



**UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI**  
**ȘCOALA DOCTORALĂ**

**Domeniul: INGINERIE INDUSTRIALĂ**

**TEZĂ DE DOCTORAT**

**-REZUMAT-**

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:  
Prof.univ.dr.ing. ILIAȘ NICOLAE

STUDENT DOCTORAND:  
Ing. LĂUTARU VLAD

2024



**UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI  
ȘCOALA DOCTORALĂ**

**Domeniul: INGINERIE INDUSTRIALĂ**

**STUDIUL SISTEMELOR DE VENTILATIE A  
STRUCTURILOR SUBTERANE IN SCOPUL  
PREGATIRII LOR PENTRU PREVENIREA  
CONSECINTELOR UNOR ACCIDENTE MAJORE SI  
A ACTELOR TERRORISTE CU AEROSOLI**

**STUDY OF VENTILATION SYSTEMS OF  
UNDERGROUND STRUCTURES FOR THE  
PURPOSE OF THEIR PREPARATION TO  
PREVENT THE CONSEQUENCES OF SOME  
MAJOR ACCIDENTSAND OF TERRORIST  
ACTS WITH AEROSOLS**

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:  
Prof.univ.dr.ing. ILIAȘ NICOLAE

STUDENT DOCTORAND:  
Ing. LĂUTARU VLAD

2024

## CUPRINS

Cuvânt înainte .....	1
Cuprins .....	2
Lista figurilor .....	5
Lista tabelelor .....	8
Listă acronime și simboluri .....	9
<b>CAPITOLUL I INTRODUCERE .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPITOLUL II ANALIZA PRINCIPALELOR REGLEMENTĂRI INTERNAȚIONALE ȘI NAȚIONALE PRIVIND PERICOLELE DE ACCIDENTE MAJORE, PRECUM ȘI ÎN DOMENIUL SIGURANȚEI TUNELURILOR SITUATE PE SECȚIUNILE NAȚIONALE ALE REȚELEI RUTIERE TRANSEUROPENE ...</b>	<b>16</b>
2.1-Directivele SEVESO și alte normative comunitare în domeniu .....	16
2.2-Legea 59/2016 referitoare la pericolele de accidente majore în care sunt implicate substanțe periculoase .....	17
2.3.-Legea 277/2007 privind cerințele minime de siguranță pentru tunelurile situate pe secțiunile naționale ale rețelei rutiere transeuropene .....	21
2.3.1.- Cerințe minime de siguranță .....	23
2.3.2.- Măsuri referitoare la exploatare .....	27
2.4.- Concluzii .....	28
<b>CAPITOLUL III ANALIZA DINAMICII FLUIDELOR ȘI A SOLUȚIILOR DE SIMULARE COMPUTERIZATĂ A REȚELOR DE VENTILAȚIE .....</b>	<b>30</b>
3.1.-Legile care guvernează curgerea fluidelor .....	30
3.1.1.-Curgerea fluidelor .....	30
3.1.2.-Presiunea statică, dinamică și totală .....	32
3.1.3.-Limitele curgerii incompresibile .....	33
3.2.-Legile de bază utilizate în domeniul aerajului .....	34
3.2.1.-Legile lui Kirchhoff .....	35
3.2.2.-Legea pătratică a debitului de aer .....	36
3.2.3.-Legile fundamentale ale rețelelor de aeraj.....	36
3.3.-Concluzii .....	43
<b>CAPITOLUL IV CONTRIBUȚII PRIVIND ELABORAREA UNEI SOLUȚII TEHNICE PENTRU PREVENIREA RĂSPÂNDIRII PRODUSELOR COMBUSTIBILE ÎN TUNELURI PRIN IMPLEMENTAREA UNUI SISTEM DIVIZIBIL .....</b>	<b>45</b>
4.1.-Generalități privind tunelurile rutiere existente la nivel european și internațional .....	45
4.2.-Concepte și metode de stingere a incendiilor .....	47
4.3.-Soluție tehnică de prevenire a răspândirii produselor combustibile în tuneluri prin implementarea unui sistem divizibil .....	48
4.4.-Concluzii .....	59
<b>CAPITOLUL V CONTRIBUȚII PRIVIND REALIZAREA TESTELOR EXPERIMENTALE DE LABORATOR ȘI A SIMULĂRILOR</b>	<b>61</b>

