

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ
DOMENIUL DE DOCTORAT: INGINERIE INDUSTRIALĂ**



Ing. MATEI ADRIAN

TEZĂ DE DOCTORAT

***CONTRIBUȚII PRIVIND ANALIZA TRIDIMENSIONALĂ A
MEDIILOR POTENȚIAL EXPLOZIVE CARE
INTERACȚIONEAZĂ CU SISTEME DE VENTILAȚIE
INDUSTRIALĂ***

***CONTRIBUTIONS ON THE THREE-DIMENSIONAL ANALYSIS OF
POTENTIAL EXPLOSIVE ENVIRONMENTAL INTERMEDIARIES
WITH INDUSTRIAL VENTILATION SYSTEMS***

Conducător științific,

Prof. univ. habil dr. ing. MORARU ROLAND

**Petroșani
2020**

	CUPRINS	3.
	LISTĂ FIGURILOR	5.
	LISTA TABELELOR	6.
	INTRODUCERE. IMPORTANȚA ȘI NECESITATEA TEMEI. OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI	7.
CAPITOLUL I.	ATMOSFERA INCINTELOR INDUSTRIALE. RISCURI SPECIFICE ȘI TEHNICI DE VENTILAȚIE	15.
	I.1 Atmosfera exterioară a incintelor industriale	15.
	I.1.1 Generalități	15.
	I.1.2 Poluarea aerului	16.
	I.1.2.1 Clasificare	16.
	I.1.2.2 Surse de poluare	17.
	I.1.2.3 Poluanți anorganici ai atmosferei	17.
	I.1.3 Emisii de poluanți atmosferici	18.
	I.2 Atmosfera interioară a incintelor industriale	18.
	I.2.1 Riscurile datorate poluării	20.
	I.2.1.1 Riscuri de intoxicare și de asfixiere	20.
	I.2.1.2 Riscul de explozie	22.
	I.2.1.3 Riscuri de expunere la cald și frig	22.
	I.2.2 Substanțe periculoase pentru organismul uman	22.
	I.2.2.1 Substanțe periculoase	23.
	I.2.3 Bolile profesionale	27.
	I.3 Ventilație industrială	28.
	I.3.1 Tehnici de ventilare industrială în medii potențial explozive sau toxice	28.
	I.3.1.1 Ventilația locală	29.
	I.3.1.1.1 Principii de realizare a ventilației locale	29.
	I.3.1.1.2 Dispozitive de captare	29.
	I.3.1.2 Ventilația generală	30.
	I.3.1.2.1 Principii generale de realizare	30.
	I.3.1.3 Aerul de compensare	31.
CAPITOLUL II.	ANALIZA ÎN SISTEM 2D A ATMOSFERELOR EXPLOZIVE	33.
	II.1 Inflamabilitatea/explozivitatea substanțelor explozive	33.
	II.2 Factori care influențează inflamabilitatea/explozivitatea substanțelor explozive	34.
	II.2.1. Dependența de energie	34.
	II.2.2 Dependența de temperatură	35.
	II.2.3. Dependența de compoziția chimică	35.
	II.2.4 Dependența de substanța combustibilă	36.
	II.2.5 Dependența de presiune	36.
	II.3. Analiza în sistem 2D a fenomenului de explozivitate	38.
	II.3.1. Diagrama de explozivitate Coward - Jones	38.
	II.3.2 Diagrama de explozivitate Ellicott	44.
	II.3.3 Diagrama de explozivitate USBM - Zabetakis	45.
	II.3.4 Diagrama de explozivitate Ternară sau Triunghiulară - Kennedy	47.
	II.3.5 Diagrama de explozivitate CCSM - Bardocz	50.
CAPITOLUL III.	CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND UTILIZAREA DIAGRAMELOR DE EXPLOZIVITATE	52.
	III.1. Utilizarea diagramei de explozivitate Coward - Jones	52.
	III.2 Utilizarea diagramei de explozivitate Ellicott	54.
	III.3 Utilizarea diagramei de explozivitate USBM - Zabetakis	55.
	III.4 Utilizarea diagramei de explozivitate Ternare - Kennedy	56.
	III.5 Utilizarea diagramei de explozivitate CCSM - Bardocz	57.
CAPITOLUL IV.	CERCETAREA ANALITICĂ A ATMOSFEREI EXPLOZIVE ÎN SISTEM 3D	59.
	IV.1. Triunghiul de explozivitate Coward - Jones	59.
	IV.2 Utilizarea diagramei de explozivitate	61.
	IV.3 Diagrama Coward - Jones	63.

