



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Σύστημα καταγραφής και ανάλυσης
περιβαλλοντολογικών παραμέτρων»

Του φοιτητή Λιολιόπουλου Δημοσθένη

Αρ. Μητρώου:512154

Επιβλέπουσα

Παπαδοπούλου Μαρία

Επίκουρος Καθηγήτης

Τίτλος Π.Ε. Σύστημα καταγραφής και ανάλυσης περιβαλλοντολογικών παραμέτρων

Κωδικός Π.Ε. 25136

Όνοματεπώνυμο φοιτητή Λιολιόπουλος Δημοσθένης

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Παπαδοπούλου Μαρία

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 4/3/2025

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 3/8/2025

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 Λιολιόπουλου Δημοσθένη 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 πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Το περιβαλλοντικό ζήτημα και η κλιματική αλλαγή αποτελούν δύο από τις σημαντικότερες προκλήσεις της σύγχρονης εποχής, επηρεάζοντας την καθημερινότητα κάθε πολίτη. Στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας εξετάζονται οι βασικοί παράγοντες που συντελούν σε αυτά τα φαινόμενα, με ιδιαίτερη έμφαση στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Παράλληλα, η εργασία αυτή αποτέλεσε μια ευκαιρία για εξοικείωση με σύγχρονους αισθητήρες περιβαλλοντικών παραμέτρων και την εφαρμογή τους σε πραγματικές μετρήσεις, ενώ αξιοποιήθηκε ο μικροελεγκτής Arduino Uno για την υλοποίηση μιας ερευνητικής εφαρμογής με πρακτικό ενδιαφέρον.

Περίληψη

Οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες που επικρατούν σε μία πόλη είναι σημαντικές για την καλή διαβίωση των ανθρώπων. Επίσης, είναι πολύ πιθανό να διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή, είτε λόγω μικρό-κλιματικών συνθηκών, είτε λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Έτσι, μέσω της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα αναπτυχθεί ένα σύστημα μέτρησης περιβαλλοντικών μεταβλητών με τη χρήση ενός μικροελεγκτή και κατάλληλων αισθητήρων για να εξεταστούν οι συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η καταγραφή των περιβαλλοντολογικών μεταβλητών, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση και η ποιότητα του αέρα σε διάφορα σημεία της πόλης. Στη συνέχεια, θα πραγματοποιηθεί ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τους διάφορους αισθητήρες, ώστε να προκύψουν μοτίβα και παράγοντες που θα συμβάλλουν στην κατανόηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας παρέχοντας έτσι σημαντικές πληροφορίες για την τοπική περιβαλλοντική κατάσταση.

"Environmental Parameters Recording and Analysis System"

«Demosthenis Lioliopoulos»

Abstract

The environmental conditions prevailing in a city are crucial for the well-being of its inhabitants. Furthermore, these conditions are highly likely to vary from one area to another, either due to micro-climatic factors or human activity. Therefore, this thesis aims to develop a system for measuring environmental variables using a microcontroller and appropriate sensors to examine the prevailing conditions in the wider Thessaloniki area. The purpose of this thesis is to record environmental variables such as temperature, humidity, atmospheric pressure, and air quality at various points within the city. Subsequently, an analysis of the data collected from the various sensors will be performed to identify patterns and factors that will contribute to understanding the parameters affecting atmospheric quality, thereby providing significant insights into the local environmental situation.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστώ την κυρία που ήταν η επιβλέπων καθηγήτης για την εργασία αυτή και συνετέλεσε στην επίτευξή της με πολύ σημαντικές συμβουλές καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	3
Περίληψη	4
Abstract	5
Ευχαριστίες	6
Περιεχόμενα	7
Κατάλογος Σχημάτων	9
Κατάλογος Πινάκων	11
Συνομογραφίες	12
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή	13
1.1 Εισαγωγή	13
1.2 Στόχος Πτυχιακής	14
1.3 Δομή Πτυχιακής	14
Κεφάλαιο 2ο: Βιβλιογραφική ανασκόπηση και ιστορικό υπόβαθρο	15
2.1 Εισαγωγή	15
2.1.1 Η σημασία της βιβλιογραφικής ανασκόπησης	15
2.2 Περιβαλλοντολογικές μεταβλητές και η σημασία τους	15
2.2.1 Οι περιβαλλοντολογικές μεταβλητές (θερμοκρασία, υγρασία, πίεση, ποιότητα αέρα)	16
2.2.2 Επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία και ποιότητα ζωής	17
2.2.3 Σχέση με την κλιματική αλλαγή και την ατμοσφαιρική ρύπανση	18
2.3 Ιστορική εξέλιξη της μέτρησης περιβαλλοντικών παραμέτρων	20
2.3.1 Πρώιμες μέθοδοι και εργαλεία μέτρησης	20
2.3.2 Εξέλιξη των τεχνολογιών και η μετάβαση σε ψηφιακά συστήματα	20
2.4 Τεχνολογίες και αισθητήρες για περιβαλλοντικές μετρήσεις	21
2.4.1 Παρουσίαση των διαφόρων αισθητήρων	21
2.4.2 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί κάθε τύπου αισθητήρα	23
2.4.3 Χρήση των αισθητήρων σε προηγούμενες μελέτες	23
2.5 Μικροελεγκτές και ενσωματωμένα συστήματα	25
2.5.1 Ο ρόλος των μικροελεγκτών στην καταγραφή δεδομένων	25
2.5.2 Παρουσίαση του μικροελεγκτή Arduino Uno	27
2.6 Ανάλυση δεδομένων περιβαλλοντικών μεταβλητών	28
2.6.1 Μέθοδοι ανάλυσης και εξαγωγής μοτίβων	28
2.6.2 Χρήση εργαλείων ανάλυσης δεδομένων	29

Κεφάλαιο 3ο: Θεωρητικό υπόβαθρο	31
3.1 Αισθητήρες	32
3.2 Ο αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11	35
3.2.1 Οι αισθητήρες θερμοκρασίας	35
3.2.2 Ο αισθητήρας DHT11	38
3.3 Ο αισθητήρας πίεσης BMP280	41
3.3.1 Οι αισθητήρες πίεσης	41
3.3.2 Ο αισθητήρας BMP280	42
3.4 Ο αισθητήρας μέτρησης της ποιότητας του αέρα MQ135	47
3.4.1 Οι χημικοί αισθητήρες	47
3.4.2 Ο αισθητήρας MQ135	47
3.5 Πρωτόκολλα επικοινωνίας	50
3.5.1 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας Single Wire	51
3.5.2 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας I ² C	52
3.6 Το Arduino και η χρήση του	58
Κεφάλαιο 4ο: Πειραματικό μέρος	60
4.1 Πειραματική διάταξη	60
4.2 Υλοποίηση λογισμικού	62
4.2.1 Η υλοποίηση για την πλατφόρμα του Arduino	62
4.2.2 Η υλοποίηση του κώδικα σε Python	63
4.3 Πειραματικά αποτελέσματα	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	82
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Ο κώδικας λογισμικού του Arduino	85
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Ο κώδικας λογισμικού σε Python	88

Κατάλογος Σχημάτων

<i>Σχήμα 1: Ένας μικροελεγκτής ενσωματώνει μνήμη και «περιφερειακά» στο ίδιο τσιπ</i>	27
<i>Σχήμα 2: Η 1-Wire master-slave επικοινωνία χρησιμοποιεί μία γραμμή δεδομένων</i>	39
<i>Σχήμα 3: Το μπλοκ διάγραμμα του αισθητήρα</i>	44
<i>Σχήμα 4: Ο κύκλος μέτρησης του αισθητήρα</i>	45
<i>Σχήμα 5: Η γενική διαδικασία επικοινωνίας</i>	50
<i>Σχήμα 6: Η διαδικασία όπου ο μικροελεγκτής στέλνει σήμα εκκίνησης προς τον DHT</i>	51
<i>Σχήμα 7: Η διαδικασία όπου ο DHT αποκρίνεται στον μικροελεγκτή με ένδειξη “0”</i>	51
<i>Σχήμα 8: Η διαδικασία όπου ο DHT αποκρίνεται στον μικροελεγκτή με ένδειξη “1”</i>	52
<i>Σχήμα 9: Τυπική I²C υλοποίηση</i>	53
<i>Σχήμα 10: Η Open-Drain σύνδεση που τραβάει τη γραμμή χαμηλής τάσης όταν το NMOS είναι ενεργοποιημένο</i>	54
<i>Σχήμα 11: Η Pullup Resistor τραβάει την υψηλή γραμμή</i>	54
<i>Σχήμα 12: I²C START και STOP</i>	56
<i>Σχήμα 13: I²C αναπαραστάσεις των ψηφιακών 0 και 1</i>	56
<i>Σχήμα 14: I²C διεύθυνση και πλαίσια δεδομένων</i>	57
<i>Σχήμα 15: Το Pinout διάγραμμα του Arduino Uno</i>	59
<i>Σχήμα 16: Το σχηματικό διάγραμμα του Arduino Uno</i>	59
<i>Σχήμα 17: Ο αισθητήρας DHT11</i>	60
<i>Σχήμα 18: Ο αισθητήρας BME280</i>	60
<i>Σχήμα 19: Ο αισθητήρας MQ135</i>	61
<i>Σχήμα 20: Η πειραματική διάταξη με τον μικροελεγκτή και τους αισθητήρες</i>	62
<i>Σχήμα 21: Μέτρηση θερμοκρασίας (DHT11) σε συνθήκες δωματίου</i>	65
<i>Σχήμα 22: Μέτρηση υγρασίας (BMP280) σε συνθήκες δωματίου</i>	65
<i>Σχήμα 23: Μέτρηση θερμοκρασίας (BMP280) σε συνθήκες δωματίου</i>	66

