

**ΔΕΛΤΙΟ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΕΡΓΟΥ  
ΔΙΑΚΡΑΤΙΚΗΣ Ε&Τ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ**

**ΕΛΛΗΝΟ – ΡΟΥΜΑΝΙΚΗ Ε+Τ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ**

Τίτλος Έργου: **ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ  
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΒΑΛΚΑΝΙΩΝ  
(ΑΘΗΝΑ & ΒΟΥΚΟΥΡΕΣΤΙ) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ LIDAR**

Επιστημονικός Τομέας: **ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Έλληνας Επιστημονικός Υπεύθυνος: Δρ. Αλέξανδρος ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗΣ  
Αναπληρωτής Καθηγητής  
e-mail: [apdlidar@central.ntua.gr](mailto:apdlidar@central.ntua.gr)

Ανάδοχος Φορέας: Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, ΣΕΜΦΕ, Τομέας Φυσικής,  
Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου

Συνεργαζόμενη Ελληνική Επιχείρηση:  
(εάν υπάρχει)

Επιστημονικός Υπεύθυνος: Dr. Vasile BABIN  
(αλλοδαπής χώρας)

Συνεργαζόμενος Φορέας: National Institute for R&D for Optoelectronics  
(αλλοδαπής χώρας) Dept. of Optoelectronic Techniques for Environment Evaluation  
1, Atomistilor Str., P.O.Box MG-5, Magurelle, Ifov, RO-077125  
Bucarest, Romania

Ημερομηνία έναρξης: 05/06/2006 Ημερομηνία λήξης: 31/03/2008  
(συμπεριλαμβανομένων τυχόν παρατάσεων)

Ημερομηνία είσπραξης αρχικής χρηματοδότησης: 28/06/2006

Έγκριθείς προϋπολογισμός εκ μέρους της Γ.Γ.Ε.Τ.: **11.740,00 €**

Οικονομική συμμετοχή Επιχείρησης:

*\*για την περίπτωση της Ελληνο-Γαλλικής Συνεργασίας*

Συνεργαζόμενη Τρίτη Χώρα (εάν υπάρχει):

Συνεργαζόμενος Φορέας της Τρίτης Χώρας:

# ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

## ΤΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΝΤΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Τα αιωρούμενα σωματίδια (αερολύματα) έχουν πολύ μεγάλη επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο της γης, μέσω της διαδικασίας σκέδασης και της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Εκτιμάται ότι τα αερολύματα προκαλούν συνολικά ψύξη της γήινης ατμόσφαιρας, που αντιστέκεται στην θέρμανση της ατμόσφαιρας από το CO<sub>2</sub> (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Παρόλο το σημαντικό ρόλο των αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο της γης, ελάχιστα στοιχεία είναι γνωστά για την χωρική και χρονική μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής τους στην ατμόσφαιρα, για την κλιματολογία και τους μηχανισμούς τροποποίησής τους, ειδικότερα στην περιοχή των Βαλκανίων. Η τεχνολογία της τηλεπισκόπησης laser (τεχνική lidar) είναι η μόνη που είναι ικανή να καταγράψει την κατακόρυφη κατανομή των αερολυμάτων σε πραγματικό χρόνο με πολύ μεγάλη χωρο-χρονική ακρίβεια.

Στο ερευνητικό αυτό έργο αναπτύχθηκε μια κλιματολογική βάση δεδομένων για την κατακόρυφη κατανομή των αερολυμάτων στην περιοχή των Βαλκανίων (Ελλάδα και Ρουμανία). Επιπλέον, σε συνδυασμό με μετεωρολογικά δεδομένα, προσδιορίστηκαν οι κύριοι μηχανισμοί μεταφοράς αερολυμάτων στην περιοχή των Βαλκανίων, καθώς και οι κύριες πηγές προέλευσής τους που επηρεάζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή αυτή. Συγχρονισμένες και τακτικές μετρήσεις των αερολυμάτων με την τεχνική lidar επέτρεψαν, για πρώτη φορά, τη μελέτη και κατανόηση των μηχανισμών τροποποίησης των αερίων μαζών στη μελετούμενη περιοχή.

#### *1. Αντικείμενο του έργου*

*Αντικείμενο* της παρούσας πρότασης είναι η δημιουργία μιας κλιματολογικής βάσης δεδομένων για την μελέτη της χωρο-χρονικής μεταβολής της κατακόρυφης κατανομής των αιωρούμενων σωματιδίων (αερολυμάτων) στην Ελλάδα (Αθήνα) και την Ρουμανία (Βουκουρέστι) με την χρήση της επίγειας τηλεπισκόπησης laser (τεχνική lidar). Χρησιμοποιώντας, παράλληλα, και μετεωρολογικά δεδομένα μελετάται η διασυνοριακή αερομεταφερόμενη ρύπανση, οι μηχανισμοί μεταφοράς ρύπων και εντοπίζονται οι βασικές πηγές αερολυμάτων που επιδρούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή των Βαλκανίων.

#### *2. Η τεχνική lidar*

Περισσότερο από 35 χρόνια η τεχνική της τηλεπισκόπησης laser (τεχνική lidar) χρησιμοποιείται για την μελέτη της γήινης ατμόσφαιρας (στρωματώσεις, νέφη, βάθος ανάμιξης οριακού στρώματος, κλπ.), την μέτρηση της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης διαφόρων αερίων ρυπαντών (πχ. O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, Hg, τολουένιο, βενζόλιο, κλπ.),

καθώς και των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων (οπτικό βάθος, συντελεστής εξασθένησης και οπισθοσκέδασης) [Kölsch (1989), Measures (1992), Kovalev and Eichinger (2004), Bösenberg et al., (2003)].

Η τεχνική lidar είναι μία μέθοδος της ενεργούς τηλεπισκόπησης που βασίζεται στην εκπομπή χρονικά στενών (διάρκειας ns ή fs) παλμών laser στην μελετούμενη ατμόσφαιρα. Ανάλογα με τον μελετούμενο αέριο ρύπο, επιλέγονται και τα κατάλληλα μήκη κύματος. Στην περίπτωση της μέτρησης της κατακόρυφης κατανομής των αιωρούμενων σωματιδίων διάφορα μήκη κύματος μπορούν να επιλεγούν από την υπεριώδη έως την υπέρυθρη περιοχή (0.355 to 12  $\mu\text{m}$ ). Η οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία από την μελετούμενη ατμόσφαιρα συλλέγεται από ένα οπτικό τηλεσκόπιο. Η επιλογή των μηκών κύματος των σημάτων lidar πραγματοποιείται με την βοήθεια στενών φασματικών φίλτρων συμβολής ή με τη βοήθεια ενός φασματόμετρου. Η ανίχνευση των σημάτων lidar πραγματοποιείται με την βοήθεια φωτοπολλαπλασιαστών (PMTs) ή φωτοδιόδων (APDs). Ακολούθως, τα σήματα lidar ψηφιοποιούνται και καταγράφονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή [Measures, 1992, Weitkamp, 2005].

Η ικανότητα της τεχνικής lidar να πραγματοποιεί μετρήσεις ατμοσφαιρικών παραμέτρων (σχετική υγρασία, πυκνότητα, ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, θερμοκρασία, κλπ.) και συγκεντρώσεων αέριων ρυπαντών με πολύ μεγάλη χωρική (περίπου 10-15 m) και χρονική ακρίβεια (μερικά δευτερόλεπτα έως μερικές δεκάδες λεπτά της ώρας) προκύπτει από την εκπομπή χρονικά στενών παλμών (διάρκειας ns ή fs) με μεγάλη επαναληπτικότητα (μερικές δεκάδες Hz έως kHz) σε συνδυασμό με γρήγορες τεχνικές ανίχνευσης και ψηφιοποίησης σημάτων (transient recorders).

Μετρώντας την καθυστέρηση που προκύπτει μεταξύ του εκπεμπόμενου και του οπισθοσκεδαζόμενου παλμού είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την απόσταση του μελετούμενου ατμοσφαιρικού όγκου και να πετύχουμε την μέτρηση των επιθυμητών ατμοσφαιρικών ρυπαντών ή των παραμέτρων της ατμόσφαιρας.

Η δημιουργία του Ευρωπαϊκού Δικτύου lidar (Πρόγραμμα EARLINET) το έτος 2000 [Bösenberg et al., 2003], με χρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, επέτρεψε την πραγματοποίηση των πρώτων συντονισμένων μετρήσεων lidar στην Ευρωπαϊκή ήπειρο. Έτσι, στα πλαίσια του προγράμματος αυτού πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες συστηματικές μετρήσεις της κατακόρυφης κατανομής των οπτικών παραμέτρων των αερολυμάτων στην κεντρική, νοτιο-ανατολική, νοτιο-δυτική, βορειο-ανατολική και βορειο-δυτική Ευρώπη. Με βάση τις

μετρήσεις αυτές δημιουργήθηκε η πρώτη κλιματολογική βάση δεδομένων της κατακόρυφης κατανομής των οπτικών παραμέτρων των αερολυμάτων στις προαναφερθείσες περιοχές της Ευρωπαϊκής ηπείρου. Στην περιοχή της Ανατολικής Ευρώπης συστηματικές μετρήσεις lidar πραγματοποιούνται μόνον στην Ελλάδα, την Πολωνία και την Λευκορωσία.

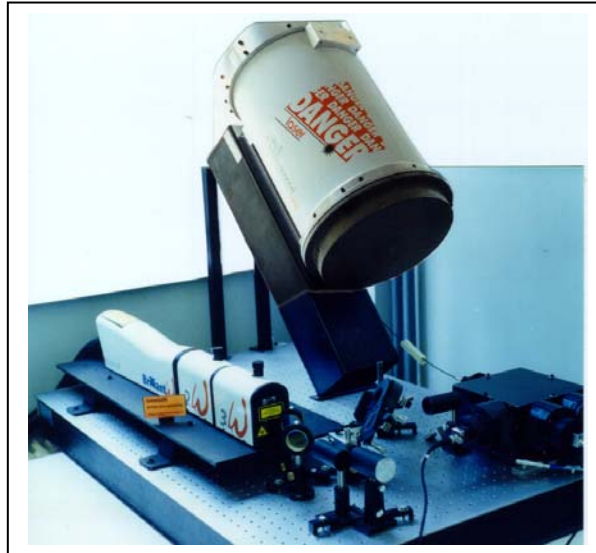
Στα πλαίσια του Προγράμματος EARLINET η ομάδα lidar του ΕΜΠ έπαιξε ένα πολύ σημαντικό ρόλο συντονίζοντας τις ευρωπαϊκές μετρήσεις σε περιπτώσεις έντονης μεταφοράς αερολυμάτων στην τροπόσφαιρα (πχ. μεταφορά σκόνης από την έρημο Σαχάρα, δασικές πυρκαϊές, ηφαιστιακές εκρήξεις, κλπ.).

Ενώ η περιοχή των Βαλκανίων θεωρείται σταυροδρόμι της διεθνούς ατμοσφαιρικής ρύπανσης [Lelieveld et al., 2002] δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για την κατακόρυφη κατανομή των αερολυμάτων σε πολλές χώρες των Βαλκανίων (πχ. Ρουμανία, Βουλγαρία, Αλβανία, Σερβία, κλπ.). Τούτο συμβαίνει διότι, είτε δεν υπάρχουν διαθέσιμα συστήματα lidar, είτε διότι τα υπάρχοντα συστήματα lidar είναι σχετικά παλαιάς τεχνολογίας και χρειάζονται αναβάθμιση στο hardware και στο λογισμικό ελέγχου του συστήματος και επεξεργασίας των δεδομένων.

Στην Ελλάδα, το Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ) και στην Ρουμανία το National Institute of R&D and for Optoelectronics (INOE) έχουν αναπτύξει συστήματα lidar για την μέτρηση της κατακόρυφης κατανομής των οπτικών παραμέτρων των αερολυμάτων στην τροπόσφαιρα. Και τα δύο συστήματα lidar χρησιμοποιούν ένα Nd:YAG laser και έχουν παρόμοια τεχνικά χαρακτηριστικά αναφορικά με την εκπεμπόμενη δέσμη laser, τα οπτικά τηλεσκόπια λήψης, την χωρο-χρονική ακρίβεια και την εμβέλεια μέτρησης.

Η διακρατική συνεργασία μεταξύ των ομάδων lidar της Ελλάδας και της Ρουμανίας ενδυνάμωσε τις προσπάθειες της κάθε μίας πλευράς να βελτιστοποιήσει περαιτέρω τον διαθέσιμο εξοπλισμό-λογισμικό lidar για την συστηματική μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων και οδήγησε στην τελική δημιουργία μιας πολύ σημαντικής βάσης δεδομένων της κατακόρυφης κατανομής των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στην περιοχή των Βαλκανίων, σε συνδυασμό με τις επίγειες μετρήσεις του οπτικού βάθους των αερολυμάτων στην πόλη του Βουκουρεστίου (δίκτυο AERONET).

Στην Ελλάδα και ειδικότερα στο ΕΜΠ (Τομέας Φυσικής, Εργαστήριο Εφαρμογών Lasers στο Περιβάλλον) στην Αθήνα, το έτος 1999 αναπτύχθηκε η πρώτη διάταξη lidar ικανή να μετρά την κατακόρυφη κατανομή (οπτικές ιδιότητες: συντελεστής οπισθοσκέδασης) των αερολυμάτων στα 532 και 355 nm.

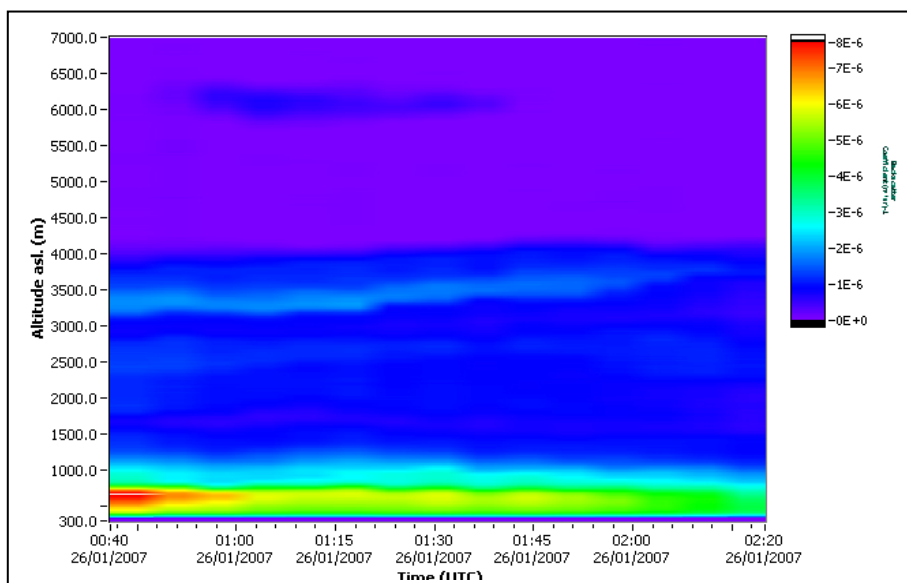


**Εικόνα 1.** Το σύστημα lidar του ΕΜΠ για την μέτρηση των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα.

Στο τέλος του έτους 2000 το σύστημα lidar του ΕΜΠ (Εικόνα 1) αναβαθμίσθηκε (προσθήκη ενός καναλιού στα 387 nm) και έκτοτε είναι ικανό μετρά ταυτόχρονα την κατακόρυφη κατανομή του συντελεστή οπισθοσκέδασης και εξασθένησης των αερολυμάτων στα 355 και 532 nm, χρησιμοποιώντας τεχνικές αντιστροφής σήματος Klett-Raman [Klett, 1985, Ansmann et al., 1992]. Το σύστημα lidar του ΕΜΠ βαθμονομήθηκε και πιστοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος EARLINET, τόσο σε επίπεδο hardware, όσο και σε επίπεδο λογισμικού [Böckmann et al., 2004; Pappalardo et al., 2004; Matthias, et al., 2004].

Από το έτος 2000 έως σήμερα το σύστημα lidar του ΕΜΠ έχει καταγράψει περισσότερες από 3500 κατακόρυφες κατανομές των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα από το έδαφος έως περίπου τα 5000 μέτρα ύψος, κάτω από διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται μια τυπική ημερήσια μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής των αερολυμάτων [συντελεστής οπισθοσκέδασης:  $(m \cdot sr)^{-1}$ ] στην περιοχή της Αθήνας κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου μεταφοράς σκόνης από την έρημο της Σαχάρα (π.χ. στις 26 Ιανουαρίου 2007). Το σύστημα lidar του ΕΜΠ, που θεωρείται ένα από τα καλύτερα της Ευρώπης, αναβαθμίσθηκε με την προσθήκη ενός επιπλέον καναλιού Raman (408 nm) για την ταυτόχρονη μέτρηση και της ατμοσφαιρικής υγρασίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα.

Στη Ρουμανία, η δραστηριότητα στην περιοχή των lidar ξεκίνησε το 1993 όταν αναπτύχθηκε το πρώτο σύστημα lidar με χρήση ενός laser ατμών Cu:Br που κατασκευάστηκε στο National Institute of R&D for Optoelectronics INOE, για την ανίχνευση των αερολυμάτων στην τροπόσφαιρα (Εικόνα 3).



**Εικόνα 2.** Τυπική ημερήσια μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής των αερολυμάτων στην περιοχή της Αθήνας κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου μεταφοράς σκόνης από την έρημο της Σαχάρα.

Για μεγάλη χρονική περίοδο το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μια βιομηχανική περιοχή νότια της πόλης του Βουκουρεστίου. Τελευταία, σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ένα μικρότερο και πιο ευέλικτο σύστημα lidar για την μελέτη της δομής της κατώτερης ατμόσφαιρας και για την καταγραφή της κατακόρυφης κατανομής των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα (σύστημα LiSA). Το σύστημα αυτό βασίζεται και πάλι σε ένα laser Nd:YAG που λειτουργεί στα 1064 and 532 nm και παρέχει χωρική ακρίβεια μετρήσεων 6 m, ενώ το εύρος μετρήσεων φθάνει τα 10 km. Το σύστημα αυτό θα αναβαθμισθεί με την προσθήκη 2 καναλιών (πόλωσης και αποπόλωσης) και ενός καναλιού Raman για την μέτρηση του συντελεστή εξασθένησης των αερολυμάτων στα 532 nm.



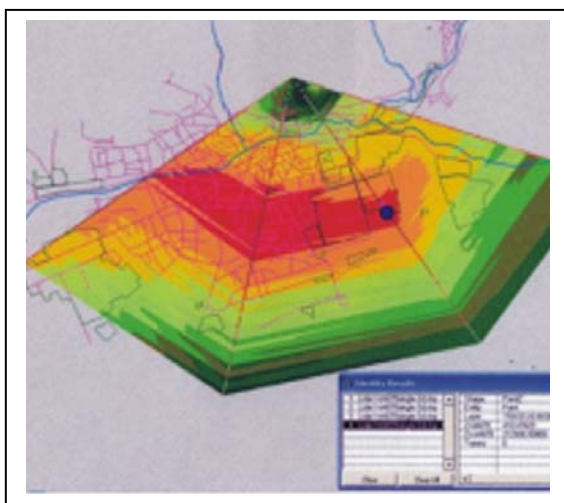
**Εικόνα 3.** Το σύστημα lidar του INOE (Ρουμανία) για την μέτρηση των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα.

Μια επιπλέον εφαρμογή είναι ο συσχετισμός των δεδομένων lidar με δεδομένα και μοντέλα κυκλοφορίας αυτοκινήτων σε αστικές περιοχές, σε συνδυασμό με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), όπως παριστάνεται στην Εικόνα 4. Η πρωτοτυπία στην περίπτωση αυτή έγκειται στο γεγονός ότι τα μετεωρολογικά δεδομένα καθώς και οι μετρήσεις των αερολυμάτων από την τεχνική lidar εισάγονται απευθείας στο ανοικτό σύστημα πληροφοριών για αυτόματη απεικόνιση πάνω από την μελετούμενη περιοχή. Έτσι, είναι εφικτή η άμεση συσχέτιση των δεδομένων lidar και των μετεωρολογικών δεδομένων με δεδομένα κυκλοφοριακού φόρτου σε μιά αστική περιοχή.

### 3. Στόχος-τελικά αποτελέσματα έργου

Το παρόν έργο στόχευσε στη δημιουργία μιας στατιστικής βάσης δεδομένων για την χωρο-χρονική κατανομή της κατακόρυφης κατανομής των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στην περιοχή των Βαλκανίων (Ελλάδα, Ρουμανία) με τη βοήθεια συστημάτων lidar τοποθετημένων στην Αθήνα και στο Βουκουρέστι. Στόχος ήταν η παροχή δεδομένων για την κατακόρυφη κατανομή των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στην περιοχή αυτή, με τα οποία, και σε συνδυασμό με μετεωρολογικά δεδομένα, ακολούθως μελετήθηκε η διασυννοριακή αερομεταφερόμενη ρύπανση, οι μηχανισμοί μεταφοράς ρύπων και εντοπίστηκαν οι βασικές πηγές αερολυμάτων που επιδρούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή των Βαλκανίων.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων ακολουθήθηκαν και ολοκληρώθηκαν - και από τις δύο ερευνητικές ομάδες - τα παρακάτω βήματα:



**Εικόνα 4.** Σύστημα GIS με χρήση δεδομένων lidar (αερολύματα).

- Ανάπτυξη και βελτιστοποίηση του λογισμικού επεξεργασίας των μετρήσεων lidar.
- Πραγματοποίηση συστηματικών μετρήσεων lidar της κατακόρυφης κατανομής των αερολυμάτων μία ή δύο φορές την εβδομάδα (π.χ. Δευτέρα στις 13:00 UT και 19:00 UT).
- Δημιουργία μιας στατιστικής βάσης δεδομένων για την χωρο-χρονική κατανομή της κατακόρυφης κατανομής των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων (συντελεστής οπισθοσκέδασης και συντελεστής εξασθένησης).
- Ανάλυση επιλεγμένων περιπτώσεων μεταφοράς αερολυμάτων-σκόνης στην περιοχή της ΝΑ Ευρώπης με την χρήση μετεωρολογικών δεδομένων (πχ. μεταφορά σκόνης από την έρημο Σαχάρα, δασικές πυρκαϊές, ηφαιστιακές εκρήξεις, κλπ.).
- Μελέτη της δυναμικής και της κλιματολογικής συμπεριφοράς των αερίων μαζών που προέρχονται από την περιοχή της Σαχάρα, χρησιμοποιώντας τα αερολύματα σαν ιχνηθέτες.
- Χρήση δορυφορικών και επίγειων μετρήσεων για την ανάλυση της κίνησης και των οπτικών ιδιοτήτων των αερίων μαζών στην περιοχή των Βαλκανίων.
- Προσδιορισμός των κύριων πηγών ρύπανσης/αερολυμάτων στην Ευρώπη και στην Β. Αφρική, που επηρεάζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή των Βαλκανίων.

