



## Παραδοτέο Π3.1 | Προσαρμογή πρωτοκόλλου λειτουργίας και ποιοτικού ελέγχου μετρήσεων ενεργητικής και παθητικής τηλεπισκόπησης

<b>Πακέτο Εργασίας</b>	ΠΕ 3
<b>Παραδοτέο</b>	Π3.1 Προσαρμογή πρωτοκόλλου λειτουργίας και ποιοτικού ελέγχου μετρήσεων ενεργητικής και παθητικής τηλεπισκόπησης
<b>Επικεφαλής δικαιούχος</b>	ΑΠΘ
<b>Συγγραφείς</b>	Μαριλίζα Κουκουλή Καλλιόπη Βουδούρη Δημήτρης Καραγκιοζίδης Παναγιώτης Ράπτης Άννα Γιαλιτάκη
<b>Συμμετέχοντες</b>	Ιωάννα Τσικούδη
<b>Εσωτερικοί κριτές</b>	Δημήτρης Μπαλής Βασίλης Αμοιρίδης Στέλιος Καζατζής Άλκης Μπάης
<b>Τύπος Παραδοτέου</b>	Αναφορά   Report
<b>Επίπεδο Διάχυσης</b>	Δημόσιο (PU)
<b>Εκτιμώμενη ημερομηνία Παράδοσης</b>	Μήνας 12   30/11/2019
<b>Πραγματική ημερομηνία Παράδοσης</b>	Μήνας 13   15/12/2019
<b>Έκδοση</b>	v1
<b>Σχόλια</b>	-

## Πίνακας Περιεχομένων

1	Σύνοψη .....	3
2	Περιγραφή πρωτοκόλλου λειτουργίας και ποιοτικού ελέγχου επίγειων οργάνων τηλεπισκόπησης .....	4
2.1	Συστήματα ενεργούς τηλεπισκόπησης LIDAR.....	4
2.2	Συστήματα παθητικής τηλεπισκόπησης MAX-DOAS .....	7
2.3	Συστήματα παθητικής τηλεπισκόπησης CIMEL .....	9
2.5	Συστήματα παθητικής τηλεπισκόπησης BSRN.....	11
2.6	Συστήματα παθητικής τηλεπισκόπησης PSR and PANDORA .....	12
	Βιβλιογραφία.....	13

## 1 Σύνοψη

Στο παραδοτέο αυτό περιγράφονται συνοπτικά τα πρωτόκολλα λειτουργίας, ποιοτικού ελέγχου μετρήσεων, καθώς και της βαθμονόμησης οργάνων ενεργητικής και παθητικής τηλεπισκόπησης στο πλαίσιο του προγράμματος ΠΑΝΑΚΕΙΑ. Στον **Πίνακας 1-Α** παρουσιάζονται συνοπτικά οι πληροφορίες αυτές, όπου στην πρώτη στήλη αναφέρεται το όργανο μέτρησης– συμπεριλαμβανομένου και του υπερασύνδεσμου ο οποίος παραπέμπει στο σχετικό εδάφιο στο κείμενο – στην δεύτερη στήλη η συχνότητα μέτρησης, η διάρκεια της στην Τρίτη στήλη, η συχνότητα εφαρμογής ποιοτικού ελέγχου των μετρήσεων στην τέταρτη στήλη και, τέλος, η συχνότητα βαθμονόμησης στην τελευταία στήλη

**Πίνακας 1-Α. Πρωτόκολλο λειτουργίας και ποιοτικού ελέγχου μετρήσεων οργάνων τηλεπισκόπησης.**

Όργανο	Συχνότητα Μέτρησης	Διάρκεια Μέτρησης	Συχνότητα Ποιοτικού ελέγχου	Συχνότητα βαθμονόμησης
<a href="#">Lidar</a>	3/εβδομάδα	30 λεπτά	Σε κάθε μέτρηση	Περιοδικώς
<a href="#">MAX-DOAS</a>	Καθημερινή	Ολοήμερη	Σε κάθε μέτρηση	Μηνιαίως
<a href="#">CIMEL</a>	Καθημερινή	Ολοήμερη	Σε κάθε μέτρηση	Ετησίως
<a href="#">BSRN</a>	Καθημερινή	Ολοήμερη	Σε κάθε μέτρηση	Ανά δύο χρόνια
<a href="#">PRS</a>	Καθημερινή	Ολοήμερη	Εβδομαδιαίως	Ανά δύο χρόνια
<a href="#">Pandora</a>	Καθημερινή	Ολοήμερη	Μηνιαίως	Σε κάθε μέτρηση

## 2 Περιγραφή πρωτοκόλλου λειτουργίας και ποιοτικού ελέγχου επίγειων οργάνων τηλεπισκόπησης

### 2.1 Συστήματα ενεργούς τηλεπισκόπησης LIDAR

#### Πρόγραμμα μετρήσεων συστημάτων LIDAR

Στα πλαίσια του δικτύου EARLINET (European Aerosol Research Lidar Network – [EARLINET](#)), μέλη του οποίου είναι τα συστήματα ενεργούς τηλεπισκόπησης laser (τεχνική lidar) της Ελλάδας, έχει ορισθεί η πραγματοποίηση μετρήσεων βάση ενός χρονοδιαγράμματος όπου ορίζονται κατ' ελάχιστο: 3 μετρήσεις ανά εβδομάδα, διάρκειας τουλάχιστον 30' η καθεμιά και κατά μέγιστο: μετρήσεις 24ώρες/7ημέρες. Συγκεκριμένα, οι ελληνικοί σταθμοί lidar πραγματοποιούν το ελάχιστο σε εβδομαδιαία βάση: α) μία πρωινή μέτρηση (σε χρονικό εύρος  $\pm 2$  ωρών από τις 12:00 UTC) και β) δύο βραδινές σε χρονικό εύρος  $\pm 2$  ωρών ως προς τη δύση του ηλίου.

