



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων για καταγραφή και
παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων σε
αστικό περιβάλλον “Εξυπνης Πόλης”**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρία Β. Μανάφα

Επιβλέπων : Φίλιππος Κωνσταντίνου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων για καταγραφή και
παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων σε
αστικό περιβάλλον “Εξυπνης Πόλης”**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρία Β. Μανάφα

Επιβλέπων : Φίλιππος Κωνσταντίνου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Φίλιππος Κωνσταντίνου

.....
Αθανάσιος Παναγόπουλος

.....
Γεώργιος Ματσόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Επίκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Επίκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2013

.....
Μαρία Β. Μανάφα

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Μαρία Β. Μανάφα 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αφιερώνεται στους γονείς μου...

Περίληψη

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η καταγραφή και παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών σε αστικό περιβάλλον έξυπνης πόλης από ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

Αρχικά, γίνεται μια εισαγωγική παρουσίαση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, των αρχών σχεδιασμού που τα διέπουν, καθώς και αναφορές σε εφαρμογές αυτών στη σύγχρονη εποχή. Παράλληλα αναλύεται η τοπολογία και η αρχιτεκτονική που παρουσιάζουν τα συγκεκριμένα δίκτυα.

Έπειτα, επεξηγείται η έννοια της “έξυπνης πόλης” και πως μπορεί αυτή να λειτουργήσει στα πλαίσια μεσαίου μεγέθους πόλης. Σημαντικές είναι και οι αναφορές στην προσπάθεια υλοποίησης “έξυπνων πόλεων”.

Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη αναφορά του γενικού εξοπλισμού και λογισμικού που έχουμε στη διάθεσή μας κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων. Εκτενέστερα παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Wasmote, της ασύρματης μονάδας XBee 802.15.4 Pro και η διαδικασία σύνδεσης όλων αυτών μεταξύ τους.

Αντίστοιχα παρουσιάζονται η πλατφόρμα του Gas Sensor Board, τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων των αέριων ρύπων (CO, CO₂, NO₂, CH₄), και κατ’ επέκταση ο τρόπος υλοποίησης της εφαρμογής. Υλοποιήθηκε μια εφαρμογή καταγραφής και μετάδοσης της μετρούμενης τάσης στους ακροδέκτες της αντίστασης των αισθητήρων ρύπων, μέσω της ασύρματης μονάδας XBee 802.15.4 Pro. Επίσης, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο όπου είναι δυνατή η μετατροπή της μετρούμενης τάσης σε ποσοστιαία συγκέντρωση (ppm) και ενσωματώθηκε το μοντέλο αυτό στον κώδικα.

Τέλος, έγινε αναλυτική παρουσίαση των μετρήσεων συγκέντρωσης ppm αέριων ρύπων σε συνθήκες δωματίου και αστικές συνθήκες. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται σε δύο δείγματα. Πρέπει να αναφερθεί ότι στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας δεν υπήρχε η δυνατότητα βαθμονόμησης των αισθητήρων, έτσι για να αντιμετωπιστεί η δυσκολία αυτή επιλέχθηκε η βιβλιογραφική αναζήτηση για τις ποσοστιαίες περιεκτικότητες των μετρούμενων μεγεθών ανά αέριο σε κοντινές συνθήκες περιβάλλοντος προς αυτές που πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές.

Λέξεις – Κλειδιά

Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, έξυπνη πόλη, Wasmote, αισθητήρες αερίων, μέτρηση, βαθμονόμηση, XBee 802.15.4 Pro, μονάδα GPS, SD κάρτα αποθήκευσης, Gas Sensor Board, USB, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του αζώτου, μεθάνιο.

Abstract

The scope of this thesis is the recording and monitoring of environmental conditions in urban smart city from a wireless sensor network.

At first, there is an introduction to the wireless sensor networks and their design principles, along with references to several applications that they are currently being used in. At the same time we analysed the topology and architecture presenting these networks.

Then, we explained the concept of "smart city" and commented how it can be operated within the framework of medium-size cities. Important are the references to the effort to achieve smart cities.

Accordingly became a brief mention of the general hardware and software we had in carrying out the measurements. Spotlight were presented the technical characteristics of Waspote, the wireless module XBee 802.15.4 Pro and the process to link all these together.

Respectively presented the Gas Sensor Board, the sensors characteristics for gas pollutants (CO, CO₂, NO₂, CH₄), and thus the way to implement the application. We implemented an application for recording and transmission the measured voltage at the terminals of the resistance sensor pollutants through the wireless module XBee 802.15.4 Pro. Also created a model where it is possible to convert the measured voltage in percentage concentration (ppm) and incorporated this model in the code

Lastly, there is a thorough result presentation measuring ppm levels of gas pollutants in room conditions and urban conditions. The measurements presented in two samples. Should be mentioned that in the context of this thesis it was impossible for calibration of sensors, so to deal with this difficulty was selected literature review for the percentage concentration of measured quantities by gas in nearby ambient conditions to those tests were conducted.

Key - Words

Wireless sensor networks, smart city, Waspote, gas sensors, measurement, calibration, XBee 802.15.4 Pro, GPS module, SD card, Gas Sensor Board, USB, carbon monoxide, carbon dioxide, nitrogen dioxide, methane.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	13
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.2 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	15
1.2.1 Αντοχή σε σφάλματα	15
1.2.2 Επεκτασιμότητα	16
1.2.3 Δυνατότητα Επικοινωνίας	16
1.2.4 Χρόνος Ζωής και Κάλυψη	16
1.2.5 Δυνατότητα Αίσθησης	17
1.2.6 Δυνατότητα Επεξεργασίας Δεδομένων	18
1.2.7 Υλικός Περιορισμός	18
1.2.8 Κόστος Παραγωγής	20
1.2.9 Συντήρηση δικτύου	20
1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	20
1.3.1 Οικιακοί αυτοματισμοί	21
1.3.2 Περιβαλλοντικές εφαρμογές	21
1.3.3 Εφαρμογές υγείας και φαρμακευτικής	23
1.3.4 Στρατιωτικές εφαρμογές	24
1.3.5 Άλλες εφαρμογές	25
1.4 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	25
1.4.1 Φάση πριν την εγκατάσταση	26
1.4.2 Φάση μετά την εγκατάσταση	27
1.4.3 Φάση τοποθέτησης επιπλέον κόμβων	27
1.5 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	27
1.5.1 Το Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer)	28
1.5.2 Το Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων (Data Link Layer)	28
1.5.3 Το Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)	29
1.5.4 Το Επίπεδο Μεταφοράς (Transport Layer)	30
1.5.5 Το Επίπεδο Εφαρμογών (Application Layer)	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: SMART CITIES	31
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	32
2.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ “ΕΞΥΠΝΗΣ ΠΟΛΗΣ”	32
2.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ “ΕΞΥΠΝΗΣ ΠΟΛΗΣ”	34
2.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ “ΕΞΥΠΝΗΣ ΠΟΛΗΣ”	36
2.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ	36
2.5.1 Απόδοση 70 “έξυπνων πόλεων”	36
2.5.2 Προφίλ των πόλεων	38
2.6 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΞΕΥΠΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ	40
2.6.1 Smart Santander	40
2.6.2 Σχέδιο έξυπνης πόλης στη Σερβία για την περιβαλλοντική παρακολούθηση με τη δημόσια συγκοινωνία	41
2.6.3 Σχέδιο έξυπνης πόλης στη Σαλαμάνκα για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και Αστικής Κυκλοφορίας	42
2.6.4 Ανίχνευση δασικών πυρκαγιών κάνοντας χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	43
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	44
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (HARDWARE) ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	44
3.2.1 Wasp mote	44
3.2.2 Gas Sensor Board	51
3.3 ΠΗΓΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΤΟΥ WASPMOTE	52
3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ	54
3.4.1 Σύνδεση με υπολογιστή μέσω USB	55
3.4.2 Σύνδεση με XBee 802.15.4 Pro	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	61
4.1 ΣΚΟΠΟΣ	62
4.2 ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΟ GAS SENSOR BOARD	62
4.3 ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	63
4.4 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΑΥΤΩΝ.....	64
4.4.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	66
4.4.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	69
4.4.3 Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	72
4.4.4 Μεθάνιο (CH ₄).....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	79
5.1 ΓΕΝΙΚΑ	80
5.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	80
5.3 ΜΕΤΡΗΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.....	81
5.4 ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	81
5.4.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	81
5.4.2 Πρώτη σειρά μετρήσεων σε συνθήκες δωματίου	82
5.4.3 Δεύτερη σειρά μετρήσεων σε αστικές συνθήκες	88
5.5 ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	93
5.5.1 Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	94
5.5.2 Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	95
5.5.3 Μεθάνιο (CH ₄).....	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ	97
6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	98
6.2 ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ.....	99
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	100
ΚΩΔΙΚΑΣ ΛΗΨΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΑ GPS ΚΑΙ RTC ΚΑΙ Η ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΥΤΩΝ ΣΤΗΝ SD ΚΑΡΤΑ	100
ΚΩΔΙΚΑΣ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕΣΩ USB ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΡΥΠΩΝ CO, CO ₂ , NO ₂ , CH ₄	101
ΚΩΔΙΚΑΣ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕΣΩ XBEE 802.15.4 PRO ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΡΥΠΩΝ CO, CO ₂ , NO ₂ , CH ₄ – 1 ^ο ΔΕΙΓΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	105
ΚΩΔΙΚΑΣ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕΣΩ XBEE 802.15.4 PRO ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΡΥΠΩΝ CO, CO ₂ , NO ₂ , CH ₄ – 2 ^ο ΔΕΙΓΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	109

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1.1: ΑΠΛΟΣ ΚΟΜΒΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	14
ΕΙΚΟΝΑ 1.2: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	18
ΕΙΚΟΝΑ 1.3: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	21
ΕΙΚΟΝΑ 1.4: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	22
ΕΙΚΟΝΑ 1.5: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ, ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΑΣΘΕΝΩΝ.....	24
ΕΙΚΟΝΑ 1.6: ΕΙΔΗ ΤΟΠΟΛΟΓΙΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	26
ΕΙΚΟΝΑ 1.7: ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ LAYERS ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	28
ΕΙΚΟΝΑ 2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ "ΕΞΥΠΝΗΣ ΠΟΛΗΣ".....	34
ΕΙΚΟΝΑ 2.2 ΔΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	35
ΕΙΚΟΝΑ 2.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΙΑΣ "ΕΞΥΠΝΗΣ ΠΟΛΗΣ".....	35
ΕΙΚΟΝΑ 2.4 ΔΕΙΓΜΑΤΑ 70 ΠΟΛΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	37
ΕΙΚΟΝΑ 2.5 ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΙ ΚΑΛΥΤΕΡΕΣ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ "ΕΞΥΠΝΗΣ ΠΟΛΗΣ".....	38
ΕΙΚΟΝΑ 2.6 ΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΟΥ ΛΟΥΞΕΜΒΟΥΡΓΟΥ.....	39
ΕΙΚΟΝΑ 2.7 ΧΑΡΤΗΣ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΙ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΗ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ.....	41
ΕΙΚΟΝΑ 2.8 ECOBUS.....	41
ΕΙΚΟΝΑ 3.1 WASPMOTE.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 3.2 ΕΠΙΛΩ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ WASPMOTE.....	45
ΕΙΚΟΝΑ 3.3 ΚΑΤΩ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ WASPMOTE.....	ΣΦΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.
ΕΙΚΟΝΑ 3.4 XBEE 802.15.4 PRO.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 3.5 WASPMOTE GATEWAY.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 3.6 GPRS MODULE.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 3.7 GPS MODULE.....	49
ΕΙΚΟΝΑ 3.8 MICRO SD CARD.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 3.9 ΧΩΡΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΗΣ MICRO SD ΚΑΡΤΑΣ ΣΤΟ WASPMOTE.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 3.10 GAS SENSOR BOARD.....	51
ΕΙΚΟΝΑ 3.11 Η ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΔΙΘΙΟΥ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΗ ΣΤΟ WASPMOTE.....	52
ΕΙΚΟΝΑ 3.12 FLEXIBLE SOLAR PANEL.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 3.13 ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ WASPMOTE ΜΕ ΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΠΑΝΕΛ.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 3.14 ΠΙΘΑΝΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ WASPMOTE ΜΕΣΩ USB.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 3.15 ΘΥΡΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ I/O ΤΟΥ WASPMOTE.....	54
ΕΙΚΟΝΑ 3.16 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ SENSOR I/O CONNECTOR.....	54
ΕΙΚΟΝΑ 3.17 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΥ 12C-UART CONNECTOR.....	55
ΕΙΚΟΝΑ 3.18 WASPMOTE ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΜΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ.....	56
ΕΙΚΟΝΑ 3.19 WASPMOTE ΚΑΙ GAS SENSOR BOARD ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΜΕ USB.....	56
ΕΙΚΟΝΑ 3.20 WASPMOTE-IDE ΚΑΙ SERIAL MONITOR.....	58
ΕΙΚΟΝΑ 3.21 ΑΡΧΕΙΟ DATAHESI.TXT ΠΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΗΚΑΝ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 3.22 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ GATEWAY ΣΤΗ ΘΥΡΑ USB ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ XBEE ΣΤΟ WASPMOTE.....	60
ΕΙΚΟΝΑ 4.1 ΥΠΟΔΟΧΕΣ ΤΟΥ GAS SENSOR BOARD.....	63
ΕΙΚΟΝΑ 4.2 TGS2442 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	67
ΕΙΚΟΝΑ 4.3 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PPM ΤΟΥ TGS2442.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 4.4 TGS4261 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	70
ΕΙΚΟΝΑ 4.5 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PPM ΤΟΥ TGS4161.....	71
ΕΙΚΟΝΑ 4.6 MIC-2710 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 4.7 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PPM ΤΟΥ MIC-2710.....	74
ΕΙΚΟΝΑ 4.8 TGS 2611 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΜΕΘΑΝΙΟΥ.....	76
ΕΙΚΟΝΑ 4.9 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PPM ΤΟΥ TGS2611.....	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1 ΣΤΑΔΙΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΕ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PPM	81
ΣΧΗΜΑ 2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ CO ₂ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ	83
ΣΧΗΜΑ 3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ PPM ΤΟΥ CO ₂ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ	83
ΣΧΗΜΑ 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΣΗΣ ΤΟΥ NO ₂ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ	84
ΣΧΗΜΑ 5 1 ^ο ΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PPM ΤΟΥ NO ₂ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ	85
ΣΧΗΜΑ 6 2 ^ο ΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PPM ΤΟΥ NO ₂ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ	85
ΣΧΗΜΑ 7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΣΗΣ ΤΟΥ CH ₄ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ	86
ΣΧΗΜΑ 8 1 ^ο ΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PPM ΤΟΥ CH ₄ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ	87
ΣΧΗΜΑ 9 2 ^ο ΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PPM ΤΟΥ CH ₄ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ	87
ΣΧΗΜΑ 10 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΣΗΣ ΤΟΥ CO ₂ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	88
ΣΧΗΜΑ 11 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PPM ΤΟΥ CO ₂ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	89
ΣΧΗΜΑ 12 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΣΗΣ ΤΟΥ NO ₂ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	90
ΣΧΗΜΑ 13 1 ^ο ΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PPM ΤΟΥ NO ₂ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	90
ΣΧΗΜΑ 14 2 ^ο ΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PPM ΤΟΥ NO ₂ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	91
ΣΧΗΜΑ 15 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΣΗΣ ΤΟΥ CH ₄ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	92
ΣΧΗΜΑ 16 1 ^ο ΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PPM ΤΟΥ CH ₄ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	92
ΣΧΗΜΑ 17 2 ^ο ΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PPM ΤΟΥ CH ₄ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	93
ΣΧΗΜΑ 18 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PPM ΤΟΥ CO ₂	94
ΣΧΗΜΑ 19 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PPM ΤΟΥ NO ₂	95
ΣΧΗΜΑ 20 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PPM ΤΟΥ CH ₄	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΚΩΔΙΚΑ

ΚΩΔΙΚΑΣ 1 ΛΗΨΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟ GPS	50
ΚΩΔΙΚΑΣ 2 ΛΗΨΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΑ GPS ΚΑΙ RTC ΚΑΙ Η ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΥΤΩΝ ΣΤΗΝ SD ΚΑΡΤΑ ...	58
ΚΩΔΙΚΑΣ 3 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PPM ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ CO	69
ΚΩΔΙΚΑΣ 4 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PPM ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ CO ₂	72
ΚΩΔΙΚΑΣ 5 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PPM ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ NO ₂	75
ΚΩΔΙΚΑΣ 6 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PPM ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ CH ₄	78

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 XBEE MODULES	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ XBEE 802.15.4 ΚΑΙ XBEE 805.15.4 PRO	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΒΑΣΙΚΟΙ ΡΥΘΜΟΙ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ	65

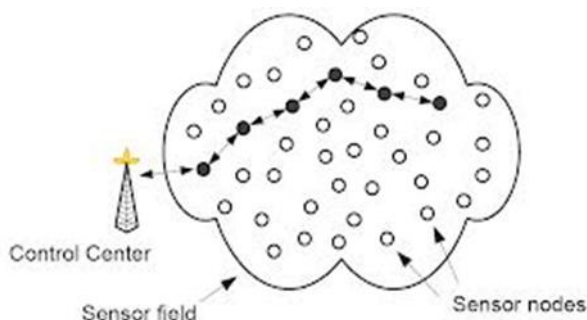
Κεφάλαιο 1: Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

1.1 Εισαγωγή

Η πρόοδος στις ασύρματες επικοινωνίες, στον ενσωματωμένο υπολογισμό (embedded computing), στα VLSI κυκλώματα χαμηλής κατανάλωσης και κυρίως στην τεχνολογία των ηλεκτρομηχανικών συστημάτων (MEMS – Micro Electro Mechanical Systems) έχουν συντελέσει στην ανάπτυξη πολύ-λειτουργικών αισθητήρων (smart sensors) χαμηλού-κόστους, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και πολλών λειτουργιών, οι οποίοι είναι μικροί σε μέγεθος και επικοινωνούν, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση ή επιτήρηση, μεταξύ τους σε μικρές αποστάσεις. Αυτοί οι μικροσκοπικοί κόμβοι αισθητήρων, που αποτελούνται από υποσυστήματα αίσθησης, επεξεργασίας δεδομένων και επικοινωνιών, οδηγούν στην ιδέα των δικτύων αισθητήρων που βασίζονται στην συνεργατική λειτουργία ενός μεγάλου συνόλου κόμβων.

Ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων, οι οποίοι αναπτύσσονται πυκνά, είτε μέσα στο φαινόμενο είτε πολύ κοντά σε αυτό. Η θέση των κόμβων αισθητήρων δεν είναι ανάγκη να προσχεδιαστεί ή να προαποφασιστεί. Αυτό επιτρέπει την τυχαία εξάπλωσή τους σε μη προσβάσιμα εδάφη ή σε επιχειρήσεις για την αντιμετώπιση καταστροφών. Από την άλλη πλευρά, αυτό σημαίνει ότι τα πρωτόκολλα και οι αλγόριθμοι των δικτύων αισθητήρων πρέπει να διαθέτουν αυτό-οργανωτικές δυνατότητες. Ένα άλλο μοναδικό χαρακτηριστικό των δικτύων αισθητήρων είναι η συνεργατική λειτουργία των κόμβων αισθητήρων (*Εικόνα 1.1*).

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά εξασφαλίζουν ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών για τις οποίες είναι κατάλληλα τα δίκτυα αισθητήρων. Μερικές από τις περιοχές εφαρμογής είναι η υγεία, ο στρατός και η ασφάλεια. Για παράδειγμα, μια στρατιωτική εφαρμογή των δικτύων αισθητήρων είναι η χρησιμοποίησή τους στα συστήματα διοίκησης, ελέγχου, επικοινωνιών, πληροφορικής, πληροφοριών, επιτήρησης, αναγνώρισης και σκόπευσης, εκμεταλλευόμενοι τις ιδιότητες τους όπως η ταχεία εγκατάσταση, η αυτό-οργάνωση και η αντοχή σε λάθη.



Εικόνα 1.1: Απλός κόμβος δικτύων αισθητήρων

Προκειμένου να υλοποιηθούν οι παραπάνω αλλά και άλλες εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων απαιτούνται τεχνικές ad-hoc δικτύωσης (καθόσον έχουν ομοιότητες με τα δίκτυα αισθητήρων). Παρόλο που αρκετοί αλγόριθμοι και πρωτόκολλα έχουν προταθεί για τα παραδοσιακά ad-hoc ασύρματα δίκτυα, δυστυχώς δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στα δίκτυα αισθητήρων εξαιτίας των μοναδικών χαρακτηριστικών και των απαιτήσεων των εφαρμογών των δικτύων αισθητήρων. Παρακάτω, αναφέρονται περιληπτικά οι διαφορές μεταξύ των δύο αυτών δικτύων που δικαιολογεί το παραπάνω πρόβλημα :

- Ο αριθμός των κόμβων σε ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να είναι πολλές φορές πιο μεγάλος από ότι σε ένα ad hoc δίκτυο
- Η χωρική πυκνότητα των δικτύων αισθητήρων είναι συχνά μεγάλη.
- Οι αισθητήριοι κόμβοι είναι εύκολο να καταστραφούν.
- Η τοπολογία ενός δικτύου αισθητήρων αλλάζει πολύ συχνά.
- Οι αισθητήριοι κόμβοι χρησιμοποιούν κυρίως επικοινωνία broadcast ενώ τα περισσότερα ad-hoc δίκτυα βασίζονται στην επικοινωνία σημείου προς σημείο.
- Οι αισθητήριοι κόμβοι διακρίνονται για τους σημαντικούς περιορισμούς που έχουν, από κατασκευής, στους τομείς της ενέργειας, της υπολογιστικής ισχύος και της μνήμης.
- Οι αισθητήριοι κόμβοι συνήθως δεν έχουν κάποιο παγκόσμιο αναγνωριστικό (ID), εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους της επικεφαλίδας που απαιτεί μια τέτοια ιδιότητα, καθώς και του μεγάλου αριθμού των κόμβων.

Επειδή ένας μεγάλος αριθμός κόμβων αισθητήρων αναπτύσσεται με πυκνή διάταξη, οι γειτονικοί κόμβοι μπορεί να βρίσκονται πολύ κοντά ο ένας στον άλλο. Έτσι η επικοινωνία μεταξύ πολλαπλών διαδοχικών κόμβων (multi-hop communication) στα δίκτυα αισθητήρων αναμένεται να απαιτεί λιγότερη ενέργεια από ότι η παραδοσιακή επικοινωνία μεταξύ γειτονικών κόμβων (single-hop communication). Η επικοινωνία μεταξύ πολλαπλών διαδοχικών κόμβων (multi-hop) μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά κάποια από τα προβλήματα διάδοσης του σήματος σε μακρινές αποστάσεις.

Ένας από τους πιο σημαντικούς περιορισμούς στα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων είναι η απαίτηση για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Οι αισθητήριοι κόμβοι έχουν περιορισμένες και συνήθως αναντικατάστατες πηγές ενέργειας. Έτσι ενώ τα παραδοσιακά δίκτυα στοχεύουν να παρέχουν υπηρεσίες υψηλής ποιότητας (QoS - Quality of Service), τα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων έχουν ως πρωταρχικό στόχο την διατήρηση της ενέργειας. Επίσης θα πρέπει να έχουν ενσωματωμένους μηχανισμούς εξισορρόπησης οι οποίοι θα δίνουν στον τελικό χρήστη τη δυνατότητα παράτασης της ζωής λειτουργίας του δικτύου με κόστος τη χαμηλότερη ρυθμαπόδοση (throughput) ή τη μεγαλύτερη καθυστέρηση μετάδοσης.

1.2 Αρχές σχεδιασμού ασύρματων δικτύων

Ο σχεδιασμός ενός δικτύου αισθητήρων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Παρακάτω αναφέρονται μερικοί από αυτούς. Η μελέτη αυτών των παραγόντων είναι πρωταρχικής σημασίας, γιατί παρέχουν τις κατευθύνσεις γύρω από τις οποίες πρέπει να σχεδιαστεί ένα πρωτόκολλο ή αλγόριθμος για δίκτυα αισθητήρων.

1.2.1 Αντοχή σε σφάλματα

Κάποιοι κόμβοι μπορεί να πάψουν να λειτουργούν λόγω βλάβης, λόγω αστοχίας κάποιου υποσυστήματος τους ή λόγω παρεμβολών από κάποιο εξωτερικό αίτιο. Στην περίπτωση αυτή, το σφάλμα λειτουργίας ενός κόμβου ή μιας ομάδας κόμβων δε θα πρέπει να επηρεάζει τη συνολική λειτουργία του δικτύου. Αυτό το θέμα αναφέρεται ως αξιοπιστία ή αντοχή σε σφάλματα. Η αντοχή σε σφάλματα είναι η δυνατότητα του δικτύου αισθητήρων να διατηρεί τη λειτουργικότητά του χωρίς διακοπές που να οφείλονται στις αποτυχίες των κόμβων του [1], [2]. Η αξιοπιστία ή η αντοχή σε

σφάλματα ενός αισθητήριου κόμβου συμβολίζεται με $R_k(t)$ και μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας τη διασπορά Poisson προκειμένου να δείξει την πιθανότητα να μην έχουμε κάποια αποτυχία σε ένα χρονικό διάστημα $(0,t)$:

$$R_k(t) = e^{-\lambda} \times k^t$$

όπου λ_k και t είναι αντίστοιχα ο ρυθμός αποτυχίας ενός κόμβου k και η χρονική περίοδος.

1.2.2 Επεκτασιμότητα

Ο αριθμός των αισθητήριων κόμβων που έχουν αναπτυχθεί για την μελέτη ενός φαινομένου μπορεί να είναι της τάξης των εκατοντάδων ή χιλιάδων. Ανάλογα με την εφαρμογή, ο αριθμός αυτός μπορεί να φτάσει και την ακραία τιμή των εκατομμυρίων. Το πρωτόκολλο θα πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να μπορεί να χειριστεί αυτόν τον αριθμό των κόμβων. Πρέπει επίσης να χρησιμοποιήσουν την υψηλή πυκνότητα με την οποία εγκαθίστανται οι αισθητήριοι κόμβοι. Η πυκνότητα μπορεί να διαφέρει από μερικούς μέχρι εκατοντάδες κόμβους σε μια περιοχή η οποία μπορεί να είναι μικρότερη σε διάμετρο από 10m και μπορεί να υπολογιστεί [3] σύμφωνα με:

$$\mu(R) = (N \times \pi \times R^2)/A$$

όπου N είναι ο αριθμός των διασπαρμένων κόμβων σε μια περιοχή A και R η εμβέλεια της ασύρματης μετάδοσης. Βασικά το $\mu(R)$ δίνει τον αριθμό των κόμβων μέσα στην εμβέλεια της ασύρματης μετάδοσης του κάθε κόμβου που ανήκει στην περιοχή A .

1.2.3 Δυνατότητα Επικοινωνίας

Σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) η επικοινωνία μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες:

1. επικοινωνία υποδομής, όπου η επικοινωνία είναι απαραίτητη για τον καθορισμό (configuration), τη διατήρηση και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου, ενώ ενδέχεται να μεταβάλλεται συχνά, η τοπολογία και ο προσδιορισμός του.
2. επικοινωνία εφαρμογών, που σχετίζεται με τη μεταφορά των δεδομένων που καταγράφονταν, με σκοπό την ενημέρωση του εκάστοτε ενδιαφερομένου για το φαινόμενο που παρακολουθείται. Εδώ τα μοντέλα που κυριαρχούν είναι η συνεργατική και η μη-συνεργατική μέθοδος μεταφοράς δεδομένων.

Ανάλογα με το αν χρησιμοποιούμε κάποιο από τα δύο μοντέλα του επιπέδου επικοινωνίας εφαρμογών, είτε τη συνεργατική μέθοδο μεταφοράς δεδομένων, όπου απαιτείται η συνεργασία μεταξύ των διαφορετικών κόμβων του δικτύου, είτε τη μη-συνεργατική, όπου δεν απαιτείται η συνεργασία τους για τη μεταφορά των δεδομένων είτε ο συνδυασμός και των δύο, τότε διακρίνονται μερικές μορφές επικοινωνίας σε ένα WSN, όπως η άμεση σύνδεση (direct connected WSN), η peer-to-peer multi-hop, η επίπεδη ad-hoc multi-hop και η cluster-based multi-hop επικοινωνία

1.2.4 Χρόνος Ζωής και Κάλυψη

Αποφασιστικό χαρακτηριστικό στην ανάπτυξη ενός δικτύου αισθητήρων είναι ο αναμενόμενος χρόνος ζωής του, και κυριότερος περιοριστικός παράγοντας στην διάρκεια ζωής του, είναι η χωρητικότητα του συσσωρευτή ενέργειας του συστήματος. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι σε πολλές εφαρμογές, κρίσιμο

χαρακτηριστικό δεν είναι ο μέσος χρόνος ζωής ενός κόμβου, αλλά ο ελάχιστος εκτιμώμενος χρόνος ζωής [4]. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της πεπερασμένης χωρητικότητας των συσσωρευτών έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές, οι οποίες αποσκοπούν στη μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής του δικτύου. Στη σημαντικότερη από αυτές, ο στόχος επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας στα συστατικά δομικά στοιχεία του κόμβου και ειδικότερα στον πομπό, ο οποίος αποτελεί το τμήμα του κόμβου που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Τελευταία, μια νέα μέθοδος τοποθετεί στους κόμβους του δικτύου, συσκευές που έχουν τη δυνατότητα να «συλλαμβάνουν» και να εκμεταλλεύονται την ενέργεια που βρίσκεται διάχυτη στον περιβάλλοντα χώρο του κόμβου. Τέτοιες συσκευές είναι τα ηλιακά κύτταρα, οι πιεζοηλεκτρικές γεννήτριες, οι μικροανεμογεννήτριες κλπ.

Επόμενος σημαντικός παράγοντας, μετά το χρόνο ζωής, είναι η κάλυψη. Όπως είναι προφανές, είναι σημαντικό για τον τελικό χρήστη να μπορεί να αναπτύξει δίκτυα τα οποία καλύπτουν μια ευρεία περιοχή παρατήρησης. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι η κάλυψη του δικτύου δεν ταυτίζεται απαραίτητα με την ακτίνα κάλυψης των επικοινωνιακών συνδέσεων που χρησιμοποιεί ο κάθε κόμβος. Με τη χρήση multi-hop τεχνικών είναι εφικτή η επέκταση της κάλυψης αρκετά πιο μακριά από την ακτίνα που επιτρέπει ο χρησιμοποιούμενος πομπός. Θεωρητικά, η επέκταση της ακτίνας κάλυψης του δικτύου τείνει στο άπειρο, αλλά αποδεικνύεται ότι μετά από έναν αριθμό από hops και μια συγκεκριμένη ακτίνα εκπομπής, το συνολικό ισοζύγιο κατανάλωσης ισχύος του δικτύου αυξάνεται, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται ο χρόνος αντίδρασής του.

1.2.5 Δυνατότητα Αίσθησης

Η έννοια της αίσθησης αναφέρεται σε όρους, όπως η έκθεση (exposure) – χρόνος έκθεσης και απόσταση κόμβου, η προσαρμογή / βαθμονόμηση (calibration) και η κάλυψη (sensing coverage). Μολονότι η λειτουργία της αίσθησης εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής, οι κόμβοι εκτελούν κάποιες γενικές λειτουργίες:

- καθορισμό της τιμής μιας παραμέτρου, όπως θερμοκρασία και ατμοσφαιρική πίεση, σε μία δεδομένη τοποθεσία σε ένα σύνολο θέσεων μέσω διαφορετικών αισθητήρων, καθένας με δικό του ρυθμό δειγματοληψίας και δυναμική περιοχή τιμών.
- αντίληψη γεγονότων και εκτίμηση των παραμέτρων τους, όπως ανίχνευση οχήματος από διασταύρωση και εκτίμηση της ταχύτητάς του.
- ανίχνευση αντικειμένων και πιθανότητα κατηγοριοποίησής τους, όπως ανίχνευση εισβολής στην παρατηρούμενη από το δίκτυο περιοχή και αναγνώριση του είδους ενός οχήματος. Οι αισθητήρες ανάλογα με τη δυνατότητα αίσθησης που διαθέτουν, μπορούν να ταξινομηθούν σε:
 1. Ενεργητικές συσκευές, που τείνουν να είναι υψηλής ενέργειας συστήματα, όπως ραντάρ και σόναρ.
 2. Παθητικές συσκευές, συνήθως χαμηλής ενέργειας, όπως αισθητήρες μέτρησης σεισμικών δονήσεων και θερμοκρασίας.

Επιπλέον, ανάλογα με τη συγκέντρωση των απαιτούμενων δεδομένων της εφαρμογής τα WSN μπορούν να χαρακτηριστούν, ως:

- Συνεχή, όταν οι κόμβοι συλλέγουν δεδομένα αδιαλείπτως.
- Απόκρισης (Reactive), όταν συλλέγουν δεδομένα που αφορούν συγκεκριμένα

γεγονότα ή αποκρίνονται στην απαίτηση ενός παρατηρητή.

- Περιοδικά, όταν συλλέγουν δεδομένα σύμφωνα με τις συνθήκες που καθορίζει η εφαρμογή.

1.2.6 Δυνατότητα Επεξεργασίας Δεδομένων

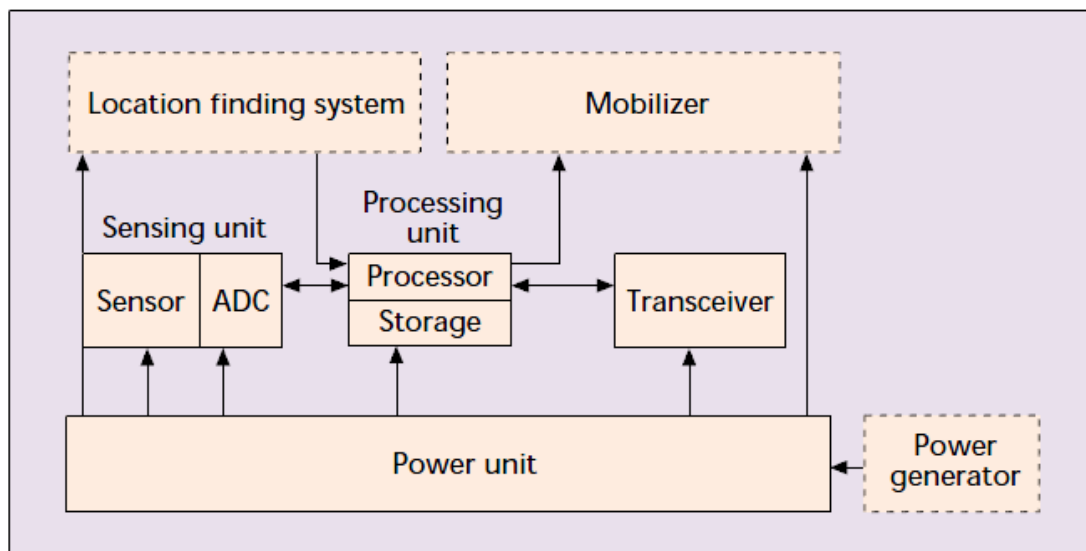
Ο επεξεργαστής και η μνήμη ενός ασύρματου κόμβου διαμορφώνουν την υπολογιστική ικανότητα, η οποία είναι προγραμματιζόμενη και εκτελεί βασικούς υπολογισμούς επεξεργασίας σήματος και πιθανότατα διεργασίες συσχέτισης δεδομένων. Πιθανές διεργασίες είναι:

- Data fusion, η οποία συνδυάζει ένα ή περισσότερα πακέτα δεδομένων που έχουν ληφθεί από διαφορετικούς αισθητήρες για τη δημιουργία ενός μοναδικού πακέτου και οδηγεί στη μείωση της μεταδιδόμενης ποσότητας δεδομένων και συνεπώς της καταναλισκόμενης ενέργειας.
- Συμπίεση δεδομένων.
- Επεξεργασία ασφάλειας.

Σε κάποια δίκτυα, η επεξεργασία των δεδομένων εφαρμόζεται από τον κάθε κόμβο σε αντίθεση με την ιεραρχική αρχιτεκτονική επεξεργασίας που υλοποιείται σε άλλα δίκτυα.

1.2.7 Υλικός Περιορισμός

Ένας αισθητήριος κόμβος αποτελείται κατά βάση από τέσσερα τμήματα: μια μονάδα αισθήσεως (Sensing Unit), μια μονάδα επεξεργασίας (Processing Unit), ένα πομποδέκτη (Transceiver Unit) και μια μονάδα ενέργειας (Power Unit) (**Εικόνα 1.2**).



Εικόνα 1.2: Αρχιτεκτονική μονάδας δικτύων αισθητήρων

Ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζεται μπορεί να διαθέτει επιπλέον τμήματα όπως σύστημα εντοπισμού θέσης (location finding system), μονάδα παραγωγής ενέργειας (power generator) και μονάδα κίνησης (mobilizer). Η μονάδα αισθήσεως συνήθως αποτελείται από δύο υπομονάδες: τους αισθητήρες (sensors) και τους αναλογικό-ψηφιακούς μετατροπείς (ADCs). Τα αναλογικά σήματα που παράγονται από τα αισθητήρια όργανα και βασίζονται στα παρατηρούμενα φαινόμενα μετατρέπονται σε ψηφιακά σήματα από τους αναλογικό-ψηφιακούς

μετατροπείς και κατόπιν μεταφέρονται στην μονάδα επεξεργασίας. Αυτή η μονάδα, που γενικά σχετίζεται με μια μικρή μονάδα αποθήκευσης (storage), διαχειρίζεται τις διαδικασίες που κάνουν τον αισθητήριο κόμβο να συνεργάζεται με άλλους κόμβους για να φέρει σε πέρας τους προσδιορισμένους στόχους. Η μονάδα του πομποδέκτη συνδέει τον αισθητήριο κόμβο στο δίκτυο. Ένα από τα πιο σημαντικά τμήματα του αισθητήριου κόμβου είναι η μονάδα ενέργειας. Οι μονάδες ενέργειας είναι δυνατόν να υποστηρίζονται από μια μονάδα εξαγωγής και παραγωγής ενέργειας (scavenging energy) από το περιβάλλον όπως οι ηλιακές κυψέλες (solar cells).

Υπάρχουν όμως και άλλες υπομονάδες από τις οποίες αποτελείται ένας κόμβος, είναι: το υποσύστημα μετάδοσης δεδομένων, το υποσύστημα επεξεργασίας και το υποσύστημα αισθητήρα, των οποίων η χρήση εξαρτάται από την εφαρμογή για την οποία χρησιμοποιούνται οι αισθητήριοι κόμβοι.

Το υποσύστημα μετάδοσης δεδομένων είναι το πλέον σημαντικό σύστημα ενός κόμβου μιας και αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας, επηρεάζοντας έτσι την απόδοση του κόμβου αλλά και τη συνολική απόδοση του δικτύου. Θέματα που απασχολούν την έρευνα στον τομέα του υποσυστήματος μετάδοσης αφορούν την ακτίνα εκπομπής, τον τύπο διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται καθώς και τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

Το υποσύστημα επεξεργασίας αποτελεί επίσης σημαντικό στοιχείο για την λειτουργία και τη συμπεριφορά μιας μονάδας και, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, της δίνει τη δυνατότητα εκτέλεσης πολύπλοκων λειτουργιών. Στους σύγχρονους μικροελεγκτές ενσωματώνονται μνήμες τύπου flash και RAM, A/D μετατροπείς και ψηφιακά I/O σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα χαμηλού κόστους. Η επιλογή του μικροελεγκτή στηρίζεται επιπλέον σε παράγοντες, όπως η κατανάλωση ενέργειας, οι απαιτήσεις σε τάση λειτουργίας, το κόστος, ο χρόνος αφύπνισης και η ταχύτητα του.

