

Γ' ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ



**ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ ΠΕ1
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ-ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
ΑΝΑΛΥΣΗΣ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ LIDAR**

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

Κωδικός έργου	:	167- Γ
Ανάδοχος	:	Ε.Μ.ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ-ΤΕΜΦΕ-ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
Επιστημονικός Υπεύθυνος	:	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗΣ
Μέτρο	:	4.3
Δράση	:	4.3.6.1
Θεματικός Τομέας	:	ΕΛΛΑΔΑ - ΡΟΥΜΑΝΙΑ ΚΟΙΝΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ (2005-2007)
Αρμόδια Διεύθυνση ΓΓΕΤ	:	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Διεύθυνση Διεθνούς Ε+Τ Συνεργασίας Τμήμα Β' Διακρατικών Σχέσεων
Αρμόδια χειρίστρια ΓΓΕΤ	:	Β. ΚΕΡΑΣΙΩΤΗ

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1: ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ-ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ LIDAR

Περίληψη

Κατά τη διάρκεια της Φάσης 1 του Έργου πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος αξιοπιστίας και η συνακόλουθη βελτιστοποίηση του λογισμικού ανάλυσης και επεξεργασίας σημάτων lidar της Ρουμανικής πλευράς για τον υπολογισμό των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων, με βάση το πιστοποιημένο λογισμικό ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων lidar, που έχει ήδη αναπτυχθεί στο ΕΜΠ.

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ ΠΕ1: ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ - ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ LIDAR

1.1 Μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων με τη μέθοδο lidar

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις μετρήσεις της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, καθώς τα αερολύματα παίζουν σημαντικότατο ρόλο στη μεταβολή του γήινου κλίματος, καθώς και στο γνωστό «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Η γειτνίαση των Βαλκανίων με την Αφρικανική ήπειρο επηρεάζει σημαντικά την παρατηρούμενη συγκέντρωση των αερολυμάτων στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου η οποία συχνά υπερβαίνει τα ευρωπαϊκά όρια έκθεσης του πληθυσμού.

Η ανάπτυξη συστημάτων τηλεπισκόπησης laser (τεχνική lidar) για την καταγραφή των ατμοσφαιρικών παραμέτρων (π.χ. οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων) έχει αναπτυχθεί με γοργούς ρυθμούς τα τελευταία χρόνια, κυρίως στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ως τώρα, ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στην ανάπτυξη συστημάτων lidar για την μέτρηση κυρίως των αιωρούμενων σωματιδίων (0-15 km).

Στην Ελλάδα, η ομάδα τηλεπισκόπησης laser του Τομέα Φυσικής του ΕΜΠ, στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού προγράμματος EARLINET, απέκτησε πλούσια εμπειρία και τεχνογνωσία σε πάρα πολλούς τομείς της τεχνικής lidar: 1) οπτο-μηχανική σχεδίαση συστημάτων lidar, 2) ανάπτυξη νέων συστημάτων lidar, 3) σχεδίαση-ανάπτυξη λογισμικού καταγραφής και επεξεργασίας σημάτων lidar σε πραγματικό-χρόνο, 4) στατιστική επεξεργασία δεδομένων και δημιουργία βάσης δεδομένων για τα αερολύματα στην ατμόσφαιρα.

Στη Ρουμανία η δραστηριότητα στην περιοχή των συστημάτων 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. Για μεγάλη χρονική περίοδο το σύστημα αυτό χρησιμοποιείτο για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μια βιομηχανική περιοχή νότια της πόλης του Βουκουρεστίου.

Τελευταία (2004), αγοράστηκε ένα μικρότερο και πιο ευέλικτο εμπορικό σύστημα lidar για τη μελέτη της δομής της κατώτερης ατμόσφαιρας και 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 μέτρησης φθάνει τα 5 km. Το σύστημα αυτό πρόκειται να 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 1.1).



Εικόνα 1.1: Το σύστημα lidar του INOE (Ρουμανία) για τη μέτρηση των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα.

1.2 Στόχος-Μεθοδολογία έργου

Στόχος του παρόντος έργου είναι η καταγραφή των βασικών χαρακτηριστικών οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων στην Ελλάδα και την Ρουμανία και η κατανόηση των μηχανισμών που συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή των Βαλκανίων, γενικότερα. Προκειμένου να επιτευχθεί ο κεντρικός στόχος του προτεινόμενου έργου θα πραγματοποιηθούν συστηματικές μετρήσεις της κατακόρυφης κατανομής των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων, με την τεχνική lidar.

Για τον σκοπό αυτό θα ακολουθηθεί η παρακάτω *μεθοδολογία υλοποίησης* του έργου, όπως προτάθηκε από την Ελληνική πλευρά:

1) έλεγχος της αξιοπιστίας του λογισμικού ανάλυσης και επεξεργασίας σημάτων lidar (της Ρουμανικής πλευράς) για τον υπολογισμό των οπτικών ιδιοτήτων των αερολυμάτων, δεδομένου ότι το αντίστοιχο λογισμικό της Ελληνικής πλευράς έχει ήδη βαθμονομηθεί επιτυχώς (Böckmann et al., 2004),

2) πραγματοποίηση συστηματικών και ειδικών μετρήσεων lidar, τουλάχιστον μία ή δύο φορές την εβδομάδα (π.χ. 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,

