

Έξυπνο, εξειδικευμένο περιβαλλοντικό παρατηρητήριο στην Μεσσηνία

Παραδοτέο Π.4.2

Ανάπτυξη πρωτόκολλου εφαρμογής της υποδομής (δίκτυο και συνδυασμός τεχνολογιών αισθητήρων στην εκτίμηση έκθεσης των πολιτών σε ατμοσφαιρικούς ρύπους) για χρήση από τις τοπικές αρχές ως υποστήριξη στην λήψη αποφάσεων



Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή- σκοπός
2. Η Επιστήμη των Πολιτών και ο ρόλος της στην εκτίμηση της ποιότητας του αέρα
3. Πρωτόκολλο εφαρμογής της υποδομής για παρακολούθηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας
4. Προτεινόμενη εφαρμογή πρωτοκόλλου

1. Εισαγωγή – Σκοπός

Η μελέτη της ποιότητας του αέρα σε μια περιοχή είναι εξαιρετικά σημαντική καθώς αυξημένα επίπεδα ρύπανσης μπορούν να έχουν άμεση και έμμεση επίδραση στην υγεία του πληθυσμού, το περιβάλλον αλλά και τη γενική ποιότητα ζωής. Η κακή ποιότητα του αέρα έχει αρνητικές -βραχυπρόθεσμες ή μακροπρόθεσμες- επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Η έκθεση σε ρυπαντές όπως τα μικροσωματίδια (PM_{2.5}, PM₁₀), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), οι οργανικές πτητικές ενώσεις (VOCs) και άλλες επιβλαβείς ουσίες ενδέχεται να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, καρδιαγγειακές ασθένειες, αλλεργίες, καρκίνο και άλλα προβλήματα υγείας. Για τους λόγους αυτούς, οι αρμόδιοι φορείς (παγκόσμιες οργανώσεις, κυβερνητικές ή τοπικές αρχές, υπηρεσίες περιβάλλοντος και υγείας) καθορίζουν, προτείνουν ή επιβάλλουν μέτρα και κανονισμούς για την μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης προκειμένου να προστατεύσουν την υγεία του πληθυσμού και το περιβάλλον. Έτσι, η μελέτη της ποιότητας του αέρα καθίσταται απαραίτητη για την παρακολούθηση της συμμόρφωσης με αυτούς τους κανονισμούς, καθώς και για την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών.

Μία διαδεδομένη πρακτική για την παρακολούθηση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μιας περιοχής (π.χ. πόλης ή περιφέρειας) είναι η συλλογή δεδομένων από εγκατεστημένα *δίκτυα σταθμών παρακολούθησης* της ποιότητας του αέρα, σε επίπεδο πόλης ή περιφέρειας. Οι σταθμοί αυτοί περιλαμβάνουν συμβατικά όργανα μέτρησης κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων και συνήθως είναι τοποθετημένοι έτσι ώστε να καλύπτεται η ευρύτερη έκταση καθώς και περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά (π.χ. αστική, ημιαστική, κυκλοφορίας). Τα δεδομένα που συλλέγονται αξιοποιούνται από τους αρμόδιους φορείς για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης με τη σχετική νομοθεσία, τη μελέτη της έκθεσης του πληθυσμού και την υποστήριξη της περιβαλλοντικής διαχείρισης και ανάπτυξης σχετικών πολιτικών.

