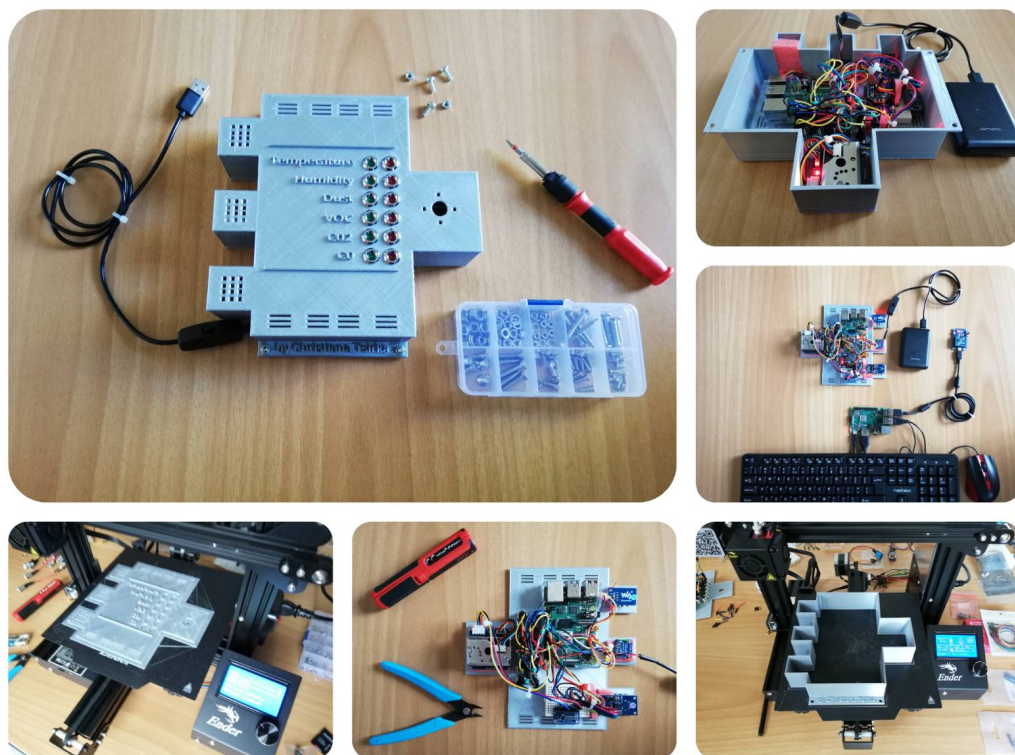


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διάταξη παρακολούθησης δεικτών υγείας θαλάμου νοσοκομείου



Χριστιάνα Τσίρκα

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Παντελής Αγγελίδης**

ΚΟΖΑΝΗ 2020



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διάταξη παρακολούθησης δεικτών υγείας θαλάμου νοσοκομείου

Χριστιάνα Τσίρκα

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Παντελής Αγγελίδης**

ΚΟΖΑΝΗ 2020

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί η δημιουργία ενός πρότυπου συστήματος συλλογής δεδομένων για παρακολούθηση των δεικτών υγείας θαλάμων των νοσοκομείων. Αρχικά θα παρουσιαστούν τα ευρήματα που εντοπίστηκαν σχετικά με τους δείκτες υγείας σε νοσοκομεία, ύστερα από αναζήτηση σε επιστημονικά άρθρα και συγγράμματα. Στη συνέχεια, θα αναφερθούν και ευρήματα που αφορούν σε αντίστοιχα συστήματα παρακολούθησης που βασίζονται σε πρότυπες πλατφόρμες ελέγχου και συλλογής δεδομένων. Τέλος, θα γίνει αναλυτική παρουσίαση της σχεδίασης και της δημιουργίας του προτεινόμενου συστήματος παρακολούθησης. Ουσιαστικά, πρόκειται για μια ολοκληρωμένη κατασκευή που περιλαμβάνει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, σκόνης, μέτρησης τιμών CO₂ και VOC, αλλά και εντοπισμό CO. Όλοι οι αισθητήρες συνδέονται στον μικρο-υπολογιστή Raspberry Pi 4. Η συσκευή μπορεί να λειτουργήσει ως κόμβος αισθητήρων με τη βοήθεια μονάδων XBee για την αποστολή των δεδομένων σε σταθμό βάσης, ή αυτόνομα με την χρήση WiFi ώστε να μπορεί να ελεγχθεί απομακρυσμένα από οποιοδήποτε PC ή κινητή συσκευή. Όλη η συσκευή περικλείεται σε κατάλληλα σχεδιασμένη θήκη, η οποία δημιουργήθηκε με 3D Printer, ώστε να υπάρχει κατάλληλη τοποθέτηση κάθε αισθητήρα και κάθε άλλου υποσυστήματος.

Λέξεις - Κλειδιά

Raspberry Pi, monitoring, hospital, sensors, IoT

Abstract

In this thesis, a prototype monitoring system for hospital wards health parameters was developed. Initially, the findings researched concerning health indicators in hospitals are presented. Following findings concerning corresponding monitoring platforms are reported. Finally, an analytic description of the proposed monitoring system is presented. It is an integrated platform monitoring temperature, humidity, dust, CO₂ and VOC rates. It also includes CO detection sensors. All sensors are connected to a Raspberry Pi 4 microcomputer. The platform may also function as a sensor node with the help of XBee modules for data transfer to a base transceiver station, or independently using WiFi so that it could be controlled remotely by any PC or mobile device. The device is encased in a suitably designed case created by a 3D printer, successfully housing all sensors and the rest of the components.

Keywords

Raspberry Pi, monitoring, hospital, sensors, IoT

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον καθηγητή μου, κύριο Παντελή Αγγελίδη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς και για την άριστη συνεργασία μας.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	10
2. Παρακολούθηση δεικτών υγείας.....	11
2.1 Θερμοκρασία.....	11
2.2 Υγρασία.....	13
2.3 Ποιότητα Αέρα.....	13
2.4 Μικροοργανισμοί.....	14
2.5 Γύρη.....	15
2.6 Πρότυπο ASHRAE 170.....	16
2.7 Θόρυβος.....	16
3. IoT και παρακολούθηση δεικτών υγείας.....	18
3.1 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων.....	18
3.2 IoT και Δίκτυα Αισθητήρων.....	19
3.3 Το IoT σε δομές υγείας.....	20
3.4 Πλατφόρμες Πρότυπων Συστημάτων.....	21
3.5 Πρότυπα Συστήματα IoT στην παρακολούθηση δομών υγείας.....	21
4. Δημιουργία του προτεινόμενου συστήματος παρακολούθησης.....	26
4.1 Σύντομη ανάλυση του Raspberry Pi.....	26
4.2 Εγκατάσταση λειτουργικού συστήματος.....	27
4.3 Σχεδιασμός κατασκευής τοποθέτησης των υποσυστημάτων.....	29
4.4 Έλεγχος λυχνιών LED.....	32
4.5 Αισθητήρας DTH11 (θερμοκρασίας - υγρασίας).....	37
4.6 Αισθητήρας MQ-7.....	39
4.7 VOC και CO2 - αισθητήρας CCS811.....	40
4.8 Αισθητήρας σκόνης και μετατροπέας ADS1115.....	43
4.9 XBee.....	46
4.10 Dataplicity.....	49
5. Μελλοντική Επέκταση.....	51
6. Επίλογος.....	51

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Ο μικρο-υπολογιστής Raspberry Pi.....	26
Εικόνα 2: Επιλογή του κατάλληλου Raspberry Pi Imager.....	27
Εικόνα 3: Επιλογή λειτουργικού συστήματος και κάρτας SD.....	27
Εικόνα 4: Λίστα επιλογής λειτουργικών συστημάτων.....	28
Εικόνα 5: Εφαρμογή SD Card Formatter.....	28
Εικόνα 6: Τελικό στάδιο ολοκλήρωσης της εγκατάστασης.....	29
Εικόνα 7: Διαδικασία σχεδιασμού πρόσοψης.....	29
Εικόνα 8: Τρισδιάστατη απεικόνιση πρόσοψης.....	29
Εικόνα 9: Διαδικασία σχεδιασμού πλαϊνού τμήματος.....	30
Εικόνα 10: Τρισδιάστατη απεικόνιση πλαϊνού τμήματος.....	30
Εικόνα 11: Διαδικασία σχεδιασμού οπίσθιου τμήματος.....	30
Εικόνα 12: Τρισδιάστατη απεικόνιση οπίσθιου τμήματος.....	31
Εικόνα 13: Διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης πρόσοψης.....	31
Εικόνα 14: Διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης πλαϊνού τμήματος.....	31
Εικόνα 15: Κώδικας Python για ενεργοποίηση και απενεργοποίηση LEDs.....	32
Εικόνα 16: 6 LEDs με πράσινο και 6 LEDs με κόκκινο φωτισμό.....	33
Εικόνα 17: Απογύμνωση καλωδίων για την συγκόλληση τους στα LEDs.....	33
Εικόνα 18: Συγκόλληση των καλωδίων στα LEDs	33
Εικόνα 19: Τοποθέτηση των θερμοσυστελλόμενων αγωγών.....	34
Εικόνα 20: Ολοκλήρωση και των 12 LEDs.....	34
Εικόνα 21: Δοκιμή ορθής λειτουργίας LED.....	34
Εικόνα 22: Τοποθέτηση όλων των LEDs σε breadboard.....	35
Εικόνα 23: Κοινή γείωση για όλα τα LEDs.....	35
Εικόνα 24: Τοποθέτηση των LEDs στην πρόσοψη.....	36
Εικόνα 25: Η εμφάνιση της πρόσοψης μετά την τοποθέτηση των LEDs.....	36
Εικόνα 26: Διαχωρισμός των καλωδίων και τοποθέτηση breadboard και Raspberry Pi.....	36
Εικόνα 27: Ο αισθητήρας DTH11.....	37
Εικόνα 28: Τοποθέτηση του αισθητήρα DTH11.....	37
Εικόνα 29: Κώδικας Python για την μέτρηση θερμοκρασίας, υγρασίας και εντοπισμό CO.....	38
Εικόνα 30: Αποτελέσματα μετρήσεων για θερμοκρασία, υγρασία και CO.....	39
Εικόνα 31: Ο αισθητήρας MQ-7.....	39
Εικόνα 32: Τοποθέτηση του αισθητήρα MQ-7.....	40
Εικόνα 33: Δοκιμή λειτουργίας του συστήματος για θερμοκρασία, υγρασία και CO.....	40
Εικόνα 34: Ο αισθητήρας CCS811.....	41
Εικόνα 35: Τοποθέτηση του αισθητήρα CCS811.....	41
Εικόνα 36: Δοκιμή λειτουργίας του συστήματος για VOC και CO2.....	41
Εικόνα 37: Κώδικας Python για την μέτρηση CO2 και VOC.....	42
Εικόνα 38: Αποτελέσματα μετρήσεων για CO2 και VOC.....	43
Εικόνα 39: Ο αισθητήρας σκόνης Sharp GP2Y1010AVOT.....	43
Εικόνα 40: Ο μετατροπέας ADS1115.....	44
Εικόνα 41: Τοποθέτηση του μετατροπέα ADS1115 και του αισθητήρα σκόνης.....	44
Εικόνα 42: Κώδικας Python για την μέτρηση της σκόνης.....	45
Εικόνα 43: Δοκιμή λειτουργίας του συστήματος για την σκόνη.....	45
Εικόνα 44: Μονάδες XBee.....	46
Εικόνα 45: Τοποθέτηση του XBee.....	46
Εικόνα 46: Προετοιμασία της επικοινωνίας με XBee.....	47
Εικόνα 47: Read και Write με σειριακή επικοινωνία.....	47

Εικόνα 48: Δοκιμές τοποθέτησης επιμέρους εξαρτημάτων	47
Εικόνα 49: Κώδικας Python για "read" και "write"	48
Εικόνα 50: Το λογισμικό XCTU	48
Εικόνα 51: Το περιβάλλον της εφαρμογής Dataplicity.....	49
Εικόνα 52: Εγκατάσταση του agent στο Raspberry Pi.....	50
Εικόνα 53: Αποτελέσματα μετρήσεων για την σκόνη μέσω του Dataplicity.....	50
Εικόνα 54: Η ολοκληρωμένη συσκευή.....	52
Εικόνα 55: Επιτοίχια δοκιμή του συστήματος.....	52

1. Εισαγωγή

Το νοσοκομείο είναι συνυφασμένο με την έννοια της φροντίδας, όπως μαρτυρούν και οι λέξεις νόσος και κομέω-κομώ, που σημαίνει περιποιούμαι, από τις οποίες και προέρχεται. Οι εργαζόμενοι ενός νοσοκομείου, καθώς και ορισμένοι ασθενείς, βρίσκονται πολλές ώρες μέσα σε αυτό. Επομένως, η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος κάθε νοσοκομείου είναι καίριας σημασίας για την υγεία του ανθρώπου. Σε αυτό το ζήτημα, βασικός αρωγός αποτελεί η εξέλιξη της τεχνολογίας, και ιδιαίτερα των συστημάτων ΙοΤ. Η τεχνολογία με την εξέλιξη της επιστήμης της Πληροφορικής έχει καταστεί αναγκαία και πολύτιμη για την καθημερινή ζωή. Ο συνδυασμός γνώσεων, τεχνολογίας, επιστημών και πληροφορίας μπορεί να δημιουργήσει το κατάλληλο σύστημα για τον έλεγχο της ποιότητας περιβάλλοντος στους θαλάμους του. Επίσης, θα πρέπει να τονιστεί ότι η πληροφορία αποτελεί το βασικό εργαλείο άσκησης της ιατρικής επιστήμης. Η διάγνωση, η θεραπεία, η πρόληψη και η διοίκηση της υγείας βασίζεται στην απόκτηση, διαχείριση και επεξεργασία της πληροφορίας [17]. Επομένως, ένα σύστημα που θα παρακολουθεί τους δείκτες υγείας των θαλάμων των νοσοκομείων, κρίνεται απαραίτητο εργαλείο. Με τον τρόπο αυτό θα παρακολουθείται η ποιότητα του εσωτερικού χώρου των νοσοκομείων με σκοπό το νοσοκομείο να είναι σε θέση να προλαμβάνει την δημιουργία νέων ασθενειών, να βοηθά στην καλύτερη ανάρρωση των ασθενών, ή/και να προσφέρει ένα φιλικότερο και αποδοτικότερο περιβάλλον για την δραστηριοποίηση των εργαζομένων, όπως τους ιατρούς και τους νοσηλευτές.

Εύκολα λοιπόν γίνεται αντιληπτό πως η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος σε εγκαταστάσεις του τομέα της υγείας χρήζει τεράστιας σημασίας. Οπότε, σε συνδυασμό με τον συνεχώς εξελισσόμενο τομέα του ΙοΤ υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν αξιόλογα συστήματα παρακολούθησης των δεικτών υγείας στον τομέα της ιατρικής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, κατασκευάστηκε ένα σύστημα παρακολούθησης real time, το οποίο παρουσιάζει τα επίπεδα της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της σκόνης, των πτητικών οργανικών ενώσεων, του διοξειδίου και του μονοξειδίου του άνθρακα των θαλάμων ενός νοσοκομείου. Το σύστημα αυτό μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιονδήποτε θάλαμο ενός νοσοκομείου ή και σε κάθε θάλαμο του, πχ σε θάλαμο νοσηλείας, σε θάλαμο εντατικής θεραπείας, θάλαμο τοκετού, σε διαδρόμους, σε χειρουργικό θάλαμο, σε εργαστήρια, σε αποθήκες φαρμάκων και εξοπλισμού κ.α. Αυτό επιτεύχθηκε με την χρήση των κατάλληλων αισθητήρων και του μικρο-υπολογιστή Raspberry Pi.

2. Παρακολούθηση δεικτών υγείας

Σε κάθε νοσοκομείο, οι τρεις κύριες ομάδες ανθρώπων που βρίσκονται στους χώρους του είναι οι ασθενείς, οι εργαζόμενοι στον τομέα της υγείας και οι επισκέπτες [1]. Τα άτομα αυτά κινούνται ή/και δραστηριοποιούνται σε διάφορες εγκαταστάσεις και τμήματά του. Ένα κοινό νοσοκομείο αποτελείται από τους θαλάμους νοσηλευτικού προσωπικού, τους χώρους αναμονής επισκεπτών, τα χειρουργεία, τις μονάδες εντατικής θεραπείας, τα εξωτερικά ιατρεία, τα φαρμακεία, τα ακτινολογικά τμήματα και τα εργαστήρια. Κάθε μια από αυτές τις ομάδες διαφέρουν όσον αφορά την κατάσταση της υγείας τους και την ευαισθησία τους σε αερομεταφερόμενες χημικές ουσίες και μικρόβια. Ο έλεγχος της ποιότητας του περιβάλλοντος του εσωτερικού χώρου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην προστασία τόσο του νοσοκομειακού προσωπικού και των επισκεπτών, όσο και των ασθενών, ιδιαίτερα αυτών που βρίσκονται σε ανοσοκαταστολή, οι οποίοι είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στις δυσμενείς επιδράσεις των διαφόρων αερομεταφερόμενων χημικών ουσιών και μικροβίων. Η ποιότητα του περιβάλλοντος πρέπει να είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ιατρική περίθαλψη και την νοσηλευτική φροντίδα.

2.1 Θερμοκρασία

Σε ότι αφορά την θερμοκρασία, η επιλογή της κατάλληλης τιμής της αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση, η οποία σχετίζεται με πολλές και διαφορετικές ανάγκες [2]. Οι ασθενείς συχνά έχουν χαμηλότερο μεταβολικό ρυθμό από το προσωπικό, λόγω των φαρμάκων και του γεγονότος ότι περιορίζονται στο κρεβάτι. Ως εκ τούτου χρειάζονται υψηλότερη θερμοκρασία. Στον ίδιο θάλαμο, όμως, μπορεί να εντοπιστούν ασθενείς με διαφορετικές ανάγκες και προτιμήσεις σε ότι αφορά την δική τους επιθυμητή θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έτσι είναι σχεδόν αδύνατο να προβλεφθεί το βέλτιστο θερμικό εσωτερικό κλίμα που να τους ικανοποιεί όλους.

Για την ικανοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερων ανθρώπων, χρησιμοποιούνται κοινοί δείκτες, όπως η προβλεπόμενη μέση ψήφος (PMV) και το προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρέσκειας (PPD) [2]. Στα νοσοκομεία, ωστόσο, η χρήση αυτών των δεικτών δεν είναι ιδιαίτερα εφικτή. Ακόμα και αν χρησιμοποιούνται, οι ασθενείς και το προσωπικό απαιτούν διαφορετικό θερμικό εσωτερικό κλίμα, δεδομένου ότι πραγματοποιούν διαφορετικές σωματικές δραστηριότητες και λόγω ότι φορούν διαφορετικούς τύπους ενδυμάτων. Ένας άλλος πιθανός τρόπος για να κάνει τους ανθρώπους να νιώθουν το ίδιο άνετα, όσο βέβαια είναι αυτό εφικτό να συμβεί, είναι να αυξηθεί η δυνατότητα προσαρμογής και ελέγχου των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος. Όταν οι άνθρωποι αισθάνονται ότι αυτοί έχουν τον έλεγχο του εσωτερικού περιβάλλοντος, τείνει να αυξάνεται η ανοχή τους για άνεση.

Τα νοσοκομεία έχουν σχεδιαστεί με κύριες παραμέτρους την υγιεινή και την ασφάλεια, καθιστώντας συχνά τη θερμική άνεση δευτερεύον μέλημα [3]. Αρκετές μελέτες που διεξήχθησαν για την εξέταση της θερμικής άνεσης στα νοσοκομεία έχουν επικεντρωθεί στην κατάσταση που επικρατεί στα χειρουργεία και στους ασθενείς. Οι μελέτες στους υπόλοιπους θαλάμους των νοσοκομείων, με επίκεντρο τους εργαζομένους, τους νοσηλευτές και τους γιατρούς, είναι λιγότερο συχνές. Οι ασθενείς είναι πιθανό να έχουν διαφορετικές θερμικές απαιτήσεις από τους υπόλοιπους λόγω των σχετικών με την υγεία τους αναγκών, των διαφορετικών επιπέδων ένδυσης και των σαφώς διαφορετικών επιπέδων δραστηριότητας.

Η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα στα χειρουργεία (operating rooms, ORs) πρέπει να διατηρείται εντός προτεινόμενου εύρους (20-24°C) σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς και

προτύπα για την εξασφάλιση αποδεκτών συνθηκών [4]. Η χρήση χαμηλότερης ή υψηλότερης θερμοκρασίας είναι αποδεκτή για την άνεση των ασθενών ή/και όταν οι ιατρικές παθήσεις τους απαιτούν τέτοιου είδους καταστάσεις (π.χ. χαμηλότερη από 17°C για καρδιακή χειρουργική επέμβαση, υψηλότερη ρύθμιση για παιδιατρικές χειρουργικές επεμβάσεις). Η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα πρέπει να είναι ομοιόμορφη μέσα στο χώρο. Το προσωπικό μπορεί να έχει διαφορετική αντίληψη των εσωτερικών συνθηκών που επικρατούν λόγω διαφορετικών επιπέδων δραστηριότητας, ακόμη και εντός του χειρουργείου. Γενικά, οι χειρουργοί τείνουν να αισθάνονται από «ελαφρώς ζεστοί» έως «ζεστοί». Επίσης, συχνά παρουσιάζεται εφίδρωση. Αντίθετα, αναισθησιολόγοι και νοσηλευτές βιώνουν από «ελαφρώς δροσερή» έως «κρύα» θερμική αίσθηση, ειδικά για θερμοκρασίες κάτω των 21°C. Αυτά τα στοιχεία συμφωνούν με άλλες μελέτες όπου σύμφωνα με αυτές οι προτιμότερες συνθήκες θερμικής άνεσης για αναισθησιολόγους κυμαίνονται στο εύρος 23-24°C, για τους νοσηλευτές στο εύρος 22-24,5°C, και για τους χειρουργούς στο εύρος 18-19°C.

Γενικά, η επικρατούσα εσωτερική θερμοκρασία χαρακτηρίστηκε με τους όρους «υψηλή», «χαμηλή», «ικανοποιητική» και «μη ομοιόμορφη» [3]. Η πιο προβληματική περίοδος φαίνεται να είναι αυτή του καλοκαιριού, λόγω της κακής διαχείρισης της ψύξης των HVAC. Η μη ικανοποιητική θερμοκρασία αέρα του εσωτερικού χώρου οφείλεται κυρίως σε δυσλειτουργίες των μονάδων AHUs που δεν μεταφέρουν τον αέρα με τις επιθυμητές συνθήκες ή είναι αποτέλεσμα της φραγμένης παροχής αέρα εξαερισμού (π.χ. με ντουλάπια και ιατρικό εξοπλισμό λόγω έλλειψης χώρου). Η πρόσβαση για την ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση των απαιτήσεων άνεσης των ανθρώπων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας, η ετήσια θερμική ικανοποίηση στα χειρουργεία που έχουν ελεγχθεί βάσει της αντίληψης της εσωτερικής θερμοκρασίας κυμαινόταν από 24% έως 66% του προσωπικού, θεωρώντας ικανοποιητική τη μέση ετήσια θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου [5]. Για τα χειρουργεία που είχαν ελεγχθεί, το 50% δεν ήταν εξοπλισμένο με τα κατάλληλα συστήματα ελέγχου του εσωτερικού περιβάλλοντος ή αυτά που ήταν εγκατεστημένα δυσλειτουργούσαν.

