



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ
Domeniul: INGINERIE INDUSTRIALĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

-REZUMAT-

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:

CSI.habil.dr.ing. VASILESCU GABRIEL-DRAGOȘ

STUDENT DOCTORAND:

Ec. MATEIU CIPRIAN-IONUȚ



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ

Domeniul: INGINERIE INDUSTRIALĂ

**CREȘTEREA GRADULUI DE SECURITATE ÎN
ACTIVITATEA DE TRANSPORT A MĂRFURILOR
PERICULOASE**

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:

CSI.habil.dr.ing. VASILESCU GABRIEL-DRAGOȘ

STUDENT DOCTORAND:

Ec. MATEIU CIPRIAN-IONUȚ

2025

CUPRINS

Cuvânt înainte		1
Cuprins		2
Lista figurilor		5
Lista tabelelor		8
Listă acronime și simboluri		9
CAPITOLUL I	INTRODUCERE	11
CAPITOLUL II	ASPECTE GENERALE DE REGLEMENTARE PRIVIND TRANSPORTUL DE MĂRFURI PERICULOASE	17
	2.1.-Necesitatea transporturilor	17
	2.2.-Legiferarea transportului ADR	18
	2.2.1-Reglementarea ADR referitoare la transportul internațional ADR	20
	2.2.2-Reglementarea ORANGE BOOK referitoare la metodele de testare și criteriile necesare pentru încadrarea substanțelor periculoase	20
	2.3.-Concluzii	22
CAPITOLUL III	STUDIUL FENOMENULUI TRANZITORIU "DEFLAGRARE-DETONARE" MANIFESTAT ÎN COMPORTAMENTUL MATERIALELOR PERICULOASE (CLASA 1)	24
	3.1.-Cercetări tehnico-științifice privind evaluarea gradului de pericol asociat substanțelor aflate în stare solidă, din punct de vedere al riscului la explozie	24
	3.1.1.-Sintetizarea testelor din seria 5 evidențiate în Orange Book	24
	3.2.-Investigarea pe baze științifice a fenomenului tranzitoriu "deflagrare-detonare" și evidențierea modalității de determinare a acestuia	35
	3.2.1.-Studiul comportamentului de combustie a materialelor periculoase și stabilirea caracterului de deflagație, respectiv deflagație a substanțelor solide	38
	3.3.-Încercări preliminare asupra comportamentului de combustie asupra substanțelor periculoase solide	49
	3.4.-Aparatură și materiale necesare configurării standului de încercare, în vederea realizării testelor privind tranziția de la deflagrare la detonare a materialelor periculoase din clasa 1 conform orange book	54
	3.5.-Configurarea montajului pentru testul de tranziție "deflagrare-detonare" și realizarea încercărilor pilot a materiilor periculoase (Clasa 1)	56
	3.5.1.-Analiza condițiilor de încercare și de verificare a conformității cu cerințele precizate în reglementările aplicabile	56
	3.6.-Concluzii	62
CAPITOLUL IV	CONTRIBUȚII ASUPRA STABILIRII ECHIVALENȚEI EXPLOZIVILOR DE UZ CIVIL	65
	4.1.-Considerații teoretice și practice privind determinarea capacității relative de lucru a explozivilor de uz civil	65
	4.2.-Determinarea experimentală a capacității de lucru a explozivilor ..	67
	4.2.1.-Determinarea potențialului exploziv cu ajutorul probei Trauzl	67

