Παραδοτέο Π5.4

Προϊόντα και υπηρεσίες υψηλής ποιότητας της PANACEA για εκπλήρωση προτεραιοτήτων RIS3

Πακέτο Εργασίας	ΠΕ 5 Προϊόντα και υπηρεσίες υψηλής ποιότητας της PANACEA για εκπλήρωση προτεραιοτήτων RIS3
Νο Παραδοτέου	Π5.4 Έκθεση ενσωμάτωσης νέων και "έξυπνων" υπηρεσιών και τεχνολογιών στην PANACEA
Επικεφαλής δικαιούχος	ΕΜΠ
Συγγραφείς	Γρίβας Γεώργιος (ΕΑΑ), Ιάσωνας Σταυρούλας (ΕΑΑ), Λιακάκου Ελένη (ΕΑΑ), Χατζηδιάκος Χαράλαμπος (ΕΑΑ), Ευάγγελος Γερασόπουλος (ΕΑΑ), Αλέξανδρος Παπαγιάννης (ΕΜΠ), Ρωμανός Φωσκίνης (ΕΜΠ), Δήμητρα Ανάγνου (ΕΜΠ)
Συμμετέχοντες	ΕΑΑ, ΑΠΘ, ΕΚΕΦΕ-Δ
Εσωτερικοί κριτές	Νικόλαος Μιχαλόπουλος, Σπύρος Πανδής
Τύπος Παραδοτέου	Έκθεση
Επίπεδο Διάχυσης	Ανοικτό
Εκτιμούμενη ημερομηνία Παράδοσης	Μήνας 44 | 30/04/2022
Πραγματική ημερομηνία Παράδοσης	Μήνας 44 | 30/04/2022
Έκδοση	V2
Σχόλια	

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

ΠΕ 5: Προϊόντα και υπηρεσίες υψηλής ποιότητας της PANACEA για εκπλήρωση προτεραιοτήτων RIS3

Βασικός στόχος του Πακέτου Εργασίας ΠΕ5 είναι η ανάπτυξη προϊόντων και υπηρεσιών δεδομένων εκπληρώνοντας τα κριτήρια RIS3. Ειδικότερα, οι στόχοι και τα αντίστοιχα επιδιωκόμενα αποτελέσματα του ΠΕ5 αφορούν στη:

- Δημιουργία και Λειτουργία Κέντρου Διαχείρισης και Διάθεσης Δεδομένων (ΚΔΔΔ) PANACEA για τη φιλοξενία σχετικών βάσεων δεδομένων από τους εταίρους, δευτερογενή επεξεργασία (για εφαρμογές πραγματικού χρόνου) και τη διευκόλυνση της παροχής υπηρεσιών. Ο κόμβος αυτός θα λειτουργήσει ως "υπηρεσία ενιαίας εξυπηρέτησης one-stop-shop" για ατμοσφαιρικά περιφερειακά δεδομένα υψηλής ποιότητας, υιοθετώντας διεθνείς αρχές διαχείρισης δεδομένων και την ανταλλαγή πληροφοριών.
- Διασύνδεση με υφιστάμενες πρωτοβουλίες και προγράμματα σε εθνικό και διεθνές επίπεδο και με αντίστοιχες περιφερειακές/διεθνείς υποδομές και πλατφόρμες (π.χ. GAW, GEOSS-GCI, DIAS).
- Συμβολή των δεδομένων στις βάσεις δεδομένων υποστήριξης για την διακρίβωση δορυφορικών δεδομένων (π.χ. EVDC).
- Παροχή προσαρμοσμένων υπηρεσιών και προηγμένων προϊόντων. Εκπλήρωση προτεραιοτήτων RIS3 σε Περιφέρειες Κρήτης, Αττικής, Δυτικής Ελλάδας και Μακεδονίας και σε εθνικό επίπεδο.

Οι επί μέρους Ενέργειες και Εργασίες είναι οι ακόλουθες:

Ε5.1. Σχεδιασμός και προδιαγραφές πρόσβασης δεδομένων από το κοινό και άλλους χρήστες (M1-M12)
Ε5.2. Σχεδιασμός της υποβολής δεδομένων μετρήσεων lidar, αερολυμάτων, ιχνοενώσεων, αερίων του θερμοκηπίου και ηλιακής ακτινοβολίας, σε συμφωνία με το ACTRIS και με άλλα πρωτόκολλα ευρωπαϊκών και διεθνών βάσεων δεδομένων (M1-M10)
Ε5.3. Διευκόλυνση της πρόσβασης σε προϊόντα/υπηρεσίες δεδομένων της PANACEA μέσω δημιουργίας και οργάνωσης ΚΔΔΔ (M7-M44)
Ε5.4. Ανάπτυξη βασικών υπηρεσιών φιλοξενίας, επεξεργασίας δεδομένων (back office) και οπτικοποίησής τους (M13-M44)
Ε5.5. Έλεγχος ποιότητας και μεταφορά δεδομένων σε παγκόσμιες βάσεις δεδομένων (π.χ. GAW και ACTRIS) μέσω βασικού σχεδιασμού και προδιαγραφών πρόσβασης στα επιστημονικά δεδομένα, υπηρεσίες χρήστη, εργαλεία, αλγορίθμων, μοντέλων και εφαρμογών για τελικούς χρήστες μέσω δικτύων επικοινωνίας, εκπληρώνοντας τα κριτήρια RIS3 της Ελλάδας και της Περιφέρειας Αττικής (M4-M44)
Ε5.6. Διευκόλυνση της πρόσβασης σε υπηρεσίες της PANACEA (M13-M44)
Ε5.7. Ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και προϊόντων/υπηρεσιών δεδομένων εκπληρώνοντας τα κριτήρια RIS3 (M1-M44).

Ειδικότερα, η **Ενέργεια Ε5.7** αφορά στη σχεδίαση, ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών (π.χ. αισθητήρες πλατφόρμες μέτρησης αερολυμάτων), προϊόντα και «έξυπνες» υπηρεσίες δεδομένων, διασυνδέοντας τον ερευνητικό τομέα, τον ακαδημαϊκό χώρο, τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις και τη βιομηχανία σχετικά με την ποιότητα του αέρα και το κλίμα, εκπληρώνοντας τα κριτήρια RIS3.

Στο πλαίσιο του παρόντος **Παραδοτέου Π5.4** περιγράφεται η ανάπτυξη και παροχή προσαρμοσμένων υπηρεσιών και προηγμένων προϊόντων που συμβάλουν στην εκπλήρωση προτεραιοτήτων RIS3 στις Περιφέρειες Κρήτης, Αττικής, Δυτικής Ελλάδας και Μακεδονίας, αλλά και σε εθνικό επίπεδο.

Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται αναλυτικά η σημαντική πρόσληψη τεχνογνωσίας που επετεύχθη στο πλαίσιο της PANACEA στην ανάπτυξη, βαθμονόμηση και χρήση καινοτόμων συστημάτων αισθητήρων για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής σύστασης, η εκμετάλλευση των αισθητήρων επάνω σε διαφορετικές παρατηρησιακές πλατφόρμες, ήτοι ολοκληρωμένα δίκτυα παρακολούθησης και μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα (Unmanned

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Aerial Systems, UAS), η ανάπτυξη δευτερογενών υπηρεσίας πρόσβασης στα δεδομένα και την απορρέουσα πληροφορία και εντέλει παρατίθενται μια σειρά από παραδείγματα όπου έγινε χρήση των υπηρεσιών προς όφελος της ενημέρωσης αρμοδίων υπηρεσιών και του κοινού. Περισσότερες λεπτομέρειες για τμήματα του παραδοτέου που αφορούν στην διασφάλιση της ποιότητας των δεδομένων και την προτυποποίηση της λειτουργίας των αισθητήρων είναι διαθέσιμες στις ακόλουθες δημοσιεύσεις της PANACEA:

1) Stavroulas, I., Grivas, G., Michalopoulos, P., Liakakou, E., Hatzianastassiou, N., Mihalopoulos, N., and Gerasopoulos, E. Field Evaluation of Low-Cost PM Sensors (Purple Air PA-II) Under Variable Urban Air Quality Conditions, in Greece. *Atmosphere,* **11**, 926, 2020. https://doi.org/10.3390/atmos11090926

2) Kosmopoulos, G., Salamalikis, V., Pandis, S. N., Yannopoulos, P., Bloutsos, A. A., & Kazantzidis, A. Low-cost sensors for measuring airborne particulate matter: Field evaluation and calibration at a South-Eastern European site. *Science of the Total Environment*, **748**, 141396, 2020. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141396

1 Εισαγωγή

Η αυξανόμενη ανθρώπινη δραστηριότητα σε συνδυασμό με την οργανωμένη συγκέντρωση του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα, έχει σαν αποτέλεσμα την συνεχή έκθεση στα αιωρούμενα σωματίδια (PM), γεγονός το οποίο σχετίζεται με ευρύ φάσμα επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, συμπεριλαμβανομένων των αναπνευστικών και καρδιαγγειακών ασθενειών (Brook et al., 2010; Olstrup et al., 2019), την αυξημένη θνησιμότητα και τη μείωση του προσδόκιμου ζωής (Lelieveld et al., 2020; Liu et al., 2019). Τα λεπτόκοκκα σωματίδια ($PM_{2.5}$) αναγνωρίζονται ως ένας από τους κύριους παράγοντες πρόωρης θνησιμότητας σε συνέργεια με άλλους ατμοσφαιρικούς ρύπους ("European Environment Agency. Air Quality in Europe-2019," 2019), καθώς έχει εντοπιστεί μια αιτιακή σχέση ανάμεσα στην μακροχρόνια έκθεσης σε σωματίδια διαμέτρου έως 2.5 μm ($PM_{2.5}$) και σε καρδιαγγειακές ασθένειες και τη θνησιμότητα (Lipsett et al., 2011; Shi et al., 2016). Ενδεικτικά, η αιτιακή σχέση μεταξύ των καρδιαγγειακών επιπτώσεων και της θνησιμότητας έχει επιβεβαιωθεί έπειτα από τη βραχυπρόθεσμη έκθεση σε $PM_{2.5}$ (Atkinson et al., 2014; Zhang et al., 2009).

Στο πλαίσιο αυτό, έχουν θεσπιστεί ετήσια πρότυπα προστασίας της ανθρώπινης υγείας από τα $PM_{2.5}$ από την διεθνή περιβαλλοντική νομοθεσία. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η ετήσια οριακή τιμή έχει καθορισθεί στα 25 μg m^{-3} (Οδηγία 2008/50/EC) για την ποιότητα του εισπνεύσιμου αέρα, με πρόβλεψη για μελλοντική αναθεώρησή της, δεδομένου ότι μπορεί να συσχετιστεί με μακροχρόνια έκθεση σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα (Cesaroni et al., 2014; Di et al., 2017). Από την άλλη πλευρά ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ), έχει καθορίσει ως κατευθυντήρια γραμμή για τα $PM_{2.5}$ την τιμή των 10 μg m^{-3} (*World Health Organization. Air Quality Guidelines: Global Update 2005: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, and Sulfur Dioxide; WHO Regional Office for Europe: Copenhagen, Denmark, 2006; pp. 217–305.*, n.d.), η οποία αποτελεί ένα ασφαλέστερο όριο έκθεσης στα αιωρούμενα σωματίδια (*World Health Organization. Ambient Air Pollution: A global Assessment of Exposure and Burden of Disease; WHO Document Production Services: Geneva, Switzerland, 2016.*, n.d.).

Ως εκ τούτου, υπάρχει μια έντονη ανάγκη για την ανάπτυξη και χρήση αξιόπιστων, αντιπροσωπευτικών και έγκυρων τρόπων συνεχούς παρακολούθησης των επιπέδων συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$, προκειμένου να ενημερώνεται ο γενικός πληθυσμός και ιδιαίτερα οι ευπαθείς ομάδες, ώστε να αποφευχθεί η άσκοπη έκθεση σε εξωτερικούς χώρους σε συνδυασμό με τη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων όσον αφορά τα σχετικά μέτρα πρόληψης. Αυτή η ανάγκη γίνεται πιο έντονη κατά τη διάρκεια μεγάλων επεισοδίων ρύπανσης, όπως τα επεισόδια αιθαλομίχλης σε αστικές (Weichenthal et al., 2017) ή περιαστιακές περιοχές (Delfino et al., 2009). Η τοπικής κλίμακας (επίπεδο δρόμου, γειτονιάς) μεταβλητότητα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μεγάλους αστικούς οικισμούς, όπου οι τοπικές πηγές μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην αύξηση των σχετικών συγκεντρώσεων,

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα που αναδεικνύει την έντονη ανάγκη συνεχούς παρακολούθησης των επιπέδων συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ σε πολλαπλά σημεία καταγραφής, προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια της χωρο-χρονικής καταγραφής τους. Ωστόσο για να επιτευχθεί αυτό με τη χρήση ακριβών συστημάτων καταγραφής τους, όπως π.χ. το επίσημο δίκτυο αναφοράς του Υπουργείου Περιβάλλοντος, θα απαιτούσε σημαντικές επενδύσεις.

Προς αυτή την κατεύθυνση, η χρήση χαμηλού κόστους αισθητήρων καταγραφής των $PM_{2.5}$, που βασίζονται στην τεχνολογία οπτικής καταμέτρησης σωματιδίων, έχουν προκύψει σαν μια οικονομική λύση, ικανή να καταγράφει σε πραγματικό χρόνο την συγκέντρωση των $PM_{2.5}$ σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, και ως εκ τούτου να παρέχει την σχετική πληροφόρηση προς τους πολίτες και τους ενδιαφερόμενους κρατικούς και ιδιωτικούς φορείς, όπως άλλωστε έχει εφαρμοσθεί με τη χρήση πυκνών παρόμοιων δικτύων μέτρησης σε διάφορες περιοχές του πλανήτη μας (π.χ. Gao et al., 2015; Jiao et al., 2016; Park et al., 2020). Ταυτόχρονα, οι τεχνολογίες αισθητήρων καταγραφής των $PM_{2.5}$ χαμηλού κόστους αποδεικνύονται χρήσιμες σε μελέτες συμπεριλαμβανομένων των κοινωνικών επιστημών, αλλά και για την αξιολόγηση των μοντέλων ποιότητας αέρα (AQ), προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η πρόβλεψη της ποιότητας του εισπνεύσιμου αέρα σε αστική κλίμακα (Bi et al., 2020). Παρόλο που οι συσκευές χαμηλού κόστους για τη μέτρηση των $PM_{2.5}$ δεν μπορούν να συμμορφωθούν απόλυτα με τα κλασσικά πρότυπα μέτρησης ποιότητας του αέρα, έχει αποδειχθεί ότι μπορούν να αποτυπώσουν επιτυχώς την μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων (σε διάφορες χρονικές κλίμακες) και, ως εκ τούτου, μπορεί να εφαρμοστεί σε αυτές μια τεχνική βαθμονόμησης που να βασίζεται στα δεδομένων πρότυπων σταθμών παρακολούθησης, προκειμένου να παρέχονται ρεαλιστικά επίπεδα συγκέντρωσης στο περιβάλλον (Feenstra et al., 2019).

Οι χαμηλού κόστους αισθητήρες PM αξιολογήθηκαν πρόσφατα από εργαστηριακές και επιτόπιες μελέτες (Borrego et al., 2018; Tagle et al., 2020) και προτείνονται επίσης ως εργαλεία τόσο για τη μακροπρόθεσμη όσο και για την παρακολούθηση επειγόντων περιστατικών, όπως οι δασικές πυρκαγιές (Kelleher et al., 2018). Η ψηφιακή μετάβαση που προωθείται μέσω της Αστικής Ατζέντας στην Ευρωπαϊκή Ένωση και η άνοδος των προσεγγίσεων έξυπνων πόλεων, δείχνουν προς την ολοκλήρωση του IoT (Internet of Things) με τεχνολογίες και άλλες ΤΠΕ (Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών) στη χάραξη πολιτικής, με την αειφόρο ανάπτυξη και την αστική ανθεκτικότητα να αποτελούν πρωταρχικούς στόχους. Προς αυτή τη κατεύθυνση, η χρησιμότητα των αισθητήρων χαμηλού κόστους είναι εξαιρετικά σημαντική καθώς προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες σε διάφορους τομείς (π.χ. στην υγεία, στις μεταφορές, στη μελέτη ανθρωπογενούς επίδρασης στην κλιματική αλλαγή κλπ.), γεγονός που τους καθιστά, ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία των παρεχόμενων δεδομένων τους, ένα σημαντικό συστατικό μίας έξυπνης και ανθεκτικής πόλης.

Πέραν των καλά τεκμηριωμένων επιπτώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία, όπως αναλύθηκε διεξοδικά παραπάνω, τα αιωρούμενα σωματίδια, ανάλογα με τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες, σκεδάζουν και απορροφούν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο στο ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη (Haywood and Boucher, 2000). Η εκτίμηση όμως της επίδρασης των αιωρούμενων σωματιδίων στο κλίμα συνοδεύεται από μεγάλες αβεβαιότητες (IPCC, 2013), καθιστώντας την παρακολούθηση των φυσικών και χημικών τους ιδιοτήτων πολύ σημαντική. Ειδικότερα για τα σωματίδια αιθάλης οι αβεβαιότητες φτάνουν και το 40% (Bond et al., 2013) ενώ για τα σωματίδια σκόνης, από συνδυασμό μελετών προκύπτει μια μέση επίδραση ψύξης της τάξης του -0.1 W m^{-2} με την τυπική απόκλιση να υπολογίζεται σε 0.2 W m^{-2} (IPCC, 2013). Με σκοπό την ελαχιστοποίηση αυτών των αβεβαιοτήτων μέσα από μετρήσεις και την επακόλουθη χρήση τους από μοντέλα πρόβλεψης, και εδώ η αύξηση της χρονικής ανάλυσης και διάρκειας αλλά και της χωρικής κάλυψης των μετρήσεων πεδίου είναι ιδιαίτερης σημασίας.

Εν γένει, μετρήσεις πεδίου στο επίπεδο του εδάφους πραγματοποιούνται συστηματικά σε όλον τον κόσμο ενώ νέα δίκτυα σταθμών παρακολούθησης ατμοσφαιρικών παραμέτρων αναπτύσσονται διαρκώς. Μετρήσεις όμως που να μπορούν να καταγράψουν συγκεντρώσεις αλλά και ιδιότητες αιωρούμενων σωματιδίων και αερίων καθ' ύψος, μέχρι πρόσφατα, βασιζόταν σε ιδιαίτερα κοστοβόρες εκστρατείες μετρήσεων με ειδικά διαμορφωμένα αεροσκάφη και περίπλοκο εξοπλισμό μετρήσεων. Τα τελευταία όμως χρόνια, η τεχνολογική εξέλιξη στο πεδίο των μη επανδρωμένων εναέριων συστημάτων (Unmanned Aerial Systems, UAS) αλλά και η ανάπτυξη συσκευών

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

μέτρησης μικρών διαστάσεων και βάρους, έχουν επιτρέψει την ολοένα και συχνότερη χρήση τέτοιων UAS για ατμοσφαιρικές παρατηρήσεις. Πέρα από τη σημαντική εξοικονόμηση πόρων, ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα των μετρήσεων με UAS είναι η δυνατότητα τέτοιων αεροσκαφών να έχουν πρόσβαση σε περιοχές και συμβάντα όπου τα επανδρωμένα αεροσκάφη δεν επιτρέπεται να προσεγγίσουν, όπως σε περιπτώσεις μεγάλων δασικών πυρκαγιών ή βιομηχανικών ατυχημάτων.

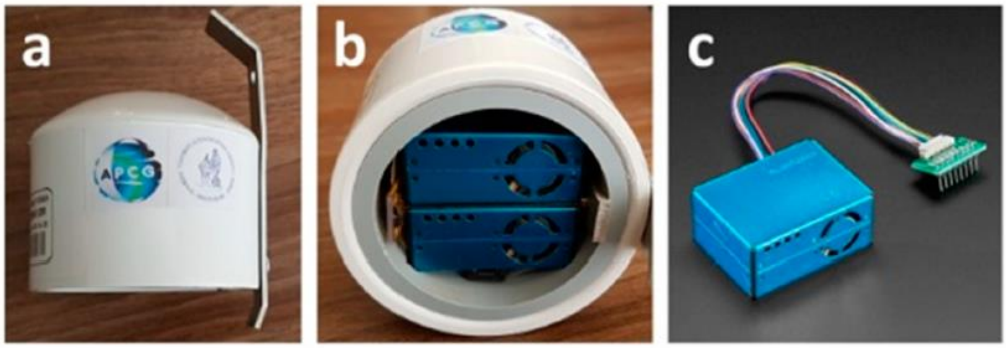
Στο πλαίσιο της PANACEA δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην απόκτηση γνώσης και εμπειρίας στην λειτουργία και χρήση μιας σειράς αισθητήρων καθώς και για τις εφαρμογές στους σε διαφορετικά περιβάλλοντα (π.χ. αστικά δίκτυα, μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα, εν κινήσει με οχήματα δρόμου, επιστήμη πολιτών/πληθοπορισμός κλπ) για την ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών, εργαλείων και υπηρεσιών.

2 Περιγραφή αισθητήρων

2.1 Αισθητήρες $PM_{2.5}$

Στο πλαίσιο της PANACEA χρησιμοποιήθηκε κυρίως ο αισθητήρας χαμηλού κόστους «Plantower PMS» που είναι ένας από τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους για μετρήσεις $PM_{2.5}$ και αποτελεί τη βάση των καταγραφέων Purple Air, μιας συμπαγούς πλατφόρμας χαμηλού κόστους με προηγμένες δυνατότητες αναφοράς δεδομένων σε απευθείας (real-time) σύνδεση (Kelly et al., 2017).

Οι καταγραφείς PA-II & PA-II-SD (PurpleAir LLC, Draper, UT, USA) αποτελούνται από ένα ζεύγος αισθητήρων PMS5003 (Plantower Ltd., Beijing, Κίνα), ένα σύστημα οπτικής καταγραφής σωματιδίων με την χρήση laser (OPC), έναν αισθητήρα θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και βαρομετρικής πίεσης (BME 280, Bosch Sensortec GmbH, Reutlingen, Γερμανία), οι οποίοι συνδέονται σε έναν μικροελεγκτή (ESP8266) εξοπλισμένο με ασύρματο δίκτυο. Η συσκευή καταγράφει και μεταδίδει δεδομένα μέσω Wi-Fi σε μια πλατφόρμα τύπου cloud, με ρυθμό μεταφόρτωσης 2 λεπτά ανά μέτρηση (**Εικόνα *1***).



Εικόνα 1: Ο αισθητήρας PMS5003 σε πλάγια όψη, ο εισερχόμενος αέρας περνάει από τις τέσσερις μικρές οπές στο κάτω μέρος του αισθητήρα και εξέρχεται από τον ανεμιστήρα της ίδιας πλευράς. Η ροή του δείγματος οδηγείται στον ανιχνευτή laser μετά από δύο στροφές 90 μοιρών. Σχέδια για τη γεωμετρία του εσωτερικού αισθητήρα και τη διαδρομή της ροής του δείγματος βρίσκονται στα (Sayahi et al., 2019) και (Ardon-Dryer et al., 2019).

Η αρχή λειτουργίας του αισθητήρα PMS5003 βασίζεται στη σκέδαση του φωτός από τα μετρούμενα αιωρούμενα σωματίδια. Ένας ενσωματωμένος ανεμιστήρας αντλεί αέρα και σωματίδια στο θάλαμο μέτρησης. Τα σωματίδια περνούν από μία δέσμη laser και ένας ανιχνευτής ανιχνεύει τη σκεδαζόμενη δέσμη φωτός. Το σήμα εξόδου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων μάζας των PM_1, $PM_{2.5}$ και PM_{10}.

Συγκεκριμένα, ο αισθητήρας PMS5003 παρέχει ψηφιακές εξόδους για 12 πεδία δεδομένων. Τα πρώτα τρία αντιστοιχούν στις συγκεντρώσεις μάζας των κλασμάτων PM_1, $PM_{2.5}$ και PM_{10}, στα οποία δεν εφαρμόζεται κάποια

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

μέθοδος διόρθωσης, και παρουσιάζονται με την ένδειξη CF = 1. Τα επόμενα τρία, με την ονομασία CF = atm, αντιστοιχούν σε προσαρμοσμένες συγκεντρώσεις μάζας που προκύπτουν μετά την εφαρμογή ενός ιδιόκτητου αλγορίθμου που έχει αναπτυχθεί από την Plantower Ltd. Τα επόμενα έξι πεδία δεδομένων περιέχουν την αριθμητική κατανομή των σωματιδίων σε έξι περιοχές μεγέθους (>0.3 μm, >0.5 μm, > 1μm, >2.5 μm, >5 μm, και >10 μm).

2.2 Αισθητήρες απορρόφησης

Για την μέτρηση και καταγραφή του συντελεστή απορρόφησης (σ_{ap}) και της συγκέντρωσης αιθάλης (μαύρος άνθρακας, black carbon - BC) στο ατμοσφαιρικό αερόλυμα, επιλέχθηκε η χρήση των χαμηλού βάρους και μικρών διαστάσεων μικροαιθαλομέτρων MA-200 (AethLabs Corporation) (Εικόνα 2). Αρχή λειτουργίας της συσκευής είναι η μέτρηση της εξασθένησης ακτινοβολίας διερχόμενης από φιλτροταινία πάνω στην οποία συλλέγονται με συνεχή ροή τα σωματίδια του δείγματος. Η μέτρηση γίνεται ταυτόχρονα σε πέντε μήκη κύματος (375 nm, 470 nm, 528 nm, 625nm και 880 nm). Από τη μέτρηση στα 880 nm προκύπτει η συγκέντρωση BC, ενώ μέσω της απορρόφησης στα 375 nm εκτιμάται η σωματιδιακή μάζα που απορροφά στο υπεριώδες και κυρίως αποδίδεται σε πηγές όπως η καύση ξύλου, καπνού και βιομάζας, εν γένει.

Εικόνα 2: *Τα φορητά, χαμηλού βάρους και όγκου μικροαιθαλόμετρα MA-200 της Aethlabs, που αποκτήθηκαν στα πλαίσια του έργου, για χρήση σε μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα.*

Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις στα δύο αυτά μήκη κύματος, μπορεί να εφαρμοσθεί το λεγόμενο αιθαλομετρικό μοντέλο (aethalometer model; Sandradewi et al., 2008) με σκοπό την ποσοτικοποίηση της συνεισφοράς σωματιδίων που προέρχονται από καύση βιομάζας ή καύση ορυκτών καυσίμων, στη μετρούμενη συγκέντρωση BC. Χρησιμοποιώντας και τις μετρήσεις στα υπόλοιπα μήκη κύματος, πραγματοποιείται περεταίρω ανάλυση των οπτικών ιδιοτήτων του συλλεγόμενου δείγματος, μέσω υπολογισμού του συντελεστή Ångström Exponent της απορρόφησης, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη σύσταση και προέλευση των σωματιδίων.

Για την αντιμετώπιση της παρατηρούμενης μη γραμμικότητας απόκρισης της μεθόδου σε συνάρτηση με τη συσσώρευση σωματιδίων στη θέση δειγματοληψίας στη φιλτροταινίας (Weingartner et al., 2003), το όργανο διαθέτει διαδικασία διόρθωσης σε πραγματικό χρόνο μέσω της ταυτόχρονης, αλλά με διαφορετική ροή, δειγματοληψίας σε δύο θέσεις της φιλτροταινίας (Dual Spot, Drinovec et al., 2015). Καθώς το μικροαιθαλόμετρο MA-200 έχει σχεδιασθεί και για χρήση σε UAS, είναι εφοδιασμένο με αισθητήρες για την καταγραφή της θερμοκρασίας και υγρασίας του δείγματος και τον ταυτόχρονο υπολογισμό του σημείου δρόσου, με αλτίμετρο/βαρόμετρο για την εκτίμηση ύψους, με επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων, για καταγραφή της επιτάχυνσης του οργάνου και δέκτη GPS (Global Positioning System) για την καταγραφή της ακριβούς θέσης του

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

αλλά και αυτόματο συγχρονισμό του χρονογράφου του οργάνου. Το όργανο παρέχει δεδομένα μέσω σειριακής θύρας επικοινωνίας.

2.3 Αισθητήρες σωματιδιακών κατανομών

Το όργανο OPC-N3 (Εικόνα 3) είναι ένας χαμηλού κόστους οπτικός καταμετρητής σωματιδίων, που καταγράφει την αριθμητική συγκέντρωση σωματιδίων με μεγέθη από 0.18 μm έως 17 μm, κατηγοριοποιώντας την σε 24 εύρη διαμέτρων (κανάλια), παρέχοντας έτσι την αριθμητική σωματιδιακή κατανομή του αερολύματος. Μέσω της καταγραφόμενης κατανομής υπολογίζονται επιπλέον και οι συγκεντρώσεις PM_1, $PM_{2.5}$ και PM_{10}. Αρχή λειτουργίας του οργάνου είναι η μέτρηση του σκεδαζόμενου φωτός πάνω σε λεπτή δέσμη σωματιδίων του δείγματος. Περιλαμβάνει laser με τυπική λειτουργία στα 8 mW ενώ το δείγμα οδεύεται διαμέσου του θαλάμου ανίχνευσης σε ροή 0.28 l min^{-1}. Είναι εξαιρετικά μικρών διαστάσεων (75mm x 45mm x 65mm) και χαμηλού βάρους (105 g) με πολύ μικρές απαιτήσεις ηλεκτρικής τροφοδοσίας κάνοντάς το ιδανικό για εφαρμογές με περιορισμούς σε τέτοιους πόρους, όπως η ενσωμάτωση τους σε μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα.

