



Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
Δ.Π.Μ.Σ. Πληροφορικά Συστήματα
Μάθημα: Δίκτυα Υπολογιστών
Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

University of Macedonia
Master in Information Systems
Course: Computer Networks
Professor: A.A. Economides

***“ΕΞΥΠΝΗ” ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ:
Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ***

***SMART ENVIRONMENTAL POLLUTION MONITORING:
THE CONTRIBUTION OF WIRELESS NETWORK TECHNOLOGY***

Επιμέλεια:

Ζιώγα Κωνσταντίνα (mis17023)

Καλπάκης Λεωνίδας (mis17001)

Τσιμπόλης Αθανάσιος (mis17025)

Θεσσαλονίκη 2017

Περίληψη

Αναμφίβολα, η έντονη εξέλιξη της τεχνολογίας, η ραγδαία βιομηχανική ανάπτυξη και το φαινόμενο του υπερπληθυσμού έχουν συμβάλει στην αύξηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Είναι αναγκαία πλέον η παρακολούθηση του ώστε να διατηρηθεί υψηλό το βιοτικό επίπεδο και να προληφθούν οι κίνδυνοι που προκύπτουν από τη ρύπανση του. Ο λόγος που η παρακολούθηση του περιβάλλοντος θεωρείται απαιτητική οφείλεται στο γεγονός, ότι σε αντίξοες συνθήκες χρειάζονται συνεχείς και με μεγάλη χρονική διάρκεια παρακολουθήσεις, μεγάλος αριθμός αισθητήρων, καλή διαχείριση δεδομένων, υψηλή χρονική και χωρική ανάλυση, μακροπρόθεσμη σταθερότητα, πολλοί υπολογιστικοί πόροι και διαθεσιμότητα ενέργειας. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η συμβολή των ESNs (Environmental Sensor Networks) για την παρακολούθηση της ρύπανσης και ποιότητας του περιβάλλοντος και αναλύονται περιπτώσεις εφαρμογής τους.

Λέξεις-Κλειδιά: Παρακολούθηση περιβαλλοντικής ρύπανσης, Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Abstract

Undoubtedly, intense development of technologies, rapid industrial development and the phenomenon of overpopulation have contributed into increasing the pollution of the environment. It is now necessary to monitor the environment in order to maintain high the standard of living and to prevent the risks arising from its contamination. The reason why monitoring of environment is considered to be demanding is due to the need for continuous and long-term monitoring, large number of sensors, good data management, high time and spatial resolution, long-term stability, a lot of computational resources and energy availability. This paper presents the contribution of ESNs (Environmental Sensor Networks) for monitoring of environmental pollution and quality and analyzes cases of their application.

Keywords: Environmental pollution monitoring, Wireless Sensor Networks

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| 1. Εισαγωγή | 3 |
| 2. Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης | 4 |
| 2.1 uSense: Ένα χαμηλού κόστους σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα..... | 4 |
| 2.2 AirSense: Ένα σύστημα παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης | 5 |
| 2.3 Παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με τη χρήση WSN και UAV | 7 |
| 2.4 Citi-Sense-MOB: Ένα σύστημα παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης..... | 8 |
| 2.5 Μόνιμο σύστημα παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αττική οδό | 9 |
| 3. Παρακολούθηση της ποιότητας και της ρύπανσης του νερού | 10 |
| 3.1 Σύστημα παρακολούθησης της ρύπανσης του νερού σε ποτάμι της Κορέας..... | 10 |
| 3.2 Σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του νερού σε λίμνη της Κίνας..... | 11 |
| 4. Παρακολούθηση της ηχορύπανσης | 12 |
| 4.1 Χαρτογράφηση της ηχορύπανσης με τη χρήση έξυπνων κινητών τηλεφώνων | 13 |
| 4.2 Μόνιμο σύστημα παρακολούθησης της ηχορύπανσης στην Αττική οδό..... | 14 |
| 4.3 Σύστημα παρακολούθησης της ηχορύπανσης στην Ισπανία..... | 15 |
| 5. Σύγκριση των περιπτώσεων: Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα | 17 |
| 6. Συμπεράσματα – Προκλήσεις – Προτάσεις για μελλοντική έρευνα | 18 |
| 7. Βιβλιογραφία | 20 |

1. Εισαγωγή

Στις μέρες μας, είναι ευρέως διαδεδομένο ότι η προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί ένα τομέα μείζονος σημασίας. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και συγκεκριμένα τόσο με τη σμίκρυνση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων όσο και με την ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων (Wireless Networks - WNs), οδηγηθήκαμε στην ανάπτυξη εξειδικευμένων δικτύων για την παρακολούθηση τομέων ενδιαφέροντος. Μια από αυτές τις κατηγορίες είναι τα Δίκτυα Αισθητήρων Περιβάλλοντος (Environmental Sensor Networks - ESNs). Τα συγκεκριμένα δίκτυα συμβάλλουν στη βελτίωση της παρακολούθησης του περιβάλλοντος βελτιώνοντας μια ήδη υπάρχουσα λειτουργία ή δημιουργώντας τεχνικές για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος με την ανάπτυξη νέων αισθητήρων, κάτι το οποίο στο παρελθόν δεν ήταν εφικτό. [1]

Στην πράξη τα ESNs είναι συστοιχίες διασκορπισμένων συσκευών, οι οποίες περιέχουν αυτόνομους αισθητήρες που διασυνδέονται μέσω δικτύου ραδιοσυχνότητας. Αποτελούνται από κόμβους, ο αριθμός των οποίων ποικίλει ανάλογα με το δίκτυο, και περιλαμβάνουν έναν ή περισσότερους αισθητήρες. Πέρα από τους αισθητήρες, μερικά χαρακτηριστικά υλικά μέρη των κόμβων είναι ο ραδιοπομποδέκτης είτε εξοπλισμένος με μια εσωτερική κεραία είτε συνδεδεμένος με μια εξωτερική κεραία, ο μικροεπεξεργαστής, το ηλεκτρονικό κύκλωμα, η εσωτερική μνήμη και η πηγή ενέργειας (συνήθως μια μπαταρία ή μια μορφή συγκομιδής ενέργειας). Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες μεταφέρονται μέσω του δικτύου σε έναν κεντρικό διακομιστή (server) μέσω των βασικών σταθμών. Οι βασικοί σταθμοί είναι ένα ή περισσότερα συστατικά του WSN (Wireless Sensor Network) με πολύ μεγαλύτερη υπολογιστική δύναμη, περισσότερη ενέργεια και καλύτερη διαθεσιμότητα πόρων ως προς την επικοινωνία. Ενεργούν ως πύλη μεταξύ των κόμβων αισθητήρων και του τελικού χρήστη. [2]

Στα πιο μοντέρνα δίκτυα οι κόμβοι αισθητήρων είναι εφικτό όχι μόνο να δίνουν αλλά και να δέχονται πληροφορίες και έτσι καθίσταται δυνατός ο έλεγχος της δραστηριότητας των αισθητήρων. Το κόστος των κόμβων αισθητήρων ποικίλει, ξεκινώντας από μικρά ποσά και φτάνοντας σε εκατοντάδες ευρώ, αναλόγως την πολυπλοκότητα των μεμονωμένων κόμβων. Οι περιορισμοί σε μέγεθος και κόστος έχουν ως αποτέλεσμα αντίστοιχους περιορισμούς σε πόρους όπως ενέργεια, μνήμη, υπολογιστική ταχύτητα και στο εύρος ζώνης των επικοινωνιών. [2]

Παρακάτω θα αναλυθούν διάφορες περιπτώσεις χρήσης των δικτύων ESNs που αφορούν τους ακόλουθους τομείς:

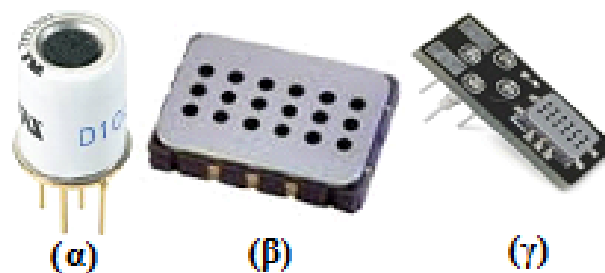
- Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Παρακολούθηση της ποιότητας και της ρύπανσης του νερού
- Παρακολούθηση της ηχορύπανσης

2. Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η παρακολούθηση της ρύπανσης του αέρα και συγκεκριμένα η μέτρηση της συγκέντρωσης των αέριων ρύπων και των αερίων του θερμοκηπίου είναι μια απαιτητική και χρονοβόρα διαδικασία. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που κατά κύριο λόγο απασχολούν τις υπηρεσίες προστασίας του περιβάλλοντος είναι οι παρακάτω: το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), το βενζόλιο (C_6H_6), το όζον (O_3) και τα αιωρούμενα σωματίδια (κυρίως τα PM_{10} και τα $\text{PM}_{2.5}$). Ενώ τα βασικότερα αέρια του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4) και το υποξείδιο του αζώτου (N_2O). Παρακάτω αναλύονται περιπτώσεις παρακολούθησης του αέρα και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με ειδικά ESNs δίκτυα αισθητήρων.[3]