	<b>CFD PRIVIND COMPORTAMENTUL DINAMIC AL SUBSTANȚELOR EXPLOZIVE ȘI SAU TOXICE ÎN SPAȚII ÎNCHISE .....</b>	
	5.1.-Simularea CFD privind comportamentul dinamic al metanului în spații închise .....	61
	5.1.1.-Considerații de ordin general .....	61
	5.1.2.-Experimentări în laborator .....	62
	5.2.-Simularea CFD a dinamicii de acumulare-evacuare a oxidului de carbon în incinte închise .....	86
	5.2.1.-Considerații de ordin general .....	86
	5.2.2.-Experimentări în laborator .....	87
	5.3.-Simularea CFD a dinamicii de acumulare-evacuare a dioxidului de carbon în incinte închise .....	102
	5.3.1.-Considerații de ordin general .....	102
	5.3.2.-Experimentări în laborator .....	103
	5.4.-Concluzii .....	119
<b>CAPITOLUL VI</b>	<b>CONTRIBUȚII LA ELABORAREA UNEI METODE SIMPLIFICATE DE EVALUARE A RISCURILOR ÎN TUNELELE RUTIERE UNIDIREȚIONALE PRIVIND TRANSPORTUL AUTO DE MĂRFURI PERICULOASE .....</b>	<b>126</b>
	6.1.-Generalități privind evaluarea riscului specific transportului rutier de mărfuri periculoase .....	126
	6.2.-Metodă simplificată de evaluare a riscurilor în tunelele rutiere unidirecționale privind transportul auto de mărfuri periculoase .....	136
	6.3.-Concluzii .....	142
<b>CAPITOLUL VII</b>	<b>CONTRIBUȚII ASUPRA FUNDAMENTĂRII TEHNICO-ȘTIINȚIFICE A UNUI INSTRUMENT PROSPECTIV ȘI EXPLORATORIU PRIVIND MODELAREA, EVALUAREA ȘI MANAGEMENTUL RISCULUI DE TERORISM SPECIFIC INFRASTRUCTURII SUBTERANE DE TRANSPORT .....</b>	<b>143</b>
	7.1.-Modelarea scenariilor de atac terorist .....	143
	7.2.-Analiza și evaluarea riscului de amenințare teroristă .....	145
	7.3.-Studiu de caz privind evaluarea și combaterea riscului de atac terorist manifestat asupra structurilor subterane de transport .....	153
	7.4.-Concluzii .....	162
<b>CAPITOLUL VIII</b>	<b>CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE .....</b>	<b>164</b>
	VIII.1. Concluzii .....	164
	VIII.1.1. <i>Concluzii privind analiza principalelor reglementări internaționale și naționale privind pericolele de accidente majore, precum și în domeniul siguranței tunelurilor situate pe secțiunile naționale ale rețelei rutiere transeuropene .....</i>	<i>164</i>
	VIII.1.2. <i>Concluzii privind analiza dinamicii fluidelor și a soluțiilor de simulare computerizată a rețelelor de ventilație .....</i>	<i>165</i>
	VIII.1.3. <i>Concluzii privind elaborarea unei soluții tehnice pentru prevenirea răspândirii produselor combustibile în tuneluri prin implementarea unui sistem divizibil .....</i>	<i>165</i>

VIII.1.4. <i>Concluzii privind realizarea testelor experimentale de laborator și a simulărilor CFD privind comportamentul dinamic al substanțelor explozive și sau toxice în spații închise .....</i>	166
VIII.1.5. <i>Concluzii privind elaborarea unei metode simplificate de evaluare a riscurilor în tunelele rutiere unidirecționale privind transportul auto de mărfuri periculoase .....</i>	173
VIII.1.6 <i>Concluzii privind fundamentarea tehnico-științifică a unui instrument prospectiv și exploratoriu privind modelarea, evaluarea și managementul riscului de terorism specific infrastructurii subterane de transport ..</i>	174
VIII.2. <i>Contribuții personale .....</i>	175
VIII.2.1. <i>Contribuții teoretice .....</i>	175
VIII.2.2. <i>Contribuții experimentale și aplicative .....</i>	175
VIII.2.3. <i>Direcții viitoare de cercetare .....</i>	175
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>176</b>
<b>ANEXE .....</b>	<b>190</b>

## 1. Concepte, definiții, motivația tezei, obiectivele urmărite

Teza „*Studiul sistemelor de ventilație a structurilor subterane în scopul pregătirii lor pentru prevenirea consecințelor unor accidente majore și a actelor teroriste cu aerosoli*” dezvoltă un subiect de studiu extrem de actual în era modernă, prezentând o modalitate de cercetare aplicativă armonizată cu cerințele actuale din perspectiva evaluării gradului de vulnerabilitate a spațiilor subterane de interes public, în special sub aspectul instalațiilor de ventilație, care nu au fost proiectate pentru a face față la atacuri teroriste (cu substanțe periculoase de natură explozivă și/sau toxice de luptă/vătămătoare), precum și la eventualele accidente majore posibile.

