție de numărul de HRRPUA pentru $na=0(h^{-1})$.

S-au putut compara funcțiile care definesc timpii de declanșare a sprinklerelor în funcție de sarcina termică, la diferite debite de ventilare(**Fig. 83**).

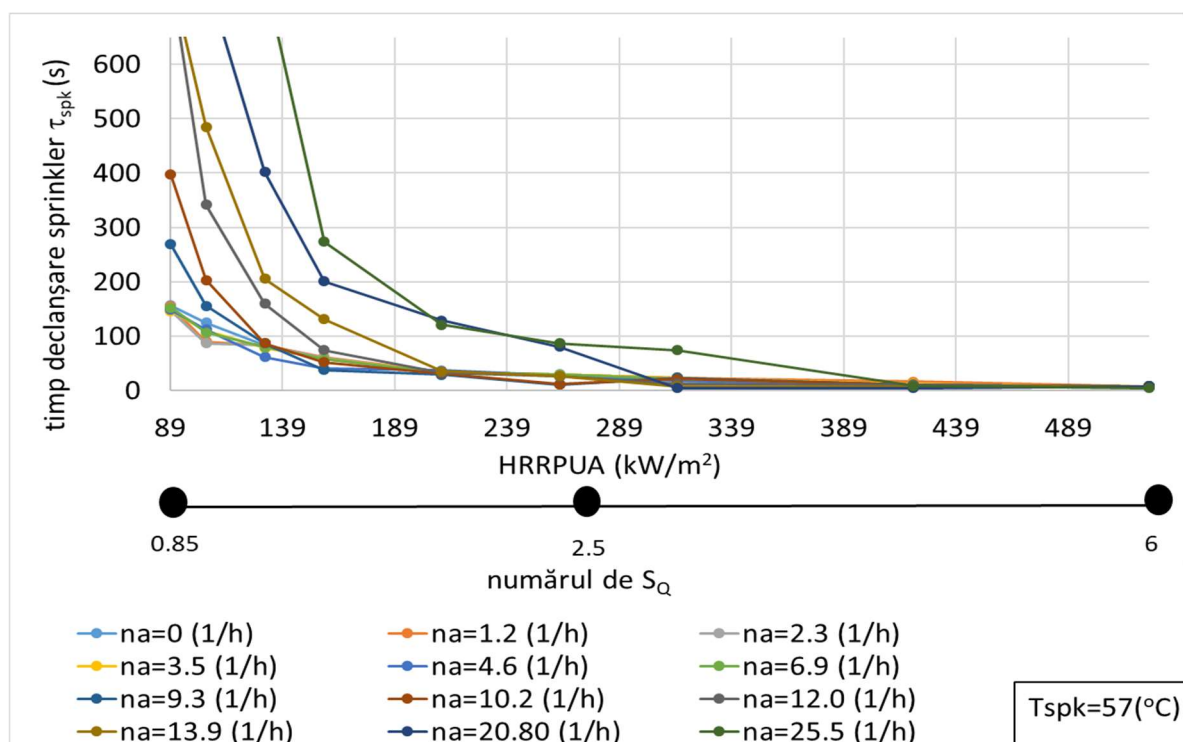


Fig. 10. Graficele de evoluție al timpului de declanșare a sprinklerelor τ_{spk} în funcție de numărul de HRRPUA pentru diferite schimburi orare.

Au fost analizați și modul în care se modifică în timp alți parametri importanți cum ar fi concentrația de oxigen și care are un rol important în asigurarea funcțiilor vitale ale utilizatorilor unei clădiri. Spre exemplul **Fig. 95** ne arată cum scade concentrația de oxigen în timp până la valori ce nu mai permit supraviețuire.