Επίσης, οι Dascalaki et al. [5] αναφέρουν το ποσοστό της θερμική ικανοποίησης του προσωπικού, κατά μέσο όρο σε ετήσια βάση, από την δική τους αξιολόγηση της αντίληψης της μέσης θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου σε εννέα νοσοκομεία, προσδιορίζοντας τα χειρουργεία με και χωρίς συστήματα ελέγχου των εσωτερικών περιβαλλοντικών χώρων. Η μετρημένη εσωτερική θερμοκρασία σε 20 χειρουργεία που είχαν ελεγχθεί κυμαίνονταν από 13,8 έως 28,9°C, με κατά μέσο όρο 22°C [4]. Τα δεδομένα αντιστοιχούν σε συνεχής 24ωρες μετρήσεις και περιλαμβάνονται οι περίοδοι όπου τα χειρουργεία δεν χρησιμοποιούνταν ή τα συστήματα HVAC δεν λειτουργούσαν, με αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικές μεταβολές θερμοκρασίας. Η μέση ικανοποίηση θερμοκρασίας σε χειρουργεία με συστήματα ελέγχου του εσωτερικού περιβάλλοντος ήταν 42,7%, ενώ σε χειρουργεία τα οποία δεν τα διέθεταν ήταν 29,1%. Συνεπώς, παρατηρήθηκε σημαντικά χαμηλότερη θερμική ικανοποίηση σε χειρουργεία χωρίς συστήματα ελέγχου εσωτερικού περιβάλλοντος.

Οι χειριστές ιατρικού εξοπλισμού φαίνεται να είναι οι λιγότερο ικανοποιημένοι με την θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου, ενώ οι αναισθησιολόγοι θα ήθελαν υψηλότερες θερμοκρασίες [5]. Οι επικρατούσες θερμοκρασίες για τους χειρουργούς είναι ικανοποιητικές κατά μέσο όρο 46,7%. Με βάση το φύλο, το γυναικείο προσωπικό είναι πιο ευαίσθητο σε χαμηλές θερμοκρασίες εντός του χειρουργείου, με το 52,3% του γυναικείου προσωπικού να αντιλαμβάνεται την εσωτερική θερμοκρασία ως «χαμηλή» σε ετήσια βάση και να φτάνει ακόμη και το 67,6% το χειμώνα. Οι επικρατούσες θερμοκρασίες είναι ικανοποιητικές για το ήμισυ περίπου του ανδρικού προσωπικού, με κατά μέσο όρο 51,0%, σε σύγκριση με μόνο

34,0% για τις γυναίκες. Όπως αναφέρθηκε και από τους Skoog et al. [2], τα ιατρικά ενδύματα έχουν επίσης άμεσο αντίκτυπο στις θερμικές συνθήκες άνεσης του προσωπικού. Κατά συνέπεια, μερικά από τα εποχιακά παράπονα προσωπικού σχετικά με τη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου θα μπορούσε να εξηγηθεί από τα ιατρικά ενδύματα, μια παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό του συστήματος HVAC και τον καθορισμό των συνθηκών λειτουργίας. Σε κάθε περίπτωση, η εσωτερική θερμοκρασία πρέπει να ελέγχεται ανεξάρτητα από το εσωτερικό περιβάλλον του χειρουργείου για να ικανοποιούνται οι επιθυμητές συνθήκες.

2.2 Υγρασία

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για το περιβάλλον του νοσοκομείου αποτελεί η υγρασία του αέρα, η οποία πρέπει να διατηρείται σε αποδεκτά επίπεδα. Τα υψηλά επίπεδα υγρασίας ευνοούν την ανάπτυξη και τη μεταφορά βακτηρίων. Σε ότι αφορά τα χειρουργεία, τα χαμηλά επίπεδα υγρασίας ευνοούν την πήξη του αίματος και μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα τα οποία σχετίζονται με τον στατικό ηλεκτρισμό στον ιατρικό εξοπλισμό και τις επιφάνειες. Επίσης, τα χαμηλά επίπεδα ενέχουν αυξημένο κίνδυνο για πυρκαγιά. Τα συνιστώμενα επίπεδα σχετικής υγρασίας εσωτερικού χώρου είναι 30-60%, σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς και πρότυπα. Κατά τη διάρκεια της έρευνας που παρουσιάζουν οι Dascalaki et al. [5], ζητήθηκε η καταγραφή της αντίληψη της υγρασίας στο εσωτερικό από το προσωπικό σε εποχιακή βάση. Ο χειμώνας φαίνεται να είναι η πιο προβληματική περίοδος. Για χειρουργεία που ελέγχθησαν, το 35% δεν είχε υγραντήρα στο AHU.

Στη μελέτη των Balaras et al. [4], η μέτρηση της σχετικής υγρασίας του εσωτερικού χώρου στα 20 χειρουργεία που μελετήθηκαν κυμαινόταν από 13% έως 80%, με κατά μέσο όρο 37%. Ο μέσος όρος για την ικανοποίηση της υγρασίας ήταν 61,4%. Οι χειριστές εξοπλισμού είναι οι λιγότερο ικανοποιημένοι με την υγρασία των εσωτερικών χώρων, και πιθανώς ακόμη και να αντιμετωπίζουν λειτουργικά προβλήματα με τον εξοπλισμό τους. Η επικρατούσα υγρασία είναι πιο ικανοποιητική για το υπόλοιπο προσωπικό, με κατά μέσο όρο 80,1%, και για τους χειρουργούς κατά μέσο όρο 68,8%. Επιπλέον, δεν υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις με βάση το φύλο, ακόμη και σε εποχιακή βάση.

2.3 Ποιότητα Αέρα

Η ποιότητα του περιβάλλοντος του εσωτερικού χώρου των νοσοκομείων έχει καταστεί κρίσιμο μέρος των πρωτοκόλλων διαχείρισης των νοσοκομείων για την ευημερία τόσο του ιατρικού προσωπικού και των επισκεπτών, όσο και των ασθενών, οι οποίοι μπορεί να είναι η πηγή μικροβιακής εξάπλωσης μέσω νοσοκομειακών οδών [6]. Επομένως, μία από τις κρίσιμες ανησυχίες στο σχεδιασμό της στρατηγικής για την πρόληψη τέτοιων καταστάσεων είναι η καθιέρωση ενός αποτελεσματικού προγράμματος παρακολούθησης του αέρα εσωτερικού χώρου. Ο αέρας του εσωτερικού χώρου κυρίως εξετάζεται σε ότι αφορά την θερμοκρασία, την υγρασία και τα αιωρούμενα σωματίδια, τους χημικούς ρύπους, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), η φορμαλδεΐδη, οι πτητικές οργανικές ενώσεις και το όζον (O_3), τους ραδιενεργούς, αλλά και τους βιολογικούς ρύπους. Για τη σωστή διαχείριση της ποιότητας του αέρα πρέπει να εφαρμόζονται κατάλληλα σχεδιασμένα συστήματα εξαερισμού και καθαρισμού αέρα, ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος λοίμωξης. Καθώς η συχνή δειγματοληψία και η ανάλυση του αέρα σε μια μεγάλη περιοχή είναι δαπανηρή, έχουν εφαρμοστεί εξειδικευμένα εργαλεία προσομοίωσης μέσω υπολογιστικών συστημάτων. Τα προφίλ ποιότητας του αέρα στα νοσοκομεία έχουν μελετηθεί διεξοδικά τις τελευταίες δεκαετίες και πολλά από τα αποτελέσματα δείχνουν ανησυχητικές ενδείξεις, ειδικά σε

νοσοκομεία και ιατρικά κέντρα μεγάλης κλίμακας. Παρόλο που υπάρχουν διάφορα συστήματα για την αυτοματοποίηση των διαδικασιών αυτών, το μεγαλύτερο μέρος της προκαθορισμένης λειτουργίας των συστημάτων κλιματισμού και εξαερισμού δεν προσαρμόζεται στην πυκνότητα του πληθυσμού και στο βαθμό των δραστηριοτήτων τους, με αποτέλεσμα να μην μπορούν πάντα να ανταποκρίνονται έγκαιρα στην διαχείριση της ποιότητας του αέρα μέσα στο κτίριο. Υποστηρίζουν ότι, κατά συνέπεια, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ενός αξιόπιστου, οικονομικά αποδοτικού και έξυπνου συστήματος δικτύου ανίχνευσης ποιότητας αέρα, το οποίο να διαθέτει πολλαπλές λειτουργίες, όπως την ανίχνευση, την παρακολούθηση, με κατάλληλες ειδοποιήσεις και ανατροφοδότηση.

Η πλήρη γνώση της χημικής και φυσικής (σωματιδιακής) ρύπανσης του εσωτερικού αέρα στα νοσοκομεία είναι σπάνια [6]. Η ρύπανση μπορεί να σχετίζεται με ένα ευρύ φάσμα συγκεκριμένων χημικών ενώσεων που εκπέμπονται από διάφορα προϊόντα, όπως απολυμαντικά και αποστειρωτικά, προϊόντα καθαρισμού και απορρυπαντικά, αναισθητικά αέρια, εργαστηριακά και φαρμακευτικά προϊόντα και υλικά, αλλά μπορεί επίσης να οφείλεται στα οικοδομικά υλικά και το εξωτερικό περιβάλλον [7]. Όπως αναφέρουν και οι Yang et al. [6], οι παράμετροι που συνήθως μετριοούνται είναι το CO, το CO₂, το O₃, ορισμένα σωματίδια (κυρίως PM_{2,5} και PM₁₀), το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα αερομεταφερόμενα βακτήρια και μύκητες, αλλά και ορισμένες πτητικές οργανικές ενώσεις, συμπεριλαμβανομένης της φορμαλδεΐδης. Οι ενώσεις αλδεΐδης (φορμαλδεΐδη και γλουταραλδεΐδη) που χρησιμοποιούνται στην ιατρική θεραπεία (ως απολυμαντικά για κρύα αποστείρωση) μπορούν επίσης να συμβάλλουν στην αύξηση των επιπέδων αλδεΐδης στον αέρα του εσωτερικού του νοσοκομείου. Επιπρόσθετα, το επίπεδο σωματιδίων στον αέρα μπορεί να επηρεαστεί από τους ανθρώπους που περπατούν σε εσωτερικούς χώρους, καθώς και από τον εξωτερικό αέρα.

Επίσης, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα ποσοστά εξωτερικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης που σχετίζεται με τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, τον χώρο στάθμευσης των αυτοκινήτων και τις βιομηχανίες που βρίσκονται σε μικρή ακτίνα από το νοσοκομείο [8].

Ένα σημαντικό φαινόμενο που σχετίζεται με πνευμονικές δυσλειτουργίες και αλλεργικές αντιδράσεις είναι αυτό του «άρρωστου κτιρίου», το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με την αναπνοή μολυσμένου αέρα στα κτίρια. Το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου χαρακτηρίζεται από ερεθιστικά συμπτώματα από το μάτι, τη μύτη και τον φάρυγγα, ξηρό και ερεθισμένο δέρμα, και με γενικά συμπτώματα όπως πονοκέφαλος, έντονη κεφαλαλγία, κόπωση και κακουχία. Τα συμπτώματα παρουσιάζονται μόνο μετά από παρατεταμένη εργασία σε ένα συγκεκριμένο κτίριο, δηλαδή καθημερινά ή τουλάχιστον αρκετές ώρες την εβδομάδα, και εξαφανίζονται ή μειώνονται σημαντικά μερικά λεπτά ή ώρες μετά την αναχώρηση από το συγκεκριμένο κτίριο [9]. Η περιορισμένη εισαγωγή του «φρέσκου» αέρα και η συνεχής επανακυκλοφορία του, δημιουργούν ένα γόνιμο έδαφος αναπαραγωγής βακτηρίων όταν μολυνθούν τα συστήματα κλιματισμού ή οι υγραντήρες.

2.4 Μικροοργανισμοί

Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν διάφορες πηγές αερομεταφερόμενων βακτηρίων και μυκήτων [10]. Όμως εξίσου βλαβερές συνέπειες προκαλεί και η σκόνη που εισάγεται στο νοσοκομείο και αιωρείται στον αέρα. Ωστόσο, σε πολλά κτίρια νοσοκομείων η εναλλαγή μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού αέρα είναι περιορισμένη και η κύρια πηγή ανταλλαγής είναι μέσω του συστήματος φιλτραρίσματος του κλιματιστικού. Χρειάζεται όμως ιδιαίτερη προσοχή, διότι τα φίλτρα των κλιματιστικών αποτελούν μέρη που ευνοείται η ανάπτυξη και η αποικία επιβλαβών μικροοργανισμών.

Σε ότι αφορά τους αερομεταφερόμενους μύκητες, επηρεάζονται άμεσα από παράγοντες όπως η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία, η ένταση της υπεριώδους ακτινοβολίας και η ταχύτητα του ανέμου [11]. Η ανάπτυξη των μεσοφιλικών μυκήτων ευνοείται σημαντικά από την θερμοκρασία 20-25°C, η οποία είναι συνήθως η μέση θερμοκρασία τέτοιων κτιρίων, ενώ τα κονίδια βλαστάνουν σε θερμοκρασίες μεταξύ 12-37°C. Γενικά, οι μύκητες είναι σημαντικός δείκτης για την ποιότητα του αέρα του εσωτερικού χώρου, με τη βέλτιστη θερμοκρασία για την ανάπτυξη, την δραστηριοποίηση και την επιβίωση του κάθε είδους να είναι διαφορετική.

Στον τομέα των βακτηρίων, ο αριθμός τους επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως το πλήθος των επισκεπτών και η ποσότητα των σωματιδίων που εισέρχονται από το εξωτερικό χώρο [12]. Σε αυτά περιλαμβάνονται χαλιά, λουλούδια, φρούτα και πολλά άλλα είδη, τα οποία αποτελούν απλά καθημερινά αντικείμενα, τα οποία μπορούν να φέρουν τεράστιο αριθμό βακτηρίων, χωρίς να είναι πάντα αντιληπτό.

Στην ίδια αυτή έρευνα των Gola et al. [8] αναφέρεται πως η ποιότητα του αέρα του εσωτερικού χώρου διαφέρει ανάλογα με τους τύπους εξαιρισμού, και ειδικά με το άνοιγμα των παραθύρων. Σε περιβάλλοντα με ανοίγματα παραθύρων παρατηρήθηκαν υψηλότερα επίπεδα βακτηρίων, και αναλογικά με τον εσωτερικό και εξωτερικό χώρο, οι συγκεντρώσεις των μυκήτων ήταν υψηλότερες αποδεικνύοντας ότι ο εξωτερικός αέρας επηρεάζει σημαντικά τα επίπεδα των εσωτερικών μυκήτων.

Η επιστημονική κοινότητα έχει επίσης διερευνήσει το ρόλο της ηλεκτρικής σκούπας [8]. Αν και επί του παρόντος, υπάρχουν μερικές ηλεκτρικές σκούπες με φίλτρα υψηλής απόδοσης συγκράτησης σωματιδίων και συστήματα συλλογής συνθετικών ή διπλών σάκων, μερικές έρευνες παρουσιάζουν αύξηση σε αερομεταφερόμενα βακτήρια κατά τη διάρκεια των διαδικασιών καθαρισμού. Οι σάκοι των ηλεκτρικών σκουπών μπορούν να συσσωρεύσουν βακτήρια, μούχλα, ενδοτοξίνες και αλλεργιογόνα. Συνεπώς, οι δραστηριότητες καθαρισμού πρέπει να γίνονται τακτικά και με ακρίβεια. Ο ακανόνιστος καθαρισμός και το σκούπισμα του δαπέδου μπορεί να οδηγήσει σε αντίθετα αποτελέσματα.

Μια άλλη πτυχή που μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του εσωτερικού αέρα σχετίζεται με το άνοιγμα και κλείσιμο της πόρτας [8]. Ακόμη, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην ροή του αέρα που σχετίζονται με το είδος της πόρτας, δηλαδή εάν είναι συμβατική ή συρόμενη.

2.5 Γύρη

Μια από τις συγκεντρώσεις που βρίσκονται στον αέρα ενός νοσοκομείου είναι αυτές της γύρης [13]. Παρόλο που οι άνθρωποι θα μπορούσαν να είναι οι φορείς που είναι υπεύθυνοι για μια ορισμένη ποσότητα γύρης στον εσωτερικό χώρο, η οποία γύρη μεταφέρεται από τους εξωτερικούς χώρους στους εσωτερικούς, θεωρούμε κυρίως τις πόρτες και τα παράθυρα και στη συνέχεια το σύστημα κλιματισμού ως τις βασικές οδούς εισόδου της. Οι εσωτερικές συγκεντρώσεις γύρης μπορούν να αγγίξουν σε ορισμένες περιπτώσεις τους εκατοντάδες κόκκους ανά κυβικό μέτρο. Αυτό εξαρτάται και από τη βλάστηση που περιβάλλει το κτίριο, και κυρίως τα καλλωπιστικά δέντρα και τους θάμνους.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η δειγματοληψία για την μέτρηση των επιπέδων γύρης που πραγματοποιήθηκε στο Νοσοκομείο “Infanta Cristina” στο Badajoz της Ισπανίας, ένα οκταώροφο κτίριο στα περίχωρα της πόλης [13]. Η αερομεταφερόμενη εσωτερική γύρη στο συγκεκριμένο νοσοκομείο παρακολούθηθηκε για δύο χρόνια με τη χρήση δειγματολήπτη Burkard. Τα δείγματα λαμβάνονταν από τέσσερις εσωτερικούς χώρους και έναν εξωτερικό στην είσοδο του νοσοκομείου. Τα δείγματα συγκρινόταν με έναν άλλο δειγματολήπτη κοντά

στο νοσοκομείο. Πιο συγκεκριμένα, η περίοδος δειγματοληψίας ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2007 και έληξε τον Μάρτιο του 2009. Συνολικά ελήφθησαν 60 δείγματα. Συγκεκριμένα, από τον Απρίλιο έως τον Ιούνιο πάρθηκαν συνολικά 24 δείγματα και από τον Ιούλιο έως τον Μάρτιο πάρθηκαν 36 δείγματα. Γενικά, ελήφθησαν πιο εντατικά την άνοιξη γιατί στις χώρες της Μεσογείου είναι η εποχή κατά την οποία η αερομεταφερόμενη γύρη φτάνει στις υψηλότερες συγκεντρώσεις της. Ο αριθμός των τύπων γύρης που προσδιορίστηκαν ήταν 32. Οι πιο συχνές με φθίνουσα σειρά ήταν οι εξής: η Poaceae, η Quercus, η Olea, η Plantago και η Cupressaceae, που αντιπροσωπεύουν το 74,4% του συνολικού αριθμού γύρης. Όπως αναφέρθηκε, οι συνολικές συγκεντρώσεις της γύρης ποικίλλουν κατά τη διάρκεια του έτους, με τις μέγιστες να σημειώνονται την άνοιξη. Η μέγιστη εξωτερική συγκέντρωση ήταν 730 κόκκοι ανά τετραγωνικό μέτρο (24 Απριλίου 2007). Στην εσωτερική δειγματοληψία, το μέγιστο ήταν 470 κόκκοι ανά τετραγωνικό μέτρο σε κλειστό δωμάτιο του τρίτου ορόφου (6 Φεβρουαρίου 2008). Η μέση συγκέντρωση ήταν 94,5 κόκκοι ανά τετραγωνικό μέτρο σε εξωτερικούς χώρους και 25,1 κόκκοι ανά τετραγωνικό μέτρο σε εσωτερικούς χώρους για όλα τα δείγματα. Ο δειγματολήπτης που βρισκόταν κοντά στο νοσοκομείο έδειξε 144,4 κόκκοι ανά τετραγωνικό μέτρο. Με αυτά τα στοιχεία, ο μέσος λόγος εσωτερικού/εξωτερικού χώρου ήταν 0,27. Αυτή η τιμή ήταν διαφορετική για κάθε τύπο γύρης (η Quercus 0,28, η Cupressaceae 0,41, η Poaceae 0,22, η Plantago 0,19 και η Olea 0,14).

2.6 Πρότυπο ASHRAE 170

Σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 170 θα πρέπει να τηρούνται κάποιοι συγκεκριμένοι δείκτες περιβάλλοντος [8]. Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία στους θαλάμους του νοσοκομείου πρέπει να βρίσκεται στο εύρος από 21°C έως 24°C. Η σχετική υγρασία στα δωμάτια των νοσηλευομένων και στους κοινόχρηστους χώρους και, εάν είναι δυνατόν, στους διαδρόμους θα πρέπει να είναι στο εύρος μεταξύ 40% και 60%. Για την αλλαγή του αέρα, υπάρχει η μονάδα μέτρησης AC/h (Air changes per hour), όπου σύμφωνα με την βιβλιογραφία υπάρχουν αντικρουόμενες απόψεις, με τις προτεινόμενες τιμές να βρίσκονται συνήθως μεταξύ 3 AC/h και 12 AC/h. Στο σύστημα εξαερισμού οι τιμές του εξωτερικού αέρα για τα νοσοκομεία είναι $11 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ανά άτομο, εξαιρουμένων των διαδρόμων, των infectious rooms, των χειρουργείων και τους θαλάμους τοκετού. Η ταχύτητα του αέρα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,05 m/s και 0,25 m/s, και όχι περισσότερο από 0,30 m/s.

Στο εξωτερικό του νοσοκομείου, όπως πρότεινε η ASHRAE, η επιλογή της σωστής θέσης της εισαγωγής και αποβολής του εξωτερικού αέρα των συστημάτων εξαερισμού (HVAC) πρέπει να συμμορφώνεται με ορισμένους κανόνες. Η εισαγωγή του εξωτερικού αέρα δεν θα πρέπει να είναι σε απόσταση λιγότερο από 9 μέτρα από τις εξόδους εξαερισμού από νοσοκομείο ή γειτονικά κτίρια και από σημεία που μπορεί να γίνει εισροή καυσαερίων και άλλων επιβλαβών αερίων ή σωματιδίων. Επιπλέον, η εισαγωγή εξωτερικού αέρα θα πρέπει να προστατεύεται ώστε να αποτρέπεται η προσβασιμότητα σε ζώα, όπως τα πτηνά, τα ερπετά και τα έντομα.