Το υποσύστημα αισθητήρων παρέχει τη διεπαφή (interface) εκείνη που αναλαμβάνει τη μετατροπή των σημάτων του φυσικού κόσμου σε καταληπτή μορφή για τις ηλεκτρονικές συσκευές. Έτσι οι αισθητήρες μετατρέπουν μη ηλεκτρικές ή χημικές ποσότητες σε ηλεκτρικά σήματα. Η κινητήριος δύναμη η οποία έδωσε ώθηση στην τεχνολογία αισθητήρων είναι η αλματώδης εξέλιξη στην επεξεργασία σήματος και στη μικρομηχανική τεχνολογία. Κατά την επιλογή ενός αισθητήρα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι απαιτήσεις της εφαρμογής για την οποία θα αναπτυχθεί το δίκτυο, ο ρυθμός δειγματοληψίας του αισθητήρα, οι απαιτήσεις σε Voltage και σε ενέργεια.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά εξασφαλίζουν μια πληθώρα εφαρμογών για τα δίκτυα αισθητήρων. Κάποια από τα πεδία εφαρμογών που θα περιγραφούν και στη συνέχεια είναι στους τομείς της υγείας, του στρατού και της ασφάλειας. Επίσης ασύρματα δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή περιβαλλοντολογικών δεδομένων. Στην ουσία, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων παρέχουν στον τελικό χρήστη την πληροφορία για μια καλύτερη κατανόηση του περιβάλλοντος. Υπάρχει η προοπτική τα δίκτυα αυτά να αποτελέσουν στο μέλλον ένα καθημερινό στοιχείο της ζωής μας, ακόμα περισσότερο και από την σημερινή διείσδυση των προσωπικών υπολογιστών στη ζωή μας.

Οι περισσότερες από τις τεχνικές δρομολόγησης και οι εφαρμογές παρακολούθησης των δικτύων αισθητήρων απαιτούν την γνώση της θέσης με μεγάλη συνήθως ακρίβεια. Έτσι είναι σύνηθες για ένα αισθητήριο κόμβο να έχει προσαρτημένη και μια μονάδα εύρεσης θέσης. Μια μονάδα κίνησης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί

όταν απαιτείται να κινηθούν οι αισθητήριοι κόμβοι προκειμένου να παρακολουθήσουν καλύτερα το παρατηρούμενο φαινόμενο.

Όλες αυτές οι υπομονάδες πρέπει να μπορούν να χωρέσουν σε ένα χώρο μεγέθους σπιρτόκουτου. Το απαιτούμενο μέγεθος μπορεί να απαιτείται να είναι μικρότερο από ένα κυβικό εκατοστό και να είναι αρκετά ελαφρύ για να παραμένει αιωρούμενο στον αέρα. Εκτός από το μέγεθος, υπάρχουν ακόμα πιο αυστηροί περιορισμοί για τους αισθητήριους κόμβους, οι οποίοι είναι :

- Κατανάλωση εξαιρετικά χαμηλής ενέργειας.
- Λειτουργία ακόμα και σε πολύ πυκνή χωρική τοποθέτηση.
- Χαμηλό κόστος παραγωγής και αναγνωσιμότητα.
- Αυτονομία και να λειτουργία χωρίς παρακολούθηση.
- Προσαρμογή στο περιβάλλον που θα λειτουργούν.

1.2.8 Κόστος Παραγωγής

Τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων, το κόστος ενός μόνο αισθητήριου κόμβου είναι πολύ σημαντικό για ένα τέτοιο δίκτυο. Συνεπώς αν το κόστος του δικτύου είναι πιο ακριβό από το να εγκατασταθούν οι παραδοσιακοί αισθητήρες, τότε τα δίκτυα αισθητήρων δεν θα συμφέρουν οικονομικά. Αποτέλεσμα του παραπάνω είναι ότι το κόστος του κάθε αισθητήριου κόμβου πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο.

1.2.9 Συντήρηση δικτύου

Η λειτουργία της συντήρησης προσφέρει ανίχνευση αποτυχιών ή μείωση της απόδοσης του δικτύου, εκκινεί διαδικασίες διάγνωσης και επανορθώνει προβληματικές λειτουργίες. Χρησιμοποιείται σαν όρος σε δίκτυα WSN που έχουν τη δυνατότητα να αυτοπροσδιοριστούν, αυτοπροστατευτούν και επανέλθουν, χωρίς να είναι σημαντική η ανθρώπινη παρέμβαση. Η συντήρηση διακρίνεται στους ακόλουθους τύπους:

- Corrective, όπου το σύστημα προσαρμόζεται στις αλλαγές.
- Adaptive, στον τύπο αυτό το σύστημα οφείλει να προσαρμοστεί στις μεταβολές.
- Preventive, εδώ το σύστημα αναμένει την επίδραση των αλλαγών.
- Proactive, όπου το σύστημα πρέπει να επεμβαίνει την κατάλληλη στιγμή για την αποφυγή αρνητικών συμβάντων.

1.3 Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Μεγάλη κινητικότητα παρατηρείται τη σημερινή εποχή γύρω από τις εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρέχουν και των χαρακτηριστικών τους που τα κάνουν κατάλληλα για χρήση σε όλο και περισσότερους τομείς, όπου τα κλασσικά δίκτυα δεν μπορούν να ανταποκριθούν. Οι αισθητήρες έχουν άπειρες εφαρμογές και ελάχιστες πλέον συσκευές. Μερικά από τα επιστημονικά και βιομηχανικά πεδία στα οποία ενδείκνυται η χρήση των WSN, όπως παρουσιάζονται και στη **Εικόνα 1.3**, είναι:

- Οικιακοί αυτοματισμοί
- Περιβαλλοντικές Εφαρμογές
- Εφαρμογές υγείας και φαρμακευτικής
- Στρατιωτικές εφαρμογές



Εικόνα 1.3: Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

1.3.1 Οικιακοί αυτοματισμοί

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, έξυπνοι αισθητήριοι κόμβοι και μηχανισμοί κίνησης μπορούν να εμφυτευτούν σε συσκευές, όπως ηλεκτρικές σκούπες, φούρνοι μικροκυμάτων και ψυγεία. Αυτοί οι αισθητήριοι κόμβοι μπορούν να αλληλεπιδρούν ο ένας με τον άλλον καθώς και με ένα εξωτερικό δίκτυο μέσω του Διαδικτύου ή ενός δορυφόρου, επιτρέποντας στους τελικούς χρήστες να διαχειρίζονται τις οικιακές συσκευές τους από όπου βρίσκονται είτε τοπικά είτε απομακρυσμένα.

Ο σχεδιασμός ενός έξυπνου περιβάλλοντος μπορεί να έχει είτε μια ανθρωποκεντρική προοπτική είτε μια τεχνοκεντρική. Στην περίπτωση της ανθρωποκεντρικής προσέγγισης, ένα έξυπνο περιβάλλον πρέπει να προσαρμοστεί στις ανάγκες των τελικών χρηστών σε ότι αφορά στις δυνατότητες εισόδου και εξόδου. Ενώ στην τεχνοκεντρική προσέγγιση, νέες τεχνολογίες υλικού, δικτυακές λύσεις και ενδιάμεσες συσκευές πρέπει να αναπτυχθούν. Οι αισθητήριοι κόμβοι μπορούν να εμφυτευτούν στην επίπλωση και σε οικιακές συσκευές και μπορούν να επικοινωνούν ο ένας με τον άλλον καθώς και με τον εξυπηρετητή του δωματίου. Ο εξυπηρετητής δωματίου μπορεί επίσης να επικοινωνεί με εξυπηρετητές από άλλα δωμάτια για να μαθαίνει για τις υπηρεσίες που μπορούν να προσφέρουν π.χ. εκτύπωση, σάρωση και αποστολή και λήψη φαξ. Οι εξυπηρετητές αυτές των δωματίων μπορούν να ενσωματωθούν με υπάρχουσες εμφυτευμένες συσκευές ώστε να γίνουν αυτό-οργανωτικοί, αυτό-ρυθμιζόμενοι, και προσαρμοζόμενοι σε θεωρητικά μοντέλα.

Ένα άλλο παράδειγμα έξυπνου περιβάλλοντος είναι η «εργαστηριακή κατοικία» στο Ινστιτούτο τεχνολογίας της Georgia. Οι υπολογισμοί και η αίσθηση σε αυτό το περιβάλλον πρέπει να είναι αξιόπιστοι, συνεχείς και διαφανείς.

1.3.2 Περιβαλλοντικές εφαρμογές

Η παρατήρηση του περιβάλλοντος αποτελεί ένα από τα πρώτα και σημαντικότερα πεδία στα οποία βρίσκουν εφαρμογή τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Τα συστήματα αυτά έρχονται σε πολλές περιπτώσεις να αντικαταστήσουν αντίστοιχα ενσύρματα συστήματα, λόγω του χαμηλότερου κόστους τους και της ευελιξίας στην

εγκατάσταση και λειτουργία [5]

Μερικές από τις χαρακτηριστικότερες περιβαλλοντικές εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων αφορούν :

- Ανίχνευση πυρκαγιάς σε δάσος.
- Ανίχνευση πλημμύρας.
- Εφαρμογές στη γεωργία.

1.3.2.1 Ανίχνευση πυρκαγιάς σε δάσος

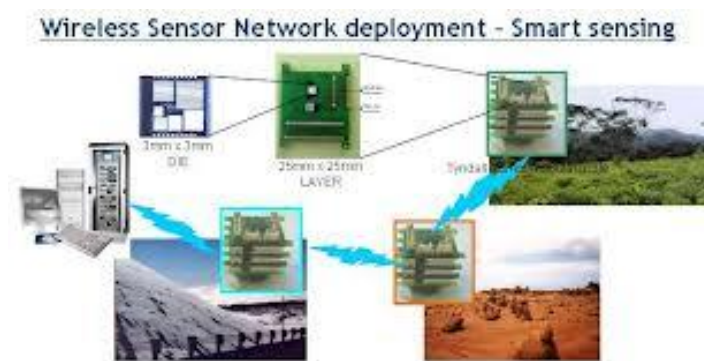
Οι κόμβοι που χρησιμοποιούνται μετράνε τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και επιπλέον μπορούν να αποφανθούν για τη θέση τους, είτε σε σχέση με τους γειτονικούς κόμβους, είτε σε απόλυτες συντεταγμένες. Αυτούς τους κόμβους τους διασκορπίζουμε από αέρος στο δάσος και συνεργατικά μπορούν να δημιουργήσουν τον χάρτη θερμοκρασίας του ή να υποδείξουν στους πυροσβέστες τα σημεία υψηλής θερμοκρασίας που έχουν εξωτερική πρόσβαση. Αν το δίκτυο έχει μεγάλη πυκνότητα κόμβων, τότε μπορούμε να εντοπίσουμε ακριβώς την εστία της πυρκαγιάς προτού προλάβει να εξαπλωθεί. Οι κόμβοι μπορούν να είναι εφοδιασμένοι με αποτελεσματικές τεχνικές συλλογής ενέργειας [6], όπως για παράδειγμα ηλιακούς συλλέκτες, για να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Απαραίτητη κρίνεται η συνεργασία των κόμβων στην αίσθηση και τη συλλογή δεδομένων, ώστε να έχουμε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα και να ξεπερνιούνται εμπόδια, όπως δέντρα και πέτρες.

1.3.2.2 Ανίχνευση πλημμύρας

Στις ΗΠΑ εφαρμόζεται ήδη το σύστημα ALERT για την ανίχνευση των πλημμύρων. Το σύστημα αποτελείται από αισθητήρες για τη βροχόπτωση, τη στάθμη του νερού και τον καιρό. Όλοι οι κόμβοι στέλνουν τα αντίστοιχα δεδομένα σε μια τελική βάση δεδομένων, όπου γίνεται η αξιολόγησή τους και η λήψη αποφάσεων.

1.3.2.3 Εφαρμογές στην γεωργία

Σε ότι αφορά τη γεωργία, μπορούμε να έχουμε ακριβή άρδευση και τοποθέτηση λιπάσματος με χρήση κόμβων που αισθάνονται την υγρασία και τη σύνθεση του εδάφους. Επιπλέον, τα WSNs παρακολουθούν τα επίπεδα των εντομοκτόνων στο πόσιμο νερό, της διάβρωσης του εδάφους και της μόλυνσης του αέρα σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, έχουμε εφαρμογή και στην εκτροφή ζώων, όπου κάθε ζώο φέρει έναν κόμβο αισθητήρων που παρατηρεί τα ζωτικά σημεία του (πχ θερμοκρασία σώματος, αριθμός βημάτων και άλλα) και ειδοποιεί σε περίπτωση υπέρβασης των προκαθορισμένων κατωφλίων (**Εικόνα 1.4**).



Εικόνα 1.4: Ασύρματα Δίκτυα αισθητήρων στο περιβάλλον.

1.3.3 Εφαρμογές υγείας και φαρμακευτικής

Στον τομέα της υγείας και της φαρμακευτικής, η χρήση των ασύρματων αισθητήρων είναι ξεχωριστή καθώς και δύσκολη, αφού σχετίζεται με το ανθρώπινο σώμα. Συνεπώς, εκτός της πολυπλοκότητας είναι αναγκαία και η εκμνησίση των όποιων επιπτώσεων από την εφαρμογή τους με αποτέλεσμα την πιο «αργή» ανάπτυξή του σε σχέση με τους άλλους τομείς.

Επίσης, στον τομέα της Ιατρικής δεν χρησιμοποιείται ο όρος WSNs αλλά ο όρος BSN (Body Sensor Area Network) ή pPAN (patient Personal Area Network) και αυτό συμβαίνει όχι μόνο λόγω της κατηγορίας των εφαρμογών, αλλά και επειδή υπάρχουν κάποιες διαφοροποιήσεις στα δίκτυα που σχετίζονται με τον τρόπο συγκρότησης, το υπό εξέταση αντικείμενό τους και τις ιδιότητές τους. Η ανάπτυξη των προσωπικών δικτύων που αφορούν στην τηλεϊατρική παρακολούθηση του ανθρώπινου σώματος είναι μία μεγάλη πρόκληση του μέλλοντος, καθώς το ανθρώπινο σώμα είναι επί της ουσίας ένα μικρής κλίμακας περιβάλλον και απαιτεί διάφορους τύπους παρακολούθησης και συχνοτήτων. Η χρήση αυτών των δικτύων επιτυγχάνει μέσω της τηλεϊατρικής την κατά το δυνατόν αποδέσμευση του ασθενούς-χρήστη από τους νοσοκομειακούς περιορισμούς. Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί ένα καλύτερο επίπεδο ζωής και πιο φθηνό κόστος ιατρικής περίθαλψης.

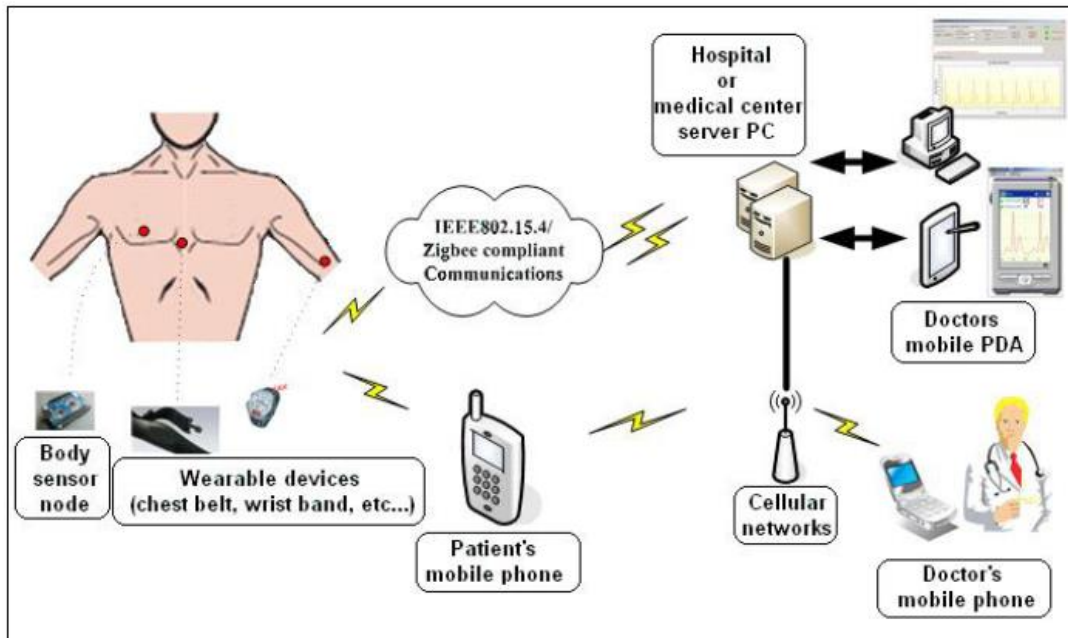
Ένα τυπικό Wireless Body Area Network (WBAN) αποτελείται από έναν αριθμό από οικονομικές, ελαφριές και μικροσκοπικές πλατφόρμες αισθητήρων, καθεμία από τις οποίες περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους φυσιολογικούς αισθητήρες, όπως αισθητήρες κίνησης, ηλεκτροκαρδιογραφήματα (ECG), ηλεκτρομυογραφήματα (EMG) και ηλεκτροεγκεφαλογραφήματα (EEG). Χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας τέτοιας εφαρμογής αποτελεί η περιπατητική (ambulatory) παρακολούθηση της δραστηριότητας του χρήστη. Οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στο σώμα σαν μικροσκοπικά, ευφυή αυτοκόλλητα, ενσωματωμένα στο ρουχισμό ή εμφυτευμένα κάτω από το δέρμα ή τους μύες.

Ένα Body Area Network (BAN) ορίζεται επίσημα από την IEEE 802.15 σαν «ένα» πρότυπο επικοινωνίας βελτιστοποιημένο για χαμηλής ισχύος συσκευές και λειτουργία πάνω, μέσα ή γύρω από το ανθρώπινο σώμα αλλά δεν περιορίζεται μόνο σε ανθρώπους. Με άλλα λόγια, ένα BAN είναι ένα σύστημα από συσκευές σε κοντινή γειτνίαση με το ανθρώπινο σώμα, που συνεργάζονται για το όφελος του χρήστη. Το WBAN ή BAN αποτελείται από κινητούς και σταθερούς διεπικοινωνούντες αισθητήρες, που μπορούν είτε να φορεθούν είτε να εμφυτευτούν στο ανθρώπινο σώμα και παρακολουθούν ζωτικές σωματικές παραμέτρους και κινήσεις. Αυτές οι συσκευές, οι οποίες επικοινωνούν με ασύρματες τεχνολογίες, εκπέμπουν δεδομένα από το σώμα σε έναν οικείο σταθμό βάσης, από όπου τα δεδομένα μπορούν να προωθηθούν σε ένα νοσοκομείο, κλινική ή οπουδήποτε αλλού, σε πραγματικό χρόνο (*Εικόνα 1.5*). Η τεχνολογία WBAN βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και ερευνάται ευρέως. Η τεχνολογία, από τη στιγμή που θα γίνει αποδεκτή και θα υιοθετηθεί, αναμένεται να αποτελέσει σημαντική εξέλιξη στην ιατρική περίθαλψη, οδηγώντας στην πραγματοποίηση των ιδεών της τηλεϊατρικής.

Μερικές από τις κατηγορίες των εφαρμογών που συναντώνται σήμερα και παραδείγματα που έχουν προταθεί από Πανεπιστήμια ή από διάφορες εταιρείες είναι:

- Επίβλεψη για την εξάπλωση ιού σε περιοχή προσβεβλημένη από τον ιό.
- Απομακρυσμένη κατ' οίκον παρακολούθηση σε περιπτώσεις χρόνιων παθήσεων ή ηλικιωμένων ατόμων.

- Χρήση BSN στην εντατική ή στην μετεγχειρητική περίοδο για την παρακολούθηση της πορείας του ασθενούς.
- Συστήματα καταγραφής κρίσιμων βιοσημάτων για την έγκαιρη και απομακρυσμένη παρακολούθηση έτσι ώστε να μπορούν να γίνουν αντιληπτές διάφορες ασθένειες ή δυσλειτουργίες και να επιτευχθεί η παρακολούθηση των ορίων κάποιων ουσιών στο ανθρώπινο σώμα.



Εικόνα 1.5: Εφαρμογές στον τομέα της υγείας, για την παρακολούθηση των ασθενών.

1.3.4 Στρατιωτικές εφαρμογές

Η γρήγορη τοποθέτηση, η ιδιότητα αυτό-οργάνωσης των κόμβων αισθητήρων, καθώς και η ανοχή στα σφάλματα, είναι τα βασικά χαρακτηριστικά των WSNs που τα καθιστούν ιδανικά για στρατιωτικές εφαρμογές. Ορισμένες τέτοιες εφαρμογές είναι:

- Παρακολούθηση συμμαχικών δυνάμεων, στρατιωτικού εξοπλισμού και πυρομαχικών. Κάθε στρατιώτης, όχημα, εξοπλισμός και πυρομαχικό μπορεί να εφοδιάζεται με ένα κόμβο αισθητήρων ώστε να μπορούν οι ανώτεροι να είναι ενήμεροι ανά πάσα στιγμή για τη διαθεσιμότητά τους.
- Παρακολούθηση πεδίου μάχης. Κάθε κρίσιμο πεδίο μάχης, καθώς και οι διαδρομές πρόσβασης στα στρατόπεδα μπορούν να παρακολουθούνται μέσω κόμβων αισθητήρων, ώστε να είναι άμεσα αντιληπτές οι κινήσεις των εχθρικών δυνάμεων.
- Στόχευση. Οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να ενσωματωθούν στα συστήματα οδήγησης των έξυπνων πυρομαχικών.
- Αποτίμηση ζημιάς μάχης. Μετά το πέρας μιας μάχης, μπορεί να εγκατασταθεί ένα WSN στην περιοχή, το οποίο θα συλλέξει δεδομένα σχετικά με τις ζημιές.
- Ανίχνευση και αναγνώριση πυρηνικής, βιολογικής και χημικής επίθεσης. Σε περίπτωση βιολογικής και χημικής επίθεσης έχει μεγάλη σημασία για την έγκαιρη και έγκυρη ενημέρωση, η ύπαρξη πληροφοριών από το σημείο της επίθεσης. Τα WSNs μπορούν να λειτουργήσουν σαν συστήματα ανίχνευσης τέτοιων επιθέσεων, συμβάλλοντας έτσι στην ασφάλεια των πολιτών. Επίσης,

μπορούν να αναγνωρίσουν το είδος της επίθεσης, ώστε να μη χρειαστεί να πάει ειδική επανδρωμένη ομάδα και καθιστούν έτσι δυνατή την καλύτερη οργάνωση της αντιμετώπισής της.

1.3.5 Άλλες εφαρμογές

Έλεγχος μεταφορών και συγκοινωνιών: Η αξιοποίηση των WSN μπορεί να συμβάλει στον τομέα των μεταφορών και συγκοινωνιών. Τα δίκτυα των αισθητήρων μπορούν να ελέγχουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την κυκλοφορία των οχημάτων και των έξυπνων λεωφόρων ώστε να προωθηθεί η ασφαλής οδήγηση, να μειωθούν τα ατυχήματα και να ελέγχονται τα όρια ταχύτητας. Η συνεργασία των δικτύων GPS για τα οχήματα με τον εξοπλισμού WSN, είναι ικανή να οδηγήσει στην υλοποίηση πολλών χρήσιμων εφαρμογών για το χρήστη, όπως η αυτόματη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των μεμονωμένων οχημάτων για διάφορες συνθήκες, όπως τις συνθήκες οδήγησης και περιβάλλοντος, που πρωτοσυναντά ο προπορευόμενος.

Έξυπνα κτίρια: Τα κτίρια σπαταλάνε μεγάλα ποσά ενέργειας λόγω κακής ρύθμισης του συστήματος θέρμανσης, ψύξης και ανακύκλωσης του αέρα. Με τη βοήθεια των WSN μπορούμε να παρατηρούμε σε πραγματικό χρόνο και να ρυθμίζουμε τη θερμοκρασία, την υγρασία, τη ροή του αέρα και άλλες παραμέτρους, ώστε να διευκολύνεται η καθημερινότητα των ενοίκων και να ελαττωθεί η κατανάλωση της ενέργειας. Επίσης, μπορούμε με κατάλληλους αισθητήρες να παρατηρούμε και τη μηχανική αντοχή κτιρίων που βρίσκονται σε σεισμογενείς περιοχές. Μετρώντας διάφορες μηχανικές παραμέτρους μέσω ενός WSN μπορούμε να διαπιστώσουμε αν είναι ασφαλές να εισέλθουμε στο κτίριο μετά από σεισμό ή αν το κτίριο πρόκειται να καταρρεύσει.

Παρακολούθηση μηχανημάτων και προληπτική συντήρηση: Η βασική ιδέα σε αυτή την περίπτωση είναι η τοποθέτηση κόμβων σε απομακρυσμένα μηχανήματα ή μηχανικά μέρη που δεν είναι εύκολα προσβάσιμα. Αυτοί οι κόμβοι θα ανιχνεύουν συγκεκριμένα μοτίβα δονήσεων που υποδηλώνουν την ανάγκη συντήρησης.

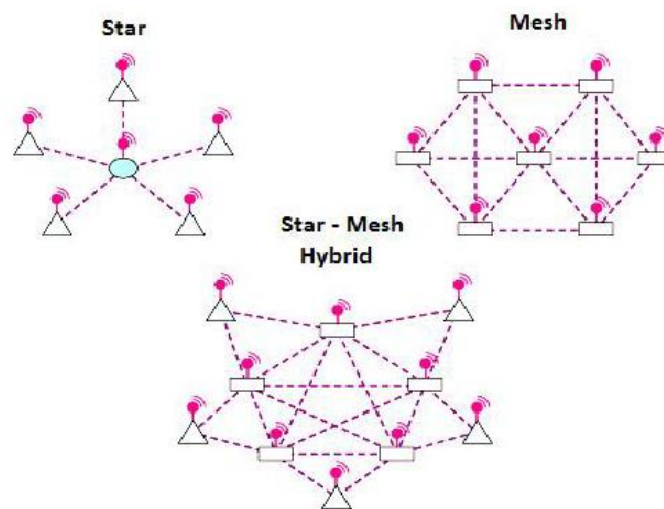
Παρακολούθηση αποθήκης: Εφοδιάζοντας κάθε προϊόν της αποθήκης με κόμβο αισθητήρων μπορούμε να έχουμε άμεση ενημέρωση για το απόθεμα του συγκεκριμένου προϊόντος, αλλά και της θέσης του στην αποθήκη. Με αυτό τον τρόπο γίνεται πιο εύκολη η οργάνωση και η εποπτεία της αποθήκης.

1.4 Τοπολογία Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Οι κόμβοι – αισθητήρες που απαρτίζουν ένα WSN χωρίζονται σε πηγές (sources) και αποδέκτες (sinks). Ως πηγή θεωρείται κάθε συσκευή που συμμετέχει στο δίκτυο παρέχοντας πληροφορίες, ενώ αποδέκτης η συσκευή που ζητά πληροφορίες. Συνεπώς, σε κάθε WSN όλοι οι κόμβοι αποτελούν πηγές, ενώ υπάρχουν τρεις εναλλακτικές όσον αφορά τον αποδέκτη. Μία περίπτωση είναι ο αποδέκτης να είναι ένας κόμβος του δικτύου, όπως οι υπόλοιποι, ενώ μία άλλη περίπτωση είναι ο αποδέκτης να είναι μία οντότητα που είναι εκτός του δικτύου των αισθητήρων, όπως για παράδειγμα ένας φορητός υπολογιστής, ο οποίος αλληλεπιδρά με το δίκτυο αναζητώντας πληροφορίες όταν είναι απαραίτητο. Η τρίτη περίπτωση είναι ο αποδέκτης να έχει το ρόλο μιας διεξόδου (gateway), ο οποίος προωθεί τις πληροφορίες σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο. Οι κόμβοι του WSN, πηγές και αποδέκτες, μπορούν να συνδυαστούν για το σχηματισμό τριών ειδών τοπολογίας:

- τοπολογία star, η οποία αποτελείται από ένα κεντρικό αποδέκτη και περιφερειακούς κόμβους - πηγές τοποθετημένους γύρω του.

- τοπολογία peer-to-peer (mesh), όπου ένας κόμβος-πηγή έχει τη δυνατότητα να επικοινωνήσει με κάθε γείτονά του, σε αντίθεση με την τοπολογία αστέρα. Εδώ, όλοι οι κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους ακόμη και αν δε βρίσκονται εντός εμβέλειας, χρησιμοποιώντας multi-hop μηνύματα και να υπάρχουν περισσότεροι του ενός αποδέκτες.
- τοπολογία star - mesh (υβριδική - hybrid), όπου ο κεντρικός αποδέκτης υπάρχει, αλλά το δίκτυο εξαπλώνεται σε μορφή δέντρου, όπου τα κλαδιά του είναι κόμβοι - πηγές που παίζουν το ρόλο τοπικών συντονιστών και κόμβοι - φύλλα (end - points) που λειτουργούν όπως στην τοπολογία αστέρα. Ακόμη, το δίκτυο έχει σαφή ιεράρχηση των κόμβων σε αντίθεση με την τοπολογία peer-to-peer όπου το δίκτυο είναι ομότιμο. **(Εικόνα 1.6)**



Εικόνα 1.6: Είδη τοπολογιών Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.

Είναι προφανές λοιπόν ότι η ύπαρξη ενός μεγάλου αριθμού κόμβων-αισθητήρων με δύσκολη την πρόσβαση και παρακολούθησή τους απαιτεί τον έλεγχο της τοπολογίας. Η τοπολογία βέβαια εξαρτάται από μη ελεγχόμενους παράγοντες, όπως ο θόρυβος, οι παρεμβολές και ο καιρός, αλλά και από ελεγχόμενους παράγοντες, όπως η ενέργεια εκπομπής και η κατευθυντικότητα της κεραίας. Η πυκνότητα ενός δικτύου αισθητήρων μπορεί να φθάνει και τους 20 κόμβους ανά κυβικό μέτρο, κάτι που σίγουρα δυσκολεύει ακόμα περισσότερο τη διαχείριση της τοπολογίας. Έτσι, η διατήρηση της τοπολογίας του δικτύου αισθητήρων εξετάζεται σε τρεις φάσεις:

1.4.1 Φάση πριν την εγκατάσταση

Οι αισθητήριοι κόμβοι μπορούν είτε να διασπαρθούν μαζικά είτε να τοποθετηθούν ένας-ένας στο χώρο. Μπορούν να εγκατασταθούν με τους εξής τρόπους :

- Να πεταχτούν από ένα αεροπλάνο
- Να βρίσκονται σε ένα βλήμα πυροβολικού το οποίο εκρήγνυται και τους διασπείρει στην περιοχή.
- Να ριφθούν με ένα καταπέλτη π.χ. από το κατάστρωμα ενός πλοίου.
- Να τοποθετηθούν ένας – ένας από ένα άνθρωπο ή ένα ρομπότ.

Αν και ο μεγάλος αριθμός των αισθητήρων καθώς και η χωρίς παρακολούθηση εγκατάστασή τους συνήθως περιλαμβάνει την τοποθέτησή τους σύμφωνα με ένα

προσεχτικά μελετημένο σχέδιο, η αρχική εγκατάσταση πρέπει να πληρή κάποια κριτήρια :

- Μείωση του κόστους εγκατάστασης.
- Εξαφάνιση της ανάγκης για οποιαδήποτε προ-οργάνωση ή προ-σχεδιασμό.
- Αύξηση της ευελιξίας τοποθέτησης.
- Προώθηση της αυτό-οργάνωσης και της αντοχής σε σφάλματα.

1.4.2 Φάση μετά την εγκατάσταση

Μετά την εξάπλωση, οι αλλαγές στην τοπολογία οφείλονται σε αλλαγές στους αισθητήριους κόμβους, όπως :

- Θέση.
- Δυνατότητα επικοινωνίας.
- Διαθέσιμη ενέργειας.
- Δυσλειτουργία.
- Λεπτομέρειες στο σκοπό για τον οποίο εγκαταστάθηκαν.

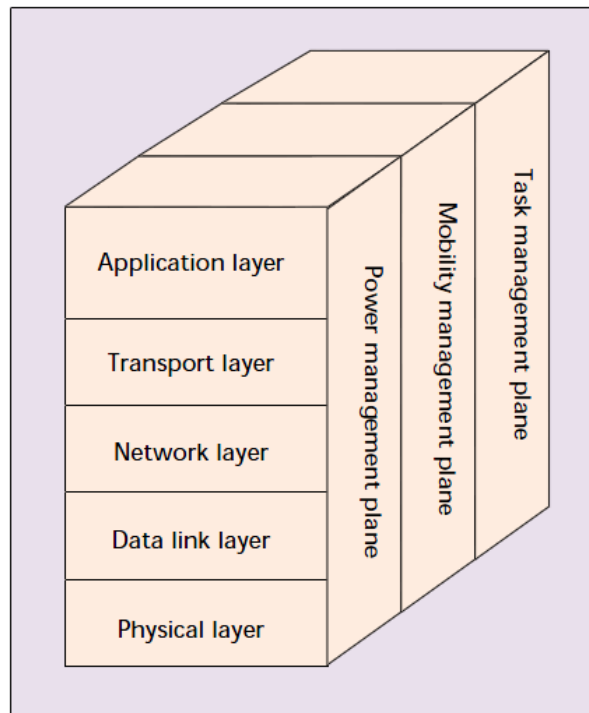
Οι αισθητήριοι κόμβοι μπορούν να εγκατασταθούν και στατικά. Οι αποτυχίες είναι ένα σύνθητες φαινόμενο λόγω έλλειψης ενέργειας ή καταστροφής. Είναι επίσης πιθανό να έχουμε δίκτυα αισθητήρων των οποίων οι κόμβοι συνεχώς κινούνται. Εκτός από τα προβλήματα τα οποία είναι φυσικό να αντιμετωπίζουν εξαιτίας των χαρακτηριστικών τους είναι δυνατόν ακόμα να έχουμε και δολιοφθορές. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι οι τοπολογίες των δικτύων αισθητήρων να υπόκεινται σε συχνές αλλαγές.

1.4.3 Φάση τοποθέτησης επιπλέον κόμβων

Επιπλέον κόμβοι είναι δυνατόν να εγκατασταθούν οποιαδήποτε χρονική στιγμή για να αντικαταστήσουν τους κόμβους που παρουσιάζουν δυσλειτουργίες ή λόγω αλλαγών στον αρχικό σκοπό για τον οποίο εγκαταστάθηκαν. Η πρόσθεση νέων κόμβων στο δίκτυο δημιουργεί την ανάγκη για επαναδιοργάνωση. Προκειμένου να αντιμετωπίσουμε τις συχνές αλλαγές στην τοπολογία ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, το οποίο αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων με μεγάλους περιορισμούς στην κατανάλωση ενέργειας χρειαζόμαστε ειδικά σχεδιασμένα πρωτόκολλα δρομολόγησης.

1.5 Αρχιτεκτονική στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Η αρχιτεκτονική του δικτύου των ασύρματων αισθητήρων απαιτεί την ύπαρξη, έστω και σε απλουστευμένη μορφή, ενός φυσικού επιπέδου (Physical Layer), ενός υπο-επιπέδου MAC και ενός επιπέδου ζεύξης (Link Layer) πρωτοκόλλων. *(Εικόνα 1.7)*



Εικόνα 1.7: Τα επίπεδα layers στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων.

1.5.1 Το Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer)

Το φυσικό επίπεδο είναι υπεύθυνο για την επιλογή της συχνότητας, την παραγωγή συχνότητας μετάδοσης, την ανίχνευση σήματος, τη διαμόρφωσή του και για την κρυπτογράφηση των δεδομένων.

Η διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση του ψηφιακού σήματος εκτελείται από τον πομποδέκτη και δεν πρέπει να είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη προκειμένου να υλοποιείται από hardware χαμηλού κόστους και κατανάλωσης με όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα.

Για τη μετάδοση των σημάτων, ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται τεχνικές εξάπλωσης φάσματος, οι οποίες ονομάζονται έτσι επειδή το βασικό στοιχείο της λειτουργίας τους έγκειται στο γεγονός ότι οι εκπεμπόμενες κυματομορφές καταλαμβάνουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης (bandwidth) από ότι πραγματικά χρειάζεται για τη μετάδοση των δεδομένων. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται για διάφορους λόγους και ο βασικότερος θεωρείται ότι είναι η μείωση των παρεμβολών από άλλα σήματα, καθώς το σήμα δεν μεταδίδεται σε μια μόνο συχνότητα. Άλλοι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς τέτοιες τεχνικές είναι η ασφάλεια από υποκλοπές του σήματος, η αντίσταση στην εξασθένηση του σήματος, καθώς και η δυνατότητα χρήσης του μέσου από πολλές συσκευές ταυτόχρονα (multiple access).

1.5.2 Το Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων (Data Link Layer)

Το πρωτόκολλο του επιπέδου ζεύξης χρησιμοποιείται προκειμένου να μεταφέρει ένα δεδομενόγραμμα ή πακέτο επάνω σε μία ζεύξη. Ορίζει τη μορφή των πακέτων που ανταλλάσσονται ανάμεσα στους κόμβους, στα άκρα της ζεύξης, καθώς και τις ενέργειες που γίνονται από αυτούς τους κόμβους όταν στέλνουν και λαμβάνουν αυτά τα πακέτα. Οι μονάδες δεδομένων που ανταλλάσσονται από ένα πρωτόκολλο

επιπέδου ζεύξης ονομάζονται πλαίσια (frames) και συνεπώς οι ενέργειες που γίνονται από αυτά τα πρωτόκολλα κατά την αποστολή και λήψη τους είναι η ανίχνευση σφάλματος, η αναμετάδοση, ο έλεγχος ροής και η τυχαία πρόσβαση. Το πρωτόκολλο αυτό σε ένα ασύρματο multi-hop και αυτο-οργανούμενο δίκτυο αισθητήρων, έχει ως στόχους τη δημιουργία της υποδομής του δικτύου και το δίκαιο και αποδοτικό διαχωρισμό των πόρων επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων του δικτύου.

Οι δύο γνωστές μέθοδοι για τον έλεγχο σφαλμάτων (error control) είναι η εμπροσθόδοτη (χωρίς επαλήθευση) διόρθωση σφάλματος (Forward Error Correction-FEC) και ο έλεγχος σφαλμάτων με αυτόματη αίτηση επανάληψης (Automatic Repeat Request-ARQ). Η χρησιμότητα του ARQ σε multi-hop δίκτυα αισθητήρων είναι περιορισμένη από το επιπλέον κόστος ενέργειας αναμετάδοσης και το overhead. Από την άλλη, η πολυπλοκότητα αποκωδικοποίησης του FEC είναι μεγαλύτερη αφού απαιτείται η ενσωμάτωση ικανοτήτων error control. Λαμβάνοντας αυτό υπόψη, οι απλοί κώδικες error control με μικρή πολυπλοκότητα κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης παρουσιάζονται ως οι καλύτερες λύσεις στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

1.5.3 Το Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)

Οι τεχνικές δρομολόγησης των «παραδοσιακών» ad - hoc συνήθως δεν ταιριάζουν στις απαιτήσεις των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Μια από τις αρμοδιότητες του Network Layer είναι να παρέχει διασύνδεση με εξωτερικά δίκτυα (πχ. άλλα δίκτυα αισθητήρων ή το διαδίκτυο).

Το επίπεδο αυτό των δικτύων αισθητήρων σχεδιάζεται με ορισμένες αρχές:

- Πρέπει να διαχειρίζεται αποδοτικά τα διαθέσιμα ποσά ενέργειας τους.
- Πρέπει να είναι δεδομένο - κεντρικό (data-centric).
- Η συνάθροιση των δεδομένων είναι χρήσιμη μόνο όταν δεν εμποδίζεται η συνεργασία μεταξύ των κόμβων αισθητήρων.
- Σε ένα ιδανικό δίκτυο αισθητήρων, οι διευθύνσεις των κόμβων είναι βασισμένες στην ιδιότητα (attribute - based) με αποτέλεσμα οι κόμβοι να μη γνωρίζουν την ακριβή τοποθεσία τους.

