

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



Ing. Victor – Gabriel VASILESCU

TEZĂ DE DOCTORAT

Conducător științific:

Prof. univ. dr. habil. ing. MORARU ROLAND IOSIF

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



Ing. Victor – Gabriel VASILESCU

TEZĂ DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII LA CREȘTEREA SECURITĂȚII
OPERAȚIONALE A INFRASTRUCTURILOR TEHNICE
DESTINATE DEPOZITĂRII SUBSTANTELOR PERICULOASE
DE TIPUL EXPLOZIVILOR DE UZ CIVIL**

***CONTRIBUTIONS TOWARDS OPERATIONAL SAFETY INCREASE OF
TECHNICAL INFRASTRUCTURES INTENDED FOR STORAGE OF
DANGEROUS SUBSTANCES LIKE CIVIL EXPLOSIVES***

Conducător științific:

Prof. univ. dr. habil. ing. MORARU ROLAND IOSIF

**PETROȘANI
- 2023**

CUPRINS

Cuvânt înainte	1
Cuprins	2
Lista figurilor	6
Lista tabelelor	9
Listă acronime și simboluri	11
CAPITOLUL I INTRODUCERE: IMPORTANȚA ȘI NECESITATEA TEMEI.	
OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI.....	13
1.1. Contextul, motivația și finalitatea tezei.....	13
1.2. Obiectivele tezei de doctorat.....	16
1.3. Schema- logică a etapelor urmate în dezvoltarea cercetării doctorale.....	17
1.4. Sinteză privind structura și conținutului tezei.....	
CAPITOLUL II ANALIZA CADRULUI EVOLUTIV DE REGLEMENTARE AL ACCIDENTELOR INDUSTRIALE MAJORE	22
2.1. Paradigma SEVESO: origine și evoluție legislativ- reglementară.....	22
2.2. Cum funcționează astăzi Seveso? Status-ul implementării Directivei Seveso III pe plan european.....	26
2.3. Managementul accidentelor majore pe plan mondial.....	29
2.4. Aspecte particulare privind amplasamentele E&P . Reglementări specifice din domeniul explozivilor de uz civil.....	31
2.5. Concluzii.....	36
CAPITOLUL III STADIUL ACTUAL PRIVIND SISTEMELE SUPORT DE DECIZIE AL MANAGEMENTULUI RISCURILOR MAJORE ASOCIATE EXPLOZIVILOR.....	38
3.1. De la riscuri profesionale și pericole “high-tech cu risc ridicat” la riscuri globale.....	38
3.2. Managementul riscurilor majore: cerințe evolutive.....	41
3.3. Identificarea pericolelor și raportul de securitate.....	42
3.4. Particularitățile analizelor cantitative de risc exploziv.....	46
3.5. Analiza / evaluarea riscurilor de accident major: date de intrare, categorii de rezultate, instrumente aplicabile.....	48
3.6. Aplicarea metodei sistemice în analiza riscurilor. Metodologia MADS de analiză a disfuncțiilor sistemului.....	54
3.6.1. Flux de pericol, sursă, țintă.....	54
3.6.2. Tipologiile sistemelor specifice.....	58
3.6.3. Zonele de pericol.....	58
3.6.4. Simetria structurală și studiul disfuncțiilor.....	58
3.6.5. Metodă Organizată și Sistemică de Analiză a Riscurilor (MOSAR).....	61
3.7. Analiza dinamică a riscurilor pentru amplasamentele Seveso.	61
3.7.1. O perspectivă diferită în analiza riscurilor pentru amplasamentele Seveso.....	61
3.7.2. Identificarea dinamică a riscurilor. Metodologia DyPASI.....	62
3.7.3. Analiza dinamică a evenimentelor inițitoare. Barometrul Riscurilor.....	63

3.7.4.	Progresia analizei dinamice a riscurilor.....	64
3.8.	Sisteme suport de adoptare a deciziei privind riscul accidentelor majore.....	65
3.8.1.	Procesul de decizie privind managementul riscurilor majore explozive.....	65
3.8.2.	Sinteză software de management și evaluare a riscurilor majore disponibil pe plan mondial.....	67
3.9.	Concluzii preliminare.....	71
CAPITOLUL IV	CONCEPTUALIZAREA RISCULUI DE EXPLOZIE GENERAT DE MATERII EXPLOZIVE ȘI EVALUAREA CANTITATIVĂ A ACESTUIA	73
4.1.	Conceptualizarea noțiunii de risc specific amplasamentelor industriale unde se desfășoară operațiuni cu materii explozive	73
4.2.	Evaluarea cantitativă a riscului de explozie generat în urma operațiunilor specifice cu materii explozive	75
4.3.	Criterii de acceptabilitate a riscului de explozie generat în timpul operațiunilor specifice cu materii explozive	76
4.3.1.	<i>Stabilirea principalelor scenarii de dispunere a structurilor explozive (PES) și de expunere (ES) la nivelul amplasamentelor industriale destinate pentru operațiuni specifice cu materii explozive</i>	<i>77</i>
4.4.	Conceptualizarea mecanismului simplificat de fatalitate cauzat de un eveniment de tip explozie în urma detonării materiilor explozive (MSFEXP)	82
4.5.	Concluzii	83
CAPITOLUL V	CONTRIBUȚII PRIVIND ELABORAREA INSTRUMENTELOR METODOLOGICE DE EVALUARE A EFECTELOR GENERATE DE EXPLOZII.....	85
5.1.	Instrument metodologic pentru evaluarea efectelor de atenuare împotriva exploziei generate de suprapresiune și impuls în aer liber	85
5.1.1.	<i>Generalități</i>	
5.1.2.	<i>Aspecte tehnice privind calcularea efectelor de atenuare împotriva exploziei generate de suprapresiune și impuls în aer liber</i>	<i>85</i>
5.1.3.	<i>Atenuarea efectelor de explozie cauzate de suprapresiune și impuls</i>	<i>87</i>
5.1.4.	<i>Determinarea daunelor asupra structurilor explozive de tip PES</i>	<i>91</i>
5.2.	Instrument grafo-analitic generalizat pentru evaluarea mecanismului de afectare a componentei umane / prăbușirii structurale a unei clădiri afectată de explozie	92
5.3.	Instrument metodologic pentru evaluarea factorului termic de pericol generat la detonarea materiilor explozive	102