Εικόνα 3: *Ο οπτικός καταμετρητής σωματιδίων OPC-N3. Στην εικόνα φαίνεται ο ανεμιστήρας παροχής ροής δείγματος (αριστερά) η είσοδος του δείγματος (μέση) καθώς και οι θύρες επικοινωνίας του οργάνου (δεξιά)*

Για τους εξειδικευμένους σκοπούς παρατήρησης στα πλαίσια του έργου, την εγκατάσταση δηλαδή του αισθητήρα σε UAS, ο αισθητήρας έχει υποστεί μικρές παραλλαγές. Κυριότερη αλλαγή, η αντικατάσταση του ανεμιστήρα παροχής δείγματος του πρωτοτύπου από ενισχυμένη αντλία και ο έλεγχος της παραγόμενης ροής δείγματος από μικρή οπή (orifice plate). Η αλλαγή αυτή κρίνεται αναγκαία ώστε η ροή δείγματος στο όργανο να παραμένει κατά το δυνατόν σταθερή και ανεξάρτητη από το υψόμετρο δειγματοληψίας. Επιπλέον για την τροφοδοσία του οργάνου αλλά και την καταγραφή και μετάδοση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο έχει κατασκευαστεί κατάλληλη διάταξη με τροφοδοτικό και μικροελεγκτή, για την προσαρμογή του συστήματος στο ηλεκτρικό κύκλωμα του αεροσκάφους και την επικοινωνία του οργάνου με το σύστημα αυτόματου πιλότου.

3 Προτυποποίηση διαδικασίας βαθμονόμησης - αποτελέσματα

3.1 Βαθμονόμηση των αισθητήρων PurpleAir PA-II

Αρκετές επιτόπιες μελέτες έχουν διεξαχθεί πρόσφατα για την αξιολόγηση των αισθητήρων Plantower PMS (μοντέλα 1003 έως 7003), σε διάφορα περιβάλλοντα και συνθήκες (Feenstra et al., 2019; M. He et al., 2020; Levy

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Zamora et al., 2019; Zheng et al., 2018). Οι μελέτες αυτές, ενώ βρίσκουν καλές συσχετίσεις με τα αντίστοιχα συστήματα αναφοράς, έχουν επισημάνει υπερεκτιμήσεις που σχετίζονται: 1) με τις επικρατούσες τιμές της σχετικής υγρασία, και 2) με τα υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$.

Πράγματι, εργαστηριακές δοκιμές έχουν επιβεβαιώσει τα παραπάνω ευρήματα (Wu et al., 2020) και έχουν αποκαλύψει περαιτέρω ζητήματα, όπως είναι η αδυναμία αποτύπωσης σε εντοπισμένο φάσμα σωματιδιακών διαμέτρων του αισθητήρα, καθώς και η εξάρτηση των επιδόσεων τους από τις κατανομές μεγέθους σωματιδίων στο περιβάλλοντος (Kuula et al., 2020), αλλά κυρίως η μη γραμμική απόκριση σε αυξημένες συγκεντρώσεις PM (Sayahi et al., 2019). Ως εκ τούτου απαιτείται η ενδελεχής κατανόηση των παραγόντων που καθορίζουν την απόδοση του αισθητήρα $PM_{2.5}$ και την αξιόπιστη βαθμονόμησή καθώς και την εφαρμογή των διορθώσεων για την επίτευξη αξιόπιστων αποτελεσμάτων μέτρησης της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$. Η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων και η χημική σύνθεση θεωρούνται σημαντικοί παράγοντες που προκαλούν σφάλματα στις συσκευές PA-II. Επιπλέον, η πλειοψηφία των μελετών σχετικά με την βαθμονόμηση των PA-II έδειξαν ότι οι σχετικές διακυμάνσεις υγρασίας μπορούν να μεταβάλουν την κατανομή μεγεθών των αερολυμάτων αλλά και τις οπτικές ιδιότητες σκέδασης, επηρεάζοντας την απόκριση του αισθητήρα (Kim et al., 2019; Levy Zamora et al., 2019; Mehadi et al., 2020).

Στο πλαίσιο της PANACEA σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν δύο ανεξάρτητες μελέτες (Stavroulas et al. (2020); Kosmopoulos et al. (2020)) που στόχευσαν στην κατανόηση διαφορετικών, από τους προαναφερθέντες, παραγόντων, σε διαφορετικά περιβάλλοντα και συνθήκες, και με διαφορετικά όργανα αναφοράς, με σκοπό να καταρτιστεί σε βάθος μια πανεθνική μεθοδολογία διόρθωσης των αισθητήρων και η αντίστοιχη στρατηγική χρήσης των αισθητήρων στο πλαίσιο της PANACEA. Ακολουθεί περιγραφή των κυριότερων μεθοδολογικών βημάτων και αποτελεσμάτων της βαθμονόμησης.

3.1.1 Όργανα αναφοράς

Στο πλαίσιο της μελέτης των Stavroulas et al. (2020) η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε στις περιοχές μελέτης της Αθήνας και των Ιωαννίνων. Για την περιοχή της Αθήνας επιλέχθηκε ο σταθμός του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στο Θησείο, στον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων αναφοράς των $PM_{2.5}$ χρησιμοποιώντας ως πρότυπο όργανο αναφοράς τον καταγραφέα εξασθένησης β-ακτινοβολίας (PX-375, Horiba Ltd., Kyoto, Japan), παρέχοντας τον μέσο όρο των δεδομένων ανά 3 ώρες. Το παραπάνω όργανο πραγματοποιεί δειγματοληψία των $PM_{2.5}$, ενώ ταυτόχρονα είναι εξοπλισμένο με ένα σύστημα ξήρανσης του δείγματος για την αποφυγή υπερεκτίμησης της μέτρησης λόγω διακυμάνσεων της ατμοσφαιρικής υγρασίας. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε ένας ακόμα οπτικός μετρητής σωματιδίων 31 καναλιών (Model 11-D, Grimm Aerosol Technik, Ainring, Germany), ο οποίος λειτουργεί στο Θησείο, παρέχοντας κατανομές μεγεθών των σωματιδίων στο εύρος 0,2 μm έως 35 μm για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων μάζας των PM_1, $PM_{2.5}$ και PM_{10}, σε χρονική κλίμακα 1 λεπτού. Δεδομένα μετεωρολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία περιβάλλοντος-T, σχετική υγρασία-RH) ελήφθησαν από τον γειτονικό μετεωρολογικό σταθμό του ΕΑΑ, σε ωριαία βάση.

Για την περιοχή μελέτης των Ιωάννινων ως όργανο αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ένας οπτικός μετρητής σωματιδίων 32 καναλιών (APDA-372, Horiba Ltd., Kyoto, Japan). Το όργανο αυτό είναι ισοδύναμο για τη μέτρηση $PM_{2.5}$ και PM_{10} σύμφωνα με το Πρότυπα EN 14907 και EN 12341. Η γραμμή δειγματοληψίας ήταν αντίστοιχα εξοπλισμένη με ένα σύστημα ξήρανσης σωματιδίων, παρέχοντας συγκεντρώσεις μάζας των κλασμάτων PM_1, $PM_{2.5}$ και PM_{10} σε ωριαία κλίμακα. Οι ωριαίες μέσες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων (T, RH) ελήφθησαν αντίστοιχα από έναν αυτοματοποιημένο μετεωρολογικό σταθμό που ήταν εγκατεστημένος πλησίον.

Στο πλαίσιο της μελέτης των Kosmopoulos et al. (2020) η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Πάτρας με την χρήση ενός αναλυτή σωματιδίων GRIMM EDM 180 (GRIMM Environmental Dust Monitor 180) που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των μετρήσεων του αισθητήρα. Το EDM 180 χρησιμοποιεί τις ιδιότητες σκέδασης για τον προσδιορισμό των PM_1, $PM_{2.5}$ και PM_{10}. Τα σωματίδια σκεδάζουν τη δέσμη που παράγεται από ένα διοδικό laser (660 nm), το οποίο καταγράφεται στην συνέχεια από έναν ανιχνευτή. Το σήμα αντιστοιχίζεται

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

σε 31 κανάλια μεγέθους (0,25-3μm) και μετατρέπεται σε συγκέντρωση μάζας με ανάλυση 0,1 μg m^{-3}. Ο ρυθμός ροής του δείγματος είναι 1,2 L min^{-1} (έως 3×10^6 σωματίδια/liter αέρα L^{-1}) και ανιχνεύεται με αναπαραγωγιμότητα μεγαλύτερη από 97%. Το EDM 180 είναι επίσης εξοπλισμένο με ενσωματωμένο σύστημα ξήρανσης Nafion για την αφαίρεση της υγρασίας. Το GRIMM EDM 180 ακολουθεί το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 2341 που περιγράφει μια τυποποιημένη βαρυμετρική μέθοδο για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} ή $PM_{2.5}$ στον ατμοσφαιρικό αέρα. Στη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις σε ωριαία ανάλυση.

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν όργανα για τον χαρακτηρισμό της χημικής σύστασης των ατμοσφαιρικών σωματιδίων. Με την χρήση του Chemical Speciation Monitor (ACSM, Aerodyne Inc., Billerica, MA, USA) παρακολουθήθηκε η χημική σύνθεση των αερολυμάτων παρέχοντας συγκεντρώσεις των μη-πυρίμαχων (non-refractory, NR-PM1), όπως τα οργανικά (OC), θειικά, νιτρικά, αμμωνιακά και χλωριδιακά σε χρονική κλίμακα 30'. Επιπλέον με την χρήση ενός αιθαλομέτρου 7 μηκών κύματος (AE-33, Magee Scientific, Berkeley, CA, USA) μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις του μαύρου άνθρακα (Black Carbon; BC) σε χρονική κλίμακα 1 λεπτού. Λεπτομέρειες σχετικά με τη λειτουργία και τη διασφάλιση ποιότητας του ACSM παρουσιάζονται στο (Stavroulas et al., 2019).

Αντίστοιχα, στην πόλη των Ιωαννίνων μετρήθηκε η συγκέντρωση του Black Carbon (BC) χρησιμοποιώντας ένα αιθαλόμετρο AE-33 χρονικής κλίμακας 1 λεπτού. Οι παραπάνω μετρήσεις αναλύθηκαν με την χρήση ενός μοντέλου (Drinovec et al., 2015; Sandradewi et al., 2008) για τον υπολογισμό των ορυκτών καυσίμων (BC) και των κλασμάτων καύσης βιομάζας (BCbb) μαύρου άνθρακα, και στις δύο περιοχές. Για τον εντοπισμό της προέλευσης των μεταφερόμενων αερολυμάτων χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο οπισθοτροχιάς HYSPLIT (Stein et al., 2015), υπολογιζόμενο για 120 ώρες οπισθοτροχιάς, με 6 ώρες χρονικό βήμα από το ύψος άφιξης 1000 m στις δύο τοποθεσίες αναφοράς, σε συνδυασμό με το PSCF (Potential Source Contribution Function) και των πακέτων εργαλείων ZeFir που αναπτύχθηκαν για το πακέτο λογισμικού Igor Pro (Petit et al., 2017).

3.1.2 Μεθοδολογία και κύρια αποτελέσματα της μελέτης των Stavroulas et al. (2020)

Στο πλαίσιο της μελέτης των Stavroulas et al., (2020) έμφαση δόθηκε στα παρακάτω ζητούμενα:

- Αξιολόγηση πεδίου και βαθμονόμηση συσκευής
- Έλεγχος της επαναληψιμότητας των μετρήσεων $PM_{2.5}$ and T-RH
- Έλεγχος των επιπτώσεων των χονδρόκοκκων σωματιδίων και της σχετικής υγρασίας στις μετρήσεις
- Εφαρμογή και αξιολόγηση διαφορετικών μοντέλων παλινδρόμησης
- Εποχιακή διαφοροποίηση της βαθμονόμησης

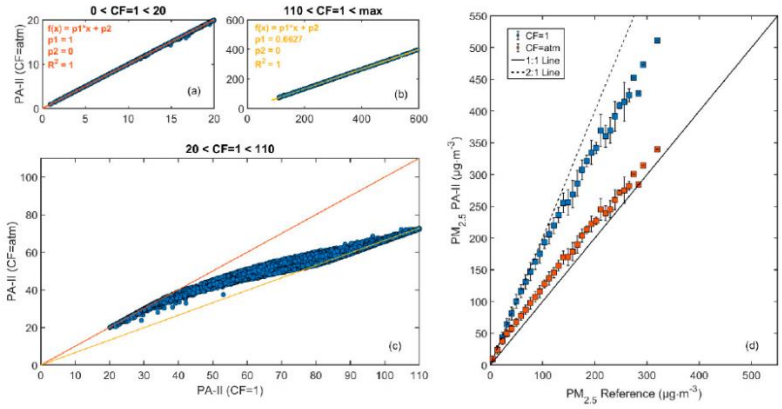
Για τη αξιολόγηση και τη βαθμονόμηση των monitor PA-II χρησιμοποιήθηκαν οι μη διορθωμένες τιμές (CF = 1) από τα δύο PMS5003 τα οποία αποδόθηκαν σε μέσες ωριαίες τιμές. Στα δεδομένα της Αθήνας, εκτός από τις μέσες ωριαίες τιμές, υπολογίστηκαν επίσης μέσοι όροι 3 ωρών και συγκρίθηκαν με τις συγκεντρώσεις από πρότυπο όργανο αναφοράς β-εξασθένησης. Για την ποιότητα των μετρήσεων των monitor PA-II εξετάσθηκε η συμφωνία μεταξύ των δύο αισθητήρων κάθε συσκευής, απορρίπτοντας από το δείγμα τις μετρήσεις που διαφέρουν σημαντικά.

Οι αποκλίσεις μεταξύ των μετρήσεων του PA-II $PM_{2.5}$ (CF = 1) σε σύγκριση με το $PM_{2.5}$ αναφοράς αξιολογήθηκαν με την χρήση του μέσου σφάλματος (MBE), του μέσου απόλυτου σφάλματος (MAE) και τη κανονικοποιημένη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (nRMSE). Αυτές οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την ανάλυση της απόδοσης της προτεινόμενης βαθμονόμησης των μοντέλων. Τα σφάλματα των αποκλίσεων αντιστοιχούν στην διαφορά της συγκέντρωσης του PA-II μείον την συγκέντρωση αναφοράς.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Ένα από τα κύρια ζητήματα που ελήφθησαν υπόψη είναι ποιο από τα πεδία δεδομένων (CF = 1, CF = atm) που παρέχονται από το PMS5003 θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την εκτέλεση της βαθμονόμησης των $PM_{2.5}$, καθώς οι δύο έξοδοι αποκλίνουν κυρίως σε συγκεκριμένες περιοχές συγκέντρωσης (Kelly et al., 2017). Εξετάζοντας το CF = 1 έναντι CF = atm, παρατηρείται ότι το CF = atm προκύπτει από μια γραμμική σχέση 1:1 για τις χαμηλές συγκεντρώσεις, και στη συνέχεια, μια μη γραμμική προσαρμογή στην περιοχή ενδιάμεσων συγκεντρώσεων. Τέλος, εφαρμόζεται μια άλλη γραμμική διόρθωση για υψηλότερες συγκεντρώσεις, με συντελεστής που είναι μικρότερος από 1. Με βάση τις επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις σε όλα τα σύνολα δεδομένων, συμπεραίνουμε ότι εφαρμόζονται τρεις διαφορετικές διορθώσεις για τη λήψη $PM_{2.5}$ (CF = atm), είναι οι ακόλουθες:

- Περιοχή χαμηλών συγκεντρώσεων: $PM_{2.5}$ (CF = 1) < 20, όπου $PM_{2.5}$ (CF = atm) = $PM_{2.5}$ (CF = 1).
- Περιοχή ενδιάμεσων συγκεντρώσεων: 20 < $PM_{2.5}$ (CF = 1) < 110, όπου εφαρμόζεται άγνωστη διόρθωση από τον κατασκευαστή του αισθητήρα.
- Περιοχή υψηλών συγκεντρώσεων: $PM_{2.5}$ (CF = 1) > 110 όπου $PM_{2.5}$ (CF = atm) = 0.66 $PM_{2.5}$ (CF = 1).



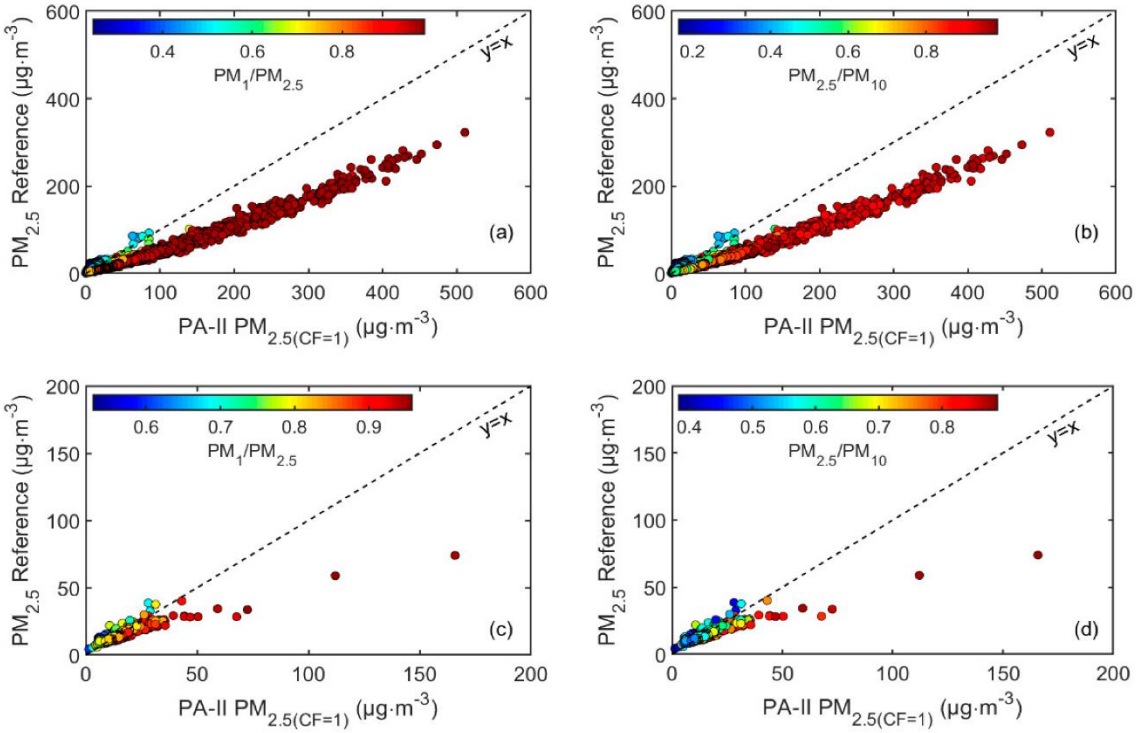
Εικόνα 4: Έλεγχος των $PM_{2.5}$ (CF = 1) και $PM_{2.5}$ (CF = atm) σύμφωνα με τις μετρήσεις περιβάλλοντος αναφοράς για την περιοχή των Ιωαννίνων.

Στην Εικόνα 4**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** παρουσιάζονται οι τρεις περιοχές μαζί με τις γραμμικές εξισώσεις που συγκρίνουν τα δεδομένα των $PM_{2.5}$ (CF = 1) και $PM_{2.5}$ (CF = atm) αντίστοιχα χρησιμοποιώντας τις χειμερινές μετρήσεις στην περιοχή των Ιωάννινων. Για την **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**d τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν και συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες μετρήσεις του πρότυπου οργάνου μέτρησης των $PM_{2.5}$. Στην **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**a-c παρατηρούμε ότι οι τιμές αρχικά συμπίπτουν στη γραμμή 2:1, αλλά απομακρύνονται από αυτήν με την αύξηση των συγκεντρώσεων του περιβάλλοντος. Αυτό το μοτίβο είναι πιο εμφανές για το πεδίο CF=ATM, το οποίο ενώ συμπίπτει στη γραμμή 2:1 για χαμηλές συγκεντρώσεις ενώ έπειτα τείνει να ακολουθεί τη γραμμή 1:1 στις υψηλότερες συγκεντρώσεις. Αυτή η εσωτερική διόρθωση που εφαρμόζεται οδηγεί σε μικρότερες τυπικές αποκλίσεις για το πεδίο CF=atm, εξομαλύνοντας αποτελεσματικά τις χρονοσειρές.

Ένα παρόμοιο μοτίβο έχει αναφερθεί για τα monitor PA-II κατά τη σύγκριση των τιμών του με το πρότυπο όργανο αναφοράς (TEOM) (Tryner et al., 2020), ενώ τα μη γραμμικά φαίνεται να ταιριάζουν ως προς την καμπυλότητα, όπως στην **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**d (Sayahi et al., 2019). Η συμπεριφορά του CF = atm πρέπει να αντιμετωπιστεί με οποιοδήποτε προτεινόμενο σχήμα βαθμονόμησης. Με τη χρήση του CF = 1 πεδίου είναι δυνατή μία πιο άμεση αξιολόγηση σχετικά με τις επιδράσεις που σχετίζονται με τις φυσικές ιδιότητες των αερολυμάτων, καθώς φαίνεται να υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ του $PM_{2.5}$ (CF = 1) και των μετρούμενων συγκεντρώσεων σωματιδίων. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε το πεδίο CF = 1 στην ανάλυση. Σημειώνεται ότι ο αποκλειστικός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για τη διόρθωση του CF = 1 έως CF = atm (Sayahi et al., 2019), από όσο γνωρίζουμε, δεν έχει τεκμηριωθεί ακόμη στη βιβλιογραφία και δεν είναι διαθέσιμος στο εγχειρίδιο του αισθητήρα ή σε οποιαδήποτε σχετική τεκμηρίωση.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Για την μελέτη της επίδρασης του μεγέθους των σωματιδίων χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τις εκστρατείες στην Αθήνα και τα Ιωάννινα. Κατά τη διάρκεια των εκστρατειών αυτών, οι συσκευές PA-II λειτούργησαν κάτω από ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών συνθηκών, όσον αφορά τη μετεωρολογία, τις πηγές αερολυμάτων και τη χημική σύνθεση. Επιπλέον, παρατηρήθηκαν διάφορα επεισόδια σκόνης, που συνδέονταν κυρίως με αέριες μάζες προερχόμενες από τη βόρεια Αφρική. Στην Εικόνα 5a,b φαίνονται τα διαγράμματα διασποράς των μετρήσεων αναφοράς που πραγματοποιήθηκαν στα Ιωάννινα σε σχέση με τις μετρήσεις PA-II PM2.5 (CF = 1), παρέχοντας μια ένδειξη των επιδράσεων των χονδρόκοκκων σωματιδίων. Αντίστοιχα, τα δεδομένα από τη 2η εκστρατεία σύγκρισης της Αθήνας (το OPC Grimm 11D που παρείχε τις αναλογίες κλάσματος σωματιδίων δεν ήταν διαθέσιμο κατά τη διάρκεια της 3ης εκστρατείας σύγκρισης) απεικονίζονται στις Εικόνες 5c,d.

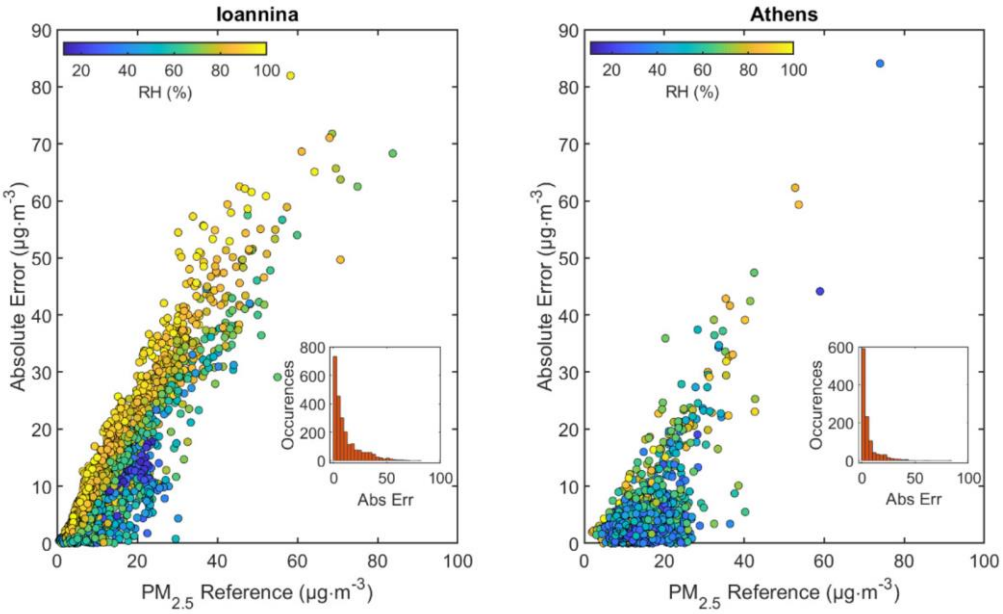


Εικόνα 5: *Διαγράμματα διασποράς των συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ αναφοράς έναντι των συγκεντρώσεων PA-II, με χρωματική κωδικοποίηση σύμφωνα με το λόγο $PM_1/PM_{2.5}$ για τα Ιωάννινα (a) και την Αθήνα (c) και το λόγο PM2.5/PM10 για τα Ιωάννινα (b) και την Αθήνα (d), με τους λόγους που υπολογίζονται από τα όργανα HORIBA APDA-372 και Grimm 11-D για τα Ιωάννινα και την Αθήνα, αντίστοιχα.*

Επιδράσεις στην απόδοση του αισθητήρα αναμένονται σε αυξημένη υγρασία περιβάλλοντος, δεδομένου ότι δεν πραγματοποιείται προετοιμασία του δείγματος. Για τη διερεύνηση αυτών των επιδράσεων, υπολογίστηκε αρχικά το απόλυτο σφάλμα του PA-II PM2.5 (CF = 1) σε σχέση με τις τιμές αναφοράς και στα δύο σύνολα δεδομένων.

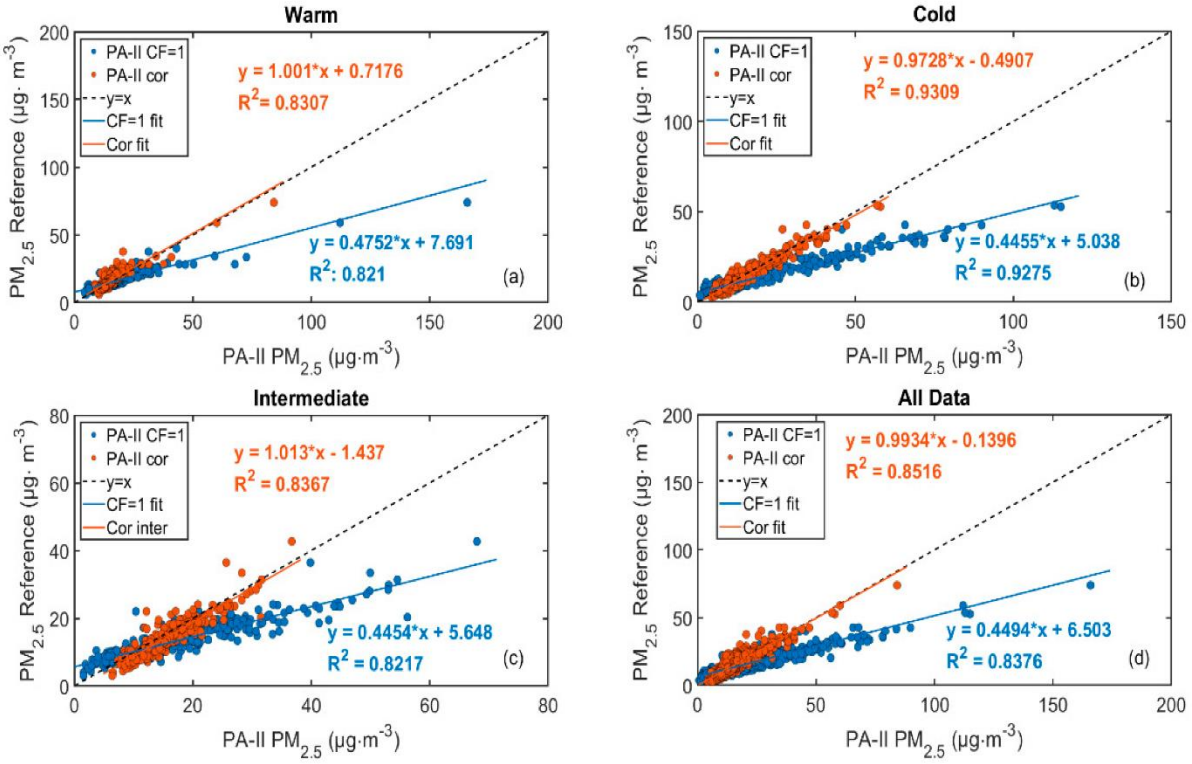
Δεδομένου ότι οι μέσες συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$ κατά τη χειμερινή περίοδο στα Ιωάννινα ήταν υψηλές, η ανάλυση επικεντρώθηκε αρχικά στις ανοιξιάτικες μετρήσεις, προκειμένου να επιτευχθεί συγκρισιμότητα με το σύνολο δεδομένων της Αθήνας, όπου η μέση συγκέντρωση $PM_{2.5}$ για τη 2η και 3η εκστρατεία μαζί ήταν αντίστοιχη. Κατά την απεικόνιση του απόλυτου σφάλματος σε σχέση με τις συγκεντρώσεις αναφοράς $PM_{2.5}$, παρατηρήθηκαν πιο απότομες κλίσεις στις σχέσεις με τις συγκεντρώσεις περιβάλλοντος για υψηλότερες τιμές RH (Εικόνα 6). Αυτό ήταν πιο εμφανές στα Ιωάννινα, ενώ στην Αθήνα, το μοτίβο αυτό ήταν πολύ λιγότερο έντονο, πιθανώς λόγω των ξηρότερων συνθηκών περιβάλλοντος (RH: 49% στην Αθήνα έναντι 64% στα Ιωάννινα, κατά μέσο όρο, για τις αντίστοιχες περιόδους).