Τα ενεργειακά – αποδοτικά (energy-efficient) δρομολόγια αναζητούνται είτε με βάση τη διαθέσιμη εναπομένουσα ενέργεια σε κάθε κόμβο (available power - PA), είτε με την ενέργεια που απαιτείται για τη μετάδοση των δεδομένων μέσω των δρομολογίων.

Οι πιο γνωστοί αλγόριθμοι για την επιλογή του πιο αποδοτικού δρομολογίου όσον αφορά την ενέργεια είναι:

- Maximum PA route: επιλέγεται το δρομολόγιο το οποίο έχει τη μεγαλύτερη συνολική εναπομένουσα ενέργεια, η οποία υπολογίζεται με το άθροισμα της εναπομένουσας ενέργειας του κάθε κόμβου ο οποίος ανήκει στο συγκεκριμένο δρομολόγιο.
- Minimum energy (ME) route: επιλέγεται το δρομολόγιο το οποίο απαιτεί την ελάχιστη ενέργεια για τη μεταφορά των πακέτων μεταξύ των κόμβων.
- Minimum hop route (MH): επιλέγεται το δρομολόγιο το οποίο θα έχει τον ελάχιστο αριθμό hops μέχρι το κόμβο που θα λάβει τα δεδομένα.
- Maximum minimum PA note route: επιλέγεται το δρομολόγιο του οποίου η ελάχιστη εναπομένουσα ενέργεια θα είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη εναπομένουσα ενέργεια των υπολοίπων δρομολογίων.

1.5.4 Το Επίπεδο Μεταφοράς (Transport Layer)

Το επίπεδο αυτό είναι χρήσιμο κυρίως όταν το σύστημα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μπορεί να έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο ή σε άλλα εξωτερικά δίκτυα. Μια προσέγγιση παρόμοια με αυτήν του TCP μπορεί να φανεί χρήσιμη για την επικοινωνία με άλλου είδους δίκτυα, όπως το διαδίκτυο. Η επικοινωνία μεταξύ κόμβων του δικτύου δεν μπορεί να υποστηριχθεί με πρωτόκολλα των οποίων η προσέγγιση είναι παρόμοια με του πρωτοκόλλου TCP, λόγω της περιορισμένης μνήμης που διαθέτουν οι κόμβοι αισθητήρων.

1.5.5 Το Επίπεδο Εφαρμογών (Application Layer)

Αν και έχουν ερευνηθεί πολλές περιοχές εφαρμογών για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, δεν συμβαίνει το ίδιο με την έρευνα των πρωτοκόλλων για το επίπεδο εφαρμογής, με αποτέλεσμα ο αριθμός αυτών των πρωτοκόλλων να είναι περιορισμένος. Μερικά από τα πρωτόκολλα αυτού του επιπέδου που ερευνούνται είναι:

- Sensor Management Protocol (SMP)
- Task Assignment and Data advertisement Protocol (TADAP)
- Sensor Query and Data Dissemination Protocol (SQDDP)

Κεφάλαιο 2: Smart Cities

2.1 Εισαγωγή

Η παγκοσμιοποίηση, με τα μέτρα για την απελευθέρωση του εμπορίου και με τις ραγδαίες τεχνολογικές αλλαγές, δημιούργησε μεταβολές των σχέσεων παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης, έχοντας πολύ σημαντικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη της πόλης [7]. Μαζί με την πρόοδο αυτή, ιδιωτικές επιχειρήσεις του τομέα των υπηρεσιών, αλλά ακόμα και του παραγωγικού τομέα είναι όλο και πιο ασταθής και ευέλικτες.. Εκτός από τις τεχνολογικές αλλαγές, είναι και η διαδικασία της ευρωπαϊκής ολοκλήρωσης, η οποία μειώνει τις διαφορές στις οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές προδιαγραφές και πρότυπα και, ως εκ τούτου, προσφέρει μια κοινή αγορά. Η συνεχιζόμενη μείωση των διαφορών και των φραγμών μεταξύ των εθνών καθιστά τις πόλεις παρόμοιες όσον αφορά τις προϋποθέσεις τους. Οι πόλεις της Ευρώπης αντιμετωπίζουν την πρόκληση του συνδυασμού της ανταγωνιστικότητας και της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης ταυτόχρονα. Αυτή η πρόκληση είναι πιθανό να έχουν αντίκτυπο σε θέματα αστικής ποιότητας, όπως η στέγαση, η οικονομία και ο πολιτισμός, επίσης κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες αλλάζουν το προφίλ μιας πόλης και την αστική ποιότητα στη σύνθεση των παραγόντων και των χαρακτηριστικών.

Ο σκοπός του έργου αφορά μεσαίου μεγέθους πόλεις και τις προοπτικές τους για ανάπτυξη. Μεσαίου μεγέθους πόλεις, οι οποίες πρέπει να αντιμετωπίσουν τον ανταγωνισμό από τις μεγαλύτερες μητροπόλεις, φαίνεται να είναι λιγότερο καλά εξοπλισμένες από πλευράς πόρων και την οργάνωση της παραγωγικής ικανότητας.

Οι πόλεις αυτές έχουν μεγάλη επίδραση στην οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας, που είναι η "πλατφόρμα", όπου πολλοί άνθρωποι ζουν και εργάζονται. Είναι φυσικό λοιπόν ότι οι ΤΠΕ (Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών) να διαδραματίζουν ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στη ζωή των ανθρώπων τόσο στους ιδιωτικούς, όσο και στους δημόσιους φορείς που αποτελούν μέρος μιας πόλης.

2.2 Η έννοια της “έξυπνης πόλης”

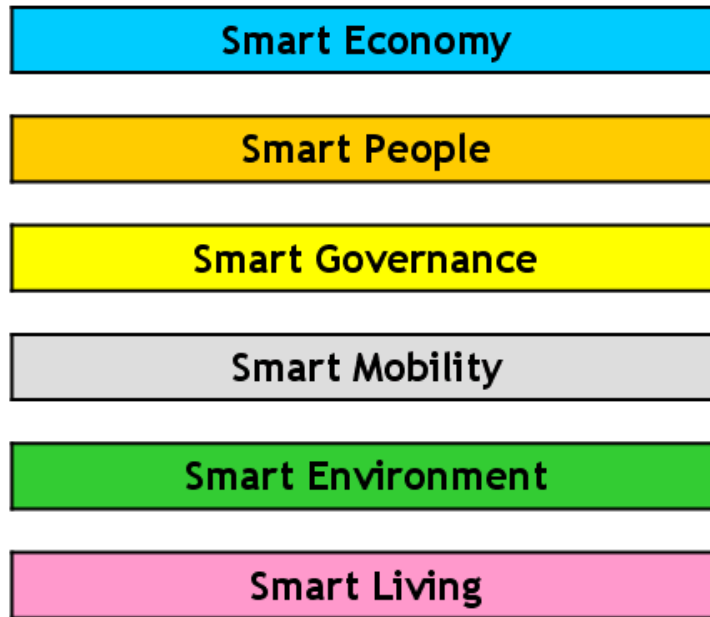
Η έννοια Smart City, ή αλλιώς “έξυπνη πόλη” κερδίζει ολοένα και μεγαλύτερη σημασία ως ένα μέσο για να καταστήσει διαθέσιμες όλες τις υπηρεσίες και εφαρμογές που βασίζονται στις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνίας (ΤΠΕ) για τους πολίτες, τις επιχειρήσεις και τις αρχές που αποτελούν μέρος του συστήματος μιας πόλης. Στοιχείο στην αύξηση της ποιότητας της ζωής των πολιτών και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ποιότητας των υπηρεσιών που παρέχονται από τους φορείς και τις επιχειρήσεις. Η προοπτική αυτή απαιτεί ένα ολοκληρωμένο όραμα μιας πόλης και των υποδομών της, σε όλες τις συνιστώσες της, και εκτείνεται πέρα από την απλή «ψηφιοποίηση» των πληροφοριών και των επικοινωνιών, καθώς ενσωματώνει και μια σειρά από διαστάσεις που δεν έχουν σχέση με την τεχνολογία, π.χ. οι κοινωνικές και πολιτικές. Γενικά, δεν είναι χρήσιμο να εστιάζεται η απόδοση μόνο μίας πτυχής προς ανάπτυξη σε μια πόλη. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της προσέγγισής μας είναι η αξιολόγηση των χαρακτηριστικών μιας μεσαίου μεγέθους πόλης, σχετικά με μια μακρόπνοη ανάπτυξη με βάση ένα συνδυασμό τοπικών συνθηκών και δραστηριοτήτων που διεξάγονται από την πολιτική, τις επιχειρήσεις και τους κατοίκους.

Ο όρος “έξυπνη πόλη” γίνεται αντιληπτός ως μια ορισμένη ικανότητα μιας πόλης και όχι εστιάζοντας σε συγκεκριμένα ζητήματα. Η περαιτέρω ανάλυση του ορισμού

απαιτεί τον εντοπισμό ορισμένων χαρακτηριστικών για την αξιολόγηση. Αν και ο όρος “έξυπνη πόλη” δεν είναι πολύ διαδεδομένος ακόμα στη βιβλιογραφία του χωροταξικού σχεδιασμού ή της αστικής έρευνας, είναι δυνατόν να εντοπιστούν διάφορες πτυχές ως βάση για περαιτέρω επεξεργασία. Από βιβλιογραφικές έρευνες, ο όρος δεν χρησιμοποιείται με ολιστικό τρόπο περιγράφοντας μια πόλη με ορισμένα χαρακτηριστικά, αλλά χρησιμοποιείται για διάφορες πτυχές που κυμαίνονται από Smart Cities-περιοχή ως IT (Information Technology)-περιοχή για μια “έξυπνη πόλη” σχετικά με την εκπαίδευση (ή την εξυπνάδα) των κατοίκων της. Παρακάτω συνοψίζονται οι διάφορες πτυχές.

Σε συνεργασία με την οικονομία ή τις θέσεις εργασίας που αφορούν τις “έξυπνες πόλεις”, χρησιμοποιείται η περιγραφή μιας πόλης ως “έξυπνη βιομηχανία”. Αυτό συνεπάγεται ιδίως τις βιομηχανίες στους τομείς των τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ), καθώς και άλλες βιομηχανίες που συνεπάγονται ΤΠΕ στις παραγωγικές διαδικασίες τους. Επίσης, η ονομασία “έξυπνη πόλη” χρησιμοποιείται και για επιχειρηματικά πάρκα. Χρήση του όρου “έξυπνη πόλη” χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση των κατοίκων της. Μια έξυπνη πόλη έχει συνεπώς “έξυπνους κατοίκους” όσον αφορά το μορφωτικό τους επίπεδο. Σε άλλες βιβλιογραφίες ο όρος “έξυπνη πόλη” αναφέρεται στη σχέση μεταξύ της κυβέρνησης της πόλης και των πολιτών της. Η “καλή” διακυβέρνηση ως πτυχή μιας “έξυπνης διοίκησης” συχνά αναφέρεται στη χρήση νέων διαύλων επικοινωνίας με τους πολίτες, π.χ. «Ηλεκτρονική διακυβέρνηση» ή «ηλεκτρονική δημοκρατία». Η έννοια της “έξυπνης πόλης” χρησιμοποιείται επιπλέον στην εξήγηση της χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας στην καθημερινή ζωή της πόλης. Αυτό περιλαμβάνει όχι μόνο τις ΤΠΕ, αλλά κυρίως, σύγχρονες τεχνολογίες μεταφορών. Νέα συστήματα μεταφορών που βελτιώνουν την αστική κυκλοφορία και την κινητικότητα των κατοίκων χαρακτηρίζονται ως “έξυπνα συστήματα”.

Συνοψίζοντας, υπάρχουν πολλά πεδία δραστηριότητας που περιγράφονται στη βιβλιογραφία σε σχέση με τον όρο “έξυπνη πόλη”: τη βιομηχανία, την εκπαίδευση, τη συμμετοχή, την τεχνική υποδομή, κλπ. . Επιτέλους μπορούμε να προσδιορίσουμε έξι χαρακτηριστικά (**Εικόνα 2.1**), ως οροφή για την περαιτέρω ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων που θα πρέπει να ενσωματώνουν τα πορίσματα αλλά και να επιτρέπουν την ένταξη πρόσθετων παραγόντων.

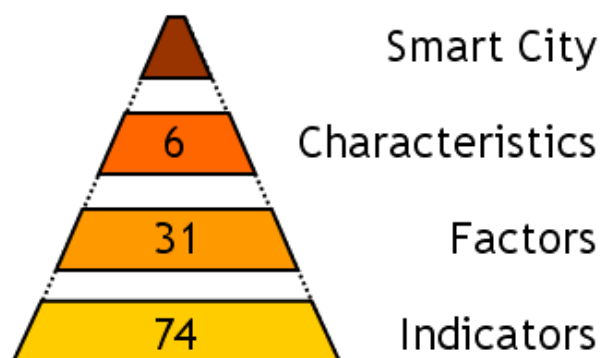


Εικόνα 2.1 Χαρακτηριστικά "έξυπνης πόλης"

Αναφορικά με τα προηγούμενα συμπεραίνουμε ότι μια "έξυπνη πόλη" βραχυπρόθεσμα θα είναι μια πόλη ιδιαίτερα αποδοτική στα χαρακτηριστικά της *Εικόνα 2.1*.

2.3 Λειτουργικότητα "έξυπνης πόλης"

Για να περιγράψει μια "έξυπνη πόλη" και τα έξι χαρακτηριστικά της, είναι αναγκαίο να αναπτυχθεί μία διαφανής και εύκολη ιεραρχικά δομή, όπου κάθε επίπεδο περιγράφεται από τα αποτελέσματα του κάτω επιπέδου. Κάθε χαρακτηριστικό ορίζεται συνεπώς από έναν αριθμό παραγόντων. Επιπλέον, κάθε παράγοντας περιγράφεται από έναν αριθμό δεικτών. Οι παράγοντες που ορίστηκαν σε διάφορα εργαστήρια έχουν πάντα ως συνολικό στόχο, την έξυπνη ανάπτυξη της πόλης. Τέλος, επιλέχτηκαν 33 παράγοντες για να περιγραφούν τα έξι αυτά χαρακτηριστικά. Δύο παράγοντες, η "Ικανότητα μετατροπής" (Ability to transform) και "πολιτικές στρατηγικές και προοπτικές" (Political strategies & perspectives) οι οποίοι δεν ήταν δυνατό να λάβουν επαρκή δεδομένα αυτή τη στιγμή. Συνεπώς, παρέμειναν 31 παράγοντες για την κατάταξή τους. Ωστόσο, για την περαιτέρω ταξινόμηση, σας προτείνουμε να συμπεριλάβετε και να επεξεργαστεί επίσης αυτούς τους δύο παράγοντες, όπως φαίνεται να είναι σημαντικοί για την ολοκλήρωση του μοντέλου.



Εικόνα 2.2 Δόμηση της ανάλυσης

Η **Εικόνα 2.3** παρουσιάζει τα έξι χαρακτηριστικά και ορισμένους συντελεστές τους. Η “έξυπνη Οικονομία” περιλαμβάνει παράγοντες σε όλη την ανταγωνιστικότητα της οικονομίας, όπως η καινοτομία, η επιχειρηματικότητα, τα εμπορικά σήματα, την παραγωγικότητα και την ευελιξία της αγοράς εργασίας, καθώς και την ένταξη στην εθνική αγορά. “Εξυπνοι άνθρωποι” δεν είναι η περιγραφή του επιπέδου των προσόντων ή της εκπαίδευσης των πολιτών, αλλά η συμπεριφορά και η ποιότητα των κοινωνικών αλληλεπιδράσεων όσον αφορά την ένταξη και τη δημόσια ζωή και το άνοιγμα προς τον “έξωτερικό” κόσμο. “Εξυπνη διακυβέρνηση” περιλαμβάνει πτυχές της πολιτικής συμμετοχής, υπηρεσίες για τους πολίτες, καθώς και τη λειτουργία της διοίκησης. Τοπική και διεθνή προσβασιμότητα αποτελούν σημαντικές πτυχές της “έξυπνης κινητικότητας”, καθώς και η διαθεσιμότητα των τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) και των σύγχρονων βιώσιμων συστημάτων μεταφορών. Το “έξυπνο περιβάλλον” περιγράφεται από ελκυστικές φυσικές συνθήκες (κλίμα, χώρους πρασίνου κ.λπ.), τη ρύπανση, τη διαχείριση των πόρων, αλλά και από τις προσπάθειες για την προστασία του περιβάλλοντος. Τέλος, ο “έξυπνος τρόπος ζωής” περιλαμβάνει διάφορες πτυχές της ποιότητας της ζωής, όπως τον πολιτισμό, την υγεία, την ασφάλεια, τη στέγαση, τον τουρισμό κλπ.

SMART ECONOMY (Competitiveness) - Innovative spirit - Entrepreneurship - Economic image & trademarks - Productivity - Flexibility of labour market - International embeddedness - Ability to transform	SMART PEOPLE (Social and Human Capital) - Level of qualification - Affinity to life long learning - Social and ethnic plurality - Flexibility - Creativity - Cosmopolitanism/Open-mindedness - Participation in public life	SMART GOVERNANCE (Participation) - Participation in decision-making - Public and social services - Transparent governance - Political strategies & perspectives
SMART MOBILITY (Transport and ICT) - Local accessibility (Inter-)national accessibility - Availability of ICT-infrastructure - Sustainable, innovative and safe transport systems	SMART ENVIRONMENT (Natural resources) - Attractivity of natural conditions - Pollution - Environmental protection - Sustainable resource management	SMART LIVING (Quality of life) - Cultural facilities - Health conditions - Individual safety - Housing quality - Education facilities - Touristic attractivity - Social cohesion

Εικόνα 2.3 Χαρακτηριστικά και παράγοντες μιας "έξυπνης πόλης"

2.4 Μεθοδολογία επιλογής “έξυπνης πόλης”

Όπως αναφέρεται σε προηγούμενη ενότητα έχουμε επικεντρωθεί σε μεσαίου μεγέθους πόλεις. Ωστόσο, δεν υπάρχει κοινός ορισμός ενός μεσαίου μεγέθους πόλης. Για τη μελέτη αυτή επιλέξαμε να κατανοήσουμε σε ποιες πόλεις αναφερόμαστε όταν λέμε “μεσαίου μεγέθους πόλεις”. Αντιληπτές ως “δεύτερες πόλεις”, πόλεις που δεν έχουν αναγνωρίζεται κατά κύριο λόγο πολύ καλά σε ευρωπαϊκή κλίμακα, αλλά συχνά είναι ζωτικής σημασίας σε εθνική και περιφερειακή κλίμακα. Ως αφετηρία επιλέξαμε την επικέντρωση σε πόλεις με πληθυσμό μεταξύ 100.000 και 500.000 κατοίκους. Να υπάρχει τουλάχιστον ένα πανεπιστήμιο, για την εξαίρεση πόλεων με αδύναμη βάση γνώσης. Και τέλος η πόλη επιλογής θα πρέπει να αποτελείται από συγκεκριμένη επιφάνεια, ώστε να γίνεται εξαίρεση των πόλεων που κυριαρχείται από μια μεγαλύτερη πόλη. Η πιο περιεκτική επισκόπηση των πόλεων ή των λειτουργικών αστικών περιοχών (FUA) στην Ευρώπη παρέχει η Espon 1.1.1 [8] μελέτη που περιλαμβάνει περίπου 1.600 επιχειρήσεις στην Ευρώπη [9].

2.5 Αποτελέσματα και διάδοση

Σύμφωνα με τα παραπάνω επιλέχθηκε ένα δείγμα 70 πόλεων και την κατάταξή τους σε μια ιεραρχία “έξυπνων πόλεων”.

2.5.1 Απόδοση 70 “έξυπνων πόλεων”

Στην τελική κατάταξη, σκανδιναβικές πόλεις και πόλεις από το Μπενελούξ και την Αυστρία κατατάσσονται στην πρώτη ομάδα. Επίσης η Μονπελιέ και η Λιουμπλιάνα έχουν επιτύχει υψηλές βαθμολογίες. Οι πόλεις που βρίσκονται χαμηλότερα επίπεδα είναι κυρίως τα νέα κράτη μέλη της ΕΕ. Ακόμα, εμφανίζονται κάποιες διαφορές όσον αφορά τα έξι χαρακτηριστικά που αναφέραμε στην ενότητα 2.3. Τη καλύτερη βαθμολογία στην “έξυπνη οικονομία” έχουν πάρει οι πόλεις του Λουξεμβούργου, της Μεγάλης Βρετανίας, της Ιρλανδίας και της Δανίας, καθώς και το Αϊντχόφεν, το Ρέγκενσμπουργκ, η Λιουμπλιάνα και η Λίντς.

Οι πόλεις με το μοτίβο “έξυπνοι άνθρωποι” οδηγείται από σκανδιναβικές και ολλανδικές πόλεις και το Λουξεμβούργο.

Σκανδιναβικές και αυστριακές πόλεις επιτύχανε πολύ καλή βαθμολογία στην “έξυπνη Διακυβέρνηση”.

“Εξυπνη κινητικότητα” είναι πολύ καλή σε πόλεις από το Μπενελούξ και τη Δανία.

Το μοτίβο του “έξυπνου περιβάλλοντος” είναι αρκετά διαφορετικό από τη συνολική βαθμολογία. Η Γαλλία, η Σλοβενία και ελληνικές πόλεις, καθώς και η Τιμισοάρα έχουν επιτύχει υψηλές βαθμολογίες.

Το έκτο χαρακτηριστικό, “έξυπνος τρόπος ζωής”, έχει κατατάσσει πρώτες την Αυστρία, το Βελγίο και δύο φινλανδικές πόλεις, καθώς και το Λουξεμβούργο και την Ουμέα.

Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει τη σύνθεση της συνολικής αξιολόγησης με βάση τα χαρακτηριστικά για κάθε πόλη. Όσο πιο σκούρο είναι το χρώμα, τόσο πιο κοντά στο μοτίβο της “έξυπνης πόλης” βρίσκεται η περιοχή αυτή. Επιτρέπει, επίσης, μια πρώτη αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων και των αδυναμιών ορισμένων πόλεων ή ομάδων δήμων.



Εικόνα 2.4 Δείγματα 70 πόλεων και αποτελέσματα αναφοράς

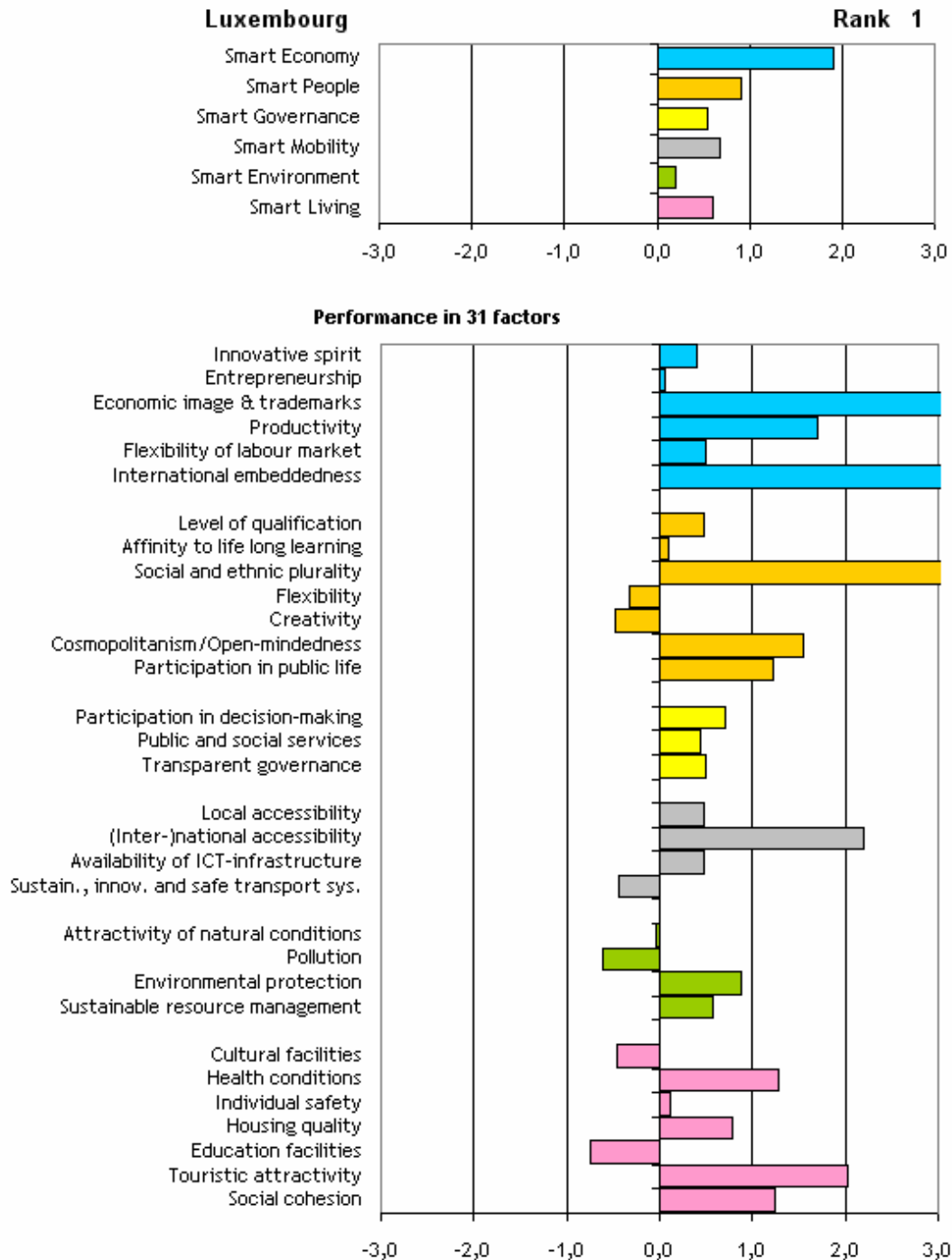
cc	city	Smart Economy	Smart People	Smart Governance	Smart Mobility	Smart Environment	Smart Living	total
LU	LUXEMBOURG	1	2	13	6	25	6	1
DK	AARHUS	4	1	6	9	20	12	2
FI	TURKU	16	8	2	21	11	9	3
DK	AALBORG	17	4	4	11	26	11	4
DK	ODENSE	15	3	5	5	50	17	5
FI	TAMPERE	29	7	1	27	12	8	6
FI	OULU	25	6	3	28	14	19	7
NL	EINDHOVEN	6	13	18	2	39	18	8
AT	LINZ	5	25	11	14	28	7	9
AT	SALZBURG	27	30	8	15	29	1	10
FR	MONTPELLIER	30	23	33	24	1	16	11
AT	INNSBRUCK	28	35	9	8	40	3	12
AT	GRAZ	18	32	12	17	31	5	13
NL	NIJMEGEN	24	14	14	3	51	24	14
NL	GRONINGEN	14	9	15	20	37	13	15
BE	GENT	19	16	31	7	48	4	16
SI	LJUBLJANA	8	11	43	31	3	29	17
NL	MAASTRICHT	26	18	17	1	43	14	18
SE	JOENKOEPIG	36	10	7	34	22	26	19
BE	BRUGGE	23	20	29	18	44	2	20
NL	ENSCHDEDE	31	17	16	4	35	23	21
DE	GOETTINGEN	11	34	20	12	15	31	22
SE	UMEAA	39	5	10	36	46	10	23
DE	REGENSBURG	9	40	27	19	38	22	24
FR	DIJON	38	29	22	26	9	25	25
FR	NANCY	41	31	23	25	10	20	26
DE	TRIER	21	44	19	10	18	33	27
FR	CLERMONT-FERRAND	33	33	26	29	7	27	28
FR	POITIERS	48	37	28	33	8	15	29
SI	MARIBOR	49	21	37	40	2	32	30
IE	CORK	2	26	25	45	66	21	31
DE	ERFURT	32	47	21	13	21	45	32
DE	MAGDEBURG	47	50	35	22	17	39	33
DE	KIEL	45	45	48	16	23	38	34
HR	ZAGREB	34	24	32	39	36	42	35
UK	CARDIFF	13	39	44	38	60	30	36
UK	LEICESTER	3	42	49	32	64	40	37
UK	PORTSMOUTH	7	38	47	35	63	43	38
UK	ABERDEEN	10	28	42	42	67	35	39
EE	TARTU	40	15	30	47	49	60	40
ES	PAMPLONA	22	48	39	51	32	41	41
CZ	PLZEN	43	49	61	30	54	28	42
ES	VALLADOLID	44	53	34	54	24	46	43
CZ	USTI NAD LABEM	54	51	55	23	55	36	44
IT	TRENTO	20	57	24	65	30	48	45
PT	COIMBRA	52	63	54	49	16	37	46
SK	NITRA	62	46	51	52	19	44	47
PL	RZESZOW	69	19	53	41	56	50	48
IT	TRIESTE	12	61	40	67	45	57	49
ES	OVIEDO	37	55	38	44	68	34	50
IT	ANCONA	35	59	36	68	34	49	51
IT	PERUGIA	42	54	41	66	42	51	52
PL	BIALYSTOK	67	22	59	56	47	55	53
SK	KOSICE	66	43	50	48	53	52	54
RO	TIMISOARA	50	64	64	62	4	59	55
SK	BANSKA BYSTRICA	70	41	52	53	58	47	56
PL	BYDGOSZCZ	68	27	57	46	52	61	57
GR	PATRAI	59	58	46	60	5	67	58
LT	KAUNAS	55	36	66	55	27	65	59
GR	LARISA	61	60	45	63	6	66	60
HU	GYOR	46	68	62	37	41	63	61
PL	SZCZECIN	65	52	58	43	59	56	62
RO	SIBIU	57	65	60	64	13	62	63
PL	KIELCE	63	56	56	57	62	54	64
HU	PECS	56	62	65	58	65	53	65
LV	LIEPAJA	60	12	63	61	61	70	66
HU	MISKOLC	58	67	67	50	70	58	67
RO	CRAIOVA	64	66	68	70	33	64	68
BG	PLEVEN	51	70	69	69	57	69	69
BG	RIUSE	53	69	70	59	69	68	70

Εικόνα 2.5 Τελικά αποτελέσματα και οι καλύτερες επιδόσεις στα χαρακτηριστικά της “έξυπνης πόλης”

2.5.2 Προφίλ των πόλεων

Η ανάλυση των χαρακτηριστικών επιτρέπει ήδη ένα ευρύ περίγραμμα των δυνατών και αδύνατων σημείων των πόλεων που περιλαμβάνονται. Ωστόσο, μια πιο λεπτομερή ανάλυση είναι αναγκαία, διότι η απόδοση εντός των αντιστοίχων

χαρακτηριστικών ή ακόμη και εντός παραγόντων μπορεί να ποικίλλει. Η διαφανής δομή της κατάταξης-προσέγγισης επιτρέπει μια γρήγορη εικόνα για τα χαρακτηριστικά και τους παράγοντες, παρέχοντας λεπτομερή προφίλ της πόλης. Το παρακάτω γράφημα δείχνει ένα λεπτομερές προφίλ του Λουξεμβούργου που κατατάσσεται στην πρώτη θέση στην τελική κατάταξη (**Εικόνα 2.6**) .



Εικόνα 2.6 Το προφίλ του Λουξεμβούργου

Το Λουξεμβούργο έχει σε κάθε ένα από τα έξι χαρακτηριστικά βαθμολογία άνω του μέσου όρου. Ειδικά στην “έξυπνη οικονομία” είναι, πολύ πάνω από το μέσο όρο του συνόλου των 70 πόλεων. Παρόλα αυτά, ακόμη και σε αυτό το χαρακτηριστικό

μπορούμε να δούμε μια διαφορετική εικόνα, όταν ζουμε στο επίπεδο των παραγόντων.

Τρεις παράγοντες, η οικονομική εικόνα (economic image), η εικόνα της παραγωγικότητας (productivity) και της διεθνούς εμπέδωσης (international embeddedness) είναι εξαιρετικοί και έχουν αξιολογηθεί, ενώ τα άλλα τρία είναι λίγο πιο πάνω από τον μέσο όρο. Εντός του επιπέδου του συντελεστή των προσόντων το Λουξεμβούργο επιτυγχάνει μια σχετικά αδύναμη αξιολόγηση ως κέντρο γνώσης – μέσω ενός δείκτη που περιγράφει την ποιότητα των ερευνητικών κέντρων και πανεπιστημίων σε ευρωπαϊκή κλίμακα. Από την άλλη πλευρά, οι πολίτες του Λουξεμβούργου έχουν γλωσσικές δεξιότητες (τουλάχιστον μία ξένη γλώσσα), πολύ πάνω από το μέσο όρο. Η ανάλυση σχετικά με το επίπεδο των δεικτών παρέχει πιο λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με συγκριτικές επιδόσεις μιας πόλης.

Τα πιο σημαντικά αποτελέσματα είναι διαθέσιμα στην ιστοσελίδα www.smartcities.eu. Με την εφαρμογή σε απευθείας σύνδεση βάση δεδομένων, είναι δυνατόν να πάρετε μια άποψη σχετικά με τα στοιχεία των 70 πόλεων και τα συγκριτικά πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες τους για το επίπεδο των χαρακτηριστικών και των παραγόντων.

2.6 Υλοποίηση των Έξυπνων πόλεων

Οι ακόλουθες μελέτες δείχνουν το εύρος των “έξυπνων πόλεων” σε παγκόσμιο επίπεδο και η ανάδειξη των δυνατοτήτων της έξυπνης προσέγγισης της πόλης [10].

2.6.1 Smart Santander

Στοχεύει στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη της πόλης Σανταντέρ σε περιβάλλον που θα αποτελείται από αισθητήρες, ενεργοποιητές, κάμερες και οθόνες για να προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες στους πολίτες. Η εφαρμογή πραγματοποιείται με 750 Waspmote (για τα οποία θα μιλήσουμε και θα αναπτύξουμε στο επόμενο κεφάλαιο) που έχουν αναπτυχθεί για την παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων, όπως ο θόρυβος, η θερμοκρασία, φωτεινότητα και το CO₂ (μονοξείδιο του άνθρακα)

Η πόλη της Santander χωρίστηκε σε 22 διαφορετικές ζώνες. Από κάθε ζώνη μπορούμε να συλλέξουμε τα δεδομένα από τους αισθητήρες και ο αριθμός των αισθητήρων εξαρτάται από την περιοχή που πρόκειται να καλύψει. Κάθε ζώνη έχει διαφορετικές παραμέτρους δικτύου, δημιουργώντας ανεξάρτητα δίκτυα που λειτουργούν σε διαφορετικά κανάλια συχνότητας για να μην αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Η εφαρμογή (**Εικόνα 2.7**) δημιούργησε έναν χάρτη διαδρομής για να βλέπουμε τις διαφορετικές τιμές που επιστρέφουν οι αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο. Με αυτό τον τρόπο, οι πολίτες μπορούν να συμβουλευούνται τις περιβαλλοντικές συνθήκες γύρω τους.



Εικόνα 2.7 Χάρτης που παρουσιάζει τη θερμοκρασία και τη φωτεινότητα

2.6.2 Σχέδιο έξυπνης πόλης στη Σερβία για την περιβαλλοντική παρακολούθηση με τη δημόσια συγκοινωνία

Το EcoBus σύστημα έχει αναπτυχθεί σε συνεργασία με την Ericsson, [11] η οποία έχει αναπτυχθεί στις πόλεις του Βελιγραδίου και Πάντσεβο. Το EcoBus χρησιμοποιεί δημόσια οχήματα μεταφοράς (**Εικόνα 2.8**) και παρακολουθεί μια σειρά περιβαλλοντικών παραμέτρων σε μεγάλη έκταση, καθώς και για την παροχή πρόσθετων πληροφοριών για τον τελικό χρήστη, όπως η θέση των λεωφορείων και την εκτιμώμενη ώρα άφιξης σε στάσεις λεωφορείων.



Εικόνα 2.8 EcoBus

Το EcoBus προτείνει μια μοναδική στον κόσμο πόλη με πειραματική εγκατάσταση έρευνας για τη στήριξη των τυπικών εφαρμογών και υπηρεσιών για μια έξυπνη πόλη. Το έργο χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του Future Internet Research and Experimentation (FIRE) προγράμματος. Αυτή η μοναδική πειραματική εγκατάσταση θα είναι αρκετά μεγάλη, ανοιχτή και ευέλικτη για να επιτρέψει τη συνεργασία και με άλλες πειραματικές εγκαταστάσεις και διεγείρει την ανάπτυξη νέων εφαρμογών από τους χρήστες των διαφόρων τύπων. Το έργο προβλέπει την ανάπτυξη 20.000 αισθητήρες σε διάφορες ευρωπαϊκές πόλεις όπως το Βελιγράδι και το Πάντσεβο (Σερβία).

2.6.3 Σχέδιο έξυπνης πόλης στη Σαλαμάνκα για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και Αστικής Κυκλοφορίας

Κύριος στόχος είναι να επιτευχθεί η βιώσιμη διαχείριση της κυκλοφορίας στην πόλη της Σαλαμάνκα με τη χρήση δύο στοιχείων: διάχυτη ποιότητα αέρα του δικτύου αισθητήρων, καθώς και τα μοντέλα πρόβλεψης. Η διάχυτη ποιότητα αέρα του δικτύου αισθητήρων αυτή τη στιγμή δοκιμάζεται στην πόλη της Σαλαμάνκα (Ισπανία), όπου το αναμενόμενο θετικό αντίκτυπο στη μείωση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης βελτιώνει την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, αλλά και την περικοπή των επιπτώσεων της ρύπανσης σε μνημείων παγκόσμιας κληρονομιάς.

Το πρόγραμμα συλλέγει στοιχεία για να αποδείξει ότι, με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες που βρίσκονται σε όλη την πόλη, παρέχοντας πλήρες ωράριο και γεωγραφική κάλυψη σε χαμηλό κόστος, οι δήμοι μπορούν να επιτύχουν αποτελεσματικά ένα τρόπο καλύτερης αστικής διαχείρισης της κυκλοφορίας στις μεγάλες ευρωπαϊκές πόλεις.

2.6.4 Ανίχνευση δασικών πυρκαγιών κάνοντας χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Το καλοκαίρι του 2007, υπήρχαν πάνω από 80 άτομα που έχασαν τη ζωή τους στην Ελλάδα και 670.000 στρέμματα (2.711 km²) που κάηκαν εξαιτίας των πυρκαγιών. Το ίδιο έτος, στην Καλιφόρνια, 500.000 στρέμματα (2.027 km²) καταστράφηκαν από τις φλόγες, προκαλώντας τουλάχιστον 14 θανάτους.

Εκτός από τα προληπτικά μέτρα, η έγκαιρη ανίχνευση των πυρκαγιών είναι ο μόνος τρόπος για να ελαχιστοποιηθούν οι ζημιές και απώλειες.

Έχει λοιπόν αναπτυχθεί ένα σύστημα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών που χρησιμοποιούν τα προϊόντα της Libelium. Η καλυπτόμενη περιοχή είναι περίπου 210 εκτάρια στην περιοχή της Βόρειας Ισπανίας, η οποία περιλαμβάνει τις κοινότητες της Αστουρίας και της Γαλικίας. Ο στόχος είναι να προσφέρει σε διάφορες οργανώσεις της περιβαλλοντικής παρακολούθησης τη δυνατότητα να έχει γρήγορη διαχείριση της κατάστασης και την παροχή έγκαιρης προειδοποίησης συναγερμού.