	4.2.2.-Proba cu mortiere balistice descrisă în literatura de specialitate	70
	4.2.3.-Determinarea capacității de lucru cu ajutorul craterelor de rupere	71
	4.2.4.-Aprecierea capacității de lucru a explozivilor după echivalentul în trotil	71
	4.3.-Prezentarea sintetică a rezultatelor testelor pilot efectuate	73
	4.3.1.-Teste pilot efectuate cu "ANFO etalon"	73
	4.3.2.-Teste pilot efectuate cu ajutorul pendulului balistic în vederea prelucrării statistice prin selectarea valorilor reprezentative	73
	4.4.-Metodologie privind stabilirea echivalenței explozivilor de uz civil prin utilizarea de "ANFO" etalon	77
	4.4.1.-Cerințe tehnice pentru efectuarea încercării privind determinarea capacității relative de lucru a explozivilor prin metoda pendulului balistic	77
	4.5.-Elaborarea procedurii pentru determinarea capacității relative de lucru a explozivului de uz civil prin utilizarea de "ANFO" etalon	79
	4.6.-Concluzii	80
CAPITOLUL V	CONTRIBUȚII PRIVIND ANALIZA ȘI EVALUAREA RISCULUI INDUSTRIAL SPECIFIC TRANSPORTULUI DE SUBSTANȚE PERICULOASE	81
	5.1.-Aspecte de ordin teoretic referitoare la riscurile specifice transportului de mărfuri periculoase	81
	5.2.-Studiul expunerii datorate transportul rutier de mărfuri periculoase.....	81
	5.3.-Cercetări asupra compatibilității teritoriale în zona adiacentă rutelor de transport destinat mărfurilor periculoase	87
	5.4.-Exemplificarea unei analize cantitative a riscului individual și societal la nivel local	90
	5.5.-Concluzii	91
CAPITOLUL VI	CONTRIBUȚII PRIVIND STABILIREA DE SOLUȚII TEHNICE PENTRU CREȘTEREA SIGURANȚEI LA REALIZAREA TRANSPORTULUI DE MĂRFURI PERICULOASE	92
	6.1.-Stadiul actual privind managementul și gestionarea riscului de transport ADR	92
	6.2.-Mărfurile periculoase și transportul ADR	94
	6.2.1.-Definire și clasificare	94
	6.2.2.-Particularitățile acestui tip de transport	102
	6.3.-Reglementări ale transportului ADR	113
	6.3.1.-Legiferare la nivel internațional	113
	6.3.2.- Legiferare la nivel național	
	6.4.-Estimarea și aprecierea riscului specific transportului ADR	114
	6.4.1.-Considerații generale	114
	6.4.2.-Cuantificarea riscului	121
	6.5.-Optimizarea managementului transportului ADR	124
	6.5.1.-Aspecte tehnice specifice problematicii optimizării transportului ADR	124
	6.5.2.-Exemplificare privind optimizarea managementului transportului ADR	129
	6.6.-Soluții pentru securizarea transportului ADR	136

	6.6.1.-Cerințe constructive și funcționale prevăzute de reglementările aplicabile infrastructurii de transport ADR	136
	6.6.2.-Instrumente novative de securizare a transportului ADR..	138
	6.7.-Măsuri de combatere a efectelor negative asupra mediului generate de agresivitatea mărfurilor periculoase	149
	6.7.1.-Măsuri educaționale propuse pentru creșterea siguranței transportului ADR	150
	6.8.-Exemplificări aplicative ale determinărilor referitoare la sistemele de securitate și logistica aferentă transportului ADR	151
	6.9.-Concluzii	166
CAPITOLUL VII	CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	169
	7.1. Concluzii finale	169
	7.1.1. Concluzii asupra aspectelor generale de reglementare privind transportul de mărfuri periculoase	169
	7.1.2. Concluzii privind studiul fenomenului de tranziție de la deflagrare la detonare manifestat în comportamentul materialelor periculoase (Clasa 1).....	169
	7.1.3. Contribuții asupra stabilirii echivalenței explozivilor de uz civil	170
	7.1.4. Concluzii privind analiza și evaluarea riscului industrial specific transportului de substanțe periculoase	170
	7.1.5. Concluzii privind stabilirea de soluții tehnice pentru creșterea siguranței la realizarea transportului de mărfuri periculoase	171
	7.2. Contribuții personale	173
	7.2.1. Contribuții teoretice	173
	7.2.2. Contribuții experimentale și aplicative	174
	7.2.3. Direcții viitoare de cercetare	175
BIBLIOGRAFIE		176
ANEXE		194

Cuvinte cheie: nivel de securitate, transport de substanțe periculoase, management, risc, ANFO etalon, optimizarea transportului ADR, exploziv de uz civil

1. Concepte, definiții, motivația tezei, obiectivele urmărite

Teza „*Creșterea gradului de securitate în activitatea de transport a mărfurilor periculoase*” adresează un subiect de cercetare extrem de actual în era transportului industrial în contextul globalizării activităților desfășurate pe amplasamentele și rutele de transport destinate operațiunilor specifice cu substanțe periculoase, prezentând o modalitate de studiu aplicativ armonizat cu cerințele actuale din domeniul transportului de substanțe periculoase, din perspectiva îmbunătățirii permanente a climatului de securitate afectat de prezența pericole asociate.

Fundamentarea teoretică și practică a modalităților de creștere gradului de securitate în activitatea de transport a mărfurilor periculoase a presupus efectuarea următoarelor demersuri de cercetare:

- Analiza reglementărilor aplicabile, stabilite la nivel internațional și național privind transportul ADR;

- Cercetarea fenomenului care se poate produce prin tranziția de la deflagrare la detonare și posibilitatea de determinare a acestuia;

- Studiul stabilirii echivalenței explozivilor de uz civil;

- Evaluarea riscului industrial specific transportului de substanțe periculoase;

- Stabilirea de soluții tehnice pentru securizarea transportului ADR;

- *Evidențierea aspectelor tehnice specifice problematicii optimizării transportului ADR;*

- Stabilirea măsurilor pentru prevenirea și reducerea agresivității mărfurilor periculoase asupra mediului ambiant.