5.4.	Instrument analitic pentru modelarea dispersiei de fragmente materiale generate de explozii	104
5.4.1.	<i>Aspecte generale privind modelarea riscului de explozie ..</i>	104
5.4.2.	<i>Modelarea dispersiei de fragmente materiale rezultate în urma detonării materiilor explozive</i>	105
5.4.3.	<i>Derivarea funcțiilor densitate de probabilitate</i>	108
5.4.4.	<i>Evaluarea gradului de afectare în urma impactului cu fragmente materiale rezultate în urma detonării materiilor explozive</i>	110
5.5.	Concluzii	111
CAPITOLUL VI	STUDIU DE CAZ PRIVIND EVALUAREA RISCULUI DE EXPLOZIE LA UN OPERATOR ECONOMIC PILOT CU ACTIVITATE ÎN DOMENIUL EXPLOZIVILOR DE UZ CIVIL	113
6.1.	Descrierea instalațiilor și obiectivelor existente la nivelul amplasamentului industrial din cadrul operatorului economic pilot	113
6.1.1.	<i>Prezentarea instalației 1 – Depozitul de bază pentru explozivi de uz civil</i>	113
6.1.2.	<i>Prezentarea instalației 2 – Producerea explozivului de uz civil tip AUSTINITE prin amestecare mecanică de azotat de amoniu și motorină. Depozitarea azotatului de amoniu</i>	114
6.1.3.	<i>Descrierea substanțelor periculoase prezente pe amplasament.....</i>	116
6.2.	Analiza riscului de explozie specific amplasamentelor industriale din domeniul explozivilor de uz civil.....	133
6.3.	Prezentarea principalelor scenarii de accidente care ar putea să se producă la nivelul amplasamentului industrial din cadrul operatorului economic pilot.....	137
6.3.1.	<i>Identificarea pericolelor potențiale specifice activității de preparare și depozitare a amestecului exploziv simplu tip ANFO (AUSTINITE)</i>	137
6.3.2.	<i>Scenarii de accidente posibile.....</i>	142
6.3.3.	<i>Evaluarea computerizată a riscului de explozie la prepararea și depozitarea amestecului simplu tip ANFO (AUSTINITE).....</i>	146
6.4.	Măsuri generale de prevenire a situațiilor de urgență specifice amplasamentului industrial analizat	161
6.5.	Concluzii	164
CAPITOLUL VII	SIMULĂRI COMPUTERIZATE ALE EFECTELOR DE EXPLOZIE PRODUSE ÎN URMA DETONĂRII MATERIILOR EXPLOZIVE	167
7.1.	Simularea computerizată a unei explozii în cazul unui container tip ISO 1C situat pe un amplasament industrial, utilizând, softul specializat tip IMESA FR.....	167
7.1.1.	<i>Simularea computerizată a unei explozii produsă prin detonarea unei încărcături explozive realizată cu un</i>	

	<i>exploziv de mare putere tip TNT, utilizând 1,5 kg ETNT care este amplasată în interiorul unui container tip ISO IC.....</i>	167
7.2.	Simularea computerizată a unei explozii în fața clădirii IGSU, utilizând, softul specializat tip IMESA FR.....	175
7.2.1.	<i>Simularea computerizată a unei explozii produsă de un atac terorist prin detonarea unei încărcături explozive realizată cu un exploziv de mare putere tip TNT sau C4, utilizând diferite cantități (5 kg, 25 kg, 50 kg și 100 kg) care sunt amplasate pe rând în parcare situată în partea lateral-dreapta a clădirii IGSU (Scenariu de eveniment).....</i>	175
7.3.	Cercetări experimentale privind efectul presiunii de explozie la detonarea încărcăturilor explozive pentru senzorii dezvoltati în proiect pentru presiune.....	201
7.3.1.	<i>Experimente în câmp deschis pentru unda de presiune aeriana asupra platformei mobile cu senzor TESTES de presiune</i>	201
7.3.2.	<i>Exemplificare utilizare camera de mare viteză PHANTOM</i>	207
7.3.3.	<i>Curba teoretică de variație a presiunii în frontul de undă</i>	209
7.4.	Concluzii	214
CAPITOLUL VIII	CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.	215
8.1.	Concluzii	215
8.1.1.	Concluzii privind stadiul actual specific cadrului legislativ pentru desfasurarea în siguranța a activitatilor la nivelul amplasamentelor industriale cu activitate în domeniul materiilor explozive și evaluarea rapoartelor de securitate	215
8.1.2.	Concluzii privind evaluarea cantitativă a riscului de explozie produs în urma detonării materiilor explozive	216
8.1.3.	Concluzii privind elaborarea instrumentelor metodologice de evaluare a efectelor generate de explozii	217
8.1.4.	Concluzii evaluarea riscului de explozie la un operator economic pilot cu activitate în domeniul explozivilor de uz civil	218
8.1.5.	Concluzii cu privire la simulările computerizate ale efectelor de explozie produse în urma detonării materiilor explozive	218
8.2.	Contribuții personale.....	219
8.2.1.	<i>Contribuții teoretice</i>	219
8.3.2.	<i>Contribuții experimentale și aplicative</i>	220
8.3.3.	<i>Direcții viitoare de cercetare</i>	222
BIBLIOGRAFIE		223
ANEXE		233
Anexa nr.1 – Lista lucrărilor publicate		233

1. Contextul, motivația și finalitatea tezei

Prezenta teză de doctorat constituie „produsul finit” al unui amplu demers de studiu/analiză/sinteză.cercetare teoretică și experimentală, gândită și desfășurată în baza experienței practice a autorului, a unui vast studiu documentar efectuat din literatura de specialitate aplicabilă domeniului, a studiilor sistematice și coerente de natură teoretică/aplicativă derulate în ultimii 5 ani.Modalitatea de abordare a temei studiate derivă în mare măsură din afinitatea autorului pentru „securitatea industrială și ocupațională” și pentru elementele specifice conformării legislativecare constituie temelia pe care se fundamentează orice demers de minimizare a riscurilor, indiferent de natura acestora.

Teza abordează un subiect actual în domeniul dezvoltării infrastructurii de evaluare a riscului asociat evenimentelor nedorite de tipul accidentelor majore soldate cu explozii de materii explozive, care se pot produce la nivelul depozitelor și altor categorii de facilități industriale sau civile producție/stocare a explozivilor, în scopul prevenirii și diminuării pierderilor de vieți omenești și bunuri materiale, precum și a prejudiciilor aduse factorilor de mediu.

Actualitatea și importanța cercetării derivă din faptul că, dezvoltarea industriilor de proces care implică procesarea și depozitarea de substanțe periculoase, a determinat creșterea cazurilor incidentelor și accidentelor tehnologice și chimice în mod deosebit și nu numai, relevând necesitatea unui control deosebit de atent și serios al proceselor de natură chimică, în vederea prevenirii evenimentelor cu consecințe deosebit de grave. Industria materiilor explozive, care implică fabricarea și/sau depozitarea de explozivi, artificii și alte articole pirotehnice, sunt surse importante de risc de accidente majore. În timp ce numărul de decese și alte vătămări produse în urma unui accident major sunt colectate în mod obișnuit, date echivalente nu sunt colectate în mod consecvent pentru alte tipuri de impact, inclusiv daunele mediului și costurile de curățare, numărul de persoane evacuate sau adăpostite, perturbarea traficului, întreruperi de curent și alte întreruperi ale serviciilor, pierderea producției și a locurilor de muncă și perturbări ale lanțurilor de aprovizionare.

Amplasamentele de materii explozive și pirotehnice (E&P) reprezintă aproximativ 6% din cele peste 12.000 de situri Seveso din țările din Uniunea Europeană și din Spațiul Economic European (UE/SEE). Accidentele care implică explozivi au loc încă în mod regulat. Din 2000, aproape în fiecare an au loc două până la patru accidente majore, înregistrate în baza de date eMARS a UE. Numai în ultimii cinci ani, s-au produs douăzeci de accidente majore în Europa care au implicat substanțe explozive.

