

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Σχεδίαση και κατασκευή ελεγκτή της ποιότητας
του αέρα για εσωτερικούς χώρους»



Του φοιτητή
Ιωάννη Στεργίου
Αρ. Μητρώου: 514133

Επιβλέπων
Άγγελος Γιακουμής
Βαθμίδα Επίκουρος καθηγητής

Ημερομηνία 4/1/2025

Τίτλος Δ.Ε. Σχεδίαση και κατασκευή ελεγκτή της ποιότητας του αέρα για εσωτερικούς χώρους
Κωδικός Δ.Ε.

Όνοματεπώνυμο φοιτητή Ιωάννης Στεργίου
Όνοματεπώνυμο εισηγητή Άγγελος Γιακουμής
Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 4/12/2022
Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 4/1/2025

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Ιωάννη Στεργίου που την εκπόνησε/αν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

«Αφιέρωση»

Θέλω να ευχαριστήσω και να αφιερώσω αυτή την πτυχιακή εργασία στους ανθρώπους που ήταν εκεί για εμένα σε όλο αυτό το ταξίδι, όπως την οικογένεια μου και τους φίλους μου, που με βοήθησαν ψυχολογικά και με ενθάρρυναν να προχωρήσω και να φέρω εις πέρας το καθήκον μου ως φοιτητής.

Πρόλογος

Ο κύριο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε το συγκεκριμένο θέμα διπλωματικής εργασίας αφορά την ευαισθησία του συγγραφέα στο να παρακολουθήσει την όποια μεταβολή της ποιότητας του αέρα στο περιβάλλον εργασίας του, εφόσον εργάζεται για μια κατασκευαστική εταιρεία. Και αντικατοπτρίζει μια ολιστική προσέγγιση, όπου η τεχνολογία συναντά την ανθρώπινη ευαισθησία για να προσφέρει λύσεις σε ένα από τα πιο βασικά ανθρώπινα δικαιώματα: την υγεία στον εργασιακό χώρο. Με την πρόληψη να αποτελεί το βασικό μέσο δράσης, οι αισθητήρες ποιότητας του αέρα δεν περιορίζονται στην παρακολούθηση, αλλά λειτουργούν και ως μέσο έγκαιρης ειδοποίησης. Όταν ανιχνεύονται υψηλά επίπεδα ρύπων, ο εργάτης μπορεί να ενημερωθεί άμεσα ώστε να λάβει τα απαραίτητα μέτρα προστασίας, όπως να φορέσει τη μάσκα του. Αυτή η συνδυαστική προσέγγιση όχι μόνο ενισχύει την ασφάλεια στον εργασιακό χώρο αλλά και προάγει μια κουλτούρα προνοητικότητας, όπου η τεχνολογία γίνεται σύμμαχος στην προστασία της υγείας των εργαζομένων. Με βάση αυτές ακριβώς τις ανησυχίες εμπνεύστηκε η σχεδίαση και υλοποίηση μια μικρής αλλά πανίσχυρης συσκευής παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα με βομβητή για την έγκαιρη ειδοποίηση του εργαζομένου αλλά και συνδεσιμότητα με Bluetooth και WiFi για την περαιτέρω ανάπτυξη του λογισμικού της συσκευής ώστε να συνεργάζεται και με κινητά η άλλες ηλεκτρονικές συσκευές μέσω δικτύου. Επομένως με την υλοποίηση αυτή μπορεί ο χρήστης να παρακολουθεί τα επίπεδα ρύπανσης με σκοπό να εξαλειφθεί η τουλάχιστον να περιορισθούν συνέπειες στην υγεία των εργαζομένων συμβάλλοντας έτσι στο κοινωνικό σύνολο για ένα καθαρότερο και υγιεινό εργασιακό περιβάλλον.

Περίληψη

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα στον χώρο εργασίας έχουν άμεσο αντίκτυπο στην καθημερινότητά μας και μπορούν να μεταβάλλονται δυναμικά, όχι μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά και από στιγμή σε στιγμή. Σήμερα, με την ταχεία εκβιομηχάνιση και τον μεγάλο αριθμό επαγγελμάτων με κακή ποιότητα αέρα. Όπως είναι ο κατασκευαστικός κλάδος ο οποίος περιλαμβάνει εργασίες με τσιμέντο, σοβάδες και μπετόν, καθώς και δραστηριότητες όπως κοπή, λείανση και κατεδάφιση, οι οποίες εκθέτουν τους εργαζομένους σε σκόνη, μικροσωματίδια και τοξικά αέρια. Τα εργοστάσια και οι βιομηχανίες, μπορεί να εκθέσουν τους εργάτες σε χημικά, πλαστικά, χρώματα, ατμούς μετάλλων κατά τη συγκόλληση, καθώς και ρύπους όπως το διοξείδιο του άνθρακα ή πτητικές οργανικές ενώσεις οι οποίες μπορεί να προκύψουν από χρώματα (όπως φορμαλδεΰδη), διαβρωτικά χρώματος, καθαριστικά, έπιπλα, κόλλες και οινόπνευμα. Στην εξορυκτική βιομηχανία, οι εργασίες σε ορυχεία και λατομεία ενέχουν κινδύνους από διοξείδιο του πυριτίου, σκόνη άνθρακα και άλλες επικίνδυνες ουσίες. Στον αγροτικό τομέα, η χρήση φυτοφαρμάκων, χημικών και η σκόνη από το χώμα η τα φυτά αποτελούν κοινές πηγές ρύπανσης. Στον υγειονομικό τομέα, οι εργαζόμενοι εκτίθενται σε μικροβιακά αερολύματα, χημικά απολυμαντικά και μολυσματικά υλικά. Στις αποθήκες και τα κέντρα logistics, οι κακές συνθήκες κυκλοφορίας του αέρα και τα καυσαέρια από μηχανήματα, όπως τα πετρελαιοκίνητα ανυψωτικά, είναι συχνά προβλήματα. Τα επαγγέλματα σε κλειστούς χώρους, όπως τα γραφεία η τα εργαστήρια με ανεπαρκή εξαερισμό, μπορεί να εκθέσουν τους εργαζομένους σε μούχλα, σκόνη, πτητικές οργανικές ενώσεις και όχι μόνο. Τέλος, στα ναυπηγεία και τα λιμάνια, οι εργαζόμενοι σε δεξαμενές η μηχανές πλοίων κινδυνεύουν από τοξικά αέρια, καύσιμα και διαλύτες. Έτσι έχοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω υλοποίησα μία συσκευή η οποία ανιχνεύει μικροσωματίδια μικρότερα από 2.5μm, την περιεκτικότητα του Διοξειδίου του άνθρακα CO₂ και των πτητικών οργανικών ενώσεων (Volatile organic compounds ή VOCs) στην ατμόσφαιρα, έχει την δυνατότητα να ειδοποιήσει τον χρήστη εγκαίρως με τη χρήση ενός βομβητή (buzzer) όταν τα επίπεδα είναι υψηλά και πιθανότατα επιβλαβή στην υγεία. Επιπλέον, η συσκευή έχει την δυνατότητα απεικόνισης των τιμών των αισθητήρων με τη βοήθεια μιας οθόνης TFT LCD 3.2 ιντσών με δυνατότητα αφής και αποθήκευσης όλων αυτών των δεδομένων σε μια κάρτα SD για μια πιο λεπτομερή αναφορά των μετρούμενων μεγεθών στον χρήστη. Επιπρόσθετα μελλοντικά, Όλα αυτά τα δεδομένα θα μπορούν να αποστέλλονται μέσω ασύρματης επικοινωνίας WiFi η Bluetooth σε μία βάση δεδομένων η μία εφαρμογή κινητής συσκευής για περαιτέρω παρατήρηση και ανάλυση. Η συσκευή για να μπορέσει να τα επιτύχει όλα αυτά, είναι εξοπλισμένη με έναν αισθητήρα PM 2.5, έναν αισθητήρα Διοξειδίου του άνθρακα CO₂, και έναν αισθητήρα υγρασίας, πίεσης και πτητικών οργανικών ενώσεων. Για τον προγραμματισμό και την επικοινωνία με ηλεκτρονικό υπολογιστή συμπεριλαμβάνει μια θύρα microUSB. Τέλος, δεν μπορούμε να παραλείψουμε την καρδιά αυτής της συσκευής στην οποία βρίσκεται ένα module (μονάδα) της Espressif το ESP32-WROOM-32E-N4. Που είναι μια ιδιαίτερα ισχυρή και ευέλικτη μονάδα που ενσωματώνει τον επεξεργαστή ESP32-D0WD-V3, που είναι γνωστός για την υψηλή του απόδοση και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Αυτή η μονάδα διαθέτει επίσης μια μνήμη Flash 4MB, όλα τα κυκλώματα οδήγησης του επεξεργαστή απαραίτητα

για την σωστή λειτουργία του ακόμα και κυκλώματα οδήγησης της PCB antenna που επίσης διαθέτει για την συνδεσιμότητα με WiFi και Bluetooth.

«Design and implementation of an indoor air quality control monitor»

«John Stergiou»

Abstract

Environmental factors affecting air quality in the workplace have a direct impact on our daily lives and can change dynamically, not only during the day but even from second to second. Today, with rapid industrialization and the large number of professions exposed to poor air quality, this issue has become increasingly pressing. For example, the construction sector involves tasks such as working with cement, plaster, and concrete, as well as activities like cutting, grinding, and demolition, which expose workers to dust, fine particulates, and toxic gases. Factories and industries may expose workers to chemicals, plastics, paints, metal fumes during welding, and pollutants such as carbon dioxide or volatile organic compounds (VOCs) that may result from paints (e.g., formaldehyde), paint strippers, cleaning agents, furniture, adhesives, and alcohol. In the mining industry, operations in mines and quarries pose risks from silica dioxide, coal dust, and other hazardous substances. In agriculture, the use of pesticides, chemicals, and dust from soil or plants are common pollution sources. In the healthcare sector, workers are exposed to microbial aerosols, chemical disinfectants, and infectious materials. Warehouses and logistics centers often have issues with poor air circulation and exhaust emissions from machinery, such as diesel-powered forklifts. Professions in enclosed spaces, such as offices or laboratories with insufficient ventilation, may expose workers to mold, dust, VOCs, and more. Finally, at shipyards and ports, workers in ship tanks or engine rooms face risks from toxic gases, fuels, and solvents. Considering all the above, I developed a device capable of detecting fine particulate matter smaller than 2.5 μm , carbon dioxide (CO₂) concentrations, and volatile organic compounds (VOCs) in the air. It can alert workers promptly via a buzzer when levels are high and potentially harmful to health. Additionally, the device features a 3.2-inch touchscreen TFT LCD for displaying sensor readings and storing all data on an SD card, which is integrated into the TFT LCD module for more detailed reporting. In the future, all these data can be transmitted via wireless communication (WiFi or Bluetooth) to a database or a mobile application for further observation and analysis. To achieve these capabilities, the device is equipped with a PM_{2.5} sensor, a CO₂ sensor, and a sensor for humidity, pressure, and VOCs. For programming and communication with a computer, it includes a microUSB port. Finally, last but not least, a part we cannot overlook the heart of this device, which houses a module from Espressif, the ESP32-WROOM-32E-N4. This is a particularly powerful and versatile module that integrates the ESP32-D0WD-V3 processor, known for its high performance and low energy consumption. This module also features 4MB of Flash memory, all the driver circuits necessary for the proper operation of the processor, as well as driver circuits for the PCB antenna it also includes, which ensures connectivity with WiFi and Bluetooth.

Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω και να αφιερώσω αυτή την πτυχιακή εργασία στους ανθρώπους που ήταν εκεί για εμένα σε όλο αυτό το ταξίδι, όπως την οικογένεια μου και τους φίλους μου, που με βοήθησαν ψυχολογικά και με ενθάρρυναν να συνεχίσω και να φτάσω μέχρι το τέλος.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract	viii
Ευχαριστίες.....	ix
Περιεχόμενα	x

x

Κεφάλαιο 1ο: Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα στον χώρο εργασίας.	16
1.1 Εισαγωγή.....	16
1.2 Κατασκευαστικός κλάδος.....	17
1.3 Δευτερογενής τομέας, εργοστάσια, βιομηχανία.....	18
1.4 Πρωτογενής αγροτικός τομέας.....	20
1.5 Στις αποθήκες και τα κέντρα logistics.....	21
1.6 Ναυπηγεία και λιμάνια.....	22
1.7 Επίλογος.....	23
Κεφάλαιο 2ο: Ενσωματωμένο σύστημα, πλατφόρμα Arduino και η εφαρμογή του στο περιβάλλον εργασίας.....	24
2.1 Εισαγωγή.....	24
2.2 Ιστορική αναδρομή στα αισθητήρια και την μέτρηση της ποιότητας του αέρα.....	25
2.3 Τρόποι πρόληψης και μείωση της έκθεσης του εργάτη σε βλαβερά σωματίδια του αέρα. 27	
2.4 Ανιχνευτές ποιότητας του αέρα σήμερα (εμπόριο).....	28
2.5 Επίλογος.....	32
Κεφάλαιο 3ο: Ανάλυση της σχεδίασης και της υλοποίησης της συσκευής.....	33
3.1 Εισαγωγή.....	33
3.2 Αρχιτεκτονική συστήματος.....	34
3.2.1 Block diagram.....	34
3.2.2 ESP32 Pinout Table.....	36
3.3 Υλοποίηση Software.....	37
3.3.1 Διάγραμμα ροής.....	37
3.3.2 Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη (GUI).....	38
3.3.3 Ανάλυση δομής του προγράμματος.....	39
3.4 Αισθητήρες και αρχή λειτουργίας των αισθητήρων.....	40
3.4.1 PMS5003.....	40
3.4.2 CO2 MH-Z19B.....	42
3.4.3 BME680.....	44
3.5 Hardware Design.....	45
3.5.1 Eagle.....	45

3.5.2	Σχηματικό	46
3.6	3D σχεδίαση και εκτύπωση κελύφους.....	53
3.7	Επίλογος	55
Κεφάλαιο 4ο:	Πειράματα.....	56
4.1	Το πείραμα με το τσιγάρο.	56
4.2	Το πείραμα της ισοπροπυλικής αλκοόλης.....	58
4.3	Το πείραμα σε συνθήκες υψηλής υγρασίας και καπνού από τσιγάρο.	59
4.4	Επίλογος	60
Κεφάλαιο 5ο:	Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης	62

Εισαγωγή

Ένας από τους βασικότερους παράγοντες για την καλή λειτουργία των κτιρίων αποτελεί η ποιότητα του εσωτερικού αέρα (Indoor Air Quality - IAQ), μιας και σχετίζεται άμεσα με την υγεία των ατόμων που διαμένουν μόνιμα ή που απλώς απασχολούνται σε αυτά για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν την ποιότητα του αέρα στους

εσωτερικούς χώρους είναι πολλοί και ποικίλοι και ενδέχεται να προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον ή και από το εσωτερικό του κτιρίου ακόμα. Τι εννοούμε όμως όταν αναφερόμαστε σε ατμοσφαιρική ρύπανση;

Ως ατμοσφαιρική ρύπανση καλείται οποιαδήποτε μόλυνση του περιβάλλοντος, είτε στο εσωτερικό είτε στο εξωτερικό, από φυσικούς, χημικούς ή βιολογικούς παράγοντες που αλλοιώνουν τα φυσικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να θεωρηθεί ρύπανση η παρουσία θορύβου, ορισμένες επιβλαβείς ουσίες, όπως σπρέι, έκθεση ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα σε μεγάλες ποσότητες ή για μεγάλη χρονική διάρκεια ή σε συγκεντρώσεις που ενδέχεται να έχουν άμεσα αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, την επιβίωση των ζωντανών οργανισμών και την ισορροπία των οικοσυστημάτων εν γένει. Σε ακραίες συνθήκες, τα υψηλά επίπεδα ρύπανσης μπορούν να δημιουργήσουν ακατάλληλες συνθήκες για τη ζωή [8].

Οι βασικότεροι ρύποι που θεωρούνται επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία περιλαμβάνουν τα σωματίδια (PM_{2,5} και PM₁₀), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το όζον (O₃), τον μαύρο άνθρακα (BC), το διοξείδιο του θείου (SO₂) και τα οξειδία του αζώτου (NO_x). Οι ρύποι αυτοί είναι επικίνδυνοι, κυρίως γιατί παραμένουν αόρατοι δια γυμνού οφθαλμού, καθώς το μέγεθός τους είναι κατά πολύ μικρότερο από το όριο αντίληψης που διαθέτει το ανθρώπινο μάτι. Κάτω από ορισμένες συγκεκριμένες προϋποθέσεις, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι ενδέχεται να γίνουν ορατοί, όπως συμβαίνει κατά την καύση αποβλήτων ή ξύλων, άνθρακα, βενζίνης, καθώς και καυσίμων που αξιοποιούνται σε καθημερινές εργασίες, όπως το μαγείρεμα, η θέρμανση ή η οποιαδήποτε παραγωγή ενέργειας [8].

Ως προς τις πηγές που δημιουργούν την εν λόγω ρύπανση είναι κατά κύριο λόγο τα οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι δασικές πυρκαγιές, καθώς και οι οικιακές συσκευές καύσης. Μάλιστα, οι περισσότεροι εξ αυτών των ρύπων, όπως είναι μεταξύ άλλων το όζον, το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του αζώτου και το διοξείδιο του θείου, συνιστούν σοβαρούς κινδύνους για τη δημόσια υγεία, καθιστώντας την ποιότητα του αέρα έναν σημαντικό παράγοντα νοσηρότητας και θνησιμότητας. Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία που έχουν παρουσιαστεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, σχεδόν το σύνολο του παγκόσμιου πληθυσμού (99%) εκτίθεται σε αέρα που υπερβαίνει τα επιθυμητά όρια ποιότητας, μιας και εμπεριέχονται σε αυτόν υψηλά επίπεδα ρύπων, με τις χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος μάλιστα να είναι εκείνες που υφίστανται ακόμα μεγαλύτερη έκθεση σε αυτούς [8].

Επομένως, σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, καθίσταται σαφές πως η ρύπανση του αέρα στους εσωτερικούς κυρίως χώρους, στους οποίους οι περισσότεροι άνθρωποι περνούν και το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου τους, αποτελεί σημαντικό πρόβλημα τόσο για τις αναπτυσσόμενες όσο και για τις βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες, με την αιτιολογία και τη φύση του φαινομένου να διαφέρουν αναλόγως της κάθε περίπτωσης. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν διενεργηθεί και παρουσιαστεί τις τελευταίες δεκαετίες όσον αφορά κυρίως στις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες, φαίνεται πως ο χρόνος που οι άνθρωποι περνούν εντός κλειστών χώρων αγγίζει τα ποσοστά του 80% ή και 90%, ενώ η κατανομή αυτή φαίνεται να διαφοροποιείται ελαφρά ανάλογα με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε πληθυσμιακής ομάδας, όπως είναι μεταξύ άλλων οι νοικοκυρές, οι ηλικιωμένοι και τα παιδιά προσχολικής ηλικίας, οι οποίοι περνούν περισσότερες ώρες εντός του

οικιακού περιβάλλοντος, ενώ οι εργαζόμενοι μοιράζουν το χρόνο τους μεταξύ του σπιτιού, του χώρου εργασίας, αλλά και των μέσων μετακίνησης.

Πιο συγκεκριμένα πρέπει να αναφερθεί πως όσον αφορά στην ποιότητα του αέρα, παγκοσμίως, αυτή είναι άμεσα συνυφασμένη με τα οικοσυστήματα και το κλίμα του πλανήτη εν γένει, με αποτέλεσμα όλες οι σχεδιαζόμενες κατά καιρούς πολιτικές που σχετίζονται άμεσα με τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης παρέχουν μια στρατηγική για την προστασία της υγείας και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, στοχεύοντας στον περιορισμό των ασθενειών που αποδίδονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση και συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό, άμεσα ή έμμεσα, στον βραχυπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής [8].

Ως αποτέλεσμα όσων προαναφέρθηκαν είναι πολύ συχνό φαινόμενο οι άνθρωποι, χωρίς ακόμη και οι ίδιοι να το αντιλαμβάνονται, να θέσουν τον εαυτό τους σε κίνδυνο, έχοντας αποκτήσει διάφορα αναπνευστικά κυρίως προβλήματα. Για τον λόγο αυτό, θα πραγματοποιηθεί μια ολοκληρωμένη μελέτη, σχεδίαση και ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου συστήματος ενσωματωμένης συσκευής, το οποίο θα είναι ικανό να μετρά διάφορες περιβαλλοντικές παραμέτρους του αέρα, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, μικροσωματιδίων, οι Πτητικές οργανικές ενώσεις και το διοξείδιο του άνθρακα CO₂. Στο εν λόγω σύστημα θα διατίθεται μία περιφερειακή συσκευή απεικόνισης που θα προβάλλει άμεσα και με σαφήνεια τις μετρούμενες τιμές. Εκ παραλλήλου, η κατασκευή αυτή θα φέρει διάφορα χαρακτηριστικά που θα σχετίζονται με την ευκολία χρήσης της, την ταχύτητα και σταθερότητα στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων, καθώς όμως και υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις των μικροσωματιδίων του αέρα. Η ακρίβεια αυτή είναι εξαιρετικά σημαντική, καθώς θα επιτρέπει την ανάλυση και ταυτοποίηση των σωματιδίων βάσει του μεγέθους τους, παρέχοντας στους χρήστες αξιόπιστες πληροφορίες για την ποιότητα του αέρα, τόσο για την περίπτωση που αυτή κρίνεται υγιεινή όσο και για την περίπτωση που ενδέχεται να κριθεί ανθυγιεινή [8].

Επιπροσθέτως, ο συγκεκριμένος ανιχνευτής σωματιδίων θα μπορεί να παράσχει στον εκάστοτε χρήστη μια απλή και αποδοτική μέθοδο παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας τον εντοπισμό και την ταξινόμηση των σωματιδίων με εξαιρετική ακρίβεια. Όλες αυτές οι δυνατότητες του συγκεκριμένου συστήματος θα το καθιστούν ιδιαίτερος χρήσιμο κυρίως σε εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης, μιας και μπορεί να συμβάλει ενεργά στη διάγνωση, αλλά και κατανόηση των συνθηκών της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, βελτιώνοντας την αξιολόγηση και την ερμηνεία της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους.

Με άλλα λόγια η συσκευή αυτή θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιονδήποτε εσωτερικό χώρο, όπως για παράδειγμα, στο σπίτι, στον χώρο εργασίας, στο νοσοκομείο ή ακόμα και στα σχολεία, παρακολουθώντας όλα τα χαρακτηριστικά που καθιστούν υγιεινή την ποιότητα του αέρα, όπως είναι μεταξύ άλλων η θερμοκρασία και η υγρασία, ώστε να ενημερώνει καθημερινά και συνεχώς τους χρήστες της για τους κινδύνους που το γυμνό μάτι δεν είναι εφικτό να εισπράξει [8].

Κεφάλαιο 1ο: Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα στον χώρο εργασίας.

1.1 Εισαγωγή.

Στο ακόλουθο πρώτο κεφάλαιο της παρούσης διπλωματικής εργασίας του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων θα γίνει προσπάθεια να αναλυθούν οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα στον χώρο εργασίας. Έχοντας ως κύριο στόχο την περαιτέρω ανάλυση της σχέσης που αυτοί αναπτύσσουν με την μόλυνση του αέρα σε επαγγελματικούς χώρους, η οποία αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων, επηρεάζοντας την ευεξία και τη συνολική παραγωγικότητά τους. Οι ρύποι στο εργασιακό περιβάλλον περιλαμβάνουν μία ευρεία γκάμα διαφορετικών τύπων, οι οποίοι σχετίζεται με τους χημικούς, βιολογικούς και φυσικούς ρύπους και που με τη σειρά τους ενδέχεται να προέρχονται από διαφορετικές πηγές, μεταξύ των οποίων είναι τα υλικά κατασκευής, η χρήση μηχανημάτων και οι διάφορες διαδικασίες παραγωγής.

Πρέπει να καταστεί σαφές πως η παρουσία μικροσωματιδίων, πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs), διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) καθώς και άλλων τοξικών ουσιών ενδέχεται να προκαλέσουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία ενός ανθρώπου, όπως αναπνευστικά προβλήματα και καρδιαγγειακές παθήσεις, ενώ παράλληλα, η έλλειψη επαρκούς εξαερισμού και υψηλής υγρασίας μπορεί να επιδεινώσει τα επίπεδα ρύπανσης, δημιουργώντας ένα εργασιακό περιβάλλον μη ασφαλές και σε πολλές περιπτώσεις επικίνδυνο. Για τους λόγους αυτούς η αναγνώριση και κατανόηση των παραγόντων αυτών είναι απαραίτητες για τη διαμόρφωση στρατηγικών που στοχεύουν στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και στη μείωση των κινδύνων για τους εργαζομένους, όπως θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε και στα επόμενα κεφάλαια με τη συσκευή που θα δημιουργηθεί.

Η παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα προέρχεται τόσο από φυσικές πηγές, όπως ηφαιστειακές εκρήξεις, δασικές πυρκαγιές, βιολογικές διεργασίες και η γύρη, όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η βιομηχανική παραγωγή, το εμπόριο, οι γεωργικές πρακτικές, οι μεταφορές, η θέρμανση και οι καύσεις. Όταν οι ρύποι εκπέμπονται απευθείας από την πηγή τους στην ατμόσφαιρα, αποκαλούνται πρωτογενείς ρύποι. Παραδείγματα αυτών είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO, NO₂) και οι υδρογονάνθρακες [11]

Παράλληλα, υπάρχουν και οι δευτερογενείς ρύποι, οι οποίοι σχηματίζονται μέσα από φωτοχημικές αντιδράσεις μεταξύ πρωτογενών ρύπων, πτητικών οργανικών ενώσεων και άλλων αερίων ή σωματιδίων που ήδη υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Τέτοιοι ρύποι περιλαμβάνουν το όζον (O₃), το τριοξείδιο του θείου (SO₃), τα θειικά άλατα (SO₄), το θειικό οξύ (H₂SO₄), το νιτρικό οξύ (HNO₃), καθώς και διάφορες ενώσεις αζώτου και αμμωνίου (NO₃, NH₄). Ο σχηματισμός αυτών των δευτερογενών ρύπων μπορεί να λάβει χώρα σε διαφορετική χρονική στιγμή ή γεωγραφική τοποθεσία από την αρχική εκπομπή των πρωτογενών ρύπων, καθιστώντας την καταγραφή και την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μια ιδιαίτερα σύνθετη διαδικασία [11].

Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα στον χώρο εργασίας.