Motivația tezei de doctorat este legată atât de necesitatea optimizării infrastructurii metodologice de estimare și apreciere a riscului specific transportului ADR, cât și de configurare a soluțiilor tehnice aplicative de bună practică privind calculul sistemelor de siguranță și logisticii asociate acestui tip de transport, în vederea creșterii siguranței acestuia pe rute dedicate, asigurând gestionarea eficientă a calității de securitate în acest domeniu.

Obiectivele principale ale tezei constau în conceptualizarea mecanismului de evaluare a riscului specific transportului ADR, precum și de configurare a soluțiilor tehnice de bună practică în domeniul creșterii gradului de securitate atunci când sunt implicate substanțe periculoase, pe baza rezultatelor cercetărilor tehnico-științifice întreprinse. Aceste obiective de bază sunt îndeplinite prin intermediul *obiectivelor derivate*, respectiv: analiza aspectelor generale de reglementare privind transportul de mărfuri periculoase; studiul fenomenului de tranziție de la deflagrare la detonare manifestat în comportamentul materialelor periculoase (clasa 1); stabilirea echivalenței explozivilor de uz civil; estimarea și aprecierea riscului specific transportului ADR; stabilirea de soluții tehnice pentru creșterea siguranței în transportul mărfurilor periculoase.

Obiectivele derivate sunt îndeplinite pe baza *obiectivelor primare*, respectiv: studierea materialului bibliografic dedicat tematicii tezei pe baza lecturării și analizării referințelor și notelor de conținut cu specific propriu sferei de interes; conceptualizarea termenului „mărfuri periculoase”; cercetări tehnico-științifice privind evaluarea gradului de pericol asociat substanțelor aflate în stare solidă, din punct de vedere al riscului la explozie; investigarea pe baze științifice a fenomenului tranzitoriu „deflagrare-detonare” și evidențierea modalității de determinare a acestuia; încercări preliminare asupra comportamentului de combustie specific substanțelor periculoase solide; stabilirea aparatului și materialelor necesare configurării standului de încercare, în vederea realizării testelor privind tranziția de la deflagrare la detonare a materialelor periculoase din clasa 1 conform orange book; configurarea montajului pentru testul de tranziție de la deflagrare la detonare și realizarea încercărilor pilot pentru materialele periculoase (Clasa 1); considerații teoretice și practice privind determinarea capacității relative de lucru a explozivilor de uz civil; determinarea experimentală a capacității de lucru a explozivilor; prezentarea sintetică a rezultatelor testelor pilot efectuate;

metodologie privind stabilirea echivalenței explozivilor de uz civil prin utilizarea de "ANFO" etalon; elaborarea procedurii pentru determinarea capacității relative de lucru a explozivului de uz civil prin utilizarea de "ANFO" etalon; evidențierea aspecte de ordin teoretic referitoare la riscurile specifice transportului de mărfuri periculoase; studiul expunerii datorate transportul rutier de mărfuri periculoase; cercetări asupra compatibilității teritoriale în zona adiacentă rutelor de transport destinat mărfurilor periculoase; exemplificarea unei analize cantitative a riscului individual și societal la nivel local; stadiul actual privind managementul și gestionarea riscului de transport ADR; mărfurile periculoase și transportul ADR; reglementări ale transportului ADR; estimarea și aprecierea riscului specific transportului ADR; optimizarea managementului transportului ADR; soluții pentru securizarea transportului ADR; măsuri de combatere a efectelor negative asupra mediului generate de agresivitatea mărfurilor periculoase; exemplificări aplicative ale determinărilor referitoare la sistemele de securitate și logistica aferentă transportului ADR.

Mecanismul strategic al cercetării întreprins pentru ducerea la îndeplinire a obiectivelor prevăzute pentru realizarea tezei a vizat, sub aspect tehnico-științific, următoarele direcții majore de studiu:

- Secțiunea de început a tezei evidențiază cadrul juridic național și internațional de reglementare, din sfera de interes a riscului specific transportului ADR, atunci când sunt implicate substanțe periculoase, care stabilesc aspecte tehnice normative privind securizarea activităților desfășurate în prezența pericolelor asociate, în spații industriale și rute de transport dedicate.