Fundamentarea teoretică și practică a metodologiei de evaluare a riscului de explozie la depozitele de explozivi de uz civil, a presupus efectuarea următoarelor demersuri de cercetare:

- analiza literaturii de specialitate care tratează problematica riscului major specific depozitelor de materii explozive;
- studiul măsurilor de securitate destinate reducerii riscurilor de producere a accidentelor majore generate de pericolele specifice depozitelor de materii explozive cu accent asupra factorilor responsabili de implementare a acestora;
- evidențierea analizei și evaluării vulnerabilității și siguranței depozitelor de materii explozive;
- integrarea actelor de rea-voință în procesul de evaluare a riscurilor de producere a accidentelor majore;
- stabilirea modalităților de prezentare a rezultatelor evaluării riscului de explozie specific depozitelor de materii explozive.

Motivația tezei de doctorat este legată pe de o parte de necesitatea și posibilitatea dezvoltării/adaptării mecanismelor metodologice de evaluare a riscului de explozie specific amplasamentelor industriale din domeniul explozivilor de uz civil, iar pe de altă parte de asigurarea premiselor teoretice și practice privind configurarea instrumentelor metodologice de bună practică în domeniul securității/siguranței la explozie atunci când sunt implicate substanțe periculoase de tipul materiilor explozive, care să permită orientarea și ghidarea unitară în gestionarea corespunzătoare a celor mai plauzibile scenarii de accident care se pot produce la nivelul unui operator economic.

Obiectivele principale alte tezei constau în conceptualizarea mecanismului de evaluare cantitativă a riscului de explozie produs în urma detonării materiilor explozive și elaborarea instrumentelor metodologice de evaluare a efectelor generate de explozii, pe baza rezultatelor cercetărilor întreprinse în domeniul securității integrate în infrastructurile tehnice destinate depozitării substanțelor periculoase de tipul explozivilor de uz civil. Aceste obiective principale se realizează prin atingerea *obiectivelor derivate/specifice* și anume: configurarea modalității teoretico-aplicative de exprimare a principalelor scenarii de accident în funcție de dispunerea structurilor explozive și de expunere la nivelul unui amplasament industrial, elaborarea mecanismului simplificat de fatalitate în cazul detonării materiilor explozive, studiu de caz privind evaluarea riscului de explozie la un operator economic pilot cu activitate în domeniul explozivilor de uz civil, realizarea de simulări computerizate ale efectelor de explozie produse în urma detonării materiilor explozive.

Obiectivele derivate/specifice, la rândul lor, se realizează prin atingerea următoarelor *obiective primare*: studiul literaturii de specialitate prin consultarea principalelor referințe bibliografice din domeniul de interes al tezei, definirea și conceptualizarea riscului de explozie generat de materii explozive, stabilirea criteriilor de acceptabilitate a riscului de explozie, definirea și dispunerea structurilor explozive și de expunere la nivelul unui amplasament industrial, descrierea principalelor efecte de explozie produse în urma detonării materiilor explozive.

Strategia de cercetare care a stat la baza realizării lucrării a vizat trei mari *direcții de acțiune* în plan tehnico-științific, respectiv:

- Debutul tezei cu studiul lucrărilor de specialitate din domeniul evaluării riscului de explozie atunci când sunt implicate substanțe periculoase de natură explozivă, pentru a consolida baza teoretică pe care se fundamentează evaluarea securității amplasamentelor industriale din domeniul explozivilor de uz civil. Astfel, în urma interogării multiplelor baze de date cu articole științifice, am avut în vedere pentru realizarea acestei lucrări un număr de 168 de referințe bibliografice consacrate;
- A doua dimensiune a cercetării a constat în conceperea și realizarea mecanismelor analitice de fundamentare a instrumentelor tehnico-științifice de evaluare a riscului de explozie generat în urma detonării materiilor explozive;
- Cea din urmă dimensiune a cercetării a constat în evaluarea computerizată a riscului de explozie, utilizând un soft consacrat, de ultimă generație, precum și în realizarea unor cercetări experimentale ale efectelor de explozie.

Totuși, cercetările întreprinse în domeniul de interes al tezei prezintă și anumite limitări, din prisma faptului că majoritatea datelor și informațiilor specifice proceselor tehnologice de fabricare și depozitare a materiilor explozive au un caracter confidențial, iar costurile aferente testelor și încercărilor de specialitate sunt ridicate, având în vedere prețurile acestor produse de natură explozivă, cât și al echipamentelor și softurilor utilizate, încercările fiind doar repetabile și foarte rar reproductibile (deoarece produsele se distrug în urma testelor).

2. Obiectivele tezei de doctorat

Obiectivul general (OG) al tezei de doctorat a fost definit încă din debut ca fiind identificarea, dezvoltarea și concretizarea aplicativă a unor mijloace analitice, grafice, experimentale și de simulare numerică aplicabile în practica companiilor/organizațiilor industriale sau a altor entități organizaționale care au ca obiect de activitate transportul, stocarea, fabricația și/sau utilizarea de materii explozive, cu scopul declarat de a contribui la creșterea arealului de strategii și măsuri disponibile în vederea minimizării riscului de explozie asociat acestei categorii de substanțe periculoase în managementul securității industriale, al managementului general al afacerilor și creșterea rezilienței prin întărirea capacității de răspuns în situații de urgență, din perspectivă anticipativă.

Am vizat, ca rezultate concrete și punctuale, dezvoltarea și integrarea unor metode/instrumente formalizate, inclusiv sub formă de software specializat, utilizabil de către experții care își desfășoară activitatea în zona concepției/proiectării și utilizării amplasamentelor de fabricație/depozitare a materiilor explozive, în mod particular, dar concomitent și a utilizatorilor de de substanțe periculoase care se încadrează în categoria explozivilor de uz civil și industrial.

În scopul atingerii acestui obiectivului de bază a considerat că este necesară urmărirea și atingerea succesivă a următoarelor obiective derivate specifice:

OS 1. Analiza și sinteza cadrului evolutiv de reglementare aferent domeniului de cercetare, prin efectuarea unui studiu documentat privind dezvoltarea temporală, principială și evolutivă a cadrului normativ/legislativ care reglementează controlul pericolelor de producere al accidentelor majore (directivele Seveso), cu particularizare dedicată datelor statistice referitoare la evenimentele nedorite din această categorie generate de materiile explozive.

OS 2. Realizarea unui peisaj realist și actual privind stadiul sistemelor suport de decizie în managementul riscurilor majore asociate explozivilor, prin intermediul abordării categoriale și sistematice a cerințelor managementului riscului, identificării pericolelor și raportului de securitate, particularităților analizelor cantitative de risc exploziv, analizei / evaluării riscurilor de accident major sub aspectul datelor de intrare, al categoriilor de rezultate și al instrumente aplicabile. În cadrul acestui obiectiv specific a fost inclusă și investigarea posibilităților de aplicare a metodelor sistematice și de analiză dinamică a amplasamentelor tip Seveso, precum și sistemele suport de adoptare a deciziei privind riscul accidentelor majore și realizarea unei sinteze privind software-ul de management și evaluare a riscurilor majore disponibil pe plan mondial.

OS 3. Conceptualizarea riscului de explozie generat de materii explozive și evaluarea cantitativă a acestuia și dezvoltarea metodologiei de evaluare cantitativă a riscului de explozie, care are la bază utilizarea specializată a conceptului de risc specific amplasamentelor industrial destinate operațiunilor cu materii explozive.

OS 4. Elaborarea instrumentelor metodologice de evaluare a efectelor generate de explozii;

OS 5. Dezvoltarea unui studiu de caz privind evaluarea riscului de explozie la un operator economic pilot cu activitate în domeniul explozivilor de uz civil, cu aplicare la două instalații tip Seveso: Instalația 1 – Depozitul de bază pentru explozivi de uz civil; Instalația 2 – Producerea explozivului de uz civil tip AUSTINITE prin amestecare mecanică de azotat de amoniu și motorină.

OS 6. Simulări computerizate ale efectelor de explozie produse în urma detonării materiilor explozive: analiza, evaluarea și clasificarea pericolelor de accident major (explozie) în cazul depozitelor de explozivi, cuantificarea efectelor posibile asupra vecinătăților și asupra sănătății umane și a stabilirea zonelor de planificare de urgență.

OS 7. Experimente în câmp deschis pentru unda de presiune aeriană asupra platformei mobile cu senzor TESTES de presiune, în vederea studiului privind propagarea undei de presiune la detonarea încărcăturilor explozive.

3. Schema- logică a etapelor urmate în dezvoltarea cercetării doctorale.

În fig. 1.1. este reprezentată sintetic succesiunea etapelor parcurse în conformitate cu logica de dezvoltare a cercetărilor materializate în teză, în strictă concordanță cu obiectivele specifice definite anterior și subsumate obiectivului general al acesteia. Deși nu constituie o schemă operațională, reprezentarea grafică evidențiază în mare măsură coerența studiilor derulate, cu luarea în considerare a rezultatelor parțiale obținute în urma parcurgerii fiecăreia dintre faze, în mod gradual.

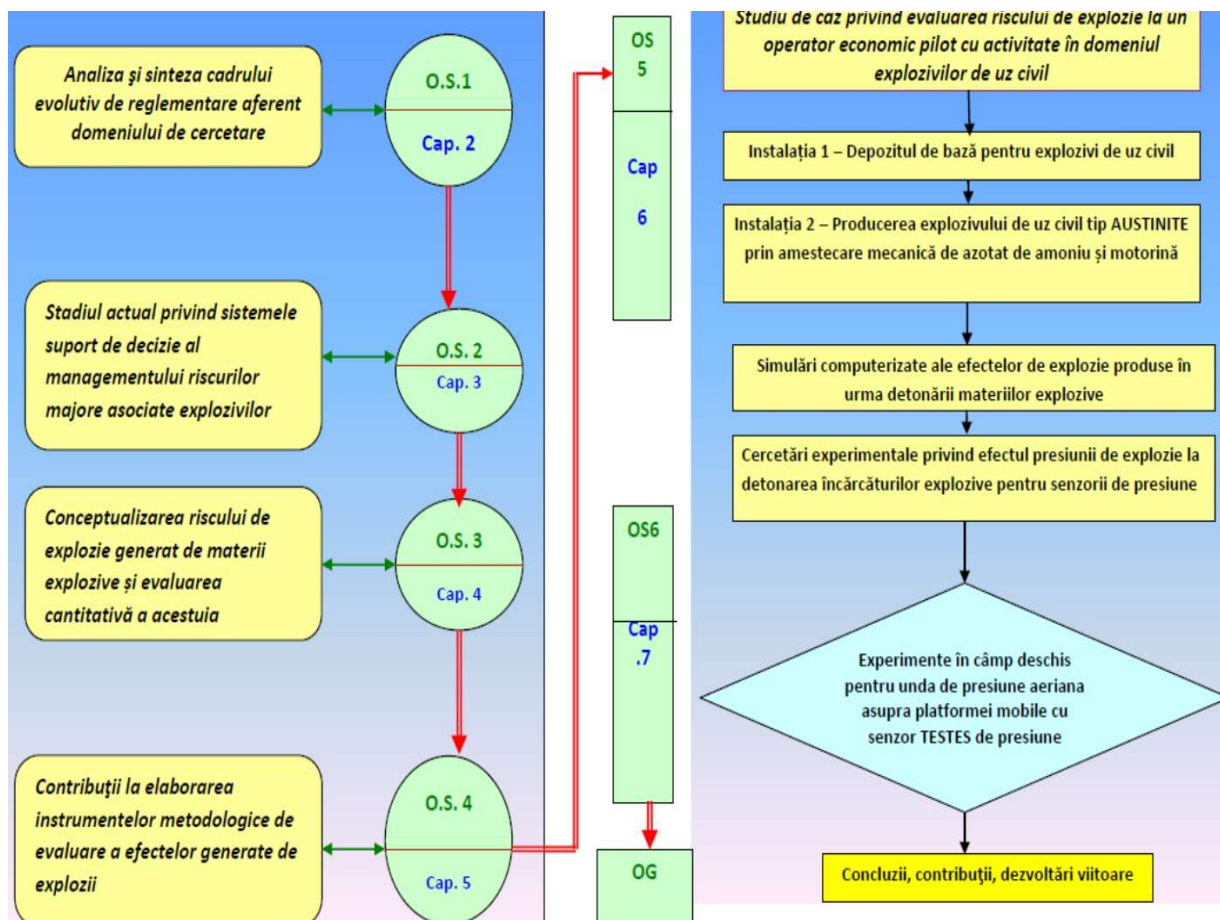


Fig. 1.1. Schema logică de derulare a fazelor cercetării doctorale, corelate cu obiectivele specifice derivate din obiectivul general al studiului

4. Sinteză privind structura și conținutul tezei

Din punct de vedere structural, teza conține listele figurilor (în număr de 103 reprezentări grafice, capturi de ecran și imagini), tabelor (în număr de 59) și acronimelor utilizate, un capitol introductiv cu tematică specifică și 6 capitole de conținut, la care se adaugă un ultim capitol de concluzii finale și contribuții personale, totalizând un număr de 234 pagini, dintre care 10 pagini reprezintă teza propriu-zisă și 10 pagini reprezintă „Bibliografia” care are un număr de 168 de referințe bibliografice. Este inclusă ca Anexă, lista de lucrări științifice publicate/diseminate de către autor în perioada stagiului de doctorat.

Deoarece explozivii utilizați în industrie trebuie corelați cu natura mediilor în care aceștia vor detona, având în vedere tipul efectelor generate în cadrul acestui proces, cunoașterea parametrilor care caracterizează explozivii este esențială, fie că ne referim la cei de siguranță pentru desfășurarea lucrărilor în condiții maxime de securitate, fie că ne raportăm la parametri termodinamici, fizico-chimici sau balistici pentru atingerea obiectivului propus.

În **primul capitol**, denumit „*Introducere: importanța și necesitatea temei. Obiectivele și structura tezei*” se prezintă considerentele generale, obiectivul principal și cele specifice, motivația tezei și o scurtă sinteză a lucrării. Schema logică de derulare a fazelor/etapelor studiului facilitează vizualizarea și înțelegerea facilă a conceptului și structurii evolutive a demersului științific întreprins, în congruență cu obiectivele fixate. Importanța, actualitatea și necesitatea temei sunt explicate sintetic astfel încât să se justifice și argumenteze finalitatea teoretică, practică și metodologic - aplicativă a rezultatelor vizate.

Capitolul 2, intitulat „*Analiza cadrului evolutiv de reglementare al accidentelor industriale majore*”, prezintă o expunere sintetică a principalelor reglementări aplicabile la nivel internațional, european și național în domeniul evaluării riscului de accident major specific amplasamentelor industriale destinate operațiunilor specifice cu materii explozive.

Actualmente, la nivel național sunt reglementate măsuri pentru prevenirea accidentelor majore în care sunt implicate substanțe periculoase, precum și pentru limitarea consecințelor acestora asupra sănătății umane și asupra mediului, pentru asigurarea unui nivel ridicat de protecție pe întreg teritoriul național, într-o manieră consecventă și eficace, în condițiile în care țara noastră se situează pe locul 10 în cadrul țărilor europene din punct de vedere al numărului de obiective care intră sub incidența Directivei Seveso.

Pornind de la paradigma SEVESO, explicată de la origine și ca evoluție legislativ-reglementară, am ilustrat sintetic evoluția temporală a legislației Uniunii Europene dedicate accidentelor industriale majore și – foarte relevant - status-ul implementării Directivei Seveso III pe plan european. Din perspectiva acestei analize, succesul implementării a însemnat că statele membre UE au adoptat efectiv măsuri naționale și că numărul și gravitatea accidentelor este în scădere. Rapoartele privind aplicarea în statele membre a Directivei 96/82/CE în ultimii 7 ani a indicat că punerea în aplicare continuă să se îmbunătățească cu fiecare perioadă de raportare. Numărul „*amplasamentelor*” a fost în creștere, dar numărul accidentelor majore a rămas stabil. Pentru acea perioadă, au fost raportate în medie 27 de accidente majore în fiecare an. De remarcat în mod special a fost scăderea semnificativă a numărului de decese și răniți. Un alt punct de menționat este faptul că Biroul pentru Riscuri de Accident Major (MAHB) al Centrului Comun de Cercetare al Comisiei Europene oferă statelor membre sprijin politic, științific și tehnic în implementarea Seveso III. MAHB oferă, de asemenea, un centru de referință pentru analiza riscurilor accidentelor industriale pentru modele și instrumente de benchmarking și pentru aplicații de evaluare a riscurilor în locații specifice și pentru implementarea politicilor generale, precum și sisteme de management și analiză a datelor despre accidente.

Aspectele particulare privind amplasamentele E&P au fost detaliate în paralel cu reglementările specifice din domeniul explozivilor de uz civil, evidențiindu-se faptul că progresia rapidă a accidentelor explozive este critică, atunci când se ia în considerare răspunsul în caz de urgență. Deși pericolele E&P sunt în general similare, ele acoperă scări diferite atât ale riscurilor, cât și ale consecințelor. Această diversitate se reflectă în natura diferită a spectrului de riscuri majore de accidente asociate materiilor explozive.

Rezultatele analizei efectuate în cadrul acestui capitol au permis – în continuare - detalierea cercetării cu referire la instrumentele de analiză/evaluare a riscurilor asociate amplasamentelor industriale de depozitare/producție a materiilor explozive.

Accidentele majore evidențiază faptul că asigurarea securității în sistemele cu tehnologii complexe nu a fost doar o chestiune de a-i determina pe oameni să respecte reguli simple de prevenire-protecție. Operatorii competenți și bine intenționați ar putea să nu controleze riscurile în circumstanțe tranzitorii, neclare sau neașteptate. Pornind de la această realitate și de la obiectivul specific nr. 2 prestabilit, **capitolul 3**, care poartă titlul „*Stadiul actual privind sistemele suport de decizie al managementului riscurilor majore asociate explozivilor*” și-a propus să sintetizeze cu celeritate tranziția paradigmei analitice a riscurilor de la riscurile profesionale „clasice” și pericolele “high-tech cu risc ridicat” la riscuri globale, prin trecerea în revistă a Modelului FRAM al Rezonanței Funcționale, schemei de principiu a apărării în serie (modelul „Swiss Cheese” al lui Reason), Modelului de bază TRIPOD și a Metodei nodului papion ca instrument principal de reprezentare a scenariilor de producere a accidentelor. Managementul riscurilor majore a fost analizat din perspectiva cerințelor evolutive, a modului de identificarea pericolelor în consonanță cu raportul de securitate, cu accent deosebit pe particularitățile analizelor cantitative de risc exploziv. Instrumentele existente pe plan mondial, și regăsite în literatura de specialitate, destinate analizei / evaluării riscurilor de accident major au fost sistematizate multicriterial, luând în considerare datele de intrare, categoriile de rezultate în strânsă legătură cu instrumente aplicabile. Secțiunea finală a acestui capitol descrie sintetic aplicarea metodei sistemice în analiza riscurilor, cu referire la „*Metodologia MADS de analiză a disfuncțiilor sistemului*”, metoda MOSAR derivată din spiritul și aplicabilitatea consacrată deja al acesteia și Metodologia DyPASI de analiza dinamică a riscurilor pentru amplasamentele Seveso. În manieră firească, sunt „inventariate” sistemele suport de adoptare a deciziei privind riscul accidentelor majore se elaborează o sinteză a celor mai larg utilizate (pe plan mondial) pachete software de management și evaluare a riscurilor majore (MSIAC QD; RBESS; WRA; SAFER; UN SaferGuard Quantity Distance Mapvi; IMESA FR).

În **capitolul 4** denumit „*Conceptualizarea riscului de explozie generat de materii explozive și evaluarea cantitativă a acestuia*” se prezintă o serie de contribuții teoretice asupra riscului de explozie generat la detonarea materiilor explozive, atât din perspectiva conceptualizării noțiunii de definire a acestuia, cu accent asupra modalității de evaluare cantitativă având în vedere criteriile de acceptabilitate și scenariile de accident configurate pe baza dispunerii structurilor explozive și de expunere la nivelul amplasamentului industrial, cât și în ceea ce privește fundamentarea conceptuală din punct de vedere grafo-analitic a mecanismului simplificat de fatalitate cauzat de explozie, atunci când sunt implicate substanțe periculoase de natură explozivă. Se evidențiază faptul că în domeniul analizelor de risc asociate evenimentelor de tip explozie cauzate de operațiunile specifice cu materii explozive, pentru estimarea indicatorului de rezultat se utilizează în mod uzual scala logaritmică, deoarece: i) domeniul de valori specific zonei de interes pentru realizarea estimării riscului poate cuprinde mai multe ordine de mărime; ii) se pretează foarte bine la evaluarea cantitativă a riscului; iii) se asigură respectarea principiului logicii proporționale, potrivit căruia multiplicarea riscului cu o valoare constantă conduce la o separare (variație) constantă a acestuia. Sunt evidențiate totodată principalele mecanisme de afectare prin deces sau leziuni (majore sau minore), precum și prin distrugerii materiale, în urma producerii unui eveniment de tip explozie la desfășurarea de operațiuni specifice cu materii explozive. S-a dezvoltat un set de patru criterii de risc pentru gestionarea riscului de explozie specific operațiunilor cu materii explozive și s-au stabilit principalele scenarii de dispunere a structurilor explozive (PES) și de expunere (ES) la nivelul amplasamentelor industriale destinate pentru operațiuni specifice cu materii explozive. Analiza de risc trebuie realizată într-o manieră care să recunoască mecanismul respectării legității matematice de „aditivare” a valorilor de risc ținând cont de natura acestuia. În acest sens, dispunerea bazată pe risc a structurilor explozive (PES) și de expunere (ES) în cadrul unui amplasament industrial destinat desfășurării de operațiuni specifice cu materii explozive, se face asigurându-se că toate structurile de tip PES care expun o structură de tip ES la un „*risc individual*”, semnificativ sunt luate în considerare în analiză și prin

evaluarea „riscului de grup”. Astfel, „grupul” pentru un PES este considerat a fi format din toate persoanele expuse unui risc semnificativ din acel PES, iar „riscul de grup” este riscul total pentru toți indivizii din grup. „Riscul de grup” se va determina prin însumarea tuturor „riscurilor individuale”. În cadrul procesului de evaluare cantitativă a riscului de explozie generat în urma detonării materiilor explozive, estimarea modului de manifestare a pericolelor identificate prin intermediul factorilor de risc asociați, se va realiza pe baza unor algoritmi științifici de calcul și modele grafo-analitice consacrate, având în vedere baze de date fundamentate din rezultatele cercetărilor experimentale privind caracterizarea efectelor și consecințelor aferente scenariilor tipice de eveniment cu diferite expuneri la distanțe predefinite, în conformitate cu criteriile standard de siguranță, utilizându-se tehnica extrapolării efectelor câmpului îndepărtat la zona din proximitatea epicentrului exploziei (câmpul apropiat), păstrând desigur dimensiunea proporției efectului modelat. Abordarea mecanismului simplificat de fatalitate cauzat de un eveniment de tip explozie în urma detonării materiilor explozive (MSFEXP) are la bază o modalitate tradițională de utilizare a tehnicii de extrapolare a efectelor de câmp, conceptul general al modelului elaborat fiind evidențiat grafo-analitic în finalul acestui capitol.

Aspectele referitoare la „*Contribuții privind elaborarea instrumentelor metodologice de evaluare a efectelor generate de explozii*”, sunt evidențiate în **capitolul 5**, care prezintă la nivel sintetic instrumentele metodologice și grafo-analitice de evaluare și modelare a principalelor efecte de explozie produse în urma detonării materiilor explozive, punctând distinct rezultatele tehnico-științifice referitoare la: calcularea efectelor de atenuare împotriva exploziei generate de suprapresiune și impuls; evaluarea gradului de afectare a componentei umane / prăbușirii structurale a unei clădiri afectată de explozie; evaluarea factorului termic de pericol generat la detonarea materiilor explozive; modelarea dispersiei de fragmente materiale generate de explozii. Mecanismele potențiale de fatalitate sunt analizate în paralel și pot fi grupate în patru ramuri de pași secvențiali: Presiune și Impuls (explozia produce o undă de explozie descrisă atât de suprapresiune, cât și de impuls); Răspunsul structural (aici sunt evaluate două consecințe: prăbușirea clădirii și spargerea geamurilor – proiectarea fragmentelor materiale); Resturi (ramura de deșuri-uri combină fragmentele periculoase rezultate în urma detonării materiilor explozive în funcție de energia cinetică); Termic (ramura termică este utilizată numai pentru Hazard Division (HD) 1.3 explozivi care produc incendiere în masă). Instrumentul grafo-analitic generalizat pentru evaluarea mecanismului de afectare a componentei umane, precum și a prăbușirii structurale a unei clădiri afectată de explozie se bazează pe utilizarea mecanismului simplificat de fatalitate cauzat de un eveniment de tip explozie în urma detonării materiilor explozive (MSFEXP), redat la capitolul 4. Modelarea efectului de proiectare a deșeurilor care pot afecta componenta umană și/sau structura de rezistență a instalațiilor și clădirilor dispuse pe un amplasament destinat operațiunilor specifice cu materii explozive are la bază cuantificarea impactului caracterizat de viteză de aruncare și masa fragmentelor de material rezultate în urma detonării substanțelor explozive, luând în considerare tipul materialului (oțel sau beton) și condițiile de încărcare a deșeurilor rezultat. Pentru modelarea cât mai veridică a efectului de proiectare a fragmentelor de material rezultate în urma detonării materiilor explozive, se utilizează noul model rezultat, cu variație azimutală nenulă, potrivit căruia amplitudinea de-a lungul direcției centrale variază în funcție de intervalul de clasă al fragmentelor, iar abaterea standard este un unghi constant.

În cadrul **capitolului 6** intitulat „*Studiu de caz privind evaluarea riscului de explozie la un operator economic pilot cu activitate în domeniul explozivilor de uz civil*”, se prezintă o secțiune dedicată evaluării riscului de explozie specific activităților de preparare și depozitare a a explozivului tip ANFO, la nivelul amplasamentului industrial din cadrul unui operator economic cu activitate în domeniul explozivilor de uz civil. Aplicațiile numerice sunt dezvoltate pentru două instalații, și anume: 1. *Depozitul de bază pentru explozivi de uz civil* și 2. *Producerea explozivului de uz civil tip AUSTINITE prin amestecare mecanică de azotat de amoniu și motorină*.

Se realizează încadrarea amplasamentelor, analiza riscului de explozie, utilizând metodologia „bazată pe consecințe”, care se fundamentează pe evaluarea consecințelor unor accidente posibile, fără a cuantifica explicit probabilitatea de producere a acestor accidente. În acest fel am evitat cuantificarea frecvențelor de producere a accidentelor potențiale și a incertitudinilor asociate. Conceptul de bază a fost existența unuia sau a mai multor scenarii foarte grave, care sunt definite în funcție de experiențele anterioare, datele istorice, judecata experților și informațiile calitative obținute din identificarea hazardurilor. S-au luat în considerare scenariile cu consecințe majore sau catastrofale. Pentru identificarea celui mai grav scenariu de accident posibil la nivelul amplasamentului industrial studiat au fost definite și stabilite scenarii (ipoteze) de referință, evidențiindu-se pentru fiecare caz în parte aspectele semnificative de configurare (codificarea scenariului, tipul evenimentului, localizare posibilă, cauze/efecte, condiții de producere, valoarea suprapresiunii, efecte asupra construcțiilor și asupra sănătății umane, zona de afectare, rezultatul modelării computerizate etc), respectiv: (A) Scenariul de accident privind explozia unei cantități de 50 kg ETNT la Magazia III – capse; (B) Scenariul de accident privind explozia unei cantități de 300 kg ETNT la Magazia III – capse; (C) Scenariul de accident privind explozia în masă a unei cantități de 1300 kg ETNT la Magazia III – capse; (D) Scenariul de accident privind explozia în masă a unei cantități de 3000 kg ETNT la Magazia III – AUSTINITE; (E) Scenariul de accident privind explozia în masă a unei cantități de 20000 kg ETNT la Magazia I – LAMBREX, EMILEX, NITRAMON, AUSTINITE; (F) Scenariul de accident privind explozia în masă a unei cantități de 12500 kg ETNT la Magazia I – AUSTROGEL; (G) Scenariul de accident privind explozia unei cantități de 20000 kg ETNT de azotat de amoniu depozitată datorită extinderii unui incendiu la Depozitul de azotat de amoniu. În vederea prevenirii situațiilor de urgență care se pot produce la nivelul amplasamentului industrial care a constituit obiectul studiului de caz, la finalul capitolului au fost prevăzute măsuri generale de prevenire și protecție cu caracter tehnico-organizatoric.

Capitolul 7, „Simulări computerizate ale efectelor de explozie produse în urma detonării materiilor explozive”, evidențiază, atât rezultatele simulărilor computerizate a efectelor de explozie ca urmare a detonării materiilor explozive, care au fost obținute cu softul specializat de ultimă generație (IMESA FR), în vederea determinării parametrilor de risc (trasarea curbelor de suprapresiune, a curbelor de risc și a hărților de contur privind proiectarea de fragmente rezultate în urma detonării, cu evidențierea zonelor de afectare: zona letală/zona de leziuni majore/zona de leziuni minore), cât și o serie de cercetări experimentale privind determinarea efectului presiunii de explozie la detonarea încărcăturilor explozive utilizând, pentru monitorizare, echipamente de ultimă generație (senzori de suprapresiune, cameră de filmare de mare viteză). Pentru evaluarea computerizată a riscului de explozie specific amplasamentelor industriale din domeniul explozivilor de uz civil am utilizat software-ul specializat în domeniul evaluării riscului de explozie tip IMESA FR v2 Bundle la depozitele de exploziv de uz civil, care asigură premisele necesare elaborării în condiții obiective și de înaltă acuratețe, a documentului de securitate la aceste tipuri de infrastructuri tehnice și cuantificarea gradului de afectare asupra sistemelor de muncă și zonei adiacente care sunt situate în proximitatea acestora. IMESA FR v2 Bundle este un software specializat de evaluare probabilistică a riscului pentru personalul unităților de depozitare a explozivilor care calculează distanțele de siguranță față de depozitele de explozivi și poate determina nivelul de siguranță pe baza riscului estimat și apreciat. Rezultatele simulării computerizate privind evidențierea tuturor efectelor (curbe de risc, curbe de suprapresiune, zone de contur privind proiectarea fragmentelor rezultate în urma detonării – debrisurilor) generate de situl potențial exploziv au fost obținute pentru diferite încărcături explozive în echivalent TNT. Pentru efectuarea de cercetări privind propagarea unde de presiune la detonarea încărcăturilor explozive, asupra platformei mobile cu senzor TESTES de presiune, s-a realizat un montaj experimental utilizându-se încărcături explozive realizate din exploziv tip RIOMAX și Fitol Detonant, cu următoarele cantități: 143g (cartușe RIOMAX) și 63g (Fitol detonant de 10,5 ml cu 6g/ml exploziv).

Am realizat vizualizarea undei de presiune aeriene pentru experimentele cu 1,143/2,286/3,429/4,572 g exploziv, precum și pentru cel cu fitil detonant de 13 ml, cu 6g exploziv/ml prin utilizarea efectului BOS (background oriented Schlieren), aplicat pe filmarea rapidă cu 7000 fps și rezoluție de 1024 x 768 pixeli. Calculul presiunii de vârf a undei aeriene (de șoc) - suprapresiunea, generată de încărcătura echivalentă TNT, s-a făcut cunoscându-se faptul că suprapresiunea este o funcție care depinde de distanță, de masa de exploziv și de condițiile locale. În scopul determinării legii de variație a presiunii în frontul de undă, s-au avut în vedere toate datele înregistrate cu două sisteme Kistler, utilizate la efectuarea experimentărilor, care au fost sintetizate în cadrul unei foi de calcul, în scopul determinării valorilor coeficienților experimentali pentru trasarea curbei de suprapresiune.

Capitolul 8 intitulat *Concluzii finale și contribuții personale* pune în evidență concluziile rezultate și contribuțiile aduse la dezvoltarea infrastructurii metodologice de evaluare a riscului de explozie, precum și modalitatea de implementare și valorificare a rezultatelor cercetărilor întreprinse, atât la nivel actual, cât și în perspectivă.

5. Contribuții personale

Gradul de noutate și complexitate al tezei este accentuat de importanța crescândă a provocărilor generate de necesitatea creșterii eficienței modului de gestionare a acestei categorii de pericole, atât din perspectiva cerințelor contextului evolutiv de reglementare, cât și din conștientizarea tot mai mare a necesității de management sistemic, sistematic și integrat a riscurilor globale care pot afecta sever toate componentele-țintă ale activității industriale (securitatea oamenilor, a bunurilor/proprietății, a mediului și a afacerii/activității în sine). Analiza dinamică a riscurilor poate fi o abordare emergentă pentru evaluarea continuă și perfecționarea peisajului riscurilor sistemice. Deși poate avea o serie de limitări legate de dependența sa de colectarea datelor ea are potențialul de a constitui un pas important înainte în direcția îmbunătățirii substanțiale a suportului decizional și a comunicării riscurilor critice

Pentru conceptualizarea și dezvoltarea metodologico-aplicativă a fazelor de dezvoltare a cercetării doctorale am recurs la colectarea, interpretarea și utilizarea de informații și cunoștințe, de instrumente și tehnici specifice mai multor areale de cunoaștere și discipline științifice cum sunt ingineria și securitatea industrială, legislație, securitate și sănătate în muncă, management industrial, elemente de teoria probabilităților, informatică etc.), asigurând astfel conferirea unui pronunțat caracter inter și pluridisciplinar, ca o condiție neapărat necesară pentru a putea identifica cele mai adecvate căi de studiu și identifica soluțiile fezabile pentru a realiza atingerea obiectivelor prestabilite ale cercetării.

5.1. Contribuții teoretice

Principalele contribuții teoretice cu impact tehnico-științific semnificativ, desprinse din cadrul tezei de doctorat, sunt:

- Realizarea unei analize integrate aprofundate prin intermediul căreia s-a identificat cadrul legislativ național și internațional care permite desfasurarea în siguranță a activităților specifice cu materii explozive la nivelul amplasamentelor industriale din domeniul explozivilor de uz civil;
- Realizarea unui studiu prin care s-a pus în evidență corespondența dintre Directivele Europene privind riscul de accident major și regimul materiilor explozive privind întocmirea rapoartelor de securitate, creând astfel premisele unui ghid deosebit de util pentru operatorii economici cu activitate în domeniul explozivilor de uz civil, facilitându-se luarea deciziilor

optime atunci când este necesar securizarea integrată a amplasamentelor industriale destinate fabricării și depozitării produselor/substanțelor periculoase de natură explozivă;

- Conceptualizarea noțiunii de risc specific amplasamentelor industriale unde se desfășoară operațiuni cu materii explozive;
- Dezvoltarea infrastructurii metodologice de evaluare cantitativă a riscului de explozie generat în urma operațiunilor specifice cu materii explozive;
- Analiza criteriilor de acceptabilitate a riscului de explozie generat în timpul operațiunilor specifice cu materii explozive, în vederea stabilirii principalelor scenarii de dispunere a structurilor explozive (PES) și de expunere (ES) la nivelul amplasamentelor industriale destinate pentru operațiuni specifice cu materii explozive;
- Conceptualizarea mecanismului simplificat de fatalitate cauzat de un eveniment de tip explozie în urma detonării materiilor explozive;
- Elaborarea instrumentului metodologic pentru evaluarea efectelor de atenuare împotriva exploziei generate de suprapresiune și impuls în aer liber;
- Elaborarea instrumentului grafo-analitic generalizat pentru evaluarea mecanismului de afectare a componentei umane / prăbușirii structurale a unei clădiri afectată de explozie;
- Elaborarea instrumentului metodologic pentru evaluarea factorului termic de pericol generat la detonarea materiilor explozive;
- Elaborarea instrumentului analitic pentru modelarea dispersiei de fragmente materiale generate de explozii;
- Analiza paralelă a mecanismelor potențiale de fatalitate și gruparea acestora în patru ramuri de pași secvențiali: **Presiune și Impuls** (explozia produce o undă de explozie descrisă atât de suprapresiune, cât și de impuls); **Răspuns structural** (aici sunt evaluate două consecințe: prăbușirea clădirii și spargerea geamurilor – proiectarea fragmentelor materiale); **Debris-Resturi** (ramura de debris-uri combină fragmentele periculoase rezultate în urma detonării materiilor explozive în funcție de energia cinetică); **Termic** (ramura termică este utilizată numai pentru Hazard Division (HD) 1.3, explozivi care produc incendiere în masă);
- Pentru modelarea cât mai veridică a efectului de proiectare a fragmentelor de material rezultate în urma detonării materiilor explozive, s-a utilizat noul model rezultat, cu variație azimutală nenulă, potrivit căruia amplitudinea de-a lungul direcției centrale variază în funcție de intervalul de clasă al fragmentelor, iar abaterea standard este un unghi constant.

8.2.2. Contribuții experimentale și aplicative

Principalele contribuții experimentale și aplicative cu impact tehnico-științific semnificativ desprinse din cadrul tezei de doctorat sunt:

- Identificarea particularităților de evaluare a riscului de explozie la operatorul economic investigat în studiul de caz, cu activitate în domeniul preparării și depozitării explozivului tip ANFO, ceea ce oferă specialiștilor o sinteză a informațiilor tehnice de primă necesitate, a căror lipsă s-a făcut simțită cu ocazia diverselor evenimente neprevăzute care au apărut;
- Elaborarea și analiza principalelor scenarii de accidente care ar putea să se producă la nivelul amplasamentului industrial din cadrul operatorului economic pilot;
- Evaluarea computerizată a riscului de explozie nivelului de securitate la explozie la unitatea studiată, fapt care a evidențiat necesitatea luării măsurilor de îmbunătățire a securității amplasamentului și protecției sănătății lucrătorilor aflați în zone periculoase; S-au luat în considerare scenariile cu consecințe majore sau catastrofale. Pentru identificarea celui mai grav scenariu de accident posibil la nivelul amplasamentului industrial studiat au fost definite și stabilite scenarii (ipoteze) de referință, evidențiindu-se pentru fiecare caz în parte aspectele

semnificative de configurare (codificarea scenariului, tipul evenimentului, localizare posibilă, cauze/efecte, condiții de producere, valoarea suprapresiunii, efecte asupra construcțiilor și asupra sănătății umane, zona de afectare, rezultatul modelării computerizate etc), respectiv: (A) Scenariul de accident privind explozia unei cantități de 50 kg ETNT la Magazia III – capse; (B) Scenariul de accident privind explozia unei cantități de 300 kg ETNT la Magazia III – capse; (C) Scenariul de accident privind explozia în masă a unei cantități de 1300 kg ETNT la Magazia III – capse; (D) Scenariul de accident privind explozia în masă a unei cantități de 3000 kg ETNT la Magazia III – AUSTINITE; (E) Scenariul de accident privind explozia în masă a unei cantități de 20000 kg ETNT la Magazia I – LAMBREX, EMILEX, NITRAMON, AUSTINITE; (F) Scenariul de accident privind explozia în masă a unei cantități de 12500 kg ETNT la Magazia I – AUSTROGEL; (G) Scenariul de accident privind explozia unei cantități de 20000 kg ETNT de azotat de amoniu depozitată datorită extinderii unui incendiu la Depozitul de azotat de amoniu;

- Analiza și centralizarea datelor cu privire la riscul de explozie generat în urma detonării materiilor explozive la nivelul amplasamentului investigat (fatalitate, zona leziunilor majore, zona leziunilor minore, stabilirea distanțelor de securitate);
- Stabilirea măsurilor generale de prevenire a situațiilor de urgență specifice amplasamentului industrial analizat.
- Efectuarea de simulări computerizate ale efectelor de explozie produse în urma detonării materiilor explozive pentru aplicații industriale și civile:
 - *Simularea computerizată a unei explozii în cazul unui container tip ISO IC situat pe un amplasament industrial, utilizând, softul specializat tip IMESA FR;*
 - *Simularea computerizată a unei explozii în fața clădirii IGSU, utilizând softul specializat tip IMESA FR.*
 - *Trasarea curbelor de suprapresiune, a curbelor de risc și a hărților de contur privind proiectarea de fragmente rezultate în urma detonării, cu evidențierea zonelor de afectare: zona letală/zona de leziuni majore/zona de leziuni minore).*
- Realizarea de cercetări experimentale privind efectul presiunii de explozie la detonarea încărcăturilor explozive pentru senzorii dezvoltati de presiune:
 - *Experimente în câmp deschis pentru unda de presiune aeriana asupra platformei mobile cu senzor TESTES de presiune;*
 - *Vizualizarea undei de presiune, generată în urma detonării diferitelor încărcături explozive, prin utilizarea camerei de mare viteză PHANTOM.*

Rezultatele obținute dețin un potențial semnificativ de a genera beneficii operaționale și de securitate pentru titularii de activități care dețin infrastructuri tehnice pentru depozitarea/producerea explozivilor de uz civil/industrial, putând fi valorificate în procesele de identificare/dezvoltare/implementare a politicilor/procedurilor/operațiilor efectuate în astfel de amplasamente industriale și emiterea de recomandări/bune practici privind vizarea unor obiective de securitate superioare. Lucrarea se adresează în primul rând practicienilor/specialiștilor implicați în analiza riscurilor majore explozive asociate amplasamentelor industriale de fabricație/stocarea explozivilor, în vederea stabilirii celor mai eficiente și realiste măsuri de prevenire/protecție a riscurilor majore, și a implementării de practici sigure în scopul asigurării/garantării unor niveluri crescute și predictibile de siguranță operațională, însă – totodată – o parte dintre rezultatele obținute pot fi utilizate și de către non experți, deoarece se oferă soluții tehnice de modelare și analiză cantitativă computerizată a riscului exploziv.

8.2.3. Direcții de cercetare viitoare

Luând în considerare contribuțiile evidențiate în cadrul lucrării și problematica de cercetare identificată, se pot formula următoarele direcții de cercetare cu posibilitate de abordare în viitor:

- Monitorizarea digitalizată integrată a amplasamentelor industriale din domeniul explozivilor de uz civil din punct de vedere al riscului de explozie;
- Optimizarea securității integrate a amplasamentelor industriale destinate operațiunilor specifice cu materii explozive pe baza dispunerii raționale cu respectarea criteriilor de acceptabilitate a structurilor explozive și de expunere;
- Cercetări privind realizarea unui amplasament industrial inteligent dotat cu dispozitive IT de ultimă generație și aplicații informatice specializate destinate pentru asigurarea și monitorizarea la distanță a securității integrate a acestuia.