

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII  
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI  
ȘCOALA DOCTORALĂ  
DOMENIUL DE DOCTORAT: MINE, PETROL ȘI GAZE**



**Ing. ALEXANDRU CĂMĂRĂȘESCU**

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**CERCETĂRI PRIVIND MODUL DE FORMARE A  
ATMOSFERELOR POLUANTE ÎN RELAȚIE CU  
SISTEMELE DE VENTILAȚIE**

**RESEARCH ON THE FORMATION OF POLLUTING  
ATMOSPHERE IN RELATION TO VENTILATION  
SYSTEMS**

**Conducător științific,**

**Prof. univ. dr. ing. SORIN MIHAI RADU**

**Petroșani**

**2024**

	<b>CUPRINS</b>	3.
	<b>LISTA FIGURILOR</b>	5.
	<b>LISTA TABELELOR</b>	8.
	<b>INTRODUCERE. IMPORTANȚA ȘI NECESITATEA TEMEI. OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI</b>	9.
<b>CAPITOLUL I</b>	<b>ATMOSFERA INCINTELOR</b>	15.
	1.1.- Noțiuni de bază	15.
	1.2.- Echipamente de ventilare	15.
	1.3.- Particularitățile factorilor de mediu în domeniul industrial	16.
<b>CAPITOLUL II</b>	<b>INSTALAȚII DE VENTILARE LOCALĂ ȘI MOD DE CALCUL A DEBITULUI</b>	18.
	2.1.- Generalități	18.
	2.2.- Instalații auxiliare prin suprapresiune	18.
	2.2.1. Dușuri de aer	18.
	2.2.2. Perdele de aer	20.
	2.3 - Instalații auxiliare prin depresiune	22.
	2.3.1 Utilizare	22.
	2.3.2. Echipamente deschise	22.
	2.3.3. Echipamente semiînchise	24.
	2.3.4. Echipamente închise	25.
	2.4.- Instalații auxiliare prin presiune și depresiune. Tipuri constructive	26.
	2.5.- Determinarea debitului de aer	26.
	2.5.1.- Aparatura de lucru	26.
	2.5.2.- Modul de lucru	26.
<b>CAPITOLUL III</b>	<b>GAZE EXPLOZIVE, TOXICE ȘI ASFIXIANTE</b>	29.
	3.1. Compoziția aerului	29.
	3.1.1. Compoziția aerului atmosferic	29.
	3.1.2. Compoziția aerului de mină	30.
	3.2. Noțiuni de toxicologie	31.
	3.2.1. Substanțe toxice de natură gazoasă	31.
<b>CAPITOLUL IV</b>	<b>DINAMICA FLUIDELOR</b>	40.
	4.1. Dinamica fluidelor ideale	40.
	4.1.1. Ecuațiile lui Euler	40.
	4.1.2. Teorema impulsului și teorema momentului cinetic în cazul mișcării permanente a fluidelor	43.
	4.1.3. Difuzia în gaze și difuzia liberă la presiuni joase	45.
	4.2. Dinamica fluidelor reale	46.
	4.2.1. Mișcarea laminară	46.
	4.2.2. Starea de tensiune într-un fluid în mișcare	47.
	4.2.3. Ecuațiile Cauchy	48.
	4.2.4. Ecuațiile lui Navier - Stokes	49.
<b>CAPITOLUL V</b>	<b>SIMULAREA DISPERSIEI GAZELOR</b>	53.
	5.1. Programe de simulare	54.
	5.1.1. PHAST	54.
	5.1.2. TRACE	54.
	5.1.3. FLACS	54.
	5.1.4. KFX	55.
	5.2. Simularea CFD a dispersiei metanului	56.