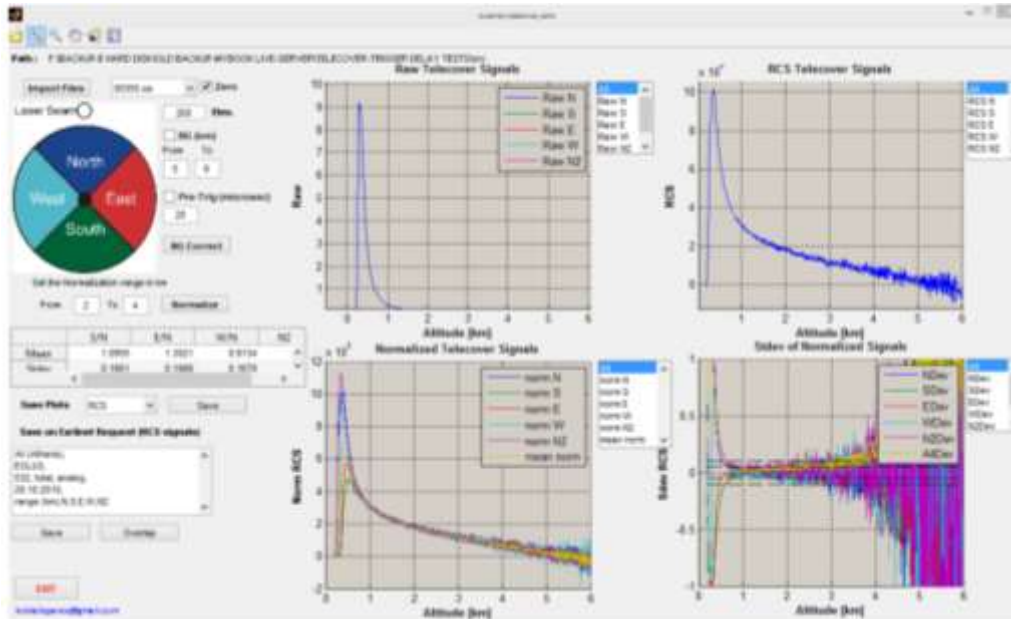
Παράλληλα, στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ερευνητικής Υποδομής [ACTRIS](#) (European Research Infrastructure for the observation of Aerosol, Clouds and Trace Gases) το χρονοδιάγραμμα των μετρήσεων, ορίζει πλέον το ελάχιστο των παρατηρήσεων lidar ως 5 μετρήσεις ανά εβδομάδα, χρονικής διάρκειας τουλάχιστον 30'. Εκτός από τις προαναφερόμενες συστηματικές μετρήσεις, οι σταθμοί lidar πραγματοποιούν μετρήσεις κατά την διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης (μεταφορά ερημικής σκόνης, ηφαιστειακής σκόνης, ή σωματιδίων καπνού, κλπ.) και κατά το 'πέρασμα' δορυφόρων σχεδόν ταυτόχρονα και σε κοντινή απόσταση από τους σταθμούς όπως για παράδειγμα οι δορυφόροι [CALIPSO](#), [ADM Aeolus](#), [TROPOMI](#), [Earth Care](#).

#### Πρωτόκολλο ποιοτικού ελέγχου των μετρήσεων

Η ποιότητα των μετρήσεων εξασφαλίζεται τόσο σε επίπεδο καταγραφής των σημάτων lidar όσο και σε ποιότητα των αλγορίθμων επεξεργασίας. Ο έλεγχος της αξιοπιστίας των σημάτων, ως προς την καταγραφή και εκτέλεση των μετρήσεων, γίνεται με πιστοποιημένους ελέγχους, καθορισμένους για την κοινότητα-μέλη του EARLINET (πρωτόκολλο EARLINET - Quality Assurance program, Freudenthaler et al., 2018) και περιλαμβάνει τα εξής:

- Έλεγχος ευθυγράμμισης των σημάτων lidar:  
Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η σχετική βαθμονόμηση των σημάτων lidar, μέσω της σύγκρισης με τη μοριακή ατμόσφαιρα (Rayleigh).
- Προσδιορισμός της συνάρτησης επικάλυψης (telecover test).  
Με το telecover test γίνεται ο προσδιορισμός της συνάρτησης επικάλυψης (overlap correction) του συστήματος lidar, έτσι ώστε να διορθωθούν τα σήματα ως προς το ύψος που η δέσμη του συστήματος laser εισέρχεται στο οπτικό πεδίο του τηλεσκοπίου λήψης. Η εφαρμοζόμενη μέθοδος του telecover test περιλαμβάνει την κάλυψη των  $\frac{3}{4}$  της επιφάνειας του τηλεσκοπίου, αφήνοντας ανοιχτό μόνο το ένα τεταρτημόριο. Οι μετρήσεις γίνονται με το ένα από τα τέσσερα τεταρτημόρια της επιφάνειας του τηλεσκοπίου ανοιχτά κάθε φορά, ενώ ταυτόχρονα καλύπτουμε τα υπόλοιπα 3. Σε ένα ιδανικό σύστημα, το κανονικοποιημένο σήμα για τις τέσσερις πραγματοποιηθείσες μετρήσεις, θα πρέπει να είναι το ίδιο, θεωρώντας σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Οπότε, η σύγκριση των μετρήσεων lidar στα 4 διαφορετικά τεταρτημόρια αναδεικνύει πιθανά προβλήματα ευθυγράμμισης ενός συστήματος lidar.
- Μέθοδος βαθμονόμησης για τον προσδιορισμό του συντελεστή αποπόλωσης  
Τα περισσότερα συστήματα lidar έχουν τη δυνατότητα μέτρησης του παράλληλου και κάθετα πολωμένου οπισθοσκεδαζόμενου σήματος lidar, σε σχέση με την διεύθυνση πόλωσης της αρχικά εκπεμπόμενης δέσμης laser. Ο βαθμονομημένος λόγος των δύο αυτών συνιστωσών ονομάζεται λόγος αποπόλωσης και ο πιο συνηθισμένος τρόπος υπολογισμού της σταθεράς βαθμονόμησης είναι η επιστροφή του διαχωριστή δέσμης διαδοχικά στις  $\pm 45^\circ$  (Freudenthaler, 2016; Freudenthaler et al., 2018). Αυτή η τεχνική βασίζεται στο γεγονός ότι

το ίδιο ποσοστό ενέργειας καταγράφεται στα κανάλια του παράλληλου και κάθετου οπισθοσκεδαζόμενου σήματος, στις “αντιδιαμετρικές” θέσεις, που αντιστοιχούν στις θέσεις  $+45^\circ$  και  $-45^\circ$ .



**Εικόνα 1.** Εφαρμογή της τεχνικής telecover test σε δεδομένα lidar του συστήματος lidar EOLE (ΕΜΠ) όπως καταγράφηκαν στις 16.01.2019.

Οι προαναφερθέντες έλεγχοι πραγματοποιούνται σε κάθε μία μέτρηση lidar. Επιπλέον, η ποιότητα των μετρήσεων, ελέγχεται μέσω της σύγκρισης των σημάτων lidar με εκείνα των πρότυπων lidar συστημάτων (intercomparison). Όλοι οι ελληνικοί σταθμοί lidar, έχουν λάβει μέρος στη διαδικασία σύγκρισης με πρότυπα συστήματα, τουλάχιστον μια φορά (βλ. Εικόνα 1).

Οι μετρήσεις lidar που καταχωρούνται στη βάση δεδομένων EARLINET, ελέγχονται με εσωτερικές αυτοματοποιημένες διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου προκειμένου να διασφαλισθεί και να βελτιωθεί η ποιότητα των δεδομένων που υποβάλλονται στη βάση δεδομένων lidar. Οι αυτοματοποιημένες αυτές διαδικασίες περιλαμβάνουν, είτε διαδικασίες ελέγχου στη δομή των αρχείων (Basic quality controls (BQC)), είτε διαδικασίες ελέγχου των κατακόρυφων που καταχωρούνται (Advanced quality controls (AQC)) στη βάση δεδομένων του EARLINET.

Ο έλεγχος της αξιοπιστίας των σημάτων lidar, ως προς την ποιότητα των αλγορίθμων επεξεργασίας γίνεται μέσω της εφαρμογής του αλγόριθμου Single Calculus Chain – [SCC](#)). Το SCC είναι ένα εργαλείο για την αυτόματη ανάλυση των μετρήσεων lidar και την παραγωγή των προϊόντων εξασθένησης και οπισθοσκέδασης.

#### Τεχνική βαθμονόμησης ενός συστήματος lidar

Η βαθμονόμηση των συστημάτων lidar περιλαμβάνει, τόσο την απόλυτη, όσο και την σχετική βαθμονόμηση.

**Σχετική βαθμονόμηση:** εφαρμόζεται κάθε φορά που πραγματοποιείται μια μέτρηση lidar (έλεγχος των σημάτων μέσω σύγκρισης με Rayleigh), έτσι ώστε να πιστοποιηθούν οι τελικές κατακόρυφες κατανομές των συντελεστών οπισθοσκέδασης και εξασθένησης.

**Απόλυτη βαθμονόμηση:** εφαρμόζεται με τον υπολογισμό της σταθεράς lidar του συστήματος και εξαρτάται από τον κάθε σταθμό το κάθε πότε υπολογίζεται και ελέγχεται η χρονοσειρά της σταθεράς, έτσι ώστε να ελεγχθούν

οι όποιες αλλαγές έγιναν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων (π.χ. προσθήκη/αφαίρεση φίλτρων). Οι δύο τρόποι υπολογισμού της σταθεράς lidar (μέθοδος βραδυνών μετρήσεων και μέθοδος πρωινών με τον συνδυασμό φωτομέτρου) περιγράφονται αναλυτικά από τον Baars et al., (2017).