Fundamentarea teoretică și practică a dezvoltării infrastructurii metodologice privind studiul sistemelor de ventilație a structurilor subterane în scopul pregătirii lor pentru prevenirea consecințelor unor accidente majore și a actelor teroriste cu aerosoli, a presupus efectuarea următoarelor demersuri de cercetare:

- Analiza principalelor reglementări internaționale și naționale privind pericolele care pot genera evenimente nedorite semnificative cu caracter major, datorită substanțelor periculoase de natură explozivă și sau toxică;

- Analiza dinamicii fluidelor și a soluțiilor de simulare computerizată a rețelelor de ventilație;

- Investigarea metodelor de prevenire și combatere a incendiilor în tunelurile rutiere;

- Elaborarea unei soluții tehnice pentru prevenirea răspândirii produselor combustibile în tuneluri prin implementarea unui sistem divizibil;

- Realizarea testelor experimentale de laborator și a simulărilor CFD privind comportamentul dinamic al substanțelor explozive și sau toxice în spații închise;

- Elaborarea unei metode simplificate de evaluare a riscurilor în tunelele rutiere unidirecționale privind transportul auto de mărfuri periculoase;

- Fundamentarea tehnico-științifică a unui instrument prospectiv și exploratoriu privind modelarea, evaluarea și managementul riscului de terorism specific infrastructurii subterane de transport.

*Motivația* tezei de doctorat este legată pe de o parte de utilitatea și facilitatea performanțării/îmbunătățirii mecanismului metodologic de prevenire și combatere a incendiilor în tunelurile rutiere cu posibilitatea concretizării acestuia prin implementarea unui "*sistem divizibil*", iar pe de altă parte de configurarea a instrumentelor metodologice de bună practică în domeniul securizării transportului auto de mărfuri periculoase pe trasee cu tunelele rutiere unidirecționale, precum și modelarea/evaluarea/managementul riscului de terorism specific acestor tipuri de infrastructuri tehnice, asigurând orientarea și ghidarea unitară a politicilor și strategiilor privind gestionarea eficientă a unei calități predictibile și sustenabile de securitate a spațiilor aferente structurilor subterane de interes public destinate transportului.

*Obiectivele principale* ale tezei constau în realizarea de cercetări tehnico-științifice pentru studiul sistemelor de ventilație a structurilor subterane în scopul pregătirii lor pentru prevenirea consecințelor unor accidente majore și a actelor teroriste cu aerosoli, respectiv: elaborarea unei soluții tehnice pentru prevenirea răspândirii produselor combustibile în tuneluri prin implementarea unui sistem divizibil; realizarea testelor experimentale de laborator și a simulărilor CFD privind comportamentul dinamic al substanțelor explozive și sau toxice în spații închise, alături de conceptualizarea mecanismului de evaluare a riscului specific tunelelor rutiere unidirecționale privind transportul auto de mărfuri periculoase care poate vulnerabiliza aceste tipuri de structuri dedicate transportului de utilitate publică; configurarea instrumentelor metodologice de bună practică în domeniul modelării, evaluării și managementul riscului de terorism specific infrastructurii subterane de transport. Aceste obiective de bază sunt îndeplinite prin intermediul *obiectivelor derivate*, respectiv: studiul principalelor reglementări internaționale și naționale privind pericolele majore datorate substanțelor periculoase de natură

explozivă și/sau toxică (directivele europene SEVESO, directiva explozivi 2014/28/UE, Legea 59/2016 etc); expunerea sintetică a Legii 277/2007 privind cerințele minime de siguranță pentru tunelurile situate pe secțiunile naționale ale rețelei rutiere transeuropene; conceptualizarea fenomenului de curgere a fluidelor; descrierea generică a programelor specializate utilizate în domeniul ventilației structurilor subterane de transport; prezentarea aspectelor generale privind tunelurile rutiere existente la nivel european și internațional, precum și a conceptelor și metodelor de stingere a incendiilor; realizarea diverselor simulări CFD privind: comportamentul dinamic al metanului în spații închise/dinamica de acumulare-evacuare a oxidului și dioxidului de carbon în incinte închise; elaborarea unei soluții tehnice pentru prevenirea răspândirii produselor combustibile în tuneluri prin implementarea unui sistem divizibil; elaborarea unei metode simplificate de evaluare a riscurilor în tunelele rutiere unidirecționale privind transportul auto de mărfuri periculoase; modelarea, evaluarea și managementul riscului de terorism specific infrastructurii subterane de transport.