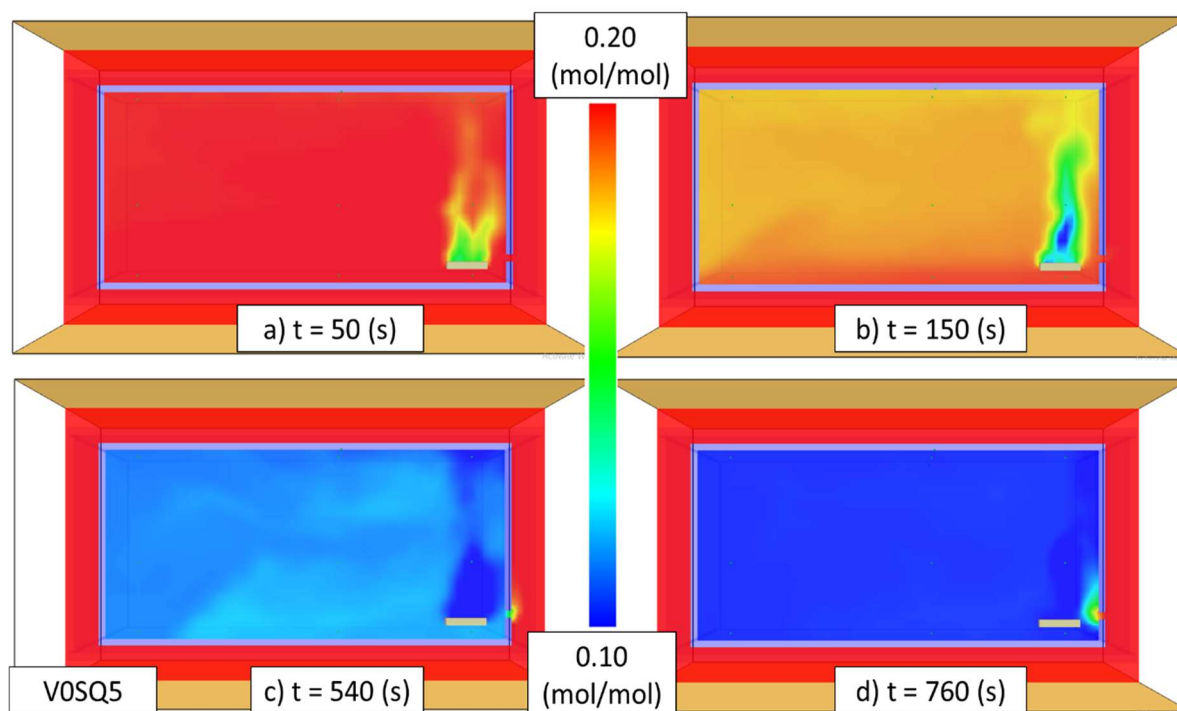


Fig. 11. Graficele de distribuție a concentrației de oxigen în planul median $Y=2.1$, pentru modelul v0SQ5, la momentele: a) $t=50$ (s), b) $t=150$ (s), c) $t=540$ (s), d) $t=760$ (s).

S-au trasat grafice care arată importanța ventilării în timpul unui incendiu și că debitele mari de ventilare duc la o concentrația mai mare de oxigen, având un aport favorabil în menținerea condițiilor de evacuarea și supraviețuire. Se poate vedea în **Fig. 105** că o ventilare corectă menține concentrații ridicate de oxigen, în timp ce în spațiile neventilate identificăm o scădere rapidă pe măsură ce prin arderea combustibilului oxigenul se transformă în dioxid de carbon.

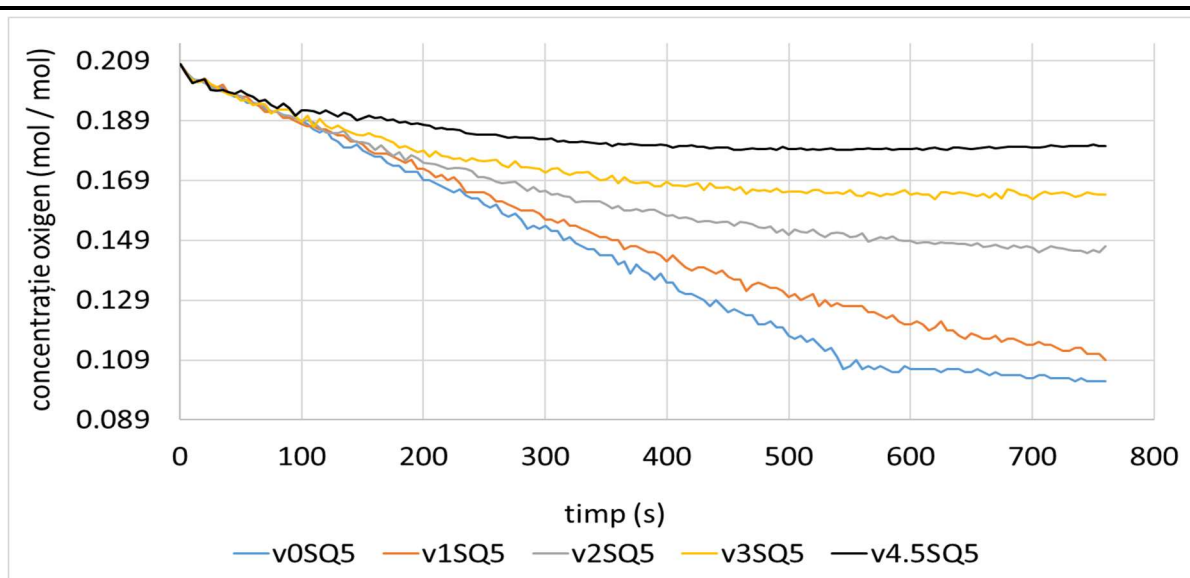


Fig. 12. Graficul de evoluție în timp a concentrației de oxigen la nivelul punctului S24, la debite diferite de evacuare și sarcină termică constantă $SQ5-HRRPUA=525$ (kWh/m²).

S-a identificat de asemenea variația vizibilității în timp și rapiditatea cu care aceasta scade în timp până la valori la care nu mai este permisă evacuare (**Fig. 116**).

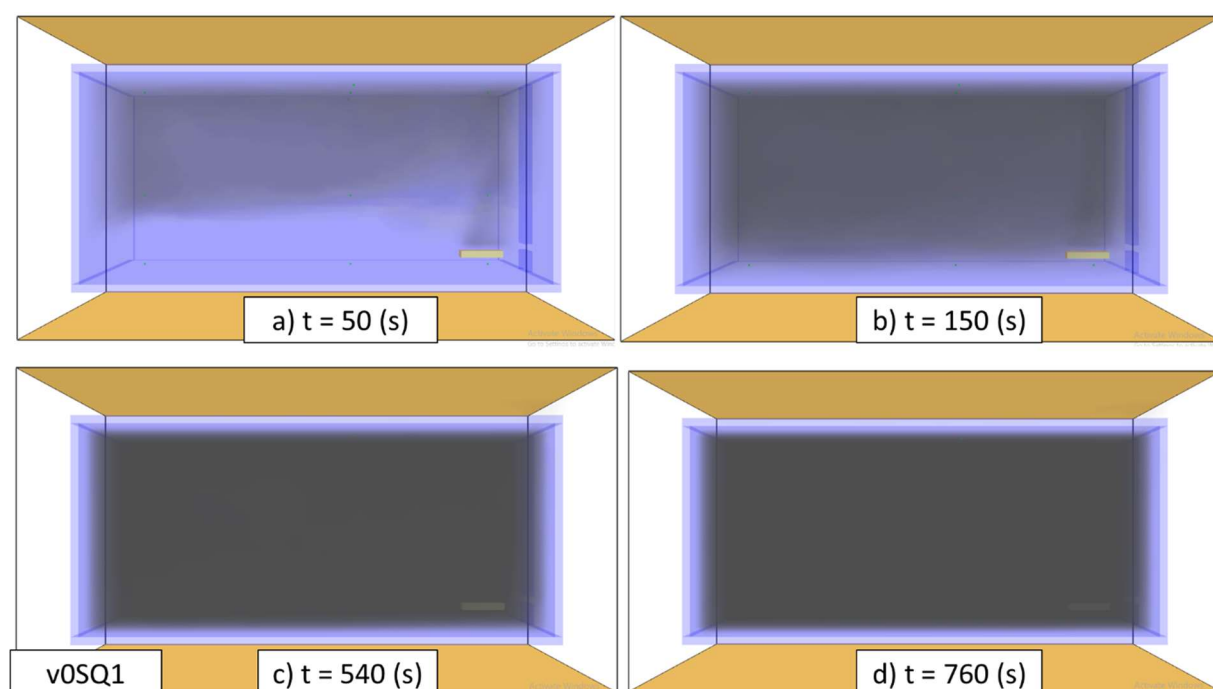


Fig. 13. Graficele de distribuție a vizibilității în planul median $Y=2.1$, pentru modelul v0,SQ1, la momentele: a) $t=50$ (s), b) $t=150$ (s), c) $t=540$ (s), d) $t=760$ (s).

Ventilarea bună are un rol important nu doar în menținerea unei concentrații ridicate de oxigen ci și a unei bune vizibilități. Evacuarea de aer fierbinte încărcat cu particule de fum și compensarea cu aer rece fără reziduri ale arderii modifică semnificativ condițiile din spațiu (Fig. 131).

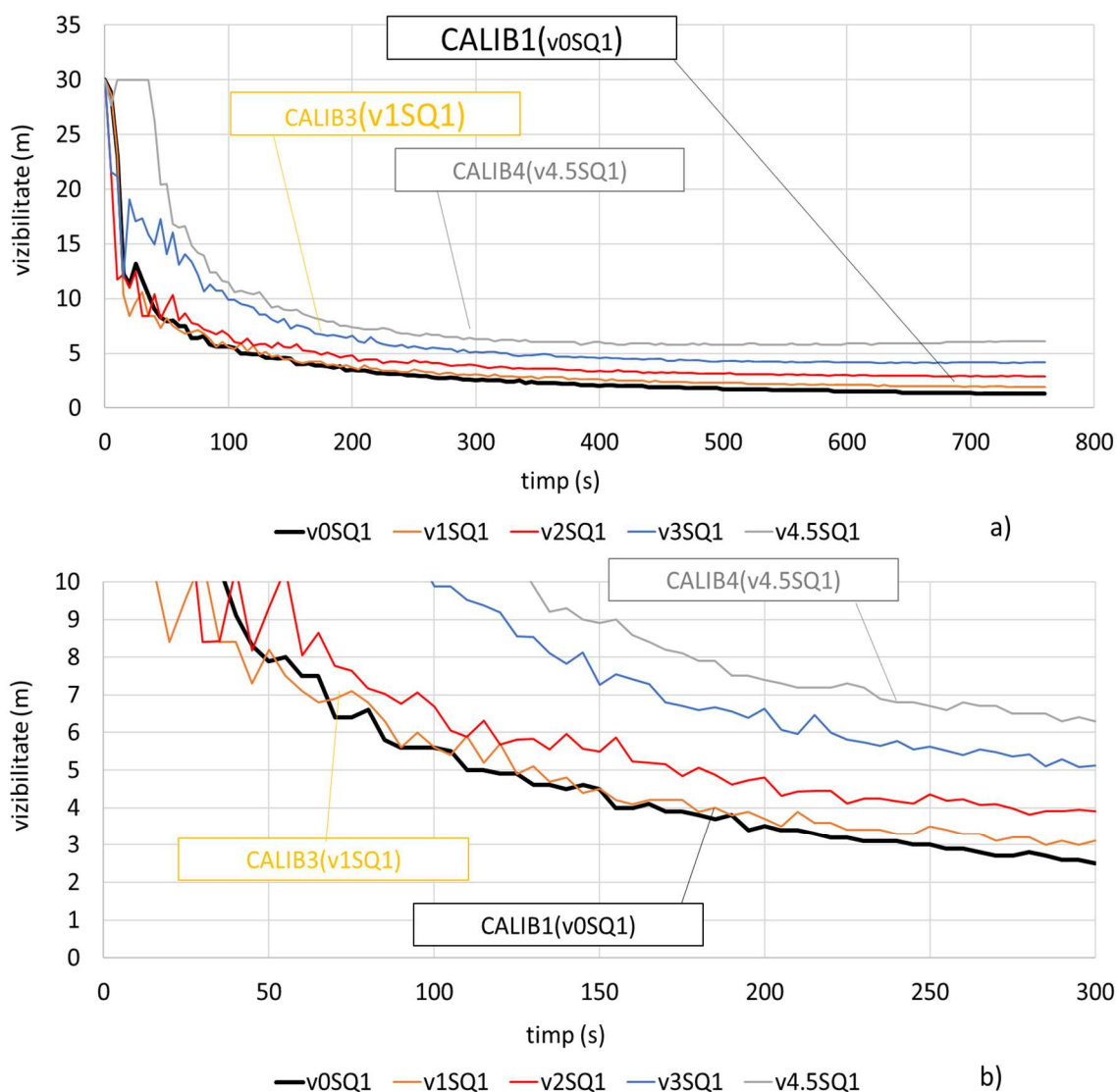


Fig. 14. Graficul de evoluție în timp a vizibilității la nivelul punctului S24, pentru debit de evacuare variabil și sarcină termică constantă SQ1-HRRPUA=105 (kW/m²), trasat în a) ansamblu și b) detaliu.

S-au putut trasa și grafice care arată cât timp se poate menține o bună vizibilitate (10m) în funcție de debitul de evacuare a aerului viciat (Fig. 136).

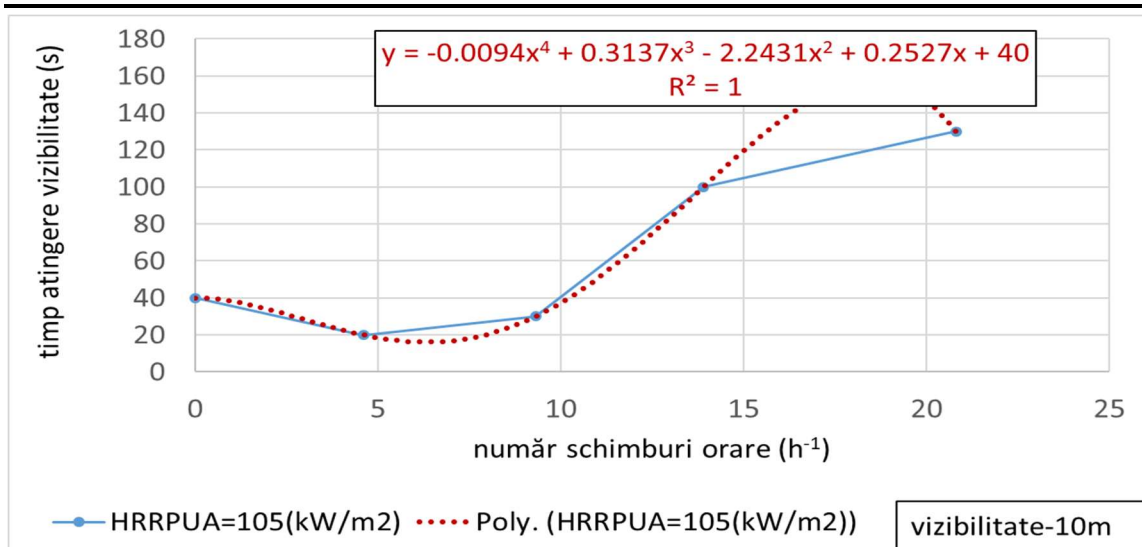
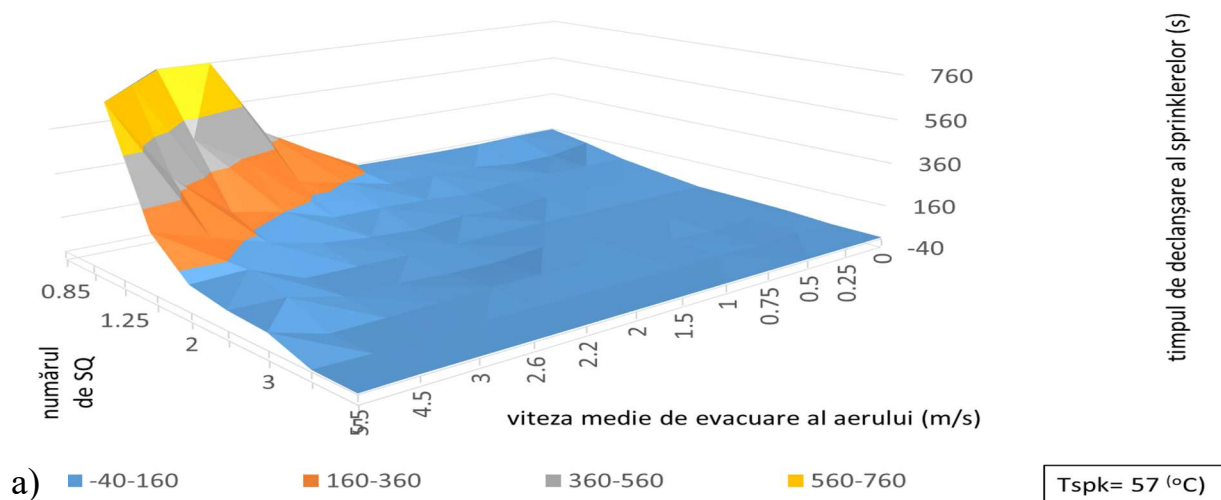
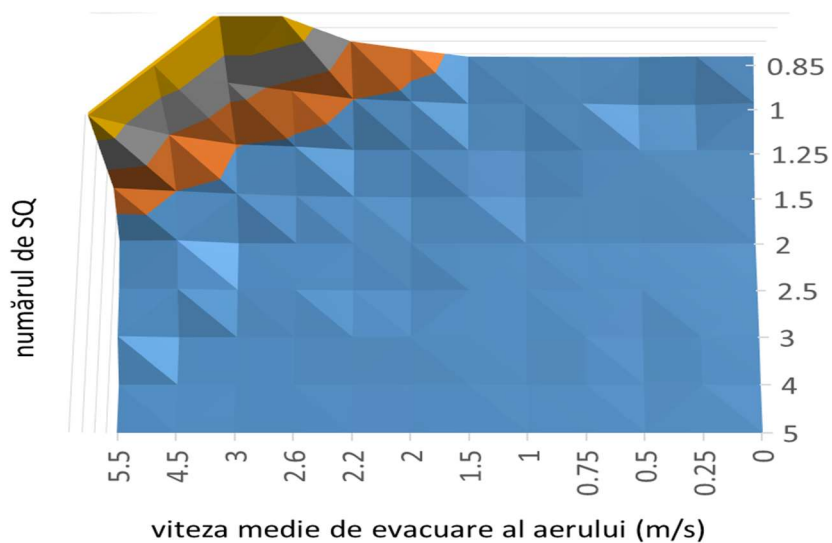


