



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΔΠΜΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΜΑΘΗΜΑ: ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Α.Α. ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ

UNIVERSITY OF MACEDONIA  
MASTER IN INFORMATION SYSTEMS  
COURSE: COMPUTER NETWORKS  
PROFESSOR: A.A. ECONOMIDES

# ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

## REAL CASES OF SENSOR NETWORKS FOR ENVIROMENTAL POLLUTION MONITORING

### ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:

Ζαχαράκη Ασπασία (mis18011)

Πουργουτζίδου Ειρήνη (mis18025)

## Περιεχόμενα

1. Περίληψη.....	3
2. Εισαγωγή.....	4
3. Ανάλυση Θέματος.....	5
3.1. Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	5
3.1.1. Παρακολούθηση ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον Μαυρίκιο με WAPMS.....	5
3.1.2. Σύστημα μέτρησης της ποιότητας του αέρα χρησιμοποιώντας το Arduino.....	6
3.1.3. Παρακολούθηση της αστικής ποιότητας του αέρα με αισθητήρες χαμηλού κόστους στο Μπάρι της Ιταλίας.....	8
3.1.4. Μια σειρά κινητών GPRS αισθητήρων για παρακολούθηση της ρύπανσης του αέρα.....	9
3.2. Παρακολούθηση της ποιότητας και ρύπανσης των υδάτων.....	10
3.2.1. Αυτόνομη ασύρματη σύνδεση παρακολούθησης λίμνης.....	11
3.2.2. Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων στο Μεξικό.....	11
3.2.3. Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού στη λίμνη Βικτόρια.....	13
3.3. Παρακολούθηση της ηχορύπανσης.....	14
3.3.1. Παρακολούθηση περιβαλλοντικού θορύβου με αισθητήρες.....	15
3.3.2. SONYC: Ένα σύστημα παρακολούθησης, ανάλυσης και μείωσης του αστικού θορύβου.....	16
4. Σύγκριση των περιπτώσεων: Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	19
5. Συμπεράσματα – Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	20
6. Βιβλιογραφία.....	21

## 1. Περίληψη

Παγκόσμια έκταση έχει λάβει το φαινόμενο της περιβαλλοντικής ρύπανσης στις μέρες μας με κύριους ευθύνοντες τις έντονες ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι δραστηριότητες αυτές μολύνουν αέρα, έδαφος, ήχο, ύδατα, στοιχεία της φύσης πολύτιμα για την υγεία και τη ζωή ανθρώπου και φυσικού περιβάλλοντος. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, ο άνθρωπος ξεκίνησε να παρακολουθεί τη μόλυνση των στοιχείων και να την ελέγχει με διάφορα περιβαλλοντικά δίκτυα αισθητήρων ESN (Environmental Sensor Networks). Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται ασύρματα WSN (Wireless Sensor Networks) πλέον ESN που παρακολουθούν την ατμοσφαιρική ρύπανση, την ρύπανση των υδάτων και την ηχορύπανση σε περιοχές που παρατηρείται εντεταμένο το πρόβλημα. Σε πολλές περιπτώσεις, πραγματικές ή ερευνητικές, τα δίκτυα αισθητήρων τοποθετούνται σε σταθερές βάσεις και άλλοτε σε κινούμενα μέσα. Τα δεδομένα μεταβιβάζονται μεταξύ των κόμβων με ασύρματα δίκτυα κυρίως LAN (Local Area Networks), αλλά και με άλλες μορφές ασύρματων δικτύων. Δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να παρακολουθήσει τις μετρήσεις μέσω κανονικών PCs αλλά και smartphones. Αναλύεται λοιπόν σε διάφορες πόλεις η δομή, η λειτουργία καθώς επίσης και ο τρόπος παρακολούθησης και επεξεργασίας αποτελεσμάτων των ESN.

Λέξεις κλειδιά: Παρακολούθηση περιβαλλοντικής ρύπανσης, Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

### Abstract

Nowadays, the phenomenon of environmental pollution has received global dimension and the main responsible for this, are intense human activities. These activities contaminate air, soil, sound, water, elements of nature that are valuable for health and life of humans and natural environment. To deal this problem, human began monitoring environmental pollution and control it with various Environmental Sensor Networks (ESN). In this paper we present wireless ESN (Wireless Sensor Networks), which monitors air pollution, water pollution and noise pollution in areas where the problem persists. In many cases, real or research, sensor networks are placed on stable bases and sometimes on transportable devices. Data is transferred between nodes with wireless networks, mainly LAN (Local Area Networks), but also with other forms of wireless networks. The user is capable to monitor the data through regular PCs and smartphones. Therefore, the structure, the function, and, also the way that ESNs results are monitored, processed and analyzed in different cities.

Keywords: Environmental pollution monitoring, Wireless sensor networks

## 2. Εισαγωγή

Στις μέρες μας αντιμετωπίζουμε ένα σοβαρό και μεγάλο πρόβλημα. Λόγω της τεράστιας ανάπτυξης της βιομηχανίας, της αύξησης των καυσαερίων και των βιομηχανικών απόβλητων σε αέρα και νερό, το περιβάλλον νοσεί. Η μόλυνση του περιβάλλοντος είναι ένα θέμα που απασχολεί όλο τον πλανήτη.

Αναγκαία κρίνεται λοιπόν η παρακολούθηση αυτής της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία ασύρματου δικτύου και η τάση για μινιατουρισμό των ηλεκτρονικών αντικειμένων που επικρατεί, έχουν οδηγήσει στην ρεαλιστική παρακολούθηση του φυσικού περιβάλλοντος για πρώτη φορά. Με πάνω από μια δεκαετία εντατικής έρευνας και ανάπτυξης, η ασύρματη τεχνολογία δικτύου αισθητήρων έχει αναδυθεί ως βιώσιμη λύση σε πολλές καινοτόμες εφαρμογές. Αυτά τα συστήματα ενδέχεται να παράσχουν νέα δεδομένα για την επιστήμη του περιβάλλοντος (π.χ. κλιματικά μοντέλα) καθώς και προειδοποιήσεις ζωτικού κινδύνου (π.χ. ειδοποιήσεις για μόλυνση αέρα). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα απομακρυσμένα ή επικίνδυνα περιβάλλοντα που δύσκολα έχουν μελετηθεί εξαιτίας της απροσπελασιμότητά τους. [1]

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless Sensor Network) αποτελείται από εκατοντάδες και σε ορισμένες περιπτώσεις χιλιάδες κόμβους, οι οποίοι είναι διασκορπισμένοι και ο καθένας από αυτούς τους συνδέεται σε έναν ή περισσότερους αισθητήρες. Η παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών επιτυγχάνεται μέσω της συνεργασίας των διασκορπισμένων αυτόνομων αισθητήρων για την μεταφορά δεδομένων μέσω του δικτύου σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία.

Καθένας από τους κόμβους αυτούς περιλαμβάνει ορισμένα χαρακτηριστικά κομμάτια τα οποία είναι: ένας ραδιοπομποδέκτης με μια εσωτερική κεραία ή μια σύνδεση με μια εξωτερική κεραία, ένας μικροελεγκτής, ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για τη διασύνδεση με τους αισθητήρες και μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία. Το μέγεθος και το κόστος του κάθε κόμβου ποικίλει. Τα πιο μοντέρνα δίκτυα είναι ικανά και να δίνουν αλλά και να δέχονται πληροφορίες πράγμα που τους επιτρέπει να ελέγχουν την δραστηριότητα των αισθητήρων. [2]

Οι μορφές ρύπανσης εξαρτώνται τόσο από το τμήμα του περιβάλλοντος που επηρεάζεται όσο και από τη μορφή των ρύπων. Μορφές ρύπανσης είναι οι εξής : ατμοσφαιρική ρύπανση, ρύπανση των υδάτων, ηχητική ρύπανση. [3]

Βάση των μορφών ρύπανσης, στην παρακάτω εργασία αναπτύσσονται ορισμένες περιπτώσεις δικτύων αισθητήρων για την παρακολούθηση της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Η ανάλυση αφορά τους ακόλουθους τομείς:

1. Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
2. Παρακολούθηση της ποιότητας και ρύπανσης των υδάτων
3. Παρακολούθηση της ηχορύπανσης

### 3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΜΑΤΟΣ

#### 3.1. Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η μόλυνση της ατμόσφαιρας, η οποία προκαλείται από την εισαγωγή ουσιών (ρύπων) σε αυτή. Κύρια αιτία της εμφάνισης του φαινομένου αυτού αποτελεί ο ανθρώπινος παράγοντας.

Οι επιπτώσεις του φαινομένου είναι επιβλαβείς για την ποιότητα ζωής των ανθρώπων, των οργανισμών και του ίδιου του περιβάλλοντος. Τα αναπνευστικά προβλήματα, η τρύπα του όζοντος, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η όξινη βροχή είναι τα πιο σοβαρά αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. [4]

Όλα αυτά καθιστούν επιτακτική ανάγκη την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα σε πραγματικό χρόνο. Αυτή την ανάγκη ικανοποιούν όλο και αποτελεσματικότερα τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα οποία έχουν αναπτυχθεί σε ποικίλες χώρες σε όλο τον κόσμο.

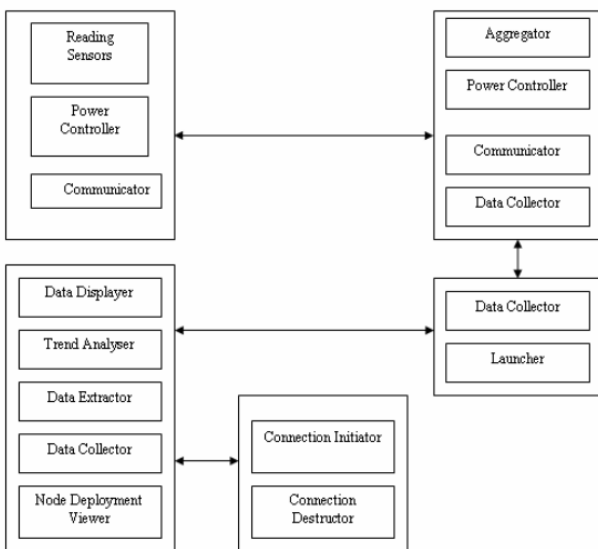
Στη συνέχεια αναλύονται περιπτώσεις για την παρακολούθηση του αέρα και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με διάφορα δίκτυα αισθητήρων.

##### 3.1.1. Παρακολούθηση ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον Μαυρίκιο με WAPMS

Οι ταχέως αναπτυσσόμενες βιομηχανικές δραστηριότητες στο κράτος του Μαυρίκιου οδήγησαν στην μόλυνση της ατμόσφαιρας καθιστώντας την επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία. Για αυτό κρίθηκε αναγκαία η χρήση ασύρματων δικτύων στο νησί, για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Χρησιμοποιήθηκε ένα καινοτόμο σύστημα εν ονόματι «Σύστημα παρακολούθησης της ρύπανσης της ατμόσφαιρας μέσω ασύρματου αισθητήρα (WAPMS - Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System)» με μεγάλο αριθμό αισθητήρων οι οποίοι είναι μοιρασμένοι γύρω από το νησί.

Το WAPMS αποτελείται από μια σειρά από κόμβους αισθητήρων (sensor nodes) και ένα σύστημα επικοινωνιών που επιτρέπει στα δεδομένα να φτάσουν σε ένα διακομιστή (server). Οι κόμβοι των αισθητήρων συλλέγουν δεδομένα αυτόνομα. Το δίκτυο δεδομένων μεταδίδει δεδομένα σε ένα ή περισσότερους σταθμούς βάσης, οι οποίοι τα διαβιβάζουν σε ένα διακομιστή δικτύου αισθητήρων. Το σύστημα στέλνει εντολές στους κόμβους προκειμένου να αντληθούν τα δεδομένα, και επίσης επιτρέπει στους κόμβους να αποστέλλουν δεδομένα αυτόνομα. Ο μέγιστος χρόνος λειτουργίας του προσομοιωτή είναι μικρότερος από 20 λεπτά και δοκιμάστηκε σε 6 περιοχές με 200 κόμβους σε κάθε περιοχή.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το αρχιτεκτονικό διάγραμμα του WAPMS (εικόνα 1).