<i>Σχήμα 24: Μέτρηση πίεσης (BMP280) σε συνθήκες δωματίου</i>	66
<i>Σχήμα 25: Μέτρηση συγκέντρωσης αερίων (MQ135) σε συνθήκες δωματίου</i>	67
<i>Σχήμα 26: Μέτρηση θερμοκρασίας (DHT11) σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης αερίων</i>	68
<i>Σχήμα 27: Μέτρηση υγρασίας (BMP280) σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης αερίων</i>	68
<i>Σχήμα 28: Μέτρηση θερμοκρασίας (BMP280) σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης αερίων</i>	69
<i>Σχήμα 29: Μέτρηση πίεσης (BMP280) σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης αερίων</i>	69
<i>Σχήμα 30: Μέτρηση συγκέντρωσης αερίων (MQ135) σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης αερίων</i>	70
<i>Σχήμα 31: Μέτρηση θερμοκρασίας (DHT11) στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό</i>	71
<i>Σχήμα 32: Μέτρηση υγρασίας (BMP280) στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό</i>	71
<i>Σχήμα 33: Μέτρηση θερμοκρασίας (BMP280) στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό</i>	72
<i>Σχήμα 34: Μέτρηση πίεσης (BMP280) στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό</i>	72
<i>Σχήμα 35: Μέτρηση συγκέντρωσης αερίων (MQ135) στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό</i>	73
<i>Σχήμα 36: Μέτρηση θερμοκρασίας (DHT11) στο σταθμό Παπάφη</i>	74
<i>Σχήμα 37: Μέτρηση υγρασίας (BMP280) στο σταθμό Παπάφη</i>	74
<i>Σχήμα 38: Μέτρηση θερμοκρασίας (BMP280) στο σταθμό Παπάφη</i>	75
<i>Σχήμα 39: Μέτρηση πίεσης (BMP280) στο σταθμό Παπάφη</i>	75
<i>Σχήμα 40: Μέτρηση συγκέντρωσης αερίων (MQ135) στο σταθμό Παπάφη</i>	76
<i>Σχήμα 41: Μέτρηση θερμοκρασίας (DHT11) στο σταθμό Νέα Ελβετία</i>	77
<i>Σχήμα 42: Μέτρηση υγρασίας (BMP280) στο σταθμό Νέα Ελβετία</i>	77
<i>Σχήμα 43: Μέτρηση θερμοκρασίας (BMP280) στο σταθμό Νέα Ελβετία</i>	78
<i>Σχήμα 44: Μέτρηση πίεσης (BMP280) στο σταθμό Νέα Ελβετία</i>	78
<i>Σχήμα 45: Μέτρηση συγκέντρωσης αερίων (MQ135) στο σταθμό Νέα Ελβετία</i>	79

Κατάλογος Πινάκων

<i>Πίνακας 1: Οι διαφορές μεταξύ παθητικών και ενεργών αισθητήρων</i>	33
<i>Πίνακας 2: Οι κατηγορίες των αισθητήρων με βάση τις ιδιότητες ανίσχευσης</i>	34
<i>Πίνακας 3: Ο πίνακας με τις τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα DHT11</i>	39
<i>Πίνακας 4: Πίνακας με τις αναλυτικές προδιαγραφές του αισθητήρα</i>	40
<i>Πίνακας 5: Ο πίνακας με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα</i>	41
<i>Πίνακας 6: Οι τεχνικές προδιαγραφές του BMP280</i>	43
<i>Πίνακας 7: Οι μέγιστες τιμές που μπορούν να δοθούν στο BMP280</i>	43
<i>Πίνακας 8: Ο πίνακας με τις τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα MQ135</i>	49
<i>Πίνακας 9: Οι μέσες τιμές των πειραματικών μετρήσεων σε όλες τις περιοχές μέτρησης</i>	80

Συντομογραφίες

I ² C (I2C)	Inter-Integrated Circuit
ΔΠΙΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία
DHT	Digital Humidity Temperature
BMP	Barometric MEMS Pressure
MQ	Metal Oxide Semiconductor (MOS) Gas Sensor Series
CO ₂	Διοξείδιο του άνθρακα
NH ₃	Αμμωνία
SAT	Η θερμοκρασία του επιφανειακού αέρα
GHG	Τα αέρια του θερμοκηπίου
PPM	Parts Per Million
IPCC	Επιτροπή για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή
SPI	Serial Peripheral Interface
EMC	Electromagnetic Compatibility
EPA	Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος
AQI	Ο Δείκτης Ποιότητας του Άνθρακα
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Organization for Standardization
MCU	Microcontroller
NTC	Negative Temperature Coefficient
OTP	Over Temperature Protection

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Η παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού έχει οδηγήσει σε αύξηση του αριθμού των ανθρώπων που ζουν σε αστικές περιοχές. Ως αποτέλεσμα, οι πιέσεις στο διάστημα, τα οικοσυστήματα, τις υποδομές, τις εγκαταστάσεις και τον προσωπικό τρόπο ζωής έχουν ενισχυθεί. Τα προβλήματα που σχετίζονται με την ποιότητα ζωής στις πόλεις είναι ολοένα και πιο σημαντικά, ιδίως όσον αφορά τα περιβαλλοντικά ζητήματα. Οι οικιακές και βιομηχανικές πηγές και, κυρίως, η μηχανοκίνητη κυκλοφορία ευθύνονται για τις εκπομπές ρύπων και τον θόρυβο που επηρεάζουν καθοριστικά τη ζωή στις σύγχρονες πόλεις. Οι πόλεις αποτελούν κομβικά σημεία για πολλές από τις ανησυχίες που αποτελούν τη βάση των τρεχουσών συζητήσεων για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να επικεντρωθεί στις τοπικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αστικοποίησης και να εξετάσει κατά πόσο επηρεάζονται αυτές ανάλογα με την τοποθεσία μέσα στην ίδια πόλη. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στα συστήματα πληροφοριών όλων των τύπων και στην ενσωμάτωση περιβαλλοντικών παραμέτρων σε αστικό επίπεδο. Το βασικό ερώτημα που τίθεται είναι να αποφασιστεί ο ρόλος που μπορούν να παίξουν οι αστικοί περιβαλλοντικοί δείκτες βοηθώντας στη βελτίωση της διαχείρισης των πόλεων. Τα σημεία που αναφέρονται αρχικά είναι γενικά και εννοιολογικά και στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα πειράματα που διεξήχθησαν και είναι ποσοτικής και εμπειρικής φύσης [1]. Σε αυτό το πλαίσιο, η αξιολόγηση και η παρακολούθηση της ποιότητας του αστικού περιβάλλοντος έχει καταστεί σημαντικό ζήτημα για τη λήψη αποφάσεων και το σχεδιασμό πιο βιώσιμων πόλεων. Κατασκευάστηκε ένα μοντέλο μέτρησης αυτών των παραμέτρων για να γίνουν διάφορες συγκρίσεις και να εξαχθούν αποτελέσματα για το πώς διαφοροποιούνται αυτές οι μεταβλητές μέσα σε μία πόλη. Παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης για τη Θεσσαλονίκη, τη δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας, στην οποία υπολογίστηκαν οι τιμές της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της ατμοσφαιρικής πίεσης και η συγκέντρωση των αερίων αμμωνίας, οξειδίων του αζώτου, αλκοόλης, βενζολίου, καπνού και διοξειδίου του [2].

1.2 Στόχος Πτυχιακής

Ο στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η κατασκευή ενός συστήματος παρακολούθησης περιβαλλοντολογικών μεταβλητών όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η βαρομετρική πίεση, καθώς και η συγκέντρωση διαφόρων αερίων στην ατμόσφαιρα. Το σύστημα αυτό βασίζεται σε έναν μικροελεγκτή, το Arduino Uno που θα χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή των δεδομένων των αισθητήρων. Οι αισθητήρες που θα συλλέγουν αυτά τα δεδομένα είναι ο αισθητήρας DHT11 που μετράει τη θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος, ο αισθητήρας BMP280 μετράει επίσης την θερμοκρασία, καθώς και την ατμοσφαιρική πίεση του αέρα, ενώ ο αισθητήρας αερίων MQ135 θα μετράει την ποιότητα του αέρα, ανιχνεύοντας στοιχεία όπως CO₂, NH₃ και βενζόλιο. Αυτό το σύστημα μέτρησης θα χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση αυτών των ποσοτήτων σε διαφορετικές περιοχές της Θεσσαλονίκης για να προκύψει ένα συμπέρασμα σχετικά με τις τιμές αυτών σε όλη την πόλη. Μετρήσεις θα διεξαχθούν σε διάφορα σημεία της πόλης και στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα, τα οποία και θα συγκριθούν μεταξύ τους για να γίνουν αντιληπτές οι διαφορές αυτών των μετρήσεων σε όλη την πόλη.

1.3 Δομή Πτυχιακής

Η παρούσα πτυχιακή εργασία οργανώνεται στα ακόλουθα κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή: Παρουσιάζεται το γενικό πλαίσιο, η σημασία της περιβαλλοντικής παρακολούθησης σε αστικά περιβάλλοντα, καθώς και ο σκοπός και οι στόχοι της εργασίας.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση και Ιστορικό υπόβαθρο: Αναλύεται το ιστορικό υπόβαθρο των αισθητήρων και η χρήση τους για μετρήσεις περιβαλλοντολογικών παραμέτρων, καθώς και παλαιότερες έρευνες που έχουν γίνει σε αυτό το πεδίο.

Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό Υπόβαθρο: Περιγράφονται οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές μεταβλητές, την ποιότητα του αέρα και τις τεχνολογίες των αισθητήρων. Επίσης, αναλύεται η αρχιτεκτονική του συστήματος και η επιλογή των εξαρτημάτων, όπως το Arduino Uno και οι αισθητήρες σε θεωρητική βάση.

Κεφάλαιο 4: Πειραματικό Μέρος: Παρουσιάζεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα και ο κώδικας του μικροελεγκτή. Ακόμα, παρουσιάζονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις διάφορες περιοχές της Θεσσαλονίκης, τα γραφήματα, οι υπολογισμοί μέσω των τιμών, καθώς και η ανάλυση των διαφορών μεταξύ των περιοχών και οι πιθανοί λόγοι για αυτές τις διαφορές.