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη



Εικόνα 6: *Διαγράμματα διασποράς του απόλυτου σφάλματος PA-II PM 2.5(CF=1) έναντι των μετρήσεων αναφοράς $PM_{2.5}$ σε Ιωάννινα (αριστερά) και στην Αθήνα (δεξιά). Τα διαγράμματα είναι χρωματικά κωδικοποιημένα ανάλογα με τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.*

Προκειμένου να αξιολογηθεί η πιθανή επίδραση εποχιακών παραγόντων στην απόδοση του οργάνου παρακολούθησης PA-II, η έξοδος του PA-II εξετάστηκε σε σύγκριση με μετρήσεις αναφοράς στο Θησείο, σε τρεις διαφορετικές εποχές κατά τη διάρκεια της 2ης και 3ης εκστρατείας. Παρεκκλίσεις θα μπορούσαν για παράδειγμα να σχετίζονται με την εποχιακά μεταβαλλόμενη χημική σύνθεση των αστικών αερολυμάτων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 7.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Εικόνα 7: *Γραμμική παλινδρόμηση των δεδομένων αναφοράς έναντι των δεδομένων PA-II (CF = 1) $PM_{2.5}$ κατά τη διάρκεια των δύο περιόδων σύγκρισης (2η και 3η) στο Θησείο, Αθήνα. Στο πάνελ (a) παρουσιάζονται τα δεδομένα που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου, ενώ στα (b,c) παρουσιάζονται τα δεδομένα για την ψυχρή και την ενδιάμεση περίοδο, αντίστοιχα. Στο (d) περιλαμβάνονται όλα τα δεδομένα.*

Τα κύρια συμπεράσματα της μελέτης των Stavroulas et al. (2020) συνοψίζονται ως ακολούθως.

- Το πεδίο δεδομένων CF = 1 που παρέχεται από τον αισθητήρα PMS5003 θεωρήθηκε καταλληλότερο για τη βαθμονόμηση της συσκευής PA-II, καθώς παρουσίασε καλύτερη γραμμική συμπεριφορά έναντι των μετρήσεων αναφοράς και χωρίς την ανάγκη ερμηνείας της επεξεργασίας δεδομένων του αισθητήρα
- Ο αισθητήρας θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας PA-II αποδείχθηκε ανθεκτικός, γραμμικός και εύκολος στη βαθμονόμηση, επιτρέποντας τη χρήση δεδομένων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας σε προσεγγίσεις διόρθωσης
- Η παρουσία χονδροειδών σωματιδίων που σχετίζονται κυρίως με τη σκόνη, μαζί με τις συνθήκες αυξημένης σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος, αναγνωρίστηκαν ως σημαντικές πηγές σφάλματος των μετρήσεων και περιοριστικός παράγοντας για μια ομοιόμορφη διόρθωση, λόγω των ιδιαιτεροτήτων της περιοχής και της τοποθεσίας
- Τα μοντέλα πολυωνυμικής πολλαπλής παλινδρόμησης μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση του PA-II και να ελαχιστοποιήσουν τα σφάλματα που σχετίζονται με τα επίπεδα σχετικής υγρασίας και την κλασματοποίηση χονδρόκοκκων προς λεπτόκοκκων σωματιδίων. Ωστόσο, οι διορθώσεις αυτές θα πρέπει να εφαρμόζονται τοπικά και απαιτείται πρόσθετη εργασία για τον έλεγχο της δυνατότητας εφαρμογής τους σε περιφερειακή κλίμακα. Υπό αυτή την έννοια και δεδομένου ότι τα κέρδη στην απόδοση, αν και ενδεικτικά των αποτελεσμάτων, δεν ήταν πολύ έντονα, πρέπει να σταθμιστεί κατά πόσον δικαιολογούν την πρόσθετη απαιτούμενη εργασία και ροή δεδομένων σε σύγκριση με την απλή βαθμονόμηση με χρήση μόνο μετρήσεων αναφοράς PM
- Οι συσχετίσεις που διαπιστώθηκαν μεταξύ του οργάνου παρακολούθησης PA-II και των $PM_{2.5}$ αναφοράς ήταν σημαντικά υψηλότερες στην περίπτωση του οπτικού οργάνου παρακολούθησης αναφοράς από ό,τι για το όργανο παρακολούθησης με β-εξασθένηση, γεγονός που αποδίδεται κυρίως στην παρόμοια αρχή λειτουργίας
- Οι επιδόσεις του PA-II φαίνεται να παραμένουν μάλλον σταθερές μεσομακροπρόθεσμα, ανεξάρτητα από τις εποχιακές διακυμάνσεις των συνθηκών του περιβάλλοντος και της χημικής σύνθεσης του αερολύματος, ωστόσο, απαιτούνται λεπτομερέστερες εργασίες για την αξιολόγηση των τελευταίων

3.1.3 Μεθοδολογία και κύρια αποτελέσματα της μελέτης των Kosmopoulos et al., (2020)

Στο πλαίσιο της μελέτης των Kosmopoulos et al., (2020) έμφαση δόθηκε στα παρακάτω ζητούμενα:

- Ενδομεταβλητότητα και ακρίβεια αισθητήρων
- Αξιολόγηση της ακρίβειας των μετρήσεων
- Επίδραση των υψηλών επιπέδων χονδρόκοκκων PM στις μετρήσεις
- Διόρθωση των μετρήσεων για λεπτόκοκκα PM
- Επίδραση της RH στην απόδοση των αισθητήρων

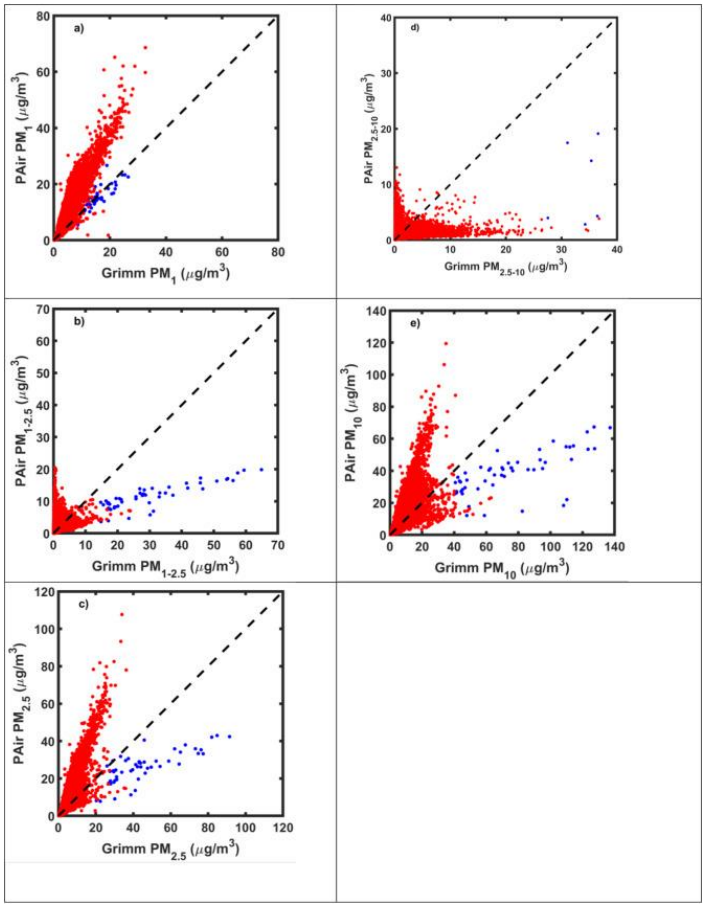
Εξετάζοντας την ενδομεταβλητότητα (R^2) των δύο καναλιών (A και B) του PA-II για ωριαίες μετρήσεις, τα αποτελέσματα έδειξαν πλήρως συσχετισμένες τις μετρήσεις των PM_1, $PM_{1-2,5}$ και PM_{10}, με το R^2 να μειώνεται ελαφρώς σε 0,95 για τα ωριαία $PM_{1-2,5}$ και σε 0,88 για $PM_{2,5-10}$. Το R^2 των μετρήσεων των δύο αισθητήρων ακόμη και σε διαστήματα 10 λεπτών ήταν αρκετά υψηλό. Αυτά τα αποτελέσματα είναι συνεπή με προηγούμενες μελέτες που εξετάζουν την μεταβλητότητα των καναλιών του PA-II (Kelly et al., 2017; SCAQMD, 2016; Zheng et al., 2018). Επιπλέον, οι διαφορές μεταξύ των δύο καναλιών ήταν χαμηλότερες από 1,4 μg m^{-3} για όλα τα κλάσματα σε ολόκληρη τη μελέτη. Προκειμένου να διασφαλιστεί η υψηλή ποιότητα των ανακτημένων δεδομένων, θεωρήθηκαν έγκυρες μόνο οι μετρήσεις με διαφορά μεταξύ των δύο καναλιών μικρότερη του 20% του μέσου όρου τους ή

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

μικρότερη από 2 μg m^{-3}. Ο δεύτερος περιορισμός ήταν απαραίτητος για να αποφευχθεί ο αποκλεισμός των τιμών χαμηλής συγκέντρωσης από το σύνολο δεδομένων. Το όριο των 2 μg m^{-3} εκτιμήθηκε ως το ανώτερο όριο των μετρούμενων διαφορών συγκέντρωσης των δύο καναλιών. Με βάση αυτόν τον αλγόριθμο, περισσότερο από το 98% των ωριαίων τιμών PM_1 και $PM_{2.5}$ που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της 18μηνης μελέτης θεωρήθηκαν έγκυρες.

Εξετάζοντας το σύνολο των αρχικών δεδομένων, το σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (rRMSE) για τις ημερήσιες μέσες συγκεντρώσεις των PM_1 ήταν 121%, των $PM_{2,5}$ 142% και των PM_{10} ήταν ίσο με 118%. Τα αντίστοιχα σφάλματα για τους ωριαίους μέσους όρους ήταν περίπου 10% υψηλότερα. Σε απόλυτες τιμές, το RMSE ήταν περίπου 7 μg m^{-3} για τα PM_1, 3 μg m^{-3} για τα $PM_{1–2.5}$ και 2.7 μg m^{-3} για τα $PM_{2.5–10}$. Το σύνολο της ανάλυσης έδειξε ότι ο αισθητήρας χαμηλού κόστους τείνει να υπερεκτίμα σημαντικά την μέτρηση υπερβαίνοντας συχνά το 100% της διαφοράς. Το παραπάνω αποτέλεσμα δείχνει την κακή απόδοση των αισθητήρων με τις αρχικές τιμές βαθμονόμησης από την εταιρεία και την ανάγκη επιπλέον χαρακτηρισμού των αισθητήρων.

Η συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων των δύο οργάνων μειώνεται δραματικά για τα χονδρόκοκκα σωματίδια. Το R^2 για το ωριαίο $PM_{1–2,5}$ είναι μόνο 0,1 και το ωριαίο $PM_{2–5–10}$ 0,02. Δεδομένου ότι τα περισσότερα από τα $PM_{2.5}$ και πολλά από τα PM_{10} είναι εντός του εύρος των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη του 1 μm, υπάρχει ένα μέτριο R^2 = 0,56 για τα $PM_{2,5}$ και 0,37 για τα PM_{10}. Ωστόσο, αυτό οφείλεται κυρίως στα PM_1. Αυτά τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι το ΠΑ-ΙΙ μπορεί να έχει σημαντικές δυσκολίες στην παροχή χρήσιμων πληροφοριών για τα χονδρόκοκκα σωματίδια (π.χ. διαμέτρου μεγαλύτερης των 2.5 μm).

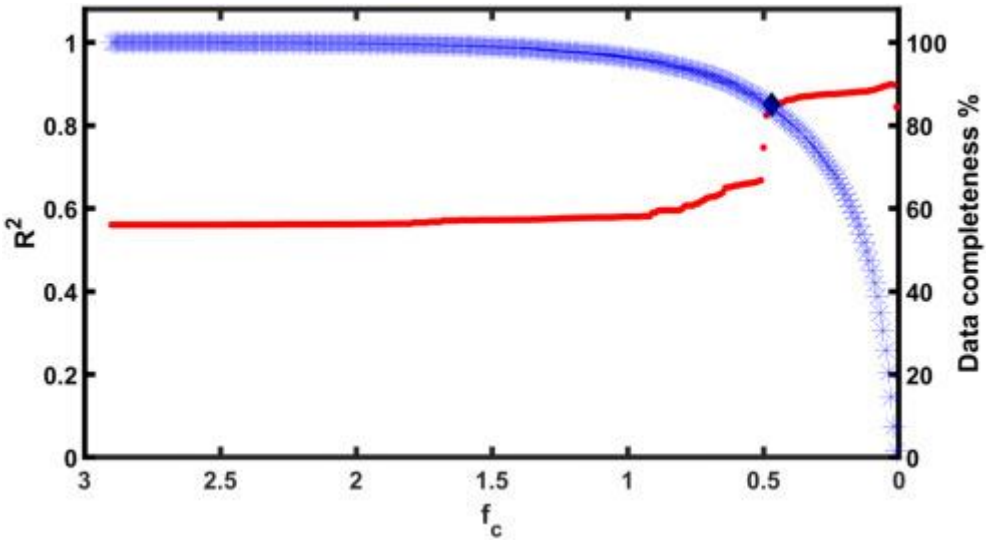


Εικόνα 8: *Σύγκριση των μέσων ωριαίων συγκεντρώσεων που αναφέρονται από το GRIMM και των αρχικών τιμών PA-II για: (a) PM_1, (b) $PM_{1-2.5}$, (c) $PM_{2.5}$, (d) $PM_{2.5-10}$ και (e) PM_{10}. Οι μπλε κουκκίδες υποδηλώνουν μετρήσεις κατά τη διάρκεια επεισοδίων σκόνης στη Σαχάρα.*

Για τον έλεγχο της επίδραση των χονδρόκοκκων σωματιδίων πραγματοποιήθηκε προσεκτική ανάλυση των συνθηκών υπό των οποίων αλλάζει η συμπεριφορά του αισθητήρα σε σύγκριση με την πλειονότητα των

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

περιπτώσεων, υποθέτοντας ότι ορισμένα από αυτά τα σημεία αντιστοιχούν σε περιόδους με σημαντικές συγκεντρώσεις σκόνης από την έρημο Σαχάρα. Αυτά τα σημεία φαίνεται να ακολουθούν μια γραμμική σχέση με πολύ μικρότερη κλίση σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μετρήσεις και θα πρέπει να διορθωθούν διαφορετικά κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης. Για τον έλεγχο της υπόθεσης, εισάχθηκε η αναλογία, f_c, των χονδρόκοκκων PM προς τα λεπτά PM η οποία υπολογίστηκε με βάση τις μετρήσεις του GRIMM. Ο λόγος f_c ποικίλλει στο σύνολο δεδομένων (ωριαίων μετρήσεων) στο εύρος από 0,01 έως 3. Οι μετρήσεις από το σύνολο δεδομένων για τις οποίες το f_c ξεπέρασε μια τιμή κατωφλίου f_c^* εξαιρέθηκε και στην συνέχεια υπολογίστηκε το R^2 για τις ωριαίες τιμές των PM_x και το κλάσμα των υπολειπόμενων σημείων. Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε για όλες τις τιμές του f_c από 3 έως 0,01 με ένα βήμα 0,01 (Εικόνα 9).

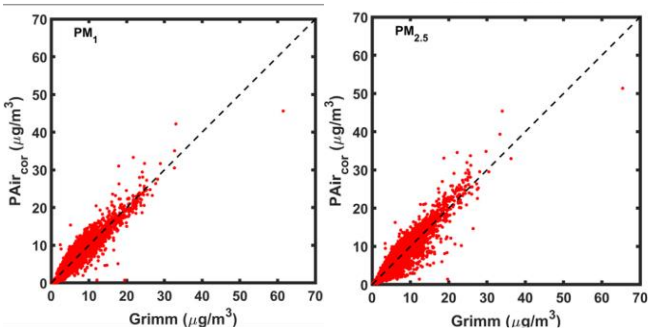


Εικόνα 9: *R2 (κόκκινα σύμβολα) μεταξύ των ωριαίων μετρήσεων PMx του GRIMM και του αισθητήρα PA-II ως συνάρτηση του fc = PM2.5-10/PM2.5. Παρουσιάζεται επίσης η πληρότητα των δεδομένων (%) ως συνάρτηση του fc (μπλε σύμβολα) και του επιλεγμένου κατωφλίου fc* = 0,47.*

Καθώς το f_c^* μειώνεται, το R^2 αυξάνεται και ταυτόχρονα μειώνεται το κλάσμα των δεδομένων που παραμένουν στο σύνολο δεδομένων. Ωστόσο, αυτή η αλλαγή στο R^2 είναι οριακή για f_c^* πάνω από 1 επειδή μόνο μερικές μετρήσεις περιέχονται σε αυτό το εύρος. Όταν το f_c^* = 3 περιλαμβάνονται όλες οι μετρήσεις με R^2 = 0,56, ενώ για f_c^* = 1, το 3,6% των μετρήσεων αποκλείονται και το R^2 = 0,58. Καθώς το f_c^* μειώνεται περαιτέρω, το R^2 αυξάνεται σε 0,67 για f_c^*= 0,51 και μετά γρήγορα σε 0,85 για f_c^*= 0,47 (αποκλείεται το 17% των μετρήσεων). Περαιτέρω μειώσεις του f_c^* οδηγούν σε αυξήσεις του R^2 αλλά και σε σημαντικές μειώσεις των δεδομένων. Η αφαίρεση των μισών δεδομένων αντιστοιχεί σε αύξηση του R^2 μόνο κατά 0,01. Με βάση αυτήν την ανάλυση, το όριο που επιλέγεται για την ανάλυση είναι f_c^* = 0,47. Αυτό μας επιτρέπει να διατηρούμε το 83% των μετρήσεων των κατά τη διάρκεια της περιόδου της μελέτης και εξαλείφει τα περισσότερα από τα απομακρυσμένα σημεία. Αυτά τα αποτελέσματα υποστηρίζουν την υπόθεσή ότι οι μετρήσεις PA-II βρίσκονται σε περιόδους κατά τις οποίες τα χονδρόκοκκα PM είναι σημαντικά σε σύγκριση με τα λεπτόκοκκα PM έχουν διαφορετική συμπεριφορά και απαιτούν διαφορετική διόρθωση σε σύγκριση με τα υπόλοιπα.

Η συσχέτιση μεταξύ των βαθμονομημένων μετρήσεων PA-II και του οργάνου αναφοράς φαίνεται στην Εικόνα 10. Η χρήση αυτής της σχετικά απλής διόρθωσης μειώνει το σχετικό σφάλμα για τα ωριαία PM_1 κατά 18,6% (1,07 μg m^{-3}) και για $PM_{2.5}$ έως 17,7% (1,14 μg m^{-3}). Τα αντίστοιχα τετραγωνικά σφάλματα είναι 24,5% (1,42 μg m^{-3}) για τα ωριαία PM_1 και 24,6% (1,56 μg m^{-3}) για τα $PM_{2.5}$.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη



Εικόνα 10: Σύγκριση των διορθωμένων τιμών του Pair σε σχέση με τις μετρούμενες τιμές του GRIMM για τα PM_1 και PM2.5,

Η απόκρισή των αισθητήρων των PA-II βασίζεται στη σκέδαση της δέσμης από τα σωματίδια, επομένως αναμένεται να είναι ευαίσθητοι στην RH. Μέρος της ανάλυσης αφιερώθηκε στη προσπάθεια να ποσοτικοποιηθεί αυτό το αποτέλεσμα για τις συνθήκες των μετρήσεων. Η επίδραση της RH στις συγκεντρώσεις των PM εξετάζοντας τη σχέση μεταξύ του σφάλματος PA-II και της RH. Βρέθηκε καταρχάς ένα θετικό σφάλμα για τα επίπεδα της RH χαμηλότερα από 45% που υποδηλώνει ότι η προηγούμενη διόρθωση οδηγεί σε υπερεκτίμηση για τις περιόδους με χαμηλή RH, έως 1,5 μg m^{-3} για 25% RH. Αυτό υποδηλώνει επιπλέον ότι μια ανεξάρτητη βαθμονόμηση της RH θα μπορούσε να παράγει λογικά αποτελέσματα εφόσον εφαρμόζεται σε περιόδους κατά τις οποίες η RH δεν παίρνει είναι ακραίες τιμές (υψηλές ή χαμηλές). Συνολικά, η επίδραση της RH στις στατιστικές μετρήσεις ήταν σχεδόν αμελητέα και δεν συμβαδίζει με τα αποτελέσματα για άλλους αισθητήρες (Jayaratne et al., 2018; Wang et al., 2015; Zheng et al., 2018), ωστόσο θα πρέπει να θεωρηθεί θετικό χαρακτηριστικό του αισθητήρα. Μετά την εξέταση της επίδρασης RH στην απόδοση των αισθητήρων PAir, η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος εξετάστηκε επίσης και βρέθηκε να είναι αμελητέα.

Τα κύρια συμπεράσματα της μελέτης των Kosmopoulos et al., (2020) συνοψίζονται ως ακολούθως.

- Το PA-II φαίνεται να αντιμετωπίζει δυσκολίες στη μέτρηση χονδρόκοκκων σωματιδίων. Οι αναφερόμενες τιμές του για τα PM_{10} επηρεάζονται κυρίως από το κλάσμα κάτω των μικρομέτρων. Εάν τα PM_{10} περιλαμβάνουν ένα σημαντικό χονδρόκοκκο κλάσμα, η αναφερόμενη συγκέντρωση τους από αυτόν τον αισθητήρα χαμηλού κόστους φαίνεται να είναι αμφισβητήσιμη
- Οι μετρήσεις των PM_1 και $PM_{2.5}$ κατά τη διάρκεια περιόδων για τις οποίες τα χονδρόκοκκα σωματίδια ήταν σημαντικά σε σύγκριση με τα $PM_{2.5}$ έχουν διαφορετική συμπεριφορά σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μετρήσεις. Αυτό πιθανώς οφείλεται στη διαφορετική κατανομή μεγέθους αερολύματος κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων. Η βαθμονόμηση του αισθητήρα πρέπει να είναι διαφορετική για τις περιόδους με υψηλά ποσοστά χονδροειδών PM
- Η χρήση μιας απλής γραμμικής διόρθωσης ανεξάρτητης από τη σχετική υγρασία μείωσε το σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα σε 24,5% (1,41 μg m^{-3}) για τα ωριαία PM_1 και σε 24,6% (1,58 μg m^{-3}) για τα $PM_{2,5}$. Πρόκειται για σημαντική μείωση κατά 4-5 φορές σε σύγκριση με τη χρήση των μη διορθωμένων μετρήσεων
- Εξετάστηκε επίσης η επίδραση της υγρασίας RH στην απόδοση των αισθητήρων PA-II και διαπιστώθηκε ότι είναι μικρή. Η εφαρμογή μιας διόρθωσης εξαρτώμενης από την RH που βασίζεται σε πολυώνυμο τρίτου βαθμού μείωσε το RMSE μόνο κατά 1%

3.2 Αξιολόγηση λειτουργίας των μικροαιθαλομέτρων MA-200

3.2.1 Υλικά και Μεθοδολογία

Μια εκτενής εργασία χαρακτηρισμού της λειτουργίας των μικροαιθαλομέτρων MA-200 έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις του ΕΑΑ κατά τη διάρκεια δύο χειμερινών (10/02/2021 – 06/03/2021 και 03 – 13/03/2022) και μιας θερινής (14/06/2021 – 06/07/2021) περιόδου. Τα όργανα τοποθετήθηκαν για ένα συνολικό διάστημα 9

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

εβδομάδων στον σταθμό παρακολούθησης της ατμόσφαιρας στο Θησείο, λαμβάνοντας δείγμα παράλληλα με εξειδικευμένα όργανα αναφοράς. Στη γραμμή δειγματοληψίας όπου ήταν συνδεδεμένα τα μικροαιθαλόμετρα, τοποθετήθηκε διάταξη ξήρανσης του δείγματος μέσω διάχυσης, διαμέσου κυλίνδρου με κόκκους silica gel, ώστε να εξασφαλίζεται χαμηλή σχετική υγρασία δείγματος (< 40%). Συνολικά, πέντε μικροαιθαλόμετρα συμμετείχαν στη μελέτη χαρακτηρισμού.

Ως όργανα αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν ένα αιθαλόμετρο AE-33 (Magee Scientific) και ένα φωτόμετρο απορρόφησης πολλαπλών γωνιών (MAAP, Thermo Scientific). Τα δύο όργανα είναι συνδεδεμένα με ανεξάρτητες γραμμές δειγματοληψίας κάθε μία εφοδιασμένη με κυκλώνα διαχωρισμού σωματιδίων $PM_{2.5}$.

Η αρχή λειτουργίας του αιθαλομέτρου AE-33 είναι ίδια με εκείνη των φορητών μικροαιθαλομέτρων MA-200. Το AE-33 καταγράφει την εξασθένηση ακτινοβολίας διερχόμενης από φίλτρο όπου συλλέγονται σωματίδια, σε επτά μήκη κύματος (370, 420, 520, 590, 660, 880 και 950 nm). Αντίστοιχα κι εδώ, η μέτρηση στα 880nm παρέχει τη συγκέντρωση BC, ενώ μέσω των μετρήσεων στα 470 και 950 nm, μπορεί να υπολογισθεί η συμμετοχή σωματιδίων από καύση βιομάζας ή καύση ορυκτών καυσίμων στη μετρούμενη συγκέντρωση BC. Το όργανο περιλαμβάνει αυτόματη διόρθωση για την παρατηρούμενη μη γραμμικότητα απόκρισης του, εξαιτίας της συσσώρευσης του συλλεγόμενου δείγματος, μέσω της τεχνικής Dual Spot (Drinovec et al., 2015) ενώ εφαρμόζεται σταθερός συντελεστής διόρθωσης για το συστηματικό σφάλμα εξαιτίας της σκέδασης ακτινοβολίας τόσο από την επιφάνεια του φίλτρου όσο και από τα συλλεγόμενα σωματίδια. Το όργανο πραγματοποιεί δειγματοληψία διαμέσου διάταξης ξήρανσης του εισερχόμενου ατμοσφαιρικού αέρα, αποτελούμενη από κύλινδρο εφοδιασμένο με μεμβράνη nafion. Το όργανο καταγράφει δεδομένα με συχνότητα λεπτού και διακριτική ικανότητα 0.001 μg m^{-3}.

Το φωτόμετρο απορρόφησης MAAP, μετρά την εξασθένηση ακτινοβολίας διαμέσου φίλτρου όπου συλλέγονται σωματίδια, παρόμοια με την αιθαλομετρική τεχνική. Η μέτρηση στο MAAP γίνεται σε ένα μήκος κύματος (637 nm) από όπου γίνεται και ο υπολογισμός της συγκέντρωσης BC στο συλλεγόμενο δείγμα. Το MAAP διαθέτει διόρθωση σε πραγματικό χρόνο για το συστηματικό σφάλμα εξαιτίας της πολλαπλής σκέδασης ακτινοβολίας από τη φιλτροταινία και τα σωματίδια του δείγματος. Συγκεκριμένα, εκτός του αισθητήρα ακτινοβολίας κάτω από τη φιλτροταινία, διαθέτει πέντε επιπλέον αισθητήρες για τη σκεδαζόμενη ακτινοβολία στην πάνω πλευρά της φιλτροταινίας και σε 5 διαφορετικές γωνίες, μετρήσεις των οποίων χρησιμοποιεί για να αποτυπώσει την εξασθένηση που οφείλεται μόνο στην απορρόφηση από το συλλεγόμενο δείγμα. Για το MAAP, ξήρανση του δείγματος επιτυγχάνεται μέσω θερμαινόμενης γραμμής δειγματοληψίας.

Ο συνδυασμός των μετρήσεων από τα δύο όργανα αναφοράς παρέχει πλήρη εικόνα των ιδιοτήτων απορρόφησης των σωματιδίων του αερολύματος, επιτρέποντας έτσι την αξιολόγηση άλλων φωτόμετρων απορρόφησης όπως τα μικροαιθαλόμετρα MA-200. Για την παρούσα μελέτη εφαρμόστηκε μοντέλο απλής γραμμικής παλινδρόμησης για την αξιολόγηση των μετρήσεων BC από τα φορητά όργανα σε σύγκριση με τα όργανα αναφοράς.

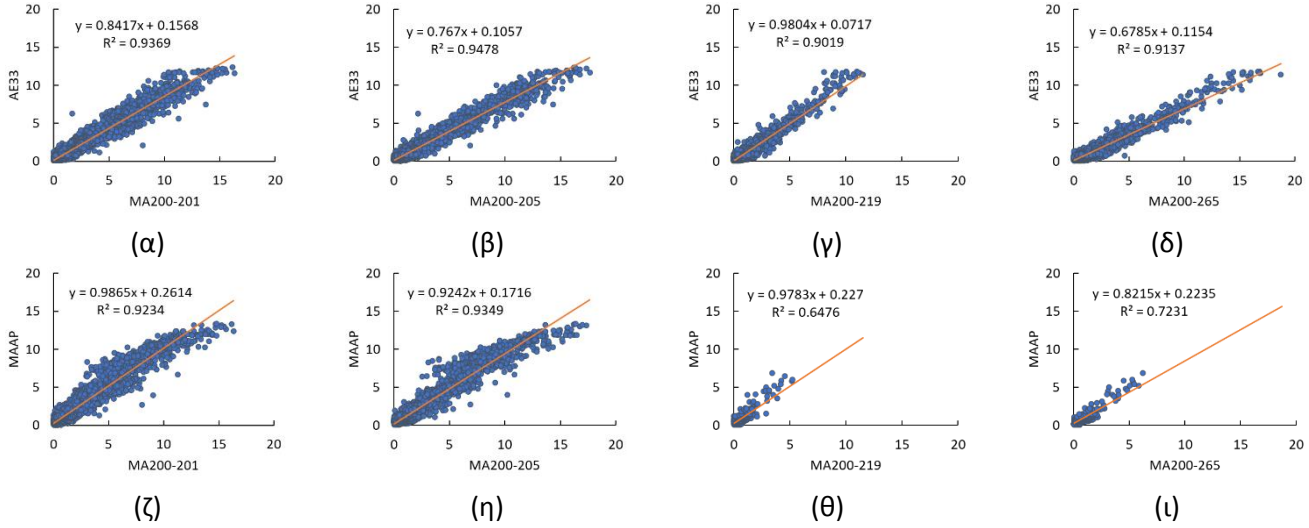
3.2.2 Αποτελέσματα αξιολόγησης

Στις Εικόνες 11 και 12 παρουσιάζεται η σύγκριση συγκεντρώσεων BC όπως μετρήθηκαν από τα μικροαιθαλόμετρα, σε αντιπαραβολή με το αιθαλόμετρο AE-33 και το φωτόμετρο απορρόφησης MAAP για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο μετρήσεων αντίστοιχα. Και για τις δύο περιόδους η γραμμική συσχέτιση βρέθηκε να είναι ισχυρή για την συντριπτική πλειοψηφία ζευγών σύγκρισης.