Η κατανόηση της διαφοροποίησης μεταξύ πρωτογενών και δευτερογενών ρύπων είναι σημαντική, καθώς οι τελευταίοι συνεισφέρουν σε φαινόμενα όπως η όξινη βροχή και το φωτοχημικό νέφος, τα οποία έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, στην ατμοσφαιρική – και όχι μόνο ρύπανση– με αποτέλεσμα να υπάρχουν κίνδυνοι και προβλήματα στη δημόσια υγεία[11]. Η έμπνευση για την δημιουργία αυτής της συσκευής προήλθε από την περιέργεια και την ευαισθησία του συγγραφέα, εφόσον δουλεύει για μια κατασκευαστική εταιρεία η οποία χρησιμοποιεί διάφορα μέσα επεξεργασίας ξύλου MDF, με αποτέλεσμα να υπάρχει συνεχώς πριονίδι και μικροσωματίδια στην ατμόσφαιρα, όταν η εργασία γίνεται σε κλειστούς χώρους και χωρίς σωστό εξαερισμό, μια συσκευή ανίχνευσής αυτών των σωματιδίων, ενημερώνει τον χρήστη τότε είναι η κατάλληλη στιγμή για να φορέσει την μάσκα προστασίας του και τότε είναι η κατάλληλη στιγμή και είναι πλέον ασφαλές το περιβάλλον έτσι ώστε να την αφαιρέσει [11].

1.2 Κατασκευαστικός κλάδος.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση ανά τα χρόνια έχει περιγραφεί μέσα από διάφορους ορισμούς και διαφορετικές προσεγγίσεις, ωστόσο, ως πιο σωστή και ολοκληρωμένη χαρακτηρίζεται εκείνη που δίνει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) ορίζοντάς ως ρύπανση της ατμόσφαιρας την παρουσία συγκεκριμένων ουσιών σε αυτήν (γνωστών και ως ρύπων) για μεγάλο χρονικό διάστημα και σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις που μπορεί να αποδειχθούν επιβλαβείς για τους ζωντανούς οργανισμούς, όπως είναι οι άνθρωποι, τα ζώα και τα φυτά. Επιπλέον, οι ουσίες αυτές μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στις υλικές κατασκευές ή να επηρεάσουν αρνητικά τις συνθήκες διαβίωσης του ανθρώπου, προκαλώντας αναπνευστικά κυρίως προβλήματα.

Οι ρύποι αυτοί, οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από χημικές ενώσεις, φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης, αλλά και από χημικά στοιχεία, εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα υπό μορφή αερίων, υγρών ή στερεών σωματιδίων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί και πάλι ότι η προέλευση αυτών των ουσιών μπορεί να συνδέεται με ποικίλες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η βιομηχανική παραγωγή, η καύση ορυκτών καυσίμων και οι γεωργικές πρακτικές, καθώς και με φυσικές διεργασίες, όπως οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι δασικές πυρκαγιές. Η κατανόηση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι κρίσιμη για τη διαμόρφωση πολιτικών και στρατηγικών που στοχεύουν στη μείωση των κινδύνων για την υγεία και το περιβάλλον, καθώς η πρόληψη μπορεί να ενισχύσει την άμεση ανταπόκριση και επίλυση τέτοιων ζητημάτων [11].

Ο κατασκευαστικός κλάδος περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα με πολλές δραστηριότητες, παράγοντας ρύπους που ενδέχεται να προκαλέσουν σημαντικές βλάβες οι οποίες ενδέχεται να έχουν σοβαρές επιπτώσεις για την υγεία, επηρεάζοντας, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, κυρίως το αναπνευστικό σύστημα ενός ατόμου. Μια από τις πιο αξιοσημείωτες είναι η χρήση ξύλου και φυτικών υλικών στον σε μεγάλες κατασκευαστικές εταιρίες που περιλαμβάνει την δημιουργία μεγάλων αντικειμένων, μεταξύ των οποίων είναι η κατασκευή επίπλων, σκελετών και δαπέδων με τη χρήση επεξεργασμένων υλικών, όπως είναι επί παραδείγματι τα MDF, κόντρα πλακέ, OSB, αλλά και οι μοριοσανίδες. Ακριβώς επειδή αυτές οι εργασίες είναι διαδεδομένες και κοινές στην καθημερινότητα, ενέχουν κινδύνους για την υγεία λόγω της φύσης των υλικών αυτών, τη συχνότητα της χρήσης τους, αλλά και την μαζική παραγωγή τους.

Οι δραστηριότητες στον κατασκευαστικό κλάδο που περιλαμβάνουν επεξεργασία του ξύλου, όπως είναι το κόψιμο, η διάτρηση του ξύλου, και η λείανση, είτε αυτό γίνεται χειροκίνητα (π.χ. διάτρηση ξύλου MDF με τη χρήση τρυπανιού πεταλούδα ή φτερωτό τρυπάνι), είτε αυτό γίνεται αυτοματοποιημένα (π.χ. Επεξεργασία ξύλου με τη χρήση CNC router μηχανήματος), παράγουν Particle Matter (PM) σωματίδια ξύλου σε διάφορα μεγέθη, τα οποία μπορούν εύκολα να περάσουν από τους βιολογικούς μηχανισμούς φιλτραρίσματος που διαθέτει το ανθρώπινο σώμα, όπως είναι η τρίχες της μύτης και οι βλεννογόνοι με αποτέλεσμα να καταφέρνουν να εισέλθουν βαθιά μέσα στους πνεύμονες. Επιπλέον επεξεργασμένα υλικά, όπως το MDF και το OSB, εκλύουν φορμαλδεΐδη, η οποία με την βοήθεια τον σωματιδίων ξύλου στον αέρα εισέρχεται στο σώμα και καταλήγει κι εκείνη στους πνεύμονες. Πρόκειται για μία ουσία που έχει ισχυρές επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα προκαλώντας προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία. Τέλος, ακόμα μία δραστηριότητα του κατασκευαστικού κλάδου η οποία μπορεί να έχει άμεση σύνδεση με την δημιουργία ρύπων στο εργασιακό περιβάλλον είναι η χρήση χημικών, όπως βερνίκια, διαλυτικά, βαφές σπρέι, και κόλλες, τα οποία με τη σειρά τους οδηγούν στην εκπομπή πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs), με αποτέλεσμα τον ερεθισμό των πνευμόνων και την πρόκληση μακροπρόθεσμων παθήσεων.

Παράλληλα, τα οικοδομικά υλικά και ο εξοπλισμός ενός κτιρίου αποτελούν εξαιρετικά σημαντικές πηγές ρύπων, με βαριές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα και το περιβάλλον, ενώ μάλιστα εδώ και αρκετές δεκαετίες, έχουν καταγραφεί οι ρυπαντικές, τοξικές και οικοτοξικές επιδράσεις διαφόρων οικοδομικών υλικών, καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται άμεσα με τις τεχνολογίες της παραγωγής αυτών. Η συνειδητοποίηση αυτή οδήγησε με τη σειρά της σε σημαντικές αλλαγές στη βιομηχανία κατασκευών, καθώς εισάγονται ολοένα και πιο αυστηρά μέτρα για την προώθηση φιλικών προς το περιβάλλον υλικών. Οι εξελίξεις αυτές αντανακλούν την αυξανόμενη ζήτηση για βιώσιμες πρακτικές στον κατασκευαστικό κυρίως τομέα.

Παράλληλα, ο εξοπλισμός των κτιρίων, όπως τάπητες, έπιπλα, χρώματα, βερνίκια και άλλα υλικά, αποτελεί κι αυτά επιπρόσθετη πηγή ποικίλων ρύπων. Ανάλογα με τη χημική τους σύνθεση, οι ουσίες που εκπέμπονται από αυτά τα υλικά μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τα επίπεδα εσωτερικής ποιότητας αέρα (Indoor Air Quality - IAQ). Η χρήση υλικών με χαμηλές εκπομπές ρύπων έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις ανάγκες για εξαερισμό, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας ενός κτιρίου.

Η μετάβαση προς φιλικότερα προς το περιβάλλον υλικά, τόσο στην κατασκευή όσο και στον εξοπλισμό, ενισχύει τη βιωσιμότητα των κτιρίων και συμβάλλει στη βελτίωση της υγείας των ενοίκων, ενώ ταυτόχρονα προάγει τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων για τον λόγο αυτό και είναι εξαιρετικά βοηθητική μία συσκευή που ανιχνεύει την ποιότητα του αέρα, ειδοποιώντας τον χρήστη πως κάτι σε αυτόν έχει αλλάξει και χρήζει ιδιαίτερης προσοχής.

1.3 Δευτερογενής τομέας, εργοστάσια, βιομηχανία.

Η Βιομηχανική Επανάσταση αποτέλεσε σημαντικό σημείο αναφοράς για τη αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μιας και κατά τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, όταν οι ατμομηχανές αντικαταστάθηκαν από καυστήρες και το κάρβουνο αναδείχθηκε σε κύριο καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας, η ανάγκη για την εφαρμογή μέτρων προστασίας της ατμόσφαιρας έγινε άμεση και επιτακτική. Σε αυτό φυσικά συνέβαλαν και σε εξαιρετικά μεγάλο βαθμό οι ρύποι

Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα στον χώρο εργασίας.

που προέρχονταν από την καύση του κάρβουνου, όπως ο καπνός, τα μεγάλα ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα και η ιπτάμενη τέφρα. Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, με τη σταδιακή επικράτηση του πετρελαίου ως βασικού καύσιμου για μηχανές και οικιακές χρήσεις, το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης διογκώθηκε και οδήγησε σε μια προβληματική πραγματικότητα που δεν μπορούσε πλέον να αγνοηθεί, επηρεάζοντας τόσο σε τοπική όσο και παγκόσμια κλίμακα, με κυριότερο πρόβλημα εκείνο της τρύπας του Όζοντος. Αυτό το γεγονός καθιστά σαφή και επιτακτική την ανάγκη οι εργαζόμενοι σε τομείς που παράγουν μεγάλο αριθμό ρύπων να είναι σε θέση να ενημερώνονται για την ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό των κτηρίων [4].

Αρχικά, θεωρήθηκε ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση περιοριζόταν μονάχα στα μεγάλα αστικά και βιομηχανικά κέντρα, όπου οι συγκεντρώσεις ρύπων ήταν σαφώς υψηλότερες. Ωστόσο, με την πρόοδο της τεχνολογίας και έπειτα από επιστάμενες έρευνες που διενεργήθηκαν διαπιστώθηκε ότι οι αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων εντοπίζονται και σε αγροτικές περιοχές. Αυτό ανέδειξε την ατμοσφαιρική ρύπανση ως ένα παγκόσμιο φαινόμενο, το οποίο επηρεάζει την καθημερινότητα και την υγεία εκατομμυρίων ανθρώπων σε όλα τα μήκη και πλάτη της Γης. Μάλιστα, ευθύνεται για ένα σημαντικό ποσοστό ασθενειών, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για συστηματική καταγραφή, παρακολούθηση και αντιμετώπιση του προβλήματος. Η εξέλιξη αυτή αποδεικνύει ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν γνωρίζει γεωγραφικά όρια και καθιστά επιτακτική την παγκόσμια συνεργασία για τη λήψη μέτρων που θα μειώσουν τις επιπτώσεις της [11]

Πιο συγκεκριμένα όμως, όσον αφορά στα εργοστάσια υπάρχει μεγάλο ζήτημα με τον έλεγχο και την ποιότητα των ρύπων, την αλόγιστη χρήση τους ή και την μη χρήση φίλτρων. Επί παραδείγματι στα εργοστάσια συσκευασίας και επεξεργασίας τροφίμων, ειδικότερα εκείνα που σχετίζονται με φρούτα, όπως μήλα, αχλάδια και μπανάνες, τα οποία ωριμάζουν με την έκθεσή τους σε οξυγόνο, χρησιμοποιούνται ψυγεία με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα όπου τα επίπεδα οξυγόνου μειώνονται σε σχέση με την κανονική ατμόσφαιρα, περιορίζοντας την αναπνοή των προϊόντων και καθυστερώντας τις διαδικασίες ωρίμανσης και αποσύνθεσης. Τα επίπεδα συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα CO₂, αυξάνονται ελαφρώς για να μειώσουν την αναπνοή των προϊόντων επιβραδύνοντας την διαδικασία ωρίμανσης, ενώ παράλληλα, συμβάλει στην αποτροπή της ανάπτυξης μυκήτων και βακτηρίων, προστατεύοντας τα προϊόντα από μούχλα και αλλοιώσεις. Αυτή η τεχνολογία είναι ιδιαίτερα αποδοτική στη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων, όμως συνεπάγεται και αρκετά σημαντικούς κινδύνους.

Επομένως αν ενός τέτοιου τύπου ψυγείο έχει μια διαρροή στην ατμόσφαιρα η αν το σύστημα ελέγχου ατμόσφαιρας αποτύχει είναι λογικό πως οι εργαζόμενοι σε κοντινές περιοχές μπορεί να εκτεθούν σε χαμηλά επίπεδα οξυγόνου, και να παρουσιάσουν ζαλάδες ή ακόμα και λιποθυμικά επεισόδια. Τα συγκεκριμένα συστήματα CO₂ λειτουργούν υπό υψηλή πίεση για να εξασφαλίσουν την μεγαλύτερη απόδοση για την συγκεκριμένη διαδικασία με αποτέλεσμα οποιοδήποτε σφάλμα ή διαρροή μπορεί να προκαλέσει σοβαρά ατυχήματα, όπως εκρήξεις ή διαρροές αερίων πολύ υψηλής πίεσης. Στην προκειμένη περίπτωση, και όπως θα αναλύσουμε στη συνέχεια, ένα indoor air quality monitor θα μπορούσε εκτός από μέσω πρόληψης ατυχήματος και προστασίας των εργαζομένων να χρησιμοποιηθεί και ως μέσω αυτόματου ελέγχου ενός τέτοιου είδους ψυγείο [4].

Οι βιομηχανικές εκπομπές, είτε από τοπικές είτε από απομακρυσμένες πηγές, συμβάλλουν σημαντικά στις αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων, όπως τα οξείδια του αζώτου και του θείου, το όζον, ο μόνλυβδος, οι πτητικές οργανικές ενώσεις, ο καπνός, τα σωματίδια και οι ίνες. Η ένταση και η επίδραση αυτών των ρύπων εξαρτώνται από συγκεκριμένους κλιματικούς παράγοντες, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές. Εκεί, φαινόμενα όπως η αστική θερμική νησίδα και η κατανομή των ροών αέρα γύρω από τα κτίρια παίζουν καθοριστικό ρόλο στη συγκέντρωση και διάδοση των ρύπων.

Η ρύπανση από την κυκλοφορία αποτελεί μια ακόμη βασική πηγή επιβάρυνσης στις αστικές περιοχές. Επηρεάζει ιδιαίτερα τις ζώνες κοντά σε οδικές αρτηρίες, σήραγγες και χώρους στάθμευσης, όπου παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων. Από τους κυριότερους ρύπους που σχετίζονται με την κυκλοφορία είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), η σκόνη άνθρακα, ο μόνλυβδος και τα οξείδια του αζώτου (NO_x).

Αυτές οι πηγές ρύπανσης έχουν σημαντικές επιπτώσεις τόσο στην ποιότητα του αέρα όσο και στη δημόσια υγεία, καθώς σχετίζονται με αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα. Επιπλέον, η σύνδεση της κυκλοφοριακής ρύπανσης με τη συγκέντρωση των πληθυσμών στις πόλεις υπογραμμίζει την ανάγκη για αποτελεσματικές πολιτικές διαχείρισης, όπως η προώθηση βιώσιμων μεταφορών και η εφαρμογή μέτρων για τη μείωση των εκπομπών [4].

Η συσκευή εκτός από την ειδοποίηση του εργαζομένου εγκαίρως θα μπορούσε πιθανότατα να είναι και μέρος του αυτόματου ελέγχου του ψυγείου, το οποίο θα λειτουργεί σαν δικλείδα ασφαλείας απενεργοποιώντας την ελεγχόμενη CO₂ ατμόσφαιρα στο ψυγείο αν κάποιος από τους αισθητήρες στην συσκευή του εργαζομένου διαβάσει πολύ υψηλά επίπεδα περιεκτικότητας διοξειδίου του άνθρακα CO₂. Η αποτελεσματική συντήρηση των ψυγείων αυτών, καθώς και η εκπαίδευση για τη διασφάλιση της ασφάλειας στον χώρο εργασίας. Τα μέτρα πρόληψης, όπως η χρήση συστημάτων ανίχνευσης αερίων, η σωστή εξαέρωση των χώρων και η χρήση μέσων ατομικής προστασίας, πρέπει να ενσωματώνονται στις διαδικασίες λειτουργίας των εργοστασίων για τη μείωση των κινδύνων [4].

1.4 Πρωτογενής αγροτικός τομέας

Ο πρωτογενής αγροτικός τομέας συμπεριλαμβάνει και αυτός έναν ικανοποιητικό αριθμό δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την έκθεση των εργαζομένων σε μικροσωματίδια PM_{2.5} (Particulate Matter με διάμετρο μικρότερη από 2.5 μικρόμετρα) και Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs) αποτελεί σοβαρό κίνδυνο για την υγεία τους. Αυτοί οι ρύποι μπορεί να δημιουργηθούν από διάφορες δραστηριότητες που σχετίζονται με την καλλιέργεια ή την επεξεργασία προϊόντων από τη γη και λόγω ελλιπούς εκπαίδευσης και εξειδίκευσης, η έκθεση σε αυτούς τους ρύπους μπορεί να γίνεται επαναλαμβανόμενα, χρόνια έκθεση σε τέτοιου είδους ρύπους μπορεί να έχει καταστροφικές επιπτώσεις στην υγεία. Σωματίδια PM_{2.5} (Particulate Matter με διάμετρο μικρότερη από 2.5 μικρόμετρα) και Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs) μπορεί να εμφανιστούν κατά την επεξεργασία και καλλιέργεια εδάφους, καύση βιομάζας και χρήση μηχανημάτων, χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Τέλος, εκπομπές από τη ζύμωση ή τη μεταποίηση αγροτικών προϊόντων [16].

Η γεωργία αποτελεί σημαντική πηγή εκπομπών των τριών κύριων αερίων του θερμοκηπίου: του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του μεθανίου (CH₄) και του υποξειδίου του αζώτου (N₂O)

Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα στον χώρο εργασίας.

[17], ενώ παράλληλα, η γεωργία μπορεί να λειτουργήσει και ως καταβόθρα άνθρακα μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, κατά την οποία δεσμεύεται το διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα [17]. Αυτή η διαδικασία, γνωστή ως δέσμευση του άνθρακα, έχει αναδειχθεί ως μια στρατηγική για τη μείωση των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα [16].

Η έννοια ενός ουδέτερου ισοζυγίου διοξειδίου του άνθρακα βασίζεται στη λογική ότι οι εκπομπές CO₂ από την καύση βιοκαυσίμων ισοσκελίζονται από το CO₂ που δεσμεύτηκε κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της βιομάζας μέσω της φωτοσύνθεσης. Αυτή η προσέγγιση έχει προκαλέσει αντιπαραθέσεις μεταξύ των επιστημόνων. Ορισμένοι υποστηρίζουν ότι η ιδέα ενός απόλυτα ουδέτερου ισοζυγίου διοξειδίου του άνθρακα είναι παραπλανητική, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη όλες τις πλευρές της διαδικασίας. Άλλοι επισημαίνουν ότι μια τέλεια ισορροπία είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθεί λόγω της πολυπλοκότητας των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων που εμπλέκονται.

1.5 Στις αποθήκες και τα κέντρα logistics

Οι αποθήκες και τα κέντρα logistics αποτελούν βασικούς κόμβους για τη διαχείριση και τη διανομή αγαθών, ωστόσο, οι εργασίες και οι δραστηριότητες που πραγματοποιούνται συχνά στους εν λόγω επαγγελματικούς χώρους δεν δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες με αποτέλεσμα η ποιότητα του αέρα να επηρεάζεται αρνητικά. Οι παράγοντες στους οποίους αναφερόμαστε σχετίζονται με τη λειτουργία μηχανημάτων, τη χρήση υλικών συσκευασίας και τις μεταφορές εντός των εγκαταστάσεων, οι οποίες συμβάλλουν στη συσσώρευση επικίνδυνων ρύπων στον αέρα.

Οι βασικότερες πηγές ρύπανσης στις αποθήκες και τα κέντρα Logistics μπορούν να συνοψιστούν στους ακόλουθους:

- Λειτουργία μηχανημάτων και εξοπλισμού: Τα ανυψωτικά οχήματα (forklifts), ιδιαίτερος εκείνα που λειτουργούν με κινητήρες εσωτερικής καύσης, εκλύουν ρύπους όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και οξείδια του αζώτου (NO_x). Παράλληλα, οι μηχανές συσκευασίας και οι μονάδες ψύξης συμβάλλουν στην εκπομπή πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) [6].
- Χρήση υλικών συσκευασίας: Υλικά όπως πλαστικά, κόλλες και φιλμ συσκευασίας συχνά απελευθερώνουν VOCs κατά την αποθήκευση και τη χρήση τους. Αυτοί οι ρύποι μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του αέρα και να προκαλέσουν ερεθισμούς ή μακροπρόθεσμα προβλήματα υγείας στους εργαζομένους [14].
- Μεταφορές και κυκλοφορία: Η συνεχής μετακίνηση οχημάτων εντός και εκτός των αποθηκών αυξάνει τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{2.5} και PM₁₀) και άλλων ρύπων. Ειδικά στις περιοχές φόρτωσης και εκφόρτωσης, παρατηρούνται υψηλά επίπεδα ρύπανσης λόγω της αλληλεπίδρασης με εξωτερικούς παράγοντες.

Η έκθεση στους ρύπους που δημιουργούνται σε αποθήκες και κέντρα logistics μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες στην υγεία των εργαζομένων ορισμένες από τις πιο κοινές αυτές επιπτώσεις είναι: οξείες ή χρόνιες ασθένειες όπως άσθμα και βρογχίτιδα, ενώ η μακροχρόνια έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια έχει συσχετιστεί με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων [10].

Επιπροσθέτως, οι πτητικές οργανικές ενώσεις και τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να προκαλέσουν ερεθισμούς και αλλεργικές αντιδράσεις.

Υπάρχουν μέτρα που συχνά λαμβάνονται με σκοπό να μετριαστεί κάπως το συγκεκριμένο πρόβλημα μεταξύ των οποίων είναι: η εγκατάσταση συστημάτων εξαερισμού που ανακυκλώνουν και φιλτράρουν τον αέρα μειώνει δραστικά τις συγκεντρώσεις ρύπων, αλλά και η αντικατάσταση των περονοφόρων οχημάτων με ηλεκτρικά ή η χρήση μηχανημάτων με πιστοποίηση χαμηλών εκπομπών είναι αποτελεσματική στη μείωση των ρύπων.

Παράλληλα υπάρχουν οι καθαριστές με φίλτρα HEPA και συστήματα ελέγχου VOCs μπορούν να αφαιρέσουν αιωρούμενα σωματίδια και χημικούς ρύπους από τον αέρα, ενώ ενδείκνυται και η χρήση μασκών και γαντιών από τους εργαζομένους σε περιοχές υψηλής ρύπανσης, γεγονός που μειώνει την μόνιμη και συνεχή έκθεσή τους σε διάφορες επιβλαβείς ουσίες.

Σε κάθε περίπτωση οι αποθήκες και τα κέντρα logistics είναι ζωτικής σημασίας για την παγκόσμια εφοδιαστική αλυσίδα, αλλά η διατήρηση της ποιότητας του αέρα αποτελεί μια κρίσιμη πρόκληση. Μέσω της εφαρμογής τεχνολογικών λύσεων, βέλτιστων πρακτικών και προληπτικών μέτρων, οι επιχειρήσεις μπορούν να εξασφαλίσουν την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στη βιώσιμη ανάπτυξη του τομέα. Είναι φανερό λοιπόν πως η εγκατάσταση συστημάτων παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα σε πραγματικό χρόνο είναι ένα απαραίτητο βήμα για την αναγνώριση προβλημάτων και την άμεση λήψη μέτρων. Οι συσκευές αυτές μπορούν να ανιχνεύσουν αιωρούμενα σωματίδια, VOCs και αέρια, παρέχοντας κρίσιμα δεδομένα για την ασφάλεια του χώρου εργασίας.

1.6 Ναυπηγεία και λιμάνια

Τα ναυπηγεία και τα λιμάνια αποτελούν σημαντικούς κόμβους βιομηχανικής δραστηριότητας και εμπορίου, ωστόσο, συνδέονται με υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι δραστηριότητες που πραγματοποιούνται στους χώρους αυτούς, όπως η συντήρηση πλοίων, η μεταφόρτωση εμπορευμάτων και η λειτουργία βαρέων μηχανημάτων, συμβάλλουν στην εκπομπή επικίνδυνων ρύπων που επηρεάζουν τόσο τους εργαζομένους όσο και τις κοντινές κοινότητες.

Η χρήση μαζούτ (heavy fuel oil) και ντίζελ στα πλοία παράγει ρύπους όπως διοξείδιο του θείου (SO₂), οξειδία του αζώτου (NO_x) και αιωρούμενα σωματίδια (PM). Οι ρύποι αυτοί επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του αέρα και συμβάλλουν στην όξινη βροχή και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος [5]. Παράλληλα, η διαδικασία καθαρισμού, βαφής και επισκευής πλοίων απελευθερώνει πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), τοξικά μέταλλα και σωματίδια βαφής στην ατμόσφαιρα. Επίσης, οι μηχανές συγκόλλησης και οι καύσεις δημιουργούν αιωρούμενα σωματίδια και τοξικά αέρια [7]. Η χρήση βαρέων μηχανημάτων, όπως γερανοί και ανυψωτικά οχήματα, εκπέμπει μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και NO_x, ενώ τέλος η συνεχής κίνηση εμπορευματοκιβωτίων μέσω φορτηγών και τρένων συμβάλλει στη συγκέντρωση ρύπων, ειδικά στις περιοχές φόρτωσης και εκφόρτωσης [1].

Οι ρύποι που δημιουργούνται σε ναυπηγεία και λιμάνια έχουν σοβαρές επιπτώσεις:

Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα στον χώρο εργασίας.

Αναπνευστικά προβλήματα: Οι υψηλές συγκεντρώσεις PM_{2.5} και PM₁₀ μπορούν να προκαλέσουν άσθμα, βρογχίτιδα και άλλες αναπνευστικές παθήσεις [15].

Καρδιαγγειακά νοσήματα: Η παρατεταμένη έκθεση σε NO_x και SO₂ έχει συνδεθεί με αυξημένο κίνδυνο καρδιοπάθειας.

Περιβαλλοντική υποβάθμιση: Οι εκπομπές από πλοία και βιομηχανικές δραστηριότητες επηρεάζουν την τοπική οικολογία και συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή.

Τα ναυπηγεία και τα λιμάνια είναι ζωτικής σημασίας για την παγκόσμια οικονομία, ωστόσο οι δραστηριότητές τους συμβάλλουν σημαντικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Η εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών, η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και η συμμόρφωση με διεθνείς κανονισμούς, όπως εκείνοι του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού [9], είναι απαραίτητες για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την προστασία της υγείας των εργαζομένων και των τοπικών κοινοτήτων.

1.7 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάστηκε η σύνθετη σχέση μεταξύ ατμοσφαιρικής ρύπανσης και επαγγελματικών δραστηριοτήτων σε διαφορετικούς τομείς, αναδεικνύοντας τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που παρουσιάζονται για την προστασία της υγείας των εργαζομένων και του περιβάλλοντος. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα, είτε αυτοί σχετίζονται με τη βιομηχανία, την κατασκευαστική δραστηριότητα ή τον αγροτικό τομέα, αποτελούν κρίσιμα ζητήματα με σημαντικές επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία και τη βιωσιμότητα των φυσικών πόρων.