Κεφάλαιο 2ο: Βιβλιογραφική ανασκόπηση και ιστορικό υπόβαθρο

2.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια εις βάθος βιβλιογραφική ανασκόπηση των εννοιών και τεχνολογιών που είναι κεντρικές στην παρούσα διπλωματική εργασία. Στόχος του είναι να παράσχει το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο για την κατανόηση των περιβαλλοντικών μεταβλητών που μελετώνται, των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρησή τους, καθώς και των μικροελεγκτών και των ενσωματωμένων συστημάτων που αποτελούν τον πυρήνα του αναπτυχθέντος συστήματος. Επιπλέον, εξετάζονται οι επιπτώσεις αυτών των μεταβλητών στην ανθρώπινη υγεία και ποιότητα ζωής, καθώς και η σχέση τους με ευρύτερα φαινόμενα όπως η κλιματική αλλαγή και η ατμοσφαιρική ρύπανση.

2.1.1 Η σημασία της βιβλιογραφικής ανασκόπησης στην παρούσα εργασία

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση παρέχει ένα ισχυρό θεωρητικό πλαίσιο για την κατανόηση των περιβαλλοντικών προκλήσεων στις αστικές περιοχές και την ανάγκη για ακριβή μέτρηση και παρακολούθηση. Είναι γεγονός ότι, οι άνθρωποι πληθυσμοί μετατοπίζονται μαζικά προς τις πόλεις, γεγονός που οδηγεί σε ραγδαίες αυξήσεις του αριθμού και της έκτασης των αστικών περιοχών. Τέτοιες αλλαγές είναι δεδομένο ότι προκαλούν μειώσεις σε πολλά είδη, αλλά μπορούν επίσης να λειτουργήσουν ως εναλλακτικές πιέσεις επιλογής στις οποίες ορισμένα είδη μπορούν να προσαρμοστούν [3]. Έτσι, η κατανόηση αυτών των δυναμικών είναι θεμελιώδης και μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση υφιστάμενων προβλημάτων στην σύγχρονη κοινωνία και να υπάρξει η προσπάθεια αντιμετώπισης και λύσης αυτών των προβλημάτων. Η επιλογή των αισθητήρων και των τεχνολογιών, έγινε βασιζόμενη σε πρακτικές και αποδεδειγμένες λύσεις από προηγούμενες μελέτες που παρείχαν σημεία αναφοράς για τη σύγκριση και την ερμηνεία των πειραματικών αποτελεσμάτων, ενισχύοντας την εγκυρότητα των συμπερασμάτων [4, 5, 6, 7].

2.2 Περιβαλλοντολογικές μεταβλητές και η σημασία τους

Η επίδραση των ημερήσιων εκπομπών αερίων και σωματιδιακών ρύπων από μηχανές και βιομηχανίες στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον έχει προκαλέσει αυξανόμενη ανησυχία. Αυτή η επίδραση έχει οδηγήσει σημαντικά σε αξιοσημείωτη αύξηση της θνησιμότητας στις ιδιαίτερα βιομηχανοποιημένες περιοχές. Επομένως, η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, καθώς και της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης, αλλά και η ευαισθητοποίηση του κοινού είναι σημαντικές για ένα ασφαλέστερο μέλλον, γεγονός που οδήγησε τις κυβερνήσεις παγκοσμίως να επενδύσουν στη χάραξη πολιτικών και στην ιεράρχηση λύσεων για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Όπως έχει αναφερθεί η παρούσα πτυχιακή εργασία προτείνει ένα σύστημα παρακολούθησης που παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και αναφέρεται στην παρακολούθηση του περιβάλλοντος, αναδεικνύοντας τις νέες προοπτικές στην αντιμετώπιση των σημερινών περιβαλλοντικών προβλημάτων.

2.2.1 Οι περιβαλλοντολογικές μεταβλητές (θερμοκρασία, υγρασία, πίεση, ποιότητα αέρα)

Οι περιβαλλοντικές μεταβλητές διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των συνθηκών διαβίωσης στον πλανήτη μας, επηρεάζοντας τόσο τα οικοσυστήματα όσο και την ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Μεταξύ των πιο σημαντικών περιβαλλοντικών παραγόντων συγκαταλέγονται η θερμοκρασία, η υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση και η ποιότητα του αέρα. Οι μεταβολές στις τιμές αυτών των μεταβλητών αντικατοπτρίζουν όχι μόνο τις αλλαγές στο τοπικό και παγκόσμιο κλίμα, αλλά και τις επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας στον φυσικό κόσμο.

Θερμοκρασία και Υγρασία

Η μέση θερμοκρασία της Γης έχει αυξηθεί κατά $1,2 \pm 0,1$ °C από την προβιομηχανική εποχή. Η πιο κοινή μέτρηση για τη μέτρηση της συνεχιζόμενης υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι η θερμοκρασία του επιφανειακού αέρα (SAT), καθώς έχει μακρά και αξιόπιστα αρχεία παρατήρησης. Ωστόσο, η θερμοκρασία της επιφάνειας του αέρα από μόνη της δεν περιγράφει πλήρως τη φύση της υπερθέρμανσης του πλανήτη και τις επιπτώσεις της στο κλίμα και τις ακραίες καιρικές συνθήκες. Η επιφανειακή ισοδύναμη δυναμική θερμοκρασία (Thetae_sfc), η οποία συνδυάζει τη θερμοκρασία του επιφανειακού αέρα και την υγρασία, είναι μια πιο ολοκληρωμένη μέτρηση όχι μόνο για την υπερθέρμανση του πλανήτη αλλά και για τον αντίκτυπό της στο κλίμα και στα ακραία καιρικά φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένων των τροπικών θερμοκρασιών και των ακραίων καύσωνα. Η ισοδύναμη δυναμική θερμοκρασία επιφάνειας (Thetae_sfc), ευθύνεται επίσης για την αύξηση της ατμοσφαιρικής υγρασίας και της λανθάνουσας ενέργειας. Από το 1980 έως το 2019, ενώ το SAT αυξήθηκε κατά 0,79, το Thetae_sfc αυξήθηκε κατά 1,48 παγκοσμίως και μέχρι 4 στους τροπικούς. Το Thetae_sfc αυξήθηκε πιο ομοιόμορφα (από το SAT) μεταξύ των μεσαίων γεωγραφικών πλάτη του νότιου ημισφαιρίου και του βόρειου ημισφαιρίου, αποκαλύπτοντας την παγκόσμια φύση της θέρμανσης που προστίθεται από τα αέρια θερμοκηπίου (GHG). Οι τάσεις στις ακραίες θερμοκρασίες και στις ακραίες βροχοπτώσεις συσχετίζονται ισχυρά με τις παγκόσμιες/τροπικές τάσεις στο Thetae_sfc. Η τροπική ενίσχυση του Thetae_sfc είναι τόσο μεγάλη όσο η αρκτική ενίσχυση του SAT, αντιπροσωπεύοντας τις παρατηρούμενες παγκόσμιες θετικές τάσεις στη βαθιά μεταφορά και μια αύξηση 20% στις ακραίες θερμοκρασίες. Με μη ελεγχόμενες εκπομπές GHG, ενώ η θέρμανση SAT μπορεί να φτάσει το 4,8 έως το 2100, ο παγκόσμιος μέσος όρος Thetae_sfc μπορεί να αυξηθεί έως και 12, με αντίστοιχες αυξήσεις 12 (διάμεσος) έως 24 (5% των σημείων πλέγματος) στις ακραίες θερμοκρασίες της επιφάνειας του εδάφους, 14 έως 30 φορές αύξηση στη συχνότητα των ακραίων θερμοκρασιών, 40% αύξηση στη διαθέσιμη ενέργεια για τροπική μεταφορά βαθιάς μεταφοράς και έως και 60% αύξηση στις ακραίες βροχοπτώσεις [8].

Ποιότητα Αέρα και Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂)

Η ποιότητα του αέρα επηρεάζεται έντονα από τη συγκέντρωση αέριων ρύπων, με κυριότερο το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), που αποτελεί βασικό αέριο του θερμοκηπίου. Σε εσωτερικούς χώρους, οι συγκεντρώσεις CO₂ έχουν αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της μείωσης του φυσικού αερισμού σε κτήρια. Ο φυσικός αερισμός έχει μειωθεί περίπου 40 φορές λόγω των ενεργειακά αποδοτικών κουφωμάτων και των στεγανών κατασκευών. Ο μεγαλύτερος παράγοντας παραγωγής CO₂ είναι ο άνθρωπος. Άλλη μεγάλη πηγή CO₂ σε εσωτερικούς χώρους είναι το κάπνισμα προϊόντων καπνού. Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα επηρεάζει την ποιότητα του αέρα. Σε εσωτερικούς χώρους, η συγκέντρωση CO₂ πρέπει να είναι μικρότερη από 1000 ppm. Όταν ξεπεραστεί αυτή η συγκέντρωση, αρχίζει να προκαλεί γνωστική κόπωση, μειωμένη απόδοση και δυσφορία. Η υπέρβαση της συγκέντρωσης των 5000 ppm σημαίνει σοβαρή κινδύνους για την υγεία. Το Κυβερνητικό Διάταγμα 361/2007 ορίζει την επιτρεπόμενη τιμή του ορίου έκθεσης (PEL) για το CO₂ στα 5000 ppm. Η μέγιστη τιμή της υψηλότερης επιτρεπόμενης συγκέντρωσης (HPC) με την οποία μπορεί να συναντηθεί ένα άτομο ανά βάρδια είναι 25000 ppm [9].

2.2.2 Επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία και ποιότητα ζωής

Οι περιβαλλοντικές μεταβλητές, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση και η ποιότητα του αέρα, έχουν άμεση και έμμεση επίδραση στην ανθρώπινη υγεία και την ποιότητα ζωής. Η κλιματική αλλαγή και η περιβαλλοντική υποβάθμιση εντείνουν τις επιπτώσεις αυτές, καθιστώντας τες ιδιαίτερα ανησυχητικές για τον παγκόσμιο πληθυσμό.