2.7 Θόρυβος

Μεγάλης σημασίας πρόκληση μπορεί να χαρακτηριστούν οι επιπτώσεις στην υγεία από τον θόρυβο, ο οποίος εξαρτάται από τον συνδυασμό της έντασης, της συχνότητας και της διάρκειας [14]. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα επίπεδα θορύβου στα νοσοκομεία υπερβαίνουν τις προτεινόμενες οδηγίες που προτείνει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. Τα αυξημένα επίπεδα θορύβου δεν ευνοούν ούτε την ευεξία και την ηρεμία των ασθενών, ούτε την παραγωγικότητα και την ευημερία του προσωπικού. Στον τομέα νοσηλευτικής, οι περισσότεροι εργαζόμενοι

είναι γυναίκες, οι οποίες, φαίνεται να είναι εκτεθειμένες σε μεσαία επίπεδα θορύβου, και επίσης εκτίθενται σε ξαφνικό και ενοχλητικό θόρυβο. Κατά συνέπεια, διαπιστώθηκε ότι ο θόρυβος επηρεάζει πάρα πολύ το άγχος των νοσηλευτριών. Επίσης, όλοι οι νοσηλευτές εκτίθενται σε βιολογικούς και χημικούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων ουσίες από φάρμακα. Ο συνδυασμός των εκθέσεων θορύβου και των χημικών μπορεί να οδηγήσουν σε νευροτοξικές επιδράσεις, σε απώλεια ακοής ή άλλες αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία. Εκτός από τις επιπτώσεις στην υγεία, ο θόρυβος διαταράσσει την κατανόηση της ομιλίας και την ακουστική που είναι απαραίτητη για την επικοινωνία μεταξύ των ασθενών και του προσωπικού, αλλά και μεταξύ των μελών του προσωπικού. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας πρότεινε μια ημερήσια μέση τιμή 30 dB L_{Aeq} , με 40 dB L_{Amax} κατά τη διάρκεια της νύχτας για τους θαλάμους. Επιπλέον, επειδή οι ασθενείς θέλουν να έχουν ησυχία, το επίπεδο L_{Aeq} δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 35 dB στα περισσότερα δωμάτια, κυρίως σε αυτά τα οποία οι ασθενείς υποβάλλονται σε θεραπεία ή παρακολουθούνται. Σύμφωνα με την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (US EPA, 1974), τα επίπεδα θορύβου στα νοσοκομεία δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 45 dB (A) κατά τη διάρκεια της ημέρας και τα 35 dB (A) κατά τη διάρκεια της νύχτας (θεωρείται 45 dB (A) ως μέγιστο 24-h Ldn).

3. IoT και παρακολούθηση δεικτών υγείας

Η ραγδαία εξέλιξη της Πληροφορικής και της Ηλεκτρονικής οδηγεί πλέον σε ένα περιβάλλον υπολογισμού όπου αναρίθμητοι μικροσκοπικοί υπολογιστές μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, σε μια διάταξη που περιγράφεται με τον όρο Διαδίκτυο των Αντικειμένων ή Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT-Internet of Things).

3.1 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Τα τελευταία χρόνια ο τομέας του IoT παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον λόγω των προόδων που σημειώθηκαν σε τομείς όπως οι τεχνολογίες υλικού (hardware), οι αισθητήρες, οι τεχνολογίες λογισμικού (software) και δικτύωσης, αλλά και λόγω του ενδιαφέροντος που δείχνει η ακαδημαϊκή, η ερευνητική και η βιομηχανική κοινότητα.

Οι μικροσκοπικοί αυτοί υπολογιστές μπορεί να λειτουργούν είτε ενσύρματα, είτε ασύρματα, με υπηρεσίες προσφερόμενες από τοπικά και απομακρυσμένα δίκτυα. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι ένα διεπιστημονικό παράδειγμα στο οποίο πολλά από τα αντικείμενα που μας περιβάλλουν δικτυώνονται και συνδέονται με το Διαδίκτυο για να παρέχουν νέες και καινοτόμες υπηρεσίες. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά που διακρίνει τα συστήματα IoT από τα κλασικά ενσωματωμένα συστήματα είναι η συνδεσιμότητα, είτε ενσύρματη, είτε ασύρματη [15]. Η συνεχής εξέλιξη των IoT εφαρμογών έχει αρχίσει να προσφέρει λύσεις σε ένα τεράστιο αριθμό ζητημάτων τα οποία σχετίζονται με τον άνθρωπο, την κοινωνία και την οικονομία, είτε επιτρέποντας τη δημιουργία νέων υπηρεσιών, είτε βελτιώνοντας την αποδοτικότητα των υφισταμένων [15],[16]. Δηλαδή, με την κατάλληλη ανάπτυξη των συσκευών IoT και την ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται, μπορούμε πλέον να κατανοήσουμε ευκολότερα τον κόσμο γύρω μας και να ανταποκριθούμε ή να αντιδράσουμε σε οποιαδήποτε κατάσταση πολύ πιο άμεσα και αποδοτικά [22].

Το IoT επιτρέπει την αλληλεπίδραση μεταξύ συσκευών και ανθρώπου. Ουσιαστικά, αποτελεί ένα μέσο επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπου και μηχανής. Για παράδειγμα, παλαιότερα, οι συλλέκτες δεδομένων έπρεπε να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις σε διάφορες τοποθεσίες για τη συλλογή δεδομένων, η οποία μετά θα έπρεπε να αναλυθεί. Αυτό χρειαζόταν σκληρή εργασία, αλλά και ήταν χρονοβόρο. Αλλά τώρα, οι αισθητήρες και οι μικροελεγκτές που είναι συνδεδεμένοι στο Διαδίκτυο μπορούν να κάνουν την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων πιο ευέλικτη, ακριβής και λιγότερο χρονοβόρα [23].

Για να θεωρείται μια εφαρμογή IoT ολοκληρωμένη, συνήθως θα πρέπει να περιλαμβάνει την συγκέντρωση, την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη μετάδοση δεδομένων. Το πρώτο και τελευταίο στάδιο υπάρχουν σε κάθε εφαρμογή, ενώ η επεξεργασία και η αποθήκευση ενδέχεται να μην υπάρχουν σε ορισμένες εφαρμογές [15]. Στις περισσότερες περιπτώσεις επιλέγονται ενσωματωμένοι και on-chip αισθητήρες χαμηλής κατανάλωσης τεχνολογίας MEMS. Αυτό γίνεται κυρίως για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας της απόκτησης δεδομένων. Για να χαρακτηριστεί ένα IoT σύστημα ως αποδοτικό πρέπει να βρεθεί η ιδανική ισορροπία για την συλλογή όσο το δυνατόν λιγότερων δειγμάτων, χωρίς να διαταράσσεται η απαιτούμενη ποιότητα σήματος. Η ανάλυση (resolution) και ο ρυθμός δειγματοληψίας (sampling) αποτελούν τους δύο απαραίτητους παράγοντες για την σωστή απόκτηση δεδομένων από τους αισθητήρες [15].

Σε ότι αφορά την συνδεσιμότητα (connectivity), οι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας χρησιμοποιούνται τόσο για τη διασύνδεση των συσκευών IoT σε τοπικό επίπεδο, όσο και για

τη σύνδεση αυτών στο Διαδίκτυο. Τέτοιες τεχνολογίες είναι η NFC (παρόμοια με τις ετικέτες RFID), η Bluetooth, η οποία κατηγοριοποιείται σε κλασσικό Bluetooth, σε Bluetooth χαμηλής ενέργειας (BLE) και σε Bluetooth 5.0 [15], το ZigBee, η ευρέως γνωστή τεχνολογία WiFi, με το κλασσικό WiFi (IEEE 802.11 b/g/n) και το χαμηλής ισχύος WiFi (802.11 ah), καθώς και τα κυψελοειδή δίκτυα, που περιλαμβάνουν τις ευρέως γνωστές τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας. Επίσης, υπάρχουν τα δίκτυα ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος (LPWAN), όπως τα SigFox και LoRaWAN, τα οποία αφορούν τεχνολογίες οι οποίες είναι κατάλληλες για εφαρμογές χαμηλής ισχύος με πολύ μεγάλη εμβέλεια μετάδοσης [15].

3.2 IoT και Δίκτυα Αισθητήρων

Η πρόσφατη και ραγδαία ανάπτυξη στις ασύρματες επικοινωνίες και στην ηλεκτρονική τεχνολογία έδωσαν ώθηση στην ανάπτυξη και την υλοποίηση δικτυακών αισθητήρων χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης, οι οποίοι ουσιαστικά είναι μικρές σε μέγεθος συσκευές που επικοινωνούν με αξιοπιστία σε μικρές αποστάσεις. Αυτοί οι μικροί κόμβοι αισθητήρων, οι οποίοι έχουν δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων και δυνατότητα επικοινωνίας (ασύρματη ή ενσύρματη) όταν συνεργάζονται για τη μέτρηση και την αποστολή των δεδομένων δημιουργούν ένα Δίκτυο Αισθητήρων. Τα Δίκτυα Αισθητήρων αποτελούν σημαντική εξέλιξη των παραδοσιακών αυτόνομων αισθητήρων. Ένα Δίκτυο Αισθητήρων αποτελείται από μεγάλο αριθμό αισθητήριων κόμβων, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε κοντινές αποστάσεις και επικοινωνούν μεταξύ τους απευθείας ή μέσω ενός κεντρικού κόμβου, είτε είναι τοποθετημένοι σε μακρινές αποστάσεις και χρησιμοποιούν άλλα δίκτυα, όπως το Διαδίκτυο, για τη συλλογή των δεδομένων τους ή την επικοινωνία τους [17].

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSN) αποτελούν σημαντικό τμήμα της μελέτης της εξέλιξης των IoT [18]. Εκτός από έναν ή περισσότερους αισθητήρες, κάθε κόμβος σε ένα Δίκτυο Αισθητήρων είναι εξοπλισμένος με έναν ραδιοπομποδέκτη ή άλλη ασύρματη συσκευή επικοινωνιών, έναν μικροελεγκτή και μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία. Το κόστος των κόμβων αισθητήρων είναι μεταβλητό, κυμαινόμενο από εκατοντάδες ευρώ ως μερικά λεπτά του ευρώ, ανάλογα με το μέγεθος του δικτύου Αισθητήρων και την πολυπλοκότητα που απαιτείται. Το μέγεθος και το κόστος των κόμβων αισθητήρων οδηγεί στους αντίστοιχους περιορισμούς στα χαρακτηριστικά του κάθε κόμβου, όπως η ενέργεια, η μνήμη, η υπολογιστική ταχύτητα και το εύρος φάσματος [17]. Αν και πλέον το κόστος των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων υψηλών αποδόσεων είναι μικρό, στα WSN δεν επιλέγονται οι πολύ ισχυροί επεξεργαστές, διότι οι υψηλές δυνατότητες επεξεργασίας οδηγούν σε μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, με αποτέλεσμα την πρόωρη εξάντληση της μπαταρίας [17],[18]. Ουσιαστικά, στη συλλογή των δεδομένων από τους κόμβους του δικτύου, καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η κατανάλωση ενέργειας σε κάθε κόμβο, η οποία καθορίζει και τη διάρκεια ζωής του δικτύου [17]. Οπότε αυτός είναι και ο λόγος που συνήθως στους ασύρματους κόμβους χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι χαμηλής πολυπλοκότητας [18], το οποίο έχει άμεση σχέση με την περιορισμένη χωρητικότητα μνήμης. Ακόμη, προκειμένου να μειωθεί η ποσότητα των δεδομένων τόσο στον τομέα της αποθήκευσης, όσο και στον τομέα της μετάδοσης δεδομένων, απαιτούνται νέες τεχνικές συμπίεσής τους [15]. Η εμβέλεια διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Αυτό συμβαίνει διότι εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η αντανάκλαση, η διάθλαση, η περίθλαση, η παρεμβολή και η εξασθένιση. Όλα αυτά οδηγούν αρκετές φορές σε ανάγκη πολλαπλών αλμάτων (hops), τα οποία επιβαρύνουν τις απαιτήσεις για παρακολούθηση και έλεγχο σε πραγματικό χρόνο (real-time) [19]. Όμως πολλές φορές όταν οι γειτονικοί κόμβοι μπορεί να βρίσκονται πολύ κοντά ο ένας στον άλλον, με επικοινωνία μέσω πολλαπλών αλμάτων (multihop communication) μπορεί να επιτυγχάνεται μικρότερη κατανάλωση ενέργειας συγκριτικά με την παραδοσιακή επικοινωνία άλματος (single-hop communication).

Ένα σύστημα Δικτύων Αισθητήρων είναι ένα διανεμημένο υπολογιστικό σύστημα, στο οποίο όλοι οι κόμβοι μπορούν να επιδρούν με το φυσικό περιβάλλον. Συνήθως, οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν στοιχεία όπως η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, η υγρασία κτλ. Επίσης, οι τιμές που μετρούν οι αισθητήρες, μπορούν να είναι μονοδιάστατες ή πολυδιάστατες. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τα Δίκτυα Αισθητήρων, έχουν μια ευρεία περιοχή εφαρμογών όπως περιβαλλοντικό έλεγχο, έλεγχο κατανάλωσης, ενέργειας, παρατηρήσεις περιβαλλοντικών φαινομένων καθώς και έλεγχο κατά την κατασκευή κτιρίων. Συμβάλουν επίσης στην ιατρική και στη εξέλιξη της και σε πολλούς άλλους τομείς [17].

Στα IoT συστήματα, η επιλογή του που θα πρέπει να γίνονται οι υπολογισμοί, αποτελεί μια παράμετρο σχεδιασμού, η οποία είναι καθοριστικής σημασίας. Αυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των στόχων και των προδιαγραφών του συστήματος [15]. Τα δεδομένα που συλλέγονται μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία σε συσκευή IoT, σε gateway, σε fog, σε cloud ή σε συνδυασμό τους.

Σημαντικό συστατικό πολλών IoT συστημάτων είναι οι συσκευές gateway IoT. Αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως για να διευθετήσουν την ετερογένεια μεταξύ διαφόρων δικτύων και του Διαδικτύου [15],[16]. Η υπολογιστική ομίχλης (fog computing) είναι ένα είδος επέκτασης του σύννεφου (cloud computing), το οποίο μπορεί να βοηθήσει στον περιορισμό του προβλήματος μεγάλων δεδομένων (Big Data) [15]. Το cloud computing αποτελεί μια σημαντική λύση για το χειρισμό μεγάλων δεδομένων και την επεξεργασία τους. Κάθε μια από τις παραπάνω επιλογές διαθέτει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Για το λόγο αυτό, μπορούν να επιλεγθούν και συνδυαστικές μέθοδοι, για μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα, όπως γίνεται και με τα συστήματα υβριδικής επικοινωνίας.

3.3 Το IoT σε δομές υγείας

Η παρακολούθηση και φροντίδα στον τομέα της υγείας αποτελεί έναν συνεχώς εξελισσόμενο τομέα εφαρμογής του IoT, τόσο για την ενίσχυση της ποιότητας των υπηρεσιών και της μείωσης του κόστους, όσο και για την διασύνδεση όλων των ετερογενών ιατρικών αισθητήρων και συσκευών [20]. Αυτές οι εφαρμογές περιλαμβάνουν τόσο την παρακολούθηση των ασθενών, όσο και των χώρων στους οποίους βρίσκονται. Τα συστήματα Room Alert συνδέονται με ποικιλία αισθητήρων που ειδοποιούν για τις συνθήκες του επιτηρούμενου χώρου όπως υπερθέρμανση, υγρασία, διαρροή υγρών, κυκλοφορία αέρα, έλεγχο εισόδου, κατάσταση ηλεκτρικού ρεύματος κ.ά. Με αυτόν τον τρόπο, γίνεται εφικτή η πρόληψη διαφόρων καταστροφών [17]. Ακόμη, το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της τρέχουσας υποβοηθούμενης διαβίωσης μέσω των φορετών (wearables) ιατρικών συσκευών για τη συγκέντρωση των πληροφοριών της υγείας ή της αποκατάστασης των χρηστών και μετάδοσή τους σε ιατρικά κέντρα για περαιτέρω επεξεργασία [21],[20]. Η χρησιμότητα τέτοιων διατάξεων είναι προφανής και σε περιπτώσεις όπου ο ασθενής δε βρίσκεται στο άμεσο ελεγχόμενο περιβάλλον ενός νοσοκομείου, αλλά είτε είναι υπό μεταφορά, είτε βρίσκεται στο συνηθισμένο περιβάλλον διαμονής ή/και εργασίας του.

Αυτό που διαφοροποιεί τη μικροηλεκτρονική και το λογισμικό όταν εφαρμόζονται σε εφαρμογές ιατρικής, είναι ο απαιτούμενος βαθμός αξιοπιστίας. Όπως είναι γνωστό, κάθε ολοκληρωμένο κύκλωμα έχει μια πιθανότητα αστοχίας στη λειτουργία του, εντός συγκεκριμένων χρονικών ορίων. Η διαδικασία πιστοποίησης τέτοιων συστημάτων που συνήθως χαρακτηρίζονται ως Life Critical Systems ή Safety Critical Systems είναι εξαιρετικά επώδυνη και βασίζεται σε μαθηματικές στοχαστικές μεθόδους εκτίμησης κινδύνου. Συνήθως, απαιτείται η πιθανότητα απώλειας ζωής να είναι μικρότερη από την απώλεια μιας ανθρώπινης

ζωής για 1 δεκατομμύριο ώρες λειτουργίας. Αυτονόητο είναι πως η κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων όπως και η συγγραφή του λογισμικού που ελέγχει τέτοιου είδους διατάξεις ξεφεύγει από τις συνηθισμένες διαδικασίες των εμπορικών εφαρμογών. Το πρόβλημα της ασφάλειας των πληροφοριών και της προστασίας των προσωπικών δεδομένων είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα σύγχρονα πληροφοριακά συστήματα ενώ είναι πρωτίστης προτεραιότητας στον τομέα της υγείας. Η εμπιστευτικότητα, η πιστοποίηση και η ακεραιότητα είναι μεταξύ άλλων βασικές αρχές ασφάλειας [17].

3.4 Πλατφόρμες Πρότυπων Συστημάτων

Μελετώντας την βιβλιογραφία, υπάρχει ένας τεράστιος αριθμός πρότυπων συστημάτων, που χρησιμοποιούν διαδεδομένες πλατφόρμες δημιουργίας πρότυπων εφαρμογών, λόγω της σχετικής απλότητας στην διασύνδεση πολλαπλών αισθητήρων, στην συλλογή δεδομένων και στον έλεγχο ενεργοποιητών, αλλά και λόγω του χαμηλού κόστους τους.

Στις περισσότερες από αυτές τις εργασίες, εντοπίζονται κυρίως δυο πλατφόρμες υλοποίησης πρότυπων συστημάτων. Αυτές είναι το Raspberry Pi και το Arduino. Η πιο σημαντική διαφορά τους είναι ότι το Raspberry Pi αποτελεί έναν μικρο-υπολογιστή, που μπορεί να χρησιμοποιεί λειτουργικά συστήματα τύπου Linux, ενώ το Arduino αποτελεί έναν μικροελεγκτή, ο οποίος χρησιμοποιεί τη γλώσσα προγραμματισμού Arduino, βασισμένη στο Wiring, και το λογισμικό Arduino IDE, βασισμένο στο Processing.

Υπάρχουν αρκετές παρόμοιες πλατφόρμες, τόσο μικρο-υπολογιστών όσο και μικροελεγκτών, όπως το BeagleBone, το LaunchPad, το Intel Galileo και το pcDuino. Ακόμη, υπάρχει ένας τεράστιος αριθμός συμβατών αισθητήρων, μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, καθώς και κατάλληλοι ενεργοποιητές. Ο μεγάλος αριθμός ηλεκτρονικών ακροδεκτών (pins), για εύκολη σύνδεση των εξαρτημάτων, χωρίς να απαιτείται συγκόλληση, αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τους. Σχετικά με την επικοινωνία, κυριαρχούν κυρίως οι ασύρματες τεχνολογίες, με το hardware να βρίσκεται είτε πάνω στο chip της κύριας πλατφόρμας, είτε εκτός αυτής.

3.5 Πρότυπα Συστήματα IoT στην παρακολούθηση δομών υγείας

Στην μελέτη της βιβλιογραφίας δεν εντοπίστηκαν αξιόλογα πρότυπα συστήματα παρακολούθησης του εσωτερικού περιβάλλοντος στον τομέα της υγείας. Ωστόσο, υπάρχουν υλοποιήσεις, οι οποίες αν και δεν αναφέρονται αποκλειστικά σε τέτοιες εφαρμογές, μπορούν να προσαρμοστούν, με ελάχιστες μετατροπές, σε λύσεις IoTs στον τομέα της υγείας.

Το προτεινόμενο σύστημα παρακολούθησης περιβάλλοντος με τους ειδικούς αισθητήρες που παρουσιάζουν οι Kumar et al. [24] χαρακτηρίζεται από χαμηλό κόστος, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μεγάλη ακρίβεια, με δυνατότητα ασύρματης διαχείρισης μέσω Διαδικτύου. Ο τέλειος συμβιβασμός μεταξύ ακρίβειας και κόστους επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας μικρής πλακέτας μικρο-υπολογιστή Raspberry Pi και κατάλληλων αισθητήρων.

Το Raspberry Pi είναι ο κύριος κόμβος για τον έλεγχο του συστήματος τους. Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των διαφορετικών περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως τα αιωρούμενα σωματίδια, το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του άνθρακα, την θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση. Οι αισθητήρες συνδέονται με την πλακέτα Arduino και το Raspberry Pi συνδέεται με το Arduino Uno μέσω καλωδίου USB. Τα δεδομένα που ανιχνεύονται από τους αισθητήρες μεταδίδονται συνεχώς με τη χρήση του Raspberry Pi στο

cloud μέσω του Διαδικτύου. Ο κόμβος αισθητήρων τους αποτελείται από πέντε αισθητήρες. Ο αισθητήρας DSM501A είναι ένας αισθητήρας PM του οποίου η έξοδος είναι PWM και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων, δηλαδή του καπνού και της σκόνης που υπάρχουν στο περιβάλλον. Ουσιαστικά, ο DSM501A είναι ένας αισθητήρας σκόνης χαμηλού κόστους με πολύ υψηλή ευαισθησία καθώς μπορεί να ανιχνεύσει ακόμη και τα μικρά σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 1 micron. Οι αισθητήρες DHT22 και BMP180 που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της πίεσης, είναι ιδανικοί διότι παρέχουν ψηφιακές εξόδους. Ο DHT22 είναι ένας διαδεδομένος τύπος αισθητήρα τεσσάρων ακροδεκτών με ψηφιακή έξοδο για μέτρηση υγρασίας και θερμοκρασίας. Ο BMP180 είναι ένας αισθητήρας χαμηλού κόστους που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της βαρομετρικής πίεσης του αέρα, και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως αλτίμετρο, καθώς η πίεση αλλάζει με τις διακυμάνσεις στο υψόμετρο. Οι αισθητήρες MQ9 καθώς και ο MQ135 είναι αναλογικοί. Ο MQ9 είναι εξαιρετικά ευαίσθητος σε μονοξείδιο του άνθρακα και εύφλεκτα αέρια και έχει παρατεταμένη διάρκεια ζωής. Ο MQ135 έχει ευρύ πεδίο ανίχνευσης, μετρώντας τις τιμές της αμμωνίας (NH₃), του αλκοόλ, του CO₂, του καπνού κ.λπ. με πολύ χαμηλό χρόνο απόκρισης.