Η ανάλυση υπογραμμίζει ότι η κατανόηση των πηγών ρύπανσης και των επιπτώσεών τους είναι θεμελιώδης για τη διαμόρφωση στρατηγικών που στοχεύουν στη μείωση των κινδύνων. Η εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών, όπως συσκευές ανίχνευσης ρύπων και αυτόματα συστήματα ελέγχου, μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην πρόληψη ατυχημάτων και την προστασία της δημόσιας υγείας. Επιπλέον, η προώθηση φιλικών προς το περιβάλλον υλικών και πρακτικών, τόσο στον κατασκευαστικό όσο και στον αγροτικό τομέα, μπορεί να οδηγήσει σε βιώσιμες λύσεις με μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Είναι σαφές ότι η αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης απαιτεί συνεργασία σε όλα τα επίπεδα – από την ατομική ευθύνη και την επιχειρηματική ηθική έως τη διαμόρφωση διεθνών πολιτικών. Ο σχεδιασμός συστημάτων που αξιοποιούν τις δυνατότητες της τεχνολογίας και οι επενδύσεις στην εκπαίδευση και την ενημέρωση μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά στη βελτίωση των συνθηκών εργασίας και διαβίωσης.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί παγκόσμιο πρόβλημα που δεν γνωρίζει σύνορα. Ως εκ τούτου, η συλλογική δράση, η καινοτομία και η ευαισθητοποίηση αποτελούν τα βασικά εργαλεία για την επίτευξη ενός καθαρότερου περιβάλλοντος και την προώθηση μιας υγιέστερης και πιο βιώσιμης κοινωνίας.

Κεφάλαιο 2ο: Ενσωματωμένο σύστημα, πλατφόρμα Arduino και η εφαρμογή του στο περιβάλλον εργασίας.

2.1 Εισαγωγή

Η πτυχιακή εργασία αυτή βασίζεται στην ενσωματωμένη τεχνική σχεδίασης και την πλατφόρμα Arduino, αξιοποιώντας τις δυνατότητες αυτής της ευρέως διαδεδομένης τεχνολογίας. Σύμφωνα με τον ορισμό του IEEE, ένα ενσωματωμένο σύστημα είναι ένας υπολογιστής σχεδιασμένος για έναν συγκεκριμένο σκοπό, ενσωματωμένος σε ένα μεγαλύτερο σύστημα με στόχο τον έλεγχο και την παρακολούθηση της λειτουργίας του. Το Arduino είναι ένα μικροσκοπικό ενσωματωμένο σύστημα που επεξεργάζεται τις λειτουργίες που προγραμματίζονται για την αλληλεπίδραση της συσκευής με εξωτερικά εξαρτήματα [13].

Τα ενσωματωμένα συστήματα μπορεί να κυμαίνονται από συστήματα χωρίς διεπαφή χρήστη (UI) — όπως σε συσκευές που εκτελούν μία συγκεκριμένη λειτουργία — έως συστήματα με προηγμένες γραφικές διεπαφές (GUI), όπως αυτές που βρίσκουμε σε κινητές συσκευές. Οι διεπαφές μπορεί να περιλαμβάνουν κουμπιά, LED, οθόνες αφής, ακόμα και απομακρυσμένες διεπαφές. Τα ενσωματωμένα συστήματα ελέγχουν πολλές συσκευές καθημερινής χρήσης και χρησιμοποιούν ειδικά προσαρμοσμένα λειτουργικά συστήματα, όπως το Linux, το Android, το Windows CE, το VxWorks και το QNX [3].

Το Arduino είναι μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα, εξοπλισμένη με μικροεπεξεργαστές και ελεγκτές. Οι πλακέτες του περιλαμβάνουν ψηφιακές και αναλογικές ακίδες εισόδου/εξόδου (I/O), που επιτρέπουν τη σύνδεση με εξωτερικά κυκλώματα και πλακέτες επέκτασης. Η επικοινωνία με υπολογιστές πραγματοποιείται μέσω διεπαφών όπως το USB, το οποίο χρησιμοποιείται και για τη φόρτωση προγραμμάτων. Το Arduino Integrated Development Environment (IDE), το λογισμικό ανάπτυξης της πλατφόρμας, παρέχει βιβλιοθήκες για βασικές λειτουργίες και είναι συμβατό με Mac, Windows και Linux. Το Arduino συνδυάζει απλότητα και ισχυρές δυνατότητες, καθιστώντας το ιδανικό για αρχάριους και επαγγελματίες.

Το Arduino προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες πλατφόρμες μικροελεγκτών:

1. Χαμηλό κόστος: Οι πλακέτες Arduino είναι οικονομικότερες από άλλες πλατφόρμες, γεγονός που τις καθιστά δημοφιλείς σε ένα ευρύ κοινό.
2. Διαλειτουργικότητα (Cross-platform): Το IDE του Arduino λειτουργεί σε Windows, Mac OS X και Linux, ενώ πολλές άλλες πλατφόρμες μικροελεγκτών περιορίζονται σε Windows.
3. Εύχρηστο περιβάλλον προγραμματισμού: Το λογισμικό είναι απλό και κατάλληλο για αρχάριους, ενώ παραμένει ευέλικτο για προχωρημένους χρήστες.

Ενσωματωμένο σύστημα, πλατφόρμα Arduino και η εφαρμογή του στο περιβάλλον εργασίας.

4. Ανοιχτού κώδικα λογισμικό και υλικό: Οι βιβλιοθήκες του Arduino είναι διαθέσιμες σε μορφή open source, ενώ το hardware μπορεί να επεκταθεί ή να τροποποιηθεί από έμπειρους σχεδιαστές κυκλωμάτων.

Η πλατφόρμα Arduino αποτελεί θεμελιώδες εργαλείο για την ανάπτυξη ενσωματωμένων συστημάτων, προσφέροντας ευελιξία, οικονομία και ισχυρή υποστήριξη από την κοινότητα. Χάρη στη δυνατότητα ανοιχτού κώδικα και την απλότητά της, η πλατφόρμα αυτή έχει γίνει η προτιμώμενη επιλογή για ποικίλες εφαρμογές, από εκπαιδευτικά έργα έως βιομηχανικές λύσεις [3].

2.2 Ιστορική αναδρομή στα αισθητήρια και την μέτρηση της ποιότητας του αέρα

Η Γη σχηματίστηκε πριν από 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια από ένα θερμό μείγμα αερίων και στερεών, χωρίς σχεδόν καμία ατμόσφαιρα. Στην αρχική της κατάσταση, η επιφάνειά της ήταν λιωμένη. Καθώς άρχισε να ψύχεται, μια πρωτογενής ατμόσφαιρα σχηματίστηκε, αποτελούμενη κυρίως από αέρια που απελευθερώθηκαν από ηφαιστειακές εκρήξεις. Αυτή περιλάμβανε υδροθείο, μεθάνιο και σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα συγκριτικά με τη σημερινή ατμόσφαιρα. Περίπου μισό δισεκατομμύριο χρόνια αργότερα, η επιφάνεια της Γης ψύχθηκε αρκετά ώστε να επιτρέψει τη συγκέντρωση νερού, το οποίο αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη της ζωής.

Η πρώτη επιστημονική μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης πραγματοποιήθηκε το 1648 από τον Blaise Pascal και τον Florin Perier, οι οποίοι χρησιμοποίησαν ένα υδραργυρικό βαρόμετρο. Στην προσπάθειά τους, ανέβηκαν στο ηφαιστειακό όρος Puy de Dome στη Γαλλία, μετρώντας το ύψος του υδραργύρου στη στήλη σε διαφορετικά υψόμετρα. Παρατήρησαν ότι η στάθμη του υδραργύρου μειωνόταν όσο ανέβαιναν, γεγονός που απέδωσαν στη μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης καθώς υπήρχε λιγότερος αέρας γύρω τους. Το πείραμα αυτό οδήγησε στο σημαντικό συμπέρασμα ότι υπάρχει ένα κενό πάνω από την ατμόσφαιρα, θέτοντας τη βάση για την κατανόηση της δομής της.

Οι Joseph-Michel και Jacques-Etienne Montgolfier, Γάλλοι αδελφοί, εφηύραν το αερόστατο το 1783. Η κατασκευή τους, φτιαγμένη από στρώσεις χαρτιού, πέταξε για πρώτη φορά στις 3 Ιουνίου 1783, φτάνοντας σε ύψος περίπου 2.000 μέτρων. Αυτή η καινοτομία έδωσε τη δυνατότητα στους επιστήμονες να εξερευνήσουν για πρώτη φορά τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Ένα χρόνο αργότερα, ο Guyton de Moreau και ο Bertrand χρησιμοποίησαν αερόστατο για να μετρήσουν τη θερμοκρασία και την πίεση της ατμόσφαιρας πάνω από τη Dijon της Γαλλίας, εισάγοντας τη χρήση οργάνων σε μεγάλα υψόμετρα.

Το 1787, ο Horace Benedict de Saussure ανέβηκε στην κορυφή του Mont Blanc, το υψηλότερο σημείο της Ευρώπης με υψόμετρο 4.810 μέτρα, για να μελετήσει την ατμόσφαιρα. Η ανάβαση αυτή έγινε μόλις ένα χρόνο μετά την πρώτη επιτυχημένη αναρρίχηση στην απόκρημνη αυτή κορυφή των Άλπεων. Ο Saussure μετέφερε μαζί του ένα βαρόμετρο και ένα θερμόμετρο, πραγματοποιώντας μετρήσεις σε όλη τη διάρκεια της πορείας του. Η τεχνολογία των οργάνων εξελίχθηκε σημαντικά από την εποχή του πειράματος του Pascal και του Perier το 1648, με

Κεφάλαιο 2°

αποτέλεσμα τα όργανα του Saussure να είναι πιο φορητά και πρακτικά. Οι μετρήσεις του αποδείχθηκαν εξαιρετικά πολύτιμες, καθώς έδειξαν ότι η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου κατά περίπου $0,7^{\circ}\text{C}$ ανά 100 μέτρα.

Οι παρατηρήσεις του Saussure ενέπνευσαν επιστήμονες όπως ο Hermann von Helmholtz, ο οποίος υπολόγισε ότι περίπου στα 30 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης η θερμοκρασία θα έφτανε στους -273°C (-460°F), δηλαδή στο απόλυτο μηδέν. Αυτή η θερμοκρασία, στην οποία δεν απομένει καθόλου θερμότητα, θεωρείται η χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία και αποτελεί θεμελιώδη όριο της φυσικής. Ωστόσο, την εποχή του Helmholtz, το απόλυτο μηδέν ήταν περισσότερο θεωρητική έννοια παρά πρακτικό μέγεθος, καθώς η τεχνολογία δεν επέτρεπε την ακριβή μέτρηση ή προσέγγισή του. Περίπου 60 χρόνια αργότερα, ο Λόρδος Κέλβιν επινόησε την κλίμακα θερμοκρασίας που χρησιμοποίησε το απόλυτο μηδέν ως τη μηδενική τιμή της, καθιστώντας το ακρογωνιαίο λίθο στη μελέτη της θερμοδυναμικής.

Οι υπολογισμοί του Helmholtz τροφοδότησαν μεγάλο ενδιαφέρον μεταξύ των επιστημόνων για την εξερεύνηση των ανώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας, με την ελπίδα να κατανοήσουν καλύτερα το φυσικό φαινόμενο του απόλυτου μηδενός. Η προσπάθεια αυτή αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα για την προώθηση της κατανόησης της ατμοσφαιρικής φυσικής, δημιουργώντας τη βάση για μελλοντικές μελέτες και ανακαλύψεις.

Ο Henry Coxwell, έμπειρος πιλότος αερόστατων, και ο James Glaisher, επιστήμονας με όργανα μέτρησης, πραγματοποίησαν πολλές ερευνητικές αποστολές με αερόστατα. Στις 5 Σεπτεμβρίου 1862, πραγματοποίησαν μια αποστολή που έφτασε σε ύψος 5 μιλίων, το μεγαλύτερο που είχε επιτευχθεί μέχρι τότε. Σε αυτό το υψόμετρο, η θερμοκρασία ήταν πολύ κάτω από το μηδέν, και η έλλειψη οξυγόνου ήταν έντονη. Παρόλο που αντιμετώπισαν κίνδυνο ζωής, ο Glaisher συνέχισε να συλλέγει δεδομένα, συμβάλλοντας σημαντικά στη μελέτη των ανώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας.

Ο Teisserenc de Bort, πρωτοπόρος της ατμοσφαιρικής επιστήμης, χρησιμοποίησε μετεωρολογικά μπαλόνια για τη μελέτη της ατμόσφαιρας. Στέλνοντας πάνω από 200 μπαλόνια με όργανα μέτρησης, όπως θερμόμετρα και βαρόμετρα, παρατήρησε κάτι πρωτοφανές. Σε υψόμετρο μεταξύ 8 και 13 χιλιομέτρων, η θερμοκρασία σταματούσε να μειώνεται και παρέμενε σταθερή. Στις 28 Απριλίου 1902, ανακοίνωσε στη Γαλλική Ακαδημία Επιστημών την ανακάλυψη ενός νέου στρώματος της ατμόσφαιρας, το οποίο ονόμασε στρατόσφαιρα. Αυτή η ανακάλυψη αποτέλεσε σημείο καμπής στην κατανόηση της δομής της ατμόσφαιρας.

Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, οι τεχνολογικές εξελίξεις στην αεροναυτική και τη μετεωρολογία έδωσαν τη δυνατότητα για πιο ακριβείς μετρήσεις της ατμόσφαιρας. Μετεωρολογικά μπαλόνια εξοπλισμένα με ραδιοσυχνότητες μπορούσαν να μεταδίδουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας τη μελέτη της θερμοκρασίας, της πίεσης, της υγρασίας και της ταχύτητας του ανέμου σε διάφορα υψόμετρα.

Στη δεκαετία του 1950, η εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου, Sputnik 1, άνοιξε νέους δρόμους για τη μελέτη της ατμόσφαιρας από το διάστημα. Στη συνέχεια, δορυφόροι όπως ο NOAA και τα προγράμματα της NASA συνέβαλαν στη συστηματική παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής σύνθεσης, της κλιματικής αλλαγής και της ποιότητας του αέρα.

Ενσωματωμένο σύστημα, πλατφόρμα Arduino και η εφαρμογή του στο περιβάλλον εργασίας.

Σήμερα, η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα έχει γίνει πιο προσιτή και ευρεία χάρη στις καινοτομίες όπως οι αισθητήρες χαμηλού κόστους και τα συστήματα IoT. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούνται τόσο από επιστήμονες όσο και από πολίτες για την καταγραφή δεδομένων σχετικά με σωματίδια PM, αέρια όπως CO₂ και NO₂, και άλλους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Οι σύγχρονοι δορυφόροι, όπως ο Sentinel-5P, παρέχουν υψηλής ανάλυσης δεδομένα για την ποιότητα του αέρα σε παγκόσμια κλίμακα. Ταυτόχρονα, εφαρμογές σε κινητές συσκευές επιτρέπουν την άμεση ενημέρωση των πολιτών για τις συνθήκες της ατμόσφαιρας, ενισχύοντας την ευαισθητοποίηση για τα περιβαλλοντικά ζητήματα.

Αυτά τα ιστορικά ορόσημα αναδεικνύουν την εξέλιξη της κατανόησης και της μέτρησης της ποιότητας του αέρα. Από τις αρχικές παρατηρήσεις της ατμόσφαιρας μέχρι την καινοτομία στη χρήση τεχνολογίας, όπως τα βαρόμετρα και τα αερόστατα, τέθηκαν οι βάσεις για την ανάπτυξη σύγχρονων μεθόδων παρακολούθησης της ατμόσφαιρας και της ποιότητάς της.

Η αποστολή του Saussure στο Mont Blanc και οι επακόλουθες θεωρίες για το απόλυτο μηδέν δείχνουν πώς οι πρώιμες μετρήσεις και η εξερεύνηση της ατμόσφαιρας συνέβαλαν στην εξέλιξη της επιστημονικής κατανόησης του κόσμου. Αυτές οι προσπάθειες όχι μόνο ανέδειξαν την αλληλεπίδραση μεταξύ υψομέτρου και θερμοκρασίας, αλλά και έθεσαν τα θεμέλια για τη θερμοδυναμική και την κλιματολογία.

Από τα πρώτα πειράματα με αερόστατα μέχρι τις σύγχρονες δορυφορικές τεχνολογίες, η μελέτη της ατμόσφαιρας έχει εξελιχθεί δραματικά. Αυτή η πρόοδος όχι μόνο βελτίωσε την κατανόηση της δομής και της λειτουργίας της ατμόσφαιρας, αλλά έθεσε και τα θεμέλια για τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Στη σημερινή εποχή, η τεχνολογία συνεχίζει να παίζει καθοριστικό ρόλο στη μελέτη και τη διατήρηση της υγείας του πλανήτη μας [2].

2.3 Τρόποι πρόληψης και μείωση της έκθεσης του εργάτη σε βλαβερά σωματίδια του αέρα.

Τα επικίνδυνα σωματίδια που επηρεάζουν την υγεία μας βρίσκονται παντού, κυρίως στους εξωτερικούς χώρους. Η ενημέρωση είναι το πρώτο βήμα για την αντιμετώπιση των κινδύνων αυτών. Παρακολουθώντας τις μετρήσεις για την ποιότητα του αέρα μέσω του διαδικτύου ή της τηλεόρασης, μπορούμε να αποφύγουμε περιοχές με υψηλά επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης.

Ο ευκολότερος τρόπος προστασίας από τα σωματίδια είναι η παραμονή σε εσωτερικούς χώρους με φιλτραρισμένο αέρα. Παράλληλα, είναι καλό να αποφεύγονται δραστηριότητες που αυξάνουν τον ρυθμό αναπνοής, όπως η έντονη σωματική άσκηση, καθώς αυτές οδηγούν σε εισπνοή περισσότερων σωματιδίων. Για την προστασία του εσωτερικού χώρου, τα παράθυρα θα πρέπει να παραμένουν κλειστά, ιδιαίτερα όταν τα επίπεδα ρύπανσης είναι υψηλά, και να χρησιμοποιούνται κλιματιστικά συστήματα που διατηρούν την ποιότητα του αέρα.

Η χρήση ανεμιστήρων θα πρέπει να αποφεύγεται, καθώς μπορεί να διασπείρει σκόνη και σωματίδια στον αέρα, αυξάνοντας την πιθανότητα εισπνοής τους. Επιπλέον, δραστηριότητες

όπως το κάψιμο ξύλων στο τζάκι ή το άναμμα κεριών επιβαρύνουν την ποιότητα του αέρα μέσα στο σπίτι και θα πρέπει να περιορίζονται.

Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους βελτίωσης της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων είναι η χρήση καθαριστών αέρα. Τα παραδοσιακά φίλτρα αέρα, όπως τα φίλτρα HEPA, έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματικά, αφαιρώντας το 99,97% των σωματιδίων μεγέθους 0,3 μικρομέτρων. Η κατηγορία PM2.5, που περιλαμβάνει σωματίδια διαμέτρου μικρότερης από 2,5 μικρομέτρα, αποτελεί έναν από τους πιο επικίνδυνους τύπους ατμοσφαιρικών ρύπων. Η κατανόηση της προέλευσής τους και των τρόπων μείωσης της έκθεσης είναι καίριας σημασίας. Παρακολουθώντας την ποιότητα του αέρα και εφαρμόζοντας απλά μέτρα στο σπίτι, μπορούμε να προστατεύσουμε αποτελεσματικά την υγεία μας από τις επιπτώσεις των σωματιδιακών ρύπων.

2.4 Ανιχνευτές ποιότητας του αέρα σήμερα (εμπόριο)

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μια εντυπωσιακή αύξηση του ενδιαφέροντος για τη χρήση αισθητήρων χαμηλού κόστους στις μετρήσεις ατμοσφαιρικών ρύπων. Αυτό το ενδιαφέρον προέρχεται από διάφορες ομάδες, όπως εκπαιδευτικοί, επιστήμονες-πολίτες και μέλη κοινοτήτων που ανησυχούν για τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις περιοχές τους.

Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε έναν συνδυασμό τεχνολογικών εξελίξεων. Αρχικά, η ανάπτυξη και εμπορική διάθεση ηλεκτροχημικών αισθητήρων χαμηλού κόστους για την ανίχνευση αέριων ρύπων έπαιξε καθοριστικό ρόλο. Στη συνέχεια, οι μετρητές οπτικών σωματιδίων χαμηλού κόστους (Optical Particle Counters - OPC), οι οποίοι σχεδιάστηκαν αρχικά για την παρακολούθηση συστημάτων HVAC, άρχισαν να χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της πυκνότητας σωματιδίων στο περιβάλλον και την εκτίμηση συγκεντρώσεων μάζας. Επιπλέον, η εμφάνιση μικροελεγκτών όπως οι πλακέτες Arduino κατέστησε ευκολότερη τη δημιουργία οικονομικά προσιτών και ευέλικτων συσκευών, ενώ οι τεχνολογίες εφαρμογών για κινητά τηλέφωνα προσέφεραν απλή παρουσίαση και χαρτογράφηση δεδομένων.

Αυτές οι εξελίξεις οδήγησαν στην ανάπτυξη δεκάδων συσκευών από ομάδες πανεπιστημίων, μη κυβερνητικών οργανώσεων (ΜΚΟ) και μικρών εταιρειών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση μιας ευρείας γκάμας ατμοσφαιρικών ρύπων. Τυπικά, τέτοιες συσκευές καταγράφουν συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (PM1, PM2.5, PM10), μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα (CO, CO2), όζοντος (O3), οξειδίων του αζώτου (NO, NO2), διοξειδίου του θείου (SO2), πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) και μαύρου άνθρακα. Η διαθεσιμότητα αυτών των τεχνολογιών έχει επιτρέψει την ενίσχυση της συμμετοχής των πολιτών στην παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και την ευαισθητοποίηση για τις περιβαλλοντικές προκλήσεις που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) ανταποκρίθηκε στο αυξανόμενο ενδιαφέρον του κοινού για τη χρήση αισθητήρων ποιότητας αέρα, δημιουργώντας μια εργαλειοθήκη ειδικά σχεδιασμένη για επιστήμονες-πολίτες. Αυτή η εργαλειοθήκη περιλαμβάνει εκτενή πληροφοριακό υλικό σχετικά με τους διαθέσιμους αισθητήρες, τον τρόπο σωστής χρήσης τους, καθώς και την ερμηνεία των μετρήσεων που παράγουν. Παράλληλα,

Ενσωματωμένο σύστημα, πλατφόρμα Arduino και η εφαρμογή του στο περιβάλλον εργασίας.

προγράμματα αξιολόγησης αισθητήρων έχουν αναπτυχθεί τόσο από την EPA όσο και από το Κέντρο Αξιολόγησης Απόδοσης Αισθητήρων Ποιότητας Αέρα (AQ-SPEC) της Νότιας Ακτής της Καλιφόρνιας.

Από τους περίπου 50 εμπορικά διαθέσιμους αισθητήρες που δοκιμάστηκαν από την EPA και το AQ-SPEC, η πλειονότητα παρουσίασε χαμηλή απόδοση, με συντελεστές προσδιορισμού (R^2) 0,5 ή χαμηλότερους, ενώ αρκετοί αισθητήρες εμφάνισαν τιμές R^2 κοντά στο 0, αποδεικνύοντας ότι λειτουργούσαν περισσότερο ως «γεννήτριες θορύβου». Ωστόσο, το 2B Tech Personal Ozone Monitor (POM) ξεχώρισε ως το καλύτερο εργαλείο, με R^2 0,99 στο εργαστήριο και 1,00 στο πεδίο, σε σύγκριση με τα όργανα αναφοράς FEM. Παρότι το POM δεν είναι αισθητήρας, αλλά μικροσκοπικό όργανο υψηλής ακρίβειας, αποτέλεσε σημαντικό πρότυπο για την αξιολόγηση των αισθητήρων.

Οι ανεξάρτητες αυτές δοκιμές συνέβαλαν στη βελτίωση των αισθητήρων. Νεότερες εκδόσεις ορισμένων αισθητήρων που δοκιμάστηκαν ξανά παρουσίασαν σημαντικά καλύτερη απόδοση. Τα πακέτα αισθητήρων που συνδυάζουν πολλαπλούς αισθητήρες και εφαρμόζουν μεθόδους πολλαπλών μεταβλητών βαθμονόμησης στο πεδίο, μέσα στο πραγματικό ατμοσφαιρικό περιβάλλον, παρουσίασαν τις καλύτερες επιδόσεις. Έχει πλέον γίνει γενικά αποδεκτό ότι η βαθμονόμηση αισθητήρων σε εργαστηριακές συνθήκες δεν είναι επαρκής. Για ακριβή αποτελέσματα, οι αισθητήρες πρέπει να βαθμονομούνται συχνά στο πεδίο έναντι αξιόπιστων οργάνων μέτρησης. Αυτές οι προσπάθειες και εξελίξεις έχουν συμβάλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας των αισθητήρων χαμηλού κόστους, ενισχύοντας τη χρησιμότητά τους για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα σε πραγματικές συνθήκες.

Οι αισθητήρες ποιότητας αέρα λειτουργούν με τρόπο παρόμοιο με την ανθρώπινη αίσθηση, όπως όταν αγγίζουμε ένα αντικείμενο για να αντιληφθούμε αν είναι ζεστό ή κρύο ή όταν δοκιμάζουμε ένα φαγητό για να καταλάβουμε αν είναι γλυκό, πικρό ή αλμυρό. Παρόλο που τα ηλεκτρικά σήματα που παράγουν οι αισθητήρες μπορούν να μετρηθούν με υψηλή ακρίβεια, η ποσοτικοποίηση της συγκέντρωσης ενός ατμοσφαιρικού ρύπου μέσω των περισσότερων αισθητήρων χαμηλού κόστους παραμένει μια πρόκληση.

Οι δυσκολίες αυτές ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα και σχετίζονται με διάφορους παράγοντες:

1. Διασταυρούμενη ευαισθησία: Πολλοί αισθητήρες ανταποκρίνονται σε πολλαπλά χημικά είδη με διαφορετικούς βαθμούς. Για παράδειγμα, το σήμα ενός αισθητήρα NO_2 μπορεί να προκύπτει όχι μόνο από NO_2 αλλά και από όζον (O_3), διοξείδιο του θείου (SO_2) και άλλα χημικά.
2. Περιβαλλοντικές επιδράσεις: Η απόκριση των αισθητήρων επηρεάζεται συχνά από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η υγρασία. Αυτές οι μεταβλητές μπορούν να αλλοιώσουν την ακρίβεια των μετρήσεων, δημιουργώντας επιπρόσθετες προκλήσεις στον ποσοτικό προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των ρύπων.
3. Μεταβολές ευαισθησίας με την πάροδο του χρόνου: Η απόδοση των αισθητήρων μπορεί να μειώνεται λόγω της φυσικής φθοράς ή της εξάντλησης κρίσιμων υλικών, όπως οξειδοαναγωγών ειδών ή ηλεκτρολυτών στους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες.