	IV.4 Prisma de explozivitate	64.
	IV.5 Utilizarea prisme de explozivitate	71.
CAPITOLUL V.	<i>ANALIZA DESCRIPTIV GEOMETRICĂ A ATMOSFEREI EXPLOZIVE ÎN SISTEM 3D</i>	75.
	V.1. Reprezentarea punctului	76.
	V.1.1 Proiecția dublu ortogonală	76.
	V.1.2 Tripla proiecție ortogonală	79.
	V.2 Reprezentarea drepte	81.
	V.2.1 Proiecția drepte pe planul lateral	83.
	V.3 Reprezentarea planului	83.
	V.3.1 Plan paralel cu linia pământului	85.
	V.3.2 Pozițiile relative a două plane	86.
CAPITOLUL VI.	<i>MODELAREA ANALITIC GEOMETRICĂ A ATMOSFEREI EXPLOZIVE ÎN SISTEM 3 D</i>	87.
	VI.1. Prezentarea analitic geometrică în sistem plan	87.
	VI.1.1. Tratarea analitic geometrică a punctului în triunghiul de explozivitate	87.
	VI.1.2. Tratarea analitic geometrică a drepte	90.
	VI.1.3 Tratarea analitic geometrică a planului	92.
	VI.2. Prezentarea analitic geometrică în sistem spațial	93.
	VI.2.1 Tratarea analitic geometrică a punctului	93.
	VI.2.2 Tratarea analitic geometrică a drepte	97.
	VI.2.3. Tratarea analitic geometrică a planului	101
CAPITOLUL VII.	<i>ELABORAREA PROGRAMULUI INFORMATIC PCMEX DE PROGNOZĂ A COMPORTAMENTULUI MEDIILOR EXPLOZIVE</i>	105.
	VII.1 Stabilirea potențialului analizei de regresie ca instrument de predicție a atmosferei explozive	105.
	VII.1.1 Regresia matematică liniară	105.
	VII.1.2 Regresia matematică neliniară	108.
	VII.2 Prognosticarea timpului critic	113.
	VII.2.1 Aspecte teoretice	113.
	VII.2.2 Verificarea modelului teoretic	118.
	VII.3 Program pentru pronosticarea timpului critic	120.
	VII.3.1 Limbajul de programare R	120.
	VII.3.2 Programul pentru pronosticarea timpului critic în limbaj R	125.
CAPITOLUL VIII.	<i>VALIDAREA PCMEX: STUDIU DE CAZ PRIVIND DETERMINAREA TIMPULUI CRITIC</i>	126.
CAPITOLUL IX.	<i>CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE</i>	133.
	IX.1 Concluzii	134.
	IX.2 Contribuții personale	137.
	IX.3 Limite ale studiului și direcții de cercetare viitoare	139.
	IX.3.1 Limite ale studiului	139.
	IX.3.2 Direcții de cercetare viitoare	139.
BIBLIOGRAFIE		141.
ANEXE		148.

1. CUVINTE CHEIE

În continuare pentru o mai bună înțelegere a expunerii ce urmează se impune enumerarea câtorva noțiuni specifice domeniului abordat: mediu inflamabil/exploziv, risc, pericol, modelare în sistem 3D a amestului exploziv, diagramă de explozivitate, prismă de explozivitate, sistem de ventilație industrială, prognoșticare timp critic, distanță Ex generalizată, program informatic PCMEX.

2. IMPORTANȚA ȘI NECESITATEA TEMEI. OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI

Riscurile întâlnite în industrie sub formă de pericole potențiale pot genera, în cazul materializării potențialului de pericol specific, accidente de muncă, boli profesionale și pierderi de vieți omenești, ca urmare a unei perturbări neașteptate în procesului de muncă.