Κεφάλαιο 3: Σχεδιασμός της εφαρμογής

3.1 Γενικά

Η βιομηχανοποίηση και η αύξηση του πληθυσμού στις αστικές περιοχές έχουν ως αποτέλεσμα την οικονομική ανάπτυξη αυτών, αλλά και την επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Η αστική ρύπανση αποτελεί ένα σημαντικό και πολύπλοκο πρόβλημα, μέρος της οποίας είναι οι αέριοι ρύποι. Οι κύριες πηγές των ρύπων είναι η βιομηχανία, οι ανθρώπινες δραστηριότητες και η κυκλοφορία των οχημάτων. Βασιζόμενοι σε αυτή την πραγματικότητα αποφασίσαμε να υλοποιήσουμε μια εφαρμογή που έχει ως στόχο την καταγραφή βασικών ρύπων και την ασύρματη μετάδοσή τους, μέσα από ένα δίκτυο αισθητήρων και την περαιτέρω επεξεργασία τους.

Στις ακόλουθες παραγράφους περιγράφονται τα τμήματα από τα οποία αποτελείται η εφαρμογή καθώς και ο τρόπος σύνδεσής τους.

3.2 Περιγραφή του υλικού (Hardware) της εφαρμογής

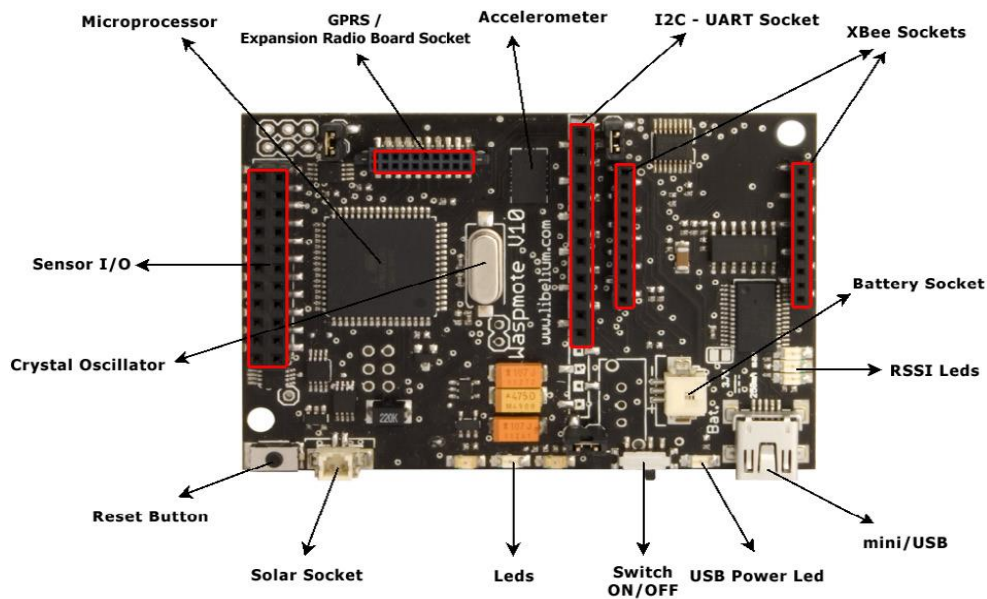
Για την υλοποίηση των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε εξοπλισμός που κατασκευάζεται από την Libelium και αποτελείται από τα ακόλουθα:

3.2.1 Wasmote



Εικόνα 3.1 Wasmote

Το Wasmote βασίζεται σε μια δομοστοιχειακή αρχιτεκτονική (modular architecture). (*Εικόνα 3.1*) Επίσης στην *Εικόνα 3.2* βλέπουμε τα κύρια συστατικά της επάνω πλευράς του Wasmote και στην *Εικόνα 3.3* τα συστατικά της κάτω πλευράς.



Εικόνα 3.2 Επάνω πλευρά του Wasp mote

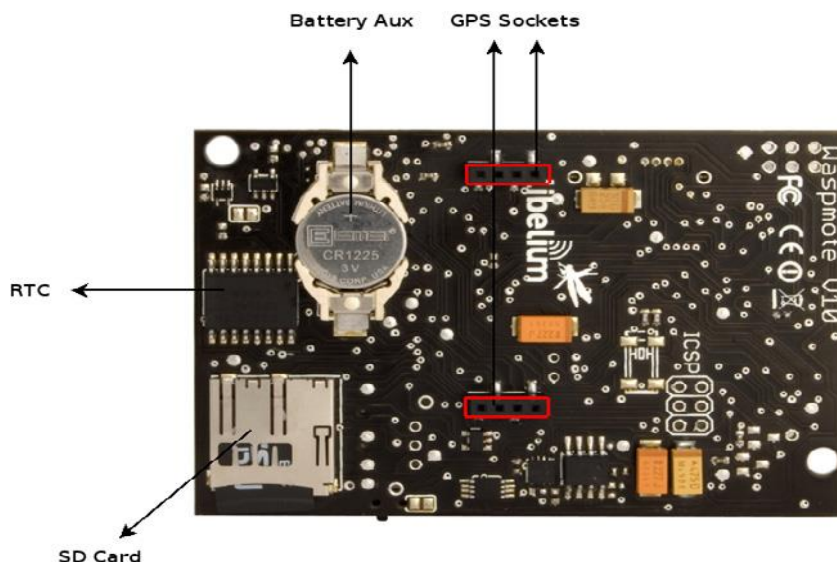
Η βασική ιδέα είναι να ενσωματώνει μόνο τις μονάδες που απαιτούνται σε κάθε συσκευή, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορούν να επέλθουν αλλαγές ή επεκτάσεις όπου υπάρχει ανάγκη.

Οι μονάδες που διατίθενται για την ένταξη στο Wasp mote κατηγοριοποιούνται σε:

- ZigBee 802.15.4 modules (2,4GHz, 868MHz, 900MHz). Χαμηλής και υψηλής ισχύος.
- GSM-3G/GPRS Module (Quad band:850MHz/900MHz/1800MHz/1900MHz)
- GPS Module
- Μονάδα αποθήκευσης : Κάρτα μνήμης SD-card.
- Sensor Modules (Πλακέτες αισθητήρων)

Χαρακτηριστικά του Wasp mote

- Μικροεπεξεργαστής: AT mega1281
- Συχνότητα: 8MHz
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- FLASH: 128KB
- SD κάρτα μνήμης: 2GB
- Βάρος: 20gr
- Διαστάσεις: 73.5 x 51 x 13 mm
- Εύρος θερμοκρασίας: [-20°C, +65°C]



Εικόνα 3.3 Κάτω πλευρά του Wasp mote

Επίσης το Wasp mote έχει ενσωματωμένο ρολόι πραγματικού χρόνου - RTC, το οποίο κρατά ενήμερο το χρόνο. Αυτό επιτρέπει το Wasp mote να προγραμματιστεί έτσι ώστε να εκτελεί δράσεις σε συγκεκριμένο χρόνο και να λειτουργεί στη μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας με τρόπους αδρανοποίησης. [10]

Εκτός από το RTC το Wasp mote έχει ενσωματωμένο και επιταχυνσιόμετρο. Το οποίο έχει την ικανότητα να μετρά δυνάμεις επιτάχυνσης. Αυτές οι δυνάμεις μπορεί να είναι στατικές, όπως είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, ή δυναμικές όταν προκαλούνται – προέρχονται από αλλαγές στην ταχύτητα ή στην διεύθυνση της κίνησης. Μπορεί να υπολογίζει την θέση του Wasp mote στον χώρο, καθώς και την στάση και ταχύτητα αυτού με πολύ μεγάλη ακρίβεια, παράμετροι που είναι απολύτως απαραίτητοι για την λειτουργία, παραδείγματος χάρη του αυτόματου πιλότου και την ναυσιπλοΐα αεροπλάνων πλοίων και υποβρυχίων.

3.2.1.1 ZigBee 802.15.4

Το Wasp mote ενσωματώνει την Digi XBee μονάδα για την επικοινωνία στις ζώνες ISMB (Industrial Scientific Medical Band). Οι μονάδες αυτές επικοινωνούν με τον μικροελεγκτή χρησιμοποιώντας την θύρα UART_0 με ταχύτητα 38400bps.

Υπάρχουν 7 πιθανές μονάδες XBee που διανέμονται από τη Libellium για την ένταξή τους στο Wasp mote (**Πίνακας 1**).

Model	Protocol	Frequency	txPower	Sensitivity	Range *
XBee-802.15.4	802.15.4	2.4GHz	1mW	-92dB	500m
XBee-802.15.4-Pro	802.15.4	2.4GHz	100mW	-100dBm	7000m
XBee-ZB	ZigBee-Pro	2.4GHz	2mW	-96dBm	500m
XBee-ZB-Pro	ZigBee-Pro	2.4GHz	50mW	-102dBm	7000m
XBee-868	RF	868MHz	315mW	-112dBm	12km
XBee-900	RF	900MHz	50mW	-100dBm	10Km
XBee-XSC	RF	900MHz	100mW	-106dBm	12Km

* Line of sight and 5dBi dipole antenna

Πίνακας 1 XBee modules

Οι μονάδες αυτές έχουν επιλεγεί για την υψηλή ευαισθησία λήψης και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για να είναι συμβατές με το 802.15.4 (XBee-802.15.4 μοντέλο) και με το ZigBee Pro-v2007 (XBee-ZB μοντέλο). Επίσης τα XBee που έχουν ενσωματωθεί στο Wasmote περιλαμβάνουν RPSMA κεραία σύνδεσης.

Το μοντέλο που έχουμε επιλέξει για το πείραμά μας είναι το XBee-802.15.4 Pro. **(Εικόνα 3.4)** Και έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

Module	Frequency	TX power	Sensitivity	Channels	Distance
Normal	2,40 – 2,48GHz	1mW	-92dBm	16	500m
PRO	2,40 – 2,48GHz	63.1mW	-100dBm	13	7000m

Πίνακας 2 Διαφορές μεταξύ XBee 802.15.4 και XBee 805.15.4 Pro



Εικόνα 3.4 XBee 802.15.4 Pro

Σύνδεση με Gateway

Αυτή η συσκευή επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων που ρέει μέσα από το δίκτυο αισθητήρων σε έναν υπολογιστή ή συσκευή με μια τυπική θύρα USB. Το Wasmote Gateway θα λειτουργεί ως “γέφυρα δεδομένων ή το σημείο πρόσβασης” μεταξύ του δικτύου αισθητήρων και του εξοπλισμού λήψης. **(Εικόνα 3.5)** Αυτός ο εξοπλισμός λήψης θα είναι υπεύθυνος για την αποθήκευση και τη χρήση των δεδομένων που λαμβάνονται ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες της εφαρμογής.

Ο εξοπλισμός λήψης μπορεί να είναι ένας υπολογιστής με Linux, Windows ή Mac - OS, ή οποιαδήποτε συσκευή συμβατή με το πρότυπο σύνδεσης USB. Η πύλη προσφέρει ένα “βύσμα” USB (mini USB) ως υποδοχή σύνδεσης, έτσι ώστε η συσκευή λήψης πρέπει να έχει μια υποδοχή USB.

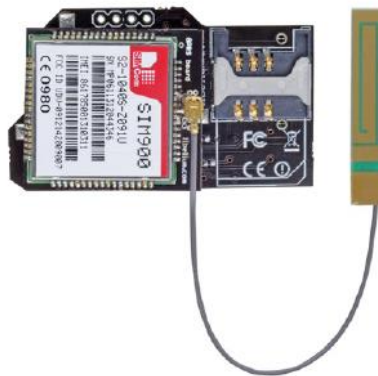
Όταν το Gateway έχει εγκατασταθεί σωστά, μέσω του X-CTU προγράμματος, μια νέα σειριακή θύρα (port) επικοινωνίας που συνδέει άμεσα το UART με το XBee module εμφανίζεται στην παραλαβή του εξοπλισμού, η οποία επιτρέπει στο XBee να επικοινωνεί απευθείας με τη συσκευή και είναι σε θέση να λαμβάνουν και οι δύο πακέτα δεδομένων από το δίκτυο αισθητήρων. Μια άλλη σημαντική λειτουργία που αξίζει να σημειωθεί είναι η δυνατότητα της αυτόματης ανανέωσης ή αλλαγή του firmware της μονάδας του XBee.



Εικόνα 3.5 Waspote Gateway

3.2.1.2 GSM-3G/GPRS Module

Το Waspote μπορεί να ενσωματώσει μία GSM (Global System for Mobile communications) / GPRS (General Packet Radio Service) μονάδα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. **(Εικόνα 3.6)**



Εικόνα 3.6 GPRS Module

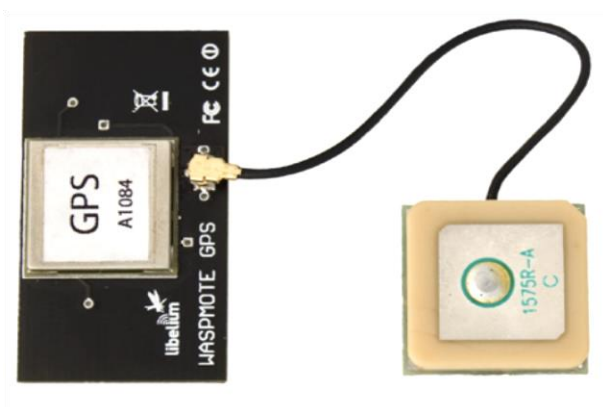
Χαρακτηριστικά του GPRS Module

- Μοντέλο: SIM900 (SIMCom)
- Quad band: 850MHz/900MHz/1800MHz/1900MHz
- TX Ισχύς: 2W (Class 4) 850MHz/900MHz 1W (Class 1) 1800MHz/1900MHz
- Ευαισθησία: -109dBm
- Σύνδεση κεραίας: UFL
- Εξωτερική κεραία: 0dBi

Με την παραπάνω ενότητα συνδεδεμένη στο Waspote μπορεί να γίνει πραγματοποίηση / λήψη κλήσεων, αποστολή / λήψη μηνυμάτων, μία, αλλά και πολλαπλές συνδέσεις TCP / IP και UDP / IP client, HTTP υπηρεσία και FTP Service (κατέβασμα και ανέβασμα αρχείων).

3.2.1.3 GPS Module

Το Wasmote μπορεί να ενσωματώσει ένα δέκτη GPS στην υποδοχή του GPS (GPS Socket), με τον οποίο επιτρέπεται να γνωρίζουμε την ακριβή τοποθεσία ανά πάσα στιγμή (**Εικόνα 3.7**). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ληφθεί η ακριβής θέση του Wasmote, καθώς και η τρέχουσα ώρα και ημερομηνία, αφού γίνει συγχρονισμός με το RTC [10].



Εικόνα 3.7 GPS Module

Χαρακτηριστικά του GPS

- Model: A1084 (Vincotech)
- Ευαισθησία κίνησης: -159dBm
- Ευαισθησία λήψης: -142dBm
- Hot ώρα έναρξης: <1s
- Ώρα έναρξης σε σύνδεση: <32s
- Ώρα έναρξης χωρίς σύνδεση: <35s
- Σύνδεση κεραίας: UFL
- Εξωτερική κεραία: 26dBi

Η μονάδα GPS συνδεδεμένη με το Wasmote μπορεί να μας δώσει πληροφορίες σχετικά με το γεωγραφικό πλάτος, μήκος και ύψος, την ταχύτητα, την κατεύθυνση, καθώς και την ημερομηνία και ώρα. Ο δέκτης GPS χρειάζεται κάποιο χρόνο για να αποκτήσει και να οργανώσει τις πληροφορίες που στέλνουν οι δορυφόροι. Αυτός ο χρόνος μπορεί να μειωθεί αν υπάρχει κάποια εκ των προτέρων πληροφόρηση. Αυτές οι πληροφορίες αποθηκεύονται στα ημερολόγια και στο ephemerids. Οι πληροφορίες που μπορούν να βρεθούν είναι σε σχέση με την τρέχουσα θέση των δορυφόρων (ephemerids) και την πορεία που πρόκειται να ακολουθήσουν τις επόμενες μέρες (ημερολόγια). Τα ημερολόγια που δείχνουν την πορεία που οι δορυφόροι πρόκειται να ακολουθήσει τις επόμενες ημέρες, με διάρκεια ισχύος περίπου 2-3 μήνες. Το ephemerids δείχνει την τρέχουσα θέση των δορυφόρων και έχει διάρκεια ισχύος περίπου 3-5 ώρες.

Οι εντολές που υλοποιούνται στο API του Wasmote ώστε να πάρουμε πληροφορίες

για την τρέχουσα τοποθεσία είναι:

```
{  
GPS.getAltitude();  
GPS.getSpeed();  
GPS.getLongitude();  
GPS.getLatitude();  
GPS.getCourse();  
}
```

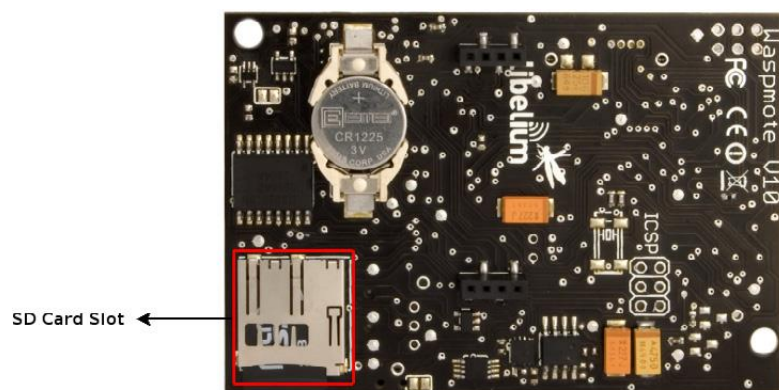
Κώδικας 1 Λήψη πληροφοριών από το GPS

3.2.1.4 Κάρτα μνήμης SD-card

Το Waspnote έχει εξωτερική υποστήριξη αποθήκευσης όπως οι κάρτες SD (Secure Digital). **(Εικόνα 3.8)** Οι micro-SD κάρτες **(Εικόνα 3.9)** χρησιμοποιούνται ειδικά για να μειώνεται ο χώρος του Waspnote στο ελάχιστο. Το Waspnote χρησιμοποιεί το σύστημα αρχείων FAT16 και μπορεί να υποστηρίξει κάρτες μέχρι 2GB. Οι πληροφορίες που μπορεί να αποθηκεύσει το Waspnote σε αρχεία στην SD κάρτας είναι προσπελάσιμα από διαφορετικά λειτουργικά συστήματα όπως Linux, Windows ή Mac-OS



Εικόνα 3.8 Micro SD Card



Εικόνα 3.9 Χώρος τοποθέτησης της micro SD κάρτας στο Waspnote

3.2.1.5 Sensor Modules (Πλακέτες αισθητήρων)

Η ενσωμάτωση των αισθητήρων που απαιτούν κάποιο είδος ηλεκτρονικής προσαρμογής ή επεξεργασίας σήματος πριν από την ανάγνωση από τον

μικροεπεξεργαστής πραγματοποιείται από τα διάφορα Sensor Boards (πλακέτες αισθητήρων). Η σύνδεση μεταξύ των Sensor Boards και του Wasmote γίνεται με την τοποθέτηση των πρώτων στη θέση Sensor I/O, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 3.2**, αλλά θα μιλήσουμε για αυτό παρακάτω. Το Wasmote μπορεί ως τώρα να υποστηρίξει 8 διαφορετικά Sensor Boards, τα οποία είναι τα ακόλουθα :

- Gases Sensor Board
- Events Sensor Board
- Smart Cities Sensor Board
- Smart Parking Sensor Board
- Agriculture Sensor Board
- Radiation Sensor Board
- Smart Metering Sensor Board
- Prototyping Sensor Board

Στην εφαρμογή μας θα ασχοληθούμε συγκεκριμένα με το Gas Sensor Board.

3.2.2 Gas Sensor Board

Το Gas Sensor Board έχει σχεδιαστεί για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση και 14 διαφορετικοί τύποι αερίων (**Εικόνα 3.10**).



Εικόνα 3.10 Gas Sensor Board

Χαρακτηριστικά του Gas Sensor Board

- Βάρος: 20gr
- Διαστάσεις: 73.5 x 51 x 1.3 mm
- Εύρος θερμοκρασίας: [-20°C, 65°C]

Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά

- Τάσης πλακέτας αισθητήρων: 3.3V και 5V
- Τάση καθενός αισθητήρα: 5V
- Μέγιστο ρεύμα (συνεχές): 200mA
- Μέγιστο ρεύμα (peak): 400mA

Στη συνέχεια παρατίθενται ονομαστικά οι 14 τύποι αερίων :

1. Μονοξείδιο του άνθρακα - CO
2. Διοξείδιο του άνθρακα - CO₂
3. Μοριακό οξυγόνο - O₂
4. Μεθάνιο - CH₄
5. Μοριακό υδρογόνο - H₂
6. Αμμωνία - NH₃
7. Ισοβουτάνιο - C₄H₁₀
8. Αιθανόλη - CH₃CH₂OH
9. Τολουόλιο - C₆H₅CH₃
10. Υδρόθειο - H₂S
11. Διοξείδιο του αζώτου - NO₂
12. Όζον - O₃
13. Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOC)
14. Υδρογονάνθρακες

Περαιτέρω ανάλυση για τους αισθητήρες ρύπων θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.

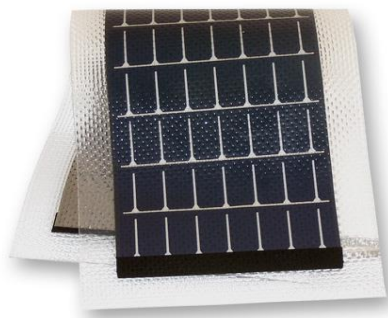
3.3 Πηγές τροφοδοσίας του Wasmote

Η μπαταρία που περιλαμβάνεται στο Wasmote είναι μια μπαταρία ιόντων λιθίου (Li-Ion) με 3.7V ονομαστική τάση (**Εικόνα 3.11**). Όσον αφορά τη χωρητικότητα της μπαταρίας, έχουμε τη δυνατότητα να επιλέξουμε ανάμεσα σε 1150mA, 2300mA ή 6600mA Li-Ion επαναφορτιζόμενη και 13000mAH μη - επαναφορτιζόμενη. Το Wasmote έχει ένα κύκλωμα ελέγχου και ασφάλειας που εξασφαλίζει η μπαταρία να είναι πάντοτε επαρκής.

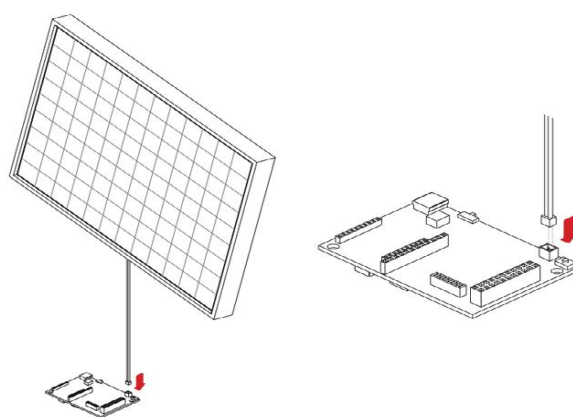


Εικόνα 3.11 Η μπαταρία λιθίου συνδεδεμένη στο Wasmote

Άλλος ένας τρόπος παροχής ενέργειας στο Wasmote είναι μέσω ενός ηλιακού πάνελ (**Εικόνα 3.12**). Η σύνδεση γίνεται μέσω καλωδίου, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 3.13**. Τόσο η υποδοχή mini USB, όσο και το ηλιακό πάνελ έχουν μόνο μία θέση σύνδεσης το καθένα, που πρέπει να τηρείται, για να διατηρείται και η πολικότητα στο Wasmote. Επιτρέπονται ηλιακοί συλλέκτες έως 12V. Το μέγιστο ρεύμα φόρτισης μέσα από το ηλιακό πάνελ είναι 280mA.



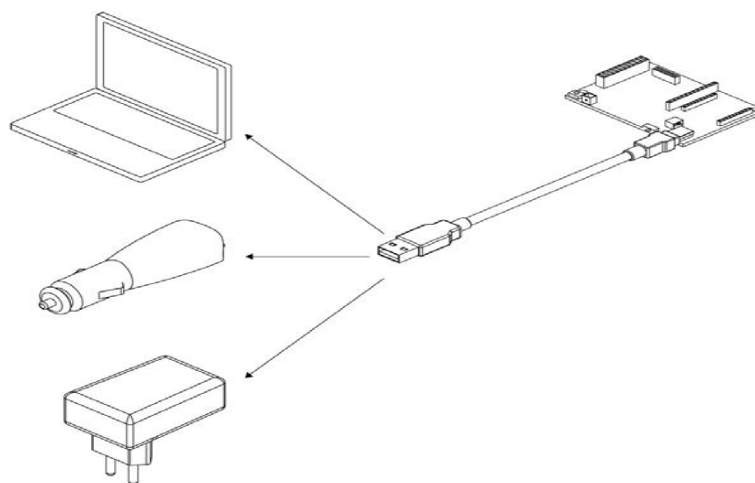
Εικόνα 3.12 Flexible Solar Panel



Εικόνα 3.13 Σύνδεση του Wasp mote με το ηλιακό πάνελ

Τέλος άλλη μια πηγή ενέργειας είναι μέσω της θύρας USB. Το mini USB παρέχει ενέργεια στο Wasp mote όταν γίνεται σύνδεση με μπαταρία (220mV) ή σύνδεση με υπολογιστή ή στην υποδοχή του φορτιστή μπαταρίας αυτοκινήτου (**Εικόνα 3.14**).

Η τάση φόρτισης μέσω USB πρέπει να είναι 5V και το μέγιστο ρεύμα φόρτισης 100mA [10].

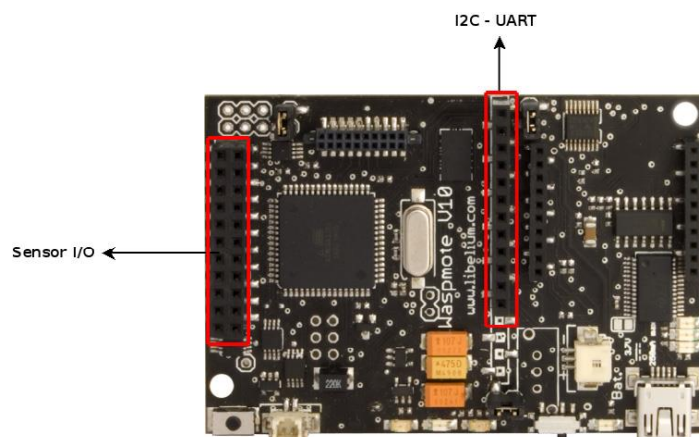


Εικόνα 3.14 Πιθανές συνδέσεις Wasp mote μέσω USB

3.4 Διαδικασία σύνδεσης

Το πρώτο βήμα ήταν η εγκατάσταση του Wasmote – IDE (Ολοκληρωμένο Περιβάλλον Ανάπτυξης) που χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό του Wasmote. Η εγκατάσταση έγινε από την ιστοσελίδα <http://www.libelium.com/development/wasmote>. Το Wasmote – IDE βασίζεται σε ένα αντίστοιχο περιβάλλον μεταγλώττισης (compiler) όπως αυτό του Arduino, ακολουθώντας τις ίδιες βιβλιοθήκες (libraries) και λειτουργίες.

Στη συνέχεια εξετάσαμε τις θύρες επικοινωνίας I/O του Wasmote με τις οποίες μπορεί να συνδεεται με άλλες εξωτερικές συσκευές/ μονάδες (**Εικόνα 3.15**).



Εικόνα 3.15 Θύρες επικοινωνίας I/O του Wasmote

Έχει 7 αναλογικές εισόδους στο Sensor I/O Connector (σύνδεση με τα Sensor Boards) (**Εικόνα 3.16**). Κάθε είσοδος είναι άμεσα συνδεδεμένη με έναν μικροελεγκτή, ο οποίος χρησιμοποιεί μία 10 bit διαδοχική προσέγγιση αναλογικού ψηφιακού μετατροπέα (ADC). Η τιμή της τάσης αναφοράς για τις εισόδους είναι 0V (GND). Η μέγιστη τιμή της τάσης εισόδου είναι 3,3V το οποίο αντιστοιχεί με τη γενική τάση του ρεύματος του μικροελεγκτή. Διαθέτει ψηφιακά pins που μπορούν να ρυθμιστούν ως είσοδος ή έξοδος, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής. Οι τιμές τάσης που αντιστοιχούν στις διάφορες ψηφιακές τιμές θα είναι:

- 0V για logic 0
- 3.3V για logic 1

DIGITAL8	■ ■	GND
DIGITAL6	■ ■	DIGITAL7
DIGITAL4	■ ■	DIGITAL5
DIGITAL2	■ ■	DIGITAL3
RESERVED	■ ■	DIGITAL1
ANALOG6	■ ■	ANALOG7
ANALOG4	■ ■	ANALOG5
ANALOG2	■ ■	ANALOG3
SENSOR POWER	■ ■	ANALOG1
GPS POWER	■ ■	5V SENSOR POWER
SDA	■ ■	SCL

Εικόνα 3.16 Περιγραφή του Sensor I/O connector

Υπάρχουν επίσης και 6 σειριακές θύρες στο Waspote.

Ένα από τα UARTs του μικροελεγκτή συνδέεται ταυτόχρονα με την μονάδα επικοινωνίας XBee και τη θύρα USB. Το άλλο UART συνδέεται με ένα πολυπλέκτη τεσσάρων καναλιών, και είναι δυνατό να επιλέξει το ίδιο πρόγραμμα το οποίο, από τα τέσσερα νέα UARTs. απαιτείται να συνδεθεί με το UART στο μικροελεγκτή. Αυτά τα τέσσερα νέα UARTs συνδέονται ως ακολούθως. Ένα είναι συνδεδεμένο με τον πίνακα 3G/GPRS, το άλλο με το GPS, και τα άλλα δύο είναι προσιτά στο χρήστη στο βοηθητικό I2C - UART connector (**Εικόνα 3.17**). Στον I2C δίαυλο επικοινωνίας συνδέονται παράλληλα οι τρεις συσκευές: το επιταχυνσιόμετρο, το RTC και το ψηφιακό ποτενσιόμετρο (digipot), η οποία ρυθμίζει την ηχητική προειδοποίηση για χαμηλό όριο μπαταρίας [10].

AUX-SERIAL-1-TX	▪
AUX-SERIAL-1-RX	▪
AUX-SERIAL-2-RX	▪
AUX-SERIAL-2-TX	▪
RESERVED	▪
GND	▪
GND	▪
MUX_RX	▪
MUX_TX	▪
SENSOR POWER	▪
SCL	▪
SDA	▪

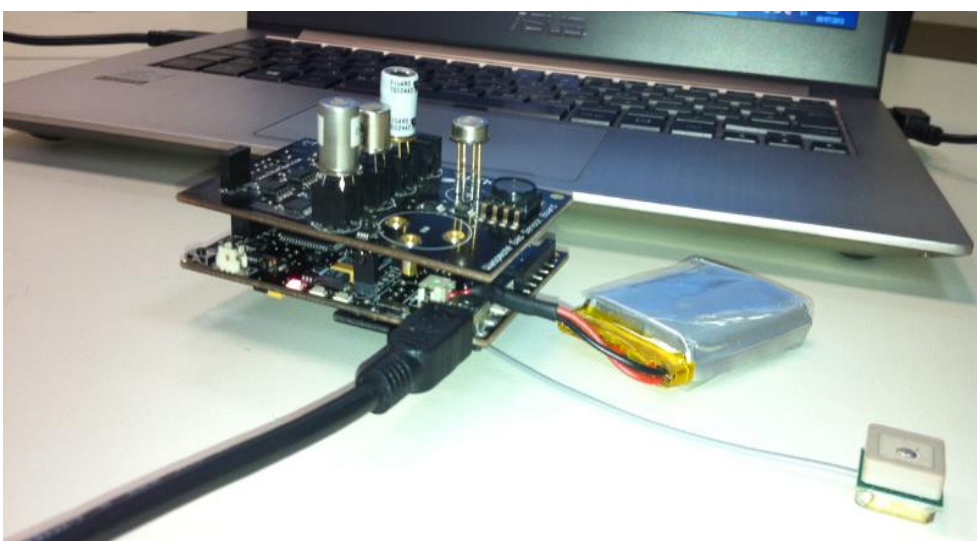
Εικόνα 3.17 Περιγραφή του βοηθητικού I2C-UART connector

3.4.1 Σύνδεση με υπολογιστή μέσω USB

Αρχικά χρησιμοποιήσαμε το καλώδιο του USB ώστε να γίνει η επικοινωνία με τον υπολογιστή και “ανοίξαμε” το περιβάλλον ανάπτυξης Waspote-IDE. Στη συνέχεια συνδέσαμε τη μπαταρία, το GPS, την micro SD κάρτα και θέσαμε στην κατάσταση ON το Waspote (**Εικόνα 3.18**). Τέλος εφαρμόζουμε στην υποδοχή του Sensor I/O το Gas Sensor Board (**Εικόνα 3.19**).



Εικόνα 3.18 Wasmote συνδεδεμένο με υπολογιστή



Εικόνα 3.19 Wasmote και Gas Sensor Board συνδεδεμένο με USB

Αφού κάνουμε τις παραπάνω συνδέσεις, μπορούμε στη συνέχεια να “ανεβάσουμε” τον κώδικα στο Wasmote-IDE.

```

char aux[100];
void setup()
{
  USB.begin();
  SD.ON();
  RTC.ON();
  GPS.ON();
  while( !GPS.check() ) delay(1000);
  USB.println("GPS Connected");
  if(SD.create("dataTHESI.txt")) USB.println("'dataTHESI.txt' created");
}
void loop()
{
  USB.print("Temperature: ");
  USB.println(RTC.getTemperature(),DEC);
  int temp=RTC.getTemperature();
  RTC.close();

  GPS.getPosition();
  USB.print("Time: ");
  USB.println(GPS.timeGPS);
  USB.print("Date: ");
  USB.println(GPS.dateGPS);
  USB.print("Latitude: ");
  USB.println(GPS.latitude);
  USB.print("Longitude: ");
  USB.println(GPS.longitude);
  USB.print("Altitude: ");
  USB.println(GPS.altitude);
  USB.print("Speed: ");
  USB.println(GPS.speed);
  USB.print("Course: ");
  USB.println(GPS.course);
  GPS.close();
}

```

```

sprintf(aux, "Temperature: %d | Time: %s | Date: %s | Latitude: %s | Longitude: %s | Altitude: %s |
Speed: %s | Course: %s", temp, GPS.timeGPS, GPS.dateGPS, GPS.latitude, GPS.longitude,
GPS.altitude, GPS.speed, GPS.course);

if(SD.appendln("dataTHESI.txt",aux)) USB.println("Data copied to 'dataTHESI.txt' ");

USB.println("-----");

SD.close();

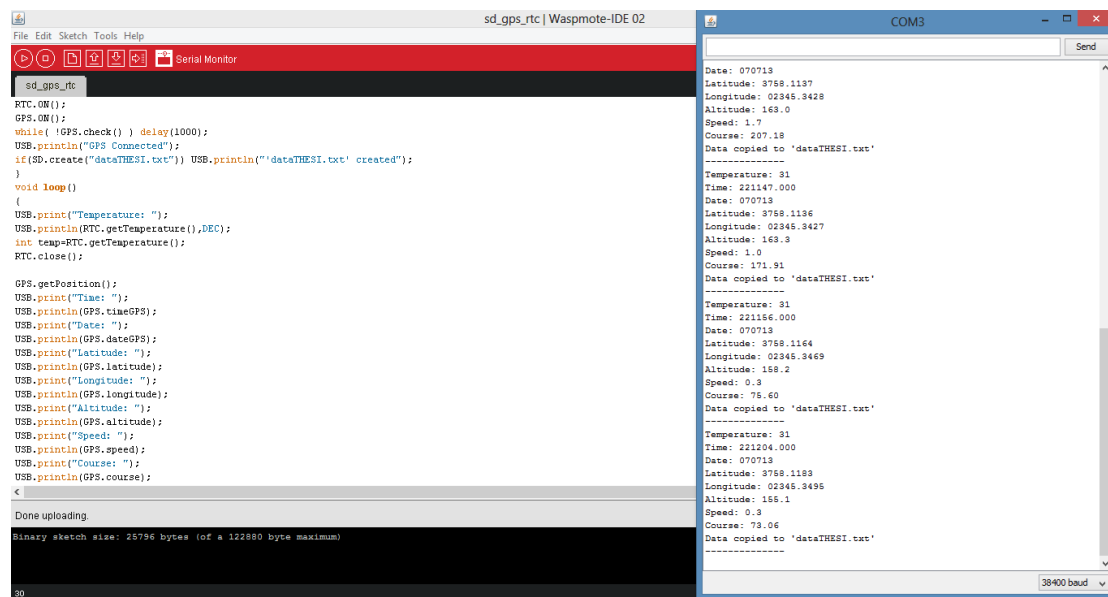
delay(5000);

}

```

Κώδικας 2 Λήψη πληροφοριών από τα GPS και RTC και η αποθήκευση αυτών στην SD κάρτα

Ενεργοποιούμε έτσι το Wasmote, την micro SD card, το RTC και το GPS ώστε να παίρνουμε τιμές που αφορούν: την θερμοκρασία, την ώρα, την ημερομηνία, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, το υψόμετρο, την ταχύτητα και την κλίση του. Οι τιμές αυτές θα εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή μέσω του Serial Monitor, όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 3.20*. Παράλληλα θα αποθηκεύονται και στην SD κάρτα σε αρχεία .txt που έχουμε δημιουργήσει (*Εικόνα 3.21*).



Εικόνα 3.20 Wasmote-IDE και Serial Monitor

Temperature	Time	Date	Latitude	Longitude	Altitude	Speed	Course
33	221105.352	070713	3758.1125	02345.3519	163.9	0.5	193.19
33	221113.352	070713	3758.1136	02345.3429	162.5	0.4	196.70
31	221122.352	070713	3758.1137	02345.3411	164.9	2.5	242.01
31	221130.352	070713	3758.1141	02345.3422	164.0	2.2	214.50
31	221139.000	070713	3758.1137	02345.3428	163.0	1.7	207.18
31	221147.000	070713	3758.1136	02345.3427	163.3	1.0	171.91
31	221156.000	070713	3758.1164	02345.3469	158.2	0.3	75.60
31	221204.000	070713	3758.1183	02345.3495	155.1	0.3	73.06
31	221213.000	070713	3758.1193	02345.3510	153.2	0.6	48.98
31	221221.000	070713	3758.1190	02345.3510	153.2	0.4	151.98
31	221230.000	070713	3758.1187	02345.3501	154.2	1.9	261.71
31	221238.000	070713	3758.1181	02345.3490	155.0	0.6	163.66
31	221247.000	070713	3758.1167	02345.3482	156.4	0.6	163.66
31	221257.000	070713	3758.1154	02345.3463	159.5	0.6	163.66
31	221307.000	070713	3758.1149	02345.3478	159.5	2.0	92.45
31	221316.000	070713	3758.1135	02345.3466	157.7	2.0	92.45
31	221326.000	070713	3758.1200	02345.3578	150.5	2.0	92.45
31	221337.000	070713	3758.1190	02345.3556	149.6	2.0	92.45
31	221347.000	070713	3758.1214	02345.3662	149.5	5.5	83.58

Εικόνα 3.21 Αρχείο dataTHESI.txt που αποθηκεύτηκαν τα δεδομένα

3.4.2 Σύνδεση με XBee 802.15.4 Pro

Η μονάδα XBee 802.15.4 Pro παρέχει ένα ανοικτό πρότυπο ασύρματης δικτύωσης χαμηλής ισχύος, για παρακολούθηση και έλεγχο συσκευών. Χρησιμοποιώντας το πρότυπο IEEE 802.15.4 - που επικεντρώνεται σε δικτύωση χαμηλών ταχυτήτων και ορίζει τα πρωτόκολλα χαμηλών επιπέδων, όπως είναι π.χ. το φυσικό επίπεδο (PHY) και επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC) – το XBee ορίζει τα ανώτερα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων, από το επίπεδο δικτύου έως της εφαρμογής, περιλαμβάνοντας κατανομές εφαρμογής (application profiles). Η αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων είναι καθοριστικής σημασίας στις XBee εφαρμογές. Το υποκείμενο πρότυπο 802.15.4 παρέχει υψηλή αξιοπιστία μέσω διαφόρων μηχανισμών σε πολλαπλά επίπεδα. Οι XBee ενότητες προσθέτουν ορισμένες λειτουργίες, όπως:

- Κόμβος ανακάλυψης (Node discovery): ορισμένες πληροφορίες έχουν προστεθεί στις επικεφαλίδες των πακέτων, έτσι ώστε να μπορούν να ανακαλύψουν άλλους κόμβους στο ίδιο δίκτυο. Επιτρέπει να σταλεί μήνυμα ότι έχει γίνει ανακάλυψη κόμβου, έτσι ώστε οι υπόλοιποι κόμβοι του δικτύου να απαντήσουν αναφέροντας τα στοιχεία τους (Node Identifier, @ MAC, @ 16 bits, RSSI).
- Διπλασιασμός ανίχνευσης πακέτων: Αυτή η λειτουργία δεν καθορίζεται στο πρότυπο και όμως προστίθεται από τις XBee ενότητες.