Επίσης, έχουν επιλέξει το Arduino Uno. Το Arduino Uno είναι ένας μικροελεγκτής χαμηλού κόστους που μπορεί να συνδεθεί εύκολα με το Raspberry Pi και αποτελεί αποτελεσματικό ADC (Analog to Digital Converter). Το Raspberry Pi 2 μοντέλο B δεν διαθέτει ενσωματωμένο προσαρμογέα Wi-Fi, οπότε απαιτείται ένας Wi-Fi adapter για την σύνδεση στο Διαδίκτυο, ο οποίος είναι συνδεδεμένος στο Raspberry Pi στη θύρα USB. Το light weight πρωτόκολλο MQTT (Message Queuing Telemetry transport) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην επικοινωνία του συστήματος. Η εφαρμογή βασίζεται στο λειτουργικό σύστημα Raspbian. Επίσης, χρησιμοποιείται το Node Red, ένα εργαλείο προγραμματισμού για IoT, με interface το είναι εξαιρετικά φιλικό προς τον χρήστη.

Το σύστημα που αναλύουν στο άρθρο τους οι Saha et al. [23] αποτελείται από τέσσερα τμήματα: την παρακολούθηση του δείκτη ποιότητας περιβάλλοντος, την ανίχνευση έντασης του ήχου, την παρακολούθηση μέσω cloud και τις ειδοποιήσεις σε περίπτωση μη ανεκτών τιμών.

Σχετικά με τη λήψη των δεδομένων, χρησιμοποιούν τρεις βασικούς αισθητήρες. Για την παρακολούθηση της ηχητικής ρύπανσης χρησιμοποιείται ο αισθητήρας θορύβου LM393. Για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και για τον προσδιορισμό του δείκτη ποιότητας αέρα χρησιμοποιείται ο MQ135, ο ίδιος δηλαδή που χρησιμοποιήθηκε και στους Kumar et al. [24]. Ακόμη, αντί της χρήσης του DHT22 που επέλεξαν οι Kumar et al. [24], χρησιμοποιείται ο DHT11.

Ως μικρο-υπολογιστή επέλεξαν το Raspberry Pi 3 μοντέλο B, το οποίο σε αντίθεση με το Pi 2, διαθέτει επικοινωνία WiFi. Βέβαια, στον τομέα της επικοινωνίας του συστήματος με το Cloud, αντί για WiFi, χρησιμοποιήθηκε μια μονάδα GPRS, και απαιτεί μια κάρτα SIM. Σημαντικό χαρακτηριστικό του συστήματος είναι η αποστολή email και SMS σε περίπτωση που οι τιμές των αισθητήρων δεν είναι αποδεκτές.

Οι Deshmukh et al. [25] σχεδίασαν ένα σύστημα παρακολούθησης WSN το οποίο συμπεριλαμβάνει έναν κόμβο αισθητήρα, με χρήση Raspberry Pi ως σταθμό βάσης, Arduino Nano και μονάδα XBee. Το σύστημα είναι εύκολο στην ανάπτυξη με χαμηλό κόστος, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, αξιόπιστο και εύκολο στη χρήση.

Το Arduino Nano που χρησιμοποιεί το σύστημά τους λειτουργεί ως ενδιάμεσο υποσύστημα για την σύνδεση των αισθητήρων με το Raspberry Pi που λειτουργεί ως σταθμός βάσης. Ο

αισθητήρας θερμοκρασίας-υγρασίας DHT11 συνδέεται απευθείας με το Raspberry Pi. Οι υπόλοιποι κόμβοι αισθητήρων διασυνδέονται με το Raspberry Pi μέσω του Arduino Nano. Στον τομέα την επικοινωνίας, το σύστημά τους διαθέτει δύο μονάδες XBee. Η μία είναι συνδεδεμένη με PC και η άλλη με το Raspberry Pi. Τα δεδομένα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων MysqI του Raspberry Pi.

Σχετικά με τους αισθητήρες, επέλεξαν τον αισθητήρα ποιότητας αέρα MQ135, όπως χρησιμοποίησαν οι Kumar et al. [24] και οι Saha et al. [23]. Ωστόσο, για την παρακολούθηση των εκπομπών CO στο περιβάλλον επιλέχθηκε ο αισθητήρα MQ-7. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας DHT11 για παρακολούθηση της θερμοκρασίας, ομοίως με τους Saha et al. [23].

Για την απεικόνιση των δεδομένων που συλλέγονται χρησιμοποιούν μια οθόνη LCD 16x2. Τα δεδομένα ελέγχονται από τον σταθμό βάσης. Μόλις ο σταθμός βάσης είναι έτοιμος στέλνει τα δεδομένα μέσω της μονάδας XBee, μέσω σειριακής επικοινωνίας. Ταυτόχρονα τα δεδομένα θα εμφανίζονται επίσης στην οθόνη LCD. Τα δεδομένα εμφανίζονται στον υπολογιστή χρησιμοποιώντας GUI. Η παρακολούθηση των μετρήσεων του περιβάλλοντος γίνονται με αναπαράσταση των δεδομένων χρησιμοποιώντας γραφήματα και διαγράμματα. Παρέχεται επίσης web διεπαφή στους χρήστες, ώστε να μπορούν να έχουν πρόσβαση στο σύστημα με απομακρυσμένη σύνδεση στο σύστημα.

Οι Parmar et al. [26] σχεδίασαν ένα σύστημα παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης χαμηλού κόστους, με κατάλληλους αισθητήρες ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς για την παρακολούθηση των συγκεντρώσεων αερίων. Ως σταθμός βάσης του συστήματος χρησιμοποιείται και εδώ το Raspberry, επικοινωνώντας ασύρματα με τους κόμβους αισθητήρων που βασίζονται σε μικροελεγκτή Nucleo F401RE. Η επικοινωνία τους γίνεται με τη χρήση WiFi. Το σύστημα μπορεί να αναβαθμιστεί προσθέτοντας περισσότερους κόμβους αισθητήρων. Ο λεπτομερής σχεδιασμός και τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποδεικνύουν τη χρησιμότητα αυτού του συστήματος. Το πρωτότυπο αυτό σύστημα μπορεί να υλοποιηθεί και για ασύρματους κόμβους.

Σε ότι αφορά τους κόμβους αισθητήρων, επέλεξαν να χρησιμοποιήσουν το Nucleo F401REtx, έναν 32-bit μικροελεγκτή ARM, όπου συνδέονται οι αισθητήρες αερίου. Στην εργασία τους χρησιμοποιούνται μόνο δύο κόμβοι αισθητήρων, ένας κόμβος με MQ7 και άλλος ένας με MQ135, δηλαδή αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν και από τους Deshmukh et al. [25]. Η έξοδος θα είναι ένας πίνακας από αριθμούς που θα υποδεικνύουν την αναλογία των αερίων στο περιβάλλον στα όρια PPM.

Στο επίπεδο δικτύου, για την μετάδοση των δεδομένων χρησιμοποιείται η χαμηλού κόστους μονάδα ESP8266 Serialto-Wi-Fi. Το ESP8266 υποστηρίζεται από TCP/UDP. Έτσι, τα δεδομένα μεταφέρονται ασύρματα με τη μορφή πακέτων TCP.

Επίσης, στο επίπεδο εφαρμογής προορίζεται κυρίως η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων των ατμοσφαιρικών ρύπων, για αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα και στη συνέχεια για πρόβλεψη για μια χρονική περίοδο στο μέλλον. Ο σταθμός βάσης, δηλαδή το Raspberry Pi, χειρίζεται το δεδομένα που μεταδίδονται από τους κόμβους. Για την συλλογή των δεδομένων, εφαρμόστηκε ένας διακομιστής (server) TCP μέσω Raspberry Pi χρησιμοποιώντας το Node.js. Ακόμη, για να αποθηκεύονται τα δεδομένα, έχει εγκατασταθεί μια βάση δεδομένων NoSql Mongo DB. Όλα αυτά επιτυγχάνονται από το λειτουργικό σύστημα που εγκαθίσταται στον μικρο-υπολογιστή Raspberry Pi. Ο σταθμός βάσης λειτουργεί επίσης ως Webserver, ώστε οι χρήστες να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα μέσω Web εφαρμογής.

Η διαδικασία ρύθμισης των αισθητήρων πραγματοποιήθηκε σε δύο βήματα. Πρώτα, η εύρεση της αρχικής θέσης (μηδέν) του αισθητήρα. Δεύτερον, ο προσδιορισμός του εύρους του αισθητήρα. Για να βρεθεί η τιμή μηδέν ενός αισθητήρα απαιτείται η χρήση του «μηδενικού αέρα» (zero air). Ωστόσο, δεν υπάρχει καθιερωμένο πρότυπο που να ορίζει τον «μηδενικό αέρα». Έτσι, και οι δύο αισθητήρες μελετώνται σε καθαρό αέρα το πρωί. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν αισθητήρες αερίου που να μπορούν 100% να διακρίνουν ένα συγκεκριμένο αέριο.

Η εργασία των Firdhous et al. [22] παρουσίασε ένα σύστημα παρακολούθησης που αναπτύχθηκε για την παρακολούθηση των συγκεντρώσεων O_3 του εσωτερικού περιβάλλοντος, με τη χρήση IoT, κοντά σε φωτοτυπικό μηχάνημα. Το σύστημα παρακολούθησης O_3 που προτείνουν σε αυτήν την έρευνα χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα που συνδέεται απευθείας με την πλακέτα Arduino BT. Το σύστημα έχει προγραμματιστεί για τη δειγματοληψία της ποιότητας του αέρα με τακτικό διάστημα διακοπών πέντε λεπτών μεταξύ των δειγματοληψιών. Τα δεδομένα που συλλέγονται μεταφέρονται άμεσα στον ενδιάμεσο κόμβο (gateway) μέσω της σύνδεσης Bluetooth. Ο ενδιάμεσο κόμβος έχει συνδεθεί στο δίκτυο WiFi μέσω του οποίου επικοινωνεί με τον κόμβο επεξεργασίας. Ως επιπλέον ικανότητα, το προτεινόμενο σύστημα παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ήταν προγραμματισμένο να παρέχει ειδοποιήσεις όταν το επίπεδο ρύπανσης υπερβαίνει μια προκαθορισμένη τιμή και παραμένει εκεί για περισσότερο από λίγα λεπτά. Αυτό το σύστημα μπορεί να βελτιωθεί για να καλύψει μια μεγαλύτερη περιοχή με την προσθήκη περισσότερων αισθητήριων κόμβων και κόμβων πύλης ανάλογα με τις απαιτήσεις. Επίσης, επιπρόσθετοι αισθητήρες μπορούν να συνδεθούν με το σύστημα με τέτοιον τρόπο έτσι ώστε να τους επιτρέπει την παρακολούθηση περισσότερων ρύπων στο περιβάλλον. Ο σχεδιασμός του συστήματος ακολούθησε μια ανοιχτή φιλοσοφία σχεδιασμού έτσι ώστε να μπορεί να επεκταθεί για να καλυφθούν μελλοντικά μεγαλύτερες περιοχές με μικρές τροποποιήσεις. Επί του παρόντος, ο ενδιάμεσος κόμβος και ο κόμβος επεξεργασίας βρίσκονται εντός του ίδιου τοπικού δικτύου. Αλλά αυτό δεν είναι απαίτηση ή περιορισμός του σχεδιασμού. Ο κόμβος επεξεργασίας μπορεί να μετακινηθεί σε άλλο δίκτυο ή στο Διαδίκτυο με τροποποίησης της διεύθυνσης IP προορισμού. Ως εκ τούτου, η επεξεργασία μπορεί επίσης να εκφορτωθεί εύκολα στο cloud. Επίσης, το σύστημα μπορεί να επεκταθεί χωρίς δυσκολία με την χρήση επιπλέον αισθητήρων. Ο προτεινόμενος κόμβος αισθητήρων που χρησιμοποιεί την πρωτότυπη πλακέτα Arduino BT, τροφοδοτείται από πηγή ισχύος 5V dc. Ο αισθητήρας και η έξοδος ειδοποιήσεων (buzzer) συνδέονται σε μια αναλογική είσοδο και στην έξοδο PWM αντίστοιχα. Η πλακέτα έχει προγραμματιστεί χρησιμοποιώντας το λογισμικό του Arduino. Οι μετρήσεις του αισθητήρα υποβάλλονται σε επεξεργασία από τον μικροελεγκτή και μεταδίδονται μέσω του Bluetooth στον ενδιάμεσο κόμβο.

Σχετικά με τη μέτρηση του όζοντος υπάρχουν πολλοί τύποι αισθητήρων στην αγορά. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να χωριστούν σε ηλεκτροχημικούς, ημιαγωγούς, οπτικούς και UV απορροφητικούς με βάση τις τεχνολογίες ανίχνευσης του όζοντος που χρησιμοποιούνται από αυτούς τους αισθητήρες. Αλλά στην συγκεκριμένη εφαρμογή, όπως και στις παραπάνω που αναλύθηκαν, επιλέχθηκε αισθητήρας ημιαγωγών, οι οποίοι έχουν αρκετά πλεονεκτήματα όπως χαμηλό κόστος, υψηλότερη ταχύτητα ανταπόκρισης σε χαμηλά επίπεδα O_3 , ακρίβεια και με μακρά διάρκεια ζωής. Όμως στην εργασία τους δεν αναφέρεται ο ακριβής τύπος του αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε. Ο κόμβος επεξεργασίας τους υλοποιήθηκε σε ισχυρό προσωπικό υπολογιστή με λειτουργικό σύστημα Windows 2007. Τα δεδομένα που λαμβάνονται μέσω του LAN αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων MySQL για να επεξεργαστούν αργότερα. Έχει αναπτυχθεί μια διαδικτυακή εφαρμογή για τον σχεδιασμό των δεδομένων που λαμβάνονται σε γράφημα 2D για καλύτερη οπτικοποίηση. Οι μετρήσεις έγιναν όταν η σχετική υγρασία βρισκόταν στο εύρος 48-55% και η θερμοκρασία περιβάλλοντος στο εύρος των 20-27°C.

Οι Benammar et al. [27] παρουσιάζουν ένα σύστημα παρακολούθησης περιβάλλοντος από άκρο σε άκρο που επιτρέπει τη μέτρηση του CO₂, του CO, του SO₂, του NO₂ (διοξειδίου του αζώτου), του O₃, του Cl₂ (χλωρίου), της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της σχετικής υγρασίας. Οι απομακρυσμένοι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν μια συγκεκριμένη ιστοσελίδα παρακολούθησης για πανταχού παρών πρόσβαση στα δεδομένα. Το σύστημα είναι προσαρμοσμένο σε μια open-source IoT πλατφόρμα, που ονομάζεται Emoncms, για ζωντανή παρακολούθηση και αποθήκευση των δεδομένων που συλλέχθηκαν. Η Emoncms παρέχει μια ολοκληρωμένη λύση υλικού και λογισμικού. Το υλικό του συστήματος αποτελείται κυρίως από τους κόμβους αισθητήρων και από τους ενδιάμεσους κόμβους-πύλες (gateways), με διαμόρφωση δικτύου τύπου αστέρα.

Κάθε κόμβος αισθητήρα παρακολουθεί τις συγκεντρώσεις έξι αερίων, αλλά και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την σχετική υγρασία. Ο κάθε κόμβος του αισθητήρα επικοινωνεί ασύρματα με την πύλη μέσω XBee και αναπτύσσεται ένα ειδικό firmware για τον κόμβο. Ακόμη, ο κόμβος περιλαμβάνει ένα σύνολο βαθμονομημένων αισθητήρων, μια πλακέτα διεπαφής αισθητήρων που ονομάζεται Gas Pro Sensor Board, και μια πλακέτα επεξεργασίας και αποθήκευσης δεδομένων, που ονομάζεται Waspnote, που συμπεριλαμβάνει ένα μικροελεγκτή ATmega128. Λειτουργεί στα 14,74 MHz, με μνήμη Flash 128 kB, SRAM 8 kB, 2 GB Κάρτα SD, με ρολόι 32 kHz (RTC), επτά αναλογικές εισόδους, οκτώ ψηφιακά I/O, δύο UARTs, ένα I2C, ένα SPI και μία θύρα USB. Τέλος, υπάρχει και μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία με τυπική χωρητικότητα 6600 mAh. Οι κόμβοι αισθητήρα τροφοδοτούνται από τις πρίζες, αλλά η μπαταρία απαιτείται για δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας σε περίπτωση προσωρινής διακοπής ρεύματος. Ο αισθητήρας CO₂ είναι τύπου Non-Dispersive Infrared (NDIR) και είναι τοποθετημένος σε μια ειδική διεπαφή της πλακέτας. Οι άλλοι αισθητήρες αερίου είναι τύπου ηλεκτροχημικών κυψελών.

Για πύλη χρησιμοποιείται ένας μικρο-υπολογιστής Raspberry Pi 2. Στο σύστημά τους, τα δεδομένα αποθηκεύονται κάθε 15 λεπτά και κάθε πακέτο χρειάζεται 114 Bytes, που περιέχει αναγνωριστικό (id) κόμβου (2 Bytes), χρονοσφραγίδα (10 Bytes), συγκεντρώσεις έξι αερίων (6 × 8 Bytes), θερμοκρασία (6 Bytes), σχετική υγρασία (6 Bytes), επίπεδο μπαταρίας (6 Bytes) και μετρητή (counter) (10 Bytes). Μια πύλη με τυπικά πέντε κόμβους αισθητήρα συνδεδεμένους σε αυτόν απαιτεί μόνο $114 \times 5 \times 4 \times 24 = 54,72$ kB. Η σύνδεση στο Διαδίκτυο της πύλης εξασφαλίζεται μέσω της θύρας Ethernet του Raspberry Pi. Αυτό μπορεί επίσης να γίνει μέσω WiFi χρησιμοποιώντας μια συσκευή USB WiFi. Να σημειωθεί ότι το Raspberry Pi 3 διαθέτει ενσωματωμένη μονάδα WiFi. Επομένως, μια αναβάθμιση από το Raspberry Pi 2 σε Raspberry Pi 3 θα απαλλάξει από την ανάγκη χρήσης μιας εξωτερικής μονάδας WiFi.

4. Δημιουργία του προτεινόμενου συστήματος παρακολούθησης

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα παρουσιαστεί η προτεινόμενη ολοκληρωμένη συσκευή μέτρησης δεικτών υγείας, η οποία περιλαμβάνει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, σκόνης, μέτρησης τιμών CO₂ και VOC, αλλά και εντοπισμό CO, και βασίζεται στον μικρο-υπολογιστή Raspberry Pi 4.

Η συσκευή μπορεί να λειτουργήσει ως κόμβος αισθητήρων με τη βοήθεια μονάδων XBee για την αποστολή των δεδομένων σε σταθμό βάσης, ή αυτόνομα με την χρήση WiFi, ώστε να μπορεί να ελεγχθεί απομακρυσμένα από οποιοδήποτε PC ή κινητή συσκευή.

Όλη η συσκευή περικλείεται σε κατάλληλα σχεδιασμένη θήκη, η οποία δημιουργήθηκε με 3D Printer, ώστε να υπάρχει κατάλληλη τοποθέτηση κάθε αισθητήρα και κάθε άλλου υποσυστήματος.

4.1 Σύντομη ανάλυση του Raspberry Pi

Το Raspberry Pi αποτελεί έναν μικρο-υπολογιστή σε μέγεθος πιστωτικής κάρτας, που μπορεί να χρησιμοποιεί λειτουργικά συστήματα τύπου Linux. Υπάρχει ένας τεράστιος αριθμός συμβατών αισθητήρων, αλλά και μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, ώστε με τις κατάλληλες τροποποιήσεις να χρησιμοποιούνται αισθητήρες οι οποίοι είναι ειδικά κατασκευασμένοι για μια συγκεκριμένη μέτρηση.

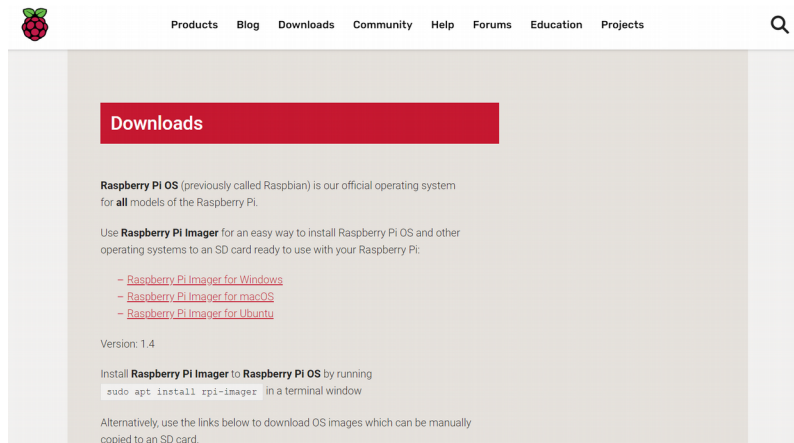


Εικόνα 1: Ο μικρο-υπολογιστής Raspberry Pi

Οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές μπορούν να συνδεθούν σε έναν μεγάλο αριθμό ηλεκτρονικών ακροδεκτών (pins). Έτσι, με την βοήθεια breadboards, μπορούν να σχηματιστούν περίπλοκα κυκλώματα, τα οποία είναι εξαιρετικά εύκολο να τροποποιηθούν στη συνέχεια. Σε ότι αφορά την επικοινωνία, κυριαρχούν κυρίως οι ασύρματες τεχνολογίες, με το υλικό είτε να βρίσκεται πάνω στο chip της κύριας πλατφόρμας, είτε εκτός αυτής.

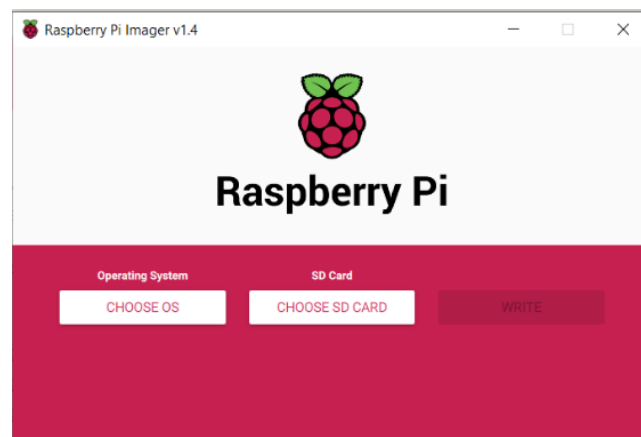
4.2 Εγκατάσταση λειτουργικού συστήματος

Στην επίσημη ιστοσελίδα του Raspberry (www.raspberrypi.org) εντοπίζουμε την επιλογή “Downloads” και επιλέγουμε “Raspberry Pi Imager for Windows” για εγκατάσταση του Raspberry Pi OS (πρώην Raspberry).