Necesitatea identificării riscurilor întâlnite la nivel industrial și în mod special a riscului de explozie, reprezintă o necesitate stringentă din următoarele motive:

- unul dintre cele mai importante riscuri îl reprezintă riscul de explozie;
- în cadrul funcționării continue a obiectivelor economice aferente ramurilor industriale active se utilizează sau apar substanțe sub formă de gaze, cețuri, prafuri sau pulberi care pot crea atmosfere potențial explozive sau toxice;
- pentru evitarea riscului de explozie este necesară eliminarea situațiilor de avarie care pot conduce la pierderea de vieți omenești, pierderi materiale respectiv închiderea unor obiective industriale;
- evitarea sau reducerea riscului de producere a exploziilor prin stabilirea comportamentului mediilor explozive, ca măsură pro-activă, reprezintă o prioritate;
- principala măsură de prevenire a exploziilor este realizarea unei ventilații corespunzătoare la nivelul incintelor izolate sau închise;
- problematica privind riscul de explozie din cadrul incintelor industriale nu trebuie abordată doar prin prisma realizării unui sistem optim de ventilație, ci și prin prisma monitorizării atmosferelor aferente incintelor industriale cu ajutorul unor instrumente specifice de tipul diagramelor de explozivitate;
- pericolul și riscul asociat de explozie, prezent permanent în cadrul anumitor incinte industriale și care expun lucrătorii în timpul proceselor de muncă reprezintă o motivație extrem de puternică pentru identificarea de noi mijloace și modalități de prevenire a fenomenelor de tip explozie.

Probabilitatea de formare a *unui mediu exploziv* în cazul disponibilității unui amestec de gaze inflamabile depinde de gradul de inflamabilitate al acestor substanțe în amestec cu aerul. *Mediul exploziv* se formează atunci când *gradul de dispersie* necesar este atins cu condiția simultană a situării concentrației substanțelor inflamabile din amestecul analizat în *limitele de explozivitate*. Prin însăși natura lor, gazele și vaporii sunt caracterizate de un *grad de dispersie* suficient. Literatura de specialitate din domeniului analizei riscurilor ocupaționale în mediu industrial descrie numeroase și variate metode și instrumente aplicabile în domeniul evaluării riscurilor, de exemplu în vederea identificării surselor de pericol (check-list-uri, analiza modurilor de defectare, a efectelor și criticității, analiza erorii de comandă, studiul HAZOP, analiza preliminară a riscurilor) sau destinate estimării cantitative sau semi-cantitative (analiza evenimentială, analiza bazată pe arborii de defectare sau de evenimente, diagramele cauze-consecințe, metoda Tripod-Beta etc), dar în cazul protecției împotriva exploziilor, acestea nu sunt utile decât în situații excepționale, de exemplu pentru determinarea surselor de aprindere în instalațiile tehnice complexe. Toate aceste aspecte susțin importanța și oportunitatea cercetării științifice consacrate analizei tridimensionale a mediilor potențial explozive care interacționează cu sisteme de ventilație industrială în scopul reducerii riscului de explozie. Rezultatele cercetării din

cadrul tezei de doctorat pot fi direct utilizate de către toți specialiștii/decidenții în domeniul Sănătății și Securității în Muncă din cadrul unităților industriale.

Obiectivele tezei

Obiectivul general

Obiectivul principal al cercetărilor doctorale are la bază ideea de a defini o abordare metodologică *complet nouă și inventivă* în ceea ce privește analiza tridimensională a mediilor potențial explozive, precum și instrumentele de aplicare specifice în scopul stabilirii permanente a punctului care definește atmosfera din incintele industriale în raport cu prisma de explozivitate.

Rezultatul vizat constă în elaborarea unui sistem 3 D pentru analiza atmosferelor explozive și, în mod explicit, se referă la construirea și utilizarea practică a prisme de explozivitate în mediile de muncă industriale. De asemenea, rezultatul vizat constă în identificarea, dezvoltarea și realizarea instrumentelor matematice necesare în scopul stabilirii timpului critic necesar unui punct care definește atmosfera din incinta industrială până în momentul în care atinge prisma de explozivitate, parametru extrem de important pentru dimensionarea și stabilirea modului de aplicare a măsurilor de prevenire, printre care cele mai importante sunt: pre-alarmarea, alarmarea și evacuarea personalului.