Συγκεκριμένα για τη χειμερινή περίοδο όλα τα μικροαιθαλόμετρα που ελέγχθηκαν παρουσίασαν υψηλές συσχετίσεις με τις μετρήσεις από το αιθαλόμετρο AE-33 (R^2>0.9). Οι κλίσεις εμφάνισαν μεγαλύτερη διακύμανση

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

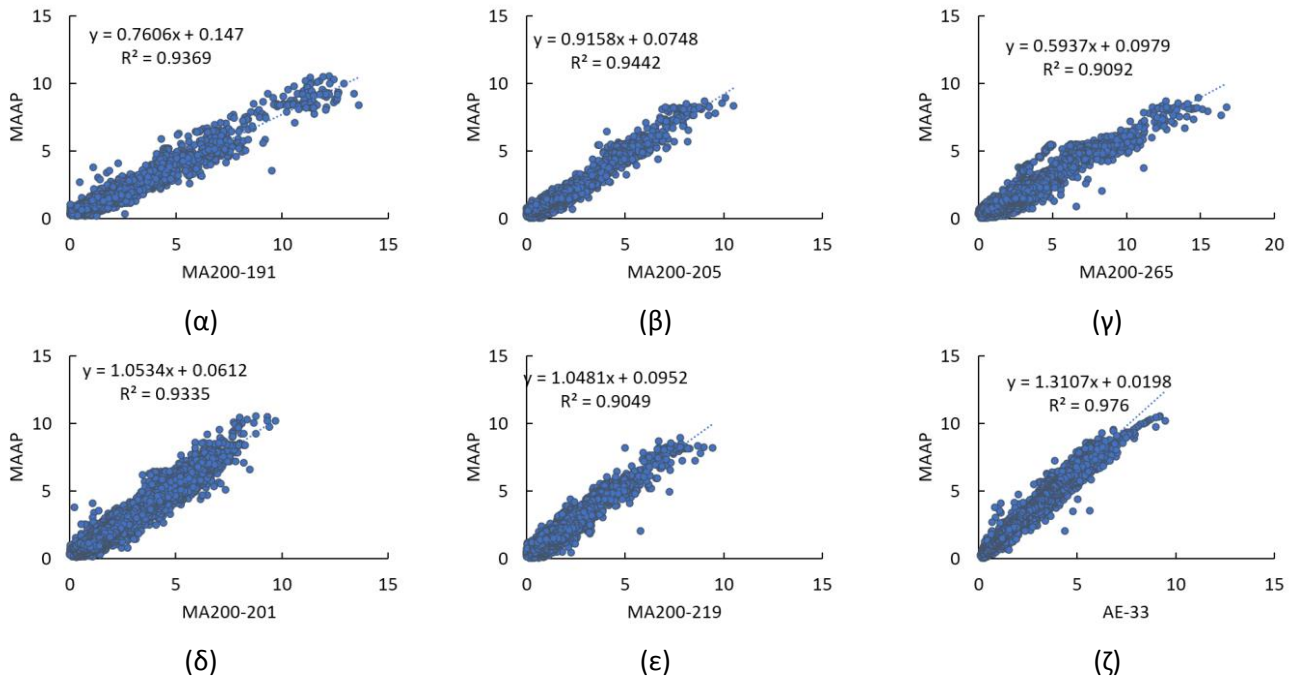
από όργανο σε όργανο, με τα MA-200 να καταγράφουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις BC έως και κατά 33%. Οι αποτέμνουσες σε όλες τις περιπτώσεις βρέθηκαν να είναι αρκετά χαμηλές (Εικόνα 11 α-δ). Από την άλλη όταν η σύγκριση γίνεται με μετρήσεις από το φωτόμετρο απορρόφησης MAAP οι παρατηρούμενες κλίσεις είναι κοντά στη μονάδα ενώ υπολογίζονται ελαφρά μεγαλύτερες θετικές αποτέμνουσες (Εικόνα 11 ε-ι). Στη σύγκριση με το MAAP, για δύο όργανα που η τοποθέτηση τους συμπίπτει με χρονικό διάστημα που το όργανο αναφοράς βρισκόταν σε συντήρηση, παρατηρείται ηπιότερη γραμμική συσχέτιση, γεγονός που αποδίδεται στον περιορισμένο αριθμό δεδομένων. Η διαφοροποίηση των υπολογιζόμενων συντελεστών της απλής γραμμικής παλινδρόμησης στις δύο περιπτώσεις διαφορετικών οργάνων αναφοράς αποδίδεται στη χρήση διαφορετικών συντελεστών διόρθωσης του συστηματικού σφάλματος λόγω πολλαπλής σκέδασης ακτινοβολίας από τα σωματίδια και το υλικό της φιλτροταινίας, που χρησιμοποιείται από τα μικροαιθαλόμετρα MA-200 και το αιθαλόμετρο αναφοράς AE-33. Πρέπει επιπλέον να σημειωθεί πως το αιθαλόμετρο AE33 βρέθηκε να υποεκτιμά τις συγκεντρώσεις BC έναντι του MAAP κατά 32% για τη συγκεκριμένη περίοδο μετρήσεων.



Εικόνα 11: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης στις παράλληλες μετρήσεις BC από τα υπό εξέταση μικροαιθαλόμετρα έναντι του αιθαλομέτρου AE-33 (α-δ) και του φωτόμετρου απορρόφησης MAAP (ζ-ι) για τη χειμερινή περίοδο στο σταθμό του Θησείου.

Για την καλοκαιρινή περίοδο η εικόνα παραμένει παρόμοια. Οι μετρήσεις των μικροαιθαλομέτρων βρέθηκε να έχουν υψηλή γραμμική συσχέτιση με τις μετρήσεις αναφοράς, καταγράφοντας τιμές για τον συντελεστή συσχέτισης R^2 υψηλότερες από 0.9 σε όλες τις περιπτώσεις. Παρατηρώντας την Εικόνα 12 είναι εμφανές ότι υπάρχει σημαντική μεταβλητότητα από όργανο σε όργανο όσον αφορά την κλίση της γραμμικής σχέσης με μετρήσεις από το φωτόμετρο απορρόφησης MAAP. Ενώ τρία από τα όργανα της μελέτης αποκλίνουν κατά 8 % το μέγιστο (Εικόνα 12 β, δ και ε), στα δύο άλλα όργανα καταγράφονται αποκλίσεις τις τάξης του 24 % και 41 % (Εικόνα 12 α, γ). Οι υπολογιζόμενες αποτέμνουσες είναι και για τη θερινή περίοδο χαμηλές, πολύ κοντά στο μηδέν. Η καταγεγραμμένη αυτή συμπεριφορά των μικροαιθαλομέτρων καταδεικνύει την ανάγκη για τέτοιες συγκρίσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να παρακολουθείται η συμφωνία των μετρήσεων των φορητών οργάνων με εκείνες από όργανα αναφοράς. Είναι όμως εφικτό και ενδεχομένως επιβεβλημένο, σε περιπτώσεις που η καταγεγραμμένη απόκλιση είναι αρκετά υψηλή, να πραγματοποιείται διόρθωση των μετρούμενων παραμέτρων από τα φορητά μικροαιθαλόμετρα μέσω της εφαρμογής γραμμικών συντελεστών διόρθωσης.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη



Εικόνα 12: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης στις παράλληλες μετρήσεις BC από τα υπό εξέταση μικροαιθαλόμετρα έναντι του φωτόμετρου απορρόφησης MAAP (α-ε) καθώς και σύγκριση των δύο οργάνων αναφοράς (ζ) για την θερινή περίοδο στο σταθμό του Θησείου.

4 Προϊόντα και υπηρεσίες υψηλής ποιότητας και καινοτομίας

4.1 Πανελλαδικό δίκτυο σταθμών μέτρησης σωματιδιακής ατμοσφαιρικής ρύπανσης

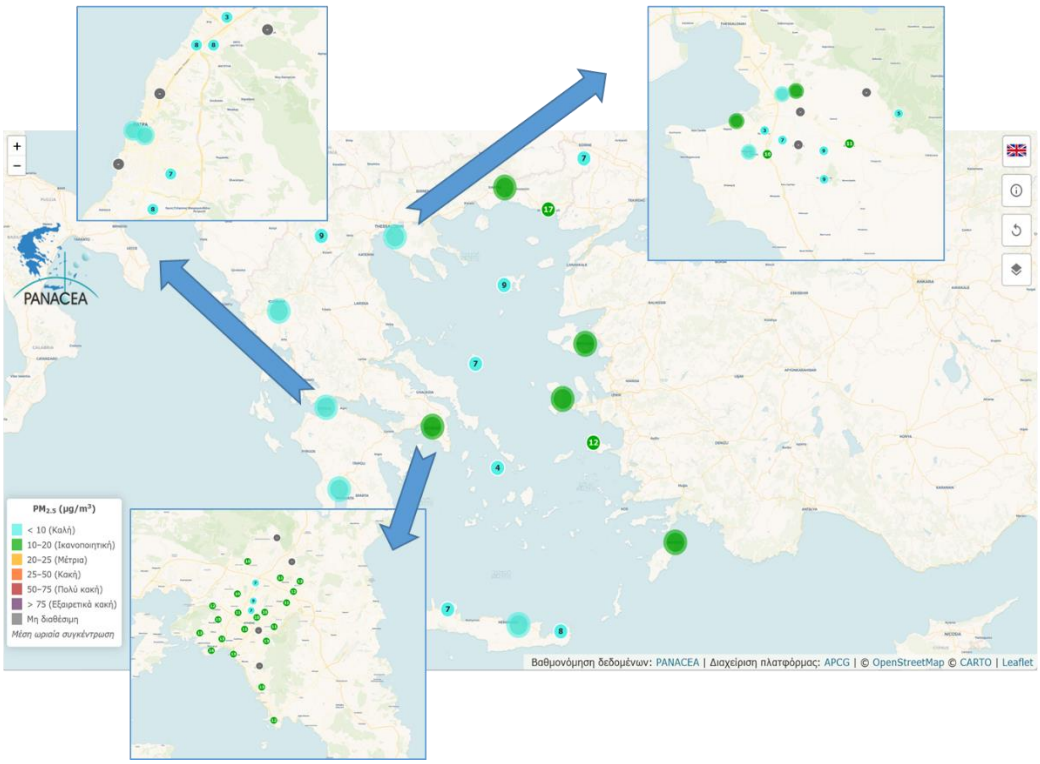
Το δίκτυο παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) λειτουργεί το δίκτυο σταθμών στην περιοχή Αττική και ένα σταθμό στην Αλίαρτο Βοιωτίας για τις ανάγκες του Προγράμματος Διασυνοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης. Σε περιορισμένες θέσεις στην Ελλάδα τους επιπλέον σταθμούς λειτουργούν οι περιφερειακές διοικήσεις. Στην Αττική, το 2015, με πόρους του ΕΣΠΑ 2007-2013 στο πλαίσιο του ΕΠΠΕΡΑΑ αναβαθμίσθηκαν οι υπάρχοντες σταθμοί του ΕΔΠΑΡ με νέους αναλυτές μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πιστοποιημένους σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα και παράλληλα αυξήθηκαν οι θέσεις μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10} και $PM_{2.5}$) και βενζολίου. Στο Λεκανοπέδιο Αττικής βρίσκονται σε λειτουργία 7 σταθμοί του ΕΔΠΑΡ που έχουν την δυνατότητα μέτρησης των $PM_{2.5}$, στις περιοχές Αριστοτέλους, Λυκόβρυση, Πειραιά, Αγ. Παρασκευή, Ελευσίνα, Θρακομακεδόνες και Γουδή.

Στο πλαίσιο της PANACEA αναπτύχθηκε μια συμπληρωματική και ανεξάρτητη υποδομή καταγραφής και παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αναφορικά με τα αιωρούμενα σωματίδια ($PM_{2.5}$), με την χρήση αισθητήρων χαμηλού κόστους (monitor PA-II & PA-II-SD) της εταιρείας PurpleAir, που σήμερα αριθμεί περί τους 100 σταθμούς σε όλη την Ελλάδα, με ιδιαίτερη πύκνωση στις περιοχές της Αθήνας-Αττικής της Πάτρας και της Θέρμης-Θεσσαλονίκη (Πίνακας 1, Εικόνα 13).

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Πίνακας 1. Γεωγραφική κατανομή θέσεων μέτρησης

Περιοχή	Πλήθος	Περιοχή	Πλήθος	Περιοχή	Πλήθος
Αττική	28	Άγιος Νικόλαος	1	Μύρινα	1
Πάτρα	16	Νεάπολη Λασιθ.	1	Σκύρος	1
Ιωάννινα	3	Φινοκαλιά	1	Πτολεμαΐδα	1
Άρτα	1	Ερμούπολη	1	Θέρμη	20
Καλαμάτα	3	Ρόδος	2	Ξάνθη	2
Ηράκλειο	1	Καρλόβασι	1	Κομοτηνή	1
Χανιά	1	Χίος	2	Αλεξανδρούπολη	1
Ρέθυμνο	1	Μυτιλήνη	2	Ορεστιάδα	1



Εικόνα 13: Υφιστάμενη γεωγραφική κατανομή των θέσεων μέτρησης του δικτύου PANACEA. Τα εσωτερικά παράθυρου αφορούν στις περιοχές με ιδιαίτερη πύκνωση, Αθήνας-Αττική, Πάτρα και Θέρμη-Θεσσαλονίκη.

Οι αισθητήρες είναι εγκατεστημένοι σε θέσεις μέτρησης διαφόρων τύπων (κυκλοφορίας, αστικές υποβάθρου, περιαστικού υποβάθρου, υποβάθρου περιοχής). Μεγαλύτερη έμφαση έχει δοθεί στις θέσεις αστικού και περιαστικού υποβάθρου σε οικιστικές περιοχές, καθώς είναι πιο αντιπροσωπευτικές για την έκθεση του πληθυσμού σε λεπτά αιωρούμενα σωματίδια (Εικόνα 14).

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Εικόνα 14: Ενδεικτικές φωτογραφίες από τα σημεία εγκατάστασης.

Την ανάπτυξη και λειτουργία του δικτύου, στο πλαίσιο της PANACEA και με επιδίωξη συνεργειών με άλλες παράλληλες δράσεις, συνεργάστηκαν οι ακόλουθοι φορείς:

α/α	Συμβάλλων φορέας στο δίκτυο αισθητήρων
1	Ομάδα Ατμοσφαιρικής Φυσικής και Χημείας (APCG), Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
	Η Ομάδα Ατμοσφαιρικής Φυσικής και Χημείας του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, επιβλέπει συνολικά τη λειτουργία της διαδικτυακής πλατφόρμας. Επιπλέον, υπό τη διαχείριση της ομάδας, έχουν εγκατασταθεί όργανα μέτρησης στο Λεκανοπέδιο Αττικής, στα Ιωάννινα, στην Ξάνθη, στο Νάυπλιο, στην Πτολεμαΐδα, στη Μυτιλήνη, στη Ρόδο, καθώς και στο Πανελλήνιο Γεωφυσικό Παρατηρητήριο, στα Αντικύθηρα (PANGEA). Σε αυτό το πλαίσιο, η ομάδα συνεργάζεται στενά με το τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
2	Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας, δίκτυο Αιθέρας (AETHER) του Πανεπιστημίου Πατρών
	Το δίκτυο Αιθέρας και το Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας του Πανεπιστημίου Πατρών (ΕΦΑΠ2) εποπτεύει τα όργανα μέτρησης στην Πάτρα, στη Ναύπακτο, στον Δήμο Θέρμης στη Θεσσαλονίκη, στη Μεσσηνία, στη Σκύρο και στην Ορεστιάδα. Συγκεκριμένα, το δίκτυο της Περιφέρειας Πελοποννήσου υλοποιείται και τελεί υπό τη διαχείριση της «teleDOS Πυρηνική» (Εργαστήρια teleDOS – Πυρηνικής Τεχνολογίας-Μετρολογίας, Ακτινοπροστασίας & Περιβάλλοντος) σε συνεργασία με το ΕΦΑΠ2 και χρηματοδοτείται εν μέρει από την Περιφέρεια Πελοποννήσου.
3	Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Χημικών Διεργασιών (ΕΠΕΧΗΔΙ), Πανεπιστήμιο Κρήτης
	Το ΕΠΕΧΗΔΙ διαχειρίζεται τα όργανα μέτρησης στην Κρήτη.
4	Παρατηρητήριο Αέριας και Σωματιδιακής Ρύπανσης (AirPaP), Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
	Η ομάδα AirPaP έχει υπό την εποπτεία της έξι όργανα μέτρησης στην περιοχή της Αθήνας.
5	Εργαστήριο Μεταφορών και Λήψης Αποφάσεων (ΕΜΛΑ / TRANSDEM), Τμήμα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
	Το Πανεπιστήμιο Αιγαίου προμηθεύτηκε και διαχειρίζεται τα όργανα μέτρησης στα νησιά Λήμνος, Λέσβος, Χίος, Σάμος, Σύρος και Ρόδος, στο πλαίσιο της "Ευφυούς ερευνητικής υποδομής για τη ναυτιλία, τις μεταφορές και την εφοδιαστική αλυσίδα Plus" (EN.I.R.I.S.S.T.+).
6	Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
	Το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης διαχειρίζεται τα όργανα μέτρησης σε Κομοτηνή και Αλεξανδρούπολη.
7	Μονάδα Τηλεπισκόπησης LASER (LRSU), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
	Η Μονάδα Τηλεπισκόπησης Laser συμμετέχει με τη διαχείριση οργάνων μέτρησης στην Αθήνα, στους χώρους του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

4.2 Πληροφοριακό σύστημα ΠΑΝΑΚΕΙΑ και πλατφόρμα υπηρεσίας air-quality.gr

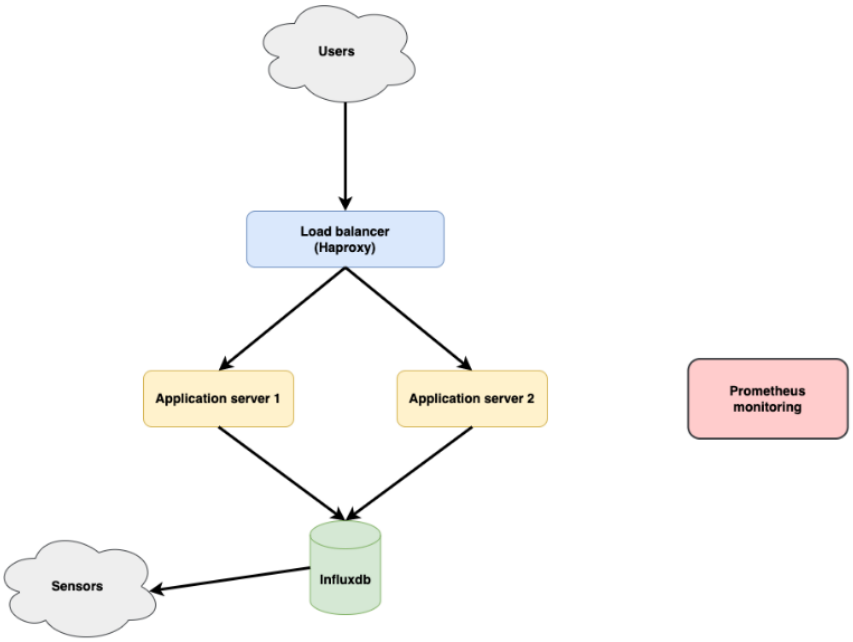
4.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Για τη χαρτογραφική αποτύπωση του δικτύου παρακολούθησης συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2.5}$ της PANACEA, σχεδιάσθηκε και υλοποιήθηκε, από το ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Κρήτης, ένα ολοκληρωμένο πληροφοριακό σύστημα, το οποίο εξυπηρετεί τη λειτουργία της διαδικτυακής πλατφόρμας air-quality.gr. Η πλατφόρμα συλλέγει και οπτικοποιεί τα δεδομένα του πανελλαδικού δικτύου των αισθητήρων της PurpleAir στην Ελλάδα παρέχοντας μια ελεύθερη υπηρεσία προς το κοινό.

Τα δεδομένα που συλλέγονται in situ από τους αισθητήρες μεταδίδονται αρχικά μέσω δικτύου Wi-Fi στην διαδικτυακή πλατφόρμα της εταιρείας PurpleAir, όπου και αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων. Προκειμένου να καθίσταται δυνατή ή λήψη δεδομένων από τους χρήστες των αισθητήρων, και σε συνεργασία με την εαταιρεία πάροχο, έχει αναπτυχθεί το PurpleAir Sensor API, το οποίο βασίζεται στις αρχές REST που χρησιμοποιούν τις ακόλουθες κλασικές μεθόδους HTTP (GET, POST, PUT, DELETE). Η διαχείριση των δεδομένων και η επεξεργασία τους ώστε τελικά να καταλήξουν στη χαρτογραφική πλατφόρμα οπτικοποίησης στηρίζεται σε ένα πληροφοριακό σύστημα, το οποίο αποτελείται από ανεπτυγμένα λογισμικά, βάσεις δεδομένων και μια ψηφιακή υποδομή με Virtual Machines (VMs).

4.2.2 Αρχιτεκτονική πληροφοριακού συστήματος

Η αρχιτεκτονική του πληροφοριακού συστήματος της PANACEA αποτυπώνεται στην Εικόνα 15.



Εικόνα 15: *Virtual υποδομή πληροφοριακού συστήματος ΠΑΝΑΚΕΙΑ*

Πιο συγκεκριμένα η υποδομή φιλοξενείται σε 5 VMs, το καθένα με διαφορετικά χαρακτηριστικά και λειτουργία:

- **VM1 -** βρίσκεται η βάση δεδομένων μέτρησης, που συλλέγει τα πρωτογενή δεδομένα των αισθητήρων από το API της PurpleAir. Επίσης στο ίδιο VM βρίσκεται και η βάση δεδομένων με τα στοιχεία των διαφορετικών αισθητήρων και των θέσεων μέτρησης. Το συγκεκριμένο VM έχει 4 CPU cores και RAM 16 GiB.

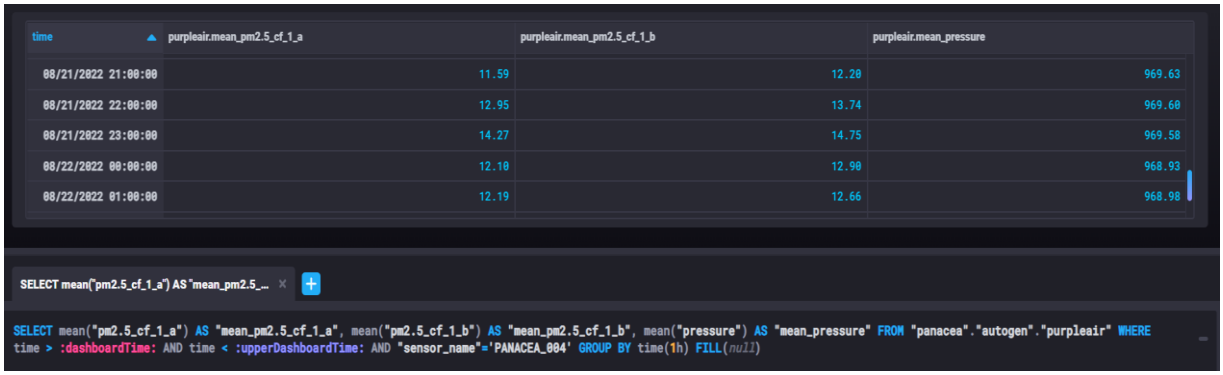
Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

- **VM 2&3 -** φιλοξενούν τους application servers 1 και 2. Τα VM αυτά έχουν ακριβώς τον ίδιο κώδικα για το λογισμικό που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες του συστήματος. Ο σκοπός του διαχωρισμού είναι να μπορεί να διαμοιράζεται ο φόρτος μεταξύ των δύο application servers, ώστε να μην υπάρχει υπέρμετρη επιβάρυνση των υπολογιστικών απαιτήσεων σε περίπτωση έντονα αυξημένης επισκεψιμότητας στην πλατφόρμα (π.χ. κατά την περίοδο πυρκαγιών ή άλλων επεισοδίων ρύπανσης). Καθένα από τα VM των application servers έχει 8 CPU cores και RAM 4 GiB.
- **VM4 -** Πριν από τους 2 application servers έχει τοποθετηθεί ένα VM με έναν load balancer (HAProxy). Ο load balancer βοηθά στην διαχείριση της επισκεψιμότητας στον ιστό και στην αποφυγή της πιθανής διακοπής της υπηρεσίας. Στην πράξη, με χρήση round-robin αλγόριθμου (τυχαία κατανομή των requests) διαμοιράζει τα αιτήματα πρόσβασης σε έναν από τους 2 application servers. Τα χαρακτηριστικά του VM είναι 2 CPU cores 2 και RAM 2 GiB.
- **VM5 -** Τέλος ένα side VM φιλοξενεί ένα monitor software (Prometheus monitoring), ώστε να παρακολουθεί πως συμπεριφέρονται τα υπόλοιπα τμήματα του πληροφοριακού συστήματος και αν υπάρχει κάποιο λειτουργικό πρόβλημα. Επίσης παρέχει στατιστικά για τη χρήση της πλατφόρμας, το πλήθος των επισκεπτών κ.α. Τα χαρακτηριστικά του VM είναι 2 CPU cores και RAM 4 GiB.

4.2.3 Λειτουργία Πλατφόρμας

Βάση δεδομένων

Το πληροφοριακό σύστημα της PANACEA πραγματοποιεί προγραμματισμένα API calls για κάθε αισθητήρα του δικτύου, ανά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ώστε να συλλέγονται τα δεδομένα μέτρησης και να αποθηκεύονται σε μια νέα βάση δεδομένων χρονοσειρών τύπου InfluxDB. Η InfluxDB είναι μια βάση δεδομένων χρονοσειρών ανοιχτού κώδικα. Είναι γραμμένη στη γλώσσα προγραμματισμού Go και χρησιμοποιείται για αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων χρονοσειρών. Αυτό την καθιστά ιδανική για την περίπτωση της αποθήκευσης των δεδομένων του δικτύου, καθώς όλες οι μετρήσεις συνδέονται με συγκεκριμένη χρονική σήμανση (time-stamp) (Εικόνα 16).



time	purpleair.mean_pm2.5_cf_1_a	purpleair.mean_pm2.5_cf_1_b	purpleair.mean_pressure
08/21/2022 21:00:00	11.59	12.20	969.63
08/21/2022 22:00:00	12.95	13.74	969.60
08/21/2022 23:00:00	14.27	14.75	969.58
08/22/2022 00:00:00	12.10	12.90	968.93
08/22/2022 01:00:00	12.19	12.66	968.98

SELECT mean("pm2.5_cf_1_a") AS "mean_pm2.5_...

```
SELECT mean("pm2.5_cf_1_a") AS "mean_pm2.5_cf_1_a", mean("pm2.5_cf_1_b") AS "mean_pm2.5_cf_1_b", mean("pressure") AS "mean_pressure" FROM "panacea"."autogen"."purpleair" WHERE
time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: AND "sensor_name"='PANACEA_004' GROUP BY time(1h) FILL(null)
```

Εικόνα 16: *Λήψη δεδομένων δικτύου ΠΑΝΑΚΕΙΑ μέσω API call σε InfluxDB*

Backend

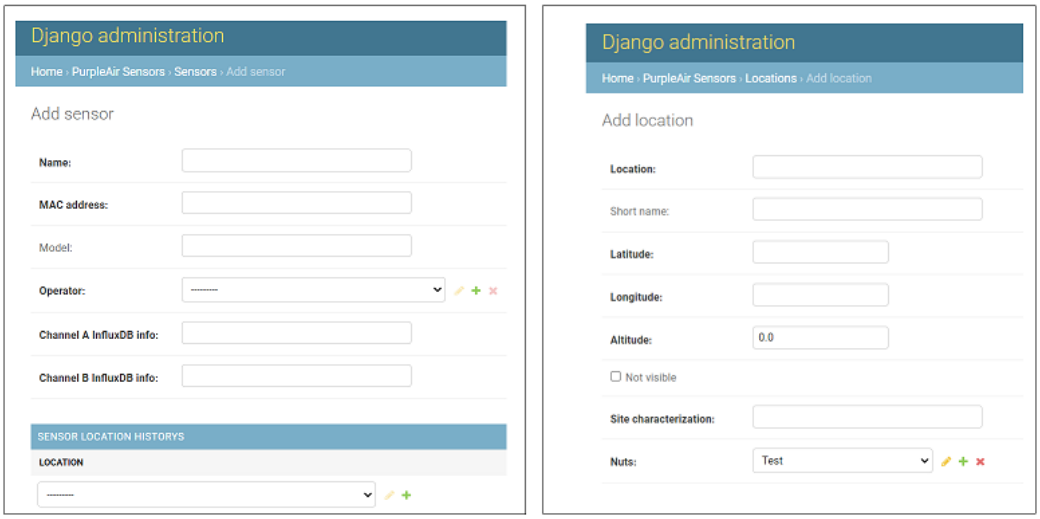
Για την επικοινωνία με τη βάση δεδομένων και την υποστήριξη της διαδικτυακής πλατφόρμας (επεξεργασία δεδομένων, παραμετροποίηση δεδομένων θέσεων μέτρησης κλπ.) έχει αναπτυχθεί ένα επίπεδο πρόσβασης

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

δεδομένων (backend) του λογισμικού, με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Python και συγκεκριμένα αξιοποιώντας το Django web-framework.