Εικόνα 1 – Αρχιτεκτονικό διάγραμμα WAPMS

Ο Reading Sensor(αισθητήρας ανάγνωσης) παράγει μία τυχαία τιμή την οποία παίρνει ο Reading Transmitter και την μεταδίδει μέσω του Communicator.

Στον Power Controller κάθε κόμβος έχει μια μέθοδο που ονομάζεται "turn on" που εκκινεί τον κόμβο. Όσον αφορά τις λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας, εξαρτώνται από τον προσομοιωτή.

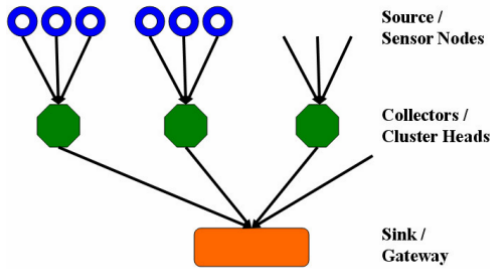
Ο Launcher ενημερώνει τον συλλέκτη δεδομένων για να ξεκινήσει τη συλλογή βάσει του τρόπου που έχει οριστεί από τον χρήστη. Ο Data Collector παίρνει ένα σύνολο κόμβων από τον οποίο συλλέγει αναγνώσεις και στη συνέχεια στέλνει μηνύματα για να τα ενημερώσει τις απαιτούμενες τιμές.

Ο Nodes Deployment Viewer Εμφανίζει την ανάπτυξη κόμβων στο πεδίο WSN και τα AQI (Air Quality Index) χρώματα.

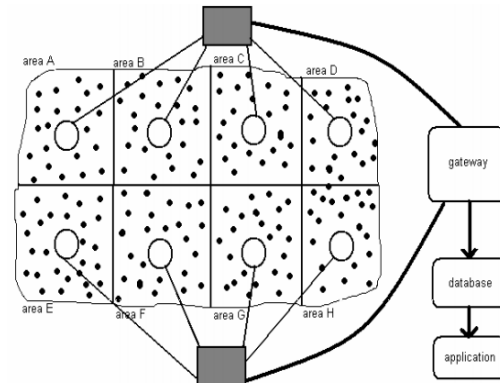
Ο Trend Analyser παίρνει προηγούμενες αναγνώσεις και καθορίζει τη σχέση μεταξύ τους και προβάλλει έτσι μελλοντικές αναγνώσεις.

Τρεις τύποι κόμβων συντελούν το σύστημα. Η πηγή (source), με περιορισμένες απαιτήσεις ενέργειας, της οποίας ο ρόλος είναι η ανίχνευση και η δρομολόγηση. Ο Cluster Head (συλλέκτης), ο οποίος έχει συγκεκριμένη

τοποθεσία στο σύστημα, με ρόλο την συλλογή και συσσωμάτωση. Και ο sink (πύλη) που ο ρόλος του είναι η συλλογή. Συνδυαστικά αυτοί οι κόμβοι δημιουργούν μία ιεραρχία, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (εικόνα 2). Μία τυχαία περιοχή χωρίζεται σε 8 υποπεριοχές. Ένας κόμβος cluster head αναπτύσσεται σε κάθε περιοχή σχηματίζοντας συστάδες με τους υπόλοιπους κόμβους στις άλλες περιοχές, συλλέγει δεδομένα, τα συναθροίζει και τα στέλνει πίσω στην πύλη. Η πύλη θα αναμεταδώσει στη βάση δεδομένων τα αποτελέσματα και τελικά θα τα στείλει στην εφαρμογή. Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 2 – Ιεραρχία Κόμβων

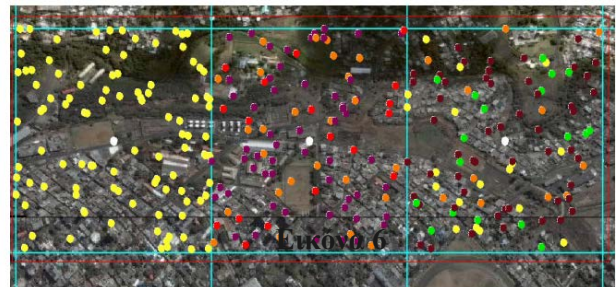


Εικόνα 3 – Στρατηγική Ανάπτυξης

Στην WAMPS χρησιμοποιείται ένας δείκτης ποιότητας αέρα (AQI) (εικόνα 4). Μετά από μια συλλογή, το σύστημα εμφανίζει τους κόμβους στο αντίστοιχο χρώμα AQI όπως φαίνεται στην Εικόνα 5. Το παρακάτω είναι ένα παράδειγμα μιας τέτοιας οθόνης: [5]

Air Quality Index Levels of Health Concern	Numerical Value	Meaning
Good	0-50	Air quality is considered satisfactory, and air pollution poses little or no risk.
Moderate	51-100	Air quality is acceptable, however, for some pollutants there may be a moderate health concern for a very small number of people who are unusually sensitive to air pollution.
Unhealthy for Sensitive Groups	101-150	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is not likely to be affected.
Unhealthy	151-200	Everyone may begin to experience health effects, members of sensitive groups may experience more serious health effects.
Very Unhealthy	201-300	Health alert: everyone may experience more serious health effects.
Hazardous	> 300	Health warnings of emergency conditions. The entire population is more likely to be affected.

Εικόνα 4 - Περιγραφή των κατηγοριών AQI



Εικόνα 5 – Εμφάνιση κόμβων μετά από μία συλλογή

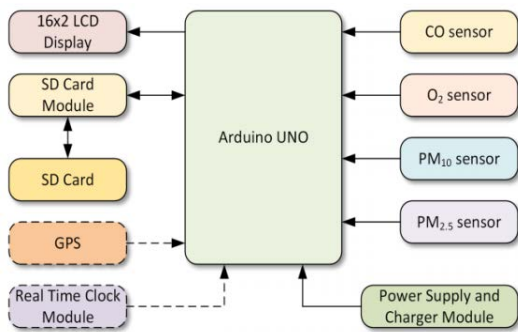
### 3.1.2. Σύστημα μέτρησης της ποιότητας του αέρα χρησιμοποιώντας το Arduino

Στη Μαλαισία δοκιμάστηκε ο μικροελεγκτής Arduino Uno σε συνδυασμό με τέσσερις αισθητήρες χαμηλού κόστους. Αποτελεί ένα οικονομικά αποδοτικό, συμβατό και φορητό σύστημα μέτρησης της ποιότητας του αέρα, καθιστώντας εύκολη την μέτρησή της σε οποιοδήποτε σημείο. Μετράει τη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα (CO), του όζοντος (O3) και των σωματιδίων PM10 και PM2.5 στον αέρα και μετατρέπει αυτές τις ενδείξεις σε Τιμές API. Στην εικόνα 6 βλέπουμε τις τιμές API (Air Pollution Index – Δείκτης Ατμοσφαιρικών Ρύπων) και τις ενδείξεις τους.

API	Indication	Colour
Below 50	Good	Blue
51- 100	Moderate	Green
101- 200	Unhealthy	Yellow
201- 300	Very unhealthy	Orange
More than 300	Hazardous	Red

Εικόνα 6 - Τιμές API και έγχρωμες κωδικοποιημένες ενδείξεις

Το συγκεκριμένο σύστημα μέτρησης της ποιότητας του αέρα, όπως φαίνεται στην εικόνα 7, αποτελείται από τον μικροελεγκτή Arduino Uno, τους αισθητήρες CO, O3, PM10, PM2.5, μία οθόνη LCD 16x2 και τη συσκευή ανάγνωσης καρτών SD. Οι μονάδες GPS και RTC μπορούν επίσης να προστεθούν. Οι αισθητήρες θα μετρήσουν τη συγκέντρωση ρύπων και θα την μετατρέψουν σε τιμή subAPI. Αυτοί οι αισθητήρες ρύπων επιλέγονται επειδή τα αέρια CO, O3 και PM είναι οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι στη Μαλαισία. Οι τιμές sub-API για κάθε ρύπο και η τιμή API εμφανίζονται μέσω της οθόνης LCD 16x2 και αποθηκεύονται επίσης σε κάρτα SD για καταγραφή δεδομένων. Αυτή η συσκευή τροφοδοτείται από εξωτερική παροχή ρεύματος 5V ή και από μπαταρία φόρτισης.



Εικόνα 8 - (α) αισθητήρας CO MQ-9, (β) αισθητήρας MQ-131 O3, (γ) αισθητήρας Shinyei PPD42NS PM2.5 και (δ) αισθητήρας PM2 GP10YA10F PM10

Εικόνα 7 – Hardware Design (Σχεδιασμός Υλικού)

Για τη μέτρηση της συγκέντρωσης CO, χρησιμοποιείται αισθητήρας αερίου MQ-9 όπως φαίνεται στην εικόνα 8(α), ο οποίος μπορεί να εντοπίσει συγκέντρωση CO από 10 ppm έως 100 ppm. Για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του όζοντος, χρησιμοποιείται αισθητήρας MQ-131 (εικόνα 8(β)), ο οποίος μπορεί να ανιχνεύσει αέριο O3 από 10ppb έως 2ppm. Ο οπτικός αισθητήρας σκόνης Shinyei PPD42NS χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του PM2.5 (εικόνα 8(γ)), μπορεί να ανιχνεύσει σωματίδια ελάχιστου μεγέθους ενός μικρομέτρου. Ο αισθητήρας Sharp GP2Y1010AUF (εικόνα 8(δ)), ανιχνεύει όλα τα σωματίδια PM10 στον αέρα.

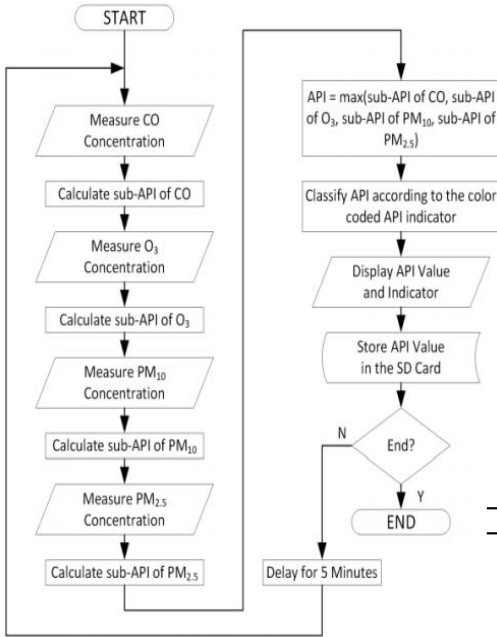
Το σύστημα προγραμματίζεται σύμφωνα με το διάγραμμα ροής που φαίνεται στην εικόνα 9, χρησιμοποιώντας το ολοκληρωμένο περιβάλλον Arduino (IDE). Το πρόγραμμα χωρίζεται σε τέσσερα κύρια μέρη, τη συλλογή, τη μετατροπή δεδομένων, τη σύγκριση και την ταξινόμηση δεδομένων. Στη συλλογή δεδομένων, κάθε αισθητήρας μετράει τη συγκέντρωση των ρύπων. Οι MQ-9 και MQ131 αισθητήρες επιστρέφουν αναλογικές τιμές ενώ οι Shinyei PPD42NS και Sharp GP2Y1010AUF ψηφιακές. Κατά τη μετατροπή δεδομένων, τόσο η αναλογική όσο και η ψηφιακή τιμή που λαμβάνεται από τη μέτρηση μετατρέπεται στην ανάλογη μονάδα συγκέντρωσης ρύπων, δηλαδή ppm για CO και O3 και  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  για PM. Η συγκέντρωση κάθε ρύπου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τιμής sub-API. Στη σύγκριση δεδομένων οι τέσσερις τιμές sub-API που προκύπτουν θα συγκριθούν μεταξύ τους και η μεγαλύτερη τιμή θα οριστεί ως τιμή API.