Obiectivele specifice

- I. realizarea unui studiu documentar privind atmosfera incintelor industriale, a riscurilor specifice respectiv a tehnicilor de ventilație aplicabile;
- II. studiul sistemelor grafice plane utilizabile pentru analiza atmosferelor explozive.
- III. validarea modului de utilizare a diagramei de explozivitate;
- IV. elaborarea unei metode originale, cu caracter de noutate pe plan național, de cercetare analitică tridimensională a atmosferelor explozive;
- V. stabilirea bazei matematice din perspectivă descriptiv – geometrică, respectiv analitic - geometrică a atmosferelor explozive în sistem tridimensional;
- VI. elaborarea unui instrument informatic de prognoză a comportamentului mediilor explozive în scopul stabilirii timpului critic.

3. STRUCTURA TEZEI

Teza de doctorat este compusă din IX capitole și cuprinde 132 de pagini consacrate demersului științific propriu-zis și 13 pagini corespunzătoare celor 2 anexe, 79 de figuri, 10 tabele și 141 de referințe bibliografice.

Alcătuirea pe capitole a tezei urmărește o abordare logică, procedurală, fiecare capitol prezentând aspecte care au fost introduse în conceperea și elaborarea metodei de analiză tridimensională a mediilor explozive și – ulterior - în dezvoltarea aplicației informatice PCMEX de prognoză a comportamentului mediilor explozive.

În cadrul lucrării sunt prezentate sintetic și sistematic cercetările personale, reprezentând rezultatele eforturilor de documentare, culegere și prelucrare a datelor și - în mod special - de concepție. Teza de doctorat este concepută ca un tot unitar care pornește de la studiul documentar și se finalizează cu metodele și instrumentele necesare analizei inovative în sistem tridimensional a mediilor explozive.

Capitolul I intitulat „*Atmosfera incintelor industriale. Riscuri specifice și tehnici de ventilație*”, vizează delimitarea cadrului conceptual al cercetării, incluzând noțiuni referitoare la atmosfera exterioară a incintelor industriale, cu referire directă la poluarea aerului, clasificarea modurilor de poluare, surselor de poluare și poluanților anorganici ai atmosferei, respectiv cu privire la emisiile de poluanți atmosferici. De asemenea, sunt sintetizate informații specifice atmosferei interioare a incintelor industriale, unde au fost analizate riscurile datorate poluării, cu accent deosebit pe riscurile de intoxicare și asfixiere, riscul de explozie și riscul de expunere la temperaturi extreme. Sunt analizate substanțele periculoase pentru organismul uman și bolile profesionale care pot să apară ca urmare a expunerii organismului uman. Suplimentar, sunt

prezentate elementele de ventilație industrială, cu accent direct pe tehnicile de ventilare industrială și mediile potențial explozive sau toxice. În acest context au fost analizate sistemele de ventilație locală, principiile de realizare a ventilației locale, respectiv dispozitivele de captare a noxelor. Totodată au fost prezentate și analizate sistemele de ventilație generală, cu accent plasat pe principiile generale de realizare, respectiv pe aerul de compensare. S-a evidențiat faptul că ventilația generală acceptă un anumit grad de poluare reziduală, acesta fiind principalul motiv pentru care ea ar trebui să fie folosită doar ca un adaos la ventilația locală, în special pentru a asigura o contribuție minimă de aer proaspăt în incinte și pentru a dilua poluanții necaptați de sistemul de aspirație locală.