Fig. 15. Grafic de variație a timpului la care vizibilitatea scade sub o valoare limită, în funcție de numărul de schimburi orare, pentru o anumită valoare a sarcinii termice.

Pe baza modelelor numerice s-au stabilit grafice care fac legătura între viteza medie de evacuare a aerului (debitul ventilatorului) și timpul la care o anumită temperatură este atinsă, ajungându-se la declanșarea sprinklerelor.

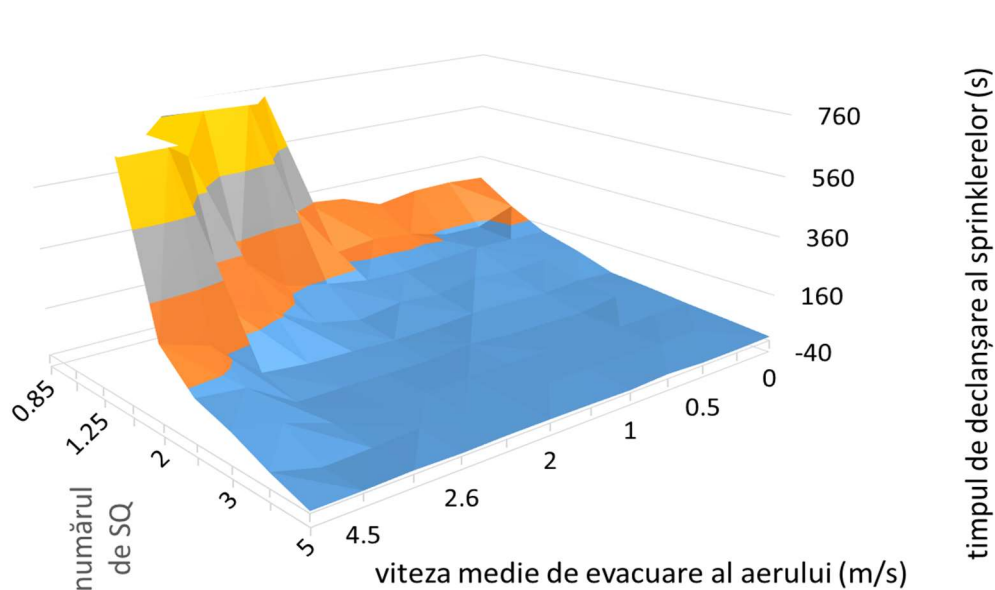
Având în vedere valorile știute pentru timpii de declanșare a celor 4 tipuri de sprinkler studiate și dependența lor de HRRPUA/SQ și de viteza media de evacuare a aerului / numărul de schimburi orare, s-au putut trasa grafice spațiale ce definesc fenomenul. În următoarele 4 imagini se observă fenomenul pentru cele 4 tipuri de sprinklere studiate.





b) ■ 0-200 ■ 200-400 ■ 400-600 ■ 600-800 Tspk= 57 (°C)

Fig. 16. Graficul de evoluție al timpului de declanșare al sprinklerului $T_{spk} = 57(^{\circ}\text{C})$ în funcție de sarcina termică și viteza medie de evacuare a aerului – vizualizare sub două unghiuri diferite.



a) ■ -40-160 ■ 160-360 ■ 360-560 ■ 560-760 Tspk= 68 (°C)

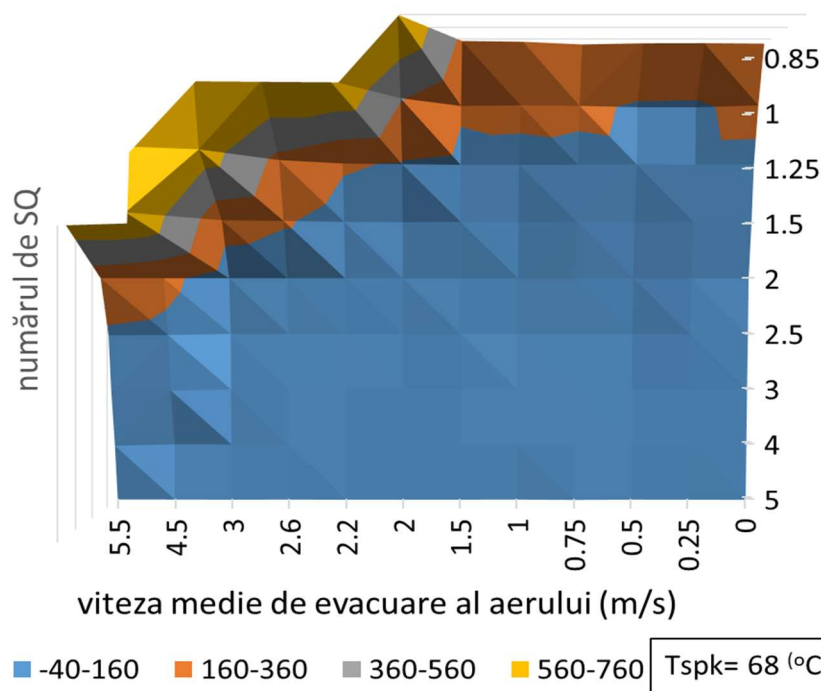
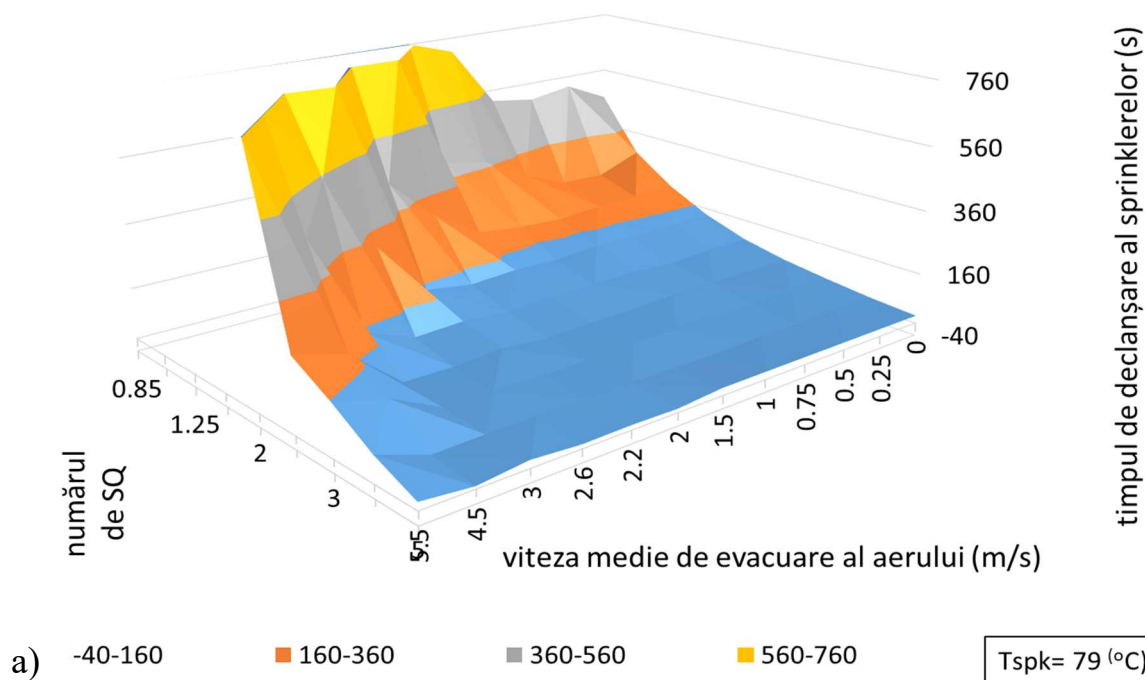


Fig. 17. Graficul de evoluție al timpului de declanșare al sprinklerului $T_{spk} = 68(^{\circ}\text{C})$ în funcție de sarcina termică și viteza medie de evacuare a aerului – vizualizare sub două unghiuri diferite.



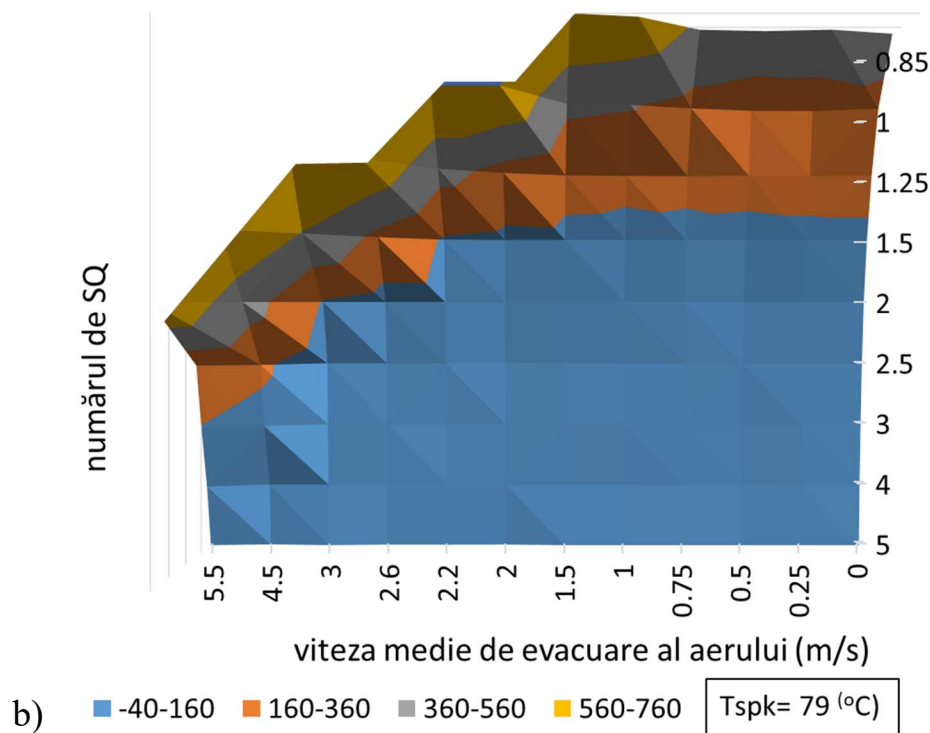
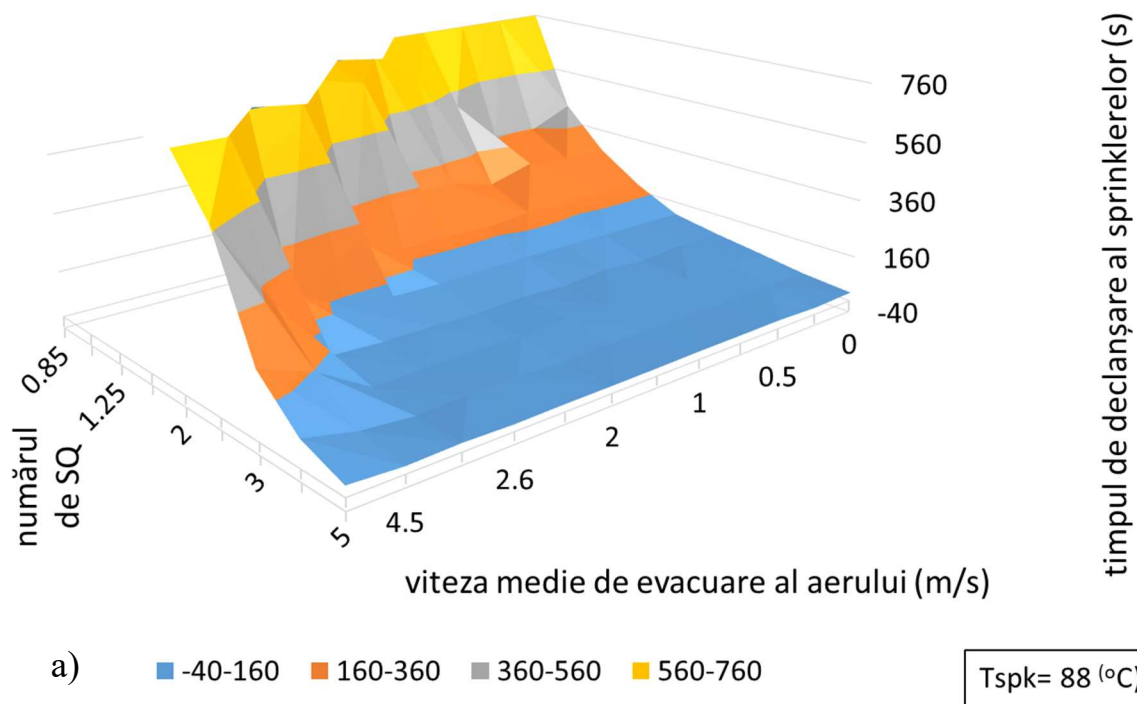


Fig. 18. Graficul de evoluție al timpului de declanșare al sprinklerului $T_{spk} = 79 (^{\circ}\text{C})$ în funcție de sarcina termică și viteza medie de evacuare a aerului– vizualizare sub două unghiuri diferite.



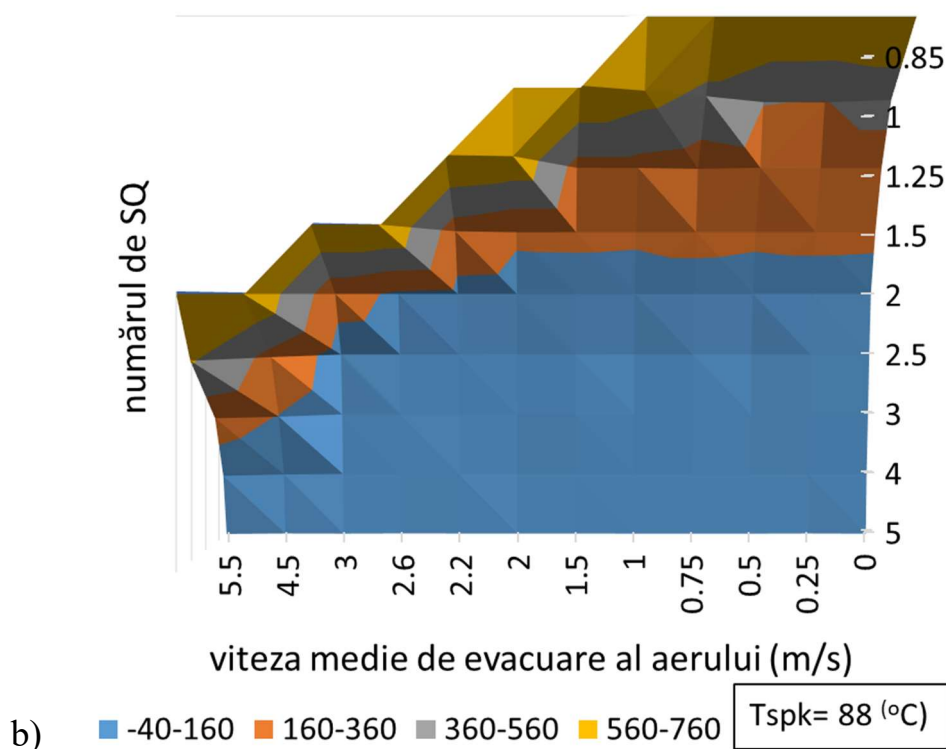


Fig. 19. Graficul de evoluție al timpului de declanșare al sprinklerului $T_{spk} = 88$ (°C) în funcție de sarcina termică și viteza medie de evacuare a aerului– vizualizare sub două unghiuri diferite.

Prezenta teză de cercetare face un pas în față și, folosind simularea numerică, a stabilit grafice și funcții matematice care leagă timpii de declanșare a sprinklerelor de sarcine termică pe de o parte și de debitul de ventilare pe de cealaltă parte.

În perioada de cercetare s-au publicat mai multe lucrări cu caracter științific.

În *E3S Web of Conferences, EENVIRO 2017* s-a publicat articolul “*Fire modeling in a nonventilated corridor*”. Articolul studiază modul de evoluție al incendiului în interiorul unui coridor care nu este ventilat prin intermediul parametrilor: temperatură, concentrația de oxigen și vizibilitatea. Co-autori la acest articol sunt prof. dr. ing. Vlad Iordache și conf. Dr. ing. Ilinca Năstase.

Articolul denumit “*Simularea incendiilor prin utilizarea a trei metode diferite de introducere a fluxului de căldură(HRR-Heat Release Rate*” a fost publicat în *Revista Română de Inginerie Civilă*. Co-autori la acest articol sunt prof. dr. ing. Vlad Iordache și conf. dr. ing. Ilinca Năstase. Articolul analizează influența modului de introducere a HRR asupra

temperaturilor interioare, considerând că valoarea totală este similară în toate cele trei cazuri analizate.

În cadrul conferinței anuale a școlii doctorate organizate de către UTCB în anul 2019 s-a publicat articolul *“Numerical and experimental study to determine the thermal conductivity of an envelope for a room set on fire”*. Co-autori la acest articol sunt prof. dr. ing. Vlad Iordache și conf. dr. ing. Ilinca Năstase. Articolul prezintă modul în care s-a determinat conductivitatea termică echivalentă a anvelopei unui stand experimental. Pentru acest lucru s-au folosit date obținute din încercări experimentale și valori determinate prin modelarea numerică.

Articolul *“Experimental and Numerical Study on the Influence of Mechanical Ventilation on the Survival Conditions in a Room Set on Fire”* a fost transmis spre analiză în vederea publicării către revista *Fire Safety Journal*. Co-autori la acest articol sunt prof. dr. ing. Vlad Iordache și conf. dr. ing. Ilinca Năstase. Articolul studiază modul în care instalația de ventilare mecanică influențează condițiile de supraviețuire și evacuare a utilizatorilor unui spațiu supus acțiunii incendiului.

Articolul denumit *“Experimental and numerical study on the performance of different fire ventilation systems”* a fost publicat în *Revista Română de Inginerie Civilă*. În acest articol este studiată performanța diferitelor tipuri de sisteme de ventilare în caz de incendiu.

Articolul denumit *“Ventilation on the Survival Conditions in a Room Set on Fire”* a fost trimis spre publicare în revista *Mathematical Modelling in Civil Engineering*. Studiul realizează o analiză a modului în care ratele diferite de ventilare al unui spațiu incendiat afectează condițiile de evacuare și de supraviețuire aa utilizatorilor.

5. CONCLUZII

Prezenta cercetare a avut drept principal scop analizarea modului în care diferite instalații cu rol în securitatea la incendiu se influențează reciproc. În cazul de față este vorba despre instalația automată de ventilare pentru evacuarea aerului fierbinte încărcat cu noxe, gaze de ardere și fum și cea de stingere automată cu apă de tip sprinkler. S-a urmărit modul în care cele două tipuri se influențează reciproc, dar și cum se modifică parametrii minimi necesari pentru asigurarea supraviețuirii în caz de incendiu a persoanelor.

Se constată că influența sistemul de ventilare asupra instalațiile de stingere automată cu sprinklere este una semnificativă.

Ceea ce aduce în plus prezenta cercetare o reprezintă stabilirea unor grafice și a unor funcții polinomiale de dependență a parametrilor care descriu incendiul, cum ar fi temperaturile interioare, concentrația de oxigen, concentrația de dioxid de carbon și vizibilitatea de HRRPUA(cantitatea de energie introdusă în sistem) și de numărul de schimburi orare pentru anumite intervale de referință și în condițiile date. S-a stabilit prin prezentul studiu că funcțiile polinomiale descriu cel mai bine această dependență.

Cercetarea trebuie continuată și în stabilirea unei corelații între modul în care cele două tipuri de instalații funcționează. O automatizare care să permită modificarea instantanee a debitului de aer în funcție de temperaturile interioare, astfel încât să se permită pornirea instalațiilor de sprinklere pentru limitarea și stingerea incendiilor este de analizat.

La momentul de față normele de proiectare leagă în mod simplificat debitul de ventilare numai de suprafața spațiului care este protejat de instalația de ventilare mecanică. Din cercetare reiese că nu este suficientă doar această legătură simplificată, parametrii care definesc incendiul depinzând de sarcina termică, adică de cantitatea și tipul de material combustibil din spațiul supus acțiunii incendiului.

Viitoare cercetări ar trebui să găsească o metodă de stabilire a caracteristicilor și modului de funcționare al instalației de ventilare mecanică care să ia în considerare nu doar suprafața spațiului ci toate caracteristicile lui geometrice precum și cantitatea și tipul de material combustibil existent în spațiul supus acțiunii incendiului.