Το τελικό αποτέλεσμα του προτεινόμενου έργου ήταν η δημιουργία μιας κλιματολογικής βάσης δεδομένων για την μελέτη της χωρο-χρονικής μεταβολής της κατακόρυφης κατανομής των αιωρούμενων σωματιδίων (αερολυμάτων) στην Ελλάδα (Αθήνα) και την Ρουμανία (Βουκουρέστι) με την χρήση της επίγειας τηλεπισκόπησης laser (τεχνική lidar). Χρησιμοποιώντας, παράλληλα, και μετεωρολογικά δεδομένα μελετήθηκε η διασυννοριακή αερομεταφερόμενη ρύπανση, οι μηχανισμοί μεταφοράς ρύπων και εντοπίστηκαν οι βασικές πηγές αερολυμάτων που επιδρούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή των Βαλκανίων.

Οι συγχρονισμένες και οι συστηματικές μετρήσεις των αερολυμάτων καθόλη την διάρκεια του έργου με την βοήθεια της τεχνικής lidar, στην Αθήνα και το Βουκουρέστι, επέτρεψαν, για πρώτη φορά, να μελετηθεί η τροποποίηση των αερίων μαζών (air mass



modification) και να προβλεφθούν οι μελλοντικές τάσεις της συγκέντρωσης των αερολυμάτων στην ευρύτερη περιοχή των Βαλκανίων. Επομένως, επετεύχθησαν οι αρχικοί στόχοι του έργου το οποίο ολοκληρώθηκε κανονικά.

#### **4. Μεθοδολογία εκτέλεσης και υλοποίηση του έργου**

Προκειμένου να επιτευχθεί ο κεντρικός στόχος του προτεινόμενου έργου πραγματοποιήθηκαν συστηματικές μετρήσεις της κατακόρυφης κατανομής των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων, με την τεχνική lidar, καθόλη τη διάρκεια του έργου. Οι συστηματικές αυτές μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό και την ταυτοποίηση των κύριων πηγών ρύπανσης/αερολυμάτων στην Ευρώπη και στην Β. Αφρική, που επηρεάζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή των Βαλκανίων. Χρησιμοποιώντας, παράλληλα, και μετεωρολογικά δεδομένα μελετήθηκε η διασυνοριακή αερομεταφερόμενη ρύπανση, οι μηχανισμοί μεταφοράς ρύπων και εντοπίστηκαν οι βασικές πηγές αερολυμάτων που επιδρούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή των Βαλκανίων.

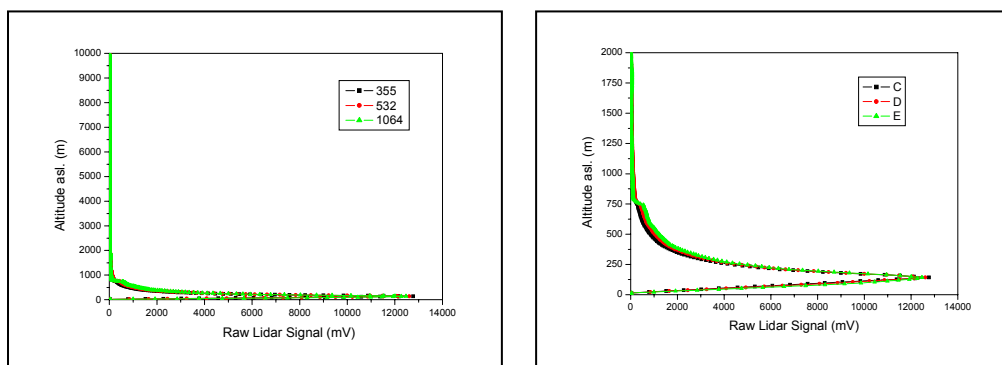
Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και από τις δύο πλευρές βασίστηκε στα επόμενα βήματα (Φάσεις του έργου):

- 1) έλεγχος της αξιοπιστίας του λογισμικού ανάλυσης και επεξεργασίας σημάτων lidar (μόνο Ρουμανική πλευρά) για τον υπολογισμό των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων,
- 2) πραγματοποίηση συστηματικών και ειδικών μετρήσεων lidar, τουλάχιστον μία ή δύο φορές την εβδομάδα (πχ. Δευτέρα στις 13:00 UT και 19:00 UT),
- 3) δημιουργία μιας στατιστικής βάσης δεδομένων για την κατακόρυφη κατανομή των οπτικών ιδιοτήτων (συντελεστής οπισθοσκέδασης και εξασθένησης) των αερολυμάτων στα Βαλκάνια,
- 4) εντοπισμός των κύριων πηγών ρύπανσης και αερολυμάτων στην Ευρώπη και στην Β. Αφρική, που επηρεάζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή των Βαλκανίων,
- 5) μελέτη των μηχανισμών τροποποίησης των αερολυμάτων στα Βαλκάνια, και τέλος,
- 6) διάχυση των επιστημονικών αποτελεσμάτων.

Όλες οι Φάσεις του έργου υλοποιήθηκαν και ολοκληρώθηκαν κανονικά ακολουθώντας πιστά το χρονοδιάγραμμα υλοποίησης του έργου. Στο Παράρτημα II παρουσιάζονται, κατά σειράν, όλα τα Παραδοτέα του έργου.

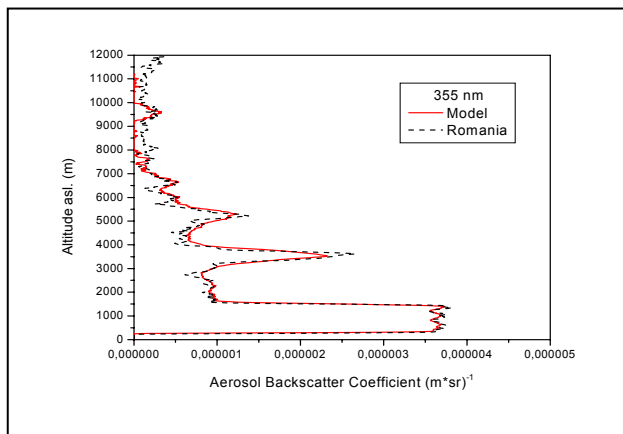
### Φάση 1: Έλεγχος αξιοπιστίας λογισμικού ανάλυσης και επεξεργασίας σημάτων lidar

Ο έλεγχος της αξιοπιστίας του λογισμικού ανάλυσης και επεξεργασίας σημάτων lidar της Ρουμανικής πλευράς, βασίζεται σε ένα λογισμικό προσομοίωσης των μετρήσεων lidar με χρήση συνθετικών δεδομένων (synthetic data). Η προσομοίωση αυτή βασίζεται στη διάδοση ακτινοβολίας laser σε μια ατμόσφαιρα μοντέλο, στην οποία έχουν προστεθεί και τα αιωρούμενα σωματίδια (Böckmann et al., 2004). Η διάδοση της ακτινοβολίας λαμβάνει υπόψη της την σκέδαση και την απορρόφηση από τα μόρια και τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας (Weitkamp, 2004). Με τον τρόπο αυτόν είναι εφικτή η παραγωγή προσομοιωμένων σημάτων lidar σε διάφορα μήκη κύματος (355 nm, 532 nm και 1064 nm). Τα προσομοιωμένα σήματα lidar (τα οποία προσεγγίζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τα πραγματικά σήματα) στα 355 nm, 532 nm και 1064 nm, στην περιοχή από 0-10 km, παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.

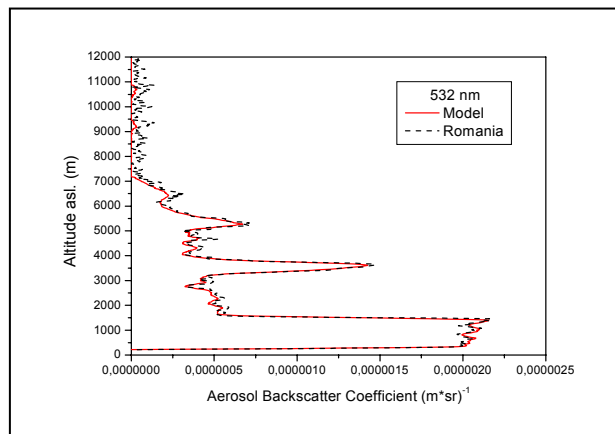


**Εικόνα 5:** Προσομοιωμένα σήματα lidar στα 355 nm, 532 nm και 1064 nm (αριστερά: 0-10 km, δεξιά: 0-2 km).

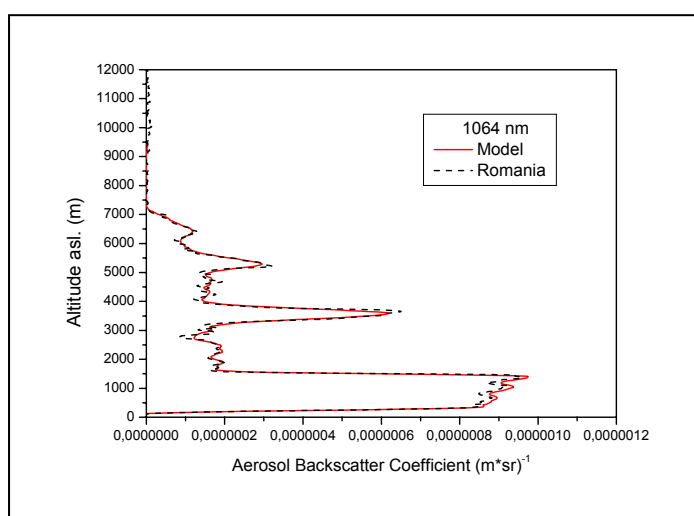
Στις Εικόνες 6α, 6β και 6γ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης (στα 355 nm, 532 nm και 1064 nm) - αναφορικά με τον συντελεστή οπισθοσκέδασης αερολυμάτων - μεταξύ του μοντέλου (model) των αερολυμάτων που χρησιμοποιήθηκε και της κατανομής των αερολυμάτων, που προέκυψε από την χρήση του αλγορίθμου ανάκτησης που αναπτύχθηκε από την Ρουμανική πλευρά (Romania), με την καθοριστική συμβολή της Ελληνικής πλευράς. Η συμβολή της ομάδας μας συνίστατο στη διαμόρφωση και τον έλεγχο του μαθηματικού αλγορίθμου αντιστροφής του σήματος lidar που αναπτύχθηκε από την Ρουμανική πλευρά καθώς και στην ανάπτυξη τεχνικών εφαρμογής ψηφιακών φίλτρων στον υπολογισμό της παραγώγου των σημάτων lidar (Klett, 1985).



(A)



(B)



(Γ)

**Εικόνα 6 (A,B,Γ):** Τα αποτελέσματα σύγκρισης - αναφορικά με τον συντελεστή οπισθοσκέδασης αερολυμάτων - μεταξύ του μοντέλου (model) των αερολυμάτων που χρησιμοποιήθηκε και της κατανομής των αερολυμάτων (στα 355 nm, 532 nm και 1064 nm), που προέκυψε από την χρήση του αλγορίθμου ανάκτησης που αναπτύχθηκε από την Ρουμανική πλευρά (Romania).

Η συμβολή της Ελληνικής πλευράς υπήρξε καθοριστική στην τελική διαμόρφωση και την ορθή λειτουργία του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε, γεγονός που αντικατοπτρίζεται από την πολύ καλή σύγκριση μεταξύ των δεδομένων εισόδου του μοντέλου αερολυμάτων (κόκκινη γραμμή) και της κατανομής των αερολυμάτων, που προέκυψε από την χρήση του αλγορίθμου ανάκτησης (retrieval algorithm) που αναπτύχθηκε από την Ρουμανική πλευρά (Romania) (διακεκομμένη γραμμή) με βάση την τεχνική Klett (1985). Η βελτιστοποίηση του Ρουμανικού αλγορίθμου στηρίχθηκε σε εξειδικευμένο λογισμικό που αναπτύχθηκε από κοινού από τις δύο ομάδες και είχε σαν στόχο τον έλεγχο της αξιοπιστίας του λογισμικού

επεξεργασίας δεδομένων lidar της Ρουμανικής πλευράς με χρήση συνθετικών δεδομένων lidar (synthetic data).

### ***Συμπεράσματα***

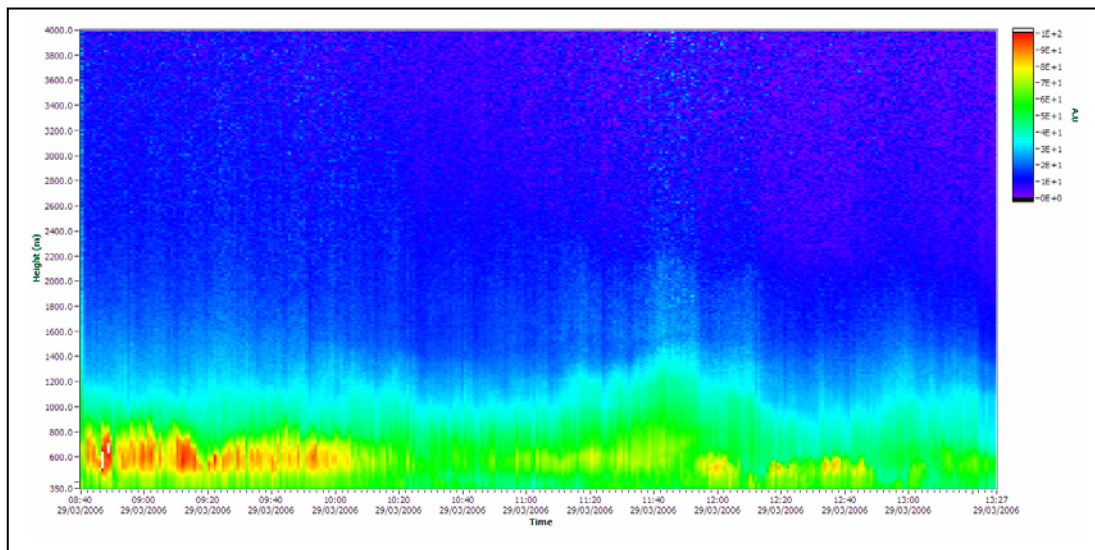
Στο πλαίσιο της Φάσης 1 (βλ. Παραδοτέο ΠΕ1) πραγματοποιήθηκε ο αναγκαίος έλεγχος της αξιοπιστίας του λογισμικού ανάλυσης και επεξεργασίας σημάτων lidar (της Ρουμανικής πλευράς) για τον υπολογισμό των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων, με βάση το αντίστοιχο λογισμικό της Ελληνικής πλευράς που έχει ήδη βαθμονομηθεί επιτυχώς (Böckmann et al., 2004). Αποδείχθηκε η πολύ καλή συμφωνία μεταξύ των δεδομένων του μοντέλου και των κατακόρυφων κατανομών του συντελεστή οπισθοσκέδασης των αερολυμάτων  $\beta_{(aer)}$  που προέκυψαν από την εφαρμογή του αλγόριθμου αντιστροφής σήματος lidar της Ρουμανικής πλευράς. Η εν γένει μέση διαφορά μεταξύ των συντελεστών  $\beta_{(aer)}$  (μοντέλο-Ρουμανική πλευρά) είναι μικρότερη του 10%, επομένως ο αλγόριθμος αντιστροφής που αναπτύχθηκε από την Ρουμανική πλευρά μπορεί να θεωρηθεί σαν απολύτως αξιόπιστος και σωστά βαθμονομημένος.

### ***ΦΑΣΗ 2Α: Πραγματοποίηση συστηματικών μετρήσεων lidar για τα αιωρούμενα σωματίδια***

Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, εφαρμόσθηκε ένα συστηματικό πρόγραμμα μετρήσεων lidar για την παρακολούθηση των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στην τροπόσφαιρα, με την τεχνική lidar, στην Αθήνα και το Βουκουρέστι. Οι συστηματικές και ειδικές μετρήσεις lidar, πραγματοποιούνταν τουλάχιστον μία ή δύο φορές την εβδομάδα (Δευτέρα στις 13:00 UT και 19:00 UT και Πέμπτη στις 19:00 UT), για μια χρονική περίοδο τουλάχιστον 2 ωρών και από τις δύο ερευνητικές ομάδες. Οι μετρήσεις αυτές καταχωρούνταν αυτόματα σε μια βάση δεδομένων (βλέπε Φάση 2Γ). Ακολούθησε η επεξεργασία των μετρήσεων lidar, στα 355 nm και στα 532 nm, η οποία επέτρεψε την ανάκτηση της κατακόρυφης κατανομής των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων (συντελεστής οπισθοσκέδασης και εξασθένησης) από το έδαφος έως την μέση τροπόσφαιρα (π.χ. 5000-6000 m). Τέλος, δημιουργήθηκε μια στατιστική και κλιματολογική βάση δεδομένων για την κατακόρυφη κατανομή των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στην περιοχή των Βαλκανίων. Στην Εικόνα 7 παρουσιάζεται ένα τυπικό παράδειγμα μέτρησης της κατακόρυφης

κατανομής των αερολυμάτων στα 355 nm στην Αθήνα, όπως καταγράφηκε στις 29 Μαρτίου 2006.

Στην Εικόνα αυτήν παρατηρούμε την ημερήσια μεταβολή του συντελεστή οπισθοκέδασης των αερολυμάτων από τα 350 m έως τα 4000 m, στην περιοχή της Αθήνας, από τις 08:40 έως τις 13:27 UTC. Παρατηρούμε, επίσης, την μεταβολή του ύψους του Ατμοσφαιρικού Οριακού Στρώματος (ΑΟΣ) (παρουσιάζεται με πράσινο χρώμα) που κυμαίνεται από 800-1000 m τις πρωινές ώρες και φθάνει στη μέγιστη τιμή του στις 11:50 UTC. Η περιοχή του ενδιάμεσου στρώματος (entrainment zone) (παρουσιάζεται με γαλάζιο χρώμα) παρατηρείται μεταξύ 1000-1200 m και ακολουθεί πλήρως την μορφή (pattern) της ημερήσιας πορείας του ΑΟΣ.



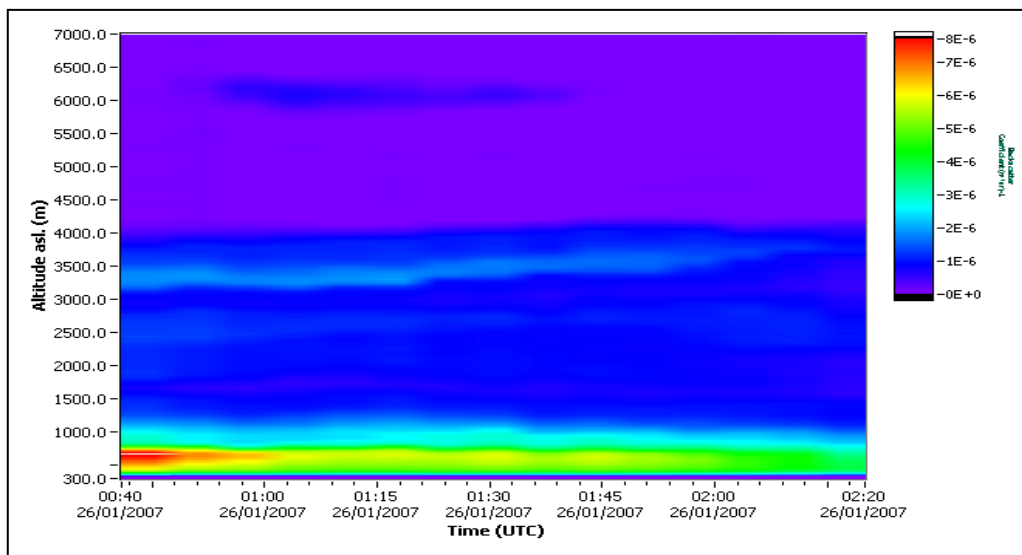
**Εικόνα 7:** Καταγραφή του συντελεστή οπισθοκέδασης αερολυμάτων στα 355 nm (29 Μαρτίου 2006) στην Αθήνα.