Capitolul II având titlul „*Analiza în sistem 2D a atmosferelor explozive*” este dedicat studiului atmosferelor explozive și metodelor de analiză grafică a acestora; în acest context a fost analizată detaliat proprietatea de inflamabilitate/ explozivitate a substanțelor explozive, respectiv factorii care influențează inflamabilitate/explozivitatea acestora. Dintre factorii care influențează inflamabilitatea substanțelor explozive au fost analizate îndeosebi: dependența de energie, de temperatură, de compoziția chimică, de substanțele explozive și de presiune. În ceea ce privește analiza grafică a fenomenelor de explozie au fost studiate diagramele de explozivitate în sistem 2 D și anume: Coward – Jones, Ellicott, USBM – Zabetakis, diagrama Ternară sau Triunghiulară Kennedy și CCSM – Bardocz. S-a reușit evidențierea faptului că după anul 1975, când Hertzberg a încercat să stabilească în profunzime teoria inflamabilității, dar la un nivel academic, greu de utilizat de către practicieni, acest domeniu a fost bine aprofundat și au apărut legi noi care guvernează fenomenul de inflamabilitate/ explozivitate precum și factorii care îl influențează. În mod curent, metodele profesionale în domeniul atmosferelor inflamabile formate din amestecuri de gaze respectiv gaze de diluare, sunt redată în ISO 10156/2010, care conține metode de testare și metode de determinare a inflamabilității amestecurilor de gaze.

Capitolul III intitulat „*Cercetări experimentale privind utilizarea diagramelor de explozivitate*” este consacrat realizării unor studii de caz numerice bazate pe date concrete obținute prin măsurători în incinte industriale, privind utilizarea practică a diagramelor de explozivitate Coward – Jones, Ellicott, USBM – Zabetakis, Ternară sau Triunghiulară Kennedy și CCSM – Bardocz, în vederea decelării aplicabilității acestora în continuarea cercetării.

Capitolul IV „*Cercetarea analitică a atmosferei explozive în sistem 3D*” prezintă rezultatele analizei teoretice și conceptuale total noi privind abordarea atmosferelor explozive în sistem tridimensional. În acest sens, este explicat în detaliu triunghiul de explozivitate Coward – Jones și modul de utilizare a diagramei de explozivitate. S-a evidențiat că dacă sistemele de ventilație utilizate devin ineficiente, fie prin utilizare neadecvată, fie prin modificarea în timp a parametrilor funcționali, atunci diluarea gazelor explozive se realizează cu randament scăzut și în consecință concentrațiile de gaze explozive pot excede limitele inferioare de explozivitate. În aceste condiții în prezența unei surse eficiente se produce un fenomen de explozie cu efecte devastatoare și care poate crea condiții mecanice sau de mediu incompatibile cu viața. Pe baza premiselor prezentate, o măsură de strictă necesitate este reprezentată de asigurarea monitorizării atmosferei de lucru în scopul identificării în fază incipientă a oricărei tendințe de creștere a concentrației gazelor explozive peste limitele maxime admise de legislația în vigoare. De asemenea, este analizat în premieră modul de construire și de utilizare a prisme de explozivitate, care reprezintă un pas înainte în ceea ce privește analiza atmosferelor explozive din punct de vedere conceptual, vizual, analitic și al rezultatelor obținute.

Capitolul V „*Analiza descriptiv geometrică a atmosferei explozive în sistem 3D*” este dedicat în mod exclusiv stabilirii fundamentului matematic descriptiv - geometric privind reprezentarea punctului, a dreptei și a planului în scopul analizei și înțelegerii modului de funcționare a prisme de explozivitate pentru controlul atmosferelor explozive. Se elucidează cazul specific care reprezintă raportul dintre planul în care sunt situate punctele care definesc atmosfera monitorizată) și planul generat prin translatare a dreptei definite de punctul specific limitei inferioare de explozivitate.

Capitolul VI „*Modelarea analitic geometrică a atmosferei explozive în sistem 3 D*” cuprinde aparatul matematic conceptual, analitic geometric care a fost elaborat în vederea înțelegerii modului de operare a prisme de explozivitate în scopul controlului atmosferelor

explozive. În acest sens, au fost analizate analitic geometric punctul și dreapta în sistem plan, respectiv punctul și dreapta în sistem spațial. În cazul prisme de explozivitate, modelul dezvoltat poate fi aplicat pentru intersecția drepte și curbei spațiale obținută prin regresie liniară sau neliniară cu planul de distribuție, iar rezultatul este reprezentat de un punct prin ale cărui coordonate se obțin atât concentrațiile de oxigen respectiv metan, cât și timpul la care atmosfera monitorizată devine explozivă. Rezultatele obținute au fost utilizate direct în elaborarea programului informatic PCMEX.

