

**UNIVERSITATEA BABEȘ BOLYAI  
FACULTATEA DE ȘTIINȚA ȘI INGINERIA MEDIULUI**

## **TEZĂ DE DOCTORAT**

**Contribuții la studiul aerosolului atmosferic cu  
potențial periculos provenit din surse naturale și la  
analiza riscului asociat acestuia**

**-rezumat-**

**CONDUCĂTORI ȘTIINȚIFICI**

**Prof. univ. dr. ing. Alexandru Ozunu**

**Prof. univ. dr. Sabina Ștefan**

**DOCTORAND**

**ing. Horațiu Ștefănie**

**Cluj-Napoca  
2015**

## CUPRINS:

<b>Introducere</b>	5
<b>Cap. 1: Considerații teoretice privind hazardul și riscul</b>	8
<b>1.1 Hazard, risc, vulnerabilitate</b>	8
<b>1.2 Clasificarea hazardurilor și riscurilor</b>	14
<b>1.3 Metode de identificare a hazardurilor și analiză a riscului</b>	17
1.3.1 Metode calitative de identificare a hazardurilor	17
1.3.2. Metode cantitative de evaluare a riscului	19
<b>1.4. Discuții</b>	20
<b>Bibliografie</b>	21
<b>Cap. 2: Aerosolul atmosferic natural: surse, caracteristici și riscuri asociate</b>	24
<b>2.1. Aerosolul atmosferic</b>	24
<b>2.2 Surse de generare a aerosolului atmosferic natural cu proprietăți periculoase</b>	26
2.2.1 Incendiile de vegetație	26
2.2.2. Praful deșertic	28
2.2.3 Cenușa vulcanică	29
<b>2.3 Caracteristici fizico – chimice și optice</b>	30
2.3.1 Aerosolul provenit din incendiile de vegetație	32
2.3.2 Praful deșertic	33
2.3.3 Cenușa vulcanică	34
<b>2.4 Efectele aerosolului și riscuri asociate</b>	35
2.4.1 Efecte asupra calității aerului	35
2.4.1.1 Cadrul legislativ	35
2.4.1.2 Efecte asupra sănătății umane	38
2.4.2 Efecte asupra transferului radiației prin atmosferă	40
2.4.2.1 Efectul direct	41
2.4.2.2 Efectul indirect	43
2.4.3 Riscuri industriale si socio-economice	44
2.4.3.1 Reducerea vizibilității	44

2.4.3.2 Efecte asupra aeronavelor	46
<b>2.5 Discuții</b>	49
<b>Bibliografie</b>	50
<b>Cap. 3: Tehnici de teledetecție a aerosolului atmosferic</b>	58
<b>3.1 Teledetecția pasivă</b>	58
3.1.1 Fotometrul solar. Principii și parametri	59
3.1.1.1 Principiul de funcționare	59
3.1.1.2 Rețeaua NASA – AERONET	61
3.1.1.3. Parametri obținuți cu ajutorul fotometrului solar prin intermediul rețelei AERONET	63
3.1.2 Imagistica satelitară: platforme și instrumente relevante	67
<b>3.2 Teledetecția activă</b>	69
3.2.1 Sisteme lidar: caracteristici constructive	69
3.2.2 Ceilometre: caracteristici constructive, rețele și limitări	72
3.2.3 Sisteme lidar: sistemul multicanal RALI și sistemul elastic COLI	74
3.2.4 Rețele de sisteme lidar	78
3.2.5 Parametri optici și microfizici specifici tehnicii lidar	81
<b>3.3. Discuții</b>	84
<b>Bibliografie</b>	85
<b>Cap. 4: Determinarea concentrațiilor aerosolului atmosferic prin teledetecție</b>	89
<b>4.1. Determinarea concentrației volumice prin metoda LIRIC</b>	90
4.1.1 Descrierea algoritmului	90
4.1.2. Studiu de caz: intruziunea de praf din data de 09.06.2012	92
<b>4.2. Determinarea concentrației masice prin metoda POLIPHON</b>	96
4.2.1 Descrierea algoritmului	96
4.2.2 Studiu de caz: intruziunea de praf din data de 09.06.2012	98
<b>4.3 Aplicarea algoritmilor LIRIC și POLIPHON pentru caracterizarea aerosolului atmosferic</b>	100
4.3.1 Aerosol mineral provenit din Sahara - 20.05.2013	100

4.3.2 Aerosol provenit din incendii de biomasă în timpul campaniei AROMAT	104
4.3.3. Avantajele și dezavantajele utilizării celor doi algoritmi	111
<b>4.4. Discuții</b>	112
<b>Bibliografie</b>	113
<b>Cap. 5: Distribuția spațio - temporală a aerosolului atmosferic deasupra României</b>	115
<b>5.1 Rezultate privind variația temporală a aerosolului atmosferic natural la stațiile AERONET din RADO</b>	115
5.1.1 Stațiile de monitorizare a aerosolului și parametri analizați	116
5.1.2 Proprietățile aerosolului natural la stațiile AERONET ale Observatorului Atmosferic Român	120
5.1.3 Discuții privind distribuția aerosolului la cele cinci stații RADO	130
<b>5.2. Transport de aerosol la distanță - studii de caz</b>	132
5.2.1 Intruziunea de praf saharian 1 – 5 Aprilie 2014 deasupra României – campania VOLCEX14/01	133
5.2.2 Intruziunea de aerosol provenit din incendii de vegetație din 11 - 14.07.2012	143
5.2.3 Intruziuni de cenușă vulcanică pe teritoriul României	147
<b>5.3. Metodologie de analiză a riscului asociat intruziunilor de aerosol, bazată pe determinarea concentrațiilor din măsurători și modelare</b>	152
<b>5.4. Discuții</b>	160
<b>Bibliografie</b>	162
<b>Concluzii, contribuții personale și perspective</b>	166
<b>Concluzii generale și contribuții personale</b>	166
<b>Perspective</b>	171
<b>Listă publicații</b>	173

**Cuvinte cheie: teledetectie, aerosol natural, incendii de vegetație, praf mineral, cenușă vulcanică, analiza riscului.**

**NOTĂ: Cuprinsul și numărul figurilor și al tabelelor din cadrul rezumatului este identic cu teza.**

## INTRODUCERE

Aerosolul atmosferic joacă un rol important în multe aspecte ale vieții de zi cu zi. Acesta are impact atât la nivel local, în zona sa de proveniență, cât și în zone îndepărtate, fiind transportat la distanțe foarte mari. De exemplu praful provenit din Sahara ajunge frecvent deasupra Europei, dar în anumite condiții acesta poate traversa Oceanul Atlantic ajungând până în America de Sud sau Caraibe. De asemenea fumul și cenușa degajate de marile incendii de pădure din Canada au fost observate deasupra Europei.

În ceea ce privește impactul aerosolului acesta poate fi considerat pozitiv în câteva situații, de exemplu cenușa rezultată din unele erupții vulcanice sau praful transportat în unele zone asigură nutrienții necesari pentru creșterea și dezvoltarea plantelor. Cu toate acestea, per ansamblu, aerosolul are un impact negativ.

Datorită potențialului periculos pe care îl poate avea aerosolul și a variabilității mari în timp și spațiu, este necesară cunoașterea proprietăților acestuia printr-o monitorizare intensivă.

Activitatea doctorală a avut ca **Obiectiv general** realizarea unei caracterizări complexe a aerosolului atmosferic provenit din surso naturale în vederea elaborării unei metodologii de analiză a riscului, folosind într-un mod sinergic instrumente și tehnici de teledetecție de la nivelul solului.

Pentru atingerea obiectivului general s-au trasat o serie de **obiective specifice**:

- O1.** Caracterizarea tipurilor de aerosol natural cu potențial periculos.
- O2.** Analiza efectelor aerosolului și a riscurilor asociate.
- O3.** Analiza și intercompararea algoritmilor LIRIC și POLIPHON
- O4.** Determinarea concentrațiilor masice și volumice ale aerosolului folosind cei 2 algoritmi.
- O5.** Analiza spațio-temporală a aerosolului natural la stațiile RADO.
- O6.** Dezvoltarea unei metodologii de analiză a riscului asociat intruziunilor de aerosol bazată pe determinarea concentrațiilor din măsurători și modelare.

Tematica abordată în cadrul acestei teze de doctorat este de interes și pentru societatea civilă, evenimente precum intruziunea de praf saharian din luna aprilie 2014 având o largă acoperire mediatică, autorul diseminând informații de interes publicului larg atât în presa locală

cât și cea centrală (Mediafax, TVR, Pro Tv). De asemenea, incendiile de vegetație din zona centralei nucleare de la Cernobîl, Ucraina din primăvara anului 2015 au atras atenția opiniei publice datorită faptului că în urma arderii vegetației contaminate radioactiv, aerosolii eliberați constituiau potențiale pericole pentru mediu și sănătate.

Din punct de vedere al diseminării rezultatelor științifice, autorul a publicat un număr de 4 lucrări ISI, alte 2 fiind trimise spre publicare. Au fost publicate 2 articole în reviste BDI și 1 articol în alte reviste de circulație națională. De asemenea, autorul a participat la elaborarea unor lucrări prezentate la o serie de conferințe științifice naționale și internaționale atât sub formă de prezentări orale cât și postere în România, Slovacia, Austria, Bulgaria, SUA, Italia.

## **CAPITOLUL 1**

### **Considerații teoretice privind hazardul și riscul**

Acest prim capitol stabilește cadrul teoretic folosit pe parcursul lucrării, definind noțiunile de risc, hazard și vulnerabilitate prin realizarea unui studiu de literatură în care sunt analizate o serie de definiții ale acestor termeni, pentru o mai bună înțelegere a terminologiei și utilizarea acestora în diferite contexte. În cadrul analizei, riscurile au fost clasificate în funcție de o serie de factori cum ar fi:

- originea,
- suprafața afectată și pagubele produse,
- modul de manifestare
- durată.

În funcție de acești factori riscurile pot fi analizate și evaluate, în vederea prevenirii lor atât prin metode calitative cât și cantitative.

Această teză urmărește analiza riscurilor asociate aerosolului provenit din surse naturale folosind atât metode calitative cât și cantitative, fiind astfel necesară realizarea unui studiu privind aceste metode. Au fost detaliate listele de verificare și utilizarea modelelor de dispersie care sunt folosite în analiza riscurilor generate de aerosoli sau alți poluanți atmosferici.

Această analiză a aerosolului natural - praf mineral, cenușă vulcanică și cenușă provenită din incendii de vegetație - stă practic la baza realizării metodologiei de analiză a riscurilor datorate aerosolului.

## **CAPITOLUL 2**

### **Aerosolul atmosferic natural: surse, caracteristici și riscuri asociate**

În acest capitol se realizează o caracterizare complexă a aerosolului natural care poate avea un caracter periculos. Aceste tipuri de aerosol includ praful mineral, cenușa provenită din incendiile de vegetație și cenușa vulcanică.

Aerosolul poate proveni atât din surse locale cât și din surse îndepărtate, prin transport la distanță. De exemplu praful mineral care ajunge deasupra Europei și implicit a României provine în special din Sahara sau din Orientul Mijlociu. Deasupra Europei a fost identificat de asemenea aerosol provenit de la incendii de vegetație din Canada. În România, aerosolul provenit din incendii are caracter local sau provine în principal din Peninsula Balcanică sau Estul Europei. Cenușa vulcanică are un caracter excepțional, prezența acesteia fiind posibilă după erupții vulcanice cum au fost cele ale vulcanilor Eyjafjallajökull și Grímsvötn din Islanda.