- Următorul pas în cercetare se concentrează atât pe stabilirea comportamentului materialelor periculoase încadrate în clasa 1, în ceea ce privește tranziția de la deflagrare la detonare și pe studiul stabilirii echivalenței explozivilor de uz civil, cât și pe estimarea și aprecierea riscului specific transportului ADR și stabilirea de soluții tehnice novative pentru creșterea siguranței acestui tip de transport.

- Ultimul pas important al cercetării rezidă din exprimarea contribuțiilor asupra optimizării managementului transportului ADR și stabilirii măsurilor de combatere a efectelor negative asupra mediului generate de agresivitatea mărfurilor periculoase.

2. Structura tezei și unele contribuții

Sub aspect structural, lucrarea cuprinde un capitol introductiv și 5 capitole tematice, iar în încheiere un capitol de Concluzii finale și contribuții personale totalizând 194 pagini dintre care 175 pagini reprezintă teza propriu-zisă și 18 pagini reprezintă Bibliografia care are un număr de 319 note bibliografice și Anexele specializate.

Contribuțiile valoroase care au fost dezvoltate în secțiunile specializate ale lucrării de doctorat, sunt următoarele:

- Evidențierea sistematizată și integrativă a structurii normative naționale și internaționale de reglementare privind transportul de mărfuri periculoase;

- Elaborarea unei cercetări tehnico-științifice privind verificarea comportamentului materialelor periculoase încadrate în clasa 1, în ceea ce privește tranziția de la deflagrare la detonare;

- Studiul riscului de explozie generat de comportamentul substanțelor încadrate în clasa 1 conform Orange Book;

- Investigarea pe baze științifice a fenomenului tranzitoriu "deflagrare-detonare" și evidențierea modalității de determinare a acestuia;

- Elaborarea unei metodologii specializate privind stabilirea echivalenței explozivilor de uz civil prin utilizarea de "ANFO" etalon;

- Elaborarea procedurii pentru determinarea capacității relative de lucru a explozivului de uz civil prin utilizarea de "ANFO" etalon;

- Studiul expunerii datorate transportul rutier de mărfuri periculoase;

- Estimarea și aprecierea riscului specific transportului ADR;

- Cercetări asupra compatibilității teritoriale în zona adiacentă rutelor de transport destinat mărfurilor periculoase;
- Exemplificarea unei analize cantitative a riscului individual și societal la nivel local;
- Stabilirea de soluții tehnice pentru securizarea transportului ADR;
- Stabilirea cerințelor constructive și funcționale prevăzute de reglementările aplicabile infrastructurii de transport ADR;
- Cuantificarea riscului asociat transportului ADR;
- Stabilirea măsurilor de combatere a efectelor negative asupra mediului generate de agresivitatea mărfurilor periculoase;
- Evidențierea aspectelor tehnice specifice problematicei optimizării transportului ADR.
- Configurarea criteriilor de optimizare a managementului transportului rutier ADR;
- Determinarea unor algoritmi specifici logisticii asociate transportului de mărfuri periculoase;
- Încercări și teste experimentale asupra comportamentului de combustie internă specific substanțelor periculoase solide;
- Exemplificări aplicative ale determinărilor referitoare la sistemele de securitate și logistica aferentă transportului ADR;
- Elaborarea unei soluții tehnice aplicative privind optimizarea managementului transportului de substanțe periculoase pe baza celor 5 criterii de influență (distanța, riscul de poluare a mediului în caz de incident rutier, numărul populației potențial afectate, starea infrastructurii și dificultatea traficului), utilizând facilitățile aplicației informatice ELECTRE III;
- Aplicații specializate privind calculul sistemelor de siguranță și logisticii asociate transportului de mărfuri periculoase.

Valorificarea rezultatelor tehnico-științifice ale cercetărilor efectuate s-a realizat prin diseminarea acestora în cadrul unor lucrări în Proceedings-urile unor conferințe/simpozioane sau Jurnale recunoscute ISI sau BDI.

3. Sinteza lucrări

Având în vedere caracterul pronunțat al dinamicii unei societăți moderne, care își restructurează domeniile de lucru în mod continuu, se manifestă diverse riscuri specifice activităților sectoriale desfășurate la nivelul economiei naționale. În contextul actual, odată cu intensificarea transportului ADR, la nivel internațional a fost semnalată o creștere a numărului de evenimente care au avut un pronunțat impact, atât asupra factorului uman, cât și asupra componentelor de mediu, manifestându-se inclusiv la nivel economic.

Teza de doctorat cu denumirea *Creșterea gradului de securitate în activitatea de transport a mărfurilor periculoase* cuprinde 7 capitole prezentate sintetic în continuare.