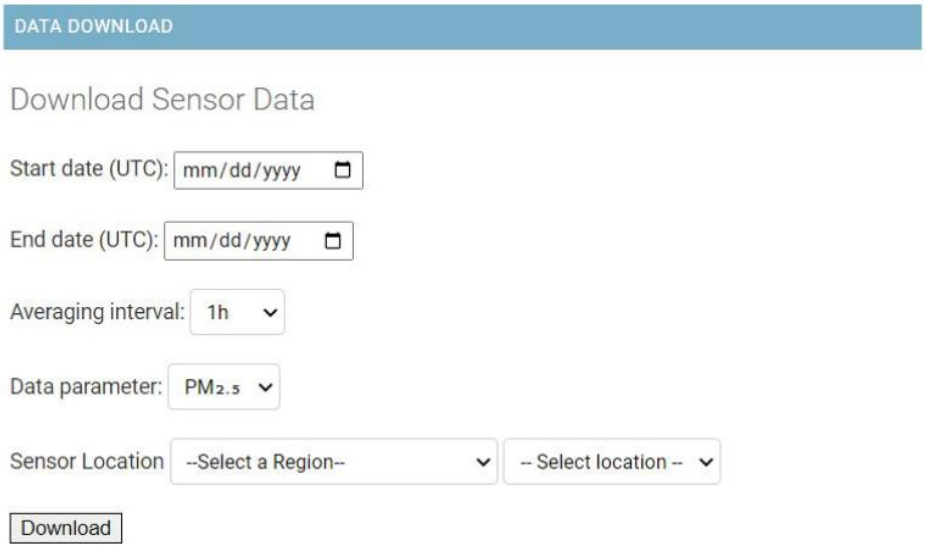
Το Django ακολουθεί το αρχιτεκτονικό μοτίβο μοντέλου-προτύπου-προβολών (MTV). Πιο συγκεκριμένα, μοντέλα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά έχουν δημιουργηθεί για τα διάφορα στοιχεία τις πλατφόρμας (αισθητήρες, θέσεις μέτρησης, μέθοδοι βαθμονόμησης, ιστορικά δεδομένα κ.α.). Τα μοντέλα σχετίζονται μεταξύ τους με διαφορετικά είδη σχέσεων. Για παράδειγμα, το μοντέλο που έχει δημιουργηθεί για τους αισθητήρες (Εικόνα 16, αριστερά) σχετίζεται με το μοντέλο που έχει δημιουργηθεί για τις θέσεις μέτρησης (Εικόνα 16, δεξιά), έτσι ώστε ένας αισθητήρας να μπορεί να βρίσκεται μόνο σε μια θέση και αντίστοιχα μια τοποθεσία να μπορεί να φιλοξενεί έναν μόνο αισθητήρα ανά πάσα στιγμή (αν και υποστηρίζεται η λειτουργία αλλαγής αισθητήρων, με πλήρεις επιλογές αρχειοθέτησης και πρόσβασης σε ιστορικά δεδομένα). Οι συνδέσεις μεταξύ των μοντέλων εξυπηρετούν την πιο ομαλή λειτουργία της πλατφόρμας, την ευκρινέστερη δομή του δικτύου των αισθητήρων καθώς και την υποστήριξη μεταδεδομένων.

Πρόσθετα μοντέλα επιτρέπουν την αυτόματη βαθμονόμηση των δεδομένων $PM_{2.5}$, με βάση τις μονο-μεταβλητές ή πολυμεταβλητές εξισώσεις που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, ώστε να καταλήγουν στην πλατφόρμα διορθωμένα και να αποφεύγονται σημαντικές παρανοήσεις του κοινού σχετικά με το πραγματικό μέγεθός των συγκεντρώσεων. Επίσης, μέσω του backend, είναι δυνατή η πρόσβαση των διαχειριστών και εξουσιοδοτημένων χρηστών σε διορθωμένα ιστορικά δεδομένα από τους αισθητήρες του δικτύου, με διάφορα χρονικά διαστήματα στάθμισης, καθώς και πλήρη μεταδεδομένα (Εικόνα 18).



Εικόνα 17: *Δήλωση δεδομένων αισθητήρων και θέσεων μέτρησης στο backend του πληροφοριακού συστήματος*

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη



Εικόνα 18: *Επιλογές μεταφόρτωσης δεδομένων μέσω του backend του πληροφοριακού συστήματος*

Web API

Ένα Web API έχει αναπτυχθεί με χρήση του Django REST framework. Σκοπός του είναι η επικοινωνία με τη βάση δεδομένων (InfluxDB), και η ανάκτηση, επεξεργασία και παροχή των δεδομένων σε json format, έτσι ώστε να είναι προσβάσιμα από το frontend της πλατφόρμας. Η Εικόνα 19 παρέχει ένα παράδειγμα παροχής των ωριαίων δεδομένων για έναν αισθητήρα του δικτύου. Διαφορετικά end-points του API έχουν δημιουργηθεί, έτσι ώστε να καθίστανται δυνατές οι διάφορες λειτουργικότητες της πλατφόρμας (ιστορικό μετρήσεων, γραφήματα με εβδομαδιαία δεδομένα, ωριαίες τιμές κ.α.).

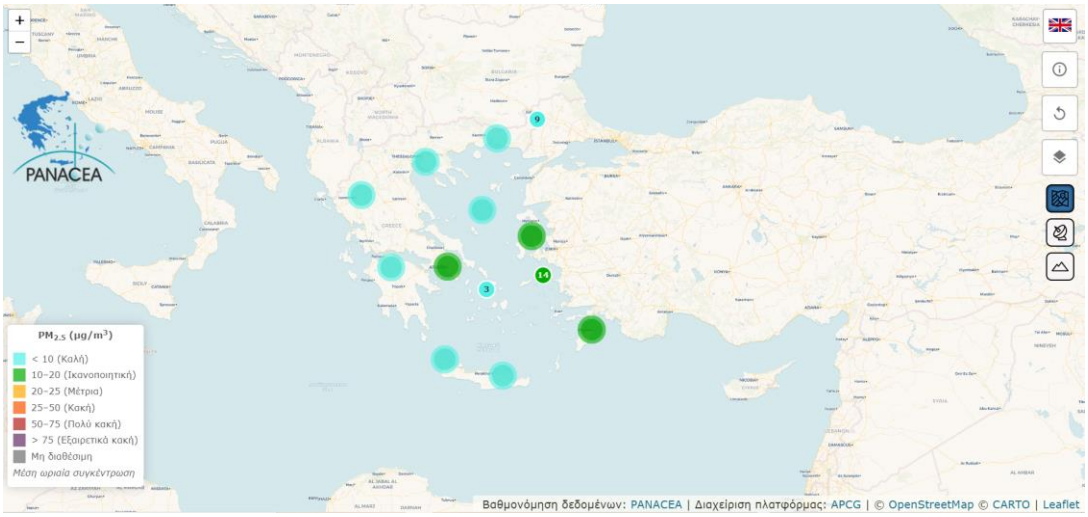

```
HTTP 200 OK
Allow: GET, PUT, PATCH, DELETE, HEAD, OPTIONS
Content-Type: application/json
Vary: Accept

{
    "id": 58,
    "name": "Orestiada",
    "locations": [
        {
            "id": 54,
            "name": "Orestiada",
            "short_name": "Orestiada",
            "latitude": 41.504709,
            "longitude": 26.530298,
            "altitude": 45.4,
            "notvisible": false,
            "characterization": "Urban Background",
            "nuts": 14
        }
    ],
    "pm25_value": 9.29856,
    "temp_value": 26.48,
    "hum_value": 82.26,
    "last_24h": 8.85074515151515
}
```


Εικόνα 19: *Διεπαφή μέσω Web API*

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Frontend

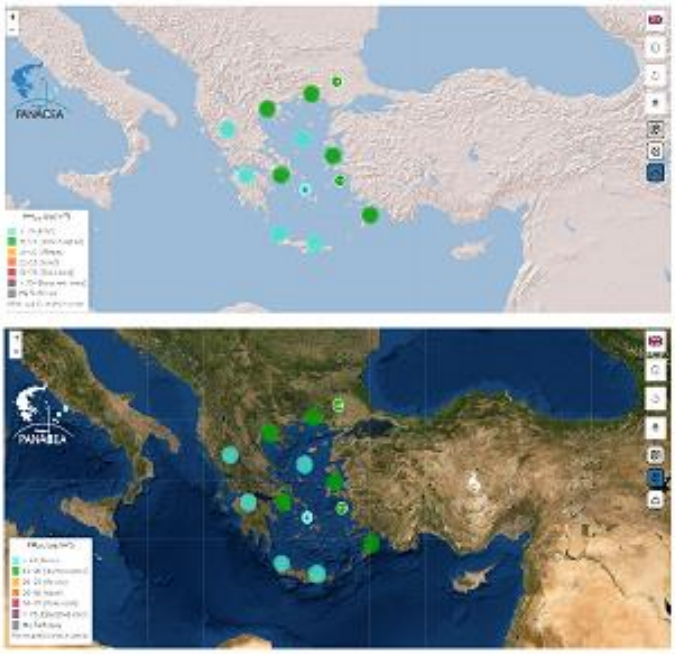
Για τη χαρτογραφική οπτικοποίηση των δεδομένων στη διαδικτυακή πλατφόρμα air-quality.gr, η οποία είναι ελεύθερα προσβάσιμη στο κοινό, έχει αναπτυχθεί ένα επίπεδο λογισμικού frontend, με χρήση της δημοφιλούς open-source Java βιβλιοθήκης React. Η βιβλιοθήκη React αποτελείται από διαφορετικά συστατικά στοιχεία (components), τα οποία συνδυαστικά συνθέτουν το τελικό οπτικό-λειτουργικό αποτέλεσμα που βλέπει ο χρήστης. Η Εικόνα 20 απεικονίζει το GIS περιβάλλον στο οποίο πλοηγείται ο τελικός χρήστης της πλατφόρμας του air-quality.gr. Συγκεκριμένα, η πλατφόρμα στηρίζεται σε ένα χαρτογραφικό υπόβαθρο όπου αποτυπώνονται ωριαία οι συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$ στις θέσεις μέτρησης του δικτύου. Τα δεδομένα παρέχονται κατά βάση με χρωματικό δείκτη ποιότητας του αέρα για την πιο εύληπτη μεταφορά πληροφορίας στον μη-ειδικό χρήστη. Η κατηγοριοποίηση της ποιότητας του αέρα ανάλογα με τις συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$ γίνεται κατά το πρότυπο της EEA. Η μέση ωριαία συγκέντρωση παρέχεται και αριθμητικά με hover πάνω από την κάθε θέση μέτρησης. Όλες οι πρόσθετες-λειτουργίες και επιλογές πραγματοποιούνται μέσω clickable buttons και pop-up windows, χωρίς να εξέρχεται ο χρήστης από το περιβάλλον της πλατφόρμας.



Εικόνα 20: *Κεντρική οθόνη πλατφόρμας air-quality.gr*

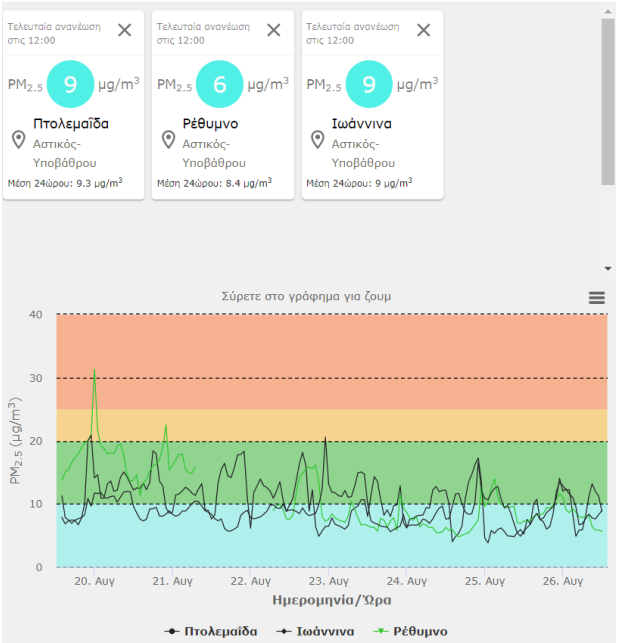
Χάρτες και υπόβαθρα από open-source βιβλιοθήκες και ανοιχτές βάσεις δεδομένων όπως η leaflet, το OpenStreetMap και η CARTO παρέχονται για επιλογή στον χρήστη (Εικόνα 21).

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη



Εικόνα 21: *Πλατφόρμα air-quality.gr με διάφορα χαρτογραφικά υπόβαθρα*

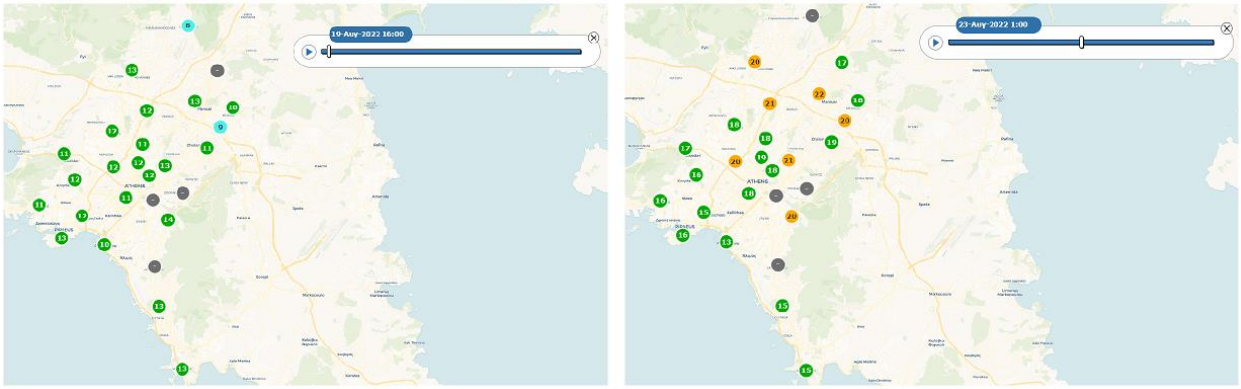
Παρέχονται επίσης γραφήματα με τις εβδομαδιαίες συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$ των διάφορων αισθητήρων (ωριαία δεδομένα), καθώς και η τρέχουσα ωριαία αλλά και η μέση κυλιόμενη συγκέντρωση 24-ώρου, μαζί με τα χαρακτηριστικά της θέσης μέτρησης. Είναι δυνατή η σύγκριση μέχρι 8 σταθμών (Εικόνα 22).



Εικόνα 22: *Σύγκριση πολλαπλών θέσεων μέτρησης (Πτολεμαΐδα, Ιωάννινα, Ρέθυμνο).*

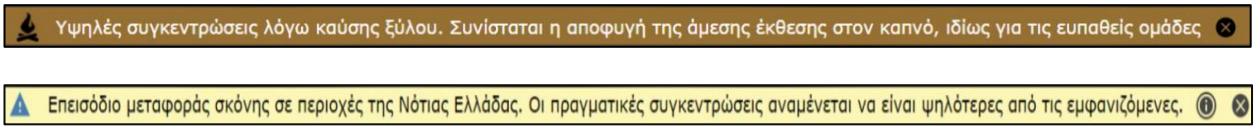
Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Η χαρτογραφική ιστορική αναδρομή σε ωριαίες συγκεντρώσεις της τελευταίας εβδομάδας είναι επίσης διαθέσιμη (Εικόνα 23) και ο χάρτης ανανεώνεται με τις αντίστοιχες ωριαίες συγκεντρώσεις (είναι δυνατή επίσης η προβολή χρονικής αλληλουχίας χαρτών).



Εικόνα 23: *Προβολή ιστορικού*

Τέλος, κατά τη διάρκεια έκτακτων περιστατικών προβάλλονται στο άνω τμήμα της σελίδας banners με κατάλληλες ειδοποιήσεις προς το κοινό (Εικόνα 24). Η πρώτη περίπτωση αφορά την περίπτωση περιαστικών δασικών πυρκαγιών, με την ειδοποίηση να συνιστά στους χρήστες, που βρίσκονται πλησίον της περιοχής εκδήλωσης, το περιορισμό της έκθεσης τους σε εξωτερικούς χώρους. Η δεύτερη περίπτωση αφορά σε έντονα περιστατικά μεταφοράς Αφρικανικής σκόνης, όπου δίδεται προειδοποίηση ότι οι εμφανιζόμενες συγκεντρώσεις είναι πιθανό να υπολείπονται από τις πραγματικές, καθώς η αδυναμία ακριβούς μέτρησης των ενδιάμεσου μεγέθους (1-2.5 μm) σωματιδίων σκόνης αποτελεί έναν εγγενή περιορισμό των αισθητήρων PurpleAir. Η εισαγωγή του κειμένου (ανάλογα με την περιοχή ενδιαφέροντος) και η εντολή για την εμφάνιση των banners παρέχεται από τον διαχειριστή μέσω του backend. Αντίστοιχα banners μπορούν να αναρτώνται σε περιπτώσεις βιομηχανικών ατυχημάτων ή κατά τη διάρκεια χειμερινών επεισοδίων καύσης βιομάζας όπου τυπικά παρατηρούνται βραχυπρόθεσμα ακραίες συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$.



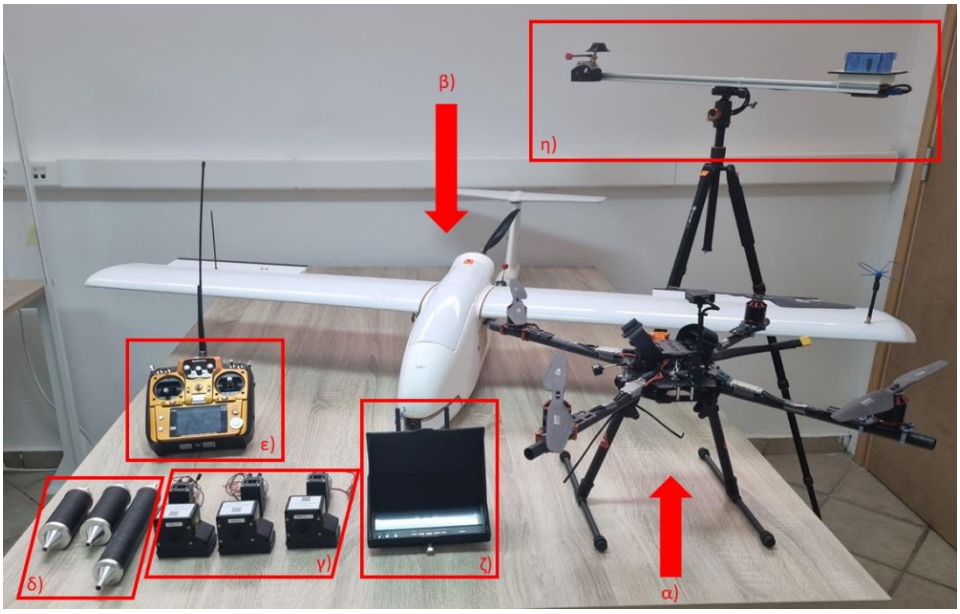
Εικόνα 24: *Ειδοποιήσεις προς το κοινό (banners).*

4.3 Στόλος μη Επανδρωμένων Εναέριων Συστημάτων (Unmanned Aerial Systems, UAS)

Με σκοπό την αναβάθμιση των δυνατοτήτων παρακολούθησης των ιδιοτήτων του ατμοσφαιρικού αερολύματος, στα πλαίσια του έργου αποκτήθηκαν UAS δύο διαφορετικών τύπων, προσαρμοσμένων σε διαφορετικές ανάγκες παρατήρησης. Συγκεκριμένα, για ανάγκες πτήσης και καταγραφής της κατακόρυφης κατανομής του μεγέθους υπό μελέτη, σε περιοχές με περιορισμένη δυνατότητα χώρου για απογείωση και προσγείωση επιλέχθηκε UAS τύπου ελικοπτέρου με τέσσερις έλικες (τετρακόπτερο, quad-copter; Εικόνα 25α) με δυνατότητα κάθετης απογείωσης και προσγείωσης. Για άλλες εφαρμογές, όπου σημαντικό ρόλο παίζει η μεγαλύτερη δυνατή περιοχή κάλυψης αλλά και η αυξημένες δυνατότητες φορτίου, επιλέχθηκαν δύο αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας (Εικόνα 25β), που όμως διατηρούν ευελιξία μέσω έξυπνων τρόπων απογείωσης (hand launch) αλλά και προσγείωσης (προσγείωση σε δίχτυ). Τα αεροσκάφη συνοδεύονται από τον απαραίτητο εξοπλισμό για τον τηλεχειρισμό και έλεγχό τους κατά

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

την πτήση (Εικόνες 25 ε,ζ,η). Η χειροκίνητη μονάδα τηλεχειρισμού και ο επίγειος σταθμός ελέγχου των αεροσκαφών, που αποτελείται από υπολογιστή και τα κατάλληλα modem και κεραίες επικοινωνίας, είναι κοινός και για τα δύο τύπων συστήματα.



Εικόνα 25: *Ενδεικτική εικόνα με τα κύρια μέρη του εξοπλισμού που αποκτήθηκε στα πλαίσια του έργου. α) Το αεροσκάφος σταθερής πτέρυγας, β) το τετρακόπτερο, γ) οι προσαρμοσμένοι οπτικοί καταμετρητές σωματιδίων OPC-N3, δ) οι διατάξεις ξήρανσης δείγματος, ε) η μονάδα τηλεχειρισμού, ζ) η οθόνη μετάδοσης βίντεο και η) ο ιστός με τις διατάξεις τηλεπικοινωνιών.*

4.3.1 Τετρακόπτερο UAS

Το μη επανδρωμένο αεροσκάφος κάθετης προσγείωσης/απογείωσης με τέσσερις έλικες, όπως φαίνεται στην Εκόνα 25β είναι κατασκευασμένο από ανθρακονήματα, με βάρος 3 kg, ενώ έχει μέγιστο ύψος πτητικής λειτουργίας το 1 km. Διαθέτει δυνατότητα αυτόματης πλοήγησης με σύστημα αυτόματου πιλότου και χρήση παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού στίγματος (GPS), πέραν της δυνατότητας χειροκίνητου ελέγχου. Υποστηρίζει τηλεμετρία σε πραγματικό χρόνο, ενώ είναι εφοδιασμένο με κάμερα για καταγραφή και αποστολή βίντεο στον χειριστή. Εκτελεί προκαθορισμένο σχέδιο πτήσης με αυτόματη απογείωση και προσγείωση, ενώ υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής του σχεδίου πτήσης σε πραγματικό χρόνο. Κατά τη διάρκεια της πτήσης αποστέλλει σε πραγματικό χρόνο επίσης δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας, μπορεί να φιλοξενήσει διάταξη ξήρανσης ατμοσφαιρικού δείγματος (Εκόνα 24δ) ενώ έχει εγκατεστημένο σύστημα ισοκινητικής δειγματοληψίας ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων. Μπορεί να φιλοξενήσει είτε το μικροαιθαλόμετρο MA-200, είτε τον οπτικό καταμετρητή σωματιδίων OPC-N3, ενώ αποστέλλει δεδομένα από τις μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο στον χειριστή.

4.3.2 UAS σταθερής πτέρυγας

Τα UAS σταθερής πτέρυγας, είναι αεροσκάφη με άνοιγμα πτερύγων στα 1.9 m, κατασκευασμένα από ελαφρύ υλικό, χαμηλού κόστους. Το συνολικό τους βάρος είναι περίπου 4 kg και εξαιτίας αυτού, μπορούν να απογειωθούν εύκολα με χειροκίνητη ρίψη (hand launch) αλλά και να προσγειωθούν, σε συνθήκες έλλειψης κατάλληλου διαδρόμου προσγείωσης, πάνω σε κατάλληλα διαμορφωμένο κάθετο δίχτυ. Διαθέτουν αυξημένες πτητικές δυνατότητες σε σύγκριση με το τετρακόπτερο, καθώς μπορούν να φτάσουν σε μέγιστο ύψος 2 km. Και αυτά τα συστήματα έχουν δυνατότητα αυτόματης πλοήγησης με σύστημα αυτόματου πιλότου και χρήση GPS, μπορούν να

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

ελεγχθούν χειροκίνητα, παρέχουν τηλεμετρία σε πραγματικό χρόνο, αποστέλλουν βίντεο μέσω ενσωματωμένης κάμερας, ενώ είναι εφοδιασμένα με αισθητήρες ατμοσφαιρικής πίεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας. Όσον αφορά στις δυνατότητες του αυτόματου πιλότου, όπως και στο τετρακόπτερο, κι εδώ υπάρχει η δυνατότητα εκτέλεσης προκαθορισμένου σχεδίου πτήσης, με επιπλέον δυνατότητα αλλαγής του σε πραγματικό χρόνο αλλά και δυνατότητα αυτόματης επιστροφής στη θέση του χειριστή σε περίπτωση απώλειας επικοινωνίας. Τα UAS σταθερής πτέρυγας μπορούν να φιλοξενήσουν εντός της ατράκτου τους την ίδια στιγμή τόσο το μικροαιθαλόμετρο MA-200 όσο και τον οπτικό καταμετρητή σωματιδίων OPC-N3 και να πραγματοποιούν παράλληλες μετρήσεις. Η δειγματοληψία γίνεται διαμέσου διάταξης ξήρανσης μέσω διάχυσης σε κόκκους silica gel, από ενσωματωμένο στη μύτη του αεροσκάφους, ισοκινητικό σύστημα δειγματοληψίας.

5 Παραδείγματα εφαρμογής υπηρεσιών και εκπλήρωση προτεραιοτήτων RIS3

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται ενδεικτικά μελέτες και εφαρμογές από την ανάπτυξη υπηρεσιών που αναφέρονται στην χρήση των αισθητήρων σε διαφορετικές περιπτώσεις επιστημονικού ενδιαφέροντος, εκτάκτων περιστατικών με άμεσες επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα και τη δημόσια υγεία ή συμπεριφορικών αλλαγών με κοινωνικό-οικονομικά αίτια που επίσης επηρέασαν την ποιότητα του αέρα. Σκοπός να καταδειχθεί η χρησιμότητα των υπηρεσιών και η προστιθέμενη αξία τους στην ενημέρωση των αρμοδίων αρχών και του κοινού και στη λήψη αποφάσεων που στηρίζονται σε απτά και έγκυρα επιστημονικά δεδομένα.

5.1 Δασική πυρκαγιά στην Εύβοια 2019

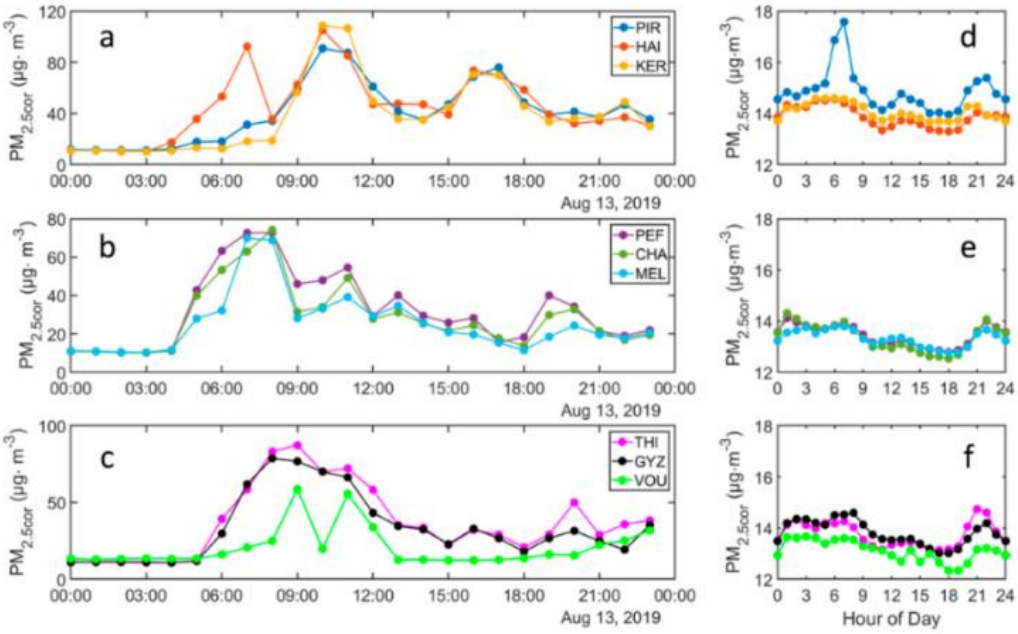
Η χρησιμότητα των συσκευών PA-II στην περίπτωση καταγραφής σωματιδίων από δασικές πυρκαγιές είναι εξαιρετικά αυξημένη, καθώς παρέχουν έγκαιρα δεδομένα συγκέντρωσης αερολυμάτων σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας την δυνατότητα στους διαχειριστές κρίσεων (π.χ. Πολιτική Προστασία Ελλάδας, Περιφέρεια Αττικής, Πυροσβεστική Υπηρεσία, Μετεωρολογική Υπηρεσία, εμπειρογνώμονες υγείας, όπως και γενικά στους πολίτες) να λαμβάνουν ορθές αποφάσεις και να παρέχουν έγκυρες οδηγίες στους πολίτες, κατά την εκδήλωση μιας μεγάλης δασικής πυρκαγιάς.