### **ΦΑΣΗ 2B: Πραγματοποίηση ειδικών μετρήσεων lidar για τα αιωρούμενα σωματίδια**

Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, εφαρμόστηκε ένα συστηματικό πρόγραμμα παρακολούθησης των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στην τροπόσφαιρα, με την τεχνική lidar, στην Αθήνα και το Βουκουρέστι, κατά τη διάρκεια ειδικών φαινομένων (π.χ. δασικές πυρκαϊές, ηφαιστειακές εκρήξεις, μεταφορά σκόνης από την έρημο Σαχάρα, κ.λ.π.). Κατά τη διάρκεια αυτών των ειδικών συνθηκών οι μετρήσεις lidar, πραγματοποιούνταν για χρονική περίοδο τουλάχιστον 2-4 ωρών/επεισόδιο. Η έγκαιρη προειδοποίηση για την πραγματοποίηση αυτών των μετρήσεων (π.χ. της μεταφοράς σκόνης από την έρημο Σαχάρα) δινόταν από την ομάδα lidar του ΕΜΠ, με βάση ειδικά μοντέλα πρόγνωσης που είναι

διαθέσιμα στο διαδίκτυο (π.χ. το προγνωστικό μοντέλο DREAM ή το μοντέλο SKIRON). Στα πλαίσια των μετρήσεων lidar συλλέχθηκαν και δεδομένα της υπεριώδους-B ακτινοβολίας στο έδαφος, δορυφορικές παρατηρήσεις/μετρήσεις του οπτικού βάθους των αερολυμάτων, καθώς και δεδομένα από το δίκτυο αερολυμάτων GSFC/AERONET (οπτικό βάθος αερολυμάτων, κλπ.). Ένα τυπικό παράδειγμα καταγραφής μεταφοράς σκόνης από την έρημο Σαχάρα, που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους υλοποίησης του έργου αυτού είναι εκείνο που παρουσιάζεται στην Εικόνα 8 και αφορούσε την 26<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2007. Οι τιμές αυτές αφορούν τον συντελεστή οπισθοσκέδασης. Στην Εικόνα αυτήν παρατηρούμε την ύπαρξη μιας έντονης στρωμάτωσης αερολυμάτων γύρω στα 3500 m, καθώς και μια λιγότερο έντονη στα 6250 m.

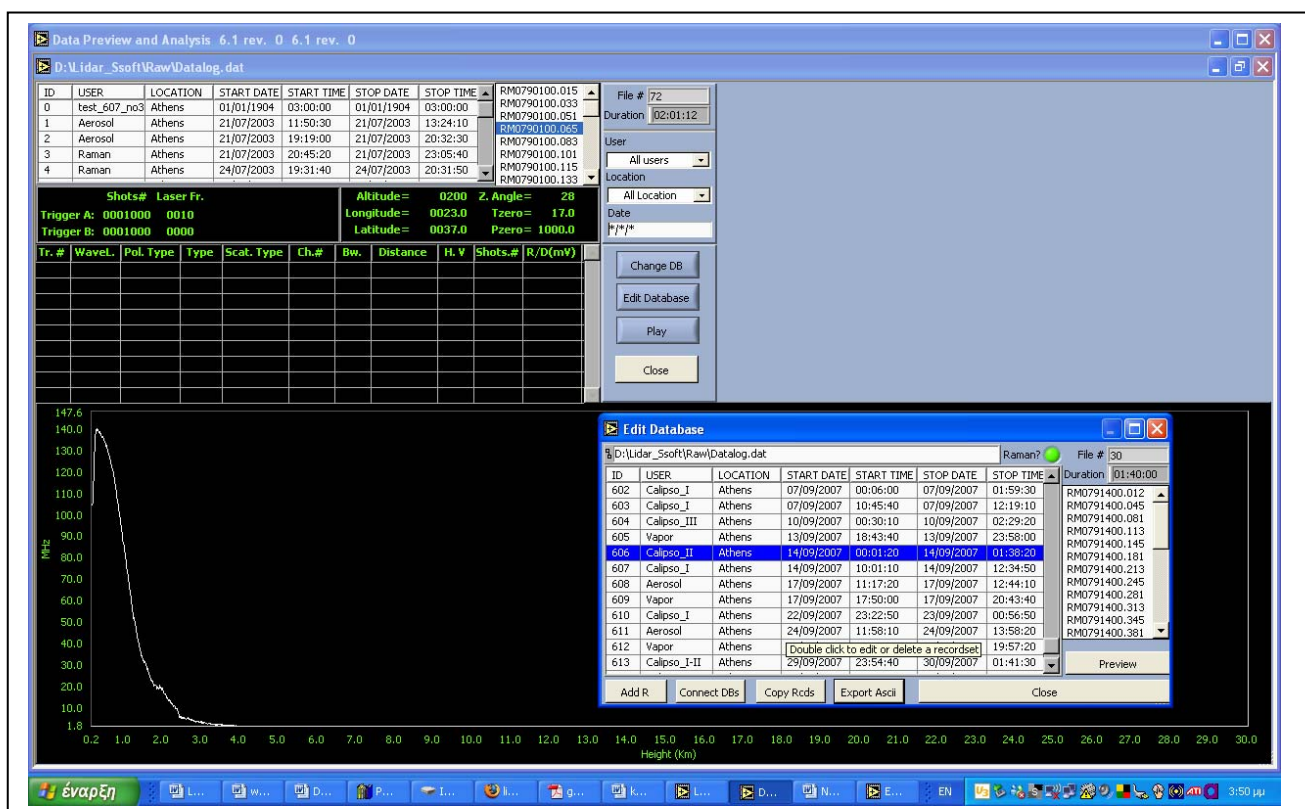
Κατά τη διάρκεια της ημέρας αυτής η σκόνη από την έρημο Σαχάρα έφτασε το ύψος των 4000 m υπεράνω του Λεκανοπεδίου Αθηνών. Η επιβεβαίωση για την προέλευση των αερίων μαζών που μελετήθηκαν προήλθε από ανάλυση των οπισθοτροχιών των αερίων μαζών που κατέληξαν στο Λεκανοπέδιο Αθηνών την 26<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2007. Αντίστοιχα παραδείγματα μετρήσεων lidar έχουν καταγραφεί στην περίπτωση δασικών πυρκαγιών κατά την άνοιξη του 2007. Επίσης, κατά τη διάρκεια της Φάσης αυτής δημιουργήθηκε μια στατιστική βάση δεδομένων σχετικά με την κατακόρυφη κατανομή των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στις πόλεις της Αθήνας και Βουκουρεστίου. Τέλος, δημιουργήθηκε μια κλιματολογική βάση δεδομένων για τα επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την έρημο Σαχάρα, στην περιοχή των Βαλκανίων.



**Εικόνα 8:** Τυπική ημερήσια μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής των αερολυμάτων (συντελεστής οπισθοσκέδασης) στην περιοχή της Αθήνας κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου μεταφοράς σκόνης από την έρημο της Σαχάρα (26/01/2007).

## ΦΑΣΗ 2Γ: Δημιουργία μιας στατιστικής βάσης δεδομένων για την κατακόρυφη κατανομή των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στα Βαλκάνια

Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, υλοποιήθηκε η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων μετρήσεων lidar στην περιοχή του Λεκανοπεδίου της Αθήνας και στην πόλη του Βουκουρεστίου (συμμετοχή και των δύο πλευρών). Στην Εικόνα 9 παρουσιάζεται η μορφή της βάσης δεδομένων - των μετρήσεων lidar - που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο του έργου αυτού για την περίπτωση των μετρήσεων στην Αθήνα. Ειδικότερα, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει από τις διαθέσιμες μετρήσεις lidar εκείνες που αντιστοιχούν σε μια συγκεκριμένη ημερομηνία (βλ. Εικόνα 9 – κάτω δεξιά) και, τέλος, να επιλέξει τον χρόνο έναρξης και λήξης των μετρήσεων που επιθυμεί να επεξεργασθεί.



Εικόνα 9: Η βάση δεδομένων - των μετρήσεων lidar - που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο του έργου για την περίπτωση των μετρήσεων στην Αθήνα.

Κατά το τέλος της φάσης αυτής πραγματοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση της κατακόρυφης κατανομής των αερολυμάτων, που καταγράφηκαν από τις συστηματικές και τις ειδικές μετρήσεις lidar. Τέλος, δημιουργήθηκε μια στατιστική βάση δεδομένων για την

κατακόρυφη κατανομή των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στην Αθήνα και στο Βουκουρέστι, κάτι που θα αποτελεί και μια τυπική βάση δεδομένων για όλη την περιοχή των Βαλκανίων.

#### ***ΦΑΣΗ 2Α: Δημιουργία μιας κλιματολογικής βάσης δεδομένων για την μεταφορά σκόνης από την έρημο Σαχάρα***

Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, υλοποιήθηκε η δημιουργία μιας κλιματολογικής βάσης δεδομένων μετρήσεων lidar στην περιοχή του Λεκανοπεδίου της Αθήνας και στην πόλη του Βουκουρεστίου, αναφορικά με τα επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την έρημο Σαχάρα. Παράλληλα, αναλύθηκαν και όλες οι αεροτροχιές των αερίων μαζών που κατέληγαν στο Λεκανοπέδιο Αθηνών και στην πόλη του Βουκουρεστίου και είχαν προέλευση την έρημο Σαχάρα. Η κλιματολογική βάση δεδομένων αυτή προέκυψε ακριβώς από εκείνες τις μετρήσεις των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων, για τα οποίες οι αεροτροχιές των αερίων μαζών που κατέληγαν στο Λεκανοπέδιο Αθηνών και στην πόλη

#### ***Συμπεράσματα***

Στο πλαίσιο της Φάσης 2 (βλ. Παραδοτέο ΠΕ2) πραγματοποιήθηκαν συστηματικές και ειδικές μετρήσεις lidar για την ανάκτηση των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στην Αθήνα και το Βουκουρέστι. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον μία ή δύο φορές την εβδομάδα (π.χ. Δευτέρα στις 13:00 UT και 19:00 UT). Ακολούθως, δημιουργήθηκε μια στατιστική βάση δεδομένων για την κατακόρυφη κατανομή των οπτικών ιδιοτήτων (συντελεστής οπισθοσκέδασης και εξασθένησης) των αερολυμάτων, παράλληλα με τη δημιουργία μιας κλιματολογικής βάσης βάσης δεδομένων για την μεταφορά σκόνης από έρημο Σαχάρα προς τα Βαλκάνια.

#### ***ΦΑΣΗ 3: Ανάλυση επιλεγμένων περιπτώσεων διασυνοριακής ρύπανσης – Υπολογισμός αεροτροχιών- Εντοπισμός βασικών πηγών αέριας ρύπανσης – Χρήση δορυφορικών και επίγειων μετρήσεων αερολυμάτων***

Στο πλαίσιο αυτού του ερευνητικού προγράμματος πραγματοποιήθηκαν συνδυασμένες μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων με χρήση των συστημάτων lidar που λειτουργούν στην Αθήνα (EMII) και στο Βουκουρέστι (INOE) (συμμετοχή και των δύο πλευρών). Το σύστημα της Αθήνας έχει δυνατότητα καταγραφής



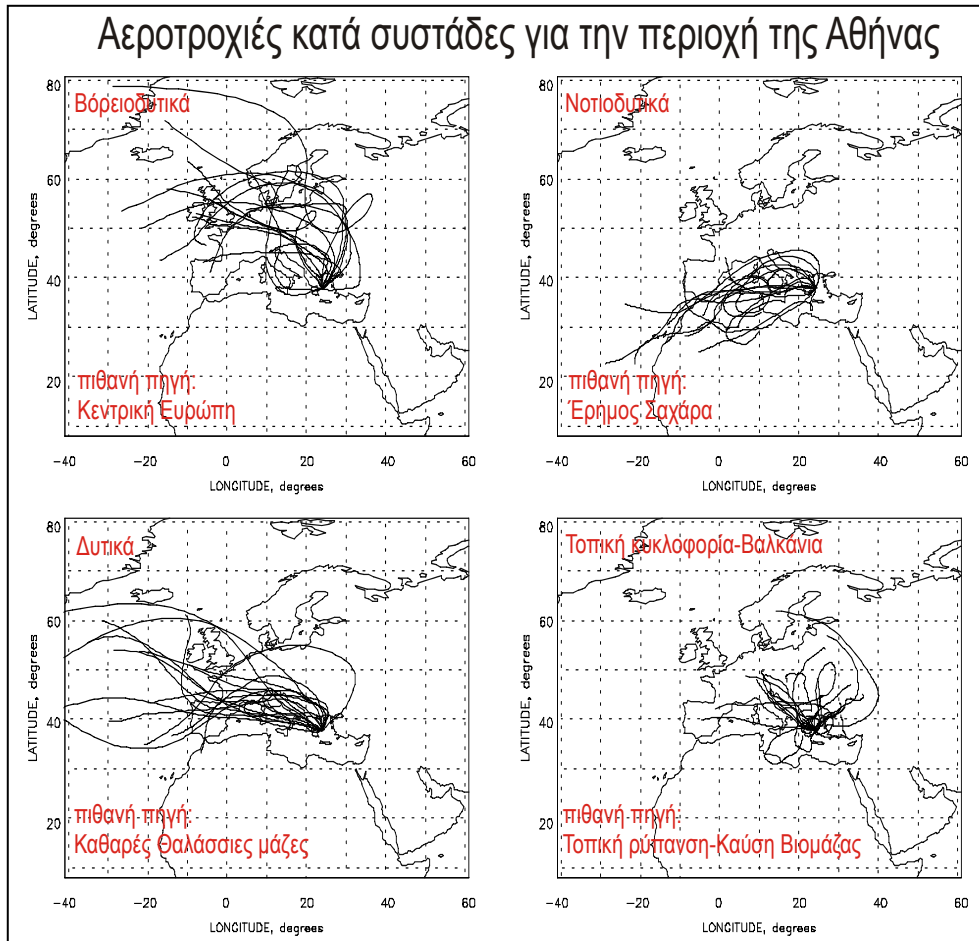
σήματος σε πέντε διαφορετικά μήκη κύματος: 1064, 532, 355 nm (ελαστικά οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία) και 607, 387 nm (σκεδαζόμενη ακτινοβολία κατά Raman από το ατμοσφαιρικό άζωτο από τα 532 και 355 nm, αντίστοιχα). Το σύστημα του Βουκουρεστίου έχει δυνατότητα καταγραφής δυο μηκών κύματος (ελαστικά οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία στα 1064 και 532 nm). Η χωρική διακριτική ικανότητα των δυο συστημάτων είναι της τάξης των 15 m και η χρονική διακριτική ικανότητα ανέρχεται σε μερικά λεπτά γεγονός που καθιστά δυνατή, όχι μόνο την καταγραφή των στρωματώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, αλλά και την παρακολούθηση της χρονικής τους εξέλιξης. Έτσι, κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, συγκεντρώθηκαν σε ένα κοινό αρχείο excel όλες οι ημερομηνίες και τα κύρια χαρακτηριστικά των μετρήσεων lidar που πραγματοποιήθηκαν στην Αθήνα και το Βουκουρέστι, κατά τη διάρκεια υλοποίησης του έργου (βλ. Παραδοτέο ΠΕ2). Οι μετρήσεις lidar συγκεντρώθηκαν σε 4 βασικές κατηγορίες ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους: (1) κεντρική Ευρώπη, (2) θαλάσσια προέλευση, (3) ερημική πρόελευση (έρημος Σαχάρα) και (4) καύση βιομάζας.

- **Υπολογισμός και ανάλυση οπισθοτροχιών αερίων μαζών**

Για τον προσδιορισμό της προέλευσης, αλλά και του τύπου των αιωρούμενων σωματιδίων πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων, οι μετρήσεις lidar συνδυάστηκαν με δεδομένα από άλλες μεθόδους όπως ηλιακά φωτόμετρα (τα οποία μας παρέχουν πληροφορίες για το οπτικό βάθος των αερολυμάτων), δορυφορικά δεδομένα οπτικού βάθους, καθώς και προγνώσεις μοντέλων σχετικά με την μετακίνηση των αερίων μαζών (HYSPLIT) (συμμετοχή και των δύο πλευρών). Στο έργο αυτό χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο υπολογισμού οπισθοτροχιών HYSPLIT για να υπολογίσουμε οπισθοτροχιές τεσσάρων ημερών για το ύψος άφιξης των πάνω από την Αθήνα και το Βουκουρέστι. Η πλήρης περιγραφή του μοντέλου HYSPLIT για τον υπολογισμό οπισθοτροχιών με την χρήση μετεωρολογικών δεδομένων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών ETA είναι διαθέσιμη στην βιβλιογραφία (*Draxler and Hess, 1997*).

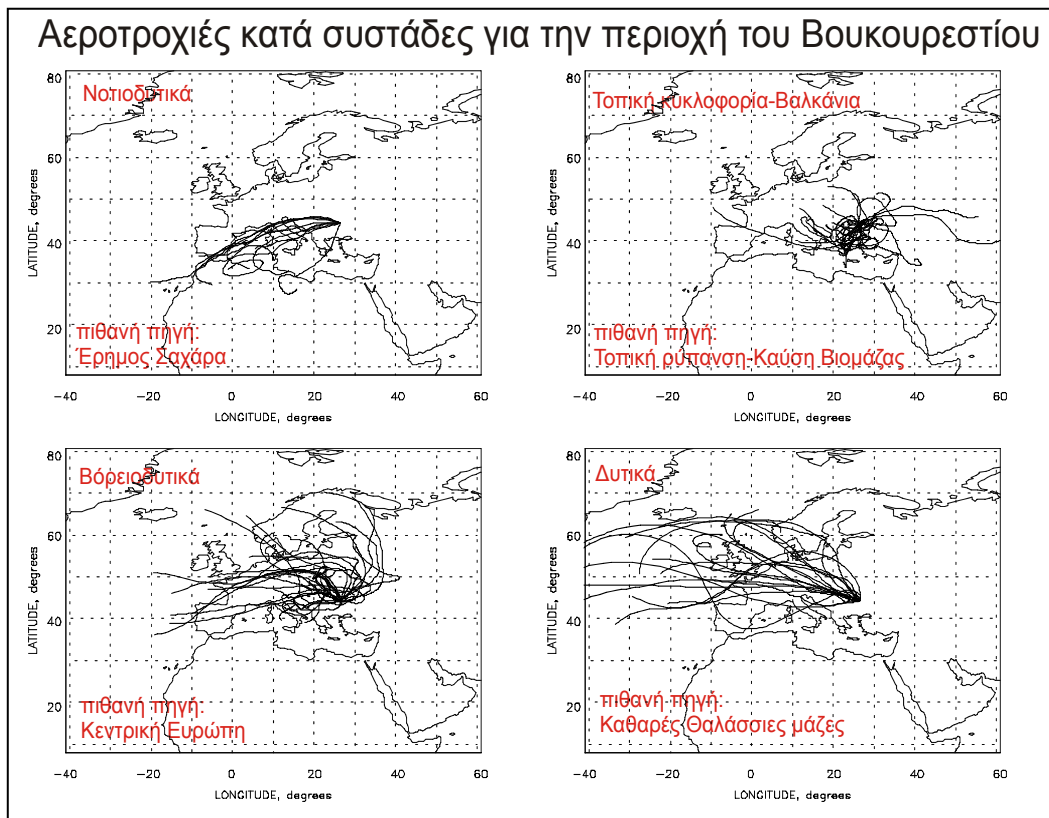
Οι υπολογισμοί επιλέχθηκαν να γίνουν για το ύψος των 2500 m, μιας και το ύψος αυτό αντιπροσωπεύει καλύτερα τον διαχωρισμό μεταξύ οριακού στρώματος και ελεύθερης τροπόσφαιρας. Οι οπισθοτροχιές υπολογίστηκαν για τον χρόνο άφιξης των 12:00 UTC. Στα δεδομένα οπισθοτροχιών εφαρμόσαμε τον αλγόριθμο ανάλυσης κατά συστάδες (cluster

analysis) που προτάθηκε από τους *Dorling et al.* (1992) για τον διαχωρισμό των οπισθοτροχιών σε μέσες τροχιές και επομένως για τον προσδιορισμό των πιθανότερων πηγών ρύπανσης για την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και της Ανατολικής Ευρώπης.



**Εικόνα 10:** Ανάλυση κατά συστάδες για την περιοχή της Αθήνας και οι αντίστοιχες πιθανές πηγές αέριας ρύπανσης.

Στις Εικόνες 10 και 11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κατά συστάδες για τον σταθμό της Αθήνας και τον σταθμό του Βουκουρεστίου, καθώς επίσης και η πιθανότερη πηγή αέριας ρύπανσης για κάθε μία περιοχή. Έτσι, από την ανάλυση των αποτελεσμάτων που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι η περιοχή των Βαλκανίων επηρεάζεται σημαντικά από τις αέριες μάζες που είναι πλούσιες σε αιωρούμενα σωματίδια και έχουν προέλευση την έρημο Σαχάρα, την Κεντρική Ευρώπη και την καύση βιομάζας. Από την άλλη πλευρά οι αέριες μάζες με θαλάσσια προέλευση είναι πολύ λιγότερο φορτισμένες με αερολύματα σε σχέση με εκείνες που έχουν τις τρεις διαφορετικές προελεύσεις που προαναφέραμε.



**Εικόνα 11:** Ανάλυση κατά συστάδες για την περιοχή του Βουκουρεστίου και οι αντίστοιχες πιθανές πηγές αέριας ρύπανσης.

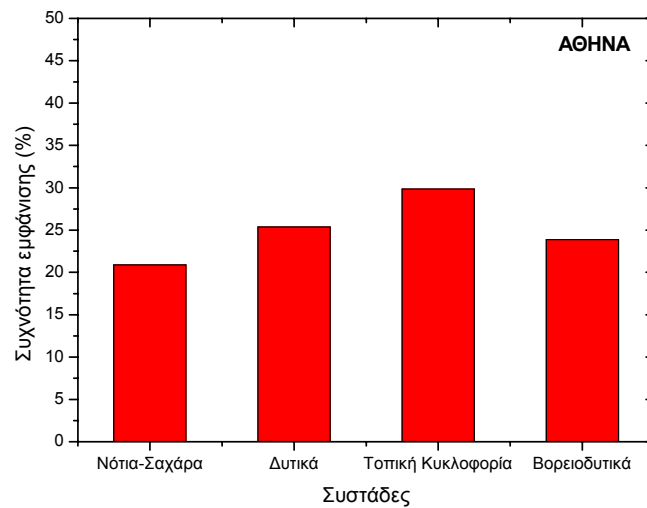
Ακολουθώντας, θα παρουσιάσουμε τα κύρια στατιστικά αποτελέσματα ως προς τις κύριες πηγές ρύπανσης αναφορικά με τα αερολύματα στην περιοχή των Βαλκανίων και της Ανατολικής Ευρώπης, όπως αυτά μετρήθηκαν με το σύστημα UV-Raman lidar του ΕΜΠ στην Αθήνα και με το σύστημα lidar στο Βουκουρέστι, από τον Απρίλιο μέχρι τον Νοέμβριο του 2007.