În funcție de tipul de aerosol, acesta are diferite proprietăți optice și microfizice, proprietăți determinate atât prin metode clasice de măsură cât și prin tehnici moderne de teledetecție precum tehnica lidar sau fotometria solară.

Aerosolul poate avea efecte negative asupra calității aerului și implicit asupra sănătății umane, putând provoca numeroase boli, lucru care a condus la o serie de reglementări legislative ale concentrațiilor de aerosol din atmosferă, în special pentru aerosolul de dimensiuni mici  $PM_{2,5}$  și  $PM_{10}$ .

Alte efecte importante ale aerosolului sunt cele asupra climatului, aici fiind vorba atât efectul direct cât și de efectele indirecte. În funcție de tip și proprietăți aerosolul poate produce atât încălzirea cât și răcirea climei. Totuși per ansamblu, se estimează ca aerosolul are un efect

net de răcire, în contrast cu gazele cu efect de seră. Cu toate acestea la nivel științific încă există multe dezbateri privind aspectul cantitativ al acestei răciri.

În ceea ce privește riscurile industriale și socio-economice asociate aerosolului natural trebuie menționat efectul negativ asupra vizibilității și mai ales efectul cenușii vulcanice asupra industriei aeronautice, aceasta producând mari pierderi economice.

## **CAPITOLUL 3**

### **Tehnici de teledetecție a aerosolului atmosferic**

În acest capitol sunt prezentate tehnicile de teledetecție a aerosolului atât local cât și transportat la distanță, fiind considerate atât tehnicile pasive, precum fotometria solară sau imagistica satelitară, cât și cele active, în special tehnica lidar. Tehnicile pasive de teledetecție folosesc o sursă naturală de lumină, de cele mai multe ori soarele, pe când cele active folosesc o sursă proprie, de cele mai multe ori un laser.

Fotometrele solare, principalele instrumente pasive folosite în analiza aerosolilor în cadrul tezei, oferă informații privind proprietățile optice și microfizice ale aerosolului pe întreaga coloană atmosferică, neputând discerne între diferitele straturi din atmosferă sau altitudinea la care acestea se află. Pe de altă parte, cu ajutorul sistemelor lidar, instrumente active, se pot obține informații relevante atât în ceea ce privește altitudinea straturilor cât și legate de proprietățile optice și microfizice ale acestora.

Principalii parametri obținuți cu ajutorul fotometrelor solare sunt adâncimea optică a aerosolului - AOT, coeficientul Ångström, albedoul împrăștierii singulare, indicele complex de refracție, coeficientul de asimetrie, distribuția dimensională, concentrația volumică pentru modul fin și grosier, etc.

Sistemele lidar, pe lângă altitudinea și dinamica straturilor de aerosol, oferă o serie de parametri precum coeficientul de retroîmprăștiere, coeficientul de extincție, raportul de depolarizare, rapoartele lidar, rapoartele de culoare, exponenții Ångström, iar prin diferite metode complexe de inversie, diferite proprietăți microfizice ale aerosolului precum: raza



particulei, concentrația numerică masică și volumică, distribuția dimensională, indicele de refracție complex, albedoul împrăștierii singulare.

La nivel mondial există diverse rețele de sisteme lidar și de fotometre solare care permit o analiză complexă, la nivel global, a aerosolului atmosferic și a efectelor acestuia.

În cadrul tezei au fost utilizate măsurători provenite de la fotometrele solare din cadrul rețelei NASA AERONET prezente în România în diferite orașe: Cluj Napoca, București - Măgurele, Eforie Nord, Iași și Timișoara, toate acestea făcând parte din cadrul Observatorului Atmosferic Român - RADO. De asemenea au fost utilizate două sisteme lidar: COLI - sistem lidar elastic aflat la Facultatea de Știința și Ingineria Mediului din cadrul UBB Cluj-Napoca și sistemul complex RALI - lidar Raman multicanal aflat la Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Optoelectronică INOE 2000.



Fig. 3.9. Sistemul lidar de la Facultatea de Știința și Ingineria Mediului, UBB Cluj

## CAPITOLUL 4

### Determinarea concentrațiilor aerosolului atmosferic prin teledetecție

În ultimii ani, atât comunitatea științifică cât și alte părți co-interesate (precum industria aviatică) au manifestat un interes deosebit în obținerea de informații sigure privind concentrația masică de aerosoli din atmosferă. Astfel au fost dezvoltati o serie de algoritmi cu ajutorul cărora să se poată obține această informație. Deși există algoritmi care folosesc informații doar de la sistemele lidar pentru a obține concentrația de aerosol, precum codul dezvoltat de Igor Veselovskii (Veselovskii et al., 2013), care necesită măsurători RAMAN multicanal, fiind necesari 3 coeficienți optici de retroîmprăștiere ( $\beta_{355}$ ,  $\beta_{532}$  și  $\beta_{1064}$ ) și 2 coeficienți optici de extincție ( $\alpha_{355}$  și  $\alpha_{532}$ ), majoritatea acestor algoritmi se bazează pe sinergia a două instrumente: sistemele lidar multicanal și fotometrul solar.

În continuare vor fi prezentați în detaliu cei doi algoritmi folosiți în cadrul tezei, algoritmul LIRIC și algoritmul POLIPHON.

#### 4.1 Determinarea concentrației volumice prin metoda LIRIC

##### 4.1.2. Studiu de caz: intruziunea de praf din data de 09.06.2012

Prezentăm rezultatele obținute cu ajutorul algoritmului LIRIC în data de 09.06.2012 în intervalul orar 17 - 19 UTC, date măsurate la Măgurele, în care avem prezentă o intruziune de praf saharian între 3 și 4 km ( vezi fig. 4.3.).

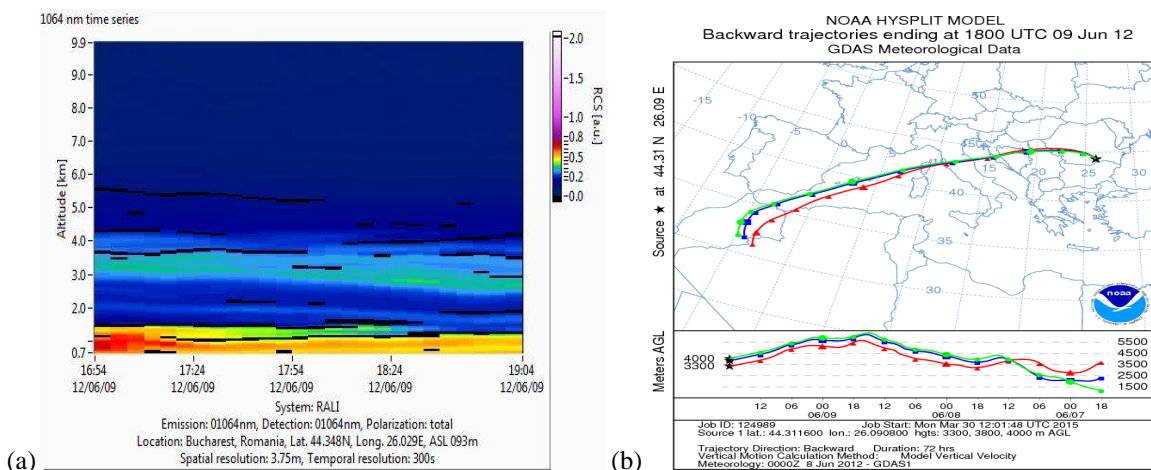


Fig. 4.3. Semnalul corectat cu distanța RCS 1064 nm (a); retrotraietorie Hysplit (b)

În fig. 4.4. primele 4 figuri reprezintă reproducerea profilurilor coeficienților optici de retroîmprăștiere măsurate la cele 3 lungimi de undă 355, 532, 1064 nm și depolarizarea la 532 nm. Profilele măsurate trebuie să fie cât mai similare cu profilele returnate de către algoritmul (constrângerea 1).

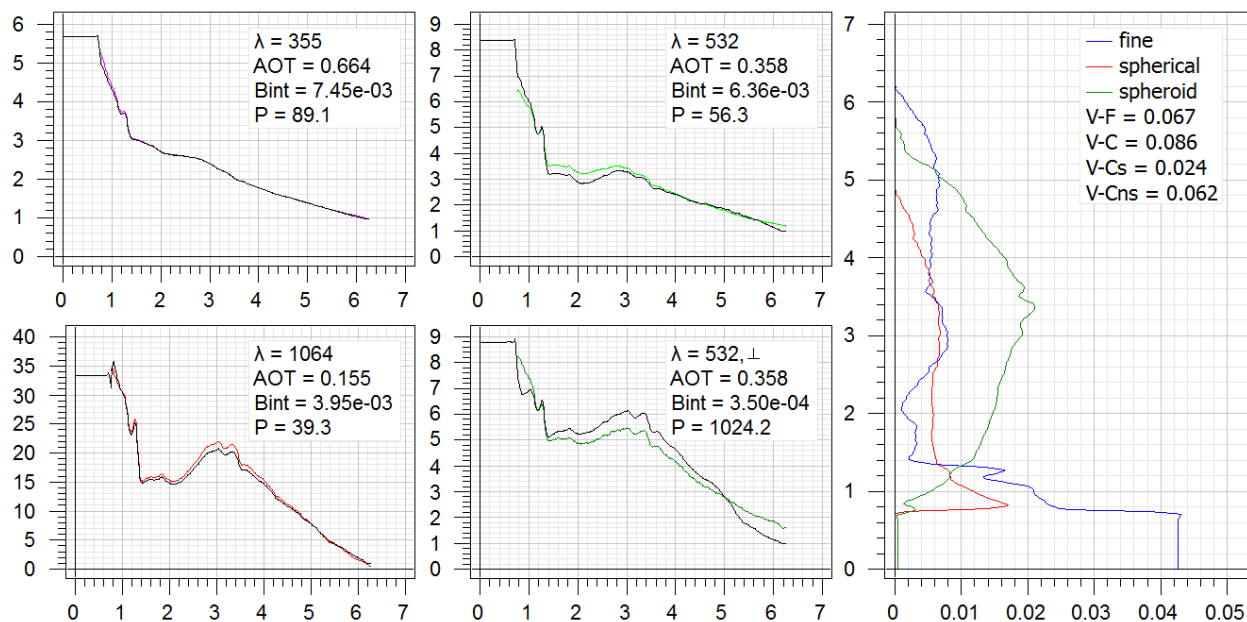


Fig. 4.4. Concentrația volumică totală de aerosol ( $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$ ). Data: 09.06.2012; 17 - 19 UTC, Măgurele: V-F con. volumică particule fine; V-C conc. vol. particule grosiere; V-Cs conc. volumică particule grosiere sferice; V-Cns conc. volumică particule grosiere asferice (praf saharian).

Profilul cu concentrația volumică este returnat în  $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$ , partea dreaptă a figurii 4.4. Înmulțind concentrația volumică cu densitatea particulelor ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) se obține concentrația masică a particulelor de aerosol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Pe baza informațiilor returnate de algoritmul putem concluziona că la altitudinea de 3,5 km avem concentrația maximă de praf saharian, valoarea concentrației masice fiind de aproximativ  $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 4.2 Determinarea concentrației masice prin metoda POLIPHON

### 4.2.2. Studiu de caz: intruziunea de praf din data de 09.06.2012

În urma rulării algoritmului POLIPHON pentru setul de măsurători din data de 09.06.2012, orele 17 - 19 UTC am obținut valori maxime ale modului grosier de aproximativ  $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (vezi fig. 4.5.).