Στη συνέχεια λοιπόν αφαιρούμε το USB καλώδιο από τον υπολογιστή και το Wasp mote, αφού έχουμε “ανεβάσει” τον κώδικα στο Wasp mote και για να λαμβάνουμε ασύρματα τις μετρήσεις μας τοποθετούμε το Gateway μαζί με την κεραία του στην θύρα USB στον υπολογιστή και την κεραία του XBee στο Wasp mote (Εικόνα 3.22).



Εικόνα 3.22 Τοποθέτηση Gateway στη θύρα USB του υπολογιστή και τοποθέτηση της κεραίας XBee στο Wasp mote

Προφανώς έχουμε κάνει τις κατάλληλες τροποποιήσεις στον κωδικό μας πριν τον “ανεβάσουμε” στο Wasp mote. Οι οποίες τροποποιήσεις περιλαμβάνουν την ενεργοποίηση και αρχικοποίηση του XBee:

```
{  
  xbee802.init(XBEE_802_15_4,FREQ2_4G,NORMAL,0);  
  xbee802.ON();  
}
```

Παραθέτουμε στο παράρτημα ολόκληρο τον κώδικα.

Στην παρούσα ενότητα δεν αναλύσαμε καθόλου την σύνδεση των αισθητήρων αερίων, εφόσον αυτό θα γίνει διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 4: Υλοποίηση της εφαρμογής

4.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι όπως αναφέραμε η καταγραφή βασικών ρύπων και η ασύρματη μετάδοση τους, μέσα από ένα δίκτυο αισθητήρων. Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετήσουμε τους ρύπους που θα χρησιμοποιήσουμε, καθώς και τον τρόπο υλοποίησης της εφαρμογής μας.

Η μέτρηση των ρύπων γίνεται με την τοποθέτηση των αντίστοιχων αισθητήρων στο Gas Sensor Board και την εφαρμογή του Board στο Waspote, το οποίο καταγράφει την αντίστοιχη συγκέντρωση των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Οι μετρήσεις που θα λάβουμε δειγματοληπτούνται εν συνεχεία από την ασύρματη μονάδα XBee 802.15.4 Pro που λειτουργεί σαν κόμβος και εκπέμπει προς μια άλλη μονάδα Gateway που λειτουργεί σαν σταθμός βάσης και προωθεί τα δεδομένα προς τον υπολογιστή μέσω θύρας USB.

4.2 Συμβατότητα των αισθητήρων στο Gas Sensor Board

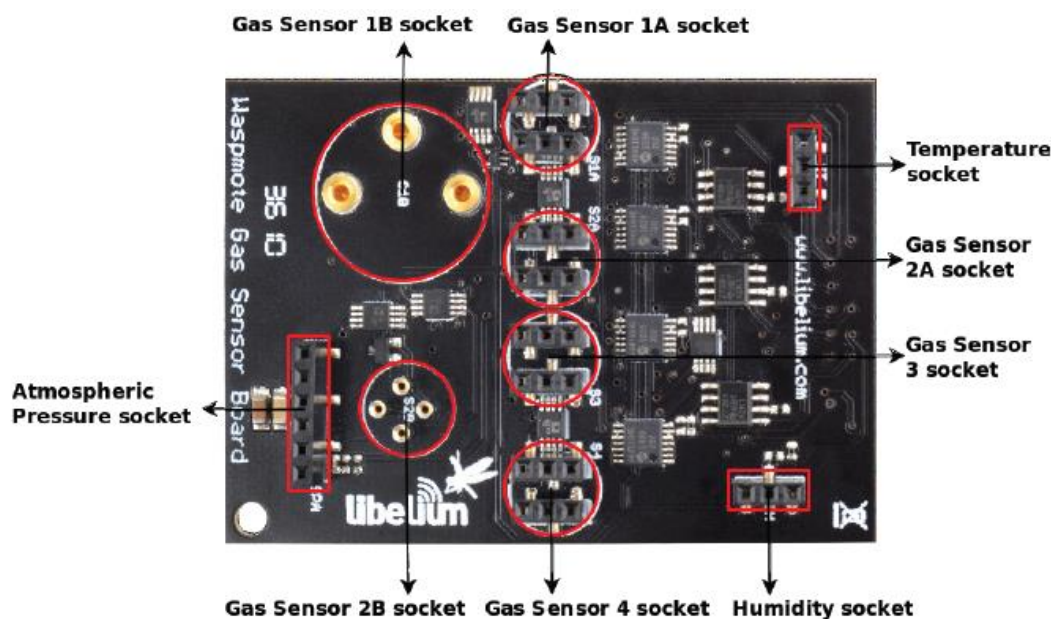
Όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο το Gas Sensor Board έχει σχεδιαστεί για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση και 14 διαφορετικοί τύποι αερίων. Επιτρέπει την ενσωμάτωση 6 αισθητήρων αερίων κατά την ίδια στιγμή και παρέχει ρύθμιση της ισχύος τους μέσω ενός συστήματος διακοπών στερεάς κατάστασης. Επίσης ενισχύει το σήμα εξόδου καθ' ενός από τους αισθητήρες μέσω ενός μη αναστρέψιμου σταδίου με μέγιστο κέρδος=101 (max Gain=101).

Όσον αφορά τη συμβατότητα του κάθε αισθητήρα στο Gas Sensor Board υπάρχει μια ειδική υποδοχή (Socket) (*Εικόνα 4.1*) για καθέναν από τους αισθητήρες:

- Θερμοκρασία
- Υγρασία
- Ατμοσφαιρική πίεση
- CO₂ στην υποδοχή 1A
- O₂ στην υποδοχή 1B
- Στην υποδοχή 2B μπορεί να υπάρξει μόνο ένας από τους αισθητήρες αερίου: NO₂, VOC και O₃
- Τέλος οι υποδοχές 2A, 3 και 4 είναι διαθέσιμες για τους υπόλοιπους αισθητήρες

Σημαντική παρατήρηση είναι ότι οι αισθητήρες του CO και του NH₃ μπορούν να τοποθετούνται μόνο στις υποδοχές 3 ή 4.

Για να γίνει λήψη των δεδομένων από τις διάφορες υποδοχές (Sockets), που χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση των αισθητήρων, πρέπει προηγουμένως να γίνει ο κατάλληλος προγραμματισμός του Gas Sensor Board, μέσω του Waspote-IDE.



Εικόνα 4.1 Υποδοχές του Gas Sensor Board

4.3 Εκτιμήσεις για την χρήση των αισθητήρων

Παρόμοια είναι η δομή που έχει εγκατασταθεί για όλες τις υποδοχές των αισθητήρων αερίου, δηλαδή μία αντίσταση φορτίου (R_I) στην έξοδο του κάθε αισθητήρα, εκτός από τους υποδοχείς 1A και 1B, όπου δεν είναι αναγκαίο, σε συνδυασμό με ένα στάδιο ενίσχυσης με μέγιστο κέρδος 101. Οι υποδοχές 1A και 1B από τη μία και οι 2A και 2B από την άλλη, μοιράζονται το ίδιο στάδιο ενίσχυσης και την ίδια έξοδο στον μικροεπεξεργαστή.

Η επιλογή του κέρδους (Gain) και η επιλογή αντίστασης φορτίου (R_I) του αισθητήρα μπορεί να διεξάγεται σύμφωνα με δύο παραμέτρους:

- την διαθεσιμότητα του συγκεκριμένου αισθητήρα, δεδομένου ότι μπορεί να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ δύο διαφορετικών αισθητήρων του ίδιου μοντέλου
- τη τιμή και το εύρος των συγκεντρώσεων των αερίων που παρακολουθούνται.

Κατά την επιλογή της αντίστασης φορτίου (R_I) και του κέρδους (Gain) δεν πρέπει να λησμονείται ότι, αν και οι αισθητήρες πρέπει να τροφοδοτούνται από μία τάση 5V για να λειτουργήσουν σωστά, το Wasp mote επιτρέπει την είσοδο μεταξύ 0 και 3,3V, οπότε είναι απαραίτητο να γίνει υπολογισμός της αντίστασης του φορτίου (R_I) και του κέρδους (Gain), ώστε να προσαρμοστεί το εύρος μέτρησης του αισθητήρα στην είσοδο του Wasp mote. Το κέρδος και την αντίσταση φορτίου ενός αισθητήρα μπορούμε να τη ρυθμίσουμε μέσω μιας απλής ομάδα εντολών, διαθέσιμων στη βιβλιοθήκη SensorGas, που δημιουργήθηκε για να διευκολύνει τον προγραμματισμό του Gas Sensor Board από το πρόγραμμα του Wasp mote-IDE.

Η ακρίβεια των μετρήσεων που θα λάβουμε στην έξοδο του αισθητήρα θα εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο τροφοδοτείται. Εννοώντας ότι, όσο μεγαλύτερος ο χρόνος ρευματοδότησης ή ο κύκλος λειτουργίας (duty cycle), τόσο καλύτερη ακρίβεια θα λαμβάνουμε στις μετρήσεις. Το μειονέκτημα της παρατεταμένης ενέργειας είναι η αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας του Wasp mote, με επακόλουθο τη μείωση της ζωής της μπαταρίας. Ρυθμίζοντας όμως την ενέργεια κατανάλωσης του κάθε

αισθητήρα σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής που αναπτύσσεται βελτιστοποιείται η απόδοση του εξοπλισμού.

Ο υπολογισμός της αντίστασης φορτίου (R_l) του αισθητήρα, από την οποία μπορούν να ληφθούν οι τιμές συγκέντρωσης του κάθε αερίου “διαβάζοντας” τις γραφικές παραστάσεις που θα δούμε πιο μετά, προκύπτει από την ακόλουθη εξίσωση:

$$R_s = (V_c \times R_l) \div V_{out} - R_l$$

όπου

R_s : η αντίσταση εξόδου του αισθητήρα

V_c : η τάση του κάθε αισθητήρα (5V για κάθε αισθητήρα, εκτός από το NO₂, το οποίο τροφοδοτείται με 1,8V)

V_{out} : η μέτρηση της τάσης εξόδου

R_l : η αντίσταση φορτίου που έχει οριστεί

Όταν ένας αισθητήρας παραμένει χωρίς τροφοδοσία για μεγάλο χρονικό διάστημα, είναι δυνατόν ότι δείχνει μια ασταθή εξόδου. Η σταθερότητα μπορεί να ανακτηθεί πάλι μετά από κάποιο χρονικό διάστημα λειτουργίας του αισθητήρα ή μετά από πολλούς διαδοχικούς κύκλους (duty cycle) παροχής ρεύματος.

Η ευαισθησία (Sensitivity) του κάθε αισθητήρα μπορεί να διαφέρει όταν η διάταξη υποβάλλεται σε μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας ή υγρασίας, όπως για παράδειγμα σε εξωτερικές συνθήκες.

4.4 Ατμοσφαιρικοί ρύποι και αισθητήρες αυτών

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι η βασική πηγή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η χρήση ενέργειας στις κατοικίες μας, οι βιομηχανικές δραστηριότητες, τα μέσα μεταφοράς και η γεωργία είναι οι βασικές ενέργειες που έχουν συνδεθεί άμεσα με τις εκπομπές ρύπων. Τα αέρια και τα σωματίδια που εκλύονται από τα αυτοκίνητα και τα άλλα οχήματα περιλαμβάνουν ένα πολύπλοκο μείγμα ρύπων. Η διάβρωση του υλικού του οδοστρώματος και η φθορά των ελαστικών και των φρένων συμβάλλουν και αυτά στη δημιουργία ρύπων. Η καύση ορυκτών καυσίμων, όπως γαιάνθρακα και πετρελαίου, τόσο σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στις κατοικίες, αποτελεί μείζονα πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης [12].

Από τη στιγμή που οι ρύποι αποδεσμεύονται στον αέρα, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον με περίπλοκους τρόπους ανάλογα με τη θερμοκρασία, την υγρασία και άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε όλους τους ρύπους, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους. **(Πίνακας 3)**

Χημικός τύπος	Ονομασία	Χαρακτηριστικά
SO ₂	Διοξείδιο του θείου	Άχρωμο, διαβρωτικό, χαρακτηριστικής οσμής, διαλυτό στο νερό (H ₂ SO ₄)
SO ₃	Τριοξείδιο του θείου	Ιδιαίτερα διαβρωτικό, διαλυτό στο νερό (H ₂ SO ₄)
H ₂ S	Υδρόθειο	Χαρακτηριστική οσμή (χαλασμένου αγωγού), ιδιαίτερα δηλητηριώδες
N ₂ O	Υπεροξείδιο του αζώτου	Άχρωμο, σχετικά αδρανές, αέριο γέλιου
NO	Οξείδιο του αζώτου	Άχρωμο, άοσμο, οξειδώνεται από O ₃ και O ₂
NO ₂	Διοξείδιο του αζώτου	Καστανόχρωμα, χαρακτηριστικής οσμής
CO	Μονοξείδιο του άνθρακα	Άχρωμο, άοσμο. άκρως τοξικό, προκαλεί ασφυξία
CO ₂	Διοξείδιο του άνθρακα	Άχρωμο, άοσμο, μη τοξικό
O ₃	Όζον	Γαλαζωπό, χαρακτηριστικής οσμής, ισχυρά δραστικό
CH ₄	Μεθάνιο	Άχρωμο, άοσμο, σχετικά αδρανές
HC	Υδρογονάνθρακες	Πλήθος ενώσεων. Σχετικά μικρή τοξικότητα, σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική χημεία
Σωματίδια (PM)		Πλήθος- υγρά και στερεά διαμέτρου < 10μm

Πίνακας 3 Βασικοί ρύποι και τα χαρακτηριστικά τους

Στην εφαρμογή μας θα εξετάσουμε συγκεκριμένα την συγκέντρωση ppm στους ρύπους του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του διοξειδίου του αζώτου (NO₂) και του μεθανίου (CH₄).

Το ppm χρησιμοποιείται στην επιστήμη και στην τεχνολογία για να υποδηλώσει περιεκτικότητες και αναλογίες της τάξης του εκατομμυριοστού (ppm εκ του αγγλικού

parts per million) [13].

4.4.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα από τα οξείδια του άνθρακα και παράγεται από τη μερική καύση του άνθρακα. Είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Είναι το κύριο συστατικό των εξατμίσεων των οχημάτων που κινούνται στους δρόμους τα οποία και αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής του (56%). Για αυτό το λόγο άλλωστε τα υψηλότερα επίπεδα του παρατηρούνται τις ώρες αιχμής του κυκλοφοριακού φόρτου. Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι εξαιρετικά τοξικό αέριο που παράγεται κατά 70-80% από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων. Οι εκπομπές του CO από οχήματα και βιομηχανίες υπολογίζονται σε περίπου 200 εκατομμύρια τόνους, εκ των οποίων το 70% αφορά τις χώρες του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης, OECD, οργανισμός των 24 πλέον αναπτυγμένων βιομηχανικών χωρών με έδρα το Παρίσι) . Άλλες πηγές παραγωγής CO είναι οι βιομηχανίες (μεταλλουργία, χημικές), ο καπνός του τσιγάρου κλπ. Σε εσωτερικούς χώρους οι υπεύθυνες πηγές παραγωγής του είναι κάποια από τα θερμαντικά σώματα. Ανάλογες ποσότητες CO παράγονται σε παγκόσμια κλίμακα από τις φωτιές δασών και την καύση βιομάζας [14].

Τα επίπεδα του CO στην ατμόσφαιρα θεωρείται ότι επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, αφού οι υψηλότερες τιμές του παρατηρούνται συνήθως τους μήνες του χειμώνα. Αυτό εξηγείται από τη δημιουργία στρώματος θερμού αέρα κάτω από το οποίο παγιδεύονται οι ρύποι σε κοντινή απόσταση από το έδαφος. Η επιπτώσεις του για την δημόσια υγεία είναι άμεσες. Σε υψηλά επίπεδα είναι δηλητηριώδες αφού επηρεάζει άμεσα το κεντρικό νευρικό σύστημα. Ιδιαίτερα επίσης επηρεάζει ανθρώπους με καρδιακά προβλήματα [15].

Αισθητήρας TGS2442

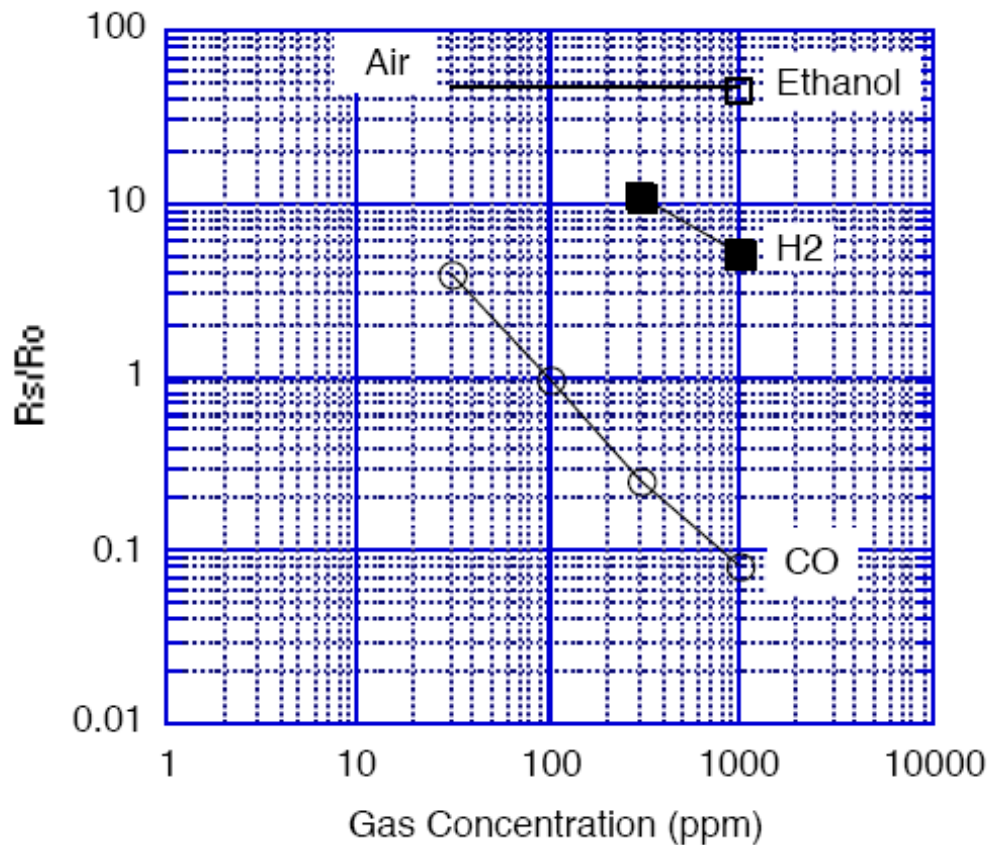
Ο αισθητήρας μονοξειδίου του άνθρακα TGS2442 είναι ένας ωμικός αισθητήρας, με ευαισθησία (sensitivity) όσον αφορά την αλλαγή της ποσότητας της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και, πολύ λίγο όσον αφορά το υδρογόνο (H₂) (**Εικόνα 4.2**). Τοποθετείται στην υποδοχή του πίνακα του Gas Sensor Board 3 ή 4. Η αντίσταση φορτίου (R_i) του αισθητήρα θα ποικίλλει ανάλογα με το γράφημα στην **Εικόνα 4.3** και μπορεί να παρουσιάζονται μεγάλες διακυμάνσεις στις αρχικές τιμές τάσης, καθώς και εμφάνιση ευαισθησία (sensitivity) . Σε αυτή την περίπτωση συνιστάται η βαθμονόμηση κάθε αισθητήρα πριν την εφαρμογή των μετρήσεων. Λόγω του ότι δεν έχουμε αυτή τη δυνατότητα, επιλέξαμε, ύστερα από έρευνα στη ιστοσελίδα της <http://www.libelium.com>, να εφαρμόσουμε Gain=1 και αντίσταση (Resistor) R_i=100 kΩ. Ο αισθητήρας, για να διαβάσει την κάθε μέτρηση, απαιτεί έναν κύκλο ενός δευτερολέπτου κατά τον οποία οι δύο παλμοί παροχής ενέργειας που παράγονται στην αντοχή της θερμότητας και αντοχή στην ευαισθησία είναι 14ms και 5ms ο καθένας. (μέση κατανάλωση καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου τροφοδοσίας είναι 3mA)



Εικόνα 4.2 TGS2442 Αισθητήρας μονοξείδιο του άνθρακα

Χαρακτηριστικά του TGS2442

- Αισθητήρας αερίου: CO
- Εύρος μέτρησης: 30 ~ 1000 ppm
- Αντίσταση σε 100ppm: 13.3 ~ 133k Ω
- Ευαισθησία: 0.13 ~ 0.31 (αναλογία μεταξύ της αντίστασης στα 300ppm και 100ppm)
- Τάση τροφοδοσίας: 5V $\pm$ 0.2V DC
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -10 ~ +50 ° C
- Χρόνος απόκρισης: 1 δευτερόλεπτο
- Ελάχιστη αντίσταση φορτίου: 10k Ω
- Μέση κατανάλωση: 3mA (καθ 'όλη τη διάρκεια του κύκλου τροφοδοσίας σε ένα δευτερόλεπτο)



Εικόνα 4.3 Γραφική παράσταση συγκέντρωσης ppm του TGS2442

Το μετρούμενο πρωτογενές μέγεθος είναι η τάση (V_{out}) στα άκρα του αισθητήρα που προκύπτει με βάση τη μετρούμενη συγκέντρωση του αερίου. Σκοπός είναι η εξαγωγή του μοντέλου μετατροπής της μετρούμενης τάσης σε ποσοστιαία συγκέντρωση (ppm) και η ενσωμάτωση του μοντέλου στον κώδικα. Προς διευκόλυνσή μας μετατρέπουμε απευθείας την τάση που παίρνουμε από τον αισθητήρα στο Serial Monitor στην αντίστοιχη συγκέντρωση ppm.

Γνωρίζουμε ότι

- η έξοδος του αισθητήρα CO είναι σε Volts
- θεωρούμε την αντίσταση $R_0 = 38k\Omega$
- V_{out} η μετρούμενη τάση

Αναλύουμε στη συνέχεια τη γραφική παράσταση της **Εικόνα 4.3** για να επιτευχθεί η κύρια εξίσωση μετατροπής της τάσης εξόδου (V_{out}) σε συγκέντρωση ppm.

Οι άξονες των X και Y δίνονται σε λογαριθμική κλίμακα.

Παίρνουμε δύο σημεία P (X,Y) για να υπολογίσουμε την κλίση m:

$$P_1 = (30,4) \text{ και } P_2 = (100,1)$$

$$\text{Συνεπώς υπολογίζεται η κλίση } m = (\log(Y_2) - \log(Y_1)) / (\log(X_2) - \log(X_1)) = -1.151$$

Από τη γραμμική εξίσωση $\log(Y) = m \cdot \log(X) + b$ βρίσκουμε το b.

$$b = \log(4) + 1.151 \cdot \log(30) = 2.302$$

Η γενική εξίσωση για την συγκέντρωση του CO στον αέρα είναι ως εξής:

$$\log(R_s/R_0) = -1.151 \cdot \log(A \text{ ppm}) + 2.302$$

$$A = 10^{[(\log(R_s/R_0) - 2.302) / (-1.151)]}$$

Παρακάτω βλέπουμε και την ενσωμάτωση του μοντέλου στον κώδικα.

```
{
  SensorGas.setBoardMode(SENS_ON); delay(1000);
  SensorGas.configureSensor(SENS_SOCKET4, 1, 100);
  CO = SensorGas.readValue(SENS_SOCKET4);
  USB.print("CO voltage: ");
  USB.println(CO);
  COO = (((5.0 * 100.0/CO) - 100.0)*38);           // Ro=38 kOhm for the graph
  COppm = pow(10, (log10(COO-2.302)/(-1.151)));
  USB.print("CO ppm: ");
  USB.println(COppm);
}
```

Κώδικας 3 Ενσωμάτωση μοντέλου μετατροπής τάσης σε ποσοστιαία συγκέντρωση ppm για τον αισθητήρα CO

4.4.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Είναι αέριο άχρωμο και σε μικρές συγκεντρώσεις είναι και άοσμο. Οι πιο σημαντικές εκπομπές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αφορούν το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το οποίο δεν είναι τοξικό αέριο, αλλά με την υπερβολική συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σε παγκόσμια κλίμακα οι εκπομπές CO₂ από 14.520.000 τόνοι (1971) διπλασιάστηκαν σε, περίπου, 30.000.000 τόνους το 2000 και υπάρχει αλματώδης αύξηση λόγω της μεγάλης ζήτησης στην παραγωγή ενέργειας από αναπτυσσόμενες χώρες (Κίνα, Ινδία, κλπ) [16] [17]. Αποτελεί υποπροϊόν όλων των καύσεων ορυκτών καυσίμων (κάρβουνου, πετρελαίου, βενζίνης, φυσικού αερίου κλπ.), αλλά και του ξύλου, πλαστικών κ.ά. οργανικών ενώσεων. Παράγεται ακόμα από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών. Μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα εκπέμπονται επίσης από τα ηφαίστεια και από τις θερμές πηγές αλλά και από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων [13]. Το διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία τροφίμων, τη βιομηχανία πετρελαίου, και τη χημική βιομηχανία. Βρίσκει εφαρμογές σε πολλά καταναλωτικά προϊόντα που απαιτούν πεπιεσμένο αέριο, γιατί είναι φθηνό και άφλεκτο, και λόγω του ότι μεταβαίνει από την αέρια φάση στην υγρή σε θερμοκρασία δωματίου και σε χαμηλή, σχετικά, πίεση. Τα σωσίβια γιλέκα συχνά περιέχουν CO₂ υπό πίεση. Πολυάριθμες έρευνες δείχνουν ότι τα αέρια του θερμοκηπίου παίζουν σημαντικό ρόλο στα οικοσυστήματα και στους κυριότερους κύκλους θρεπτικών υλικών και στοιχείων [18], [19].

Αισθητήρας TGS4161

Ο αισθητήρας του διοξειδίου του άνθρακα TGS4161, είναι ένας αισθητήρας που παρέχει μια τάση στην έξοδο (V_{out}) ανάλογη προς τη συγκέντρωση του CO₂ στην

ατμόσφαιρα (**Εικόνα 4.4**). Αυτός ο αισθητήρας πρέπει να τοποθετείται μόνο στην υποδοχή 1Α. Δέχεται μια τιμή τάσης μεταξύ 220 και 490mV για μία συγκέντρωση 350ppm (περίπου η κανονική συγκέντρωση CO₂ στον αέρα) και μειώνεται καθώς αυξάνεται η ποσότητα του αερίου (**Εικόνα 4.5**). Οι αισθητήρες μπορούν να παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση στις αρχικές τιμές τάσης στα 350ppm, καθώς και ευαισθησία (sensitivity), γι 'αυτό συνιστάται η βαθμονόμηση κάθε αισθητήρα πριν την εφαρμογή των μετρήσεων. Λόγω του ότι δεν έχουμε αυτή τη δυνατότητα, επιλέξαμε, ύστερα από έρευνα στη ιστοσελίδα της <http://www.libelium.com> να εφαρμόσουμε Gain=1 και τιμή τάσης 220mV (η τάση σε κανονικές συνθήκες αέρα).

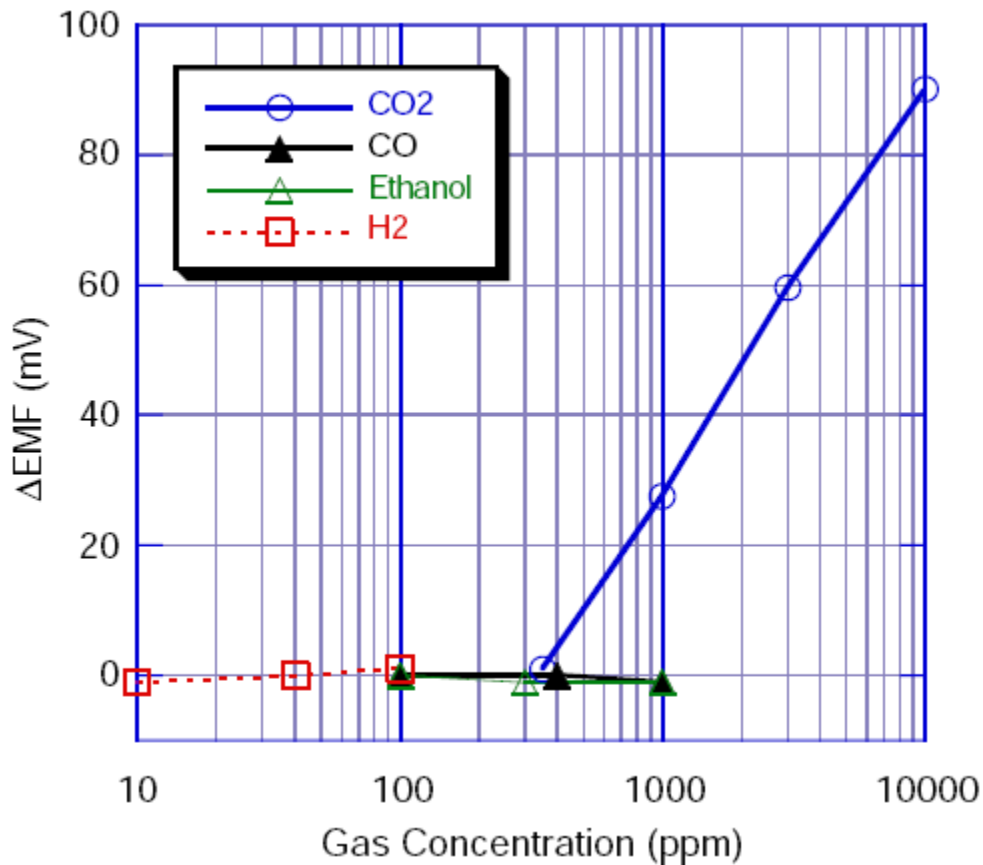
Η ακρίβεια ότι αυτός ο αισθητήρας μπορεί να προσφέρει τις σωστές μετρήσεις θα διαφέρει ανάλογα με το χρόνο που έχει παραμείνει στην τροφοδοσία προτού μετρηθεί. Ένας χρόνος των 30 δευτερολέπτων είναι επαρκής για να ανιχνεύει σημαντικές αλλαγές στη συγκέντρωση, ενώ μια μέτρηση υψηλής ακρίβειας θα απαιτήσει τουλάχιστον 10 λεπτά.



Εικόνα 4.4 TGS4261 αισθητήρας διοξειδίου του άνθρακα

Προδιαγραφές του TGS4161

- Αισθητήρας αερίου: CO₂
- Εύρος μέτρησης: 350 ~ 10000ppm
- Τάση στα 350ppm: 220 ~ 490mV
- Ευαισθησία: 44 ~ 72mV (διακύμανση μεταξύ της τάσης στα 350ppm και 3500ppm)
- Τάση τροφοδοσίας: 5V ± 0.2V DC
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -10 ~ +50 ° C
- Χρόνος απόκρισης: 1,5 λεπτά
- Μέση κατανάλωση: 50mA



Εικόνα 4.5 Γραφική παράσταση συγκέντρωσης ppm του TGS4161

Το μετρούμενο πρωτογενές μέγεθος είναι η τάση (V_{out}) στα άκρα του αισθητήρα που προκύπτει με βάση τη μετρούμενη συγκέντρωση του αερίου. Σκοπός είναι η εξαγωγή του μοντέλου μετατροπής της μετρούμενης τάσης σε ποσοστιαία συγκέντρωση (ppm) και η ενσωμάτωση του μοντέλου στον κώδικα. Προς διευκόλυνσή μας μετατρέπουμε απευθείας την τάση που παίρνουμε από τον αισθητήρα στο Serial Monitor στην αντίστοιχη συγκέντρωση ppm.

Γνωρίζουμε ότι

- η έξοδος του αισθητήρα CO_2 είναι σε Volts
- η τάση υπό κανονικές συνθήκες στον αέρα είναι 220mV
- V_{out} η μετρούμενη τάση
- Διαφορά Τάσης $\Delta EMF = 220mV - V_{out}$

Αναλύουμε στη συνέχεια τη γραφική παράσταση στην **Εικόνα 4.5** για να επιτευχθεί η κύρια εξίσωση μετατροπής της τάσης εξόδου (V_{out}) σε συγκέντρωση ppm.

Ο άξονας των X δίδεται σε λογαριθμική κλίμακα.

Ο άξονας των Y είναι σε κανονική κλίμακα.

Παίρνουμε δύο σημεία P (X,Y) για να υπολογίσουμε την κλίση m:

$$P_1 = (3000,60) \text{ και } P_2 = (1000,30)$$

$$\text{Συνεπώς υπολογίζεται η κλίση } m = (Y_2 - Y_1) / (\log(X_1) - \log(X_2)) = 62.877$$

Από τη γραμμική εξίσωση $Y = m \cdot \log(X) + b$ βρίσκουμε το b.

$$b=30-62.877*\log(1000) = - 158.631$$

Η γενική εξίσωση για την συγκέντρωση του CO₂ στον αέρα είναι ως εξής:

$$\Delta EMF = 62.877*\log (A \text{ ppm}) - 158.631$$

$$A = 10^{[(0.22 - V_{out})+158.631/62.877]}$$

Παρακάτω βλέπουμε και την ενσωμάτωση του μοντέλου στον κώδικα.

```
{
  SensorGas.setBoardMode(SENS_ON); delay(1000);
  SensorGas.configureSensor(SENS_CO2,1);          // Gain=1
  SensorGas.setSensorMode(SENS_ON, SENS_CO2);
  delay(30000);
  CO2= SensorGas.readValue(SENS_CO2);
  USB.print("CO2 voltage: ");
  USB.println(CO2);
  CO2ppm = pow(10, ((0.22-(CO2))+158.631)/62.877 );
  USB.print("CO2 ppm: ");
  USB.println(CO2ppm);
}
```

Κώδικας 4 Ενσωμάτωση μοντέλου μετατροπής τάσης σε ποσοστιαία συγκέντρωση ppm για τον αισθητήρα CO₂

4.4.3 Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

Με το γενικό όρο οξειδία του αζώτου ορίζονται γενικά οι ενώσεις αζώτου με οξυγόνο σε διάφορες αναλογίες. Οι κυριότερες και συνηθέστερες ενώσεις από αυτές είναι το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Τα περισσότερα από αυτά είναι άχρωμα και άοσμα. Ωστόσο το διοξείδιο του αζώτου σε συνδυασμό με τα αιωρούμενα σωματίδια σκόνης της ατμόσφαιρας διακρίνονται ως ένα κόκκινο-καφέ στρώμα πάνω από πολλές αστικές περιοχές. Παράγονται κατά την ανάφλεξη των καυσίμων, δηλαδή κατά την καύση τους σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Κατά συνέπεια πηγές έκλυσης οξειδίων του αζώτου είναι κυρίως τα αυτοκίνητα, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και γενικότερα οι βιομηχανίες [15]. Τα οξειδία του αζώτου (NO, NO₂, NO_x) είναι συνήθως αέριοι ρύποι των καυσαερίων των οχημάτων (40-50%), παράγεται όμως και κατά 50% από διάφορες καύσεις σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι εκπομπές NO_x σε παγκόσμια κλίμακα υπολογίζονται σε 60 εκατ. τόνους (τέλος της δεκαετίας '80), εκ των οποίων το 54% προέρχονται από τις χώρες του ΟΟΣΑ. Τα NO_x είναι ένας ακόμη παράγοντας για την παραγωγή όξινης βροχής, ενώ συμβάλλουν μαζί με το CO₂ και το μεθάνιο (CH₄) στην έξαρση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ειδικά για τα NO_x έχει συμφωνηθεί ειδική διεθνής συνθήκη για τον περιορισμό τους [20].

Κύριο χαρακτηριστικό των οξειδίων του αζώτου και των παράγωγων ρύπων είναι ότι μεταφέρονται ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις ακολουθώντας την πορεία των ανέμων που επικρατούν στην περιοχή. Γεγονός που κάνει τις δυσμενείς επιπτώσεις

τους να εμφανίζονται σε ευρύτερες περιοχές από την εστία παραγωγής τους. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω οι επιπτώσεις τους στη σύνθεση της ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια στη δημόσια υγεία είναι πολλαπλές. Ειδικά το διοξείδιο του αζώτου δημιουργεί αναπνευστικά προβλήματα.

Αισθητήρας MiC-2710

Ο αισθητήρας του διοξειδίου του αζώτου MiC-2710 είναι ένας αισθητήρας του οποίου η αντίσταση φορτίου (R_I) μεταβάλλεται με την παρουσία μικρών συγκεντρώσεων NO_2 (**Εικόνα 4.6**). Η τιμή αυτή κυμαίνεται μεταξύ $2\text{k}\Omega$ και $2\text{M}\Omega$ περίπου, παρέχοντας υψηλή ακρίβεια σε όλο το φάσμα της παραγωγής. Σε αντίθεση με τους υπόλοιπους αισθητήρες αερίων, οι οποίοι λειτουργούν σε τάση 5V , ο αισθητήρας αυτός τροφοδοτείται μέσω ενός ρυθμιστή τάσης 1.8V , με κατανάλωση περίπου 26mA . Αυτός ο αισθητήρας πρέπει να τοποθετείται μόνο στην υποδοχή 2B.