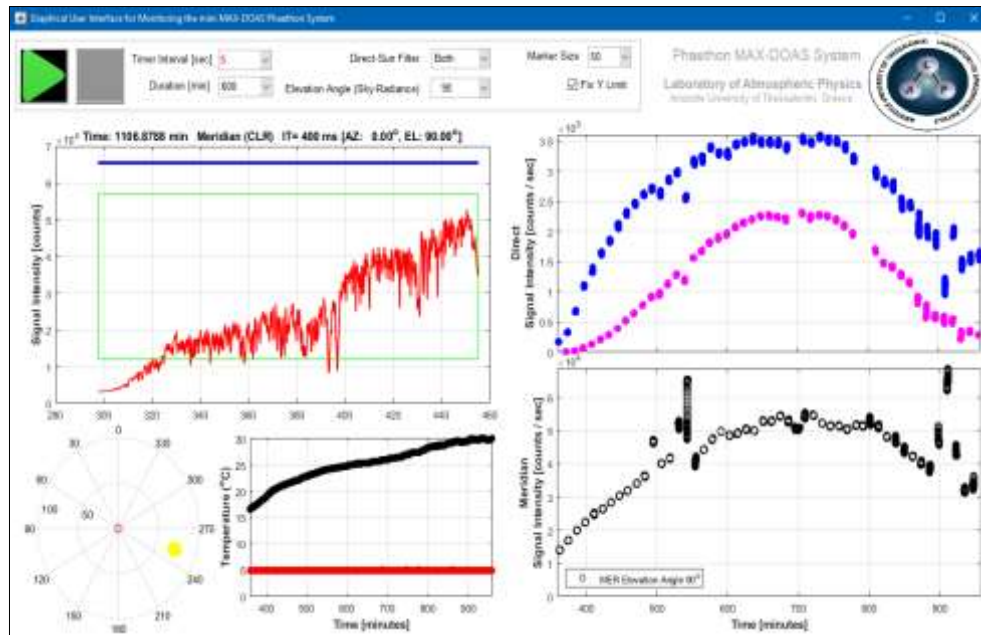
## 2.2 Συστήματα παθητικής τηλεπισκόπησης MAX-DOAS

Τα συστήματα παθητικής τηλεπισκόπησης MAX-DOAS πραγματοποιούν φασματικές μετρήσεις, τόσο της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας για τον υπολογισμό των ολικών κατακόρυφων στηλών των αερίων στην ατμόσφαιρα, όσο και της σκεδαζόμενης ηλιακής ακτινοβολίας για τον υπολογισμό των τροποσφαιρικών κατακόρυφων στηλών και της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσής τους.

Οι φασματικές μετρήσεις πραγματοποιούνται αυτόματα από το λογισμικό λειτουργίας σε ημερήσια βάση. Η λειτουργία των οργάνων ξεκινά το πρωί με την ανατολή του Ήλιου και ολοκληρώνεται μετά την δύση του. Κατά την διάρκεια της ημέρας ακολουθείται μια σειρά μετρήσεων, όπου πρώτα λαμβάνονται φάσματα της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και στην συνέχεια πραγματοποιούνται ζενίθιες σαρώσεις σε τρεις ή τέσσερις αζιμούθιες διευθύνσεις, ώστε να μελετηθεί η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης των αερίων. Έπειτα από κάθε φασματική μέτρηση, μετράται ένα φάσμα σκότους, το οποίο χρησιμοποιείται στην συνέχεια για την διόρθωση του μετρούμενου φάσματος ως προς το σήμα σκότους και τον ηλεκτρονικό θόρυβο. Με την λήξη του προγράμματος λειτουργίας, τα φάσματα αποστέλλονται σε έναν κεντρικό διακομιστή για αποθήκευση. Κατόπιν, εφαρμόζονται διορθωτικοί παράγοντες για το σήμα σκότους, τον χρόνο έκθεσης του CCD στην ηλιακή ακτινοβολία, την απόκλιση από την μη γραμμικότητα του CCD και το παράσιτο φως (stray light). Τα διορθωμένα φάσματα αναλύονται περαιτέρω με το λογισμικό QDOAS (<http://uv-vis.aeronomie.be/software/QDOAS/>) (Danckaert et al., 2015) για την παραγωγή των πλάγιων και κατακόρυφων στηλών των μελετούμενων αερίων. Τέλος, δημιουργούνται και εξετάζονται καθημερινά γραφήματα ημερήσιας πορείας των διαφορικών πλάγιων στηλών των μελετούμενων αερίων, της έντασης της ακτινοβολίας σε όλες τις γωνίες ύψους, των τιμών του μέσου τετραγωνικού σφάλματος της ανάλυσης DOAS και, παράλληλα, ελέγχεται η σταθερότητα της θερμοκρασίας κατά τη λειτουργία τόσο του φασματομέτρου, όσο και του CCD.

Το λογισμικό λειτουργίας επιτρέπει τον απομακρυσμένο έλεγχο των συστημάτων και παρέχει πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πραγματικό χρόνο για την διασφάλιση της ποιότητας των μετρήσεων κατά την διάρκεια της ημέρας (Εικόνα 2). Επομένως, γίνεται σε καθημερινή βάση οπτικός έλεγχος από τον χειριστή σχετικά με την ένταση του σήματος των φασμάτων, της θέσης της μονάδας προσανατολισμού, της θερμοκρασίας του φασματογράφου και του CCD, καθώς και της ημερήσιας πορείας της έντασης της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας σε όλες τις γωνίες ύψους. Αν παρατηρηθεί κάποια δυσλειτουργία, εφαρμόζονται όλες οι απαραίτητες ενέργειες, ανάλογα με την φύση του προβλήματος, όπως π.χ. επανεκκίνηση της μονάδας προσανατολισμού, καθαρισμός του τηλεσκοπίου ή επανάληψη της βαθμονόμησης του συστήματος προσανατολισμού.