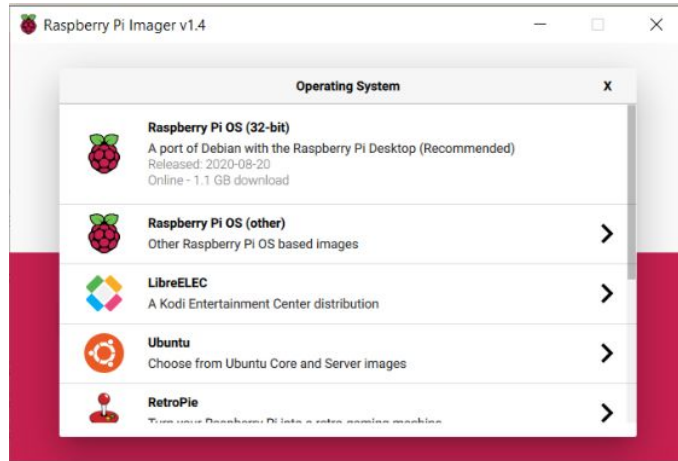
Εικόνα 2: Επιλογή του κατάλληλου Raspberry Pi Imager

Μόλις ολοκληρωθεί η εγκατάσταση, επιλέγουμε “CHOOSE OS”. Επιλέγουμε “Use custom”. Ως πρώτη επιλογή εμφανίζεται Raspberry Pi OS (32-bit). Επειδή η έκδοση του συγκεκριμένου λειτουργικού συστήματος είναι πολύ πρόσφατη δημιουργούνται αρκετές δυσλειτουργίες που σχετίζονται με συμβατότητες των παλαιών προγραμμάτων.



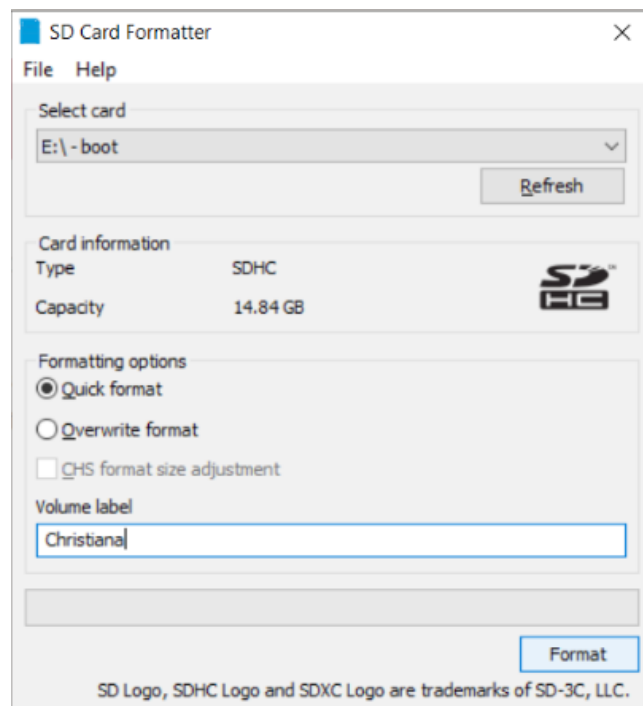
Εικόνα 3: Επιλογή λειτουργικού συστήματος και κάρτας SD

Για το λόγο αυτό επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε ένα παλαιότερο .img αρχείο, το οποίο καλύπτει τις περισσότερες από τις ασυμβατότητες που παρουσιάζονται κυρίως σε εκδόσεις από τον Μάιο του 2020 και μεταγενέστερα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούμε την έκδοση 2020-05-27-raspbian.



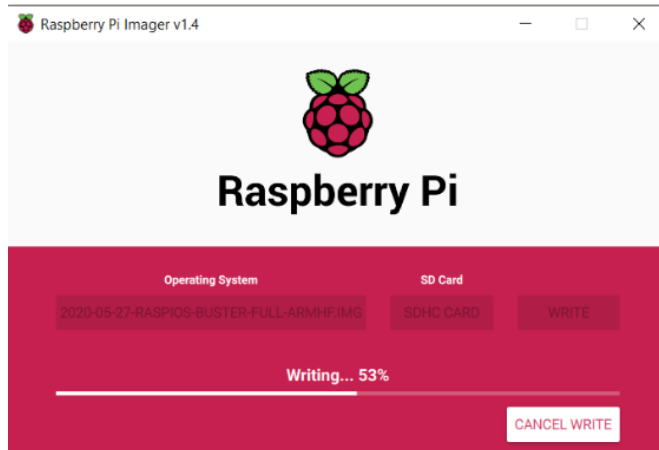
Εικόνα 4: Λίστα επιλογής λειτουργικών συστημάτων

Το λειτουργικό σύστημα το εγκαθιστούμε σε μια κάρτα micro SD. Απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή εγκατάσταση του λειτουργικού αποτελεί η πλήρης εκκαθάριση των αρχείων της κάρτας SD που θα χρησιμοποιηθεί. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιούμε την εφαρμογή SD Card Formatter.



Εικόνα 5: Εφαρμογή SD Card Formatter

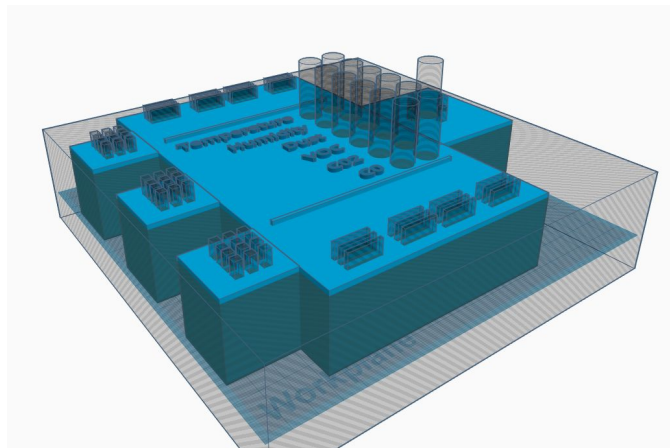
Αφού εγκατασταθεί το λειτουργικό σύστημα στην κάρτα micro SD, την τοποθετούμε στην ειδική υποδοχή του Raspberry. Ενεργοποιούμε την τροφοδοσία και εφόσον όλα έχουν γίνει σωστά εμφανίζονται κατάλληλα μηνύματα για την αρχική ρύθμιση του Raspberry που αφορούν τοποθεσία, γλώσσα, ρυθμίσεις WiFi και τυχόν ενημερώσεις.



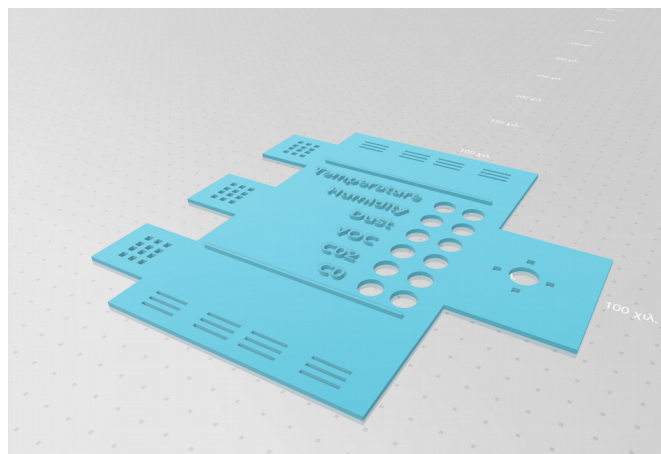
Εικόνα 6: Τελικό στάδιο ολοκλήρωσης της εγκατάστασης

4.3 Σχεδιασμός κατασκευής τοποθέτησης των υποσυστημάτων

Για τον σχεδιασμό της κατασκευής για την τοποθέτηση των εξαρτημάτων επιλέχθηκε η χρήση του δωρεάν λογισμικού Tinkercad, το οποίο αποτελεί μια εύχρηστη πλατφόρμα ιδανική για σχεδίαση αντικειμένων τα οποία δεν διαθέτουν υψηλή πολυπλοκότητα. Τα αρχεία τα οποία θα εξαχθούν από το Tinkercad θα είναι της μορφής .stl.

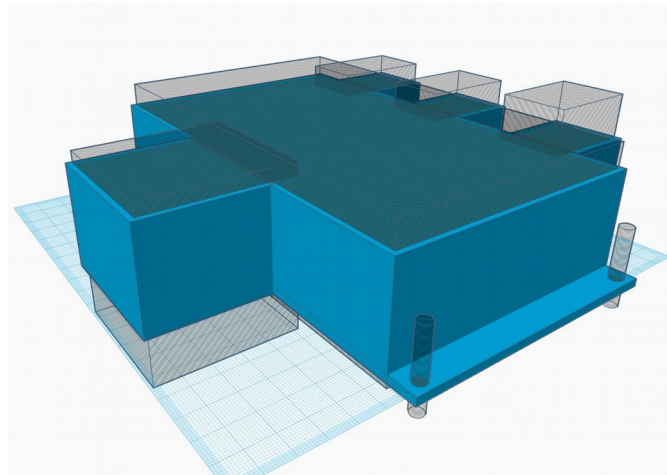


Εικόνα 7: Διαδικασία σχεδιασμού πρόσοψης

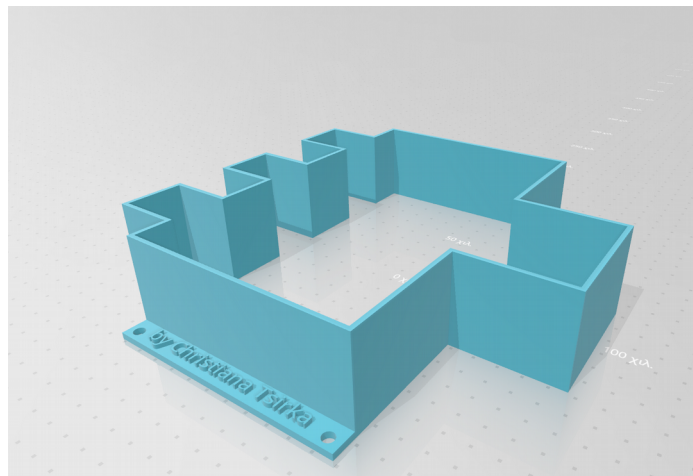


Εικόνα 8: Τρισδιάστατη απεικόνιση πρόσοψης

Για τη σχεδίαση της πρόσοψης του συστήματος επιλέχθηκε η τοποθέτηση κατάλληλων οπών για τις λυχνίες LED καθώς και κατάλληλων αεραγωγών για την ψύξη του Raspberry Pi.

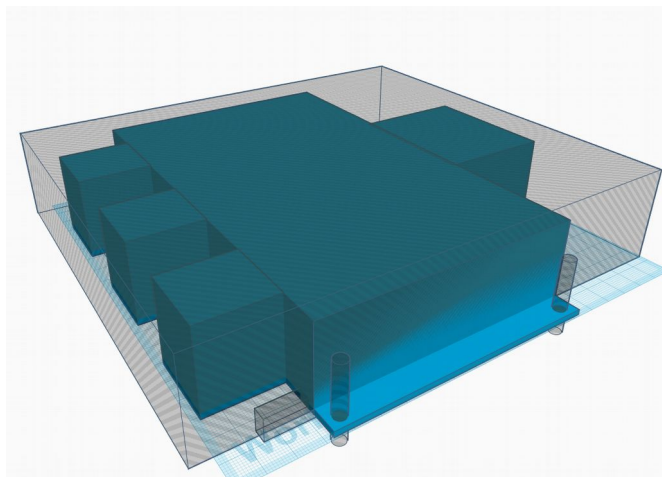


Εικόνα 9: Διαδικασία σχεδιασμού πλαϊνού τμήματος

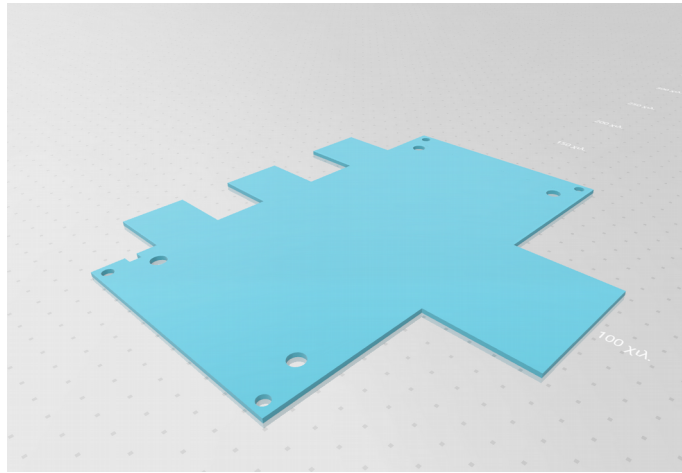


Εικόνα 10: Τρισδιάστατη απεικόνιση πλαϊνού τμήματος

Η πρόσοψη ακολουθεί τον σχεδιασμό του πλαϊνού τμήματος δηλαδή το κεντρικό τμήμα της τοποθέτησης του Raspberry και λοιπών υποσυστημάτων, και περιμετρικά τοποθετημένοι οι αισθητήρες. Υπάρχουν κατάλληλες οπές, οι οποίες επιτρέπουν την διέλευση αέρα, προκειμένου να υπάρχει η κατάλληλη ανανέωση.

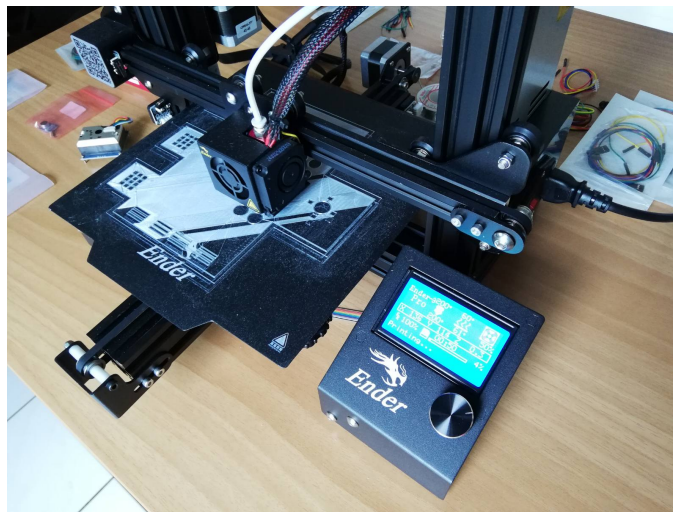


Εικόνα 11: Διαδικασία σχεδιασμού οπίσθιου τμήματος

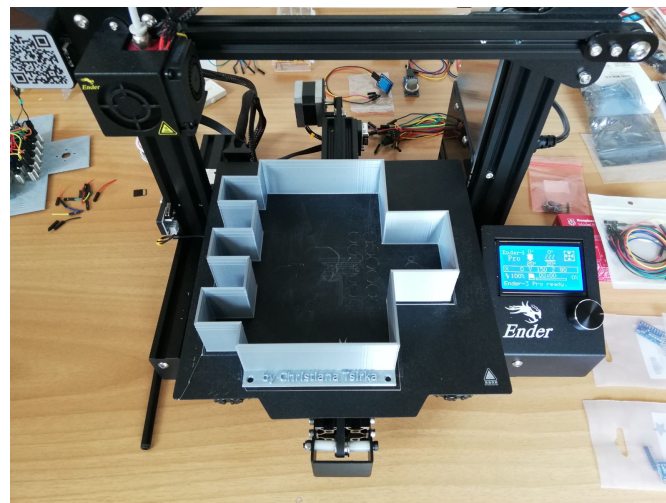


Εικόνα 12: Τρισδιάστατη απεικόνιση οπίσθιου τμήματος

Η πρόσοψη και το πλαϊνό τμήμα θα ενωθούν ως ενιαία κατασκευή. Το οπίσθιο τμήμα θα αποτελεί την μόνιμη τοποθετημένη επιτοίχια βάση, στην οποία θα μπορεί να αφαιρεθεί το μπροστινό ενιαίο τμήμα. Τόσο στο μεσαίο τμήμα όσο και στο οπίσθιο δημιουργήθηκαν κατάλληλες οπές για την τοποθέτηση βιδών και παξιμαδιών συγκράτησης, για εύκολη μελλοντική συντήρηση ή/και αναβάθμιση.



Εικόνα 13: Διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης πρόσοψης



Εικόνα 14: Διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης πλαϊνού τμήματος

4.4 Έλεγχος λυχνιών LED

Για τη σωστή πληροφόρηση του χρήστη από το σύστημα, απαραίτητο εργαλείο αποτελεί η ειδοποίηση της κατάστασης του περιβάλλοντος με τη χρήση λυχνιών τεχνολογίας LED. Ο τρόπος λειτουργίας των LED και ο χρωματισμός τους ενημερώνουν τον χρήστη για το εάν οι τιμές είναι εντός επιτρεπτών ορίων ή όχι. Η επιλογή του χρώματος των λαμπτήρων έγινε με βάση την μέγιστη δυνατή ικανότητα αντίληψης από τον χρήστη. Το πράσινο και το κόκκινο χρώμα αποτελούν τις δύο σημαντικότερες επιλογές των περισσότερων συσκευών για την ειδοποίηση σχετικά με την σωστή χρήση του προϊόντος. Εκτός από τον τομέα των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών, η επιλογή των δύο αυτών χρωμάτων για τη σήμανση χρησιμοποιείται τόσο σε σημάψεις δρόμων, ετικέτες προϊόντων, προειδοποιητών σε καλώδια κλπ.

Οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες που επιλέχθηκαν είναι κατασκευασμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να μην δημιουργούν σύγχυση στον χρήστη όταν υπάρχει έντονος φωτισμός στο χώρο που θα υπάρχει η συσκευή. Τα περισσότερα απλά LED τείνουν να δείχνουν ενεργοποιημένα σε κάποιες συνθήκες φωτισμού. Τα συγκεκριμένα LED έχουν επίστρωση στη βάση τους, ώστε να δείχνουν σκούρο γκρι όταν είναι κλειστά. Έτσι ο χρήστης έχει πάντοτε τη σωστή πληροφόρηση.

Οι τιμές που θα εξετάζει και θα πληροφορεί το σύστημα αφορούν τη θερμοκρασία, την υγρασία, τη σκόνη, το CO₂, το VOC και το CO. Συνεπώς, υπάρχει η ανάγκη για 12 LEDs. Τα 6 LEDs αφορούν τον πράσινο χρωματισμό και τα υπόλοιπα 6 τον κόκκινο. Οι λαμπτήρες είναι τοποθετημένοι σε διάταξη κατάλληλη ώστε να αποτρέπεται η σύγχυση και η λανθασμένη ανάγνωση από το χρήστη.

Οι δύο λαμπτήρες της κάθε τιμής δεν ενεργοποιούνται ποτέ ταυτόχρονα. Δηλαδή, σε κάθε περίπτωση ενεργοποιούνται μέχρι 6 LEDs, είτε κόκκινα, είτε πράσινα, δηλαδή όσες και οι τιμές. Οι τιμές διαβάζονται από τους αντίστοιχους αισθητήρες, οι οποίοι θα αναλυθούν παρακάτω. Τα όρια των τιμών, καθώς και ο τρόπος λειτουργίας και αξιοποίησης των δεδομένων των αισθητήρων, καθορίζεται από κώδικες σε γλώσσα προγραμματισμού Python, σύμφωνα με τις τιμές που παρουσιάζονται στα άρθρα που εξετάστηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο. Ο κώδικας για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση ενός LED φαίνεται παρακάτω, και αποτελεί την βάση για την ενεργοποίηση περισσότερων LEDs καθώς και της ενεργοποίησης τους με βάση τους αισθητήρες.

```
1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setmode(GPIO.BCM)
4 GPIO.setwarnings(False)
5
6 GPIO.setup(5,GPIO.OUT)
7 GPIO.setup(22,GPIO.OUT)
8
9 # _____ Led on/off loop _____
10
11 while True:
12
13
14     GPIO.output(5,GPIO.HIGH)
15     GPIO.output(22,GPIO.LOW)
16     time.sleep(1)
17     GPIO.output(5,GPIO.LOW)
18     GPIO.output(22,GPIO.HIGH)
19     time.sleep(1)
20
```

Εικόνα 15: Κώδικας Python για ενεργοποίηση και απενεργοποίηση LEDs

Το κάθε LED τροποποιήθηκε κατάλληλα, ώστε να τοποθετηθεί καλωδίωση για την διασύνδεση τους με GPIO του Raspberry Pi. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα LEDs που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν εντός της βάσης τους κατάλληλη αντίσταση, οπότε δεν απαιτείται η προσθήκη νέας αντίστασης στο κύκλωμα.



Εικόνα 16: 6 LEDs με πράσινο και 6 LEDs με κόκκινο φωτισμό



Εικόνα 17: Απογύμνωση καλωδίων για την συγκόλληση τους στα LEDs

Σε κάθε σύνδεση καλωδίων χρησιμοποιήθηκαν θερμοσυστελλόμενοι αγωγοί, ώστε να μην υπάρχουν προβλήματα με ανεπιθύμητες επαφές.



Εικόνα 18: Συγκόλληση των καλωδίων στα LEDs

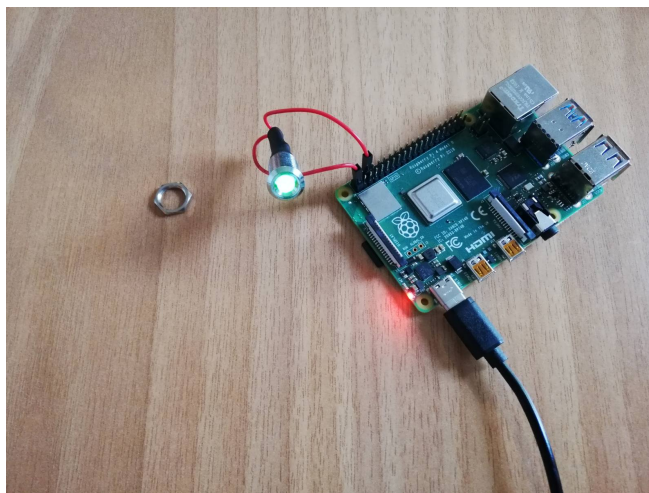


Εικόνα 19: Τοποθέτηση των θερμοσυστελλόμενων αγωγών



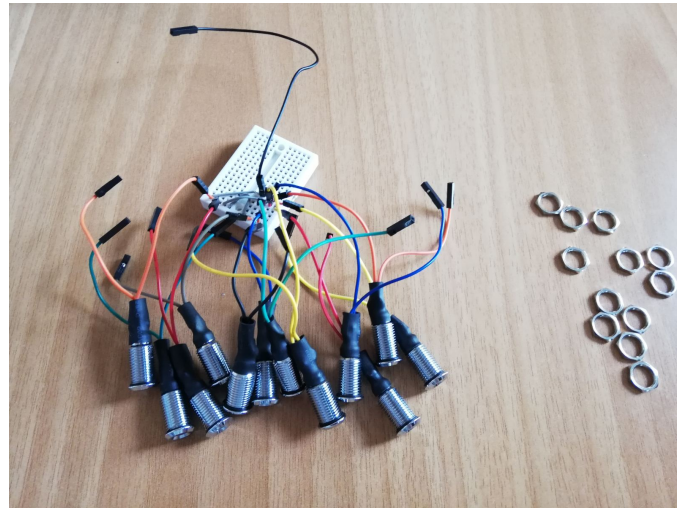
Εικόνα 20: Ολοκλήρωση και των 12 LEDs

Μετά από κάθε δημιουργία καλωδίου νέου LED γίνονται έλεγχος της σωστής συγκόλλησης και λειτουργίας με την τοποθέτηση καθενός στην μόνιμη παροχή 3,3 V που διαθέτει το Raspberry.