Εικόνα 26: *Δορυφορικές εικόνες (MODIS) για τις 13 Αυγούστου 2019, (https://go.nasa.gov/2YIHqlv).*

Το παράδειγμα που ακολουθεί επικεντρώνεται στην ορεινή περιοχή της Εύβοιας, ~70 χλμ. Β-ΒΔ των Αθηνών, τον Αύγουστο του 2019.Η φωτιά ξεκίνησε αργά το απόγευμα της 12^{ης} Αυγούστου και ήταν ενεργή για σχεδόν 3 ημέρες. Η μεταφορά πυκνών καπνών προς την Αθήνα ευνοήθηκε στις 13 Αυγούστου και σε μικρότερο βαθμό την επόμενη ημέρα, από τις ετησίες, το εποχικά επικρατούν μετεωρολογικό σύστημα στην περιοχή του Αιγαίου (Kalkavouras et

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

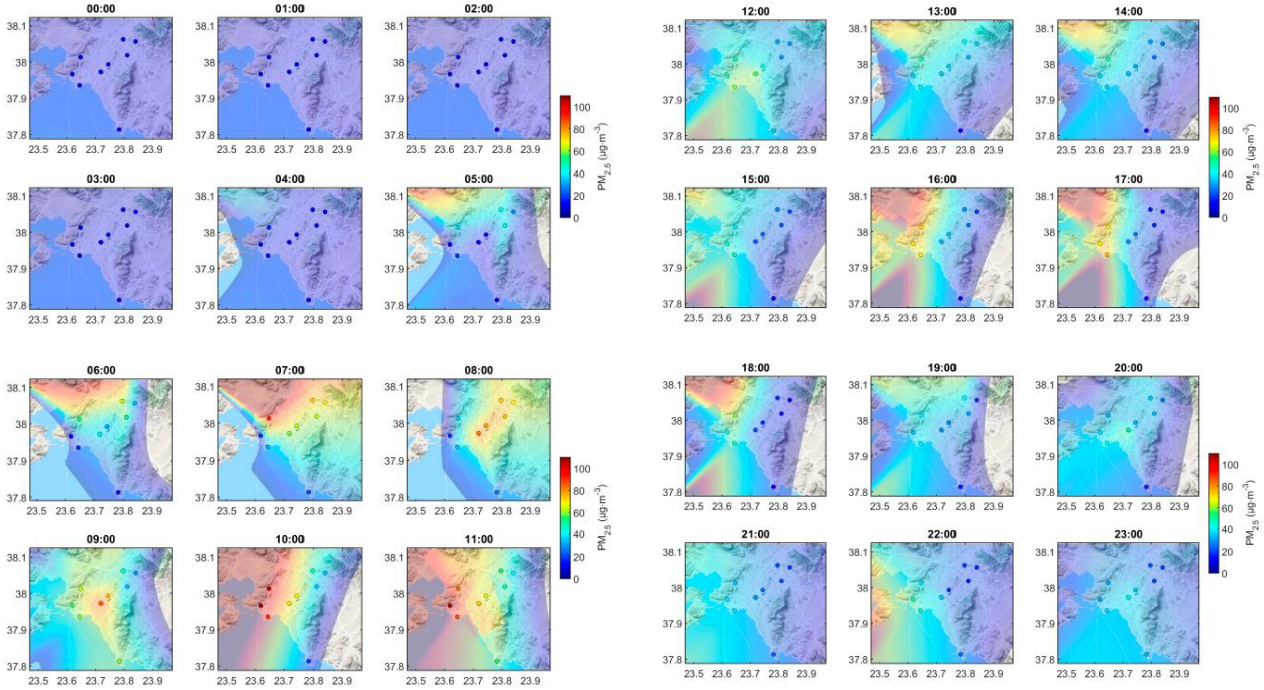
al., 2020). Αυτό επιβεβαιώνεται, επίσης, από τις δορυφορικές εικόνες (Εικόνα) για το πρωί της 12ης Αυγούστου, όπου καταγράφηκαν και οι μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις 75-80 μg m^{-3} σε ολόκληρο το λεκανοπέδιο της Αθήνας από τους σταθμούς του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, το δίκτυο παρακολούθησης PA-II είχε εγκατασταθεί στο πλαίσιο του έργο PANACEA στην Ελλάδα, αποτελούμενο από εννέα ενεργές συσκευές.



***Εικόνα 27**: Ωριαίες διορθωμένες μετρήσεις PA-II $PM_{2.5cor}$ για την περιοχή της Αθήνας, που επηρεάστηκαν από την δασική πυρκαγιά της 13ης Αυγούστου 2019 (a – c). Μέση ημερήσια μεταβλητότητα $PM_{2.5cor}$ τον Αύγουστο του 2019, εξαιρουμένων των δεδομένων που επηρεάστηκαν από την πυρκαγιά (d – f).*

Η **Εικόνα 27**: Εικόνα 7 απεικονίζει τις χρονοσειρές των ωριαίων διορθωμένων συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ για την 13η Αυγούστου, περιλαμβάνοντας και τους εννέα αισθητήρες. Οι πρώτες τοποθεσίες που επηρεάστηκαν από τα πλούμια της πυρκαγιάς, ήταν εκείνες στο δυτικό και βόρειο τμήμα του Λεκανοπέδιου της Αττικής (Χαϊδάρι (HAI), Πεύκη (PEF), Μελίσσια (MEL), Γκύζη (GYZ) και Χαλάνδρι (CHA)), με τα επίπεδα της συγκέντρωσης να αυξάνονται μετά τις 04:00 (τοπική ώρα), να κορυφώνεται στο HAI στις 07:00, ενώ στη PEF και στη CHA, και έπειτα στα MEL, έφτασαν τις μέγιστες τιμές στις 08:00. Οι τοποθεσίες στο κέντρο της πόλης επηρεάστηκαν μετά τις 06:00 από συγκεντρώσεις στο THI (ο κεντρικός σταθμός του Θησείου) και στο GYZ φτάνοντας στο μέγιστο στις 09:00, ενώ έπειτα ακολούθησε από μια σταδιακή πτώση μέχρι αργά το απόγευμα.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη



Εικόνα 28: *Χωρική εξέλιξη του αντίκτυπου της δασικής πυρκαγιάς της Εύβοιας στις συγκεντρώσεις των PM στο Λεκανοπέδιο Αττικής (13.08.19).*

Οι δύο τοποθεσίες στη νότια ζώνη γύρω από το λιμάνι του Πειραιά (Κερατσίνι (KER) και Πειραιάς (PIR)) ήταν οι τελευταίες που επηρεάσθηκαν, κυρίως μετά τις 08:00, παρουσιάζοντας μέγιστα στις 10:00-11:00 με ένα νέο μέγιστο στον κοντινό δυτικό σταθμό στο HAI. Η εξέλιξη της επιρροής του πλούμιου στο Λεκανοπέδιο απεικονίζεται στην Εικόνα 28.

5.2 Δασική πυρκαγιά στην Βαρυμπόμπη 2021

Το δίκτυο αισθητήρων $PM_{2.5}$ της ΠΑΝΑΚΕΙΑ και η δικτυακή υπηρεσία air-quality.gr συνεισέφεραν καίρια στην ενημέρωση του πληθυσμού και των αρμόδιων αρχών περιβαλλοντικής διαχείρισης και πολιτικής προστασίας κατά την περίοδο των πρωτοφανούς έκτασης και διάρκειας δασικών πυρκαγιών τον Αύγουστο του 2021, στην περιοχή της Πάρνηθας Αττικής (Βαρυμπόμπη) και τη βορειοκεντρική Εύβοια. Κατά την έναρξη της πρώτης πυρκαγιάς στην Άνω Βαρυμπόμπη (με επέκταση τοπικά σε Βαρυμπόμπη, Τατόι, Θρακομακεδόνες, Κρυονέρι κλπ.), το μεσημέρι της 3^{ης} Αυγούστου, το δίκτυο της ΠΑΝΑΚΕΙΑ στο Λεκανοπέδιο Αττικής αριθμούσε 22 θέσεις μέτρησης. Ο θύσανος της πυρκαγιάς, υπό την επίδραση ασθενών ανέμων μεταφέρθηκε έως το βράδυ της 3^{ης} Αυγούστου στις γειτονικές περιοχές του Βορείου τομέα, αρχικά τοπικά στην περιοχή των Αχαρνών και στη συνέχεια στα Βόρεια προάστια της Αθήνας με κατεύθυνση το κέντρο του Λεκανοπεδίου. Σύντομα, οι σταθμοί του Βόρειου τομέα κατέγραψαν μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις της τάξης των 80-100 μg m^{-3}, οι οποίες ενισχύθηκαν τις νυχτερινές ώρες καθώς η πυρκαγιά εξακολουθούσε με μεγάλη ένταση, ενώ οι θύσανοι καπνού συσσωρεύονταν σε μικρό ύψος από το έδαφος εντός της σταθερής στοιβάδας ανάμιξης. Τις μεταμεσονύκτιες ώρες και ιδίως το επόμενο πρωί, παρατηρήθηκε πολύ μεγάλη επιβάρυνση των συγκεντρώσεων σε όλο το Λεκανοπέδιο, με μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις που κατά περίπτωση υπερέβησαν τα 300 μg m^{-3}. Στην Εικόνα 29 εμφανίζεται συνοπτικά η χρονική εξέλιξη του φαινομένου, από την έναυση της πυρκαγιάς έως το επόμενο πρωί.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Πιο αναλυτικά, και όπως εικονίζεται στην Εικόνα 30, η πρώτη επιβάρυνση την 3η Αυγούστου παρατηρήθηκε δυτικά του τομέα της πυρκαγιάς, στην περιοχή των Αχαρνών, μετά τις 18:00. Με τη μεταβολή του ανέμου άρχισε να παρατηρείται μεγάλη επιβάρυνση αρχικά στον Δυτικό (Ίλιον) και κατόπιν στον Βόρειο τομέα (Πεύκη) του Λεκανοπεδίου, η οποία διήρκεσε όλη τη νύχτα και μεγιστοποιήθηκε κατά το διάστημα 11:00-3:00 (με 10-λεπτες συγκεντρώσεις που ξεπέρασαν τα 200 μg m^{-3}). Στη συνέχεια παρατηρήθηκε σχετική υποχώρηση, ωστόσο το πρωί της 4ης Αυγούστου τα ωριαία επίπεδα παρέμειναν υψηλά (άνω των 50 μg m^{-3}). Στον Κεντρικό τομέα παρατηρήθηκε πολύ μεγάλη αύξηση των συγκεντρώσεων (άνω των 250 μg m^{-3}), από τις 2:00 τα ξημερώματα της 4ης Αυγούστου, η οποία διήρκεσε ως το πρωί. Στον τομέα Πειραιά, παρατηρήθηκε επίσης επιβάρυνση μετά τις 4:00, αλλά τα επίπεδα κυμάνθηκαν σχετικά χαμηλότερα. Μικρότερη επιβάρυνση υπήρξε και στον Νότιο τομέα από τις πρώτες ώρες μετά τα μεσάνυχτα έως το πρωί (10-λεπτες συγκεντρώσεις έως 90 μg m^{-3}), ενώ η επίδραση έγινε αισθητή ακόμα και στην περιοχή της Βουλιαγμένης. Μετά τις 9:00 της 4ης Αυγούστου, παρατηρήθηκε σταδιακή ελάττωση των επιπέδων, καθώς η διασπορά των ρύπων εντός της στοιβάδας ανάμιξης ενισχύθηκε και η πυρκαγιά μετά το βράδυ τέθηκε σταδιακά υπό μερικό έλεγχο.

Κατά το υπόλοιπο της 4ης και 5ης Αυγούστου, τα επίπεδα παρέμειναν χαμηλά. Ωστόσο το βράδυ της 5ης Αυγούστου εκδηλώθηκε νέα πυρκαγιά δυτικότερα στην Πάρνηθα η οποία ενώθηκε με αναζωπυρώσεις της προηγούμενης και επεκτάθηκε ανατολικά προς Αφίδνες, Άγιο Στέφανο, Σταμάτα κλπ. Κατά συνέπεια, το πρωί της 6ης Αυγούστου, παρατηρήθηκε εκ νέου επιβάρυνση των συγκεντρώσεων σε όλους τους τομείς του Λεκανοπεδίου, με τις μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις να προσεγγίζουν ή και να υπερβαίνουν τα 100 μg m^{-3} (Εικόνα 31). Στις θέσεις του Βορείου τομέα που βρίσκονταν πλησιέστερα στο νέο μέτωπο της πυρκαγιάς εξακολούθησαν να σημειώνονται σημαντικές εξάρσεις των επιπέδων στο διάστημα 6-7 Αυγούστου (Εικόνα 32).

Ενώ οι πυρκαγιές στην Αττική σταδιακά τέθηκαν υπό έλεγχο και κατασβέσθηκαν, μεγάλης κλίμακα δασική πυρκαγιά μαινόταν στην Κεντρική και Βόρεια (κατέκαυσε συνολικά πάνω από 500.000 στρέμματα γης στο διάστημα 3-11 Αυγούστου). Οι εκπομπές της, υπό την επικράτηση κατάλληλων ατμοσφαιρικών κυκλοφοριών, μεταφέρθηκαν προς τα Νότια στο Λεκανοπέδιο Αττικής και σε συνέργεια με τις τοπικές πυρκαγιές συντέλεσαν στην παροδική επιβάρυνση των επιπέδων $PM_{2.5}$. Τέτοια περιστατικά μεταφοράς καταγράφηκαν για παράδειγμα τις πρώτες πρωινές ώρες της 8ης Αυγούστου στους σταθμούς του Δυτικού τομέα, και τις πρώτες πρωινές ώρες της 10ης Αυγούστου στον Βόρειο, Κεντρικό και Δυτικό τομέα (Εικόνα 33)

Από την πρώτη μέρα της πυρκαγιάς και για όλη την περίοδο, ο διαχειριστής της πλατφόρμας (ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ) βασιζόμενο μεταξύ άλλων στα δεδομένα του δικτύου της ΠΑΝΑΚΕΙΑ εξέδωσε 5 δελτία τύπου, τα οποία κοινοποιήθηκαν απ' ευθείας στην Περιφερειακή Αρχή και χρησιμοποιήθηκαν για τις αντίστοιχες ανακοινώσεις της και τις συστάσεις προς το κοινό. Επιπλέον παρείχαν ενημέρωση με συνεντεύξεις σε τηλεοπτικά και ραδιοφωνικά μέσα. Αναρτήσεις των δελτίων τύπου αλλά και άλλων ενημερώσεων για το φαινόμενο πραγματοποιήθηκαν σε αυτό το διάστημα στη σελίδα Facebook του ΕΑΑ, η οποία δεχόταν πάνω από μισό εκατομμύριο επισκέψεις ημερησίως. Κατά την περίοδο των πυρκαγιών, η κίνηση του ιστότοπου air-quality.gr αυξήθηκε εκθετικά, με τα εξυπηρετούμενα αιτήματα να υπερβαίνουν τα 200.000 ημερησίως. Το προσωπικό του ΕΑΑ βρέθηκε σε 24-ωρη επιχειρησιακή ετοιμότητα για τη διαχείριση ζητημάτων υπερφόρτωσης των εξυπηρετητών της πλατφόρμας καθώς και για την παρακολούθηση του φαινομένου και την παροχή έγκαιρης ενημέρωσης.

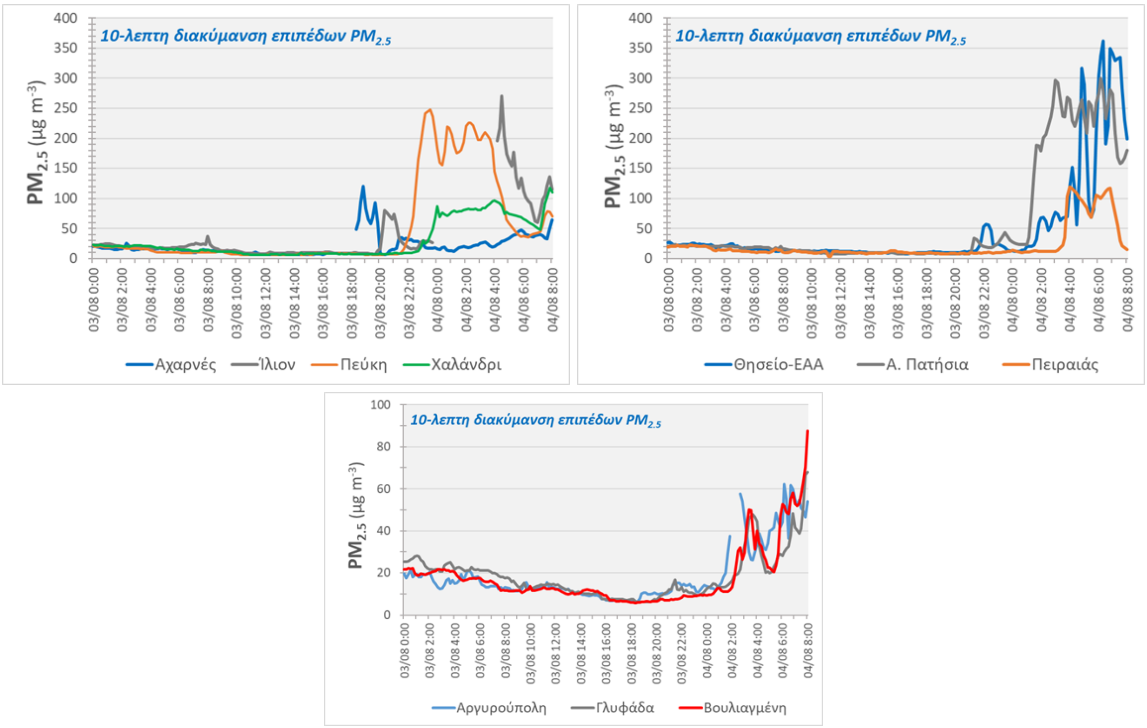
Σε συνέχεια της αποτελεσματικής συνεργασίας της Περιφέρειας Αττικής και του ΕΑΑ ως εκπροσώπου της ΠΑΝΑΚΕΙΑ, μετά τη λήξη των πυρκαγιών και κατόπιν αιτήματος της Περιφέρειας, πραγματοποιήθηκε η

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

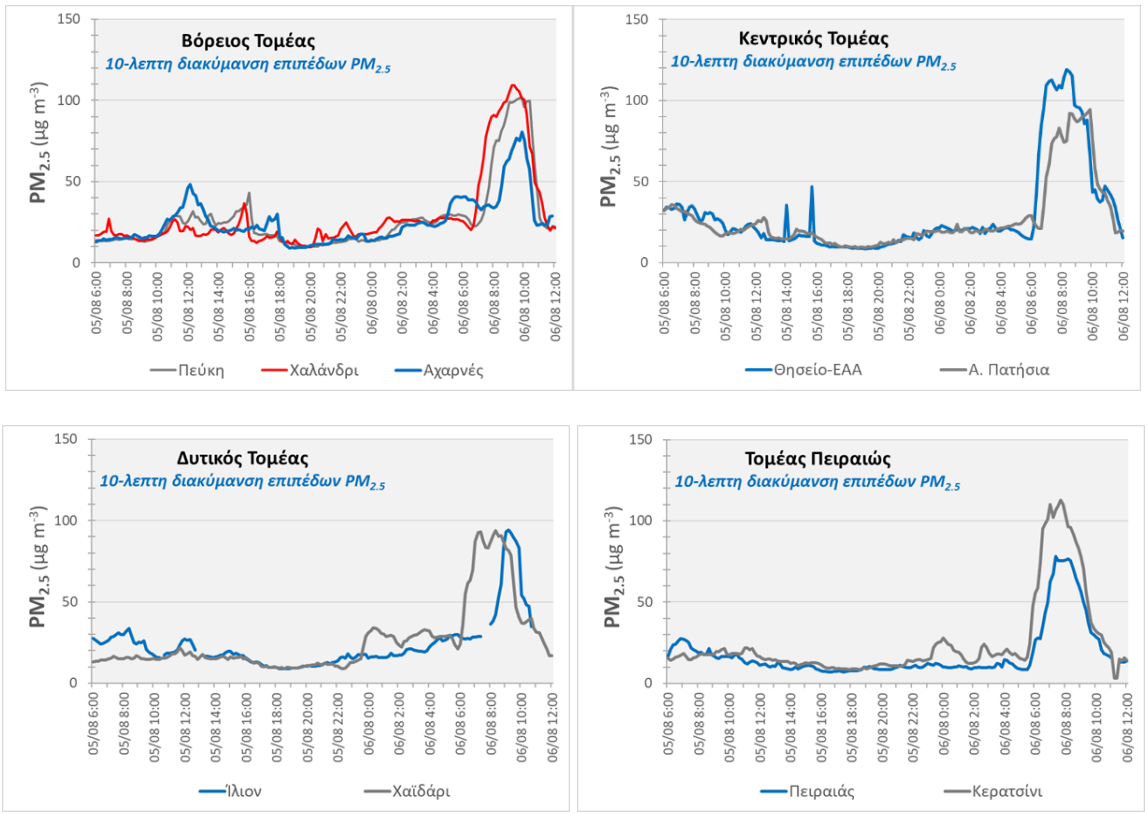
εγκατάσταση αισθητήρων σε δύο σφοδρά πληγείσες περιοχές (Βαρυμπόμπη καθώς και τα Βίλια που απειλήθηκαν από νέα μεγάλη πυρκαγιά στο διάστημα 16-19 Αυγούστου), με στόχο την ενημέρωση των άμεσα ενδιαφερόμενων κατοίκων, και τον μετριασμό των εύλογων ανησυχιών τους περί αυξημένης τοξικότητας της ατμόσφαιρα την επαύριο των καταστρεπτικών φαινομένων.

Εικόνα 29: *Χρονική εξέλιξη πυρκαγιάς στη Βαρυμπόμπη και εκπεμπόμενων θυσάνων καπνού σε σχέση με τις μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$ που κατέγραψε το δίκτυο αισθητήρων ΠΑΝΑΚΕΙΑ.*

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

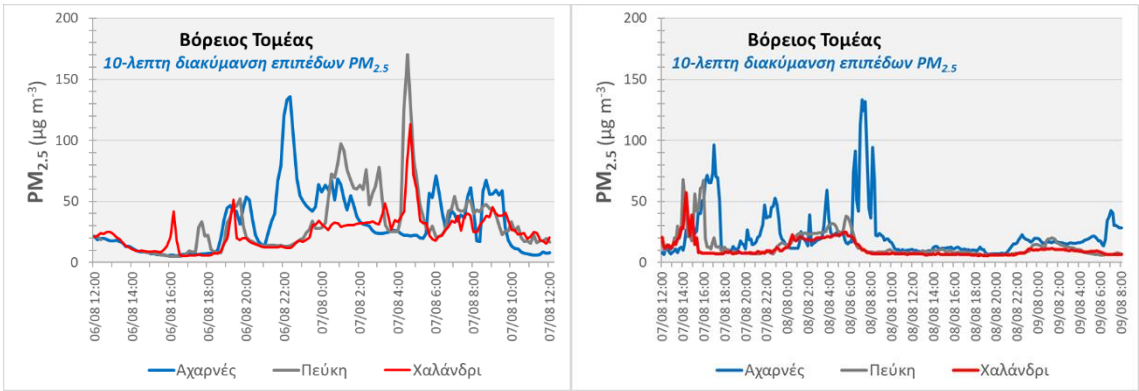


Εικόνα 30: *Χρονική εξέλιξη 10-λέπτων συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ κατά το πρώτο 24-ωρο της δασικής πυρκαγιάς στη Βαρυμπόμπη, σε θέσεις μέτρησης του δικτύου ΠΑΝΑΚΕΙΑ στον Βόρειο, Κεντρικό και Νότιο τομέα Αθηνών.*

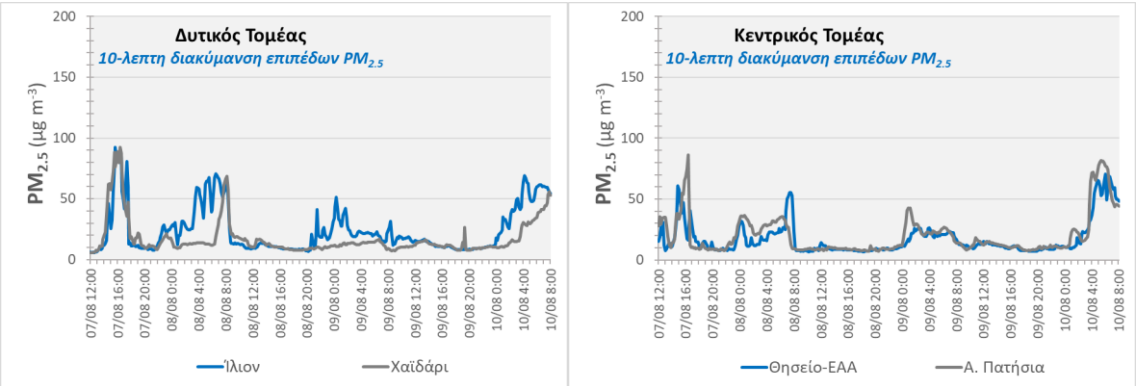


Εικόνα 31: *Χρονική εξέλιξη 10-λέπτων συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ κατά το τρίτο 24-ωρο της δασικής πυρκαγιάς στην περιοχή της Βαρυμπόμπης, σε θέσεις μέτρησης του δικτύου ΠΑΝΑΚΕΙΑ στον Βόρειο, Κεντρικό και Δυτικό τομέα Αθηνών, καθώς και στον τομέα Πειραιά.*

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη



Εικόνα 32: *Χρονική εξέλιξη 10-λέπτων συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ κατά τη δεύτερη φάση της δασικής πυρκαγιάς από την περιοχή της Βαρυμπόμπης και προς τα Α-ΒΑ (6-7 Αυγούστου), για τις πλησιέστερες θέσεις μέτρησης του Βόρειου τομέα Αθηνών.*



Εικόνα 33: *Χρονική εξέλιξη 10-λέπτων συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ στην φάση της ύφεσης των πυρκαγιών της Αττικής, με παροδικές επιδράσεις της μεγάλης δασικής πυρκαγιάς στη Βόρεια Εύβοια (διάστημα 7-10 Αυγούστου, θέσεις μέτρησης στον Δυτικό και Κεντρικό τομέα).*

5.3 Βιομηχανικό ατύχημα - εταιρία ανακύκλωσης, Μεταμόρφωση Αττικής 2019

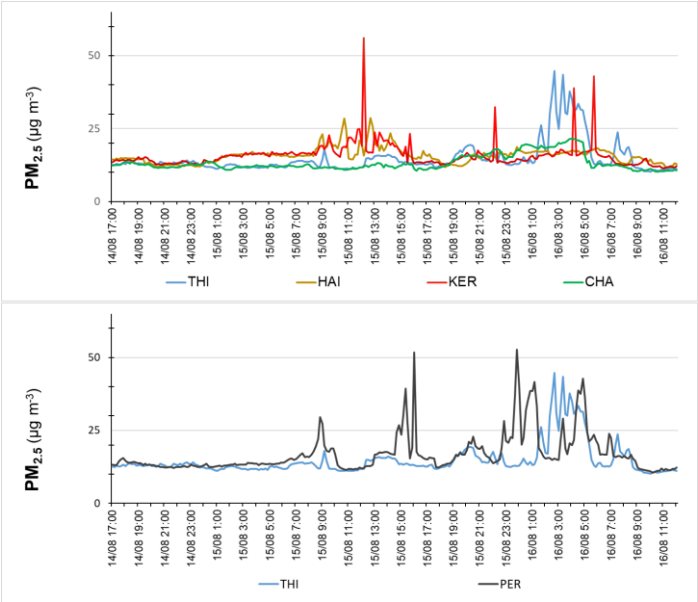
Στις περιοχές που έχει αναπτυχθεί, το δίκτυο αισθητήρων PM2.5 της ΠΑΝΑΚΕΙΑ, αποδεικνύεται ισχυρό εργαλείο για την παρακολούθηση βιομηχανικών ατυχημάτων με προεκτάσεις ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Ένα τέτοιο ατύχημα καταγράφηκε από το δίκτυο κατά το διήμερο 15 – 16 Αυγούστου του 2020. Συγκεκριμένα, το πρωί του Σαββάτου την 15η Αυγούστου, προκλήθηκε πυρκαγιά σε εταιρία συλλογής και εμπορίας ανακυκλώσιμων υλικών που είναι εγκατεστημένη εντός της παλιάς βιομηχανικής περιοχής της Μεταμόρφωσης. Η φωτιά έκαψε μεγάλη ποσότητα αποθηκευμένων ανακυκλώσιμων στερεών αποβλήτων και κατασβέσθηκε πλήρως το πρωί της επόμενης ημέρας. Η θέση της πυρκαγιάς καθώς και κάποιες επιλεγμένες θέσεις μέτρησης του δικτύου της ΠΑΝΑΚΕΙΑ αποτυπώνονται στην Εικόνα 34α. Ο καπνός (Εικόνα 34β) επηρέασε ανά διαστήματα διαφορετικά τμήματα του Λεκανοπεδίου.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Εικόνα 34: (α) Χάρτης με τη θέση της πυρκαγιάς (κόκκινη κηλίδα) και τις ενδεικτικές θέσεις του δικτύου της ΠΑΝΑΚΕΙΑ που κατέγραψαν την επίδρασή της στο λεκανοπέδιο και (β) άποψη του θυσάνου καπνού της πυρκαγιάς πάνω από την Αθήνα (15/08/2020 12:00) όπως αποτυπώθηκε από την Πεντέλη και την υπηρεσία meteo.gr του ΕΑΑ.

Όπως αποτυπώνεται στη διακύμανση επιπέδων $PM_{2.5}$ με χρονική ανάλυση δεκαλέπτου που φαίνεται στην Εικόνα 35, αρχικά το πρωί της 15ης Αυγούστου, αυξημένες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν στη θέση μέτρησης κοντά στην Εθνική Οδό Αθηνών–Λαμίας στο Περιστέρι ενώ αμέσως μετά επηρεάστηκαν οι σταθμοί στο Νότιο και Νοτιοδυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου στο Χαϊδάρι και το Κερατσίνι. Στους σταθμούς αυτούς, οι συγκεντρώσεις στο διάστημα 09:00 – 17:00 καταγράφηκαν κατά περίπου 40% αυξημένες σε σχέση με το σταθμό του ΕΑΑ στο Θησείο.

Κατά τις πρώτες πρωινές ώρες της 16ης Αυγούστου (1:00 - 5:00) και με την επικράτηση συνθηκών άπνοιας στο Λεκανοπέδιο, παρατηρήθηκε παροδική αύξηση των επιπέδων, κυρίως στον κεντρικό τομέα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα για το Θησείο, αλλά και σε άλλες θέσεις (Γκύζη, Ζωγράφου). Δευτερευόντως, και για το ίδιο χρονικό διάστημα, ασθενέστερη αυξητική τάση παρατηρήθηκε και σε θέσεις του βορείου και βορειοανατολικού τμήματος, όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα για το Χαλάνδρι, καθώς και σε άλλες περιοχές (Βριλήσσια, Μελίσσια). Μετά τις εξάρσεις που παρατηρήθηκαν κατά τις πρωινές-μεσημβρινές ώρες του Σαββάτου, 15 Αυγούστου και τις πρώτες πρωινές ώρες της Κυριακής, 16 Αυγούστου, καταγράφηκε σταθεροποίηση των επιπέδων σε όλη την περιοχή.