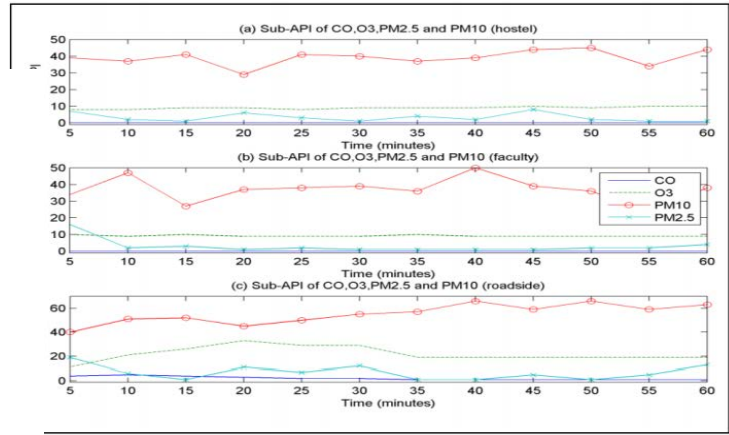
Εικόνα 10 – Πραγματική υλοποίηση του συστήματος

Για τη δοκιμή του συστήματος μέτρησης της ποιότητας του αέρα, η συσκευή τοποθετείται σε ένα χόστελ, σε ένα πανεπιστήμιο και σε ένα σε μία πόλη της Μαλαισίας, στο Batu Muda. Το σύστημα μετράει κάθε 5 λεπτά. Στην εικόνα 10 βλέπουμε την πραγματική υλοποίηση του συστήματος. Τα αποτελέσματα sub – API στην εικόνα 11 και τέλος τα αποτελέσματα API στην εικόνα 12. [6]





Εικόνα 9 - Διάγραμμα ροής του συστήματος μέτρησης της ποιότητας του αέρα



Εικόνα 11 – Αποτελέσματα sub-API

Location	Batu Muda (CAQMS)	Hostel	Campus	Roadside
Average API value	55	39	37	55
Indication	Moderate	Good	Good	Moderate
Dominant pollutant	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>
API value (CAQMS)	64	38	40	35
Dominant pollutant (CAQMS)	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>
Indication (CAQMS)	Moderate	Good	Good	Good

Εικόνα 12 – Αποτελέσματα API

### 3.1.3. Παρακολούθηση της αστικής ποιότητας του αέρα με αισθητήρες χαμηλού κόστους στο Μπάρι της Ιταλίας

Από το 2015, και για 30 συνεχόμενους μήνες πειραματικής εκστρατείας, εγκαταστάθηκε στο Μπάρι της Ιταλίας, ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων ώστε να παρακολουθείται η ποιότητα του αστικού αέρα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια ηλεκτροχημικών αισθητήρων αερίου (CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>), με μετρητές-ανιχνευτές οπτικών σωματιδίων (PM<sub>1.0</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), με αισθητήρες υπέρυθρων NDIR (CO<sub>2</sub>), ανιχνευτές φωτοιονισμού (VOCs) και μικροσκοπικούς αισθητήρες για μετεωρολογικές παραμέτρους όπως θερμοκρασία και σχετική υγρασία. Χαρακτηριστικά αυτών των αισθητήρων είναι το χαμηλό κόστος, όπως και η κατανάλωση ενέργειας, καθώς επίσης η αποδοτικότητα και η υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση σε πραγματικό χρόνο. Αυτό το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από κόμβους της ENEA: σταθερούς αισθητήρες AIRBOX επιλεγμένα τοποθετημένους στην πόλη και κινητούς αισθητήρες τοποθετημένους σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους) οι οποίοι 1<sup>οι</sup> διαμοιράστηκαν, ύστερα από συμφωνία με τον διαχειριστή ενέργειας του Μπάρι και την ENEA, στα πιο κρίσιμα θερμά αστικά σημεία όπως φαίνονται στην εικόνα 13, ενώ οι 2<sup>οι</sup> τοποθετήθηκαν στην καμπίνα ενός αυτοκινήτου για την παρακολούθηση των ρυπογόνων αερίων στο εσωτερικό του κατά τη διάρκεια της μέρας με κίνηση (εικόνα 14).



Εικόνα 13 – Χάρτης τοποθέτησης δικτύου αισθητήρων για την παρακολούθηση της ποιότητας αέρα στο Μπάρι της Ιταλίας

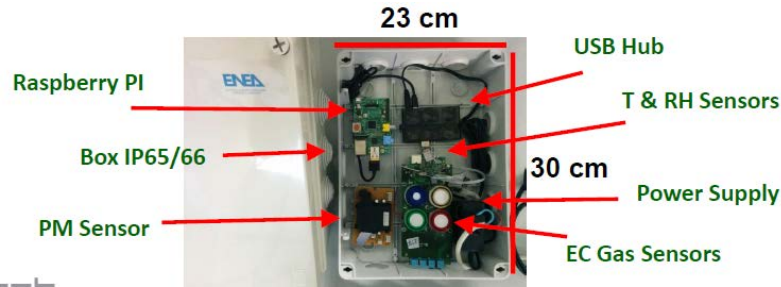


Εικόνα 14 – Τοποθέτηση φορητού συστήματος αισθητήρα στην καμπίνα ενός αυτοκινήτου για την παρακολούθηση της ποιότητας αέρα στο εσωτερικό του

Όσον αφορά τα σταθερά συστήματα αισθητήρων AIRBOX είναι εξοπλισμένα από διάφορους αισθητήρες οι οποίοι αναφέρθηκαν παραπάνω και αποτελούνται από την κύρια πλακέτα με λογισμικό Raspberry PI η οποία είναι υπεύθυνη για τη διασύνδεση του χρήστη με την πλακέτα αισθητήρων, μια USB θύρα η οποία βοηθά τη διασύνδεση αυτή, τη μονάδα ισχύος, ένα μόντεμ GSM, μια συσκευή GPS (εικόνα 15). Η διασύνδεση αυτή ολοκληρώνεται και μπορεί να



καθοδηγηθεί χειροκίνητα μέσω μιας σελίδας διαδικτύου, καθώς ο χρήστης συνδέει οποιοδήποτε υπολογιστή με την κύρια πλακέτα RaspberryPI, μέσω Wi-Fiή LANή GPRSή UMTS. Το AIRBOXέχει τη δυνατότητα να λειτουργεί ταυτόχρονα με αρκετές πλακέτες αισθητήρων, όπως επίσης και να τρέξει μια μεγάλη ποικιλία αυτών.



Εικόνα15 - Ο σκελετός ενός αισθητήρα AIRBOX από κόμβο στην πόλη, για την παρακολούθηση AQ από την ENEA.

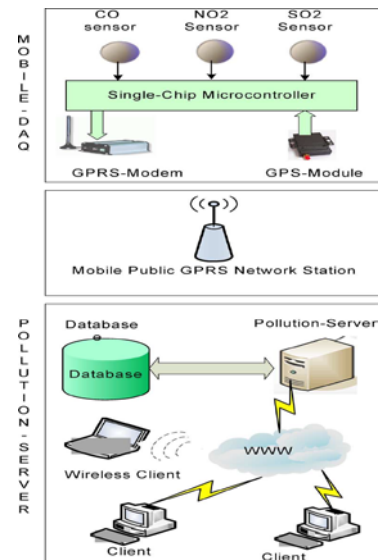
Από την άλλη, έχουμε τα κινητά συστήματα αισθητήρων AQ της ENEA, τα οποία βάζουν και τους πολίτες στο παιχνίδι, ευαισθητοποιώντας τους και επιτρέποντάς τους την εύκολη, γρήγορη και οικονομική χρήση των φορητών αυτών αισθητήρων. Οι χρήστες μπορούν να συνδεθούν με τα smartphones τους στον αισθητήρα, μέσω Bluetooth, και να παρακολουθήσουν τις μετρήσεις των ρυπογόνων αερίων που βρίσκονται στο εσωτερικό ενός χώρου(εικόνα 16). Μια τέτοια δοκιμή έγινε με την εγκατάσταση ενός φορητού αισθητήρα σε ένα αυτοκίνητο που κυκλοφορούσε στην πόλη για 2 ώρες. Τα αποτελέσματα της δοκιμής ήταν ικανοποιητικά ως προς τη λειτουργία του αισθητήρα και αναμενόμενα ως προς τις μετρήσεις των CO, NO2 μέσα στη καμπίνα του αυτοκινήτου. Υπάρχουν βέβαια θέματα προς επίλυση ώστε να επιτευχθούν οι συνολικοί στόχοι με χαμηλά κόστη και ακριβείς μετρήσεις. [7]



Εικόνα 16 - Κινητός αισθητήρας.

### 3.1.4. Μια σειρά κινητών GPRS αισθητήρων για παρακολούθηση της ρύπανσης του αέρα

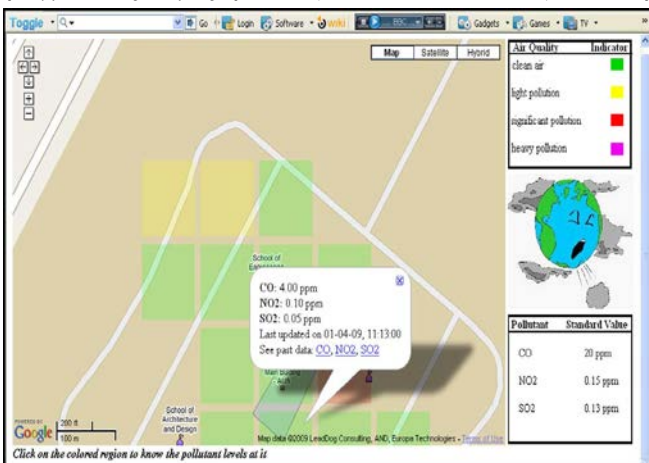
Η παρακάτω περίπτωση αναλύει ένα φορητό ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για την ατμοσφαιρική ρύπανση και ποιότητα του αέρα, χρησιμοποιώντας έξυπνους αισθητήρες. Το προτεινόμενο λοιπόν σύστημα παρακολούθησης αποτελείται από μια μονάδα κινητής συλλογής δεδομένων (Mobile-DAQ) και μια σταθερή μονάδα παρακολούθησης της ρύπανσης μέσω του διακομιστή διαδικτύου, του διακομιστή ρύπανσης (Pollution-server). Η μονάδα Mobile-DAQ είναι εξοπλισμένη με έναν μικροελεγκτή (single-chip), μια σειρά από αισθητήρες ρύπανσης του αέρα, ένα GPRS-modem και ένα GPS σύστημα τοποθεσίας, ενώ η δομή της μονάδας Pollution-server είναι: μία βάση δεδομένων των μετρήσεων, ένας υψηλών προδιαγραφών διακομιστής προσωπικών υπολογιστών εφαρμογών και οι διάφοροι σταθεροί ή ασύρματοι χρήστες που συνδέονται στο σύστημα μέσω Internet. Όσο αναφορά τώρα στη διαδικασία λειτουργίας του συστήματος(εικόνα 17), η αρχή γίνεται στη μονάδα Mobile-DAQ, η οποία μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε μέσο ή συσκευή που βρίσκεται εν κινήσει (π.χ. μέσα μαζικής μεταφοράς). Οι έξυπνοι αισθητήρες μέτρησης των ρυπογόνων αερίων CO, NO2 και SO2 παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο το επίπεδο των ρύπων και σε περίπτωση που θεωρηθεί αναγκαίο το σύστημα σημαίνει μήνυμα συναγερμού. Ο μικροελεγκτής συλλέγει και οργανώνει τα επίπεδα ρύπων των αισθητήρων και μαζί το χρόνο, ημερομηνία και τη φυσική τοποθεσία τους από το GPS, δημιουργώντας το πλαίσιο ρύπων. Το GPRS-modem μεταφορτώνει αυτό το πλαίσιο, το οποίο μεταβιβάζεται τελικά στον διακομιστή ρύπανσης, με τη βοήθεια του παγκόσμιου συστήματος κινητής τηλεφωνίας GSM με επικοινωνία των 2G και 3G. Άλλες σημαντικές ιδιότητες του μόντεμ είναι το ενσωματωμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας







Εικόνα 17- Βασικά δομικά στοιχεία υλικού συστήματος

που ενισχύει την ασύρματη μετάδοση M2M(από μηχανή σε μηχανή), το πρωτόκολλο ελέγχου TCP/IP, το πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων FTP, το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο μεταφοράς SMTP και το πρωτόκολλο υπηρεσίας απλών μηνυμάτων SMS. Η διαδικασία συνεχίζεται καθώς ο διακομιστής της βάσης δεδομένων είναι συνδεδεμένος σε γλώσσα προγραμματισμού MySQL με τον διακομιστή ρύπανσης για να αποθηκεύσει τις πληροφορίες περί συστήματος ρύπων που θα χρησιμοποιηθούν μέσω σύνδεσης Internet από τους χρήστες. Ταυτόχρονα και σε πραγματικό χρόνο ο διακομιστής ρύπανσης Pollution-server βρίσκεται σε σύνδεση με το Google maps για την εμφάνιση των μολυσμένων τοποθεσιών. Οι χρήστες μπορούν να ελέγξουν σε πραγματικό χρόνο το επίπεδο των ρύπων χρησιμοποιώντας ένα κανονικό πρόγραμμα περιήγησης είτε μέσω ενός στάνταρ PC είτε μιας κινητής συσκευής. Ο διακομιστής ρύπανσης μπορεί να φιλοξενηθεί σε περιβάλλον EPA ή άλλες κυβερνητικές υπηρεσίες. Η αρχιτεκτονική τώρα του λογισμικού χωρίζεται σε δύο επίπεδα δομής το φυσικό στρώμα, το οποίο είναι υπεύθυνο για την καταγραφή των δεδομένων από τους αισθητήρες και τη μονάδα GPS και το στρώμα εφαρμογής από 3 βασικά στοιχεία: το Socket-server, AirPollution-Index και Google-Mapper. Δουλειά του Socket-server είναι η συλλογή και η αποθήκευση των ρυπογόνων δεδομένων από τη μονάδα Mobile-DAQ, του δείκτη AirPollution-Index ο υπολογισμός των κατηγοριών ρύπανσης με βάση την τοπική πολιτική και τους κανονισμούς ρύπανσης, ενώ του Google-Mapper η διάθεση αυτών των πληροφοριών ρύπανσης στο διαδίκτυο.

Τέτοια εφαρμογή έξυπνου δικτύου αισθητήρων πραγματοποιήθηκε στο Σάρτζα των Ενωμένων Αραβικών Εμιράτων και συγκεκριμένα στην πανεπιστημιούπολη του Αμερικανικού Πανεπιστημίου του Σάρτζα. Ακόμα πιο συγκεκριμένα πάνω στην οροφή ενός πανεπιστημιακού λεωφορείου που μετακινούνταν μέσα στο χώρο του πανεπιστημίου. Με τη βοήθεια του Google Maps κάθε χρήστης μπορεί με ένα κλικ να επιλέξει ένα συγκεκριμένο πολύγωνο που αντιπροσωπεύει μια περιοχή στο χάρτη και να παρακολουθήσει μέσω ενός παραθύρου πληροφοριών τις πραγματικές τιμές ρύπων(εικόνα 18 και 19). Το πράσινο χρώμα χρησιμοποιείται για την ένδειξη μιας καθαρής ατμόσφαιρας με AQI δείκτη από 0-100. [8]



Εικόνα 18 - Δημόσιο παράθυρο που δείχνει πραγματικές τιμές ρύπων

Index	Air Quality Description	Band
0-100	Clean Air	
101-125	Light Pollution	
126-150	Significant Pollution	
150 above	Heavy Pollution	

Εικόνα 19 - Περιγραφή της ποιότητας του αέρα.

Εικόνα 18 - Δημόσιο παράθυρο που δείχνει πραγματικές τιμές ρύπων

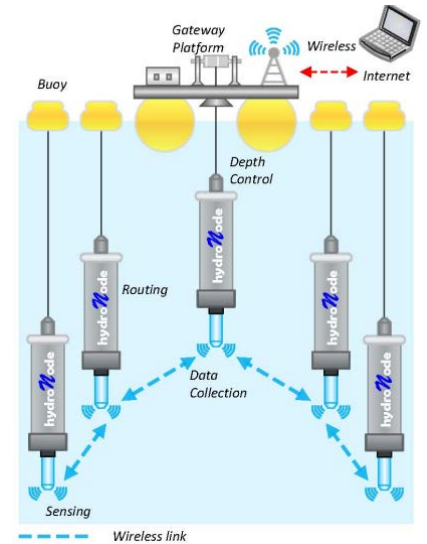
### 3.2. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Με τον όρο ρύπανση υδάτων εννοούμε την οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού των θαλασσών, λιμνών ή ποταμών, η οποία είναι ή μπορεί υπό προϋποθέσεις να γίνει ζημιογόνος για τον άνθρωπο, τους υπόλοιπους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς. Η ρύπανση των υδάτων δημιουργείται με την απελευθέρωση σε λίμνες, ποτάμια και θάλασσες ουσιών οι οποίες είτε διαλύονται, είτε κατακάθονται στον πυθμένα. Οι ρύποι αυτοί είναι πάρα πολύ και αυτό γιατί στο υδάτινο ορίζοντα καταλήγουν και οι ρύποι από την ρύπανση της ατμόσφαιρας και του εδάφους μέσω των βροχών και της απορροής. [9]

Για αυτό τίθεται υψίστης σημασίας η παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων μέσω δικτύων αισθητήρων.

### 3.2.1. Αυτόνομη ασύρματη σύνδεση παρακολούθησης λίμνης

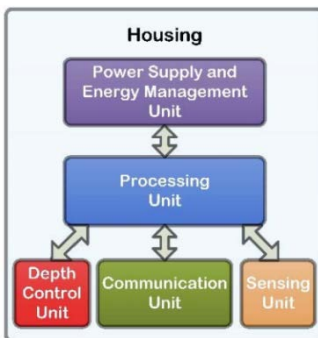
Πρόκειται για ένα ασύρματο και αυτόνομο σύστημα στο οποίο οι πλατφόρμες επιπλέουν στην επιφάνεια της λίμνης και συνδέονται με έναν ή περισσότερους αισθητήρες. Κάθε ένας από αυτούς τους κόμβους αισθητήρων έχει δυνατότητες επεξεργασίας σημάτων, ανίχνευσης, επικοινωνίας και δρομολόγησης. Τουλάχιστον μία πλατφόρμα λειτουργεί ως πύλη, συνδέοντας το υποβρύχιο ασύρματο δίκτυο με το internet. Οι κόμβοι αισθητήρων και η πύλη σχηματίζουν ένα ad hoc υποθαλάσσιο δίκτυο. Όλα τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των κόμβων αισθητήρων και της πύλης δρομολογούνται μέσω αυτού του δυναμικού δικτύου. Οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν επίσης να συνδεθούν με σημαντήρες (buoys), που ανακτώνται εύκολα. Η πλατφόρμα μπορεί να προσεγγιστεί με οποιαδήποτε ασύρματη τεχνολογία, όπως GPSR, 3G, LTE, δορυφόρο για απομακρυσμένες τοποθεσίες και με Zigbee ή Wi-Fi για τις κοντινές περιοχές. Όπως φαίνεται στην εικόνα 20, οι κόμβοι συνδέονται με την πλατφόρμα μέσω καλωδίου. Η πλατφόρμα περιέχει ένα μοτέρ που ελέγχει το βάθος του κόμβου του αισθητήρα. Το βάθος υπολογίζεται με ένα ποτενσιόμετρο που υπάρχει στην πλατφόρμα. Ο έλεγχος του βάθους είναι πολύ σημαντικός για τη λήψη μετρήσεων στις στήλες ύδατος. Οι κόμβοι του αισθητήρα μπορούν να κινούνται κάθετα.



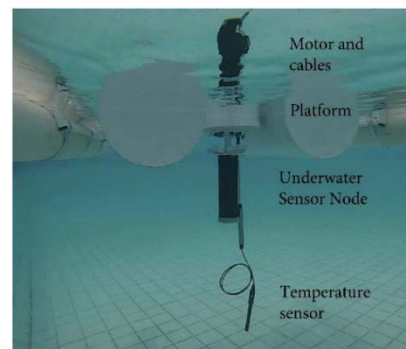
Εικόνα 20 – Λεπτομέρēs σύστημα δικτύου

Στην εικόνα 21 βλέπουμε την αρχιτεκτονική των κόμβων των υποβρύχιων αισθητήρων. Οι αισθητήρες επιτρέπουν τη μέτρηση φυσικών τιμών. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας μπορεί να μετρήσει τη θερμοκρασία του νερού, το pH, το διαλυμένο οξυγόνο, την ηλεκτρική αγωγιμότητα και τη θολρότητα. Οι κόμβοι αισθητήρων διαθέτουν ικανότητες ασύρματης επικοινωνίας, επιτρέποντας τη διαμόρφωση των δικτύων και την ανάπτυξη εφαρμογών. Οι κόμβοι αισθητήρων λειτουργούν επίσης ως δρομολογητές, επιτρέποντας στα δεδομένα του αισθητήρα να φτάσουν σε μια πύλη. Μόλις η πύλη λάβει δεδομένα, κάποιος μπορεί να αποκτήσει από μακριά πρόσβαση σε αυτές τις πληροφορίες μέσω του Διαδικτύου.

Στην εικόνα 22 το σύστημα έχει έναν κινητήρα και ένα καλώδιο που ελέγχει το βάθος του κόμβου. Χρησιμοποιεί το Hydronode7 ως υποβρύχιο κόμβο αισθητήρα. Οι πίνακες και οι μικροεπεξεργαστές που προωθούν το σήμα και τα μηνύματα βρίσκονται εσωτερικά. Εξωτερικά συνδεδεμένοι είναι οι αισθητήρες και μόντεμ για την ασύρματη επικοινωνία. [10]



Εικόνα 21 – Αρχιτεκτονική υποθαλάσσιων κόμβων

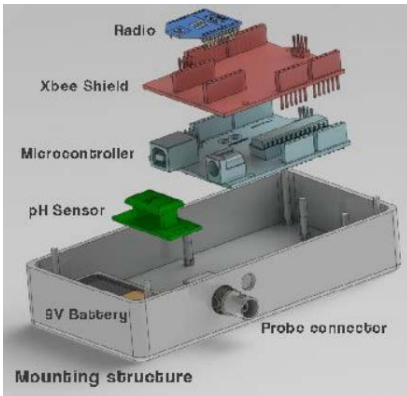


Εικόνα 22 - Υποβρύχιος κόμβος αισθητήρα που λειτουργεί στην πλατφόρμα.