Capitolul 1, Introducere, evidențiază aspecte de ordin general, obiective urmărite, motivația lucrării de doctorat și o expunere descriptivă sintetică a tezei.

În **Capitolul 2**, denumit *Aspecte generale de reglementare privind transportul de mărfuri periculoase*, am prezentat în sinteză cadrul legislativ național și internațional specific riscului de accident, atunci când sunt implicate substanțe periculoase, aplicabil operatorilor economici cu activitate în domeniul transportului ADR. În acest sens, domeniul bunurilor periculoase este reglementat la nivel mondial/european/național prin normative specifice care au în vedere gestionarea corespunzătoare a riscurilor, în ceea ce privește aceste tipuri de produse, respectiv reglementarea ADR referitoare la transportul internațional rutier al mărfurilor periculoase și cea ORANGE BOOK privitoare la metodele de testare și criteriile necesare pentru încadrarea substanțelor periculoase. Având în vedere că bunurile periculoase clasificate conform Orange Book circulă peste tot în lume, este necesară o abordare globală a regulilor de transport și depozitare a acestora, riscurile majore manifestându-se cu precădere în timpul transportului acestora. De asemenea, încadrarea și clasificarea corectă a substanțelor și obiectelor din "Clasa 1 - Explozive" este făcută în baza unor serii de teste

descrise de ADR și care au fost prezentate succint în capitolul 2, punând accent pe seria de teste 5 în baza cărora se atribuie diviziunile de la 1.1 până la 1.6.

Capitolul 3 se numește *Studiul fenomenului tranzitoriu "deflagrare-detonare" manifestat în comportamentul materialelor periculoase (clasa 1)*. În cadrul acestui capitol s-a realizat un studiu de analiză a modului de derulare a procesului de combustie a substanțelor periculoase încadrate în clasa 1 conform Orange Book privind stabilirea caracterului deflagrant sau detonant al acestora, în funcție de modul de prezentare, nivelul de confinare, criteriile în condiții ambientale și de puritate chimică a acestora. Teoriile privind aprinderea și dezvoltarea reacției de ardere în structura materialelor cu proprietăți energetice s-au dezvoltat semnificativ în ultimele două decenii, prin creșterea nivelului de cunoștințe experimentale. În acest sens, este important de știut faptul că, procesele de reacție manifestate la nivelul acestor materiale pot avea un caracter complex deoarece reprezintă o interacțiune multidisciplinară între termodinamică și cinetică, rezultatul final constituind o relație funcțională de dependență a principalilor parametri de proces fizico-chimic, respectiv: presiune, temperatură și timp. Pentru analiza comportamentului de combustie a substanțelor periculoase solide, în cadrul Poligonului de încercări explozivi INSEMEX, au fost realizate o serie de teste asupra trei tipuri de substanțe, respectiv: azotat de amoniu poros, amestec exploziv tip ANFO și gel exploziv.

În cazul primului experiment s-a constatat faptul că arderea pulberii utilizate ca sursă de foc deschis a condus la topirea parțială în zona de contact dintre pulbere și materialul supus experimentului (azotat de amoniu poros), fără ca incendiarea să fie cu caracter de autosusținere, flacăra stingându-se spontan, fără a se consuma tendința de deflagrare sau detonare.

În cazul celui de-al doilea experiment în care s-a utilizat ANFO, proba supusă încercării a fost afectată mai intens de către sursa de inițiere în sensul în care flacăra a avut o tendință de menținere, constatându-se arderea unei părți semnificative din proba supusă încercării și formarea unei cruste de material topit și parțial descompus în zona de contact cu flacăra. De asemenea, după o perioadă de timp flacăra s-a stins de la sine, o parte de încărcătură nefiind afectată în mod vizibil de către efectul termic. În această situație nu se pune problema analizei fenomenului de trecere de la ardere lentă la o deflagrație violentă sau deflagrație.

În urma celui de-al treilea experiment explozivul supus încercării a luat foc arzând cu o tendință de propagare lentă cu descompunere totală în timp, fără a se constata fenomenul de trecere de la ardere la deflagrare violentă sau deflagrație.

Analizând rezultatele obținute în cadrul celor trei experimente rezultă că materiile periculoase, încadrate în clasa 5.1 oxidante, 1.5 explozivi cu capacitate de inițiere mare și chiar explozivii din clasa 1.1, explozivi de mare putere și cu un nivel de sensibilitate la stimuli ridicat, în condiții de ardere în spații deschise sau cu o confinare redusă (jgheab în formă de „V”), ard cu flacăra deschisă cu sau fără tendință de autoîntreținere a arderii, neexistând riscul de manifestare a deflagrației în urma incendiului. Experimentul privind verificarea aprinzătoarelor pirotehnice în funcție de capacitatea de inițiere detonativă a dovedit că aprinzătorul electric cu o putere incendivă semnificativă nu a fost în măsură să conducă la detonarea unui exploziv de mare putere pe bază de hexogen, cartușul de probă fiind aprins, arzând într-un regim constant cu flacăra deschisă.