Obiectivele derivate sunt îndeplinite pe baza *obiective primare*, respectiv: studiul literaturii de specialitate prin consultarea principalelor referințe bibliografice din domeniul de interes al tezei; descrierea legilor care guvernează curgerea fluidelor cu accent asupra evidențierii: fenomenului de curgere, presiunii statice/dinamice/totale, limitelor curgerii incompresibile, legilor de bază utilizate în domeniul ventilației/aerajului structurilor subterane de transport, determinării factorului de frecare și a rezistenței structurilor subterane; simularea computerizată a rețelelor de ventilație alături de prezentarea în sinteză a aplicațiilor informatice specializate pentru rezolvarea problematicii din domeniul ventilației/aerajului structurilor subterane de transport; dezvoltarea soluțiilor metodologice de prevenire și combatere a incendiilor în tunelurile rutiere; considerații de ordin general, experimentări în laborator și discuții privind simularea CFD a comportamentul dinamic al metanului, precum și de acumulare-evacuare a oxidului și dioxidului de carbon în spații închise; implementarea unui sistem divizibil pentru prevenirea răspândirii produselor combustibile în tuneluri; modelarea scenariilor de atac terorist, analiza și evaluarea riscului de amenințare teroristă, precum și managementul situațiilor de criză generate de pericolele acțiunilor săvârșite cu rea-voință și studiu de caz.

Strategia cercetării pentru îndeplinirea obiectivelor tezei a vizat patru mari orizonturi de lucru din punct de vedere tehnico-științific, respectiv:

- Lucrarea debutează cu expunerea sintetică a principalelor reglementări aplicabile la nivel internațional și național în domeniul riscului de accident major specific structurilor subterane de transport, care stabilesc aspecte tehnice normative privind securizarea acestora în vederea prevenirii consecințelor unor accidente majore și a actelor teroriste cu substanțe periculoase de natură explozivă și/sau toxică;

- Următorul pas în cercetare se concentrează, atât pe studiul dinamicii fluidelor și a soluțiilor de simulare computerizată a rețelelor de ventilație, cât și pe stabilirea soluțiilor tehnice de prevenire și combatere a incendiilor în tunelurile rutiere, precum și pe analiza rezultatelor obținute în urma realizării testelor experimentale de laborator și a simulărilor CFD privind comportamentul dinamic al substanțelor explozive și sau toxice în spații închise;

- Un alt pas important al cercetării rezidă din exprimarea contribuțiilor privind elaborarea unei metode simplificate de evaluare a riscurilor în tunelele rutiere unidirecționale privind transportul auto de mărfuri periculoase, alături de modelarea, evaluarea și managementul riscului de terorism specific acestor facilități tehnice de interes public.

## **2. Structura tezei și unele contribuții**

Sub aspect structural, lucrarea cuprinde un capitol introductiv cu tematică caracteristică și 6 capitole de conținut, la care se adaugă un capitol final de Concluzii finale și contribuții personale, totalizând 190 pagini, dintre care 175 pagini reprezintă teza propriu-zisă și 14 de

pagini reprezintă Bibliografia care are un număr de 226 note bibliografice și Anexele specializate care facilitează o înțelegere mai bună a tezei și obiectivelor sale.

Dintre principalele contribuții ale autorului care sunt documentate în capitolele tezei de doctorat se pot enumera:

- Realizarea unei studii integrate prin intermediul căruia s-a identificat cadrul legislativ național și internațional care permite desfășurarea în condiții de securitate predictibilă a activităților cu risc de accident major, desfășurate la nivelul structurilor subterane de transport;
- Analiza conceptuală și aplicativă a dinamicii fluidelor și a soluțiilor de simulare computerizată a rețelelor de ventilație;
- Investigarea metodelor de prevenire și combatere a incendiilor în tunelurile rutiere;
- Elaborarea unei soluții tehnice de prevenire a răspândirii produselor combustibile în tuneluri prin implementarea unui sistem divizibil
- Realizarea testelor experimentale de laborator și a simulărilor CFD privind comportamentul dinamic al substanțelor explozive și sau toxice în spații închise;
- Elaborarea unei metode simplificate de evaluare a riscurilor în tunelele rutiere unidirecționale privind transportul auto de mărfuri periculoase;
- Fundamentarea tehnico-științifică a unui instrument prospectiv și exploratoriu privind modelarea, evaluarea și managementul riscului de terorism specific infrastructurii subterane de transport.