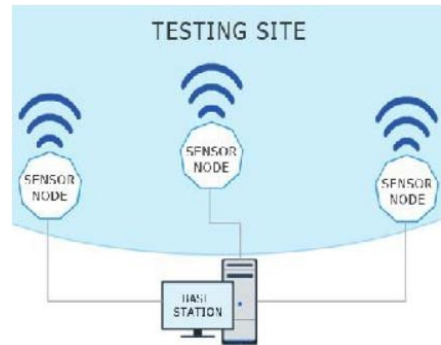
### 3.2.2 Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων στο Μεξικό

Αφορμή για τη ανάπτυξη ενός πρωτότυπου δικτύου αισθητήρων για την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων στάθηκε το γεγονός πως στο Μεξικό, σε κάποιες δυσπρόσιτες περιοχές, για να εκτελεστεί η διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνταν χειρωνακτικά δείγματα που μεταφέρονταν στα εργαστήρια, πράγμα καθόλου προσιτό και αξιόπιστο. Το νέο ασύρματο σύστημα αισθητήρων που προτάθηκε, παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο, τις παραμέτρους ποιότητας του νερού όπως το pH, τη θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο και την αγωγιμότητα του αερίου. Το σύστημα λοιπόν

αποτελείται από έναν κόμβο αισθητήρα, ο οποίος περιέχει έναν αισθητήρα θερμοκρασίας, έναν αισθητήρα pH, έναν μικροελεγκτή, την παροχή ενέργειας και ένα πομποδέκτη ZigBee(εικόνα 23), και έναν σταθμό βάσης που αποτελείται από έναν πομποδέκτη ZigBeeκαι έναν Η/Υ. Δηλαδή μεμονωμένοι κόμβοι αισθητήρων, οι οποίοι συνδέονται με τον σταθμό βάσης με σκοπό τη μεταφορά και λήψη δεδομένων.

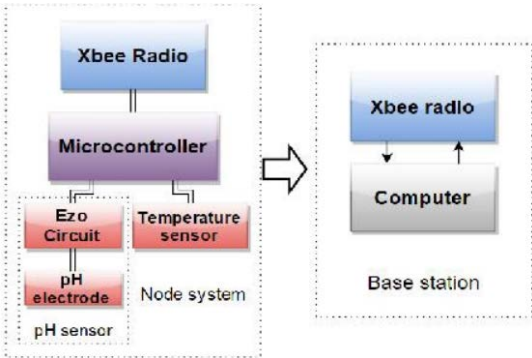


Εικόνα 24 - 3D απεικόνιση του κόμβου αισθητήρα.



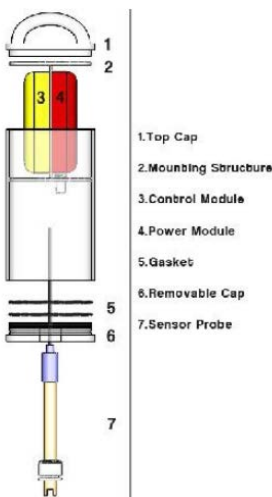
Εικόνα 23 – Αρχιτεκτονική του συστήματος

Αρχικά παρουσιάζεται το υλικό του έξυπνου κόμβου αισθητήρα: οι αισθητήρες της θερμοκρασίας (Dallas DS18B20) και Ph (AtlasScientificsmartpH και το κύκλωμα Ezo) συλλέγουν τα δεδομένα των μετρήσεων και μέσω μιας ενσωματωμένης ασύρματης μονάδας(XbeeZBS2), κάθε κόμβος αλληλοεπιδρά με τη μονάδα μικροελεγκτή τύπου ArduinoUno και επιτυγχάνει την αποστολή αυτών, χρησιμοποιώντας πρωτόκολλο ZigBee. Από την άλλη, ο σταθμός βάσης λαμβάνει αυτές τις μετρήσεις και τις μεταφέρει μέσω μιας θύρας USBσε έναν υπολογιστή. Ο υπολογιστής αυτός, με λογισμικό( interface IDE) και γλώσσα προγραμματισμού Python, αναλύει και απεικονίζει τα δεδομένα. Η μονάδα λήψης του υπολογιστή αποτελείται από ένα ραδιόφωνο Xbee και μια διεπαφή για τη σύνδεση στον Η/Υ(εικόνα 25).



Εικόνα 25 – Αρχιτεκτονική υλικού

Ο αισθητήρας pHείναι διαμορφωμένος σε λειτουργία συνεχούς ανάγνωσης. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας υλοποιεί μια μέτρηση σε Celsius. Και οι δύο αισθητήρες στέλνουν δεδομένα και εκτελούν εντολές του MC μικροελεγκτή και από αυτόν αποστέλλονται μέσω της σειριακής θύρας στο ραδιόφωνο Xbee. Η λειτουργία όλου του συστήματος γίνεται με σκοπό το χαμηλό κόστος και τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.



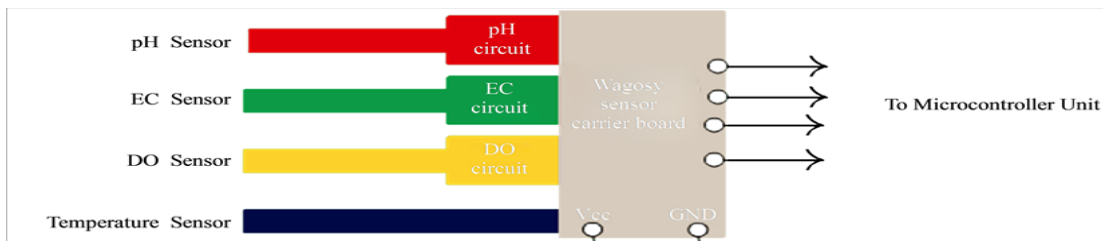
Παρακάτω παρουσιάζεται η μελλοντική δομή του συστήματος έπειτα από τους ελέγχους αξιοπιστίας(εικόνα 26). Το σύστημα αποτελείται από ένα κυλινδρικό δοχείο από ακρυλικό πλαστικό για προστασία μέσα στο οποίο βρίσκονται οι μονάδες ισχύος(μπαταρία Νο4) και ελέγχου (Νο3). Η μονάδα ελέγχου αποτελείται από το Xbee και ένα προσαρμοσμένο PCB (πολυχρωρισμένοοφαινύλιο). 2 καπάκια(Νο1,Νο6) με ελαστικά παρεμβύσματα(Νο5) προστατεύουν το σύστημα από την εξωτερική υγρασία το ένα στο πάνω και το άλλο στο κάτω μέρος του αισθητήρα. Τέλος ένας προσαρμογέας εγκαθίσταται για την απομόνωση του καθετήρα από τα άλλα μέρη του αισθητήρα. Στόχος του συστήματος είναι η εύκολη εγκατάσταση στην επιτόπια επιπλέον δομή. [11]

Εικόνα 26 – Κυλινδρική ακρυλική δομή αισθητήρα



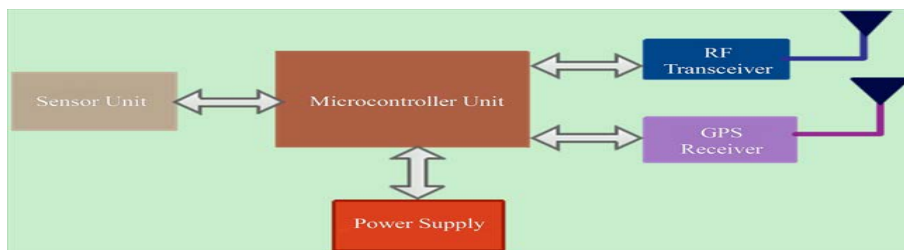
### 3.2.3 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού στη λίμνη Βικτόρια

Το επόμενο δίκτυο αισθητήρων λαμβάνει χώρα στη λίμνη Βικτόρια, στην Ανατολική Αφρική. Σε πειραματικό στάδιο ακόμα, το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι ικανό και αποτελεσματικό για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ποιότητας των υδάτων της Βικτωρίας αντικαθιστώντας έτσι το παραδοσιακό δαπανηρό, ελλιπή και χρονοβόρο τρόπο. Το σύστημα WSN που προτάθηκε αποτελείται από 3 βασικά δομικά στοιχεία: τους κόμβους αισθητήρων WSN, τον κόμβο πύλης WSN και το λογισμικό εφαρμογών. Ένας κόμβος αισθητήρων είναι εξοπλισμένος με διάφορες μονάδες αισθητήρων, έχοντας τους βασικούς για τη μέτρηση του pH, της EC(ηλεκτρική αγωγιμότητα), του DO (διαλυμένο οξυγόνο) και της θερμοκρασίας, μια μονάδα μικροελεγκτή, ένα δέκτη συστήματος GPS για την παροχή θέσης και χρόνου των μετρημένων δεδομένων, την παροχή ενέργειας και έναν πομποδέκτη RF. Ανάλογα με τις ανάγκες ,υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης περισσότερων αισθητήρων από τους ήδη υπάρχοντες στον κόμβο αισθητήρων WSN. Οι αισθητήρες, αφού τροφοδοτηθούν με ρεύμα από την παροχή, διασυνδέονται σε πραγματικό χρόνο με τον μικροελεγκτή κυρίως οι pH, EC και DO καθώς ο αισθητήρας θερμοκρασίας είναι απευθείας συνδεδεμένος. Η διασύνδεση αυτή πετυχαίνεται μέσω ενός φορέα αισθητήρων WaGoSy (εικόνα 27). Από την άλλη, ο πομποδέκτης RF( RadioFrequency) μεταδίδει ανιχνεύσιμες τιμές παραμέτρων και πληροφορίες από το GPS στον κόμβο πύλης.



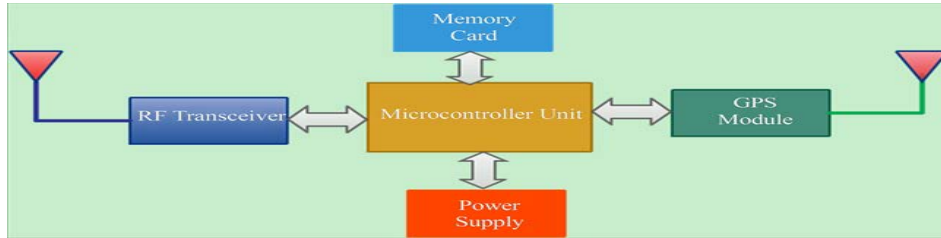
Εικόνα 27 - Σχεδιάγραμμα της διαμόρφωσης μιας μονάδας αισθητήρα WSN.

Η μονάδα του μικροελεγκτή με τη σειρά της αποτελείται από έναν μικροελεγκτή τύπου ArduinoMega2560, ο οποίος λαμβάνει και επεξεργάζεται τα δεδομένα των αισθητήρων και ένα πρόγραμμα λογισμικού που καθορίζει τη συμπεριφορά του κόμβου αισθητήρων WSN. Για να εξοικονομηθεί ενέργεια τα δεδομένα GPS λαμβάνονται και αποστέλλονται στην πύλη κόμβου σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα(εικόνα 28).



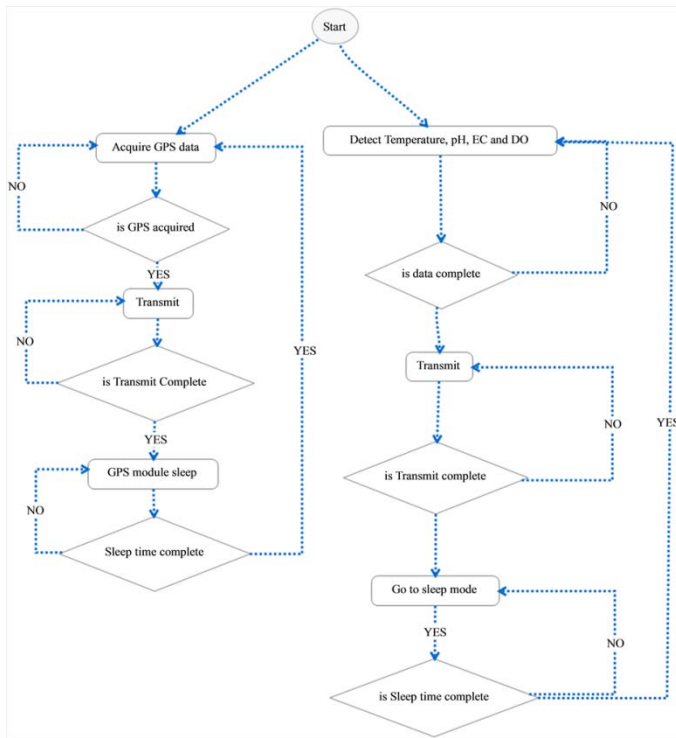
Εικόνα 28 - Η αρχιτεκτονική ενός κόμβου αισθητήρα.