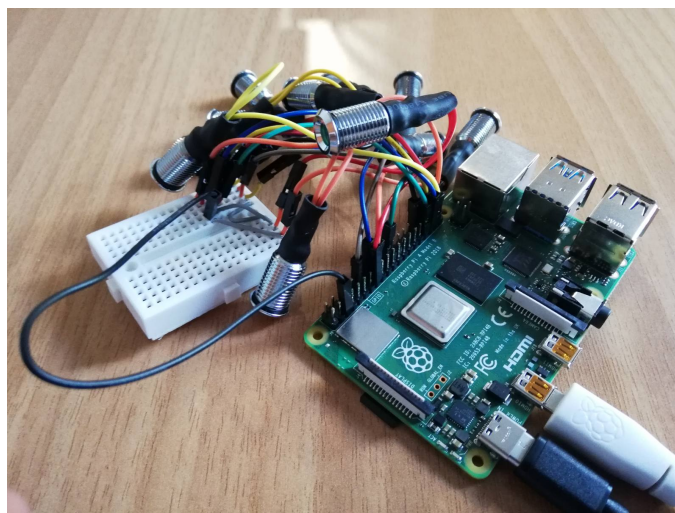
Εικόνα 21: Δοκιμή ορθής λειτουργίας LED

Αρχικά, τοποθετήθηκαν ξεχωριστά καλώδια ground για κάθε λαμπτήρα LED. Αμέσως όμως η επιλογή αυτή απορρίφθηκε λόγω του ότι δημιουργούνταν επιπλέον πολυπλοκότητα στην πρακτικότητα των καλωδίων.



Εικόνα 22: Τοποθέτηση όλων των LEDs σε breadboard

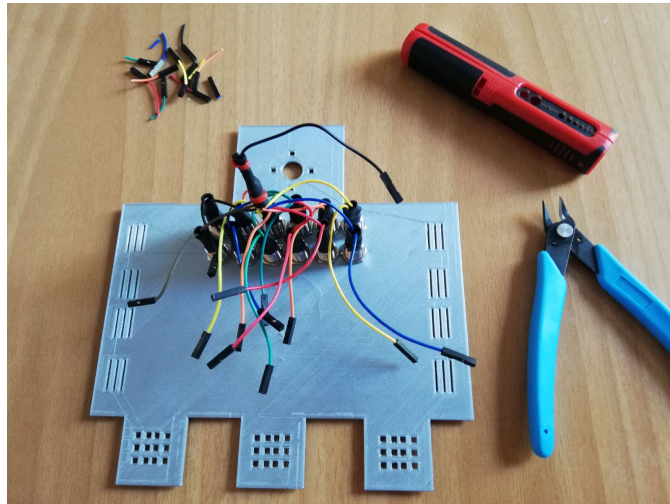
Συνεπώς οι γειώσεις τοποθετήθηκαν όλες μαζί, με κοινή καλωδίωση, ώστε να μειωθεί σχεδόν στο 50% η χρήση καλωδίων στο συγκεκριμένο υποσύστημα.



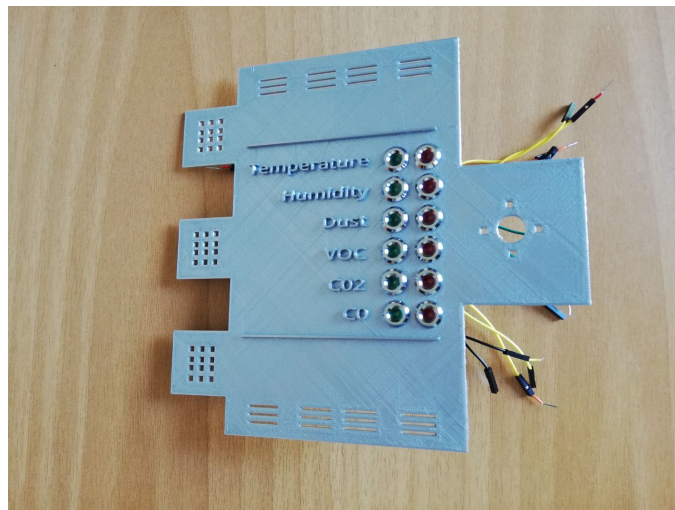
Εικόνα 23: Κοινή γείωση για όλα τα LEDs

Κάθε GPIO που επιλέχθηκε υποστηρίζει τάση 3,3 V και ρεύμα ικανό ώστε το LED να φωτίζει υπέρ ικανοποιητικά σε κάθε συνθήκη φωτισμού του θαλάμου.

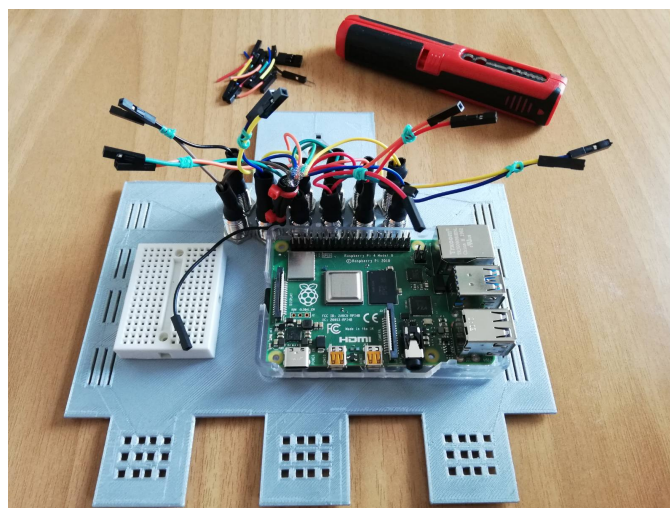
Στη συνέχεια, έγινε αντιστοίχιση των χρωμάτων των LEDs με τα GPIO, ώστε να σημειωθούν για την μετέπειτα τοποθέτηση τους επάνω στο πάνελ ενδείξεων, δηλαδή στην πρόσοψη της κατασκευής. Η τοποθέτηση των λυχνιών LEDs στο πάνελ προϋποθέτει την σωστή διάμετρο οπών κατά τον σχεδιασμό της κατασκευής στο σχεδιαστικό πρόγραμμα. Η συγκρότηση του κάθε LED επάνω στην πρόσοψη γίνεται με τη βοήθεια των προεξοχών στην κεφαλή της βάσης του, καθώς και με τη χρήση παξιμαδιού συγκρότησης στο πίσω μέρος της πρόσοψης.



Εικόνα 24: Τοποθέτηση των LEDs στην πρόσοψη



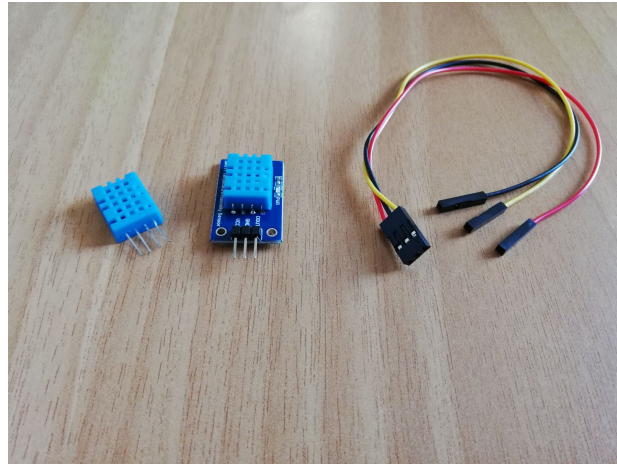
Εικόνα 25: Η εμφάνιση της πρόσοψης μετά την τοποθέτηση των LEDs



Εικόνα 26: Διαχωρισμός των καλωδίων και τοποθέτηση breadboard και Raspberry Pi

4.5 Αισθητήρας DTH11 (θερμοκρασίας - υγρασίας)

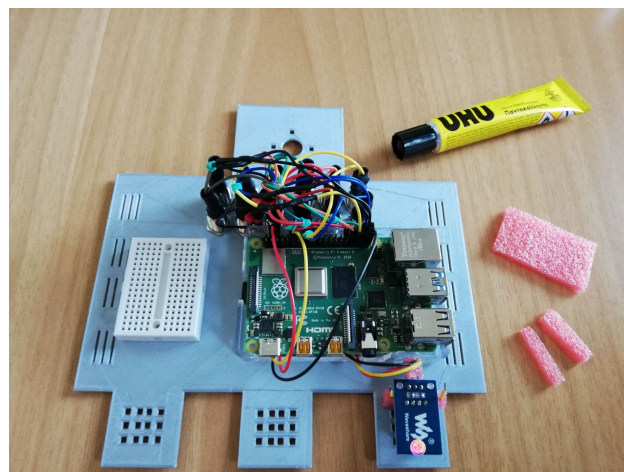
Για την συλλογή των δεδομένων υγρασίας και θερμοκρασίας επιλέχθηκε ο αισθητήρας DTH11. Ο DTH11 αποτελεί έναν από τους πιο δημοφιλείς αισθητήρες για πρότυπες εφαρμογές με Raspberry. Για την καλύτερη στερέωση, αλλά και την αποφυγή πρόσθετης αντίστασης επιλέχθηκε το kit της Waveshare, η οποία προσφέρει έτοιμη τοποθέτηση του αισθητήρα πάνω στο chip.



Εικόνα 27: Ο αισθητήρας DTH11

Σχετικά με τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα, απαιτεί τροφοδοσία 3,3V έως 5V dc και ρεύμα λειτουργίας 0,3 mA. Η διασύνδεση είναι ψηφιακή. Η ακρίβεια της θερμοκρασίας είναι 2°C και εύρος από 0-50°C. Η ακρίβεια της υγρασίας είναι 5% (σε θερμοκρασία 0-50°C) και εύρος 20% - 90%. Διαθέτει 3 pins: τροφοδοσία Vcc, γείωση GND και ψηφιακή έξοδο DOUT. Επίσης το chip της Waveshare διαθέτει και LED, σωστή τροφοδοσία, το οποίο αναφέρεται ως PWR. Οι διαστάσεις είναι αρκετά μικρές για την ζητούμενη υλοποίηση και συγκεκριμένα, περίπου 20x30 mm. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι τύπου Single Wire.

Για την αποφυγή της λανθασμένης ένδειξης θερμοκρασίας από την θερμική ενέργεια που παράγει η λειτουργία του Raspberry, θα τοποθετηθεί κατάλληλο αφρώδες υλικό για την μόνωση του τμήματος του Raspberry με αυτό του DTH11.



Εικόνα 28: Τοποθέτηση του αισθητήρα DTH11

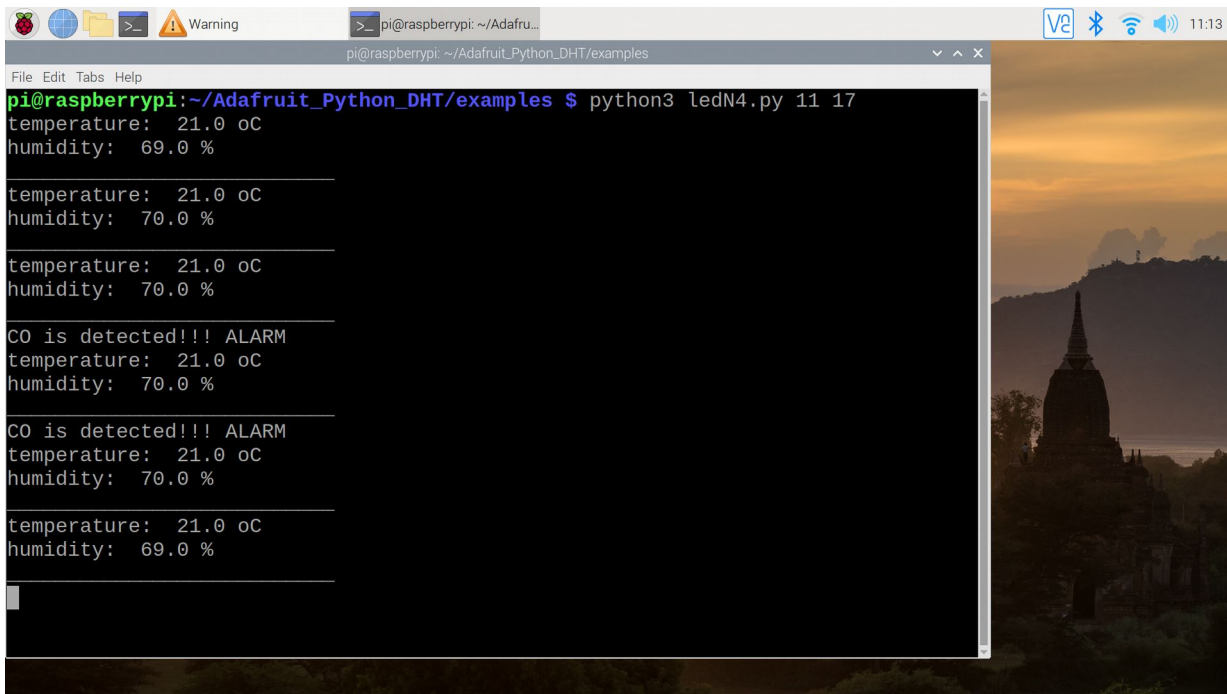
Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι τα όρια τιμών που δόθηκαν στους κώδικες που θα παρουσιαστούν στις παρακάτω εικόνες αφορούν ενδεικτικές τιμές, και δεν συμβαδίζουν απολύτως με αυτές της βιβλιογραφίας, διότι η επιλογή των συγκεκριμένων τιμών βοήθησε στην επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας ελέγχου της σωστής λειτουργίας του συστήματος.

```

1  import RPi.GPIO as GPIO
2  import time
3  GPIO.setmode(GPIO.BCM)
4  GPIO.setwarnings(False)
5
6  GPIO.setup(5,GPIO.OUT)
7  GPIO.setup(22,GPIO.OUT)
8  GPIO.setup(25,GPIO.OUT)
9  GPIO.setup(18,GPIO.OUT)
10 GPIO.setup(12,GPIO.OUT)
11 GPIO.setup(6,GPIO.OUT)
12 GPIO.setup(16,GPIO.OUT)
13 GPIO.setup(13,GPIO.OUT)
14 GPIO.setup(20,GPIO.OUT)
15 GPIO.setup(19,GPIO.OUT)
16 GPIO.setup(21,GPIO.OUT)
17 GPIO.setup(26,GPIO.OUT)
18 # _____ CO gases pin _____
19 mq7_dpin = 27
20 GPIO.setup(mq7_dpin,GPIO.IN,pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
21 #
22 # Copyright (c) 2014 Adafruit Industries
23 import sys
24 import Adafruit_DHT
25
26 sensor_args = { '11': Adafruit_DHT.DHT11,
27                 '22': Adafruit_DHT.DHT22,
28                 '2302': Adafruit_DHT.AM2302 }
29 if len(sys.argv) == 3 and sys.argv[1] in sensor_args:
30     sensor = sensor_args[sys.argv[1]]
31     pin = sys.argv[2]
32 else:
33     print('Example: sudo ./Adafruit_DHT.py 2302 4')
34     sys.exit(1)
35
36 # _____ Led on/off loop _____
37 while True:
38     humidity, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(sensor, pin)
39     print("temperature: " , temperature , "oC")
40     print("humidity: " , humidity , "%")
41     print("_____")
42     # temperature green/red _____
43     if temperature < 27:
44         GPIO.output(5,GPIO.HIGH)
45         GPIO.output(22,GPIO.LOW)
46     else:
47         GPIO.output(5,GPIO.LOW)
48         GPIO.output(22,GPIO.HIGH)
49     # humidity green/red _____
50     if humidity < 70 :
51         GPIO.output(25,GPIO.HIGH)
52         GPIO.output(18,GPIO.LOW)
53     else:
54         GPIO.output(25,GPIO.LOW)
55         GPIO.output(18,GPIO.HIGH)
56     # CO green/red _____
57     if GPIO.input(mq7_dpin):
58         GPIO.output(21,GPIO.HIGH)
59         GPIO.output(26,GPIO.LOW)
60         time.sleep(1)
61     else:
62         print("CO is detected!!! ALARM")
63         GPIO.output(21,GPIO.LOW)

```

Εικόνα 29: Κώδικας Python για την μέτρηση θερμοκρασίας, υγρασίας και εντοπισμό CO



```
pi@raspberrypi:~/Adafruit_Python_DHT/examples $ python3 ledN4.py 11 17
temperature: 21.0 oC
humidity: 69.0 %

-----

temperature: 21.0 oC
humidity: 70.0 %

-----

temperature: 21.0 oC
humidity: 70.0 %

-----

CO is detected!!! ALARM
temperature: 21.0 oC
humidity: 70.0 %

-----

CO is detected!!! ALARM
temperature: 21.0 oC
humidity: 70.0 %

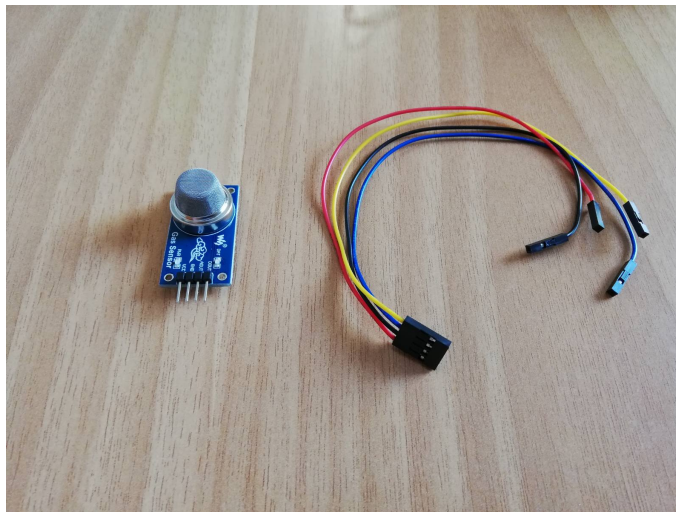
-----

temperature: 21.0 oC
humidity: 69.0 %
```

Εικόνα 30: Αποτελέσματα μετρήσεων για θερμοκρασία, υγρασία και CO

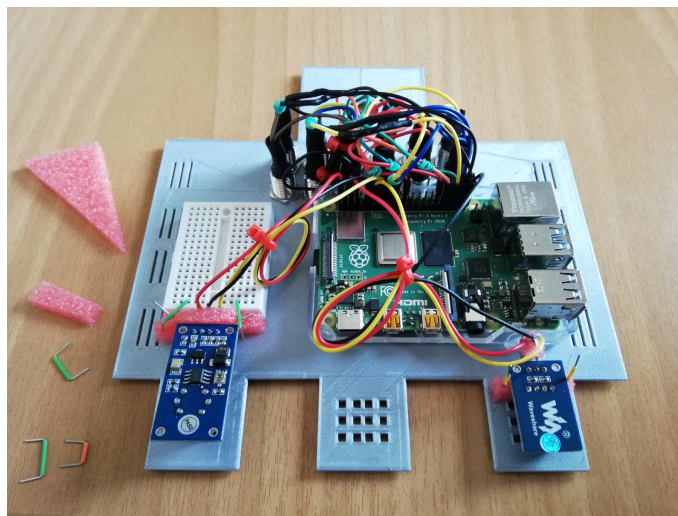
4.6 Αισθητήρας MQ-7

Προκειμένου να γίνει εντοπισμός ύπαρξης αερίου CO, επιλέχθηκε ο δημοφιλής αισθητήρας MQ-7. Όπως στην περίπτωση του DTH11, χρησιμοποιήθηκε ένα chip της Waveshare ενσωματωμένο των αισθητήρων CO, MQ-7. Η διασύνδεση είναι και αναλογική και ψηφιακή. Όμως, επειδή στην παρούσα εφαρμογή μας ενδιαφέρει η ύπαρξη ή όχι αερίου CO, και όχι οι ακριβείς τιμές, θα αξιοποιηθεί μόνο η διασύνδεση. Σε αυτό βοηθάει και ο περιστροφικός ρυθμιστής ευαισθησίας στο πίσω μέρος του chip, ώστε ο αισθητήρας να δίνει εντολή μόνο στην περίπτωση μιας καθορισμένης τιμής. Οπότε εάν επιλεγόταν αναλογική λειτουργία θα απαιτούνταν και μετατροπή αναλογικού σε ψηφιακό (όπως θα αναλυθεί για τον αισθητήρα σκόνης παρακάτω, με χρήση του ADS1115).



Εικόνα 31: Ο αισθητήρας MQ-7

Η τάση λειτουργίας είναι από 2,5-5V και έχει διαστάσεις περίπου 40x20 mm. Διαθέτει 4 pins: τροφοδοσία VCC, γείωση GND, αναλογική έξοδο AOOUT και ψηφιακή έξοδο DOOUT. Επίσης, το chip εκτός από ένα LED ορθής τροφοδοσίας, διαθέτει και LED για την ανίχνευση ή όχι CO, το οποίο βοηθάει πολύ στην διαδικασία των δοκιμών. Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε έχει ενσωματωθεί σε αυτόν της υγρασίας και θερμοκρασίας, όπως φαίνεται σε παραπάνω εικόνα.