	5.2.1. Simularea dispersiei de metan în interiorul unei incinte	56.
	5.3. Simularea CFD a dispersiei dioxidului de carbon	61.
	5.3.1. Simularea dispersiei CO <sub>2</sub> într-o incintă semiînchisă	63.
	5.3.2. Modele CFD pentru dispersie pe terenuri complexe	67.
	5.4. Simularea dispersiei oxidului de carbon	77.
	5.4.1. Date și metodologie	78.
	5.4.2. Modelarea dispersiei de oxid de carbon	79.
<b>CAPITOLUL VI</b>	<b>DESCRIEREA AMPLASAMENTULUI</b>	82.
	6.1. Amplasamentul	82.
	6.2. Sistem de experimentare pentru studiul dinamicii de formare a atmosferelor potențial explozive/toxice/asfixiante	82.
	6.3. Sistem de securitate	83.
	6.3.1. Sistemul de ventilație	83.
	6.3.2. Sistemul de automatizare echipamente de forță (ventilatoare)	84.
	6.3.3. Sistemul de comandă și control	85.
<b>CAPITOLUL VII</b>	<b>EXPERIMENTĂRI ÎN LABORATOR</b>	86.
	7.1. Experimentări prin utilizarea metanului, CH <sub>4</sub>	86.
	7.2. Experimentări utilizarea Oxidului de Carbon, CO	90.
	7.3. Experimentări prin utilizarea Dioxidului de Carbon, CO <sub>2</sub>	94.
<b>CAPITOLUL XIII</b>	<b>MODELĂRI CFD</b>	98.
	8.1. Modelarea dispersiei metanului într-o incintă închisă	100.
	8.2. Modelarea dispersiei oxidului de carbon într-o incintă închisă	103.
	8.3. Modelarea dispersiei dioxidului de carbon într-o incintă închisă	106.
<b>CAPITOLUL IX</b>	<b>CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE</b>	111.
	9.1. Concluzii	111.
	9.2. Contribuții personale	115.
	9.3. Direcții viitoare de cercetare	116.
<b>BIBLIOGRAFIE</b>		118.
<b>ANEXĂ</b>		132.

## 1. CUVINTE CHEIE

În continuare pentru o mai bună înțelegere a expunerii ce urmează se impune enumerarea câtorva noțiuni specifice domeniului abordat: *sisteme de ventilație industrială, gradient de dispersie, atmosferă toxică/explozivă/asfixiantă, experimentări, dispersia gazelor, modelare CFD.*

## 2. IMPORTANȚA ȘI NECESITATEA TEMEI. OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI

La nivel european și național activitatea proactivă privind accidentele de muncă și îmbolnăviri profesionale ocupă un loc important în ceea ce privește preocupările factorilor decizionali.

Activitatea proactivă are la bază evaluarea riscurilor la nivelul unității economice.

Evaluarea riscurilor se bazează pe două elemente: frecvența și gravitatea.

Obligația evaluării riscurilor la locul de muncă este prevăzută în legislația europeană - Directiva Consiliului nr. 89/391/EEC și are drept scop dimensionarea și optimizarea protecției lucrătorilor.

Identificarea riscurilor precum și eliminarea acestora are la bază sprijinul tuturor participanților la procesul de muncă.

Responsabilitatea privind asigurarea condițiilor SSM le revine conducătorilor unităților economice, potrivit Legii nr. 319/2006.

Legea nr. 319/2006 prevede ca locurile de muncă și echipamentele utilizate să fie sigure realizate, utilizate și întreținute.

Activitățile economice presupun prezența riscurilor care pot avea drept consecințe pierderi economice, defecțiuni ale echipamentelor, accidente minore sau majore și poluarea mediului.

Prin evaluarea riscurilor, agenții economici dispun de instrumentele necesare pentru îmbunătățirea condițiilor de muncă.

De asemenea evaluarea riscurilor permite conducătorilor agenților economici să acționeze în sensul reducerii nivelului de risc de la mare la acceptabil.

Riscurile generate de apariția atmosferelor gazoase cu proprietăți combustibile, toxice sau asfixiante sunt foarte importante deoarece pot crea premisele apariției fenomenelor de explozie, toxice sau asfixiere.

Evitarea sau eliminarea riscurilor de apariție a atmosferelor explozive, asfixiante sau toxice presupune aplicarea unui sistem de ventilare eficient la nivelul incintelor industriale, sistem de ventilare care reprezintă protecția primară utilizată împotriva formării acestor tipuri de atmosfere.

Elementele prezentate anterior scot în evidență necesitatea cercetării științifice privind analiza atmosferelor de natură explozivă, toxică, asfixiantă, a dinamicii de formare a acestora, precum și a capacității de aerisire a incintelor închise sau semiînchise în scopul identificării traseelor optime de evacuare a lucrătorilor în caz de pericol iminent.

Teza de doctorat scoate în evidență idei și rezultate aplicabile de către personalul specializat în domeniul SSM de la nivelul unităților economice care au responsabilități privind buna funcționare a proceselor tehnologice care se desfășoară în incinte închise sau semiînchise.

### **Obiectivele tezei**

#### ***Obiectivul general***

Obiectivul principal al tezei este reprezentat de stabilirea modului de formare a atmosferelor poluante în relație cu sistemele de ventilație în scopul dimensionării măsurilor proactive, respectiv pentru asigurarea SSM.