Όσον αφορά τώρα τον κόμβο πύλης WSN υπάρχει και εδώ μια μονάδα μικροελεγκτή ArduinoUno, μια γενική μονάδα ραδιοσυχνότητας GPRS, ένας πομποδέκτης RF, μιας κάρτα μνήμης και η παροχή ενέργειας. Ο μικροελεγκτής χρησιμοποιείται για να αποκτήσει και να επεξεργαστεί να λαμβανόμενα δεδομένα από τους κόμβους αισθητήρων WSN μέσω του πομποδέκτη RF. Η μονάδα GPRS χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας προωθώντας τα δεδομένα με sms σε ένα σύστημα WaGoSy (εικόνα 29). Και εδώ καταναλώνεται το ελάχιστο της ενέργειας. Η κάρτα μνήμης χωρητικότητας 1GB εξυπηρετεί στην αποθήκευση των δεδομένων μέτρησης του WSN σε περίπτωση που η σύνδεση GSM δεν είναι διαθέσιμη.

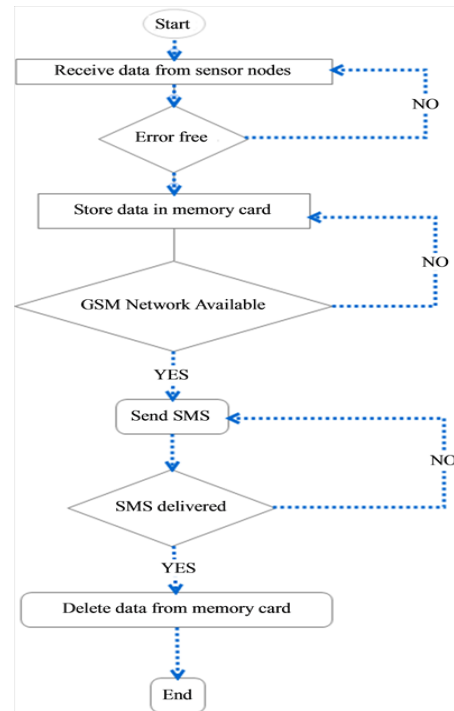


Εικόνα 29 - Αρχιτεκτονική κόμβου πύλης WSN.

Για την παροχή ασύρματης σύνδεσης μεταξύ των WSN κόμβου αισθητήρων και κόμβου πύλης χρησιμοποιήθηκε το προϊόν XBee, το οποίο είναι προγραμματισμένο, με λογισμικό X-CTU, κατά κάποιο τρόπο σε ρόλο «τροχονόμου» βάζοντας σε λειτουργία τέλους τον κόμβο αισθητήρων το ένα, ενώ το άλλο ενεργοποιεί το συντονιστή στον κόμβο πύλης. Όλα επικοινωνούν με βάση το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 /ZigBee και επιλέχτηκε λόγω του χαμηλού κόστους, της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και της γρήγορης μετάδοσης μικρής ποσότητας δεδομένων σε μικρές συσκευές χαμηλού κόστους. Για την παροχή ενέργειας χρησιμοποιήθηκε επαναφορτιζόμενη μπαταρία ιόντων λιθίου 3.7V 6AH φορτίζοντας την είτε μέσω USB είτε μέσω ηλιακών πάνελς. Το λογισμικό συστήματος WSN περιλαμβάνει τη βάση δεδομένων του WaGoSy που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των ληφθέντων δεδομένων και την απεικόνιση και χαρτογράφηση αυτών με τη χρήση των MySQL, PHP, HTML, JavaScripts. [12]



Εικόνα 29 - Διάγραμμα ροής λήψης δεδομένων των αισθητήρων.



Εικόνα 30 - Διάγραμμα λήψης και αποστολής δεδομένων στη βάση δεδομένων.

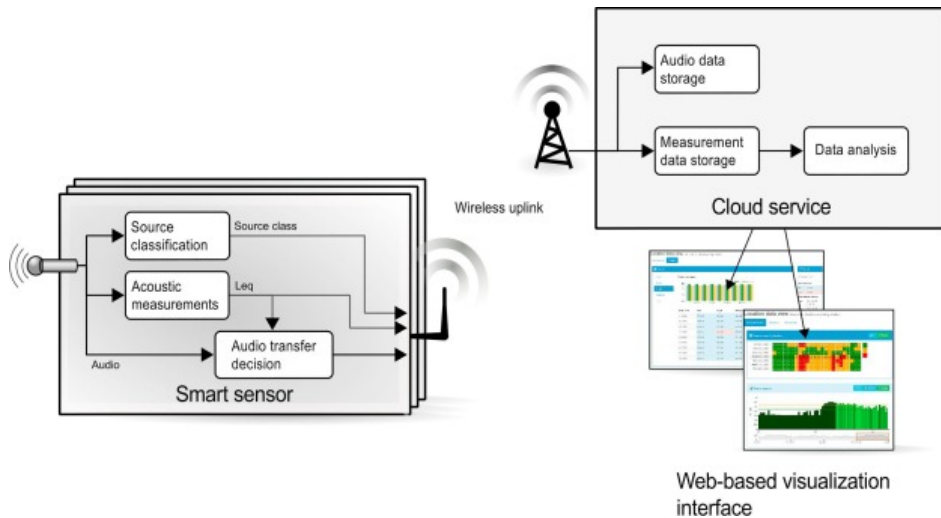
### 3.3. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗΣ

Ηχορύπανση είναι ο υπερβολικός και ενοχλητικός περιβαλλοντικός θόρυβος που προκαλείται από τον άνθρωπο, τα ζώα ή από μηχανές και διαταράσσει τη δραστηριότητα ή την ισορροπία του ανθρώπου και τη ζωή των ζώων. Η ηχορύπανση επηρεάζει πολύ αρνητικά την υγεία μας. Προκαλεί διάφορα προβλήματα ακοής, άγχος, αλλά και ψυχοσωματικές ασθένειες. Έχει παρατηρηθεί ότι όσοι είναι διαρκώς εκτεθειμένοι σε θόρυβο έχουν: αυξημένη πίεση, διαταραχές ύπνου, κακή διάθεση, μειωμένη απόδοση στην εργασία, πονοκεφάλους, ταχυπαλμίες, καθώς και δυσκολία συγκέντρωσης ή απομνημόνευσης. [13]

Η παρακολούθηση του περιβαλλοντικού θορύβου με αισθητήρες είναι πολύ σημαντική, για να εντοπιστούν οι βλαβερές πηγές θορύβου και να ελαχιστοποιηθούν.

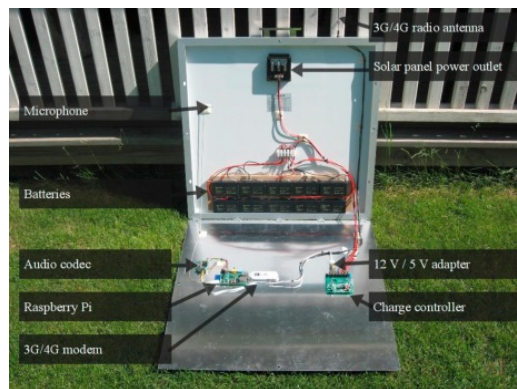
### 3.3.1 Παρακολούθηση περιβαλλοντικού θορύβου με αισθητήρες

Το προτεινόμενο σύστημα παρακολούθησης θορύβου περιλαμβάνει έξυπνους αισθητήρες που συνδέονται μέσω ασύρματης ζεύξης στην υπηρεσία cloud. Το σύστημα απεικονίζεται στην εικόνα 31. Ο έξυπνος αισθητήρας αποτελείται από ένα μικρόφωνο μέτρησης και από έναν υπολογιστή (single-board Computer) με ασύρματη μονάδα μετάδοσης. Για να μην προσβάλλεται το ιδιωτικό απόρρητο με τη συνεχή λήψη και αποθήκευση ήχου, το μεγαλύτερο μέρος της ανάλυσης και της επεξεργασίας γίνεται στον αισθητήρα και μόνο δεδομένα που έχουν αναλυθεί μεταφέρονται και αποθηκεύονται στην προεπιλεγμένη ρύθμιση. Αυτή η προσέγγιση θα μειώσει επίσης το ποσό των δεδομένων που μεταφέρονται από τον αισθητήρα στην υπηρεσία cloud. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για να αποφασιστεί αν το πραγματικό ακουστικό σήμα απαιτεί περαιτέρω επιθεώρηση στην υπηρεσία cloud. Για παράδειγμα, τμήματα που υπερβαίνουν το νόμιμο μέγιστο επιτρεπτό ηχητικό επίπεδο μπορεί να αποθηκευτούν για χειροκίνητη επεξεργασία. Όλες οι εξαγόμενες μετρήσεις μεταδίδονται από τον έξυπνο αισθητήρα στην υπηρεσία cloud για περαιτέρω ανάλυση. Η υπηρεσία cloud αποθηκεύει τα δεδομένα στη βάση δεδομένων και τμήματα ήχου που έχουν επισημανθεί για μεταγενέστερη ανάλυση αποθηκεύονται στον δίσκο (disk server). Οι τελικοί χρήστες έχουν πρόσβαση στα δεδομένα μέτρησης και στην ανάλυση των μετρήσεων μέσω της δικτυακής πύλης.



Εικόνα 31 - Δομικό διάγραμμα του συστήματος παρακολούθησης θορύβου.

Για τον έξυπνο αισθητήρα επιλέχθηκε το μοντέλο Raspberry Pi, λόγω του άριστου δικτύου υποστήριξης του. Πρόσθετη λειτουργικότητα έδωσαν ένας αποκωδικοποιητής ήχου (μετατροπέας sigma delta AD πολλαπλών δυαδικών ψηφίων 24 bit), μια έξυπνη πλακέτα διαχείρισης ισχύος με δυνατότητα αδιάλειπτης παροχής ισχύος και μία κινητή συνδεσιμότητα. Στο σύστημα υπάρχουν δύο μοντέλα μικροφώνων, ένα που καλύπτει τη δυναμική ακουστικής εμβέλειας από 14 dB έως 119 dB και ένα άλλο από 20 dB έως 140 dB (A-σταθμισμένο). Τα ηλεκτρικά μέρη και οι μπαταρίες ενσωματώθηκαν σε ένα ηλιακό πλαίσιο (εικόνα). Οποτεδήποτε ο πίνακας (60 W) λαμβάνει ηλιακή ενέργεια, οι μπαταρίες αρχίζουν να φορτίζονται, δημιουργείται μια ασφαλή σύνδεση προεπεξεργασία της ροής δεδομένων ξεκινά. Είναι επίσης δυνατή η από απόσταση μέσω της κόστος των εξαρτημάτων είναι να είναι το πιο ακριβό αλλά η τιμή παραγωγή, ή χρησιμοποιώντας μια

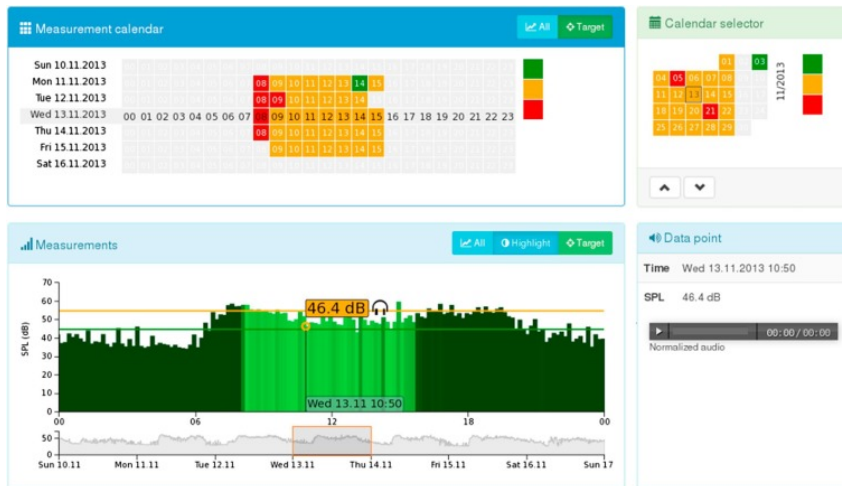


Εικόνα 32 - Ανοιχτή πίσω όψη πρωτότυπης έκδοσης

το σύστημα τροφοδοτείται, υπηρεσίας cloud και η θορύβου σε πραγματικό χρόνο πρόσβαση στη μονάδα αισθητήρα ηλεκτρονική υπηρεσία. Το συνολικό περίπου 150 €, με το ηλιακό πάνελ θα μπορούσε να μειωθεί στη μαζική εξωτερική πηγή τροφοδοσίας.

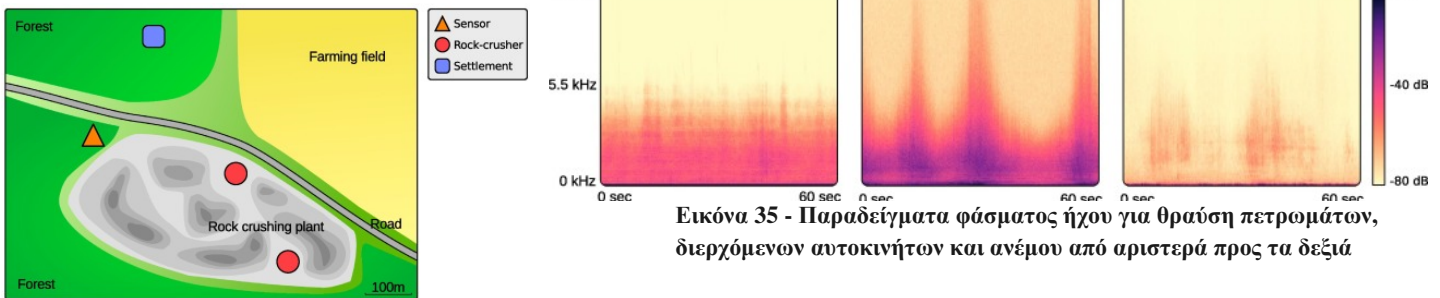


Ο αισθητήρας παρακολουθεί συνεχώς τον θόρυβο καταγράφοντας την στάθμη της ηχητικής πίεσης ανά 10 λεπτά. Η ακουστική μέτρηση, οι πιθανότητες για την πηγή του θορύβου και οι χρόνοι μεταδίδονται στο cloud. Οι μετρήσεις γίνονται προσβάσιμες μέσω του web-based user interface σε ευανάγνωστη μορφή, χρησιμοποιώντας οπτικοποίηση δεδομένων και αναφορές δεδομένων. Οι μετρήσεις της ηχητικής στάθμης φίλτρωνται βάσει των αποτελεσμάτων ταξινόμησης της πηγής ήχου για την εμφάνιση μετρήσεων για την εκχώρηση σε συγκεκριμένη πηγή ήχου. Τα δεδομένα μέτρησης εμφανίζονται με πολλούς τρόπους. (εικόνα 33) Πρόσβαση έχουν οι άνθρωποι που ζουν κοντά στο σύστημα και τους προσφέρεται ακόμα και ακρόαση των ήχων.



Εικόνα 33 – Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων

Το σύστημα δοκιμάστηκε για την καταγραφή ηχητικών δεδομένων σε μία περιοχή θραύσης βράχων. Η θέση του αισθητήρα υποδεικνύεται με ένα πορτοκαλί τρίγωνο. Η τοποθεσία του πλησιέστερου οικισμού κατοικιών υποδεικνύεται από το μπλε τετράγωνο και τα σημεία θραύσης βράχου με κόκκινο κύκλο. (εικόνα 34) Η απόσταση του αισθητήρα από τους βράχους ήταν περίπου 280 μέτρα και 500 μέτρα. Ο αισθητήρας βρισκόταν κοντά σε δρόμο και σε δάσος. Τα αποτελέσματα βρίσκονται στην παρακάτω εικόνα 35 και κατέγραψαν ήχους από θραύση πετρωμάτων, διερχόμενων αυτοκινήτων και του αέρα. [14]

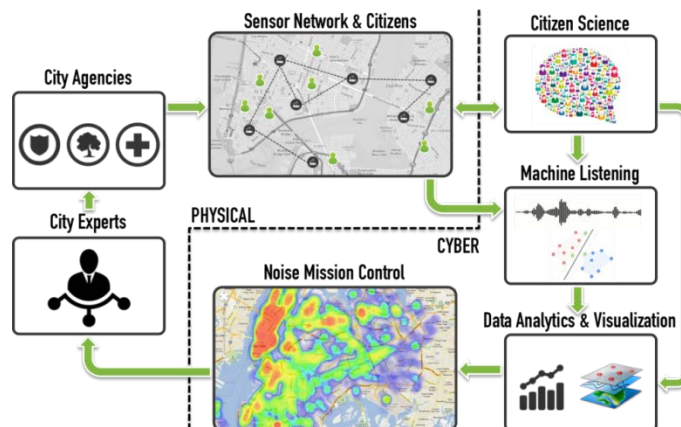


Εικόνα 35 - Παραδείγματα φάσματος ήχου για θραύση πετρωμάτων, διερχόμενων αυτοκινήτων και ανέμου από αριστερά προς τα δεξιά

Εικόνα 34 – Χάρτης των αισθητήρων

### 3.3.2 SONYC: Ένα σύστημα παρακολούθησης, ανάλυσης και μείωσης του αστικού θορύβου

Το σύστημα SONYC (Sounds Of New York City) προτείνει μια έξυπνη πλατφόρμα ανίχνευσης χαμηλού κόστους ικανή για την συνεχή παρακολούθηση του θορύβου σε πραγματικό χρόνο, με έναν ακριβή και ειδικό αισθητήρα ήχου. Περιλαμβάνει μοντέλο πρόβλεψης θορύβου σε περιοχές εκτός δικτύου, χρησιμοποιώντας διαδραστική 3D απεικόνιση της δραστηριότητας του θορύβου για να καταστεί δυνατή η καλύτερη κατανόηση των μορφών θορύβου και των νέων εργαλείων ανάκτησης πληροφοριών που εκμεταλλεύονται την τοπολογία των συμβάντων θορύβου για να διευκολύνουν την αναζήτηση. Επειδή το σύστημα συνεχώς παρακολουθεί και αναλύει την ηχορύπανση, παράγει πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικύρωση και την επαναληπτική επεξεργασία οποιουδήποτε θορύβου της στρατηγικής μετριάσμου.



Εικόνα 36 - Ο βρόχος συστήματος SONYC, συμπεριλαμβανομένης της ευφούς ανίχνευσης, της ανάλυσης θορύβου σε κλίμακα πόλης. Η SONYC εξουσιοδοτεί νέα έρευνα στις κοινωνικές επιστήμες και τη δημόσια υγεία, ενώ παράλληλα δίνει τη δυνατότητα στους πολίτες να βελτιώνουν τις κοινότητές τους.

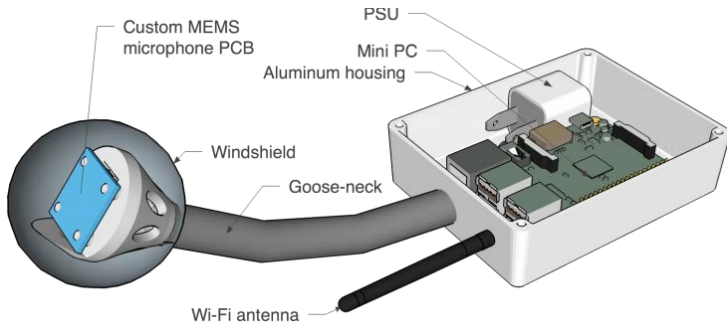
Η SONYC χρησιμοποιεί τη Νέα Υόρκη, τη μεγαλύτερη, πυκνότερη, θορυβώδη πόλη στην Βόρεια Αμερική, ως πειραματικό έδαφος. Η πόλη εδώ και πολύ καιρό βρίσκεται στο προσκήνιο των συζητήσεων για την ηχορύπανση. Πέρα από τον θόρυβο, η Νέα Υόρκη συλλέγει μεγάλα ποσά δεδομένων για την δημόσια ασφάλεια, την κυκλοφορία, τη δραστηριότητα ταξί, τις κατασκευές, και θέτει διαθέσιμες πολλές από αυτές τις πληροφορίες.

Η έξυπνη πλατφόρμα αισθητήρων της SONYC είναι επεκτάσιμη και ικανή για την αναγνώριση μίας πηγής θορύβου και περιλαμβάνει υψηλής ποιότητας καταγραφέα θορύβου 24 ώρες το 24ωρό. Έχει αναπτυχθεί ένας ακουστικός αισθητήρας (εικόνα), με βάση το δημοφιλές ηλεκτρονικό υπολογιστή Raspberry Pi 2B (SBC) εξοπλισμένο με προσαρμοσμένα μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS).

Επιλέγονται τα μικρόφωνα MEMS για το χαμηλό κόστος τους, τη συνοχή μεταξύ των μονάδων και του μεγέθους, που μπορεί να είναι 10 φορές μικρότερο από τα παραδοσιακά μικρόφωνα. Η μονάδα μικροφώνου περιλαμβάνει πρόσθετα κυκλώματα, όπως εσωτερικά ADC και προ-αμπέρ, καθώς και ενσωματωμένο μικροελεγκτή ο οποίος επιτρέπει την προεπεξεργασία του εισερχόμενου ακουστικού σήματος. Το ψηφιακό MEMS το μικρόφωνο διαθέτει ένα ευρύ δυναμικό εύρος 32-120 dBA, διασφαλίζοντας πως όλα τα αστικά επίπεδα ηχητικής πίεσης μπορούν να παρακολουθούνται αποτελεσματικά. Είναι βαθμονομημένο με τη χρήση μετρητή ακουστικής στάθμης ακριβείας που ανταπεξέρχεται κάτω από συνθήκες χαμηλού θορύβου και παρουσιάστηκε εμπειρικά για την παραγωγή δεδομένων στάθμης ηχητικής πίεσης με ακρίβεια που συμμορφώνεται με το πρότυπο ANSI τύπου 2 που απαιτείται από τις περισσότερες τοπικές και εθνικές αρχές για τον κώδικα θορύβου.

Ο υπολογιστικός πυρήνας του αισθητήρα στεγάζεται μέσα σε περίβλημα αλουμίνιο που επιλέχθηκε για τη μείωση της παρεμβολής RFI και της ηλιακής θερμότητας. Η μονάδα μικροφώνου είναι τοποθετημένη εξωτερικά μέσω ενός επανατοποθετήσιμου μεταλλικού λαιμού χήνας, επιτρέποντας στον κόμβο του αισθητήρα να αναδιαμορφωθεί σε διαφορετικές τοποθεσίες, όπως πλευρές κτιρίων, φωτιστικοί πόλοι και στα περβάζια των κτιρίων. Εκτός από τις συνεχείς μετρήσεις SPL, οι κόμβοι δειγματοληπτούν τυχαία αποσπάσματα ήχου 10 δευτερολέπτων κατά τη διάρκεια μιας περιορισμένης χρονικής περιόδου. Αυτό συμβαίνει για να αναπτύξει τις ικανότητες του μηχανήματος και για να δημιουργηθεί ένα σημείο αναφοράς, μέσω της μηχανικής μάθησης. [15]. Ο ήχος συμπιέζεται χρησιμοποιώντας τον κωδικοποιητή FLAC, χωρίς απώλειες και κρυπτογραφείται χρησιμοποιώντας την κρυπτογράφηση 406 bit AES και το δημόσιο-ιδιωτικό ζεύγος κλειδιών RSA αλγόριθμο κρυπτογράφησης. Οι κόμβοι αισθητήρων επικοινωνούν με το διακομιστή μέσω ενός εικονικού ιδιωτικού δικτύου (VPN), φορτώνοντας δεδομένα ήχου και SPL σε διαστήματα 1 λεπτού. Όλα τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω WiFi. Κατά τη διάρκεια της εγγραφής, τα αποσπάσματα ήχου συμπιέζονται χρησιμοποιώντας τον κωδικοποιητή FLAC χωρίς απώλειες και στη συνέχεια κρυπτογραφούνται χρησιμοποιώντας κρυπτογράφηση AES και RSA. Μέχρι το 2016 υπήρχαν 20 κόμβοι. Στο τέλος του 2016 είχαν αναπτυχθεί 50, και την άνοιξη του 2017 έγιναν 100. [16]

Το κόστος κάθε αισθητήρα κατά την καταγραφή είναι περίπου 80\$.

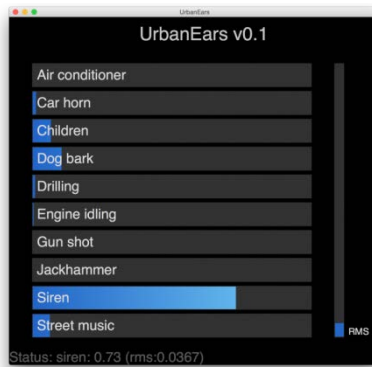


Εικόνα 37 – Πραγματική απεικόνιση SONYC



Εικόνα 38 - Μονάδα ακουστικής ανίχνευσης που αναπτύσσεται σε δρόμο της Νέας Υόρκης

Το πλαίσιο της SONYC, εστιάζεται στην ανάπτυξη υπολογιστικών μεθόδων για την ανίχνευση συγκεκριμένων τύπων πηγών ήχου, όπως τρυπάνια, εξατμίσεις, κόρνες αυτοκινήτων ή σειρήνες αστυνομίας, αυτόματα από τον περιβαλλοντικό ήχο. Αυτό είναι ένα δύσκολο πρόβλημα δεδομένης της πολυπλοκότητας και της ποικιλίας πηγών, ακουστικών σκηνών και τις συνθήκες του περιβάλλοντος που μπορεί να βρεθεί στην αστική ακουστική περιβάλλοντος. Για αυτό το σύστημα προσπαθεί να ταξινομήσει τους αστικούς ήχους. [17]



Εικόνα 39 – Πραγματική απεικόνιση αποτελεσμάτων

#### 4. Σύγκριση των περιπτώσεων: Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των παραπάνω περιπτώσεων ανά κατηγορία σε πίνακες. Για την αξιολόγηση της κάθε περίπτωσης χρησιμοποιήθηκε κλίμακα Likert 7 σημείων, όπου 7 «εξαιρετικό» και 1 «κάκιστο». [18]

	WAMPS (Μαυρίκιος)	ARDUINO	AIRBOX	ONLINE GPRS SENSORS
Ευελιξία εγκατάστασης	4	6	5	6
Ενεργειακή τροφοδότηση	5	5	4	6
Προστασία από εξωτερικούς παράγοντες	5	6	5	6
Εύρος κάλυψης	6	5	5	5
Τρόπος συλλογής δεδομένων	5	6	6	6
Τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων	5	5	5	6
Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων	5	6	4	5

Πίνακας 1 – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

	ΛΙΜΝΗ HYDRONODE7	- NEPA ΜΕΞΙΚΟΥ	ΛΙΜΝΗ ΒΙΚΤΩΡΙΑ
Ευελιξία εγκατάστασης	5	4	4
Κόστος συστήματος	5	5	6
Ενεργειακή τροφοδότηση	5	4	5
Προστασία από εξωτερικούς παράγοντες	5	6	5
Εύρος κάλυψης	6	5	5
Τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων	6	4	6
Ακρίβεια αποτελεσμάτων	6	4	5

Πίνακας 2 – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων παρακολούθησης της ρύπανσης των υδάτων

	ΘΡΑΥΣΗ ΒΡΑΧΩΝ	SONYC
Ευελιξία εγκατάστασης	5	6
Κόστος συστήματος	5	6
Ενεργειακή τροφοδότηση	5	4
Προστασία από εξωτερικούς παράγοντες	4	5
Εύρος ακουστικής εμβέλειας	6	5
Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων	5	4

Πίνακας 3 – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων παρακολούθησης της ηχορύπανσης

## 5. Συμπεράσματα – Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Δυστυχώς είναι γεγονός ότι η μόλυνση του περιβάλλοντος σήμερα έχει πάρει ανησυχητική έκταση και επηρεάζει όλο τον πλανήτη και εμάς τους ανθρώπους. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας όμως και την ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSN), δίνεται η δυνατότητα στον άνθρωπο για συνεχή και ακριβή παρακολούθηση της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων γίνονται το όπλο του ανθρώπου για την προστασία του ιδίου, αλλά και για την αντιμετώπιση του προβλήματος, πόσο μάλλον αφού οι μετρήσεις και τα οπτικοποιημένα αποτελέσματά τους γίνονται σε πραγματικό χρόνο. Σύνολα δεδομένων διαφόρων τύπων μπορούν να συγχωνευτούν και να μας επιτρέψουν την κατανόηση της γης.

Μέσω της χρήσης κόμβων αισθητήρων, δημιουργείται ένα δίκτυο το οποίο παρέχει πληροφορίες οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Η συλλογή των δεδομένων μέσω αισθητήρων, η μεταφορά τους μέσω του δικτύου σε έναν διακομιστή, η επεξεργασία τους, η ανάλυση τους και η συνεργασία όλων αυτών των τμημάτων του συστήματος οδηγούν στην χρήσιμη οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων.

Μελλοντικές έρευνες είναι αναγκαίες, καθώς το πρόβλημα προχωρά και εξελίσσεται. Για μία πιο σφαιρική και ολοκληρωμένη παρακολούθηση του περιβάλλοντος συνίσταται η επέκταση των ασύρματων αισθητήρων και σε άλλους τομείς που αφορούν την περιβαλλοντική μόλυνση, όπως η μόλυνση των εδάφων και οι πετρελαιοκηλίδες. Αναγκαία κρίνεται και η βελτίωση των ήδη υπάρχοντων ή η δημιουργία εξαρχής ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Κομμάτια που δέχονται βελτίωση είναι η ενεργειακή τροφοδότηση του συστήματος που καθορίζει τον χρόνο ζωής τους, η αύξηση του εύρους κάλυψής τους, ο τρόπος με τον οποίο συλλέγουν τα δεδομένα, η αντοχή τους στις καιρικές συνθήκες και το κόστος τους. Τα συστήματα που τοποθετούνται τοπικά θα πρέπει να αναμειγνύονται με το περιβάλλον και να μην προκαλούν περαιτέρω προβλήματα σε αυτό.

Καλό θα ήταν να γίνει έρευνα και εγκατάσταση ασύρματων δικτύων αισθητήρων που ελέγχουν την μόλυνση του περιβάλλοντος σε περισσότερες πόλεις ανά τον κόσμο, ακόμη και στην Ελλάδα.

Σε τελικό επίπεδο, όλα αυτά αποτελούν τα μέσα για την παρακολούθηση, καταγραφή και πρόληψη της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Ο πραγματικός παράγοντας που μπορεί να μειώσει, αν όχι να εξαλείψει αυτά τα φαινόμενα που πλήττουν τον πλανήτη είναι ο ίδιος ο άνθρωπος.

**Βιβλιογραφία**

- [1] K Martinez, JK Hart, R Ong - Computer, 2004 - [ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org). Environmental sensor networks. pages 50 – 56. DOI: 10.1109/MC.2004.91
- [2] Wikipedia. (2017). [https://el.wikipedia.org/wiki/Ασύρματο\\_δίκτυο\\_αισθητήρων](https://el.wikipedia.org/wiki/Ασύρματο_δίκτυο_αισθητήρων)
- [3] Wikipedia. (2017). <https://el.wikipedia.org/wiki/Ρύπανση>
- [4] Wikipedia. (2017). [https://el.wikipedia.org/wiki/Ατμοσφαιρική\\_ρύπανση](https://el.wikipedia.org/wiki/Ατμοσφαιρική_ρύπανση)
- [5] Kavi K. Khedo, Rajiv Perseedoss, Avinash Mungur, University of Mauritius, Mauritius. (Submitted on 11 May 2010). A Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System. DOI: 10.5121/ijwmn.2010.2203.
- [6] Teddy Surya Gunawan, Yasmin Mahira Saiful Munir, Mira Kartiwi, Hasmah Mansor. Design and Implementation of Portable Outdoor Air Quality Measurement System using Arduino. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). February 2018, pp. 280-290. DOI: 10.11591/ijece.v8i1.
- [7] Michele Penza, Domenico Suriano, Valerio Pfister, Mario Prato and Gennaro Cassano.(August 2017). Urban Air Quality Monitoring with Networked Low-Cost Sensor-Systems. ENEA—Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Lab. Functional Materials and Technologies for Sustainable Applications, Brindisi Research Center. DOI: [org/10.3390/proceedings1040573](https://doi.org/10.3390/proceedings1040573).
- [8] A. R. Al-Ali, Member, IEEE, Imran Zualkernan, and FadiAloul, Senior Member, IEEE. (November 2010). A Mobile GPRS-Sensors Array for Air Pollution Monitoring. 1666 – 1671. DOI: 10.1109/JSEN.2010.2045890.
- [9] <http://8gym-perist.att.sch.gr/Programes/water/water6.htm>
- [10] Luiz Filipe M. Vieira, Marcos Augusto M. Vieira, José Augusto M. Nacif, Alex Borges Vieira. Autonomous Wireless Lake Monitoring. February 2018. DOI: 10.1109/MCSE.2017.2581140.
- [11] Cesar Eduardo Hernández Curiel, Victor Hugo Benítez Baltazar, Jesús Horacio Pacheco Ramírez. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineering Vol:10, No:2.(2016). Wireless Sensor Network for Water Quality Monitoring: a prototype design. DOI: 10.1999/1307-6892/10003655.
- [12] Anthony Faustine, Aloys N. Mvuma, Hector J. Mongi, Maria C. Gabriel, Albino J. Tenge, Samuel B. Kucel. Vol.06 No.12(2014). Wireless Sensor Networks for Water Quality Monitoring and Control within Lake Victoria Basin:

Prototype Development. The University of Dodoma, Dodoma, Tanzania<sup>2</sup>Busitema University, Tororo, Uganda. DOI:10.4236/wsn.2014.612027.

[13] Wikipedia. (2017). [https://el.wikipedia.org/ Ηχορρύπανση](https://el.wikipedia.org/Ηχορρύπανση)

[14] PanuMaijala<sup>a</sup>,ZhaoShuyang<sup>b</sup>,ToniHeittola<sup>b</sup>,TuomasVirtanen<sup>b</sup>. Environmental noise monitoring using source classification in sensors. 1 January 2018, Pages 258-267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.08.006>

[15] SOUNDS OF NEW YORK CITY. Source: <https://wp.nyu.edu/sonyc/faq/>

[16] source: <https://www.raspberrypi.org/magpi/sounds-new-york-city/>

[17] Juan Pablo Bello, Claudio Silva, Oded Nov, R. Luke DuBois, Anish Arora, Justin Salamon, Charles Mydlarz, Harish Doraiswamy. 2 May 2018. *Cornel University Library*. SONYC: A System for the Monitoring, Analysis and Mitigation of Urban Noise Pollution. Source: <https://arxiv.org/pdf/1805.00889.pdf>

[18] smart environmental pollution monitoring: the contribution of wireless network technology[http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies\\_diktywn/ergasies/2017/smart%20environmental%20pollution%20monitoring.pdf](http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/ergasies/2017/smart%20environmental%20pollution%20monitoring.pdf)