Η υψηλής ακρίβειας βαθμονόμηση της μονάδας προσανατολισμού είναι απαραίτητη για την ορθή λειτουργία ενός συστήματος MAX-DOAS. Η βαθμονόμηση βασίζεται στην διόπτρευση του Ήλιου και πραγματοποιείται μέσω του λογισμικού λειτουργίας των οργάνων. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η απουσία νεφών γύρω από τον ηλιακό δίσκο. Η διαδικασία αυτή δίνει την δυνατότητα της ταυτόχρονης βαθμονόμησης του αζιμούθιου και του ζενίθιου άξονα. Το λογισμικό λειτουργίας εμφανίζει πληροφορίες για την ημερήσια πορεία της άμεσης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας και η βαθμονόμηση επαναλαμβάνεται αν κατά τη διάρκεια μιας ανέφελης ημέρας παρατηρηθεί απόκλιση της ημερήσιας πορείας της έντασης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από την αναμενόμενη λόγω της ημερήσιας μεταβολής της ζενίθιας γωνίας του Ήλιου. Συνήθως, η διαδικασία της βαθμονόμησης του συστήματος προσανατολισμού πραγματοποιείται μια φορά το μήνα.



**Εικόνα 2.** Στιγμιότυπο του λογισμικού λειτουργίας κατά τη διάρκεια των φασματικών μετρήσεων

Επίσης, έλεγχος για την απόκλιση από την μη γραμμικότητα του CCD πραγματοποιείται ανά περίπου 3 μήνες στο εργαστήριο. Χρησιμοποιείται μια λυχνία ευρέος φάσματος και μετρούνται οι εντάσεις του κάθε pixel του CCD συναρτήσει του χρόνου έκθεσής του στην ακτινοβολία. Μετά από αυτήν την διαδικασία υπολογίζονται νέοι διορθωτικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται για την διόρθωση των φασμάτων.

Τα συστήματα παθητικής τηλεπισκόπησης MAX-DOAS βασίζονται στην τεχνική της διαφορικής φασματικής απορρόφησης και τόσο οι ολικές, όσο και οι τροποσφαιρικές στήλες των μελετούμενων αερίων υπολογίζονται από τις διαφορικές πλάγιες στήλες σε σχέση με ένα φάσμα αναφοράς. Το φάσμα αναφοράς μετράται από το ίδιο όργανο, είτε σε μία μικρή ζενίθεια γωνία του Ήλιου για τις ολικές στήλες ή στο ζενίθ του τόπου για τις τροποσφαιρικές. Για τον λόγο αυτό, η απόλυτη βαθμονόμηση της έντασης των φασμάτων δεν είναι απαραίτητη στα συστήματα MAX-DOAS (Hönninger et al., 2004).

Η βαθμονόμηση της κλίμακας μήκους κύματος των μετρούμενων φασμάτων πραγματοποιείται αυτόματα από το λογισμικό QDOAS για κάθε φάσμα ξεχωριστά. Χρησιμοποιείται ένα ηλιακό φάσμα αναφοράς πολύ υψηλής ανάλυσης και το εκάστοτε μετρούμενο φάσμα μετατοπίζεται, έως ότου συμπέσουν φασματικά οι γραμμές απορρόφησης Fraunhofer. Μετά τη φασματική βαθμονόμηση, το λογισμικό εμφανίζει πληροφορίες για τις παραμέτρους που σχετίζονται με την φασματική μετατόπιση του μετρούμενου σήματος και με τη συνάρτηση σχισμής για τον ποιοτικό έλεγχο της κάθε φασματικής μέτρησης. Οι παράμετροι αυτοί αποθηκεύονται και ελέγχονται ανά περίπου 15 μέρες, προκειμένου να διαπιστωθεί η σταθερότητα του φασματομέτρου.



## 2.3 Συστήματα παθητικής τηλεπισκόπησης CIMEL

Στο πλαίσιο της EY ACTRIS, και για την ανάγκη κάλυψης των προδιαγραφών μιας εθνικής υποδομής, η διενέργεια μετρήσεων παθητικής τηλεπισκόπησης πραγματοποιείται με το πλήρως αυτόματο φωτόμετρο ουράνιας, ηλιακής και σεληνιακής ακτινοβολίας τύπου CIMEL. Το συγκεκριμένο φωτόμετρο πραγματοποιεί καταγραφή του οπτικού βάθους των αιωρούμενων σωματιδίων σε ολόκληρη την ατμοσφαιρική κολώνα στα μήκη κύματος 340, 380, 440, 500, 675, 870, 940, 1020 και 1640 nm, επιτυγχάνοντας έτσι την ανάκτηση πληροφορίας για τις μικροφυσικές και οπτικές ιδιότητες των αερολυμάτων (όπως είναι η κατανομή μεγεθών τους, η απορρόφηση, ο δείκτης διάθλασης, η ποσότητα σφαιρικών και μη σφαιρικών σωματιδίων, ο πίνακας φάσης) απαραίτητες για την εκτίμηση της επίδρασης τους στην ατμόσφαιρα. Για την διενέργεια συνεργιστικών μετρήσεων (π.χ. φωτομέτρου και lidar), πραγματοποιούνται επίσης μετρήσεις της άμεσης ηλιακής και διάχυτης ουράνιας ακτινοβολίας, ενώ επιπλέον το φωτόμετρο αυτό έχει τη δυνατότητα να μέτρησης ακτινοβολίας και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, η βαθμονόμηση του οργάνου μπορεί να μεταβάλλεται και συνεπώς είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται κάθε 12 μήνες (κατά μέσο όρο) νέα βαθμονόμηση.