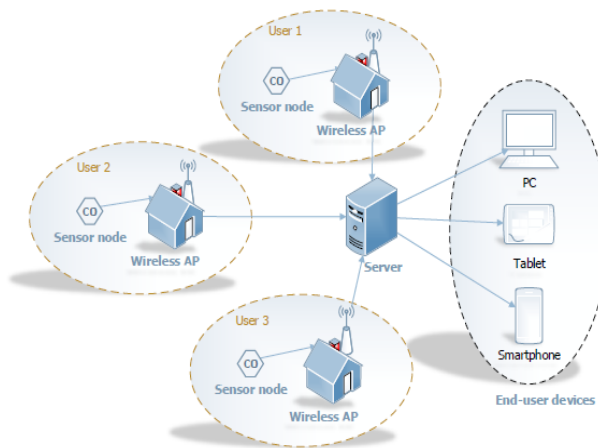
2.1 uSense: Ένα χαμηλού κόστους σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα

Το 2015 Ιταλοί επιστήμονες παρουσίασαν ένα σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα σε αστικές περιοχές, εν ονόματι uSense. Το συγκεκριμένο σύστημα βασίζεται σε κόμβους αισθητήρων μικρού μεγέθους και κόστους, οι όποιοι είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες για την ανίχνευση αερίων (TGS2442, MiCS-2714, MiCS-2614 για CO, NO_2 και O_3 αντίστοιχα) (εικόνα 1). Επιπρόσθετα είναι εξοπλισμένοι και με έναν 8-bit μικροεπεξεργαστή, μια κάρτα SD (Secure Digital) καθώς και μια μονάδα WiFi (Wireless Fidelity), η οποία επιτρέπει TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) και UDP/IP (User Datagram Protocol/Internet Protocol) συνδέσεις. Κάθε αισθητήρας έχει εγκατεστημένο λογισμικό που επιτρέπει HTTP/HTTPS (HyperText Transfer Protocol/ HTTP Security) επικοινωνίες. Για την προστασία από τις καιρικές συνθήκες οι κόμβοι βρίσκονται μέσα σε ένα κουτί από υλικό τύπου PVC (Polyvinyl Chloride). [3]



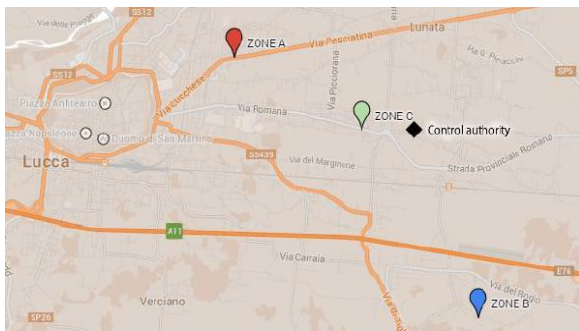
Εικόνα 1. (α) TGS2442 (β) MiCS-2714 (γ) MiCS-2614

Οι κόμβοι τροφοδοτούνται με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες μακράς διάρκειας και χρησιμοποιούν WiFi για τη μεταφορά δεδομένων, κάτι το οποίο τους καθιστά αρκετά ευέλικτους στην εγκατάστασή τους σε εξωτερικούς χώρους. Η εγκατάστασή τους μπορεί να γίνει από τους ίδιους τους πολίτες σε περιοχές που τους ενδιαφέρουν, όπως τα σπίτια τους, το χώρο εργασίας τους, τα σχολεία των παιδιών τους. Η αρχιτεκτονική του συστήματος παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (εικόνα 2). [3]



Εικόνα 2. Αρχιτεκτονική του συστήματος uSense

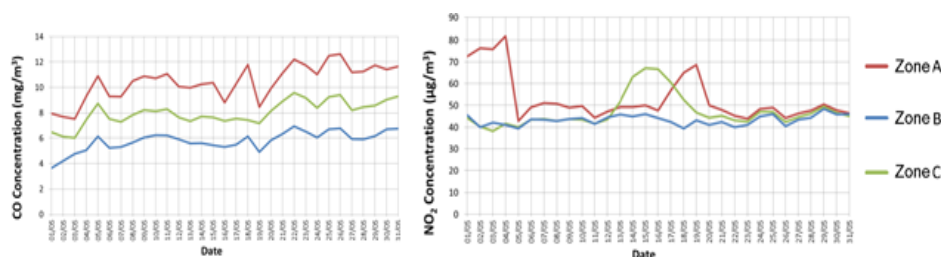
Οι αισθητήρες των χρηστών πραγματοποιούν μετρήσεις αερίων κάθε 30 λεπτά. Εάν είναι διαθέσιμη η σύνδεση στο ίντερνετ, ο κόμβος επικοινωνεί με τον κεντρικό διακομιστή uSense μέσω πρωτοκόλλου HTTP. Στη συνέχεια τα δεδομένα οργανώνονται σε πακέτα χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο TCP/IP και μέσω WiFi φτάνουν αρχικά στο δρομολογητή (router) του χρήστη και έπειτα μεταφέρονται στον κεντρικό διακομιστή. Από αυτό το σημείο και μετά τα δεδομένα είναι προσβάσιμα στην κεντρική ιστοσελίδα του uSense συστήματος. [3]



Εικόνα 3. Τοποθεσίες των αισθητήρων στη Τοσκάνη

Το συγκεκριμένο σύστημα είναι ακόμα σε πειραματική μορφή και το πρώτο πείραμα διεξήχθη στην πόλη της Τοσκάνης το 2014, όπου τοποθετήθηκαν σε τρεις ζώνες της πόλης κόμβοι αισθητήρων (εικόνα 3). Η ζώνη A βρίσκεται κοντά στο κέντρο της πόλης, η B στην εξοχή λίγο έξω από την πόλη και η Γ σε προάστιο σε μια απόσταση περίπου 4 χλμ. μεταξύ τους. Σκοπός του πειράματος ήταν η καταγραφή των επιπέδων του CO και του NO₂ για κάθε ζώνη, που αναμενόταν να είναι ποικιλόμορφη λόγω της διαφορετικής κυκλοφοριακής κίνησης. [3]

Τα αποτελέσματα ήταν τα αναμενόμενα (εικόνα 3) με τη ζώνη A να έχει τα υψηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης πάνω από τα επιτρεπτά όρια με βάση τους ιταλικούς κανονισμούς. Ακολουθούν με τη σειρά οι ζώνες Γ και Β, οι οποίες βρίσκονται μέσα στα επιτρεπτά όρια. [3]



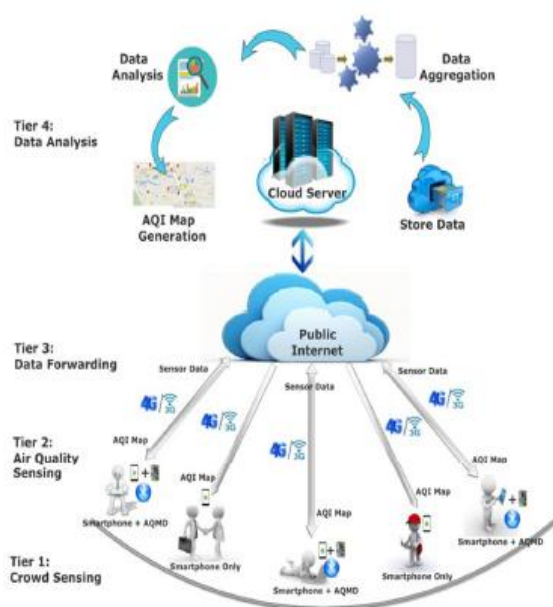
Εικόνα 4. Αποτελέσματα πειράματος: συγκεντρώσεις αερίων (CO και NO₂) στις τρεις ζώνες

2.2 AirSense: Ένα σύστημα παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Το AirSense βασίζεται σε ένα πλήθος συσκευών για τη συλλογή δεδομένων και ανάλογα με την περίπτωση γίνεται είτε εθελοντικά από το χρήστη της συσκευής είτε αυτόματα από την ίδια τη συσκευή. Στοχεύει στη συλλογή και τη συγκέντρωση δεδομένων από αισθητήρες ώστε να παρακολουθεί την ατμοσφαιρική ρύπανση και να προτείνει εναλλακτικές διαδρομές μέσω μιας χαρτογράφησης του δείκτη της ποιότητας του αέρα (Air Quality Index map-AQImap). [4]

Το σύστημα AirSense αποτελείται από τέσσερα επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο απαρτίζεται από το πλήθος των χρηστών που χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: **(α)** χρήστες που συμμετέχουν στη διαδικασία συλλογής δεδομένων και που χρησιμοποιούν τις προσφερόμενες υπηρεσίες του AirSense, έχοντας δυνατότητα πρόσβασης στο προσωπικό τους αποτύπωμα καθώς και απόκτησης ενός AQImap της πόλης και **(β)** χρήστες που είναι απλοί καταναλωτές μόνο με δυνατότητες πρόσβασης στον AQImap. [4]

Στο δεύτερο επίπεδο πραγματοποιείται η μορφοποίηση των δεδομένων πριν τη μετάδοσή τους για την αποτελεσματικότερη μεταφορά τους μέσω ίντερνετ. Η συσκευή AQMD (Air Quality Monitoring Device) αποστέλλει τα δεδομένα στα κοντινά έξυπνα κινητά (smartphones) ή tablets χρησιμοποιώντας τεχνολογία WPAN (Wireless Personal Area Network) και συγκεκριμένα την ασύρματη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία μικρών αποστάσεων της συσκευής, εν ονόματι Bluetooth. [4]



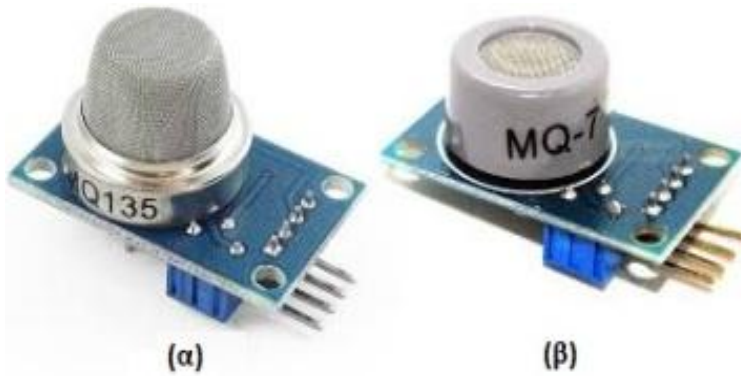
Εικόνα 5. Αρχιτεκτονική του συστήματος AirSense

Έπειτα στο τρίτο επίπεδο τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τους αισθητήρες (AQMD) των εθελοντών χρηστών μεταδίδονται με τη βοήθεια των smartphones ή των tablets στον κεντρικό διακομιστή μέσω WiFi ή 3G/4G (ασύρματη δικτύωση 3^{ης}/4^{ης} γενιάς). [4]

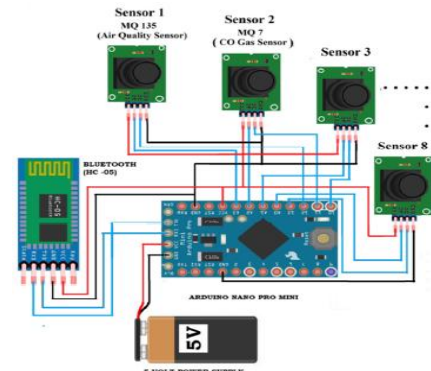
Στο τελευταίο επίπεδο γίνεται η συγκέντρωση, η ανάλυση και η αποθήκευση των δεδομένων. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτή τη διαδικασία στέλνονται πίσω στους χρήστες μέσω ίντερνετ. Η αρχιτεκτονική του AirSense παρουσιάζεται στη διπλανή εικόνα (εικόνα 5). [4]

Το κύκλωμα του AQMD μπορεί να υποστηρίξει την ενσωμάτωση έως οχτώ αισθητήρων ανίχνευσης αερίων, που χρησιμοποιούν μικρούς θερμαντήρες μαζί με έναν ηλεκτροχημικό αισθητήρα (εικόνα 6). Για τη μείωση του κόστους του συστήματος περιγράφεται μόνο η χρήση δύο αισθητήρων (MQ-135, MQ-7) για την ανίχνευση του CO (εικόνα 7). Για να επιτευχθεί η

σύνδεση μέσω bluetooth χρησιμοποιείται μια μονάδα bluetooth (HC-05). Ως πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται μια μπαταρία 5V. Όλα τα παραπάνω μέρη συνδέονται σε μια κεντρική μίνι πλακέτα. Η συσκευή ζυγίζει περίπου 69 γρ. [4]

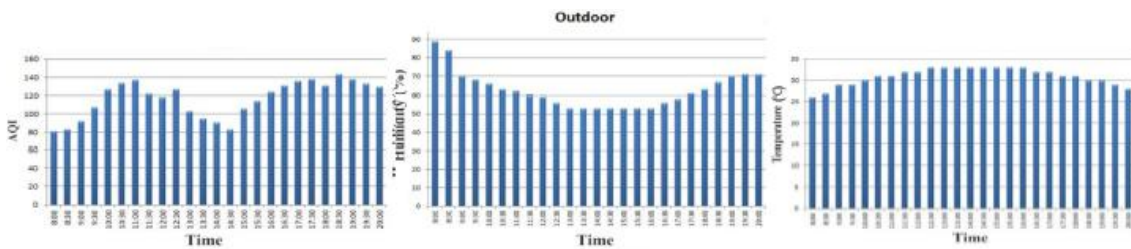


Εικόνα 6. (α) MQ-135 (β) MQ-7

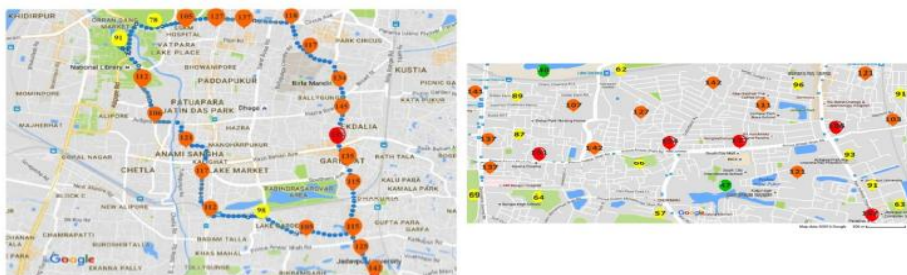


Εικόνα 7. Διάγραμμα κυκλώματος του AQMD

Στα πειράματα που διεξήχθησαν στην Καλκούτα της Ινδίας, τοποθετήθηκαν αισθητήρες σε διάφορα σημεία της πόλης και όπως αναμενόταν οι μετρήσεις ήταν ποικιλόμορφες καθώς υπάρχουν πολλοί παράγοντες, που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα σε εξωτερικούς χώρους, όπως η υγρασία και η θερμοκρασία καθώς και παράγοντες όπως η κυκλοφοριακή κίνηση κατά τη διάρκεια της ημέρας. Παρακάτω παρατίθενται οι μετρήσεις αυτών των δεικτών (εικόνα 8) καθώς και οι υπηρεσίες χαρτογράφησης που παρέχονται στους χρήστες (εικόνα 9). [4]



Εικόνα 8. Γραφήματα διακύμανσης AQI, θερμοκρασίας και υγρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας



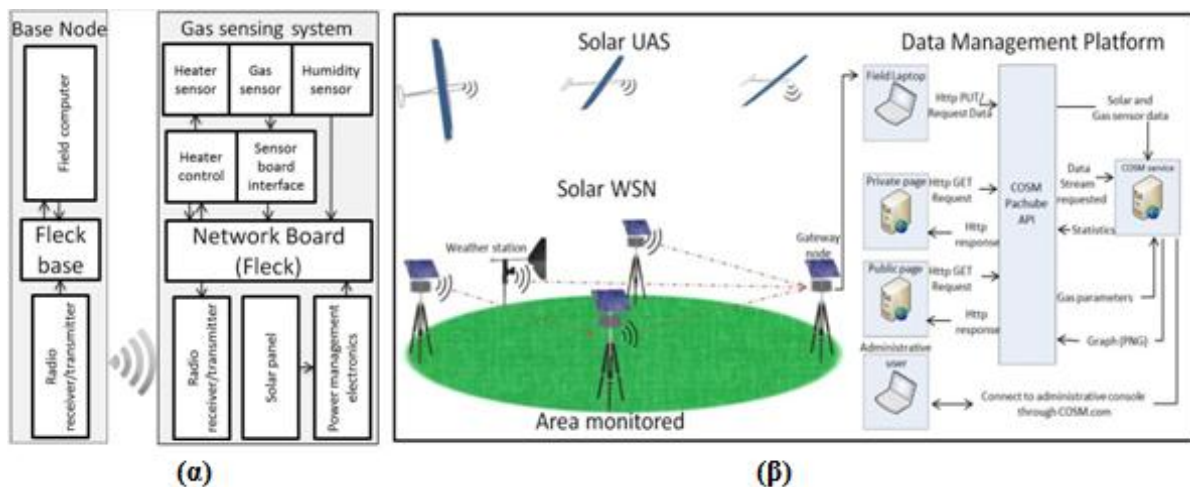
Εικόνα 9. Χαρτογράφηση του αποτυπώματος της ρύπανσης στην Καλκούτα

2.3 Παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με τη χρήση WSN και UAV

Στην Αυστραλία προτάθηκε ένα σύστημα για την παρακολούθηση των αερίων του θερμοκηπίου, όπου χρησιμοποιήθηκε ένα μικρό UAV (Unmanned Aerial Vehicle) που λειτουργεί με ηλιακή ενέργεια και είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες ανίχνευσης αερίων και ένα WSN (Wireless Sensor Network) δίκτυο το οποίο έχει εδαφικούς κόμβους που επίσης λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια και επικοινωνούν ασύρματα με το UAV. [5]

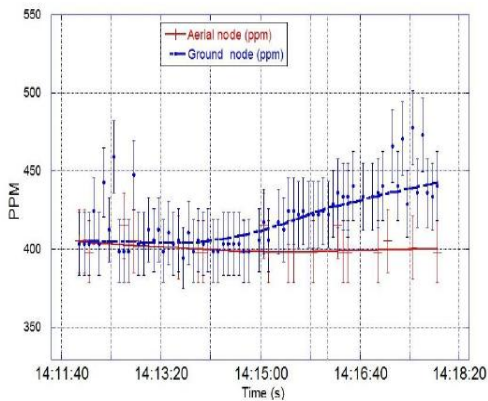
Τα βασικά μέρη του ασύρματου κόμβου αισθητήρων είναι ένας μικροεπεξεργαστής, ο αισθητήρας υγρασίας, το ηλιακό πάνελ που διαχειρίζεται την ενέργεια και το σύστημα ανίχνευσης αερίων. Πιο αναλυτικά, στο σύστημα ανίχνευσης αερίων χρησιμοποιούνται αισθητήρες MOX (Metal Oxide sensors). Είναι οι πιο διαδεδομένοι για τέτοιες χρήσεις, γιατί παρουσιάζουν ευαισθησία σε μεγάλο εύρος αερίων και έχουν μεγάλη σταθερότητα στις μετρήσεις τους. Να αναφερθεί πως η χρήση των αισθητήρων υγρασίας και θερμοκρασίας είναι σημαντική για τη σωστή λειτουργία των MOX αισθητήρων, καθώς διαφορετικά επηρεάζεται η αποδοτικότητά τους. [5]

Το συγκεκριμένο WSN δίκτυο χρησιμοποιεί για κάθε κόμβο του ένα μικροεπεξεργαστή τύπου Fleck με δυνατότητα συνδεσιμότητας με τον κεντρικό υπολογιστή του κόμβου, ο οποίος βρίσκεται στα 30 μέτρα απόσταση από τους ασύρματους κόμβους αισθητήρων. Αυτοί οι μικροεπεξεργαστές έχουν σχεδιαστεί ειδικά για δίκτυα εξωτερικών αισθητήρων [6]. Τα δεδομένα συλλέγονται από τους κόμβους, στέλνονται ασύρματα στον κεντρικό υπολογιστή που βρίσκεται στην υπό παρακολούθηση περιοχή και στη συνέχεια ο κεντρικός υπολογιστής επικοινωνεί με τον κεντρικό διακομιστή χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο HTTP και αποστέλλει τα δεδομένα σε αυτών μέσω ίντερνετ (εικόνα 10). Μετά από την επεξεργασία των δεδομένων εμφανίζονται ζωντανά σε ιστοσελίδες χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα διαχείρισης δεδομένων. [5]



Εικόνα 10. (α) Διαμόρφωση βασικού και ασύρματου κόμβου (β) Ολοκληρωμένο σύστημα WSN και UAV

Τα UAV είναι εξοπλισμένα αντίστοιχα με αισθητήρες ανίχνευσης αερίων ίδιου τύπου με αυτούς του WSN, ώστε να γίνονται μετρήσεις αερίων ρύπων στα υψηλότερα στρώματα του αέρα. Αυτό αποσκοπεί στο να γίνεται συνδυασμός μετρήσεων εδάφους – αέρα, με τελικό αποτέλεσμα να γίνεται πρόβλεψη της εξέλιξης της ρύπανσης του αέρα από τα χαμηλότερα προς τα υψηλότερα στρώματα και παράλληλα με βάση αυτά τα δεδομένα να στέλνονται προειδοποιήσεις για την εγκατάλειψη περιοχών όπου η ρύπανση είναι πάνω από τα επιτρεπτά όρια. Τα UAV χρησιμοποιούν λογισμικό αυτόματου πιλότου κυρίως με προγραμματισμένα σημεία πτήσης αλλά υπάρχει και η δυνατότητα πραγματοποίησης χειροκίνητου χειρισμού.[5]



Εικόνα 11. Μετρήσεις εδαφικού και εναερίου κόμβου της περιεκτικότητας του CO₂

Το συγκεκριμένο σύστημα βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο. Το 2013 πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή Christmas Creek της Αυστραλίας δοκιμαστικές πτήσεις του UAV διάρκειας 20 λεπτών πάνω από το WSN και τα αποτελέσματα των μετρήσεων για CO₂ από τον κόμβο του εδάφους και αντίστοιχα του εναερίου κόμβου παρουσιάζονται στη διπλανή εικόνα (εικόνα 11). [5]

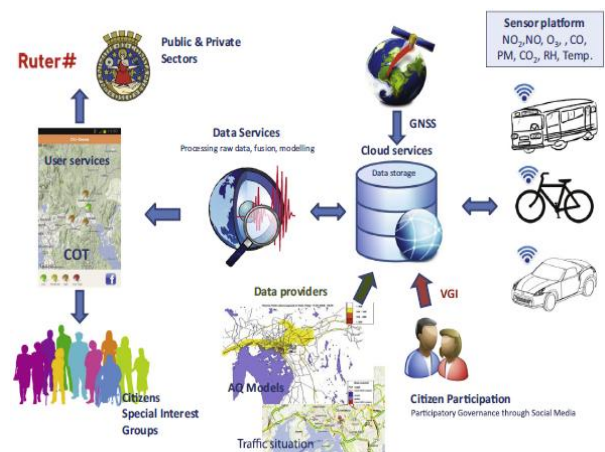
2.4 Citi-Sense-MOB: Ένα σύστημα παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Το 2015 στο Όσλο της Νορβηγίας αναπτύχθηκε το Citi-Sense-MOB, ένα σύστημα παρακολούθησης για τα επίπεδα της ρύπανσης του αέρα. Σκοπός αυτού του συστήματος ήταν η παραγωγή πληροφοριών για τους πολίτες καθώς και για τους λοιπούς ενδιαφερόμενους σε σχέση με την ποιότητα του περιβάλλοντος, εστιάζοντας στη ρύπανση του αέρα και τις συγκεντρώσεις αερίων. [7]

Η αρχιτεκτονική του συστήματος χωρίζεται στους παρακάτω βασικούς πυλώνες: (α) τις πλατφόρμες αισθητήρων, (β) τις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών και (γ) τους πολίτες. Το σύστημα συλλογής δεδομένων αποτελείται από αισθητήρες (CO-B4, CO₂-IRC-AT, NO-B4, NO₂-B4, O₃-B4 της Dunavnet) (εικόνα 12) οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω σε κινητές πλατφόρμες (όπως λεωφορεία, ποδήλατα και αυτοκίνητα). Τα συνεχή δεδομένα που συλλέγονται, μεταδίδονται σε έναν κεντρικό διακομιστή μέσω GPRS (General Packet Radio Service). Εκεί γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων και παράγονται πληροφορίες όπως χάρτες ποιότητας του αέρα. Οι πληροφορίες στέλνονται πίσω στους ενδιαφερόμενους χρησιμοποιώντας διαδικτυακές υπηρεσίες και εφαρμογές κινητών τηλεφώνων. Παρακάτω παρουσιάζεται η επισκόπηση του συστήματος Citi-Sense-MOB (εικόνα 13). [7]



Εικόνα 12. (α) CO-B4 (β) CO₂-B4 (γ) NO-B4 (δ) NO₂-B4 (ε) O₃-B4



Εικόνα 13. Επισκόπηση του συστήματος Citi-Sense-MOB

Το 2015 πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις όσον αφορά την έκθεση των πολιτών στους δρόμους του Όσλο σε ατμοσφαιρικούς ρύπους και τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο χωρικό χάρτη (εικόνα 14). Τα δεδομένα υπολογίστηκαν κατά μέσο όρο χρησιμοποιώντας ένα πλέγμα 50 μέτρων. Το κόκκινο χρώμα αντιπροσωπεύει τις υψηλότερες συγκεντρώσεις του CO₂ και το πράσινο τις χαμηλότερες. Για τη συλλογή των δεδομένων οι αισθητήρες είχαν τοποθετηθεί πάνω σε ηλεκτρικά ποδήλατα έχοντας ως παροχή ενέργειας την μπαταρία του ποδηλάτου και λάμβαναν κατευθείαν τα δεδομένα από τον περιβάλλοντα αέρα. [8,9]



Εικόνα 14. Χαρτογράφηση

2.5 Μόνιμο σύστημα παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αττική οδό

Στην περιφερειακή οδό της Αθήνας, η οποία ονομάζεται Αττική οδός έχει αναπτυχθεί μόνιμο σύστημα παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το συγκεκριμένο σύστημα περιλαμβάνει κατά μήκος της Αττικής οδού 8 σταθμούς (εικόνα 15). Κάθε σταθμός είναι εξοπλισμένος με αισθητήρες ανίχνευσης NO₂, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, C₆H₆. Όλοι αυτοί οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι μέσα σε ειδική στέγαση, η οποία περιλαμβάνει σύστημα air condition, ηλεκτρικό πάνελ για προστασία από την υπέρταση και σταθεροποιητή τάσης για όλους τους αισθητήρες (εικόνα 16).

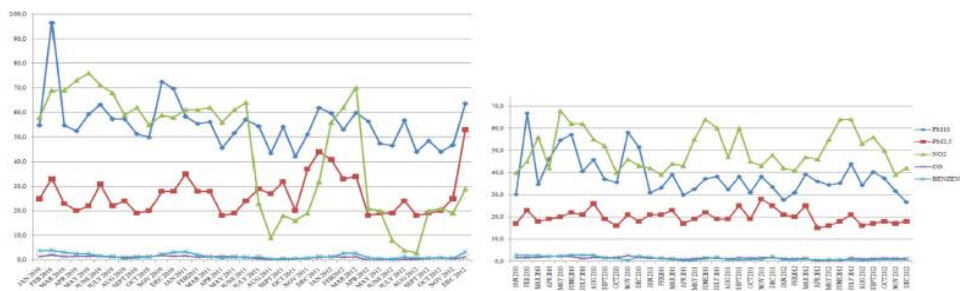


Εικόνα 15. Τοποθεσίες των 8 σταθμών στην Αττική οδό



Εικόνα 16. Ειδική στέγαση των σταθμών

Όλες οι μετρήσεις και τα διαγνωστικά από τους αισθητήρες συλλέγονται συνεχόμενα σε έναν υπολογιστή, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο οπτικών ινών της Αττικής οδού και μέσω αυτού στέλνονται στον κεντρικό διακομιστή. Εκεί γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων και δημιουργούνται αντίστοιχα γραφήματα. Ενδεικτικά παρουσιάζονται οι μετρήσεις δύο σταθμών για την περίοδο 2010-2012 (εικόνα 17). [10]



Εικόνα 17. Ενδεικτικές μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης των σταθμών A08.2 και IWPM2

| | Αισθητήρες αερίων | Αέρια που ανιχνεύουν |
|----------------|--|--|
| uSense | TGS2442, MiCS-2714, MiCS-2614 | CO, NO ₂ , O ₃ |
| AirSense | MQ-135, MQ-7 | CO |
| WSN & UAV | MOX sensors, δεν αναφέρεται μοντέλο | CO ₂ , N ₂ O, CH ₄ |
| Citi-Sense-MOB | CO-B4, CO ₂ -IRC-AT, NO-B4, NO ₂ -B4, O ₃ -B4 | CO, CO ₂ , NO, NO ₂ , O ₃ |
| Αττική οδός | δεν αναφέρονται | CO, NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , C ₆ H ₆ |

Πίνακας 1. Συνοπτική παρουσίαση των αισθητήρων αερίων που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε περίπτωση

3. Παρακολούθηση της ποιότητας και της ρύπανσης του νερού

Το νερό αποτελεί πηγή ανεκτίμητης αξίας, καθώς είναι απαραίτητο τόσο για την ανθρώπινη ζωή όσο και για τα ζώα. Ανησυχητικό είναι το γεγονός ότι υπάρχουν περίπου 250 εκ. περιπτώσεις ασθενειών που συνδέονται με τη ρύπανση του νερού. Είναι επιτακτική η ανάγκη διεξαγωγής ερευνών καθώς και η χάραξη πολιτικής για την προστασία του περιβάλλοντος. Η κατακόρυφη αύξηση της ρύπανσης του νερού σε ποτάμια, θάλασσες και λίμνες τα τελευταία χρόνια αυξάνουν την αναγκαιότητα παρακολούθησης της ρύπανσης μέσω WSNs. [12]

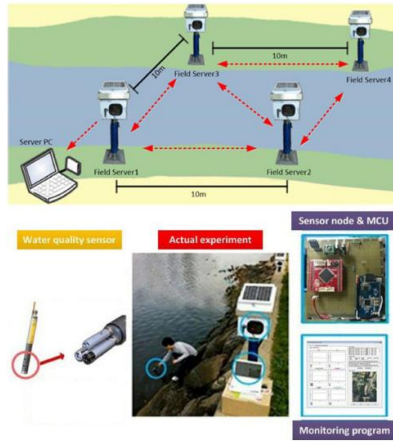
3.1 Σύστημα παρακολούθησης της ρύπανσης του νερού σε ποτάμι της Κορέας

Στα πλαίσια έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην Κορέα, αναπτύχθηκε δίκτυο WSN για την παρακολούθηση της ρύπανσης του νερού και πιο συγκεκριμένα έγιναν μετρήσεις σημαντικών παραγόντων, όπως το διαλυμένο οξυγόνο (DO-dissolved oxygen), το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η θολότητα, το βάθος του νερού καθώς και η θερμοκρασία [12]. Το προτεινόμενο WSN αποτελείται από ένα πλήθος αισθητήρων (YSI 600XL) (εικόνα 18), οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα μέσω multi-hop επικοινωνίας, συλλέγουν τα δεδομένα και τα αποστέλλουν ασύρματα στον κοντινότερο τοπικό διακομιστή. Σε κάθε τοπικό διακομιστή αντιστοιχεί συγκεκριμένος αριθμός αισθητήρων με κάθε διακομιστή να περιλαμβάνει ένα μικροεπεξεργαστή, μια κάρτα δικτύου και μια εξωτερική μνήμη και να υποστηρίζει ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ αισθητήρων, τοπικών διακομιστών και κεντρικού διακομιστή. Στη συνέχεια κάθε τοπικός διακομιστής στέλνει τα δεδομένα του στον κεντρικό διακομιστή, όπου πραγματοποιείται η ανάλογη επεξεργασία τους. Η τροφοδότησή τους γίνεται με συγκομιδή ενέργειας μέσω ηλιακών πάνελς. [12,13]

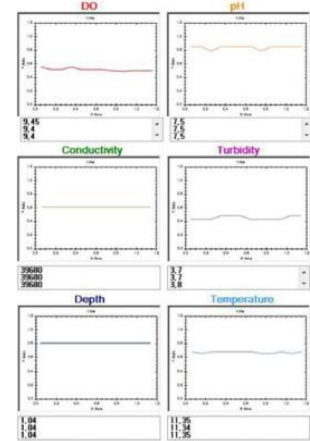
Στο πείραμα που διεξήχθη σε ποτάμι της Κορέας, τοποθετήθηκαν 20 αισθητήρες εντός του ποταμού, οι οποίοι κάλυπταν περιοχή 5 χλμ² συλλέγοντας δεδομένα σε μορφή πακέτων κάθε λεπτό, στέλνοντάς τα ασύρματα στους τοπικούς διακομιστές, οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε απόσταση 10 μέτρων ο ένας από τον άλλο κατά μήκος του ποταμού (εικόνα 19). Η απόσταση ήταν τέτοια ώστε να υπάρχει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και δυνατότητα αποφόρτισης του δικτύου από ενδεχόμενη υπερφόρτωση συλλογής δεδομένων. Στη συνέχεια ο κεντρικός διακομιστής αποκτούσε τα δεδομένα από τους τοπικούς κάθε 5 λεπτά, τα οποία επεξεργάζονταν από κατάλληλο λογισμικό δίνοντας τα τελικά αποτελέσματα (εικόνα 20). [12]



Εικόνα 18. YSI 600XL



Εικόνα 19. Αρχιτεκτονική του συστήματος

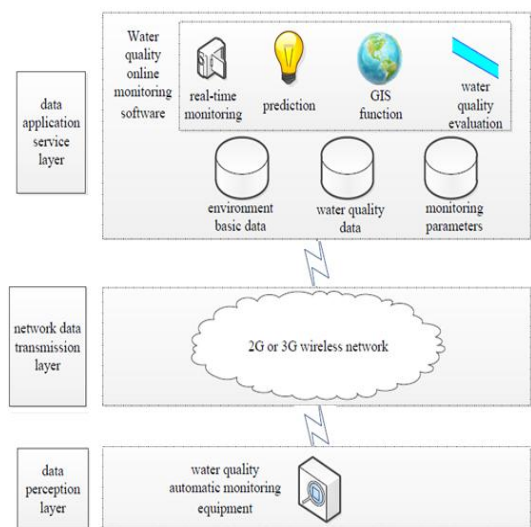


Εικόνα 20. Αποτελέσματα μετρήσεων

3.2 Σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του νερού σε λίμνη της Κίνας

Το 2015 στη λίμνη Han Feng της Κίνας δημιουργήθηκε ένα σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του νερού. Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση αυτοματοποιημένων μεθόδων με αποτέλεσμα όχι μόνο να γίνεται καλύτερη διαχείριση των πόρων αλλά και καλύτερη μετάδοση και επεξεργασία των δεδομένων. [14]

Το σύστημα αποτελείται από αισθητήρες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι κάτω από την επιφάνεια του νερού και συλλέγουν τα δεδομένα. Τα δεδομένα αποστέλλονται στον κεντρικό διακομιστή, ο οποίος έχει εγκατεστημένο ένα online λογισμικό παρακολούθησης μέσω ασύρματου δικτύου 2G ή 3G (ασύρματη δικτύωση 2^{ης}/3^{ης} γενιάς), όπου αποθηκεύονται, επεξεργάζονται, αναλύονται και απεικονίζονται. Το σύστημα χωρίζεται σε τρία επίπεδα: (α) συλλογή των δεδομένων, (β) μετάδοση των δεδομένων και (γ) επεξεργασία των δεδομένων και αξιοποίηση των πληροφοριών (εικόνα 21). [14]



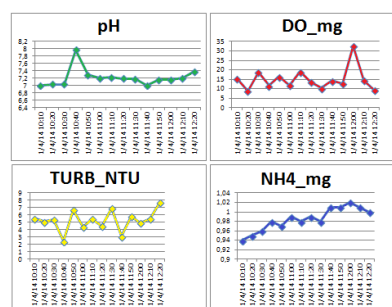
Εικόνα 21. Τα τρία επίπεδα του συστήματος

Για να μπορούν να γίνουν οι μετρήσεις σε αυτά τα αντίξοα περιβάλλοντα, ο εξοπλισμός θα πρέπει να έχει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, να μπορεί να τροφοδοτηθεί με ηλιακή ενέργεια και να έχει αποθηκευτική επάρκεια. Χρησιμοποιείται αισθητήρας (AP7000) (εικόνα 22) που περιλαμβάνει ανιχνευτές pH, θολότητας του νερού, διαλυμένου οξυγόνου (DO) και αμμωνίου (NH_4) ώστε να συλλέγει τα κατάλληλα περιβαλλοντικά δεδομένα για την ποιότητα του νερού. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα που δίνει ο αισθητήρας AP7000 είναι το γεγονός ότι διαθέτει ένα σύστημα καθαρισμού με διπλή βούρτσα για να καθαρίζει όλους τους ανιχνευτές και να αποτρέπει την κάλυψη τους από φύκια και ακαθαρσίες του νερού. [14]

Το συγκεκριμένο σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του νερού τοποθετήθηκε στη λίμνη Han Feng της Κίνας. Η συλλογή των δεδομένων από τους αισθητήρες πραγματοποιούνταν κάθε 10 λεπτά και παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα των μετρήσεων (εικόνα 23). Ως απόρροια της αυτοματοποίησης και της αναβάθμισης του συστήματος προκύπτουν πλεονεκτήματα, όπως η επίτευξη παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, η προειδοποίηση για μελλοντικούς κινδύνους από τυχόν ρύπανση του νερού καθώς και η χωρική απεικόνιση. [14]



Εικόνα 22. AP7000



Εικόνα 23. Αποτελέσματα μετρήσεων

| | Αισθητήρες νερού | Μεταβλητές προσδιορισμού της ποιότητας |
|--------|------------------|---|
| Ποτάμι | YSI 600XL | DO, pH, θολότητα, θερμοκρασία, αγωγιμότητα, βάθος |
| Λίμνη | AP7000 | DO, pH, θολότητα, θερμοκρασία, αγωγιμότητα, NH_4 |

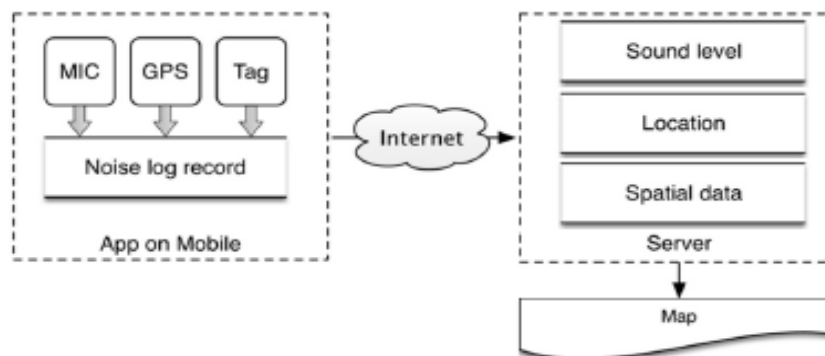
Πίνακας 2. Συνοπτική παρουσίαση των αισθητήρων νερού που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε περίπτωση

4. Παρακολούθηση της ηχορύπανσης

Με την ανάπτυξη της κοινωνίας και της οικονομίας η ηχορύπανση έχει προαχθεί σε ένα σημαντικό πρόβλημα. Πολλοί περιβαλλοντικοί οργανισμοί όπως η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος θεωρούν ότι η ηχορύπανση δημιουργεί σοβαρά προβλήματα υγείας. Συγκεκριμένα για την Ευρώπη, η ηχορύπανση οφείλεται για τουλάχιστον 1000 περιπτώσεις πρώιμου θανάτου κάθε χρόνο, 900.000 περιπτώσεις υπέρτασης, ενώ παραπάνω από 8 εκ. υποφέρουν από διαταραχές του ύπνου και 43.000 περιπτώσεις εισαγωγών στα νοσοκομεία. Παρακάτω αναλύονται περιπτώσεις παρακολούθησης της ηχορύπανσης με σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία. [15]

4.1 Χαρτογράφηση της ηχορύπανσης με τη χρήση έξυπνων κινητών τηλεφώνων

Η χαρτογράφηση της ηχορύπανσης είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την απεικόνιση και την παρακολούθησή της. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε στην Κινέζικη Ακαδημία Επιστημών του Πεκίνου με τη χρήση έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Τα κινητά τηλέφωνα, τα οποία λειτουργούν ως αισθητήρες, συλλέγουν δεδομένα ήχου μέσω ενός μικροφώνου και αποκτούν την τοποθεσία καταγραφής των δεδομένων χρησιμοποιώντας το GPS (Global Positioning System) της συσκευής. Έπειτα τα ακατέργαστα δεδομένα επεξεργάζονται και ενσωματώνονται σε αρχεία καταγραφής ήχου με μια χρονική σήμανση. Τα αρχεία μεταδίδονται ασύρματα μέσω ίντερνετ στον κεντρικό διακομιστή του συστήματος. Τέλος, ο διακομιστής σχεδιάζει τους χάρτες ήχου χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που έχουν προκύψει από τα δεδομένα του ήχου και της τοποθεσίας σε συνδυασμό με τα αποθηκευμένα χωρικά δεδομένα. Παρακάτω παρουσιάζεται μια απεικόνιση του σκελετού του συστήματος (εικόνα 24). [15]



Εικόνα 24. Σκελετός του συστήματος χαρτογράφησης της ηχορύπανσης

Για να γίνει η σωστή χρησιμοποίηση του smartphone ως αισθητήρα μέτρησης του ήχου πρέπει πρώτα να γίνει μια παραμετροποίηση ώστε να ανταποκρίνεται στα διεθνή πρότυπα του SLM (Sound Level Meters). Ως αισθητήρα χρησιμοποιεί ένα επιπρόσθετο μικρόφωνο (BY-LM10) (εικόνα 25) ώστε να επιτυγχάνονται αποτελεσματικότερες μετρήσεις. Παρότι το επιπρόσθετο μικρόφωνο αυξάνει το κόστος των smartphones, εξαλείφει εμπόδια όπως τη μόνιμη τοποθέτηση του τηλεφώνου στα χέρια των χρηστών αλλά και μειώνει την επίδραση του αέρα και της βροχής. Επιπλέον, διευκολύνει τις μετρήσεις εν κινήσει, καθώς σε παλαιότερα συστήματα το SLM είναι σταθερό σε ένα υποστήριγμα, ενώ με το μικρόφωνο και την παραμετροποίηση γίνεται φορητό. Έτσι, οι χρήστες μπορούν να κάνουν μετρήσεις εν κινήσει ακόμα και όταν κάνουν ποδήλατο. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στην πόλη του Πεκίνου, και συγκεκριμένα σε ένα πάρκο έκτασης περίπου 500 τ.μ. (εικόνα 26). [15]



Εικόνα 25. BY-LM10



Εικόνα 26. Πάρκο του Πεκίνου, ως πειραματικό πεδίο

Η διαδικασία αποτελείται από τρία στάδια: **(α)** την παραμετροποίηση, **(β)** το τεστ περιβάλλοντος και **(γ)** τις μετρήσεων. Στο στάδιο των μετρήσεων, το επιπρόσθετο μικρόφωνο δίνει επιπλέον πληροφορίες αφού στην ουσία ο αισθητήρας δεν είναι σε ένα συγκεκριμένο σημείο αλλά είναι φορητός. [15]

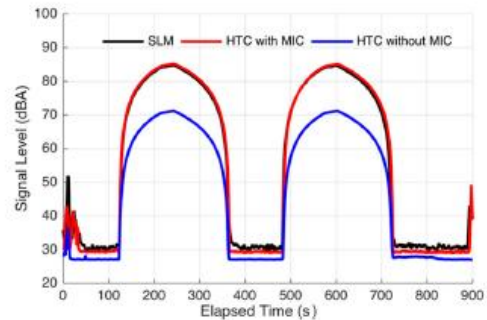
Στην περίπτωση του πάρκου του Πεκίνου συμμετείχαν δύο εθελοντές για την εκτέλεση των μετρήσεων κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής (8:00-9:00 & 21:00-22:00), καλύπτοντας ολόκληρη την περιοχή περπατώντας με τα smartphones πάνω τους ως κινούμενοι αισθητήρες. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων, τα οποία συγκρίνονται με το κοινό σύστημα μέτρησης ήχου όσον αφορά την ακρίβεια των αποτελεσμάτων (εικόνα 27).

Επιπρόσθετα παρουσιάζεται η σύγκριση των μετρήσεων σε μια ίδια συσκευή με και χωρίς το επιπρόσθετο μικρόφωνο (εικόνα 28) και τέλος παρουσιάζονται οι χάρτες ηχορύπανσης που δημιουργήθηκαν από την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν (εικόνα 29). [15]

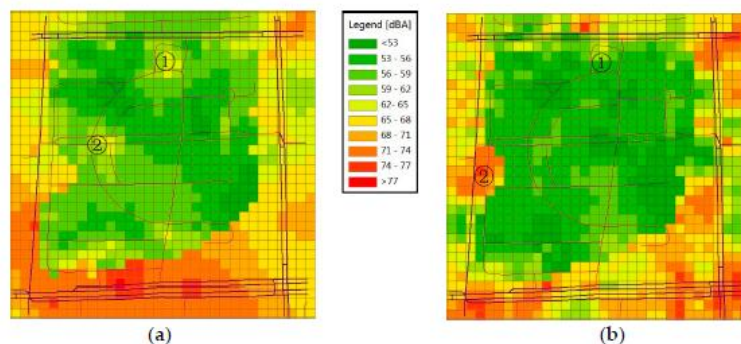
| SLM | HTC | S3 | J4-1 | J4-2 | iPhone6p |
|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 53.75 | 54.31 | 54.60 | 54.34 | 56.38 | 56.10 |
| 63.20 | 63.57 | 63.89 | 63.68 | 65.82 | 65.54 |
| 67.56 | 67.87 | 68.22 | 68.02 | 70.12 | 69.87 |
| 70.24 | 70.61 | 70.98 | 70.80 | 72.95 | 72.64 |
| 72.41 | 72.59 | 73.00 | 72.83 | 74.99 | 74.67 |
| 74.00 | 74.15 | 74.58 | 74.43 | 76.58 | 75.89 |
| 76.99 | 77.01 | 77.51 | 77.36 | 79.50 | 77.61 |
| 80.65 | 80.57 | 81.05 | 80.88 | 83.01 | 79.69 |

HTC and S3 are equipped with additional microphones.

Εικόνα 27. Μετρήσεις-συγκρίσεις με κοινό σύστημα μέτρησης ήχου



Εικόνα 28. Σύγκριση μετρήσεων του HTC με και χωρίς μικρόφωνο



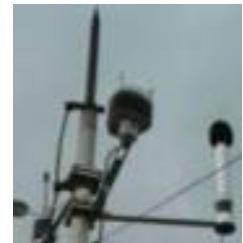
Εικόνα 29. Χάρτες ηχορύπανσης: (α) 8:00-9:00 και (β) 21:00-22:00

4.2 Μόνιμο σύστημα παρακολούθησης της ηχορύπανσης στην Αττική οδό

Παράλληλα με το σύστημα παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της Αττικής οδού που αναφέρθηκε παραπάνω, αναπτύχθηκε και σύστημα παρακολούθησης της ηχορύπανσης. Όπως έχει αναφερθεί το συγκεκριμένο σύστημα περιλαμβάνει 8 σταθμούς, οι οποίοι εγγυούνται τη συλλογή δεδομένων ηχορύπανσης σε πραγματικό χρόνο [10]. Όλοι οι σταθμοί είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες ανάλυσης ήχου και πιο συγκεκριμένα με το μοντέλο OPER@-EX (εικόνα 30). Το εν λόγω μοντέλο έχει τα εξής χαρακτηριστικά: μικρόφωνα που καταγράφουν τιμές από 25 έως 137 dB, δυνατότητα επιλογής σύνδεσης σε δίκτυο με Ethernet/ADSL/3G (ενσύρματη τοπική δικτύωση υπολογιστών/ Ασύμμετρη Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή/ δικτύωση 3^{ης} γενιάς) και πλήρη προστασία από καιρικές συνθήκες και άλλους εξωτερικούς παράγοντες (όπως τα πουλιά) (εικόνα 31) [16]. Με βάση την Ευρωπαϊκή νομοθεσία οι αισθητήρες αυτοί είναι τοποθετημένοι σε ύψος 4 μέτρων από το έδαφος καθώς και 2 μέτρα μακριά από την πλησιέστερη πηγή ηχορύπανσης και στη συγκεκριμένη περίπτωση από το δρόμο. [10]

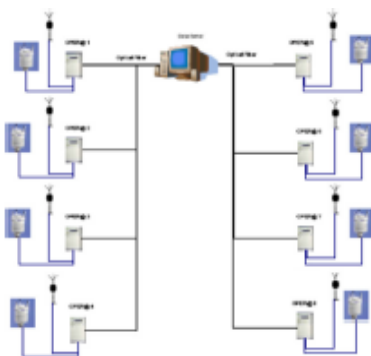


Εικόνα 30. OPER@-EX

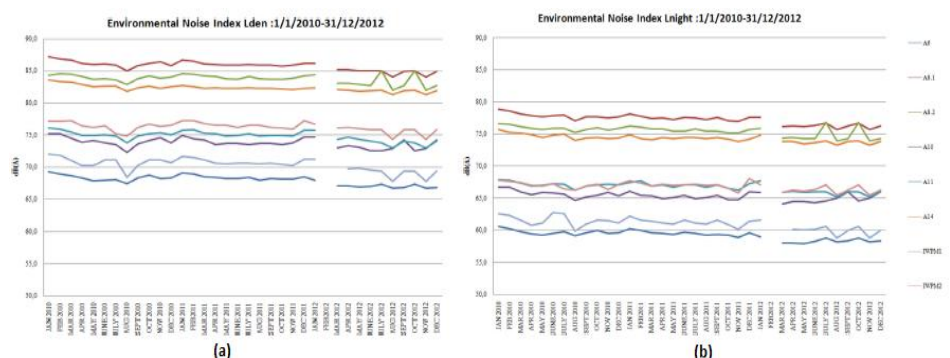


Εικόνα 31. Μικρόφωνο

Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιείται όλο το 24ωρο και τα δεδομένα αποθηκεύονται προσωρινά στον υπολογιστή του κάθε σταθμού. Κάθε υπολογιστής είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο οπτικών ινών της Αττικής οδού και μέσω αυτού τα δεδομένα αποστέλλονται στον κεντρικό διακομιστή όπου υπάρχει η κεντρική βάση δεδομένων (εικόνα 32), όπου γίνεται η επεξεργασία τους και μέσω ειδικού λογισμικού (CadnaA) εκδίδονται σήματα κινδύνου καθώς και online γραφήματα μέτρησης. Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικές μετρήσεις των δεικτών L_{den} (Level day-evening-night) και L_{night} κατά την περίοδο 2010-2012 (εικόνα 33). [10,11]



Εικόνα 32. Σταθμοί παρακολούθησης ηχορύπανσης



Εικόνα 33. Μετρήσεις ήχου: (α) δείκτης L_{den} και (β) δείκτης L_{night}

4.3 Σύστημα παρακολούθησης της ηχορύπανσης στην Ισπανία

Το 2016 στην επαρχιακή πόλη Αλγκεμέσι, νοτιοανατολικά της Βαλένθια της Ισπανίας αναπτύχθηκε σύστημα παρακολούθησης της ηχορύπανσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν κόμβοι αισθητήρων που αποτελούνται από ένα μικροεπεξεργαστή, μια κάρτα γραφικών, μια μνήμη RAM (Random Access Memory), μια κάρτα ήχου, ένα μικρόφωνο (CMA-4544PF-W) καθώς και μια κάρτα δικτύου WiFi (εικόνες 34, 35). Η τροφοδότηση ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με μπαταρίες που προσφέρουν διάρκεια ζωής στον κόμβο έως 28 ώρες. Τα δεδομένα συλλέγονται από τα μικρόφωνα του και μεταφέρονται στον διακομιστή του κάθε κόμβου και στη συνέχεια μεταφέρονται ασύρματα στον κεντρικό διακομιστή μέσω ίντερνερντ. Το σύστημα αυτό επιτρέπει την αποθήκευση και το συγχρονισμό όλων των δεδομένων. [17]

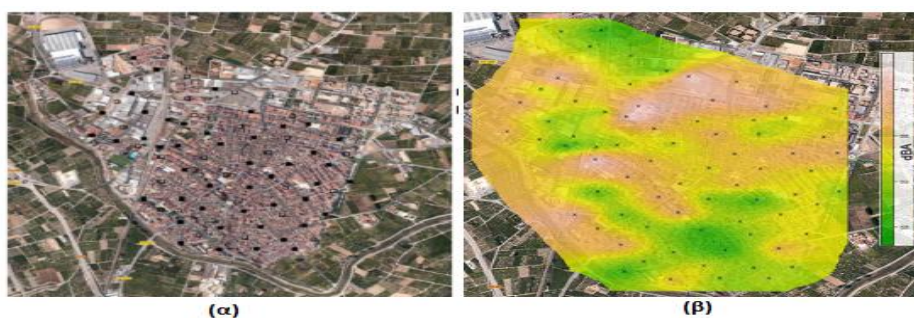


Εικόνα 34. CMA-4544PF-W



Εικόνα 35. Συστατικά μέρη κόμβου

Οι κόμβοι τοποθετήθηκαν σε 78 διαφορετικά σημεία μέσα στην πόλη σε μια περιοχή έκτασης 1,8 χλμ² και οι μετρήσεις καταγράφονταν κάθε 10 λεπτά μεταξύ 07:00 και 22:00 για 3 εβδομάδες (εικόνα 35). Στα σημεία που τοποθετήθηκαν οι κόμβοι οι μετρήσεις παρείχαν περά από τις πληροφορίες για το επίπεδο ηχορύπανσης, επιπρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την κυκλοφοριακή κίνηση, η οποία σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την ηχορύπανση. [17]



Εικόνα 36. (α) τοποθέτηση 78 κόμβων αισθητήρων (β) χαρτογράφηση ηχορύπανσης

| | Αισθητήρες ήχου | Εύρος ευαισθησίας |
|---------------------------|------------------------|-------------------|
| Χρήση smartphone | μικρόφωνο BY-LM10 | έως 30 dB |
| Αττική οδός | μοντέλο OPER@-EX | 25-137 dB |
| Κόμβοι αισθητήρων Ισπανία | μικρόφωνο CMA-4544PF-W | έως 42 dB |

Πίνακας 3. Συνοπτική παρουσίαση των αισθητήρων ήχου που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε περίπτωση

5. Σύγκριση των περιπτώσεων: Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται συνοπτικά σε πίνακες τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των περιπτώσεων ανά κατηγορία που περιγράφηκαν παραπάνω. Για την αξιολόγηση της κάθε περίπτωσης χρησιμοποιήθηκε κλίμακα Likert 7-σημείων, όπου 7 «εξαιρετικό» και 1 «κάκιστο».

| | uSense | AirSense | WSN & UAV | Citi-Sense-MOB | Αττική Οδός |
|--------------------------------------|--------|----------|-----------|----------------|-------------|
| ευελιξία εγκατάστασης | 6 | 6 | 4 | 5 | 4 |
| κόστος συστήματος | 6 | 7 | 2 | 5 | 2 |
| προστασία από εξωτερικούς παράγοντες | 5 | 4 | 5 | 5 | 7 |
| ενεργειακή τροφοδότηση | 5 | 3 | 6 | 5 | 7 |
| εύρος κάλυψης | 3 | 5 | 6 | 5 | 4 |
| τρόπος συλλογής δεδομένων | 5 | 7 | 7 | 6 | 5 |
| τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων | 5 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| ακρίβεια αποτελεσμάτων | 4 | 5 | 7 | 6 | 5 |
| χαρτογράφηση | 5 | 5 | 7 | 6 | 2 |

Πίνακας 4. Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα των συστημάτων παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

| | Ποτάμι | Λίμνη |
|--------------------------------|--------|-------|
| ευελιξία εγκατάστασης | 4 | 4 |
| κόστος συστήματος | 3 | 5 |
| προστασία/συντήρηση συστήματος | 3 | 6 |
| ενεργειακή τροφοδότηση | 4 | 6 |
| εύρος κάλυψης | 6 | 3 |
| τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων | 5 | 5 |
| ακρίβεια αποτελεσμάτων | 4 | 6 |
| σύστημα προειδοποίησης | 2 | 5 |

Πίνακας 5. Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα των συστημάτων παρακολούθησης της ρύπανσης του νερού

| | Χρήση Smartphone | Αττική οδός | Κόμβοι αισθητήρων Ισπανία |
|--------------------------------------|------------------|-------------|---------------------------|
| ευελιξία εγκατάστασης | 6 | 4 | 5 |
| κόστος συστήματος | 6 | 2 | 4 |
| προστασία από εξωτερικούς παράγοντες | 4 | 7 | 5 |
| ενεργειακή τροφοδότηση | 3 | 7 | 5 |

Πίνακας 6. Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα των συστημάτων παρακολούθησης της ηχορύπανσης

6. Συμπεράσματα – Προκλήσεις – Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Οι παραπάνω περιπτώσεις συστημάτων παρακολούθησης της ρύπανσης του περιβάλλοντος αποδεικνύουν πόσο σημαντική είναι τελικά η συνεχής παρακολούθηση του και η πληροφόρηση που παράγεται από αυτήν για τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου. Η έξυπνη παρακολούθηση του περιβάλλοντος δεν περιλαμβάνει μόνο την παρακολούθηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης, αλλά ελέγχει επίσης την επίδραση των περιβαλλοντικών αλλαγών στους ανθρώπους, τα ζώα, τα φυτά ακόμη και την κατάσταση της γης. Κατά συνέπεια, για την παροχή καινοτόμων μεθοδολογιών και διαδικασιών παρακολούθησης του περιβάλλοντος, τα WSNs είναι το κλειδί για ευέλικτη παρακολούθηση, διάγνωση και προστασία του περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο. Μέσω της χρήσης κόμβων αισθητήρων μπορεί να σχηματιστεί ένα δίκτυο που να παρέχει πρόσβαση σε πληροφορίες οποτεδήποτε και οπουδήποτε συλλέγοντας, επεξεργάζοντας, αναλύοντας και διαδίδοντας δεδομένα.

Στην καλύτερη ανάπτυξη των WSNs θα συμβάλει σημαντικά η τεχνολογία του IoT (Internet of Things), που τα τελευταία χρόνια αποτελεί τεχνολογία που εξελίσσεται ολοένα και περισσότερο και θα πρωταγωνιστήσει έχοντας καταλυτικό ρόλο στην αντιμετώπιση προκλήσεων και στη διεξαγωγή μελλοντικών ερευνών. Μέσω της ύπαρξης των WSNs ως σπονδυλική στήλη (backbone) για έξυπνα περιβάλλοντα, υπάρχει μεγάλη και τεράστια πρόκληση στην ιεραρχία της ανίχνευσης ορισμένων φαινομένων. Επιπλέον, προκλήσεις απορρέουν από την παρακολούθηση και τη συλλογή δεδομένων, την αξιολόγηση των πληροφοριών που προκύπτουν, τη διαβίβαση των πληροφοριών στους χρήστες μέσω απεικόνισης (πχ. χαρτογράφησης), τη λήψη αποφάσεων καθώς και την παροχή προειδοποιητικών μηνυμάτων (alarms). Περισσότερες προσπάθειες είναι αναγκαίες για τη διαχείριση προκλήσεων σχετιζόμενες με τα WSNs, όπως η βελτίωση της υπηρεσίας της ασύρματης επικοινωνίας, η αξιοπιστία των αισθητήρων, η ανοχή σε σφάλματα μετρήσεων και η διαλειτουργικότητα των συστημάτων. Τέλος, η μείωση του κόστους των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων καθώς και η συνεχής εξέλιξή τους, σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες αισθητήρων υπόσχονται την ακόμα καλύτερη παρακολούθηση του περιβάλλοντος.

Μελλοντικές έρευνες σε άλλους τομείς που αφορούν την ρύπανση του περιβάλλοντος είναι αναγκαίες, ώστε η παρακολούθηση του περιβάλλοντος να είναι σφαιρική και ολοκληρωμένη. Έτσι, η διεξαγωγή ερευνών για την ρύπανση του εδάφους (πχ. από τοξικές ουσίες, βιομηχανικά απόβλητα κτλ) και την ρύπανση από πετρελαιοειδή κρίνεται απαραίτητη. Σε όλα αυτά καθοριστική θα είναι η συμβολή των ίδιων των πολιτών αρχικά με την ευαισθητοποίησή τους όσον αφορά το περιβάλλον και έπειτα με την κινητοποίησή τους σε δράσεις εθελοντικής συλλογής δεδομένων, ώστε να αυξηθεί το πλήθος δεδομένων και τα αποτελέσματα των ερευνών να είναι πιο ακριβή και πιο αξιόπιστα.

Βιβλιογραφία

- [1] Hart, K. J.; Martinez, K. (2006, October). Environmental Sensor Networks: A revolution in the earth system science?. *Earth-Science Reviews*, 78(3-4), 177–191. doi: 10.1016/j.earscirev.2006.05.001
- [2] Wikipedia. (2017). https://el.wikipedia.org/wiki/Ασύρματο_δίκτυο_αισθητήρων
- [3] Brienza, S.; Galli, A.; Anastasi, G.; Bruschi, P. (2015, May). A Low-Cost Sensing System for Cooperative Air Quality Monitoring in Urban Areas. *Sensors*, 15(6), 12242-12259. doi: 10.3390/s150612242
- [4] Dutta, J.; Chowdhury, C.; Roy, S.; Middy, A. I.; Gazi, F. (2017, January). Towards Smart City: Sensing Air Quality in City based on Opportunistic Crowd-sensing. *Proceedings of the 18th International Conference on Distributed Computing and Networking (ICDSN)*. doi: 10.1145/3007748.3018286
- [5] Malaver, A.; Motta, N.; Corke, P.; Gonzales, F. (2015, February). Development and Integration of a Solar Powered Unmanned Aerial Vehicle and a Wireless Sensor Network to Monitor Greenhouse Gases. *Sensors*, 15(2), 4072-4096. doi: 10.3390/s150204072
- [6] Sitka, P.; Corke, P. I.; Overs, L.; Wark, T. (2008, January). Fleck - A platform for real-world outdoor sensor networks. *3rd International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information*, Source: IEEE Xplore. doi: 10.1109/ISSNIP.2007.4496930
- [7] Castell, N.; Kobernus, M.; Liu, H.; Schneider, P.; Lahoz, W.; Berre, J. A.; Noll, J. (2015, December). Mobile technologies and services for environmental monitoring: The Citi-Sense-MOB approach. *Urban Climate*, 14, 370-382. doi: 10.1016/j.uclim.2014.08.002
- [8] Citi-Sense-MOB Usage. Source: <http://cwi.unik.no/wiki/CSM:Usage>
- [9] Oslo Citizens' Observatory. Source: <http://oslo.citi-sense.eu/Home.aspx>
- [10] Vogiatzis, K. (2015). Environmental noise and air pollution monitoring in the athens ring road (“attiki odos”): An important parameter for a sustainable urban development. *International*

Journal of Sustainable Development and Planning, 10(4), 528-543. doi: 10.2495/SDP-V10-N4-528-543

[11] Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών & Δικτύων. (2008). Μελέτη χαρτογράφησης Ο.Κ.Θ. & εκπόνησης σχεδίων δράσης αντιμετώπισης σχετικών προβλημάτων στην αττική οδό, Φάση Β: Στρατηγικός χάρτης θορύβου Αττικής οδού- Δείκτες L_{den} και L_{night} . Πηγή: <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=%2Bb5xT%2B6sG1A%3D&tabid=452>

[12] Chung, W. U.; Yoo, J. H. (2015, October). Remote water quality monitoring in wide area. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 217, 51-57. doi: 10.1016/j.snb.2015.01.072

[13] 600XLM Multi-Parameter Water Quality Sonde- Specification Sheet. Source: <https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Specification%20Sheets/E55-600XL-600XLM.pdf>

[14] Yuan, Y.; Shang, M.; Wang, G.; Zhang, X. (2016, January). Water Quality Online Monitoring System Integration of Three Gorges Drawdown Areas. *5th International Conference on Computer Sciences and Automation Engineering (ICCSAE)*. 79-86, doi: 10.2991/iccsae-15.2016.17

[15] Zuo, J.; Xia, H.; Qiao, Y. (2016, October). Mapping Urban Environmental Noise Using Smartphones. *Sensors*, 16(10), 1692, doi: 10.3390/s16101692

[16] Oper@, Noise Monitoring Stations, Features. Source: <https://www.environmental-expert.com/products/01db-model-oper-noise-measurement-and-monitoring-station-321375>

[17] Garcia, J. G.; Solano, J. J. P.; Serrano, M. C.; Camba, E. N.; Castell, S. F.; Asensi, A. S.; Suay, F. M. (2016, November). Spatial Statistical Analysis of Urban Noise Data from a WASN Gathered by an IoT System: Application to a Small City. *Applied Science*, 6(12), 380. doi: 10.3390/app6120380