Αλλαγές στην ποσότητα του φωτός, στην θερμοκρασία, στην υγρασία, στον άνεμο, στον αέρα, στο νερό και στο χώμα επηρεάζουν τον τομέα της γεωργίας, τα ζώα, τον υδρολογικός κύκλο, το μοτίβο ανέμου, την κατανομή των βροχοπτώσεων, την ανάπτυξη των φυτών και ακόμη ολόκληρη την τροφική αλυσίδα καθώς τα φυτά είναι παραγωγοί στον φλοιό της γης. Ως αποτέλεσμα αυτών των αλλαγών ένας τομέας που επηρεάζεται πάρα πολύ είναι ο αγροτικός τομέας. Έρχεται αντιμέτωπος με πολλά προβλήματα, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, η κλιματική αλλαγή και οι πλημμύρες που επηρεάζουν την απόδοση, καθώς και άλλους παράγοντες που σχετίζονται με την ανάπτυξη. Επίσης περιλαμβάνει σημαντικό περιβαλλοντικό κόστος, καθώς και εκπομπές διαφορετικών αερίων του θερμοκηπίου, απώλεια βιοποικιλότητας, και την υποβάθμιση του γλυκού νερού και της γης. Αυτές οι κλιματολογικές επιπτώσεις μειώνουν την παγκόσμια ανάπτυξη των καλλιεργειών, την παραγωγικότητα και ποιότητα των καλλιεργειών. Ένα μη βέλτιστο εύρος αύξησης θερμοκρασίας στο οποιοδήποτε στάδιο για παρατεταμένη διάρκεια μπορεί να μειώσει τον ρυθμό ανάπτυξης, και να μειώσει την απόδοση. Στις μέρες μας εφαρμόζονται έξυπνες γεωργικές πρακτικές που μπορούν να βοηθήσουν τους αγρότες να προσαρμοστούν καλύτερα στην κλιματική αλλαγή και στη μείωση των απωλειών παραγωγικότητας. Αυτές οι δραστηριότητες μετριάζουν τις δυσμενείς επιπτώσεις των ακραίων θερμοκρασιών. Μια τελευταία μελέτη με απόδοση και κλιματικούς παράγοντες από το 1980 έως το 2015 σημείωσε μείωση της απόδοσης έως και 20% σε ποικιλία σιτάρι και περίπου 40% στον αραβόσιτο λόγω υψηλής ξηρασίας (χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό της ατμόσφαιρας). Υπάρχουν διάφορες περιπτώσεις όπου με αλλαγές στην γενετική, στην μορφολογία, στην βιοχημική σύσταση, στους μοριακούς και φυσιολογικούς μηχανισμούς, μπορούν να μειώσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις της αύξησης της θερμοκρασίας. Ο αγροτικός τομέας

ωστόσο, αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις για να διασφαλίσει τον κόσμο ευρεία επισιτιστική ασφάλεια μέσω της ενίσχυσης των αποδόσεων μειώνοντας παράλληλα το περιβαλλοντικό κόστος.

Επίσης, επιπτώσεις έχουν παρατηρηθεί στην διαδικασία της φωτοσύνθεσης, η οποία είναι μια ζωτικής σημασίας διαδικασία ρύθμισης της ανάπτυξης σε όλα τα φυσιολογικά φυτών και ιδιαίτερα σε φυτά καλλιέργειας. Αρκετοί ερευνητές έχουν έδειξε τις ανασταλτικές επιδράσεις των διαφορετικών θερμικών καταπονήσεων στο ρυθμό φωτοσύνθεσης σε φυτά που μπορούν να απεικονιστούν με τον προσδιορισμό τα περιεχόμενα των φωτοσυνθετικών χρωστικών των φύλλων. Ο ρυθμός της φωτοσυνθετικής αντίδρασης στην αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να αναμένεται λόγω καταστροφής σε εξαρτήματα του photosystem-II που υπάρχει στη θυλακοειδή μεμβράνη του χλωροπλάστη. Οι σχέσεις νερού και η σταθερότητα της κυτταρικής μεμβράνης είναι δύο βασικοί φυσιολογικοί μηχανισμοί διάρκειας ζωής των φυτών που επηρεάζονται άμεσα από την υψηλή θερμοκρασία στρες [10].

2.2.3 Σχέση με την κλιματική αλλαγή και την ατμοσφαιρική ρύπανση

Το κλίμα είναι ένας σημαντικός περιβαλλοντικός παράγοντας μιας περιοχής, οποιασδήποτε χώρας στον κόσμο. Οι αλλαγές στους περιβαλλοντικούς παράγοντες ενός περιοχή για μεγάλο χρονικό διάστημα αποτελούν κλιματική αλλαγή. Περιλαμβάνει ποσότητα φωτός, θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος, αέρια, αέρας, νερό και χώμα που κατά μέσο όρο διαρκεί περίπου 30 χρόνια. Οι κύριες πηγές κλιματικής αλλαγής είναι η παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από διαφορετικές πηγές, συμπεριλαμβανομένης της αστικοποίησης, της εκβιομηχάνισης και των μεταφορών που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας. Η κατάσταση είναι πιο προβληματική από αλλοίωση των κλιματικών συνθηκών, με αποτέλεσμα την τακτική αύξηση της θερμοκρασίας εκτός από την αλλαγή της συχνότητας και του μοτίβου βροχοπτώσεων, εγείροντας έτσι ανησυχία για την επισιτιστική ασφάλεια σε παγκόσμιο επίπεδο. Η παγκόσμια εκπομπή για το αέριο του θερμοκηπίου, μετρήθηκε CO₂ περίπου 35,8 Gt CO₂/έτος (στοιχεία 2017) απορρίπτονται στον αέρα και εκτιμάται ότι θα επεκταθούν κατά 2,6% επιπλέον το 2018. Για να περιοριστεί η άνοδος της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της γης σε < 2 C έως την κορυφή του 21ου αιώνα, η Διεθνής Επιτροπή για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή (IPCC) πρότεινε ότι οι εκπομπές GHG θα πρέπει να μειωθούν κατά 45-50% έως το 2050, με συνεχείς μειώσεις κατά τον υπόλοιπο 21ο αιώνα. Η κλιματική αλλαγή θεωρείται παγκόσμιο ζήτημα, αλλά πολλά εξελίσσονται και οι λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες επηρεάζονται περισσότερο. η κύρια αιτία είναι ότι είναι πιο ευάλωτα στις κλιματικές αλλαγές και τους Η ικανότητα μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής είναι χαμηλή. Πακιστάν απειλείται από την παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Η τελευταία έκθεση της Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή δείχνει ότι το Πακιστάν είναι μία στη λίστα με τις δέκα πρώτες χώρες που είναι πιο ευάλωτες ή απειλούμενες από τις κλιματικές αλλαγές. Στον 21ο αιώνα της επιστήμης και της τεχνολογίας, η μέση θερμοκρασία της γης αναμένεται να αυξηθεί από 2,5 C έως 4,5 C. Σύμφωνα με το IPCC-2014, ο χρόνος Το διάστημα μεταξύ του 19ου και του 21ου αιώνα θεωρείται η θερμότερη περίοδος της προηγούμενης ιστορίας. Κάτω από δύσκολες καιρικές

συνθήκες, η Η συχνότητα της υπερθέρμανσης του πλανήτη εκτιμάται ότι θα αυξηθεί, γεγονός που θα αυξηθεί διαταράξουν το παγκόσμιο οικοσύστημα. Όντας μέρος του περιβάλλοντος και αποκομίζοντας πολλά οφέλη από αυτό ο άνθρωπος πρέπει να προστατεύει και να αποκαθιστά τη γη οικοσύστημα. Ο πληθυσμός πρέπει να αναπτυχθεί γύρω στο ένα δισεκατομμύριο κάθε 2050 και βασίζονται οι προϋποθέσεις για τα τρόφιμα για να αυξηθούν περίπου 85%. Η κλιματική αλλαγή έχει αρνητικό αντίκτυπο στα τρόφιμα. Ως απάντηση στην επιδείνωση της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής και αναγνώριση της ουδετερότητας άνθρακα έως το 2050, το πιο σημαντικό και μια σημαντική πρόκληση για την αλλαγή του τρέχοντος συστήματος παραγωγής είναι η μείωση των εκπομπών GHG. Περιλαμβάνει επίσης την προώθηση της δέσμευσης CO₂ από την ατμόσφαιρα, ειδικά με διαφορετικές τεχνικές συμπεριλαμβανομένων των φυτών καθώς αποτελούν φυσική απορρόφηση CO₂ από το περιβάλλον. Η επιστημονική και τεχνολογική επανάσταση του 21ου αιώνα έχει δίνονται πολλαπλές διευκολύνσεις στην ανθρωπότητα, αλλά ταυτόχρονα οι ανθρωπογενείς (Ανθρωπογενείς) δραστηριότητες ευθύνονται για την εξάντληση του πόρων και διαταράσσοντας τη λεπτή ισορροπία μεταξύ των διαφόρων συνιστωσών του περιβάλλοντος. Αλλαγές στο Οι συνθήκες της ατμόσφαιρας έχουν ως αποτέλεσμα σοβαρά προβλήματα όπως το πράσινο φαινόμενο του σπιτιού, καταστροφή της στιβάδας του όζοντος και αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Λαμβάνοντας υπόψη όλα αυτά τα προβλήματα σχεδιάζεται η παρούσα μελέτη να διερευνήσει και να κατανοήσει σε βάθος αυτά τα προβλήματα και να αναδείξει τις λύσεις τους. Οι κύριοι στόχοι αυτής της μελέτης είναι η επεξεργασία η αυξανόμενη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα, οι επιπτώσεις τους σε περιβάλλον και συνέπειες των διαφορετικών κλιματικών αλλαγών Πακιστάν, οι αιτίες, οι επιπτώσεις και οι συνέπειές τους. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες που επηρεάζουν το περιβάλλον και τα συστατικά του η πιθανή λύση για την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και των συστατικών του είναι η αποκατάσταση των φυσικών συνθηκών για την ύπαρξη και την ανάπτυξη ζωντανών οργανισμών, ιδιαίτερα φυτών που είναι παραγωγοί και φυσικοί πνεύμονες στην επιφάνεια της γης. Οι στόχοι αυτής της μελέτης περιλαμβάνουν την αξιολόγηση της ανθρωπογενούς δραστηριότητες που καταστρέφουν το περιβάλλον αυξάνοντας CO₂ και θερμοκρασία. Πρέπει να κάνουμε το περιβάλλον δροσερό, καθαρό και πράσινο μόνο από πράσινη επανάσταση (φυτεία). Ανάγκη γραφής Αυτός ο τύπος αναθεώρησης είναι ότι πρέπει να επικεντρωθούμε στο φυσικό και καθαρό περιβάλλον που είναι απαραίτητο για την ύπαρξη ζωής στην επιφάνεια του γη. Το κύριο θέμα μας είναι ότι χρησιμοποιούμε εκτενώς τους φυσικούς πόρους και μετά δεν ευθύνονται για τις συνέπειες. Ελπίζουμε τέτοιου είδους του mini review θα συμβάλει στη δημιουργία ευαισθητοποίησης για όσους είμαστε φιλικό προς το περιβάλλον και θέλουμε να προσφέρουμε βιώσιμο περιβάλλον στις επόμενες γενιές μας [10, 11].