Capitolul VII „Elaborarea programului informatic PCMEX de prognoză a comportamentului mediilor explozive” este consacrat realizării unui program informatic, utilizabil pentru vizualizarea modului de evoluție a oricărei atmosfere potențial explozive, monitorizată, respectiv a stabilirii timpului critic. În acest sens, a fost dezvoltat un model matematic care recurge la utilizarea analizei de regresie ca instrument de predicție a evoluției atmosferei explozive, cu referire directă la regresia matematică liniară și neliniară. Totodată, a fost realizată forma matematică de prognosticare a timpului critic, care reprezintă perioada de timp necesară unui punct care definește atmosfera monitorizată până în momentul în care atinge prisma de explozivitate. De asemenea, a fost realizat programul informatic PCMEX pentru prognosticarea timpului critic specific mediilor explozive, utilizând limbajul de programare R. Limbajul R permite utilizatorului, spre exemplu, să programeze grupurile de instrucțiuni pentru analiza succesivă a seturilor de date. De asemenea, este posibilă combinarea într-un singur program a mai multor funcții statistice pentru a efectua analize mai complexe. În timp ce un software clasic afișează imediat rezultatele unei analize, R memorează aceste rezultate într-un ”obiect”, astfel că o analiză poate fi efectuată fără afișarea vreunui rezultat. Astfel utilizatorul poate extrage doar partea din rezultat de care este interesat. Spre exemplu, dacă cineva rulează o serie de 20 de regresii și vrea să compare diferiți coeficienți de regresie, R poate afișa numai coeficienții estimați: astfel rezultatul poate avea o singură linie, în timp ce un software clasic poate deschide 20 de ferestre cu rezultate. Prisma de explozivitate prezintă avantajul redat prin faptul că punctul $X (CH_4^X, O_2^X, t^X)$, care definește atmosfera monitorizată, permite, prin proiecția în planele $CH_4 - 0 - t$ sau $O_2 - 0 - t$ și ulterior pe dreapta t , stabilirea timpului în care zona monitorizată atinge prisma de explozivitate, perioada de timp cât se află în interiorul prisme de explozivitate, precum și momentul în care iese din prisma de explozivitate

Capitolul VIII intitulat „Validarea PCMEX: studiu de caz privind determinarea timpului critic”, reprezintă o chintesență aplicativă a rezultatelor cercetărilor întreprinse pe parcursul stagiului de doctorat, materializând realizarea unui studiu de caz dezvoltat pornind de la date reale privind concentrația gazului exploziv, respectiv a oxigenului, la nivelul unei incinte industriale și rularea programului PCMEX în scopul stabilirii timpului critic. Rezultatele obținute oferă o imagine clară asupra dinamicii de formare a atmosferelor explozive, respectiv o traiectorie a punctului care definește atmosfera monitorizată în raport cu prisma de explozivitate.

Capitolul IX „Concluzii, contribuții personale și direcții viitoare de cercetare” sintetizează principalele aspecte desprinse din studiul și analiza conceptuală a fenomenelor, metodelor, aplicațiilor și rezultatelor dobândite. Prezentarea contribuțiilor proprii în aria temei luate în studiu din cadrul tezei de doctorat, au scos în evidență contribuțiile originale teoretice respectiv aplicative, un interes mult mai ridicat fiind acordat modului în care acestea pot fi integrate și valorificate.

Pornind de la evidențierea anumitor limite inerente ale cercetărilor întreprinse, au fost identificate și direcțiile principale de cercetare în care trebuie să fie orientate în viitor eforturile vizând reducerea riscului de explozie.

Gradul de noutate al tezei de doctorat constă în modul de abordare progresiv, procesual, fundament pe cele mai noi cunoștințe, fundamente teoretice, principii și ipoteze din domeniul atmosferelor explozive, într-o formă care să permită înțelegerea conceptelor, fenomenelor și analizelor bidimensionale și tridimensionale a incintelor industriale monitorizate cu risc de formare a atmosferelor explozive. Metoda propusă în capitolul IV poate fi apreciată ca având caracter de noutate pe plan național și internațional, ca de altfel și aplicația materializată prin programul informatic PCMEX. Problematika tezei a fost structurată astfel încât noutatea științifică și valoarea practică a lucrării să rezide în mai multe elemente evidențiate în capitolul final.