Identificarea elementelor specifice atmosferelor de natură explozivă, toxică și asfixiantă reprezintă rezultatul care se dorește a fi atins prin derularea activității de cercetare. Totodată rezultatul vizat presupune modul și dinamica de formare a atmosferelor de natură explozivă, toxică,

asfixiantă, precum și stabilirea instrumentelor matematice necesare stabilirii dinamicii de formare a atmosferelor de natură explozivă, toxică, asfixiantă. Totodată se are în vedere rolul sistemelor de ventilare, respectiv capacitatea de ventilare a acestora în condițiile în care este prezent riscul de formare a atmosferelor explozive, toxice, asfixiante.

### ***Obiectivele specifice***

Identificarea principiilor terotehnologice utilizabile în domeniul ventilației industriale.

Stabilirea metodelor și tehnicilor de determinare a parametrilor de stare a aerului, analiza microclimatului incintelor industriale.

Identificarea instalațiilor de ventilare locală utilizate în cadrul incintelor industriale închise sau semiînchise.

Analiza legităților de curgere prin prisma dinamicii fluidelor în scopul stabilirii ecuațiilor matematice de stabilire a mișcării fluidelor reale.

Evaluarea amănunțită a capacităților de simulare privind dispersia gazelor, cu ajutorul programelor de simulare specializate.

Efectuarea de experimentări în laborator pentru identificarea dinamicii de formare a atmosferelor explozive, toxice sau asfixiante și interacțiunea acestora cu sistemele de ventilare industrială.

Realizarea de modelări CFD privind dispersia metanului, oxidului de carbon și a dioxidului de carbon într-o incintă închisă.

## **3. STRUCTURA TEZEI**

Teza de doctorat prezintă în partea de început o parte destinată prezentării importanței, scopului și obiectivelor cercetării. Corpul de bază este structurat în nouă capitole prin intermediul cărora se prezintă metodologia și rezultatele cercetării științifice în cadrul a 134 pagini, respectiv o anexă.

Capitolele sunt dimensionate și dispun de o grafică adecvată iar lucrarea de doctorat cuprinde 102 figuri, 15 tabele și 134 de referințe bibliografice citate în lucrare. Rezultatele activității de experimentare a eforturilor privind experimentările realizate la nivelul unei incinte închise privind dinamica de formare a atmosferelor asfixiante, toxice și explozive, a capacității de ventilare a incintelor precum și simularea cu ajutorul tehnicii CFD a formării atmosferelor explozive, toxice și asfixiante într-o incintă închisă și în mod special activitatea de analiză, sinteză și de concepție necesară atingerii obiectivelor stabilite sunt prezentate în mod sistematic în cadrul lucrării. Demersul științific este realizat în mod unitar și se bazează pe analiza științifică privind dinamica fluidelor, experimentări în laborator și modelări CFD, și se finalizează cu stabilirea dinamicii de formare a atmosferelor de natura explozivă, toxică, asfixiantă în raport cu sistemele de ventilare industrială.

În **capitolul I**, intitulat „**Atmosfera incintelor**”, sunt prezentate echipamentele de ventilare care au rolul de asigurare a microclimatului optim la nivelul incintelor industriale. Sistemul de ventilare adoptat trebuie să țină seama de procesul tehnologic, de densitatea surselor și modul de propagare a nocivităților, respectiv de intensitatea degajărilor nocive. Pentru menținerea atmosferelor incintelor industriale la un nivel adecvat pentru desfășurarea activităților necesare de către lucrători, presupun controlul factorilor care asigură calitatea mediului, în limite acceptabile la nivelul incintei închise (temperatura aerului interior, umiditatea relativă, viteza de mișcare, temperatura medie de radiație).

**Capitolul II**, care poartă titlul „**Instalații de ventilare locală și mod de calcul a debitului**” prezintă sistemele de captare locală. Instalațiile de ventilare locală utilizate depind de natura agenților nocivi, de specificațiile utilajelor, de tipul proceselor tehnologice, de caracteristicile incintei și pot fi realizate prin dispozitive sub depresiune, suprapresiune sau depresiune și suprapresiune.

Instalațiile locale prin depresiune controlează dispersia nocivităților și asigură derularea proceselor tehnologice în condiții optime. Echipamentele de captare a nocivităților pot fi: deschise, semiînchise sau închise.

Instalațiile de ventilare auxiliare prin suprapresiune reprezintă o metodă de ventilare a locului de muncă, aplicat la procese tehnologice cu temperaturi înalte, locuri de muncă cu emisii de substanțe nocive.