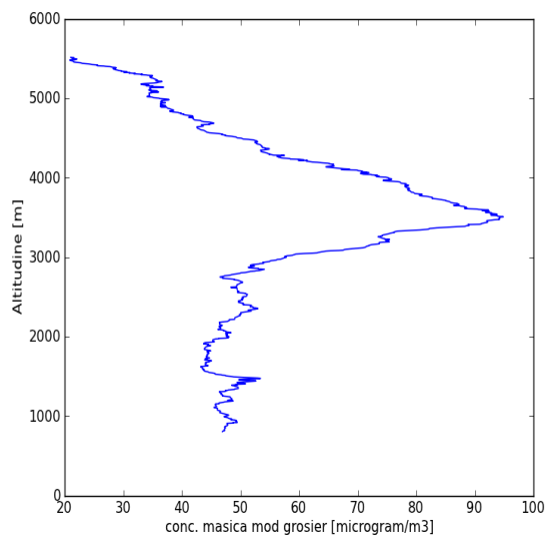


Fig. 4.5. Profilul de concentrație masică obținut pentru particule grosiere utilizând algoritmul POLIPHON; data: 09.06.2012; 17 - 19 UTC, Măgurele

#### 4.3.3. Avantajele și dezavantajele utilizării celor doi algoritmi

În urma rulării celor 2 algoritmi de calcul a profilelor cu concentrații de aerosol, în mai multe cazuri practice cu intruziuni de aerosol natural, atât praf mineral cât și aerosol provenit din arderea de biomasă, s-au putut trage o serie de concluzii cu privire la aplicabilitatea lor în cadrul metodologiei de analiză a riscului generat de prezența aerosolului în atmosferă.

Pentru a putea fi utilizați, ambii algoritmi au nevoie de măsurători efectuate cu sisteme lidar și fotometre solare situate în aceeași locație. Mai mult, algoritmul LIRIC necesită măsurători simultane cu cele 2 instrumente.

Algoritmul LIRIC poate oferi rezultate pentru toate tipurile de aerosol analizat. În schimb, algoritmul POLIPHON poate oferi informații legate de concentrații doar în cazul în care avem în atmosferă particule depolarizante grosiere precum praful saharian sau cenușa vulcanică, acesta neputând fi folosit în cazul intruziunilor cu aerosol provenit din incendii de vegetație.

În ceea ce privește erorile, acestea sunt greu de cuantificat în cazul algoritmului LIRIC, pentru algoritmul POLIPHON acestea ajungând la 60 % pentru modul grosier. Cu toate acestea la momentul actual acești algoritmi reprezintă cele mai bune metode disponibile pentru obținerea profilelor cu concentrații ale aerosolilor, exceptând măsurătorile in-situ.

Acești doi algoritmi pot fi utilizați cu succes în cadrul metodologiei de analiză a riscului reprezentat de intruziunile de aerosol cu potențial periculos, recomandându-se ca în primă fază să fie folosit algoritmul POLIPHON, datorită faptului că poate oferi rezultate în timp aproape real, urmând ca algoritmul LIRIC să fie folosit în cazul în care nu putem utiliza algoritmul POLIPHON (intruziuni de aerosol fin) și pentru eventuale inter-comparări între algoritmi.

## Capitolul 5

### Distribuția spațio - temporală a aerosolului atmosferic deasupra României

#### 5.1. Rezultate privind variația temporală a aerosolului atmosferic natural la stațiile AERONET din RADO

Principalul aspect care trebuie luat în considerare în momentul în care se încearcă o analiză a distribuției tipului de aerosol pe un anumit teritoriu e legat de faptul că aerosolul variază foarte mult în timp și spațiu, acesta fiind puternic influențat de deplasarea maselor de aer.

Alt aspect important ține de faptul că aerosolul apare în atmosferă de cele mai multe ori sub formă de mixtură, acesta provenind din surse diferite, astfel fiind posibilă o împărțire a acestuia într-o multitudine de clase.

Pentru a putea identifica frecvența prezenței intruziunilor de aerosol natural deasupra României au fost folosite datele obținute cu ajutorul fotometrelor solare *CIMEL Electronique 318 A* din cadrul rețelei AERONET, prezente în România la următoarele stații (vezi fig. 5.1.):

- Bucharest\_INOE
- CLUJ\_UBB
- Eforie Nord
- Iasi\_LOASL
- Timisoara



Fig.5.1. Stații AERONET din România echipate cu fotometre solare *CIMEL Electronique 318 A*

În cadrul analizei au fost folosite doar date de nivel 2, măsurate de-a lungul timpului la cele 5 stații. Pentru a calcula mediile lunare a parametrilor analizați au fost folosite mediile zilnice disponibile pentru fiecare lună a anului, fiind calculată și deviația standard a acestora.

### 5.1.3. Discuții privind distribuția aerosolului atmosferic la cele cinci stații RADO

Adâncimea Optică a Aerosolului (AOT) este principalul parametru determinat cu ajutorul fotometrelor solare. AOT oferă informații legate de încărcarea atmosferei cu aerosoli. Este bine cunoscut faptul că dependența spectrală a AOT conține informații importante referitoare la dimensiunile aerosolului prezent în atmosferă. Variația temporală a AOT poate avea o multitudine de cauze, fiecare variație necesitând propria interpretare. De exemplu, în cazul în care crește valoarea AOT la toate lungimile de undă măsurate în timpul unei zile, acest lucru poate fi atribuit unor advecții de aer către zona în care se fac măsurătorile. Creșterea valorii AOT doar la lungimile mici de undă e specifică unei acumulări de aerosol fin, pe când creșterea valorilor doar la lungimile mari de undă e specifică intruziunilor de aerosol grosier.

În tabelul 5.13. sunt prezentate valorile minime, maxime și medii ale Adâncimii Optice a Aerosolului la lungimea de undă de 440 nm măsurate la cele 5 stații până în anul 2014 inclusiv.

Tabel 5.13. Adâncimea Optică a Aerosolului  $AOT_{(440\text{ nm})}$  la stațiile RADO

Stația / $AOT_{440}$	Bucharest_INOE	CLUJ_UBB	Eforie Nord	Iasi_LOASL	Timisoara
Min.	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
Avg.	0,29 ±0,16	0,25 ±0,13	0,24 ±0,13	0,23 ±0,11	0,28 ± 0,15
Max.	1,11	0,82	0,82	0,71	1,00

Coeficientul Ångstrom oferă informații legate de dimensiunea particulei, cu cât acesta este mai mare cu atât particulele prezente în atmosferă sunt mai mici.

Tabel 5.14. Coeficientul Ångstrom -  $\alpha_{440-870}$  la stațiile RADO

Stația / $\alpha_{440-870}$	Bucharest_INOE	CLUJ_UBB	Eforie Nord	Iasi_LOASL	Timisoara
Min.	0,05	0,27	0,17	0,30	0,55
Avg.	1,53±0,34	1,52 ± 0,30	1,52 ± 0,30	1,48 ±0,29	1,46 ± 0,28
Max.	2,76	2,15	2,02	2,10	2,00

Acești 2 parametri au stat la baza identificării posibilelor intruziuni de aerosol cu potențial periculos. S-a considerat că în cazul unei valori a coeficientului Ångstrom – ( $\alpha_{440-870}$ ) mai mică de 1,3 avem o posibilă intruziune de praf mineral, iar în cazul unei valori mai mari de 1,8 avem o posibilă intruziune de aerosol provenit din incendii de vegetație. Pentru a confirma aceste intruziuni s-a folosit modelul HYSPLIT de calcul a traiectoriilor maselor de aer și imagistica satelitară, mai exact instrumentul MODIS de la bordul sateliților Aqua și Terra. Rezultatele sunt prezentate în Tabelul 5.15.

Tabel 5.15: Număr de zile cu intruziuni de praf mineral și cenușă provenită din arderi de biomasă la cele 5 stații RADO

Stație	Nr. zile măsurători	Nr. zile cu $\alpha_{440-870} < 1,3$	Cazuri confirmate	Nr. zile cu $\alpha_{440-870} > 1,8$	Cazuri confirmate
Bucharest_INOE	986	197 (19,9 %)	158 (80 %)	212 (21 %)	151 (71 %)
CLUJ_UBB	855	168 (19,9 %)	132 (78 %)	140 (16 %)	113 (80 %)
Eforie Nord	632	163 (25,7 %)	113 (69 %)	46 (7 %)	42 (91 %)
Iasi_LOASL	360	83 (23 %)	64 (77 %)	13 (4 %)	13 (100 %)
Timisoara	326	81 (24,8 %)	66 (81 %)	26 (7 %)	22 (84 %)

În ceea ce privește datele de inversie obținute cu ajutorul fotometriei solare, acestea au valori medii asemănătoare cu valorile măsurate la alte stații similare. Partea reală a indicelui complex de refracție, care oferă informații privind capacitatea de absorbție a aerosolului,  $n_{(438)}$  are valori medii cuprinse între 1,40 la Cluj Napoca și Iași și 1,42 la Eforie, acestea fiind similare altor zone în care predomină aerosolul continental urban: Paris - 1,40 și Greenbelt, USA - 1,39 (Dubovik et al., 2002).

Valorile crescute ale albedoului împrăștierii singulare -  $SSA_{(440)}$  arată capacitatea scăzută de absorbție a aerosolului, mediile obținute la cele 5 stații, cuprinse între 0,92 la Cluj Napoca și 0,94 la București, Eforie Nord și Iași fiind similare celor măsurate la Paris - 0,94. Acestea sunt însă mai mici decât valorile obținute la Greenbelt, USA - 0,98 unde ceața specifică zonei este aproape neabsorbantă (Dubovik et al., 2002).

## **5.2. Transport de aerosol la distanță - studii de caz**

Distribuția în timp a aerosolului natural deasupra României a fost de foarte multe ori modificată prin transport de aerosol de la distanță. De cele mai multe ori praful Saharian a fost transportat ajungând pe traiectoriile clasice deasupra României. De asemenea aerosolul provenit din incendiile de vegetație a avut un rol important în această distribuție.

### **5.2.1. Intruziunea de praf saharian 1 – 5 Aprilie 2014 deasupra României – campania VOLCEX14/01**

#### **Măsurători la stația Cluj a Observatorului Atmosferic Român**

Pe parcursul zilei de 01.04.2014 diferite straturi de aerosol au fost identificate (vezi fig. 5.13) între 4 și 6 km.



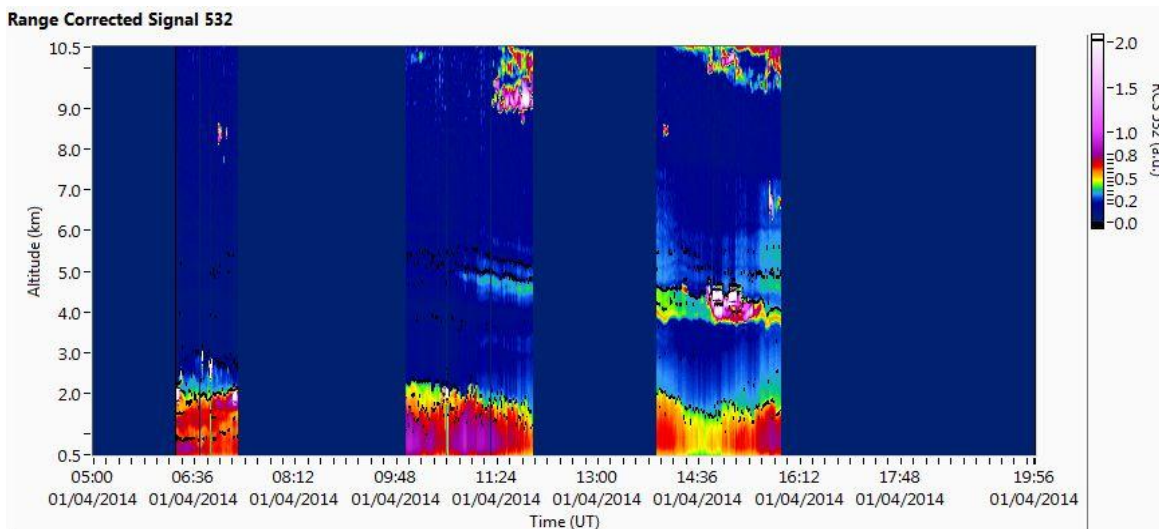


Fig. 5.13. Semnal RCS - Data: 01.04.2014; Cluj Napoca.