2.3 Ιστορική εξέλιξη της μέτρησης περιβαλλοντικών παραμέτρων

2.3.1 Πρώιμες μέθοδοι και εργαλεία μέτρησης

Η ανάγκη για μέτρηση των περιβαλλοντικών συνθηκών είναι αρχαία, καθώς η κατανόηση του καιρού και του κλίματος ήταν κρίσιμη για τη γεωργία, τη ναυσιπλοΐα και την επιβίωση. Οι πρώιμες μέθοδοι βασίζονταν σε απλές αρχές της φυσικής, που οδήγησαν στην κατασκευή αυτών των πρώτων οργάνων μέτρησης. Στα τέλη του 16ου και στις αρχές του 17ου αιώνα, αρκετοί Ευρωπαίοι επιστήμονες, κυρίως ο Galileo Galilei και ο Ιταλός φυσιολόγος Santorio Santorio ανέπτυξαν συσκευές με μια γυάλινη λάμπα γεμάτη με αέρα, συνδεδεμένη με έναν σωλήνα, μερικώς γεμάτο με νερό. Καθώς ο αέρας στη λάμπα θερμαίνεται ή ψύχεται, το ύψος της στήλης νερού στον σωλήνα μειώνεται ή αυξάνεται, επιτρέποντας σε έναν παρατηρητή να συγκρίνει το τρέχον ύψος του νερού με προηγούμενα ύψη για να ανιχνεύσει σχετικές αλλαγές στη θερμοότητα στη λάμπα και στο άμεσο περιβάλλον του. Τέτοιες συσκευές, χωρίς κλίμακα για την ανάθεση αριθμητικής τιμής στο ύψος του υγρού, αναφέρονται ως *θερμοσκόπια* επειδή παρέχουν μια παρατηρήσιμη ένδειξη αισθητής θερμότητας. Στη συνέχεια στις αρχές του 18ου αιώνα, ο επιστήμονας και εφευρέτης Daniel Gabriel Fahrenheit εφηύρε το πρώτο αξιόπιστο θερμόμετρο που χρησιμοποιούσε υδράργυρο [12]. Άλλο ένα όργανο μέτρησης είναι το βαρόμετρο, το οποίο εφευρέθηκε από τον Evangelista Torricelli τον 17ο αιώνα και χρησιμοποιούσε υδράργυρο για να μετρά την ατμοσφαιρική πίεση. Τέλος, ένα ακόμη σηματικό όργανο μέτρησης είναι το υγρόμετρο το οποίο είναι ειδικό όργανο που μετρά την υγρασία της ατμόσφαιρας. Το πρώτο υγρόμετρο κατασκευάστηκε τον 18ο αιώνα από τον Horace Bénédict de Saussure και χρησιμοποιούσε μία δέσμη τριχών ανθρώπου ή αλόγου, καθώς οι φυσικές τριχές έχουν την δυνατότητα να αυξομειώνονται κατά το μήκος τους ανάλογα με την υγρασία που έχουν [13].

2.3.2 Εξέλιξη των τεχνολογιών και η μετάβαση σε ψηφιακά συστήματα

Με την πάροδο του χρόνου, οι τεχνολογίες μέτρησης περιβαλλοντικών παραμέτρων εξελίχθηκαν δραματικά, σηματοδοτώντας μια μετάβαση από τα αναλογικά στα ψηφιακά συστήματα. Αυτή η εξέλιξη τροφοδοτήθηκε από διαδοχικά τεχνολογικά άλματα, ξεκινώντας από τη Βιομηχανική Επανάσταση και επιταχύνοντας ραγδαία με τις προόδους στην ηλεκτρονική και την πληροφορική. Η Βιομηχανική Επανάσταση οδήγησε στην ανάγκη για πιο ακριβείς και συστηματικές μετρήσεις, με σκοπό την επιτάχυνση των βιομηχανικών διαδικασιών. Στη συνέχεια, η εξέλιξη των ημιαγωγών και της μικροηλεκτρονικής επέτρεψαν τη δημιουργία μιας νέας γενιάς αισθητήρων, όπου σε αντίθεση με τους ογκώδεις και συχνά εύθραυστους μηχανικούς προκατόχους τους, οι ηλεκτρονικοί αισθητήρες είναι συμπαγείς, αξιόπιστοι, ακριβείς και οικονομικά αποδοτικοί [14].

2.4 Τεχνολογίες και αισθητήρες για περιβαλλοντικές μετρήσεις

Στο πλαίσιο της ανάπτυξης σύγχρονων ενσωματωμένων συστημάτων για την περιβαλλοντική παρακολούθηση, η επιλογή των κατάλληλων αισθητήρων είναι κρίσιμη για την ακριβή, αξιόπιστη και αποτελεσματική συλλογή δεδομένων. Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει περιληπτικά τους βασικούς τύπους αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για τέτοιου είδους μετρήσεις, εστιάζοντας σε αυτούς που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

2.4.1 Παρουσίαση των διαφόρων αισθητήρων

Για την υλοποίηση του συστήματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι ψηφιακοί αισθητήρες:

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11 διαθέτει ένα σύμπλεγμα αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας με βαθμονομημένη έξοδο ψηφιακού σήματος. Χρησιμοποιώντας την αποκλειστική τεχνική λήψης ψηφιακού σήματος και την τεχνολογία ανίχνευσης θερμοκρασίας και υγρασίας, εξασφαλίζει υψηλή αξιοπιστία και εξαιρετική μακροπρόθεσμη σταθερότητα. Αυτός ο αισθητήρας περιλαμβάνει ένα στοιχείο μέτρησης υγρασίας αντίστασης και ένα στοιχείο μέτρησης θερμοκρασίας NTC και συνδέεται με έναν μικροελεγκτή υψηλής απόδοσης 8-bit, προσφέροντας εξαιρετική ποιότητα, γρήγορη απόκριση, αντιπαραεμβατική ικανότητα και οικονομική αποδοτικότητα. Κάθε αισθητήρας DHT11 είναι αυστηρά βαθμονομημένος, γεγονός που τον καθιστά εξαιρετικά ακριβές στη βαθμονόμηση υγρασίας. Οι συντελεστές βαθμονόμησης αποθηκεύονται ως προγράμματα στη μνήμη OTP, τα οποία χρησιμοποιούνται από την εσωτερική διαδικασία ανίχνευσης σήματος του αισθητήρα. Η σειριακή διεπαφή ενός καλωδίου καθιστά την ενσωμάτωση του συστήματος γρήγορη και εύκολη. Το μικρό του μέγεθος, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η μετάδοση σήματος το καθιστούν την καλύτερη επιλογή για διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων και των πιο απαιτητικών. Το εξάρτημα είναι ένα πακέτο 4 υποδοχών μίας σειράς. Μπορεί να μετρήσει σε εύρος θερμοκρασίας από 0°C έως 50°C, με ± 2 °C ακρίβεια, ενώ το εύρος μέτρησης της υγρασίας είναι από 20% έως 90% RH με $\pm 5\%$ ακρίβεια [15]. Άλλοι αισθητήρες μέτρησης της θερμοκρασίας είναι ο DS18B20, ο LM35, TMP36, καθώς και τα RTDs PT1000 και PT100. Τέλος ο αισθητήρας AM2302 προσφέρει μέτρηση και της υγρασίας και της θερμοκρασίας, όπως αντίστοιχα και οι αισθητήρες SHTxx Series (π.χ. SHT30, SHT31, SHT4x) και ο DHT22, ο οποίος παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τον DHT11.

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας και πίεσης BMP280 βασίζεται στην αποδεδειγμένη τεχνολογία αισθητήρα πίεσης πιεζοηλεκτρικής αντίστασης της Bosch, η οποία διαθέτει υψηλή ανθεκτικότητα EMC, υψηλή ακρίβεια και γραμμικότητα και μακροπρόθεσμη σταθερότητα. Ο BMP280 είναι ένας αισθητήρας απόλυτης βαρομετρικής πίεσης ειδικά σχεδιασμένος για κινητές εφαρμογές. Η μονάδα αισθητήρα στεγάζεται σε μια εξαιρετικά συμπαγή συσκευασία LGA με μεταλλικό καπάκι 8 υποδοχών, με μέγεθος μόνο $2,0 \times 2,5 \text{ mm}^2$ και ύψος συσκευασίας 0,95 mm. Οι μικρές διαστάσεις του και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας των $2,7 \mu\text{A} @ 1\text{Hz}$ επιτρέπουν την εφαρμογή σε συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία, όπως κινητά τηλέφωνα, μονάδες GPS ή ρολόγια. Ως διάδοχος του ευρέως διαδεδομένου BMP180, ο BMP280 προσφέρει υψηλή απόδοση σε όλες τις εφαρμογές που απαιτούν ακριβή μέτρηση πίεσης. Λειτουργεί με χαμηλότερο θόρυβο, υποστηρίζει νέες λειτουργίες φίλτρου και διεπαφή SPI σε ένα αποτύπωμα 63% μικρότερο από το BMP180. Οι αναδύομενες εφαρμογές πλοήγησης σε εσωτερικούς χώρους, υγειονομικής περίθαλψης καθώς και βελτίωσης GPS απαιτούν ταυτόχρονα υψηλή σχετική ακρίβεια και χαμηλό TCO. Η επικοινωνία του με τους μικροελεγκτές γίνεται μέσω των σειριακών διεπαφών I2C και SPI, προσφέροντας ευελιξία σύνδεσης. Μπορεί να μετρήσει σε εύρος θερμοκρασίας από -40°C έως 85°C , με $\pm 1^\circ\text{C}$ ακρίβεια, ενώ το εύρος μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι από 300 hPa έως 1100 hPa με $\pm 0.12 \text{ hPa}$ ακρίβεια [16]. Άλλοι αισθητήρες που προσφέρουν μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι ο BME280 που αναφέρθηκε και προηγουμένων και ο MPL3115A2.