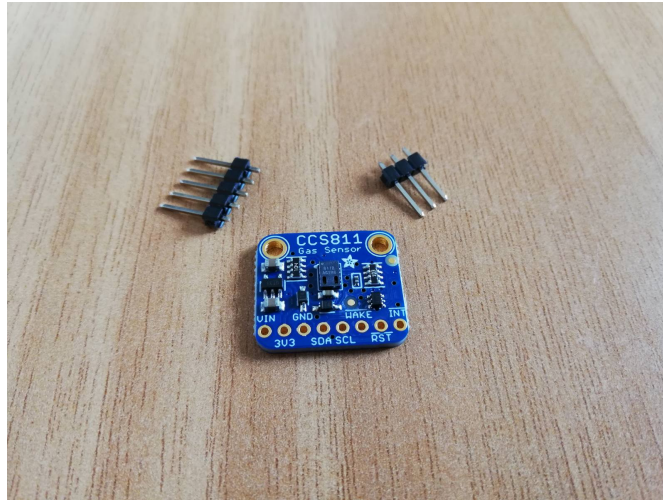
Εικόνα 32: Τοποθέτηση του αισθητήρα MQ-7



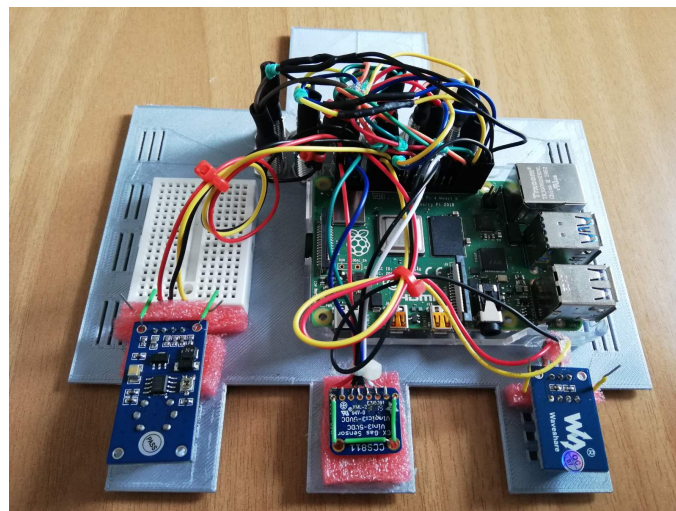
Εικόνα 33: Δοκιμή λειτουργίας του συστήματος για θερμοκρασία, υγρασία και CO

4.7 VOC και CO₂ - αισθητήρας CCS811

Δύο σημαντικές παράμετροι που εξετάζονται από το σύστημα είναι και η ανάλυση των δεδομένων VOC και CO₂. Η διαδικασία μετρήσεων βασίζεται στον αισθητήρα CCS811. Ο αισθητήρας αυτός διαθέτει πρωτόκολλο επικοινωνίας I2C, το οποίο τον καθιστά ιδανικό για το Raspberry Pi. Η τάση λειτουργίας είναι 3,3-5V dc και απαιτεί ρεύμα 30 mA. Χρησιμοποιεί την διεύθυνση 0x5A. Οι διαστάσεις του είναι περίπου 20x20 mm. Το εύρος CO₂ κυμαίνεται από 400 ppm έως 8192 ppm. Το εύρος VOC κυμαίνεται από 0 ppb έως 1187 ppb. Μπορεί να ρυθμιστεί εύκολα σε λειτουργία δειγματοληψίας με βάση το χρόνο, δηλαδή κάθε 250 ms, 1 sec, 10 sec, ή 60 sec.



Εικόνα 34: Ο αισθητήρας CCS811



Εικόνα 35: Τοποθέτηση του αισθητήρα CCS811



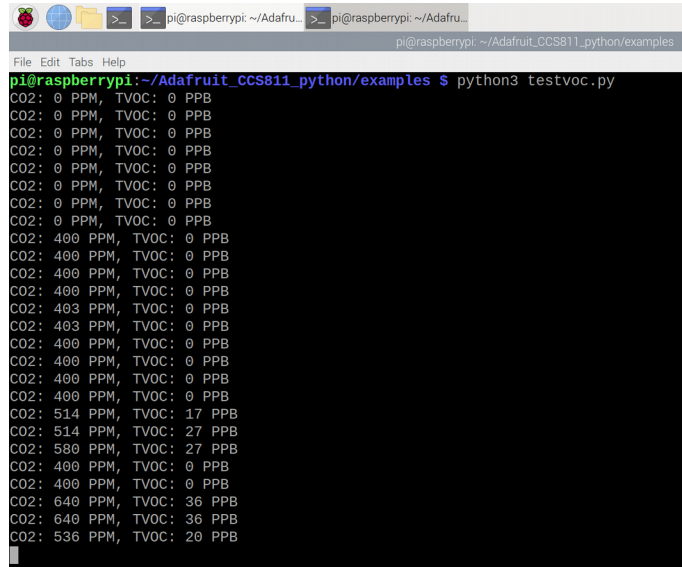
Εικόνα 36: Δοκιμή λειτουργίας του συστήματος για VOC και CO₂

Τα pins που θα χρησιμοποιηθούν είναι: τροφοδοσία Vin, γείωση GRD, WAKE και τα δύο pins που αφορούν την επικοινωνία, δηλαδή το SRA και SCL.

Σχετικά με τις μετρήσεις VOC, είναι τύπου TVOC (Total Volatile Organic Compound) και μπορεί να ανιχνεύσει Alcohols, Aldehydes, Ketones, Organic Acid, Amines, Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons).

```
1 import time
2 import board
3 import busio
4 import adafruit_ccs811
5
6 import RPi.GPIO as GPIO
7 import time
8 GPIO.setmode(GPIO.BCM)
9 GPIO.setwarnings(False)
10
11 GPIO.setup(5,GPIO.OUT)
12 GPIO.setup(22,GPIO.OUT)
13 GPIO.setup(25,GPIO.OUT)
14 GPIO.setup(18,GPIO.OUT)
15 GPIO.setup(12,GPIO.OUT)
16 GPIO.setup(6,GPIO.OUT)
17 GPIO.setup(16,GPIO.OUT)
18 GPIO.setup(13,GPIO.OUT)
19 GPIO.setup(20,GPIO.OUT)
20 GPIO.setup(19,GPIO.OUT)
21 GPIO.setup(21,GPIO.OUT)
22 GPIO.setup(26,GPIO.OUT)
23
24 i2c = busio.I2C(board.SCL, board.SDA)
25 ccs811 = adafruit_ccs811.CCS811(i2c)
26
27 while not ccs811.data_ready:
28     pass
29
30 # _____
31 #on/off LEDs
32
33 while True:
34     print("CO2: {} PPM, TVOC: {} PPB".format(ccs811.eco2, ccs811.tvoc))
35     time.sleep(0.5)
36     #CO2 green/red
37     if ccs811.eco2 < 402:
38         GPIO.output(20,GPIO.HIGH)
39         GPIO.output(19,GPIO.LOW)
40     else:
41         GPIO.output(20,GPIO.LOW)
42         GPIO.output(19,GPIO.HIGH)
43     #VOC green/red
44     if ccs811.tvoc < 10 :
45         GPIO.output(16,GPIO.HIGH)
46         GPIO.output(13,GPIO.LOW)
47     else:
48         GPIO.output(16,GPIO.LOW)
49         GPIO.output(13,GPIO.HIGH)
50
```

Εικόνα 37: Κώδικας Python για την μέτρηση CO2 και VOC



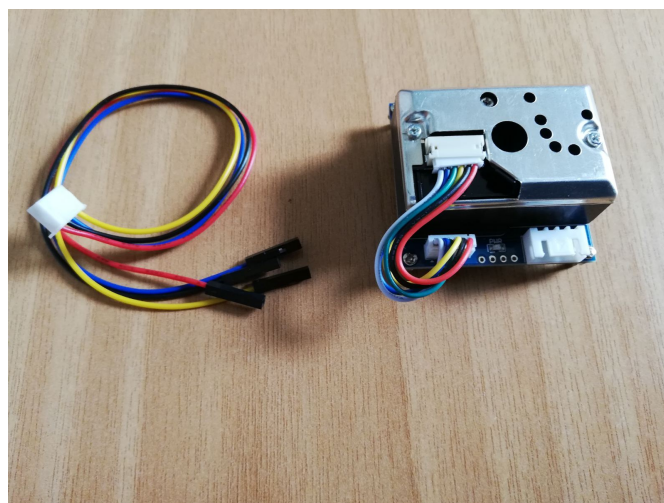
```
pi@raspberrypi: ~/Adafru... pi@raspberrypi: ~/Adafru...
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~/Adafruit_CCS811_python/examples $ python3 testvoc.py
CO2: 0 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 0 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 0 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 0 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 0 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 0 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 0 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 0 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 0 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 400 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 400 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 400 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 400 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 403 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 403 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 400 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 400 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 400 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 400 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 400 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 400 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 514 PPM, TVOC: 17 PPB
CO2: 514 PPM, TVOC: 27 PPB
CO2: 580 PPM, TVOC: 27 PPB
CO2: 400 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 400 PPM, TVOC: 0 PPB
CO2: 640 PPM, TVOC: 36 PPB
CO2: 640 PPM, TVOC: 36 PPB
CO2: 536 PPM, TVOC: 20 PPB
```

Εικόνα 38: Αποτελέσματα μετρήσεων για CO2 και VOC

4.8 Αισθητήρας σκόνης και μετατροπέας ADS1115

Τελευταία παράμετρος που εξετάστηκε ήταν το επίπεδο σκόνης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας Sharp GP2Y1010AU0F σε chip της Waveshare. Η διαδικασία είναι αναλογική, χωρίς πρωτόκολλο επικοινωνίας. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Η τυπική τάση εισόδου είναι 3,3-5,0 V dc και ρεύμα 20 mA (max). Η ευαισθησία είναι 0,5 V ανά 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Το εύρος μετρήσεων είναι 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Η διάρκεια ζωής είναι 5 χρόνια.

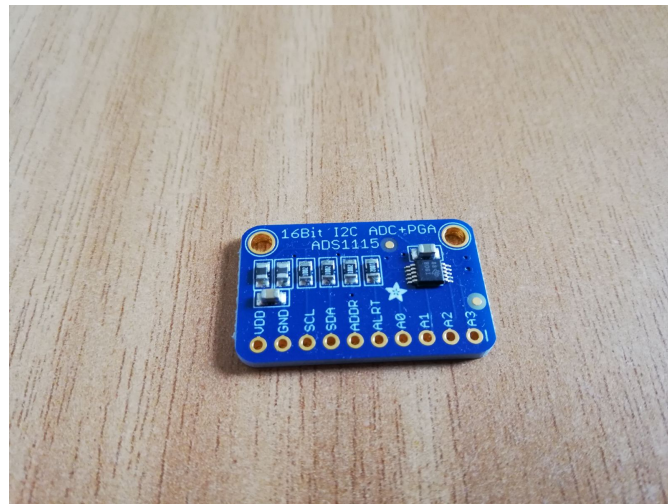
Οι διαστάσεις είναι περίπου 45x45 mm. Η οπή για τον αέρα είναι 9,00 mm. Διαθέτει εσωτερικό infrared emitting diode (IRED) που ανιχνεύει το ανακλώμενο φως από την σκόνη και παράγει αντίστοιχη τάση. Μπορεί να υποστηρίξει δειγματοληψία 0,04 ms. Για την απενεργοποίηση της διόδου IRED αρκεί η διακοπή της τροφοδοσίας του pin I_{Led} . Η μέτρηση μπορεί να ανιχνεύσει τιμές $\text{PM}_{2,5}$.



Εικόνα 39: Ο αισθητήρας σκόνης Sharp GP2Y1010AU0F

Όπως αναφέρθηκε προκειμένου να μπορεί να εκμεταλλευτεί το Raspberry Pi τα δεδομένα, πρέπει να μετατραπούν σε ψηφιακό σήμα. Έτσι το pin Aout του αισθητήρα σκόνης πρέπει να καταλήγει σε έναν μετατροπέα. Επιλέχθηκε η χρήση του ADS1115, ο οποίος αποτελεί μια

δοκιμασμένη λύση σε Raspberry Pi. Η καλωδίωση του αισθητήρα και του μετατροπέα με το Raspberry Pi φαίνεται παρακάτω.

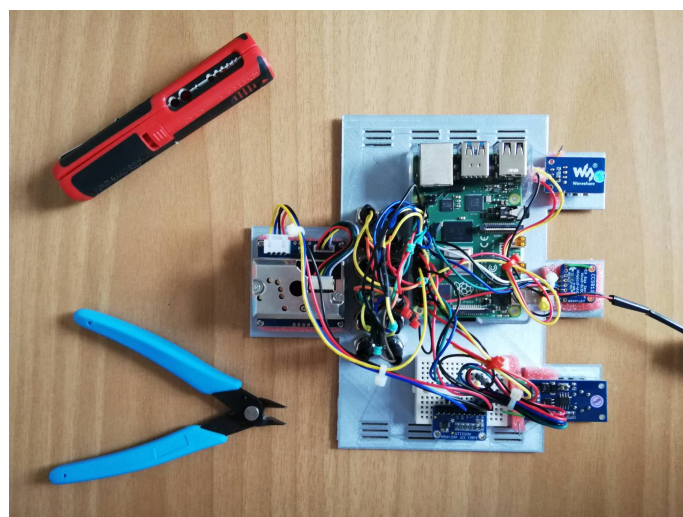


Εικόνα 40: Ο μετατροπέας ADS1115

Αξίζει να σημειωθεί ότι κάποιες τελευταίες εκδόσεις του λειτουργικού Raspberry, δεν ανταποκρίνονται επιτυχώς στην ταυτόχρονη διασύνδεση πολλαπλών I2C συσκευών. Σε παλαιότερες εκδόσεις για την προσθήκη επιπλέον bus απαιτούνταν απλά η προσθήκη γραμμών εντολών στο αρχείο .config txt. Για παράδειγμα, για την προσθήκη ενός bus 4 χρειαζόταν η προσθήκη της γραμμής:

```
dtoverlay=i2c-gpio, bus=4, i2c_gpio_delay_us=1,i2c_gpio_sda=23,i2c_gpio_scl=24
```

Με την εντολή αυτή, δημιουργείται bus με το GPIO 23 ως SDA και το GPIO 24 ως SCL.



Εικόνα 41: Τοποθέτηση του μετατροπέα ADS1115 και του αισθητήρα σκόνης

```

1
2 import time
3 import board
4 import busio
5
6 import RPi.GPIO as GPIO
7 GPIO.setmode(GPIO.BCM)
8 GPIO.setwarnings(False)
9
10 GPIO.setup(23,GPIO.OUT)
11 GPIO.setup(12,GPIO.OUT)
12 GPIO.setup(6,GPIO.OUT)
13
14 # part from License: Public Domain
15
16 import Adafruit_ADS1x15
17 adc = Adafruit_ADS1x15.ADS1115()
18 # GAIN - 2/3 = +/-6.144V
19 # GAIN - 1 = +/-4.096V
20 # GAIN - 4 = +/-1.024V
21 # GAIN - 8 = +/-0.512V
22 # GAIN - 16 = +/-0.256V
23 GAIN = 1
24 print('-' * 37)
25 print ('Red led if dust > 0.80 mg/m3')
26
27 GPIO.output(23,GPIO.HIGH) #DUST SENSOR ILED ON
28
29 while True:
30     values = [0]*1
31     for i in range(1):
32         # Read the specified ADC channel using the previously set gain value.
33         values[i] = adc.read_adc(i, gain=GAIN)
34         values[i] = (values[i] - 30)*0.01
35         if values[i] > 0.80 :
36             print ('ALARM: Dust!!!')
37             GPIO.output(6,GPIO.HIGH)
38             GPIO.output(12,GPIO.LOW)
39         else:
40             GPIO.output(12,GPIO.HIGH)
41             GPIO.output(6,GPIO.LOW)
42
43     print ('Dust (ppm): ', values[i], 'mg/m3')
44     time.sleep(1)
45

```

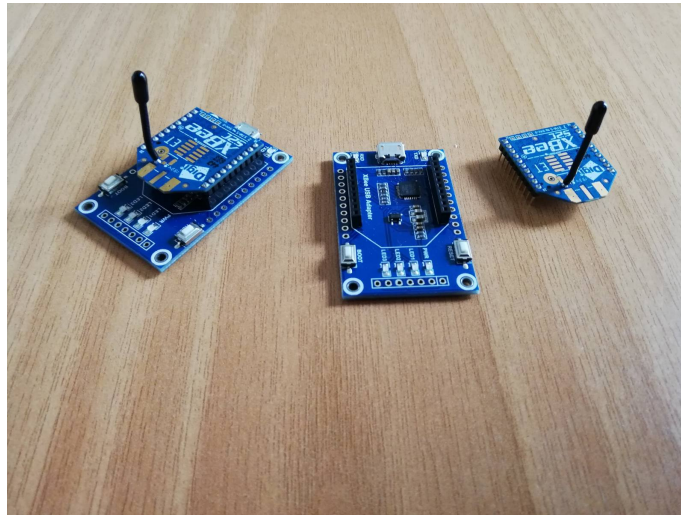
Εικόνα 42: Κώδικας Python για την μέτρηση της σκόνης



Εικόνα 43: Δοκιμή λειτουργίας του συστήματος για την σκόνη

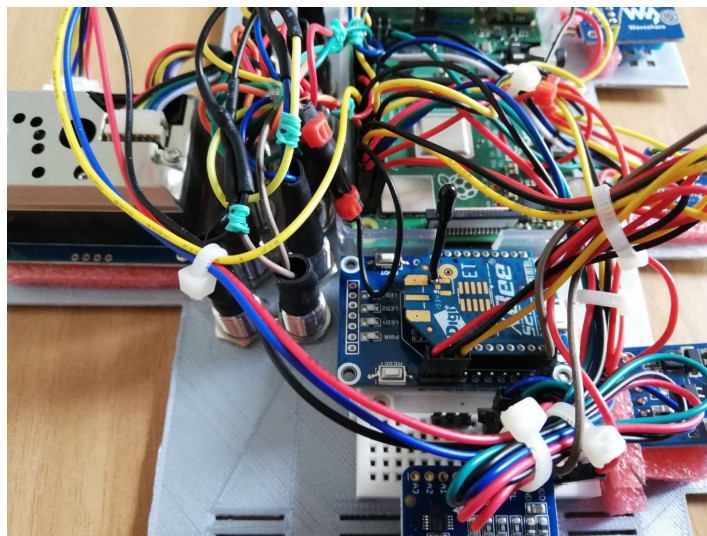
4.9 XBee

Ως πρώτη μέθοδος επικοινωνίας χρησιμοποιήθηκε το Zigbee, και συγκεκριμένα μονάδες XBee, για την επίτευξη σειριακής επικοινωνίας μεταξύ του Raspberry στο οποίο συνδέονται οι αισθητήρες, το οποίο αποτελεί τον κόμβο (node), και ενός άλλου Raspberry, το οποίο αποτελεί ένα είδος σταθμού βάσης. Στη συνέχεια, αυτό το είδος βάσης επικοινωνίας θα αντικατασταθεί με το Wifi, προκειμένου ο κόμβος να δοκιμαστεί να λειτουργεί αυτόνομα, όπου μέσω του λογισμικού Datarlicity να μπορεί να ελεγχθεί από κάθε απομακρυσμένο PC ή κινητή συσκευή.

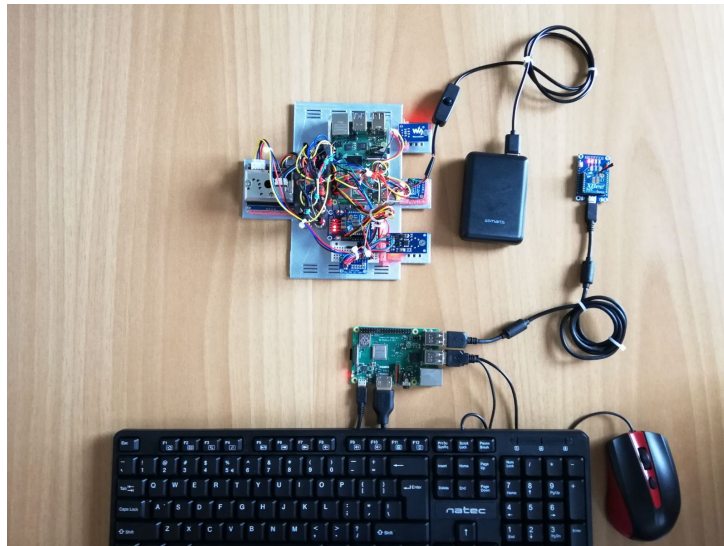


Εικόνα 44: Μονάδες XBee

Σχετικά με το XBee, η κάθε μονάδα θα πρέπει να ρυθμιστεί κατάλληλα, ανάλογα με το στόχο τον οποίο θα πρέπει να καλυφθεί. Δηλαδή, θα πρέπει και στα δύο Xbee, να τροποποιηθούν τα δεδομένα που αφορούν το PAN ID, τη Destination Address Low και την 16bit Source Address. Αυτό θα γίνει μέσω του εύχρηστου περιβάλλοντος του λογισμικού XCTU. Θα πρέπει το PAN ID να είναι το ίδιο και για τα δύο Xbee. Επίσης, η τιμή Destination Address Low του ενός να είναι η τιμή της 16bit Source Address του άλλου, και για να τα δύο Xbee. Ομοίως, και για την 16bit Source Address. Τέλος, θα πρέπει να οριστεί το ένα Xbee ως Coordinator και το άλλο ως End Device.



Εικόνα 45: Τοποθέτηση του XBee



Εικόνα 46: Προετοιμασία της επικοινωνίας με XBee

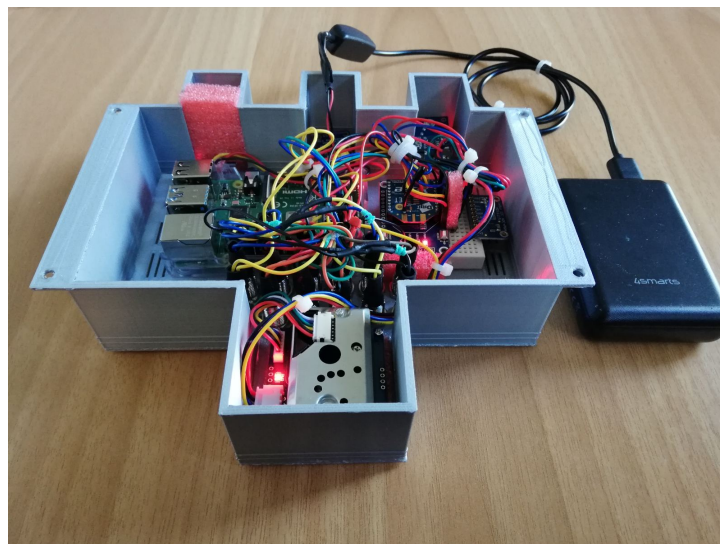
```

pi@raspberrypi: ~
python3 DUST4.py
-----
Red led if dust > 0.80 mg/m3
Dust (ppm): 0.32 mg/m3
Dust (ppm): 0.18 mg/m3
Dust (ppm): 0.18 mg/m3
Dust (ppm): 0.22 mg/m3
Dust (ppm): 0.19 mg/m3
Dust (ppm): 0.21 mg/m3
Dust (ppm): 0.17 mg/m3

pi@raspberrypi: ~
python serial_write.py
pi
raspberrypi
ls
python3 DUST.py
python3 DUST4.py

```

Εικόνα 47: Read και Write με σειριακή επικοινωνία



Εικόνα 48: Δοκιμές τοποθέτησης επιμέρους εξαρτημάτων

```

1  #!/usr/bin/env python
2  import time
3  import serial
4  ser = serial.Serial(
5      port='/dev/ttyUSB0', #Replace ttyS0 with ttyAM0 for Pi1,Pi2,Pi0
6      baudrate = 9600,
7      parity=serial.PARITY_NONE,
8      stopbits=serial.STOPBITS_ONE,
9      bytesize=serial.EIGHTBITS,
10     timeout=1
11 )
12
13 while 1:
14     a = raw_input()
15     ser.write(a)
16     ser.write('\n')
17
18
19 #!/usr/bin/env python
20 import time
21 import serial
22
23 ser = serial.Serial(
24     port='/dev/ttyUSB0',
25     baudrate = 9600,
26     parity=serial.PARITY_NONE,
27     stopbits=serial.STOPBITS_ONE,
28     bytesize=serial.EIGHTBITS,
29     timeout=1
30 )
31
32 while 1:
33     x=ser.readline()
34     print x

```

Εικόνα 49: Κώδικας Python για "read" και "write"

The screenshot shows the XCTU software interface. On the left, there is a 'Radio Modules' panel with two entries for XB24C modules. The main area is titled 'Radio Configuration [- 0013A20041AD24A5]' and contains a 'Networking & Security' section with various parameters. An 'Updates Available' dialog box is open in the bottom right corner.