De asemenea se poate observa prezența Stratului Limită Planetar până la altitudini de 2 km. Modelul NOAA HYSPLIT - Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model (<https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>) pentru calculul retro-trajectoriilor confirmă că masele de aer provin din Sahara (vezi fig 5.14) (Ștefănie et al., 2015 (a)).

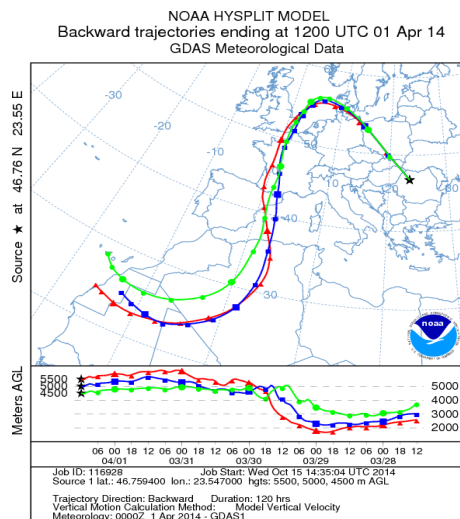


Fig. 5.14. Retro-trajectoria maselor de aer 96 ore – model HYSPLIT;  
Data: 01.04.2014; Cluj Napoca.

În data de 04.04.2014 se pot observa mai multe straturi de praf saharian la altitudini de aprox. 3000 m, 3500 m și 4500 m. De asemenea se poate observa stratul limită planetar la

aproximativ 2000 de metri în setul de dimineață, urcând apoi spre 2500 m după amiaza. La aproximativ 7000 - 8000 m se poate observa un semnal puternic datorat norilor cirrus prezenți.

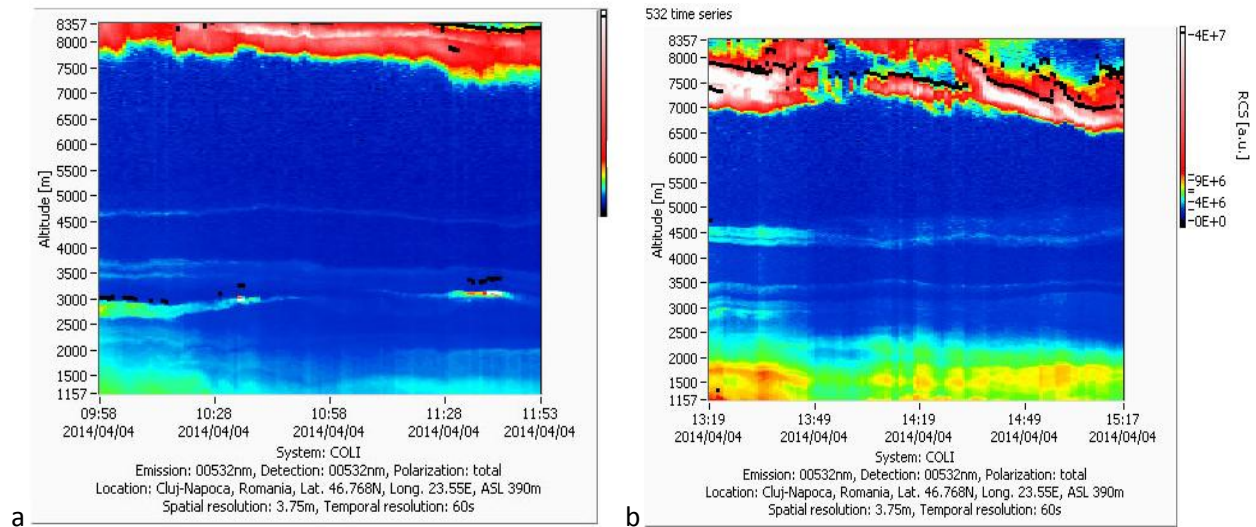


Fig. 5.16 Semnal RCS - Data: 04.04.2014. Interval orar: 13-15 (a) și 16-18 (b) (ora locală); Cluj Napoca;

În paralel cu măsurătorile efectuate cu sistemul lidar (informații de la altitudine – profile pe verticală) s-au efectuat și măsurători ale pulberilor materiale ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) cu ajutorul contorului optic de particule Dusttrack DRX 8533, la nivelul solului. Pentru comparație s-a efectuat un set de măsurători și în data de 07.04.2014 după trecerea intruziunii de praf. De asemenea în data de 06.07.2014 s-au înregistrat ploi care au spălat praful din atmosferă. În tabelul 5.16, sunt prezentate valorile maxime (MAX), medii (AVG) și minime (MIN) măsurate în perioada respectivă (Ștefănie et al., 2015 (a)).

Tabel 5.16. Valorile PM<sub>10</sub> și PM<sub>2.5</sub> măsurate cu Dusttrack DRX

Data și interval orar		04.04. 2014 ora 10-12	04.04.2014 ora 13-15	05.04.2014 ora 11-13	07.04.2014 ora 12-14
PM <sub>10</sub> μg/m <sup>3</sup>	MIN	23	70	43	29
	AVG	56	86	60	34
	MAX	112	132	128	47
PM <sub>2.5</sub> μg/m <sup>3</sup>	MIN	23	68	43	9
	AVG	52	80	59	33
	MAX	85	126	128	45

### 5.2.2. Intruziunea de aerosol provenit din incendii de vegetație din 11 - 14.07.2012

Anul 2012 a fost anul cu cele mai multe incendii de vegetație produse în România fiind afectate peste 6500 ha de vegetație (JRC, 2014). În acest studiu de caz este analizată apariția aerosolului provenit din incendii de vegetație deasupra orașului Cluj. Instrumentul relevant în această analiză este fotometrul solar. De asemenea au fost analizate produsele MODIS din perioada respectivă și au fost rulate o serie de retro-traietorii HYSPLIT pentru a identifica sursele de aerosol.

În tabelul 5.17 sunt prezentate valorile parametrilor mășurați direct: AOT și coeficientul Ångstrom<sub>440-870</sub> în perioada 11-14.07.2012. În zilele de 11, 12 și 14 iulie 2012 conform analizei preliminare este probabil să avem ca și aerosol dominant, aerosolul provenit din incendii de vegetație. În data de 13, considerăm că în atmosferă predomină aerosolul urban – industrial, dar având în vedere valorile mici ale Adâncimii Optice a Aerosolului – AOT<sub>440</sub> putem spune că atmosfera e relativ curată.

Tabel 5.17. Parametri AERONET mășurați direct - AOT și Ångstrom<sub>440-870</sub>; 11-14.07.2012; Cluj Napoca

Coef./Data	11.07	12.07	13.07	14.07
AOT <sub>440</sub>	0.233	0.280	0.084	0.483
α <sub>440-870</sub>	1.80	1.94	1.56	2

În Fig. 5.21. sunt prezentate valorile coeficientului Ångstrom<sub>440-870</sub> măsurate în data de 11.07.2012. Se evidențiază foarte bine evoluția acestuia, intruziunea apărând în orele după-amiezii – valori în jur de 2, aceasta păstrându-se și în ziua următoare când s-a înregistrat o medie a coeficientului Ångstrom<sub>440-870</sub> de 1,94, în data de 14 acesta având valoarea medie de 2.

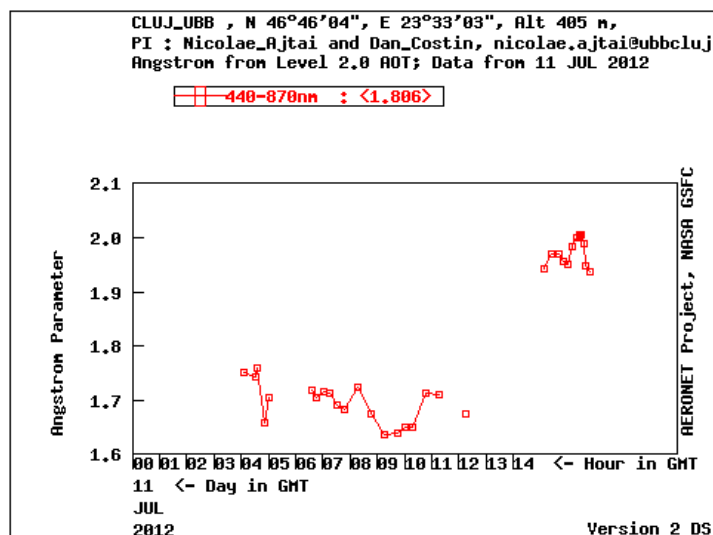


Fig. 5.21. Coeficientul Ångstrom<sub>440-870</sub> în data de 11.07.2012, Cluj - Napoca

Distribuția dimensională este dominată de modul fin în ziua de 11, pentru celelalte zile neavând măsurători valide de nivel 2, dar având în vedere valorile coeficientului Ångstrom<sub>440-870</sub> putem afirma că același mod fin era dominant și în zilele de 12 și 14 iulie. În ziua de 13, pe lângă modul fin avem prezent și modul grosier, neavând o dominanță clară a aerosolului provenit din incendii de vegetație (Fig. 5.22.).

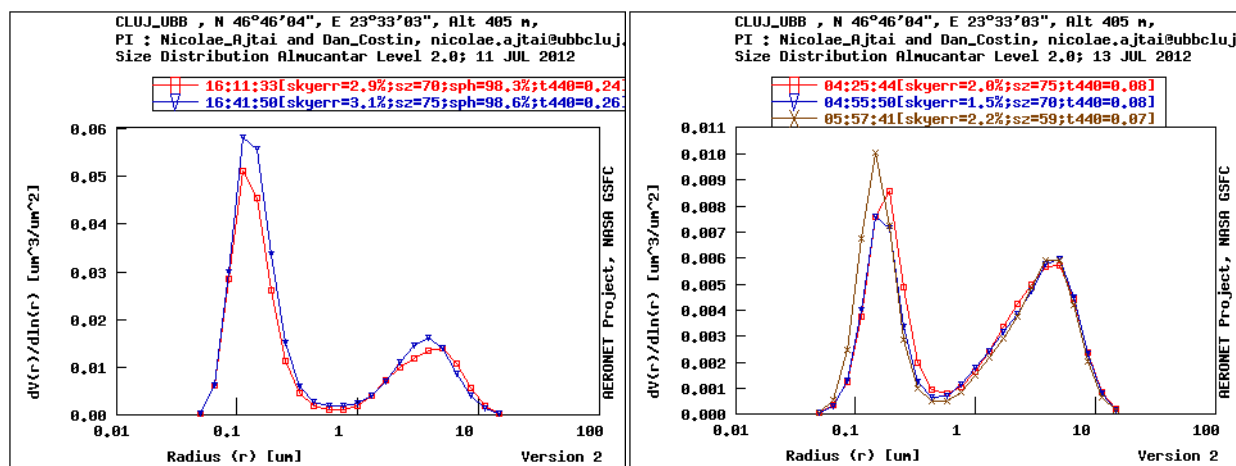


Fig. 5.22. Distribuția dimensională; 11.07.2012 (s) și 13.07.2012 (d) - Cluj-Napoca

În Fig. 5.23. sunt prezentate incendiile observate cu ajutorul instrumentului MODIS de la bordul sateliților Aqua și Terra, din perioada 10 -15.07.2012, fiind vizibile o serie de incendii în întreaga Peninsulă Balcanică, în România și Ungaria, în sudul Italiei.



Fig. 5.23. Incendiile văzute cu instrumentul MODIS: 10 -15.07.2012

Retro-traiectoriile HYSPLIT confirmă proveniența maselor de aer din zonele afectate de incendii de vegetație (Fig. 5.24).

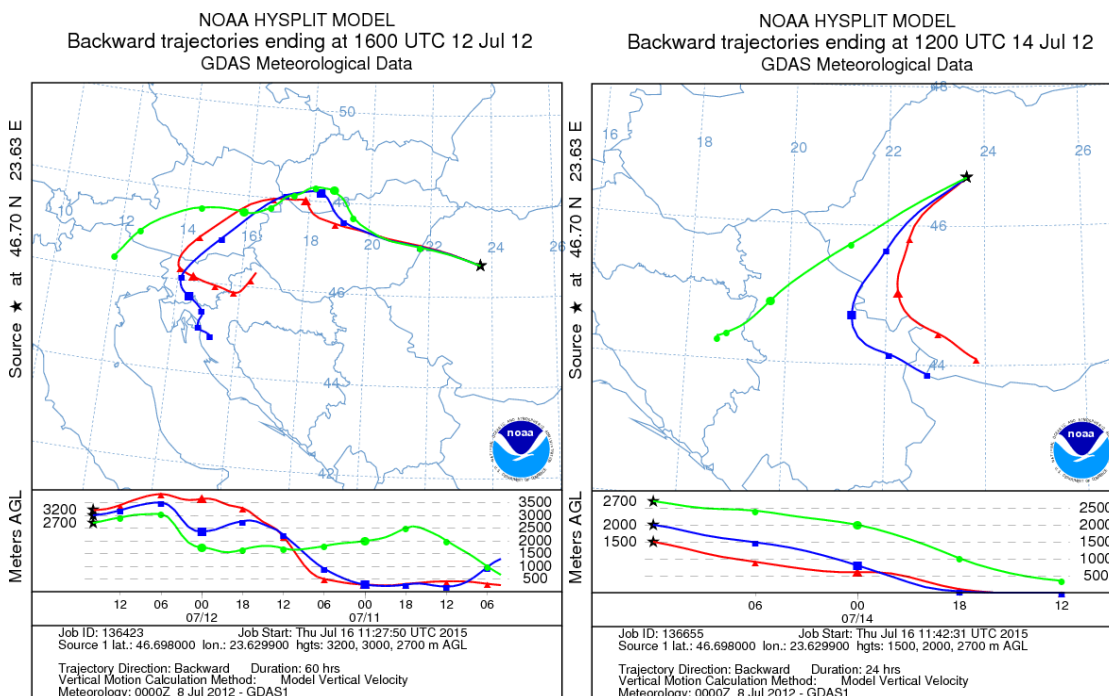


Fig. 5.24. Retro-traiectoriile HYSPLIT pentru data de 12.07.2012 (s); 14.07.2012 (d)



### 5.2.3. Intruziuni de cenușă vulcanică pe teritoriul României

Principalele erupții vulcanice care au afectat transporturile aeriene în ultimii ani au fost cele ale vulcanilor islandezi Eyjafjallajokull în 2010 și Grímsvötn în 2011. Cenușa rezultată de la aceste două erupții a ajuns și deasupra teritoriului României, ducând la închiderea spațiului aerian după erupția vulcanului Eyjafjallajokull.

Intruziunile cu cenușă vulcanică deasupra României au fost identificate la stațiile Observatorului Atmosferic Român. Cenușa rezultată în urma erupției vulcanului Eyjafjallajokull a fost identificată la stația INOE de la Măgurele cu ajutorul sistemul lidar RALI în mai multe zile ale lunii Aprilie 2010. Cenușa provenită de la vulcanul Grímsvötn a ajuns doar în partea de nord a țării, fiind identificată doar la stația Iași cu ajutorul unui sistem lidar simplu.

În perioada în care a erupt vulcanul Eyjafjallajokull, singura stație la care funcționa fotometrul solar e cea de la Eforie, însă cenușa nu a fost detectată în această parte a țării. În ceea ce privește sistemele lidar, singurul funcțional se găsea la sediul INOE - Măgurele - sistemul RALI. Acesta a fost de altfel singurul echipament care a detectat intruziunea de cenușă vulcanică rezultată în urma erupției vulcanului Eyjafjallajokull, fiind publicate o serie de studii (Carstea et al., 2010, Nemuc et al., 2013). Primele straturi cu cenușă vulcanică au fost evidențiate între 2,5 și 3 km, în dimineața zilei de 18 Aprilie 2010 (vezi Fig. 5.25).

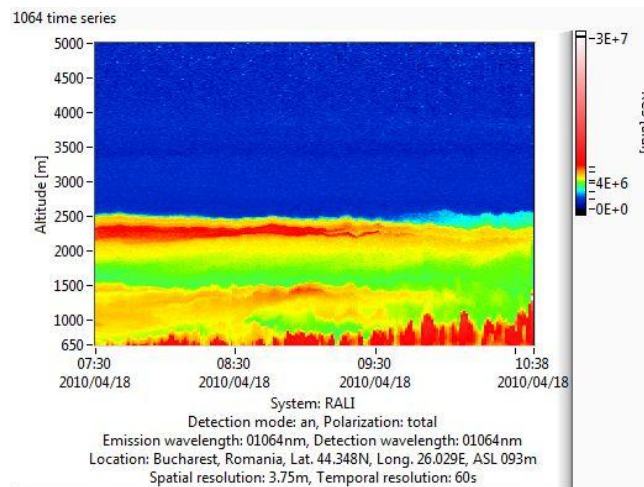


Fig. 5.25. Semnal RCS 1064 nm- Data: 18.04.2010. Interval orar: 07:30 - 10:30 UT; Măgurele;

Retro-trajectoriile Hysplit confirmă faptul că masele de aer de la altitudinea unde avem identificate straturi - 2,5 km, provin din zona vulcanului islandez (vezi Fig. 5.26.).

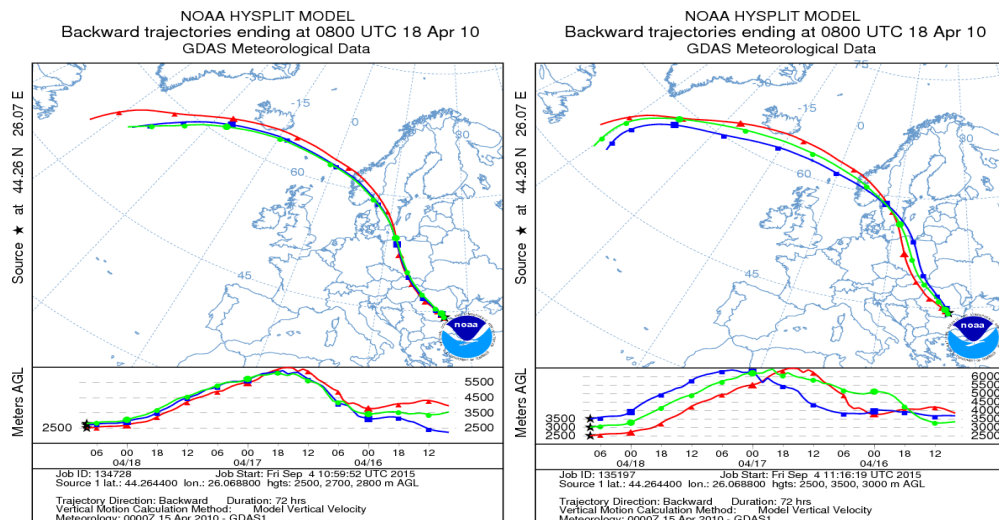


Fig. 5.26. Retro-traectorii HYSPLIT pentru data de 18.04.2010, ora 08:00.

Lipsa măsurătorilor de fotometrie solară nu permit însă calculul profilelor cu concentrația masică a aerosolului în timpul acestor intruziuni. Practic erupția acestor vulcani și închiderea spațiului aerian a impulsionează comunitatea științifică în dezvoltarea de noi algoritmi pentru calculul profilelor verticale cu concentrația masică a aerosolului, precum algoritmi LIRIC și POLIPHON aplicați în cadrul tezei.

### 5.3. Metodologie de analiză a riscului asociat intruziunilor de aerosol, bazată pe determinarea concentrațiilor din măsurători și modelare

Pentru a putea identifica posibilele intruziuni de aerosol cu potențial periculos și a evalua riscul reprezentat de acestea, în acest capitol se propune o metodologie de identificare și analiză a riscului bazată pe măsurători efectuate prin tehnici de teledetecție și utilizarea diferitelor modele disponibile.

După cum s-a arătat în capitolele anterioare, utilizarea tehnicilor de teledetecție activă și pasivă permite identificarea și analiza diferitelor intruziuni de aerosol provenind din surse naturale. Utilizând teledetecția în sinergie cu diferitele modele folosite pentru simularea dispersiei sau de estimare a concentrațiilor și cu măsurătorile de la nivelul solului, se pot realiza o serie de studii care permit identificarea și analiza riscului reprezentat de aceste intruziuni.

Metodologia propusă în acest capitol urmărește toate etapele evaluării riscului, începând cu identificarea posibilelor intruziuni, trecând prin analiza acestora și ajungând în final la

concluzii cu privire la gradul de pericolozitate reprezentat de acestea pentru om, mediu și societate.

Prima etapă presupune identificarea intruziunilor de aerosol natural cu potențial periculos înainte ca acestea să ajungă deasupra teritoriului României, folosind diferite modele de dispersie sau avertizări ale partenerilor din cadrul rețelelor internaționale. A doua etapă presupune identificarea intruziunilor cu ajutorul măsurărilor directe, atât prin teledetecție, pentru observarea diferitelor straturi situate la altitudine, cât și cu ajutorul aparatelor de măsură in-situ, pentru identificarea intruziunilor la nivelul solului. Aceste prime 2 etape sunt echivalente cu identificarea hazardului reprezentat de intruziunile de aerosol cu potențial periculos. Cea de-a treia etapă presupune analiza acestui hazard și a riscului asociat acestuia. În urma analizei riscului reprezentat de aceste intruziuni este posibilă o evaluare a impactului atât asupra factorilor de mediu cât și asupra sănătății umane.

Aceste trei etape din cadrul metodologiei au moduri diferite de realizare, în funcție de tipul de aerosol natural cu potențial periculos.

În Fig. 5.28. este prezentată într-un mod schematic metodologia de analiză a riscului asociat intruziunilor de aerosol dezvoltată în cadrul tezei. Utilizând această metodologie la stațiile RADO se pot oferi informații care să ajute la luarea deciziilor în caz de situații de urgență generate de intruziuni de aerosol cu potențial periculos, precum cenușa vulcanică, praful deșertic în concentrații mari sau aerosol provenit din incendii de biomasă posibil radioactiv precum incendiile din zona centralei nucleare de la Cernobâl.



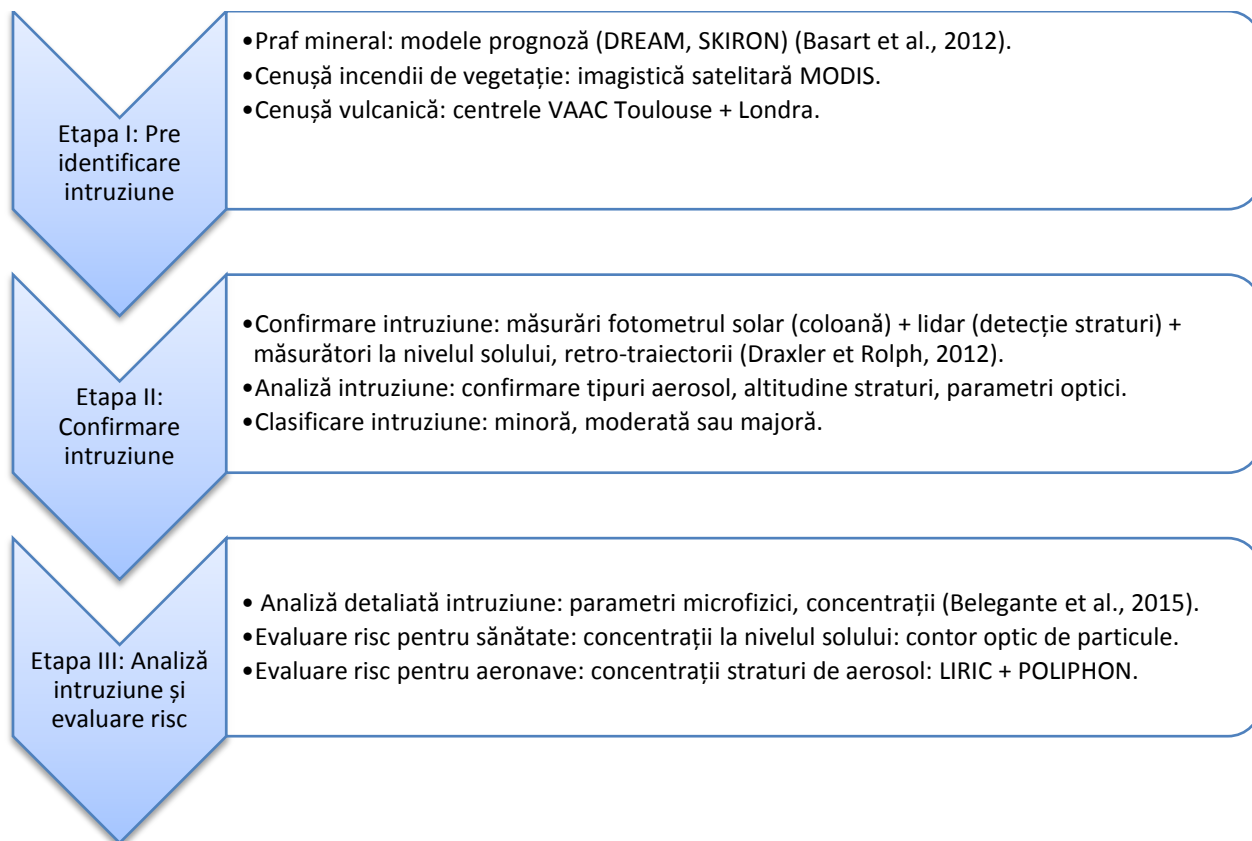


Fig. 5.35. Metodologie de analiză a riscului asociat intruziunilor de aerosol natural cu potențial periculos, bazată pe determinarea concentrațiilor din măsurători și modelare

## Concluzii, contribuții personale și perspective

### Concluzii generale și contribuții personale

În cadrul acestei teze doctorale, autorul și-a propus să realizeze o caracterizare complexă a aerosolului atmosferic provenit din surse naturale în vederea elaborării unei metodologii de analiză a riscului asociat intruziunilor de aerosol cu potențial periculos. Pentru realizarea acestei analize a aerosolului s-au folosit într-un mod integrat instrumente și tehnici de teledectecție, atât pasive cât și active. Datele de teledectecție au fost completate într-un mod sinergic cu date obținute de la măsurători in-situ și din diferite modele.

Pentru atingerea obiectivului general, au fost trasate o serie de obiective specifice. Acestea au fost îndeplinite după cum se arată în sinteza următoare:

**O1. Caracterizarea tipurilor de aerosol natural cu potențial periculos** - a fost îndeplinit în cadrul capitolului 2 unde a fost realizată o caracterizare detaliată a aerosolului cu potențial periculos provenit din surse naturale. Au fost luate în considerare trei tipuri de aerosol și anume cenușa provenită din incendii de biomasă, praful mineral și cenușa vulcanică. În ceea ce privește cenușa provenită din incendii de biomasă, aceasta poate avea o sursă locală, rezultând din practica comună a incendierii terenurilor agricole sau din alte incendii de vegetație, cât și o sursă aflată la distanță, precum incendiile de vegetație din peninsula Balcanică sau din Estul Europei. Praful mineral deșertic provine deasupra României în principal din deșertul Sahara, însă au fost evidențiate și cazuri când acesta provenea din Orientul Mijlociu, zona Siriei, Iordaniei, Irakului. Dacă primele două tipuri de aerosol cu potențial periculos apar relativ frecvent deasupra României, existând o anumită ciclitate în apariție, cenușa vulcanică apare în mod total aleator fiind necesară atât existența unei erupții vulcanice, cât și deplasarea maselor de aer înspre țara noastră. În ceea ce privește proprietățile optice și microfizice, acestea sunt oarecum similare pentru praful mineral și cenușa vulcanică minerală, aerosolul având dimensiuni relativ mari, asferice și puțin absorbante. În contrast, cenușa provenită din incendiile de vegetație are dimensiuni mici, un grad redus de asfericitate și este puternic absorbantă.

**O2. Analiza efectelor aerosolului și a riscurilor asociate** - a fost îndeplinit de asemenea în cadrul capitolului 2 unde au fost analizate efectele aerosolului asupra calității aerului, climatului precum și riscurile industriale și economice asociate tipurilor de aerosol analizate în cadrul tezei. Numeroase studii au evidențiat faptul că particulele materiale au un efect negativ asupra sănătății oamenilor, potențialul de a cauza efecte adverse fiind direct legat de dimensiunea particulelor, principala problemă ridicând-o particulele cu diametrul aerodinamic mai mic de 10  $\mu\text{m}$ . În ceea ce privește efectul asupra climatului, aerosolul afectează echilibrul radiativ al Pământului direct și indirect pe mai multe căi. În rapoartele IPCC anterioare (IPCC 1996, 2001, 2007) efectele radiative ale aerosolului sunt împărțite în efect direct și efect indirect. Începând cu raportul IPCC din anul 2013 este definit *forcingul radiativ datorat interacțiunii aerosol - radiație*, cunoscut în rapoartele precedente sub denumirea de forcing radiativ direct, și *forcingul datorat interacțiunii aerosol - nor*, în rapoartele precedente cunoscut sub denumirea de primul forcing radiativ indirect (IPCC, 2013). În ansamblu, aerosolul atmosferic produce o răcire care contrabalansează încălzirea produsă de gazele cu efect de seră. Însă dacă analizăm fiecare tip de aerosol individual, putem spune că praful mineral și cenușa vulcanică produc o anumită răcire,

pe când aerosolul provenit din incendii de vegetație produce o încălzire. Riscul socio - economic și impactul asociat se referă în principal la reducerea vizibilității atât prin apariția unor episoade puternice de ceață cât și prin manifestarea unor fenomene extreme precum furtunile violente de nisip, cenușa vulcanică sau fumul rezultat din marile incendii de vegetație. Principala consecință asupra mediului socio-economic asociată aerosolului natural este reprezentată de efectele negative asupra aeronavelor, acestea fiind afectate atât de reducerea vizibilității cât și de intruziunile de cenușă vulcanică. Cele mai cunoscute episoade din istoria recentă sunt legate de erupția vulcanilor islandezi Eyjafjallajökull în 2010 și Grímsvötn în 2011.

**O3.** *Analiza și intercompararea algoritmilor LIRIC și POLIPHON și O4.* *Determinarea concentrațiilor masice și volumice ale aerosolului folosind cei 2 algoritmi* au fost îndeplinite în capitolul 4. Acești doi algoritmi considerați „state of the art” în cadrul comunității de teledetecție sunt aplicați, analizați și intercomparați în vederea identificării potențialului lor de a oferi informații legate de concentrația de aerosol prezent în atmosferă. Acest lucru este important deoarece de această informație se leagă posibilitatea de a evalua riscul prezentat de intruziunile de aerosol. Practic această preocupare a comunității științifice de a putea obține profile de concentrații utilizând tehnici de teledetecție a fost impulsionată de lipsa unor informații sigure în timpul erupției vulcanului Eyjafjallajökull. Analiza ulterioară a arătat faptul că spațiul aerian a fost închis fără ca acest lucru să fie necesar peste tot, producându-se astfel mari pierderi economice. Cei doi algoritmi folosesc date măsurate cu ajutorul sistemelor lidar multicanal și a fotometrelor solare, fiind la momentul actual cele mai bune tehnici de estimare a concentrațiilor, exceptând măsurătorile in-situ.

**O5** *Analiza spațio-temporală a aerosolului natural la stațiile RADO* a fost îndeplinit în prima parte a capitolului 5, fiind analizate datele de fotometrie solară de la 5 stații situate pe teritoriul României, din regiuni diferite: București -Măgurele, Cluj Napoca, Eforie Nord, Iași și Timișoara. Stațiile fac parte din rețeaua globală de fotometre solare NASA-AERONET, fiind analizați principalii parametri care caracterizează aerosolul: coeficientul Ångstrom – ( $\alpha_{440-870}$ ), adâncimea optică a aerosolului ( $AOT_{440}$ ), distribuția dimensională, partea reală a indicelui complex de refracție ( $n_{(438)}$ ) și albedoul împrăștierii singulare ( $SSA_{(440)}$ ).

Valorile medii obținute pentru toți acești parametri sunt specifice aerosolului de tip urban continental cu influențe datorate diferitelor intruziuni de praf mineral sau cenușă provenită de la incendii de vegetație. Valorile medii măsurate sunt similare cu cele obținute la alte stații

AERONET similare precum Paris și Greenbelt, USA. Identificarea intruziunilor de praf mineral sau aerosol din incendii de vegetație s-a realizat utilizând coeficientul Ångström – ( $\alpha_{440-870}$ ), acesta având valori specifice bine cunoscute în literatură pentru fiecare tip de aerosol. Am considerat valoarea  $\alpha_{440-870}=1.3$  ca fiind valoarea maximă pentru prezența prafului saharian, iar valoarea  $\alpha_{440-870}=1.8$  ca fiind valoarea minimă pentru cazurile care conțin aerosol provenit din incendii de vegetație. Confirmarea cazurilor s-a făcut cu ajutorul modelului HYSPLIT de prognoză a traiectoriilor maselor de aer, modelului de prognoză a intruziunilor de praf DREAM, a imagisticii satelitare - spectrometrul MODIS și a datelor AERONET de inversie în cazul în care acestea erau disponibile. La toate stațiile s-au confirmat aproximativ 80 % din cazuri, majoritatea cazurilor neconfirmate fiind înregistrate în zile cu valori mici ale AOT, deci în zile cu grad redus de încărcare a atmosferei cu aerosol.

În ceea ce privește datele de inversie obținute cu ajutorul fotometriei solare, acestea au valori medii asemănătoare cu valorile măsurate la alte stații similare. Partea reală a indicelui complex de refracție, care oferă informații privind capacitatea de absorbție a aerosolului,  $n_{(438)}$  are valori medii cuprinse între 1,40 la Cluj Napoca și Iași și 1,42 la Eforie, acestea fiind similare altor zone în care predomină aerosolul continental urban: Paris - 1,40 și Greenbelt, USA - 1,39 (Dubovik et al., 2002). Valorile crescute ale albedoului împrăștierii singulare -  $SSA_{(440)}$  arată capacitatea scăzută de absorbție a aerosolului, mediile obținute la cele 5 stații, cuprinse între 0,92 la Cluj Napoca și 0,94 la București, Eforie Nord și Iași fiind similare celor măsurate la Paris - 0,94. Acestea sunt însă mai mici decât valorile obținute la Greenbelt, USA - 0,98 unde ceața specifică zonei este aproape neabsorbantă.

**O6.** *Dezvoltarea unei metodologii de analiză a riscului asociat intruziunilor de aerosol bazată pe determinarea concentrațiilor din măsurători și modelare s-a realizat în ultima parte a capitolului 5 unde a fost propusă această metodologie. Utilizând teledetecția în sinergie cu diferitele modele folosite pentru simularea dispersiei sau de estimare a concentrațiilor și cu măsurătorile de la nivelul solului, se pot realiza o serie de studii care permit identificarea și analiza riscului reprezentat de aceste intruziuni. Metodologia propusă în acest capitol urmărește toate etapele evaluării riscului, începând cu identificarea posibilelor intruziuni, trecând prin analiza acestora și ajungând în final la concluzii cu privire la gradul de pericolozitate reprezentat de acestea pentru om, mediu și societate. Prima etapă reprezintă faza de atenționare, identificarea unor posibile intruziuni de aerosol cu potențial periculos înainte ca aceasta să ajungă pe teritoriul*

țării. Acest lucru se poate face consultând o serie de modele de prognoză, modele de dispersie sau prin atenționări ale partenerilor internaționali. Etapa a II-a presupune identificarea intruziunilor după ce acestea au ajuns în spațiul aerian al României, mai exact deasupra stațiilor cu echipamente de teledetecție. Pentru acest lucru se pot folosi instrumentele de teledetecție disponibile la stațiile RADO, atât sistemele lidar cât și fotometrele solare. Etapa a III-a presupune analiza detaliată a proprietăților aerosolului și obținerea concentrației masice a acestuia atât la nivelul solului, utilizând monitoarele punctuale pentru concentrațiile de aerosol, cât și din atmosferă, calculând profilele verticale cu concentrații. În funcție de tipul de aerosol prezent în atmosferă se folosește unul din cei doi algoritmi analizați în cadrul tezei: LIRIC sau POLIPHON. În urma obținerii concentrațiilor atât la nivelul solului cât și a profilelor cu concentrații, urmează informarea părților co-interesate: autorități, cercetători sau publicul larg.

Cunoscând tipul de aerosol prezent în atmosferă și concentrația acestuia, se poate evalua impactul acestor intruziuni asupra mediului, sănătății și economiei. În ceea ce privește impactul asupra sănătății umane, care poate avea loc doar în cazul contactului direct, deci prin ajungerea particulelor de aerosol la nivelul solului, în cazul în care media zilnică pentru  $PM_{10}$  depășește pragul de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se recomandă avertizarea părților co-interesate, indiferent de tipul de aerosol prezent în atmosferă.

În ceea ce privește impactul asupra aeronavelor, valoarea limită peste care motoarele acestora sunt afectate de cenușă a fost considerată ca fiind de  $2 \text{ mg}/\text{m}^3$  imediat după erupția vulcanului Eyjafjallajokull în 2010, iar după data de 4 mai această limită a fost crescută la  $4 \text{ mg}/\text{m}^3$  (VAAC Toulouse). Prin urmare, în cazul în care această concentrație este obținută în atmosferă în urma rulării celor doi algoritmi de calcul a profilelor verticale cu concentrații, se recomandă oprirea zborurilor și închiderea spațiului aerian.

## **Perspective**

Din punct de vedere al perspectivelor de cercetare în domeniul teledetecției, sunt în curs de implementare mai multe activități în care autorul este implicat. O primă activitate constă în integrarea stației lidar de la Facultatea de Știința și Ingineria Mediului UBB Cluj Napoca în rețeaua EARLINET, acest lucru fiind posibil după instalarea noului sistem lidar raman multicanal achiziționat printr-un proiect POSCCE - *Dezvoltarea infrastructurii de cercetare pentru managementul dezastrelor bazat pe calcul de înaltă performanță- MADECIP*, autorul

contribuind la aceasta atât prin cunoștințele acumulate pe parcursul desfășurării studiilor doctorale prin utilizarea sistemului similar de la stația centrală RADO aflată la Institutul Național de C & D pentru Optoelectronică INOE 2000 - Măgurele, cât și prin utilizarea algoritmului Single Calculus Chain de prelucrare unitară a datelor lidar în cadrul rețelei EARLINET, activitate desfășurată în timpul efectuării stagiului de perfecționare de care autorul a beneficiat prin intermediul bursei oferite de către ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace gases Research InfraStructure Network) - Trans National Access câștigată cu proiectul *AEROCLASS: AEROSol CLASSification based on multiwavelength lidar data* la CIAO-CNR-IMAA, în Potenza, Italia.

A doua activitate în domeniul teledetecției constă în utilizarea datelor AERONET care caracterizează aerosolul deasupra României analizate de autor, în vederea îndeplinirii obiectivelor proiectului SAMIRA - *SAtellite based Monitoring Initiative for Regional Air quality* finanțat de Agenția Spațială European, unul dintre obiective urmărind obținerea unor hărți cu concentrația de particule materiale la nivelul solului utilizând tehnici de teledetecție.

O altă direcție de cercetare care derivă din activitatea desfășurată în timpul studiilor doctorale vizează analiza riscului asociat incendiilor de vegetație la nivel local, atât incendii de pădure cât și a altor incendii de vegetație - terenuri agricole, pajiști. Se urmărește analiza și evaluarea riscurilor asociate incendiilor atât pentru mediu cât și pentru comunitățile locale și persoanele care participă activ la stingerea acestor incendii. O altă componentă a acestei direcții vizează politicile de prevenire a incendiilor de vegetație și analiza nivelului de pregătire a populației și instituțiilor cu responsabilități în ceea ce privește situațiile de urgență create de incendiile de vegetație dar și stadiul de educare/informare a populației în domeniu.

Cercetarea desfășurată în cadrul tezei va permite aplicarea la noi proiecte de cercetare în domeniul teledetecției utilizate în analiza și evaluarea riscului, fiind avută în vedere și o dezvoltare a curriculei academice în domeniu.

## Bibliografie selectivă:

1. Ajtai, N., Ștefănie, H., Stoian, L.C., Oprea, M.G., (2010), *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 14<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> April 2010*, AES Bioflux 2(1):57-68, ISSN 2066-7620.
2. Ajtai, N., Ștefănie, H., Ozunu, A., 2013, *Description of aerosol properties over Cluj-Napoca derived from AERONET sun photometric data*, Environmental Engineering and Management Journal 2/2013, ISSN: 1582-9596.
3. Alexander, D., (1993), *Natural Disasters*, Univ. College London.
4. Ångström, A., (1929), On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air, Geogr. Ann., 11, 156–166.
5. Ansmann A., Bosenberg J., Chaikovsky A., Comeron A., Eckhardt S., Eixmann R., Freudenthaler V., Ginoux P., Komguem L., Linné H., Márquez M.A.L., Matthias V., Mattis I., Mitev V., Müller D., Music S., Nickovic S., Pelon J., Sauvage L., Sobolewsky P., Srivastava M. K., Stohl A, Torres O., Vaughan G., Wandinger U., Wiegner M., 2003, *Long-range transport of Saharan dust to northern Europe: The 11–16 October 2001 outbreak observed with EARLINET*, Journal of Geophysical Research, 108, 4783, D24.
6. Ansmann, A., Riebesell, M., Wandinger, U., Weitkamp, C., Voss, E., Lahmann, W., Michaelis, W., (1992), Combined Raman Elastic – Backscatter LIDAR for Vertical Profiling of Moisture, Aerosol Extinction, Backscatter and LIDAR Ratio, Applied Physics B55, p: 18 – 28.
7. Ansmann, A., Seifert, P., Tesche, M., Wandinger, U., (2012), *Profiling of fine and coarse particle mass: case studies of saharan dust and Eyjafjallajökull/Grimsvötn volcanic plumes*, Atmospheric Chemistry and Physics, 12(20):9399–9415;
8. Ansmann, A., Tesche, M., Gross, S., Freudenthaler, V., Seifert, P., Hiebsch, A., Schmidt, J., Wandinger, U., Mattis, I., Müller, D., Wiegner, M., (2010), *The 16 April 2010 major volcanic ash plume over central Europe: EARLINET lidar and AERONET photometer observations at Leipzig and Munich, Germany*, Geophys. Res. Lett. 37, 13, L13810, DOI: 10.1029/2010GL043809.
9. Ansmann, A., Tesche, M., Seifert, P., Gross, S., Freudenthaler, F., Apituley, A., Wilson, K.M., Serikov, I., Linné, H., Heinold, B., Hiebsch, A., Schnell, F., Schmidt, J., Mattis, I., Wandinger, U., Wiegner, M., (2011), *Ash and finemode particle mass profiles from EARLINET-AERONET observations over central Europe after the eruptions of the Eyjafjallajökull volcano in 2010*, J. Geophys. Res. 116, D20, D00U02, DOI: 10.1029/2010JD015567.
10. Basart, S., Pérez, C., Nickovic, S., Cuevas, E., Baldasano, J.M., 2012, *Development and evaluation of the BSC-DREAM8b dust regional model over Northern Africa, the Mediterranean and the Middle East*, Tellus B, 64.
11. Benedek, J., (2002) *Riscurile umane*, în volumul Riscuri și catastrofe, editor Victor Sorocovschi, Casa Cărții de știință, Cluj-Napoca.
12. Blaikie, P., Cannon T., Davis, I., Wisner, B. (1994), *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*, Routledge, London.
13. Brauch, H.G., (2005), *Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks in Environmental and Human Security*, United Nations University, nr. 1/2005.