Capitolul 4, denumit *Contribuții asupra stabilirii echivalenței explozivilor de uz civil*, se referă la descrierea detaliată și elaborarea cerințelor pentru realizarea amestecului de exploziv tip ANFO etalon cu un nivel de reproductibilitate cât mai ridicat în vederea stabilirii echivalenței explozivilor de uz civil din punct de vedere a capacității relative de lucru prin utilizarea de ANFO etalon. Capacitatea de lucru sau potențialul explozivilor este un parametru balistic deosebit de important utilizat pentru compararea explozivilor din punct de vedere al potențialului de dislocare în condițiile de producție, putându-se determina prin diferite metode, respectiv: proba Trauzl, proba cu mortarul balistic, testul Hess, testul cu ajutorul craterelor de rupere etc. În urma analizei critice a metodelor destinate determinării capacității relative de lucru a explozivilor de uz civil și luând în considerare dezavantajele tehnice, costurile ridicate și reproductibilitatea scăzută specifică celorlalte metode, au fost evidențiate avantajele utilizării metodei pendulului balistic ca variantă alternativă

pentru determinarea capacității de lucru sau potențialul explozivilor, utilizând ANFO etalon. În vederea derulării testelor experimentale a fost realizat în condiții de laborator un amestec de tip “ANFO” perfect reproductibil, care satisface cerințele de material de referință utilizabil la încercări comparative. În urma derulării unei serii de încercări specifice asupra unor mostre de amestecuri explozive de tip “ANFO” care au fost preparate în condiții de laborator s-a stabilit și validat compoziția privind caracteristicile fizico-chimice și balistice omogene rezultând caracterul de “etalon”. Rezultatele obținute prin aplicarea aparatului matematic de prelucrare statistică a datelor rezultate din măsurători, au condus la aprecieri concludente potrivit cărora în cazul efectuării determinărilor de „CRL” cu etalon TNT și de „CRL” cu etalon ANFO s-au înregistrat deferențe față de valoarea medie mai mici de 7,41% (etalon TNT), respectiv de 4,64 % (etalon ANFO).

Aspectele referitoare la *Contribuții privind analiza și evaluarea riscului industrial specific transportului de substanțe periculoase*, sunt evidențiate în **capitolul 5**. În acest capitol am propus o grilă originală, cu caracter complex, care are în vedere incidentele din traficul rutier și efectele lor potențiale atât asupra oamenilor, cât și asupra mediului. Fișa de evaluare propusă conține șase criterii, pentru care se acordă un punctaj cuprins între [0...5]. Prin însumarea scorurilor parțiale rezultă un scor total cuprins în intervalul [0...30]. Funcție de scorul total, se propun șase niveluri de risc: foarte mic, mic, moderat, înalt și foarte înalt. Completarea grilei conduce la concluzia că amoniacul este o substanță periculoasă cu risc înalt. Ca alternativă, se prezintă un calcul de risc utilizat în domeniul management, adaptat la situația particulară a substanțelor periculoase. Cele trei variabile independente ale calculatorului (probabilitatea, expunerea și consecințele) sunt asociate cu probabilitatea de apariție a unui accident, expunerea oamenilor la substanța periculoasă, respectiv consecințele accidentului asupra vieții. Pentru același exemplu al amoniacului, rezultă un grad similar de risc (înalt), ceea ce demonstrează că se poate utiliza un breviar de calcul generalizat al riscului, cu condiția atribuirii corecte a valorilor logice, avantajul constând în viteza de obținere a rezultatului.

De asemenea, am propus un prim model matematic de evaluare a riscului în cazul transportului de mărfuri periculoase. Modelul are la bază următoarele ipoteze de lucru: ruta de transport este constituită din mai multe tronsoane cu potențial de incidente diferit; pe un tronson dat media accidentelor pe kilometrul parcurs este constantă; deși traficul este foarte aglomerat, accidentele sau incidentele sunt, din punct de vedere al statisticii, niște evenimente rare; riscul asociat parcurgerii unei rute rezultă prin însumarea riscurilor înregistrate pe tronsoanele componente. În aceste condiții, se propune acceptarea unui model bazat pe distribuția exponențială, cunoscută fiind ca descriptor al evenimentelor rare. Modelul implică lungimea tronsoanelor unei rute și rata accidentelor specifice fiecărui tronson, având ca rezultat riscul pe întreaga rută. Este prezentat și un exemplu numeric de ilustrare a utilizării practice a modelului.

În cadrul **capitolului 6**, intitulat *Contribuții privind stabilirea de soluții tehnice pentru creșterea siguranței în transportul mărfurilor periculoase*, se prezintă o sinteză a caracteristicilor constructiv-funcționale ale sistemelor de transport al mărfurilor periculoase, așa cum sunt impuse prin legislație. Se constată că elementele de siguranță vizează în special materialele din care sunt prelucrate piese sau subansambluri care vin în contact direct sau se află în apropiere de substanțele periculoase transportate și la măsurile generale aplicabile sistemului electric al autovehiculului, măsuri care vizează prevenirea încălzirii sau împiedicarea prin ecranare a transmiterii căldurii în compartimentul de transport. Rezultă că aceste elemente cu caracter general trebuie suplimentate cu sisteme specifice fiecărui tip de substanță (eventual cu generalizare pe clase), sisteme care nu sunt incluse în modelul standard al autovehiculelor, cu excepția cisternelor dedicate unui anumit tip de transport. De asemenea, am propus două soluții constructive, proiectate pentru funcționarea într-un sistem automat de monitorizare continuă a parametrului sau parametrilor care definesc pericolul și pentru intervenția imediată și rapidă în cazul unui incident, concomitent cu apelarea prin sistemul e-Call a unităților de intervenție necesare. Prima soluție se bazează pe difuzarea volumică a materialului de neutralizare a substanței periculoase sau stingere a focarelor de incendiu prin duze atașate unei conducte principale, fixate pe peretele longitudinal al containerului etanș. Materialul de

neutralizare/stingere este stocat într-un rezervor special, inclus într-un sistem hidraulic, prevăzut cu o pompă și conducte secundare de circulație a fluidului. Acoperirea volumică a interiorului containerului este asigurată de un sistem mecanic de oscilație a conductei principale, sistem care conține un motoreductor și limitatori de cursă. A doua soluție propune un sistem tip cărucior prevăzut cu două duze largi, care refulează materialul activ sub formă de jeturi și traversează pe lungime containerul, cu ajutorul unui sistem de acționare electrică și a unui sistem de rulare, pe care se rostogolesc rola conducătoare și rolele de sprijin. Ambele soluții prevăd colectarea materialului de reacție dintre vaporii substanței periculoase și fluidul de neutralizare sau a reziduurilor de ardere combinate cu materialul de stingere, într-un sistem de grătare neutre chimic, umplute cu bureți de absorbție a produselor care se colectează pe podeaua containerului. Cele două soluții sunt analizate comparativ după criterii de eficiență tehnică și economică. În ultima parte a capitolului este dezvoltată propunerea privind creșterea siguranței transportului de mărfuri periculoase prin administrarea unor măsuri educaționale. La nivel național, siguranța transportului ADR poate fi îmbunătățită prin investiții în sisteme specifice de siguranță și inițierea unor măsuri de instruire a celor care operează cu astfel de substanțe. Scăderea riscului nu poate fi lăsată numai pe seama operatorilor de transport, care nu au capacitatea financiară și pârghiile de impunere a unor proceduri adecvate, ci este obligatorie și implicarea statului prin agențiile sale de profil, care, în prezent există, dar nu desfășoară o activitate eficientă.

Capitolul 8 - Concluzii finale și contribuții personale, reliefează contribuțiile valoroase aduse pentru creșterea gradului de siguranță în activitatea de transport a mărfurilor periculoase, privind: conceptualizarea și configurarea mecanismelor metodologice de analiză și evaluare a riscului de accident specific transportului de substanțe periculoase; evaluarea modului de comportare a materialelor periculoase (Clasa 1), în ceea ce privește trecerea dintr-o stare tranzitorie (deflagrare) la alta (detonare); stabilirea echivalenței explozivilor de uz civil; stabilirea de soluții tehnice pentru securizarea transportului ADR, precum și a aspectelor metodologice de soluționare a problematicii optimizării transportului de mărfuri periculoase.