Instalațiile de ventilare auxiliară prin suprapresiune și depresiune sunt utilizate în cadrul incintelor industriale de lățimi extinse, tuneluri pentru vopsire, uscare, cuve pentru electroliză și pentru toate sursele de substanțe nocive, gazoase sau pulverulente care au tendință de propagare la nivelul incintei utilizând sisteme de ventilare auxiliare.

Secțiunea substanțială privind metodologia de stabilire a debitului de aer este dedicată determinării debitului de aer în instalații de ventilare realizate din coloane de tuburi și instalații pentru realizarea aerajului general și local.

Pentru stabilirea debitului de aer realizat de instalațiile de ventilare se măsoară viteza curentului de aer, se face media vitezelor măsurate în același punct de măsură și se aplică relațiile necesare. Pentru secțiuni mari trebuie să ținem seama de coeficientul de secțiune.

Capitolul se încheie cu o sinteză a relațiilor ce stabilesc debitul necesar de aer.

În **capitolul III, „Gaze explozive, toxice și asfixiante”**, este prezentat, într-o manieră succintă compoziția aerului atmosferic. Compoziția aerului atmosferic variază în funcție de loc, altitudine, perioada anului precum și de alți factori. Principalii constituenți a aerului sunt: azot, oxigen, argon și dioxidul de carbon. Gazele din atmosferă au și alți constituenți în amestec după cum urmează: praf, polen, bacterii, viruși, spori de mucegai, particule de fum și reziduuri ale activităților industriale cum sunt SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> și S. Activitatea vulcanică aduce de asemenea diferite gaze și praf în atmosferă.

Aerul atmosferic în timpul aerisirii incintelor industriale se modifică atât din punct de vedere fizic cât și din punct de vedere al compoziției chimice. Astfel, constituenții care pot apărea în compoziția aerului evacuat din incintele industriale, pot fi grupați în patru categorii: toxici, sufocați, explozivi și radioactivi.

Majoritatea dezastrelor și accidentelor care au avut loc și care continuă să se producă la nivelul incintelor industriale, se datorează efectelor otrăvitoare, sufocante și explozive ale acestor gaze.

**Capitolul IV „Dinamica fluidelor”**. Dinamica fluidelor studiază mișcarea fluidelor și interacțiunea lor cu corpurile rigide, ținând seama de forțele care intervin și de transformările energetice produse în timpul mișcării. În dinamica fluidelor se aplică principiile generale ale mecanicii generale, legi de variație și legi de conservare. Dinamica fluidelor abordează mișcarea fluidelor considerând forțele care intervin și transformările energetice produse în timpul mișcării. Cinematica fluidelor studiază mișcarea fluidelor fără să se țină cont de forțele care intervin și modifică starea de mișcare.

Pentru studiul dinamicii fluidelor ideale am analizat ecuațiile lui Euler, Helmholtz, respectiv Gromeka-Lamb, teorema impulsului și teorema momentului cinetic în cazul mișcării permanente a fluidelor. Cele două teoreme pentru un punct material se definesc astfel: variația în timp a impulsului este suma forțelor exterioare, respectiv derivata în timp a momentului cinetic și este momentul rezultat al forțelor exterioare.

Curgerea fluidelor reale se poate produce în două regimuri diferite de mișcare stabilite în raport cu structura fizică a acestora: regimul laminar și regimul turbulent. Existența acestor regimuri diferite de mișcare a fost pusă în evidență de fizicianul englez Reynolds.

S-a stabilit experimental și teoretic că în mișcarea laminară, lichidul întâmpină o rezistență proporțională cu viteza medie, iar în regimul turbulent, la numere Reynolds mari, rezistența este proporțională cu pătratul vitezei. Fenomenul este general pentru toate fluidele deci și pentru gaze.

Pentru studiul mișcării fluidelor reale au fost analizate ecuațiile Cauchy, Navier-Stokes, Cauchy-Helmholtz și s-a stabilit că ecuațiile Navier-Stokes reprezintă cel mai bine procesul de curgere laminară a fluidelor reale.

În *capitolul V*, „**Simularea dispersiei gazelor**” se prezintă programe sau pachete de programe specializate utilizate pentru simularea dispersiei gazelor. Un instrument integrat se bazează pe reproducerea testelor experimentale prin utilizarea unor ecuații algebrice simplificate. În plus, ecuațiile semi-fizice sunt adăugate pentru predicția scenariilor care sunt ușor diferite de testele experimentale.