Εικόνα 35: Χρονοσειρά των μετρήσεων $PM_{2.5}$ από τους σταθμούς του δικτύου της PANACEA (air-quality.gr) σε Θησείο (THI), Χαϊδάρι (HAI), Κερατσίνι (KER), Χαλάνδρι (CHA) και Περιστέρι (PER) για το διήμερο 14 – 16 Αυγούστου 2020. Σημειώνεται ότι η έναρξη της πυρκαγιάς τοποθετείται στις 07:00 το πρωί της 15ης Αυγούστου ενώ κατασβέσθηκε πλήρως τις πρώτες πρωινές ώρες της επόμενης ημέρας.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

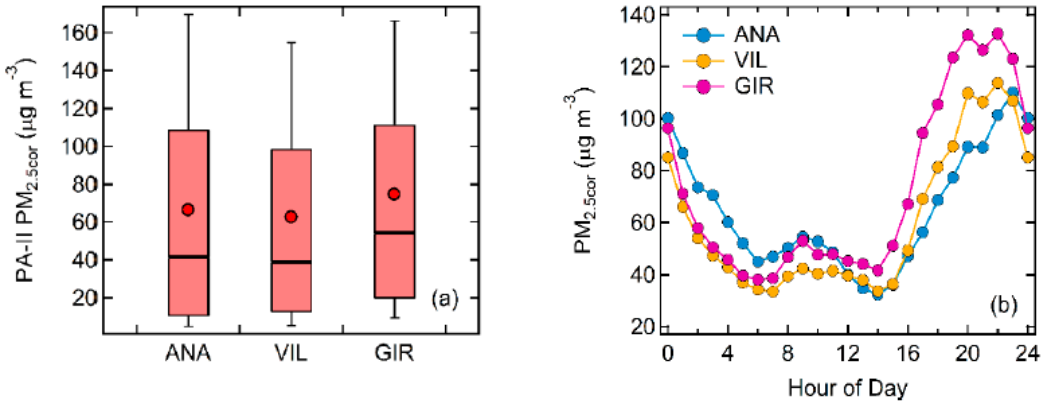
5.4 Καύση ξύλου για θέρμανση κατοικιών και επεισόδια αιθαλομίχλης

Οι μελέτες στα Ιωάννινα που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του χειμώνα, αποκάλυψαν ότι υπάρχει σημαντική επίδραση της καύσης του ξύλου αποδίδοντας πολύ υψηλές συγκεντρώσεις αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα (Kaskaoutis et al., 2020; Sindosi et al., 2019). Για τις μελέτες τοποθετήθηκαν τρεις συσκευές PA-II (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**), δύο εντός της αστικής περιοχής στις τοποθεσίες (Βιλαρά (VIL), Γηροκομείο (GIR)) και σε μια στην προαστιακή περιοχή στην τοποθεσία Ανατολή (ANA), προκειμένου να αποτυπωθεί η χωρική μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ στην πόλη.

Κατά τη διάρκεια του 13 Δεκέμβριου 2019 –13 Ιανουαρίου 2020, οι κυρίαρχοι ρύποι στα Ιωάννινα αποτέλεσαν τα προϊόντα καύσης βιομάζας για οικιακή θέρμανση, όπως συνάγεται από ταυτόχρονες μετρήσεις του αιθαλομέτρου (AE-33, Magee Scientific) που πραγματοποιήθηκαν στο κέντρο της πόλη. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου υπολογίσθηκε η μέση συγκέντρωση του BC 5,02 μg m^{-3}, με ωριαία μέγιστα έως 31 μg m^{-3} και με πολύ υψηλή συνεισφορά του BCbb (κατά μέσο όρο 75%).

Στην πραγματικότητα, κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών (18: 00 - 06: 00 τοπική ώρα), οι συγκεντρώσεις του BC αποδόθηκαν σχεδόν πλήρως στην καύση βιομάζας, με τη συνεισφορά BCbb να φθάνει το 88%. Σύμφωνα με την ανάλυση αποδόθηκαν οι διορθωμένες συγκεντρώσεις των PA-II $PM_{2.5cor}$, συνδυάζοντας επίσης τα δεδομένα από τον ρυθμιστικό σταθμό AQS (με την μετρούμενη αναλογία PM_1 / $PM_{2.5}$) που ήταν εγκατεστημένος στην περιοχή (VIL) και απείχε από τις περιοχές ANA και GIR αντίστοιχα.

Καταγράφηκαν πολύ υψηλά επίπεδα $PM_{2.5cor}$ σε όλες τις τοποθεσίες, με τις μέσες συγκεντρώσεις για τη μηνιαία περίοδο να κυμαίνονται μεταξύ 62,8-74,8 μg m^{-3}. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μετρήθηκαν στην τοποθεσία GIR, που βρίσκεται πλησίον ενός δρόμου εντός μια πυκνοκατοικημένης περιοχής στο κέντρο της πόλης (Εικόνα 36).



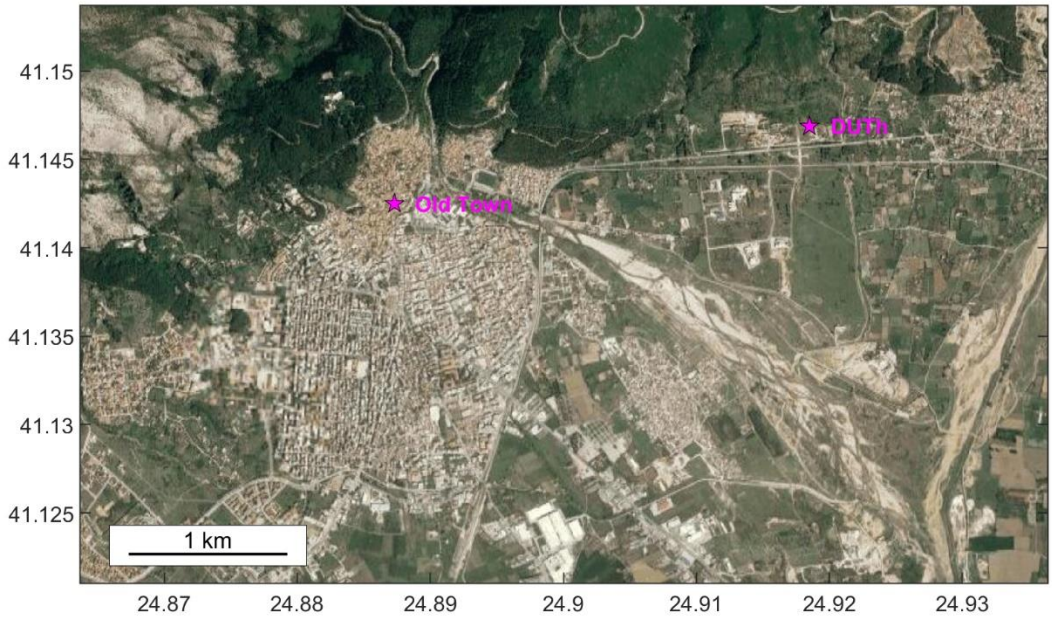
Εικόνα 36 *(α) Boxplots (25ο, 50ο και 75ο εκατοστημόριο) των ωριαίων διορθωμένων συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ στις τρεις τοποθεσίες στα Ιωάννινα, με whiskers που εκτείνονται στο 10ο και 90ο εκατοστημόριο. Οι μέσες τιμές απεικονίζονται με κόκκινες τελείες- (β) Ημερήσια μεταβλητότητα των $PM_{2.5}$ που παρατηρήθηκε στις ANA, VIL και GIR κατά την περίοδο 13 Δεκεμβρίου 2019-13 Ιανουαρίου 2020.*

Ωστόσο, η εκδήλωση της υψηλής συγκέντρωσης φάνηκε να εκτείνεται στην ευρύτερη περιοχή της αστικής ζώνης των Ιωαννίνων, με συγκρίσιμα επίπεδα να καταγράφονται στον προαστιακό σταθμό ANA. Τα ωριαία μέγιστα έφτασαν τα 350 μg m^{-3} σε όλες τις τοποθεσίες, ενώ η συχνότητα ωριαίων μετρήσεων άνω των 100 μg m^{-3} ήταν 29%, 27% και 24% σε GIR, ANA και VIL, αντίστοιχα, με τη συντριπτική πλειοψηφία να καταγράφονται κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

5.5 Επιβάρυνση της ποιότητας της ατμόσφαιρας κατά τις Γιορτές Παλιάς Πόλης στην Ξάνθη

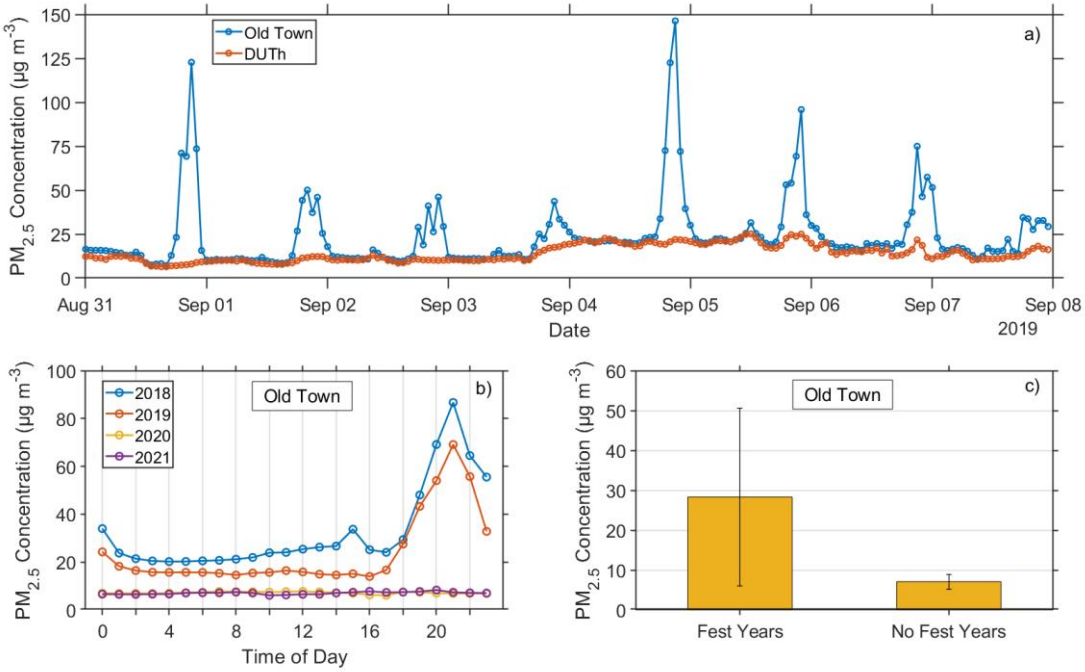
Χαρακτηριστικές περιπτώσεις επιβάρυνσης της ποιότητας της ατμόσφαιρας στον Ελλαδικό χώρο, που σχετίζονται με την ανθρώπινη δραστηριότητα, αλλά που δεν αφορούν στις διεξοδικά χαρακτηρισμένες πηγές λεπτών αιωρούμενων σωματιδίων (κίνηση αυτοκινήτων, βιομηχανία, οικιακή καύση βιομάζας), καταγράφονται σε περιόδους με αυξημένες εκπομπές σωματιδίων που προέρχονται από τη μαζική παρασκευή φαγητού κατά τη διάρκεια μεγάλων εορταστικών εκδηλώσεων. Μια τέτοια περίπτωση είναι και οι «Γιορτές Παλιάς Πόλης» στην Ξάνθη, που λαμβάνει χώρα κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου κάθε χρόνο. Κατά τη διάρκεια των εκδηλώσεων σε ολόκληρο το κέντρο της Παλιάς Πόλης, τοποθετούνται υπαίθριες ψησταριές που λειτουργούν κατά τις βράδυνες ώρες για όλη τη διάρκεια του φεστιβάλ. Για την παρακολούθηση του φαινομένου κατά τα έτη 2018 – 2021 χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις του δικτύου αισθητήρων χαμηλού κόστους της ΠΑΝΑΚΕΙΑ στην πόλη της Ξάνθης (Εικόνα 37). Συγκεκριμένα παρουσιάζονται μετρήσεις από το κέντρο της πόλης (Old Town) και από θέση υποβάθρου στις εγκαταστάσεις του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης.



Εικόνα 37: *Χάρτης όπου απεικονίζονται οι δύο θέσεις μέτρησης του δικτύου αισθητήρων χαμηλού κόστους της ΠΑΝΑΚΕΙΑ στην περιοχή της Ξάνθης*

Παρατηρώντας τις μετρήσεις για το 2019 (Εικόνα 38α) παρατηρείται έντονη ενίσχυση των επιπέδων $PM_{2.5}$ κατά τις βραδινές ώρες στο κέντρο της πόλης σε αντίθεση με τις μετρήσεις στο ΔΠΘ, μακριά από την περιοχή τον εκδηλώσεων, που παραμένουν χαμηλές και με μικρή διακύμανση. Οι συγκεντρώσεις στο κέντρο επανέρχονται σε επίπεδα υποβάθρου τις πρωινές ώρες και παραμένουν σχεδόν πανομοιότυπες για όλη τη διάρκεια της ημέρας. Παρακολουθώντας τη μέση ημερήσια διακύμανση για τα έτη 2018 και 2019, υψηλές συγκεντρώσεις καταγράφονται κατά τη διάρκεια του φεστιβάλ, με μέγιστα στις 21:00, όταν οι εγκατεστημένες υπαίθριες ψησταριές στο κέντρο της πόλης βρίσκονται στο μέγιστο της δραστηριότητάς τους.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη



Εικόνα 38: *Μετρήσεις PM2.5 στην πόλη της Ξάνθης κατά τη διάρκεια του φεστιβάλ «Γιορτές Παλιάς Πόλης», (α) για το έτος 2019 όπου απεικονίζονται μετρήσεις από το κέντρο της πόλης (Old Town) αλλά και το περιοχικό υπόβαθρο (DUTh), (β) σε μέση ημερήσια διακύμανση για όλες τις υπό μελέτη χρονιές στο κέντρο της πόλης και (γ)μέσες συγκεντρώσεις της συγκεκριμένης περιόδου κατά τα έτη που λάβαν χώρα οι εκδηλώσεις (2018 – 19) έναντι των ετών που ακυρώθηκαν (2020 – 21).*

Το γεγονός ότι οι δραστηριότητες που σχετίζονται με τις «Γιορτές Παλιάς Πόλης» ελέγχουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην πόλη της Ξάνθης κατά τις πρώτες μέρες του Σεπτέμβρη αποτυπώνεται πιο καθαρά εξετάζοντας και τα δύο επόμενα χρόνια (2020, 2021). Εξαιτίας της πανδημικής κρίσης (COVID-19) όλες οι εκδηλώσεις ακυρώθηκαν κατά τα δύο αυτά έτη, με τα επίπεδα $PM_{2.5}$ να καταγράφονται χαμηλά, μόλις στο 20% των καταγεγραμμένων συγκεντρώσεων κατά τις περιόδους του φεστιβάλ (Εικόνα 38), πολύ κοντά σε εκείνα που καταγράφονται στη θέση υποβάθρου του ΔΠΘ.

5.6 Δοκιμαστική πτήση του τετρακόπτερου UAS της PANACEA

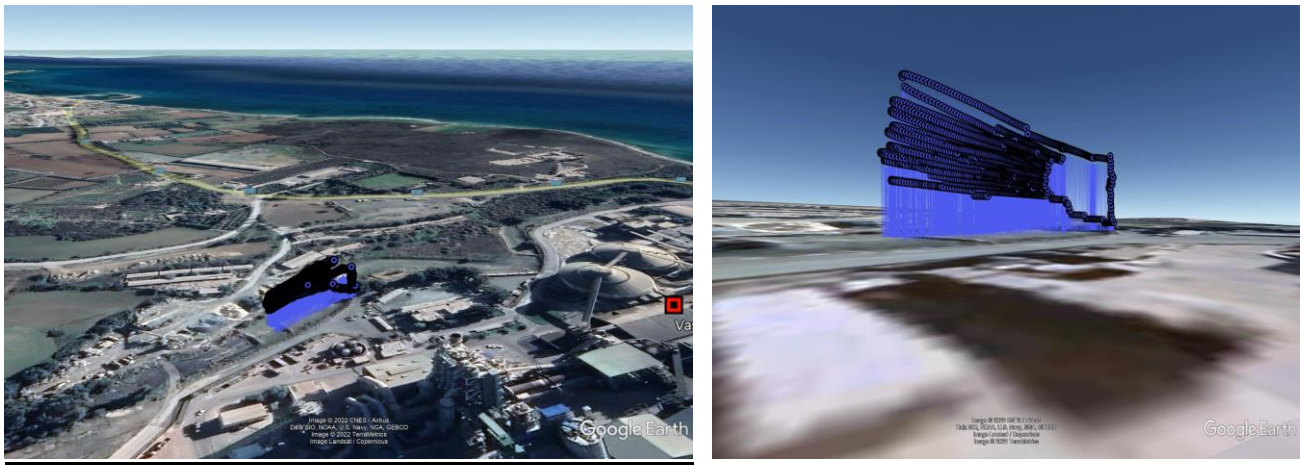
Εντός των υποχρεώσεων του αναδόχου, κατασκευαστή των UAS που προμηθεύτηκε το ΕΑΑ για την PANACEA, προσωπικό του ΕΑΑ εκπαιδεύτηκε για μια εβδομάδα στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Ερευνών Μη Επανδρωμένων Συστημάτων του Ινστιτούτου Κύπρου (USRL, CyI) στην περιοχή της Λευκωσίας στην Κύπρο. Στα πλαίσια της εκπαίδευσης πραγματοποιήθηκε και δοκιμαστική πτήση με το τετρακόπτερο της PANACEA για τη μέτρηση εκπομπών αιθάλης από καπνοδόχο εργοστασίου παρασκευής τσιμέντου προσομοιώνοντας πραγματικές συνθήκες ερευνητικής εκστρατείας. Για της ανάγκες της πτήσης το τετρακόπτερο UAS διαμορφώθηκε κατάλληλα (Εικόνα 39) ώστε να φιλοξενήσει το μικροαιθαλόμετρο MA-200. Για τις ανάγκες της δειγματοληψίας προσαρμόστηκε στη βάση του UAS πλάκα κατασκευασμένη από ανθρακονήματα, πάνω στην οποία στηρίχθηκε η διάταξη της γραμμής δειγματοληψίας, το μικροαιθαλόμετρο MA-200, η διάταξη καταγραφής δεδομένων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις εγκαταστάσεις της Τσιμεντοποιίας Βασιλικού, στην ευρύτερη βιομηχανική περιοχή του Ζυγίου στην επαρχία Λεμεσού. Η κύρια καπνοδόχος του εργοστασίου έχει ύψος 74 m. Σύμφωνα με μετρήσεις που δημοσιεύονται από την εταιρεία (https://www.vassiliko.com/images/media/redirectfile

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

/CSR%20REPORTS/2017/2017/Corporate%20Responsibility%20&%20Sustainable%20Development%20Report%202017%20(2).pdf), κύριοι αέριοι ρύποι από το εργοστάσιο είναι το CO_2, προϊόν της διαδικασίας παραγωγής τσιμέντου, τα NO_x εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών κατά την παραγωγή clinker αλλά και τα SO_2, H_20, NH_3. Επιπλέον καταγράφηκαν σημαντικές εκπεμπόμενες ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων.

Εικόνα 39: *Διαμόρφωση τη θέσης των οργάνων στο τετρακόπτερο UAS της PANACEA πριν από τη δοκιμαστική πτήση. Διακρίνεται το μικροαιθαλόμετρο MA-200, η γραμμή δειγματοληψίας με τη διάταξη ξήρανσης, ο αισθητήρας βαρομετρικής πίεσης, θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας καθώς και η διάταξη καταγραφής δεδομένων.*

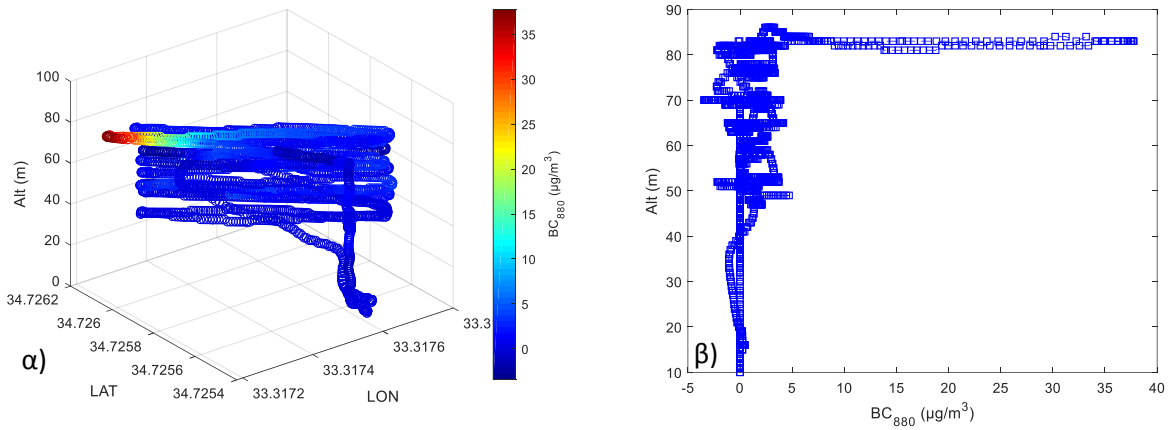
Κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής εκστρατείας, μέσα σε μία ημέρα (01/06/2022) πραγματοποιήθηκαν δύο πτήσεις με μικρή χρονική διαφορά μεταξύ τους. Οι πτητικές διαδρομές πραγματοποιήθηκαν κατάντη της κύριας καπνοδόχου της Τσιμεντοποιίας Βασιλικού (https://www.vassiliko.com/) με παρόμοια ανοδική και καθοδική πορεία αποτελούμενη από σχεδόν παράλληλους προς το έδαφος κλάδους όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 40. Το μικροαιθαλόμετρο κατέγραφε δεδομένα σε χρονική ανάλυση 5 και 1 sec κατά την πρώτη και δεύτερη πτήση αντίστοιχα. Ο αυτόματος πιλότος του αεροσκάφους κατέγραφε δεδομένα θέσης (γεωγραφικό μήκος και πλάτος, χρόνο και ύψος) σε χρονική ανάλυση 0.2 sec. Οι καταγεγραμμένες συγκεντρώσεις BC αντιστοιχήθηκαν στις καταγραφές του αυτόματου πιλότου μέσω γραμμικής παρεμβολής, αυξάνοντας έτσι τη χρονική και χωρική κάλυψη των μετρήσεων.



Εικόνα 40: *Αποτύπωση της πτητικής διαδρομής σε χάρτη (Google Earth Pro) από Β-ΒΔ όψη όπου φαίνεται και η κύρια καπνοδόχος του εργοστασίου καθώς και από το επίπεδο του εδάφους όπου αποτυπώνεται το σχήμα της διαδρομής.*

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Παρουσιάζονται εδώ τα αποτελέσματα της πρώτης πτήσης κατά την οποία το αεροσκάφος βρέθηκε μέσα στον θύσανο της κύριας καπνοδόχου του εργοστασίου(Εικόνα 41). Κατά τη δεύτερη πτήση κάτι τέτοιο δεν έγινε εφικτό. Κατά την αναχαίτιση του θυσάνου, όπως φαίνεται και στην εικόνα, καταγράφηκαν ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις BC της τάξης των 40 μg m^{-3} και σε υψόμετρο περίπου 83 m. Σε χαμηλότερα υψόμετρα, και ενώ το αεροσκάφος βρισκόταν εκτός του θυσάνου του εργοστασίου οι συγκεντρώσεις BC που καταγράφηκαν ήταν σχετικά χαμηλές με μέσο όρο, αφαιρώντας το χρόνο δειγματοληψίας εντός των καυσαερίων, να διαμορφώνεται στα 0.8 μg m^{-3}, πολύ κοντά στις συγκεντρώσεις υποβάθρου που καταγράφονται στην περιοχή.



Εικόνα 41: *Συγκεντρώσεις BC όπως μετρήθηκαν από το μικροαιθαλόμετρο MA-200 κατά τη διάρκεια μιας εκ των δοκιμαστικών πτήσεων στο εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου τόσο σε τρισδιάστατη απεικόνιση (α) όσο και σε απεικόνιση καθ' ύψος (β).*

6. Συμπεράσματα – εκπλήρωση υποχρεώσεων RIS3

Η χρήση των έξυπνων αισθητήρων, επί διαφορετικών παρατηρησιακών πλατφορμών (βλ. π.χ. αστικά δίκτυα, μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα, εν κινήσει με οχήματα δρόμου, επιστήμη πολιτών/πληθοπορισμός κλπ) και σε συνδυασμό με νέες τεχνολογίες επικοινωνίας, ανάλυσης (π.χ. τεχνητή νοημοσύνη) και οπτικοποίησης, αποτελούν αναδυόμενες λύσεις καθώς καθίσταται σαφές ότι η μελλοντική διαχείριση πληθώρας ζητημάτων συμπεριλαμβανομένης της ποιότητας του αστικού αέρα θα ενσωματωθεί στο πλαίσιο έξυπνων πόλεων και άλλων πλαισίων αυτοματισμού και πρόσβασης στην πληροφορία.

Υπό αυτό το πρίσμα και για τα αντικείμενα που θεραπεύονται από την ερευνητική υποδομή PANACEA, μια ευρεία χρήση αισθητήρων μέτρησης της ποιότητας αέρα μέσω της δημιουργία πυκνών δικτύων, μπορεί να παρέχει πληθώρα δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με υψηλή χωρική ανάλυση. Δρώντας συμπληρωματικά στα ρυθμιστικά δίκτυα μέτρησης της ποιότητας του αέρα (AQS), μπορεί να βελτιώσει τις γνώσεις μας σχετικά με τη χωρική μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων των ρύπων και της έκθεσης του πληθυσμού, και ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια τοπικών ή περιφερειακών επεισοδίων ρύπανσης που επηρεάζουν τις αστικές περιοχές. Με τη χρήση μη επανδρωμένων εναέριων συστημάτων δίνεται η επιπλέον δυνατότητα καταγραφής των κατακόρυφων προφίλ των ρύπων στην ατμόσφαιρα αλλά και η μελέτη σε περιοχές ειδικού ενδιαφέροντος και προσβασιμότητας (π.χ. σε λιμάνια), ενώ η λειτουργία των αισθητήρων εν κινήσει, με οχήματα δρόμου, ποδήλατα κλπ, μπορεί να διευκολύνει την λεπτομερή χαρτογράφηση της ρύπανσης σε ενδοαστική κλίμακα. Τέλος, η χρήση των αισθητήρων από τους ίδιους τους πολίτες, πέραν των ανωτέρω, συμβάλει και στην πληροφόρηση και ευαισθητοποίησή τους σε θέματα που αφορούν στο περιβάλλον και την υγεία.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Σε ερευνητικό επίπεδο, η δυνατότητα συλλογής δεδομένων συγκέντρωσης από δεκάδες τοποθεσίες μέτρησης σε πυκνοκατοικημένες περιοχές μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη για μελέτες υγείας, προκειμένου να αναπτυχθούν πιο αντιπροσωπευτικά χωρικά μοντέλα για την έκθεση του πληθυσμού και να ελαχιστοποιηθούν τα λάθη εσφαλμένης ταξινόμησης λόγω της μεταβλητότητας των συγκεντρώσεων εντός της περιοχής. Επιπλέον, καθώς τα περισσότερα δίκτυα χαμηλού κόστους λειτουργούν σύμφωνα με τις αρχές ανοιχτών δεδομένων, μπορούν να παρέχουν χρήσιμα δεδομένα στην ερευνητική κοινότητα και να διευρύνουν το πεδίο της έρευνας για την ποιότητα του εισπνεύσιμου αέρα.

Είναι σαφές λοιπόν ότι τα τελευταία χρόνια οι αισθητήρες χαμηλού κόστους, χρησιμοποιούνται ευρέως για την παρακολούθηση των επιπέδων της ρύπανσης, παρέχοντας μια οικονομική και πρακτική λύση. Καθώς η απόδοσή τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από περιβαλλοντικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της υγρασίας και της αφθονίας χονδρόκοκκων σωματιδίων, οι οποίοι ποικίλλουν εποχιακά, αλλά και χωρικά, απαιτείται εκτεταμένη εργασία για την καλύτερη κατανόηση της απόκρισης τους και την πρόταση κατάλληλων διαδικασιών βαθμονόμησης. Μπορεί επίσης να οδηγήσει σε ανακριβείς εκτιμήσεις της κατάστασης της ποιότητας του αέρα, εάν η βαθμονόμηση δεν εφαρμόζεται, και συχνά κατάχρησης από τρίτους. Συνεπώς η εκτεταμένη χρήση τους θα πρέπει να γίνεται συντεταγμένα και οργανωμένα, και θα πρέπει να τονιστεί ο σημαντικός ρόλος των ερευνητικών φορέων στην διαδικασία αυτή. Η PANACEA με την σχετική της δράση καταδεικνύει την δυνατότητά της να παρέχει ολοκληρωτική υποστήριξη προς την κατεύθυνσης αυτή.

Τα προϊόντα και οι υπηρεσίες καινοτομίας της PANACEA ικανοποιούν σε μεγάλο βαθμό πολλές πτυχές τις έξυπνης εξειδίκευσης RIS3, τόσο σε εθνικό όσο και σε περιφερειακό επίπεδο, εξυπηρετώντας τα ακόλουθα συγκεκριμένα αποτελέσματα:

- τη δραστική βελτίωση των περιφερειακών προβλέψεων για το κλίμα, διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων για την προσαρμογή και τον μετριασμό τόσο στον κρατικό όσο και στον ιδιωτικό τομέα, εξασφαλίζοντας τη βιωσιμότητα των βασικών οικονομικών τομέων (π.χ. τουρισμός, υγεία, γεωργία και επισιτιστική ασφάλεια, ενέργεια περιλαμβανομένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) σε ένα ταχέως μεταβαλλόμενο κλίμα.