Gradul de complexitate: având în vedere natura sistemelor abordate, importanța complexului legislativ și reglementărilor, multitudinea surselor de informare precum și evoluția cercetărilor științifice în domeniu, pentru conceptualizarea sistemului și fundamentarea teoretică a metodelor utilizate pentru analiza tridimensională a mediilor potențial explozive care interacționează cu sisteme de ventilație industrială, au fost necesare cunoștințe din mai multe domenii de cunoaștere (ventilație industrială, aeraj minier, aerodinamică, termotehnică, matematică, informatică, automatică etc.) ceea ce conferă tezei de doctorat un pronunțat caracter inter-disciplinar și multi-disciplinar.

4. CONTRIBUȚII PERSONALE

În cadrul prezentei teze de doctorat am descris instrumente și soluții originale pentru sprijinirea personalului specializat în domeniul Securității și Sănătății în Muncă și a altor factori interesați de îndeplinirea obligațiilor prevăzute în legislația națională cu privire la prevenirea riscului de explozie.

Se consideră că partea teoretică, partea metodologică și partea aplicativă pe care le-am dezvoltat în cadrul stagiului de doctorat redată sintetic în continuare, reprezintă contribuții originale în domeniul cercetărilor care vizează prevenția și controlul atmosferelor potențial explozive.

Contribuțiile personale în domeniul menționat cuprind atât aspecte teoretice cât și practice.

Din punct de vedere a cercetărilor bibliografice și a analizei stadiului actual al temei abordate :

Am realizat o analiză a atmosferei incintelor industriale cu accent pe atmosfera exterioară respectiv atmosfera interioară a acestora. Plecând de la faptul că ventilația reprezintă protecția primară împotriva formării atmosferelor explozive sau toxice, am analizat și aprofundat sistemele de ventilație industriale, respectiv principiile generale de realizare a acestora.

Din punct de vedere al obiectivelor de cercetare:

Am identificat pe baza studiilor realizate, dificultățile și problemele care conduc la riscul de explozie în cadrul incintelor industriale și am stabilit în consecință obiectivele de cercetare în cadrul prezentei teze.

Am decelat obiectivele specifice și am stabilit clar direcțiile de acțiune pentru îndeplinirea obiectivelor mediate de circumstanțele tematicii lucrării pe baza unor principii atent selectate.

Am identificat posibilitatea de elaborare a unei aplicații informatice, practicabile și pentru utilizatori fără cunoștințe avansate în domeniul informatic.

Din punct de vedere al cercetării teoretice:

Pentru analiza în sistem 2D a atmosferelor explozive am analizat inflamabilitatea respectiv explozivitatea substanțelor cu caracter exploziv.

De asemenea, am aprofundat și analizat factorii care influențează inflamabilitatea respectiv explozivitatea substanțelor explozive.

Pentru analiza în sistem 2 D a fenomenului de explozivitate am analizat și aprofundat diferitele diagrame de explozivitate realizate în sistem plan.

În ceea ce privește analiza atmosferelor explozive am detaliat triunghiul de explozivitate, semnificația și modul de utilizare a acestuia.

Ca o altă noutate, în cadrul demersului meu științific, am realizat analiza atmosferei de explozivitate în sistem 3 D . Pentru aceasta, am modificat diagrama de explozivitate Coward – Jones în sistem 2 D și am transformat-o în prisma de explozivitate, sistem 3 D, prin anexarea axei de coordonate timp.

De asemenea, am realizat explicitarea modului de realizare și utilizare al prisme de explozivitate. Pentru a lărgi sfera teoretică privind atmosfera explozivă am realizat o analiză descriptiv geometrică a atmosferei explozive în sistem 3 D.

Am analizat din punct de vedere geometric reprezentarea punctului, dreptei, și planului în sistem 3 D. Suplimentar, am realizat tratarea analitic geometrică a atmosferei explozive în sistem 3 D.

Am realizat în primă fază tratarea analitic geometrică în sistem plan, după care am realizat tratarea analitic geometrică în sistem spațial. În scopul determinării matematice a punctului în spațiu care definește atmosfera dintr-o incintă industrială în raport cu prisma de explozivitate și modul de evoluție al punctului în sistem 3 D, am analizat caracteristicile regresiei matematice liniare în condițiile în care traiectoria punctului este liniară.