Instrumentele integrate sunt robuste și extrem de rapide de utilizat (timpul de simulare este de ordinul secundelor). Instrumentele integrate nu pot include efecte ale obstacolelor fizice sau ale terenului (există parametri care pot fi folosiți pentru a imita un efect mediu al clădirilor sau copacilor).

Cele mai uzuale programe de simulare sunt: PHAST, TRACE, FLACS și KFX.

Prezența accidentală în concentrații mari a gazului metan poate să apară atât în incintele industriale, în subteran sau în spațiile de locuit.

În acest capitol am prezentat diferite simulări folosind tehnica CFD efectuate de-a lungul anilor pentru scurgerea și difuzia metanului într-o incintă, dispersiei dioxidului de carbon într-o incintă semiînchisă și pe terenuri complexe, respectiv dispersia oxidului de carbon în atmosferă la lansarea unei rachete.

**Capitolul VI, „Descrierea amplasamentului”.** Pentru acoperirea necesităților de experimentare a sistemelor de ventilație utilizabile în incinte industriale cu caracter închis sau semiînchis, respectiv pentru studiul dinamicii de formare a atmosferelor explozive, INCD INSEMEX Petroșani a alocat un spațiu dedicat în acest sens. Spațiul este reprezentat de o clădire destinată experimentării sistemelor de ventilație industrială.

Asigurarea condițiilor de SSM la locul de experimentare presupune utilizarea unui sistem de ventilație complex destinat aerisirii și ventilării incintelor cu risc de formare a atmosferelor potențial explozive/toxice/asfixiante.

Tabloul de alimentare și automatizare cuprinde echipamente de protecție și convertizoare de frecvență pentru comanda alimentării cu energie electrică a ventilatoarelor, inclusiv al ventilatorului de acționare pentru sistemul de ventilație complex cu structură variabilă.

Sistemul de comandă și control este asigurat de un sistem de automatizare care permite comanda și controlul echipamentelor, atât pentru echipamentele de forță cât și pentru variatoarele de debit.

**Capitolul VII, „Experimentări în laborator”.** Pentru studiul dinamicii de formare a atmosferelor explozive, toxice sau asfixiante, în cadrul laboratorului de experimentări, s-au efectuat următoarele experimentări:

- Experimentări prin utilizarea metanului, CH<sub>4</sub>;
- Experimentări prin utilizarea oxidului de carbon, CO;
- Experimentări prin utilizarea dioxidului de carbon, CO<sub>2</sub>.

Experimentele au fost realizate într-o încăpere cu dimensiunile de 5,8x5,62 m, înălțimea 3,65 metri, în consecință volumul total a incintei de experimentare este de 118,9754 m<sup>3</sup>. Având în vedere faptul că în incintă sunt amplasate și alte sisteme de experimentare se consideră volumul liber al incintei de 116 m<sup>3</sup>.

Acest sistem de experimentare este compus dintr-un sistem de achiziție date, un sistem de monitorizare format din 6 scripeți pe care sunt atașate 6 aparate de detecție multigaz de tip ALTAIR, care pot detecta concentrații de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO și CH<sub>4</sub> și sistem de monitorizare. Sistemul de scripeți poate configura o dispunere spațială variabilă în scopul stabilirii vitezei dispersiei gazelor precum și a dinamicii de formare a atmosferelor explozive.

În ceea ce privește experimentarea privind stabilirea dinamicii de formare a atmosferelor explozive prin utilizarea metanului, sistemul este format dintr-o butelie de gaz metan comprimat la presiunea de 200 bari la o concentrație de 100% volum, un reductor de presiune, respectiv un debitmetru cu flotor. Gazul a fost introdus în incintă prin intermediul unui furtun cu diametrul de 8 mm. Refularea gazului metan în interiorul incintei a fost realizată prin intermediul unui suport amplasat la 0,25 metri de vatră pe peretele estic la jumătatea laturii de bază a acestuia.

Gradientul de dispersie și diluare progresivă a gazului la nivelul incintei închise, Gd a fost cuprins între 0,271 și 0,782 % vol/h.

Gazul metan refulat în incinta închisă a prezentat un fenomen de acumulare neuniformă la nivelul tavanului, dovedit de faptul că au fost identificate concentrații de gaze la nivelul aparatelor de detecție cuprinse între 0,4-1,15% volum comparativ cu valoarea concentrației medii calculate în raport cu volumul liber al incintei de 0,36% volum.

În ceea ce privește experimentarea privind stabilirea dinamicii de formare a atmosferelor toxice prin utilizarea oxidului de carbon, sistemul este format dintr-o butelie de oxid de carbon comprimat la presiunea de 200 bari la o concentrație de 230 ppm, un reductor de presiune, respectiv un debitmetru cu flotor. Gazul a fost introdus în incintă prin intermediul unui furtun cu diametrul de 8 mm. Refularea oxidului de carbon în interiorul incintei a fost realizată prin intermediul unui suport amplasat la 0,25 metri de vatră pe peretele estic la jumătatea laturii de bază a acestuia.

Gradientul de dispersie și diluare progresivă a gazului la nivelul incintei închise, Gd a fost cuprins între 4,277 și 4,753 % ppm/h.

Oxidul de carbon refulat în incinta închisă a prezentat un fenomen de acumulare relativ uniformă la nivelul incintei, dovedit de faptul că au fost identificate concentrații de gaze la nivelul aparatelor de detecție cuprinse între 16 și 18 ppm. comparativ cu valoarea concentrației medii calculate în raport cu volumul liber al incintei de 15,86 ppm.

În ceea ce privește experimentarea privind stabilirea dinamicii de formare a atmosferelor asfixiante prin utilizarea dioxidului de carbon, sistemul este format dintr-o butelie de dioxid de carbon comprimat la presiunea de 60 bari la o concentrație de 100% volum, un reductor de presiune, respectiv un debitmetru cu flotor. Gazul a fost introdus în incintă prin intermediul unui furtun cu diametrul de 8mm. Refularea dioxidului de carbon în interiorul incintei a fost realizată prin intermediul unui suport amplasat la 0,25 metri de vatră pe peretele estic la jumătatea laturii de bază a acestuia.

Gradientul de dispersie și diluare progresivă a gazului la nivelul incintei închise, Gd a fost cuprins între 0,3356 și 0,4552 % vol/h.

Dioxidul de carbon refulat în incinta închisă a prezentat un fenomen de acumulare relativ neuniformă la vetrei, dovedit de faptul că au fost identificate concentrații maxime de gaze la nivelul aparatelor de detecție cuprinse între 1,06 și 1,4 % volum comparativ cu valoarea concentrației medii calculate în raport cu volumul liber al incintei de 0,74% volum.

**Capitolul VIII, „Modelări CFD”.** Pentru studiul dinamicii de dispersie a gazelor explozive, toxice și asfixiante a fost utilizată tehnica CFD cu ajutorul pachetului de software ANSYS MULTIPHISICS pentru dispersia CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>.

În scopul derulării simulărilor de o manieră cât mai apropiată de condițiile de experimentare a fost efectuată ridicarea topografică a locației din cadrul laboratorului de experimentare unde au fost realizate experimentările în laborator, și a fost realizată macheta computerizată.

Pentru modelarea dispersiei metanului au fost stabilite următoarele aspecte: concentrație 100% volum, debitul de gaz refulat în interiorul incintei este de 4,5 l/min și timpul de simulare stabilit la 10 minute. Din modelarea privind dispersia gazelor explozive în incinta închisă prin utilizarea metanului, se desprind următoarele aspecte: Modelarea dispersiei gazului metan în incinta închisă a prezentat un fenomen de dispersie orientată pe direcția de curgere a jetului de gaz refulat. Curgerea gazului metan are forma unui jet plan lipit de vatră până la jumătatea incintei pe direcția de curgere după care se desprinde și tinde spre peretele opus. Fluxul de gaz urcă pe peretele opus și dispersează neuniform la nivelul tavanului. Concentrația de gaz metan este maximă în zona sursei, scade treptat prin diluare pe măsură ce se îndepărtează de sursă și devine variabilă și redusă în zona de acumulare la tavan. Dacă gazul metan ar fi introdus continuu o perioadă mai mare de timp, atmosfera din incintă ar fi dislocuită începând de la tavan spre vatră.

Pentru modelarea dispersiei oxidului de carbon au fost stabilite următoarele aspecte: concentrație de 230 ppm, debitul de gaz refulat în interiorul incintei este de 4,5 l/min și timpul de simulare stabilit la 10 minute. Din modelarea privind dispersia gazelor toxice în incinta închisă prin utilizarea oxidului de carbon, se desprind următoarele aspecte: Modelarea dispersiei oxidului de



carbon în incinta închisă a prezentat un fenomen de dispersie orientată pe direcția de curgere a jetului de gaz refulat. Curgerea oxidului de carbon are forma unui jet plan lipit de vatră până la nivelul peretelui opus. Fluxul de gaz urcă vertical pe pereții opus și dispersează uniform la nivelul tavanului. Concentrația de oxid de carbon este maximă în zona sursei, scade treptat prin diluare pe măsură ce se îndepărtează de sursă și devine relativ uniformă și redusă în zona de acumulare la nivelul întregii incinte. Dacă oxidul de carbon ar fi introdus continuu o perioadă mai mare de timp atmosfera din incintă ar prezenta concentrații relativ uniforme în toată incinta.

Pentru modelarea dispersiei dioxidului de carbon au fost stabilite următoarele aspecte: concentrație 100% volum, debitul de gaz refulat în interiorul incintei este de 4,5 l/min și timpul de simulare stabilit la 10 minute. Din modelarea privind dispersia gazelor asfixiante în incinta închisă prin utilizarea dioxidului de carbon, se desprind următoarele aspecte: Modelarea dispersiei dioxidului de carbon în incinta închisă a prezentat un fenomen de dispersie orientată pe direcția de curgere a jetului de gaz refulat. Curgerea dioxidului de carbon are forma unui jet plan lipit de vatră până la nivelul peretelui opus. Gazul dispersează neuniform vertical de la nivelul vetrei. Concentrația de dioxid de carbon este maximă în zona sursei, scade treptat prin diluare pe măsură ce se îndepărtează de sursă și devine relativ uniformă și redusă în zona de acumulare la nivelul vetrei. Dacă dioxidul de carbon ar fi introdus continuu o perioadă mai mare de timp atmosfera din incintă ar fi dislocuită începând de la vatră spre tavan.

**Capitolul IX „Concluzii, contribuții personale și direcții de cercetare viitoare”** prezintă rezultatele obținute din sinteza conceptelor, a metodelor și a cercetărilor experimentale.

Planul teoretic și planul pragmatic, ambele cu accent pe modul în care acestea pot fi aplicate se interconectează.

La finalul capitolului sunt prezentate câteva direcții de cercetare esențiale ce pot fi cercetate în perspectivă.

Autorul crede că aceste direcții ar putea contribui la creșterea înțelegerii și cunoștințelor cu privire la modul de formare a atmosferelor poluante de natură explozivă, toxică, asfixiantă în relație cu sistemele de ventilație industrială. Acesta include un capitol care sintetizează rezultatele și oferă o descriere detaliată a contribuțiilor la domeniul de cercetare.

#### **4. CONTRIBUȚII PERSONALE**

În opinia mea, teza de doctorat aduce o serie de *contribuții originale* la dezvoltarea cunoașterii în domeniul modului de formare a atmosferelor poluante în relație cu sistemele de ventilație, având un potențial important de a contribui la reducerea îmbolnăvirilor profesionale, respectiv prevenirea accidentelor de muncă și a îmbolnăvirilor profesionale în numeroase ramuri și unități industriale. În cele ce urmează voi evidenția câteva din cele mai semnificative contribuții personale.

##### ***Din punct de vedere al cercetării teoretice și metodologice:***

- Elaborarea sistemului de obiective specifice ale cercetării, în interdependență cu obiectivul general al tezei de doctorat;
- Evidențierea, pe baza analizelor realizate, a aspectelor teoretice și instrumentelor practice care au fundamentat în continuare abordarea unitară și interdependentă a aspectelor specifice modului de formare a atmosferelor poluante în relație cu sistemele de ventilație;
- Am realizat o sinteză privind microclimatul incintelor industriale atât cu privire la sistemele de ventilație aplicabile cât și cu privire la particularitățile factorilor de mediu în domeniul industrial;
- Am sintetizat instalațiile de ventilație locală utilizabile în incintele industriale prin care am scos în evidență instalațiile de ventilație locală prin refulare, instalațiile de ventilație locală prin aspirație, respectiv instalațiile de ventilație locală prin refulare și aspirație;
- Am efectuat o sinteză a metodologiei de stabilire a debitului de aer prin prisma aparatului și modului de lucru;