### Λειτουργία του φωτόμετρου

Τα φωτόμετρο αυτού του τύπου πρέπει να λειτουργεί με αυτόματο τρόπο σε συνεχή βάση (καιρού επιτρέποντος) ενώ υπάρχουν συνολικά τρεις τύποι παρατηρήσεων: μετρήσεις εξασθένησης της ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας για την ανάκτηση του φασματικού οπτικού βάθους των αερολυμάτων, μετρήσεις ουράνιας ακτινοβολίας και μετρήσεις πόλωσης της ουράνιας ακτινοβολίας. Οι πρώτες δυο κατηγορίες μετρήσεων είναι υποχρεωτικές, ακολουθούν ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα κατά την διάρκεια της ημέρας και παρέχουν απαραίτητες πληροφορίες για την ανάκτηση των ιδιοτήτων σκέδασης και απορρόφησης των αερολυμάτων, ενώ η τρίτη κατηγορία είναι επιλεκτική. Το οπτικό βάθος των αερολυμάτων προσδιορίζεται από την φασματική εξασθένηση της ακτινοβολίας σε κάθε μήκος κύματος με βάση τον νόμο των Beer-Bouguer-Lambert. Μια αλληλουχία μετρήσεων πραγματοποιείται κάθε 30 δευτερόλεπτα δημιουργώντας μια τριπλέτα μετρήσεων σε κάθε μήκος κύματος έτσι ώστε να ανιχνεύεται η πιθανή εμφάνιση νεφών. Εκτός από τις άμεσες μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, τα φωτόμετρα πρέπει να πραγματοποιούν μετρήσεις της ουράνιας ακτινοβολίας σε τουλάχιστον τέσσερις φασματικές περιοχές (440, 675, 870 nm) και με διαφορετικές γεωμετρίες: almucantar, principal plane, hybrid κλπ, ανά μια ώρα και σε μεγάλες ζενίθιες γωνίες. Αυτό το είδος μετρήσεων σε συνδυασμό με τις φασματικές μετρήσεις οπτικού βάθους χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση της κατανομής μεγεθών των σωματιδίων (από 0.04 έως 20 μm), της απορροφητικότητας τους και άλλων οπτικών ιδιοτήτων.

### Παραγωγή και έλεγχος δεδομένων

Τα δεδομένα από το φωτόμετρο CIMEL μεταφέρονται αυτόματα στο Κέντρο Τηλεπισκόπησης Αερολυμάτων (Centre for Aerosol Remote Sensing – CARS) της EY ACTRIS όπου ακολουθούνται οι τυποποιημένες διεργασίες επεξεργασίας δεδομένων (σύμφωνα με τις οδηγίες του AERONET) για την μετατροπή των δεδομένων Επιπέδου 0 σε Επίπεδο 1 και Επίπεδο 2 (Dubovik et al. 2011, Lopatin et al. 2013, Dubovik et al. 2014). Η αυτόματη επεξεργασία από Επίπεδο 0 σε Επίπεδο 1 διορθώνει τα δεδομένα για πιθανές ατμοσφαιρικές επιδράσεις ή επιδράσεις από την λειτουργία του οργάνου. Μια αυτοματοποιημένη διαδικασία για την ανίχνευση νεφών κατά την διάρκεια των μετρήσεων χρησιμοποιείται για την παραγωγή των δεδομένων Επιπέδου 2. Τυποποιημένες

διεργασίες ακολουθούνται για την αξιολόγηση των διάφορων επιπέδων των δεδομένων αλλά και για τον έλεγχο της κατάστασης του οργάνου από τον υπεύθυνο. Οι διαδικασίες διασφάλισης ποιότητας αλλά και ο ποιοτικός έλεγχος των δεδομένων και βαθμονόμησης του οργάνου είναι τυποποιημένες.

#### Ποιοτικός έλεγχος των μετρήσεων

Για τα φωτόμετρα τύπου CIMEL του ACTRIS/AERONET οι μετρήσεις Επιπέδου 0 μεταφέρονται σε βάση δεδομένων που υπάρχει αποκλειστικά για την χρήση αυτή. Κύρια απαίτηση στο πλαίσιο του ACTRIS είναι η μεταφορά αυτή να γίνεται σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (NRT), ώστε να παρακολουθείται η λειτουργία του οργάνου και η επεξεργασία και ποιότητα των προϊόντων. Τα δεδομένα γίνονται άμεσα διαθέσιμα στο κοινό. Οι χειριστές του οργάνου εμπλέκονται συνεχώς στην διαδικασία διαπίστευσης των προϊόντων αλλά και της εύρυθμης λειτουργίας του οργάνου. Η οπτική επιθεώρηση του οργάνου (οπτικά μέρη, η συνδεσμολογία με το ηλιακό πάνελ και το σύστημα μετάδοσης δεδομένων) πρέπει να πραγματοποιείται σε εβδομαδιαία βάση. Όλοι οι χειριστές έχουν πρόσβαση στην ιστοσελίδα του AERONET όπου μπορούν να παρακολουθούν την κατάσταση των κύριων παραμέτρων του οργάνου (π.χ. στάθμη της μπαταρίας, αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας κ.λπ.) αλλά και τα δεδομένα Επιπέδου 1 ώστε να μπορούν να ανιχνεύσουν πιθανές εμφανείς μεταβολές στην βαθμονόμηση του οργάνου.

## 2.5 Συστήματα παθητικής τηλεπισκόπησης BSRN

Το σύστημα παρακολούθησης ηλιακής ακτινοβολίας που θα εγκατασταθεί στον ακτινομετρικό σταθμό Αντικυθήρων (ΑΣΑ), αποτελείται από δυο πυρανόμετρα κλάσης A, ένα πυρηλίομετρο πρώτης τάξης, και ένα ραδίομετρο ισοζυγίου ακτινοβολιών. Το σύστημα λειτουργεί συνεχώς από την ανατολή μέχρι την δύση του ηλίου. Η συχνότητα καταγραφής είναι ανά ένα λεπτό.

Ο έλεγχος ποιότητας των μετρήσεων διενεργείται με βάση τα παρακάτω στάδια:

- Αποθηκεύονται οι πρωτογενείς μετρήσεις ( Level 1)
- Ο ηλεκτρονικός θόρυβος (ρεύμα σκότους) αφαιρείται με βάση τις μετρήσεις κατά τη διάρκεια της νύχτας, σε ημερήσια βάση.
- Διενεργείται έλεγχος των μετρήσεων με βάση τη σύγκρισή τους με μοντέλα διάδοσης της ακτινοβολίας και τιμές μεγαλύτερες ανώτατων θεσπισμένων ορίων επανεξετάζονται.
- Εφαρμόζεται η πιο πρόσφατη συνάρτηση βαθμονόμησης και εξάγονται οι τιμές σε  $W/m^2$ . (Level 2)
- Διενεργούνται συνδυαστικά τεστ (Ολική, διάχυτη, άμεση ακτινοβολία) από τα τρία όργανα για την διερεύνηση ακραίων τιμών και περιπτώσεις προβλημάτων στη μέτρηση κάποιου οργάνου.
- Τα οριστικά και ποιοτικά δεδομένα, παράγονται αφού πραγματοποιηθεί και επόμενη βαθμονόμηση, αξιολογηθούν οι αλλαγές στην ενδιάμεση περίοδο και εφαρμοστούν οι αντίστοιχες διορθώσεις. (Level 3)

Ξεχωριστός αλγόριθμος για τον χαρακτηρισμό της νεφοκάλυψης θα λειτουργεί σε εβδομαδιαία βάση και θα παρέχει ανάλογη σήμανση διαθέσιμη στην βάση δεδομένων της ΠΑΝΑΚΕΙΑ (cloud modification factor).

Οι συναρτήσεις βαθμονόμησης προκύπτουν με βάση τους κανόνες του Baseline Solar Radiation Network δηλαδή με αποστολή των οργάνων στο Παγκόσμιο κέντρο ακτινοβολίας σε τακτά χρονικά διαστήματα. (2 ή 3 χρόνια).

Η μορφή των αναλυτικών δεδομένων παρουσιάζεται αναλυτικά στα σχετικά έγγραφα του BSRN ([https://bsrn.awi.de/fileadmin/user\\_upload/bsrn.awi.de/Publications/gcos-174.pdf](https://bsrn.awi.de/fileadmin/user_upload/bsrn.awi.de/Publications/gcos-174.pdf)).

## 2.6 Συστήματα παθητικής τηλεπισκόπησης PSR and PANDORA

Το **PSR (Precision Spectral Radiometer)** είναι ένα πρότυπο ηλιακό **φασματοφωτόμετρο** που καταγράφει την ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή 300-1020nm, με φασματική ανάλυση 0.7nm. Το όργανο διαθέτει δυο οπτικές εισόδους που καταλήγουν στον ίδιο φασματικό αναλυτή, έτσι ώστε να καταγράφεται η ολική (GHI) και άμεση (DNI) φασματική ηλιακή ακτινοβολία αντίστοιχα. Το όργανο καταγράφει συνεχώς από την ανατολή μέχρι την δύση του ήλιου. Κάθε κύκλος μετρήσεων αποτελείται από 20 μετρήσεις άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, 10 μετρήσεις ολικής ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και 5 μετρήσεις ρεύματος σκότους. Στο τέλος του κύκλου αποθηκεύονται οι μετρήσεις και εξάγονται οι μέσοι όροι. Κάθε κύκλος διαρκεί 4-5'. Στο τέλος της ημέρας, για όλους του κύκλους εξάγονται οι απόλυτες τιμές των ακτινοβολιών με βάση την πιο πρόσφατη βαθμονόμηση.

Η σταθερότητα των μετρήσεων εντός κάθε κύκλου, εκτιμώμενη μέσω της τυπικής απόκλισης, είναι το κριτήριο για την χρησιμοποίηση των δεδομένων για την εξαγωγή άλλων μεταβλητών (Οπτικό Βάθος Αερολυμάτων, water vapor κτλ). Η ορθότητα της στόχευσης του οργάνου, ελέγχεται αυτόματα κατά την κάθε μέτρηση και χειροκίνητα μια φορά την εβδομάδα σε περίπτωση ανάγκης σημαντικών διορθώσεων. Ο έλεγχος για την παρουσία των νεφών και τον χαρακτηρισμό των κύκλων καθαρού ουρανού, γίνεται συνολικά σε εβδομαδιαία βάση. Ο έλεγχος της φασματικής σταθερότητας ελέγχεται με σύγκριση με πρότυπα ηλιακά φάσματα.

Το όργανο βαθμονομείται απόλυτα από το Πάγκοσμιο Κέντρο Ακτινοβολίας (PMOD/WRC) στο Νταβός, Ελβετία ανά περίπου 2 χρόνια. Η βαθμονόμηση πραγματοποιείται στο εργαστήριο με την χρήση πρότυπων λυχνιών και επιβεβαιώνεται με εξωτερικές μετρήσεις.

Το **φασματοφωτόμετρο PANDORA** καταγράφει την ηλιακή ακτινοβολία στην φασματική περιοχή 280-525nm, με ανάλυση 0.6nm. Η λειτουργία του περιλαμβάνει μετρήσεις άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, και μετρήσεις σεληνιακής ακτινοβολίας. Οι μετρήσεις είναι συνέχεις σε όλη την διάρκεια της μέρας και ανά 15 λεπτά περίπου στην διάρκεια της νύχτας. Στις μετρήσεις άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθε κύκλο πραγματοποιούνται 10 μετρήσεις ακτινοβολίας και 5 σκοτεινού ρεύματος και αποθηκεύονται οι μέσοι όροι και άλλα στατιστικά. Κάθε κύκλος διαρκεί περίπου 1-2 λεπτά. Οι μετρήσεις διάχυτης ακτινοβολίας πραγματοποιούνται περίπου κάθε 20 λεπτά, και σε κάθε κύκλο υπάρχουν 4 μετρήσεις σε κάθε ζενίθεια γωνία. Οπότε κάθε κύκλος διαρκεί 5-7 λεπτά. Ο ποιοτικός έλεγχος των τελικών μετρήσεων γίνεται κεντρικά από το Pandonia Network.

Για τον ποιοτικό έλεγχο των μετρήσεων εξάγεται άμεσα ο χαρακτηρισμός της ποιότητας των δεδομένων με βάση τις στατιστικές των διαφορετικών μετρήσεων εντός κάθε κύκλου, σε 3 επίπεδα (καλή-μέτρια-κακή ποιότητα). Σε αυτό στάδιο τα δεδομένα εξετάζονται ξεχωριστά για κάθε κύκλο και βασίζονται σε τιμές κατωφλίου για τις στατιστικές μεταβλητές. Σε μηνιαία βάση ελέγχονται και με διαφορετικά τεστ, κεντρικά από το δίκτυο PANDONIA και εξάγονται τα εγγυημένης ποιότητας δεδομένα (σε 3 επίπεδα ποιότητας), τα οποία βασίζονται σε σύγκριση ολόκληρων των χρονοσειρών. Σε αυτό το στάδιο χαρακτηρίζονται ολόκληρες περιόδους ως αξιόπιστες ή μη. Το όργανο βαθμονομείται συνεχώς στο πεδίο λειτουργίας του.

## Βιβλιογραφία

- Baars, H., Seifert, P., Engelmann, R., and Wandinger, U.: Target categorization of aerosol and clouds by continuous multiwavelength-polarization lidar measurements, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 3175–3201, <https://doi.org/10.5194/amt-10-3175-2017>, 2017.
- Danckaert, T., Fayt, C., Van Roozendael, M., De Smedt I., Letocart V., Merlaud, A., and Pinardi, G.: QDOAS software user manual 2.109, IASB/BIRA, Uccle, Belgium, 2015.
- Dubovik, O., Herman, M., Holdak, A., Lapyonok, T., Tanré, D., Deuzé, J. L., Ducos, F., Sinyuk, A., and Lopatin, A.: Statistically optimized inversion algorithm for enhanced retrieval of aerosol properties from spectral multi-angle polarimetric satellite observations, *Atmos. Meas. Tech.*, 4, 975–1018, <https://doi.org/10.5194/amt-4-975-2011>, 2011.
- Dubovik, O., Lapyonok, T., Litvinov, P., Herman, M., Fuertes, D., Ducos, F., Torres, B., Derimian, Y., Huang, X., Lopatin, A., Chaikovsky, A., Aspetsberger, M., and Federspiel, C.: GRASP: a versatile algorithm for characterizing the atmosphere, *SPIE Newsroom*, <https://doi.org/10.1117/2.1201408.005558>, 2014.
- Freudenthaler, V., Linné, H., Chaikovski, A., Rabus, D., and Groß, S.: EARLINET lidar quality assurance tools, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/amt-2017-395>, in review, 2018.
- Freudenthaler, V.: About the effects of polarising optics on lidar signals and the  $\Delta 90$  calibration, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 4181–4255, <https://doi.org/10.5194/amt-9-4181-2016>, 2016.
- Hönninger, G., von Friedeburg, C., and Platt, U.: Multi axis differential optical absorption spectroscopy (MAX-DOAS), *Atmos. Chem. Phys.*, 4, 231–254, <https://doi.org/10.5194/acp-4-231-2004>, 2004.
- Lopatin, A., Dubovik, O., Chaikovsky, A., Goloub, P., Lapyonok, T., Tanré, D., and Litvinov, P.: Enhancement of aerosol characterization using synergy of lidar and sun-photometer coincident observations: the GARRLIC algorithm, *Atmos. Meas. Tech.*, 6, 2065–2088, <https://doi.org/10.5194/amt-6-2065-2013>, 2013.