- **Εντοπισμός των κύριων πηγών ρύπανσης στην περιοχή των Βαλκανίων**

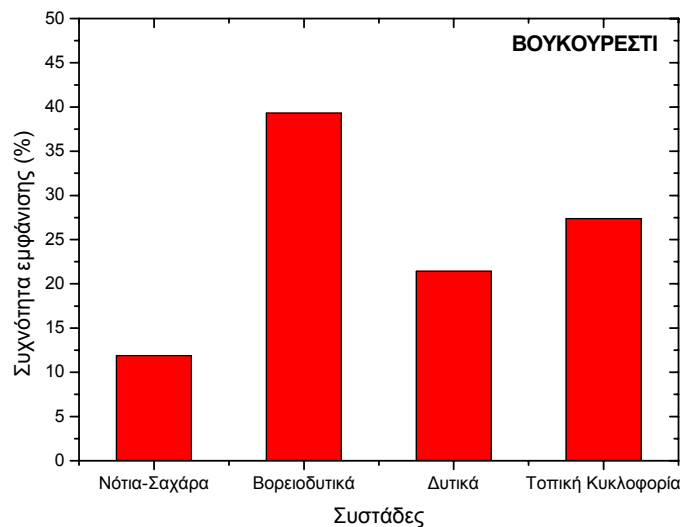
Για το σύνολο των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά την περίοδο του Απριλίου 2007 μέχρι τον Νοέμβριο 2007, στον σταθμό lidar της Αθήνας και του Βουκουρεστίου, πραγματοποιήθηκε μία στατιστική μελέτη όσον αφορά την προέλευση των αερίων μαζών και τις πηγές ρύπανσης αυτών. Στις Εικόνες 12 και 13 παρουσιάζονται οι συχνότητες εμφάνισης (%) της κάθε μίας διεύθυνσης (πηγής αερολύματος) που προέκυψε από την ανάλυση των οπισθοτροχιών των αερίων μαζών κατά συστάδες όπως ροαναφέρθηκε.

Στην Εικόνα 12 παρατηρούμε ότι η περιοχή των Αθηνών επηρεάζεται περισσότερο από την τοπική κυκλοφορίας των αερίων μαζών (31%), ενώ οι αέριες μάζες με δυτική ή

βορειοδυτική προέλευση (25%) είναι εκείνες που εμφανίζονται λιγότερο συχνά και επηρεάζουν την ποιότητα του αναπνεύσιμου αέρα στο Λεκανοπέδιο Αθηνών, ενώ τέλος, εκείνες με ερημική προέλευση (20%) εμφανίζονται λιγότερο συχνά. Αντίθετα, η περιοχή του Βουκουρεστίου (Εικόνα 13) επηρεάζεται περισσότερο από αέριες μάζες βορειοδυτικής προέλευσης (39%) ή τοπικής κυκλοφορίας (27%) και λιγότερο απο εκείνες με δυτική προέλευση ή νότια-ερημική προέλευση (έρημος Σαχάρα).



**Εικόνα 12:** Διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης των διευθύνσεων των αεροτροχιών ανά συστάδα για την περιοχή της Αθήνας.



**Εικόνα 13:** Διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης των διευθύνσεων των αεροτροχιών ανά συστάδα για την περιοχή του Βουκουρεστίου.

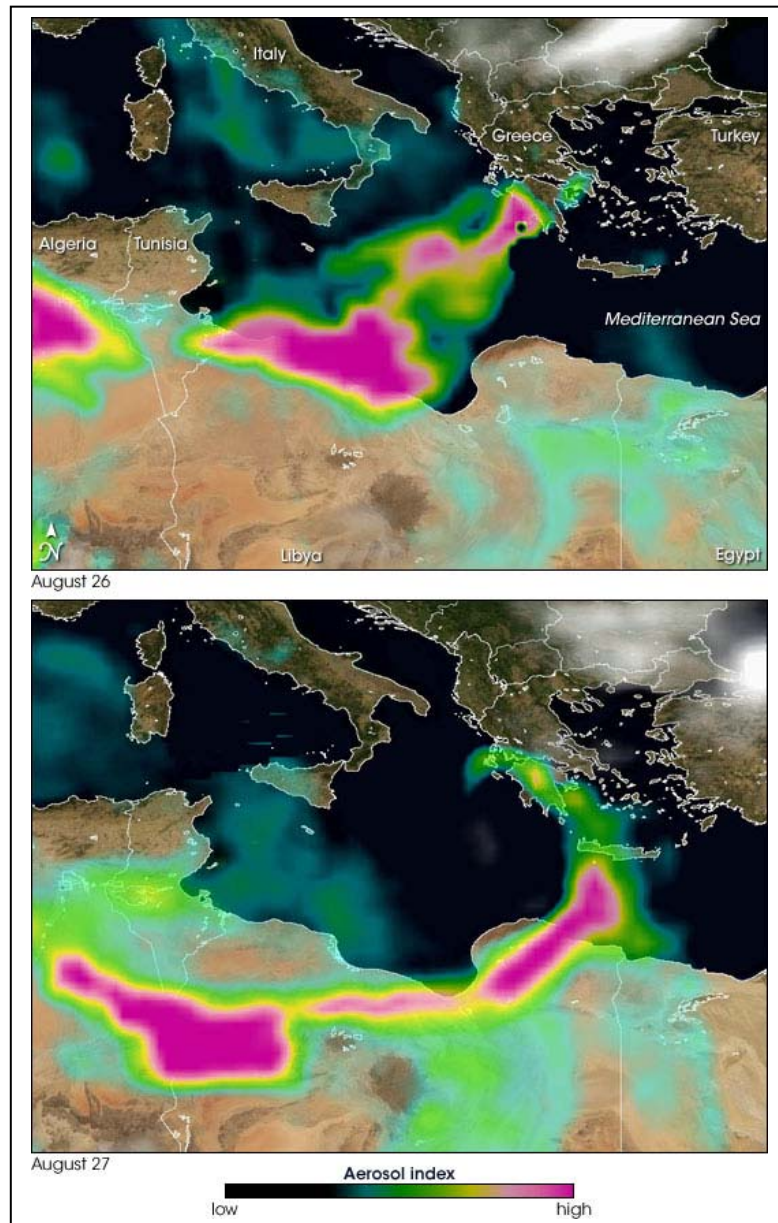
## • Ανάλυση επιλεγμένων περιπτώσεων διασυνοριακής ρύπανσης

Ακολούθως, παρουσιάζουμε την ανάλυση επιλεγμένων περιπτώσεων διασυνοριακής ρύπανσης όπως καταγράφηκε στην περιοχή των Αθηνών και του Βουκουρεστίου (συμμετοχή και των δύο πλευρών).

### *Περίπτωση I: Δασικές πυρκαγιές (καύση βιομάζαςστην περιοχή της Αθήνας (27 Αυγούστου 2007)*

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του έτους 2007 υπήρξε ένας αρκετά μεγάλος αριθμός πυρκαγιών σε περιοχές τόσο της Μολδαβίας και της Ουκρανίας, όσο και στην περιοχή των Βαλκανίων (Ελλάδα, Αλβανία, κλπ.) οι οποίες ήταν ορατές από τον δορυφόρο MODIS (Εικόνα 14). Παράλληλα, κατά την περίοδο 25–30 Αυγούστου 2007, δεν προβλέπονταν από το προγνωστικό μοντέλο DREAM (Dust Regional Atmospheric Model) η παρουσία σωματιδίων σκόνης από τη Σαχάρα πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων. Όμως, οι μετρήσεις lidar στην περιοχή της Αθήνας κατά τη συγκεκριμένη περίοδο κατέδειξαν παρουσία στρωματώσεων σωματιδίων στα ύψη των 1.500, 2.500 και 3.500 m .

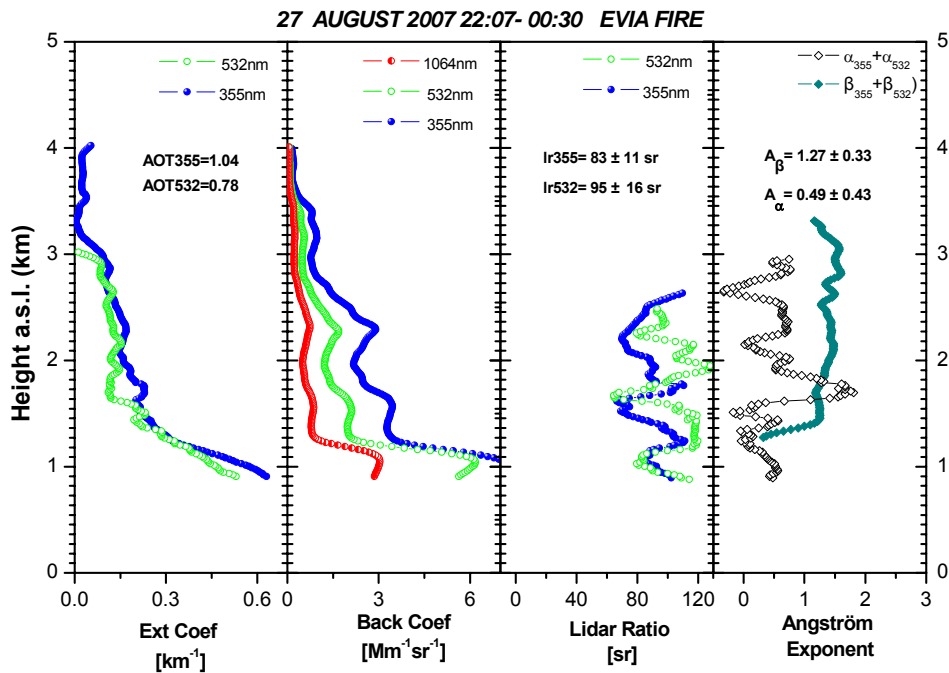
Στην Εικόνα 15 παρουσιάζονται οι οπτικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων όπως προκύπτουν από τα δεδομένα του συστήματος Raman-Lidar του Ε.Μ.Π. στην Αθήνα. Εμφανείς είναι οι στρωματώσεις μεταξύ των 1.500 και 3.500 m. Από τις μετρήσεις των ελαστικών και ανελαστικών μηκών κύματος στα 355 και 532 nm, μετρήθηκαν οι συντελεστές εξασθένησης, οπισθοσκέδασης και ο λόγος lidar, για τις 27 Αυγούστου 2007 κατά την χρονική περίοδο μεταξύ 22:07 και 00:30 UTC. Οι κατακόρυφες κατανομές των μεγεθών αυτών μαζί με τον συντελεστή Ångström παρουσιάζονται στην Εικόνα 15. Τα οπτικά βάθη των αερολυμάτων για εκείνη την ημέρα όπως υπολογίστηκαν από την ολοκλήρωση της κατανομής του συντελεστή εξασθένησης, βρέθηκαν ίσα με 1.04 στα 355 nm και 0.78 στα 532 nm. Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν για την συνολική ατμοσφαιρική περιοχή με την προϋπόθεση πάντοτε ότι το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα είναι καλώς αναμεμιγμένο, οπότε και η εξασθένηση στο χαμηλότερο σημείο της μετρήσεις (~800 m) μπορεί να θεωρηθεί σταθερή έως το έδαφος.



**Εικόνα 14:** Δείκτης αερολυμάτων (aerosol index) από καύση βιομάζας (δασικές πυρκαγιές) στον Ελλαδικό χώρο, όπως καταγράφηκε από τον δορυφόρο MODIS στις 26 και 27 Αυγούστου 2007.

Η υπόθεση αυτή επιβεβαιώνεται από τις μετρήσεις ενός ηλιακού φωτομέτρου (MFR) το οποίο βρίσκεται σε κοντινή απόσταση (1000 m) από την Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Τα οπτικά βάθη των αερολυμάτων για τις 27 Αυγούστου 2007 ήταν της τάξης του 0.7 στα 500 nm, γεγονός που επιβεβαιώνει την ποιότητα των μετρήσεών μας. Η μέση τιμή του λόγου lidar για την περιοχή των υψών μεταξύ 0.8- 4.5 km ήταν  $80 \pm 10$  sr και για τα δύο μήκη κύματος. Ο

λόγος lidar ήταν σχεδόν σταθερός σε σχέση με το ύψος. Επιπλέον, καμία σημαντική εξάρτηση από το μήκος κύματος δεν παρατηρήθηκε. Στην παρούσα περίπτωση η εξάρτηση από το μήκος κύματος γίνεται σημαντική μόνο στην περιοχή των στρωματώσεων όπου παρατηρούνται αερολύματα από την καύση βιομάζας. Αντίστοιχα, ο εκθέτης Ångström κυμάνθηκε μεταξύ 0.5-1.3, που καταδεικνύει την ύπαρξη μεγάλων και μεσαίας διαμέτρου αερολυμάτων.

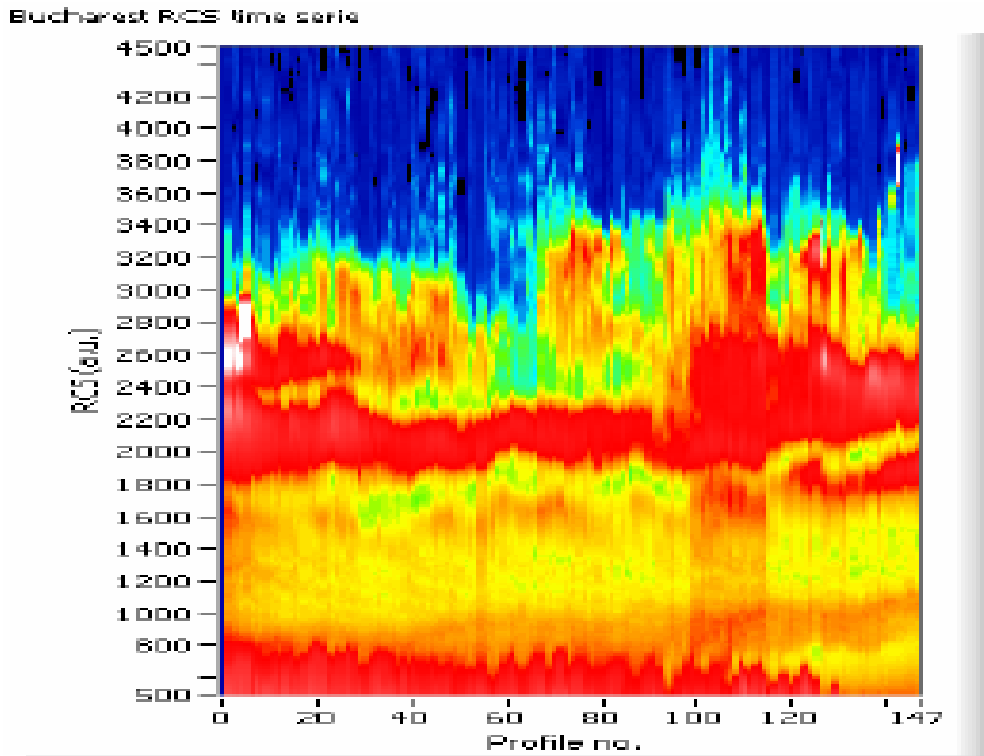


**Εικόνα 15:** Συντελεστής εξασθένησης, οπισθοσκέδασης, λόγος lidar και εκθέτης Ångström για τις 27 Αυγούστου 2007 στην περιοχή των Αθηνών.

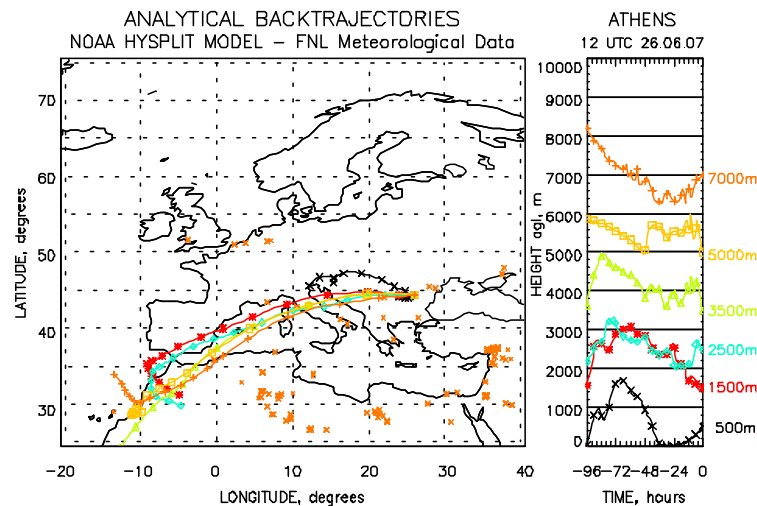
**Περίπτωση II: Αιωρούμενα σωματίδια στην περιοχή του Βουκουρεστίου με προέλευση την έρημο Σαχάρα (25-30 Ιουνίου 2007)**

Το φαινόμενο της μεταφοράς μέσω των αερίων μαζών σωματιδίων σκόνης από την έρημο Σαχάρα πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων είναι αρκετά συχνό, ιδίως κατά τους θερμούς μήνες του έτους (Απρίλιο – Σεπτέμβριο). Ένα τέτοιο φαινόμενο μεταφοράς σκόνης καταγράφηκε από τον σταθμό lidar στο Βουκουρέστι την περίοδο 25–30 Ιουνίου 2007. Στην Εικόνα 16 απεικονίζεται το χωρικά διορθωμένο σήμα lidar στα 1064 nm στις 26 Ιουνίου 2007 πάνω από την περιοχή του Βουκουρεστίου. Παρατηρούμε την ύπαρξη στρωμάτωσης σωματιδίων στο ύψος των 2.500 m, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με το μοντέλο

οπισθοτροχιών HYSPLIT (Εικόνα 17). Τα σωματίδια παρατηρήθηκαν την κατά την περίοδο 26-28 Ιουνίου πάνω από την Ρουμανία γεγονός που προβλέφθηκε με επιτυχία από το μοντέλο DREAM όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 18.

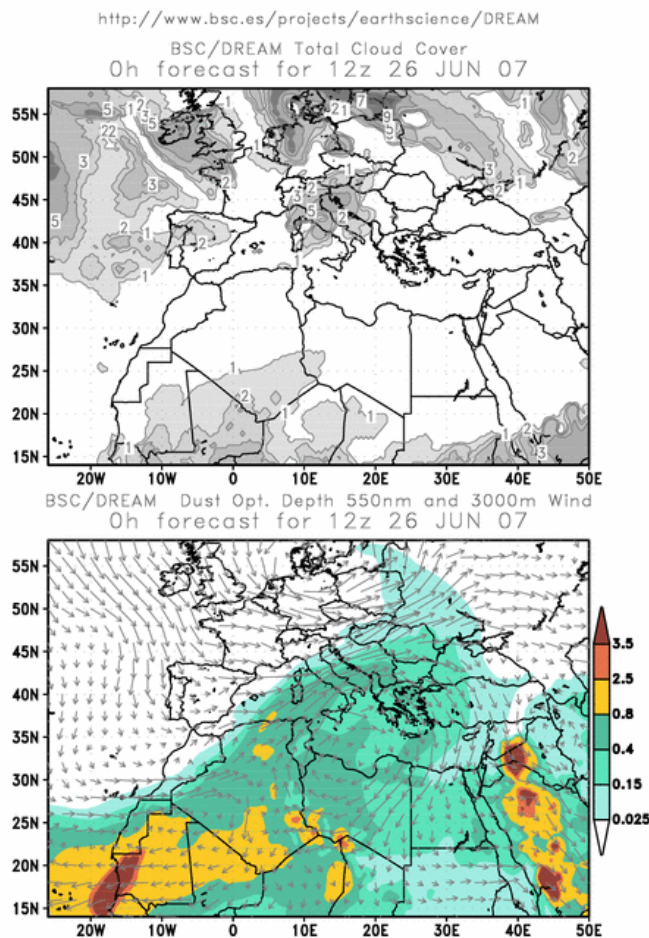


**Εικόνα 16:** Χωρικά διορθωμένο σήμα lidar στα 1064 nm στο Βουκουρέστι στις 26 Ιουνίου 2007.



**Εικόνα 17:** Πρόγνωση του μοντέλου οπισθοτροχιών HYSPLIT για την περιοχή του Βουκουρεστίου στις 26 Ιουνίου 2007.





**Εικόνα 18:** Πρόγνωση του μοντέλου DREAM για την κατανομή στην περιοχή σωματιδίων με προέλευση την Έρημο Σαχάρα στις 26 Ιουνίου 2007.

Επιπροσθέτως, η ανάλυση των δεδομένων του ηλιακού φωτόμετρου στην περιοχή του Βουκουρεστίου έδειξε ότι η πρόκειται για μια τυπική περίπτωση αιωρούμενων σωματιδίων με προέλευση την έρημο Σαχάρα .

### **Συμπεράσματα**

Στο πλαίσιο της Φάσης 3 (βλ. Παραδοτέο ΠΕ3) εντοπίστηκαν οι κύριες πηγές αέριας ρύπανσης που επηρεάζουν την ποιότητα του αναπνεύσιμου αέρα στην περιοχή των Βαλκανίων (έρημος Σαχάρα, κεντρική Ευρώπη, καύση βιομάζας) μέσω της ανάλυσης των αεροτροχιών των αερίων μαζών που καταλήγουν στις πόλεις της Αθήνας και του Βουκουρεστίου. Έτσι, οι συστηματικές μετρήσεις lidar που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο

του ΠΕ2, χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό και την ταυτοποίηση των κύριων πηγών ρύπανσης και παραγωγής αερολυμάτων στην Ευρώπη και στην Βόρεια Αφρική, που επηρεάζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή των Βαλκανίων. Χρησιμοποιώντας, παράλληλα, και μετεωρολογικά δεδομένα, με την βοήθεια του κώδικα Hysplit, μελετήθηκε η διασυννοριακή αερομεταφερόμενη ρύπανση, οι μηχανισμοί μεταφοράς ρύπων και εντοπίστηκαν οι βασικές πηγές ρύπανσης και παραγωγής αερολυμάτων που επιδρούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή των Βαλκανίων.