Όπως γίνεται αντιληπτό, τόσο η *χωρική* όσο και η *χρονική διακριτική ικανότητα* των μετρήσεων παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση της ποιότητας του αέρα σε μία περιοχή και την δυνατότητα δημιουργίας ορθότερης στρατηγικής πρόληψης και αντιμετώπισης του προβλήματος. Τα συμβατικά όργανα μέτρησης ρύπων που διαθέτουν οι σταθμοί των εγκατεστημένων δικτύων, ενώ παρέχουν δεδομένα υψηλής ποιότητας, είναι περιορισμένα σε αριθμό καθώς απαιτείται κόστος για την προμήθεια, εγκατάσταση και συντήρησή τους. Μία σύγχρονη λύση για την αναβάθμιση, την επέκταση ή την εκ νέου δημιουργία των

δικτύων παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα είναι η προσθήκη μετρητικών συσκευών με χρήση αισθητήρων. Τα νέες τεχνολογίας όργανα με αισθητήρες μπορούν να είναι μικρού ή μεσαίου κόστους, γεγονός που επιτρέπει την δημιουργία πυκνότερων και μεγαλύτερων δικτύων παρακολούθησης (υψηλή χωρική διακριτότητα) ενώ ο τρόπος λειτουργίας τους προσφέρει μετρήσεις υψηλής χρονικής διακριτότητας (ακόμη και μικρότερη από 1 μέτρηση ανά λεπτό). Η πρόοδος της τεχνολογίας και της επιστήμης της Πληροφορικής προσφέρει την συνεχή αναβάθμιση του σύγχρονου μετρητικού εξοπλισμού με αισθητήρες, δίνοντας νέες δυνατότητες στον σχεδιασμό και την υλοποίηση προγραμμάτων εκτίμησης της ποιότητας του αέρα.

Το πρόγραμμα ISEO (Έξυπνο, εξειδικευμένο περιβαλλοντικό παρατηρητήριο στη Μεσσηνία) έχει ως σκοπό η εκτίμηση της προσωπικής έκθεσης αντιπροσωπευτικού δείγματος του πληθυσμού της Μεσσηνίας σε περιβαλλοντικούς ρύπους, εστιάζοντας τόσο στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον των κατοικιών τους, όσο και στο σύνολο των επιμέρους περιβαλλόντων στα οποία κινούνται. Πιο συγκεκριμένα, στο πλαίσιο του προγράμματος, μελετήθηκε η προσωπική έκθεση 141 εθελοντών (και 98 κατοικίες τους) σε αέριους ρύπους στην ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας (συμπεριλαμβανομένων αστικών, περιαστικών και αγροτικών περιοχών). Οι δειγματοληψίες περιλάμβαναν τόσο τεχνικές μέτρησης σε πραγματικό χρόνο για την ποσοτικοποίηση της έκθεσης (αισθητήρες καταγραφής συγκέντρωσης αέριων ρύπων), όσο και συλλογή δεδομένων μέσω ερωτηματολογίων (καταγραφή δραστηριοτήτων, πιθανών πηγών ρύπων κ.α.). Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που εξετάστηκαν είναι: αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2.5}, PM₁₀), πτητικές οργανικές ενώσεις (TVOCs), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), διοξείδιο του αζώτου (NO₂) καθώς και οι παράμετροι της θερμοκρασίας και υγρασίας. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν και αποθηκεύτηκαν σε πλατφόρμα συλλογής δεδομένων (dashboard). Στην παρούσα έκθεση, δίνεται η περιγραφή του πρωτοκόλλου εκτίμησης της έκθεσης των πολιτών σε ατμοσφαιρικούς ρύπους που εφαρμόστηκε στο πλαίσιο του προγράμματος ISEO, ως προτεινόμενο για χρήση από τις τοπικές αρχές ως υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων. Το πρωτόκολλο αυτό περιλαμβάνει την σχεδίαση και προετοιμασία της εγκατάστασης του δικτύου παρακολούθησης της ατμόσφαιρας, την υλοποίηση και εγκατάστασή του, την συλλογή των δεδομένων, την χρήση πλατφόρμας συλλογής και διαχείρισης των δεδομένων και την αποτύπωση των αποτελεσμάτων.

2. Η επιστήμη των πολιτών και ο ρόλος της στην εκτίμηση της ποιότητας του αέρα

Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη ενός δικτύου παρακολούθησης της έκθεσης του πληθυσμού στην αέρια ρύπανση έχει η ενεργός συμμετοχή δείγματος του πληθυσμού. Έτσι, αρωγός στην περιβαλλοντική έρευνα γίνεται συχνά η επιστήμη των πολιτών. Ως επιστήμη των πολιτών εννοούμε την επιστημονική έρευνα που διεξάγεται με τη συμμετοχή του ευρέος κοινού-πολιτών που δεν είναι επιστήμονες. Η επιστήμη των πολιτών χρησιμοποιείται ως μέθοδος όπου ο κάθε πολίτης-εθελοντής συνεργάζεται με τους ερευνητές και παίρνει τον ρόλο επιστήμονα συλλέγοντας δεδομένα, ή αναλύοντάς τα, ταξινομώντας τα κλπ. Είναι μια σύγχρονη πρακτική (του τελευταίου αιώνα) με το σημαντικότερο όφελος της να είναι η ευαισθητοποίηση, η ενημέρωση και η εκπαίδευση των πολιτών που προκύπτει από την ενασχόληση τους με την εκάστοτε έρευνα.

Πλέον η επιστήμη δεν ανήκει στα χέρια μιας μερίδας ανθρώπων (επιστήμονες) αλλά και στο κάθε άτομο που θέλει να συνεισφέρει στην έρευνα και να επιμορφωθεί πάνω στο ζήτημα,

χωρίς κοινωνικά, οικονομικά ή επαγγελματικού προσανατολισμού εμπόδια. Έτσι λοιπόν, δίνεται και μια παραπάνω ώθηση στην επιστημονική κοινότητα να επικεντρωθεί σε θέματα που αφορούν ολόκληρο το κοινωνικό σύνολο και η επιστήμη να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των πολιτών και ταυτόχρονα οι ίδιοι πολίτες να παράγουν επιστημονικά δεδομένα.

3. Πρωτόκολλο εφαρμογής της υποδομής για παρακολούθηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας

Στην συνέχεια περιγράφεται το προτεινόμενο πρωτόκολλο εφαρμογής του δικτύου αισθητήρων αποτύπωσης της ποιότητας ατμόσφαιρας. Έχοντας ως βάση την πιλοτική εφαρμογή που υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου ISEO, προτείνεται η συγκεκριμένη μεθοδολογία με σκοπό την υποβοήθηση λήψης αποφάσεων και μέτρων από τις τοπικές αρχές σε περιπτώσεις άσκησης περιβαλλοντικών πιέσεων των πολιτών και συγκεκριμένα από την υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα.

Το πρωτόκολλο αποτελείται από τα παρακάτω στάδια εφαρμογής τα οποία περιλαμβάνουν συγκεκριμένες εργασίες:

Στάδιο 1: Προετοιμασία και σχεδιασμός μετρήσεων (βλ. Παραδοτέο ISEO, Π.1.1)

- αποτύπωση και οριοθέτηση της περιοχής εφαρμογής της έρευνας (π.χ. επίπεδο πόλης, νομού ή περιφέρειας)
- ορισμός κριτηρίων για την επιλογή σημείων μέτρησης (στατικά όργανα) ή/και εθελοντών (φορητά όργανα): τοπογραφικά, δημογραφικά, κοινωνικοοικονομικά, ηλικιακά κ.α. κριτήρια
- σχεδιασμός του συστήματος παρακολούθησης της ποιότητας αέρα συμπεριλαμβάνοντας κατανεμημένους (χωρικά) με τον βέλτιστο τρόπο στατικούς και φορητούς αισθητήρες μέτρησης

Στάδιο 2: Εγκατάσταση και λειτουργία δικτύου αισθητήρων (βλ. Παραδοτέα ISEO, Π.2.1 και Π.2.2)

- προετοιμασία και έλεγχος ποιότητας μετρήσεων του μετρητικού εξοπλισμού, στο εργαστήριο-σύγκριση και βαθμονόμηση με πρότυπα όργανα αναφοράς. Εξετάζεται η γραμμικότητα της απόκρισης του σήματος των αισθητήρων ως προς το όργανο αναφοράς, υπολογίζοντας τις γραμμικές συσχετίσεις (R^2 , παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων), αλλά και μεταξύ των ίδιου τύπου και κατασκευαστή αισθητήρων.
- Ανάπτυξη πρωτόκολλου διασφάλισης ποιότητας μετρήσεων των αισθητήρων (QA/QC)- υπολογισμός συντελεστή διόρθωσης εάν κρίνεται αναγκαίο, όπως αυτός προκύπτει από την σύγκριση με τα πρότυπα όργανα αναφοράς
- Εγκατάσταση αισθητήρων στο πεδίο (σταθερά σημεία μέτρησης) και ενεργοποίηση φορητών αισθητήρων (εθελοντές)
- Έλεγχος λειτουργίας δικτύου και επίλυση τεχνικών προβλημάτων στην περίπτωση που προκύψουν

Στάδιο 3: Συλλογή δεδομένων

- ανάπτυξη πλατφόρμας συλλογής και αποθήκευσης δεδομένων, σχεδιασμένη με βάση τις αρχές μιας πολύ-επίπεδης, ανοικτής αρχιτεκτονικής για να εξασφαλίζεται η συντήρηση, η επεκτασιμότητα, η ευελιξία και η διαθεσιμότητα των δεδομένων
- ανάπτυξη εφαρμογής για το κινητό τηλέφωνο, για προσωποποιημένη περιβαλλοντική πληροφόρηση του συμμετέχοντα-εθελοντή
- δημιουργία ερωτηματολογίων συλλογής πληροφοριών για τα χαρακτηριστικά των σημείων δειγματοληψίας (π.χ. χαρακτηριστικά κατοικιών) και τις

δραστηριότητες/χαρακτηριστικά εθελοντών (Έντυπα καταγραφής δραστηριοτήτων και δομών δραστηριοποίησης – Ερωτηματολόγια, βλ. Παραδοτέο ISEO, Π.1.2)

Στάδιο 4: Έλεγχος ποιότητας δεδομένων (βλ. Παραδοτέο ISEO, Π.2.2)

- Αξιολόγηση και συνεχής έλεγχος της λειτουργίας των αισθητήρων ώστε να διασφαλίζεται η ακρίβεια των μετρήσεων, η οποία προσδιορίζεται από την ακρίβεια (εγγύτητα μετρούμενων τιμών με πραγματικές) και την επαναληψιμότητα (εξάπλωση μετρούμενων τιμών) των μετρήσεων. Ο έλεγχος τυχόν ακραίων τιμών και ο τρόπος διαχείρισής τους π.χ. με την εφαρμογή μεθόδων εντοπισμού αυτών των τιμών όπως υπολογίζοντας το όριο ανίχνευσης το οποίο ορίζεται με τιμή ίση με τουλάχιστον τρεις φορές την τυπική απόκλιση των μετρήσεων του μηδενικού δείγματος, ή και πιο σύνθετων μεθόδων (πχ μέθοδος grubb's).
- Οι συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος ώστε να διασφαλίζεται όσο τον δυνατόν περισσότερο η αποφυγή ακραίων διαταραχών στις μετρήσεις η/και να υπάρχει λεπτομερής καταγραφή πηγών.

Στάδιο 5: Οπτικοποίηση και ανάλυση των δεδομένων (βλ. Παραδοτέα ISEO, Π.3.1, Π.3.2, Π4.1)

- Δημιουργία διαδικτυακής εφαρμογή οπτικοποίησης, στατιστικής ανάλυσης και χαρτογράφησης των δεδομένων με χρήση κατάλληλου λογισμικού (π.χ. javascript), σε μορφή διαδραστικών γραφημάτων και χαρτών. Για την βέλτιστη παρουσίαση των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιούνται χρωματικές διαβαθμίσεις βάσει των προβλεπόμενων από τη νομοθεσία ορίων επιπέδων ρύπανσης και τον δείκτη ποιότητας της ατμόσφαιρας (Air Quality Index – AQI).
- Παρουσίαση ελάχιστων, μέγιστων, μέσων τιμών των υπό εξέταση παραμέτρων καθώς και διαχρονικής μεταβολής αυτών
- δυνατότητα πρόσβασης σε ανοικτά δεδομένα στο ευρύ κοινό (φορείς και πολίτες)
- δυνατότητα παροχής πρωτογενών πληροφοριών σε αρμόδιους φορείς
- παροχή υπηρεσιών ως SaaS (Software as a Service) ή PaaS (Platform as a Service)

Στάδιο 6: Σύστημα πρόγνωσης/συναγερμού

Με την υλοποίηση των παραπάνω 5 σταδίων εφαρμογής του πρωτοκόλλου (όπως αυτά περιγράφονται αναλυτικά στα αντίστοιχα παραδοτέα του έργου) δύναται να αναπτυχθεί και τροφοδοτηθεί με τα απαραίτητα δεδομένα ένα σύστημα πρόγνωσης/συναγερμού.

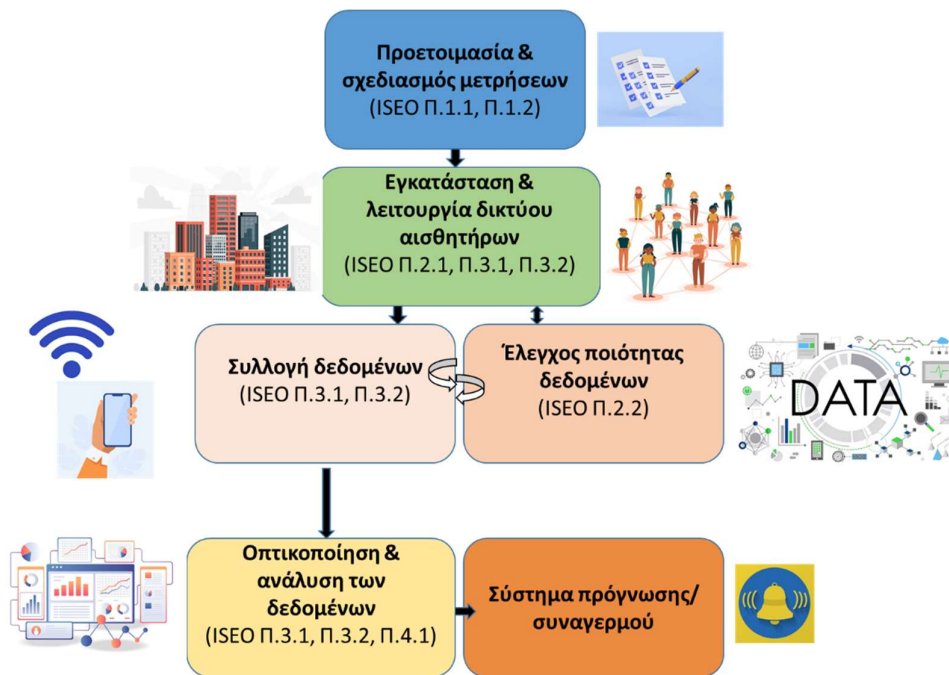
Ενδεικτικά τα βήματα είναι:

- εφαρμογή εξελιγμένων μοντέλων πρόγνωσης ποιότητας ατμόσφαιρας (ενδεικτικά: WRFchem, CAMX, CMAQ) λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία, τις (ανθρωπογενείς και φυσικές) πηγές ρύπων και τις μετεωρολογικές συνθήκες στην επιλεχθείσα περιοχή
- δυνατότητα πρόβλεψης περιστατικών επιπέδων συναγερμού (υπερβάσεων ορίων στις τιμές συγκέντρωσης ρύπων που ορίζει η νομοθεσία).

Η δημιουργία ενός συστήματος ειδοποίησης για τα συμβάντα ρύπανσης του αέρα (υπερβάσεων θεσπισμένων ορίων) περιλαμβάνει την παρακολούθηση, τον εντοπισμό και την επικοινωνία των θεμάτων ποιότητας του αέρα στο κοινό και τις αρμόδιες αρχές, και πιο συγκεκριμένα:

-τον καθορισμό των παραμέτρων που θα παρακολουθούνται (π.χ., σωματίδια, πτητικές οργανικές ενώσεις, διοξείδιο του αζώτου)

- τον καθορισμό των τιμών κατωφλίου πάνω από τις οποίες θα ενεργοποιούνται οι ειδοποιήσεις (σύμφωνα με τα Εθνικά ή Ευρωπαϊκά πρότυπα)
- την επιλογή των σταθμών παρακολούθησης, βάσει πυκνότητας πληθυσμού, τοποθεσίας, εγγύτητας σε πηγές και επικρατούσας μετεωρολογίας
- την εγκατάσταση κεντρικού συστήματος συλλογής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και την συνεχή παρακολούθηση των εισερχόμενων δεδομένων
- την ενεργοποίηση ειδοποιήσεων σε περίπτωση υπερβάσεων των τιμών κατωφλίου. Οι ειδοποιήσεις μπορούν να είναι σε μορφή οπτικών προειδοποιήσεων, ακουστικών συναγερμών ή αυτοματοποιημένων μηνυμάτων
- δημιουργία συστήματος επικοινωνίας που θα μεταδίδει τις ειδοποιήσεις σε σχετικούς ενδιαφερόμενους (τοπικές αρχές, περιβαλλοντικές υπηρεσίες, κοινό), σε διαφορετικά κανάλια επικοινωνίας (π.χ., εφαρμογές κινητού τηλεφώνου, κοινωνικά μέσα και συστήματα εκτάκτου ανάγκης)
- ενημέρωση κοινού για το σύστημα ειδοποίησης για τα συμβάντα ρύπανσης του αέρα, τον σκοπό του και τον τρόπο προστασίας κατά τη διάρκεια γεγονότων με κακή ποιότητα του αέρα



Εικόνα: Σχηματική αναπαράσταση του προτεινόμενου πρωτοκόλλου

4. Προτεινόμενη εφαρμογή πρωτοκόλλου

Καθώς η συστηματική παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα γινόταν μέχρι τώρα με την χρήση μικρού αριθμού συμβατικών σταθμών, η δημιουργία δικτύων παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα με μεγάλη χωρική και χρονική διακριτική ικανότητα αποτελεί μία αναγκαία πρόκληση για την παροχή περιβαλλοντικής πληροφόρησης στους ενδιαφερόμενους φορείς. Ένα πολύπλευρο και ευέλικτο σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα απευθύνεται:

- στο ευρύ κοινό, και ειδικότερα στις ευπαθείς ομάδες (ασθενείς με αναπνευστικά προβλήματα, παιδιά, ηλικιωμένοι, έγκυοι)

- φορείς και υπηρεσίες που είναι επιφορτισμένοι με την διαχείριση της ποιότητας του αέρα και την σχέση της με την δημόσια υγεία, π.χ. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Υπουργείο Υγείας, Περιφέρειες, Δήμοι κ.α.
- την επιστημονική κοινότητα (Πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα) και ιατροί
- ιδιωτικές εταιρίες που προσφέρουν υπηρεσίες σχετικές με την ποιότητα του αέρα (π.χ. υπηρεσίες περιβαλλοντικής και κοινωνικής παρακολούθησης, υπηρεσίες περιβαλλοντικής διαχείρισης έργων, υπηρεσίες περιβαλλοντικής πολιτικής, υπηρεσίες περιβαλλοντικής πληροφορικής)