14. Brunekreef, B., Holgate, S.T., (2002), *Air pollution and health*, Lancet 360, 1233–1242.
15. Cardona, O.D., (2006), *A system of indicators for disaster risk management in the Americas*, în: Birkmann, J. (Ed.), *Measuring Vulnerability to Natural Hazards—Towards Disaster Resilient Societies*. UNUPress, Tokyo, New York, Paris.
16. Carstea, E., Radulescu, R., Belegante, L., Radu, C., 2010, *Volcanic ash monitoring over Bucharest area using a multiwavelength Raman lidar*, Optoelectron. Adv. Mater Rapid Commun. 4, 12, 2162-2166.
17. Cazacu, M.M., Unga, F., Ajtai, N., Stefanie, H.I., Timofte, A., Dimitriu, D., Gurlui, S., 2013, *Monitoring and analyses of Grimsvotn volcanic dust intrusion over northern Romania. Lidar and AERONET considerations*, 6<sup>th</sup> Workshop on Optoelectronic Techniques for Environmental Monitoring OTEM 2013, Jun 2013, Timișoara, România
18. D’Amico, G. et al., 2012, *EARLINET single calculus chain for automatic LIDAR data processing: first tests on optical products*, 26th International Laser Radar Conference, 25/6/2012-29/6/2012, A. Papayannis and D. Balis and V. Amiridis (Ed), 2012, Porto Heli, Greece, ICLAS, 331-334, 2012.
19. Dale, W.G., Kellogg, C.A., (2004,) *Dust Storms and Their Impact on Ocean and Human Health: Dust in Earth’s Atmosphere*, EcoHealth 1, 284–295, 2004.
20. D’Almeida, G.A., Koepke, P., Shettle, E.P., (1991), *Atmospheric aerosols, global climatology and radiative characteristics*, Deepak Publ., pp.561.
21. 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.
22. Dubovik, O., King, M.D., (2000), *A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements*, J. Geophys. Res., 105, 20 673-20 696.
23. Dubovik, O., Smirnov, A., Holben, B.N., (2000), *Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from Aerosol Robotic Network (AERONET) sun and sky radiance measurements*, JGR, 105 (D8), 9791-9806.
24. 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.
25. Dubovik, O., et al., (2006), *Application of spheroid models to account for aerosol particle nonsphericity in remote sensing of desert dust*, J. Geophys. Res., 111, doi:10.1029/2005JD006619.
26. Dunn, M.G., Wade, D.P., (1994), *Influence of Volcanic Ash Clouds on Gas Turbine Engines*, în Casadevall, T. J. (ed.). "Volcanic Ash and Aviation Safety - Proceedings of the First International Symposium on Volcanic Ash and Aviation Safety" U.S. Geological Survey Bulletin 2047, p. 107-118.



27. Eck, T.F., Holben, B.N., Reid, J.S., Dubovik, O., Smirnov, A., O'Neill, N.T., Slutsker, I., Kinne, S., (1999), *Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban and desert dust aerosols*, J. Geophys. Res., 104, 31 333-31 350.
28. Groß, S., et al., 2011, *Characterization of Saharan dust, marine aerosols and mixtures of biomass-burning aerosols and dust by means of multi-wavelength depolarization and Raman lidar measurements during SAMUM 2*, Tellus B, [S.I.], v. 63, n. 4, Dec. 2011. ISSN 1600-0889.
29. Guffanti, M., Mayberry, G.C., Miller, T.P., 2003, *Impact of volcanic activity on airports*, presentation at the 3rd International Workshop on Volcanic Ash, Toulouse, France.
30. Harrison, R.M., Grieken, R., (1998), *Atmospheric particles*, J. Wiley.
31. Hess, M., Koepke, P., Schult, I., (1998), *Optical properties of aerosols and clouds: the software package OPAC*, Bull. Am. Meteorol. Soc., 79, 831–844.
32. Hyslop, N.P., (2009), *Impaired visibility: the air pollution people see*, Atmospheric Environment Volume 43, Issue 1, Pages 182–195.
33. Holben, B.N., et al., (1998), *AERONET - A federated instrument network and data archive for aerosol characterization*, Remote Sensing Environ., 66, 1-16.
34. Holben, B.N., et al., (2001), *An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol Optical Depth from AERONET*, J. Geophys. Res., 106, 12 067-12 097.
35. Kokhanovsky, A., (2008), *Aerosol Optics, Light Absorption and Scattering by Particles in the Atmosphere*, ISBN 978-3-540-23734-1, Springer Berlin Heidelberg New York.
36. Kovalev, V.A., Eichinger, W.E. (2004), *Elastic LIDAR – Theory, Practice, and Analysis Methods*, Wiley InterScience a John Wiley & Sons Inc.
37. Mac, I., Petrea, D., (2002), *Polisemia evenimentelor geografice extreme*, în volumul Riscuri și catastrofe, editor Victor Sorocovschi, Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca.
38. Mahowald, N., et al., (2013), *The size distribution of desert dust aerosols and its impact on the Earth system*, Aeolian Research <http://dx.doi.org/10.1016/j.aeolia.2013.09.002>.
39. Mueller, D., Wagner, F., Wandiger, U., Ansmann, A., Wendisch, M., Althausen, D., and Hoyningen-Huene, W., (2000), *Microphysical particle parameters from extinction and backscatter lidar data by inversion with regularization: experiment*, Appl. Opt., 39(12): p. 1879-1892.
40. Nemuc, A., Belegante, L., Radulescu, R., 2011, *One year of sunphotometer measurements in Romania*, Romanian Journal of Physics, 56/3-4 (2011) 550-562.
41. Nemuc, A., Stachlewska, I.S., Vasilescu, J., Górska, A., Nicolae, D., Talianu, C., (2013), *Optical Properties of Long-Range Transported Volcanic Ash over Romania and Poland During Eyjafjallajökull Eruption in 2010*, Acta Geophysica vol. 62, no. 2, Apr. 2013, pp. 350-366 DOI: 10.2478/s11600-013-0180-7.
42. Nickovic, S., Kallos, G., Papadopoulos, A., Kakaliagou, O., 2001, *A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere*, Journal of geophysical research, 106(D16):18113–18.
43. Nicolae, D.,( 2013), *Tehnici LIDAR pentru caracterizarea aerosolilor din atmosfera joasă*, Editura Tehnopress, Iași, ISBN 978-973-702-973-7.

44. Nicolae, D., Nemuc, A., Müller, D., Talianu, C., Vasilescu, J., Belegante, L., Kolgotin, A., (2013), *Characterization of fresh and aged biomass burning events using multiwavelength Raman lidar and mass spectrometry*, Journal Of Geophysical Research: Atmospheres, VOL. 118, 1–10, doi:10.1002/jgrd.50324.
45. Ozunu, A., (2000), *Elemente de hazard și risc în industrii poluante*, Editura Accent, Cluj-Napoca.
46. Papayannis, A., Mamouri, R.E., Amiridis, V., Giannakaki, E., Veselovskii, I., Kokkalis, P., Tsaknakis, G., Balis, D., Kristiansen, N.I., Stohl, A., Korenskiy, M., Allakhverdiev, K., Huseyinoglu, M.F., Baykara, T., (2012), *Optical properties and vertical extension of aged ash layers over the Eastern Mediterranean as observed by Raman lidars during the Eyjafjallajökull eruption in May 2010*, Atmos. Environ. 48, 56-65, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.08.037.
47. Pelling, M., (2004), *Visions of Risk: A Review of International Indicators of Disaster Risk and its Management*, UNDP—Bureau for Crisis Prevention and Recovery (BRCP), Geneva.
48. Reid, J.S., Hobbs, P.V., (1998), *Physical and optical properties of young smoke from individual biomass fires in Brazil*, J. Geophys. Res., 103, 32 013–32 030.
49. Reid, J.S., Koppmann, R., Eck, T.F., Eleuterio, D.P., (2005), *A review of biomass burning emissions part II: intensive physical properties of biomass burning particles*, Atmospheric Chemistry and Physics, 5(3):799–825;
50. Remer, L.A., Kaufman, Y.J., Holben, B.N., Thompson, A.M., McNamara, D., (1998), *Biomass burning aerosol size distribution and modeled optical properties*, J.Geophys.Res., 103, 31 879-31 891.
51. Ryu, S.Y., Kwon, B.G., Kim, Y.J., Kim, H.H., Chun, K.J., (2007), *Characteristics of biomass burning aerosol and its impact on regional air quality in the summer of 2003 at Gwangju, Korea*, Atmospheric Research 84 362–373.
52. Shaw, G.E., (1983), *Sun photometry*, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 64, p. 4–11.
53. Seinfeld, J.H., (1994), *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, Wiley and Sons, New York, 700pg.
54. Seinfeld, J.H., Pandis S.N., (1998), *Atmospheric chemistry and physics. From air pollution to the climate change*, John Wiley & Sons.
55. Stohl, A., Forster, C., Frank, A., Seibert, P., Wotawa, G., 2005, *Technical note: The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 6.2.*, Atmos. Chem. Phys., 5, 2461-2474.
56. Ștefan, S., Nicolae, D., Caian, M., (2008), *Secretele aerosolului atmosferic în lumina laserului*, Ed. Ars Docendi, București.
57. Ștefan, S., Filip, L., Nemuc, A., 2011, *A study of the aerosol optical properties at two AERONET stations from Romania*, Environmental Engineering and Management Journal, 10/1 (2011) 147-153.

58. Ștefănie, H., Ajtai, N., Botezan, C., Țoancă, F., Török, Z., Ozunu, A., 2015 (a), *Detection of a desert dust intrusion over Cluj-Napoca, Romania using an elastic backscatter LIDAR system*, ECOTERRA - Journal of Environmental Research and Protection, 12-02, pp 50 -55.
59. Ștefănie, H., Cazacu, M.M., Timofte, A., Benciu, F., Dandocsi, A., Solomos, S., Ozunu, A., (2015 (b)), *Assessing the presence of biomass burning aerosols above Romania during the fires around Chernobyl -Ukraine in May 2015 using remote sensing techniques*, 2015 Annual Scientific Conference, ISSN: 1843-6838, Faculty of Physics, University of Bucharest, June 2015.
60. Tesche, M., Ansmann, A., Müller, D., Althausen, D., Engelmann, R., Freudenthaler, V., Groß, S., (2009), *Vertically resolved separation of dust and smoke over cape verde using multiwavelength raman and polarization lidars during saharan mineral dust experiment 2008*, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 114(D13):D13202.
61. Thywissen, K., (2006), *Components of Risk*, United Nations University, UNU-EHS Institute for Environment and Human Security, No. 2/2006, ISBN: 3-9810582-1-6 162.
62. Török, Z., Ajtai, N., Ozunu, A., (2011), *Aplicații de calcul pentru evaluarea riscului producerii accidentelor industriale majore ce implică substanțe periculoase*, Editura Fundației pentru Studii Europene.
63. Țoancă, F., Ștefănie, H., Andrei, S., Barbu, N., Nicolae, D., *Analysis of fog events at Măgurele – Romania using ground based equipments and air circulation*, 2015, International Multidisciplinary Scientific Conference, p. 965-972, (ELSEVIER, SCOPUS and Compendex).
64. Veselovskii, I., et al., 2013, *Retrieval of spatio-temporal distributions of particle parameters from multiwavelength lidar measurements using the linear estimation technique and comparison with AERONET*, Atmospheric Measurement Techniques, 6, 2671-2682.
65. Wagner, J., Ansmann, A., Wandinger, U., Seifert, P., Schwarz, A., Tesche, M., Chaikovsky, A., Dubovik, O., (2013), *Evaluation of the Lidar/ Radiometer inversion code (LIRIC) to determine microphysical properties of volcanic and desert dust*, Atmospheric Measurement Techniques, 6(7):1707–1724.
66. Winkler, H., Formenti, P., Esterhuyse, D.J., Swap, R.J., Helas, G., Annegarn, H.J., Andreae, M.O., (2008) *Evidence for large-scale transport of biomass burning aerosols from sunphotometry at a remote South African site*, Atmospheric Environment 42, 5569– 5578.
67. \*\*\*JRC Technical Report (2014), *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2013*, Joint report of JRC and Directorate-General Environment, Joint Research Centre of the European Commission, ISBN 978-92-79-39627-4.
68. \*\*\* Legea 104/2014 privind calitatea aerului.
69. \*\*\* World Meteorological Organization, [https://www.wmo.int/pages/index\\_en.html](https://www.wmo.int/pages/index_en.html)