#### ***ΦΑΣΗ 4: Πραγματοποίηση ειδικών συντονισμένων μετρήσεων lidar για τα αιωρούμενα σωματίδια – Χρήση μετεωρολογικών δεδομένων***

Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, εφαρμόστηκε ένα συστηματικό πρόγραμμα συντονισμένων μετρήσεων lidar (Αθήνα και Βουκουρέστι) για τη μελέτη του ρόλου των τοπικών πηγών ρύπανσης στην τροποποίηση των οπτικών ιδιοτήτων των αερίων μαζών κατά τη διέλευσή τους υπεράνω της ευρύτερης περιοχής των Βαλκανίων. Στην Φάση αυτή επεξεργασθήκαμε τα δεδομένα lidar που καταγράψαμε και συσχέτισαμε τις μετρήσεις μας με δορυφορικά δεδομένα, καθώς και προγνώσεις μοντέλων σχετικά με την μετακίνηση των αερίων μαζών. Οι αλγόριθμοι επεξεργασίας των δεδομένων lidar που χρησιμοποιήθηκαν έχουν δοκιμαστεί για την αξιοπιστία τους στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος EARLINET-ASOS [Böckmann et al., 2004]. Για τον προσδιορισμό της προέλευσης των αερίων μαζών έγινε χρήση του μοντέλου HYSPLIT για την ανάλυση των οπισθοτροχιών των αερίων μαζών. Καθόσον οι μετρήσεις lidar ήταν συστηματικές σε τοπικό επίπεδο και γνωρίζοντας συγκεκριμένες μετεωρολογικές παραμέτρους (ταχύτητα και διεύθυνση ανέμων) με βάση το παραπάνω μοντέλο, μπορούν να προσδιοριστούν οι πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων με αρκετά μεγάλη ακρίβεια, έστω και αν η απόσταση της πηγής ευρίσκεται αρκετά μακριά.

Ακολούθως, παρουσιάζουμε αποτελέσματα μετρήσεων lidar που πραγματοποιήθηκαν από τα δυο συστήματα lidar της Αθήνας και του Βουκουρεστίου. Συγκεκριμένα παρουσιάζουμε δυο περιπτώσεις καταγραφής σωματιδίων πάνω από τη περιοχή των Βαλκανίων. Στην πρώτη παρατηρήθηκαν σωματίδια καπνού προερχόμενα από πυρκαγιές στην περιοχή της Ουκρανίας-Μολδαβίας, ενώ στη δεύτερη περίπτωση τα σωματίδια προέρχονταν από την έρημο Σαχάρα. Για τον προσδιορισμό της προέλευσης και στις δυο περιπτώσεις

χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα MODIS και ανάλυση των οπισθοτροχιών των αερίων μαζών με χρήση του μοντέλου HYSPLIT. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε και ανάλυση των εμπροσθοτροχιών με χρήση του ίδιου μοντέλου ώστε να προσδιοριστεί ο προορισμός των μαζών αυτών. Δεδομένου ότι η εξαγωγή πληροφοριών για τις μικροφυσικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων δεν είναι πάντα εφικτή μέσω της μεθόδου lidar χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από ηλιακά φωτόμετρα που βρίσκονται σε γειτονικές περιοχές με τα συστήματα lidar, ώστε να προσδιοριστεί το είδος των υπό εξέταση σωματιδίων.

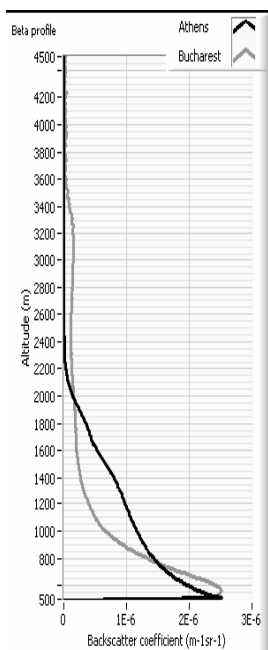
### ***Περίπτωση I: Δασικές πυρκαγιές 17-24 Ιουλίου 2007***

Κατά τη διάρκεια του θέρους του 2007 καταγράφηκε ένας αρκετά μεγάλος αριθμός πυρκαγιών σε περιοχές της Μολδαβίας και της Ουκρανίας. Οι εστίες αυτών των δασικών πυρκαγιών καταγράφηκαν από τον δορυφόρο MODIS (Εικόνες 19 και 22). Παράλληλα κατά την περίοδο 17–24 Ιουλίου δεν υπήρχε πρόβλεψη για παρουσία σωματιδίων σκόνης από τη Σαχάρα πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων από το προγνωστικό μοντέλο DREAM (Dust Regional Atmospheric Model), αλλά μόνο για την κεντρική και δυτική Ευρώπη (Εικόνες 20 και 23). Οι μετρήσεις lidar στην περιοχή του Βουκουρεστίου κατά τη συγκεκριμένη περίοδο έδειξαν παρουσία στρωματώσεων αερολυμάτων σε ύψος 3000-3600 m (Εικόνες 21 και 24), για τις 17 και 20 Ιουλίου, αντίστοιχα. Τα σωματίδια αυτά παρατηρήθηκαν, ακολούθως, στις 21 Ιουλίου στην Αθήνα στην κατακόρυφη κατανομή του συντελεστή οπισθοσκέδασης των αερολυμάτων (Εικόνα 24) μεταξύ 1800-2800 m. Στις Εικόνες 21 και 24 παρουσιάζεται μια σύγκριση των συντελεστών οπισθοσκέδασης στα 1064 nm που καταγράφηκαν από τα συστήματα lidar της Αθήνας (μαύρη γραμμή) και του Βουκουρεστίου (γκρι γραμμή). Η χωροχρονική κατακόρυφη κατανομή των αερολυμάτων στο Βουκουρέστι και την Αθήνα για τις 17, 19 και 21 Ιουλίου παρουσιάζεται στις Εικόνες 25 έως 28, όπου απεικονίζεται το χωρικά διορθωμένο σήμα lidar.

Στην Εικόνα 25 παρατηρούμε μια σημαντική στρωμάτωση αερολυμάτων στην περιοχή 2000-2800 m στην περιοχή του Βελιγραδίου στις 17 Ιουλίου, καθώς και μια παρόμοια στρωμάτωση στις 19 Ιουλίου (Εικόνα 27). Στην περιοχή των Αθηνών στις 17 Ιουλίου δεν παρατηρείται ύπαρξη στρωματώσεων από τα αιωρούμενα σωματίδια (Εικόνα 26), παρά μόνον στις 21 Ιουλίου όπου εμφανίζεται ένα πολύ σημαντικό φορτίο αερολυμάτων μεταξύ 1800-2800 m (βλ. και Εικόνα 28).



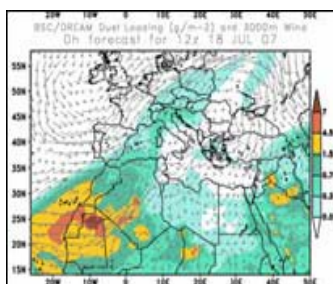
**Εικόνα 19.** Εστίες πυρκαγιών στην Ουκρανία και Μολδαβία κατά την περίοδο 17 – 24 Ιουλίου 2007.



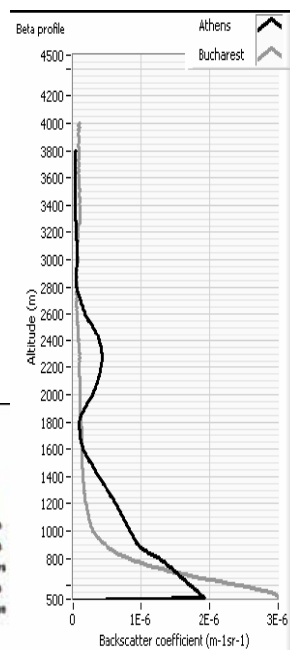
**Εικόνα 21.** Συντελεστές οπισθοσκέδασης στα 1064 nm στην Αθήνα (μαύρη γραμμή) και το Βουκουρέστι (γκρι γραμμή) στις 17 Ιουλίου 2007.



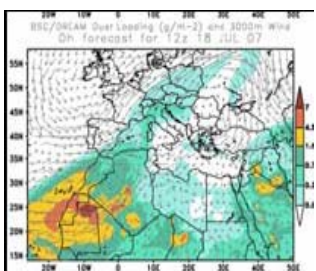
**Εικόνα 22.** Εστίες πυρκαγιών στην Ουκρανία και Μολδαβία κατά την περίοδο 20 – 21 Ιουλίου 2007.



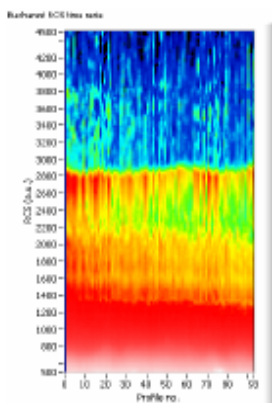
**Εικόνα 23.** Πρόγνωση του μοντέλου DREAM για την παρουσία αερολυμάτων στην περιοχή με προέλευση την έρημο Σαχάρα την περίοδο 20 – 21 Ιουλίου 2007.



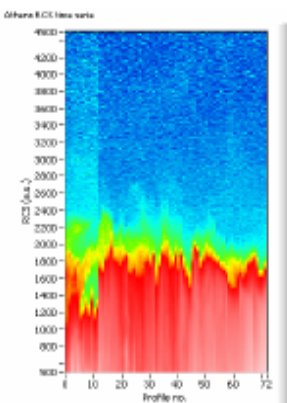
**Εικόνα 24.** Συντελεστές οπισθοσκέδασης στα 1064 nm στην Αθήνα (21 Ιουλίου μαύρη γραμμή) και το Βουκουρέστι (20 Ιουλίου γκρι γραμμή).



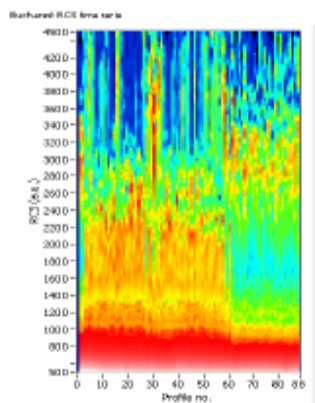
**Εικόνα 20.** Πρόγνωση του μοντέλου DREAM για την παρουσία αερολυμάτων στην περιοχή με προέλευση την έρημο Σαχάρα την περίοδο 17 – 18 Ιουλίου 2007.



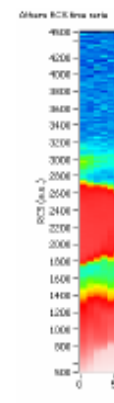
**Εικόνα 25.** Χωρικά διορθωμένο σήμα lidar στο Βουκουρέστι στις 17 Ιουλίου 2007.



**Εικόνα 26.** Χωρικά διορθωμένο σήμα lidar στην Αθήνα στις 17 Ιουλίου 2007.



**Εικόνα 27.** Χωρικά διορθωμένο σήμα lidar στο Βουκουρέστι στις 19 Ιουλίου 2007.

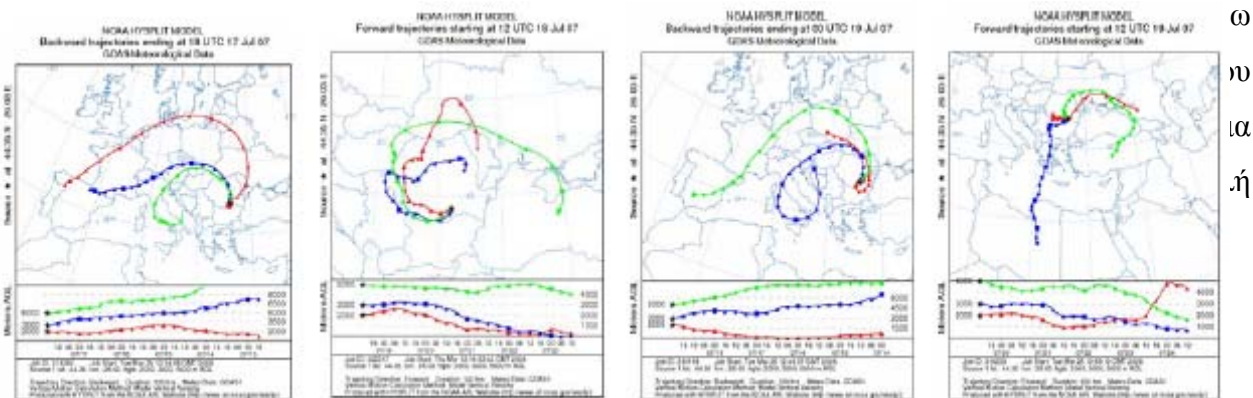


**Εικόνα 28.** Χωρικά διορθωμένο σήμα lidar στην Αθήνα στις 21 Ιουλίου 2007.

Στην Εικόνα 29 παρατηρούμε ότι οι αέριες μάζες που καταλήγουν στη Ρουμανία στις 17 Ιουλίου και στο ύψος των 3 km, έχουν περάσει πάνω από περιοχές της Ουκρανίας και της Μολδαβίας όπου υπήρχαν πυκνές δασικές πυρκαγιές. Στην ίδια Εικόνα φαίνεται ότι οι αέριες

μάζες σε μεγαλύτερα ύψη είχαν προέλευση την περιοχή της Ουγγαρίας όπου δεν υπήρχαν δασικές πυρκαγιές. Στην Εικόνα 30 παρατηρούμε ότι οι συγκεκριμένες αέριες μάζες στις επόμενες δυο ημέρες βρέθηκαν και πάλι πάνω από την Ουκρανία. Έτσι, κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου επεισοδίου, αέριες μάζες με προέλευση την Ουκρανία και τη Μολδαβία βρέθηκαν πάνω από την Ρουμανία και ταξίδεψαν πίσω στην Ουκρανία για αρκετές ημέρες. Μετά τις 19 Ιουλίου, η κυκλοφορία των αερίων μαζών διαφοροποιήθηκε με αποτέλεσμα οι αέριες μάζες με φορτίο σωματιδίων από τις δασικές πυρκαγιές στην Ουκρανία και τη Μολδαβία να ταξιδέψουν πάνω από τη Ρουμανία με κατεύθυνση την Ελλάδα. Το γεγονός επιβεβαιώνεται από το μοντέλο HYSPLIT για συγκεκριμένα ύψη που προέκυψαν από τις μετρήσεις lidar.

Το αποτέλεσμα αυτό βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τις μετρήσεις lidar στην περιοχή του Βουκουρεστίου όπου παρατηρείται στρωμάτωση σωματιδίων πάνω από το Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ) (Εικόνες 21 και 24). Όπως προαναφέρθηκε, στην περιοχή της Αθήνας στις 17 Ιουλίου δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές συγκεντρώσεις αερολυμάτων πάνω από το ΑΟΣ (Εικόνα 21). Η κατάσταση διαφοροποιήθηκε στις 19 Ιουλίου όπου οι αέριες μάζες ξεκινώντας την ημέρα εκείνη από την περιοχή της Ρουμανίας στο ύψος των 3 km άλλαξαν κατεύθυνση ταξιδεύοντας προς την Βουλγαρία και την Ελλάδα όπου και έφθασαν στις 21 Ιουλίου (Εικόνες 31 και 32). Το γεγονός επιβεβαιώνεται πλήρως από τις μετρήσεις lidar στο Βουκουρέστι και την Αθήνα (Εικόνες 21 και 24). Στην περίπτωση αυτή και τα δυο συστήματα lidar κατέγραψαν στρωμάτωση σωματιδίων πάνω από το ΑΟΣ την περίοδο 20-21 Ιουλίου. Για την Αθήνα η στρωμάτωση των σωματιδίων περιορίζεται στο ύψος των 2.8 km, ενώ για το Βουκουρέστι εκτείνεται και σε ακόμη μεγαλύτερα ύψη. Η διαφοροποίηση αυτή στις μετρήσεις μπορεί να εξηγηθεί λαμβάνοντας υπ'όψη ότι οι αέριες μάζες πάνω από το Βουκουρέστι στα ύψη 2 και 5 km είχαν προέλευση πάνω από περιοχές



**Εικόνα 29.** Ανάλυση οπισθοτροχιών των αερίων μαζών που καταλήγουν πάνω από τη περιοχή του Βουκουρεστίου στις 17 Ιουλίου 2007.

**Εικόνα 30.** Ανάλυση εμπροσθοτροχιών των αερίων μαζών που έχουν αφετηρία το Βουκουρέστι στις 18 Ιουλίου 2007.

**Εικόνα 31.** Ανάλυση οπισθοτροχιών των αερίων μαζών που καταλήγουν πάνω από την περιοχή του Βουκουρεστίου στις 19 Ιουλίου 2007.

**Εικόνα 32.** Ανάλυση εμπροσθοτροχιών των αερίων μαζών που έχουν αφετηρία το Βουκουρέστι στις 19 Ιουλίου 2007.

ω  
ν  
ια  
ή

### **Φάση 5: Διάχυση των αποτελεσμάτων του έργου**

Κατά τη διάρκεια της Φάσης 5 του Έργου πραγματοποιήθηκε η διάχυση των αποτελεσμάτων του έργου, μέσω: α) της οργάνωσης ημερίδων συνεργασίας στην Ελλάδα και την Ρουμανία με έμφαση τη διασυνοριακή αερομεταφερόμενη ρύπανση, τους μηχανισμούς μεταφοράς ρύπων και τον εντοπισμό των βασικών πηγών αερολυμάτων που επιδρούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή των Βαλκανίων, β) της δημιουργίας ιστοσελίδας στο διαδίκτυο για την παρουσίαση των κυριότερων επιστημονικών ευρημάτων του έργου, και γ) τη δημοσίευση επιστημονικών άρθρων σε διεθνή περιοδικά για την ενημέρωση της παγκόσμιας ερευνητικής κοινότητας, σχετικά με τα επιστημονικά ευρήματα του έργου.

#### **ΦΑΣΗ 5Α: Οργάνωση Ημερίδων ενημέρωσης και συνεργασίας μεταξύ των δύο πλευρών**

Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, διοργανώθηκε στις 19 Μαρτίου 2008, Ημερίδα στο Ε.Μ. Πολυτεχνείο – Τομέας Φυσικής, με θέμα «*Aerosol monitoring by LIDAR techniques*». Στην Ημερίδα αυτή παρουσιάστηκαν και σχολιάστηκαν - από ορισμένους ερευνητές που συμμετέχουν στην παρούσα Ελληνο-Ρουμανική Διακρατική Συνεργασία - τα κυριότερα επιστημονικά αποτελέσματα που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια του έργου.

Οι ομιλητές και οι αντίστοιχοι τίτλων των εργασιών που παρουσιάστηκαν αναφέρονται ακολούθως:

- Mr. **Livio BELEGANTE**, “Quantitative comparison between elastic backscatter lidar and CIMEL sunphotometer”,
- Mr **Christian RADU**, “Dust events observations using lidar data and models in the frame of the Greek-Romanian bilateral project”,
- Dr. **Georgios TSAKNAKIS**, “Raman lidar activities at the National Technical University of Athens”.