Ο αισθητήρας ποιότητας αέρα MQ135 είναι ένας αισθητήρας αερίων τεχνολογίας ημιαγωγών (Metal Oxide Semiconductor - MOS) που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ευρέος φάσματος αερίων, όπως αμμωνίας (NH_3), οξειδίων του αζώτου (NO_x), αλκοόλης, βενζολίου, καπνού και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Το ευαίσθητο υλικό του αισθητήρα είναι το SnO_2 , το οποίο έχει χαμηλότερη αγωγιμότητα σε καθαρό αέρα. Όταν υπάρχει αέριο ρύπανσης, η αγωγιμότητα του αισθητήρα αυξάνεται μαζί με την αύξηση της συγκέντρωσης αερίου. Έτσι, λειτουργεί μέσω ενός θερμαντικού στοιχείου και μεταβάλλει την εσωτερική του αντίσταση ανάλογα με τη συγκέντρωση των ανιχνευόμενων αερίων. Απαιτεί την τοποθέτηση μιας εξωτερικής αντίστασης (load resistor) για την ανάγνωση των μεταβολών της αντίστασης. Παρέχει αναλογική τάση έξοδου που είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των αερίων. Η μετατροπή αυτής της τάσης σε ακριβείς τιμές (ppm) απαιτεί πολύπλοκους υπολογισμούς που λαμβάνουν υπόψη την αντίσταση του αισθητήρα, καθώς και την αντιστάθμιση θερμοκρασίας και υγρασίας του περιβάλλοντος. Η ακρίβεια του είναι από 10PPM έως 300PPM για συγκέντρωση αμμωνίας (NH_3), από 10PPM έως 1000PPM για βενζόλιο και από 10PPM έως 300PPM για αλκοόλη [17, 18]. Άλλοι αισθητήρες που προσφέρουν μέτρηση της ποιότητας του αέρα και της συγκέντρωσης των αερίων είναι οι αισθητήρες της σειράς MQ Series (MQ-2, MQ-7, MQ-9, MQ-4, MQ-135 κ.λπ.), όπου κάθε μοντέλο είναι βελτιστοποιημένο για την ανίχνευση συγκεκριμένων αερίων ή κατηγοριών αερίων. Επίσης υπάρχει ο αισθητήρας SGP30 και SGP40, ο αισθητήρας Senseair S8, ο MH-Z19B, ο SDS011 και ο PMS5003.

2.4.2 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί κάθε τύπου αισθητήρα

Κάθε ένας από τους αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και περιορισμούς που επηρεάζουν την επιλογή και την εφαρμογή του σε διάφορα συστήματα:

Ο αισθητήρας DHT11 είναι ένας αισθητήρας πολύ χαμηλού κόστους, αρκετά διαδεδομένος στο εμπόριο που παρέχει ευκολία στη χρήση και στη διασύνδεση του με μικροελεγκτές, καθώς απαιτεί μόνο μία γραμμή δεδομένων. Για αυτό το λόγο κρίνεται κατάλληλος για βασικές μετρήσεις, όπου δεν απαιτούνται κρίσιμες μετρήσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Οι περιορισμοί του όμως είναι ότι έχει σχετικά χαμηλή ακρίβεια σε σύγκριση με άλλους αισθητήρες που προαναφέρθηκαν, αλλά και αργό ρυθμό δειγματοληψίας και περιορισμένο εύρος μέτρησης.

Ο αισθητήρας BMP280 παρέχει υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις πίεσης, καθιστώντας τον ιδανικό για βαρομετρικές εφαρμογές. Προσφέρει επίσης καλής ακρίβειας μετρήσεις θερμοκρασίας, έχει μικρό μέγεθος, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και γρήγορο ρυθμό δειγματοληψίας με ψηφιακή έξοδο (I2C/SPI). Όμως, το κόστος του είναι ελαφρώς υψηλότερο από τον αισθητήρα DHT11, και παρουσιάζει ευαισθησία σε άμεση έκθεση σε νερό ή σκόνη.

Ο αισθητήρας MQ135 παρέχει δυνατότητα ανίχνευσης ευρέος φάσματος αερίων, το κόστος του είναι σχετικά χαμηλό, και παρέχει αναλογική έξοδο που είναι σχετικά εύκολη στην αρχική ανάγνωση. Αλλά, απαιτεί θέρμανση για να λειτουργήσει, γεγονός που αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας, ενώ επίσης χρειάζεται μια αρχική περίοδο για να σταθεροποιηθούν οι μετρήσεις. Η απόκρισή του είναι μη-γραμμική και απαιτεί περίπλοκη βαθμονόμηση και αντιστάθμιση θερμοκρασίας και υγρασίας για την εξαγωγή ακριβών τιμών σε PPM. Επιπλέον, το γεγονός ότι είναι ευαίσθητος σε πολλά αέρια δεν του δίνει την δυνατότητα να διακρίνει συγκεκριμένα αέρια χωρίς την εφαρμογή πρόσθετων μεθόδων ή αλγορίθμων.

2.4.3 Χρήσεις των αισθητήρων σε προηγούμενες μελέτες

Οι προαναφερθέντες αισθητήρες, λόγω των χαρακτηριστικών τους, χρησιμοποιούνται ευρέως σε πληθώρα εφαρμογών και ερευνητικών μελετών παγκοσμίως.

Σε αυτές τις μελέτες ένας σημαντικός παράγοντας είναι ο Δείκτης Ποιότητας του Άνθρακα (AQI) είναι ένα σύστημα αριθμητικής αναπαράστασης τιμών που δημιουργήθηκε από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) για να δημιουργήσει έναν λογικό τρόπο αναφοράς της καθημερινής ποιότητας του αέρα σχετικά με το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Ο Δείκτης Ποιότητας του Άνθρακα (AQI) εστιάζει στις αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να βιώσουν οι άνθρωποι στην υγεία τους ενώ αναπνέουν μολυσμένο αέρα σε διάστημα λίγων ωρών ή ημερών. Η αύξηση του AQI αντιπροσωπεύει μια επακόλουθη αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των απειλών για την ανθρώπινη υγεία. Ο Δείκτης Ποιότητας του Άνθρακα (AQI) υπολογίζεται για τους έξι κύριους ρύπους που αναφέρονται στον Νόμο για τον Καθαρό Αέρα της EPA το 1970: οξείδια του αζώτου, σωματίδια (PM 10, PM 2.5), μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και όζον στο επίπεδο του εδάφους.

Έτσι, είναι ιδιαίτερα σύνθητες να ορίζεται μια τιμή κατωφλίου και όταν οι ρύποι έχουν τιμή μεγαλύτερη της τιμής κατωφλίου σημαίνει ότι είναι ανθυγιεινοί και επιβλαβείς.

Οι αισθητήρες της σειράς MQ (πχ. MQ2, MQ7, MQ135, MQ126) είναι ιδιαίτερα διαδεδομένοι σε μελέτες όπου αφορούν την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα σε πραγματικό χρόνο αποστέλλοντας αυτά τα δεδομένα σε cloud για την καταγραφή και απεικόνισή τους [4][5]. Σε μία άλλη μελέτη, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν την τεχνολογία IoT για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού μιας λίμνης [19]. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλά ερευνητικά έργα σε ασύρματα αισθητηριακά δίκτυα ή IoT συσκευές για την ανίχνευση και την παρακολούθηση του AQI [20]. Σε αυτά τα έργα μετρήθηκαν διάφοροι ατμοσφαιρικοί ρύποι με τη χρήση κινητών ή σταθερών αισθητήρων. Η αναφορά [21] πρότεινε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί ένα ασύρματο σύστημα παρακολούθησης για τη μέτρηση συγκεντρώσεων ρύπων. Το προτεινόμενο σύστημα υλοποιήθηκε σε μια πλατφόρμα IoT χρησιμοποιώντας αισθητηριακούς κόμβους συνδεδεμένους στο Διαδίκτυο μέσω μιας πύλης δικτύου. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν αισθητηριακούς κόμβους για να διαπιστώσουν τη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα και μονοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον. Αυτό το προτεινόμενο σύστημα χρησιμοποιεί κινητούς αισθητήρες τοποθετημένους σε αστικά λεωφορεία για να συμβολίσουν ένα έξυπνο σύστημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που ονομάζεται "OpenSense" [22]. Σε αυτό το έργο, οι ερευνητές ανέπτυξαν τραμ ως κινητές πλατφόρμες για τη μεταφορά αισθητήρων. Οι αισθητήρες επικοινωνούν με το cloud μέσω μιας πλατφόρμας cloud συσκευών ραδιοσυχνότητας. Στη συνέχεια, η έρευνα [23] πρότεινε ένα σύστημα που παρακολουθεί τις παραμέτρους του εξωτερικού αέρα. Το σύστημα αποτελείται από μια διεπαφή μικροελεγκτή PIC18F87K22 με αισθητήρες υπέρυθρου αερίου και αερομετρίας. Οι ερευνητές τοποθέτησαν στρατηγικά τους κόμβους που ενσωματώθηκαν στο νευρωνικό δίκτυο σε ορισμένες θέσεις στην πόλη. Αυτή η εργασία πρότεινε τη χρήση του προτύπου IEEE/ISO/IEC 21451 για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα [24]. Το σύστημα χρησιμοποιεί υπέρυθρους και ηλεκτροχημικούς αισθητήρες για τη μέτρηση της συγκέντρωσης NO₂, CO, SO₂ και CO₂. Τα αποτελέσματα μεταδόθηκαν και αποθηκεύτηκαν σε έναν διακομιστή δεδομένων. Στη συνέχεια, στη μελέτη [25] εφαρμόστηκε ένα σύστημα για την ευαισθητοποίηση σχετικά με τις επιπτώσεις των ρύπων, των αερίων και των τοξινών στην ποιότητα του αέρα. Το προτεινόμενο σύστημα αναλύει μετεωρολογικά δεδομένα, δεδομένα κυκλοφορίας και ρύπους χρησιμοποιώντας μια έξυπνη επιχειρηματική μηχανή που ονομάζεται "APA". Το σύστημα ανιχνεύει τις τάσεις στην ατμοσφαιρική ρύπανση και αναφέρει τις ανθρώπινες δραστηριότητες που επηρεάζουν την υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα. Εν τω μεταξύ, η έρευνα [26] πρότεινε ένα πλαίσιο για την παρατήρηση της ποιότητας του περιβαλλοντικού αέρα. Το σύστημα αποτελείται από μια οικονομική μονάδα raspberry pi που χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση του συστήματος. Το προτεινόμενο σύστημα παρακολουθούσε παραμέτρους ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως CO₂, CO, πίεση και θερμοκρασία, αλλά δεν έλαβε υπόψη τα PM, καθιστώντας το ελλιπές για τη λειτουργία του. Από μια άλλη οπτική γωνία, η μελέτη [27] εξέτασε αισθητήρες αέρα με τη βοήθεια GPRS οχημάτων χρησιμοποιώντας μια πλατφόρμα παρακολούθησης smartphone για τη μέτρηση συγκεντρώσεων PM 2.5. Τέλος, στην έρευνα [28] προτάθηκε μια πλατφόρμα παρακολούθησης smartphone και ένα σύστημα επιτήρησης της ποιότητας του αέρα χρησιμοποιώντας αισθητηριακές συστοιχίες και μια πλατφόρμα IoT για κινητά για να επιτρέψει στους χρήστες να λαμβάνουν μετρήσεις συγκέντρωσης. Ομοίως, ένα σύστημα παρακολούθησης περιβάλλοντος χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση δεδομένων