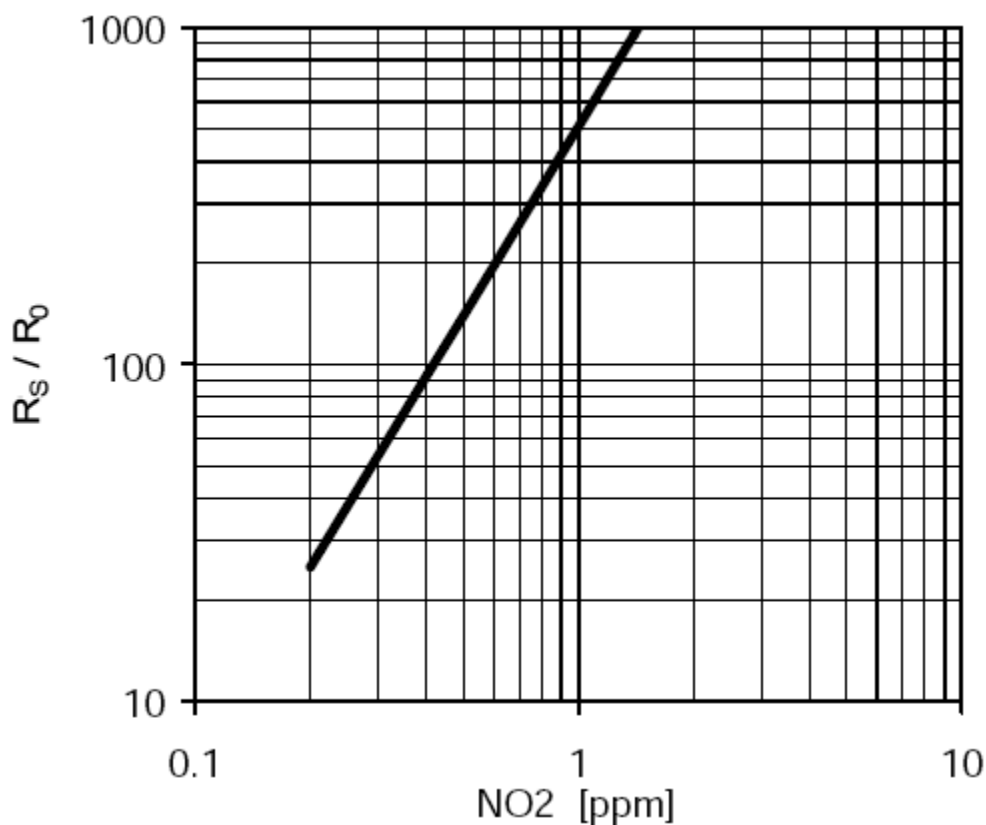
Και εδώ παρατηρούμε ότι η αντίσταση του αισθητήρα θα ποικίλλει ανάλογα με το γράφημα στην **Εικόνα 4.7** και μπορεί να παρουσιάζονται μεγάλες διακυμάνσεις στις αρχικές τιμές τάσης, καθώς και ευαισθησία (sensitivity). Άρα και σε αυτή την περίπτωση συνιστάται η βαθμονόμηση του αισθητήρα πριν την εφαρμογή των μετρήσεων. Λόγω του ότι δεν έχουμε αυτή τη δυνατότητα, επιλέξαμε, ύστερα από έρευνα στη ιστοσελίδα της <http://www.libelium.com>, να εφαρμόσουμε $\text{Gain}=1$ και αντίσταση (Resistor) $R_I=80\text{k}\Omega$.



Εικόνα 4.6 MiC-2710 αισθητήρας διοξειδίου του αζώτου

Προδιαγραφές του MiC-2710

- Αισθητήρας αερίου: NO_2
- Εύρος μέτρησης: $0.05 \sim 5\text{ ppm}$
- Η αντίσταση του αέρα: $0,8 \sim 8\Omega$ (τυπικά $2,2\text{ k}\Omega$)
- Ευαισθησία: $6 \sim 100$ (τυπικά 55, η αναλογία μεταξύ της αντοχής σε 0.25ppm και στον αέρα)
- Τάση τροφοδοσίας: $1.7 \sim 2.5\text{V DC}$
- Θερμοκρασία λειτουργίας: $-30 \sim +85\text{ }^\circ\text{C}$
- Χρόνος απόκρισης: 30 δευτερόλεπτα
- Μέση κατανάλωση: 26mA (καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου τροφοδοσίας σε ένα δευτερόλεπτο)



Εικόνα 4.7 Γραφική παράσταση συγκέντρωσης ppm του MiC-2710

Το μετρούμενο πρωτογενές μέγεθος είναι η τάση (V_{out}) στα άκρα του αισθητήρα που προκύπτει με βάση τη μετρούμενη συγκέντρωση του αερίου. Σκοπός είναι η εξαγωγή του μοντέλου μετατροπής της μετρούμενης τάσης σε ποσοστιαία συγκέντρωση (ppm) και η ενσωμάτωση του μοντέλου στον κώδικα. Προς διευκόλυνσή μας μετατρέπουμε απευθείας την τάση που παίρνουμε από τον αισθητήρα στο Serial Monitor στην αντίστοιχη συγκέντρωση ppm.

Γνωρίζουμε ότι

- η έξοδος του αισθητήρα NO₂ είναι σε Volts
- θεωρούμε την αντίσταση $R_0 = 12.2\text{k}\Omega$ για το πρώτο δείγμα και $R_0 = 2.2\text{k}\Omega$ για το δεύτερο δείγμα.
- V_{out} η μετρούμενη τάση

Αναλύουμε στη συνέχεια τη γραφική παράσταση στην **Εικόνα 4.7** για να επιτευχθεί η κύρια εξίσωση μετατροπής της τάσης εξόδου (V_{out}) σε συγκέντρωση ppm.

Οι άξονες των X και Y δίνονται σε λογαριθμική κλίμακα.

Παίρνουμε δύο σημεία P (X,Y) για να υπολογίσουμε την κλίση m:

$$P_1 = (0.2, 25) \text{ και } P_2 = (1.5, 1000)$$

$$\text{Συνεπώς υπολογίζεται η κλίση } m = (\log(Y_2) - \log(Y_1)) / (\log(X_2) - \log(X_1)) = -1.8303$$

Από τη γραμμική εξίσωση $\log(Y) = m \cdot \log(X) + b$ βρίσκουμε το b.

$$b = \log(25) + 1.8303 \cdot \log(0.2) = 2.6776$$

Η γενική εξίσωση για την συγκέντρωση του NO₂ στον αέρα είναι ως εξής:

$$\log(R_s/R_0) = -1.8303 \cdot \log(A \text{ ppm}) + 2.6776$$

$$A = 10^{[(\log(R_s/R_0) - 2.6776) / (-1.8303)]}$$

Παρακάτω βλέπουμε και την ενσωμάτωση του μοντέλου στον κώδικα.

```
{
  SensorGas.setBoardMode(SENS_ON); delay(1000);
  SensorGas.configureSensor(SENS_SOCKET2B,1,80);          //Gain=1, Rl=80 kOhm
  SensorGas.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SOCKET2B);
  delay(30000);
  NO2= SensorGas.readValue(SENS_SOCKET2B);
  USB.print("NO2 voltage: ");
  USB.println(NO2);
  NO22 = (((1.8 * 80.0/NO2) - 80.0)*12.2); // Ro= 12.2 kOhm and Ro=2.2kOhm
  NO2ppm = pow(10, (log10(NO22)-2.6776)/(-1.8303));
  USB.print("NO2 ppm: ");
  USB.println(NO2ppm);
}
```

Κώδικας 5 Ενσωμάτωση μοντέλου μετατροπής τάσης σε ποσοστιαία συγκέντρωση ppm για τον αισθητήρα NO₂

4.4.4 Μεθάνιο (CH₄)

Το μεθάνιο είναι ένα από τα αέρια που συνεισφέρουν σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (greenhouse effect), δηλαδή στην παγίδευση από την ατμόσφαιρα μέρους της ανακλώμενης από την επιφάνεια της Γης ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα τη θέρμανση του πλανήτη. Το μεθάνιο είναι κατά 21 φορές δραστικότερο (σε χρονικό ορίζοντα 100 ετών) από το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), ως προς την ικανότητα παγίδευσης της θερμότητας. [15] Για αυτό το λόγο θα χρησιμοποιήσουμε και τον αισθητήρα του μεθανίου.

Οι πιθανές πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας με το αέριο αυτό έχουν εξετασθεί διεξοδικά και διακρίνονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές. Οι εκτιμήσεις ως προς τις ποσότητες μεθανίου που παρέχουν οι διάφορες πηγές διαφέρουν ανάλογα με το πότε και πού έγινε η μελέτη και τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Όλες οι μελέτες συμφωνούν στο ότι οι ποσότητες μεθανίου που εκλύουν οι ανθρωπογενείς πηγές είναι μεγαλύτερες από εκείνες των φυσικών πηγών.

Οι εκπομπές μεθανίου από φυσικές πηγές καθορίζονται κυρίως από παράγοντες, όπως η θερμοκρασία και οι ποσότητες των κατακρημνίσεων. Αν και υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα ως προς τη συμβολή κάθε φυσικής πηγής, οι διαθέσιμες πληροφορίες δείχνουν ότι οι φυσικές πηγές κατανέμονται ως εξής: υδρότοποι, τερμίτες, ωκεανοί και υδρίτες μεθανίου. Με τη μεγαλύτερη εκτιμώμενη συμβολή (76%) να έχουν οι υδρότοποι (έλη, λίμνες). Αποτελούν φυσικούς βιοτόπους των μεθανογόνων βακτηρίων, τα οποία παράγουν μεθάνιο κατά την αποσύνθεση οργανικής ύλης κάτω

από συνθήκες έλλειψης οξυγόνου.

Μεγάλες ποσότητες μεθανίου παράγονται από τις αγροτικές (κτηνοτροφία, καλλιέργειες) και τις βιομηχανικές δραστηριότητες του ανθρώπου. Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές είναι : επιχώσεις απορριμμάτων, ανθρακωρυχεία, επεξεργασία λιπασμάτων, παραγωγή – επεξεργασία πετρελαίου και απώλειες φυσικού αερίου. Με τη μεγαλύτερη εκτιμώμενη συμβολή (23%) να υπάρχει από τις απώλειες του φυσικού αερίου. Το μεθάνιο αποτελεί το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου. Απώλειες φυσικού αερίου αναπόφευκτα συμβαίνουν κατά την παραγωγή, επεξεργασία, αποθήκευση, μεταφορά και διανομή του.

Αισθητήρας TGS2611

Ο αισθητήρας του μεθανίου TGS2611 είναι ένας αισθητήρας του οποίου η αντίσταση μεταβάλλεται με την παρουσία συγκεντρώσεων CH_4 και σε μικρότερο βαθμό με τη παρουσία του υδρογόνου H_2 . Αυτός ο αισθητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις υποδοχές 2Α, 3 και 4. Στην εφαρμογή μας έγινε τοποθέτηση στην υποδοχή 2Α.

Τέλος παρατηρούμε ότι η αντίσταση του αισθητήρα θα ποικίλλει ανάλογα με το γράφημα στην **Εικόνα 4.7** και μπορεί να παρουσιάζονται μεγάλες διακυμάνσεις στις αρχικές τιμές τάσης, καθώς και ευαισθησία (sensitivity) (**Εικόνα 4.9**). Άρα και σε αυτή την περίπτωση συνιστάται η βαθμονόμηση κάθε αισθητήρα πριν την εφαρμογή των μετρήσεων.. Λόγω του ότι δεν έχουμε αυτή τη δυνατότητα, επιλέξαμε, ύστερα από έρευνα στη ιστοσελίδα της <http://www.libelium.com>, να εφαρμόσουμε $\text{Gain}=1$ και αντίσταση (Resistor) $R_1=0,055 \text{ k}\Omega$.

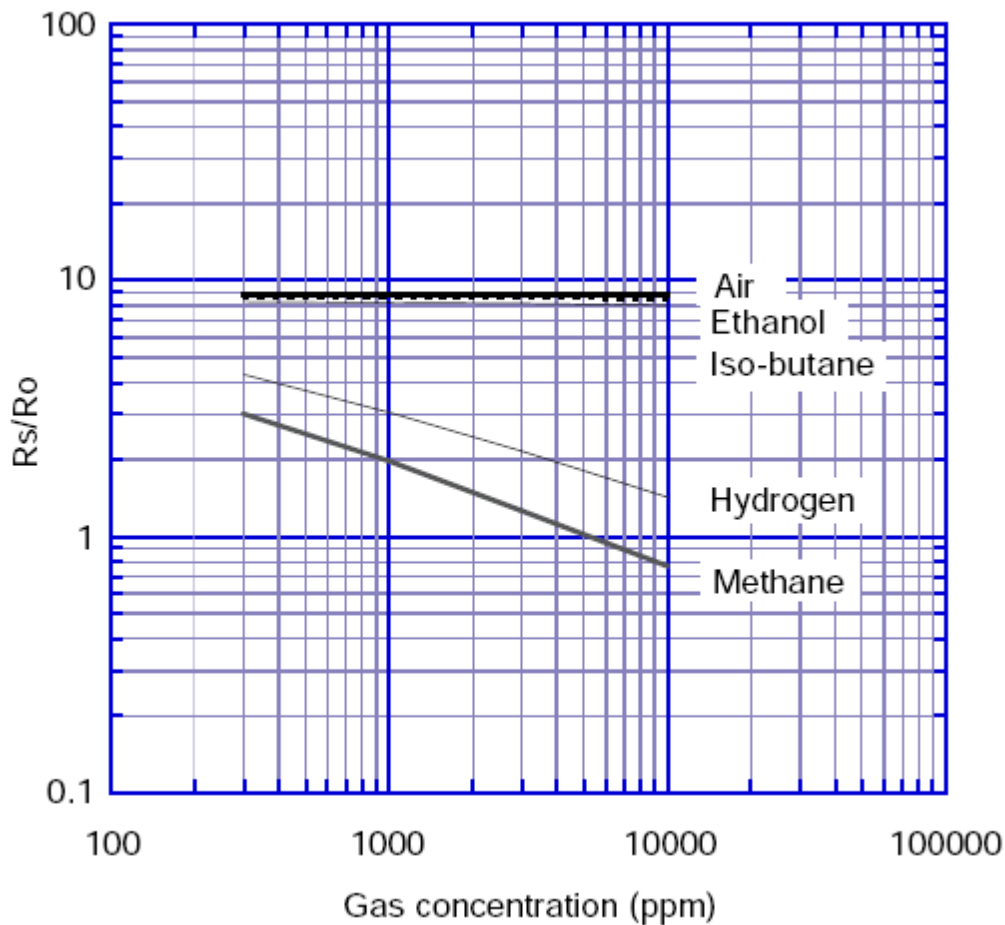


Εικόνα 4.8 TGS 2611 αισθητήρας μεθανίου

Προδιαγραφές του TGS 2611

- Αέρια: CH_4 , H_2
- Εύρος μέτρησης: 500 ~ 10000ppm
- Αντίσταση σε 5000ppm: 0,68 ~ 6.8k Ω
- Ευαισθησία: 0,6 $\pm$ 0,06 (αναλογία μεταξύ της αντίστασης στα 9000 και στα 3000 ppm)
- Τάση Τροφοδοσίας: 5V $\pm$ 0.2V DC
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -10 ~ +40 ° C
- Χρόνος απόκρισης: 30 δευτερόλεπτα
- Ελάχιστη αντίσταση φορτίου: 0.45k Ω

- Μέση κατανάλωση: 61mA



Εικόνα 4.9 Γραφική παράσταση συγκέντρωσης ppm του TGS2611

Το μετρούμενο πρωτογενές μέγεθος είναι η τάση (V_{out}) στα άκρα του αισθητήρα που προκύπτει με βάση τη μετρούμενη συγκέντρωση του αερίου. Σκοπός είναι η εξαγωγή του μοντέλου μετατροπής της μετρούμενης τάσης σε ποσοστιαία συγκέντρωση (ppm) και η ενσωμάτωση του μοντέλου στον κώδικα. Προς διευκόλυνσή μας μετατρέπουμε απευθείας την τάση που παίρνουμε από τον αισθητήρα στο Serial Monitor στην αντίστοιχη συγκέντρωση ppm.

Γνωρίζουμε ότι

- η έξοδος του αισθητήρα CH_4 είναι σε Volts
- θεωρούμε την αντίσταση $R_0 = 100k\Omega$
- V_{out} η μετρούμενη τάση

Αναλύουμε στη συνέχεια τη γραφική παράσταση για να επιτευχθεί η κύρια εξίσωση μετατροπής της τάσης εξόδου (V_{out}) σε συγκέντρωση ppm.

Οι άξονες των X και Y δίνονται σε λογαριθμική κλίμακα.

Παίρνουμε δύο σημεία P (X,Y) για να υπολογίσουμε την κλίση m:

$$P_1 = (300, 3) \text{ και } P_2 = (10000, 0.8)$$

$$\text{Συνεπώς υπολογίζεται η κλίση } m = (\log(Y_2) - \log(Y_1)) / (\log(X_2) - \log(X_1)) = -0.3769$$

Από τη γραμμική εξίσωση $\log(Y) = m \cdot \log(X) + b$ βρίσκουμε το b .

$$b = \log(3) + 1.151 \cdot \log(300) = 1.4108$$

Η γενική εξίσωση για την συγκέντρωση του CO στον αέρα είναι ως εξής:

$$\log(R_s/R_0) = -0.3769 \cdot \log(A \text{ ppm}) + 1.4108$$

$$A = 10^{[(\log(R_s/R_0) - 1.4108) / (-0.3769)]}$$

Παρακάτω βλέπουμε και την ενσωμάτωση του μοντέλου στον κώδικα μας.

```
{
  SensorGas.setBoardMode(SENS_ON); delay(1000);
  SensorGas.configureSensor(SENS_SOCKET2A, 1, 0.055); //Gain=1, Rl= 0.055 k Ohm
  SensorGas.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SOCKET2A);
  delay(30000);
  CH4= SensorGas.readValue(SENS_SOCKET2A);
  USB.print("CH4 voltage: ");
  USB.println(CH4);
  CH44 = (((5.0 * 0.055/CH4) - 0.055)*1); // Ro= 1 k ohms as the Ro and Rl=0.055
  CH4ppm = pow(10, (log10(CH44)-1.4108)/(-0.3769));
  USB.print("CH4 ppm: ");
  USB.println(CH4ppm);
}
```

Κώδικας 6 Ενσωμάτωση μοντέλου μετατροπής τάσης σε ποσοστιαία συγκέντρωση ppm για τον αισθητήρα CH₄

Κεφάλαιο 5: Μετρήσεις και παρουσίαση αποτελεσμάτων

5.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των μετρήσεων, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες πραγματικού περιβάλλοντος, με σκοπό την προσπάθεια καταμέτρησης περιβαλλοντικών ρύπων. Η συλλογή, απεικόνιση και επεξεργασία των μετρήσεων γίνεται με τη βοήθεια των εργαλείων και του κώδικα που παρουσιάσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια.

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε δύο διαφορετικά μέρη. Πρώτα θα γίνει καταγραφή μετρήσεων σε συνθήκες δωματίου και στη συνέχεια θα αφήσουμε το Waspmote σε ένα σημείο της Λεωφόρου Μεσογείων εν ώρα αιχμής για να πάρουμε μετρήσεις σε αστικές συνθήκες.

5.2 Διαδικασία μετρήσεων

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας δεν υπήρχε η δυνατότητα βαθμονόμησης των αισθητήρων και της μετρητικής διάταξης στο σύνολό της για την επικύρωση της ορθότητας των μετρούμενων μεγεθών και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή των αντίστοιχων μοντέλων. Για να αντιμετωπιστεί η δυσκολία αυτή επιλέχθηκε η βιβλιογραφική αναζήτηση για τις ποσοστιαίες περιεκτικότητες των μετρούμενων μεγεθών ανά αέριο σε κοντινές συνθήκες περιβάλλοντος προς αυτές που πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές [15] [21] [22] [13] .

Το μετρούμενο πρωτογενές μέγεθος στα άκρα του αισθητήρα που προκύπτει με βάση τη μετρούμενη συγκέντρωση του αερίου είναι η τάση V_{out} . Για την εξαγωγή του μοντέλου μετατροπής της μετρούμενης τάσης σε συγκέντρωση ppm, σύμφωνα με τις γραφικές παραστάσεις των αισθητήρων CO, NO₂ και CH₄, απαιτείται η γνώση του R_s / R_0 (δεδομένα του άξονα Y).

Για την αντίσταση R_0 δυστυχώς δεν έχουμε βρει αναφορές όσον αφορά τις τιμές που δέχεται, συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω ορίζουμε αυθαίρετες τιμές και παίρνουμε μεγάλο ποσοστό δειγμάτων.

Η αντίσταση R_s ορίζεται για κάθε αισθητήρα.

$$R_s = (V_c \times R_l) \div V_{out} - R_l$$

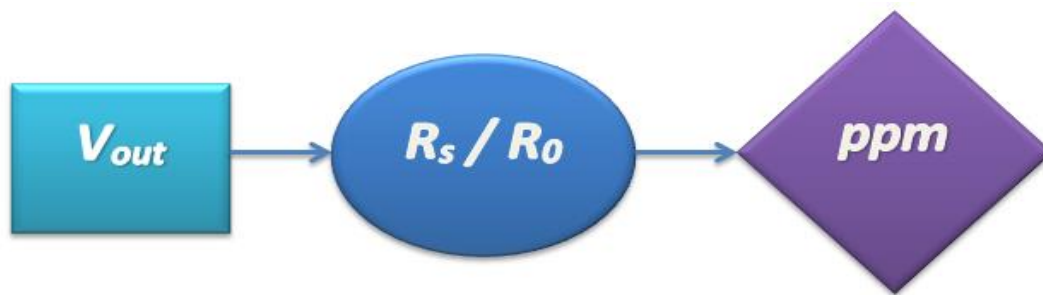
όπου

R_s : η αντίσταση εξόδου του αισθητήρα

V_c : η τάση του κάθε αισθητήρα (5V για κάθε αισθητήρα, εκτός από το NO₂, το οποίο τροφοδοτείται με 1,8V

V_{out} : η μέτρηση της τάσης εξόδου

R_l : η αντίσταση φορτίου που έχει οριστεί από την εταιρία



Σχήμα 1 Στάδια μετατροπής της τάσης εισόδου σε συγκέντρωση ppm

Ταυτόχρονα με τη διάταξη μας μέσω του ασύρματου δικτύου αισθητήρων, εκτός από την τάση V_{out} του κάθε αισθητήρα, μετρήθηκε απευθείας και η συγκέντρωσή τους σε ppm, όπως εξηγήσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

5.3 Μετρητική διάταξη

Στην επόμενη ενότητα ακολουθεί η παράθεση των αποτελεσμάτων, αλλά πριν γίνει αυτό, θα κάνουμε μια σύντομη περιγραφή της μετρητικής διάταξης που έχουμε κάνει χρήση.

Για την υλοποίηση της εφαρμογής, όπως αναλύεται διεξοδικά στο κεφάλαιο 3, εφαρμόσαμε στο Waspote την μονάδα του XBee 802.15.4 Pro, τη μονάδα του GPS και ενεργοποιήσαμε την SD κάρτα, για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων που λαμβάνουμε. Στη συνέχεια τοποθετήσαμε στο Waspote το Gas Sensor Board μαζί με τους αισθητήρες των CO , CO_2 , NO_2 και CH_4 στις κατάλληλες υποδοχές (Sockets), όπως έχουμε εξηγήσει στην ενότητα 4.2 και 4.4.

Τέλος, οι κώδικες που έχουμε χρησιμοποιήσει για την διεξαγωγή των μετρήσεων παρατίθενται στο παράρτημα, στο τέλος των κεφαλαίων.

5.4 Παράθεση αποτελεσμάτων

Παραθέτουμε στη συνέχεια τα αποτελέσματα που πήραμε ύστερα από δείγματα 100 μετρήσεων κάθε φορά. Φαίνονται επίσης και οι γραφικές αναπαραστάσεις των μετρούμενων τάσεων και των αντίστοιχων περιεκτικοτήτων ppm του κάθε αισθητήρα.

Συνεπώς για τον καθορισμό της αντίστασης R_0 που είναι αυθαίρετη, στους αισθητήρες NO_2 και CH_4 χρησιμοποιούμε 2 δείγματα.

5.4.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Σε αυτή την περίπτωση, ενώ έγιναν προσπάθειες για την καταγραφή μετρήσεων και σε συνθήκες δωματίου, αλλά και σε αστικές, αυτό τελικά δεν ήταν εφικτό, με αποτέλεσμα να έχουμε πάντα μηδενικές μετρήσεις.

Ισχύει ότι υπό κανονικές συνθήκες, η συγκέντρωση CO πρέπει να είναι μικρότερη από 1 ppm, εκτός και αν πρόκειται για μέτρηση σε μια μολυσμένη ζώνη, με έντονη κυκλοφορία, όπου θα είναι υψηλότερη [22]. Επίσης η μέση συγκέντρωση ppm μονοξειδίου του άνθρακα σε σπίτια χωρίς φυσικό αέριο κυμαίνεται από 0 έως 5 ppm. Σε οικίες που κάνουν χρήση φυσικού αερίου τα επίπεδα κυμαίνονται συχνά από 5 έως 15 ppm. Αξίζει να αναφέρουμε ότι εάν η συγκέντρωση CO ξεπερνά τα 70 ppm δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα υγείας, μέχρι και θάνατος [30].

1^ο Σενάριο

Γνωρίζοντας από τη γραφική παράσταση του μονοξειδίου του άνθρακα (**Εικόνα 4.3**) ότι σε συγκέντρωση 30 ppm αντιστοιχεί $R_s / R_0 = 3\Omega$ μπορούμε να βρούμε μέσω της εξίσωσης του $R_s \div R_0 = (V_c \times R_l) \div V_{out} - R_l$ την αντίστοιχη τιμή της τάσης V_{out} που θα έπρεπε να εμφανιζόταν στο Serial Monitor.

Προκύπτουν λοιπόν για:

- 30ppm $\rightarrow$ τιμή τάσης $V_{out} = 4.85V$
- 1 ppm $\rightarrow$ τιμή τάσης $V_{out} = 0.16V$
- 0.5ppm $\rightarrow$ τιμή τάσης $V_{out} = 0.08V$
- 0.01 ppm $\rightarrow$ τιμή τάσης $V_{out} = 0.0016V$

Μία εκτίμηση λοιπόν είναι η αδυναμία του αισθητήρα για την μέτρηση του αερίου του μονοξειδίου του άνθρακα. Θα πρέπει να προβούμε σε βαθμονόμηση του μετρητικού οργάνου, ώστε πριν από τη μέτρηση να εξασφαλίσουμε την ορθότητα του στην τιμή του μετρούμενου αερίου.

2^ο Σενάριο

Το Gas Sensor Board είναι προετοιμασμένο να συνδέεται με αισθητήρες αερίου τύπου pellistor. Οι τύπου pellistor αισθητήρες αποτελούνται συνήθως από μια αντίσταση μέτρησης, η οποία αντιδρά στα δοθέντα κάθε φορά αέρια, καθώς και μια αντίσταση θέρμανσης, η οποία θερμαίνει την αντίσταση μέτρησης.

Στη προκειμένη περίπτωση παρατηρήσαμε ότι όλοι οι αισθητήρες, εκτός του μονοξειδίου του άνθρακα, είχαν αναπτύξει κάποια θερμοκρασία, μετά τα πρώτα 10 λεπτά ενεργής χρήσης, εκτός από τον αισθητήρα του CO, είτε ήταν τοποθετημένος στην υποδοχή 3, είτε στην υποδοχή 4.

Συνεπώς μια άλλη εκτίμηση είναι ότι μπορεί να οφείλεται σε αδυναμία μέτρησης των συγκεκριμένων υποδοχών (Socket 3, Socket 4).

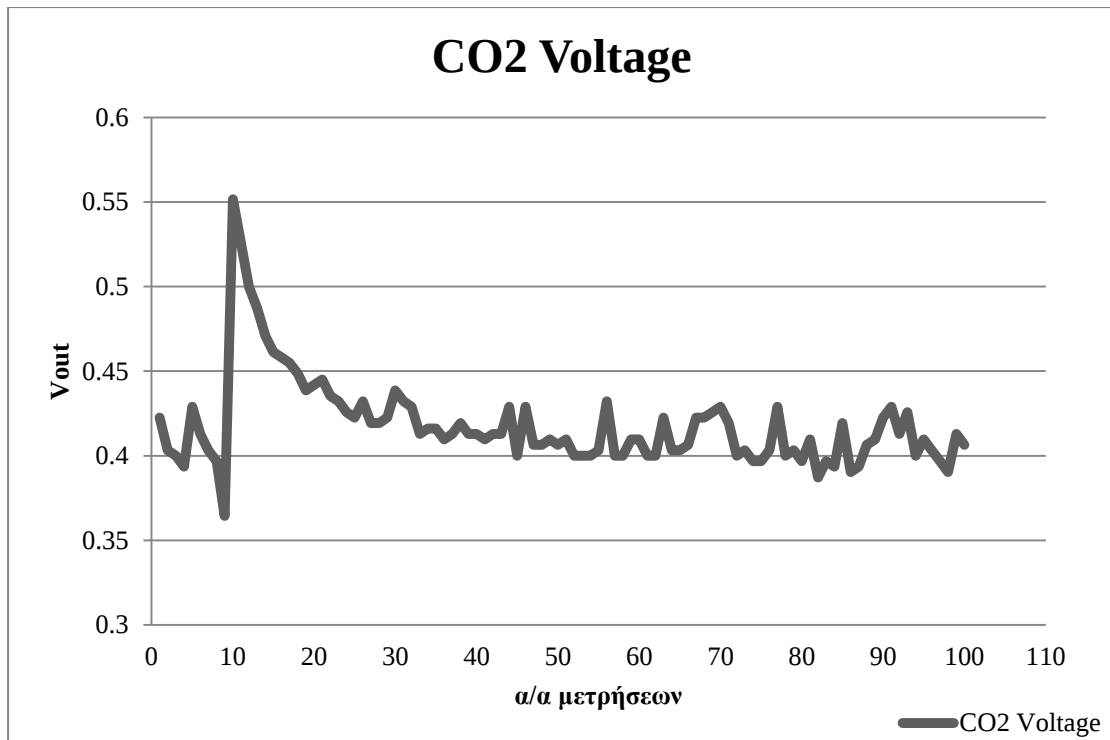
5.4.2 Πρώτη σειρά μετρήσεων σε συνθήκες δωματίου

Η θερμοκρασία δωματίου κυμαίνεται από 24° με 26° C και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν το διάστημα 12:00 μμ με 18:00 μμ.

Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι εδώ δεν μπορεί να γίνει εφαρμογή της μονάδας του GPS, διότι το σήμα είναι πολύ ασθενές και δεν υπάρχει άμεση οπτική επαφή με δορυφόρους.

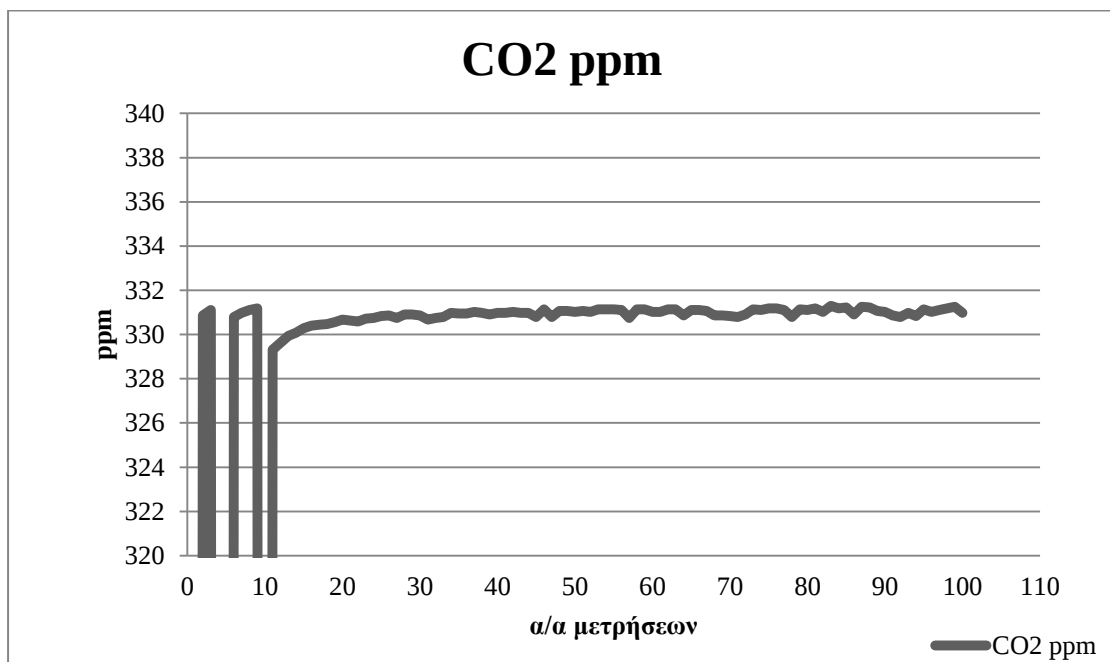
5.4.2.1 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Στον επόμενο πίνακα βλέπουμε τα αποτελέσματα της τάσης του αισθητήρα TGS4161 σε συνθήκες δωματίου:



Σχήμα 2 Αποτελέσματα τάσης για CO₂ σε συνθήκες δωματίου

Στη συνέχεια παραθέτουμε τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης ppm του CO₂ που λάβαμε σε συνθήκες δωματίου:



Σχήμα 3 Αποτελέσματα ppm του CO₂ σε συνθήκες δωματίου

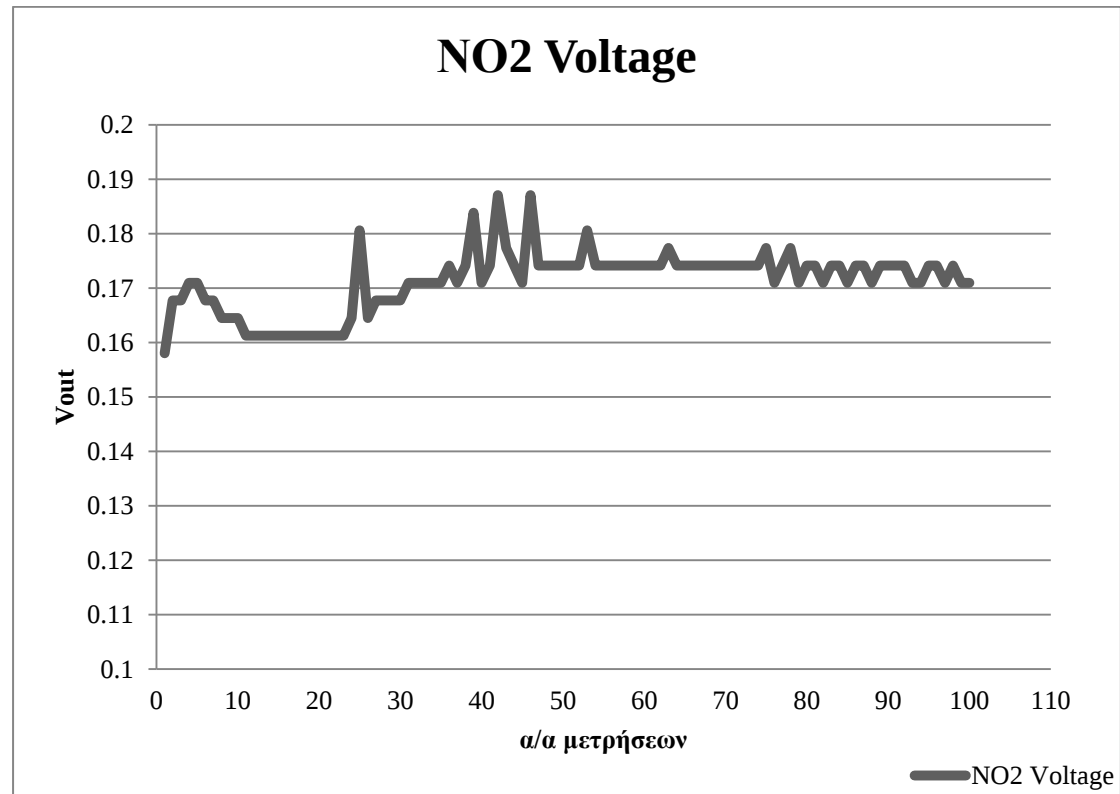
Η μέση συγκέντρωση της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι 335 ppm και το υψηλότερο που έχει φτάσει είναι στα 385 ppm. [13]

Παρατηρούμε αρχικά ότι ο αισθητήρας μας παρουσιάζει αστάθεια για τα πρώτα 15 λεπτά και στη συνέχεια σταθεροποιείται. Επίσης σε συνθήκες δωματίου έχουμε

ευαισθησία περίπου 20 ppm, μιας και το εύρος μέτρησης του αισθητήρα του διοξειδίου του άνθρακα ξεκινά στο 350 ppm.