Κεφάλαιο 2°

Επιπλέον, στους αισθητήρες στερεάς κατάστασης, η προσρόφηση ρύπων μπορεί να επηρεάσει την απόκριση.

Η κατανόηση αυτών των παραγόντων είναι κρίσιμη για τη βελτίωση της ακρίβειας των αισθητήρων και της αξιοπιστίας των μετρήσεών τους. Ειδικές μέθοδοι βαθμονόμησης, συχνή συντήρηση και αντιστάθμιση των περιβαλλοντικών μεταβλητών μπορούν να βοηθήσουν στην καλύτερη αξιοποίηση των αισθητήρων χαμηλού κόστους, παρά τις εγγενείς τους περιορισμούς.

Η μετατόπιση της γραμμής βάσης αποτελεί έναν ακόμη σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τον ποσοτικό προσδιορισμό των μετρήσεων των αισθητήρων. Αυτή η μετατόπιση μπορεί να είναι είτε θετική είτε αρνητική με την πάροδο του χρόνου και οφείλεται σε παράγοντες όπως η μόλυνση των ενεργών επιφανειών του αισθητήρα ή η συσσώρευση σωματιδίων μέσα σε αισθητήρες μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων (PM).

Η γραμμικότητα και το δυναμικό εύρος των αισθητήρων είναι επίσης σημαντικά χαρακτηριστικά. Ιδανικά, ένας αισθητήρας θα πρέπει να έχει γραμμική απόκριση σε πολλές τάξεις μεγέθους, όπως συμβαίνει με τα παραδοσιακά όργανα μέτρησης. Ωστόσο, οι αισθητήρες χαμηλού κόστους συνήθως εμφανίζουν γραμμική απόκριση σε μόνο μία ή δύο τάξεις μεγέθους, συγκριτικά με τα παραδοσιακά όργανα, τα οποία μπορούν να μετρήσουν σε πέντε τάξεις μεγέθους, όπως για παράδειγμα τα όργανα μέτρησης όζοντος μέσω απορρόφησης UV. Παρόλα αυτά, η έλλειψη μεγάλου δυναμικού εύρους δεν αποτελεί συχνά σοβαρό περιορισμό για τους αισθητήρες ποιότητας αέρα, καθώς το εύρος συγκεντρώσεων ενδιαφέροντος είναι σχετικά μικρό.

Παρόλο που αυτοί οι περιορισμοί επηρεάζουν και τα παραδοσιακά όργανα, οι μέθοδοι διόρθωσης, όπως ο συχνός μηδενισμός για την εξάλειψη της μετατόπισης της γραμμής βάσης και η βαθμονόμηση με χρήση πρότυπων αερίων, είναι καλύτερα καθιερωμένες στα παραδοσιακά συστήματα. Αυτό, ωστόσο, δεν αναιρεί τη χρησιμότητα των αισθητήρων. Αντίθετα, οι αισθητήρες μπορούν να καλύψουν σημαντικά κενά που δεν είναι πρακτικά δυνατό να καλυφθούν από συμβατικά ή μικροσκοπικά όργανα, λόγω του χαμηλού κόστους, του μικρού μεγέθους και της ευκολίας χρήσης τους.

Είναι σημαντικό, ωστόσο, να αναγνωρίζονται οι περιορισμοί των αισθητήρων και να εφαρμόζονται οι κατάλληλες διορθωτικές μέθοδοι, ώστε να επιτυγχάνονται αξιόπιστα αποτελέσματα. Με την κατάλληλη διαχείριση και κατανόηση των περιορισμών τους, οι αισθητήρες μπορούν να αποτελέσουν ένα πολύτιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα σε ευρεία κλίμακα.

Η ενσωμάτωση αισθητήρων σε συστήματα ελέγχου και αυτοματισμού έχει προσελκύσει έντονο ενδιαφέρον από την ερευνητική κοινότητα και τη βιομηχανία τα τελευταία χρόνια. Η έμφαση δίνεται στη βελτίωση αυτών των συστημάτων ώστε να ανταποκρίνονται στις προκλήσεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη και την υλοποίηση νέων εφαρμογών. Τέτοια συστήματα απαιτούν τη συνδυαστική αξιοποίηση αισθητηριακών δεδομένων και ανθρώπινης γνώσης, ώστε να εκτελούν αποδοτικά τις λειτουργίες τους, με ή χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.

Ενσωματωμένο σύστημα, πλατφόρμα Arduino και η εφαρμογή του στο περιβάλλον εργασίας.

Η ενσωμάτωση αισθητήρων σε έξυπνες συσκευές και συστήματα έχει διευρύνει τις δυνατότητες μέτρησης, ανάλυσης και διαχείρισης δεδομένων σε τοπικό επίπεδο. Οι αυτόνομοι και δικτυωμένοι αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύουν και να μετρούν επιλεκτικά ποικίλες φυσικές παραμέτρους, ενώ οι τεχνολογικές εξελίξεις στα δίκτυα σταθερής και ασύρματης πρόσβασης διευκολύνουν τη συλλογή ακατέργαστων δεδομένων, την επεξεργασία τους σε χρήσιμες πληροφορίες και τη μεταφορά τους μέσω του δικτύου.

Η έννοια της ολοκλήρωσης αισθητήρων συνδέεται στενά με τον όρο «σύντηξη αισθητήρων», η οποία ορίζεται ως «η τέχνη της επεξεργασίας δεδομένων από πολλαπλούς αισθητήρες με στόχο την αναπαράσταση ενός φυσικού περιβάλλοντος ή την επίτευξη νοημοσύνης για τον έλεγχο ενός φαινομένου με αυξημένη ακρίβεια και αξιοπιστία». Η σύντηξη αισθητήρων εξελίσσεται ταχέως ως θεμέλιο ισχυρών συστημάτων ελέγχου που μπορούν να ερμηνεύσουν ατελή δεδομένα, ακόμη και σε σύνθετα περιβάλλοντα.

Μέσα από τη συγχώνευση δεδομένων από πολλαπλούς αισθητήρες, βελτιώνεται η ακρίβεια και η απόκριση, καθιστώντας εφικτά συστήματα ελέγχου που μέχρι πρότινος θεωρούνταν μόνο θεωρητικά πιθανά. Αυτά τα συστήματα βασίζονται σε τεχνολογίες αιχμής, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η αναγνώριση προτύπων, η ψηφιακή επεξεργασία σήματος και η στατιστική εκτίμηση. Επιπλέον, οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία αισθητήρων, στις τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων και στο υλικό καθιστούν δυνατή τη συγχώνευση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η πρόοδος προσφέρει νέες δυνατότητες στην ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων ελέγχου, ενισχύοντας την ακρίβεια, την αξιοπιστία και την αποδοτικότητά τους (Air quality sensors).

2.5 Επίλογος

Για την πλήρη κατανόηση του αντικειμένου της παρούσας πτυχιακής εργασίας, είναι απαραίτητο να καθοριστεί εξ αρχής το πλαίσιο στο οποίο θα περιοριστεί η μελέτη. Το πλαίσιο αυτό περιλαμβάνει όλες τις θεωρητικές βάσεις που είναι αναγκαίες για την υλοποίηση της εργασίας, παρέχοντας μια σαφή εικόνα του συνολικού εγχειρήματος. Αυτή η προσέγγιση αποτελεί καλή πρακτική, καθώς όχι μόνο προσφέρει μια ολοκληρωμένη παρουσίαση του θέματος, αλλά βοηθά και στην πρόληψη πιθανών λαθών ή αποτυχιών κατά την εφαρμογή.

Η συνεχής εκβιομηχάνιση και η έντονη αστικοποίηση έχουν δημιουργήσει έναν κόσμο γεμάτο ρύπους, που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Αυτοί οι ρύποι έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία, καθώς οι άνθρωποι εκτίθενται καθημερινά σε σωματίδια του αέρα, όπως τα PM_{2.5}, τα οποία έχουν διάμετρο μόλις 2,5 μικρόμετρα. Η έκθεση σε αυτά τα σωματίδια μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα υγείας, ακόμη και πρόωρο θάνατο.

Ο μόνος τρόπος για τη μείωση της έκθεσης σε αυτούς τους ρύπους είναι η συστηματική ενημέρωση για την ποιότητα του αέρα, μέσω ειδήσεων, διαδικτύου ή εφαρμογών καιρού. Επίσης, δραστηριότητες που απαιτούν έντονη αναπνοή, όπως η γυμναστική ή ο αθλητισμός, θα πρέπει να εκτελούνται σε περιοχές με χαμηλή συγκέντρωση σκόνης και άλλων ρύπων.

Ένα σημαντικό μέρος της παρούσας μελέτης αφορά τα συστήματα Arduino, τα οποία έχουν αποκτήσει παγκόσμια αποδοχή λόγω της ευελιξίας, της ευκολίας χρήσης και του χαμηλού κόστους τους. Αυτά τα συστήματα, που βασίζονται σε λογισμικό ανοιχτού κώδικα, επιτρέπουν στους χρήστες να αναπτύσσουν και να προγραμματίζουν διάφορες εφαρμογές, γεγονός που τα καθιστά εξαιρετικά δημοφιλή.

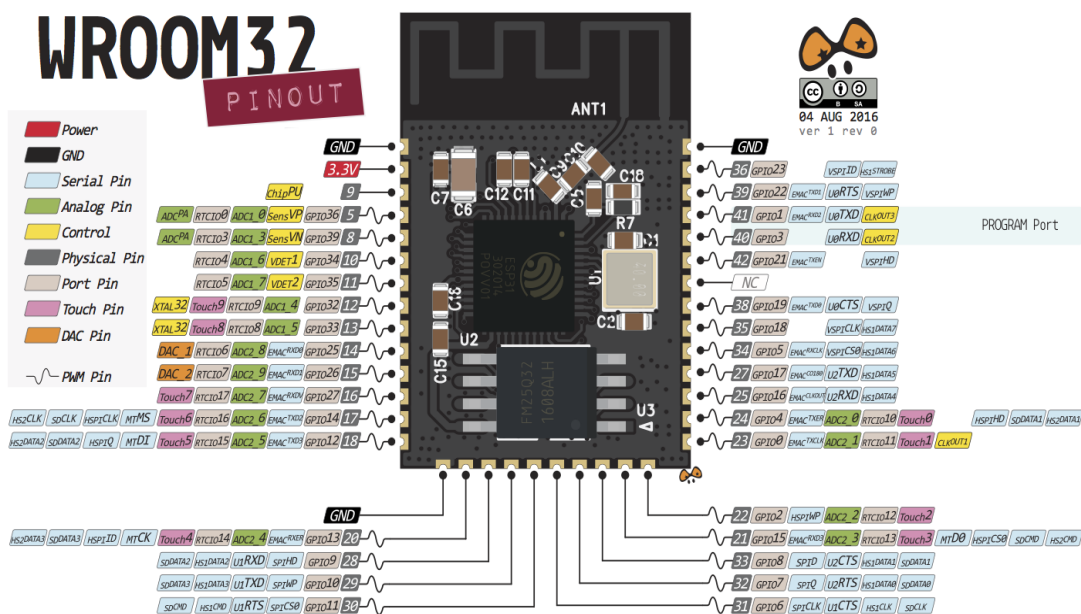
Η πτυχιακή εργασία δίνει ιδιαίτερη έμφαση στους αισθητήρες, οι οποίοι είναι θεμελιώδεις για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα. Έγινε αναλυτική αναφορά στη δομή και τους διάφορους τύπους αισθητήρων, καθώς και στο πώς η μικροτεχνολογία προωθεί τη συνεχή εξέλιξή τους. Οι αισθητήρες νέας γενιάς είναι πλέον πιο οικονομικοί, μικρότεροι σε μέγεθος και πιο αποδοτικοί, καθιστώντας τους ιδανικούς για εφαρμογές σε συστήματα παρακολούθησης και αυτοματισμού.

Η εργασία εξετάζει πώς η σύγχρονη τεχνολογία μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας ζωής μέσω της μέτρησης και του ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ενώ παράλληλα προτείνει λύσεις βασισμένες σε καινοτόμα συστήματα και αισθητήρες.

Κεφάλαιο 3ο: Ανάλυση της σχεδίασης και της υλοποίησης της συσκευής

3.1 Εισαγωγή

Η σχεδίαση και υλοποίηση ενός συστήματος Indoor Air Quality Monitor με βάσει όλα όσα είπαμε παραπάνω, θα πρέπει να παρέχει μια ολοκληρωμένη λύση για τη μέτρηση παραμέτρων όπως τα σωματίδια PM2.5 (Particle Matter μικρότερη από 2.5 μικρόμετρα), τα επίπεδα περιεκτικότητας CO2 στον αέρα και οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs). Επιπρόσθετα η ένδειξη της υγρασίας κρίθηκε πολύ σημαντική εφόσον μπορεί να επιταχύνει χημικές ενώσεις από Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs) με ατμοσφαιρικά οξειδωτικά όπως είναι οι ρίζες υδροξυλίου (OH) και το όζον (O3). Αυτές οι χημικές ενώσεις μπορεί να δημιουργήσουν ακόμα πιο τοξικές ουσίες, όπως είναι η φορμαλδεΐδη και άλλες αλδεΐδες που επιδεινώνουν την ποιότητα του αέρα περαιτέρω.



Σχήμα 3.1: ESP32-Wroom Module Pinout

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω, σχεδιάστηκε ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί 3 αισθητήρες, έναν αισθητήρα PMS5003 της εταιρείας PLANTOWER με την δυνατότητα μέτρησης Particle Matter (PM μικροσωματίδια) με μέγεθος από PM10 (10 μικρόμετρα), PM2.5 (2.5 μικρόμετρα) αλλά ακόμα μέχρι και PM1 (1 μικρόμετρο). Έναν αισθητήρα περιεκτικότητας διοξειδίου του άνθρακα CO2 στην ατμόσφαιρα MH-Z19B της εταιρείας Winsen. Και τέλος έναν αισθητήρα θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης και Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOCs).

Στην καρδιά του συστήματος κρύβεται ένα module ESP32-WROOM-32 με ενσωματωμένη κεραία για επικοινωνία WiFi/Bluetooth, η επιλογή του συγκεκριμένου module έγινε με βασικό κριτήριο την πλούσια υποστήριξη πολλαπλών περιφερειακών στα GPIO (General Purpose Input Outputs) που μπορεί να προσφέρει όπως είναι οι τρεις σειριακές επικοινωνίες (UART0, UART1, UART2) τις οποίες μπορεί το module να διαχειριστεί σε hardware επίπεδο, μία θύρα

I2C, δύο 12-bit ADC (Analog to Digital Converters) με συνολικά 16 κανάλια και άλλα πολλά. Τα οποία μπορούμε να δούμε αναλυτικά στο Σχήμα 3.1.

Επιπρόσθετα, η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας που προσφέρει είναι αξιοζήλευτη διότι κοστίζει μόνο 2,72€ στην mouser, έχει μεγάλη υποστήριξη από την κοινότητα εφόσον είναι ένας πολύ διαδεδομένος μικροελεγκτής, ο οποίος μπορεί να προγραμματιστεί μέσα από την πλατφόρμα του Arduino όπως είδαμε παραπάνω, το οποίο απλουστεύει την διαδικασία ανάπτυξης του λογισμικού της συσκευής, έχοντας υποστήριξη από την κοινότητα με την μορφή ανοιχτού κώδικα βιβλιοθηκών για περιφερειακά και αισθητήρια. Τέλος, η πολύ υψηλή του υπολογιστική ισχύς είναι ένα χαρακτηριστικό που δεν μπορούμε να παραβλέψουμε καθώς στην καρδιά του κρύβεται ένας Dual-core επεξεργαστής αρχιτεκτονικής Xtensa LX6 που επιτρέπει αποδοτικό multitasking και ταχύτητες μέχρι και 240MHz, σημαντικά γρηγορότερο από πολλές εναλλακτικές όπως το ATmega328 το οποίο φτάνει μέχρι μόνο 16MHz στο Arduino UNO.

Για την αλληλεπίδραση του χρήστη με την συσκευή και για την ενημέρωση του για τα επίπεδα των αισθητήρων έχει χρησιμοποιηθεί μια TFT LCD οθόνη η οποία έχει μέγεθος 3.2 ΄ιντσες και ομική οθόνη αφής μαζί με έναν ελεγκτή για το διάβασμα της αφής touch screen controller,

Επιπλέον έχει προστεθεί ένας βομβητής (buzzer), μαζί με το κύκλωμα οδήγησης του, το οποίο κρίνεται απαραίτητο διότι λειτουργεί στα 5V ενώ τα General Purpose Input Output (GPIO) του ESP32 έχουν μια τάση εξόδου για το λογικό ένα ίση με 3.3V, ο οποίος θα μας φανεί ιδιαίτερα χρήσιμος για την ενημέρωση του χρήστη της συσκευής ότι τα επίπεδα των ρύπων έχουν φτάσει σε επικινδυνά επίπεδα.

Για την επικοινωνία με τον οποιοδήποτε ηλεκτρονικό υπολογιστή, για τον προγραμματισμό και για ευκολότερη αποσφαλμάτωση (debugging) χρησιμοποιήθηκε ένα CP2102N το οποίο είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που λειτουργεί σαν γέφυρα μεταξύ του ESP32 και έναν δίαυλο επικοινωνίας USB.

Τέλος, ένας γραμμικός σταθεροποιητής τάσης LD39200PU33R αξιοποιήθηκε για την μετατροπή της τροφοδοσίας της τάσης εισόδου 5V από την θύρα USB σε 3.3V που χρησιμοποιούνται από το ESP32, την οθόνη, και τον αισθητήρα BME680. Με μέγιστο ρεύμα εξόδου δύο Αμπέρ είναι υπεραρκετός για να υποστηρίξει τις απαιτήσεις ρεύματος του συστήματος.

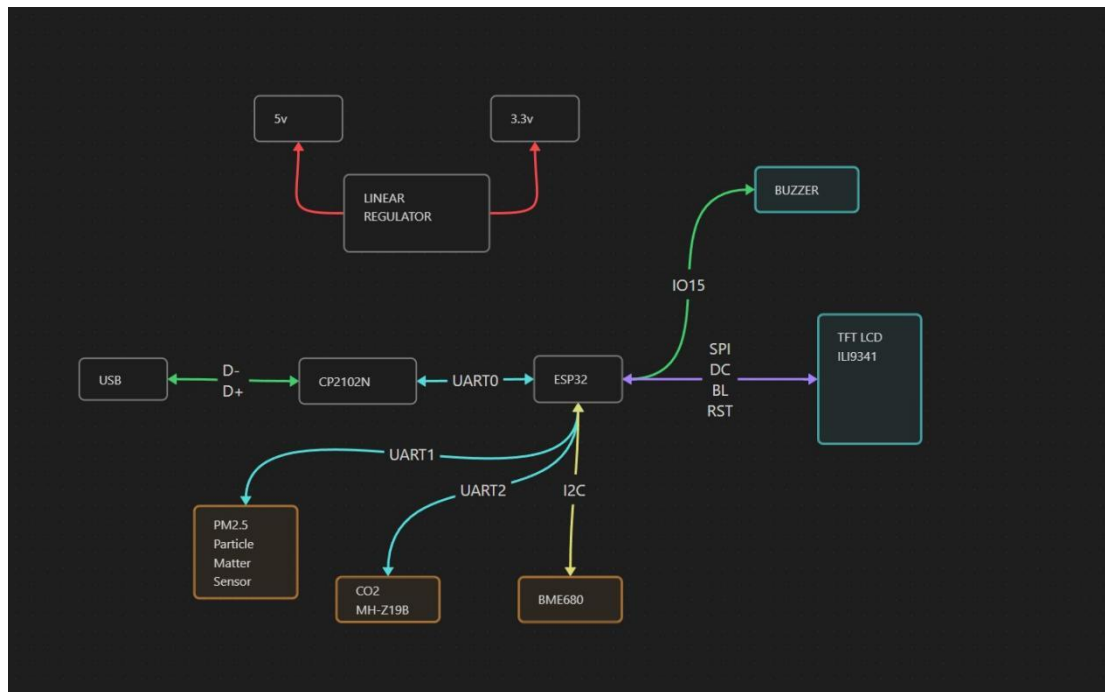
3.2 Αρχιτεκτονική συστήματος

3.2.1 Block diagram

Ένα block diagram είναι μια γραφική αναπαράσταση από ένα ηλεκτρονικό σύστημα η κύκλωμα, όπου κάθε λειτουργική μονάδα αναπαρίσταται από ένα block το οποίο συνδέεται με γραμμές, οι οποίες μπορεί να αναπαριστούν σήματα, ρεύμα και δεδομένα με τα υπόλοιπα block του συστήματος.

Ο σκοπός του είναι η απλοποίηση του συστήματος χωρίζοντας ένα σύνθετο σύστημα σε απλά κατανοητά υπό-συστήματα. Που επιτρέπει στους μηχανικούς να επικοινωνήσουν την υψηλού επιπέδου λειτουργικότητα ενός συστήματος χωρίς να εντρυφήσουν σε πολύ περίπλοκες λεπτομέρειες του συστήματος. Και τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν blueprint για τον σχεδιασμό, την ανάλυση και την αποσφαλμάτωση συστημάτων από τους μηχανικούς. Για τους

λόγους που προαναφέρθηκαν έχει δημιουργηθεί ένα block diagram σαν αυτό που αναλύσαμε. Το οποίο μας έδωσε την δυνατότητα να αναπαραστήσουμε γραφικά όλα τα περιφερειακά και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας τους.



Σχήμα 3.2: System Block Diagram

Παραπάνω βλέπουμε το Σχήμα 3.2, ένα block diagram που κατασκευάστηκε, στο οποίο φαίνονται ξεκάθαρα πλέον οι 3 αισθητήρες, ο βομβητής, η οθόνη, το CP2102N, και ο μικροελεγκτής ESP32 και πώς όλα αυτά αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους.

Η διαδικασία αυτή μας βοήθησε αρκετά και με το Pinout Table το οποίο θα αναλύσουμε παρακάτω. Επιπλέον, είναι ένας πίνακας που αναλύει όλα τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και τις εξόδους του ESP32 με αντιστοιχία τα συγκεκριμένα GPIO (General Purpose Input Outputs) και τα φυσικά pins του ολοκληρωμένου, τα οποία φάνηκαν ιδιαίτερα χρήσιμα αργότερα στον σχεδιασμό της πλακέτας.

Η θύρα USB συνδέεται με δύο σήματα τα D- και D+ με το CP2102N το οποίο με την σειρά του μέσα από μία σειριακή επικοινωνία (UART0) επικοινωνεί με τον εγκέφαλο του συστήματος ESP32. Μέσα από την οποία μπορεί όχι μόνο να επικοινωνεί μαζί του κατά την διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος αλλά και να τον προγραμματίσει.

Ο αισθητήρας PMS5003 και ο αισθητήρας MH-Z19B χρησιμοποιούν και αυτοί από μία σειριακή επικοινωνία (UART1, UART2), ευτυχώς το ESP32 έχει 3 ακριβώς σειριακές επικοινωνίες (UART0, UART1, UART2) και μπορούμε να επικοινωνήσουμε με όλα τα περιφερειακά.

Ο αισθητήρας BME680 χρησιμοποιεί έναν δίαυλο επικοινωνίας I2C ο οποίος είναι ένας σειριακός δίαυλος που δημιουργήθηκε από την Phillips, χρησιμοποιεί μόνο δύο καλώδια και επιτρέπει σε πολλές συσκευές να συνδεθούν όλες επάνω σε αυτόν τον ίδιο δίαυλο.

Ο βομβητής η αλλιώς buzzer συνδέεται σε ένα απλό GPIO (General Purpose Input Output) του ESP32. Και τέλος η οθόνη αξιοποιεί ένα Serial peripheral interface (SPI) που είναι ένας διάυλος επικοινωνίας που χρησιμοποιεί τρία καλώδια και επιτρέπει σε πολλές συσκευές να συνδεθούν μεταξύ τους σε μία διάταξη master και slaves στην οποία ο master έχει τον έλεγχο και στέλνει οδηγίες και ελέγχει τους slaves. Είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας με υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων που έχει σχεδιαστεί για board-level επικοινωνία και κυρίως για μικρές αποστάσεις.

3.2.2 ESP32 Pinout Table

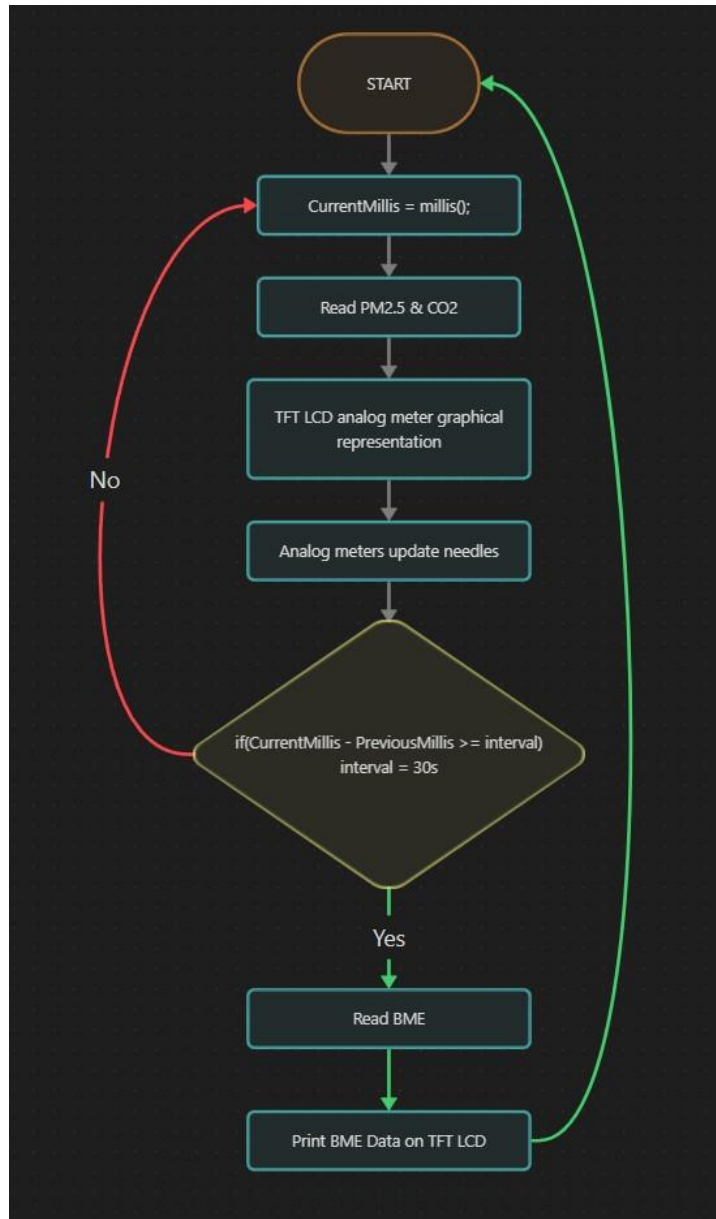
ID	Περιφερειακό	Λειτουργεία	GPIO pin	Physical Pin
1	TFT	SPI_MOSI	IO23	37
2		SPI_MISO	IO19	31
3		SPI_CLK	IO18	30
4		TFT_CS	IO5	29
5		TOUCH_CS	IO27	12
6		SD_CS	IO17	13
7		TFT_RESET	IO33	9
8		TFT_DC	IO2	24
9	PMS5003	UART1_TX	IO16	27
10		UART1_RX	IO17	28
11		PMS_SET	IO13	16
12	MH-Z19B	UART2_TX	IO25	10
13		UART2_RX	IO26	11
14	BME680	I2C_SDA	IO21	33
15		I2C_SCL	IO22	36
16	BUZZER	PWM_OUTPUT	IO15	23

Ο παραπάνω πίνακας είναι ένα Pinout Table στο οποίο έχουμε ορίσει όλα τα pins που χρειάζονται οι περιφερειακές μας συσκευές, και πως αυτές αντιστοιχούνται σε επίπεδο κώδικα στα GPIO pins αλλά ακόμα και σε φυσικό επίπεδο Physical pins στην πλακέτα. Τα οποία είναι κρίσιμα για την ανάπτυξη του κώδικα της συσκευής αλλά και της πλακέτας αργότερα. Για την σωστή λειτουργεία και για την βέλτιστη ταχύτητα επικοινωνίας μεταξύ των περιφερειακών και του μικροελεγκτή. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας όλων αυτών των περιφερειακών αντιστοιχούν το κάθε ένα σε ένα συγκεκριμένο GPIO και Physical pin, εφόσον το ESP32 σε συγκεκριμένα pins μπορεί να προσφέρει πρωτόκολλα επικοινωνίας σε hardware επίπεδο. Που σημαίνει δηλαδή ότι η μετάφραση των πρωτόκολλων επικοινωνίας συμβαίνει αποκλειστικά από κυκλώματα μέσα στο ESP32 που διαχειρίζονται όλη την λογική. Αυτό έχει σαν πλεονέκτημα την αξιοπιστία και τους μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Στο Σχήμα 3.1 φαίνονται όλα τα GPIO που μας προσφέρει το ESP32-WROOM-32 module και ποια είναι η αντιστοιχία τους με αυτές τις hardware θύρες επικοινωνίας. (π.χ. Τα GPIO23,19,18 είναι συγκεκριμένα η θύρα VSPI την οποία έχουμε χρησιμοποιήσει για την επικοινωνία της TFT LCD με τον μικροελεγκτή.)

3.3 Υλοποίηση Software

3.3.1 Διάγραμμα ροής

Ένα διάγραμμα ροής (flowchart) στον προγραμματισμό είναι μια γραφική αναπαράσταση της λογικής και της ροής ενός προγράμματος ή μιας διαδικασίας. Χρησιμοποιεί συγκεκριμένα σχήματα για να περιγράψει το κάθε βήμα του προγράμματος, αποφάσεις και ροές δεδομένων.



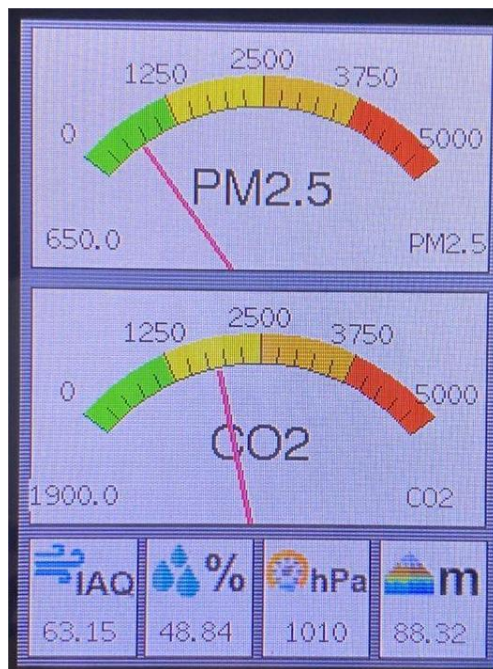
Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ροής του λογισμικού

Παραπάνω στο σχήμα φαίνεται ένα διάγραμμα ροής το οποίο κατασκευάστηκε και για να μας βοηθήσει στην ανάπτυξη του λογισμικού της συσκευής αλλά και για να απλουστεύσει την διαδικασία αποσφαλμάτωσης. Αρχικά παίρνουμε μέτρηση των millisecond για τα οποία η συσκευή βρίσκεται σε λειτουργία χρησιμοποιώντας την συνάρτηση millis() από την πλατφόρμα του Arduino. Στην συνέχεια διαβάζουμε τους αισθητήρες PM2.5 και διοξειδίου του άνθρακα CO2. Και τα αναλογικά όργανα εκτυπώνονται στην οθόνη ανανεώνοντας την τιμές

μόνο των βελονών των οργάνων με βάση τις τιμές που διαβάσαμε προηγουμένως για τους αισθητήρες PM2.5 και CO2. Εάν λοιπόν στην συνέχεια ισχύει η συνθήκη που σημαίνει ότι έχουν περάσει 30 δευτερόλεπτα από την προηγούμενη μέτρηση του αισθητήρα BME680, τότε και μόνο τότε το πρόγραμμα συνεχίζει και διαβάζει τον αισθητήρα BME και εκτυπώνει τα αποτελέσματα της μέτρησης στην TFT LCD. Αλλιώς ξανά γυρνάει στην αρχή της loop και ξανά διαβάζει και εκτυπώνει στην TFT LCD, τις τιμές των PM2.5 και CO2.

3.3.2 Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη (GUI)

Ένα γραφικό περιβάλλον χρήστη (GUI) είναι ένας τύπος διεπαφής χρήστη που τους επιτρέπει όχι μόνο να αλληλοεπιδρούν με ένα σύστημα μέσω οπτικών στοιχείων, όπως παράθυρα, εικονίδια, αλλά και γραφικά εξαρτήματα. Σε αντίθεση με τις διεπαφές που βασίζονται σε κείμενο και απαιτούν εντολές γραμμής, τα GUI μεταμορφώνουν τα συστήματα κάνοντας τα πιο διαισθητικά και προσιτά, επιτρέποντας πλοήγηση με σημεία, ενέργειες μεταφοράς, καθώς και χειρονομίες αφής. Χρησιμοποιώντας ένα τέτοιο γραφικό περιβάλλον χρήστη μειώνεται η καμπύλη εκμάθησης της συσκευής για τους χρήστες, παρουσιάζοντας οπτικά τις πληροφορίες. Ένα τέτοιο γραφικό περιβάλλον χρήστη λοιπόν αναπτύχθηκε και ενσωματώθηκε στην συσκευή που υλοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.



Σχήμα 3.4: Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη.

Στο οποίο σκοπός ήταν η σαφή σχεδίαση, συνέπεια και ανταποκρισιμότητα για να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη αλληλεπίδραση. Δύο τύπου αναλογικά όργανα έχουν χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση των επιπέδων των ρύπων PM2.5 και CO2. Και τέλος, κάποια εικονίδια σε συνδυασμό με 4 τετράγωνα στο κάτω μέρος της οθόνης όπου αναγράφονται οι τιμές που επιστρέφει ο αισθητήρας BME680, αυτές είναι: Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs), υγρασία, Πίεση, Υψόμετρο. Από αριστερά προς τα δεξιά όπως εμφανίζονται και στο γραφικό περιβάλλον χρήστη.

3.3.3 Ανάλυση δομής του προγράμματος

Στο Arduino IDE υπάρχουν έτοιμες για χρήση από τον χρήστη συναρτήσεις όπως η void setup() και η void loop(). Η Setup() τρέχει μόνο μια φορά κατά την εκκίνηση του μικροελεγκτή και εκεί συνήθως βρίσκονται αρχικοποιήσεις και δηλώσεις όλων των περιφερειακών και των λειτουργιών του κάθε pin που θα χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια. Παρακάτω στο σχήμα βλέπουμε ένα κομμάτι από την void setup() που αναπτύχθηκε συγκεκριμένα για την συσκευή μας.

```
void setup()
{
  //set buzzer to off.
  pinMode(15, OUTPUT);
  pinMode(0, INPUT); //zero calibration check for CO2 sensor.
  digitalWrite(15, LOW);
  Serial.begin(115200);

  //Initializing SPIFFS file system.
  if (!SPIFFS.begin(FORMAT_SPIFFS_IF_FAILED)) {
    Serial.println("SPIFFS initialisation failed!... Formatting...");
    return;
  }
  //while (1) yield();
}

//TFT initialization
tft.init();
tft.setRotation(0);
tft.setTextColor(TFT_BLACK, TFT_WHITE);
tft.fillRect(TFT_GREY);
tft.fillRect(5, 256, 55.75, 60, TFT_WHITE);
tft.drawRect(5, 256, 55.75, 60, TFT_BLACK);
drawBmp("/VOC.bmp", 6, 258);

tft.fillRect(63.75, 256, 55.75, 60, TFT_WHITE);
tft.drawRect(63.75, 256, 55.75, 60, TFT_BLACK);
drawBmp("/hum.bmp", 64.75, 258);

tft.fillRect(122.5, 256, 55.75, 60, TFT_WHITE);
tft.drawRect(122.5, 256, 55.75, 60, TFT_BLACK);
drawBmp("/pressure.bmp", 123.5, 258);

tft.fillRect(181.25, 256, 55.75, 60, TFT_WHITE);
tft.drawRect(181.25, 256, 55.75, 60, TFT_BLACK);
```

Σχήμα 3.5: Κώδικας arduino

```
void loop()
{
  unsigned long currentMillis = millis();

  //Measuring PM25 & CO2
  readPM25();
  CO2 = myMHZ19.getCO2();
  tftMeterClean();
  UpdateMeterNeedles();
  //Measuring BME temp hum alt This runs every 30s...
  if(currentMillis - previousMillis >= interval) {
    previousMillis = currentMillis;
    GetDataBME();
    printBMEtft();
    //Serial.println(bme.readGas());
  }
}
```

Σχήμα 3.6: Main loop

Στο οποίο φαίνεται η αρχικοποίηση και η δήλωση της ακίδας που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο του βομβητή (buzzer). Έπειτα γίνεται αρχικοποίηση της βιβλιοθήκης SPIFFS. Το

SPIFFS (SPI Flash File System) είναι ένα σύστημα αρχείων σχεδιασμένο για μικροελεγκτές και χρησιμοποιεί για την αποθήκευση των δεδομένων την flash μνήμη του module.

Τέλος βλέπουμε και την αρχικοποίηση της οθόνης TFT LCD και έπειτα την εκτύπωση διάφορον στοιχείων του User Interface (π.χ. Τα τετράγωνα στο κάτω μέρος της οθόνης που εμφανίζονται τα δεδομένα του BME680). Η loop () αντιθέτως τρέχει ακριβώς αμέσως μετά από την Setup() και συνεχίζει να εκτελείτε ατέρμων. Επομένως αυτή είναι και που περιέχει το κυρίως πρόγραμμα.

Στο σχέδιο παραπάνω φαίνεται η συνάρτηση loop όπως γράφτηκε για την υλοποίηση της συσκευής. Μέσα στην loop συμβαίνει η κύρια εκτέλεση του προγράμματος, της οποίας την ροή αναλύσαμε και κατανοήσαμε κατά την κατασκευή του διαγράμματος ροής που έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο (εισαγωγή κεφαλαίου). Αρχικά διαβάζεται ο αισθητήρας PMS5003 με την συνάρτηση readPM25, Έπειτα παίρνουμε την τιμή του MH-Z19B και την αποθηκεύουμε στην μεταβλητή CO2. Στην συνέχεια τρέχει η συνάρτηση tftMeterClean; η οποία “ασπρίζει” αφαιρεί ορισμένα κομμάτια της διεπαφής χρήστη στην οθόνη, συγκεκριμένα όταν οι τιμές είτε του PM2.5 είτε του CO2 πέσουν κάτω από 1000ppm από τέσσερα ψηφία που έπρεπε να υπάρχουν στην εμφάνιση της οθόνης τα ψηφία γίνονται τρία <999ppm. Η διεπαφή χρήστη δεν ανανεώνεται ολόκληρη, αλλά μόνο τμηματικά.

Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο προκύπτει η συγκεκριμένη ανάγκη, να καθαρίζεται η οθόνη από τα παλιά δεδομένα πριν εκτυπωθούν τα καινούργια, για την ομαλή απεικόνιση των δεδομένων και των γραφικών στοιχείων της διεπαφής. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για την συνάρτηση Updatemeterneedles, η οποία ανανεώνει την θέση των βελονών των οργάνων ανάλογα με τις τιμές που διαβάστηκαν προηγουμένως. Τέλος, κάθε 30 δευτερόλεπτα τρέχουν και οι δύο τελευταίες συναρτήσεις η GetDataBME και η printBMETft οι οποίες διαβάζουν, αποθηκεύουν και εκτυπώνουν τις τιμές των μετρήσεων που μας δίνει ο BME680.

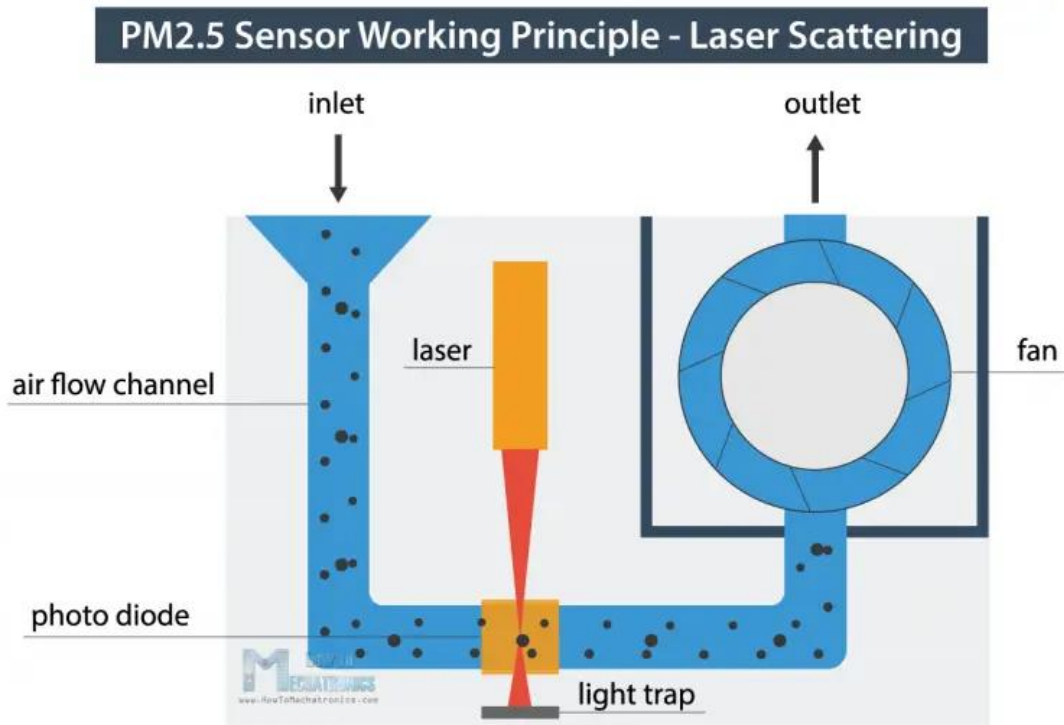
3.4 Αισθητήρες και αρχή λειτουργίας των αισθητήρων

3.4.1 PMS5003

Ο PMS5003 είναι ένας ψηφιακός αισθητήρας συγκέντρωσης γενικών σωματιδίων. Ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σύλληψη ενός αριθμού αιωρούμενων σωματιδίων στον αέρα την μέτρηση τους και την έξοδο αυτού του αριθμού σε μορφή ενός ψηφιακού πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Τα σωματίδια που μπορεί να ανιχνεύσει ο συγκεκριμένος αισθητήρας είναι Particle Matter (PM μικροσωματίδια) με μέγεθος από PM10 (10 μικρόμετρα), PM2.5 (2.5 μικρόμετρα) αλλά ακόμα μέχρι και PM1 (1 μικρόμετρο). Αυτός ο αισθητήρας λειτουργεί με βάση την αρχή της σκέδασης του φωτός. Ένα λέιζερ δημιουργεί μια ακτίνα φωτός η οποία με διάφορα οπτικά συγκεντρώνεται σε ένα μικρό σημείο μέσα στον θάλαμο μέτρησης του αισθητήρα.

Όταν κάποιο σωματίδιο βρεθεί μπροστά στην δέσμη λέιζερ τότε το φως ανακλάται προς πολλές κατευθύνσεις, και στην συνέχεια ανιχνεύεται από μία φωτοδίοδο οπού με την βοήθεια ενός

μικροελεγκτή που κρύβεται μέσα στον αισθητήρα, υπολογίζεται και εμφανίζεται στην θύρα εξόδου της σειριακής επικοινωνίας UART.

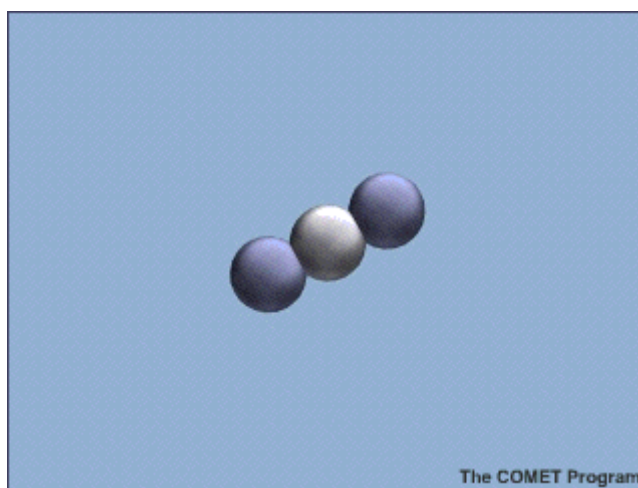


Σχήμα 3.7: Αρχή λειτουργίας του PMS5003 [24]

Από το παραπάνω σχήμα μπορούμε πιο αναλυτικά να καταλάβουμε την αρχή λειτουργίας του αισθητήρα. Ένας ανεμιστήρας (fan) βρίσκεται στην έξοδο του θαλάμου μέτρησης (airflow channel) ο οποίος σπρώχνει αέρα από τον θάλαμο μέτρησης έξω στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα νέος και φρέσκος αέρας από το περιβάλλον να εισέρχεται στη συνέχεια από την είσοδο του θαλάμου μέτρησης. Ο νέος και φρέσκος αυτός αέρας θα μεταφέρει Particle Matter (PM μικροσωματίδια) τα οποία θα αναγκαστούν να περάσουν μπροστά από την δέσμη λέιζερ με αποτέλεσμα την σκέδαση του φωτός και την μέτρηση αυτών των αλλαγών της φωτεινής δέσμης από την φωτοδίοδο.

3.4.2 CO₂ MH-Z19B

Ο MH-Z19B της εταιρείας Winsen χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα CO₂ στον αέρα. Ο αέρας στην ατμόσφαιρα είναι καθαρός και διάφανος. Τουλάχιστον στο ορατό φάσμα. Στα υπέρυθρα μήκη κύματος το διοξείδιο του άνθρακα που περιέχει η ατμόσφαιρα εμφανίζεται “σκοτεινό”. Αυτό συμβαίνει διότι το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ είναι ένα αέριο που έχει την ικανότητα να απορροφά υπέρυθρη ακτινοβολία. Το CO₂ έχει τρία άτομα, ένα άνθρακα και δύο οξυγόνα, με αποτέλεσμα το σχήμα του να του παρέχει την δυνατότητα να βρεθεί σε δόνηση εύκολα και με πολλούς τρόπους.

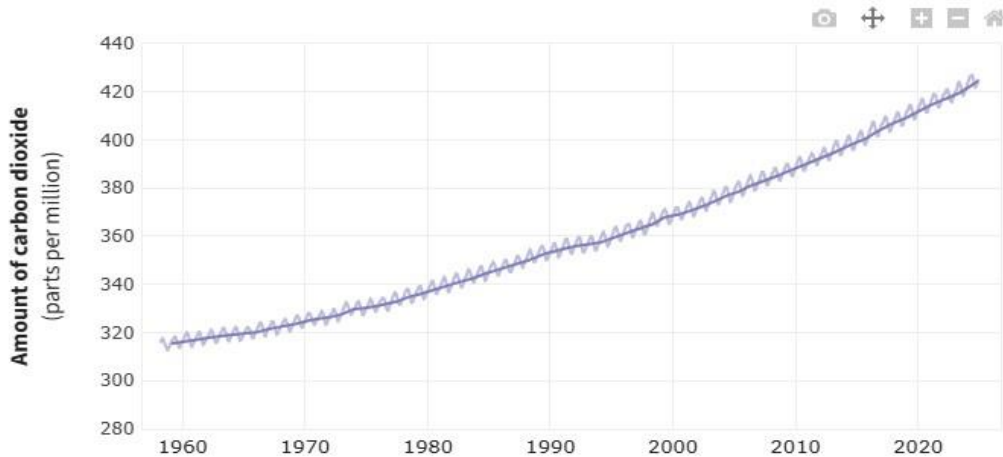


Σχήμα 3.8: Μόριο CO₂ ανακλά υπερίωδη ακτινοβολία [19]

Παραπάνω στο σχήμα βλέπουμε ένα animation, το οποίο είναι μια απλοποίηση αυτής της διαδικασίας, βλέπουμε δηλαδή ένα φωτόνιο υπέρυθρης ακτινοβολίας να απορροφάτε από το μόριο του διοξειδίου του άνθρακα CO₂ [19], η ενέργεια του φωτονίου προκαλεί το μόριο του διοξειδίου του άνθρακα να δονείται με ακόμα μεγαλύτερη ταχύτητα. Μετά από ένα διάστημα το μόριο δίνει πίσω όλη αυτήν την ενέργεια που έλαβε μετατρέποντάς την σε ακόμα ένα φωτόνιο και θερμότητα. Στον πραγματικό κόσμο τα μόρια είναι σε συνεχή κίνηση, συγκρούονται με άλλα μόρια και μεταφέρουν κινητική ενέργεια από το ένα μόριο στο άλλο. Έτσι τα μόρια του διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να μεταφέρουν την ενέργεια που απορρίφθηκε από το φωτόνιο σε ένα άλλο μόριο, αυξάνοντας την ταχύτητα της κίνησης αυτού του μορίου. Η θερμοκρασία ενός αερίου είναι τιμή της ταχύτητας των μορίων μέσα σε ένα αέριο, τα γρηγορότερα κινούμενα μόρια που προκαλούνται τελικά από όλα όσα είπαμε παραπάνω, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του αερίου.

Τέλος συνοψίζοντας για το διοξείδιο του άνθρακα, αν και είναι μόνο ένα ίχνος από τα αέρια στην ατμόσφαιρα, τα μόρια του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι μόνο 410 περίπου για κάθε ένα εκατομμύριο μόρια της ατμόσφαιρας, σύμφωνα με την ετήσια αναφορά από το NOAA's Global Monitoring Lab το 2023 η παγκόσμια μέση συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι μόλις 419.3ppm (parts per million) [18]. Παρά την μηδαμινή του συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα, έχει καταστροφικές επιπτώσεις εφόσον είναι ένα από τα αέρια που παίζουνε κύριο ρόλο στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

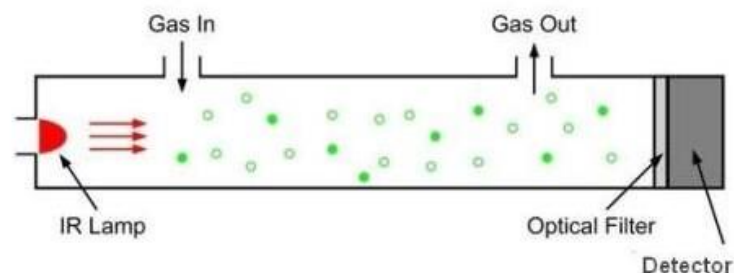
ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE



Σχήμα 3.9: Η αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα ανά τα χρόνια [18]

Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα CO₂ στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί δραματικά από το 1960, όπου βρίσκεται περίπου στα 320ppm, φτάνοντας 419.3ppm το 2023, Πράγμα που ανησυχεί τους επιστήμονες διότι από το 1960 και μετά, ο ετήσιος ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχει τριπλασιαστεί. Ο ρυθμός αυτός υπολογίζεται ότι είναι 100 φορές πιο γρήγορος από αυτές που συνέβησαν 11000-17000 χρόνια πριν κατά την διάρκεια της τελευταίας εποχής των παγετώνων [18].

Αξιοποιώντας λοιπόν αυτή την καταστροφική ιδιότητα του διοξειδίου του άνθρακα CO₂, ο MH-Z19B μπορεί να μετρήσει την περιεκτικότητα του διοξειδίου του άνθρακα CO₂ στην ατμόσφαιρα. Αυτή η αρχή λειτουργίας αισθητηρίων ονομάζεται από την βιομηχανία ως NDIR (non-dispersive infrared.), με την έννοια του ότι δεν υπάρχει κανένα στοιχείο διασποράς (dispersive element π.χ. ένα πρίσμα ή ένα πλέγμα περίθλασης), Η πλειοψηφία των NDIR χρησιμοποιεί μία ευρυζωνική πηγή φωτός και έπειτα ένα οπτικό φίλτρο το οποίο βρίσκεται μπροστά από τον ανιχνευτή θα φιλτράρει όλες τα υπόλοιπα μήκη κύματος εκτός του μήκους κύματος που απορροφάτε από το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ [21].



Σχήμα 3.10: Αρχή λειτουργίας του MH-Z19B [22]

Με το σχήμα παραπάνω φαίνεται πιο ξεκάθαρα αυτή η διαδικασία. Βλέπουμε τον θάλαμο μέτρησης την είσοδο του αερίου από την μία άκρη του θαλάμου μέτρησης και την έξοδο του από την άλλη άκρη του θαλάμου. Αρχικά μία IR λάμπα ανάβει για κάποια δευτερόλεπτα η οποία εκπέμπει ένα ευρύ φάσμα υπέρυθρης ακτινοβολίας [20]. Τα φωτόνια που εκπέμπονται από την IR λάμπα στην συνέχεια συγκρούονται με τα μόρια του διοξειδίου του άνθρακα CO₂ που βρίσκονται μέσα στον θάλαμο μέτρησης εκείνη την δεδομένη χρονική στιγμή.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι ο θάλαμος μέτρησης είναι έτσι σχεδιασμένος ώστε να αντανακλά όσο περισσότερη υπέρυθρη ακτινοβολία γίνεται [23], έτσι στον συγκεκριμένο αισθητήρα ο θάλαμος μέτρησης και το εξωτερικό περίβλημα του αισθητήρα είναι επιχρυσωμένα. Όσα φωτόνια καταφέρουν τελικά να φτάσουν μέχρι την άλλη άκρη του θαλάμου μέτρησης, περνάνε μέσα από ένα οπτικό φίλτρο το οποίο απορροφά τα περισσότερα από αυτά αφήνοντας να περάσουν μόνο φωτόνια με μήκος κύματος στα 4.26μm που είναι κυρίως το μέγεθος του μήκους κύματος των φωτονίων το οποίο ανακλάται από τα μόρια του διοξειδίου του άνθρακα CO₂.

Τέλος ένας ανιχνευτής ανιχνεύει τις αλλαγές αυτές στην ένταση του φωτός, με αποτέλεσμα αυτή η μείωση της έντασης του φωτός να είναι ανάλογη με την συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα CO₂ μέσα στον θάλαμο μέτρησης. Το σήμα εξόδου του ανιχνευτή και ένα σήμα αναφοράς για την ένταση του φωτός, θα αναλυθούν και θα υπολογισθούν από ολοκληρωμένα κυκλώματα γύρω από τον αισθητήρα.

Τέτοια ολοκληρωμένα κυκλώματα μπορεί να είναι ADCs (Analog to Digital Converters), factory calibration circuits, και επεξεργαστές με αλγόριθμους αντιστάθμισης που παίρνουν σαν είσοδο θερμοκρασίες, υγρασίες, και ατμοσφαιρικές πιέσεις, παραμέτρους δηλαδή που μπορεί να επηρεάσουν την τελική μέτρηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα CO₂. Η έξοδος των τελικών δεδομένων γίνεται από μία πόρτα σειριακής επικοινωνίας που χρησιμοποιεί ο MH-Z19B σαν έξοδο την οποία μπορούμε εύκολα να διαβάσουμε με τον μικροελεγκτή της συσκευής.

3.4.3 BME680

Ο BME680 είναι ένας ψηφιακός αισθητήρας 4 σε 1, ικανός να μετρά Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs), υγρασία, ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία. Είναι προϊόν της εταιρείας Bosch Sensortec, και οι μικρές του διαστάσεις (3mm x 3mm x 1mm), σε συνδυασμό με τη χαμηλή κατανάλωση ισχύος, τον καθιστούν κατάλληλο για ενσωμάτωση σε φορητές συσκευές

και συσκευές που χρησιμοποιούν μπαταρίες ως πηγή ρεύματος. Για την επικοινωνία του με τον μικροελεγκτή, παρέχεται η δυνατότητα χρήσης είτε του πρωτοκόλλου SPI (Serial Peripheral Interface) είτε του διαύλου I2C (Inter-Integrated Circuit), όπως θα αναλυθεί παρακάτω. Οι πιο σημαντικές μετρήσεις, και αυτές που μας ενδιαφέρουν περισσότερο, είναι η μέτρηση της υγρασίας και των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOCs) στην ατμόσφαιρα.

Για τη μέτρηση της υγρασίας, χρησιμοποιεί ένα πυκνωτικό αισθητήριο στοιχείο, το οποίο αποτελείται από δύο αγώγιμα ηλεκτρόδια, μεταξύ των οποίων βρίσκεται ένα διηλεκτρικό από λεπτό πολυμερές φιλμ. Έτσι, σχηματίζεται ένας πυκνωτής ανάμεσα στα δύο αγώγιμα ηλεκτρόδια. Όταν υπάρχει υγρασία στο περιβάλλον, το φιλμ απορροφά υδρατμούς, με αποτέλεσμα να αλλάζει η χωρητικότητα του πυκνωτικού αισθητηρίου στοιχείου. Αυτή την αλλαγή αντιλαμβάνεται ο BME680 και υπολογίζει ένα ποσοστό σχετικής υγρασίας (% RH – Relative Humidity) στο περιβάλλον.

Για τη μέτρηση των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOCs), ο αισθητήρας χρησιμοποιεί την τεχνολογία MOX (Metal-Oxide Semiconductor). Αυτή η τεχνολογία λειτουργεί ως εξής: Ο αισθητήρας διαθέτει μια θερμαινόμενη επιφάνεια, η οποία καλύπτεται από ένα στρώμα μετάλλου οξειδίου (συνήθως διοξείδιο του κασσίτερου – SnO₂) [12]. Αυτό το στρώμα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στις αλλαγές της χημικής σύστασης του αέρα που έρχεται σε επαφή με αυτό. Όταν Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs) ή άλλα αέρια έρθουν σε επαφή με το στρώμα μετάλλου οξειδίου, αντιδρούν με τα προσροφημένα μόρια οξυγόνου στην επιφάνειά του [12]. Η χημική αντίδραση που προκύπτει αλλάζει την αντίσταση του στρώματος, μια αλλαγή που συμβαίνει κατά τη διαδικασία της οξειδωσης/αναγωγής.

Τέλος, οι τιμές των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOCs) δεν παρέχονται συνήθως απευθείας σε ppm (parts per million), αλλά ως ένας σχετικός δείκτης της ποιότητας του αέρα. Γι' αυτόν τον λόγο, ο BME680 διαθέτει έναν ενσωματωμένο μικροελεγκτή, ο οποίος μετατρέπει την αλλαγή στην αντίσταση σε έναν δείκτη ποιότητας του αέρα (IAQ – Indoor Air Quality Index).

3.5 Hardware Design

3.5.1 Eagle

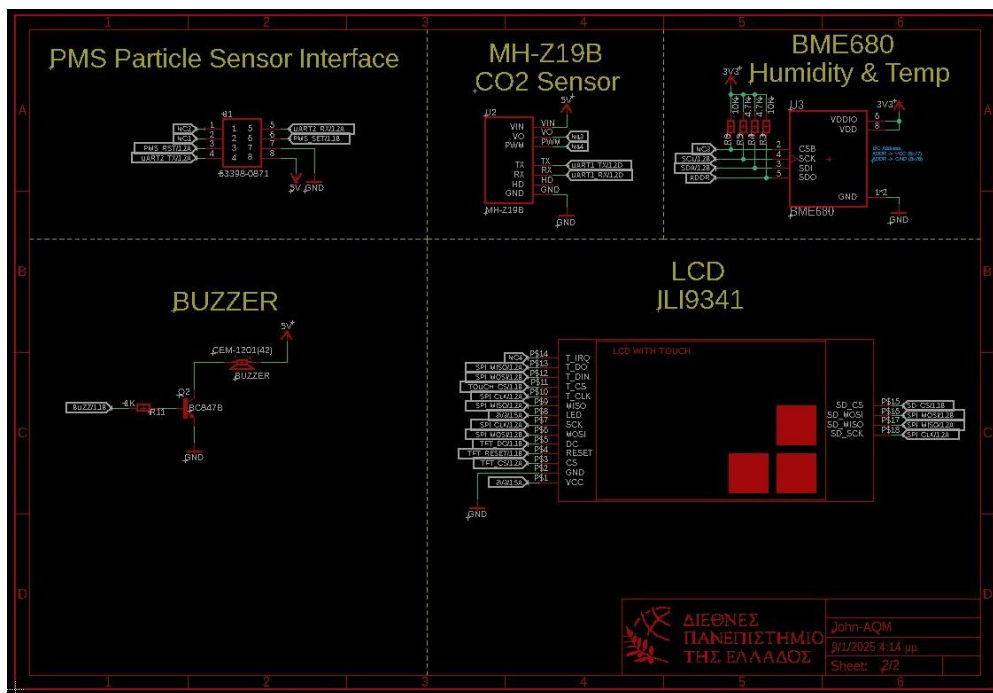
Για την σχεδίαση και υλοποίηση της πλακέτας της συσκευής χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή EAGLE της AutoDesk. Το EAGLE είναι ένα λογισμικό electronic design automation (EDA) το οποίο επιτρέπει σε σχεδιαστές των τυπωμένων ολοκληρωμένων πλακετών PCB (Printed Circuit Board) εύκολα να συνδέσουν σχηματικά, τοποθέτηση υλικών και βιβλιοθήκες.

Η επιλογή του προγράμματος έγινε με βασικό κριτήριο την εμπειρία του συγγραφέα με το συγκεκριμένο πρόγραμμα εφόσον είχε παρακολουθήσει μάθημα κατά την διάρκεια φοίτησης του στο Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος IHU (International Hellenic University) όπου αναλύθηκε το τρόπος λειτουργίας του. Τέλος, ένα ακόμα σημαντικό κριτήριο είναι η συνεργασία που έχει το συγκεκριμένο πρόγραμμα με ένα πρόγραμμα 3D CAD (Computer Aided Design) Fusion 360 της ίδιας εταιρείας το οποίο θα μας φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο αργότερα που θα χρειαστεί να σχεδιαστεί και ένα κουτί μέσα στο οποίο θα στεγάζονται όλα τα ηλεκτρονικά οι αισθητήρες και η οθόνη αφής. Με το πάτημα ενός μόνο κουμπιού από το

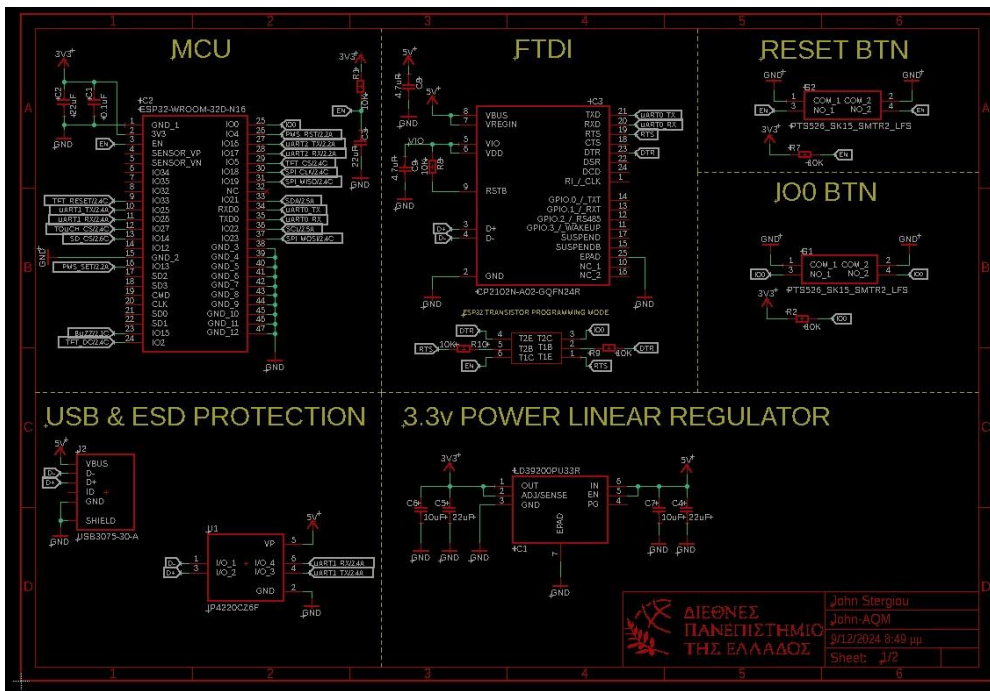
EAGLE της Autodesk δημιουργείται ένα τρισδιάστατο 3D σχέδιο της πλακέτας και όλων των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή και μεταφέρεται στο Fusion 360 της Autodesk.

3.5.2 Σχηματικό

Ένα σχηματικό διάγραμμα είναι μια γραφική αναπαράσταση ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Χρησιμοποιεί τυποποιημένα σύμβολα για να απεικονίσει διαφορετικά στοιχεία (π.χ. ολοκληρωμένα κυκλώματα, αισθητήρια, κ.ά.) και γραμμές για να απεικονίσει τις μεταξύ τους συνδέσεις που θα γίνουν αργότερα στην σχεδίαση της πλακέτας [27]. Παρακάτω στα δύο σχήματα βλέπουμε ολοκληρωμένο το σχηματικό διάγραμμα της πλακέτας που σχεδιάστηκε. Για να διαβάζεται πιο εύκολα από τον εκάστοτε μηχανικό είναι χωρισμένο σε μικρότερα μπλοκ με στοιχεία και συνδέσεις τα οποία χωρίζονται με τις κίτρινες διακεκομμένες γραμμές. Κοιτάζοντας λοιπόν τα μπλοκ μπορούμε πιο απλά και με σαφήνεια να καταλάβουμε και να εξηγήσουμε όλα τα επιμέρους κομμάτια της πλακέτας.

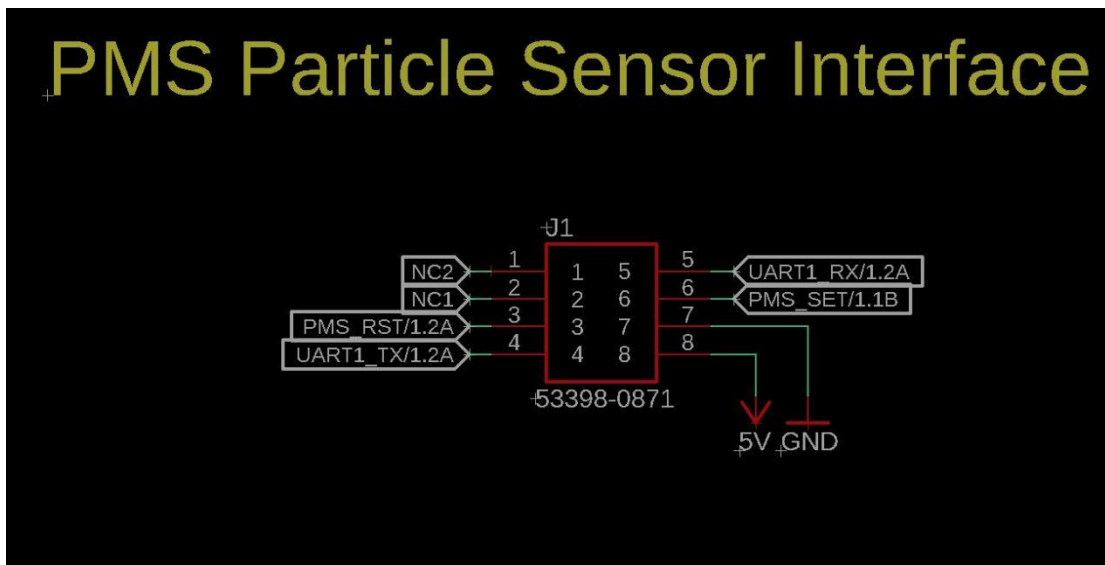


Σχήμα 3.11: Σχηματικό



Σχήμα 3.12: Σχηματικό

PMS Particle Sensor Interface



Σχήμα 3.13: Σχηματικό

Στο παραπάνω σχέδιο βλέπουμε τον connector που χρησιμοποιήθηκε για την σύνδεση του αισθητήρα PMS5003. Ο PMS5003 είναι αισθητήρας που δεν τοποθετείται επάνω στην πλακέτα όπως τα υπόλοιπα αισθητήρια. Αλλά βρίσκεται κάπου κοντά στην πλακέτα και μέσω ενός καλωδίου συνδέεται με την πλακέτα. Επομένως έπρεπε να βρεθεί ένας connector που θα ταίριαζε με το αρσενικό άκρο του καλωδίου του αισθητήρα. Ένας τέτοιος connector είναι ο 53398-0871 της Molex της σειράς PicoBlade 1.25. Για την αντιστοιχία των συνδέσεων του αισθητήρα με τον connector και στην συνέχεια με τον μικροελεγκτή επάνω στην πλακέτα χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας Pin Definition από το Datasheet [25] του PMS5003 ο οποίος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα [25].

Pin Definition

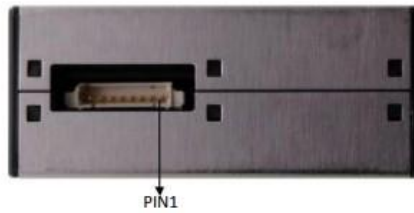
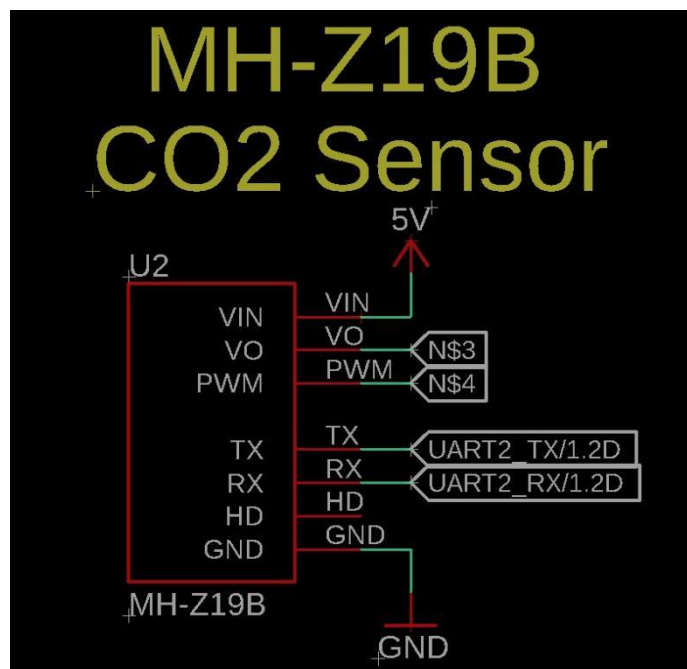


Figure 2 Connector Definition

PIN1	VCC	Positive power 5V
PIN2	GND	Negative power
PIN3	SET	Set pin /TTL level@3.3V, high level or suspending is normal working status, while low level is sleeping mode.
PIN4	RX	Serial port receiving pin/TTL level@3.3V
PIN5	TX	Serial port sending pin/TTL level@3.3V
PIN6	RESET	Module reset signal /TTL level@3.3V, low reset.
PIN7/8	NC	

Σχήμα 3.14:PMS5003 Connector Pinout [25]

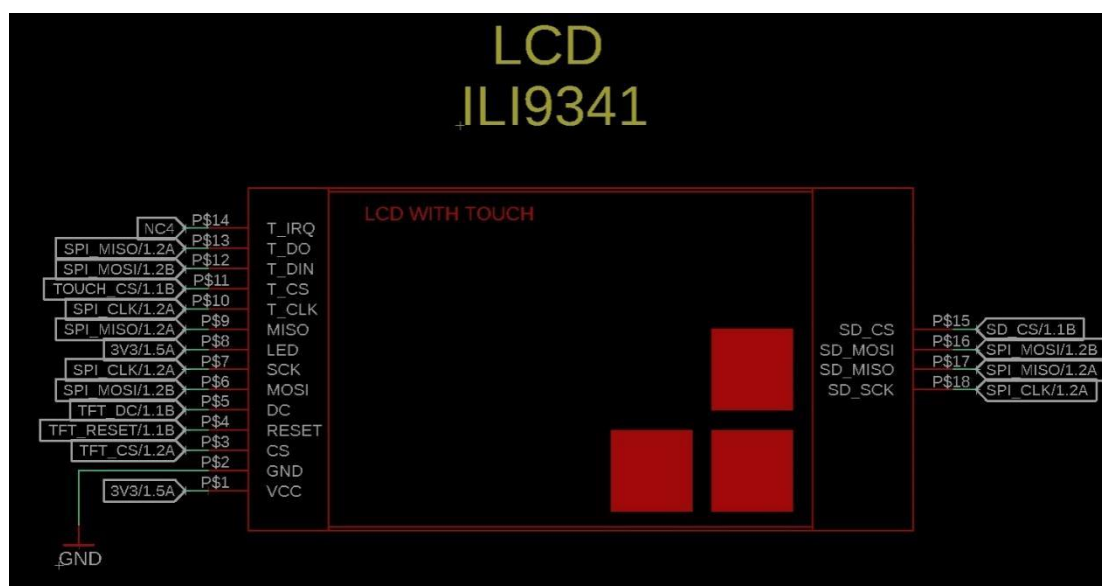
MH-Z19B CO2 Sensor



Σχήμα 3.15: Σχηματικό

Ο MH-Z19B της εταιρείας Winsen. Για την επικοινωνία του με τον μικροελεγκτή χρησιμοποιεί και αυτός μία σειριακή επικοινωνία (UART2_TX και UART2_RX). Η τάση τροφοδοσίας του είναι 5V αλλά τα επίπεδα τάσης TTL Levels της σειριακής επικοινωνίας είναι 3.3V, που σημαίνει ότι μπορεί να επικοινωνήσει με το ESP32 το οποίο χρησιμοποιεί την ίδια τάση για τα digital pins του $V_{ioh} = 3.3V$.

TFT LCD 3.2 Inches with Touch

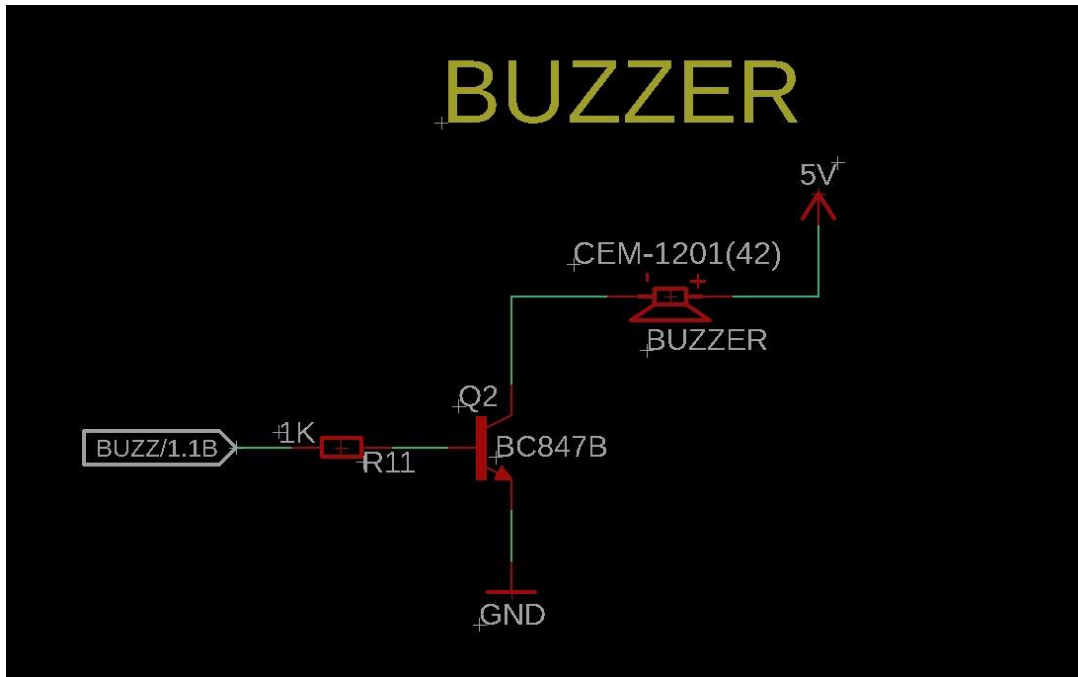


Σχήμα 3.17: Σχηματικό

Η συγκεκριμένη οθόνη είναι του κατασκευαστή LiangHaoCai και έχει ανάλυση 240*320 pixel, είναι 3.2 Ίντσες και έχει την δυνατότητα αφής. Για την επικοινωνία της με τον μικροελεγκτή έχει τρεις SPI (Serial Peripheral Interface) μία για την οδήγηση της οθόνης, μία για τον ελεγκτή της δυνατότητας αφής, και μία για την υποδοχή κάρτας sd που βρίσκεται κάτω από την οθόνη.

Η SPI (Serial Peripheral Interface) είναι στάνταρ στην σύγχρονη σειριακή επικοινωνία. Χρησιμοποιείται κυρίως στα ενσωματωμένα συστήματα και προορίζεται για σύντομης απόστασης καλωδίωση μεταξύ ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Η αρχιτεκτονική της επικοινωνίας αυτής είναι master-slave architecture, όπου μία κύρια συσκευή (master) επικοινωνεί με όλες τις περιφερειακές συσκευές (π.χ. ελεγκτής αφής, ελεγκτής οθόνης, κάρτα sd) οδηγώντας το Clock (SPI_CLK) και το Chip Select (CS). Επιπλέον δύο ακόμα σήματα χρειάζονται για την αποστολή των δεδομένων αυτά είναι τα SPI_MOSI (Master Out Slave In) και SPI_MISO (Master In Slave Out) τα οποία και είναι κοινά και για τις τρεις συσκευές [28]. Τέλος, χρειάζονται κάποια έξτρα σήματα τα οποία είναι χρήσιμα στον ελεγκτή ILI9341 ο οποίος διαχειρίζεται την οθόνη και αυτά που εκτυπώνονται σε αυτήν. Αυτά είναι δύο και είναι τα TFT_DC και TFT_RESET, Το TFT_RESET είναι το RESET σήμα του ελεγκτή ILI9341, ενώ το TFT_DC είναι ένα pin επιλογής Data/Command, το οποίο χρησιμοποιεί ο ILI9341 για να κάνει εναλλαγή της εισόδου της SPI σειριακής επικοινωνίας από Δεδομένα (Data) σε Εντολές (Command).

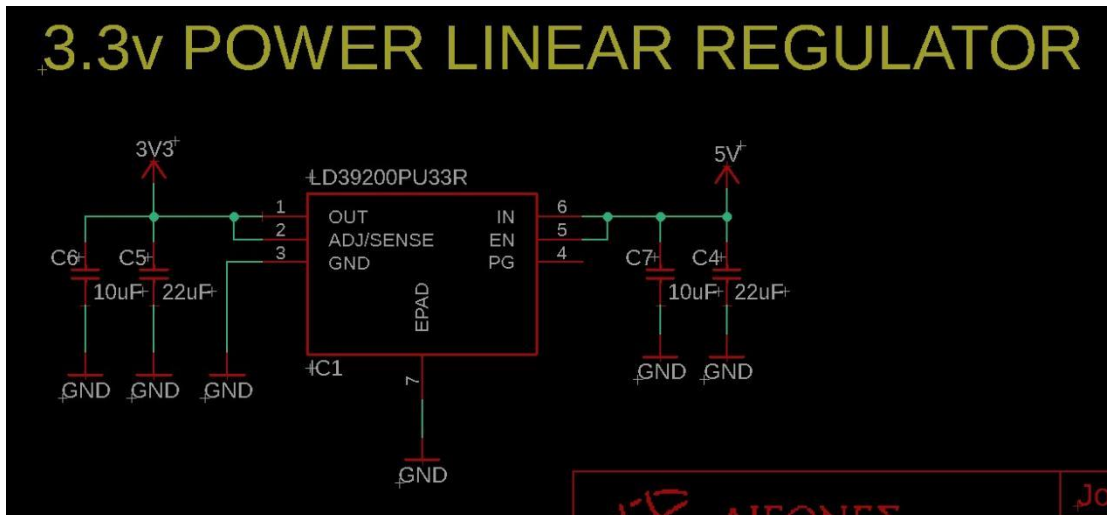
Βομβητής (Buzzer)



Σχήμα 3.18: Σχηματικό

Ο Βομβητής (Buzzer) λειτουργεί με τάση 5V, αυτό σημαίνει ότι η χρήση ενός τρανζίστορ είναι απαραίτητη, διότι το ESP32 μπορεί να τροφοδοτήσει μόνο 3.3V αλλά και γιατί οι απαιτήσεις τροφοδοσίας του Buzzer είναι μεγαλύτερες από αυτές που μπορεί από μόνο του ένα ψηφιακό pin του ESP32 να μας παρέχει από άποψη ρεύματος.

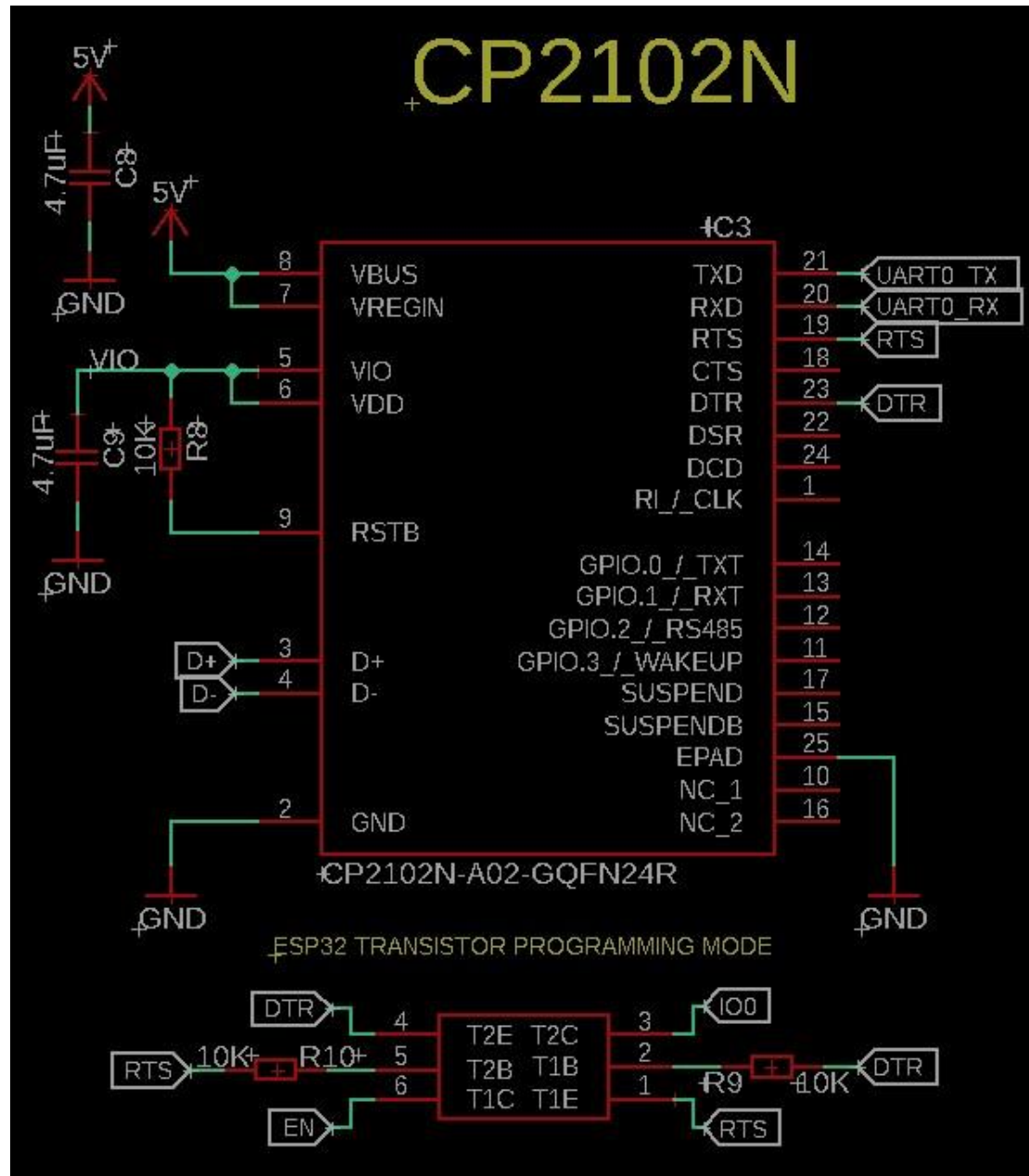
Power Linear Regulator



Σχήμα 3.19: Σχηματικό

Για την τροφοδοσία του όλου συστήματος και για την μετατροπή της τάσης εισόδου της θύρας USB από 5V σε 3.3V διαλέξαμε τον LD39200PU33R της STMicroelectronics ο οποίος προσφέρει μέχρι 2 A μέγιστο ρεύμα εξόδου. Κάποιοι πυκνωτές χρειάζονται για την περαιτέρω σταθεροποίηση της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου.

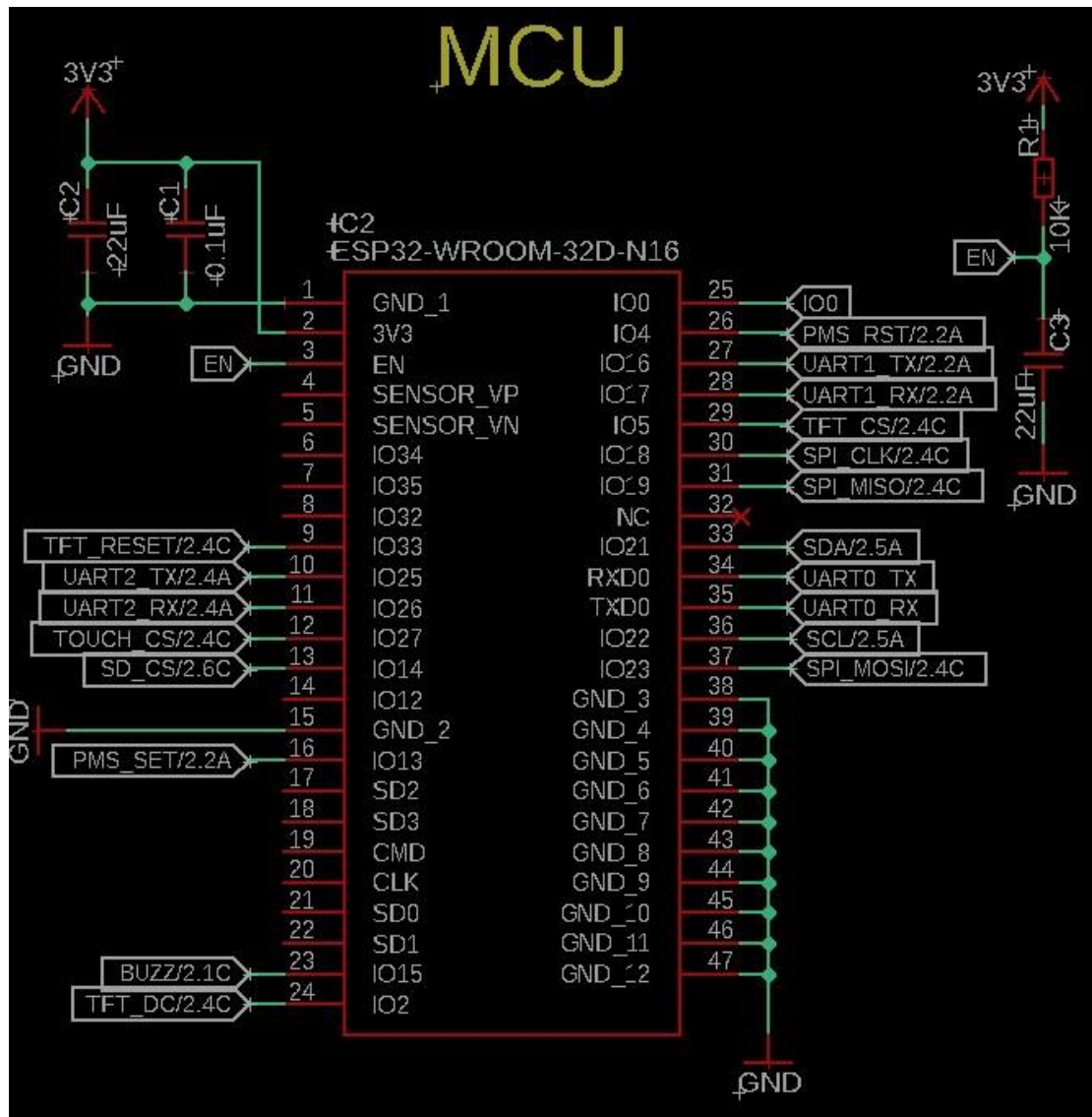
CP2102N



Σχήμα 3.20: Σχηματικό

Το CP2102N είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα της εταιρείας Silicon Labs και επιτρέπει στον χρήστη να προσθέσει εύκολα μία USB θύρα στις συσκευές του. Λειτουργεί λοιπόν ως γέφυρα μεταξύ της σειριακής επικοινωνίας (UART0_TX και UART0_RX) και μίας θύρας USB (D- και D+). Από κάτω έχουμε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο εμπεριέχει δύο τρανζίστορ NPN γενικής χρήσης. Αυτά τα δύο τρανζίστορ χρησιμοποιούνται για την μετατροπή των σημάτων RTS και DTR τα οποία προέρχονται από το CP2102N στα σήματα IO0 και EN τα οποία θα πρέπει διαδοχικά να συνδεθούν με την γείωση έτσι ώστε ο μικροελεγκτής ESP32 να μπει στο programming mode και να μπορέσουμε να περάσουμε κώδικα στην μνήμη του.

MCU(ESP32)



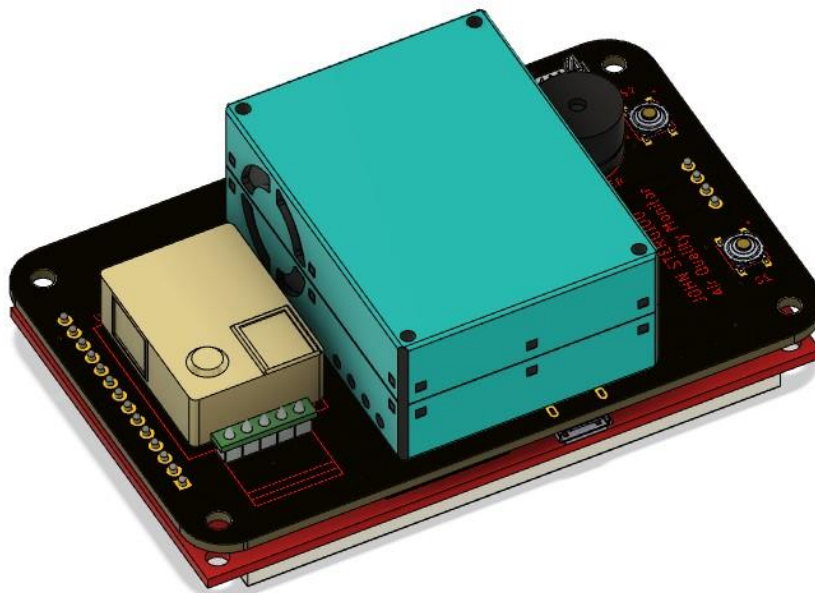
Σχήμα 3.21: Σχηματικό

Τέλος, έχουμε την καρδιά της συσκευής τον εγκέφαλο που διαχειρίζεται όλα τα περιφερειακά και περιέχει το λογισμικό της συσκευής. Όπως όλα τα ολοκληρωμένα κυκλώματα χρειάζεται κάποιους πυκνωτές Decoupling στην τροφοδοσία του για την περαιτέρω σταθεροποίηση της τάσης σε τυχόν αλλαγές στις απαιτήσεις ρεύματος του ολοκληρωμένου κυκλώματος. Και τέλος, έναν πυκνωτή για το φιλτράρισμα και την σταθεροποίηση του σήματος EN (RESET) του ESP32 το οποίο είναι και ιδιαίτερα σημαντικό για την είσοδο του ESP32 σε programming mode. Η αντιστοιχία όλων των IO pins με τα περιφερειακά εδώ έγινε με βάση τον πίνακα που έχουμε βάλει παραπάνω στο κεφάλαιο (εισαγωγή κεφαλαίου??) ESP32 Pinout Table.

3.6 3D σχεδίαση και εκτύπωση κελύφους.

Για την αξιοπιστία των μετρήσεων και της ίδιας της συσκευής ακολούθησε η σχεδίαση και εκτύπωση ενός 3D κελύφους για την συσκευή. Η σχεδίαση και εκτύπωση ενός 3D κελύφους είναι μια δημιουργική και πρακτική διαδικασία που συνδυάζει την τεχνολογία με την λειτουργικότητα της συσκευής. Αρχικά, το κέλυφος σχεδιάζεται σε ένα λογισμικό CAD

(Computer-Aided Design), το CAD (Computer-Aided Design) που επιλέχθηκε για τον σχεδιασμό του περιβλήματος είναι το Fusion 360, Εφόσον ανήκει στην ίδια εταιρεία που ανήκει και το Eagle της Autodesk με το οποίο σχεδιάστηκε και η πλακέτα, το πλεονέκτημα του

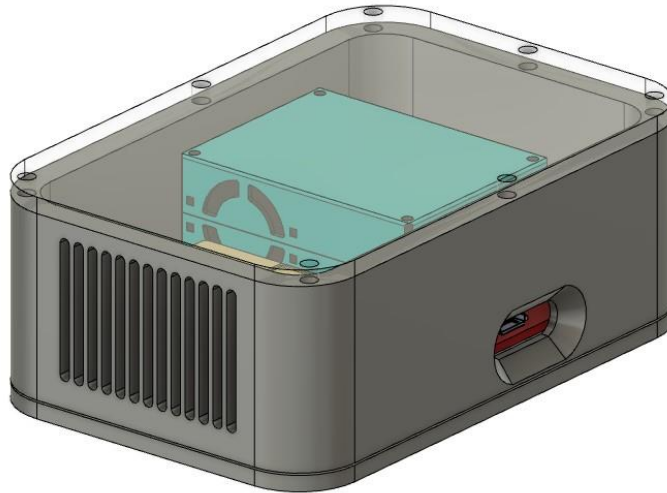


Σχήμα 3.22: Η Πλακέτα σε 3D απεικόνιση.

Fusion 360 σε σύγκριση με οποιοδήποτε άλλο πρόγραμμα CAD (Computer-Aided Design), είναι το γεγονός ότι η απεικόνιση της πλακέτας σε 3D μορφή γίνεται με το πάτημα ενός μόνο κουμπιού μέσα από την εφαρμογή Eagle της Autodesk. Αυτό μας βοήθησε ιδιαίτερα στην σχεδίαση διότι είχαμε από πριν το σχήμα και το μέγεθος της πλακέτας και όλων των αισθητήρων, με αποτέλεσμα τη σχεδίαση ενός περιβλήματος να γίνεται απλά και γρήγορα.

Στην εικόνα φαίνεται μία 3D απεικόνιση της πλακέτας η οποία έχει εξαχθεί από το Eagle της Autodesk και έχει μεταφερθεί αυτόματα στην πλατφόρμα του Fusion 360 της Autodesk. Το περίβλημα της συσκευής έχει χωρισθεί σε τρία επιμέρους κομμάτια. Το πρώτο είναι το καπάκι το οποίο βρίσκεται στο εμπρός μέρος της συσκευής και κουμπώνει με το μεσαίο δεύτερο μέρος του περιβλήματος. Με βίδες M3x16mm βιδώθηκε το προαναφερόμενο καπάκι με την οθόνη έτσι ώστε η οθόνη να κάθεται επίπεδα και ευθυγραμμισμένη με το εμπρός κομμάτι της συσκευής. Και στη συνέχεια η ίδιες βίδες πιάνουν και βιδώνουν και στο εσωτερικό από το μεσαίο κομμάτι του περιβλήματος, δένοντας έτσι αυτά τα δύο μεταξύ τους.

Το τρίτο κομμάτι που είναι και το πίσω μέρος της συσκευής έγινε από plexiglass, το οποίο κόπηκε με ένα CNC laser. Δύο οπές έπρεπε να προβλεφθούν στο μεσαίο κομμάτι του περιβλήματος μία για την πρόσβαση του χρήστη στην θύρα USB της συσκευής και μία για την είσοδο του αέρα και της ατμόσφαιρας του περιβάλλοντος ελεύθερα στα αισθητήρια στοιχεία.



Σχήμα 3.23: 3D απεικόνιση του περιβλήματος και της συσκευής.

3.7 Επίλογος

Στον επίλογο αυτού του κεφαλαίου, παρουσιάζεται η ολοκληρωμένη ανάλυση της σχεδίασης και υλοποίησης της συσκευής, με όλες τις σημαντικές υποενότητες από την ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής του συστήματος έως την τελική υλοποίηση της με σχεδίαση και κατασκευής πλακέτας αλλά και περιβλήματος για την στέγαση όλων των ηλεκτρονικών. Αρχικά, η αρχιτεκτονική του συστήματος περιλαμβάνει ένα αναλυτικό block diagram που αναπαριστά τη διάρθρωση των διασυνδέσεων μεταξύ των βασικών περιφερειακών και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται μεταξύ τους.

Ένα επίσης σημαντικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής είναι ένα Pinout Table που παρέχει λεπτομέρειες για τις συνδέσεις των pins (ακίδων) του μικροελεγκτή με τους αισθητήρες και τα περιφερειακά του. Στη συνέχεια, η υλοποίηση του λογισμικού περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός διαγράμματος ροής, το οποίο προσδιορίζει την αλληλουχία των λειτουργιών και τις διαδικασίες που ακολουθούνται κατά την εκτέλεση του προγράμματος και μία σύντομη ανάλυση της διεπαφής χρήστη που σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι φιλική και εύκολη στην χρήση ή την ανάκτηση δεδομένων από τον χρήστη.

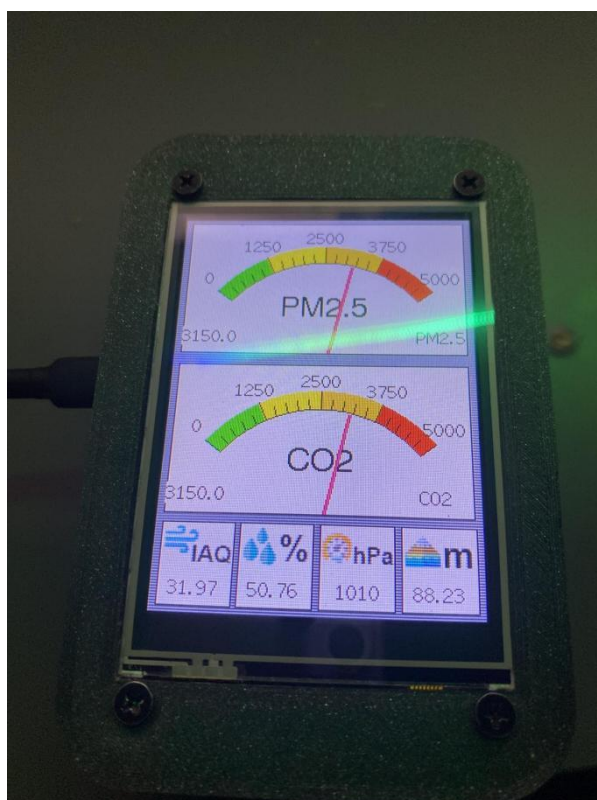
Επίσης μια εις βάθος επισκόπηση όλων των αισθητήρων και η ανάλυση της αρχής λειτουργίας τους. Κάθε αισθητήρας έχει μελετηθεί προσεκτικά για να εξασφαλιστεί η ακριβής μέτρηση και η ενσωμάτωση του με όλα τα υπόλοιπα υποσυστήματα. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα σχηματικά της πλακέτας που αναπτύχθηκε για την υποστήριξη της συσκευής, το οποίο περιλαμβάνει τα απαραίτητα κυκλώματα οδήγησης και τις συνδέσεις μεταξύ όλων των περιφερειακών με τον μικροελεγκτή. Το 3D περίβλημα που σχεδιάστηκε, εκτυπώθηκε σε έναν 3D εκτυπωτή και παρέχει την προστασία και την αισθητική ολοκλήρωση της συσκευής.

Η υλοποίηση της συσκευής συνδυάζει προηγμένες τεχνολογίες και προσφέρει ένα ισχυρό εργαλείο για τη μέτρηση και την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος, με έμφαση στη λειτουργικότητα, τη αξιοπιστία και την ευχρηστία από τον χρήστη.

Κεφάλαιο 4ο: Πειράματα

4.1 Το πείραμα με το τσιγάρο.

Για την επιβεβαίωση της λειτουργίας όλων των υποσυστημάτων της συσκευής, και την επαλήθευση της ακρίβειας μετρήσεων των αισθητήρων, ακολούθησε μια σειρά από πειράματα. Ένα από αυτά τα πειράματα ήταν το πείραμα με το τσιγάρο, το οποίο είχε ως στόχο να ελεγχθεί τόσο η σωστή μέτρηση αλλά ακόμα και ο χρόνος απόκρισης του



Σχήμα 4.1

αισθητήρα PM2.5 στην παρουσία ρύπων που προέρχονται από τον καπνό του τσιγάρου μέσα σε ένα κλειστό και καθόλου αεριζόμενο χώρο.

Αρχικά έγινε η καύση ενός τσιγάρου και έπειτα στην συνέχεια φυσήξαμε καπνό από το τσιγάρο μέσα από τις οπές που έχει το περίβλημα από τη κάτω πλευρά του. Ο καπνός αφού εισήλθε μέσα στην συσκευή η αλλιώς τον θάλαμο μέτρησης. Διασκορπίστηκε μέσα στην συσκευή. Ο PMS5003 έχει στην πρόσοψη του έναν ανεμιστήρα ο οποίος ρουφάει αέρα μέσα από τον θάλαμο μέτρησης του αισθητήρα αλλά σε χαμηλή ταχύτητα. Αυτό το γεγονός δημιουργεί ένα κενό αέρος μέσα στον θάλαμο μέτρησης το οποίο η υπόλοιπη εξωτερική ατμόσφαιρα θέλει να γεμίσει. Με αποτέλεσμα να μετρηθούν από τον αισθητήρα 3150ppm από μικροσωματίδια PM2.5 (2.5 μικρόμετρα) και 3150ppm διοξείδιο του άνθρακα. Μπορούμε λοιπόν να αντιληφθούμε πλέον πόσο βλαβερό για την υγεία είναι ο καπνός από το τσιγάρο εφόσον με μία

μόνο τζούρα και με ένα φύσημά καπνού. Οι αισθητήρες έχουν βομβαρδιστεί με ρύπους. Εκτός από την υψηλή μέτρηση σε PM2.5 (2.5 μικρόμετρα) μικροσωματίδια, είχαμε και μία πάρα πολύ υψηλή μέτρηση από συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα CO2 στην ατμόσφαιρα. Τέλος εκτός από τις δύο πολύ υψηλές μετρήσεις που πήραμε από τον PM2.5 και τον αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα CO2, η συσκευή μας εμφανίζει και κάποιες Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs) εφόσον η μέτρηση του αισθητήρα είναι 31.97ΚΩ.



Σχήμα 4.2

Στο παραπάνω σχέδιο βλέπουμε τις μετρήσεις από τον ίδιο χώρο είκοσι λεπτά έπειτα από το σβήσιμο τελικά του τσιγάρου σε έναν κλειστό και μη αεριζόμενο χώρο. Μπορούμε ξεκάθαρα να διακρίνουμε ότι η ποιότητα του αέρα εξακολουθεί να μην είναι καλή με τον αισθητήρα PM2.5 να διαβάζει 650ppm μικροσωματίδια, 1900 ppm συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα CO2, ενώ ο αισθητήρας των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOCs) να έχει σταθεροποιηθεί στα 63.15 ΚΩ που είναι και κοντά στην τιμή που θα έπρεπε ο αισθητήρας να δείχνει σε ένα ασφαλές για τον άνθρωπο περιβάλλον.

Το πείραμα με το τσιγάρο λοιπόν επιβεβαίωσε τη σωστή λειτουργία του αισθητήρα PM2.5, του αισθητήρα MH-Z19B και τέλος του αισθητήρα BME680. Όπως και την ικανότητά του να ανιχνεύει αύξηση της ρύπανσης από τον καπνό του τσιγάρου.

Αυτή η διαδικασία επιβεβαιώνει την σωστή χρονική απόκριση όλων των αισθητήρων του συστήματος στις μεταβολές τις ποιότητας του αέρα σε πραγματικές συνθήκες. Επιπλέον, τα δεδομένα από τον αισθητήρα PM2.5 συμπληρώθηκαν με τις μετρήσεις του αισθητήρα CO2, καθώς ο καπνός του τσιγάρου επηρεάζει επίσης τη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα, παρέχοντας μια πλήρη εικόνα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αυτή η

διασταύρωση των δεδομένων ενίσχυσε την αξιοπιστία των μετρήσεων και επιβεβαίωσε την ορθότητα των αποτελεσμάτων, επισημαίνοντας τη σημαντικότητα της παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα σε πραγματικές συνθήκες.

4.2 Το πείραμα της ισοπροπυλικής αλκοόλης



Σχήμα 4.3

Για την περαιτέρω επιβεβαίωση της ακριβούς λειτουργίας του αισθητήρα BME680 και την αξιολόγηση της χρονικής του απόκρισης σε άλλες πηγές ρύπανσης, πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα με την τοποθέτηση της συσκευής επάνω σε ένα μπουκάλι ισοπροπυλικής αλκοόλης. Η χρήση του ισοπροπυλικού αλκοόλ εκπέμπει ατμούς λόγω της υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της έκθεσης του στον αέρα.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα παραπάνω ο αισθητήρας για τα μικροσωματίδια PM2.5 έχει συνθήκες ενός καθαρού περιβάλλοντος, Το ίδιο θα μπορούσαμε να πούμε και για τον αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα CO2, εφόσον η μέτρηση του είναι πάρα πολύ κοντά με την συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα το 2025. Με αποτέλεσμα να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι δεν υπάρχουν βλαβερά για τον άνθρωπο μικροσωματίδια PM2.5 ή συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα CO2 στο εκάστοτε περιβάλλον όπου έλαβε χώρα το πείραμα.

Ο αισθητήρας των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOCs) έχει σημειώσει έναν πολύ μεγάλο αριθμό ρύπων, εφόσον η μέτρηση του σε ένα καθαρό περιβάλλον από ρύπους είναι γύρω στα 70KΩ~100KΩ και βλέπουμε ότι στο πείραμα που διεξήγαμε με την συσκευή ακριβώς επάνω από ένα ανοιχτό μπουκάλι ισοπροπυλικής αλκοόλης, η τιμή της αντίστασης έχει πέσει πάρα πολύ και είναι κοντά στα 15K. Αφήσαμε την συσκευή επάνω από το μπουκάλι για τα επόμενα

είκοσι λεπτά και ξανά κοιτάξαμε τις μετρήσεις που κατέγραψαν οι αισθητήρες. Η αντίσταση του δείκτη της ύπαρξης Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOCs) στην ατμόσφαιρα είχε πέσει ακόμη πιο δραματικά φτάνοντας ακόμη και τα 2ΚΩ.

Τέλος, το πείραμα με το μπουκάλι ισοπροπυλικής αλκοόλης έδειξε την απόκριση του αισθητήρα BME680 σε οργανικούς ατμούς. Οι αισθητήρες κατέγραψαν μια μείωση στην αντίσταση του δείκτη της ύπαρξης Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOCs) καθώς οι ατμοί αλκοόλ έπνιξαν τον αισθητήρα. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν την σωστή λειτουργία της συσκευής για την παρακολούθηση διαφορετικών πηγών ρύπανσης, όπως είναι οι οργανικοί ατμοί από την εξάτμιση της ισοπροπυλικής αλκοόλης, και μας παρείχε δεδομένα για τη χρήση της συσκευής σε συνθήκες όπου διαφορετικοί ρύποι και ατμοί επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα.