Συγκεκριμένα, η πύκνωση της παρακολούθησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας σε πανελλαδικό επίπεδο συμβάλλει στην έγκαιρη αναγνώριση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη διαμόρφωση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αλλά και παράλληλα εξασφαλίζει την δυνατότητα αξιολόγησης εις το μακρόθεν της των μέτρων για το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, μέσω του αναμενόμενου αποτυπώματος της τομεακής μείωσης εκπομπών στα επίπεδα της ρύπανσης. Τομείς όπως η υγεία, ο τουρισμός και η γεωργία εξυπηρετούνται άμεσα μέσω της διευκόλυνσης και ισχυροποίησης της λήψης αποφάσεων αλλά και έμμεσα μέσω της πληροφόρησης και ευαισθητοποίησης των ενδιαφερομένων μερών. Διευκολύνθηκε παράλληλα η ανάπτυξη υπολογιστικών τεχνικών για τον εντοπισμό και την ποσοτικοποίηση των πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την εκτίμηση των επιπτώσεων της ρύπανσης σε συγκεκριμένους τομείς, π.χ. στις μεταφορές, τη βιομηχανία, τη γεωργία και γενικότερα στην εθνική οικονομία.

- την επαφή του ερευνητικού τομέα, του ακαδημαϊκού χώρου, των μικρομεσαίων επιχειρήσεων και της βιομηχανίας, ενεργώντας ως επιταχυντής καινοτομίας κατά την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών.

Συγκεκριμένα, οι συγκεκριμένες δράσεις της PANACEA έδωσαν σημαντική ώθηση στην επιχειρησιακή ανάπτυξη και εφαρμογή των τεχνολογιών των αισθητήρων και της προσαρμογής τους σε διαφορετικές πλατφόρμες, για ερευνητικές δραστηριότητες και την ενημέρωση του κοινού, σχετικά με την ποιότητα του αέρα. Σε ένα μεταβατικό στάδιο που το κλίμα, κυρίως από τις αρμόδιες αρχές, χαρακτηρίζεται από έλλειψη εμπιστοσύνης και διστακτικότητα στη χρήση χαμηλού κόστους αισθητήρων, η PANACEA κατάφερε δημιουργήσει ισχυρές γέφυρες εμπιστοσύνης μέσω της επιστημονικής της προσέγγισης, της προσήλωσης στην ποιότητα των διαδικασιών και των δεδομένων και την σοβαρότητα της μετάδοσης της πληροφορίας, η οποία ταυτόχρονα εμπεριείχε σημαντικά μηνύματα κατανόησης των δυνατοτήτων αλλά και των περιορισμών προς τους αρμόδιους, τους παλιούς πολίτες

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

και κυρίως τα μέσα μαζικής ενημέρωσης. Επιπλέον, δημιούργησε ισχυρούς δεσμούς με εταιρείες (κυρίως μικρομεσαίες) στον τομέα της ανάπτυξης των αισθητήρων, της επικοινωνίας και μεταφοράς των δεδομένων, της ανάπτυξης δευτερογενών προϊόντων και εργαλείων οπτικοποίησης, δίνοντας το έναυσμα για μεγαλύτερη εμπλοκή και επενδύσεις στον τομέα και βελτιώνοντας τις προοπτικές βιωσιμότητας των σχετικών δικτύων.

- *τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, επενδύσεων και αγορών σε εθνικό, ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο, σύμφωνα με τις προτεραιότητες της ΕΕ*

Το αντικείμενο των αισθητήρων χαμηλού κόστους και γενικότερα της εφαρμογής των νέων τεχνολογιών είναι ιδιαίτερα ανερχόμενο στην περιοχή της παρακολούθησης μικροκλιματικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως για παράδειγμα η ατμοσφαιρική ρύπανση. Η προσπάθεια και η ανάπτυξη που έγινε στο πλαίσιο της PANACEA κατέδειξε ακριβώς αυτό το ενδιαφέρον, τόσο σε επίπεδο ερευνητικών φορέων όσο και σε επίπεδο μικρομεσαίων εταιρειών. Μαζί και με παράλληλες δραστηριότητες των εμπλεκομένων φορέων της PANACEA, υπήρξε σημαντική συμβολή στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας σε αντικείμενα που αφορούν: (α) στην βαθμονόμηση και συντήρηση αισθητήρων, ανάπτυξη εξατομικευμένων πλατφορμών επικοινωνίας, ανάπτυξη δικτύων, χειριστές/πιλότοι μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων, διαχειριστές βάσεων δεδομένων και πλατφορμών οπτικοποίησης υπηρεσιών κλπ., (β) στις επενδύσεις σε αγορά πρόσθετων αισθητήρων για την πύκνωση των δικτύων και ανταλλακτικών συντήρησης κλπ.

- *τη δημιουργία σημείου επικύρωσης, βαθμονόμησης και αναφοράς για εξειδικευμένα δίκτυα*

Η PANACEA αποτελεί σήμερα, σε εθνικό επίπεδο, σημείο αναφοράς για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και ατμοσφαιρικής σύστασης εν γένει, έχοντας καταφέρει να συσπειρώσει την σχετική επιστημονική κοινότητα και να ενεργήσει ως υπεύθυνο και έγκυρο σημείο επαφής για την ελληνική πολιτεία. Με τις υπηρεσίες που περιγράφηκαν στο παρόν παραδοτέο, επέδειξε κρίσιμη συμβολή στις περιπτώσεις περιβαλλοντικών καταστροφών (βλ. περιαστικές πυρκαγιές) και ανθρωπογενών ατυχημάτων (π.χ. βιομηχανικά ατυχήματα), διευκολύνοντας την έγκαιρη ενημέρωση και αποτελεσματική λήψη αποφάσεων. Η τεχνολογία των αισθητήρων χαμηλού κόστους προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα λόγω χαμηλού κόστους και δυνατότητας συνεχούς επέκτασης και πύκνωσης από τη μία, αλλά από την άλλη χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και ευαισθησία στην χρήση των δεδομένων από μη ερευνητικούς φορείς, με την έννοια της εγκυροποίησης των διαδικασιών βαθμονόμησης και ελέγχου ποιότητας των δεδομένων. Προς αυτή την κατεύθυνση η PANACEA, εκτός του ότι κατάφερε να αποτελέσει το σημείο επικύρωσης για αντίστοιχες ενέργειες, εργάστηκε και στο να περάσει τα κατάλληλα μηνύματα και να εκπαιδεύσει αρμοδίους και μέσα επικοινωνίας για την ορθή ανάγνωση και χρήση των αποτελεσμάτων των καινοτόμων υπηρεσιών και προϊόντων της.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ardon-Dryer, K., Dryer, Y., Williams, J. N., & Moghimi, N. (2019). *Measurements of PM2.5 with PurpleAir under atmospheric conditions*. https://doi.org/10.5194/amt-2019-396

Athanasopoulou, E., Speyer, O., Brunner, D., Vogel, H., Vogel, B., Mihalopoulos, N., & Gerasopoulos, E. (2017). Changes in domestic heating fuel use in Greece: effects on atmospheric chemistry and radiation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *17*(17), 10597–10618. https://doi.org/10.5194/acp-17-10597-2017

Atkinson, R. W., Kang, S., Anderson, H. R., Mills, I. C., & Walton, H. A. (2014). Epidemiological time series studies of PM2.5 and daily mortality and hospital admissions: A systematic review and meta-analysis. In *Thorax* (Vol. 69, Issue 7, pp. 660–665). BMJ Publishing Group. https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2013-204492

Becnel, T., Sayahi, T., Kelly, K., & Gaillardon, P. E. (2019, June 1). A recursive approach to partially blind calibration of a pollution sensor network. *2019 IEEE International Conference on Embedded Software and Systems, ICESS 2019*. https://doi.org/10.1109/ICESS.2019.8782523

Bi, J., Wildani, A., Chang, H. H., & Liu, Y. (2020). Incorporating Low-Cost Sensor Measurements into High-Resolution PM2.5 Modeling at a Large Spatial Scale. *Environmental Science and Technology*, *54*(4), 2152–2162. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06046

Bond, T. C., et al. (2013), Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment, *Journal of Geophysical Research Atmos.*, 118, 5380– 5552, doi:10.1002/jgrd.50171.

Borrego, C., Ginja, J., Coutinho, M., Ribeiro, C., Karatzas, K., Sioumis, T., Katsifarakis, N., Konstantinidis, K., De Vito, S., Esposito, E., Salvato, M., Smith, P., André, N., Gérard, P., Francis, L. A., Castell, N., Schneider, P., Viana, M., Minguillón, M. C., … Penza, M. (2018). Assessment of air quality microsensors versus reference methods: The EuNetAir Joint Exercise – Part II. *Atmospheric Environment*, *193*, 127–142. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.08.028

Brock, C. A., Wagner, N. L., Anderson, B. E., Attwood, A. R., Beyersdorf, A., Campuzano-Jost, P., Carlton, A. G., Day, D. A., Diskin, G. S., Gordon, T. D., Jimenez, J. L., Lack, D. A., Liao, J., Markovic, M. Z., Middlebrook, A. M., Ng, N. L., Perring, A. E., Richardson, M. S., Schwarz, J. P., … Murphy, D. M. (2016). Aerosol optical properties in the southeastern United States in summer – Part 1: Hygroscopic growth. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *16*(8), 4987–5007. https://doi.org/10.5194/acp-16-4987-2016

Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope, C. A., Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R. V., Mittleman, M. A., Peters, A., Siscovick, D., Smith, S. C., Whitsel, L., & Kaufman, J. D. (2010). Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease. *Circulation*, *121*(21), 2331–2378. https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbece1

Cesaroni, G., Forastiere, F., Stafoggia, M., Andersen, Z. J., Badaloni, C., Beelen, R., Caracciolo, B., De Faire, U., Erbel, R., Eriksen, K. T., Fratiglioni, L., Galassi, C., Hampel, R., Heier, M., Hennig, F., Hilding, A., Hoffmann, B., Houthuijs, D., Jöckel, K. H., … Peters, A. (2014). Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: Prospective cohort study and meta-analysis in 11 european cohorts from the escape project. *BMJ (Online)*, *348*. https://doi.org/10.1136/bmj.f7412

Delfino, R. J., Brummel, S., Wu, J., Stern, H., Ostro, B., Lipsett, M., Winer, A., Street, D. H., Zhang, L., Tjoa, T., & Gillen, D. L. (2009). The relationship of respiratory and cardiovascular hospital admissions to the southern California wildfires of 2003. *Occupational and Environmental Medicine*, *66*(3), 189–197. https://doi.org/10.1136/oem.2008.041376

Di, Q., Wang, Y., Zanobetti, A., Wang, Y., Koutrakis, P., Choirat, C., Dominici, F., & Schwartz, J. D. (2017). Air Pollution and Mortality in the Medicare Population. *New England Journal of Medicine*, *376*(26), 2513–2522. https://doi.org/10.1056/nejmoa1702747

Dimitriou, K., & Kassomenos, P. (2019). Estimation of North African dust contribution on PM10 episodes at four continental Greek cities. *Ecological Indicators*, *106*, 105530. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105530

Drinovec, L., Močnik, G., Zotter, P., Prévôt, A. S. H., Ruckstuhl, C., Coz, E., Rupakheti, M., Sciare, J., Müller, T., Wiedensohler, A., & Hansen, A. D. A. (2015). The "dual-spot" Aethalometer: An improved measurement of aerosol black carbon with real-time loading compensation. *Atmospheric Measurement Techniques*, *8*(5),

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

1965–1979. https://doi.org/10.5194/amt-8-1965-2015

European Environment Agency. Air Quality in Europe-2019. (2019). *Publications Offce of the European Union: Luxembourg*, *Report No*, 66–70.

Feenstra, B., Papapostolou, V., Hasheminassab, S., Zhang, H., Boghossian, B. Der, Cocker, D., & Polidori, A. (2019). Performance evaluation of twelve low-cost PM2.5 sensors at an ambient air monitoring site. *Atmospheric Environment*, *216*, 116946. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116946

Field Evaluation Purple Air (PA-II) PM Sensor Background. (n.d.).

Florou, K., Papanastasiou, D. K., Pikridas, M., Kaltsonoudis, C., Louvaris, E., Gkatzelis, G. I., Patoulias, D., Mihalopoulos, N., & Pandis, S. N. (2017). The contribution of wood burning and other pollution sources to wintertime organic aerosol levels in two Greek cities. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *17*(4), 3145–3163. https://doi.org/10.5194/acp-17-3145-2017

Gao, M., Cao, J., & Seto, E. (2015). A distributed network of low-cost continuous reading sensors to measure spatiotemporal variations of PM2.5 in Xi'an, China. *Environmental Pollution*, *199*, 56–65. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.013

Gerasopoulos, E., Amiridis, V., Kazadzis, S., Kokkalis, P., Eleftheratos, K., Andreae, M. O., Andreae, T. W., El-Askary, H., & Zerefos, C. S. (2011). Three-year ground based measurements of aerosol optical depth over the Eastern Mediterranean: the urban environment of Athens. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *11*(5), 2145–2159. https://doi.org/10.5194/acp-11-2145-2011

Gerasopoulos, E., Kouvarakis, G., Babasakalis, P., Vrekoussis, M., Putaud, J. P., & Mihalopoulos, N. (2006). Origin and variability of particulate matter (PM10) mass concentrations over the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*, *40*(25), 4679–4690. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.04.020

Ghan, S. J., Abdul-Razzak, H., Nenes, A., Ming, Y., Liu, X., Ovchinnikov, M., Shipway, B., Meskhidze, N., Xu, J., & Shi, X. (2011). Droplet nucleation: Physically-based parameterizations and comparative evaluation. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, *3*(4), 1–34. https://doi.org/10.1029/2011ms000074

Grivas, G., Cheristanidis, S., Chaloulakou, A., Koutrakis, P., & Mihalopoulos, N. (2018). Elemental Composition and Source Apportionment of Fine and Coarse Particles at Traffic and Urban Background Locations in Athens, Greece. *Aerosol and Air Quality Research*, *18*(7), 1642–1659. https://doi.org/10.4209/aaqr.2017.12.0567

Grivas, G., Stavroulas, I., Liakakou, E., Kaskaoutis, D. G., Bougiatioti, A., Paraskevopoulou, D., Gerasopoulos, E., & Mihalopoulos, N. (2019). Measuring the spatial variability of black carbon in Athens during wintertime. *Air Quality, Atmosphere and Health*, *12*(12), 1405–1417. https://doi.org/10.1007/s11869-019-00756-y

Haywood, J., and Boucher, O. (2000), Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols: A review, *Rev. Geophys.*, 38(4), 513– 543, doi:10.1029/1999RG000078

Hänel, G. (1976). *The properties of atmospheric aerosol particles as functions of the relative humidity at thermodynamic equilibrium with the surrounding moist air. Adv. Geophys. 19, 73–188.*

He, M., Kuerbanjiang, N., & Dhaniyala, S. (2020). Performance characteristics of the low-cost Plantower PMS optical sensor. *Aerosol Science and Technology*, *54*(2), 232–241. https://doi.org/10.1080/02786826.2019.1696015

He, Y., Gu, Z., Lu, W., Zhang, L., Okuda, T., Fujioka, K., Luo, H., Y., & C.W. (2019). *Atmospheric humidity and particle charging state on agglomeration of aerosol particles. Atmos. Environ. 197, 141–149.*

Hegg, D., Larson, T., & Yuen, P. F. (1993). *A theoretical study of the effect of relative humidity on light scattering by tropospheric aerosols. J. Geophys. Res.-Atmos. 98, 18435–18439.*

Houssos, E. E., Lolis, C. J., Gkikas, A., Hatzianastassiou, N., & Bartzokas, A. (2012). On the atmospheric circulation characteristics associated with fog in Ioannina, north-western Greece. *International Journal of Climatology*, *32*(12), 1847–1862. https://doi.org/10.1002/joc.2399

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896

Jayaratne, R., Liu, X., Thai, P., Dunbabin, M., & Morawska, L. (2018). The influence of humidity on the

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

performance of a low-cost air particle mass sensor and the effect of atmospheric fog. *Atmospheric Measurement Techniques*, *11*(8), 4883–4890. https://doi.org/10.5194/amt-11-4883-2018

Jiao, W., Hagler, G., Williams, R., Sharpe, R., Brown, R., Garver, D., Judge, R., Caudill, M., Rickard, J., Davis, M., Weinstock, L., Zimmer-Dauphinee, S., & Buckley, K. (2016). Community Air Sensor Network (CAIRSENSE) project: evaluation of low-cost sensor performance in a suburban environment in the southeastern United States. *Atmospheric Measurement Techniques*, *9*(11), 5281–5292. https://doi.org/10.5194/amt-9-5281-2016

Kalkavouras, P., Bougiatioti, A., Grivas, G., Stavroulas, I., Kalivitis, N., Liakakou, E., Gerasopoulos, E., Pilinis, C., & Mihalopoulos, N. (2020). On the regional aspects of new particle formation in the Eastern Mediterranean: A comparative study between a background and an urban site based on long term observations. *Atmospheric Research*, *239*, 104911. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104911

Kaskaoutis, D. G., Grivas, G., Theodosi, C., Tsagkaraki, M., Paraskevopoulou, D., Stavroulas, I., Liakakou, E., Gkikas, A., Hatzianastassiou, N., Wu, C., Gerasopoulos, E., & Mihalopoulos, N. (2020). Carbonaceous Aerosols in Contrasting Atmospheric Environments in Greek Cities: Evaluation of the EC-tracer Methods for Secondary Organic Carbon Estimation. *Atmosphere*, *11*(2), 161. https://doi.org/10.3390/atmos11020161

Kelleher, S., Quinn, C., Miller-Lionberg, D., & Volckens, J. (2018). A low-cost particulate matter (PM_{2.5}) monitor for wildland fire smoke. *Atmospheric Measurement Techniques*, *11*(2), 1087–1097. https://doi.org/10.5194/amt-11-1087-2018

Kelly, K. E., Whitaker, J., Petty, A., Widmer, C., Dybwad, A., Sleeth, D., Martin, R., & Butterfield, A. (2017). Ambient and laboratory evaluation of a low-cost particulate matter sensor. *Environmental Pollution*, *221*, 491–500. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.039

Kosmopoulos, G., Salamalikis, V., Pandis, S. N., Yannopoulos, P., Bloutsos, A. A., & Kazantzidis, A. (2020). Low-cost sensors for measuring airborne particulate matter: Field evaluation and calibration at a South-Eastern European site. *Science of The Total Environment*, *748*, 141396. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141396

Kuula, J., Mäkelä, T., Aurela, M., Teinilä, K., Varjonen, S., González, Ó., & Timonen, H. (2020). Laboratory evaluation of particle-size selectivity of optical low-cost particulate matter sensors. *Atmospheric Measurement Techniques*, *13*(5), 2413–2423. https://doi.org/10.5194/amt-13-2413-2020

Lelieveld, J., Pozzer, A., Pöschl, U., Fnais, M., Haines, A., & Münzel, T. (2020). Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: a worldwide perspective. *Cardiovascular Research*, *116*(11), 1910–1917. https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa025

Levy Zamora, M., Xiong, F., Gentner, D., Kerkez, B., Kohrman-Glaser, J., & Koehler, K. (2019). Field and Laboratory Evaluations of the Low-Cost Plantower Particulate Matter Sensor. *Environmental Science and Technology*, *53*(2), 838–849. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05174

Lipsett, M. J., Ostro, B. D., Reynolds, P., Goldberg, D., Hertz, A., Jerrett, M., Smith, D. F., Garcia, C., Chang, E. T., & Bernstein, L. (2011). Long-term exposure to air pollution and cardiorespiratory disease in the California teachers study cohort. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *184*(7), 828–835. https://doi.org/10.1164/rccm.201012-2082OC

Liu, C., Chen, R., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Guo, Y., Tong, S., Coelho, M. S. Z. S., Saldiva, P. H. N., Lavigne, E., Matus, P., Valdes Ortega, N., Osorio Garcia, S., Pascal, M., Stafoggia, M., Scortichini, M., Hashizume, M., Honda, Y., Hurtado-Díaz, M., Cruz, J., … Kan, H. (2019). Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. *New England Journal of Medicine*, *381*(8), 705–715. https://doi.org/10.1056/nejmoa1817364

Magi, B. I., Cupini, C., Francis, J., Green, M., & Hauser, C. (2020). Evaluation of PM2.5 measured in an urban setting using a low-cost optical particle counter and a Federal Equivalent Method Beta Attenuation Monitor. *Aerosol Science and Technology*, *54*(2), 147–159. https://doi.org/10.1080/02786826.2019.1619915

Mahajan, S., & Kumar, P. (2020). Evaluation of low-cost sensors for quantitative personal exposure monitoring. *Sustainable Cities and Society*, *57*, 102076. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102076

Malings, C., Tanzer, R., Hauryliuk, A., Saha, P. K., Robinson, A. L., Presto, A. A., & Subramanian, R. (2020). Fine particle mass monitoring with low-cost sensors: Corrections and long-term performance evaluation. *Aerosol Science and Technology*, *54*(2), 160–174. https://doi.org/10.1080/02786826.2019.1623863

Manousakas, M., Diapouli, E., Papaefthymiou, H., Kantarelou, V., Zarkadas, C., Kalogridis, A.-C., Karydas, A.-G., &

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Eleftheriadis, K. (2018). XRF characterization and source apportionment of PM10 samples collected in a coastal city. *X-Ray Spectrometry*, *47*(3), 190–200. https://doi.org/10.1002/xrs.2817

Mukherjee, A., Stanton, L., Graham, A., & Roberts, P. (2017). Assessing the Utility of Low-Cost Particulate Matter Sensors over a 12-Week Period in the Cuyama Valley of California. *Sensors*, *17*(8), 1805. https://doi.org/10.3390/s17081805

Olstrup, H., Johansson, C., Forsberg, B., Tornevi, A., Ekebom, A., & Meister, K. (2019). A multi-pollutant air quality health index (AQHI) based on short-term respiratory effects in Stockholm, Sweden. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(1). https://doi.org/10.3390/ijerph16010105

Papapostolou, V., Zhang, H., Feenstra, B. J., & Polidori, A. (2017). Development of an environmental chamber for evaluating the performance of low-cost air quality sensors under controlled conditions. *Atmospheric Environment*, *171*, 82–90. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.10.003

Park, H.-S., Kim, R.-E., Park, Y.-M., Hwang, K.-C., Lee, S.-H., Kim, J.-J., Choi, J.-Y., Lee, D.-G., Chang, L.-S., & Choi, W. (2020). The Potential of Commercial Sensors for Spatially Dense Short-term Air Quality Monitoring Based on Multiple Short-term Evaluations of 30 Sensor Nodes in Urban Areas in Korea. *Aerosol and Air Quality Research*, *20*(2), 369–380. https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.03.0143

Pawar, H., & Sinha, B. (2020). Humidity, density, and inlet aspiration efficiency correction improve accuracy of a low-cost sensor during field calibration at a suburban site in the North-Western Indo-Gangetic plain (NW-IGP). *Aerosol Science and Technology*, *54*(6), 685–703. https://doi.org/10.1080/02786826.2020.1719971

Petit, J. E., Favez, O., Albinet, A., & Canonaco, F. (2017). A user-friendly tool for comprehensive evaluation of the geographical origins of atmospheric pollution: Wind and trajectory analyses. *Environmental Modelling and Software*, *88*, 183–187. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.11.022

Pikridas, M., Tasoglou, A., Florou, K., & Pandis, S. N. (2013). Characterization of the origin of fine particulate matter in a medium size urban area in the Mediterranean. *Atmospheric Environment*, *80*, 264–274. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.07.070

Sandradewi, J., Prévôt, A. S. H., Szidat, S., Perron, N., Alfarra, M. R., Lanz, V. A., Weingartner, E., & Baltensperger, U. R. S. (2008). Using aerosol light abosrption measurements for the quantitative determination of wood burning and traffic emission contribution to particulate matter. *Environmental Science and Technology*, *42*(9), 3316–3323. https://doi.org/10.1021/es702253m

Sayahi, T., Kaufman, D., Becnel, T., Kaur, K., Butterfield, A. E., Collingwood, S., Zhang, Y., Gaillardon, P. E., & Kelly, K. E. (2019). Development of a calibration chamber to evaluate the performance of low-cost particulate matter sensors. *Environmental Pollution*, *255*, 113131. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113131

SCAQMD. (2016). *Field Evaluation Purple Air PM Sensor Background.*

Schmidt-Ott, A., Ristovski, Z. D. (2003). *Measurement of airborne particles. Indoor Environment: Airborne Particles and Settled Dust. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, pp. 56–81.*

Shi, L., Zanobetti, A., Kloog, I., Coull, B. A., Koutrakis, P., Melly, S. J., & Schwartz, J. D. (2016). Low-Concentration $PM_{2.5}$ and Mortality: Estimating Acute and Chronic Effects in a Population-Based Study. *Environmental Health Perspectives*, *124*(1), 46–52. https://doi.org/10.1289/ehp.1409111

Si, M., Xiong, Y., Du, S., & Du, K. (2020). Evaluation and calibration of a low-cost particle sensor in ambient conditions using machine-learning methods. *Atmospheric Measurement Techniques*, *13*(4), 1693–1707. https://doi.org/10.5194/amt-13-1693-2020

Sindosi, O., Markozannes, G., Rizos, E., & Ntzani, E. (2019). Effects of economic crisis on air quality in Ioannina, Greece. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, *54*(8), 768–781. https://doi.org/10.1080/10934529.2019.1592534

Stavroulas, I., Bougiatioti, A., Grivas, G., Paraskevopoulou, D., Tsagkaraki, M., Zarmpas, P., Liakakou, E., Gerasopoulos, E., & Mihalopoulos, N. (2019). Sources and processes that control the submicron organic aerosol composition in an urban Mediterranean environment (Athens): a high temporal-resolution chemical composition measurement study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *19*(2), 901–919. https://doi.org/10.5194/acp-19-901-2019

Stavroulas, I., Grivas, G., Michalopoulos, P., Liakakou, E., Bougiatioti, A., Kalkavouras, P., Fameli, K., Hatzianastassiou, N., Mihalopoulos, N., & Gerasopoulos, E. (2020). Field Evaluation of Low-Cost PM Sensors

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

(Purple Air PA-II) Under Variable Urban Air Quality Conditions, in Greece. *Atmosphere*, *11*(9), 926. https://doi.org/10.3390/atmos11090926

Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J. B., Cohen, M. D., & Ngan, F. (2015). Noaa's hysplit atmospheric transport and dispersion modeling system. In *Bulletin of the American Meteorological Society* (Vol. 96, Issue 12, pp. 2059–2077). American Meteorological Society. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1

Tagle, M., Rojas, F., Reyes, F., Vásquez, Y., Hallgren, F., Lindén, J., Kolev, D., Watne, Å. K., & Oyola, P. (2020). Field performance of a low-cost sensor in the monitoring of particulate matter in Santiago, Chile. *Environmental Monitoring and Assessment*, *192*(3), 1–18. https://doi.org/10.1007/s10661-020-8118-4

Theodosi, C., Tsagkaraki, M., Zarmpas, P., Grivas, G., Liakakou, E., Paraskevopoulou, D., Lianou, M., Gerasopoulos, E., & Mihalopoulos, N. (2018). Multi-year chemical composition of the fine-aerosol fraction in Athens, Greece, with emphasis on the contribution of residential heating in wintertime. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *18*(19), 14371–14391. https://doi.org/10.5194/acp-18-14371-2018

Tryner, J., L'Orange, C., Mehaffy, J., Miller-Lionberg, D., Hofstetter, J. C., Wilson, A., & Volckens, J. (2020). Laboratory evaluation of low-cost PurpleAir PM monitors and in-field correction using co-located portable filter samplers. *Atmospheric Environment*, *220*, 117067. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117067

Wang, Y., Li, J., Jing, H., Zhang, Q., Jiang, J., & Biswas, P. (2015). Laboratory Evaluation and Calibration of Three Low-Cost Particle Sensors for Particulate Matter Measurement. *Aerosol Science and Technology*, *49*(11), 1063–1077. https://doi.org/10.1080/02786826.2015.1100710

Weichenthal, S., Kulka, R., Lavigne, E., van Rijswijk, D., Brauer, M., Villeneuve, P. J., Stieb, D., Joseph, L., & Burnett, R. T. (2017). Biomass Burning as a Source of Ambient Fine Particulate Air Pollution and Acute Myocardial Infarction. *Epidemiology*, *28*(3), 329–337. https://doi.org/10.1097/ede.0000000000000636

Weingartner, E., Saathoff, H., Schnaiter, M. , Streit, N., Bitnar, B., Baltensperger, U. (2003). Absorption of light by soot particles: determination of the absorption coefficient by means of aethalometers, Journal of Aerosol Science, 34, 1445-1463. https://doi.org/10.1016/S0021-8502(03)00359-8

World Health Organization. Air Quality Guidelines: Global Update 2005: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, and Sulfur Dioxide; WHO Regional Office for Europe: Copenhagen, Denmark, 2006; pp. 217–305

World Health Organization. Ambient Air Pollution: A global Assessment of Exposure and Burden of Disease; WHO Document Production Services: Geneva, Switzerland, 2016. (n.d.).

Wu, T., Li, Z., Chen, J., Wang, Y., Wu, H., Jin, X., Liang, C., Li, S., Wang, W., & Cribb, M. (2020). Hygroscopicity of different types of aerosol particles: Case studies using multi-instrument data in megacity Beijing, China. *Remote Sensing*, *12*(5). https://doi.org/10.3390/rs12050785

Zhang, Z., Whitsel, E. A., Quibrera, P. M., Smith, R. L., Liao, D., Anderson, G. L., & Prineas, R. J. (2009). Ambient Fine Particulate Matter Exposure and Myocardial Ischemia in the Environmental Epidemiology of Arrhythmogenesis in the Women's Health Initiative (EEAWHI) Study. *Environmental Health Perspectives*, *117*(5), 751–756. https://doi.org/10.1289/ehp.0800046

Zhao, P., Ding, J., Du, X., & Su, J. (2019). *High time-resolution measurement of light scattering hygroscopic growth factor in Beijing: a novel method for high relative humidity conditions. Atmos. Environ. 215, 116912.*

Zheng, T., Bergin, M. H., Johnson, K. K., Tripathi, S. N., Shirodkar, S., Landis, M. S., Sutaria, R., & Carlson, D. E. (2018). Field evaluation of low-cost particulate matter sensors in high- and low-concentration environments. *Atmospheric Measurement Techniques*, *11*(8), 4823–4846. https://doi.org/10.5194/amt-11-4823-2018

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΤΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ
ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ
ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη