



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
CERCETĂRII
ȘI SPORTULUI

OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI



UNIVERSITATEA „BABEȘ-BOLYAI”
DIN CLUJ-NAPOCA
Facultatea de Știința și Ingineria Mediului



TEHNICI OPTOELECTRONICE DE MONITORIZARE A ATMOSFEREI UTILIZATE ÎN EVALUAREA HAZARDURILOR NATURALE ȘI RISCURILOR TEHNOLOGICE

- REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT -

Conducător de doctorat:

Prof. univ. dr. ing. Alexandru Ozunu

Doctorand:

Nicolae Ajtai

CLUJ-NAPOCA - 2012



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MI
OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijinul financiar al proiectului „Burse Doctorale pentru Performanța în Cercetare la Nivel European (EURODOC)”.

Proiectul „Burse Doctorale pentru Performanța în Cercetare la Nivel European (EURODOC)”, POSDRU/88/1.5/S/59410, ID 59410, este un proiect strategic care are ca obiectiv general „Dezvoltarea capitalului uman pentru cercetare prin programe doctorale pentru îmbunătățirea participării, creșterii atractivității și motivației pentru cercetare. Dezvoltarea la nivel european a tinerilor cercetători care să adopte o abordare interdisciplinară în domeniul cercetării, dezvoltării și inovării.”.

Proiect finanțat în perioada 2009 - 2012.

Finanțare proiect: 18.943.804,97 RON

Beneficiar: Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași

Partener: Universitatea „Babeș Bolyai” din Cluj-Napoca

Director proiect: Prof. univ. dr. ing. Mihaela-Luminița LUPU

Responsabil proiect partener: Prof. univ. dr. ing. Alexandru OZUNU

Cuprins

1. Introducere. Concept și obiective	1
1.1. Introducere	1
1.2. Concept și obiective	4
2. Considerații teoretice privind hazardurile și riscurile	7
2.1. Conceptul de hazard	7
2.2. Hazard vs. risc	9
2.3. Clasificarea hazardurilor și a riscurilor	12
2.3.1. Clasificare după origine	12
2.3.2. Clasificare în funcție de modul de manifestare	12
2.3.3. Clasificarea după durată	13
2.3.4. Clasificare după suprafața afectată și durata efectelor	13
2.4. Hazardurile NATECH	14
2.5. Metode calitative și cantitative pentru identificarea hazardurilor și evaluarea riscurilor	16
2.5.1. Metode calitative utilizate în analiza riscurilor	17
2.5.1.1. Identificarea hazardurilor	17
2.5.1.2. Analiza preliminară de hazard	20
2.5.2. Metode cantitative utilizate în evaluarea riscurilor	21
2.5.2.1. Modelarea	21
2.5.2.2. Simularea	22
2.6. Concluzii parțiale	24
3. Considerații teoretice privind tehnici optoelectronice utilizate în monitorizarea atmosferei	25
3.1. Atmosfera	25
3.1.1. Compoziția atmosferei	27
3.1.1.1. Gazele atmosferice	27
3.1.1.2. Aerosolii atmosferici. Caracterizare generală	28
3.1.1.3. Dinamica atmosferei	31
3.1.2. Transferul radiativ prin atmosferă. Interacțiunea luminii cu aerosolii	32
3.1.2.1. Absorbția	34
3.1.2.2. Împrăștierea	35
3.2. Conceptul RADO (Observatorul Atmosferic 3D Română)	36
3.2.1. Descriere generală	36
3.2.2. Instrumentație	37
3.3. Teledetecția pasivă	38

3.3.1. Fotometrul solar Cimel CE 318	39
3.3.1.1. Configurația instrumentului	39
3.3.1.2. Utilizare	41
3.3.2. Rețeaua NASA-AERONET	42
3.3.3. Parametrii derivați din fotometrie solară prin rețeaua AERONET	44
3.3.3.1. Parametrii algoritmului Direct Sun	44
3.3.3.2. Parametrii derivați prin inversie	45
3.4. Teledetecția activă	47
3.4.1. Considerații teoretice privind sistemele LIDAR	47
3.4.2. Determinarea coeficientului de extincție și a raportului LIDAR	51
3.5. Monitorizarea punctuală a SO ₂ folosind analizorul de gaze HORIBA APSA 370	52
3.6. Monitorizarea emisiilor de dioxid de sulf cu camere UV	54
3.6.1. Specificațiile tehnice ale NILU EnviCam-1	55
3.6.2. Proceduri de calibrare	57
3.7 Concluzii parțiale	58
4. Evaluarea hazardurilor naturale folosind tehnici optoelectronice pentru monitorizarea atmosferei	59
4.1. Aerosolii atmosferici. Caracterizare și proprietăți periculoase.	59
4.1.1. Aerosolii urban-industriali	61
4.1.2. Aerosoli rezultați din arderea biomasei	62
4.1.3. Praful mineral	64
4.1.4. cenușa vulcanică	65
4.2. Detecția cenușii vulcanice folosind sistemul LIDAR și fotometrul solar	67
Studiu de caz: Erupția din aprilie și mai 2010 a vulcanului Eyjafjallajökull	
4.2.1. Observații AERONET în aprilie-mai 2010, Lille. Detecție și analize.	68
4.2.2. Observații LIDAR în aprilie-mai 2010, Lille. Detecție și de analize	73
4.2.3. Inversia datelor LIDAR	75
4.2.4. Rezultate și discuții	79
4.2.4.1. Estimarea raportului LIDAR al stratului limita planetar (PBL)	79
4.2.4.2. Estimarea raportului LIDAR al cenușii vulcanice	80
4.2.4.3. Estimarea concentrației de cenușă vulcanică	83
4.2.5. Concluziile studiului de caz	86
4.3. Optimizarea detecției de particule periculoase în cadrul rețelei RADO	87
4.3.1. Detecția de particule periculoase în cadrul rețelei RADO	87
4.3.2. Metodologie semi-cantitativă de evaluare a intruziunilor de particule periculoase	88
4.3.2.1. Identificarea unei intruziuni de particule	88

4.3.2.2. Caracterizarea proprietăților optice și microfizice ale particulelor	89
4.3.2.3. Determinarea concentrației de particule periculoase	91
4.4. Concluzii parțiale	93
5. Evaluarea riscurilor tehnologice și a impactului folosind tehnici optoelectronice pentru monitorizarea atmosferei	95
5.1. Instalațiile mari de ardere (IMA)	95
5.1.1. Caracterizare	96
5.1.2. Surse de poluare și impactul asupra mediului	99
5.1.3. Cadrul legal național și european privind instalațiile mari de ardere	101
5.1.3.1. Controlul poluării industriale	102
5.1.3.2. Pragurile naționale de emisie	105
5.1.3.3. Legislație orizontală	106
5.2. Dioxidul de sulf (SO ₂).Caracterizare și proprietăți periculoase.	107
5.2.1. Caracterizare	107
5.2.2. Proprietăți periculoase	108
5.3. Modelarea și monitorizarea emisiilor de SO ₂ asociate cu IMA	110
5.3.1. Studiu de caz 1. Modelarea și monitorizarea emisiilor de SO ₂ la termocentrala Mintia	112
5.3.1.1. Simulări de dispersie. Date de intrare	113
5.3.1.2. Simulări de dispersie ale SO ₂ folosind rata de emisie raportată	116
5.3.1.3. Monitorizarea imisiilor de SO ₂ în apropierea orașului Deva	121
5.3.1.4. Analiza comparativă a imisiilor calculate și măsurate	123
5.3.1.5. Concluziile studiului de caz 1	124
5.3.2. Studiu de caz 2. Modelarea și monitorizarea emisiilor de SO ₂ de la termocentrala Rovinari folosind rata de emisie derivată din camere UV	124
5.3.2.1. Determinarea ratei de emisie folosind camere UV	126
5.3.2.2. Monitorizarea imisiilor de SO ₂ în cadrul campaniei RADO din Rovinari	131
5.3.2.3. Simulări de dispersie de SO ₂ folosind rata de emisie derivată din camere UV	132
5.3.2.4. Concluziile studiului de caz 2	135
5.3.3. Studiu de caz 3. Modelarea și monitorizarea emisiilor de SO ₂ de la o uzină metalurgică înainte și după instalarea unui sistem de desulfurare	136
5.3.3.1. Evaluarea impactului înainte de instalarea unui sistem de desulfurare	136
5.3.3.2. Evaluare a impactului, după instalarea sistemului de desulfurare	140
5.3.3.3. Concluziile studiului de caz 3	141

5.4. Strategie inovativă pentru evaluarea impactului emisiilor de SO ₂ asociate cu IMA	142
5.5. Concluzii parțiale	145
6. Concluzii finale, contribuții personale și perspective	147
6.1. Concluzii finale	147
6.2. Contribuții personale	151
6.3. Perspective	154
7. Bibliografie	157

Cuvinte cheie: hazard și risc, tehnici optoelectronice, teledetecție, simulări de dispersie

Rezumatul conține o parte din rezultatele tezei, concluzii generale și bibliografie selectivă. Notațiile pentru cuprins, capitole, sub-capitole, figuri, tabele și ecuații sunt identice cu cele din teză.

1. Introducere. Concept și obiective

1.1. Introducere

Efectului societății umane și al activităților sale asupra schimbărilor climatice este una dintre cele mai presante probleme actuale dezbătute de către toți membrii societății. Calitatea aerului și schimbările climatice sunt aspecte care au implicații socio-politice complexe. Impactul potențial al proceselor atmosferice și al schimbărilor climatice asupra societății este de o importanță crucială și necesită cercetare științifică avansată asupra cauzelor, consecințelor și metodelor de atenuare a acestor modificări, în scopul de a dezvolta strategii eficiente de gestionare a acestor probleme.

Aerul curat este o condiție de bază pentru sănătatea populației și a mediului, precum și pentru menținerea biodiversității. Efectele asupra sănătății sunt o problemă mai ales în cazul gazelor de ardere (SO_x, NO_x) și al pulberilor în suspensie (PM).

Aerosolii sunt o componentă importantă a amestecului atmosferic care influențează foringul radiativ al atmosferei (Ștefan, 2004). De asemenea, există o necesitate de a cuantifica exact influența pe care aerosolii o au asupra bugetului radiativ al Pământului.

Variațiile în echilibrul energetic al Pământului, cunoscut sub numele de foring radiativ, sunt utilizate pentru studierea încălzirii sau răcirii climei Pământului. Potrivit IPCC, 2007, contribuțiile aerosolilor antropici au un efect de răcire, cu valori ale foringului radiativ de $-0,5$ [-0.9 la -0.1] W/m^2 .

Parametrii optici ai aerosolilor pot fi măsurați folosind tehnici optoelectronice, mai precis, tehnici active și pasive de teledetecție. Tehnicile pasive de teledetecție (fotometria solară) furnizează informații utile în acest sens. O rețea mondială de fotometre solare (NASA-AERONET) oferă informații valoroase din medii diferite despre aerosoli, atât de origine naturală cât și antropică (Holben et al., 1998).

O atenție sporită este acordată de asemenea atât la nivel guvernamental, cât și în cadrul comunității științifice internaționale **poluanților atmosferici primari** ca SO_2 , NO_x și NH_x . Contribuția lor la formarea ploilor acide duce la apariția unor probleme în ecosisteme datorate acidificării și eutrofizării apei și a solurilor.

Amplasamentele industriale reprezintă principalele surse de gaze (în principal, SO_2 , NO_x și CO_2) și de pulberi în suspensie, între acestea remarcându-se instalațiile mari de ardere (IMA).

Modelarea atmosferică este utilizată pe scară largă pentru a sprijini procesul decizional în domeniul mediului și reducerii poluării. Modelele utilizate în context de reglementare sunt adesea relativ simple în comparație cu o serie de alte modele mai complexe care reflectă procesele atmosferice în detaliu.

O limitare semnificativă în modelarea proceselor atmosferice se datorează indisponibilității datelor care descriu structura verticală a atmosferei, prin urmare, calculul stratului de amestec este posibil numai prin aproximări brute. Sistemele de monitorizare punctuală a concentrațiilor sunt

limitate la nivelul solului, iar distribuția verticală a concentrațiilor de poluanți nu este prevăzută. De asemenea, concentrațiile la nivelul solului pot fi influențate de transportul pe verticală indus de fluxul turbulent de masă. Impactul direct și indirect al aerosolilor asupra climei depinde de încărcarea totală cu aerosoli din coloana atmosferică și distribuția verticală a acestora.

Această teză va încerca să depășească aceste neajunsuri prin utilizarea sistemelor optoelectronice 3D pentru măsurarea distribuției verticale a aerosolilor (LIDAR și fotometrie solară) și a camerelor UV de înaltă performanță pentru determinarea concentrațiilor de gaze din atmosferă. Această sinergie de instrumente optoelectronice suplimentate de tehnici de modelare și măsurători in-situ reprezintă un potențial unic pentru studii atmosferice avansate și va aduce o valoare adăugată considerabilă metodologiilor de evaluare a impactului și a riscurilor (Ajtai et al., 2011a).

1.2. Concept și obiective

În acest context, **conceptul** tezei se bazează pe tehnici și metodologii inovatoare pentru o mai bună înțelegere și analiză a hazardurilor naturale și a riscurilor tehnologice folosind tehnici optoelectronice pentru monitorizarea mediului. Conceptele de hazard și risc sunt de mare interes pentru cercetători, mediul academic, industrie și autorități. Acest spectru larg de părți cointeresate generează mai multe tipuri de nevoi care urmează să fie abordate. Prin urmare, trebuie utilizate diferite tipuri de analize de hazard și de risc cu scopul de a răspunde acestor nevoi.

Scopul acestor analize poate fi împărțit în două părți majore, pe de o parte pentru a produce estimarea cantitativă precisă a riscului cu o listă cuprinzătoare de efectele posibile asupra mediului, iar pe de altă parte, dezvoltarea unor platforme solide pentru luarea deciziilor de politici publice, care să fie solid argumentate și recunoscute ca fiind legitime și acceptabile de către factorii socio-economici.

Obiectivele majore ale tezei pot fi rezumate după cum urmează:

1. prezentarea unei fundamentări teoretice privind analiza riscurilor și hazardurilor, atmosfera și tehnicile optoelectronice de monitorizare a mediului;

În scopul de a diminua riscurile naturale și tehnologice un evaluator trebuie să aibă cunoștințe solide în ceea ce privește conceptul de hazard și risc atât individual, cât și combinate. Diferențele dintre termeni, tipuri de analize aplicabile în diferite situații trebuie să fie de asemenea clar definite. Partea teoretică a tezei abordează aspectele mai sus menționate, împreună cu o prezentare a mediului studiat, în acest caz, atmosfera și procesele asociate.

2. propune tehnici optoelectronice pentru analiza hazardurilor naturale și tehnologice

Sunt prezentate tehnicile și metodele utilizate în identificarea și analiza hazardurilor și riscurilor. În cazul de față, mai multe tehnici optoelectronice pentru monitorizarea atmosferei au fost

selectate: metode de teledetecție activă și pasivă, camere UV și metode in-situ bazate pe analizoare de gaz ce folosesc fluorescența UV.

3. dezvoltarea de studii de caz pentru demonstrarea utilizării tehnicilor optoelectronice selectate pentru analiza hazardurilor și a riscurilor;

În scopul de a demonstra oportunitatea de utilizare a tehnicilor optoelectronice mai sus menționate, o serie de studii de caz sunt prezentate, bazate pe identificarea și analiza a două tipuri majore de hazarduri și riscuri:

- hazarduri naturale: un studiu de caz privind detecția și caracterizarea unei intruziuni de cenușă vulcanică folosind un sistem LIDAR și fotometre solare
- hazarduri tehnologice: trei studii de caz privind monitorizarea și modelarea emisiilor de SO₂ provenite de la IMA cu ajutorul camerelor UV, softurilor de modelare a dispersiei și monitorizarea in-situ a emisiilor de SO₂.

4. integrarea datelor obținute prin aceste tehnici în procesul de evaluare a riscului și în final, dezvoltarea de strategii în domeniu.

Din concluziile rezultate în urma studiilor de caz, două cadre sunt dezvoltate, unul pentru hazardurile naturale și unul pentru riscurile tehnologice, cu scopul de a integra mai bine tehnicile optoelectronice pentru monitorizarea atmosferei în analiza de risc și în procesul de evaluare a acestuia.

Teza este structurată după cum urmează:

Capitolul 1 reprezintă introducerea tezei, subliniind necesitatea cercetării atmosferice avansate și propune tehnici optoelectronice pentru monitorizarea atmosferei ca un instrument de analiză a riscului și a impactului. Conceptul și obiectivele majore ale tezei sunt de asemenea prezentate în acest capitol.

Capitolul 2 prezintă conceptele de hazard și risc, descriind diferite perspective ale comunității științifice asupra acestor două concepte și subliniază diferențele majore între abordări. Capitolul 2 cuprinde și o clasificare a hazardurilor în funcție de caracteristicile lor diferite și propune metode calitative și cantitative de evaluare a acestora. Studiile de caz sunt alese în funcție de o clasificare importantă a hazardurilor: naturale (cenușă vulcanică) și tehnologice (emisiile de SO₂). Capitolul abordează și conceptul de hazarduri NATECH, accidente tehnologice declanșate de hazarduri naturale.

Capitolul 3 descrie fundamentele teoretice privind atmosfera în general, cu accent pe aerosoli și gazele atmosferice. Interacțiunea luminii cu aerosolii atmosferici este descrisă aici, urmată de o descriere a tehnicilor optoelectronice propuse pentru monitorizarea compușilor periculoși. Acest capitol propune tehnici pasive (fotometre solare și camere UV) și active (LIDAR) de teledetecție, monitoare de gaze in situ (analizoare de SO₂) ca instrumente optoelectronice pentru detecția și caracterizarea proprietăților periculoase ale aerosolilor și a emisiilor de SO₂.

Capitolul 4 prezintă principalele tipuri de aerosoli (urban-industrial, rezultați din arderea de biomasă, praf mineral) și descrie proprietățile lor optice și microfizice, precum și proprietățile lor periculoase. Este prezentat un studiu de caz privind detecția și caracterizarea unei intruziuni de cenușă vulcanică (hazard natural), cu scopul de a demonstra validitatea abordării bazate pe tehnici active și pasive de teledetecție în identificarea și caracterizarea unor intruziuni de particule periculoase.

Capitolul 5 se concentrează asupra hazardurilor antropice (emisiilor de SO_2), și prezintă 3 studii de caz efectuate pentru instalațiile mari de ardere (IMA) din România folosind tehnici optoelectronice (camere UV și analizoare de gaze de SO_2). Acest capitol introduce modelarea ca un instrument esențial pentru evaluarea riscurilor și a impactului, precum și avantajele utilizării acesteia combinate cu tehnici optoelectronice (camere UV) în determinarea ratelor de emisie a IMA. Capitolul 5 propune și demonstrează prin studiile de caz o metodologie de evaluare nouă, bazată pe determinarea ratei de emisie a SO_2 folosind camere UV, urmate de simulări de dispersie și în final de validarea rezultatelor cu un monitor de SO_2 . Această metodologie stă la baza unei strategii inovatoare pentru evaluarea riscurilor și a impactului pentru IMA, care să implice autoritățile, părțile cointeresate locale și industria.

2. Considerații teoretice privind hazardurile și riscurile

Analiza riscurilor naturale și tehnologice stă la baza realizării studiilor de evaluare a impactului și a riscului, precum și a studiilor de planificare a utilizării terenurilor și planificarea răspunsului la urgențe (Török et al., 2011c., Török et al., 2009). Pentru înțelegerea acestei probleme, este extrem de relevantă definirea conceptelor recurente ale acestei lucrări și anume a hazardurilor și a riscurilor. Acest capitol se concentrează pe aceste două concepte și pune bazele următoarelor studii aplicative din capitolele 4 și 5.

2.1. Conceptul de hazard

Conceptul de hazard se poate defini ca "o situație cu potențial de accident" (Ozunu, 2000), "un eveniment amenințător, reprezentând posibilitatea unui fenomen potențial dăunător să se întâmple" (Bălteanu, 2001).

Un hazard este compus din trei elemente de bază (Ericson, 2005):

1. Proprietatea periculoasă - sursa de bază a hazardului care creează hazard
2. Mecanismul de inițiere - evenimentul care declanșează sau inițiază apariția hazardului, transformându-l din stare de hazard pasiv la unul activ.
3. Țintă și amenințare - persoana, obiectul, situația vulnerabilă daunelor cauzate de materializarea hazardului.

Aceste trei elemente alcătuiesc triunghiul hazardului prezentat în figura 2.1:

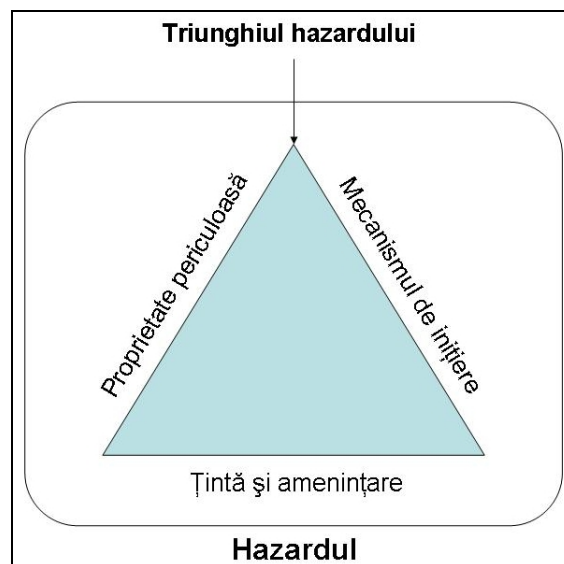


Figura 2.1 – Triunghiul hazardului (Ericson, 2005)

2.2. Hazard vs. risc

Termenul "hazard" este strâns legat de termenul de "risc". Nu puține sunt cazurile în care apare o confuzie între sensurile acestor două concepte. Numai atunci când un hazard depășește anumite valori critice care conduc la pagube materiale sau victime acesta devine un risc. Prin urmare, un hazard reprezintă amenințarea asociată unui eveniment și nu evenimentul în sine. În cazul în care prin manifestarea hazardului rezultă efecte negative, acesta devine risc.

O definiție larg acceptată definește riscul ca fiind produsul dintre probabilitatea pentru ca un eveniment să se întâmple și consecințele negative pe care le poate avea, fiind exprimat după cum urmează:

$$R = F \times C \quad (\text{ec. 2.1})$$

unde:

R-risc (pierderi / unitate de timp), F-frecvența de apariție (nr. de evenimente / unitate de timp), C-consecințe (pierderi / eveniment).

O altă definiție este dată de Ozunu și Anghel în anul 2007:

$$R = F \times C \times V \quad (\text{ec. 2.4})$$

caz în care: R - risc; F-frecvența; C - consecințele, V-vulnerabilitate (-).

2.3. Clasificarea hazardurilor și riscurilor

Așa cum s-a menționat anterior, hazardurile și riscurile sunt definite și caracterizate în mai multe moduri. În acest capitol, o clasificare este prezentată în conformitate cu cele mai relevante caracteristici:

- origine
- mod de manifestare
- durată
- suprafața afectată și durata efectelor

Teza de față se concentrează asupra evaluării bazate pe tehnici optoelectronice a două hazarduri majore din clasificările de mai sus:

- **Hazarduri naturale - cenușa vulcanică prin teledetecție activă și pasivă**
- **Hazarduri tehnologice - monitorizarea și modelarea impactului emisiilor de SO₂ asociate cu instalațiile mari de ardere.**

2.4. Hazarduri NATECH

Această teză se concentrează pe riscuri naturale și antropice separat. Pentru a dezvolta strategii eficiente de evaluare a riscului și a impactului, hazardurile NATECH (hazarduri naturale care declanșează accidente tehnologice) trebuie să fie luate în considerare atunci când se evaluează

oricare dintre cele două tipuri de hazard menționate mai sus. Reglementările actuale ale UE în materie de evaluare a riscurilor și de gestionare a dezastrelor (Comisia Europeană, 2010) subliniază necesitatea unei abordări multi-hazard și multi-risc în cazul hazardurilor naturale și antropice și a studiilor de risc.

Prin urmare, există un interes major în comunitatea științifică și în rândul părților cointeresate în ceea ce privește hazardurile naturale care declanșează accidente tehnologice (NATECH). Accidentele de tip NATECH pot avea consecințe negative semnificative asupra sănătății umane, mediului și economiei. Creșterea numărului de astfel de evenimente este strâns legată de dezvoltarea tehnologică exponențială din ultimele decenii, ca urmare a diversificării tehnologiilor, numărul tot mai mare de personal expus, precum și substanțele folosite în procesele tehnologice. Consecințele evenimentelor NATECH au devenit mai severe în acest interval de timp, în principal ca urmare a expunerii populației care trăiește în apropierea acestor instalații.

2.5. Metode calitative și cantitative pentru identificarea hazardurilor și evaluarea riscurilor

Pentru a putea realiza o analiză riguroasă cu privire la hazarduri și riscuri, este necesară o identificare sistematică a posibilelor efecte pe care poluanții atmosferici le au asupra mediului. Scopul unui astfel de proces poate fi împărțit în două probleme majore, pe de o parte estimarea cantitativă precisă a riscului și a efectelor posibile asupra mediului, iar pe de altă parte, și o justificare pentru luarea deciziilor de politici publice care este atât bine motivată, cât și recunoscută ca fiind legitimă și acceptabilă de către factorii socio-economici.

2.5.1. Metode calitative utilizate în analiza riscurilor

O analiză calitativă presupune utilizarea unor criterii calitative, folosind diferite categorii pentru separarea parametrilor, utilizând scări calitative pentru fiecare categorie în parte. De asemenea, deciziile sunt luate calitativ, bazate pe experiența evaluatorului cu scopul de a atribui elemente în categorii. Această abordare este subiectivă, dar permite un grad de generalizare mai mare, fiind mai puțin restrictivă.

Identificarea hazardurilor tehnologice este pasul de bază în procesul de evaluare a riscurilor. Hazardurile apar în industrie tot timpul, ca urmare a procesului, a condițiilor de funcționare a instalațiilor și proprietăților fizice, chimice și toxicologice ale substanțelor utilizate în aceste procese. Acesta este motivul pentru care este foarte important să se identifice proprietățile substanțelor periculoase, precum și condițiile de funcționare care pot genera situații periculoase și seria de evenimente care pot duce la materializarea unui hazard.

O analiză preliminară de hazard este punctul de plecare al oricărei evaluări și reprezintă cea mai generală formă de evaluare a hazardurilor și a riscurilor, rezultând în cele mai multe cazuri, într-

o matrice de risc calitativă (Tabelul 2.7), care descrie riscul ca produs al frecvenței și consecințelor (Török et al., 2011b) (ec. 2.1).

Tabelul 2.7 – Matricea riscului

			Consecințe				
			Nesemnificative	Minore	Moderate	Majore	Catastrofice
			1	2	3	4	5
Probabilitate	Improbabil	1	1	2	3	4	5
	Izolat	2	2	4	6	8	10
	Ocazional	3	3	6	9	12	15
	Probabil	4	4	8	12	16	20
	Frecvent	5	5	10	15	20	25

În conformitate cu tabelul 2.7 nivelul de risc este descris calitativ după cum urmează:

Tabelul 2.8 - Nivelurile de risc

Nivele de risc	Definiție
1 – 3	Risc foarte scăzut
4 – 6	Risc scăzut
7 – 12	Risc moderat
13 – 19	Risc ridicat
20 – 25	Risc extrem

2.5.2. Metode cantitative utilizate în evaluarea riscurilor

Analizele cantitative presupun utilizarea datelor numerice sau cantitative și furnizează rezultate cantitative, această abordare fiind mult mai obiectivă și precisă. Trebuie menționat faptul că rezultatele cantitative pot fi afectate de precizia și validitatea parametrilor de intrare. De aceea, rezultatele cantitative în cadrul analizelor de risc nu ar trebui să fie luate în considerare ca numere exacte, ci ca estimări cu o scară variabilă, în funcție de calitatea datelor (Török, 2010).

Teza de față se concentrează în principal pe modelarea matematică a dispersiei poluanților gazoși în atmosferă. Modelele sursă sunt folosite pentru a defini cantitativ imisiile de substanțe, prin estimarea ratei de curgere a acestora și a dispersiei substanței după eliberare. Modelele de dispersie transformă rezultatele modelelor sursă în curbe izoconcentrații, delimitarea zonelor de concentrație făcându-se în funcție de evoluția concentrației în timp.

3. Considerații teoretice privind tehnici optoelectronice utilizate în monitorizarea atmosferei

Optoelectronica este un domeniu al tehnologiei care face legătura între fizica luminii și energia electrică. Optoelectronica se concentrează pe conversia semnalelor de fotoni în semnale electrice și viceversa (Webopedia, 2012).

3.1. Atmosfera

Atmosfera Pământului poate fi reprezentată ca un strat care se extinde de la suprafață în spațiul interplanetar, fiind reținut la suprafață de gravitație (Ștefan et al., 2008).

Studiul actual se va limita la compoziția homoferei, zona în care este concentrată cea mai mare parte a masei atmosferice și unde au loc majoritatea proceselor atmosferice. Atmosfera Pământului conține alături de gaze, particule lichide și solide. Gazul atmosferic este compus dintr-un amestec de gaze individuale, cele mai importante fiind azotul, oxigenul și argonul (standard US Atmosphere, 1976).

Aerosolii atmosferici sunt particule solide sau lichide cu dimensiuni variabile, de la clustere de molecule la particule de mai mulți micrometri. Conform IPCC, 2007, contribuțiile antropice de aerosoli au un efect de răcire, valoarea forcingului radiativ asociat fiind de -0.5 (de la -0.9 la -0.1) Wm^{-2} . Cele mai importante caracteristici ale aerosolilor atmosferici includ mărimea, forma, densitatea, compoziția chimică și proprietățile higroscopice. Un rezumat al surselor de aerosoli, efectele, și durata de viață a acestora fost prezentată de către Holloway și Wayne, 2010 pe baza datelor din Wallace și Hobbs, 2006 (Figura 3.4):

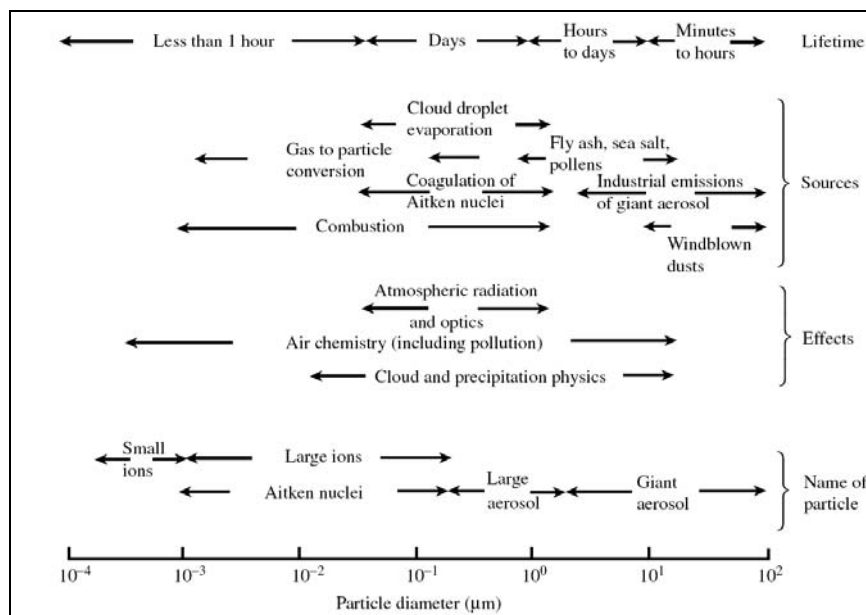


Figura 3.4 - Efectele atmosferice, sursele și duratele de viață ale aerosolilor (Holloway și Wayne, 2010; Wallace și Hobbs, 2006)

Interacțiunea radiației electromagnetice cu moleculele și cu aerosolii (Figura 3.6) rezultă într-o serie de fenomene cum ar fi: de împrăștiere (MIE - aerosoli, Rayleigh - molecule și Raman), difracție, refracție, fluorescență și reflecție.

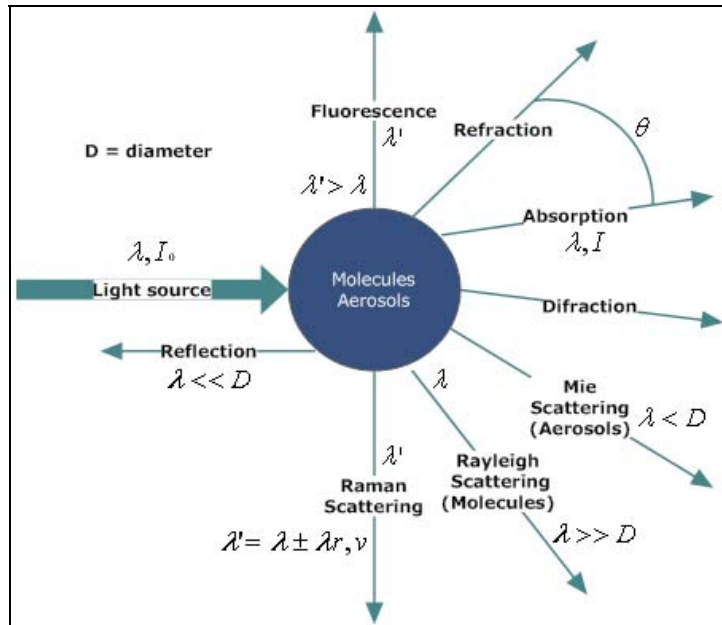


Figura 3.6 - Interacțiunea radiației cu compușii atmosferici (adaptat după Nicolae, 2006)

Relevant pentru această teză și un aspect-cheie în prelucrarea datelor LIDAR și de fotometrie solară este extincția unui fascicul incident de radiație prin procese de absorbție și împrăștiere.

3.2. Conceptul RADO (Observatorul Atmosferic 3D Română)

Conceptul RADO reprezintă o abordare inovatoare a monitorizării și analizei componentelor și proceselor atmosferice. Rețeaua RADO cuprinde instrumentație atât pentru monitorizarea gazelor, cât și a aerosolilor. Măsurătorile disponibile la stațiile din România sunt prezentate în tabelul 3.5.

Tabelul 3.5 – Stațiile RADO (RADO, 2011):

Measurement Sites				
Location	Compounds	Measurement method	Coordinates	Contact
Bucharest-Magurele	aerosols, ozone, water vapor profiles meteorological parameters profiles PM, O ₃ , CO, SO ₂ , NO _x , THC, CO ₂	Lidar, sun photometry, IR and UV spectroscopy, microwave radiometry, sodar, satellite imagery, mass spectrometry, DOAS, in situ monitors	Lat 44.348 Long 26.029	Livio Belegante
Bucharest-Baneasa	aerosols profiles meteorological parameters profiles PM, O ₃ , SO ₂ , CO ₂	Lidar, IR and UV spectroscopy, sodar, satellite imagery, DOAS, in situ monitors	Lat 44.500 Long 26.133	Valeriu Ristici
Iasi	aerosols profiles PM, O ₃ , SO ₂ , CO ₂	Lidar, sun photometry, IR and UV spectroscopy, in situ monitors	Lat 47.166 Long 27.566	Silviu Gurlui
Cluj	aerosols profiles ground-level meteorological parameters PM, O ₃ , SO ₂ , CO ₂	Lidar, sun photometry, IR and UV spectroscopy, in situ monitors	Lat 46.766 Long 23.583	Nicolae Ajtai
Timisoara	aerosols profiles ground-level meteorological parameters PM, O ₃ , CO, SO ₂ , NO _x , THC, CO ₂	Lidar, sun photometry, IR and UV spectroscopy, NDIR, in situ monitors	Lat 45.733 Long 21.216	Ioan Vetres

3.3. Teledetecția pasivă

Teledetecția poate fi descrisă în general ca un set de măsurători efectuate la o anumită distanță de obiectul în studiu. Informația este purtată de undele electromagnetice de la obiect către observator (Lenoble, 1993).

În cazul teledetecției pasive, sursa de radiație electromagnetică este de origine naturală (în cea mai mare parte a timpului, Soarele). Dubovik et al. în anul 2000, descrie caracteristicile aerosolilor prin măsurarea radiației solare cu fotometre solare. Fotometrul solar Cimel CE 318 măsoară parametri importanți cum ar fi adâncimea optică a aerosolilor (AOD), parametrul Angstrom, concentrația de ozon, concentrația de vapori de apă și prin inversie, distribuția granulometrică, indicele complex de refracție și albedoul de împrăștiere singulară.

Fotometrul solar Cimel CE 318 (Figura 3.11), descris în Holben et al, 1998, este un radiometru solar automat care măsoară proprietățile optice ale aerosolilor folosind o combinație de filtre.



Figura 3.11 - Fotometrul solar Cimel CE 318, NASA-AERONET # 643
Facultatea de Știința și Ingineria Mediului,
Universitatea Babeș-Bolyai Cluj-Napoca (Ajtai et al., 2012b)

3.4. Teledetecția activă

În cazul teledetecției active, sursa de radiație electromagnetică este una artificială, principiul LIDAR fiind bazat pe emiterea unui puls electromagnetic, captarea și analizarea luminii retro-împrăștiată spre un detector de către aerosoli sau molecule. Această tehnică este esențială pentru evaluarea distribuției unui strat de aerosoli în coloana atmosferică, precum și pentru determinarea concentrațiilor acestora, în scopul de a determina cu exactitate hazardul asociat cu diferite tipuri de aerosoli (de exemplu, cenușa vulcanică) prin tehnici optoelectronice (Balin, 2004).

Sistemele LIDAR au ca și sursă de radiație electromagnetică lasere cu grad ridicat de monocromaticitate, cu polarizare controlată și cu o densitate mare de energie pe unitatea de frecvență (Belegante, 2011).

Sistemul Micro-LIDAR folosit în această teză (Figura 3.18) oferă posibilitatea de a obține profiluri de retro-împrăștiere, coeficienți de extincție și profile verticale.

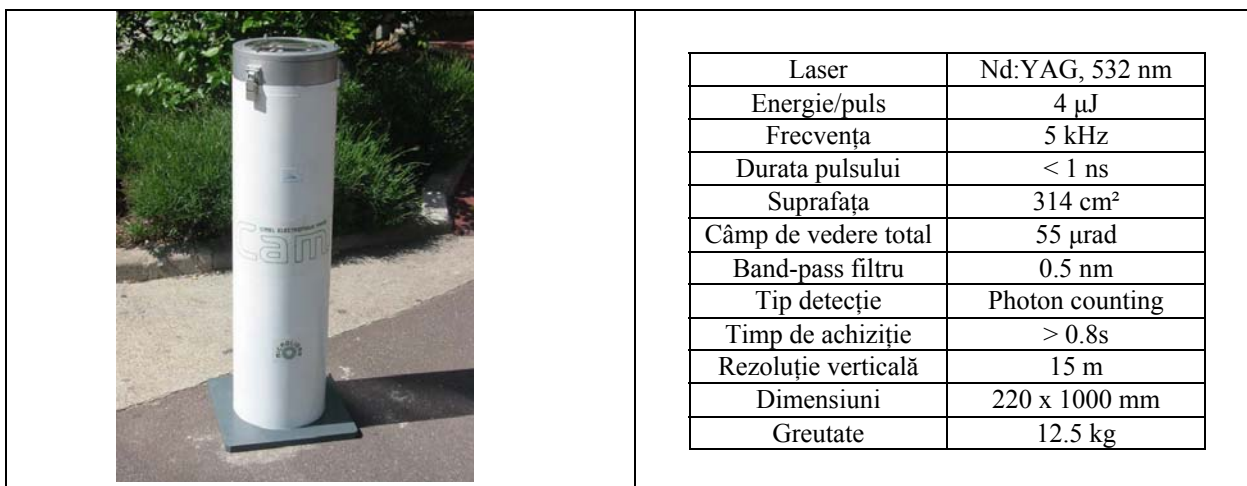


Figura 3.18 – Sitemul Mico-LIDAR Cimel CAML CE 370-2

3.5. Monitorizarea punctuală a dioxidului de sulf folosind analizorul de gaze HORIBA APSA 370

HORIBA APSA-370 este un analizor de gaze care are la bază fluorescență UV. Analizorul funcționează pe principiul spectroscopiei de absorbție (HORIBA, 2012). Concentrațiile atmosferice de SO₂ determinate folosind acest analizor vor putea fi comparate cu concentrațiile rezultate în urma simulărilor de dispersie, cu scopul de a determina gradul de conformitate cu legislația națională și în cele din urmă impactul asociat cu unitățile care emit SO₂ în atmosferă.

3.6. Monitorizarea emisiilor de dioxid de sulf cu camere UV

Camera UV dezvoltată de Institutul Norvegian de Cercetări Atmosferice (NILU) folosește regiunea din spectrul UV cuprinsă între 280 și 320 nm, folosind un detector cu mare eficiență cuantică și care poate fi operată de un computer și alimentată de la 12V (Stebel et al., 2012a).

Ori de câte ori este prezent SO₂ în câmpul vizual al camerei, intensitatea luminii înregistrată de detector scade. Prin calibrarea camerei folosind celule cu gaz conținând cantități cunoscute de SO₂, intensitatea luminii înregistrată poate fi corelată direct cu concentrația SO₂ (Prata et al., 2008).

Procedura de măsurare se bazează pe legea Beer-Lambert-Bouguer, care prevede că atenuarea radiației printr-un strat de gaze urmează o lege exponențială, care depinde de coeficientul de extincție al gazului.

4. Identificarea hazardurilor naturale folosind tehnici optoelectronice pentru monitorizarea atmosferei

Acest capitol se concentrează pe identificarea și caracterizarea aerosolilor atmosferici care pot fi considerați ca fiind periculoși pentru sănătatea umană, mediu, societate și economie. Abordarea se bazează pe date preluate prin tehnici optoelectronice, în principal fotometrie solară și LIDAR. Studiul de caz prezentat se concentrează pe un hazard natural, cenușa vulcanică, concentrându-se pe detecția și caracterizarea proprietăților optice și microfizice ale acesteia.

4.1. Aerosolii atmosferici. Caracterizare și proprietăți periculoase

Lipsa cunoștințelor detaliate privind proprietățile optice și microfizice ale aerosolilor generează dificultăți în evaluarea forcingului radiativ asociat acestora, dar și a hazardurilor asociate cu diferite tipuri de aerosoli cum ar fi cenușa vulcanică, praful deșertic, aerosoli rezultați din arderea biomasei, precum și a aerosolilor urban-industriali. Datele furnizate de rețeaua AERONET au potențialul de a reduce incertitudinile legate de proprietățile optice și microfizice ale aerosolilor (AERONET, 2010).

Un progres fundamental în detecția și caracterizarea aerosolilor a fost făcut de către Dubovik et al. în anul 2002. Acest studiu se concentrează pe caracterizarea proprietăților aerosolilor în locații diferite din întreaga lume și introduce o clasificare în funcție de mai mulți parametri optici preluați de către fotometrul solar Cimel CE Cimel 318.

4.1.1. Aerosolii urban-industriali

Aerosolii rezultați din emisiile industriale, împreună cu gazele de eșapament și emisiile urbane sunt cunoscuți ca aerosoli urban-industriali. Transportul, arderea combustibililor fosili, industria metalurgică și combustia deșeurilor sunt unele din sectoarele industriale care conduc la formarea de particule de aerosoli. Deși nu este o sursă naturală, caracterizarea proprietăților optice ale aerosolilor urban-industriali este importantă pentru orice studiu care se concentrează pe caracterizarea proprietăților optice ale altor tipuri de aerosoli naturali.

Estimări recente ale emisiilor actuale de aerosoli urban-industriali se situează între 100 Tg/ an și 200 Tg/ an (IPCC, 2007).

În ceea ce privește distribuția granulometrică, datele AERONET indică predominanța particulelor fine, rezultând în scăderea albedoului singular de împrăștiere ($\omega_0(\lambda)$) cu creșterea λ . Distribuția bimodală și predominanța particulelor fine au fost de asemenea confirmate atât prin măsurători in situ (Hartley et al., 2000) cât și prin analiza parametrului Angstrom, ce prezintă valori ridicate.

4.1.2. Aerosoli rezultați din arderea biomasei

Emisiile globale de aerosoli proveniți din arderea biomasei au fost estimate între 45 și 80 Tg/an. Arderea biomasei este, de asemenea, o sursă importantă de negru de fum, cu o injecție anuală de 6 - 8 Tg/an (IPCC, 2007).

Aerosolii proveniți din arderea biomasei au de asemenea un important impact la scară largă asupra sistemului climatic datorită gradului ridicat de absorbție. Alte hazarduri importante manifestate la nivel local includ efecte asupra calității aerului și vizibilității (Reid et al., 2005). Sănătatea umană poate fi afectată în anumite cazuri (Pope, 2004).

Majoritatea hazardurilor asociate cu arderea biomasei sunt determinate de distribuția granulometrică. Distribuția granulometrică pentru aerosolii rezultați din arderea biomasei este în principal dominată de modul de acumulare. Dimensiunea acestor particule influențează magnitudinea hazardului pe care acestea îl au asupra sănătății umane, deoarece particulele mici penetrează mai adânc în sistemul respirator.

Proprietățile asociate cu împrăștierea luminii pe particule mici pot fi observate (Dubovik et al., 2002): valori mari ale α (1.7-2.0); scăderea $\omega_0(\lambda)$ cu creșterea λ și scăderea accentuată a parametrului de asimetrie.

4.1.3. Praful mineral

Praful are o contribuție majoră la încărcarea atmosferei cu aerosoli, contribuind la extincția optică a luminii prin atmosferă. Activitățile din zonele urbane pot propaga în mod semnificativ particulele de sol. Această contribuție fost estimată (IPCC, 2007) ca fiind de până la 50% din încărcarea totală atmosferei cu praf. În general, diametrul particulelor de praf este în jurul valorii de 2 - 4 micrometri.

Diferența majoră între proprietățile optice ale prafului mineral și cele ale aerosolilor rezultați din arderea biomasei și cei urban-industriali este dată de distribuția clară bimodală și de predominanța modul grosier în această distribuție (pentru date AERONET, $r > 0.6$ micrometri). Parametrul Angstrom are de asemenea valori mult mai mici, variind de la -0.1 la 1.2.

Având în vedere faptul că particulele de praf mineral sunt mai mari și mult mai puțin absorbante, albedoul de împrăștiere singulară $\omega_0(\lambda)$ crește sau rămâne neutru, cu creșterea λ . Această caracteristică este esențială în caracterizarea unei intruziuni de praf, cu valori ale $\omega_0(\lambda)$ cuprinse între $0.92 - 0.97 \pm 0,2$ (Dubovik et al., 2002).

4.1.4. cenușa vulcanică

În general, cenușa vulcanică ce conține peste 75% materiale piroclastice este cunoscută ca și tuf. Cenușa care conține sub 75% fragmente piroclastice se numește tufit (Guffanti et al., 2009). Deși cenușa vulcanică are particule cu dimensiuni relativ mici în raport cu celelalte materiale piroclastice, hazardurile asociate cu prezența sa în atmosferă nu sunt neglijabile.

Deși căderile de cenușă reprezintă un hazard grav pentru culturi și poate duce la colmatarea suprafețelor de apă și prăbușirea clădirilor prost construite, unul din cei mai importanți factori de risc implică avioanele. Cenușa vulcanică are un efect puternic coroziv în primul rând asupra turbinelor, blocându-le temporar sau definitiv după aspirarea prafului care se topește la temperaturi ridicate în interiorul turbinei și apoi se răcește și se solidifică pe părțile mai reci ale motorului, rezultând în defectarea bruscă a motorului. Cenușa vulcanică corozivă reprezintă de asemenea un hazard pentru palele turbinelor și produce zgârieturi pe parbrizele avioanelor, ducând la scăderea vizibilității (Ajtai et al., 2010a).

4.2. Detecția cenușii vulcanice folosind sisteme LIDAR și fotometre solare

Studiu de caz: Erupția din aprilie și mai 2010 a vulcanului Eyjafjallajökull

Acest studiu de caz se bazează pe detecția și caracterizarea cenușii vulcanice rezultate în urma erupției vulcanului Eyjafjallajökull în aprilie-mai 2010. Studiul a fost realizat la Laboratoire d'Optique Atmosphérique (LOA), Lille, Franța, folosind fotometrul solar Cimel CE 318 și sistemul LIDAR Cimel CAML mini-LIDAR, datele fiind prelucrate în cadrul unui stagiu de cercetare de șase luni la această instituție. Acest sistem de monitorizare a permis detecția și caracterizarea de pene de cenușă vulcanică în regiunea Lille generate de erupția din 2010 a vulcanului Eyjafjallajökull din Islanda (Mortier et al., 2012).

4.2.1. Observații AERONET în aprilie-mai 2010, Lille. Detecție și analize

Măsurătorile standard efectuate cu fotometrul solar CIMEL CE-318, împreună cu datele preluate prin inversie și utilizate în acest studiu de caz sunt compuse din:

- adâncimea optică a aerosolilor ($\tau_{ext,a}$) în intervalul 340 - 1640 nm;
- parametrul Angstrom, α , calculat din $\tau_{ext,a}$ spectral, $\alpha = d\ln(\tau_a)/d\ln(\lambda)$
- radiația cerului în geometriile „almucantar” și „principal plane”;
- distribuția granulometrică ($dV/d\ln r$);
- fracțiunea de particule non-sferice;
- albedoul de împrăștiere singulară (ϖ_o);
- indicele complex de refracție;
- raportul LIDAR S_a

Variabilitatea $\tau_{ext,a}$, α și a fracției non-sferice în perioada aprilie-mai este prezentată în figurile 4.3 și 4.4:

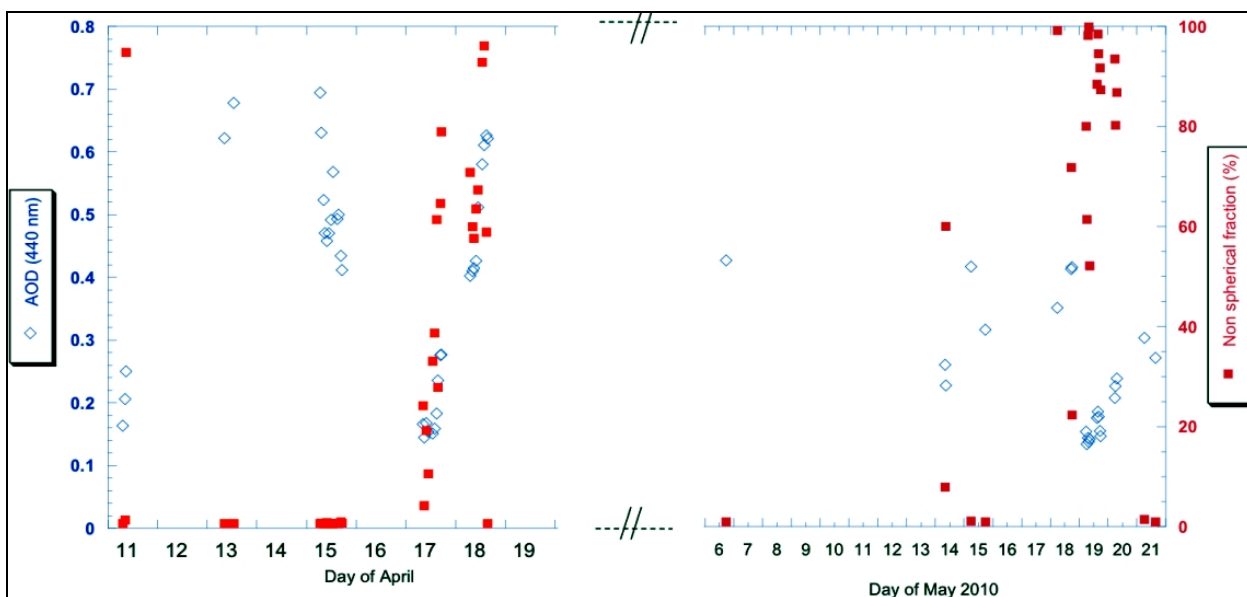


Figura 4.3 - Serii temporale de $\tau_{ext,a}$ (440 nm) și (%) de particule sferice pentru aprilie și mai 2010 deasupra orașului Lille

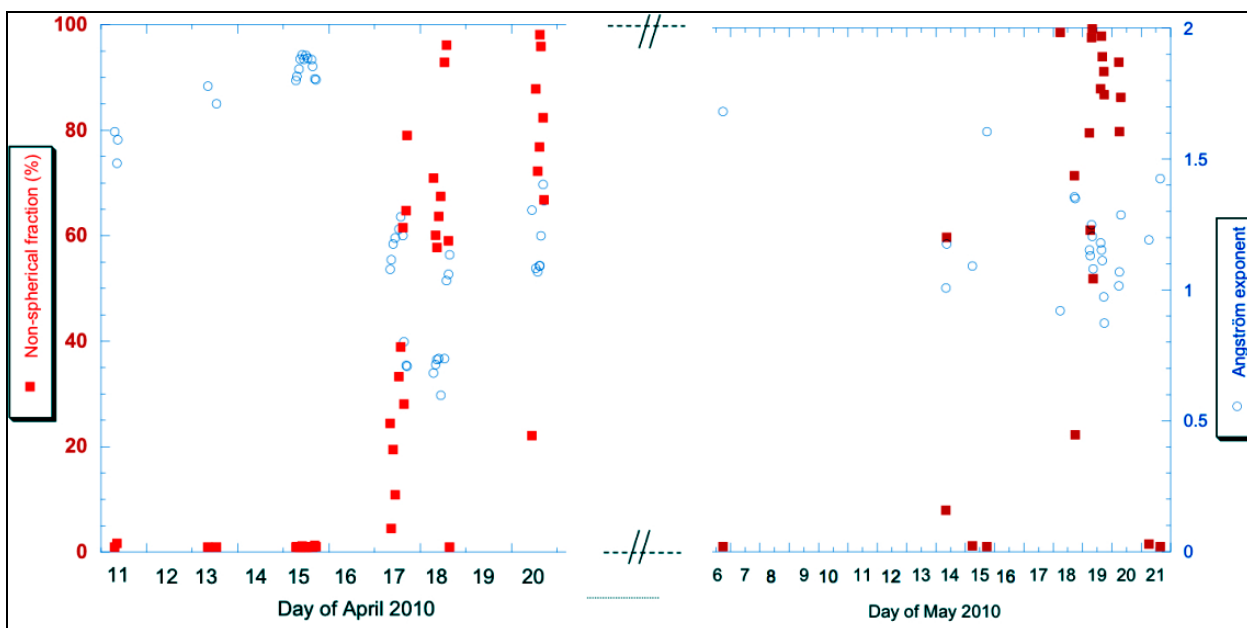


Figura 4.4 - Serii temporale ale α și (%) de particule sferice pentru aprilie și mai 2010 deasupra orașului Lille

Din datele AERONET se pot observa schimbări notabile în distribuția granulometrică pentru datele de 15, 17 și 18 aprilie, cu o creștere semnificativă a fracției grosiere (figura 4.5).

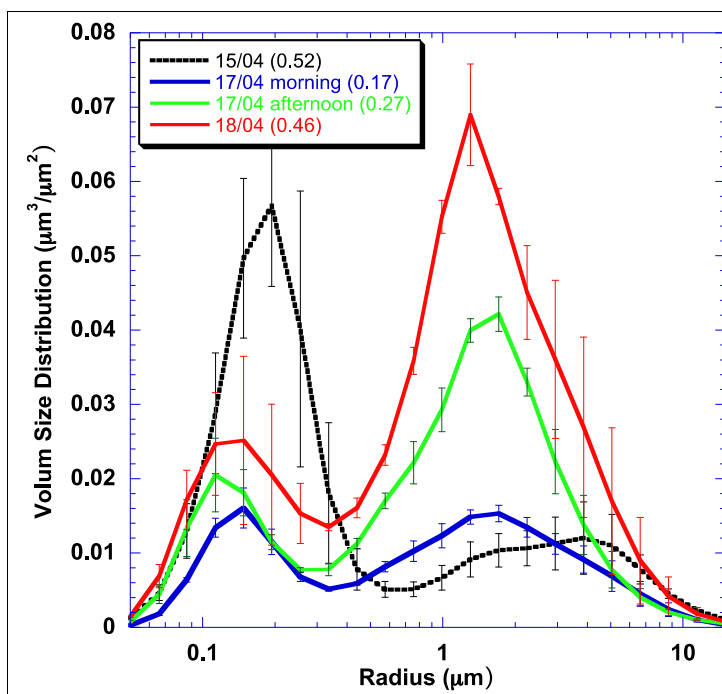


Figura 4.5 – Distribuția granulometrică (date nivel 2) pentru 15, 17 și 18 aprilie 2010. Barele de eroare reprezintă deviația standard și indică variabilitatea în timp.

Analiza indicelui de refracție spectral ϖ_o și a raportului LIDAR indică o modificare de compoziție chimică în coloana atmosferică, care poate fi explicată fie prin procese chimice și/sau de către o posibilă intruziune a unui strat de aerosoli în coloana atmosferică la o altitudine care nu poate fi determinată numai din date AERONET.

4.2.2. Observații LIDAR în aprilie-mai 2010, Lille. Detecție și analize

Observațiile LIDAR au fost făcute cu un sistem micro-LIDAR cu operare continuă. Micro-LIDARul (CAML) 370-2 este dezvoltat de firma Cimel și a fost descris pe larg în Leon et al., 2009.

Au fost detectate mai multe straturi de aerosoli cu caracteristici complexe între datele de 15 și 22 aprilie 2010. În luna mai cenușa vulcanică a fost detectată între 3 și 4 km. Detecția straturilor de aerosoli în atmosferă este confirmată în cele mai multe cazuri de măsurătorile din timpul zilei efectuate cu fotometre solare. Pentru a determina dacă cenușa vulcanică este periculoasă pentru traficul aerian, sănătatea umană și pentru mediu, o analiză cantitativă este necesară în vederea obținerii concentrației de cenușă cu măsurători LIDAR.

În scopul de a minimiza impactul limitărilor instrumentale, profilurile de extincție extrase pentru datele de 17, 18 aprilie și 6 mai (Figura 4.12) au fost analizate prin inversie, cu un raport LIDAR pentru cenușă fixat $S_{a,cenușa}=34$ sr. Mai mult decât atât, pentru fiecare profil, diferența dintre $S_{a,BL}$ calculat și valoarea de fond preluată din date AERONET (75 sr) este considerată ca fiind un bun indicator al coerenței abordării (Mortier et al., 2012). Straturile atmosferice sunt originare din Islanda, după cum se arată în retro-trajectoriile HYSPLIT (Draxler et al., 2012).

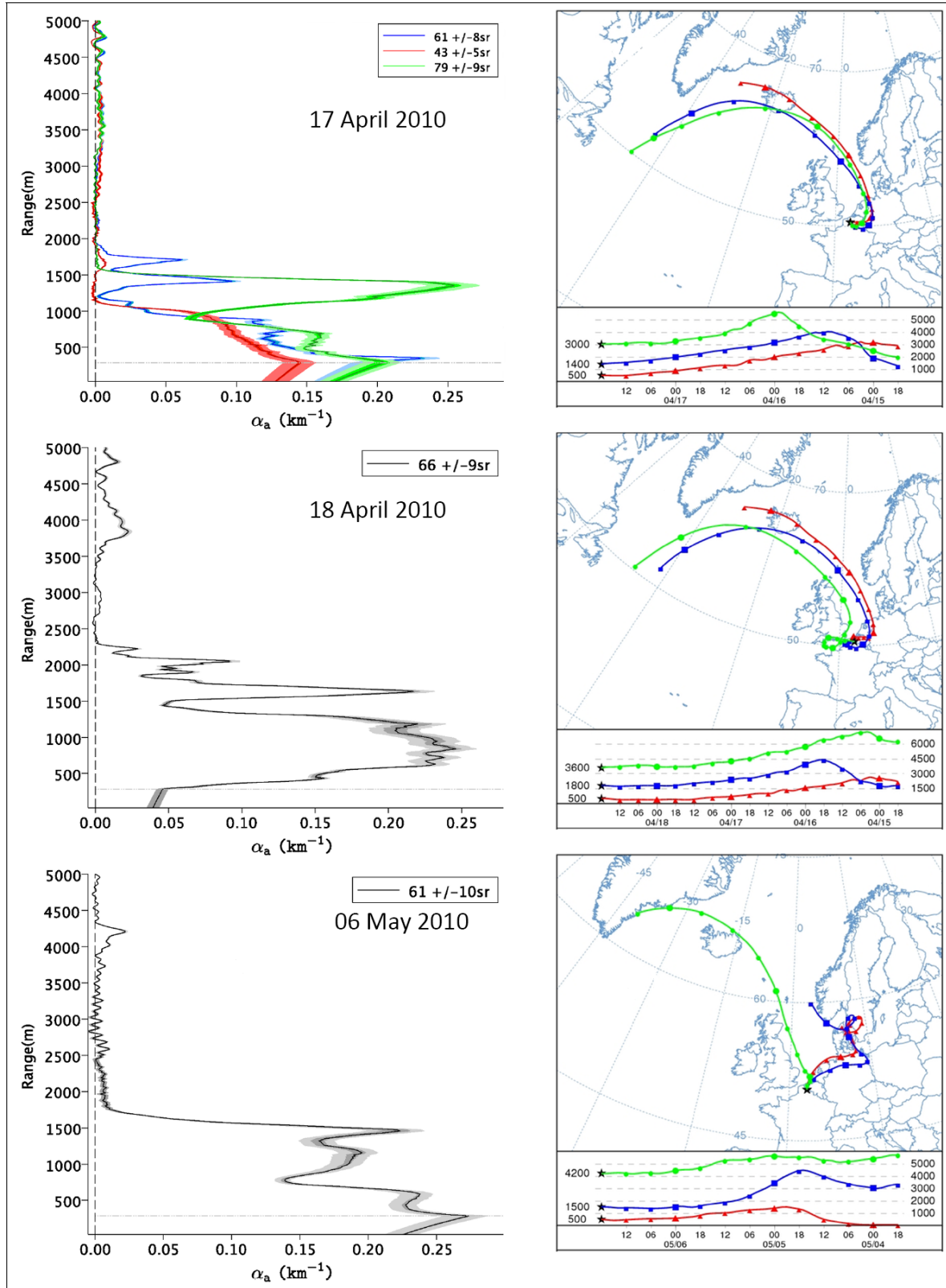


Figura 4.12 – Profile de extincție, valori $S_{a,BL}$ (stânga) și retro-trajectoriile corespunzătoare (dreapta) pentru datele de 17, 18 aprilie și 6 mai

Figura 4.12 arată că în toate situațiile, straturile unice sau multiple detectate aparțin unor mase de aer care vin din regiunea Islandei.

Pentru a determina riscul asociat prezenței de particule de cenușă în atmosferă, este necesară o estimare a masei de cenușă vulcanică pe unitatea de volum, C_a . Această valoare și incertitudinea asociată sunt relevante pentru evaluarea riscului pentru motoarele aeronavelor.

A fost calculată masa de particule pe unitatea de volum C_a pentru maximul distribuției granulometrice și la altitudinea la care σ_{ext} are valoarea maximă. Acești parametri sunt considerați reprezentativi în analiza actuală pentru cenușa vulcanică detectată în aprilie și mai 2010.

Datorită faptului că valoarea coeficientului de extincție depinde de valoarea raportului LIDAR al cenușii, valorile minime și maxime posibile ale concentrației de cenușă au fost calculate pentru $S_{a,cenușa}$ ($S_{a,cenușa} \pm 12$)sr (Mortier et al., 2012). Acesta este un pas esențial pentru ca rezultatele să poată fi utilizate în cadrul unei analize de risc.

Rezultatele sunt rezumate în tabelul 4.1:

Tabelul 4.1 - Principalele caracteristici ale stratului de cenușă vulcanică detectat la Lille, în aprilie-mai 2010

Date	Time (UTC)	Altitude (m)	τ_{ash}/τ	σ_{ext} (max) (1/km)	C_a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Min-Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
17/04	06:52	1410	0.028/0.18	0.091-0.103	115	60-170
	11:57	1665	0.007/0.13	0.007-0.008	10	5-15
	18:58	1350	0.10/0.25	0.236-0.272	300	150-450
18/04	06:46	1495	0.16/0.36	0.29-0.33	360	180-540
	20:46	1640	0.08/0.30	0.20-0.23	260	130-390
06/05	18:21	4200	0.006/0.34	0.020-0.023	25	10-40
14/05	09:55	2760	0.07/0.20	0.20-0.22	240	120-360
15/05	06:45	2890	0.07/0.40	0.17-0.20	220	110-330
18/05	11:25	3260	0.08/0.23	0.13-0.14	160	80-240
	18:05	2775	0.13/0.29	0.14-0.15	170	85-255
19/05	07:25	2655	0.04/0.11	0.074-0.082	90	45-135
	12:05	2455	0.04/0.13	0.065-0.07	75	40-110
	18:05	2295	0.03/0.14	0.058-0.063	70	35-105
	20:05	1890	0.06/0.14	0.08-0.09	100	50-150
20/05	05h05	1960	0.08/0.16	0.15-0.16	180	90-270

Rezultatele arată că cele mai mari concentrații au fost detectate în aprilie, ajungând la valori de $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ulterior valorile scăzând, iar după 20 mai 2010 nu a fost detectată cenușă ca urmare a scăderii semnificative a activității eruptive.

Maximul de concentrație a avut loc pe timp de noapte pe data de 17 aprilie 2010 (ora 23:00 UTC). O analiză semi-calitativă pe baza datelor LIDAR măsurate arată că aproape de miezul nopții s-au detectat concentrații cel puțin duble față de cele măsurate în timpul zilei.

În luna mai 2010, valori ridicate ale concentrației de cenușă au fost detectate mai multe ori în timpul nopții (14, 15, 18 și 19 aprilie). Datele LIDAR din 14 și 15 mai arată concentrații mari de cenușă dimineața devreme, respectiv după-amiaza, dar din cauza condițiilor meteo, date AERONET au fost disponibile doar pentru 14 mai.

Valorile concentrației au înregistrat variații semnificative, o estimare a acestor concentrații rezultând în **valori cuprinse între 10 și 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valori mult mai mici decât limita de hazard pentru traficul aerian de 2 mg/m^3** (VAAC, 2012).

4.3. Optimizarea detecției de particule periculoase în cadrul rețelei RADO

Această secțiune a tezei propune o metodologie semi-cantitativă pentru evaluarea unei intruziuni de particule periculoase. Această metodologie se bazează pe trei componente majore:

- identificarea unei intruziuni de particule (calitativă)
- caracterizarea proprietăților optice și microfizice, în scopul de a determina dacă intruziunea reprezintă sau nu un hazard. (semi-cantitativă)

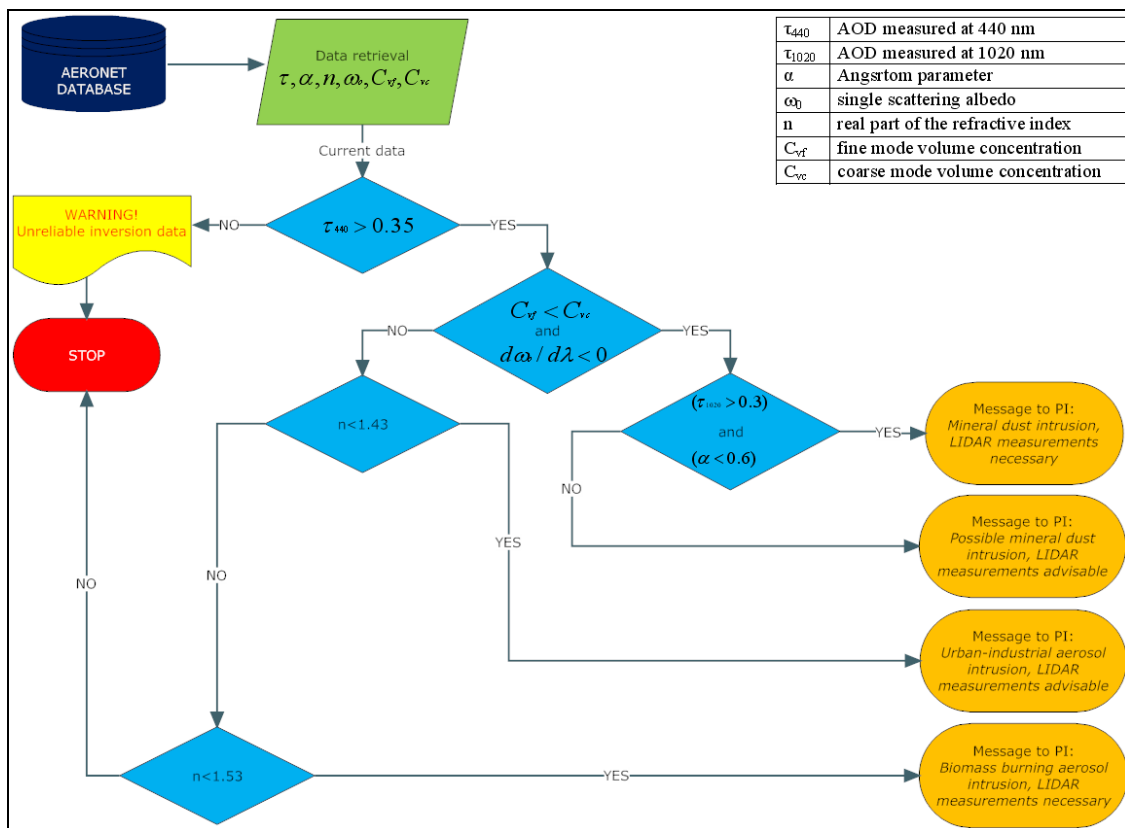


Figura 4.17 - Algoritm pentru caracterizarea particulelor periculoase și optimizarea măsurătorilor LIDAR non-continue

- determinarea concentrației de particule periculoase (cantitativă) a cărei necesitate a fost din nou demonstrată în urma erupției vulcanului Grimsvoetn din Islanda (Belegante, 2011, Unga et al., 2012)

5. Evaluarea riscurilor tehnologice și a impactului folosind tehnici optoelectronice pentru monitorizarea atmosferei

Acest capitol este dedicat evaluării riscurilor și a impactului asociat instalațiilor mari de ardere (IMA) folosind tehnici optoelectronice de monitorizare a mediului, în combinație cu software dedicat pentru simulări de dispersie.

5.1. Instalațiile mari de ardere (IMA)

Din punct de vedere statistic, instalațiile mari de ardere sunt sursa principală de poluare cu dioxid de sulf (aproximativ 67%), oxizi de azot (aproximativ 25%), fiind de asemenea responsabile pentru producerea de ploii acide, distrugerea solului și a vegetației, precum și pentru afectarea sănătății umane.

Directiva 2001/80/CE definește Instalațiile Mari de Ardere ca și un aparat mecanic ce oxidează combustibilii pentru a utiliza căldura astfel generată, cu o putere instalată egală sau mai mare de 50 MW, indiferent de tipul de combustibil folosit (lichid, gazos sau solid).

Scopul directivei este de a limita cantitățile de dioxid de sulf, oxizi de azot și de praf emise de instalațiile mari de ardere.

5.2. Dioxidul de sulf (SO₂). Caracterizare și proprietăți periculoase.

5.2.1. Caracterizare

Valoarea emisiilor antropice de sulf în atmosferă este de ~ 80 Tg/an, depășind aportul surselor naturale. Emisiile antropice de sulf sunt compuse aproape în întregime din emisiile de SO₂ generate de arderea cărbunelui și topirea minereurilor bogate în sulf (Wallace și Hobbs, 2006). Cele trei studii de caz prezentate în acest capitol se concentrează exact pe aceste surse, două pe centrale electrice pe bază de cărbune și unul pe industria metalurgică.

În ceea ce privește procesele de eliminare a dioxidului de sulf din atmosferă, principalele procese sunt depunerea umedă și uscată. Aproximativ 65% din SO₂ este oxidat în continuare la SO₄²⁻, restul fiind eliminat din atmosferă prin depunere uscată.

5.2.2. Proprietăți periculoase

În ceea ce privește hazardurile asociate, dioxidul de sulf este un gaz incolor, neinflamabil, cu un miros înțepător și iritant. Este clasificat ca substanță periculoasă cu următoarele fraze de risc (frază R): R23, R34, R50 și fraze de securitate (frazele S): (S1/2, S9, S26, 36/37/39, și S45). Acesta

este de asemenea clasificat în conformitate cu Directiva pentru substanțe periculoase (Directiva 67/548/CEE) ca fiind toxic (T): ☠️, cu o doză letală de expunere la 30 minute (LD_{50}) de 3000 ppm pentru șoareci și cu o valoare a IDLH (imediat periculoase pentru viață și sănătate), de 100 ppm (NIOSH, 2012).

Prezența SO_2 în atmosferă are efecte negative asupra mediului și sănătății umane, rezultând în iritarea tractului respirator în cazul unor concentrații scăzute și spasme toracice în caz de concentrații mai ridicate (Lăzăroiu, 2005). Studiile au arătat că expunerea la SO_2 poate duce la perturbări în metabolismul zaharurilor și a altor procese enzimatice (Mihăilescu, 1975).

Emisiile de SO_2 pot avea un efect local, dar pot face și obiectul proceselor de transport și depunere pe distanțe lungi, prin aderarea la particulele de praf și aerosoli, sporind astfel impactul negativ al acestora.

5.3. Modelarea și monitorizarea emisiilor de SO_2 asociate cu instalațiile mari de ardere

Simulările de dispersie pentru toate cele trei studii de caz au fost efectuate cu ajutorul software-ului ISC AERMOD View, folosind modelul ISCST3. Modelul ISCST3 (Industrial Source Complex - Short Term) este un model gaussian de dispersie a penei de aer, care prezice concentrația aerului în jurul sursei punctiforme sau sursei de suprafață, utilizând ratele de emisie (fluxul) și condițiile meteorologice ca date de intrare. ISCST3 este aplicabil la estimarea impactului ambiental de la surse punctiforme, de suprafață și de volum, pe o distanță de aproximativ 50 de kilometri (ISC AERMOD View, 2011).

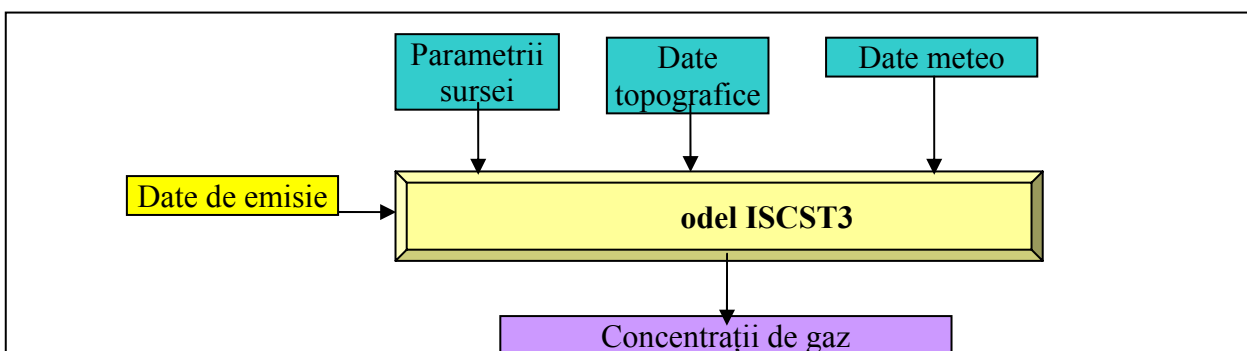


Figura 5.4 – Model pentru determinarea concentrațiilor nominale de gaze
(Adaptat de la Xu et al, 2008.)

În secțiunea următoare sunt prezentate rezultatele pentru 3 studii de caz:

Studiu de caz 1. Modelarea și monitorizarea emisiilor de SO₂ de la termocentrala Mintia

Acest studiu de caz a fost selectat pentru a descrie procesul tehnologic al unei IMA și a prezenta parametri de intrare utilizați pentru simulările de dispersie ale SO₂: parametrii sursei, datele meteorologice și datele topografice. Aceste aspecte nu vor fi detaliate pentru următoarele studii de caz, principiul fiind același, accentul fiind pus pe rezultatele obținute, precum și pe particularitățile fiecărui caz în parte.

Studiu de caz 2. Modelarea și monitorizarea emisiilor de SO₂ de la termocentrala Rovinari

Acest studiu de caz se concentrează pe datele colectate în cadrul campaniei de măsurători din 2010 de la Rovinari, organizată de Observatorul Atmosferic 3D Român. Accentul este pus pe determinarea ratei de emisie a sursei folosind camere UV, urmate de simulări de dispersie cu rata de emisie calculată și o comparație cu măsurători ale emisiilor de SO₂ efectuate cu un analizor de SO₂ HORIBA APSA-370.

Studiu de caz 3. Modelarea și monitorizarea emisiilor de SO₂ de la o instalație metalurgică

Acest studiu de caz a fost selectat datorită posibilității de a compara impactul emisiilor de SO₂ înainte și după instalarea unei tehnologii de desulfurare. Acest studiu de caz aduce dovezi puternice în sprijinul implementării BAT-urilor (best available technologies) prin utilizarea modelării cuplate cu tehnici optoelectronice de monitorizare (Mihăiescu et al., 2011).

5.3.1 Studiu de caz 1. Modelarea și monitorizarea emisiilor de SO₂ de la termocentrala Mintia

Rezultatele calculate de modelul de dispersie ISCST3 arată un impact semnificativ al SO₂ emis de termocentrala Mintia, în unele zone maximele depășind limitele legale impuse de OUG 592/2002 (350 μg/m³ - limita orară precum și 125 μg/m³ - limita zilnică).

Prin suprapunerea hărții de concentrații cu harta geo-topografică, se poate observa că pana de SO₂ ajunge la distanțe considerabile pe o rază de 15-20 km de la sursă. Datorită înălțimii coșului (220 m) și a topografiei complexe (Valea Mureșului, dealuri înalte în apropiere), poluantul tinde să se acumuleze în aceste zone, în special în cazul condițiilor meteorologice nefavorabile pentru dispersie (inversiuni termice, stabilitate atmosferică ridicată). Pe hărțile de concentrație se pot observa concentrațiile maxime calculate pentru dealurile din imediata vecinătate a termocentralei, care sunt la aproximativ același nivel cu coșurile (Ajtai et al., 2012c).

Modelul ISCST3 calculează două tipuri de rezultate:

- pana de dispersie pentru prima concentrație maximă orară

- pana de dispersie pentru prima concentrație maximă zilnică

Harta de dispersie prezentată (Figura 5.6) reprezintă primul maxim de concentrație orară de $3621 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{SO}_2$ în data de 21.09.2010, la ora 08:00 PM.

Se poate observa că limita maximă orară de concentrație ($350 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{SO}_2$) este depășită cu un ordin de mărime în zona din veninătatea termocentralei. Această zonă este caracterizată prin dealuri cu altitudini între 300 și 680 m. Sursa de emisie este la aproximativ 410 m, la o altitudine mai mică decât topografia înconjurătoare, explicând prin urmare prezența unor concentrații mari în aceste zone.

Datorită circulației locale a maselor de aer influențate de topografia locală complexă reprezentată de Valea Mureșului și dealurile din jur, în Valea Mureșului există condiții ce favorizează dispersia, rezultând în concentrații mai scăzute de SO_2 de-a lungul acestei văi. Aceste ipoteze sunt valabile pentru condiții meteorologice normale, dar pot varia semnificativ în cazul fenomenelor de inversiune termică sau în condiții meteo extrem de stabile.

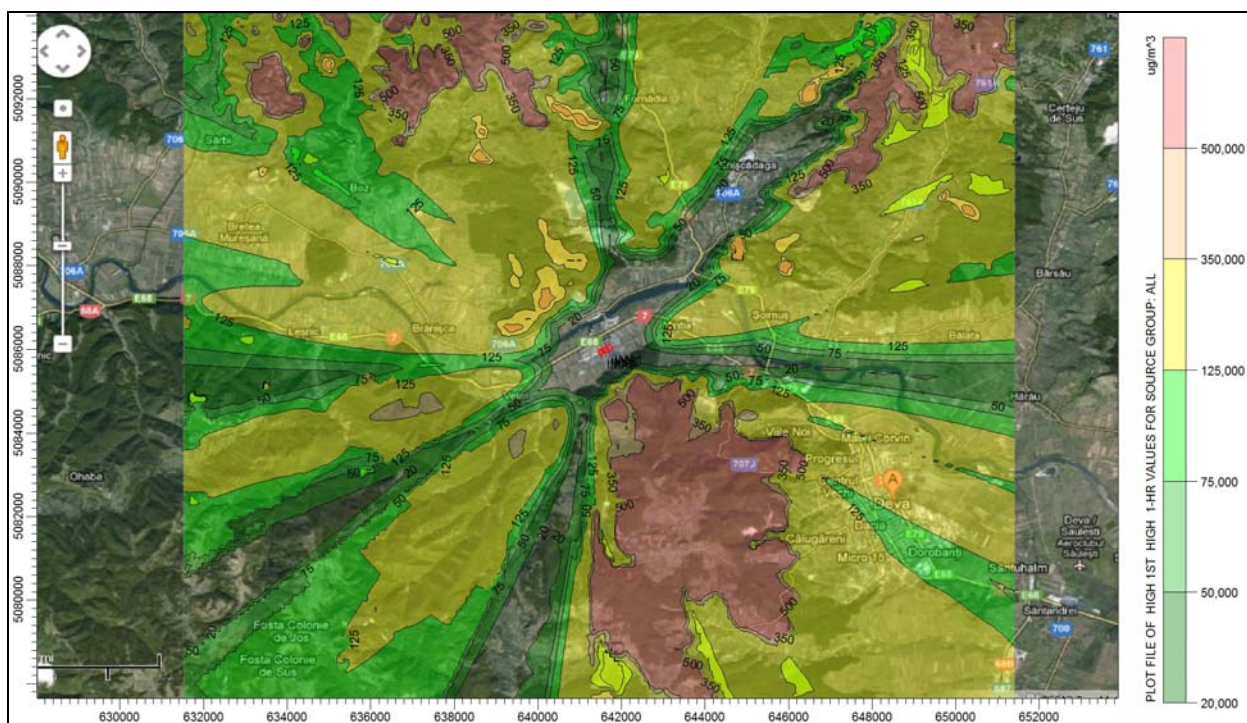


Figura 5.6 - Primul maxim de concentrație orară - $3621 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{SO}_2$

În cazul maximelor zilnice, se poate observa din nou diferența de un ordin de mărime între concentrația calculată ($1464 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{SO}_2$ în 16.09.2010) și limita legală de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{SO}_2$. Aceste valori sunt calculate din nou pentru zona înaltă din proximitatea termocentralei. Aceste valori sunt însă mai mici decât maximele orare din cauza proceselor naturale de turbulență care favorizează dispersia.

Maximele orare și zilnice calculate menționate mai sus reprezintă concentrațiile absolute maxime atinse într-un punct de pe hartă. Pentru a stabili o mai bună estimare a impactului asociat termocentralei Mintia, aceleași tipuri de maxime zilnice și orare au fost calculate pentru două puncte-receptor poziționate în locațiile corespunzătoare analizoarelor de SO₂ HD-1 și HD-2 situate în apropierea orașului Deva .

Folosind date de imisie măsurate la stațiile de monitorizare ale Agenției pentru Protecția Mediului Hunedoara HD-1 și HD-2, măsurate cu analizorul HORIBA APSA 370 pe perioada lunii septembrie 2010, se pot observa tendințele și maximele pentru ambele stații. Concentrațiile de SO₂ sunt prezentate ca medii orare pentru întreaga perioadă.

În ceea ce privește stația de monitorizare HD-1, s-au observat trei maxime, toate sub limita zilnică legală de 125 μg/m³, cu o concentrație maximă de 22.24 μg/m³ pe 27 septembrie.

La stația HD-2, analizorul a identificat concentrații care nu depășesc limita zilnică legală de 125 μg/m³ cu o concentrație maximă de 54.07 μg/m³ pe 15 septembrie.

O corelație calitativă poate fi făcută între concentrațiile maxime zilnice calculate și concentrațiile medii zilnice înregistrate la HD-1 și HD-2.

Prin compararea acestor rezultate, pot fi observate perioade de maxim al concentrațiilor în datele de 5-6, 15-17 și 27-28 septembrie 2010.

Inconsecvențele relevate de acest studiu de modelare pot fi atribuite cel mai probabil estimării incorecte a ratei de emisie a sursei și a variabilității temporale a acesteia. Fără a dispune de ratele de emisie exacte, cele mai multe studii de simulare trebuie să folosească o rată de emisie mediată, care poate diferi în mod semnificativ de la situația reală așa cum s-a demonstrat în acest caz. **Se poate concluziona faptul că există o nevoie pentru dezvoltarea unei tehnici mai flexibile, independente și mobile pentru determinarea ratei de emisie a dioxidului de sulf.** Următorul studiu de caz propune o metodă pentru eliminarea acestor neajunsuri.

5.3.2. Simulări de dispersie de SO₂ folosind rata de emisie derivată din camere UV

Datele din acest studiu de caz au fost colectate în cadrul unei campanii de 2 săptămâni în Rovinari (sud-vestul României) a Observatorului Atmosferic 3D Român (RADO, 2012). Această zonă a fost aleasă pentru că este una dintre cele mai mari surse de SO₂ antropogen din Europa, lucru confirmat de imagistica satelitară OMI (Figura 5.15).

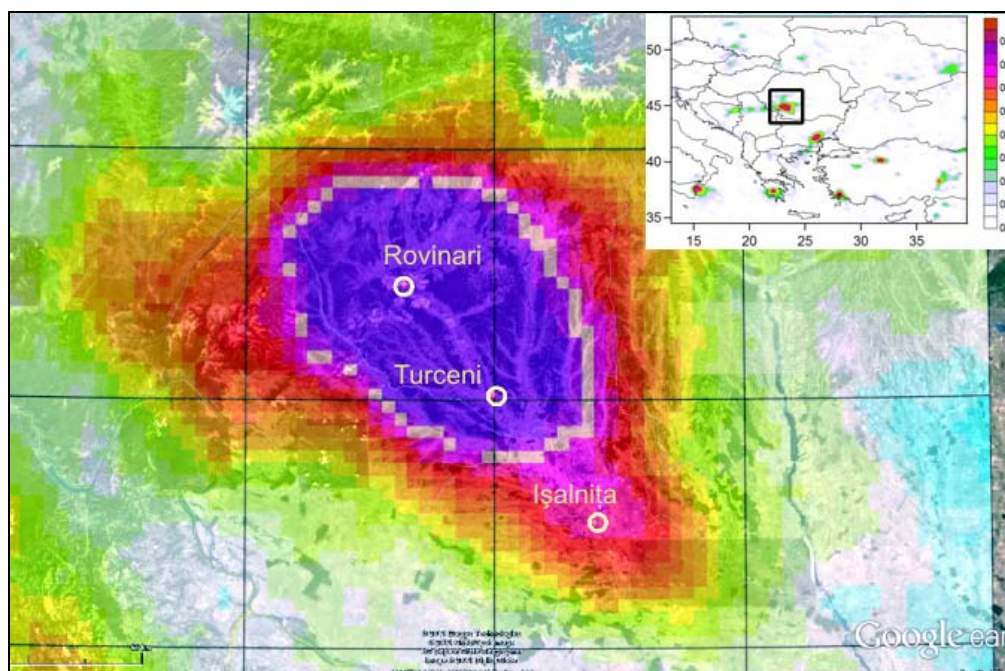


Figura 5.15- Imagistică satelitară OMI, SO₂ în Unități Dobson (DU) 2005 - 2011 (Fioletov et al., 2011)

Pentru a determina nivelul emisiilor de SO₂ la nivelul coșurilor termocentralei, s-a folosit o cameră UV. Ziua aleasă pentru măsurătorile de emisie a fost 13 septembrie 2010, datorită calității datelor obținute și a concentrațiilor mari de emisii indicate de analizorul HORIBA APSA-370 pentru acea zi.

Absorbția aparentă a fost calculată folosind datele de fundal și factorul de calibrare măsurate, rezultând concentrația de SO₂ în ppm*m.

$$AA = - \ln [(IP_{310} / IB_{310}) / (IP_{330} / IB_{330})] \quad (\text{Ec. 5.9})$$

Unde:

AA este absorbția aparentă, IP este imaginea penei cu corecția de dark aplicată pentru filtrele de 310 și 330 nm, IB este imaginea de fundal cu corecția de dark aplicată pentru filtrele de 310 și 330 nm;

Pentru a obține fluxuri, viteza verticală a penei (V_p) a fost extrasă din imagini consecutive, prin analizarea diferenței de altitudine a unei caracteristici clar identificabile a penei. Prin împărțirea celor două imagini una cu cealaltă, se pot obține acești gradienti.

Fluxurile sunt calculate prin integrarea concentrației de-a lungul penei (w) și înmulțind-o cu viteza penei pe verticală (Figura 5.19b):

$$w = \int_{x_0}^{x_1} u(x) dx \quad [\text{gm}^{-1}] \quad (\text{ec.5.10})$$

Coordonata x este determinată de geometria de măsurare, prin corelarea pozițiilor GPS ale camerei UV și a coșului, cu distanța dintre camera UV, coș și înălțimea coșului.

În cazul prezentat, imaginile au fost preluate cu un obiectiv de 50 mm cu un câmp de vedere de 15.15 grade în direcția x, precum și în direcția y. Acest lucru se traduce printr-o dimensiune a pixelilor de aproximativ 50 cm, pentru imaginile obiectelor aflate la 2 km distanță, distanța dintre site-ul campaniei și pana de poluant.

Cum s-a menționat anterior, rata de emisie E (g/s) (figura 5.19c) este obținută prin înmulțirea concentrației integrate de-a lungul penei (w , gm^{-1}) cu viteza vântului (v_p , ms^{-1}):

$$E = m * v_p \quad (\text{Ec. 5.13})$$

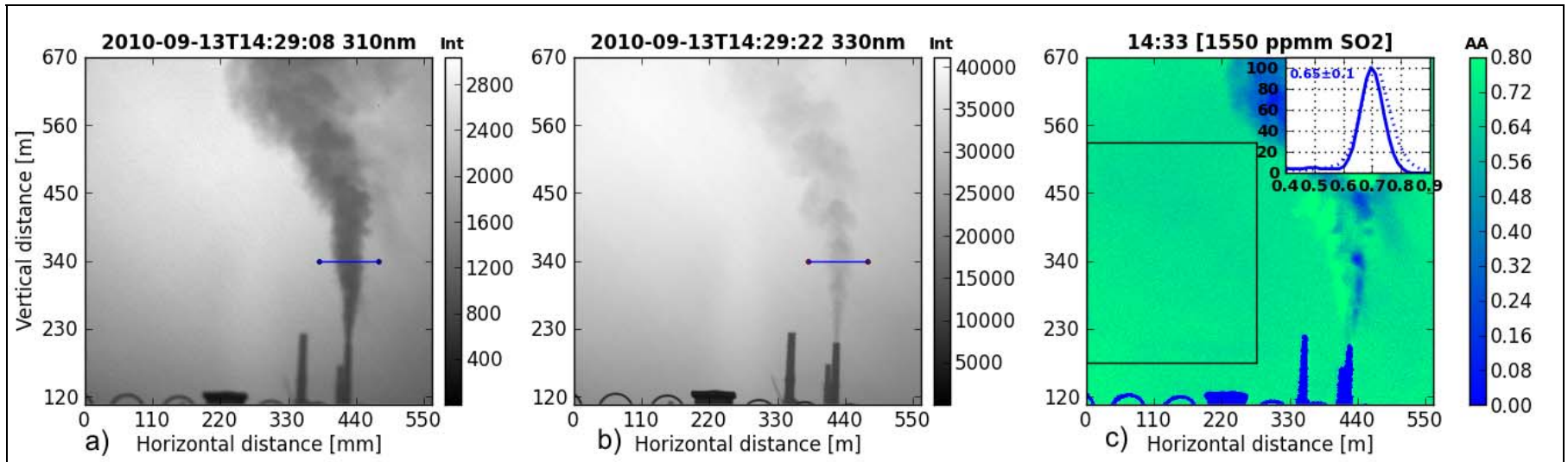


Figura 5.18 - Imagini brute – filtrele 310 (a) și 330 (b) nm (FWHM filtru = 10 nm), corectate pentru dark.

(c) Ilustrarea calculului valorilor de calibrare (Stebel et al., 2012a)

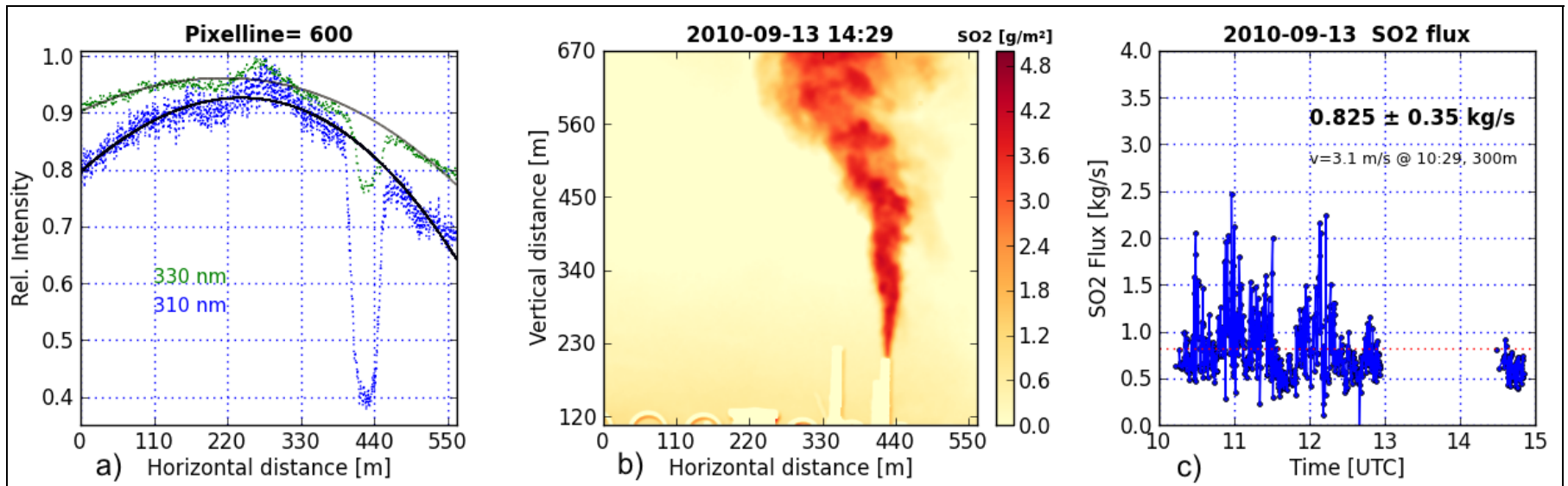


Figura 5.19 - (a) Ilustrarea măsurătorii, (b) absorbția aparentă (g/m^2), (c) viteza verticală a penei (Stebel et al., 2012a)

Ratele de emisie calculate sunt prezentate în tabelul de mai jos pentru 13 septembrie 2010, între 10:12 și 14:51 UTC.

Tabelul 5.8 – Ratele de emisie orare calculate

Data / Oră		Rata de emisie SO ₂ (g/s)
13/09/2010	10:12-11:00 UTC	925 g/s ± 400 g/s
13/09/2010	11:00-12:00 UTC	825 g/s ± 350 g/s
13/09/2010	12:00-12:56 UTC	775 g/s ± 325 g/s
13/09/2010	14:29-14:51 UTC	500 g/s ± 125 g/s
13/09/2010 10:12-14:51 UTC		Rata de emisie medie = 825 g/s ± 350 g/s

Media ratei de emisie măsurate cu camerele UV este de **825 g/s** [475 - 1175 g/s] cu o singură sursă de emisie activă în ziua măsurătorii, valori ce se încadrează în spectrul emisiilor raportate de către termocentrala Mintia cu o rată de emisie medie de **2321 g/s** [1160 - 3243 g/s] pentru ambele surse.

Monitorizarea imisiilor de SO₂ a fost efectuată în cadrul campaniei din Rovinari cu analizorul HORIBA ASPSA-370 la 2.13 km de termocentrala Rovinari.

Rezultatele pentru perioada 4-13 septembrie 2010 sunt prezentate în figura 5.20 (Ajtai et al, 2011b.):

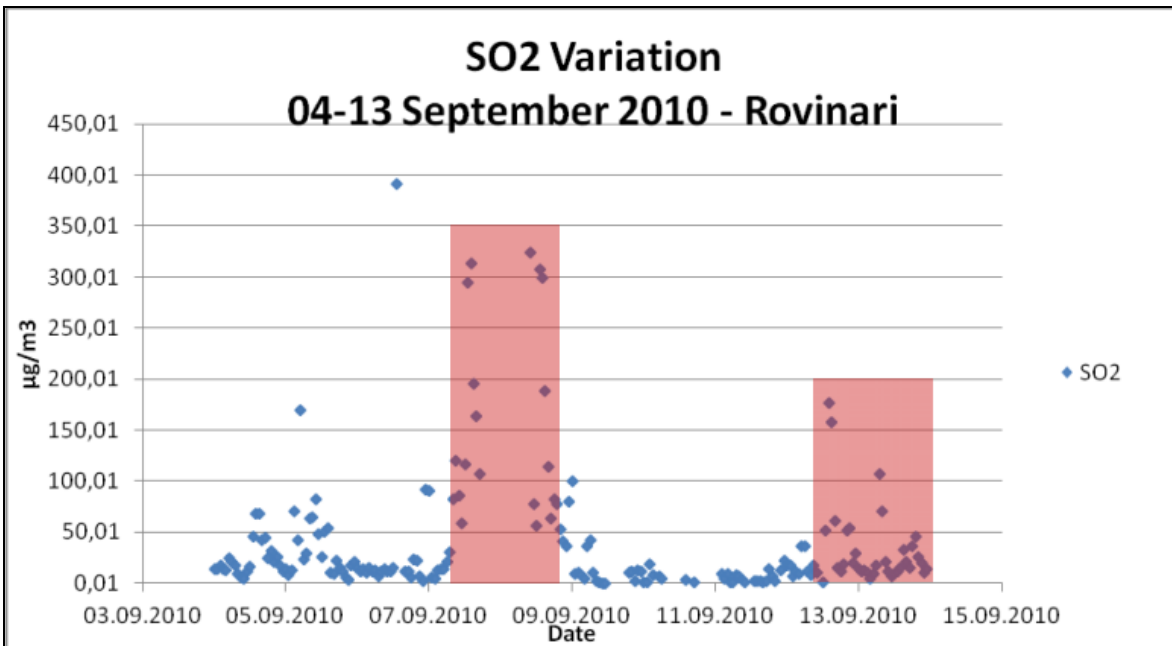


Figura 5.20 – Valori orare ale imisiilor de SO₂ (µg/m³)

Rata de emisie obținută din camerele UV, împreună cu alți parametri, cum ar fi date meteorologice, datele topografice și informații despre sursă reprezintă setul de date de intrare pentru modelarea dispersiei folosind modelul ISCST3 descris în studiile de caz anterioare.

După efectuarea simulărilor de dispersie cu datele de intrare menționate mai sus, a rezultat următoarea pană de poluant (Figura 5.21). Valorile orare nu depășesc limita legală de $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Rezultatele includ de asemenea concentrațiile rezultate în punctul în care a fost localizat analizorul HORIBA APSA-370 (670623.00, 4974075.00).

Simulările au fost efectuate folosind următoarele rate de emisie:

- rata de emisie calculată (figura 5.21), rezultând valori ale concentrației de SO_2 la locația companiei de $22.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- rata de emisie calculată cu eroarea maximă adăugată, rezultând valori ale concentrației de SO_2 la locația companiei de $32.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- rata de emisie calculată cu eroarea maximă scăzută, rezultând valori ale concentrației de SO_2 la locația companiei de $12.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$

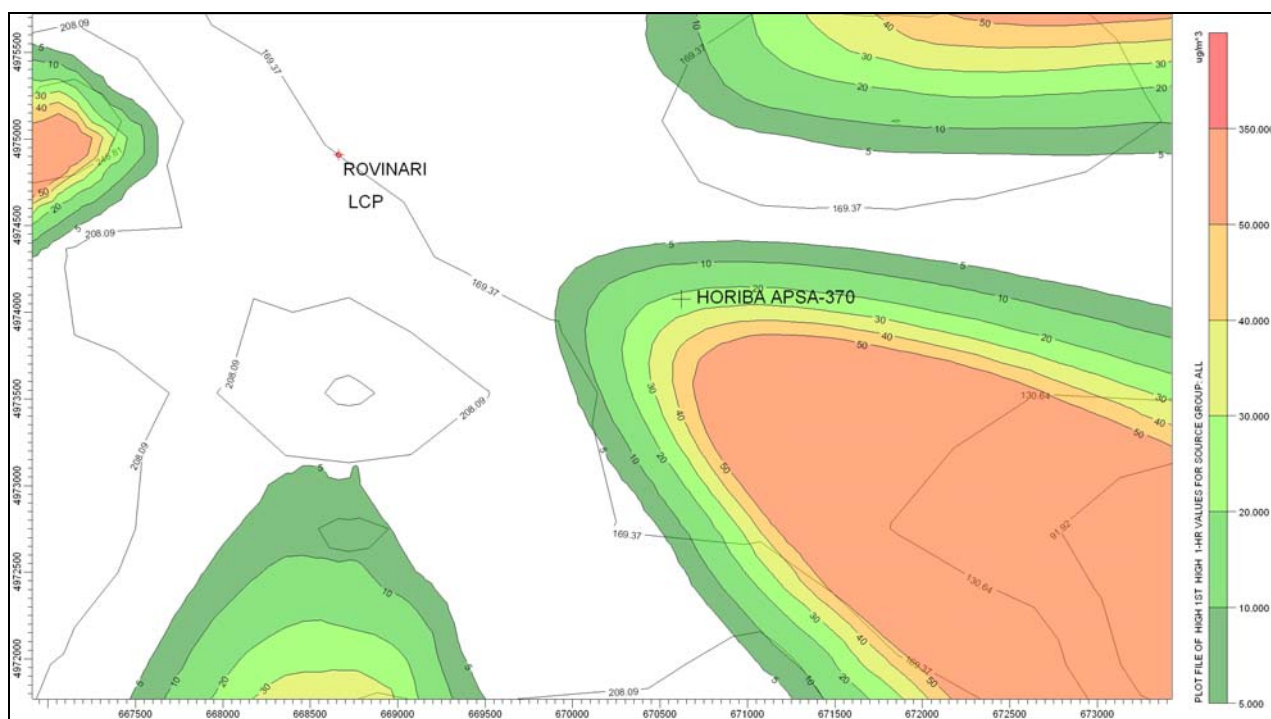


Figura 5.21 - Maximul concentrației orare ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) înregistrat pentru 13.09.2010
utilizând rata cu emisie calculată

Rezultatele studiului comparativ între concentrațiile de imisii măsurate și simulate sunt prezentate în tabelul 5.10:

Tabelul 5.10 - Comparație între valorile simulate și măsurate la locația campaniei din Rovinari cu analizorul HORIBA APSA-370

Data/Ora	concentrația măsurată cu analizorul HORIBA SO ₂	Concentrațiile calculate pentru receptorul de la locația analizorului HORIBA APSA-370 SO ₂		
		rata de emisie calculată	rata de emisie maximă	rata de emisie minimă
13.09.2010 10:00 – 11:00	10.69 μg/m³	22.74 μg/m³	32.58 μg/m³	12.90 μg/m³

În concluzie, putem afirma că rezultatele simulărilor de dispersie se corelează bine cu date măsurate cu analizorul HORIBA ASPA-370. Această corelație reprezintă un pas important în validarea camerelor UV pentru determinarea ratelor de emisii industriale și demonstrează validitatea abordării bazate pe tehnici optoelectronice (camere UV - analizor de SO₂) combinate cu software de modelare.

5.3.3. Studiu de caz 3. Modelarea și monitorizarea emisiilor de SO₂ de la o uzină metalurgică înainte și după instalarea unui sistem de desulfurare

Acest studiu de caz a fost selectat pentru a demonstra un aspect important în managementul emisiilor industriale de SO₂, în ceea ce privește punerea în aplicare a celor mai bune tehnici disponibile (BAT) pentru reducerea impactului asociat cu emisiile mai sus menționate. Studiul de caz se concentrează asupra demonstrării reducerii impactului emisiilor de SO₂ de la o uzină metalurgică prin efectuarea simulărilor de dispersie, analiza imisiilor și a conformității cu legislația națională înainte și după introducerea unui sistem de desulfurare.

Rezultatele simulărilor în ceea ce privește dispersia dioxidului de sulf înainte de instalarea sistemului de desulfurare arată maxime de concentrație a imisiilor la un nivel mult mai mare decât limitele stabilite de OUG nr. 592/2002 pentru protecția sănătății umane. Concentrațiile maxime sunt prezentate în tabelul 5.11 pentru medii orare de 1, 3 și 24 de ore.

Tabelul 5.11 - concentrațiile maxime imisiilor obținute înainte de desulfurare

	Concentrația maximă [μg/m ³]	Valoarea limită legală conform (OUG 592/2002) [μg/m ³]
Mediere 1h	2880	350
Mediere 3h	1136	125
Mediere 24h	337	20

Aceste concentrații maxime au fost obținute în condiții stabile (clasa 6 Pasquill). În figura 5.24 sunt reprezentate cu roșu și portocaliu zonele în care concentrațiile sunt mai mari decât limita legală pentru o oră ($C > 350 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

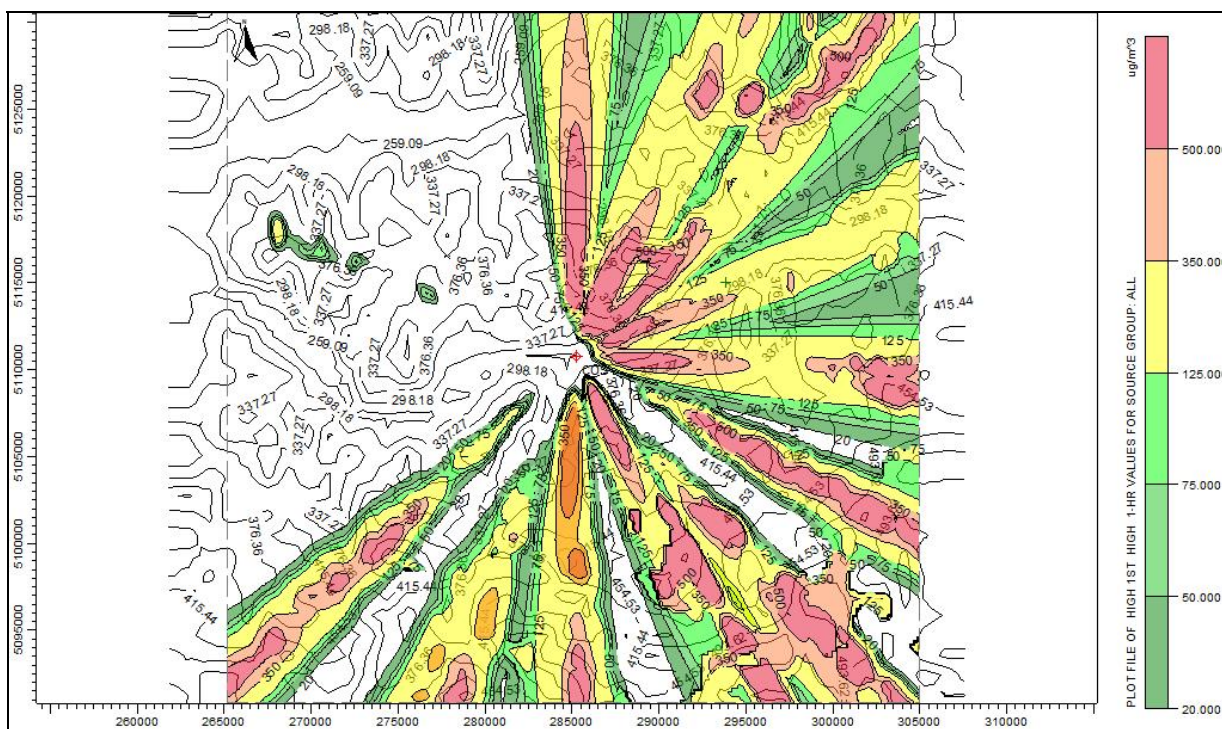


Figura 5.24 - Concentrațiile maxime orare (mediere 1 oră) obținute înainte de instalarea sistemului de desulfurare

Rezultatele simulării au fost corelate calitativ cu datele de concentrație ale imisiilor măsurate la un analizor punctual automat HORIBA APSA-370 situat la 8 km de sursa de emisie. Concentrația obținută prin simulare pentru punctul receptorului de monitorizare este de $253 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Aceasta reprezintă concentrația maximă calculată pentru o perioadă de mediere de o oră.

Prin compararea rezultatelor simulării cu cele măsurate se poate observa că valorile au același ordin de mărime, dar rezultatele simulării arată valori ușor mai scăzute.

Rezultatele simulării în ceea ce privește dispersia SO_2 după instalarea sistemului de desulfurare arată un maxim al concentrației imisiilor la nivelul solului de cca. 20 de ori mai mic decât limitele stabilite prin OUG Nr 592/2002 pentru protecția sănătății umane. Aceste concentrații sunt prezentate în tabelul 5.13:

Tabelul 5.13 - Concentrațiile maxime ale emisiilor obținute în urma instalării procesului de desulfurare

	Concentrația maximă [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Valoarea limită legală conform (OUG 592/2002) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Mediere 1h	16	350
Mediere 3h	6	125
Mediere 24h	1	20

În figura 5.28 sunt reprezentate concentrațiile emisiilor după instalarea sistemului de desulfurare.

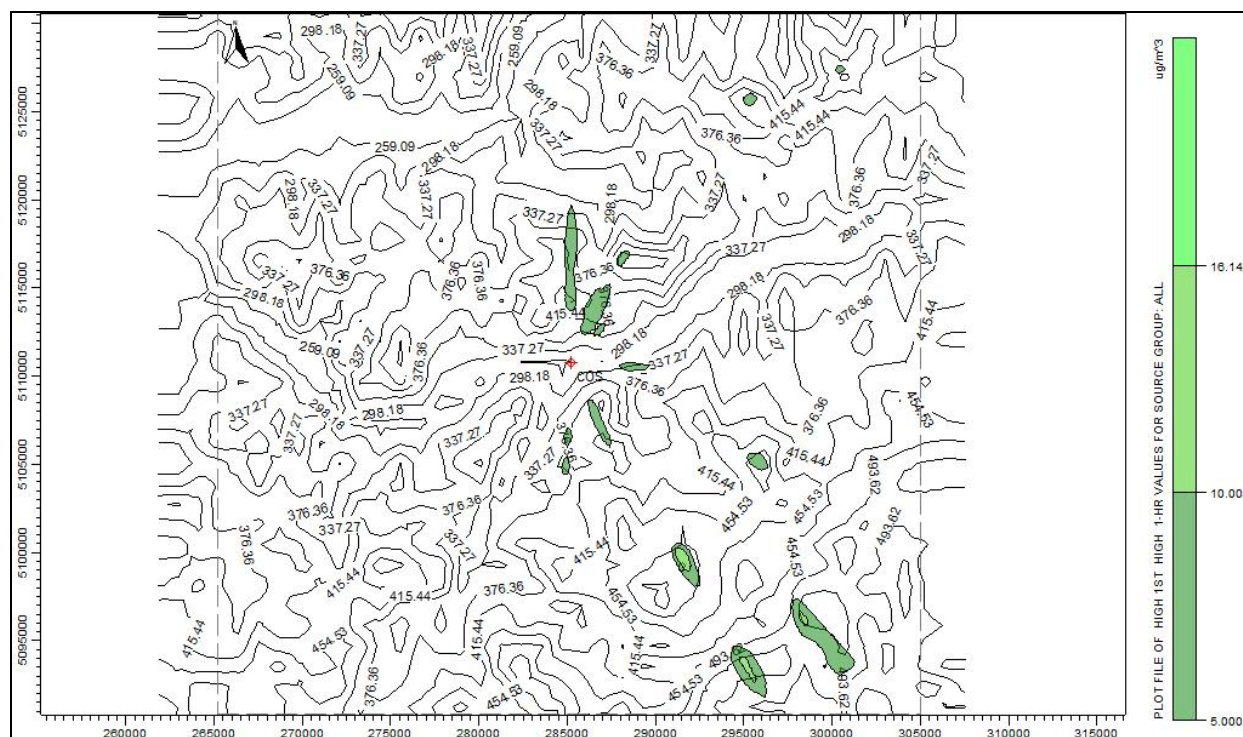


Figura 5.28 - Concentrațiile maxime orare (mediere 1 oră) obținute după instalarea sistemului de desulfurare

Rezultatele simulărilor obținute pentru situația de înainte și după instalarea sistemului de desulfurare au fost comparate cu datele de monitorizare punctuală, rezultând o bună corelație calitativă (Ajtai et al., 2012a). Simulările efectuate pentru condițiile de după instalarea sistemului de desulfurare arată o reducere semnificativă a concentrațiilor de SO_2 la nivelul solului ce se încadrează în intervalul impus de legislația națională și europeană.

Se poate concluziona că instalarea sistemului de desulfurare a redus emisiile și imisiile de SO_2 în mod semnificativ, iar valorile obținute sunt mult sub limitele impuse de legislația națională și a UE.

5.4. Strategie inovativă pentru evaluarea impactului emisiilor de SO₂ asociate cu IMA

Acest capitol propune o strategie inovativă pentru evaluarea riscurilor și a impactului asociat poluanților atmosferici emiși de instalațiile mari de ardere. Această strategie se bazează pe o metodologie ce folosește sisteme optoelectronice, mai precis, camere UV și analizoare de gaze cu fluorescență-UV, în strânsă legătură cu modelări de dispersie descrise în cele trei studii de caz detaliate anterior (Figura 5.29).

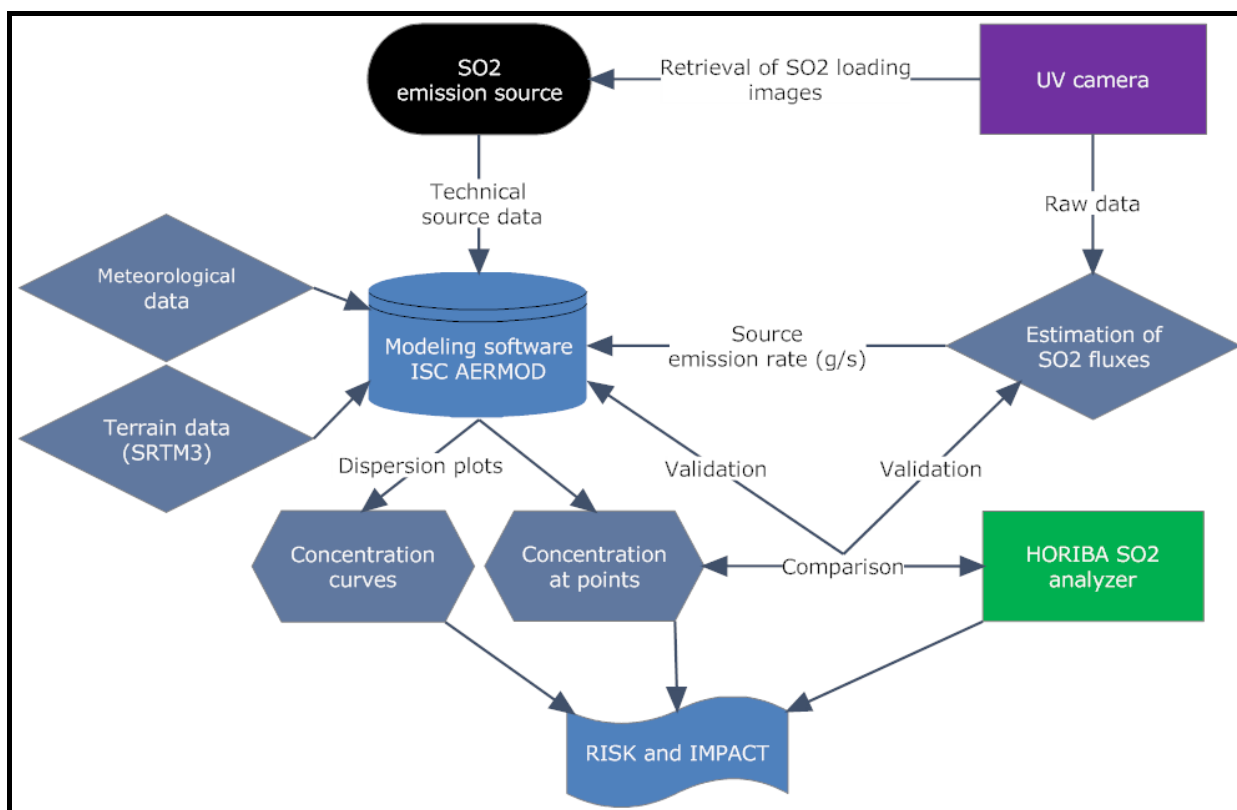


Figura 5.29 - Metodologia pentru evaluarea riscurilor și a impactului bazată pe tehnici optoelectronice de monitorizare și instrumente de modelare

Această sinergie dintre monitorizarea punctuală, determinarea ratei de emisie cu camere UV, completate de rezultatele de modelare reprezintă un potențial unic pentru studii atmosferice avansate și realiste de evaluare a impactului și a riscurilor.

Strategia pentru evaluarea riscurilor și a impactului asociat poluanților atmosferici emiși de instalațiile mari de ardere se bazează pe cooperarea dintre toate sectoarele implicate și angajamentul tuturor părților cointeresate relevante și oferă o oportunitate de a propune politici eficiente de management al instalațiilor mari de ardere. Implicarea unei game largi de părți interesate este esențială pentru dezvoltarea unei strategii de evaluare a impactului și riscului atmosferic. Următoarele grupuri de părți interesate vor avea un rol important în dezvoltarea acestei strategii (Figura 5.30): experți în calitatea aerului; experți în domeniul evaluării riscurilor și a impactului; agenții naționale guvernamentale și organisme legislative, precum și autorități

locale; industrie; ONG-uri; cei ale căror interese sunt afectate în mod direct de calitatea aerului; comunitatea locală.

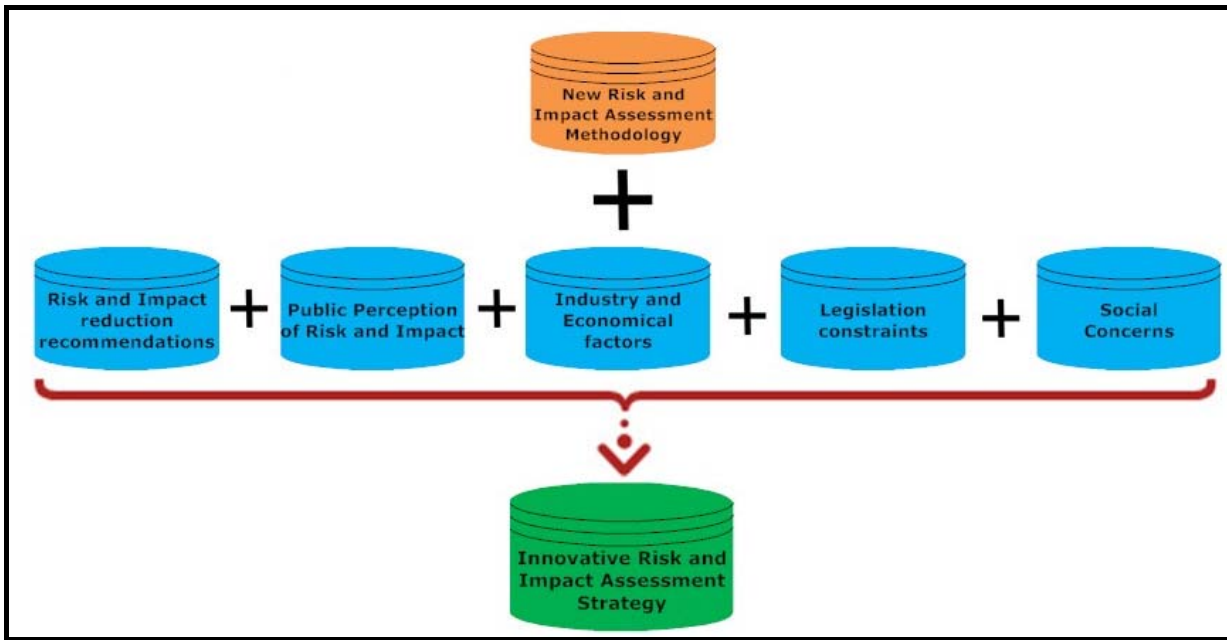


Figura 5.30 - Strategie inovativă de evaluare a riscului și a impactului bazată pe tehnici optoelectronice și modelări de dispersie

6. Concluzii finale și contribuții personale

6.1 Concluzii finale

Această teză s-a concentrat pe o problemă majoră în ceea ce privește comunitatea științifică, industria și publicul larg: **calitatea aerului**. În special, aceasta s-a axat pe **hazardurile și riscurile** generate de două tipuri de componente atmosferice: **aerosoli și gaze atmosferice**.

Scopul tezei a fost declarat, după cum urmează: **aplicarea și dezvoltarea de metodologii și tehnici inovatoare pentru o mai bună înțelegere și analiză a hazardurilor naturale și a riscurilor tehnologice folosind tehnici optoelectronice pentru monitorizarea mediului**.

Teza și-a atins scopul printr-o serie de **obiective**:

- prin prezentarea unei fundamentări teoretice privind analiza riscurilor și hazardurilor, atmosfera și tehnicile de monitorizare optoelectronice;
- s-au propus tehnici optoelectronice pentru analiza hazardurilor naturale și tehnologice;
- s-au prezentat studii de caz ce susțin utilizarea tehnicilor optoelectronice selectate pentru analiza hazardurilor și a riscurilor;
- s-au integrat datele obținute prin utilizarea acestor tehnici în procesul de evaluare a riscului și în dezvoltarea de strategii de reducere a riscului.

Au fost selectate pentru analiză două categorii majore de hazarduri:

- hazarduri naturale – detecția și caracterizarea proprietăților periculoase ale **cenușii vulcanice** prin teledetecție activă și pasivă;
- hazarduri tehnologice - monitorizarea și modelarea impactului **emisiilor de SO₂** asociate cu instalațiile mari de ardere.

În identificarea și evaluarea hazardurilor naturale și a riscurilor tehnologice au fost folosite atât tehnici calitative, cât și cantitative. Prin urmare, au fost prezentate o serie de metode calitative și cantitative de evaluare, precum identificarea hazardurilor cu liste de control și considerații teoretice cu privire la instrumentele de modelare.

A fost realizată o descriere a factorului de mediu în cadrul căruia se manifestă hazardurile naturale și tehnologice. Descrierea atmosferei s-a axat pe compoziția sa, mai precis pe aerosoli și pe gazele atmosferice, sursele lor și impactul asupra forcingului radiativ și calitatății aerului.

Având în vedere faptul că în analize s-au folosit tehnici optoelectronice, au fost prezentate conceptele de bază privind transferul radiativ prin atmosferă, cu accent pe procesele de interacțiune a luminii cu particulele, absorbția și împrăștierea. Mai multe tipuri de tehnici optoelectronice de monitorizare ale Observatorului Atmosferic 3D Român au fost prezentate și propuse pentru analiza cenușii vulcanice și a dioxidului de sulf, împreună cu tipurile de date pe care le oferă.

Pentru monitorizarea aerosolilor de cenușă vulcanică s-au folosit tehnici active (LIDAR) și pasive (fotometre solare) de teledetecție.

Pentru a caracteriza un spectru îngust de particule periculoase cum ar fi cenușa vulcanică, s-au prezentat proprietățile optice și microfizice ale mai multor clase de aerosoli: aerosoli urban-industriali, aerosoli rezultați în urma arderii de biomasă și praf mineral (inclusiv cenușă vulcanică).

Parametrii optici mășurați cu fotometrele solare s-au dovedit a fi foarte utili în caracterizarea proprietăților aerosolilor, dar din cauza unei limitări a fotometrului solar, faptul că acesta oferă date integrate pe întreaga coloană atmosferică, nu există date disponibile cu privire la locația unui strat de aerosoli în coloana atmosferică.

Sistemele LIDAR pot depăși această limitare și prin urmare, o abordare combinată LIDAR / fotometru solar a fost utilizată pentru a caracteriza intruziunea de cenușă vulcanică prezentată în studiul de caz.

Studiul de caz privind hazardurile naturale s-a axat pe identificarea și caracterizarea unei intruziuni de cenușă vulcanică în perioada aprilie-mai 2010 în urma erupției vulcanului islandez Eyjafjallajökull. Acest studiu de caz a prezentat intruziuni de cenușă vulcanică în mai multe zile din aprilie și mai 2010, straturile atmosferice provenind din Islanda, afirmație susținută și de analiza retrotraietoriilor.

Din analiza datelor preluate de AERONET au fost trase următoarele concluzii:

- distribuția granulometrică are un mod pronunțat grosier (particule cu rază de 1.5-2 microni);
- partea reală a indicelui de refracție a variat între 1.46 și 1.55;

Pentru a determina concentrația de cenușă vulcanică, un aspect-cheie în determinarea riscului asociat particulelor periculoase, au fost utilizate măsurători LIDAR.

Valorile **concentrației** au fost cuprinse între **10 și 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cu mult sub limita de hazard pentru traficul aerian de 2 mg/m^3 .**

Folosind tehnicile demonstrate în studiul de caz prezentat, o metodologie semi-cantitativă de evaluare a intruziunilor de particule periculoase a fost dezvoltată pentru a fi aplicată în cadrul Observatorului Atmosferic 3D Român. **Studiul de caz demonstrează faptul că prin utilizarea teledetecției active și pasive este posibil să se identifice și să se caracterizeze o intruziune de particule periculoase și în final să se determine riscul asociat cu acestea.**

Pentru monitorizarea emisiilor și imisiilor de dioxid de sulf s-a folosit o combinație de camere UV (NILU Envicam-1), analizoare de gaze (HORIBA APSA-370) și modele de dispersie (AERMOD - ISCST3).

Studiul de caz privind modelarea și monitorizarea emisiilor de SO_2 de la termocentrala Mintia a descris procesul tehnologic al unei IMA și parametrii de intrare utilizați în simulările de dispersie ale SO_2 , cum ar fi: parametrii sursei, date meteorologice și date geotopografice. Simulările de dispersie arată **necesitatea implementării tehnicilor de desulfurare (BAT)** pentru toate grupurile generatoare de la termocentrala Mintia. Proximitatea față de orașul

Deva reafirmă această necesitate, rezultatele simulării și a datelor de monitorizare a imisiilor subliniind impactul SO₂ asupra orașului.

Inconsecvențe de modelare relevate de acest studiu de caz pot fi cel mai probabil atribuite estimării incorecte a ratei de emisie și a variației sale temporale. **Se conturează astfel necesitatea dezvoltării unei tehnici mai flexibile, independente și mobile pentru determinarea ratelor de emisie de dioxid de sulf.**

Al doilea studiu de caz abordează această problemă prin **modelarea și monitorizarea emisiilor de SO₂ de la termocentrala Rovinari utilizând o cameră UV pentru determinarea ratei de emisie.**

Rezultatele simulărilor de dispersie ce utilizează rata de emisie derivată din camere UV se corelează bine cu datele măsurate de imisii. Această corelație este un pas important în **validarea camerelor UV pentru determinarea ratelor de emisie ale amplasamentelor industriale** și demonstrează validitatea abordării bazate pe tehnici optoelectronice.

Studiul de caz bazat pe modelarea și monitorizarea emisiilor de SO₂ de la o uzină metalurgică a fost selectat datorită posibilității de a **compara impactul emisiilor de SO₂ înainte și după instalarea unei tehnologii de desulfurare.** Acest studiu de caz aduce dovezi puternice prin utilizarea modelării cuplate cu tehnici optoelectronice că utilizarea celor **mai bune tehnologii disponibile (BAT)** reprezintă un mod foarte eficient de a reduce în mod semnificativ impactul asociat emisiilor de SO₂ din instalațiile mari de ardere.

Datele optoelectronice au fost utilizate în **elaborarea unei noi metodologii de evaluare a riscului și impactului asociat cu IMA.**

Prin corelarea datelor de emisie și de monitorizare continuă in-situ a imisiilor, completate de instrumente de modelare, abordarea prezentată în această teză reprezintă **un pas înainte în direcția certificării tehnicilor optoelectronice de monitorizare a emisiilor poluante antropice și ca un instrument pentru analize eficiente de risc și impact.**

6.2. Contribuții personale

Această teză propune o abordare originală pentru evaluarea hazardurilor și riscurilor, prin integrarea de tehnici optoelectronice pentru monitorizarea atmosferei în procesul de analiză a hazardurilor și riscurilor.

Contribuțiile personale la lucrarea de față sunt incluse în **1 carte publicată, 6 lucrări ISI publicate, 3 lucrări ISI trimise spre publicare, precum și 5 lucrări publicate în volume ale unor conferințe internaționale**, și pot fi rezumate după cum **urmează**:

- sinteză de literatură de specialitate cu privire la hazarduri și riscuri:
 - Török, Z., **Ajtai, N.**, Ozunu, A., (2011b), *Aplicații de calcul pentru evaluarea riscului producerii accidentelor industriale majore ce implică substanțe periculoase*, Editura EFES, Cluj-Napoca, ISBN 978-606-526-078-8;
 - Stezar, I.C., Modoi, O.C., Török, Z., **Ajtai, N.**, Crisan, D.A., Cosara, G.V., Senzaconi, F., Ozunu, A., (2011), *Preliminary investigation and risk assessment of contamination on an industrial site in Maramures County*, Environmental Engineering and Management Journal January 2011, Volume 10/2011, no.1, p. 65-73, ISSN: 1582-9596;
- prezentarea metodelor calitative și cantitative de analiză a hazardurilor și riscurilor:
 - Török Z., **Ajtai, N.**, Turcu, A.T., Ozunu A. (2011c), *Comparative consequence analysis of the BLEVE phenomena in the context on Land Use Planning; Case study: The Feyzin accident, Process Safety and Environmental Protection*, ISSN: 0957-5820, Imprint: ELSEVIER;
 - Török, Z., **Ajtai, N.**, Ozunu, A., Cordoș, E., (2009), *Chemical Risk Area Estimation as a Tool for Efficient Emergency Planning*, Studia Universitatis Babeș-Bolyai Chemia, 2009, ISSN: 1224-7154;
- prezentarea mediului atmosferic și o sinteză a conceptelor de transfer radiativ necesare pentru identificarea și caracterizarea particulelor periculoase;
- sinteză privind sursele majore de aerosoli și foringul radiativ asociat;
- caracterizarea particulelor periculoase în funcție de proprietățile lor optice și microfizice utilizând date din Dubovik et al. 2002;
- Analiza datelor de fotometrie solară (AERONET) din Lille și România:
 - **Ajtai N.**, Ștefănie H., Stoian L.C., Oprea M.G., (2010a), *The volcanic ash and its impact on European air transport industry. A case study on the detection and impact of the the Eyjafjallajökull volcanic ash plume over North-Western Europe between 14th and 21st April 2010*, AES Bioflux 2(1):57-68;
 - Mortier, A., Goloub, P., Podvin, T., Deroo, C., Chaikovsky, A., Blarel, L., Tanre, D. **Ajtai, N.**, *Detection and Characterization of Volcanic Ash Plumes over Lille during Eyjafjöll Volcano Eruption*, submitted for publication in Atmospheric Physics and Chemistry/Atmospheric Measurement Techniques

- Special Issue, Observations and modeling of aerosol and cloud properties for climate studies (ACP/AMT Inter-Journal SI), ISSN: 1867-1381);
- **Ajtai, N.**, Stefanie, H., Ozunu, A., (2012b), *Description of aerosol properties over Cluj Napoca derived from AERONET sun photometric data*, submitted for publication in Environmental Engineering and Management Journal, ISSN: 1582-9596
 - **Ajtai, N.**, Stefanie, H., Costin, D., Ozunu, A., (2010b) *Comparative study of regional aerosols from columnar sunphotometric data in Romania*, "Papers presented at the 4th Workshop on Optoelectronic Techniques for Environmental Monitoring", pp 37, ISSN 2066-8651;
 - Unga, F., Dănilă, M.N., Gurlui, S., Dimitriu, D., **Ajtai, N.**, Timofte, A., Cazacu, M.M., (2012), *Optical parameters characterization of a volcanic ash intrusion over Northern Romania following the Grímsvötn volcano eruption in May 2011*, International Student Conference on Photonics 2012, Book of Abstracts;
- Analiza concentrației de cenușă vulcanică folosind o tehnică combinată fotometru solar/LIDAR pe perioada unui stagiu de cercetare 6 luni la Laboratoire d'Optique Atmosphérique (LOA), Lille, Franța:
 - Mortier, A., Goloub, P., Podvin, T., Deroo, C., Chaikovsky, A., Blarel, L., Tanre, D. **Ajtai, N.**, *Detection and Characterization of Volcanic Ash Plumes over Lille during Eyjafjöll Volcano Eruption*, submitted for publication in Atmospheric Physics and Chemistry/Atmospheric Measurement Techniques Special Issue, Observations and modeling of aerosol and cloud properties for climate studies (ACP/AMT Inter-Journal SI), ISSN: 1867-1381;
 - elaborarea unei metodologii semi-cantitative pentru evaluarea unei intruziuni de particule periculoase bazată pe identificarea unei intruziuni de particule, caracterizarea proprietăților optice și microfizice ale acestora și pe determinarea concentrației de particule periculoase;
 - dezvoltarea unui algoritm pentru caracterizarea particulelor periculoase și optimizarea măsurătorilor LIDAR non-continue;
 - sinteză privind instalațiile mari de ardere;
 - sinteză legislativă privind calitatea aerului, prevenirea și controlul integrat al poluării, instalațiile mari de ardere, limite naționale și europene de emisii, strategiile naționale și europene pentru limitarea poluanților emiși de instalațiile mari de ardere, cele mai bune tehnologii disponibile (BAT):
 - Mihăiescu, R., Mihăiescu, T., **Ajtai, N.**, Török, Z., Ozunu, A., (2011), *Air quality modelling as a tool used in selecting technological alternatives for developing a new abrasive facility*, AES Bioflux 3(2):123-128, Online ISSN 2065-7647, Printed ISSN 2066-7620;
 - sinteză privind dioxidul de sulf pe baza proprietăților fizico-chimice și periculoase (frazele de risc și de securitate), prezentarea surselor, și a "hot-spoturi"lor;

- colectarea datelor în cadrul campaniei 2010 din Rovinari folosind camere UV și analizoare de SO₂ HORIBA APSA-370:
- analiza datelor colectate cu HORIBA APSA-370 în Rovinari:
 - **Ajtai, N.**, Török, Z., Costin, D., Ștefănie H., Ozunu, A., (2011b), *Preliminary results of Modeling and Monitoring of SO₂ emissions from Rovinari Large Combustion Power Plant in September 2010*, Papers presented at 5th International Workshop on Optoelectronic Techniques for Environmental Monitoring, ISSN 20066-8651);
- simulări de dispersie a SO₂ folosind ISC-AERMOD pentru:
 - termocentrala Mintia: **Ajtai, N.**, Deaconu, L., Ozunu, A., (2012c), *Sulphur dioxide emissions modeling and monitoring, originating from large combustion power plant Mintia, Hunedoara*, submitted for publication in Environmental Engineering and Management Journal, ISSN: 1582-9596;
 - termocentrala Rovinari: **Ajtai, N.**, Török, Z., Costin, D., Ștefănie H., Ozunu, A., (2011b), *Preliminary results of Modeling and Monitoring of SO₂ emissions from Rovinari Large Combustion Power Plant in September 2010*, Papers presented at 5th International Workshop on Optoelectronic Techniques for Environmental Monitoring, ISSN 20066-8651;
 - amplasament metalurgic: **Ajtai, N.**, Török, Z., Ozunu, A., (2012a), *Air quality modelling Of SO₂ emissions associated to metallurgical processes*, Studia Universitatis Babes-Bolyai Chemia, no 57, pp 57-65, ISSN: 1224-7154;
- determinarea concentrației de SO₂ a emisiilor IMA Rovinari:
 - Stebel, K., Prata, F., Dauge, F., Amigo, A., **Ajtai, N.**, (2012a), *UV multispectral imaging cameras for validation of SO₂ emissions*, Proceedings of the EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Sopot, Poland, 03-07 September 2012
 - Mărmureanu, L., Deaconu, L., Vasilescu, J., **Ajtai, N.**, (2012), *Combined optoelectronic methods used in the monitoring of SO₂ emissions and imissions*, paper submitted for the 9th edition of the ELSEDIMIA international conference, 25-27 October 2012, Cluj-Napoca, Romania;
- studiul efectelor generate de implementarea unui sistem de desulfurare (BAT) la o instalație metalurgică:
 - **Ajtai, N.**, Török, Z., Ozunu, A., (2012a), *Air quality modelling Of SO₂ emissions associated to metallurgical processes*, Studia Universitatis Babes-Bolyai Chemia, no 57, pp 57-65, ISSN: 1224-7154);
- dezvoltarea unei noi metodologii de evaluare a riscurilor și a impactului pe baza unor tehnici de monitorizare optoelectronice și instrumente de modelare și a unei strategii inovatoare pentru evaluarea impactului emisiilor de SO₂ asociate cu IMA.

7. Bibliografie selectivă

- Ajtai, N.**, Török, Z., Ozunu, A., (2012a), *Air quality modelling Of SO₂ emissions associated to metallurgical processes*, Studia Universitatis Babes-Bolyai Chemia, no 57, pp 57-65, ISSN: 1224-7154
- Ajtai, N.**, Stefanie, H., Ozunu, A., (2012b), *Description of aerosol properties over Cluj Napoca derived from AERONET sun photometric data*, submitted for publication in Environmental Engineering and Management Journal, ISSN: 1582-9596
- Ajtai, N.**, Deaconu, L., Török, Z., (2012c), *Sulphur dioxide emissions modeling and monitoring, originating from large combustion power plant Mintia, Hunedoara*, paper submitted for the 9th edition of the ELSEDIMA international conference, 25-27 October 2012, Cluj-Napoca, Romania
- Ajtai, N.**, Török, Z., Stefanie, H., Ozunu, A., (2011a), *Integrated technologies for improving atmospheric risk and impact assessment models and studies*, Book of abstracts, 3rd iNTeg-Risk Conference in conjunction with 20th SRA-Europe Meeting, Stuttgart, Steinbeis Edition, ISBN 978-3-941417-65-6, pp 42
- Ajtai, N.**, Török, Z., Costin, D., Ștefănie H., Ozunu, A., (2011b), *Preliminary results of Modeling and Monitoring of SO₂ emissions from Rovinari Large Combustion Power Plant in September 2010*, Papers presented at 5th International Workshop on Optoelectronic Techniques for Environmental Monitoring, ISSN 20066-8651
- Ajtai N.**, Ștefănie H., Stoian L.C., Oprea M.G., (2010a), *The volcanic ash and its impact on European air transport industry. A case study on the detection and impact of the the Eyjafjallajökull volcanic ash plume over North-Western Europe between 14th and 21st April 2010*, AES Bioflux 2(1):57-68, ISSN 2066-7620
- Balin, I., (2004) *Measurement and analysis of aerosols, cirrus-contrails, water vapor and temperature in the upper troposphere with the Jungfrauoch LIDAR system*, PhD Thesis, Lausanne, EPFL 2004
- Bălțeanu, D., Alexe, R., (2001), *Hazarde naturale și antropogene*, Editura CORINT, București
- Belegante, L., (2011), *Assessment of aerosol optical properties using Raman remote sensing techniques*, Ph.D thesis, Politehnica University Bucharest
- Draxler, R.R., Rolph, G.D., (2012), HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>), NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, [accesat în aprilie 2011]
- Dubovik, O., Holben, B.N., Eck, T.F., Smirnov, A., Kaufman, Y.J., King, M.D., Tanre, D., Slutsker, I., (2002), *Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations*, Journal of Atmospheric Science., 59, 590-608
- Dubovik, O., Smirnov, A., Holben, B., (2000), *Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from Aerosol Robotic Network (AERONET) sun and sky radiance measurements*. JGR, 105 (D8), 9791-9806

- Ericson, C. A., (2005), *Hazard Analysis Techniques for System Safety*, Ed. Wiley-Interscience, New Jersey
- Fioletov, V., McLinden, C.A., Krotkov, N., Moran, M.D., Yang, K., *Estimation of SO₂ emissions using OMI retrievals*, Geophysical Research Letters, Vol. 38, L21811,
- Gillani, N.V., Kohli, S., Wilson, W.E., (1983), *Gas to particle conversion of sulphur in power plant plumes – I Parametrization of the conversion rate for dry, moderately polluted ambient conditions*, Atmospheric Environment, 15, 2293-2313
- Guffanti, M., Mayberry G.C., Casadevall T.J., Wunderman R., (2009), *Volcanic Hazards to airports*, Natural Hazards, 51, 2, 287-302, Prata F., Tupper A., (eds).
- Hartley, W. S., Hobbs, P.V., Ross, J.L., Russell, P.B., Livingston, J.M., (2000), *Properties of aerosols aloft relevant to direct radiative forcing off the mid-Atlantic coast of the United States*, J. Geophys. Res., 105, 9859–9885
- Holben et al., (1998), *AERONET - A federated instrument network and data archive for aerosol characterization*, Remote Sensing Environ., 66, 1-16.
- Holloway A., Wayne, R., (2010), *Atmospheric chemistry*, RSC Publishing, ISBN: 978-1-84755-807-7. 260 pp.
- Lăzăroiu, G., (2005), *Impactul CTE asupra mediului*, Editura Politehnica Press, 355 p.
- Lenoble, J., (1993), *Atmospheric radiative transfer*, Publisher Hampton: Deepak, ISBN: 0937194212 m 9780937194218 m
- Léon, J.F., Derimian, Y., Chiapello, I., Tanré, D., Podvin, T., Chatenet, B., Diallo, A., Deroo, C., (2009), *Aerosol vertical distribution and optical properties over M'Bour (16.96 degrees W; 14.39 degrees N), Senegal from 2006 to 2008*, Atmospheric Chemistry and Physics, 9 (23), p. 9249-9261
- Mihăiescu, R., Mihăiescu, T., **Ajtai, N.**, Török, Z., Ozunu, A., (2011), *Air quality modelling as a tool used in selecting technological alternatives for developing a new abrasive facility*, AES Bioflux 3(2):123-128, Online ISSN 2065-7647, ISSN 2066-7620
- Mihăiescu, A., (1975), *Efectele genetice ale unor factori poluanți, efectele biologice ale poluării mediului*, Editura Academiei
- Mortier, A., Goloub, P., Podvin, T., Deroo, C., Chaikovsky, A., Blarel, L., Tanre, D. **Ajtai, N.**, (2012), *Detection and Characterization of Volcanic Ash Plumes over Lille during Eyjafjöll Volcano Eruption*, submitted for publication in Atmospheric Physics and Chemistry/Atmospheric Measurement Techniques Special Issue, Observations and modeling of aerosol and cloud properties for climate studies (ACP/AMT Inter-Journal SI), ISSN: 1867-1381
- Nicolae, D., (2006), *Tehnici LIDAR pentru caracterizarea aerosolilor din atmosfera joasă*, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica București,
- Ozunu, A., Anghel, C., (2007), *Evaluarea riscului tehnologic și securitatea mediului*, Editura Accent, Cluj-Napoca
- Ozunu, A., (2000), *Elemente de hazard și risc în industrii poluante*, Editura Accent, Cluj-Napoca

- Pope, C.A., (2004), *Air pollution and health – Good news and bad*, New Engl. J. Med., 351, 1132–1134
- Prata, F., Bluth, G., Bernardo, C. (2008), *Ground-based imaging cameras for volcanic gas and particle measurement*, IAVCEI meeting, Reykjavik, Iceland, 22-28 August 2008, Kjeller, NILU (NILU PP, 12/2008)
- Reid, J.S., Koppmann, R., Eck, T.F., and Eleuterio, D.P., (2005), *A review of biomass burning emissions part II: intensive physical properties of biomass burning particles*, Atmos. Chem. Phys., 5, 799– 825
- Sioutas, C., Delfino, R. J., Singh, M., (2005), *Exposure Assessment for Atmospheric Ultrafine Particles (UFPs) and Implications in Epidemiologic Research*, Environ Health Perspect. 2005 August, 113(8): 947–955
- Stebel, K., Prata, F., Dauge, F., Amigo, A., **Ajtai, N.**, (2012a), *UV multispectral imaging cameras for validation of SO₂ emissions*, Proceedings of the EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Sopot, Poland, 03-07 September 2012
- Stezar, I.C., Modoi, O.C., Török, Z., **Ajtai, N.**, Crisan, D.A., Cosara, G.V., Senzaconi, F., Ozunu, A., (2011), *Preliminary investigation and risk assessment of contamination on an industrial site in Maramures County*, Environmental Engineering and Management Journal January 2011, Volume 10/2011, no.1, p. 65-73, ISSN: 1582-9596
- Ștefan, S., Nicolae, D., Caian, M., (2008), *Secretele aerosolului atmosferic in lumina laserului*, Ed. Ars Docendi, Bucuresti
- Ștefan, S., (2004), *Fizica Atmosferei, vremea și clima*, Editura Universității, București
- Török, Z., **Ajtai, N.**, Ozunu, A., (2011b), *Aplicații de calcul pentru evaluarea riscului producerii accidentelor industriale majore ce implică substanțe periculoase*, Editura EFES, Cluj-Napoca, ISBN 978-606-526-078-8
- Török, Z., **Ajtai, N.**, Turcu, A.T., Ozunu, A. (2011c), *Comparative consequence analysis of the BLEVE phenomena in the context on Land Use Planning; Case study: The Feyzin accident, Process Safety and Environmental Protection*, ISSN: 0957-5820, Imprint: ELSEVIER
- Török Z., (2010), *Analize calitative și cantitative în managementul riscului în sectorul industrial chimic*, Teză de doctorat, Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca
- Török, Z., **Ajtai, N.**, Ozunu, A., Cordoș, E., (2009), *Chemical Risk Area Estimation as a Tool for Efficient Emergency Planning*, Studia Universitatis Babeș-Bolyai Chemia, ISSN: 1224-7154
- Unga, F., Dănilă, M.N., Gurlui, S., Dimitriu, D., **Ajtai, N.**, Timofte, A., Cazacu, M.M., (2012), *Optical parameters characterization of a volcanic ash intrusion over Northern Romania following the Grímsvötn volcano eruption in May 2011*, International Student Conference on Photonics, Book of Abstracts
- Wallace, J.M., Hobbs, P.V., (2006) *–Atmospheric science: an introductory survey –*2nd edition., ISBN 13: 978-0-12-732951-2
- Xu, M.-X., Yan, J.-H., Lu, S.-Y., Li, X.-D., Chen, T., Ni, M.-J., Dai, H.-F., Cen, K.-F., (2008), *Application of the ISCST3 model for predicting PCDD/F concentrations in agricultural soil in the vicinity of a MSWI plant in China*, J. Zhejiang Univ Sci A 9(3):373-380

- ***AERONET, *NASA - Aerosol Robotic Network*, <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>, [accesat în ianuarie 2010]
- *** BREF, Directive 96/61/EC (IPPC), (2006), *Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants*
- *** Council Directive 67/548/EEC on *the approximation of laws, regulations and administrative provisions relating to the classification, packaging and labeling of dangerous substances*, L196, 16.8.1967, p. 1–98
- ***European Commission, (2010), *Risk assessment and mapping guidelines for disaster management*, http://ec.europa.eu/echo/civil_protection/civil/prevention_risk_assessment.htm, [accesat în februarie 2012]
- ***HORIBA, *Ambient SO₂ monitor APSA-370, Operation Manual*, www.horiba.com, [accesat în mai 2012]
- ***GEO. No. 592/2002, Normative regarding threshold values, criteria and evaluation values for SO₂, PM's, lead, benzene, carbon monoxide and ozone in the atmosphere.
- ***IPCC, (2007), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- ***ISC AERMOD View Gaussian Plume Air Dispersion Model, <http://www.weblakes.com/products/aermod/index.html>, [accesat în septembrie 2011]
- ***NIOSH-National Institute for Occupational Safety and Health, *Documentation for Immediately Dangerous To Life or Health Concentrations, Sulphur Dioxide*, <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/7446095.html>, [accesat în mai 2012]
- ***RADO, (2012), The Romanian Atmospheric 3D Research Observatory, http://rado.inoe.ro/site_rado/EN/basic.html, [accesat în aprilie, 2012]
- ***RADO, (2011), The Romanian Atmospheric 3D Research Observatory, Quicklooks, <http://quicklooks.inoe.ro/about.php>, [accesat în februarie 2011]
- ***US Standard Atmosphere, 1976. US Government printing Office, Washington, DC, USA.
- ***Volcanic Ash Advisory Center, Met-Office, 2012, <http://www.metoffice.gov.uk/aviation/vaac/>, [accesat în iunie 2012]
- ***Webopedia Computer Dictionary, *Optoelectronics*, <http://www.webopedia.com/TERM/O/optoelectronics.html>, [accesat în februarie 2012]