Valorizarea rezultatelor tehnico-științifice ale cercetărilor efectuate s-a realizat prin diseminarea acestora în cadrul unor lucrări, în proceeding-urile unor conferințe/simpozioane sau Jurnale indexate ISI sau BDI.

### 3. Sinteza lucrării

Elaborarea scenariilor de apariție a unui eveniment nedorit soldat cu accident major care implică prezența substanțelor periculoase de natură explozivă și/sau toxice în cadrul spațiilor subterane de interes public (ex. rețelele de tuneluri și stații de metrou, precum și a alte spații subterane de utilitate publică) este imperios necesară analiza gradului de vulnerabilitate, în scopul determinării unei reacții rapide de pregătire, protecție și diminuare a consecințelor previzibile ca urmare a producerii a unor evenimente nedorite cu impact major.

Teza de doctorat cu denumirea *Studiul sistemelor de ventilație a structurilor subterane în scopul pregătirii lor pentru prevenirea consecințelor unor accidente majore și a actelor teroriste cu aerosoli* cuprinde 8 capitole prezentate sintetic în continuare.

**Capitolul 1**, *Introducere* evidențiază considerentele generale, obiectivul principal și cele specifice, motivația tezei și o scurtă sinteză a lucrării.

În **Capitolul 2**, denumit *Analiza principalelor reglementări internaționale și naționale privind pericolele de accidente majore, precum și în domeniul siguranței tunelurilor situate pe secțiunile naționale ale rețelei rutiere transeuropene*, am prezentat o expunere sintetică a principalelor reglementări aplicabile la nivel internațional și național în domeniul riscului de accident major aplicabil operatorilor economici cu activitate în domeniul administrării și siguranței structurilor subterane de tip "tunel" prezente pe rețelele rutiere transeuropene.

Astfel, au fost analizate și documentate cerințele tehnice privind sistemul de management al riscului major care au fost reglementate atât la nivel european cât și național printr-o serie de directive europene și legi de transpunere a acestora (directivele SEVESO, HG 804/2007, HG 79/2007, Legea 59/2016) referitoare la gestionarea corespunzătoare a pericolelor de accidente majore în care sunt implicate substanțe periculoase.

De asemenea, au fost documentate măsuri de ordin normative privind asigurarea unui nivel minim de siguranță pentru utilizatorii tunelurilor situate pe secțiunile naționale ale Rețelei



rutiere transeuropene, prin prevenirea producerii unor evenimente critice ce ar putea pune în pericol viața umană, mediul sau instalațiile din tuneluri și prin asigurarea protecției în cazul accidentelor.

În **capitolul 3** denumit *Analiza dinamicii fluidelor și a soluțiilor de simulare computerizată a rețelelor de ventilație* se prezintă o serie de contribuții teoretice privind analiza legilor care guvernează curgerea aerului din perspectiva conceptualizării problematicei mișcării fluidelor și fundamentării parametrilor caracteristici, în vederea analizei și evaluării rețelelor de ventilație aferente sistemelor dedicate de aeraj. De asemenea, am evidențiat la nivel sintetic o serie de aplicații informatice specializate pentru simularea computerizată a rețelelor de ventilație dedicate pentru proiectarea, analiza și operarea sistemelor de aeraj.

Aspectele referitoare la *Contribuții privind elaborarea unei soluții tehnice pentru prevenirea răspândirii produselor combustibile în tuneluri prin implementarea unui sistem divizibil*, evidențiate în **capitolul 4**, redau atât aspecte de ordin general privind infrastructura de tuneluri rutiere existente la nivel european/internațional și național dintr-o perspectivă tehnico-economică (parametri dimensionali, orizonturi temporare de construcție și inaugurare, siguranța traficului, număr de vehicule care tranzitează/unitate de timp, valoare investiție, facilități și dotări etc.), cât și o evidențiere a principalelor metode consacrate pentru stingerea incendiilor bazate pe concepte novative aplicate în vederea eficientizării prevenirii declanșării/dezvoltării acestor tipuri de evenimente nedorite. De asemenea am elaborat o soluție tehnică de prevenire a răspândirii produselor combustibile în tuneluri prin implementarea unui sistem divizibil. Aceasta constă dintr-un dispozitiv flexibil simplu care blochează complet sau parțial secțiunea transversală a tunelului, împarte tunelul în secțiuni scurte și, în același timp, izolează total sau parțial focarul de incendiu în timp suficient pentru a salva vieți.