5.4.2.2 Διοξείδιο του αζώτου (NO_2)

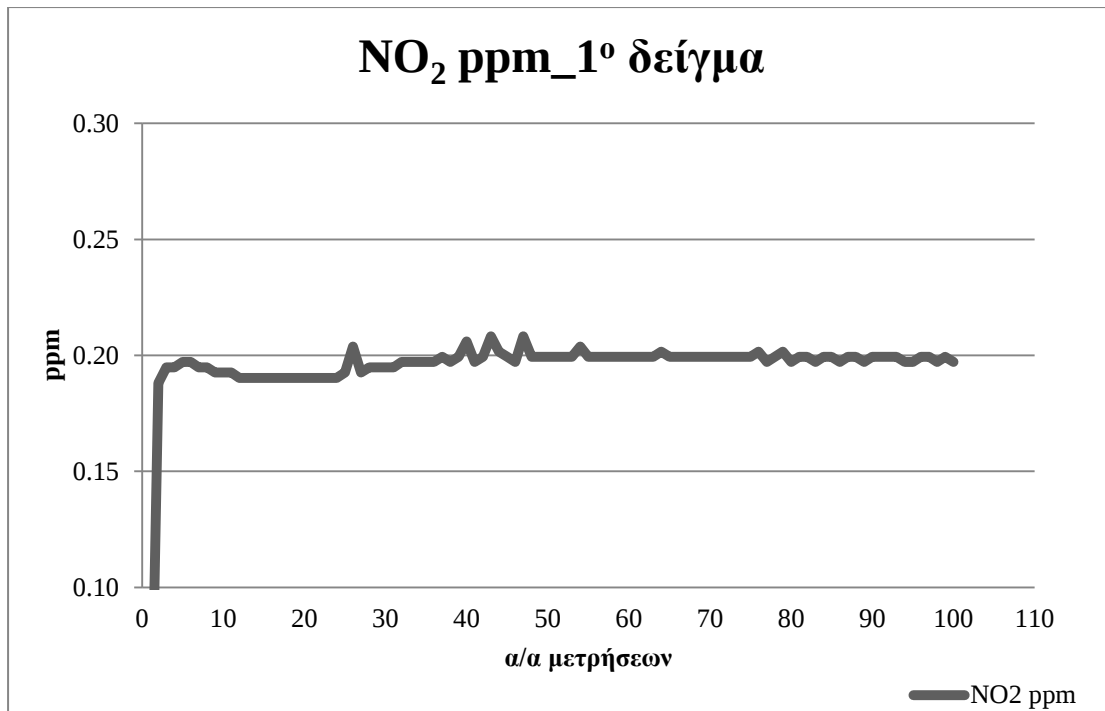
Στον επόμενο πίνακα βλέπουμε τα αποτελέσματα της τάσης του αισθητήρα MiC-2710 σε συνθήκες δωματίου:



Σχήμα 4 Αποτελέσματα τάσης του NO_2 σε συνθήκες δωματίου

1^ο δείγμα μετρήσεων

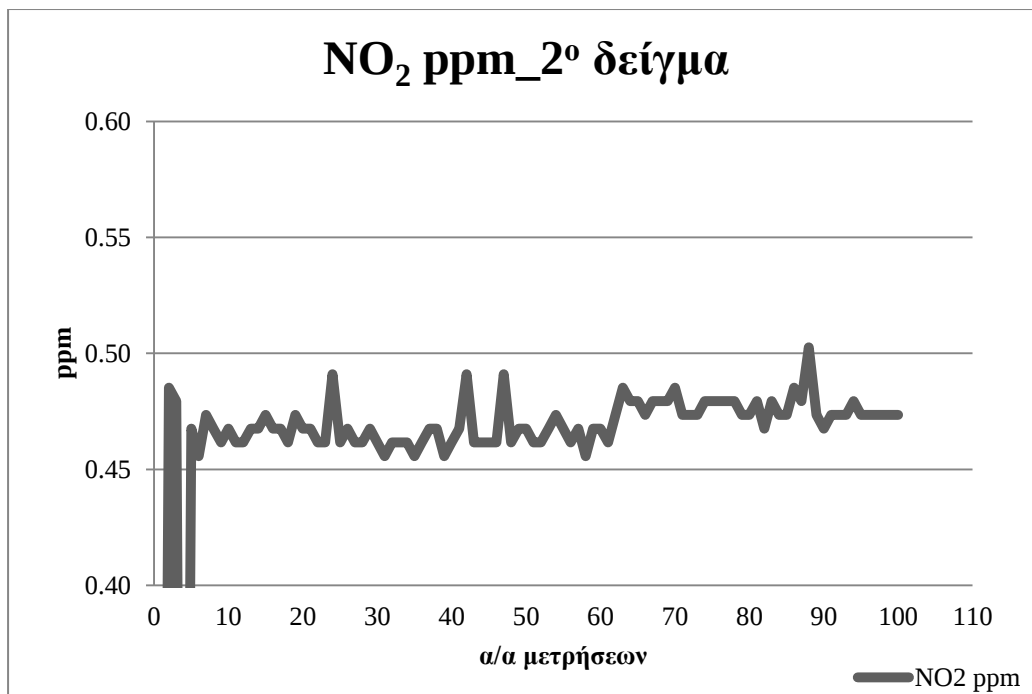
Στη συνέχεια παραθέτουμε τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης ppm του NO_2 που λάβαμε σε συνθήκες δωματίου με $R_L = 80k\Omega$ και $R_0 = 12.2k\Omega$:



Σχήμα 5 1^ο δείγμα συγκέντρωσης ppm του NO₂ σε συνθήκες δωματίου

2^ο δείγμα μετρήσεων

Θεωρώντας τώρα $R_l = 80k\Omega$ και $R_0 = 2.2k\Omega$, προκύπτει το 2^ο δείγμα των αποτελεσμάτων της συγκέντρωσης ppm του NO₂ που λάβαμε σε συνθήκες δωματίου:



Σχήμα 6 2^ο δείγμα συγκέντρωσης ppm του NO₂ σε συνθήκες δωματίου

Σύμφωνα με το ημερήσιο δελτίο ατμοσφαιρικής ρύπανσης [23] η ποσότητα του NO₂ στην ατμόσφαιρα υπολογίστηκε, αναλόγως την περιοχή μέτρησης, από 4μg/m³ έως 116μg/m³, οι οποίες ποσότητες μεταφράζονται σε συγκέντρωση ppm από

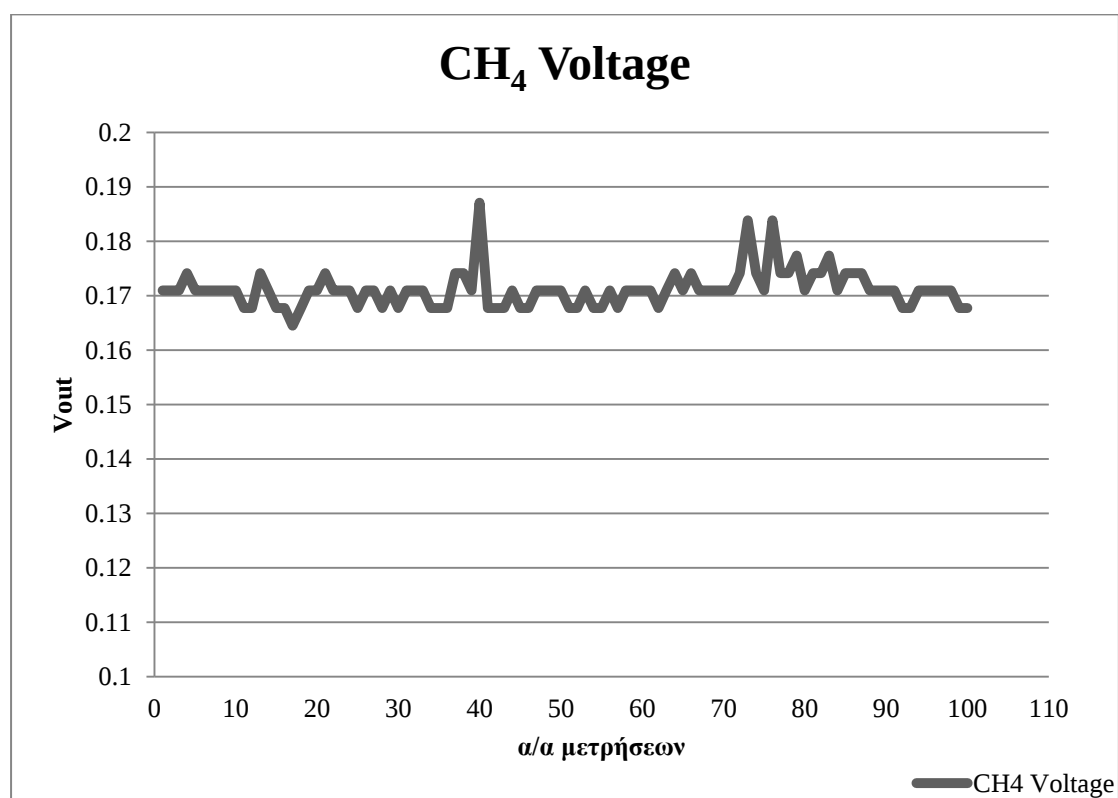
0.00197ppm έως 0.0573ppm αντίστοιχα. Παρατηρούμε λοιπόν ότι και στα δυο δείγματα έχουμε μεγάλη απόκλιση από τις πραγματικές τιμές συγκέντρωσης NO₂, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση του αισθητήρα για την λήψη πραγματικών μετρήσεων.

Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι υπάρχει έντονη αστάθεια κατά την έναρξη των μετρήσεων, ειδικά στο 2^ο δείγμα, αλλά λόγω του ότι σταθεροποιείται μετά από λίγο δεν μας προκαλεί ανησυχία .

Γενικά υπολογίζεται ότι ο ετήσιος μέσος όρος της ποιότητας του αέρα για το NO₂ είναι 0.053 ppm. Έχει σχεδιαστεί ένα περιθώριο ασφαλείας για την προστασία της δημόσιας υγείας από την EPA(Environmental Protection Agency), όπου υποχρεούνται να προβεί σε δημόσια ειδοποίηση όταν το NO₂ φτάνει 0,6 ppm σε περίπου μία ώρα, μια δημόσια προειδοποίηση, όταν NO₂ φτάνει 1,2 ppm, και δήλωση δημόσιας έκτακτης ανάγκης στο επίπεδο των 1,6 ppm. Το σημαντικό επίπεδο βλάβης, στο οποίο προκαλεί σοβαρές και εκτεταμένες επιπτώσεις στην υγεία είναι 2,0 ppm [22].

5.4.2.3 Μεθάνιο (CH₄)

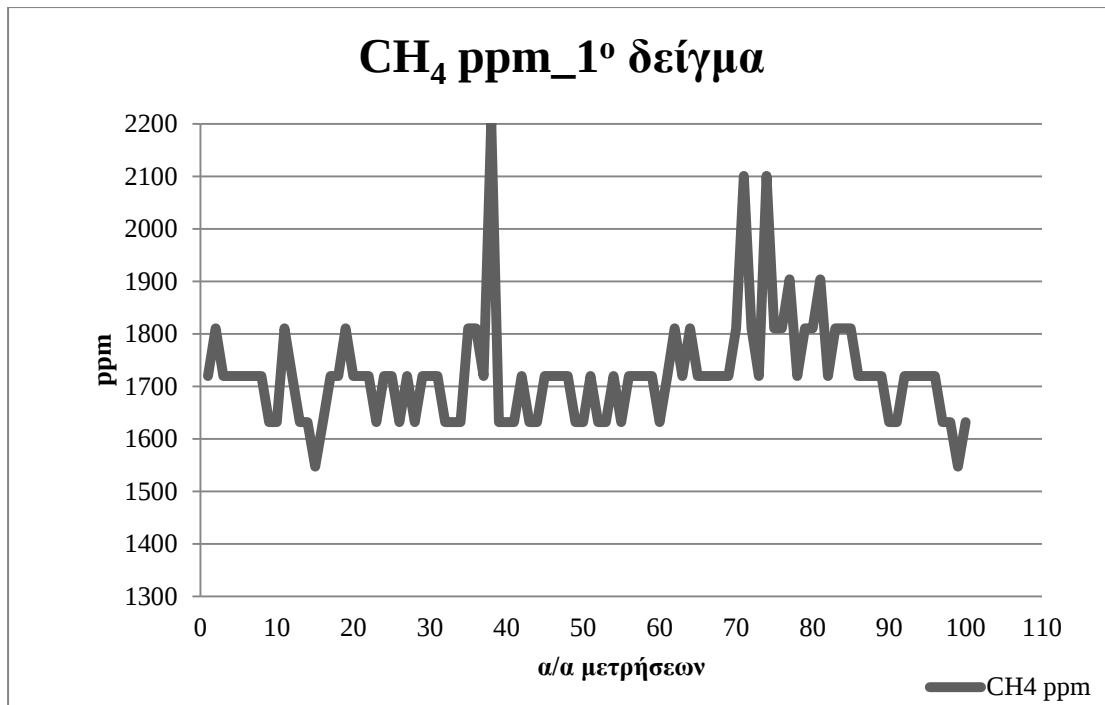
Στον επόμενο πίνακα βλέπουμε τα αποτελέσματα της τάσης του αισθητήρα TGS2611 σε συνθήκες δωματίου:



Σχήμα 7 Αποτελέσματα τάσης του CH₄ σε συνθήκες δωματίου

1^ο δείγμα μετρήσεων

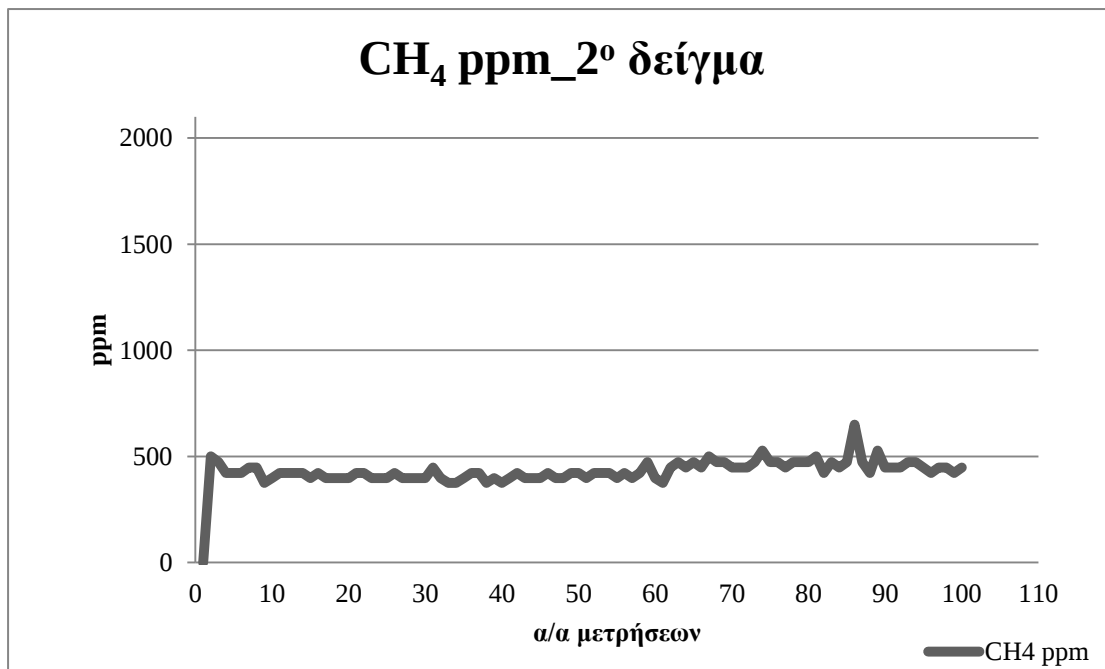
Στη συνέχεια παραθέτουμε τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης σε ppm του CH₄ που λάβαμε σε συνθήκες δωματίου με $R_L = 0.055k\Omega$ και $R_0 = 1k\Omega$:



Σχήμα 8 1^ο δείγμα συγκέντρωσης ppm του CH₄ σε συνθήκες δωματίου

2^ο δείγμα μετρήσεων

Θεωρώντας τώρα $R_l = 0.055k\Omega$ και $R_0 = 1.5k\Omega$, προκύπτει το 2^ο δείγμα των αποτελεσμάτων της συγκέντρωσης ppm του CH₄ που λάβαμε σε συνθήκες δωματίου:



Σχήμα 9 2^ο δείγμα συγκέντρωσης ppm του CH₄ σε συνθήκες δωματίου

Η μέση συγκέντρωση της ατμόσφαιρας σε μεθάνιο (CH₄) είναι περίπου 1775-1890 ppm [13]. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι δεν μπορούν να ισχύουν τα αποτελέσματα του 2^{ου} δείγματος.

5.4.3 Δεύτερη σειρά μετρήσεων σε αστικές συνθήκες

Η πρώτη ένδειξη, εφόσον έχει τεθεί σε λειτουργία το GPS και το RTC είναι:

Temperature: 32 | Time: 162529.216 | Date: 260613 | Latitude: 3800.7599 | Longitude: 02348.9729 | Altitude: -35.4 | Speed: 0.1 | Course: 83.08

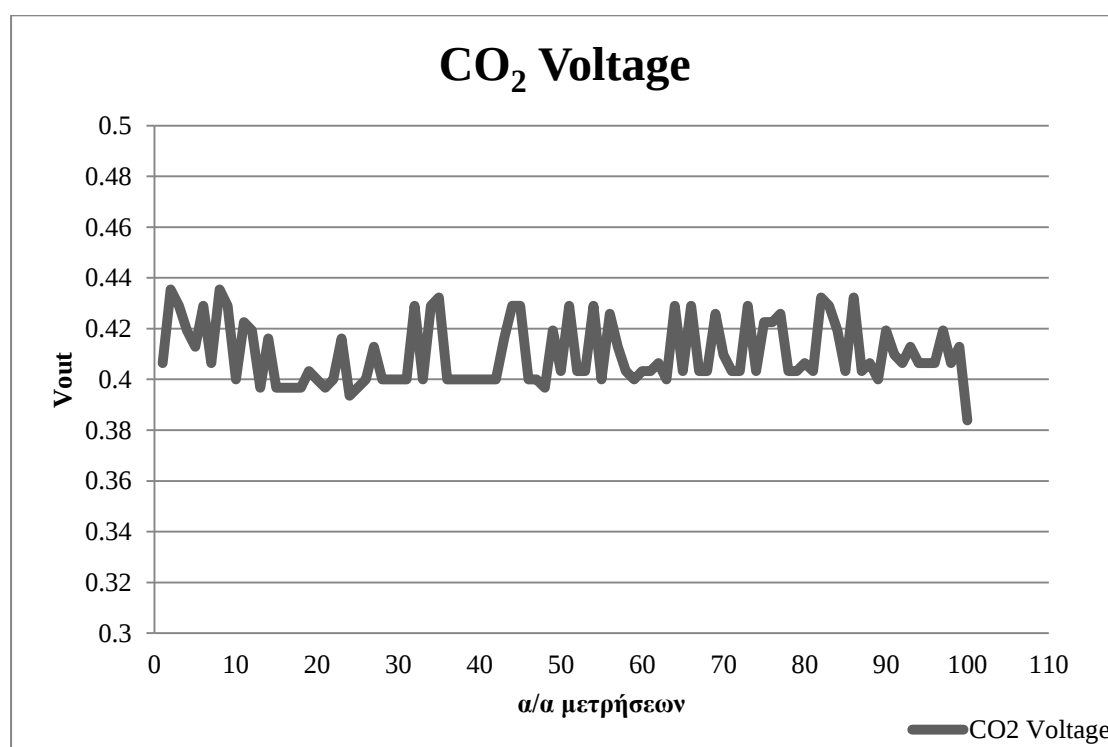
Και η τελευταία :

Temperature: 29 | Time: 195616.000 | Date: 260613 | Latitude: 3800.7923 | Longitude: 02349.1532 | Altitude: 264.3 | Speed: 0.2 | Course: 19.78

Πραγματοποιήθηκαν δηλαδή μετρήσεις το διάστημα 16:30 με 20:00 περίπου και σε γεωγραφικό μήκος 3800.8 και πλάτος 2349 που αντιστοιχούν στη περιοχή της πλατείας της Αγ. Παρασκευής, Δήμος Αγ. Παρασκευής Αττικής.

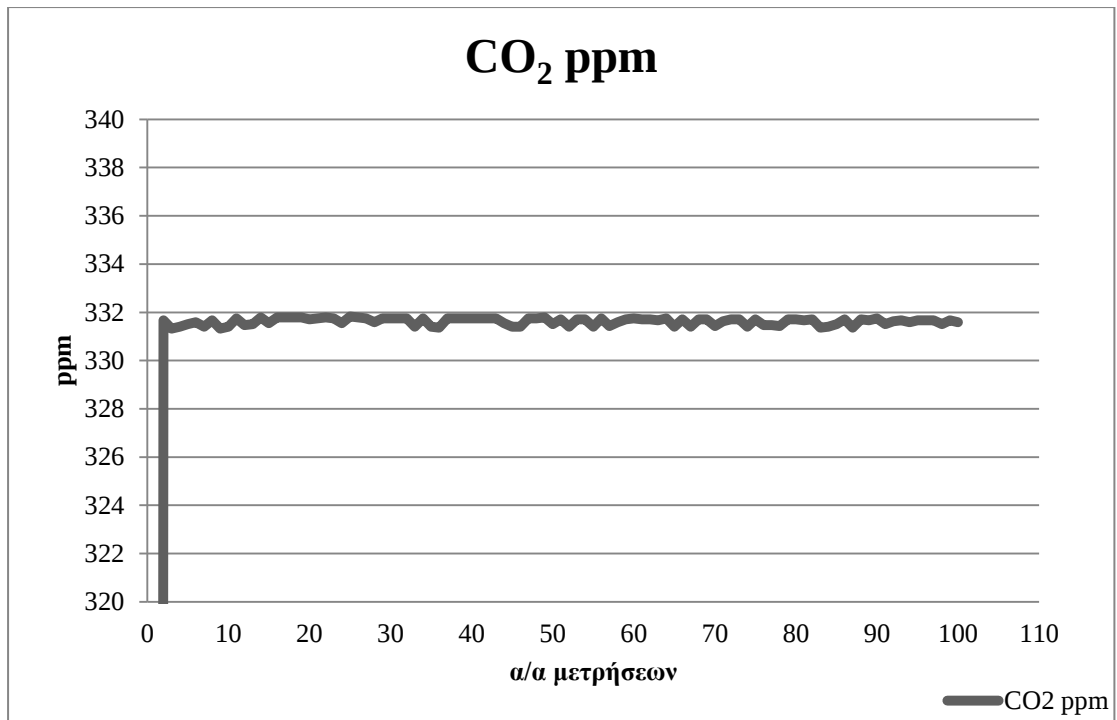
5.4.3.1 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Στον επόμενο πίνακα βλέπουμε τα αποτελέσματα της τάσης του αισθητήρα TGS4161 σε αστικές συνθήκες:



Σχήμα 10 Αποτελέσματα τάσης του CO₂ σε αστικές συνθήκες

Στη συνέχεια παραθέτουμε τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης ppm του CO₂ που λάβαμε σε αστικές συνθήκες:

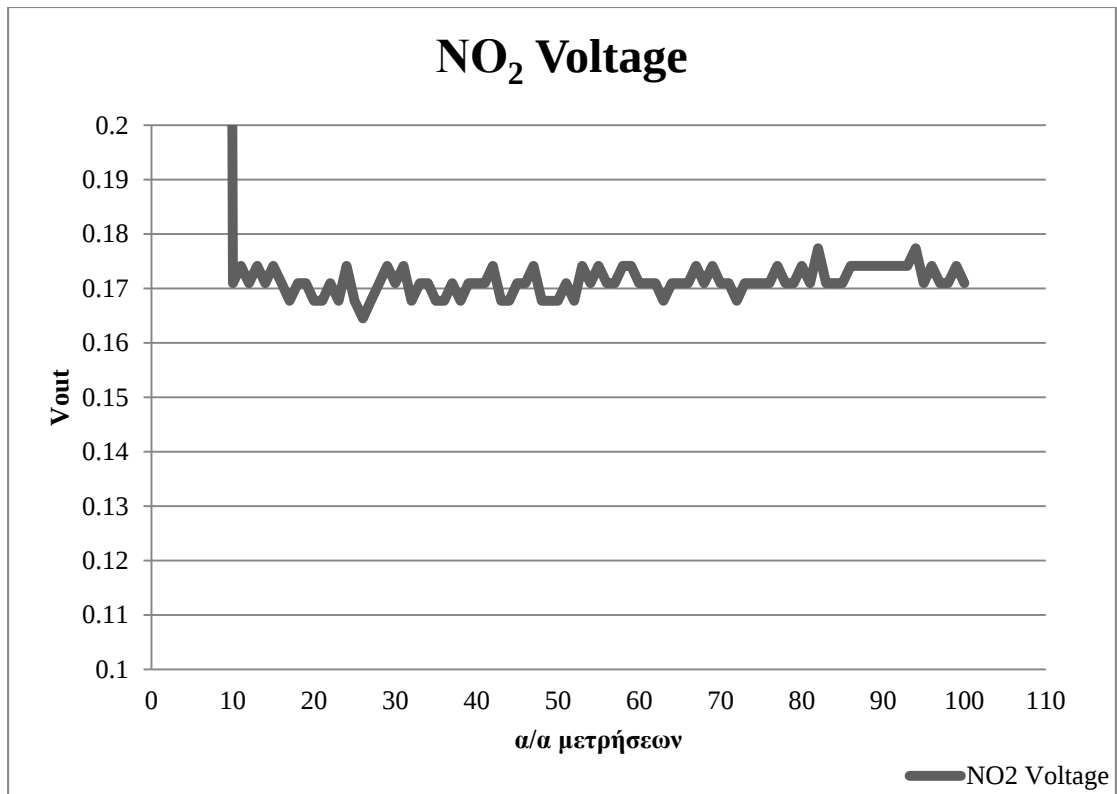


Σχήμα 11 Συγκέντρωση ppm του CO₂ σε αστικές συνθήκες

Παρατηρούμε και εδώ ότι σε αστικές συνθήκες έχουμε ευαισθησία περίπου 20 ppm, μιας και το εύρος μέτρησης του αισθητήρα του διοξειδίου του άνθρακα ξεκινά στο 350 ppm.

5.4.3.2 Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

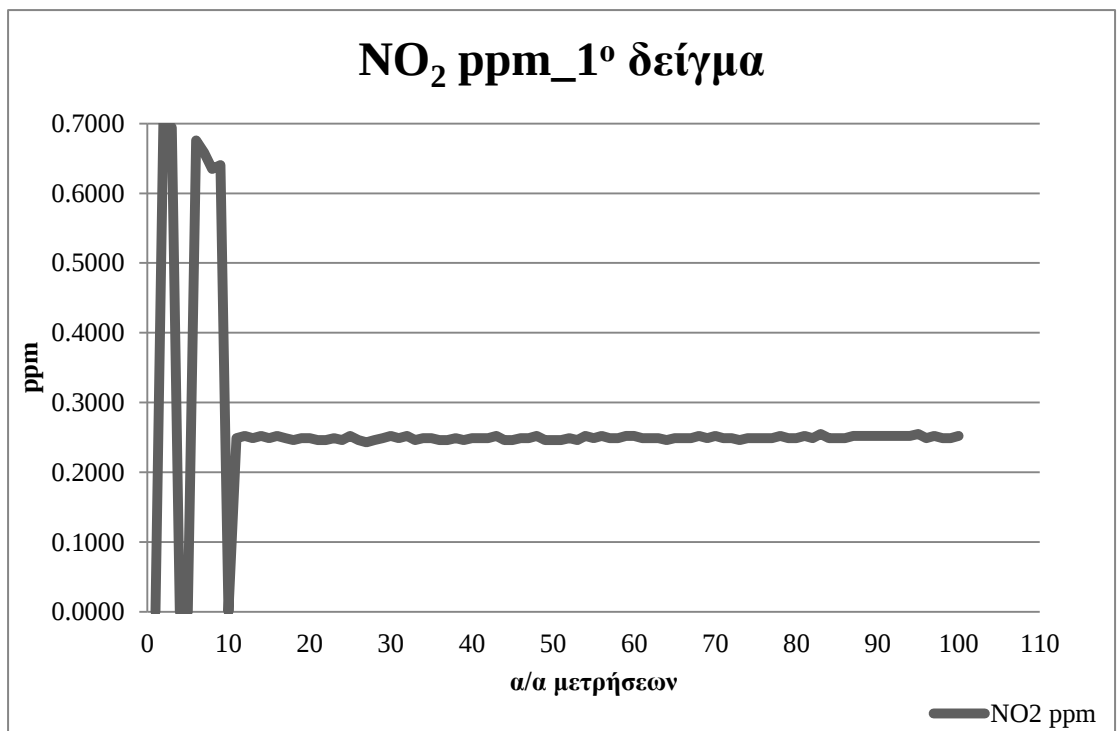
Στον επόμενο πίνακα βλέπουμε τα αποτελέσματα της τάσης του αισθητήρα MiC-2710 σε αστικές συνθήκες:



Σχήμα 12 Αποτελέσματα τάσης του NO₂ σε αστικές συνθήκες

1^ο δείγμα μετρήσεων

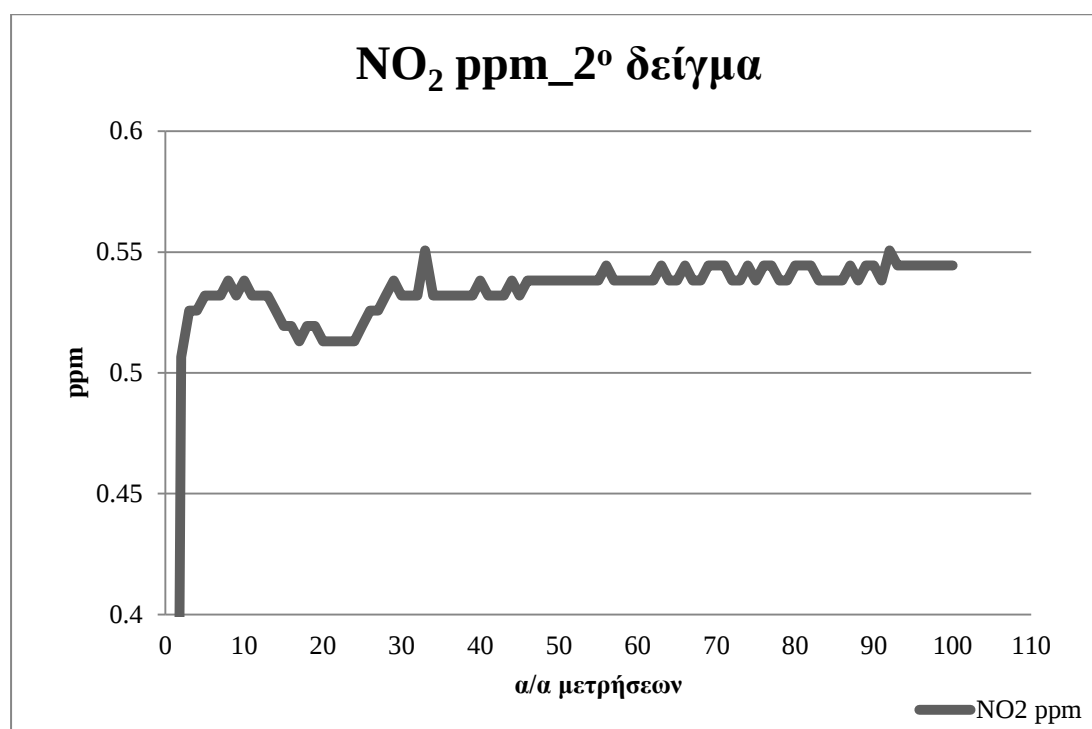
Στη συνέχεια παραθέτουμε τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης ppm του NO₂ που λάβαμε σε αστικές συνθήκες με $R_I = 80\text{ k}\Omega$ και $R_Q = 12.2\text{ k}\Omega$:



Σχήμα 13 1^ο δείγμα συγκέντρωσης ppm του NO₂ σε αστικές συνθήκες

2^ο δείγμα μετρήσεων

Θεωρώντας τώρα $R_l = 80k\Omega$ και $R_0 = 2.2k\Omega$, προκύπτει το 2^ο δείγμα των αποτελεσμάτων της συγκέντρωσης ppm του NO₂ που λάβαμε σε αστικές συνθήκες:



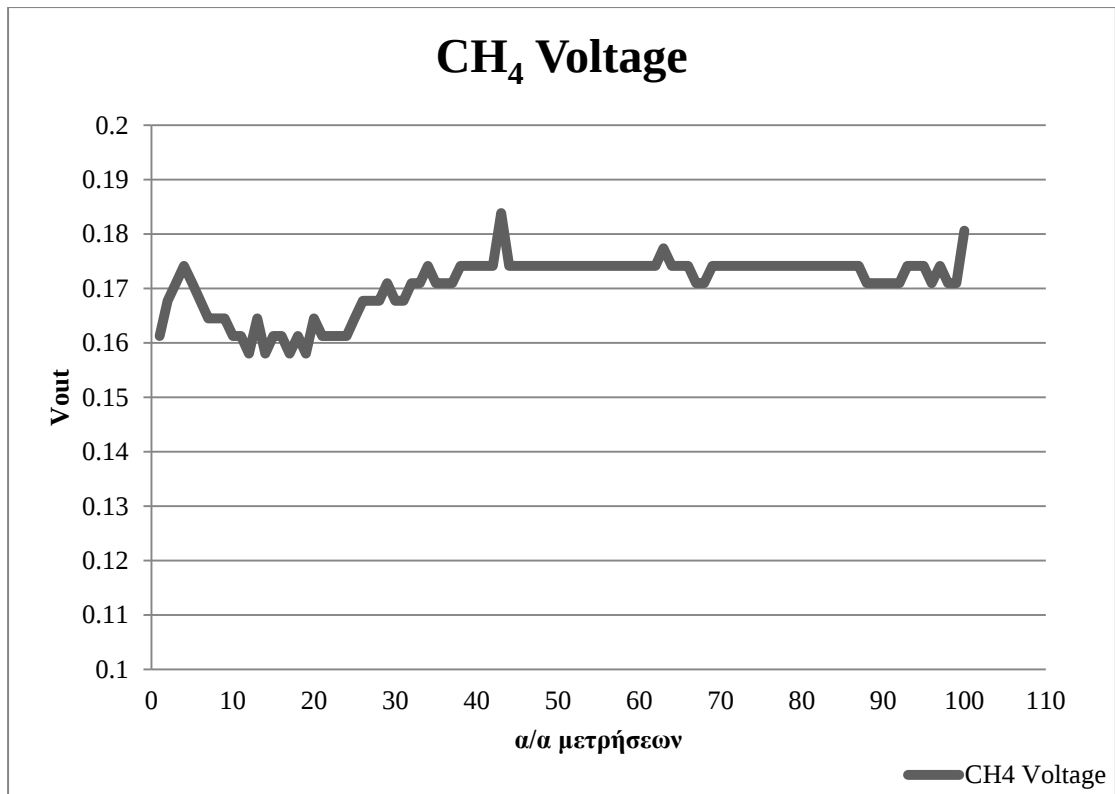
Σχήμα 14 2^ο δείγμα συγκέντρωσης ppm του NO₂ σε αστικές συνθήκες

Σύμφωνα με όσα αναφέραμε και προηγουμένως παρατηρούνται υψηλά επίπεδα του διοξειδίου του αζώτου για μεγάλο χρονικό διάστημα και στα δύο δείγματα, με αποτέλεσμα όπως και στις μετρήσεις σε συνθήκες δωματίου να είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση του αισθητήρα.

Παρατηρούμε επίσης ότι υπάρχει έντονη αστάθεια κατά την έναρξη των μετρήσεων, ειδικά στο 1^ο δείγμα, αλλά λόγω του ότι σταθεροποιείται μετά από λίγο δεν μας προκαλεί ανησυχία.

5.4.3.3 Μεθάνιο (CH₄)

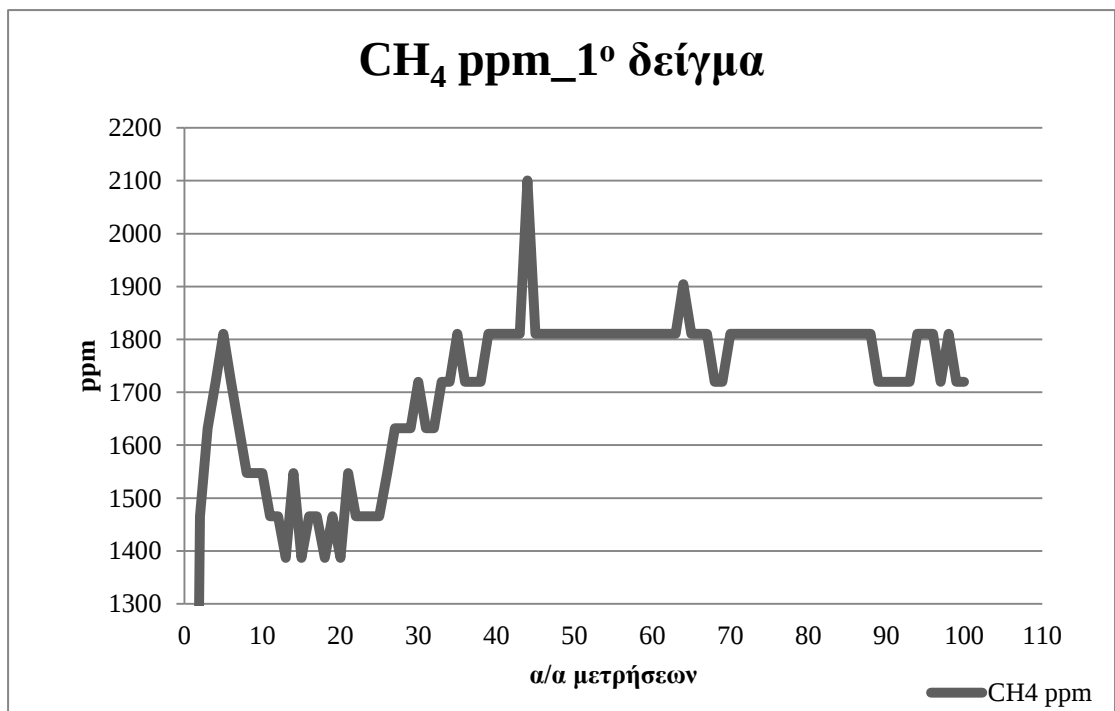
Στον επόμενο πίνακα βλέπουμε τα αποτελέσματα της τάσης του αισθητήρα TGS2611 σε αστικές συνθήκες:



Σχήμα 15 Αποτελέσματα τάσης του CH₄ σε αστικές συνθήκες

1^ο δείγμα μετρήσεων

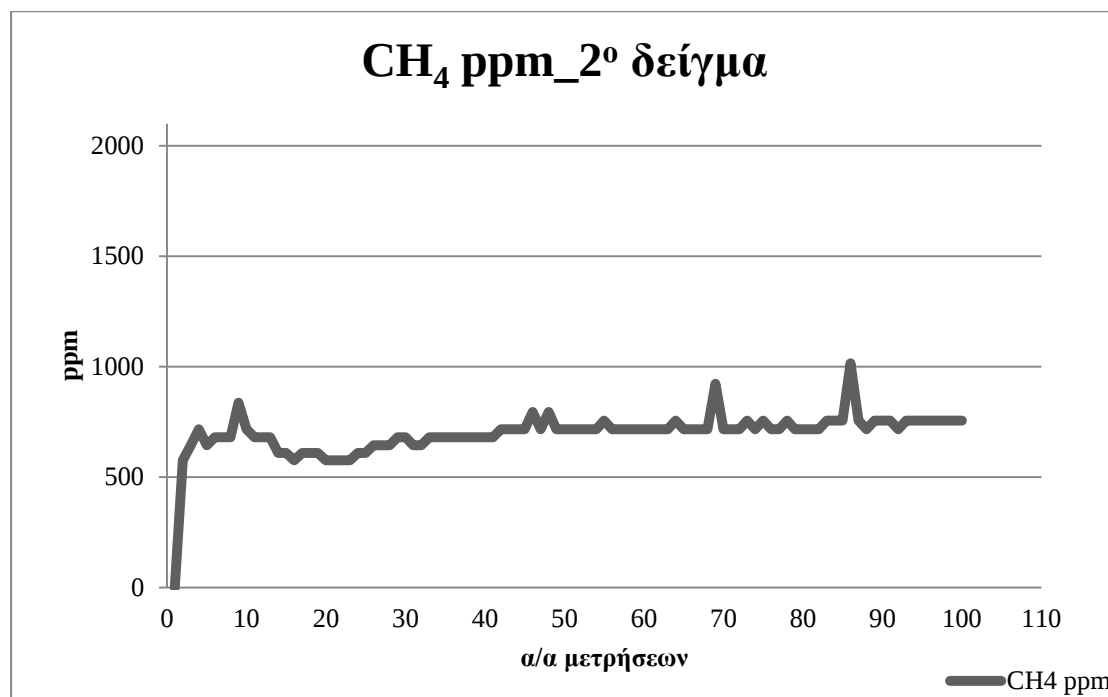
Στη συνέχεια παραθέτουμε τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης ppm του CH₄ που λάβαμε σε αστικές συνθήκες με $R_I = 0.055 \text{ k}\Omega$ και $R_0 = 1 \text{ k}\Omega$:



Σχήμα 16 1^ο δείγμα συγκέντρωσης ppm του CH₄ σε αστικές συνθήκες

2^ο δείγμα μετρήσεων

Θεωρώντας τώρα $R_L = 0.055k\Omega$ και $R_0 = 1.5k\Omega$, προκύπτει το 2^ο δείγμα των αποτελεσμάτων της συγκέντρωσης ppm του CH₄ που λάβαμε σε αστικές συνθήκες:



Σχήμα 17 2^ο δείγμα συγκέντρωσης ppm του CH₄ σε αστικές συνθήκες

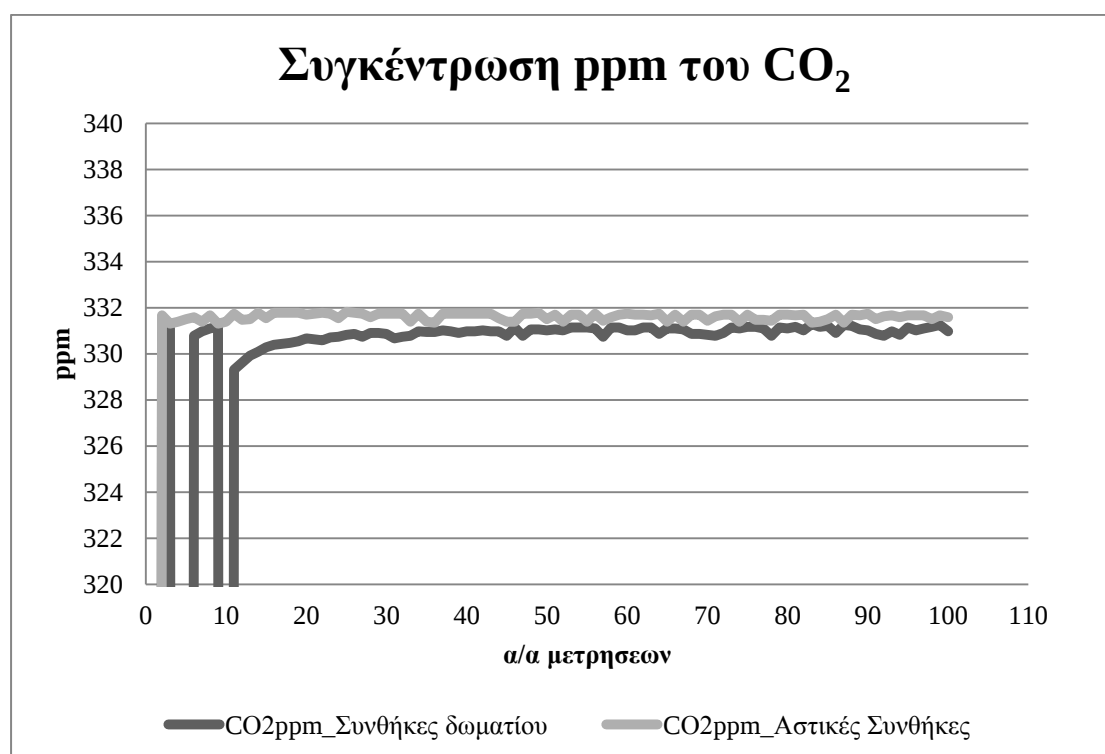
Η μέση συγκέντρωση της ατμόσφαιρας σε μεθάνιο (CH₄) όπως αναφέραμε είναι περίπου 1775-1890 ppm [13]. Συμπεραίνουμε και εδώ λοιπόν ότι δεν μπορούν να ισχύουν τα αποτελέσματα του 2^{ου} δείγματος.