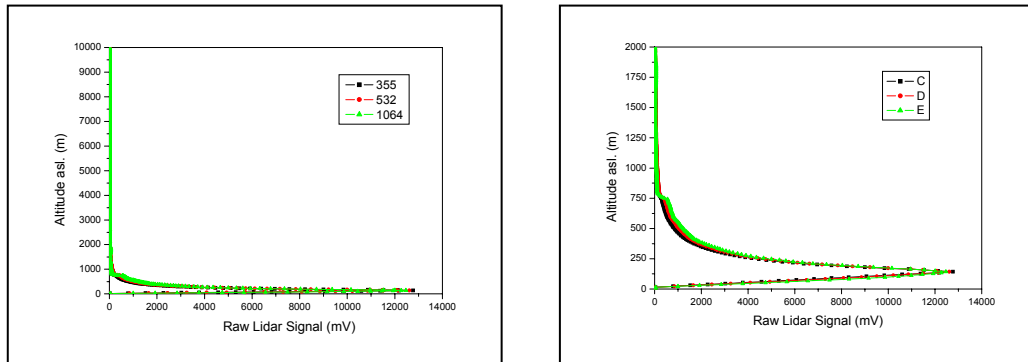
5) μελέτη των μηχανισμών τροποποίησης των αερολυμάτων στα Βαλκάνια.

1.3 Έλεγχος της αξιοπιστίας του 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).

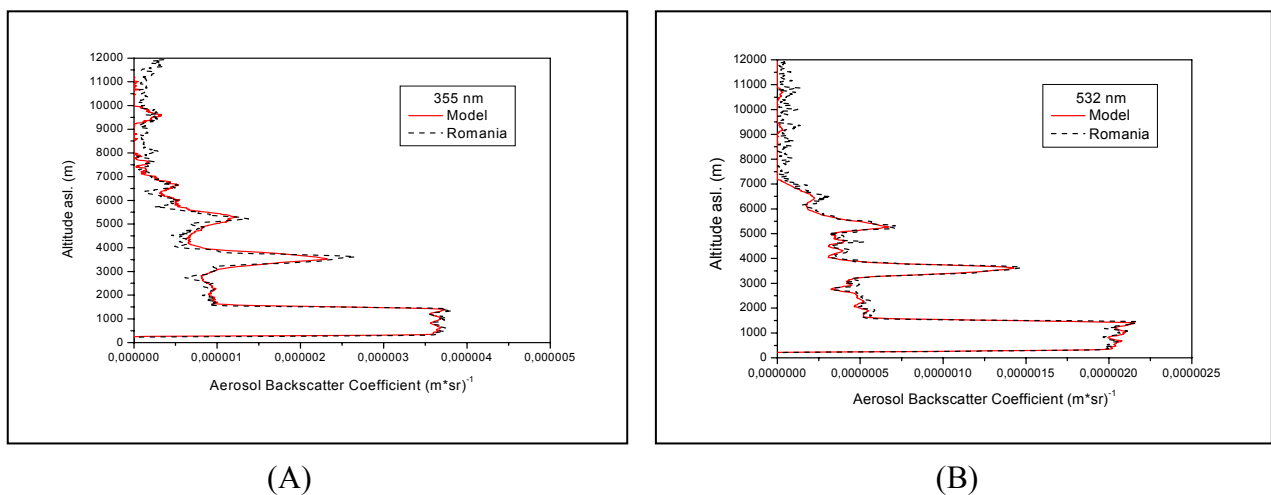
Τα προσομοιωμένα σήματα lidar (τα οποία προσεγγίζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τα

πραγματικά σήματα) στα 355 nm, 532 nm και 1064 nm, στην περιοχή από 0-10 km, παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.2.



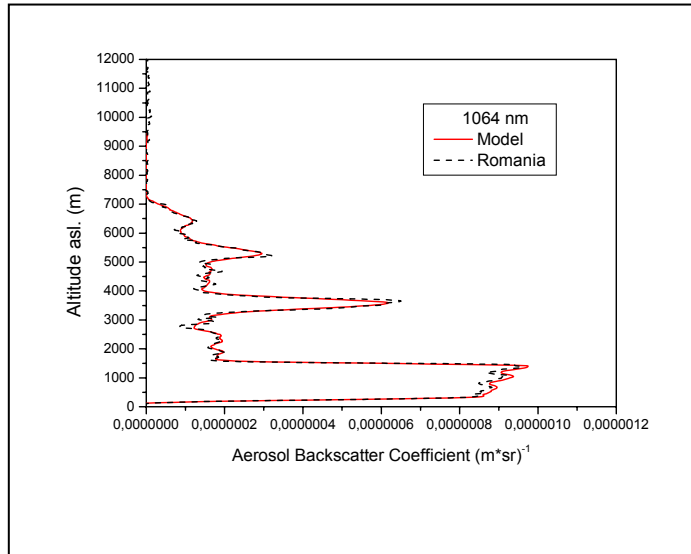
Εικόνα 1.2: Προσομοιωμένα σήματα lidar στα 355 nm, 532 nm και 1064 nm (αριστερά: 0-10 km, δεξιά: 0-2 km).

Στις Εικόνες 1.3α, 1.3β και 1.3γ 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 1.3 (Α,Β,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).

1.4 Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο του Παραδοτέου αυτού (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.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Böckmann, 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.

Klett, J., Lidar inversion with variable backscatter/extinctions ratio, *Applied Optics*, **24**, 1638-1643, 1985.

Weitkamp, C., Lidar: Range-resolved optical remote sensing of the atmosphere, Springer Verlag, 2005.

Βεβαιώνεται η εκτέλεση του έργου

Ημερομηνία 04/12/2006

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος του Έργου

Δρ. Αλεξ. ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗΣ

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.