ατμοσφαιρικού αέρα χρησιμοποιώντας μια πλατφόρμα παρακολούθησης smartphone με μοντέλα δικτύου αισθητήρων σύνθετης αρχιτεκτονικής και συστήματα API για κινητά.

2.5 Μικροελεγκτές και ενσωματωμένα συστήματα

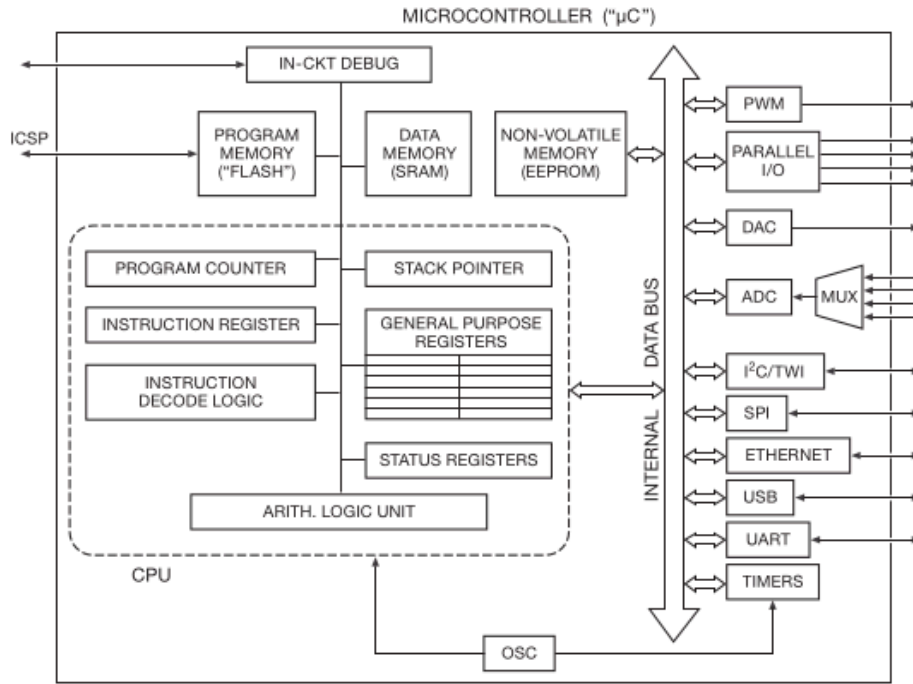
Ο μικροελεγκτής βρίσκεται πλέον στην καρδιά πολλών ηλεκτρονικών προϊόντων. Τα κινητά τηλέφωνα, οι φούρνοι μικροκυμάτων, η ψηφιακή τηλεόραση, οι πιστωτικές κάρτες, το Διαδίκτυο και πολλές άλλες σύγχρονες τεχνολογίες βασίζονται σε αυτές τις μικρές, διακριτικές συσκευές για να τα κάνουν όλα αυτά να συμβούν.

2.5.1 Ο ρόλος των μικροελεγκτών στην καταγραφή δεδομένων

Οι μικροελεγκτές βασίζονται στον τυπικό υπολογιστή, όπου μοιράζονται διάφορες βασικές έννοιες και ορολογίες, όπως συστήματα μικροεπεξεργαστών, μνήμες, είσοδοι και έξοδοι και γενικές ιδέες για ψηφιακά συστήματα. Ένα από τα πιο διαδεδομένα προϊόντα μικροελεγκτών με τις μεγαλύτερες πωλήσεις είναι ο μικροελεγκτής PIC (MCU). Κυριαρχεί στην αγορά για βιομηχανικές εφαρμογές μικρής κλίμακας, με τον κατασκευαστή Microchip Technology Inc. να αναφέρει επί του παρόντος ετήσιες πωλήσεις άνω του 1 δισεκατομμυρίου δολαρίων ΗΠΑ ετησίως. Πολλοί μικροελεγκτές που χρησιμοποιούνται σε πραγματικές εφαρμογές, όπως συστήματα ελέγχου κινητήρα μηχανοκίνητων οχημάτων ή συστήματα επικοινωνίας, είναι αρκετά πιο ισχυροί σε σχέση με τους απλούς μικροελεγκτές PIC, αλλά διέπονται από τις ίδιες βασικές αρχές. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές που σχετίζονται με τον έλεγχο κινητήρα, επειδή πρόκειται για μια πολύ κοινή εφαρμογή (μονάδες δίσκου, πλυντήρια ρούχων, μεταφορικοί ιμάντες κ.λπ.). Ο μικρός κινητήρας συνεχούς ρεύματος είναι φθηνός και μπορεί εύκολα να συνδεθεί στην έξοδο ενός PIC μέσω μιας απλής διεπαφής οδηγού ρεύματος. Η απόκριση του κινητήρα παρατηρείται εύκολα, αλλά μπορεί να είναι πολύπλοκη, γεγονός που καταδεικνύει τα προβλήματα που σχετίζονται με τον έλεγχο συστημάτων σε πραγματικό χρόνο. Ο κινητήρας παρέχει επίσης έναν σύνδεσμο με ευρύτερους τομείς της μηχανικής, της μηχανικής, των ρομπότ, των εργαλειομηχανών και των βιομηχανικών συστημάτων, κάτι που είναι χρήσιμο για φοιτητές και μηχανικούς σε αυτούς τους κλάδους. Το μεγάλο πρόβλημα με τους μικροεπεξεργαστές και τους μικροελεγκτές είναι ότι, για να κατανοηθεί πλήρως το πώς λειτουργούν, πρέπει να κατανοηθεί ταυτόχρονα τόσο το υλικό όσο και το λογισμικό. Χρειάζεται να υπάρχουν γνώσεις για βασικό σχεδιασμό υλικού, διασύνδεσης, ανάπτυξης προγραμμάτων, αλλά και εντοπισμό σφαλμάτων [29].

Οι μικροελεγκτές είναι ουσιαστικά αυτόνομοι επεξεργαστές, που προορίζονται να ενσωματωθούν σε κάποια ηλεκτρονική συσκευή που σίγουρα δεν είναι «υπολογιστής». Είναι φθηνοί και εύχρηστοι και επιτρέπουν την ενσωμάτωση της ευφυΐας ενός υπολογιστή σε σχεδόν οτιδήποτε ηλεκτρονικό. Με αυτόν τον τρόπο, αντισταθμίζουν μέρος της τρομακτικής ταχύτητας των επεξεργαστών που βασίζονται σε υπολογιστές υπέρ της ενσωματωμένης μνήμης και των περιφερειακών. Για να επεκταθούμε σε αυτό το σημείο, σχεδόν όλοι οι