Σημαντικό είναι εδώ να παρατηρήσουμε ότι στο 1^ο δείγμα έχουμε εμφανή καθυστέρηση όσον αφορά την σταθεροποίηση της μετρούμενης αντίστασης και κατ'επέκταση και της συγκέντρωσης ppm του μεθανίου. Φαίνεται καθαρά ότι σταθεροποιείται μετά την 35^η μέτρηση, που σημαίνει περίπου μία ώρα.

5.5 Έλεγχος απόκρισης αισθητήρων – Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στη παρούσα ενότητα αντιπαρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του κάθε αισθητήρα σε συνθήκες δωματίου και σε αστικές συνθήκες.

5.5.1 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

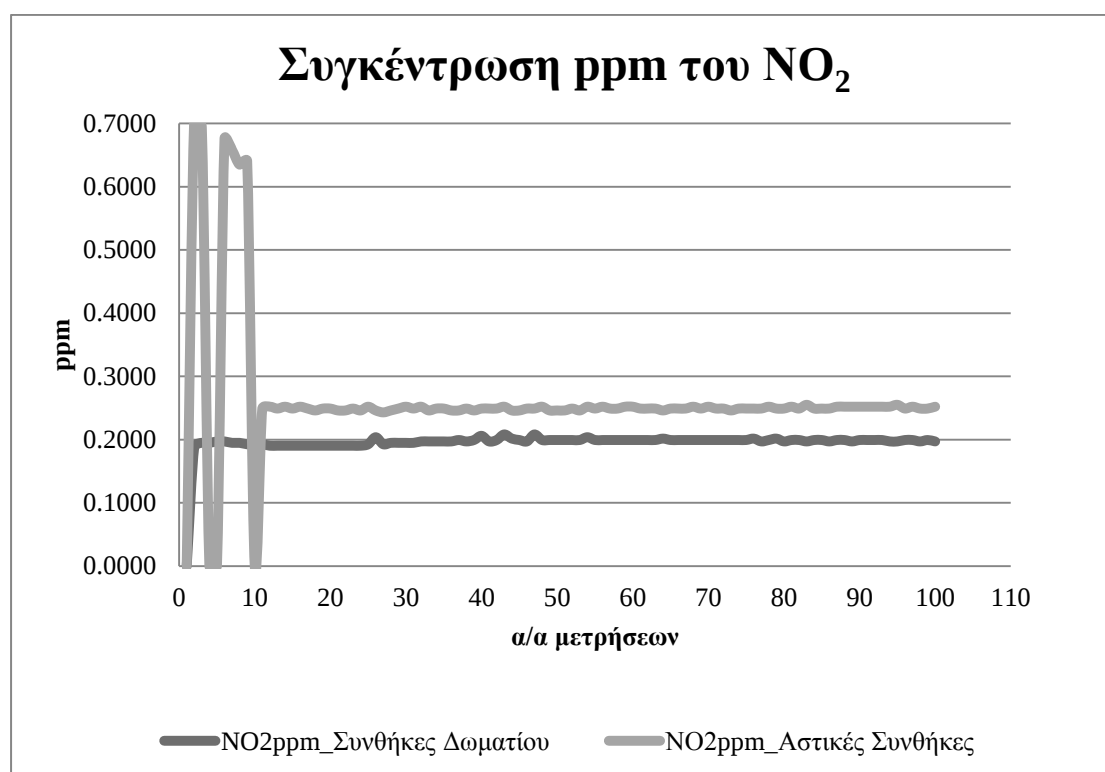


Σχήμα 18 Συγκέντρωση ppm του CO₂

Παρατηρήσεις

Σε συνθήκες δωματίου η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα είναι πιο χαμηλή, σε σχέση με αυτή των αστικών συνθηκών. Αυτό είναι λογικό, γιατί βρισκόμαστε σε κλειστό χώρο και δεν έχουμε τόσο μεγάλη επιρροή από παράγοντες που δημιουργούν άμεσα παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα. Σημαντική είναι και η προσπάθεια του αισθητήρα να σταθεροποιήσει την τιμή της αντίστασης κατά τις 10 πρώτες μετρήσεις σε συνθήκες δωματίου. Αντίθετα, κατά τη μέτρηση σε αστικές συνθήκες υπάρχει σταθεροποίηση από τη δεύτερη κιόλας μέτρηση.

5.5.2 Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

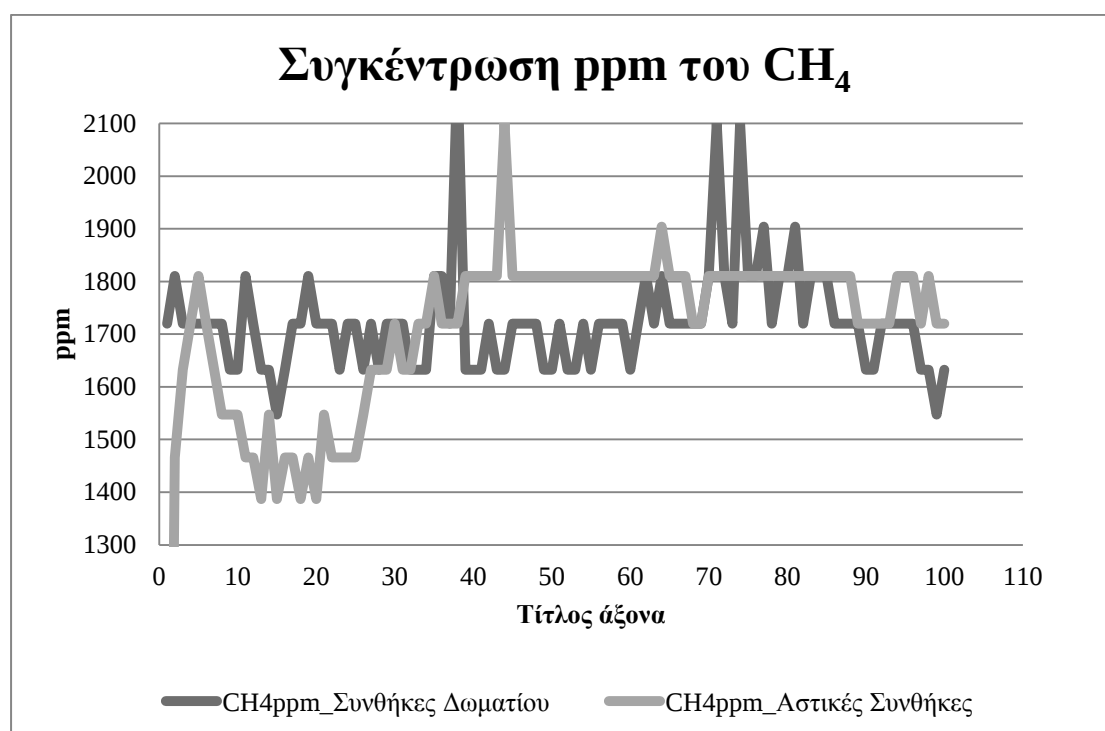


Σχήμα 19 Συγκέντρωση ppm του NO₂

Παρατηρήσεις

Έντονη είναι εδώ η διαφορά μεταξύ των δύο δειγμάτων και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις αστικές συνθήκες η παραγωγή καυσίμων σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, εδώ 32°C, είναι μεγαλύτερη, απ' ό τι σε ένα πιο δροσερό περιβάλλον. Σημαντική είναι και η προσπάθεια του αισθητήρα να σταθεροποιήσει την τιμή της αντίστασης κατά τις 10 πρώτες μετρήσεις σε αστικές συνθήκες. Αντίθετα κατά τη μέτρηση σε συνθήκες δωματίου υπάρχει σταθεροποίηση από τη δεύτερη κιόλας μέτρηση. Λόγω του ότι η συγκέντρωση ppm στην πραγματικότητα κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα, η βαθμονόμηση του αισθητήρα αποτελεί βασική προϋπόθεση.

5.5.3 Μεθάνιο (CH₄)



Σχήμα 20 Συγκέντρωση ppm του CH₄

Παρατηρήσεις

Παρατηρούνται απότομες αυξήσεις της τιμής σε συνθήκες δωματίου, επειδή όμως έχουν μικρή διάρκεια, μπορεί να οφείλονται στη τμηματική χρήση του κλιματιστικού, για την διατήρηση της θερμοκρασίας στους 25°C. Συγκριτικά με τα αποτελέσματα των προηγούμενων αισθητήρων, η αντίσταση του αισθητήρα του μεθανίου είναι η πιο ευαίσθητη, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μεγάλη αστάθεια καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση του αισθητήρα.

Κεφάλαιο 6: Μελλοντικές προεκτάσεις

6.1 Γενικά συμπεράσματα

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας έγινε μια μελέτη για την ασύρματη μετάδοση και παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών σε αστικό περιβάλλον έξυπνης πόλης από ένα δίκτυο αισθητήρων. Υλοποιήσαμε μια εφαρμογή καταγραφής και μετάδοσης της μετρούμενης τάσης και κατ' επέκταση συγκέντρωσης ppm συγκεκριμένων αισθητήρων αέριων ρύπων κάνοντας χρήση ασύρματων μονάδων για δίκτυα αισθητήρων. Το σύστημα που υλοποιήθηκε σαν εφαρμογή για τη μετάδοση των δεδομένων αυτών μπορεί φυσικά να επεκταθεί και σε περισσότερες συσκευές καταγραφής.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των μονάδων ασύρματων αισθητήρων είναι ότι συνδυάζουν δυνατότητες αποθήκευσης, επεξεργασίας και επικοινωνίας έτσι ώστε να επιτυγχάνουν την εκτέλεση πολλαπλών διεργασιών και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα πλήθος εφαρμογών, ύστερα από προγραμματισμό τους, ικανοποιώντας τις απαιτήσεις των σχεδιαστών τέτοιων δικτύων.

Μάλιστα, όλα αυτά τα χαρακτηριστικά προσφέρονται με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας και το μικρότερο δυνατό κόστος. Κάποια από τα χαρακτηριστικά που τίθενται ως βασικοί στόχοι υλοποίησης τέτοιων δικτύων είναι ο χρόνος ζωής, δεδομένου ότι πολλά από τα δίκτυα αυτά τροφοδοτούνται από μπαταρίες, το μέγεθος κάλυψης και η επεκτασιμότητα, το κόστος παραγωγής και η ευκολία ανάπτυξης, η αντοχή σε σφάλματα, οι δυνατότητες συγχρονισμού και ο χρόνος απόκρισης σε συμβάντα, καθώς και η ασφάλεια που παρέχουν στον τελικό χρήστη. Οι εφαρμογές τέτοιων συστημάτων δεν περιορίζονται μόνο στην καταγραφή περιβαλλοντικών παραμέτρων αλλά έχουν ένα τεράστιο εύρος.

Στην παρούσα εργασία περιγράψαμε αναλυτικά την πλατφόρμα του Waspote, συμπεριλαμβάνοντας τις ενότητες του XBee 802.15.4 Pro, του GPS, της micro SD κάρτας αποθήκευσης, του RTC και του Gas Sensor Board με τους αντίστοιχους αισθητήρες αερίων που θέλουμε να μελετήσουμε.

Στη συνέχεια προγραμματίσαμε την πλατφόρμα του Waspote μέσω του Waspote-IDE, ώστε να υλοποιήσουμε την εφαρμογή. Η εφαρμογή απαιτούσε την δειγματοληψία της τάσης και της συγκέντρωσης ppm των αντιστάσεων των αισθητήρων αερίων CO, CO₂, NO₂ και CH₄ από μια κατάλληλα ορισμένη θύρα εισόδου, του Gas Sensor Board ενσωματωμένη στο Waspote, και την αποστολή των δεδομένων. Σημαντικά στοιχεία κατά την υλοποίηση του κώδικα της εφαρμογής για τον προγραμματισμό της μονάδας αυτής ήταν η επιλογή της κατάλληλης αντίστασης φορτίου R_i και της αντίστασης R₀, καθώς δεν υπήρχε η δυνατότητα βαθμονόμησης των αισθητήρων και της μετρητικής διάταξης στο σύνολό της για την επικύρωση της ορθότητας των μετρούμενων μεγεθών. Ταυτόχρονα κάναμε καταγραφή, μέσω του GPS και του RTC, των συντεταγμένων της τοποθεσίας που βρισκόμασταν, την ώρα και ημερομηνία, καθώς και την θερμοκρασία του χώρου. Τα αποτελέσματα των δεδομένων φαίνονται κατά τη λήψη τους στο Serial Monitor και αποθηκεύονται σε μορφή αρχείου .txt στην SD κάρτα.

Τέλος οι μετρήσεις που έγιναν και η σύγκριση των δειγμάτων που παραθέσαμε οδήγησαν σε σημαντικά συμπεράσματα για το περιβάλλον μιας έξυπνης πόλης, όπως τα καταγράφουμε στο Κεφάλαιο 5.

6.2 Προεκτάσεις

Κατά την τριβή με το αντικείμενο στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας βρέθηκαν κάποια σημεία τα οποία θα μπορούσαν να βελτιώσουν σημαντικά την εφαρμογή και αρκετές ιδέες-προτάσεις οι οποίες μπορούν να υλοποιηθούν προς προέκταση και πειραματισμό. Μερικές από αυτές είναι:

1. Βαθμονόμηση των αισθητήρων. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους :
 - είτε σε συνεργασία με την εταιρία Libelium που είναι και η κατασκευάστρια εταιρεία του υλικού που χρησιμοποιήσαμε, ώστε να πραγματοποιήσει τις κατάλληλες ρυθμίσεις των αισθητήρων για να εξασφαλίσει την ορθότητα στην τιμή του μετρούμενου μεγέθους,
 - είτε κάνοντας σύγκριση μετρήσεων με κάποιο άλλο μετρητικό σύστημα αναφοράς, για το οποίο όμως γνωρίζουμε ότι μας παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα
2. Χρήση άλλων μονάδων στο Waspote, όσον αφορά την ασύρματη μετάδοση των δεδομένων. Για παράδειγμα μέσω της μονάδας GSM - 3G/GPRS Module, όπου ενδείκνυται για απομακρυσμένη διαχείριση δεδομένων και την ασύρματη αποστολή αυτών μέσω μηνυμάτων ή του FTP Service (κατέβασμα και ανέβασμα αρχείων).
3. Ενσωμάτωση περισσότερων της μίας μετρητικών διατάξεων σε χώρους , όπως για παράδειγμα σε εταιρίες, σε νοσοκομεία ή σε εργοστάσια, για τη λήψη μετρήσεων και τον έλεγχο αυτών ως προς τις περιβαλλοντικές συνθήκες που υπάρχουν
4. Ενσωμάτωση μετρητικών διατάξεων σε κινούμενα μέσα, λόγω χάρη λεωφορεία και ταξί για τη διενέργεια μετρήσεων του αστικού ιστού για διαμόρφωση χαρτών περιβαλλοντικής επιβάρυνσης με σκοπό την επιλογή περιβαλλοντικά φιλικότερων δρομολογίων.
5. Διαμόρφωση έξυπνου δικτύου αισθητήρων με δυνατότητα ασύρματης μετάδοσης δεδομένων που αφορούν το περιβάλλον, για αλληλεπίδραση και ενεργοποίηση διατάξεων ελέγχων περιβαλλοντικών συνθηκών. Ένα παράδειγμα είναι η τοποθέτηση αισθητήρων που επικοινωνούν μεταξύ του σε μία δασική περιοχή και όταν υπάρξει σε κάποιο σημείο έντονη αύξηση της συγκέντρωσης του CO ή του CO₂ να γίνει εντοπισμός της συγκεκριμένης γεωγραφικής θέσης, με σκοπό την αποφυγή ενδεχόμενης πυρκαγιάς (localization).

Παράρτημα

Κώδικας λήψης πληροφοριών από τα GPS και RTC και η αποθήκευση αυτών στην SD κάρτα

```
char aux[100];
void setup()
{
  USB.begin();
  SD.ON();
  RTC.ON();
  GPS.ON();
  while( !GPS.check() ) delay(1000);
  USB.println("GPS Connected");
  if(SD.create("dataTHESI.txt")) USB.println("'dataTHESI.txt' created");
}
void loop()
{
  USB.print("Temperature: ");
  USB.println(RTC.getTemperature(),DEC);
  int temp=RTC.getTemperature();
  RTC.close();

  GPS.getPosition();
  USB.print("Time: ");
  USB.println(GPS.timeGPS);
  USB.print("Date: ");
  USB.println(GPS.dateGPS);
  USB.print("Latitude: ");
  USB.println(GPS.latitude);
  USB.print("Longitude: ");
  USB.println(GPS.longitude);
  USB.print("Altitude: ");
  USB.println(GPS.altitude);
  USB.print("Speed: ");
  USB.println(GPS.speed);
```

```

USB.print("Course: ");
USB.println(GPS.course);
//GPS.close();

sprintf(aux, "Temperature: %d | Time: %s | Date: %s | Latitude: %s | Longitude: %s | Altitude: %s |
Speed: %s | Course: %s", temp, GPS.timeGPS, GPS.dateGPS, GPS.latitude, GPS.longitude,
GPS.altitude, GPS.speed, GPS.course);

if(SD.appendln("dataTHESI.txt",aux)) USB.println("Data copied to 'dataTHESI.txt' ");
USB.println("-----");
//SD.close();
delay(5000);
}

```

Κώδικας λήψης μετρήσεων μέσω USB για τους αισθητήρες ρύπων CO, CO₂, NO₂, CH₄

```

float CO=0;
float COO=0;
float COppm=0;
float CO2=0;
float CO2ppm=0;
float NO2=0;
float NO22=0;
float NO2ppm=0;
float CH4=0;
float CH44=0;
float CH4ppm=0;
char co_volt[20];
char co2_volt[20];
char no2_volt[20];
char ch4_volt[20];
char co_ppm[20];
char co2_ppm[20];
char no2_ppm[20];
char ch4_ppm[20];

void setup()
{

```

```

USB.begin();

//Set SD ON
SD.ON();
SD.init();
//temp
RTC.ON();

SensorGas.setBoardMode(SENS_ON); delay(1000);

//CO
SensorGas.configureSensor(SENS_SOCKET3, 1, 100); // Gain=1, Rl=100 kOhm

//CO2
SensorGas.configureSensor(SENS_CO2,1); // Gain=1
SensorGas.setSensorMode(SENS_ON, SENS_CO2);

//NO2
SensorGas.configureSensor(SENS_SOCKET2B,1,80); // Gain=1, Rl=80 kOhm
SensorGas.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SOCKET2B);

//CH4
SensorGas.configureSensor(SENS_SOCKET2A,1,0.055 ); //Gain=1, Rl= 0.055 kOhm
SensorGas.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SOCKET2A);
if(SD.create("COVoltage.txt")) USB.println("COVoltage.txt' created");
if(SD.create("CO2Voltage.txt")) USB.println("CO2Voltage.txt' created");
if(SD.create("NO2Voltage.txt")) USB.println("NO2Voltage.txt' created");
if(SD.create("CH4Voltage.txt")) USB.println("CH4Voltage.txt' created");

if(SD.create("COppm.txt")) USB.println("COppm.txt' created");
if(SD.create("CO2ppm.txt")) USB.println("CO2ppm.txt' created");
if(SD.create("NO2ppm.txt")) USB.println("NO2ppm.txt' created");
if(SD.create("CH4ppm.txt")) USB.println("CH4ppm.txt' created");
USB.println(" ");
}

```

```

void loop()
{
    CO= SensorGas.readValue(SENS_SOCKET3);
    Utils.float2String(CO,co_volt,9);
    Utils.float2String(COppm,co_ppm,9);
    USB.print("CO voltage: ");
    USB.println(CO);
    COO = (((5.0 * 100.0/CO) - 100.0)*38); // Ro=38 kohm and Rl=100
    COppm = pow(10, (log10(COO-2.302)/(-1.151)));
    USB.print("CO ppm: ");
    USB.println(COppm);

    delay(30000);

    CO2= SensorGas.readValue(SENS_CO2);
    Utils.float2String(CO2,co2_volt,9);
    Utils.float2String(CO2ppm,co2_ppm,9);
    USB.print("CO2 voltage: ");
    USB.println(CO2);
    CO2ppm = pow(10, ((0.22-(CO2))+158.631)/62.877 );
    USB.print("CO2 ppm: ");
    USB.println(CO2ppm);

    delay(30000);

    NO2= SensorGas.readValue(SENS_SOCKET2B);
    Utils.float2String(NO2,no2_volt,9);
    Utils.float2String(NO2ppm,no2_ppm,9);
    USB.print("NO2 voltage: ");
    USB.println(NO2);
    NO22 = (((1.8 * 80.0/NO2) - 80.0)*12.2); // Ro= 12.2 kohms and Rl=80
    NO2ppm = pow(10, (log10(NO22)-2.67761)/(-1.8303));
    USB.print("NO2 ppm: ");
    USB.println(NO2ppm);
}

```

```

delay(30000);
CH4= SensorGas.readValue(SENS_SOCKET2A);
  Utils.float2String(CH4,ch4_volt,9);
  Utils.float2String(CH4ppm,ch4_ppm,9);
  USB.print("CH4 voltage: ");
  USB.println(CH4);
  CH44 = (((5.0 * 0.055/CH4) - 0.055)*1); // Ro= 1 kohms and Rl=0.055
  CH4ppm = pow(10, (log10(CH44)-1.410884)/(-0.376938));
  USB.print("CH4 ppm: ");
  USB.println(CH4ppm);

// Getting Temperature
  USB.print("Temperature: ");
  USB.println(RTC.getTemperature(),DEC);
  int temp=RTC.getTemperature();
  RTC.close();

  USB.print("Battery Level: ");
  USB.print(PWR.getBatteryLevel(),DEC);
  USB.println(" %");

if (SD.appendln("COVoltage.txt",co_volt)) USB.println("Data copied to 'COVoltage.txt' ");
if (SD.appendln("CO2Voltage.txt",co2_volt)) USB.println("Data copied to 'CO2Voltage.txt' ");
if (SD.appendln("NO2Voltage.txt",no2_volt)) USB.println("Data copied to 'NO2Voltage.txt' ");
if (SD.appendln("CH4Voltage.txt",ch4_volt)) USB.println("Data copied to 'CH4Voltage.txt' ");
if (SD.appendln("COppm.txt",co_ppm)) USB.println("Data copied to 'COppm.txt' ");
if (SD.appendln("CO2ppm.txt",co2_ppm)) USB.println("Data copied to 'CO2ppm.txt' ");
if (SD.appendln("NO2ppm.txt",no2_ppm)) USB.println("Data copied to 'NO2ppm.txt' ");
if (SD.appendln("CH4ppm.txt",ch4_ppm)) USB.println("Data copied to 'CH4ppm.txt' ");

  USB.println("-----");

  delay(5000);
}

```

Κώδικας λήψης μετρήσεων μέσω XBee 802.15.4 Pro για τους αισθητήρες ρύπων CO, CO₂, NO₂, CH₄ – 1^ο δείγμα μετρήσεων

```
float CO=0;
float COO=0;
float COppm=0;
float CO2=0;
float CO2ppm=0;
float NO2=0;
float NO22=0;
float NO2ppm=0;
float CH4=0;
float CH44=0;
float CH4ppm=0;
char co_volt[20];
char co2_volt[20];
char no2_volt[20];
char ch4_volt[20];
char co_ppm[20];
char co2_ppm[20];
char no2_ppm[20];
char ch4_ppm[20];

char data[100];
char batt[3];
packetXBee* paq_sent;
uint8_t state=0;
int flag=0;
uint8_t counter=0;
long previous=0;
char* macHigh=" ";
char* macLow=" ";

#define key_access "LIBELIUM"
uint8_t direccion[8]={
    0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0xFF,0xFF};
```

```

void setup()
{
    // Store key access in EEPROM
    for(int i=0;i<8;i++){
        Utils.writeEEPROM(i+107,key_access[i]);
    }
    // setup the GPS module
    GPS.ON();

    // waiting for GPS is connected to satellites
    while( !GPS.check() ) delay(1000);
    RTC.ON();

    SensorGas.setBoardMode(SENS_ON); delay(1000);

    //CO
    SensorGas.configureSensor(SENS_SOCKET3, 1, 100); // Gain=1, Rl=100 k Ohm

    //CO2
    SensorGas.configureSensor(SENS_CO2,1); // Gain=1
    SensorGas.setSensorMode(SENS_ON, SENS_CO2);

    //NO2
    SensorGas.configureSensor(SENS_SOCKET2B,1,80); // Gain=1, Rl=80 k Ohm
    SensorGas.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SOCKET2B);

    //CH4
    SensorGas.configureSensor(SENS_SOCKET2A,1,0.055 ); //Gain=1, Rl= 0.055 k Ohm
    SensorGas.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SOCKET2A);

    xbee802.init(XBEE_802_15_4,FREQ2_4G,NORMAL); // init 'xbee802' object
    xbee802.ON(); // opens UART and powers XBee

    // Get the XBee MAC address
    delay(500);

```

```

int counter = 0;
while(xbee802.getOwnMac()==1&&counter<4){
    xbee802.getOwnMac();
    counter++;
}

Utils.hex2str(xbee802.sourceMacHigh,macHigh,4);
Utils.hex2str(xbee802.sourceMacLow,macLow,4);

previous=millis();
}
void loop()
{
    // if( (millis()-previous) > 5000) {
        sendData();
        previous=millis();
    // }
}
void sendData()
{
    paq_sent=(packetXBee*) calloc(1,sizeof(packetXBee));
    paq_sent->mode=BROADCAST;
    paq_sent->MY_known=0;
    paq_sent->packetID=0x52;
    paq_sent->opt=0;
    xbee802.hops=0;
    xbee802.setOriginParams(paq_sent,"WASP", NI_TYPE);

    GPS.getPosition();
    delay(30000);
    //CO
    CO= SensorGas.readValue(SENS_SOCKET3);
    Utils.float2String(CO,co_volt,9);
    Utils.float2String(COppm,co_ppm,9);
    COO =(((5.0 * 100.0/CO) - 100.0)*38); // Ro=38 kohm and RI=100
    COppm = pow(10, (log10(COO-2.302)/(-1.151)));

```

```

//CO2
delay(30000);
CO2= SensorGas.readValue(SENS_CO2);
  Utils.float2String(CO2,co2_volt,9);
  Utils.float2String(CO2ppm,co2_ppm,9);
  CO2ppm = pow(10, ((0.22-(CO2))+158.631)/62.877 );

//NO2
delay(30000);
NO2= SensorGas.readValue(SENS_SOCKET2B);
  Utils.float2String(NO2,no2_volt,9);
  Utils.float2String(NO2ppm,no2_ppm,9);
  NO22 = (((1.8 * 80.0/NO2) - 80.0)*12.2); // Ro= 12.2 kohms and Rl=80
  NO2ppm = pow(10, (log10(NO22)-2.67761)/(-1.8303));

//CH4
delay(30000);
CH4= SensorGas.readValue(SENS_SOCKET2A);
  Utils.float2String(CH4,ch4_volt,9);
  Utils.float2String(CH4ppm,ch4_ppm,9);
  CH44 = (((5.0 * 0.055/CH4) - 0.055)*1); // Ro= 1 kohms and Rl=0.055
  CH4ppm = pow(10, (log10(CH44)-1.410884)/(-0.376938));

printf(data,"COVolt:%, CO2Volt:%, NO2Volt:%, CH4Volt:%, COppm:%, CO2ppm:%,
NO2ppm:%, CH4ppm:%, macHigh:%, macLow:%, Date:%, Time:%, Latitude:%,
Longitude:%,Temp:%d,power:%d%%c%%c%",co_volt,co2_volt,no2_volt,ch4_volt,co_ppm,co2_ppm,
no2_ppm,ch4_ppm,macHigh,macLow,GPS.dateGPS,GPS.timeGPS,GPS.latitude,GPS.longitude,(int
)RTC.getTemperature(),PWR.getBatteryLevel(),'\r','\n');

xbee802.setDestinationParams(paq_sent, direccion, data, MAC_TYPE, DATA_ABSOLUTE);
state=xbee802.sendXBee(paq_sent);
if(!state)
{
  XBee.println("OK");
}
free(paq_sent);
paq_sent=NULL;
}

```

Κώδικας λήψης μετρήσεων μέσω XBee 802.15.4 Pro για τους αισθητήρες ρύπων CO, CO₂, NO₂, CH₄ – 2^ο δείγμα μετρήσεων

```
float CO=0;
float COO=0;
float COppm=0;
float CO2=0;
float CO2ppm=0;
float NO2=0;
float NO22=0;
float NO2ppm=0;
float CH4=0;
float CH44=0;
float CH4ppm=0;
char co_volt[20];
char co2_volt[20];
char no2_volt[20];
char ch4_volt[20];
char co_ppm[20];
char co2_ppm[20];
char no2_ppm[20];
char ch4_ppm[20];

char data[100];
char batt[3];
packetXBee* paq_sent;
uint8_t state=0;
int flag=0;
uint8_t counter=0;
long previous=0;
char* macHigh=" ";
char* macLow=" ";

#define key_access "LIBELIUM"
uint8_t direccion[8]={
    0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0xFF,0xFF};
```

```

void setup()
{
    // Store key access in EEPROM
    for(int i=0;i<8;i++){
        Utils.writeEEPROM(i+107,key_access[i]);
    }
    // setup the GPS module
    GPS.ON();

    // waiting for GPS is connected to satellites
    while( !GPS.check() ) delay(1000);
    RTC.ON();

    SensorGas.setBoardMode(SENS_ON); delay(1000);

    //CO
    SensorGas.configureSensor(SENS_SOCKET4, 1, 100); // Gain=1, Rl=100 k Ohm

    //CO2
    SensorGas.configureSensor(SENS_CO2,1); // Gain=1
    SensorGas.setSensorMode(SENS_ON, SENS_CO2);

    //NO2
    SensorGas.configureSensor(SENS_SOCKET2B,1,80); // Gain=1, Rl=80 k Ohm
    SensorGas.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SOCKET2B);

    //CH4
    SensorGas.configureSensor(SENS_SOCKET2A,1,0.055 ); //Gain=1, Rl= 0.055 k Ohm
    SensorGas.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SOCKET2A);

    xbee802.init(XBEE_802_15_4,FREQ2_4G,NORMAL); // init 'xbee802' object
    xbee802.ON(); // opens UART and powers XBee

    // Get the XBee MAC address
    delay(500);

```

```

int counter = 0;
while(xbee802.getOwnMac()==1&&counter<4){
    xbee802.getOwnMac();
    counter++;
}

Utils.hex2str(xbee802.sourceMacHigh,macHigh,4);
Utils.hex2str(xbee802.sourceMacLow,macLow,4);

previous=millis();
}
void loop()
{
    // if( (millis()-previous) > 5000) {
        sendData();
        previous=millis();
    // }
}
void sendData()
{
    paq_sent=(packetXBee*) calloc(1,sizeof(packetXBee));
    paq_sent->mode=BROADCAST;
    paq_sent->MY_known=0;
    paq_sent->packetID=0x52;
    paq_sent->opt=0;
    xbee802.hops=0;
    xbee802.setOriginParams(paq_sent,"WASP", NI_TYPE);

    GPS.getPosition();
    delay(30000);
    //CO
    CO= SensorGas.readValue(SENS_SOCKET4);
    Utils.float2String(CO,co_volt,9);
    Utils.float2String(COppm,co_ppm,9);
    COO =(((5.0 * 100.0/CO) - 100.0)*90); // Ro=90 kohm and Rl=100
    COppm = pow(10, (log10(COO-2.302)/(-1.151)));

```

```

//CO2
delay(30000);
CO2= SensorGas.readValue(SENS_CO2);
  Utils.float2String(CO2,co2_volt,9);
  Utils.float2String(CO2ppm,co2_ppm,9);
  CO2ppm = pow(10, ((0.22-(CO2))+158.631)/62.877 );

//NO2
delay(30000);
NO2= SensorGas.readValue(SENS_SOCKET2B);
  Utils.float2String(NO2,no2_volt,9);
  Utils.float2String(NO2ppm,no2_ppm,9);
  NO22 = (((1.8 * 80.0/NO2) - 80.0)*2.2); // Ro= 2.2 kohms and Rl=80
  NO2ppm = pow(10, (log10(NO22)-2.67761)/(-1.8303));

//CH4
delay(30000);
CH4= SensorGas.readValue(SENS_SOCKET2A);
  Utils.float2String(CH4,ch4_volt,9);
  Utils.float2String(CH4ppm,ch4_ppm,9);
  CH44 = (((5.0 * 0.055/CH4) - 0.055)*1.5); // Ro= 1.5 kohms and Rl=0.055
  CH4ppm = pow(10, (log10(CH44)-1.410884)/(-0.376938));

printf(data,"COVolt:%s, CO2Volt:%s, NO2Volt:%s, CH4Volt:%s, COppm:%s, CO2ppm:%s,
NO2ppm:%s, CH4ppm:%s, macHigh:%s, macLow:%s, Date:%s, Time:%s, Latitude:%s,
Longitude:%s,Temp:%d,power:%d%%c%%c%%",co_volt,co2_volt,no2_volt,ch4_volt,co_ppm,co2_ppm
,no2_ppm,ch4_ppm,macHigh,macLow,GPS.dateGPS,GPS.timeGPS,GPS.latitude,GPS.longitude,(i
nt)RTC.getTemperature(),PWR.getBatteryLevel(),'r','\n');

xbee802.setDestinationParams(paq_sent, direccion, data, MAC_TYPE, DATA_ABSOLUTE);
state=xbee802.sendXBee(paq_sent);
if(!state)
{
  XBee.println("OK");
}
free(paq_sent);
paq_sent=NULL;
}

```

Βιβλιογραφία

- [1] C. S. a. C. J. C. Shen, «Sensor Information Networking Architecture and Applications,» *IEE Pers. Commun.*, pp. 52-59, August 2001.
- [2] M. S. a. A. A. G. Hoblos, «Optimal Desing of Fault Tolerant Sensor Networks,» *IEEE Int'l. Conf. Cont. Apps., Anchorage, AK*, p. 467-72, Sept 2000.
- [3] B. e. al., «Scalable Coordination for Wireless Sensor Networks: Self-Configuring Localization Systems,» Ambleside, U.K., July 2001.
- [4] R. G. a. D. E. C. Intanagonwiwat, «Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks,» *Proc. ACM MobiCom*, pp. 56-67, 2000.
- [5] S. M. C. G. S. S. T. T. M. S. J. R. B. N. A. S.-V. a. P. W. J.L. da Silva Jr., «Desing Methodology for Picoradio Networks,» *Proc. Desing, Automation and Test in Europe Conf.*, pp. 314-323, 2001.
- [6] R. A. S. C. J. G. G. K. J. K. W. R. A. W. A. Chandrakasan, Design considerations for distributed micro-sensor systems, San Diego, CA: Proceedings of the IEEE 1999 Custom Integrated Circuits Conference, May 1999.
- [7] «Smart cities Ranking of European medium-sized cities,» Oct 2007. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.smart-cities.eu/>.
- [8] «Nordregio (2004) ESPON 1.1.1: Potentials for polycentric development in Europe; Project report, Luxembourg: European Spatial Planning Observation Network Coordination Unit.».
- [9] «The Espon 1.1.1 study included the EU27-member states plus Norway and Switzerland».
- [10] «Libelium,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.libelium.com>.
- [11] «Ericsson,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.ericsson.com/>.
- [12] «European Lung Foundation,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.gr.european-lung-foundation.org>.
- [13] «Wikipedia,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://el.wikipedia.org>.
- [14] R. H. S. W. Newell RE, «Carbon monoxide and the burning earth,» *Scientific American*, pp. 82-88, 1989.

- [15] «Department of Chemistry,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.chem.uoa.gr/>.
- [16] H. LDD, «Global Warming: The Hard Science,» σε *Kump LR. Reducing uncertainty about carbon dioxide as a climate driver*, 2002, pp. 188-190.
- [17] E. G. g. a. g. warming, «Potential values. US Greenhouse Gas Inventory Program, Office of Atmospheric Programs,» 2002. [Ηλεκτρονικό]. Available: www.epa.gov/globalwarming/publications/emissions.
- [18] R. FS, «Climate change and its consequences,» *Environment*, pp. 29-34, 2001.
- [19] P. J. H. K. e. a. Root TL, «Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*,» pp. 57-60, 2003.
- [20] «United Nations Economic Commission for Europe,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.unece.org/env/lrtap/nitr>.
- [21] European Monitoring and Evaluation Programme/European Environment Agency, *Air pollutant emission inventory guidebook*, 2009.
- [22] «US Environmental Protection Agency,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.epa.gov>.
- [23] «Υπουργείο περιβάλλοντος ενεργειας και κλιματικής αλλαγης,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.ypeka.gr/>. [Πρόσβαση 26 06 2013].
- [24] Ελληνική Στατιστική Αρχή, <http://www.statistics.gr>.
- [25] Covenant of Mayors, <http://www.eumayors.eu>.
- [26] UNFCCC / Kyoto Protocol, <http://unfccc.int>.
- [27] European Commision Climate Action, "Climate chagne," 2011.
- [28] E. Commission, «A Digital Agenda for Europe,» 19 May 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://ec.europa.eu/information_society/digitalagenda/documents/digital-agenda-communication-en.pdf.
- [29] E. Commission, «Europe 2020 Flagship Initiative Innovation Union,» 6 Oct 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://ec.europa.eu/research/innovation-union/pdf/innovation-union-communication_en.pdf.
- [30] Mar. 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.smart-cities.eu>.
- [31] R. K. a. S. Litow, «Informed and Interconnected: A Manifesto for Smarter

Cities, Working Paper 09-141, Harvard Business School, Boston, MA, USA,» June 2009. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://hbswk.hbs.edu/item/6238.html>.

- [32] C. F. H. K. R. K. N. P.-M. a. E. M. R. Giffinger, «Smart Cities – Ranking of European Medium-Sized Cities, Research Report, Vienna University of Technology, Vienna, Austria,» 2007. [Ηλεκτρονικό]. Available: (http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf).
- [33] C. D. B. a. P. N. A. Caragliu, «Smart Cities in Europe,» Oct 2009. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.cers.tuke.sk/cers2009/PDF/01_03_Nijkamp.pdf.
- [34] U. Nations, «World Population Ageing 2007, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York,» 2007. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.un.org/esa/population/publications/WPA2007/wpp2007.htm>.
- [35] Philips, «Philips Index: America's Health & Well-being Report 2010, The Philips Center for Health and Well-being, Amsterdam, The Netherlands,» Jan 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.newscenter.philips.com/pwc_nc/main/standard/resources/corporate/press/2010/Philips_index/The_Philips_Index_Americas_Health_and_Well-being_report.pdf.
- [36] D. B. R. B. P. C. a. J. C. S.J. Brownsell, «Do community alarm users want telecare?users», Journal of Telemedicine and Telecare, Vol. 15, No. 3,» 2009. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://jtt.rsmjournals.com/cgi/content/short/15/3/109>.
- [37] [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.chronious.eu>.
- [38] Mar 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.heartcycle.eu>.
- [39] Mar 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.enable-project.eu>.