În cadrul **capitolului 5** intitulat *Contribuții privind realizarea testelor experimentale de laborator și a simulărilor CFD privind comportamentul dinamic al substanțelor explozive și sau toxice în spații închise*, am prezentat rezultatele studiului dinamicii de dispersie a gazelor explozive și/sau toxice ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  și  $\text{CO}_2$ ) utilizând tehnica CFD (Computational Fluid Dynamics) pentru modelarea dispersiei acestora într-o incintă închisă, constatând următoarele:

**CH<sub>4</sub>: Procesul de dispersie a gazului metan** în incinta închisă a prezentat 2 etape distincte și anume: perioada de incubație, perioada de acumulare și perioada de aerisire. Procesul de dispersie al metanului este caracterizat de o evoluție variabilă atât în plan orizontal cât și în plan vertical. Acest aspect este dovedit de valorile diferite ale concentrațiilor de gaz la nivelul aparatelor de detecție, în același interval de timp; Perioada de incubație a prezentat valori cuprinse între 18 și 42 minute; Perioada de acumulare a prezentat evoluții cuprinse între 46,5 și 73,5 minute; Perioada de dispersie și diluare progresivă a gazului care cuprinde segmentele de incubație și de acumulare a prezentat evoluții cuprinse între 84 și 93 minute; Concentrația maximă a gazului metan a prezentat o evoluție variabilă cu valori cuprinse între 0,4 și 1,15 % Vol.; Gradientul de dispersie și diluare progresivă a gazului metan la nivelul incintei închise,  $G_a$ , a prezentat o evoluție variabilă fiind cuprins între 0,286 - 0,767 % Vol./h;

**CH<sub>4</sub>: Modelarea dispersiei gazului metan** în incinta închisă a prezentat un fenomen de dispersie orientată pe direcția de curgere a jetului de gaz refulat. Curgerea gazului metan are forma unui jet plan lipit de vatră până la jumătatea incintei pe direcția de curgere după care se desprinde și tinde spre peretele opus. Fluxul de gaz urcă pe peretele opus și dispersează neuniform la nivelul tavanului; Concentrația de gaz metan este maximă în zona sursei, scade treptat prin diluare pe măsură ce se îndepărtează de sursă și devine variabilă și redusă în zona de acumulare la tavan. Dacă gazul metan ar fii introdus continuu o perioadă mai mare de timp atmosfera din incintă ar fi dislocuită începând de la tavan spre vatră.

**CO: Procesul de dispersie al oxidului de carbon** la nivelul 1 inferior este caracterizat de o evoluție variabilă. Astfel s-a constatat o variație a concentrațiilor de gaze specifice pentru curgerea incipient turbulentă la nivelul tuturor punctelor de control; Procesul de dispersie al

oxidului de carbon la nivelul 2 mediu este caracterizat de o evoluție variabilă. Astfel s-a constatat o variație a concentrațiilor de gaze specifice pentru curgerea mediu turbulentă la nivelul tuturor punctelor de control; Procesul de dispersie al oxidului de carbon la nivelul 3 superior este caracterizat de o evoluție variabilă. Astfel s-a constatat o variație a concentrațiilor de gaze specifice pentru curgerea puternic turbulentă la nivelul tuturor punctelor de control; Gradientul de dispersie și diluare progresivă al oxidului de carbon la nivelul incintei închise,  $G_d$ , a prezentat o evoluție variabilă funcție de poziția în plan a punctelor de control astfel: Gradientul de dispersie și diluție progresivă a gazului,  $G_d$ , la nivelul inferior 1 a prezentat valori cuprinse între 2.144 și 2.689 ppm/h; Gradientul de dispersie și diluție progresivă a gazului,  $G_d$ , la nivelul mediu 2 a prezentat valori cuprinse între 1.806 și 2.710 ppm/h; Gradientul de dispersie și diluție progresivă a gazului,  $G_d$ , la nivelul superior 3 a prezentat valori cuprinse între 2.108 și 3.270 ppm/h.

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

**CO<sub>2</sub>:** Procesul de dispersie al dioxidului de carbon la nivelul 1 inferior este caracterizat de o evoluție variabilă. Astfel s-a constatat o variație a concentrațiilor de gaze specifice pentru curgerea incipient turbulentă la nivelul tuturor punctelor de control. Curgerea devine laminară pe măsură ce procesul de curgere se stabilizează; Procesul de dispersie al dioxidului de carbon la nivelul 2 mediu este caracterizat de o evoluție variabilă. Astfel s-a constatat o variație a concentrațiilor de gaze specifice pentru curgerea mediu turbulentă la nivelul tuturor punctelor de control. Curgerea devine incipient turbulentă pe măsură ce procesul de curgere se stabilizează; Procesul de dispersie al dioxidului de carbon la nivelul 3 superior este caracterizat de o evoluție variabilă. Astfel, s-a constatat o variație a concentrațiilor de gaze specifice pentru curgerea puternic turbulentă la nivelul tuturor punctelor de control. Curgerea devine laminară pe măsură ce procesul de curgere se stabilizează; Gradientul de dispersie și diluare progresivă al dioxidului de carbon la nivelul incintei închise,  $G_d$ , a prezentat o evoluție variabilă funcție de poziția în plan a punctelor de control astfel: Gradientul de dispersie și diluare progresivă a gazului,  $G_d$ , la nivelul 1 inferior a prezentat valori cuprinse între 4,217 și 4,526 % Vol./h; Gradientul de dispersie și diluare progresivă a gazului,  $G_d$ , la nivelul 2 mediu a prezentat valori cuprinse între 1,717 și 1,855 % Vol./h; Gradientul de dispersie și diluare progresivă a gazului,  $G_d$ , la nivelul 3 superior a prezentat valori cuprinse între 0,088 și 0,092 % Vol./h.

**CO<sub>2</sub>:** Modelarea dispersiei dioxidului de carbon în incinta închisă a prezentat un fenomen de dispersie orientată pe direcția de curgere a jetului de gaz refulat. Curgerea dioxidului de carbon are forma unui jet plan lipit de vatră până la nivelul peretelui opus. Gazul dispersează neuniform vertical de la nivelul vetrei. Concentrația de dioxid de carbon este maximă în zona sursei, scade treptat prin diluare pe măsură ce se îndepărtează de sursă și devine relativ uniformă și redusă în zona de acumulare la nivelul vetrei. Dacă gazul metan ar fi introdus continuu o perioadă mai mare de timp atmosfera din incintă ar fi dislocuită începând de la vatră spre tavan.

**Capitolul 6 - Contribuții la elaborarea unei metode simplificate de evaluare a riscurilor în tunelele rutiere unidirecționale privind transportul auto de mărfuri periculoase,** evidențiază o metodă simplificată de estimare a nivelului de risc în tunelurile rutiere unidirecționale, care asigură posibilitatea estimării nivelului de risc, exprimat în termeni de valoarea așteptată, în

funcție de lungimea tunelului, traficul mediu zilnic pe bandă, procentul ambelor vehicule grele de marfă și vehicule pentru mărfuri periculoase. Metoda propusă ar putea sprijini autoritățile competente în domeniul în luarea unor decizii mai adecvate cu privire la strategiile de control al traficului atunci când riscul datorat orelor de vârf ale volumului de trafic, inclusiv mai ales vehiculele de mărfuri periculoase, este considerat a fi excesiv în comparație cu standardele normale de siguranță în tuneluri. În acest sens, pentru a reduce nivelul de risc, autoritățile ar putea permite tranzitul vehiculelor de mărfuri periculoase prin tunel pe timp de noapte și/sau sub escortă, sau ar putea fi testată o rută alternativă care rulează complet în aer liber.

**Capitolul 7 - Contribuții asupra fundamentării tehnico-științifice a unui instrument prospectiv și exploratoriu privind modelarea, evaluarea și managementul riscului de terorism specific infrastructurii subterane de transport,** conceptualizează în prima parte principiile pe care trebuie să se bazeze o foaie de parcurs tactică și strategică, configurată holistic pentru modelarea, evaluarea și gestionarea riscurilor de terorism specifice infrastructurilor cibernetice, fizice și organizaționale, ținând cont de natura complexă a evaluării și gestionării riscurilor de terorism în care toate amenințările, costurile și beneficiile relevante trebuie să fie analizate într-un cadru multiobiectiv, iar în continuare sunt sintetizate aspectele esențiale cu privire la necesitatea fundamentării tehnico-științifice a unui mecanism metodologic de gestionare eficientă a riscului de terorism, în vederea utilizării corespunzătoare a modalităților de eradicare a acestui flagel care afectează în formă continuată societatea modernă. În acest sens, un management eficient al riscului de terorism necesită o gestionare corespunzătoare a modului de identificare și analiză a factorilor de amenințare, în vederea determinării obiective a riscurilor corespondente pe baze tehnico-științifice adecvate, utilizând metodologiile consacrate pentru modelarea cu maximă acuratețe a scenariilor de eveniment terorist soldate cu consecințe extrem de severe.

**Capitolul 8** intitulat *Concluzii finale și contribuții personale* pune în evidență contribuțiile aduse la dezvoltarea infrastructurii de analiză și evaluare a riscului de accident major generat în cadrul structurilor subterane, luând în considerare actele de rea-voință care se pot concretiza în acțiuni teroriste cu aerosoli soldate cu consecințe deosebit de grave, respectiv: conceptualizarea și configurarea mecanismelor metodologice de analiză și evaluare a riscurilor de accidente majore specifice structurilor subterane de transport, vizând și vulnerabilitățile sistemice generate de actele de rea-voință; analiza și evaluarea riscului la operațiile specifice construcțiilor de izolare (sisteme de închidere rapidă) în cadrul infrastructurii subterane de transport; elaborarea unui instrument metodologic inovativ de evaluare a gradului de securitate în muncă specific activităților din domeniul construcției infrastructurii subterane de transport; fundamentarea tehnico-științifică a unui instrument prospectiv și exploratoriu privind modelarea, evaluarea și managementul riscului de terorism specific infrastructurii subterane de transport.

## **4. Contribuții personale**

### **4.1.-Contribuții teoretice**

Contribuțiile teoretice, documentate în cadrul lucrării, care au o importanță tehnico-științifică majoră sunt:

-Realizarea unei analize integrate prin intermediul căreia s-a identificat cadrul legislativ național și internațional care permite desfășurarea în condiții de securitate predictibilă la pericolele de accident major specifice structurilor subterane de transport;

-Realizarea unui studiu de sinteză prin care s-a pus în evidență corespondența dintre reglementările naționale și internaționale aplicabile în domeniul analizei și evaluării riscului de accident major generat la nivelul structurilor subterane de transport luând în considerare actele de terorism, creând astfel premisele realizării unui ghid deosebit de util pentru operatorii economici și autorități cu activitate și atribuții în acest domeniu facilitându-se luarea deciziilor

optime atunci când este necesară securizarea integrată a acestor facilități de utilitate urbană și industrială;

- Analiza dinamicii fluidelor și a soluțiilor de simulare computerizată a rețelelor de ventilație;
- Studiul conceptual al metodelor de prevenire și combatere a incendiilor în tunelurile rutiere;
- Elaborarea unei soluții tehnice de prevenire a răspândirii produselor combustibile în tuneluri prin implementarea unui sistem divizibil;
- Elaborarea unei metode simplificate de evaluare a riscurilor în tunelele rutiere unidirecționale privind transportul auto de mărfuri periculoase;
- Modelarea scenariilor de atac terorist;
- Analiza și evaluarea riscului de amenințare teroristă;
- Managementul situațiilor de criză generate de pericolele acțiunilor săvârșite cu rea-voință.

#### ***4.2.-Contribuții experimentale și aplicative***

Contribuțiile cu valență experimentală și aplicativă, documentate în cadrul tezei, care au o valoare semnificativă din punct de vedere tehnico-științific sunt:

- Simularea scenariilor de dezvoltare a incendiilor de diferite puteri de 5, 10, 30 și 50 MW în tunelurile cu diferite pante de 0, 1, 3, 4 și 6,0%;
- Simularea CFD privind comportamentul dinamic al metanului în spații închise;
- Simularea CFD a dinamicii de acumulare-evacuare a oxidului de carbon în incinte închise;
- Simularea CFD a dinamicii de acumulare-evacuare a dioxidului de carbon în incinte închise;
- Studiu de caz cu exemple de aplicare privind evaluarea și combaterea riscului de atac terorist manifestat asupra structurilor subterane de transport.

#### ***4.3.-Direcții de cercetare viitoare***

Având în vedere contribuțiile exprimate în cadrul tezei și problematica specifică abordată în cadrul acesteia, se pot exemplifica următoarele direcții de cercetare viitoare:

- Conceperea și realizarea unor sisteme de securitate novative prevăzute cu inteligență artificială (identificare amprente biometrice de recunoaștere etc) aferente facilităților existente la nivelul structurilor subterane de transport prezente la nivelul rețelelor rutiere;
- Performanțarea echipamentelor de monitorizare integrată a amplasamentelor urbane care dețin structuri subterane de transport de utilitate publică dotate cu dispozitive specializate de ultimă generație (spectro-drone) consacrate pentru explorarea/examinarea/ cercetarea/zonarea spațiilor din cadrul acestor infrastructuri;
- Configurarea de structuri subterane de transport inteligente dotate cu device-uri moderne și softuri specializate dedicate pentru supervizarea operativă și interactivă a stării de siguranță totală a tranzitării acestor tipuri de facilități tehnice destinate transportului urban și industrial, inclusiv cel de mărfuri periculoase.