4. Contribuții personale

4.1.-Contribuții teoretice

Rezultatele valoroase din punct de vedere teoretic, cu titlu de contribuție personală, care au fost evidențiate în corpul de conținut al tezei de doctorat, sunt:

- Studiul literaturii de specialitate pe baza unei analize integrate a principalelor surselor de documentare referitoare la legiferarea transportului de mărfuri periculoase;
- Fundamentarea conceptuală a evoluției comportamentale specifice substanțelor periculoase (clasa 1), din punct de vedere al caracterului tranzitoriu (deflagrare – detonare);
- Studiul riscului de explozie generat de comportamentul substanțelor încadrate în clasa 1 conform Orange Book;
- Analiza fenomenului care se poate produce prin tranziția de la deflagrare la detonare și posibilitatea de determinare a acestuia;
- Elaborarea unei metodologii specializate privind stabilirea echivalenței explozivilor de uz civil prin utilizarea de "ANFO" etalon;
- Elaborarea procedurii pentru determinarea capacității relative de lucru a explozivului de uz civil prin utilizarea de "ANFO" etalon;
- Studiul comparativ al expunerii determinate de efectuarea transportului rutier ADR regional și evaluarea riscului de infrastructură critică;
- Evaluarea riscului industrial specific transportului de substanțe periculoase;
- Studiul compatibilității teritoriale în vecinătatea traseelor destinate transportului ADR;
- Stabilirea de soluții tehnice pentru creșterea siguranței în transportul mărfurilor periculoase;
- Stabilirea caracteristicilor constructiv-funcționale impuse prin legislația specifică sistemelor de transport al mărfurilor periculoase;

- Modelarea riscului asociat transportului de mărfuri periculoase;
- Stabilirea măsurilor pentru prevenirea și reducerea agresivității mărfurilor periculoase asupra mediului ambiant;
- Studiul optimizării managementului transportului de mărfuri periculoase.

4.2.-Contribuții experimentale și aplicative

Rezultatele semnificative de acest tip, care au fost documentate în cadrul lucrării de doctorat, sunt:

- Încercări și teste experimentale asupra comportamentului de combustie internă specific substanțelor periculoase solide:

- ✓ teste experimentale privind comportarea la ardere a diferitelor materii explozive: azotat de amoniu poros (clasa de risc 5.1, conform Orange Book), amestec exploziv tip ANFO (clasa de risc 1.5, conform Orange Book) și gel exploziv (clasa de risc 1.1, conform Orange Book);
- ✓ încercări privind verificarea de nedetonare a explozivilor la funcționarea aprinzătoarelor pirotehnice.

-Elaborarea unor soluții tehnice de creștere a siguranței transportului rutier de mărfuri periculoase care asigură sesizarea și neutralizarea acumulărilor de substanțe periculoase, privind stingerea incendiilor din compartimentul de încărcare al unui vehicul de transportat mărfuri periculoase, respectiv:

- ✓ *sistem mecatronic de siguranță (soluția 1)*, ca sistem de siguranță atașat vehiculelor care transportă mărfuri periculoase în containere, funcționând pe un principiu bazat pe rotirea oscilantă a conductei principale cu duze în jurul propriei axe;
- ✓ *sistem mecatronic de siguranță (soluția 2)*, ca sistem de creștere a siguranței transportului de mărfuri periculoase, având la bază realizarea mișcării principale de stropire prin culisarea unei sănii, în lungul compartimentului de încărcare.

-Elaborarea unei soluții tehnice aplicative privind optimizarea managementului transportului de substanțe periculoase pe baza celor 5 criterii de influență (distanța, riscul de poluare a mediului în caz de incident rutier, numărul populației potențial afectate, starea infrastructurii și dificultatea traficului), utilizând facilitățile aplicației informatice ELECTRE III;

-Aplicații specializate privind calculul sistemelor de siguranță și logisticii asociate transportului de mărfuri periculoase privind:

- ✓ Calculul parametrilor mecanici și hidraulici ai sistemului de siguranță;
- ✓ Calculul debitului de lichid necesar stingerii unui incendiu în care sunt implicate substanțe periculoase.

4.3.-Direcții viitoare de cercetare

În baza rezultatelor originale obținute în deplin acord cu direcțiile tematice ale lucrării, care au fost documentate cu titlu de contribuție personală, și având în vedere orizontul științific de interes al problematicii identificate, evidențiez în cele ce urmează, următoarele posibile direcții de cercetare care pot fi abordate în viitor:

- Digitalizarea sistemelor integrate de securitate (recunoaștere biometrică etc) și verificarea trasabilității substanțelor periculoase și a traseelor dedicate transportului ADR;
- Modernizarea sistemelor tehnice de monitorizare integrată a spațiilor industriale și rutelor de transport din domeniul ADR;
- Conceperea și proiectarea unui spațiu industrial inteligent de securizare a transportului ADR și optimizării siguranței rutelor de transport destinate operațiunilor specifice cu substanțe periculoase.