4.3 Το πείραμα σε συνθήκες υψηλής υγρασίας και καπνού από τσιγάρο.

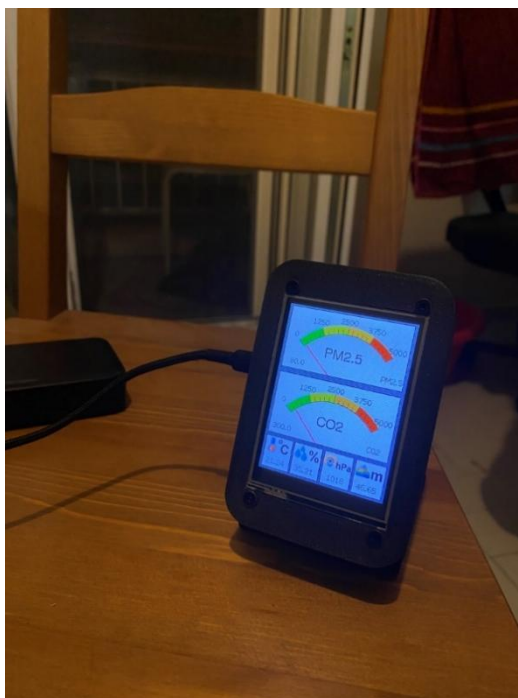
Το τελευταίο πείραμα που θα διεξαχθεί για την ολοκλήρωση του πειραματικού μέλους της διπλωματικής εργασίας, θα είναι αυτό του μη αεριζόμενου χώρου με συνθήκες υψηλής υγρασίας και καπνού από τσιγάρο. Ειδικότερα, μελετήθηκε η απόκριση του αισθητήρα PM2.5 και του αισθητήρα BME680 στην μέτρηση της σχετικής υγρασίας όπου ενδέχεται να επηρεάζει και την κατανομή και την συγκέντρωση ρύπων.

Για την διεξαγωγή αυτού του πειράματος τοποθετήσαμε την συσκευή μέσα σε ένα κλειστό δωμάτιο με απλωμένα ρούχα και προχωρήσαμε στην καύση ενός τσιγάρου, έτσι ώστε να μελετηθεί η επίδραση της υγρασίας στην καταγραφή των ρύπων από την συσκευή. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε έναν μικρό, κλειστό χώρο χωρίς εξαερισμό, όπου απλώθηκαν ρούχα για να δημιουργηθεί αυξημένη υγρασία. Ο BME680 κατέγραψε την αρχική υγρασία, πάνω από το επίπεδο του 65% όπως φαίνεται και στο σχήμα/εικόνα παρακάτω.



Σχήμα 4.4

Οι μετρήσεις του αισθητήρα PM2.5 είναι λίγο υψηλότερες από αυτές που μετρήθηκαν όταν η σχετική υγρασία ήταν σε φυσιολογικά επίπεδα και κήκε μέσα στον χώρο ένα ολόκληρο τσιγάρο. Ο λόγος αυτής της διαφοράς στα επίπεδα ppm μικροσωματιδίων, είναι η μεγέθυνση στην οποία επιβάλλονται τα μικροσωματίδια αιωρούμενα στο περιβάλλον από υδρατμούς, δημιουργώντας έτσι μεγαλύτερου μεγέθους σωματίδια και η συγκέντρωσή τους στον αέρα αυξάνεται. Αργότερα σε δεύτερη φάση του πειράματος ανοίξαμε την μπαλκονόπορτα έτσι ώστε να αεριστεί ο χώρος και να δούμε τον χρόνο που θα χρειαστεί για να καθαρίσει το περιβάλλον από τους ρύπους και τα ποσοστά της σχετικής υγρασίας RH (Relative Humidity) να πέσουν δραματικά, όπως φαίνεται και στο σχήμα/εικόνα παρακάτω.



Σχήμα 4.5

Μετά από 5 μόλις λεπτά ήδη η ατμόσφαιρα στον ίδιο χώρο είναι πάρα πολύ καλύτερη με τον PM2.5 να μην διαβάζει σχεδόν καθόλου μέτρηση στα 50ppm, και τον MH-Z19B να διαβάζει μόλις 400ppm που είναι και η φυσιολογική για τα σημερινά δεδομένα συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα CO2 στην ατμόσφαιρα. Τέλος, η υγρασία έπεσε σε φυσιολογικά πλέον επίπεδα της Σχετικής υγρασίας RH (Relative Humidity) στο 35%.

Το πείραμα λοιπόν ανέδειξε την σημαντική επίδραση της υγρασίας στη συμπεριφορά των αερομεταφερόμενων σωματιδίων. Οι παρατηρήσεις που γίνανε για την αξιολόγηση της απόδοσης την συσκευής σε περιβάλλον με έναν συνδυασμό πηγών ρύπανσης και υγρασίας αυξάνει την ανάγκη παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους με χαμηλό εξαερισμό.

4.4 Επίλογος

Τα πειράματα που έλαβαν χώρα αποτελούν έναν πολύ σημαντικό κομμάτι για την αξιολόγηση της λειτουργίας, της ακρίβειας, τις αξιοπιστίας και της απόκρισης της συσκευής. Κάθε δοκιμή επιλέχθηκε για να προσομοιώσει πραγματικές συνθήκες περιβάλλοντος εργασίας, ή περιβάλλοντος με ρύπους. Το πείραμα με το τσιγάρο μας αποκάλυψε τη αποτελεσματικότητα

του αισθητήρα PM2.5 να ανιχνεύει με ακρίβεια την ρύπανση που προέρχεται από τον καπνό, καταγράφοντας αυξημένες μετρήσεις σωματιδίων σε πραγματικό χρόνο.

Στο πείραμα με την ισοπροπυλική αλκοόλη, η συσκευή κατέγραψε μεταβολές της ποιότητας του αέρα λόγω της εξάτμισης οργανικών πτητικών ενώσεων. Αναδεικνύοντας την ευαισθησία των αισθητήρων τόσο στα σωματίδια όσο και στις αλλαγές της χημικής σύστασης της ατμόσφαιρας.

Τέλος το πείραμα με την υψηλή υγρασία και καπνό από τσιγάρο. Το πείραμα αυτό μας έδειξε τη επίδραση της υγρασίας στην μεταβολή της ποιότητας του αέρα, και συγκεκριμένα στην ύπαρξη μικροσωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Προσφέροντας πολύτιμα δεδομένα για την ανάλυση της ποιότητας του αέρα ε περιβάλλον με συνδυασμό πηγών ρύπανσης.

Κεφάλαιο 5ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

Τελικά, συμπεραίνουμε ότι αυτή η εργασία ήταν μία πολύτιμη εμπειρία για τον συγγραφέα μιας και μπήκε στην διαδικασία να εντρυφήσει στο κομμάτι της σχεδίασης, του κώδικα αλλά και της υλοποίησης. Ίσως ακόμα και της σχεδίασης για παραγωγή (Design to manufacture). Επιπλέον εκπληρώνει τον επιδιωκόμενο στόχο της, δηλαδή η συσκευή να είναι εύκολη στην χρήση, φθηνή στην παραγωγή της και φορητή. Αυτό το σύστημα μπορεί να δώσει σε πραγματικό χρόνο μετρήσεις πολλαπλών παραμέτρων του αέρα. Τέλος, τα εξαρτήματα χαμηλής κατανάλωσης ρεύματος το καθιστούν κατάλληλο και για την ενσωμάτωση σε ένα σύστημα που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μπαταρία και φορτιστής μπαταρίας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ήταν ικανοποιητικά από πολύπλευρες απόψεις.

Ένας τρόπος βελτίωσης της συσκευής θα ήταν να εκμεταλλευτούμε περαιτέρω τις δυνατότητες του ESP32, αφού ο ESP32 έχει ακόμη WiFi/Bluetooth μέσω των οποίων μπορεί η συσκευή να επικοινωνήσει και με γειτονικούς αισθητήρες, σχηματίζοντας έτσι ακόμη πιο περίπλοκες και πιο αναλυτικές αναφορές για τις τιμές των αισθητήρων, αφού θα μπορούσαν όλων αυτών τα δεδομένα να μαζευτούν σε μία βάση δεδομένων και να επεξεργαστούν περαιτέρω. Ένας άλλος τρόπος βελτίωσης της συσκευής είναι η βελτίωση του σχεδιασμού για παραγωγή (Design to manufacture) κατά την οποία θα χρειαστεί μία ανασχεδίαση του περιβλήματος για βελτιωμένη εργονομία και ευκολότερη συναρμολόγηση. Σίγουρα θα μειώσει το κόστος παραγωγής και θα βελτιώσει τη βιωσιμότητα της συσκευής.

Με τις υπάρχουσες δυνατότητες της και τις προτεινόμενες βελτιώσεις, η συσκευή αυτή έχει τη δυναμική να εξελιχθεί σε ένα εργαλείο παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα και την ανίχνευση ρύπων. Η εργασία αυτή απέδειξε ότι ακόμη και με περιορισμένους πόρους, μπορούν να δημιουργηθούν συστήματα υψηλής λειτουργικότητας και ευρείας εφαρμογής, ανοίγοντας τον δρόμο για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη επάνω στην συγκεκριμένη συσκευή που αναπτύξαμε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία:

- [3] S. Berger, *Embedded Systems Design: An Introduction to Processes, Tools and Techniques*, CMP Books, 2001.
- [4] Γεντεκάκης., Ιωάννης, 2010, *Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες*, Εκδόσεις "Κλειδάριθμος" Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- [5] Corbett, J. J., & Winebrake, J. J. (2007). The impact of ship emissions on air pollution in ports and coastal areas. *Environmental Science & Technology*, 41(13), 4681–4687.
- [6] EPA. (2020). *Sources of air pollution in warehouses*. U.S. Environmental Protection Agency.
- [7] EPA. (2021). *Port and harbor air quality management*. U.S. Environmental Protection Agency.
- [10] Karagulian, F., et al. (2015). Contributions to ambient air pollution from anthropogenic sources. *Environmental Science & Technology*, 49(13), 7682–7690.
- [11] Καραθανάσης, Στ., 2006, *Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Ορισμός, Επιπτώσεις, Πηγές από Βιομηχανικές και Βιοτεχνικές Δραστηριότητες, Τεχνολογία Αντιμετώπισης, Νομοθεσία*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- [13] T. H. R. I. H. M. A. Ashish M. Husain, "Air Quality Monitoring: The Use of Arduino and Android," *Journal of Modern Science and Technology*, vol. Vol 4, pp. Page 86-96, Sep.2016.
- [14] WHO. (2021). *Indoor air quality and health*. World Health Organization.

Internet site:

- [12] <https://randomnerdtutorials.com/bme680-sensor-arduino-gas-temperature-humidity-pressure/>
- [18] Co2 And Climate change <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
- [19] <https://scied.ucar.edu/learning-zone/how-climate-works/carbon-dioxide-absorbs-and-re-emits-infrared-radiation>
- [20] <https://howtomechatronics.com/wp-content/uploads/2020/12/non-dispersive-infrared-principle-for-measuring-CO2-in-the-air-.jpg>
- [21] https://en.wikipedia.org/wiki/Nondispersive_infrared_sensor

- [22] <https://www.co2meter.com/blogs/news/how-does-an-ndir-co2-sensor-work?srsltid=AfmBOopfSr2Lbhz2V0cjRrxj3uDjWwTtneKogCcwn8kJxQAJdAvr0ZOS>
- [23] <https://www.co2meter.com/blogs/news/how-does-an-ndir-co2-sensor-work?srsltid=AfmBOopfSr2Lbhz2V0cjRrxj3uDjWwTtneKogCcwn8kJxQAJdAvr0ZOS>
- [24] <https://i0.wp.com/randomnerdtutorials.com/wp-content/uploads/2018/08/esp32-pinout-chip-ESP-WROOM-32.png?quality=100&strip=all&ssl=1>
- [25] <https://howtomechatronics.com/wp-content/uploads/2020/12/How-Particulate-Matter-PM-Particles-Sensor-Works-Laser-Scattering-Working-Principle-768x525.png?ezimgfmt=ng:webp/ngcb2>
- [26] https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/3686/plantower-pms5003-manual_v2-3.pdf
- [27] <https://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [28] <https://hilelectronic.com/el/schematic-diagram/>
- [29] https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface

Journal Articles:

- [1] Bailey, D., & Solomon, G. (2004). *Ship emissions and the air pollution imperative*. Environmental Defense Fund.
- [2] **Baldwin, R.** (2015). *Instruments of Air Pollution: Historical Development and Modern Applications*. Routledge.
- [8] Gartland N, A. H. (2022, January 10). The Effects of Traffic Air Pollution in and around Schools on Executive Function and Academic Performance in Children: A Rapid Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022.
- [15] World Bank. (2019). *Air quality management in ports and industrial areas*. World Bank Group.
- [16] Hsien H Khoo, Reginald B H Tan. (2006). Life cycle investigation of CO2 recovery and sequestration. (National Library of Medicine).
- [17] "Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions" by Jane M-F Johnson, Alan J. Franzluebbbers, Sharon Lachnicht Weyers, and Donald C. Reicosky, published in 2007 in the journal *Environmental Pollution*.
- [9] IMO. (2020). *Sulphur 2020 - cutting sulphur oxide emissions*. International Maritime Organization.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Κώδικας

```
#include <TFT_eSPI.h> // Hardware-specific library
#include <TFT_eWidget.h> // Widget library
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include "Adafruit_BME680.h"
#include "MHZ19.h"
#include <SoftwareSerial.h> // Remove if using HardwareSerial or non-uno library compatible device
#include "Adafruit_PM25SAQI.h"
#include <FS.h>
#include "SPIFFS.h"
#include <esp_sleep.h>
#define FORMAT_SPIFFS_IF_FAILED true

#define FS_NO_GLOBALS
#define RX_CO2 25
#define TX_CO2 26
#define RX_PM 16
#define TX_PM 17
#define BAUDRATE 9600
#define SEALEVELPRESSURE_HPA (1021.6)

MHZ19 myMHZ19;
Adafruit_PM25SAQI aqi = Adafruit_PM25SAQI();
TFT_eSPI tft = TFT_eSPI(); // Invoke custom library
MeterWidget needleValuePM25 = MeterWidget(stft);
MeterWidget needleValueCO2 = MeterWidget(stft);
Adafruit_BME680 bme(&tft); // I2C bme680
SoftwareSerial CO2Serial(RX_CO2, TX_CO2);
SoftwareSerial pmSerial(RX_PM, TX_PM);
PM25_AQI_Data data;

unsigned long timeElapse = 0;
float PM25;
float CO2;
int flag1 = 0;
int flag2 = 0;
float Gas = 0;
float Humidity = 0;
int Pressure = 0;
float Altitude = 0;
```

```
unsigned long previousMillis = 0;
const unsigned long interval = 1000;
unsigned long currentMillis = 0;

void verifyRange(int range);

void setup()
{
  //set buzzer to off.
  pinMode(15, OUTPUT);
  pinMode(0, INPUT); //zero calibration check for CO2 sensor.
  digitalWrite(15, LOW);
  Serial.begin(115200);

  //Initializing SPIFFS file system.
  if (!SPIFFS.begin(FORMAT_SPIFFS_IF_FAILED)) {
    Serial.println("SPIFFS initialisation failed!... Formatting...");
    return;
    //while (1) yield();
  }

  //TFT initialization
  tft.init();
  tft.setRotation(0);
  tft.setTextColor(TFT_BLACK, TFT_WHITE);
  tft.fillRect(TFT_GREY);
  tft.fillRect(5, 256, 55.75, 60, TFT_WHITE);
  tft.drawRect(5, 256, 55.75, 60, TFT_BLACK);
  drawBmp("/VOC.bmp", 6, 258);

  tft.fillRect(63.75, 256, 55.75, 60, TFT_WHITE);
  tft.drawRect(63.75, 256, 55.75, 60, TFT_BLACK);
  drawBmp("/hum.bmp", 64.75, 258);

  tft.fillRect(122.5, 256, 55.75, 60, TFT_WHITE);
  tft.drawRect(122.5, 256, 55.75, 60, TFT_BLACK);
  drawBmp("/pressure.bmp", 123.5, 258);

  tft.fillRect(181.25, 256, 55.75, 60, TFT_WHITE);
  tft.drawRect(181.25, 256, 55.75, 60, TFT_BLACK);
```

```

drawBmp("/altitude.bmp", 182.25, 258);

tft.drawCentreString("0", 31, 295, 2);
tft.drawCentreString("0", 89.75, 295, 2);
tft.drawCentreString("0", 150.5, 295, 2);
tft.drawCentreString("0", 207.25, 295, 2);

//Initializing PM2.5 Sensor
pmSerial.begin(9600);
while (1) {
  if (!aqi.begin_UART(spSerial)) {
    Serial.println("Could not find PM2.5 sensor!!!");
    delay(10);
  }
  else{
    break;
  }
}

Serial.println("PM25 found!");

//Initializing BME680
if (!bme.begin()) {
  Serial.println("Could not find a valid BME680sensor");
  while(1);
}
Serial.println("BME680sensor found!");

//initializing bme sensor
bme.setTemperatureOversampling(BME680_OS_2X);
bme.setHumidityOversampling(BME680_OS_2X);
bme.setPressureOversampling(BME680_OS_4X);
bme.setIIRFilterSize(BME680_FILTER_SIZE_127);
bme.setGasHeater(320, 150); //bme.setGasHeater(320, 150); 320C for 150ms!!!

delay(1000);
//Perform booting first reading the sensor is read every 30s
GetDataBME();
//Cleaning up after the trash. refreshing the 4 boxes on the bottom.
printBMEtft();

```

```

//Initializing CO2 MHZ19 sensor
CO2Serial.begin(BAUDRATE); // sensor serial
myMHZ19.begin(CO2Serial); // pass to library
myMHZ19.autoCalibration(true); // make sure auto calibration is on

Serial.print("ABC Status: "); myMHZ19.getABC() ? Serial.println("ON") : Serial.println("OFF"); // now print it's status
Serial.println("Waiting 3 seconds to stabilise...");
//delay(3000);
Serial.println("To calibrate CO2 sensor press I00 now!");
if (digitalRead(0) == LOW) {
  myMHZ19.calibrate();
  Serial.println("CO2 sensor zero calibrated for 400ppm.");
}
Serial.println("Stabilizing....");

needleValuePM25.setZones(75, 100, 50, 75, 25, 50, 0, 25);
needleValuePM25.analogMeter(0, 0, 5000.0, "PM2.5", "0", "1250", "2500", "3750", "5000");
needleValueCO2.setZones(75, 100, 50, 75, 25, 50, 0, 25);
needleValueCO2.analogMeter(0, 128, 5000.0, "CO2", "0", "1250", "2500", "3750", "5000");
}

void loop()
{
  unsigned long currentMillis = millis();

  //Measuring PM25 & CO2
  readPM25();
  CO2 = myMHZ19.getCO2();
  tftMeterClean();
  UpdateMeterneedles();
  //Measuring BME temp hum alt This runs every 30s...
  if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
    previousMillis = currentMillis;
    GetDataBME();
    printBMEtft();
  }
}

void readPM25() {
  if (!aqi.read(sdata)) {
    //Checking for incoming data... PM25 is slow. Serial.print("No AQI reading ");
    Serial.println("No AQI reading");
  }
}

```

```

void tftMeterClean(){
    //checking Co2 meter for the bug.
    if (CO2 >= 1000){
        flag2 = 1;
    }
    if (CO2 <= 999 && flag2 ==1){
        needleValueCO2.analogMeter(0, 128, 5000.0, "CO2", "0", "1250", "2500", "3750", "5000");
        Serial.println("Meters cleaned");
        flag2 = 0;
    }
}

//checking PM2.5 meter for the bug.
if (PM25 >= 1000){
    flag1 = 1;
}
if (PM25 <= 999 && flag1 == 1){
    needleValuePM25.analogMeter(0, 0, 5000.0, "PM2.5", "0", "1250", "2500", "3750", "5000");
    Serial.println("Meters cleaned");
    flag1 = 0;
}
}

void GetDataBME(){
    //Reading BME680
    bme.performReading();
    Gas = bme.gas_resistance / 1000.0;
    Pressure = bme.pressure/100;
    Humidity = bme.humidity;
    Altitude = bme.readAltitude(SEALEVELPRESSURE_HPA);
}
}

```

```

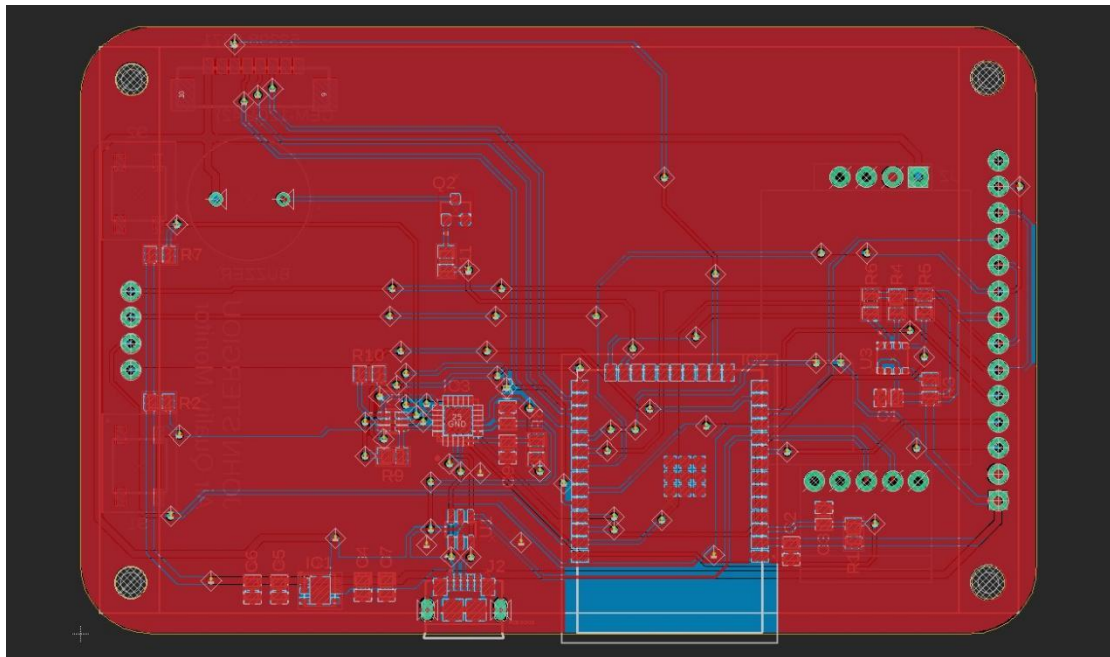
//update BME variables to screen
void printBMEtft(){
    //Cleaning up after the trash. refreshing the 4 boxes on the bottom.
    tft.fillRect(10, 286, 25.75, 20, TFT_WHITE);
    tft.fillRect(73.75, 286, 25.75, 20, TFT_WHITE);
    tft.fillRect(132.5, 286, 25.75, 20, TFT_WHITE);
    tft.fillRect(191.25, 286, 25.75, 20, TFT_WHITE);
    //Printing values on the TFT
    tft.drawCentreString(String(Gas), 31, 295, 2);
    tft.drawCentreString(String(Humidity), 89.75, 295, 2);
    tft.drawCentreString(String(Pressure), 150.5, 295, 2);
    tft.drawCentreString(String(Altitude), 207.25, 295, 2);
}

void UpdateMeterneedles(){
    float needleValue2map = map(CO2, (float)0.0, (float)5000.0, (float)0.0, (float)5000.0);
    needleValueCO2.updateNeedle(needleValue2map, 0);

    float needleValue1map = map(PM25, (float)0.0, (float)5000.0, (float)0.0, (float)5000.0);
    needleValuePM25.updateNeedle(needleValue1map, 0);
}
}

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Σχέδιο της πλακέτας



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Κόστος υλικών

PCBWay

Air Quality Monitor BOM

Item #	Designator	Qty	Manufacturer	Mfg Part #	Description / Value	Package/Footprint	Type	Price	
1	C1, C3	10	Kyocera AVX	LD055C104MAB2A	Multilayer Ceram	0805 (2012 metric)	SMD	0.337	https://eu.mouser.com/ProductDet
2	C2, C4, C5	10	KEMET	C0805C226MPAC7800	Multilayer Ceram	0805 (2012 metric)	SMD	0.082	https://gr.mouser.com/ProductDet
3	C6, C7	10	YAGEO	CC0805M0X5R55BB106	Multilayer Ceram	0805 (2012 metric)	SMD	0.125	https://gr.mouser.com/ProductDet
4	C8, C9	10	TDK	CG4A41X7R1E475K125AE	Multilayer Ceram	0805 (2012 metric)	SMD	0.225	https://gr.mouser.com/ProductDet
5	IC1	10	STMicroelectronics	LD39200PU33R	LDO Voltage Reg	DFN-6	SMD	0.599	https://gr.mouser.com/ProductDet
6	IC2	1	Espressif	ESP32-WROOM-32D-N16	Module ESP32-W	ESP32-WROOM-32D	SMD	2.47	https://gr.mouser.com/ProductDet
7	IC3	1	Silicon Labs	CP2102N-A02-GQFN24R	USB Interface IC	QFN-24	SMD	3.07	https://gr.mouser.com/ProductDet
8	J1	5	Molex	53398-0871	Headers & Wire	53398-0871	SMD	0.865	https://gr.mouser.com/ProductDet
9	J2	3	GCT	USB3075-30-A	USB Connectors	USB3075-30-A	SMD	0.744	https://gr.mouser.com/ProductDet
10	Q1	10	Panjit	MMDT3904_R1_00001	Bipolar Transistd	SOT-363-6	SMD	0.083	https://gr.mouser.com/ProductDet
11	R1, R2, R3, R6, R7, R8	15	SEI Stackpole	RNCA0805BTE10K0	Thin Film Resist	0805 (2012 metric)	SMD	0.178	https://gr.mouser.com/ProductDet
12	R4, R5	10	Panasonic	ERA-6ARB472V	Thin Film Resist	0805 (2012 metric)	SMD	0.341	https://gr.mouser.com/ProductDet
13	S1, S2	2	C&K	PTS526_SK15_SMTR2_LFS	Tactile Switches	PTS526_SK15_SMTR	SMD	0.12	https://gr.mouser.com/ProductDet
14	LCD	1	Aliexpress	3.2INCH_LCD_ILI9341_MSP3218	3.2INCH_LCD	3.2INCH_LCD_ILI934	THT	6	https://www.aliexpress.com/item/
15	U1	5	Nexperia	IP4220C26F	ESD Protection D	TSOP-6 (SOT467)	SMD	0.391	https://gr.mouser.com/ProductDet
16	U2	1	WEIQIAO	MH-Z19B	MH-Z19B MHZ19	MH-Z19B	THT	42	https://www.aliexpress.com/item/
17	U3	2	Bosch Sensortec	BME680	Air Quality Sens	LGA-8	SMD	8.99	https://gr.mouser.com/ProductDet
18	US1	1	Adafruit	3686	PM2.5 Air Quality	NA	NA	37.15	https://gr.mouser.com/ProductDet
							Final Price	137.012	