Parameter	Value
CH Channel	C
ID PAN ID	2244
DH Destination Address High	0
DL Destination Address Low	1234
MY 16-bit Source Address	5678
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	41AD24A5
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/AC
RR XBee Retries	0
RN Random Delay Slots	0
NT Node Discover Time	19 x 100 ms
NO Node Discover Options	0
TO Transmit Options	0

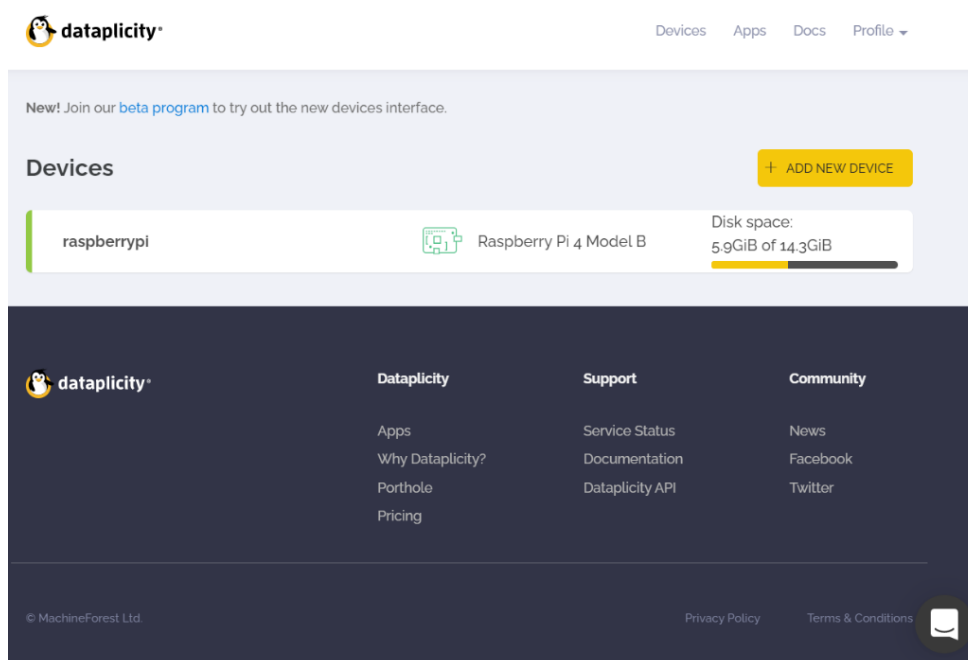
Updates Available
 Updates are available for your software. Click to review and install updates.
[Set up Reminder options](#)

Εικόνα 50: Το λογισμικό XCTU

4.10 Dataplicity

Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η δημοφιλής εφαρμογή Dataplicity, προκειμένου να πραγματοποιηθεί απομακρυσμένα ο έλεγχος του συστήματος μέσω Web. Η εφαρμογή αυτή, περιλαμβάνει όλα τα πλεονεκτήματα του port forwarding SSH. Με τις κρυπτογραφημένες συνδέσεις websocket επιτυγχάνεται η δρομολόγηση της κίνησης, η οποία είναι ικανοποιητικά ισχυρή στο να αξιοποιείται σε καταστάσεις ασταθής κάλυψης του Διαδικτύου. Τα κλασικά εμπόδια στην εξ' αποστάσεως πρόσβαση (firewall, δυναμική διευθυνσιοδότηση IP, NAT) δεν αποτελούν πλέον πρόβλημα, καθώς ο δημιουργός της σύνδεσης είναι η ίδια η συσκευή.

Η Dataplicity προσφέρει το Remote Shell. Εκτός από αυτό όμως, δίνει τη δυνατότητα ώστε ο χρήστης να επεκταθεί πέρα από το τερματικό και να αποκτήσει από τον browser πρόσβαση στην επιφάνεια εργασίας του Pi με το Dataplicity Wormhole και το VNC. Για την κοινή χρήση της επιφάνειας εργασίας από τη μία συσκευή στην άλλη, στο ίδιο δίκτυο, χρησιμοποιείται η καθιερωμένη μέθοδος Virtual Network Computing (VNC). Η επικοινωνία και ο απομακρυσμένος έλεγχος θα πραγματοποιείται με τη χρήση WiFi. Κατά συνέπεια, αυτή η εφαρμογή μας προσφέρει ευελιξία, καθώς από οποιαδήποτε συσκευή έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο, είτε μέσω δικτύου Wifi, είτε μέσω δικτύου 3G/4G, μπορούμε να ελέγξουμε τόσο το σύστημα όσο και τα δεδομένα του. Οι καθυστερήσεις στην επικοινωνία του συστήματος είναι σχεδόν μηδενικές, επομένως μπορεί να χαρακτηριστεί ως επικοινωνία real-time. Ο χρήστης αισθάνεται πως είναι συνδεδεμένος στο σύστημα με άμεσο τρόπο, δίχως καθυστέρηση και καταστάσεις δυσλειτουργίας.

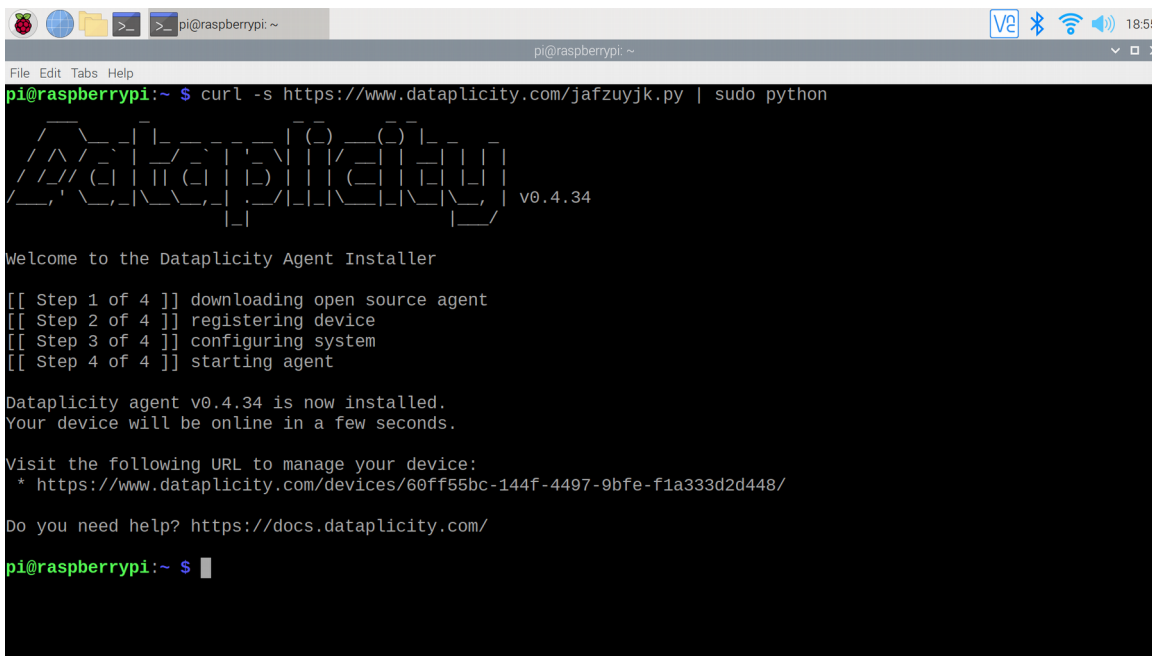


Εικόνα 51: Το περιβάλλον της εφαρμογής Dataplicity

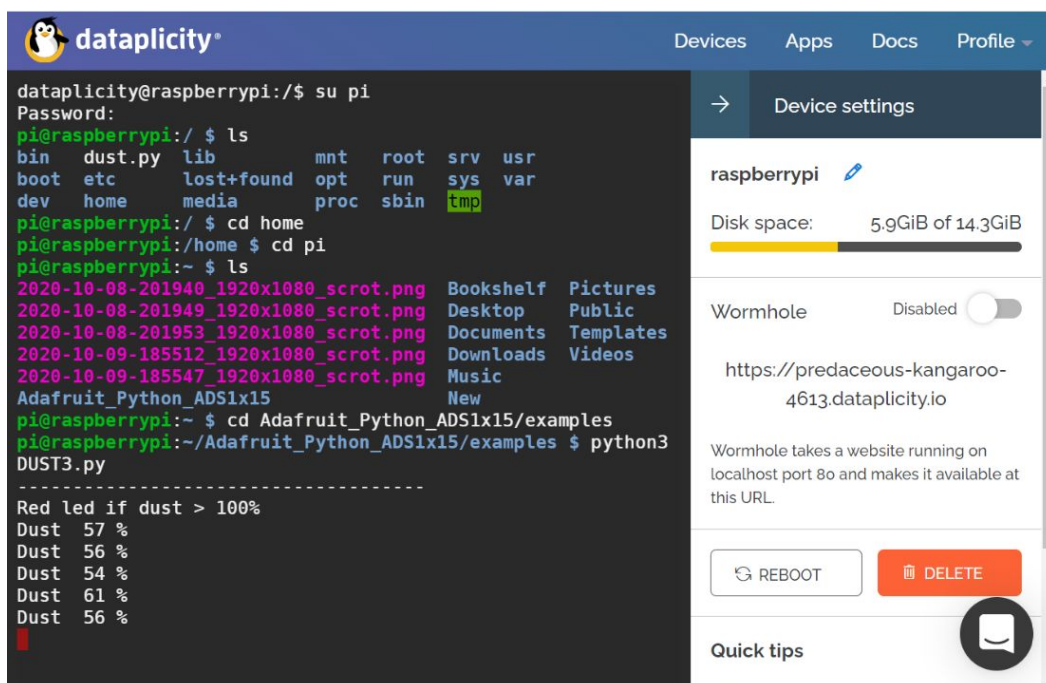
Στη Dataplicity απαιτείται η δημιουργία λογαριασμού. Συνεπώς, η ταυτοποίηση του χρήστη πραγματοποιείται μέσω της διεύθυνσης ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που καταχωρεί. Όταν ο χρήστης ταυτοποιηθεί, δημιουργείται ένας κωδικός πρόσβασης. Με το πέρας της διαδικασίας αυτής, ζητείται στον χρήστη η πληκτρολόγηση μιας εντολής στο Raspberry Pi terminal. Η εντολή αυτή είναι η εξής::

```
curl -s https://www.dataplicity.com/xxxxxxxxx.py | sudo python , όπου το xxxxxxxx είναι μοναδικό.
```

Ο κώδικας του script, ο οποίος εκτελείται στην εγκατάσταση του agent, είναι διαθέσιμος για προβολή στην ιστοσελίδα της Dataplicity. Μόλις ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία, η σύνδεση του χρήστη στο Raspberry Pi μπορεί να επιτευχθεί με την σύνδεση στον λογαριασμό του στην Dataplicity. Οι εντολές που θα εκτελούσε στο Raspberry Pi terminal, θα εκτελούνται πλέον από την εφαρμογή Dataplicity Επιπλέον, σημαντικής σημασίας κρίνεται η χρήση της εντολής su pi. Παρακάτω φαίνεται ενδεικτικά η απομακρυσμένη εκτέλεση του κώδικα που αφορά την διαδικασία μετρήσεων σκόνης.



Εικόνα 52: Εγκατάσταση του agent στο Raspberry Pi



Εικόνα 53: Αποτελέσματα μετρήσεων για την σκόνη μέσω του Dataplicity

5. Μελλοντική Επέκταση

Το παρόν σύστημα αποτελεί μια ολοκληρωμένη και λειτουργική συσκευή, η οποία όμως μπορεί εύκολα να επεκταθεί για επιπλέον χρήσεις.

Για το λόγο αυτό, έχει ξεκινήσει ήδη η προσθήκη εντολών για την συλλογή δεδομένων σε βάση MySQL για εύκολη πρόσβαση των δεδομένων σε ιστοσελίδα. Η διαδικασία αναφέρεται στο άρθρο των [25].

Μια ακόμη ενδιαφέρουσα προσθήκη αποτελεί η προσθήκη οθόνης αφής, όπου η διεπαφή της αφής θα λειτουργεί μόνο κατόπιν εισαγωγής φυσικού κλειδιού σε κατάλληλο περιστροφικό διακόπτη ασφαλείας, ώστε να αποφεύγεται η μη εξουσιοδοτημένη χρήση, χωρίς την ανάγκη εισαγωγής κωδικού πρόσβασης. Φυσικά, ανάλογα με τις απαιτήσεις του χειριστή της συσκευής, θα μπορεί να αντικατασταθεί το φυσικό κλειδί με την αποκλειστική χρήση κωδικού πρόσβασης.

6. Επίλογος

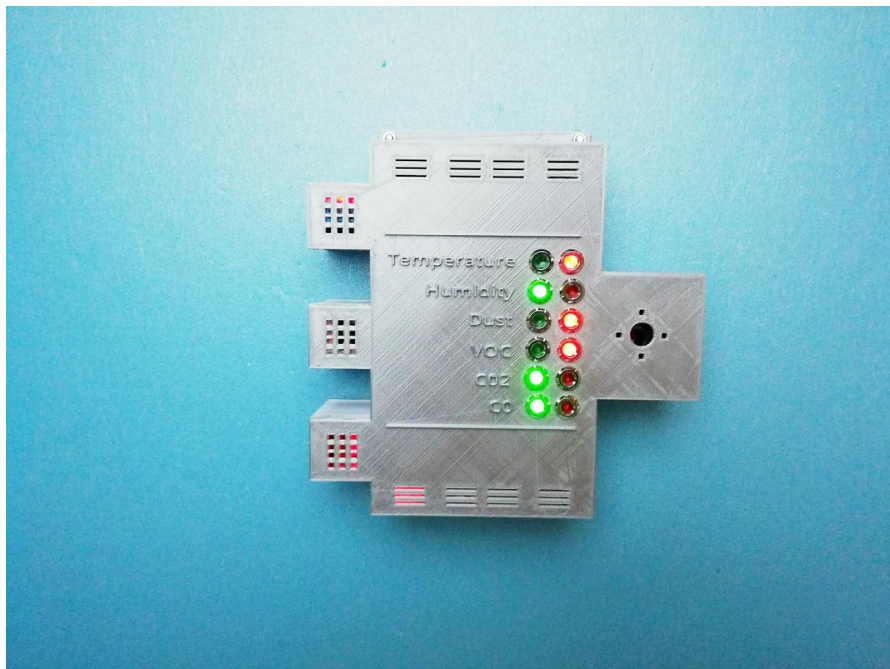
Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η δημιουργία ενός πρότυπου συστήματος συλλογής δεδομένων για παρακολούθηση των δεικτών υγείας θαλάμων των νοσοκομείων.

Αναφέρθηκαν ευρήματα που εντοπίστηκαν σχετικά με τους δείκτες υγείας σε νοσοκομεία, ύστερα από αναζήτηση σε επιστημονικά άρθρα και συγγράμματα, και στη συνέχεια αναλύθηκαν αντίστοιχα συστήματα παρακολούθησης που βασίζονται σε πρότυπες πλατφόρμες ελέγχου και συλλογής δεδομένων.

Τέλος, έγινε αναλυτική παρουσίαση της σχεδίασης και δημιουργίας του προτεινόμενου συστήματος παρακολούθησης. Δηλαδή μιας συσκευής που μπορεί να λειτουργήσει ως κόμβος αισθητήρων με τη βοήθεια μονάδων XBee για την αποστολή των δεδομένων σε σταθμό βάσης, ή αυτόνομα με την χρήση WiFi, ώστε να μπορεί να ελεγχθεί απομακρυσμένα από οποιοδήποτε PC ή κινητή συσκευή. Παρουσιάστηκε, επίσης, η κατάλληλα σχεδιασμένη θήκη, η οποία δημιουργήθηκε με 3D Printer, ώστε να υπάρχει κατάλληλη τοποθέτηση κάθε αισθητήρα και κάθε άλλου υποσυστήματος. Αναφέρθηκαν όλες οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για τους αισθητήρες της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της σκόνης, της μέτρησης των τιμών CO₂ και VOC, αλλά και εντοπισμό CO, τόσο σε ότι αφορά την καλωδίωση και διασύνδεση με το Raspberry Pi, όσο και για τους κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να δημιουργηθεί μια πλήρως λειτουργική πρότυπη κατασκευή.



Εικόνα 54: Η ολοκληρωμένη συσκευή



Εικόνα 55: Επιτοίχια δοκιμή του συστήματος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Leung, M., & Chan, A. H. (2006). Control and management of hospital indoor air quality. *Medical science monitor*, 12(3), SR17-SR23.
- [2] Skoog, J., Fransson, N., & Jagemar, L. (2005). Thermal environment in Swedish hospitals: Summer and winter measurements. *Energy and Buildings*, 37(8), 872-877.
- [3] Derks, M. T. H., Mishra, A. K., Loomans, M. G. L. C., & Kort, H. S. M. (2018). Understanding thermal comfort perception of nurses in a hospital ward work environment. *Building and Environment*, 140, 119-127.
- [4] Balaras, C. A., Dascalaki, E., & Gaglia, A. (2007). HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms. *Energy and Buildings*, 39(4), 454-470.
- [5] Dascalaki, E. G., Gaglia, A. G., Balaras, C. A., & Lagoudi, A. (2009). Indoor environmental quality in Hellenic hospital operating rooms. *Energy and Buildings*, 41(5), 551-560.
- [6] Yang, C. T., Liao, C. J., Liu, J. C., Den, W., Chou, Y. C., & Tsai, J. J. (2014). Construction and application of an intelligent air quality monitoring system for healthcare environment. *Journal of medical systems*, 38(2), 15.
- [7] Baurès, E., Blanchard, O., Mercier, F., Surget, E., Le Cann, P., Rivier, A., ... & Florentin, A. (2018). Indoor air quality in two French hospitals: measurement of chemical and microbiological contaminants. *Science of the total environment*, 642, 168-179.
- [8] Gola, M., Settimo, G., & Capolongo, S. (2019). Indoor air quality in inpatient environments: a systematic review on factors that influence chemical pollution in inpatient wards. *Journal of healthcare engineering*, 2019.
- [9] Gyntelberg, F., Suadecani, P., Nielsen, J. W., Skov, P., Valbjørn, O., Nielsen, P. A., ... & Gravesen, S. (1994). Dust and the sick building syndrome. *Indoor air*, 4(4), 223-238.
- [10] Pastuszka, J. S., Marchwinska-Wyrwal, E., & Wlazlo, A. (2005). Bacterial aerosol in Silesian hospitals: Preliminary results. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14(6), 883.
- [11] Abbasi, F., & Samaei, M. R. (2019). The effect of temperature on airborne filamentous fungi in the indoor and outdoor space of a hospital. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(17), 16868-16876.
- [12] Jaffal, A. A., Nsanze, H., Bener, A., Ameen, A. S., Banat, I. M., & El Mogheth, A. A. (1997). Hospital airborne microbial pollution in a desert country. *Environment international*, 23(2), 167-172.
- [13] Tormo-Molina, R., Gonzalo-Garijo, Á., Silva-Palacios, I., & Fernández-Rodríguez, S. (2009). Seasonal and spatial variations of indoor pollen in a hospital. *International journal of environmental research and public health*, 6(12), 3169-3178.

- [14] Loupa, G., Katikaridis, A., Karali, D., & Rapsomanikis, S. (2019). Mapping the noise in a Greek general hospital. *Science of the Total Environment*, 646, 923-929.
- [15] Samie, F., Bauer, L., & Henkel, J. (2016, October). IoT technologies for embedded computing: A survey. In *2016 International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis (CODES+ ISSS)* (pp. 1- 10). IEEE.
- [16] Čolaković, A., & Hadžialić, M. (2018). Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues. *Computer Networks*, 144, 17-39.
- [17] Παντελής Αγγελίδης (2016), *Ιατρική Πληροφορική, Εκδόσεις Σοφία (τόμος Α), Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας*
- [18] Raza, M., Aslam, N., Le-Minh, H., Hussain, S., Cao, Y., & Khan, N. M. (2017). A critical analysis of research potential, challenges, and future directives in industrial wireless sensor networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(1), 39-95.
- [19] Li, X., Li, D., Wan, J., Vasilakos, A. V., Lai, C. F., & Wang, S. (2017). A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0. *Wireless networks*, 23(1), 23-41.
- [20] Li, S., Da Xu, L., & Zhao, S. (2015). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243-259.
- [21] Shah, S. H., & Yaqoob, I. (2016, August). A survey: Internet of Things (IOT) technologies, applications and challenges. In *2016 IEEE Smart Energy Grid Engineering (SEGE)* (pp. 381-385). IEEE.
- [22] Firdhous, M. F. M., Sudantha, B. H., & Karunaratne, P. M. (2017, February). IoT enabled proactive indoor air quality monitoring system for sustainable health management. In *2017 2nd International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCT)* (pp. 216-221). IEEE
- [23] Saha, A. K., Sircar, S., Chatterjee, P., Dutta, S., Mitra, A., Chatterjee, A., ... & Saha, H. N. (2018, January). A raspberry Pi controlled cloud based air and sound pollution monitoring system with temperature and humidity sensing. In *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (pp. 607-611). IEEE.
- [24] Kumar, S., & Jasuja, A. (2017, May). Air quality monitoring system based on IoT using Raspberry Pi. In *2017 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)* (pp. 1341-1346). IEEE.
- [25] Deshmukh, A. D., & Shinde, U. B. (2016, August). A low cost environment monitoring system using raspberry Pi and arduino with Zigbee. In *2016 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)* (Vol. 3, pp. 1-6). IEEE.
- [26] Parmar, G., Lakhani, S., & Chattopadhyay, M. K. (2017, October). An IoT based low cost air pollution monitoring system. In *2017 International Conference on Recent Innovations in Signal processing and Embedded Systems (RISE)* (pp. 524-528). IEEE.
- [27] Benammar, M., Abdaoui, A., Ahmad, S. H., Touati, F., & Kadri, A. (2018). A modular IoT platform for real-time indoor air quality monitoring. *Sensors*, 18(2), 581.