- Am analizat gazele explozive, toxice și asfixiante care pot intra în compoziția aerului prin prisma aspectelor toxicologice;
- Am realizat o sinteză asupra dinamicii fluidelor în domeniul fluidelor ideale utilizând ecuațiile lui Euler, teorema impulsului și teorema momentului cinetic, respectiv difuzia în gaze și difuzia liberă la presiuni joase;
- Am realizat de asemenea o analiză sistematică a mișcării fluidelor reale prin prisma mișcării laminare, a stării de tensiune în fluid, a ecuațiilor de mișcare Cauchy, respectiv prin ecuațiile lui Navier-Stokes;
- Am analizat în profunzime programele de simulare privind dispersia gazelor de tip PHAST, TRACE, FLACS și KFX;
- Totodată am realizat o analiză succintă cu privire la simularea dispersiei gazelor cu ajutorul tehnicii CFD în ceea ce privește dispersia metanului, dispersia dioxidului de carbon, respectiv dispersia oxidului de carbon;
- Pentru cunoașterea aprofundată a fenomenelor privind dispersia gazelor în scopul stabilirii dinamicii de formare a atmosferelor explozive, toxice sau asfixiante, am realizat un sistem de experimentare dotat cu un sistem de securitate pentru protecția lucrătorilor;
- Am dezvoltat o abordare metodologică complet nouă și inovativă în ceea ce privește experimentarea, respectiv simularea privind formarea atmosferelor explozive, asfixiante sau toxice;

#### ***Din punct de vedere al contribuțiilor practice și aplicative:***

- Am evidențiat sistematic modul de identificare și stabilire a instrumentelor matematice necesare în scopul stabilirii modului de formare a atmosferelor asfixiante, toxice sau explozive.
- Am contribuit la realizarea sistemului de experimentare pentru studiul privind formarea atmosferelor asfixiante, toxice sau explozive, de asemenea am contribuit la realizarea sistemului de securitate care a cuprins un sistem de ventilație cu structură variabilă, un sistem de automatizare echipamente de forță, respectiv un sistem de comandă și control tip SCADA.
- Am realizat experimentări privind dinamica de formare a atmosferelor explozive privind utilizarea metanului, CH<sub>4</sub>.
- Am realizat experimentări privind dinamica de formare a atmosferelor toxice privind utilizarea oxidului de carbon, CO.
- Am realizat experimentări privind dinamica de formare a atmosferelor asfixiante privind utilizarea dioxidului de carbon, CO<sub>2</sub>.
- Am realizat cu ajutorul tehnicii CFD modelarea dispersiei metanului într-o încălț închisă.
- Am realizat cu ajutorul tehnicii CFD modelarea dispersiei oxidului de carbon într-o încălț închisă.
- Am realizat cu ajutorul tehnicii CFD modelarea dispersiei bioxidului de carbon într-o încălț închisă.
- Am realizat o analiză matematică și grafică a modului de dispersie a gazelor cu caracter exploziv/toxic și asfixiant în încălț închise.
- Am conceput într-o viziune complet nouă, un parametru: Gd - gradientul de dispersie a gazelor care reflectă modul de formare a atmosferelor asfixiante, toxice sau explozive.

#### ***Din punct de vedere al diseminării rezultatelor:***

Pe parcursul stagiului de desfășurare a activităților doctorale, am publicat în calitate de prim autor/coautor un număr de 14 articole și lucrări științifice, și am făcut parte din colectivele de elaborare a 3 cărți și 6 cereri de brevete de invenție astfel:

- 2 lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate BDI;
- 12 lucrări publicate în volumele unor manifestări științifice internaționale;

- 3 cărți cu ISBN;
- 6 cereri de brevet de invenție.

## 5. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Orice demers științific este perfectibil și poate să comporte îmbunătățiri, perfecționări și adăugiri.

Pentru dezvoltarea în perspectivă a domeniului abordat și anume ”Modul de formare a atmosferelor poluante în relație cu sistemele de ventilație” se pot dezvolta direcții de cercetare după cum urmează:

- Introducerea în regulamentele de securitate și sănătate în muncă proprii a agenților economici care utilizează incinte închise sau semiînchise, a necesității privind realizarea de teste experimentale cu scopul de a stabili modul de formare a atmosferelor asfixiante, toxice sau explozive;

- Analiza modului de interdependență a instalațiilor de ventilare care funcționează în incinte închise/semiînchise în raport cu modul de formare a atmosferelor asfixiante, toxice sau explozive;

- Realizarea unor instrumente pentru monitorizarea în timp real a modul de formare a atmosferelor asfixiante, toxice sau explozive în raport cu intervalul de explozivitate sau intervalele periculoase specifice fiecărui gaz;

- Utilizarea programelor specializate pentru analiza, proiectarea și optimizarea sistemelor de ventilație industrială care funcționează, vehiculează sau controlează atmosfere potențial explozive/toxice/asfixiante.