Suplimentar, am realizat un program pentru prognosticarea timpului critic de explozie în limbaj R.

Din punct de vedere al contribuțiilor practice și aplicative:

Pentru a ilustra modul de aplicare în practică a diagramelor de explozivitate am realizat un studiu de caz privind utilizarea diagramelor de explozivitate.

În scopul vizualizării caracterului aplicativ al prisme de explozivitate am realizat un studiu de caz privind determinarea timpului critic.

Pentru asigurarea caracterului aplicativ al prisme de explozivitate am analizat și dezvoltat aparatul matematic necesar pentru determinarea timpului critic în vederea parcurgerii punctului care definește atmosfera dintr-o incintă industrială, în faza inițială și momentul în care se atinge prisma de explozivitate.

Din punct de vedere al diseminării rezultatelor:

Pe parcursul stagiului de doctorat și al documentărilor prealabile efectuate am publicat ca prim- autor și coautor un număr de 18 articole și lucrări științifice, 3 cărți și 4 cereri de brevete de invenție după cum urmează (detalii în anexa 4):

- 3 articole publicate în reviste indexate Clarivate Analytics Web of Science - WoS (ISI);
- 6 lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice indexate Clarivate Analytics Web of Science-WoS (ISI) Proceedings;
- 3 lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate BDI;
- 9 Lucrări publicate în volumele unor manifestări științifice internaționale;
- 3 cărți;
- 4 cereri de brevet de invenție.

5. LIMITE ALE STUDIULUI ȘI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE.

5.1 Limite ale studiului

Omniprezența incertitudinii privind cunoștințele și fiabilitatea datelor utilizate, măsurile de adoptat pentru a limita consecințele sau a minimiza probabilitatea de materializare, gradul de subiectivism al aprecierilor fac deosebit de dificilă, în opinia experților, o formalizare precisă a procedurilor de evaluare a riscului exploziv și a deciziilor aplicate. Mai mult decât atât, constatăm deseori că însăși nivelul de expertiză existent reprezintă un spațiu de experimentare.

Principalele limite ale cercetărilor prezentate în cadrul tezei de doctorat care vizează analiza tridimensională a mediilor potențial explozive care interacționează cu sisteme de ventilație industriale, pot fi sintetizate astfel:

Abordarea pentru prima dată pe plan național a modalității de analiză tridimensională privind dinamica de formare a atmosferelor explozive cu ajutorul prisme de explozivitate corelată cu obiectivul de a elabora o metodă aplicabilă de lucrătorii desemnați în domeniul Securității și Sănătății în Muncă, respectiv serviciile interne și prestatorii de servicii de prevenire și protecție, a impus ca studiul teoretic și aplicativ să se concentreze pe un sistem simplificat constituit dintr-o atmosferă explozivă care să conțină un singur gaz inflamabil.

Totodată, complexitatea domeniului abordat în cadrul tezei de doctorat a condus la simplificarea modului de analiză a evoluției a prisme de explozivitate în raport cu timpul.

5.2 Direcții de cercetare viitoare

Ca urmare a aprofundării cunoștințelor în domeniul de cercetare vizat de teza de doctorat și a contribuțiilor personale aduse, se pot propune următoarele direcții principale de cercetare spre care să fie îndreptate eforturile vizând continuarea cercetărilor și completarea/îmbunătățirea metodelor propuse:

- Generalizarea utilizării prisme de explozivitate ca mijloc de control al atmosferelor explozive care pot să apară în subteran cât și la suprafață.
- Analiza modului de comportare precum și a traiectoriei punctului care definește atmosfera locului de muncă în sistem mono-gaz, cu gaze diferite.
- Analiza modului de comportare precum și a traiectoriei punctului care definește atmosfera locului de muncă în sistem multi-gaz.
- Îmbunătățirea metodelor de securitate și sănătate în muncă prin stabilirea timpilor de pre-alarmare, alarmare și evacuare în raport cu timpul critic.
- Realizarea unui sistem funcțional care să permită utilizarea în timp real a prisme de explozivitate, respectiv determinarea timpului critic etc.