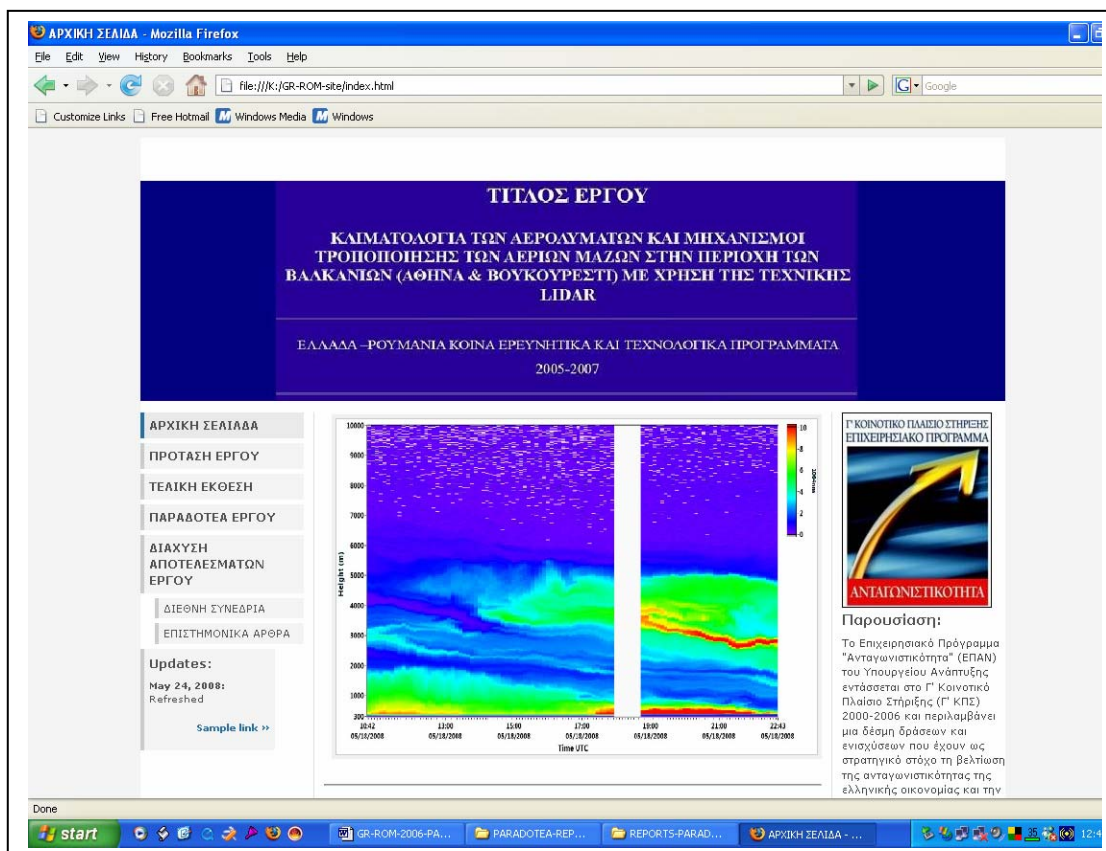
### ΦΑΣΗ 5B: Δημιουργία ιστοσελίδας στο διαδίκτυο

Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, δημιουργήθηκε ειδική σελίδα στο διαδίκτυο, με ελεύθερη πρόσβαση, που έχει σαν στόχο την παρουσίαση του συνολικού έργου που εκτελέστηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού αυτού προγράμματος. Η ιστοσελίδα του ευρίσκεται αναρτημένη στη διεύθυνση: <http://www.physics.ntua.gr/~papayannis/projects/gr-rom>

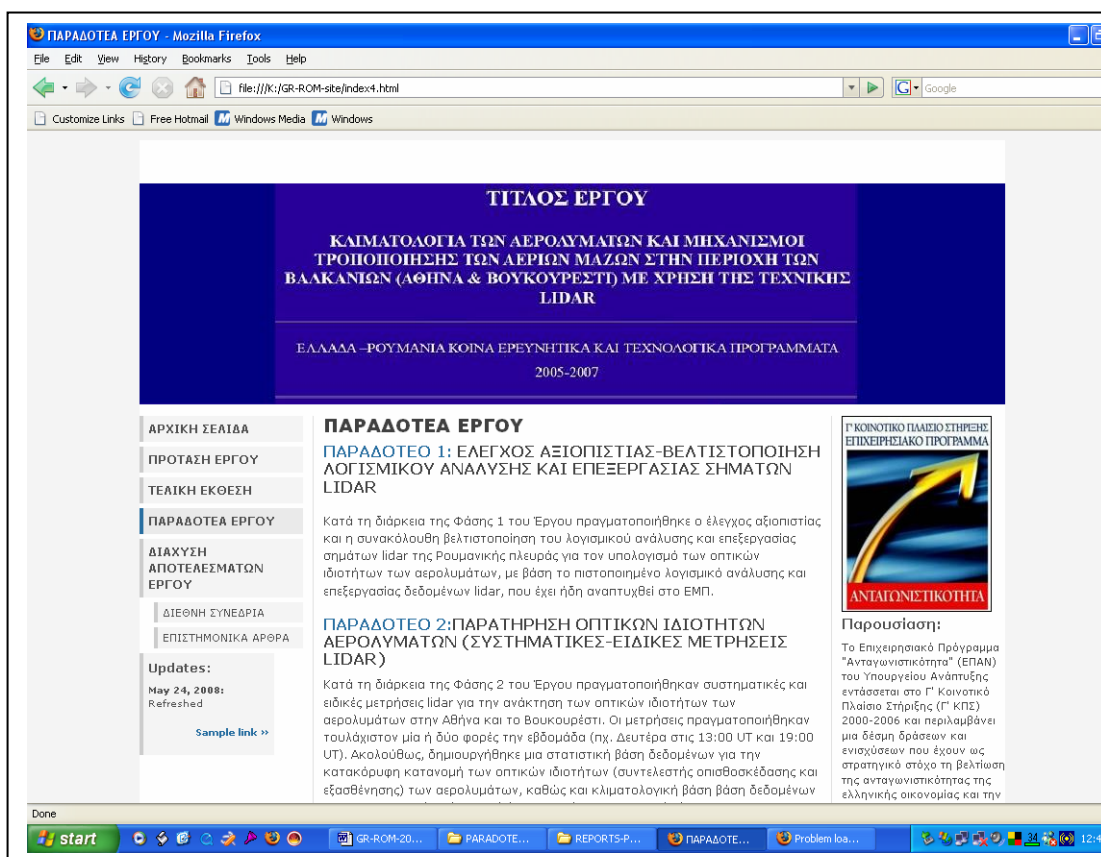
Στην ιστοσελίδα αυτή είναι διαθέσιμα τα εξής στοιχεία:

- Υποβληθείσα Πρόταση έργου
- Υποβληθείσα Τελική Πρόταση έργου
- Παραδοτέα έργου
- Διάχυση αποτελεσμάτων του έργου (Κατάλογος επιστημονικών δημοσιεύσεων του έργου σε διεθνή περιοδικά και πρακτικά διεθνών συνεδρίων).

Στην Εικόνα 5.1 παρουσιάζεται η αρχική σελίδα του έργου που έχει αναρτηθεί στην προαναφερθείσα ιστο-σελίδα, ενώ στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζονται αναλυτικά τα Παραδοτέα του έργου.



Εικόνα 5.1: Αρχική σελίδα του έργου που έχει ήδη αναρτηθεί στο διαδίκτυο.



Εικόνα 5.2: Παραδοτέα όπως παρουσιάζονται στην ιστο-σελίδα του έργου που έχει ήδη αναρτηθεί στο διαδίκτυο.

### ΦΑΣΗ 5Γ: Κοινοποίηση των αποτελεσμάτων του έργου στη διεθνή κοινότητα

Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, πραγματοποιήθηκε η κοινοποίηση των αποτελεσμάτων του έργου μέσω της δημοσίευσης ενός επιστημονικού άρθρου σε διεθνές επιστημονικό περιοδικό. Το άρθρο με τίτλο: «**Air Mass Modification Processes Over the Balkans Area Detected by Aerosol Lidar Techniques**» εγκρίθηκε για δημοσίευση στο περιοδικό **Journal of Optoelectronics and Advanced Materials** (βλ. Παράρτημα Ι).

### Συμπεράσματα

Η διάχυση των αποτελεσμάτων του έργου υλοποιήθηκε μέσω α) της οργάνωσης ημερίδων συνεργασίας στην Ελλάδα και την Ρουμανία με έμφαση τη διασυνοριακή αερομεταφερόμενη ρύπανση, τους μηχανισμούς μεταφοράς ρύπων και τον εντοπισμό των βασικών πηγών αερολυμάτων που επιδρούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή



των Βαλκανίων, β) της δημιουργίας ιστοσελίδας στο διαδίκτυο για την παρουσίαση των κυριότερων επιστημονικών ευρημάτων του έργου, και γ) τη δημοσίευση επιστημονικών άρθρων σε διεθνή περιοδικά για την ενημέρωση της παγκόσμιας ερευνητικής κοινότητας, σχετικά με τα επιστημονικά ευρήματα του έργου.

### **Ανταλλαγές/επισκέψεις της Ελληνικής και της Ρουμανικής ομάδας**

Κατά τη διάρκεια του 1<sup>ου</sup> έτους υλοποίησης του έργου πραγματοποιήθηκαν 2 αμοιβαίες επισκέψεις δύο μελών της κάθε ερευνητικής ομάδας. Σκοπός των ανταλλαγών και επισκέψεων αυτών ήταν αφενός μεν η υλοποίηση του έργου (Παραδοτέο 1) και η ανταλλαγή αντίστοιχης ερευνητικής και τεχνικής εμπειρίας και τεχνογνωσίας μεταξύ των συμβαλλόμενων εργαστηρίων και αφετέρου, η επίτευξη των στόχων του προτεινόμενου έργου.

Ειδικότερα, η πρώτη επίσκεψη αφορούσε την μετακίνηση 2 ερευνητών από την Ρουμανική ομάδα προς την Ελληνική (Doina Nicolae και Camelia Talianou). Στόχος της επίσκεψης, που κράτησε 6 ημέρες (19-25/06/2006), ήταν η γνωριμία της Ρουμανικής ομάδας με το ελληνικό σύστημα lidar, η επίδειξη της λειτουργίας του και η ανταλλαγή τεχνογνωσίας και εμπειρίας μεταξύ των δύο συνεργαζόμενων ομάδων, όπως επίσης και η προετοιμασία του Παραδοτέου 1.

Η δεύτερη επίσκεψη αφορούσε την μετακίνηση 2 ερευνητών από την Ελληνική ομάδα (Α. Παπαγιάννης και Ρ. Μαμούρη) προς τη Ρουμανική ομάδα (διάρκεια 4 ημερών: 26-29/10/2006) με στόχο την υλοποίηση του Παραδοτέου 1 και την γνωριμία της Ελληνικής ομάδας με το ρουμανικό σύστημα lidar καθώς και την επεξεργασία δεδομένων που ελήφθησαν κατά την παραμονή μας στη Ρουμανία. Η μεταφορά εμπειρίας και τεχνογνωσίας από την Ελληνική πλευρά προς την Ρουμανική, για την υλοποίηση του Παραδοτέου 1, υπήρξε καθοριστική. Επίσης, κατά την επίσκεψη αυτή εντοπίστηκαν οι κατασκευαστικές ατέλειες του Ρουμανικού συστήματος lidar και δόθηκαν ειδικές οδηγίες για την βελτιστοποίηση του συστήματος.

Κατά τη διάρκεια του 2<sup>ου</sup> έτους υλοποίησης του έργου πραγματοποιήθηκαν 2 αμοιβαίες επισκέψεις δύο μελών της κάθε ερευνητικής ομάδας. Σκοπός των ανταλλαγών και επισκέψεων αυτών ήταν αφενός μεν η υλοποίηση του έργου (Παραδοτέα 2-3-4-5) και η ανταλλαγή αντίστοιχης ερευνητικής και τεχνικής εμπειρίας και τεχνογνωσίας μεταξύ των συμβαλλόμενων εργαστηρίων και αφετέρου, η επίτευξη των στόχων του προτεινόμενου έργου.

Η τρίτη επίσκεψη αφορούσε την μετακίνηση 2 ερευνητών από την Ελληνική ομάδα (Α. Παπαγιάννης και Ρ. Μαμούρη) προς την Ρουμανική ομάδα (διάρκεια 4 ημερών: 22-26/05/2007) με στόχο την υλοποίηση των Παραδοτέων 2 και 3. Η μεταφορά εμπειρίας και τεχνογνωσίας από την Ελληνική πλευρά προς την Ρουμανική, για την υλοποίηση των Παραδοτέων 2 και 3, υπήρξε καθοριστική.

Η τέταρτη επίσκεψη αφορούσε την μετακίνηση 2 ερευνητών από την Ρουμανική ομάδα προς την Ελληνική (Livio Belegante και Christian Radu). Στόχος της επίσκεψης, που κράτησε 6 ημέρες (15-21/03/2008), ήταν η γνωριμία της Ρουμανικής ομάδας με το ελληνικό σύστημα lidar, η επίδειξη της λειτουργίας του και η ανταλλαγή τεχνογνωσίας και εμπειρίας μεταξύ των δύο συνεργαζόμενων ομάδων σε θέματα βαθμονόμησης lidar, και κυρίως η προετοιμασία των Παραδοτέων 4 και 5.

#### Κατάλογος Παραδοτέων ανά Φάση

<i>Φάση</i>	<i>Παραδοτέο</i>	<i>Υλοποιήθηκε</i>
1. Έλεγχος αξιοπιστίας-βελτιστοποίηση λογισμικού σημάτων lidar.	Περιγραφή ενεργειών βελτιστοποίηση λογισμικού	ΝΑΙ
2. Παρατήρηση οπτικών ιδιοτήτων αερολυμάτων (συστηματικές-ειδικές μετρήσεις)	Στατιστική βάση δεδομένων για τις οπτικές ιδιότητες των αερολυμάτων	ΝΑΙ
3. Εντοπισμός κύριων πηγών ρύπανσης που επηρεάζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή των Βαλκανίων	Κύριες πηγές ρύπανσης στα Βαλκάνια	ΝΑΙ
4. Τροποποίηση των αερίων μαζών στην περιοχή των Βαλκανίων	Ρόλος των πηγών ρύπανσης στην τροποποίηση των αερίων μαζών στην περιοχή των Βαλκανίων	ΝΑΙ
5. Διάχυση αποτελεσμάτων	1. Ιστοσελίδα 2. Πρακτικά συνεδρίων-Άρθρα σε περιοδικά 3. Κατάλογος παραδοτέων	ΝΑΙ

## Βιβλιογραφία

- Ackermann, F.A., and Chung, H., Radiative effects of airborne dust and regional energy budget at the top of the atmosphere, *J. Appl. Meteor.*, **31**, 223-236, 1992.
- Andreae, M. and Crutzen, P., Atmospheric aerosols: Biochemical sources and role in atmospheric chemistry, *Science*, **276**, 1052-1057, 1997.
- Ansmann, A., Wandinger, U., Riebesell, M., Weitkamp, C., and Michaelis, W., Independent measurements of extinction and backscatter profiles in cirrus clouds using a combined Raman elastic-backscatter lidar, *Appl. Opt.*, **22**, 2257-2264, 1992.
- Bockmann, C., Wandinger, U., Ansmann, A., Bosenberg, J., Amiridis, V., Boselli, A., Delaval, A., De Tomasi, F., Frioud, M., Grigorov, I., Hagard, A., Horvat, M., Iarlori, M., Komguem, L., Kreipl, S., Larcheveque, G., Matthias, V., Papayannis, A., Pappalardo, G., Rocadenbosch, F., Rodrigues, J. A., Schneider, J., Shcherbakov, V., and Wiegner, M., Aerosol lidar intercomparisons in the frame of EARLINET: Part II - Aerosol backscatter algorithms, *Applied Optics*, **43**, 977-989, 2004.
- Bösenberg, J., Matthias, V., Amodeo, A., et al., EARLINET project: A European Aerosol Research Lidar Network. Contract EVR1-CT1999-40003, *Final Report*, pp.1-250, Hamburg, 2003.
- Forster, P., et al., *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. In: *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, 2007.
- Fredriksson, K., B. Galle, K. Nystrom, S. Svanberg, "Mobile lidar system for environmental probing", *Appl. Opt.*, **20**, 4181-4189, 1981.
- Haywood M., Ramaswamy, V., and Soden, B. J.: *Tropospheric aerosol climate forcing in clear-sky satellite observations over the oceans*, *Science*, **283**, 1299–1305, 1999.
- Holben, B. N., et al., An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET, *J. Geophys. Res.*, **106**, 12,067–12,098, 2001.
- Houghton, J.T., Ding, W., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Xiaosu, D., *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, U.K, 2001.
- Klett, J., "Lidar inversion with variable backscatter to extinction ratios", *Appl. Optics*, **24**, 1638-1643, 1985.
- Kölsch, H., Rairoux, P., Wolf, J.P., and Wöste, L. (1989) Simultaneous NO and NO<sub>2</sub> DIAL measurements using BBO crystals, *Appl. Opt.*, **28**, 2052-2056.
- Kovalev, V., and Eichinger, V. (2004) *Elastic lidar: Theory, Practice and Analysis Methods*, Wiley Interscience Publ., New York, USA.
- Kulmala, M., Vehkamäki, H., Petaja, T., Dal Maso, M., Lauri, A., Kerminen, V.-M., Birmili, W., and Mc Murry, P., Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations. *J. Aerosol Sci.*, **35**, 143–176, 2004.
- Lelieveld, J., Berresheim, H., Borrmann, S., Crutzen, P.J., Dentener, F.J., Fischer, H., Feichter, J., Flatau, P.J., Heland, J., Holzinger, R., Korrman, R., Lawrence, M.G., Levin, Z., Markowicz, K.M., Mihalopoulos, N., Minikin, A., Ramanathan, V., de Reus, M., Roelofs, G.J., Scheeren, H.A., Sciare, J., Schlager, H., Schultz, M., Siegmund, P., Steil,

- B., Stephanou, E.G., Stier, P., Traub, M., Warneke, C., Williams, J., Ziereis, H., Global Air Pollution Crossroads over the Mediterranean, *Science*, **298**, 794-799, 2002.
- Matthias, V., D. Balis, J. Boesenberg, R. Eixmann, M. Iarlori, L. Komguyen, I. Mattis, A. Papayannis, G. Pappalardo, M.R. Perrone and X. Wang, 'Vertical aerosol distribution over Europe: Statistical analysis of Raman lidar data from 10 European Aerosol Research Lidar Network (EARLINET) stations', *Journal of Geophysical Research*, **109**, D18201, doi:10.1029/2004JD004638, 2004.
- Measures, R., "Laser Remote Sensing - Fundamentals and Applications", Wiley Interscience, N.Y. 1984.
- Milton, M., P.T. Woods, B. Jolliffe, N. Swann and T. McIlveen, "Measurements of toluene and other aromatic hydrocarbons by Differential-Absorption LIDAR in the near-ultraviolet", *Appl. Phys.* **B55**, 41-45, 1992.
- Murayama T., et al., *Ground-based network observation of Asian dust events of April 1998 in east Asia*, *J. Geophys. Res.*, **106**(D16), 18,345–18,359, 2001.
- Pandis, S., Wexler, A., Seinfeld, J., Dynamics of tropospheric aerosol, *J. Phys. Chem.*, **99**, 9646-9659, 1985.
- Papayannis, A., "The EOLE Project: A Greek LIDAR System for Ozone and Aerosol Measurements in the Troposphere and the Lower Stratosphere. Part I: Overview", *Int. Journal Remote Sensing*, **18**, 3595-3604, 1995.
- Papayannis, A., D. Balis, V. Amiridis, G. Chourdakis, G. Tsaknakis, C. Zerefos, A. Castanho, S. Nickovic, S. Kazadzis, J. Grabowski, *Measurements of Saharan dust aerosols over the Eastern Mediterranean using elastic backscatter-Raman lidar, spectrophotometric and satellite observations in the frame of the EARLINET project*, *Atmos. Chem. Phys.*, **5**, 2065-2079, 2005.
- Pappalardo, G., A. Amodeo, U. Wandinger, V. Matthias, J. Boesenberg, M. Alpers, V. Amiridis, F. de Tomasi, M. Frioux, M. Iarlori, L. Komguyen, G. Larcheveque, A. Papayannis, R. Schumacher, X. Wang, 'Aerosol lidar intercomparison in the frame of EARLINET: Part III: Aerosol extinction Raman lidar algorithm intercomparison', *Applied Optics*, **43**, 5370-5385, 2004.
- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., Gill, T.E., Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 total ozone mapping spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product, *Rev. Geophys.*, **40**, 1002, doi:10.1029/2000RG000095, 2002.
- Seinfeld, J.H., and Pandis, S.N., *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, J. Wiley and Sons, New York, USA, 1998.
- Thompson A.M., Witte, J., Hudson, R., Guo, H., Herman, J., Fujiwara, M., Tropical tropospheric ozone and biomass burning, *Science*, **291**, 2128-2132, 2001.
- Weitkamp, C., *Lidar: Range-resolved optical remote sensing of the atmosphere*, Springer Verlag, 2005.
- Welton E. J., J. R. Campbell, J. D. Spinhirne, and V. S. Scott: *Global monitoring of clouds and aerosols using a network of micropulse lidar systems. Proc. Lidar Remote Sensing for Industry and Environmental Monitoring*, Sendai, Japan, 4153 *SPIE*, 151–158, 2001.
- Zerefos, C., P. Nastos, D. Balis, A. Papayannis, A. Kelepertsis, E. Kanellopoulou, D. Alexakis, C. Meleti, D. Nicolakis, P. Kandylis, K. Eleftheratos, and W. Thomas, "Characteristics of Etna's volcanic dust from ground-based and space-borne measurements", *Int. Journal of Remote Sensing*, **27**, 1855-1864, 2006.

## ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΕΙΣΕΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΩΝ

### ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ

Συνολικός αριθμός μετακινήσεων: 4

Συνολικός αριθμός ανθρωπο-ημερών στο εξωτερικό: 18

Αναλυτικά στοιχεία ανά μετακίνηση:

1	Όνομα, Ιδιότητα μετακινήθέντος επιστήμονα: Αλέξανδρος ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗΣ Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.		
Ημερομηνία αναχώρησης:	26/10/2006	επιστροφής:	29/10/2006

2	Όνομα, Ιδιότητα μετακινήθέντος επιστήμονα: Ροδάνθη-Ελισσάβετ ΜΑΜΟΥΡΗ Ερευνήτρια, Υποψήφια Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.		
Ημερομηνία αναχώρησης:	26/10/2006	επιστροφής:	29/10/2006

3	Όνομα, Ιδιότητα μετακινήθέντος επιστήμονα: Αλέξανδρος ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗΣ Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.		
Ημερομηνία αναχώρησης:	22/05/2007	επιστροφής:	26/05/2007

4	Όνομα, Ιδιότητα μετακινήθέντος επιστήμονα: Ροδάνθη-Ελισσάβετ ΜΑΜΟΥΡΗ Ερευνήτρια, Υποψήφια Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.		
Ημερομηνία αναχώρησης:	22/05/2007	επιστροφής:	26/05/2007

### ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΗ ΠΛΕΥΡΑ

Συνολικός αριθμός μετακινήσεων: 4

Συνολικός αριθμός ανθρωπο-ημερών στην Ελλάδα: 24

Αναλυτικά στοιχεία ανά μετακίνηση:

1	Όνομα, Ιδιότητα μετακινήθέντος επιστήμονα: Doina NICOLAE Ερευνήτρια INOE		
Ημερομηνία άφιξης στην Ελλάδα:	19/06/2006	αναχώρησης:	25/06/2006

2	Όνομα, Ιδιότητα μετακινήθέντος επιστήμονα: Camelia TALIANU Νέα Ερευνήτρια INOE		
Ημερομηνία άφιξης στην Ελλάδα:	19/06/2006	αναχώρησης:	25/06/2006:

3	Όνομα, Ιδιότητα μετακινήθέντος επιστήμονα: Livio BELEGANTE Υποψήφιος Διδάκτωρ INOE		
Ημερομηνία άφιξης στην Ελλάδα:	15/03/2008	αναχώρησης:	21/03/2008

4	Όνομα, Ιδιότητα μετακινήθέντος επιστήμονα: Christian RADU Υποψήφιος Διδάκτωρ INOE		
Ημερομηνία άφιξης στην Ελλάδα:	15/03/2008	αναχώρησης:	21/03/2008

*Τυχόν εσωτερικές μετακινήσεις (εφόσον εγκρίθηκαν από την ΓΓΕΤ):*

1	Όνομα, Ιδιότητα μετακινήθέντος επιστήμονα:	
	Ημερομηνία αναχώρησης:	επιστροφής:
	Τόπος προορισμού:	

2	Όνομα, Ιδιότητα μετακινήθέντος επιστήμονα:	
	Ημερομηνία αναχώρησης:	επιστροφής:
	Τόπος προορισμού:	

*\*για την περίπτωση της Ελληνο - Γαλλικής Συνεργασίας*

### **ΤΡΙΤΗ ΧΩΡΑ**

- Ονοματεπώνυμο εμπειρογνώμονα Τρίτης Χώρας:
- Συνολικός αριθμός ανθρωπο-ημερών στην Ελλάδα του εμπειρογνώμονα της Τρίτης Χώρας:

## ΕΠΙΤΕΥΓΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

### ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ - ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΕΙΣ

Συνολικός αριθμός: 1

Επισυνάψατε αναλυτικό κατάλογο και φωτοτυπίες των δημοσιεύσεων: (βλ. Παραδοτέο Ι)  
(Στη περίπτωση που δεν έχουν δημοσιευθεί ακόμη, επισυνάψτε αποδεικτικά στοιχεία της προσεχούς δημοσίευσης)

### ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΝΕΩΝ ΕΡΕΥΝΗΤΩΝ

Ονοματεπώνυμο νέων ερευνητών (Ελλήνων και ξένων) που έλαβαν μέρος στο έργο (διευκρινίστε τις τυχόν αμοιβές από το Πρόγραμμα):

1. Δρ. Γεώργιος ΤΣΑΚΝΑΚΗΣ (ΕΜΠ) – Αμοιβή: 2.435,00 €
2. Ροδάνθη-Ελισσάβητ ΜΑΜΟΥΡΗ (ΕΜΠ) – Αμοιβή: 0 €
3. Livio BELEGANTE (INOE) - Αμοιβή: 0 €
4. Christian RADU (INOE) - Αμοιβή: 0 €
5. Camelia TALIANU (INOE) - Αμοιβή: 0 €

▪ Έγιναν μετακινήσεις νέων ερευνητών στις εγκαταστάσεις των συνεργαζομένων φορέων; (περιγράψτε)

1. Ροδάνθη-Ελισσάβητ ΜΑΜΟΥΡΗ (ΕΜΠ) (Αθήνα-Βουκουρέστι-Αθήνα)
2. Livio BELEGANTE (INOE) (Βουκουρέστι-Αθήνα-Βουκουρέστι)
3. Christian RADU (INOE) (Βουκουρέστι-Αθήνα-Βουκουρέστι)
4. Camelia TALIANU (INOE) (Βουκουρέστι-Αθήνα-Βουκουρέστι)

▪ Η συμμετοχή τους στο έργο συνέβαλε :

A) στην εκπόνηση διδακτορικών διατριβών; (αναφέρατε τίτλο, χρόνο απόκτησης)

Οι νέοι ερευνητές Ροδάνθη-Ελισσάβητ ΜΑΜΟΥΡΗ (ΕΜΠ – Ανάπτυξη συστήματος Raman-lidar για τη μελέτη των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων και ο ρόλο τους στο γήινο κλίμα), Livio BELEGANTE (INOE), Christian RADU (INOE) και Camelia TALIANU (INOE), προετοιμάζουν τις Διδακτορικές τους Εργασίες που αναμένεται να υποστηριχθούν την περίοδο 2009-2010.

B) στην εκμάθηση νέων τεχνικών; (περιγράψτε)

Η Ελληνική πλευρά απέκομισε κυρίως τεχνολογικά οφέλη αναφορικά με την ανάπτυξη και χρήση προηγμένου λογισμικού lidar για την ανάκτηση των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στην τροπόσφαιρα και τη μελέτη της τροποποίησης των οπτικών ιδιοτήτων των

αερολυμάτων στα Βαλκάνια. Η αλλοδαπή πλευρά απεκόμισε κυρίως τεχνολογικά οφέλη αναφορικά με την βαθμονόμηση και χρήση συστημάτων lidar για την ανάκτηση των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στην τροπόσφαιρα, καθώς και τεχνικών διαφορικής απορρόφησης lidar.

**ΠΡΟΕΚΥΨΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΠΡΟΙΟΝ Η ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΝ ΕΡΓΟ; ΠΕΡΙΓΡΑΨΤΕ ΤΟ ΜΕ ΣΑΦΗΝΕΙΑ.**

Δεν προέκυψε κάποιο συγκεκριμένο προϊόν ή υπηρεσία από υλοποιηθέν αυτό ερευνητικό έργο.

**ΕΓΙΝΕ ΚΑΤΟΧΥΡΩΣΗ ΤΥΧΟΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ;**  
(περιγράψτε)

Δεν προβλεπόταν και δεν έγινε κατοχύρωση τυχόν προϊόντων – αποτελεσμάτων του έργου

**ΥΠΑΡΧΕΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΥΧΟΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΑΠΟ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟ ΦΟΡΕΑ; ΕΧΕΙ ΕΚΔΗΛΩΘΕΙ ΣΧΕΤΙΚΟ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ;** (περιγράψτε)

Δεν υπάρχει προοπτική για περαιτέρω αξιοποίηση τυχόν προϊόντων – αποτελεσμάτων του έργου από κάποιον παραγωγικό φορέα, και ούτε έχει εκδηλωθεί κάποιο σχετικό ενδιαφέρον γι' αυτό.

**ΜΕ ΑΦΟΡΜΗ ΤΟ ΔΙΜΕΡΕΣ ΕΡΓΟ, ΥΠΗΡΞΕ ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΕ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ Η ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ; ΕΓΙΝΑΝ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΠΟΥ ΔΕΝ ΚΑΡΠΟΦΟΡΗΣΑΝ Η ΣΚΟΠΕΥΕΤΕ ΝΑ ΠΡΟΣΠΑΘΗΣΕΤΕ ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝ;** (περιγράψτε)

Βεβαίως. Με αφορμή το παρόν διμερές έργο, κατέστη δυνατή η συμμετοχή της Ρουμανικής Ομάδας lidar (του INOE) στο Ευρωπαϊκό δίκτυο lidar, με την επωνυμία EARLINET-ASOS. Η συμμετοχή της Ρουμανικής πλευράς στο διμερές αυτό έργο υπήρξε πολύ επιτυχής και κατέστη δυνατόν, με την βοήθεια της Ελληνικής πλευράς, οι Ρουμάνοι ερευνητές να αποκτήσουν ικανοποιητική τεχνογνωσία στον τομέα των lidar, ώστε να είναι πλέον, σχεδόν



ισότιμοι με τους υπόλοιπους εταίρους του δικτύου EARLINET-ASOS στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Επομένως, ο ρόλος του παρόντος έργου υπήρξε καθοριστικός αναφορικά με τη συμμετοχή της Ρουμανικής Ομάδας lidar (του INOE) στο Ευρωπαϊκό δίκτυο EARLINET-ASOS.

**ΠΟΙΑ ΗΤΑΝ Η ΚΥΡΙΑ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΔΙΑΚΡΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΟΛΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΣΑΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ;**

Η **κύρια συμβολή** του προγράμματος διακρατικών συνεργασιών αφορούσε στην ενίσχυση της Ερευνητικής προσπάθειας της Ομάδας lidar του Τομέα Φυσικής του Ε.Μ. Πολυτεχνείου να μελετήσει την τροποποίηση των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στην ελεύθερη τροπόσφαιρα και τον εντοπισμό των κύριων πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή των Βαλκανίων.

### **ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

▪ Παρακαλούμε, αναφέρατε τυχόν προβλήματα που δυσχέραιναν την πραγματοποίηση των μετακινήσεών σας στο εξωτερικό ή αυτές των ομολόγων σας στην Ελλάδα

Δεν καταγράφηκαν ούτε αναφέρθηκαν προβλήματα κατά τη μετακίνηση των Ελλήνων ερευνητών στη Ρουμανία ούτε των ξένων ερευνητών στην Ελλάδα.

▪ Μείνατε ικανοποιημένοι από τους όρους και τις συνθήκες παραμονής σας στο εξωτερικό;

Οι Έλληνες ερευνητές έμειναν αρκετά ικανοποιημένοι από τους όρους και τις συνθήκες παραμονής τους στο εξωτερικό (Ρουμανία). Αυτό που θα θέλαμε όμως να αναφέρουμε είναι ότι η ημερήσια αποζημίωση που διατίθετο από την Ρουμανική πλευρά ήταν αρκετά χαμηλή, ώστε να καλύψει τα βασικά έξοδα παραμονής μας στο εξωτερικό.

▪ Υπήρξαν άλλα προβλήματα που επισημάνατε κατά την υλοποίηση του έργου σας; Θεωρείτε την διετή διάρκεια του έργου ικανοποιητική για την ολοκλήρωσή του;

Σαν κύρια προβλήματα κατά την υλοποίηση του έργου αυτού θα μπορούσε να αναφέρει κανείς τον χαμηλό γενικό προϋπολογισμό του έργου, ειδικά μάλιστα όταν πρόκειται για διετούς διάρκειας. Θεωρούμε ότι οι αμοιβές του ερευνητικού προσωπικού που συμμετείχε στο έργο ήταν εξαιρετικά χαμηλές όπως επίσης και ο προϋπολογισμός του έργου για αναλώσιμα

και εξοπλισμό. Πιστεύουμε ότι η αύξηση του προϋπολογισμού κατά 30% θα επέτρεπε να επιτευχθεί μια καλύτερη απόδοση στην πραγματοποιούμενη έρευνα και να εξαχθούν περισσότερα επιστημονικά τεκμηριωμένα αποτελέσματα.

- Με ποιό τρόπο θα μπορούσε η ΓΓΕΤ να συμβάλει στην επίλυση των παραπάνω προβλημάτων ή στην γενικότερη βελτίωση του Προγράμματος Διακρατικών Συνεργασιών;

Η συμβολή της ΓΓΕΤ θα μπορούσε να ήταν να προταθεί ή να απαιτηθεί από τον αλλοδαπό φορέα χρηματοδότησης να αυξήσει τη χρηματοδότηση του έργου ώστε οι Έλληνες ερευνητές κατά την μετακίνησή τους να μένουν περισσότερο ικανοποιημένοι από τους όρους και τις συνθήκες παραμονής τους στο εξωτερικό.

## ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΑΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΡΓΟΥ: **11.740 €**

ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΑΠΑΝΩΝ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	για τον <b>ΑΝΑΔΟΧΟ</b>
Αμοιβές Νέων Ερευνητών Σε Έλληνα:.....	2.435, 00 €
Σε Ξένο:.....	-
Δαπάνη για εισιτήρια προς το εξωτερικό:.....	1.194,16 €
Δαπάνη για φιλοξενία ξένων:.....	2.030,00 €
Δαπάνη για εσωτερικές μετακινήσεις: .....	-
Δαπάνη για Αναλώσιμα:.....	2.344,64 €
Δαπάνη για Εξοπλισμό:.....	3.233,93 €
Δαπάνη για δημοσιεύσεις:.....	-
Άλλες Δαπάνες:.....	-
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b> .....	<b>11.237,73 €</b>

ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΑΠΑΝΩΝ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

για τον **ΙΔΙΩΤΗ**  
(εάν υπάρχει)

Αμοιβές Νέων Ερευνητών

Σε Έλληνα:.....

Σε Ξένο:.....

Δαπάνη για εισιτήρια προς το εξωτερικό:.....

Δαπάνη για φιλοξενία ξένων:.....

Δαπάνη για εσωτερικές μετακινήσεις:.....

Δαπάνη για Αναλώσιμα:.....

Δαπάνη για Εξοπλισμό:.....

Δαπάνη για δημοσιεύσεις:.....

Άλλες Δαπάνες:.....

**ΣΥΝΟΛΟ:**.....

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

### Κατάλογος Επιστημονικών Δημοσιεύσεων – Ανακοινώσεων

1. Doina Nicolae, Camelia Talianu, Rodelise-Elisabeth Mamouri, Emil Carstea, Alexandros Papayannis, and Georgios Tsaknakis, Air Mass Modification Processes Over the Balkans Area Detected by Aerosol Lidar Techniques, *JOURNAL OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS*, **10**, (υπό δημοσίευση, 2008).

Επισυνάπτεται βεβαίωση αποδοχής του παραπάνω άρθρου για δημοσίευση.

## Air Mass Modification Processes Over the Balkans Area Detected by Aerosol Lidar Techniques

Doina Nicolae\*, Camelia Talianu\*, Rodelise-Elisabeth Mamouri\*\*, Emil Carstea\*, Alexandros Papayannis\*\*, and Georgios Tsaknakis\*\*

\* INOE, National Institute of Optoelectronics, Magurele, Romania

\*\*National Technical University of Athens (NTUA), Physics Department, Heroon Polytechniou 9, 15780 Zografou, Athens, Greece

### Abstract

Anthropogenic aerosols may have a substantial effect on the present-day aerosol abundance, optical depth and thus, may play an important role on the forcing of climate. This study combines aerosol lidar measurements with atmospheric modelling in order to assess the origin and type of aerosols affecting air quality in the Balkans region, and thus, having an impact on a possible modification of regional radiative budget. Based on the climatological aerosol data set containing the spatial and temporal evolution of the vertical distribution of aerosols over Greece and Romania, derived from lidar measurements, an analysis of two case studies is presented: one evidencing smoke aerosols travelling over the Balkan area, and the second evidencing transport of Saharan dust particles.

### Introduction

The impact of aerosol particles on the Earth's climate due to their effect on the radiation budget is of strong interest and the subject of many recent studies. Aerosol particles in the Earth's atmosphere participate in the global energy balance directly by scattering, and to a lesser extent absorb incoming solar radiation. They also have an influence on the climate indirectly as they act as a cloud condensation nuclei (CCN) onto which cloud droplets are formed (Forster et al., 2007). The radiative effect of aerosol on climate has been quantified in global and regional climate models. For example, Haywood et al (1999) found that energy budgets from a global climate model would not match observations from the Earth Radiation Budget Experiment (ERBE), unless aerosols were taken into account. Fewer studies have included prediction of aerosols online in numerical weather prediction (NWP) models (Pérez et al., 2006). The uneven distribution of aerosols on a regional scale makes tropospheric aerosol trends more difficult to determine than trends in long-lived trace gases. Moreover, there are too few long-term records of tropospheric aerosols, mostly in the free troposphere.

On the other hand, the aerosol particle population is in a constant turmoil. The particles are colliding with each other, gaseous compounds are condensing onto them altering their composition, chemical reactions are occurring on the surface and within the particles, particles are lost due to deposition to the various surfaces in the Earth-atmosphere interface, and the population is renewed as new particles are formed either directly or via diverse gas-to-particle conversion mechanisms. Formation of new atmospheric aerosol particles has been observed worldwide (Kulmala *et al.*, 2004), but the exact mechanism by which this formation occurs is scientifically still an open question. Surface-based measurements of aerosol properties such as size distribution, chemical composition, scattering and absorption are performed at a number of sites, either at long-term monitoring sites, or specifically as part of intensive field campaigns, mostly in Western and Central Europe, but very rarely over Eastern Europe. These *in situ* measurements provide essential validation for global models, for example, by constraining aerosol concentrations at the surface and by providing high

quality information about chemical composition and local trends. In addition, they provide key information about variability on various time scales. Drawbacks are related with the number of such monitoring sites, but also with the restricted number of parameters that can be measured, generally only near ground. Comparisons of *in situ* measurements against those from global atmospheric models are complicated by differences in meteorological conditions and because *in situ* measurements are representative of conditions mostly at or near the surface while the direct and indirect radiative forcing depend on the aerosol vertical profile. For example, the spatial resolution of global model grid boxes is typically a few degrees of latitude and longitude and the time steps for the atmospheric dynamics and radiation calculations may be minutes to hours depending on the process to be studied; this poses limitations when comparing with observations conducted over smaller spatial extent and shorter time duration. A possible solution is to establish spatially relevant networks of state-of-the-art instruments following a strict measurements schedule over a long period of time, in order to collect data which can be afterwards used for statistical analysis and model optimization and validation. From this point of view, a significant advancement since GAW (Global Aerosol Watch Program) is the continued deployment and development of surface based remote sensing sun-photometer sites such as AERONET (Holben et al., 2001), and the establishment of networks of aerosol lidar systems such as the European Aerosol Research Lidar Network (EARLINET, Bösenberg et al., 2003), the Asian Dust Network (ADNET, Murayama et al., 2001), and the Micro-Pulse Lidar Network (MPLNET, Welton et al., 2001).

### **Methodology**

Lidar (Light Detection And Ranging) technique is an active remote sensing method based on the emission of short laser pulses (ns or fs duration) to the atmosphere under study and the analysis of the return signal. According to the air pollutant or the atmospheric parameter to be studied, different wavelength(s) have to be selected, both for the transmission and reception. The backscattered laser photons by the atmospheric volume under study are collected by a receiving optical telescope. The wavelength selection of the lidar signals is performed by a set of spectral narrow-band interference filters or a high resolution spectrometer. Photomultipliers (PMTs) and/or avalanche photodiodes (APDs) are used to detect the backscattered photons at the respective wavelengths (from the ultraviolet to the near-infrared). Measuring the delay time between the emitted and the received laser pulses one is able to calculate the distance of the probed atmospheric volume and thus perform range resolved measurements of the desired air pollutants or atmospheric parameters. Lidar signals are acquired and digitized in the analog and/or the photon counting mode by fast transient recorders and subsequently transferred to a personal computer for further analysis and storing. In the case of atmospheric aerosols measurements, wavelengths ranging from the ultraviolet to the infrared region (0.355 to 12  $\mu\text{m}$ ) can be selected, depending on the application. Due to the proved energetic and pointing stability of Nd:YAG lasers, most aerosol lidar systems are built starting from the fundamental and the 2<sup>nd</sup> and/or 3<sup>rd</sup> harmonics of the Nd:YAG laser.

Sun photometer radiance measurements can be inverted to produce aerosol optical properties such as size distribution, single scattering albedo, phase functions, and the complex index of refraction (Holben et al., 2001). Sun photometers measure the radiance at four or more wavelengths using almucantar and principle plane scenarios. The almucantar scenario measures radiance at azimuthal angles relative to the sun. For at least single-scattering approximation, sky radiances in the almucantar are not sensitive to aerosol vertical variations. The principle plane scenario measures radiance at scattering angles away from the sun. These radiance data in combination with aerosol optical depth measurements and estimations of land and water surface reflectance are inverted to estimate aerosol optical properties.

This study combines lidar measurements with atmospheric modeling in order to assess the origin and type of aerosols which travels over Balkan region, having an impact on modification of the regional radiative budget. The capability of the lidar technique to derive

range-resolved vertical profiles of aerosols optical parameters (backscatter and extinction coefficient) with very high spatial (10-15 m) and temporal resolution (a few seconds up to a few minutes) was used to identify the altitude of layers and the temporal evolution of intrusions. Using these altitudes as inputs in atmospheric models, the source of aerosols was identified. Several confirmations from additional techniques (sun photometry, satellite remote sensing, forecast or transport models) were also obtained for selected case-studies.

Two lidar systems were used in this study, one located in Athens, Greece (at NTUA) and one in Bucharest, Romania (INOE). NTUA's lidar system is a multiwavelength lidar operating at 1064, 532 and 355 nm and detects both elastic backscatter signals (at 1064, 532 and 355 nm) and Nitrogen Raman signals (at 607 and 387 nm). INOE's lidar system is a 2-wavelength elastic backscatter lidar operating at 1064 and 532nm. Data processing algorithms used for data inversion at both stations were previously tested and validated in the intercomparison campaign of EARLINET-ASOS project (Böckmann et al, 2004). Lidar combined with meteorological data were used to quantify the long-range transport and deposition mechanisms involved and to identify the major aerosol sources affecting air quality over the Balkan region. Synchronized and regular (routine) aerosol lidar observations were performed in order to give a novel insight into the air mass modification, to deduce the position and the contribution of major aerosol sources in Balkan region, and to predict future trends over the studied area. This was possible by using the aerosol back-trajectory tracing method, HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) (Draxler and Hess, 1998). It is, also, a method to distinguish between local originated dust – which is transported on medium distances by troposphere winds - and Saharan dust transported on long distances by stratospheric winds.

In case of major pollution sources identification, the advantage of the air mass back-trajectories tracing method is that covering of very large areas by the investigating system is not necessary. If the measurements are regular at local level and if some meteorological parameters are known (speed and direction of winds, temperature and humidity), with a good probability can be evidenced aerosol sources at large distances from the measurement point, if their contribution is important. By using data provided by the two systems situated at a considerable distance one to each other, the Romanian and Greek teams were able to cover the entire area between them, which means an important part of the Balkans region.

## **Results and discussions**

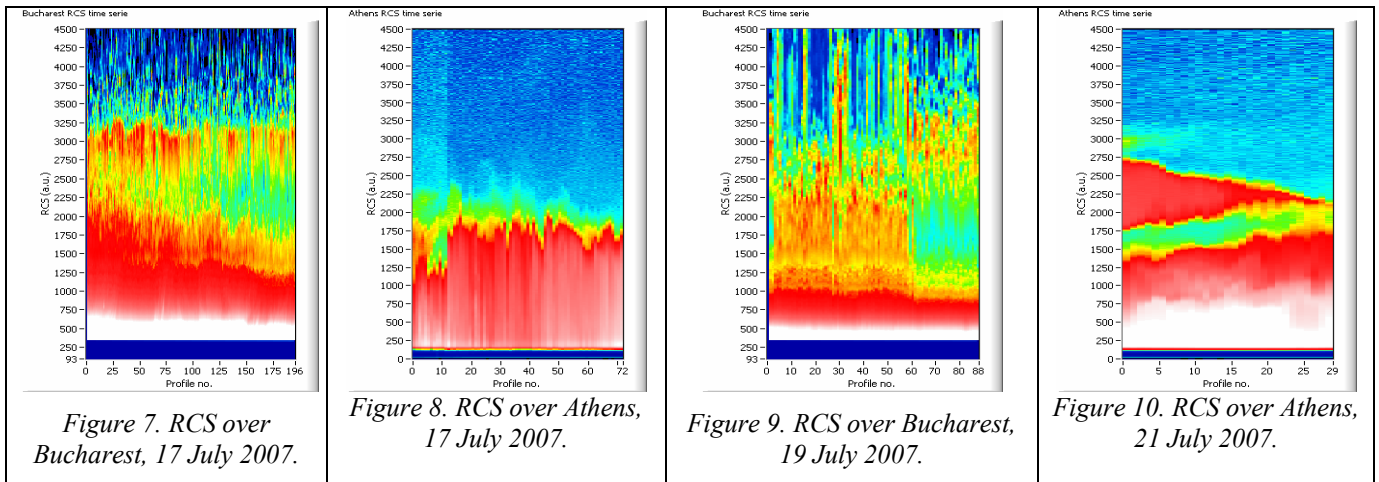
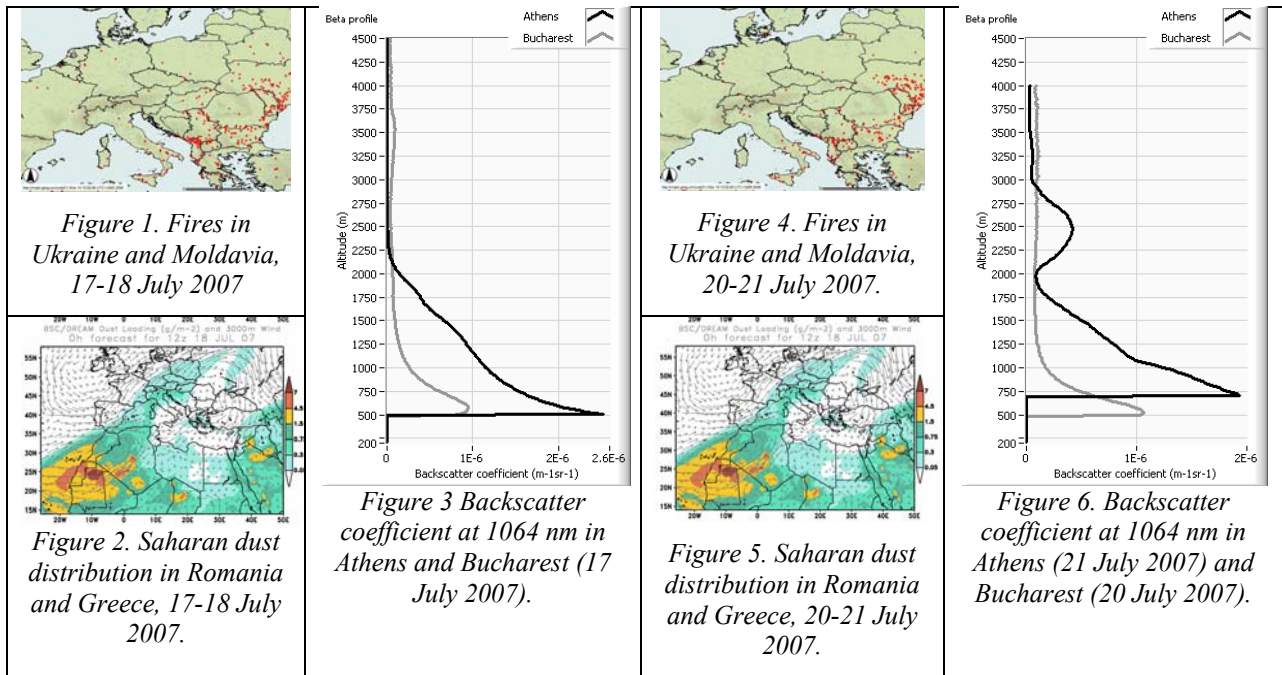
Two case studies are presented in this paper, one evidencing smoke aerosols traveling over the Balkans area, and the second evidencing transport of Saharan dust particles. In order to assess the origin of aerosols, we used MODIS data [10] for major fires and HYSPLIT back-trajectories. HYSPLIT forward-trajectories were also used in order to follow air masses traveling to destination. Due to the fact that extracting microphysical information from lidar data is not always possible and moreover this is not a warranty that a proper classification of aerosol can be done, another important confirmation of aerosols type and origin was made based on data collected from sun photometers co-located with lidars. In this way, three essential different methods are used to validate the assumption of aerosol's source and class: lidar and sun photometer measurements and atmospheric modeling.

### ***Case 1-Forest fires aerosols: 17-24 July 2007***

During this period, a large number of forest fires in Ukraine and Moldavia were visible from MODIS data (Fig. 1). Instead, no Saharan dust intrusion in Balkans was forecasted by the Dust REgional Atmospheric Model (DREAM) (Nickovic, et al., 2001) (Fig. 2). Lidar measurements over Bucharest show distinct aerosol layers around 3000 m for the entire period (Figs. 3 and 6), but these layers became visible over Athens only after 20 July (Fig. 6). In the figures bellow, a comparison between the backscatter coefficient at 1064nm measured in Bucharest (gray line) and Athens (black line) is presented, for the two abovementioned periods. The presence of aerosol layers in the free troposphere is even more visible in the

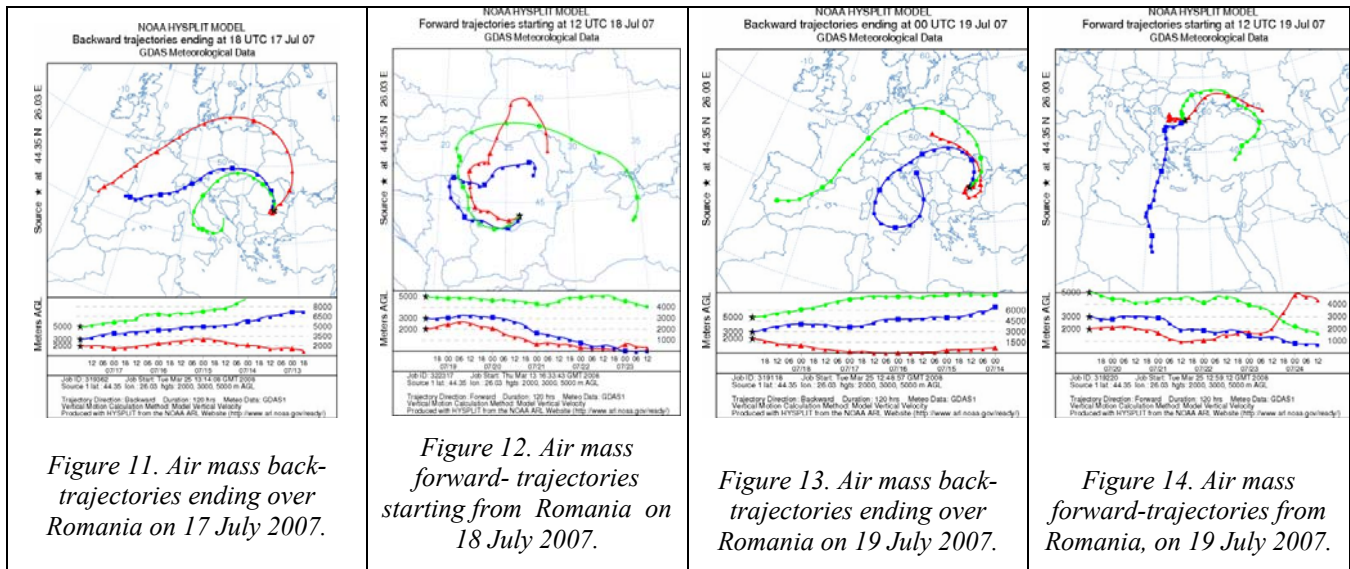


color coded representation of Range Corrected Signal (RCS), which evidence not only the altitude of the layer, but its temporal evolution too (Figs. 7 to 10).



During this event, air masses coming from Ukraine and Moldavia reached the Romanian territory, and traveled back to Ukraine for several days. After 19 July, the circulation of air masses changed, traveling from Ukraine to Romania and further to Greece. This situation is confirmed by the HYSPLIT code. To run the program, specific altitudes of aerosol layers evidenced by lidar, were used. In the Fig. 10 it can be seen that air masses arriving over Romania on 17 July at 3000 m altitude, crossed an area characterized by a dense distribution of fires (Ukraine and Moldavia), while air masses arriving at higher altitudes are coming from Hungary where no fires were present. Fig. 12 demonstrates that in the following 2 days the same air masses went back to Ukraine. This result is consistent with lidar measurements over Bucharest, which showed a persistent aerosol layer above PBL (Fig. 3), but also with lidar measurements in Athens, which show no intrusion of aerosols in the free

troposphere (Fig. 3). A completely different situation begun on 19 July, when air masses coming from Ukraine and traveling over Romania changed their trajectory towards Bulgaria and Greece. The HYSPLIT code shows the same path of air masses over Ukraine and Romania, collecting smoke aerosols (Fig. 13), but this time the 3000m altitude air masses went to Bulgaria and Greece (Fig. 14). This result is again consistent with our lidar measurements, both over Bucharest (Fig. 6) and Athens (Fig 6). This time, both lidars detected aerosols in the free troposphere, dispersed in a larger altitude interval in the case of Bucharest, and concentrated around 2500 m altitude in case of Athens. A possible explanation of the disperse aspect of aerosols over Bucharest could be the influence of air masses arriving at 2000 m and 5000 m also from regions where important fires (North of Romania) were present. The confirmation of aerosol type comes from Sun photometer data operating in Bucharest, which classified the integrated column of aerosol as smoke high absorption during the entire period.



**Case 2-Desert dust aerosols: 25-30 June 2007**

Another aspect of aerosol climatology in Balkans is related to the intrusion of Saharan dust particles. This kind of events occurs more often in Greece than Romania, due to the typical paths of air masses coming from Africa, crossing Spain, Italy and Mediterranean Sea (Papayannis et al., 2005). Nevertheless, during spring and summer periods, the massive injection of the Saharan dust into the troposphere combined with the lack of precipitation increases the probability for this type of aerosol to reach Central and Eastern Europe, including Romania. Such an episode was recorded during 25-30 June 2007 at the location of both lidar stations: Bucharest and Athens. In the figures bellow it can be seen directly from the RCS lidar time series (Figs. 15, 16), but also from the backscatter coefficient profiles (Fig. 17), the direct presence of an important aerosol layer around 2500 m altitude (over Bucharest), respectively of 2 aerosol layers at 2000 m and 3000 m height (over Athens). Aerosol layers were persistent between 25-30 June over Greece, but were removed by wet deposition on 28 June in Romania. This event was successfully forecasted by DREAM model (Fig. 19). No important fires on air masses paths were evidenced by MODIS data (Fig. 18).

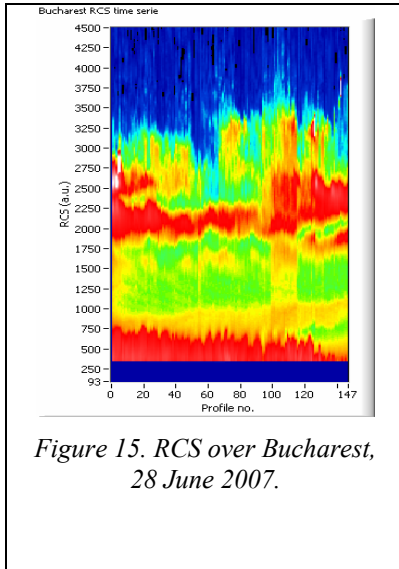


Figure 15. RCS over Bucharest, 28 June 2007.

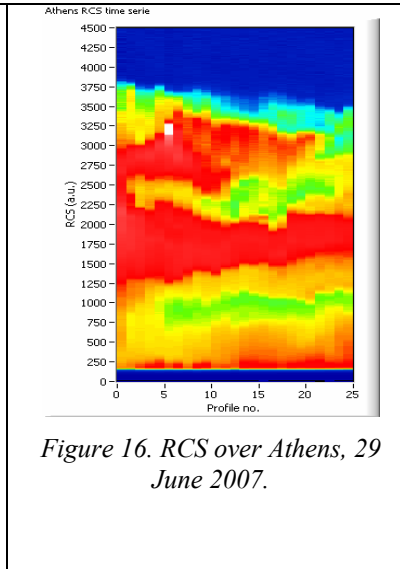


Figure 16. RCS over Athens, 29 June 2007.

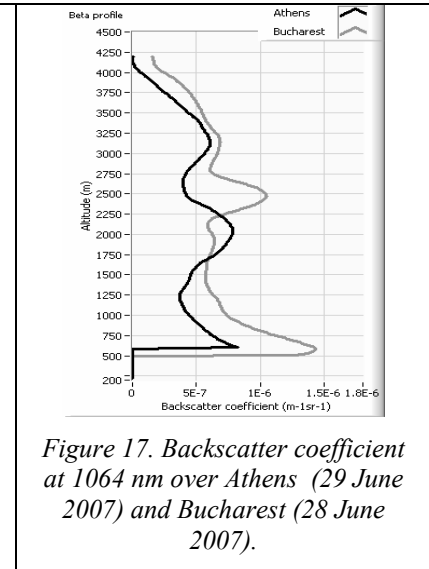


Figure 17. Backscatter coefficient at 1064 nm over Athens (29 June 2007) and Bucharest (28 June 2007).

It must be noted that, even having the same source (Sahara desert), air masses reaching Romania have different paths than air masses reaching Greece. As shown in Fig. 20, air masses which entered Romania followed approximately a straight line, traveling over South Europe (Spain, Mediterranean Sea, Italy, Serbia) and being influenced, in consequence, by continental pollution too. Nevertheless, the 7-wavelength inversion of sun photometer data evidenced values for the microphysical parameters of integrated column aerosol typical for dust particles.

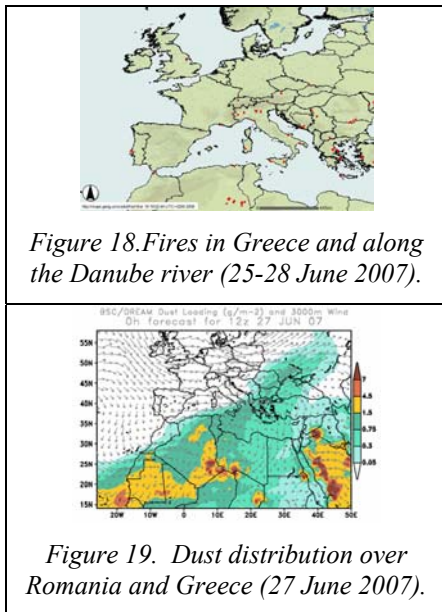


Figure 18. Fires in Greece and along the Danube river (25-28 June 2007).

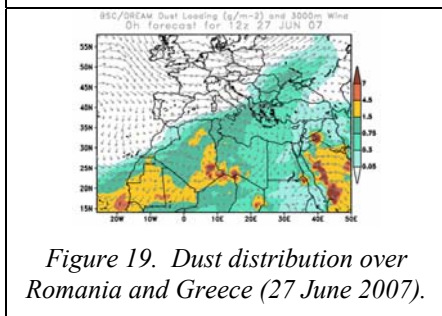


Figure 19. Dust distribution over Romania and Greece (27 June 2007).

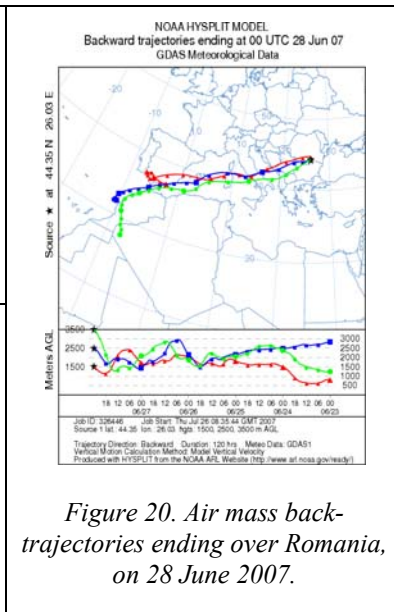


Figure 20. Air mass back-trajectories ending over Romania, on 28 June 2007.

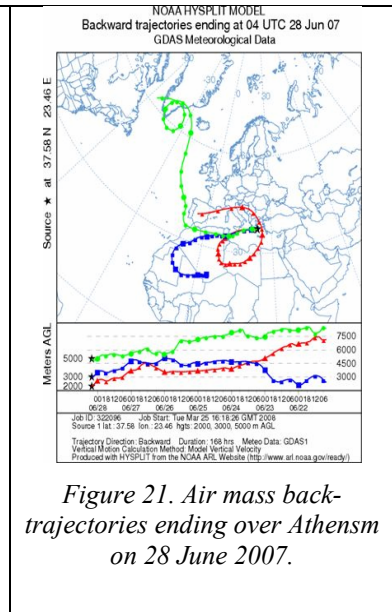


Figure 21. Air mass back-trajectories ending over Athens on 28 June 2007.

In case of aerosols reaching Athens, the HYSPLIT code showed trajectories that crossed North Africa (Fig. 21). As confirmed by lidar, two distinct layers at 2000m and 3000m were attributed to aerosols coming from the Saharan region.

## Conclusions

The lidar technique was proved to be a suitable tool for the study of aerosol long-range transport. Main advantage of lidar is the real time observation of aerosol layering, which can be further used to identify the origin and the path of air mass. This technique has its limitations, but in combination with modelling and complementary techniques such as sun photometer, important information about aerosol origin, type and distribution can be derived. In this paper we presented a two-case analysis of aerosol transport processes affecting air quality data over the Balkans region: one evidencing transport of forest fires aerosols and a second evidencing transport of Saharan dust particles over Romania and Greece. These data came from a central climatological aerosol data set on the spatial and temporal evolution of the vertical distribution of aerosols over Greece and Romania using laser remote sensing (lidar) technique. The lidar data were analyzed in combination with meteorological and modelling data. Air mass back-trajectory analysis by HYSPLIT code combined with coordinated aerosol lidar profiles obtained over Athens and Bucharest were used to analyze in detail and localize the main sources for aerosols over Europe and Africa affecting air quality over the Balkans regions, and more specifically Athens and Bucharest.

## References

- [1]. Forster, P., et al., Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. *In: 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, 2007.
- [2]. Haywood
- [3]. Pérez C., S. Nickovic, G. Pejanovic, J. M. Baldasano, and E. Ozsoy (2006), Interactive dust-radiation modeling: A step to improve weather forecasts, *J. Geophys. Res.*, *111*, (D16), D16206, doi:10.1029/2005JD006717.
- [4]. Koulmala
- [5]. Holben, B. N., et al., An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET, *J. Geophys. Res.*, *106*, 12,067–12,098, 2001.
- [6]. Bösenberg, J., et al., A European aerosol research lidar network to establish an aerosol climatology, *MPI-Report 317*, Max-Planck Inst. für Meteorology, Hamburg, Germany, 2003.
- [7]. Murayama
- [8]. Welton
- [9]. Draxler, R.R., and G. D. Hess, An overview of the Hysplit\_4 modeling system for trajectories, dispersion, and deposition, *Aust. Meteorol. Mag.*, *47*, 295– 308, 1998.
- [10]. [http://maps.geog.umd.edu/activefire\\_html/checkboxes/eur\\_checkbox.htm](http://maps.geog.umd.edu/activefire_html/checkboxes/eur_checkbox.htm)
- [11]. Böckmann C. et al., *Aerosol lidar intercomparisons in the framework of EARLINET project 2. Aerosol backscatter algorithms*, Applied Optics, Vol.43, No.4, 977-989, 2004.
- [12]. Nickovic, S., G. Kallos, A. Papadopoulos, and O. Kakaliagou, A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere, *J. Geophys. Res.*, *106*, 18,113-18,129, 2001.
- [13]. Papayannis, A., D. Balis, V. Amiridis, G. Chourdakis, G. Tsaknakis, C. Zerefos, A. Castanho, S. Nickovic, S. Kazadzis, J. Grabowski, Measurements of Saharan dust aerosols over the Eastern Mediterranean using elastic backscatter-Raman lidar, spectrophotometric and satellite observations in the frame of the EARLINET project, *Atmos. Chem. Phys.*, *5*, 2065-2079, 2005.

## Aknowledgements

The Greek side of the Greek-Romanian Bilateral R&D Cooperation project is co-financed 80% of Public expenditure through EC - European Social Fund and 20% through Ministry of Development, General Secretariat of Research and Technology (2005-2008), under Measure 4.3 of the OPERATIONAL PROGRAMME "COMPETITIVENESS-EPAN" in the 3<sup>rd</sup> Community Support Programme. The Romanian side of the Greek-Romanian Bilateral R&D Cooperation project is financed by DREAM aerosol dust data were provided by the Earth Sciences Division, Barcelona Supercomputing Center, Spain. Part of this work was also financed by the EARLINET-ASOS European Union Project under contract RICA-025991. Air mass back trajectories were produced with the Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT-4.6) model (NOAA). AERONET data were provided by NASA.

**ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΑΡΘΡΟΥ  
(ΥΠΟ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ)**

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ**

### **ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ ΕΡΓΟΥ**