μικροελεγκτές (συμπεριλαμβανομένων εκείνων που κοστίζουν λιγότερο από ένα δολάριο) περιλαμβάνουν τόσο μνήμη δεδομένων (στατική RAM) όσο και μη πτητική μνήμη προγράμματος («flash») στο τσιπ. Πολλοί περιλαμβάνουν επιπλέον μη πτητική EEPROM για τη διατήρηση δεδομένων βαθμονόμησης, ρυθμίσεων διαμόρφωσης συστήματος και ούτω καθεξής. Ακόμα καλύτερα, μπορείτε να επιλέξετε ανάμεσα σε ενσωματωμένα «περιφερειακά»: συνδέσεις επικοινωνίας όπως SPI, I2C, USB, Ethernet, Bluetooth και ZigBee. Δίαυλοι όπως PCI και PCIe, SATA, PCMCIA, κάρτες μνήμης flash και εξωτερική μνήμη· αναλογικές διεπαφές όπως συγκριτές, πολυπλεγμένους ADC, DAC και αισθητήρες βίντεο και εικόνας και διεπαφές ειδικού σκοπού όπως διαμορφωτές πλάτους παλμού, προγράμματα οδήγησης LCD, GPS, ψηφιακό ήχο και WiFi. Με άλλα λόγια (**Σχήμα 15.1**), ένας μικροελεγκτής περιλαμβάνει μέσα του CPU, μνήμη και περιφερειακά που σε έναν κλασικό υπολογιστή θα απαιτούσαν έναν εξωτερικό δίαυλο δεδομένων και ξεχωριστά εξαρτήματα. Φυσικά, σε ένα ενσωματωμένο σύστημα δεν εκκινείτε από δίσκο, διότι δεν υπάρχει κάποιος δίσκος Γι' αυτό η μνήμη προγράμματος περιλαμβάνεται στον ελεγκτή και επίσης, γι' αυτό πρέπει να είναι μη πτητική: το πλυντήριο πιάτων σας πρέπει να γνωρίζει τι πρέπει να κάνει, ακόμα και μετά από διακοπή ρεύματος. Επειδή οι μικροελεγκτές είναι ενσωματωμένοι στη συσκευή-προϊόν (και γενικά δεν αφαιρούνται από την πλακέτα κυκλώματος), πρέπει να είναι προγραμματιζόμενοι (και επαναπρογραμματιζόμενοι) εντός κυκλώματος. Τους προγραμματίζετε μέσω μιας διεπαφής "σειριακού προγραμματισμού εντός κυκλώματος" ("ICSP", συνήθως SPI ή JTAG), με μια διεπαφή υλικού "rod", που ελέγχεται από λογισμικό που εκτελείται σε έναν κεντρικό υπολογιστή. Οι μικροελεγκτές είναι στην ουσία ένα "στοιχείο" κυκλώματος, όπως ένας λειτουργικό ενισχυτή. Η αναλογία είναι καλή: όπως ακριβώς ο τελεστικός ενισχυτής είναι το καθολικό αναλογικό εξάρτημα, έτσι και ο μικροελεγκτής θα μπορούσε να θεωρηθεί ως το καθολικό ψηφιακό εξάρτημα. Και ένας μικροελεγκτής συν μερικά άλλα εξαρτήματα (π.χ., μια υποδοχή USB, η κεφαλίδα προγραμματισμού, μερικά φώτα και κουμπιά, και ίσως μια αλφαριθμητική οθόνη LCD) τοποθετημένα σε μια μικρή πλακέτα κυκλώματος, είναι ένα «καθολικό μπλοκ» του οποίου η λειτουργία είναι ευέλικτα προγραμματισμένη για να μπορέσει να πραγματοποιήσει διάφορες εργασίες. Υπάρχουν επίσης διάφορα προϊόντα ανοιχτού κώδικα, όπως το "Ethernet" και το "Arduino", από τα οποία το πρώτο περιλαμβάνει μια θύρα Ethernet, ενώ το δεύτερο προσφέρει σειριακές, USB, SPI και I²C θύρες, με έναν προαιρετικό προσαρμογέα Ethernet που μπορεί να στοιβάζεται [30].



Σχήμα 1: Ένας μικροελεγκτής ενσωματώνει μνήμη και «περιφερειακά» στο ίδιο τσιπ

2.5.2 Παρουσίαση του μικροελεγκτή Arduino Uno

Το Arduino UNO R3 είναι η πιο διαδεδομένη πλακέτα για να εξοικειωθεί κάποιος με τα ηλεκτρονικά και τον προγραμματισμό. Αυτή η ευέλικτη πλακέτα ανάπτυξης είναι εξοπλισμένη με τον γνωστό επεξεργαστή ATmega328P, 14 ψηφιακές ακίδες εισόδου/εξόδου, 6 αναλογικές εισόδους, συνδέσεις USB, κεφαλίδα ICSP και κουμπί επαναφοράς, ενώ σε άλλη έκδοση είναι εξοπλισμένη με τον επεξεργαστή ATmega 16U2. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του Arduino είναι η τεράστια και ενεργή παγκόσμια κοινότητα χρηστών και προγραμματιστών, οι οποίοι συνεισφέρουν με διάφορα παραδείγματα που καλύπτουν σχεδόν κάθε εφαρμογή ([Arduino Projects](#)). Επίσης, είναι μία εύκολη γλώσσα προγραμματισμού, προσφέροντας διάφορες λειτουργίες ([Language Reference](#)), ενώ υπάρχει πληθώρα έτοιμων βιβλιοθηκών για τη διασύνδεση με μια πληθώρα αισθητήρων και περιφερειακών, μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο ανάπτυξης. Όλες αυτές οι δυνατότητες καθιστούν αυτήν την πλακέτα μια εξαιρετική πρώτη εμπειρία στον κόσμο των μικροελεγκτών. Το Arduino Uno χρησιμοποιείται κατά κόρον σε εκπαιδευτικούς σκοπούς για περίπου εδώ και δέκα χρόνια, καθώς το υψηλό επίπεδο και η κορυφαία απόδοση της πλακέτας την καθιστούν μια εξαιρετική πηγή για τη λήψη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από αισθητήρες και για την ενεργοποίηση πολύπλοκου εργαστηριακού εξοπλισμού, ενώ η χρήση του είναι αρκετά εύκολη και προτείνεται για κάποιον που είναι αρχάριος στον κόσμο των ηλεκτρονικών και του προγραμματισμού. Το Arduino Uno χρησιμοποιείται επίσης ως πλακέτα ανάπτυξης βιομηχανικού προτύπου, καθώς υπάρχει μια σειρά από εταιρείες που χρησιμοποιούν την πλακέτα UNO R3 ως εγκέφαλο για τα PLC τους [31].

2.6 Ανάλυση δεδομένων περιβαλλοντικών μεταβλητών

Η συλλογή δεδομένων, όπως σε κάθε επιστημονική και τεχνολογική προσέγγιση, έτσι και στην περίπτωση της συγκεκριμένης εργασίας, αποτελεί το πρώτο βήμα της διαδικασίας. Η ουσιαστική κατανόηση των περιβαλλοντικών συνθηκών, η αναγνώριση μοτίβων, η εξαγωγή συμπερασμάτων και η πρόβλεψη φαινομένων προκύπτουν από την κατάλληλη και συστηματική ανάλυση αυτών των δεδομένων. Η ανάλυση δεδομένων μετατρέπει τις μετρήσεις από τους αισθητήρες σε χρήσιμες πληροφορίες, επιτρέποντας την αξιολόγηση της ποιότητας του περιβάλλοντος, την αναγνώριση ανωμαλιών και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων. Στην παρούσα ενότητα, θα εξεταστούν οι βασικές μέθοδοι ανάλυσης και τα εργαλεία λογισμικού που αξιοποιήθηκαν για την επεξεργασία των περιβαλλοντικών δεδομένων που συλλέχθηκαν.

2.6.1 Μέθοδοι ανάλυσης και εξαγωγής μοτίβων

Για την ανάλυση των συλλεχθέντων δεδομένων από τους αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης και ποιότητας αέρα, μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες στατιστικές μέθοδοι. Αυτές οι μέθοδοι επιτρέπουν όχι μόνο την περιγραφή των δεδομένων αλλά και την αποκάλυψη υποκείμενων σχέσεων, τάσεων και μοτίβων.

Η περιγραφική στατιστική επιτρέπει μια συνοπτική επισκόπηση των κύριων χαρακτηριστικών κάθε μεταβλητής, καθώς περιλαμβάνει ενέργειες, όπως ο υπολογισμός της μέσης τιμής της θερμοκρασίας, της πίεσης και των υπόλοιπων μεταβλητών, καθώς και την μέτρηση της ελάχιστης και μέγιστης τιμής για τον προσδιορισμό του εύρους των τιμών. Αυτά τα στοιχεία παρέχουν μια αρχική και γρήγορη εικόνα της συμπεριφοράς των περιβαλλοντικών συνθηκών. Στη συνέχεια, είναι σημαντική και χρήσιμη η οπτικοποίηση των δεδομένων, με σκοπό την αναγνώριση τάσεων και ανωμαλιών που μπορεί να μην είναι εμφανείς σε αριθμητικούς πίνακες. Για αυτό τα γραφήματα χρόνου (Time Series Plots), αποτελούν βασικό εργαλείο για την απεικόνιση των μεταβολών των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν, όπως η θερμοκρασία και η συγκέντρωση των αερίων σε συνάρτηση με τον χρόνο. Αυτά τα γραφήματα καταδεικνύουν όλες τις διακυμάνσεις που παρατηρήθηκαν κατά την διάρκεια της εκτέλεσης του πειράματος. Συνοψίζοντας, τα δεδομένα αυτά που προέκυψαν από τις διαφορετικές περιοχές της Θεσσαλονίκης συγκρίθηκαν μεταξύ τους για να διαπιστωθεί αν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις μέσες τιμές ή τις κατανομές των μεταβλητών αυτών μεταξύ των περιοχών. Η σύγκριση αυτήν ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη για να μπορέσουν να αναδειχθούν οι όποιες μικροκλιματικές διαφορές υπήρχαν στην ποιότητα του αέρα εντός της πόλης.

Ως πειραταίρω ενέργειες με σκοπό την αποτελεσματικότητα του συστήματος θα ήταν ενδιαφέρον όταν οι μετρήσεις που θα αποκλίνουν σημαντικά από την αναμενόμενη συμπεριφορά να οδηγούσαν το σύστημα να πραγματοποιήσει ανίχνευση και εντοπισμό αυτών των ανωμαλιών, τα οποία θα μπορούσαν να εντοπιστούν μέσω στατιστικών κριτηρίων. Ο

εντοπισμός αυτών των ανωμαλιών είναι σημαντικός, καθώς μπορεί να υποδηλώνει είτε ασυνήθιστα περιβαλλοντικά γεγονότα, όπως στιγμιαία ρύπανση λόγω κάποιου οχήματος που διέρχεται ή ξαφνική βροχόπτωση, είτε κάποιο σφάλμα στην λειτουργία των αισθητήρων. Επίσης, πέρα από τις απλές συσχετίσεις, η ανάλυση των δεδομένων που θα προκύπτουν μπορεί να οδηγήσει στην αναγνώριση επαναλαμβανόμενων μοτίβων, όπως ημερήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασίας ή εβδομαδιαία μοτίβα ρύπανσης, καθώς και μακροπρόθεσμων τάσεων, όπως η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας με την πάροδο του χρόνου και η αλλαγή της ποιότητας του αέρα).

2.6.2 Χρήση εργαλείων ανάλυσης δεδομένων

Για την αποτελεσματική διαχείριση, επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων, είναι απαραίτητη η χρήση κατάλληλων λογισμικών και προγραμματιστικών εργαλείων. Η επιλογή του εργαλείου εξαρτάται από την πολυπλοκότητα της ανάλυσης, τον όγκο των δεδομένων, τις απαιτήσεις οπτικοποίησης και την εξοικείωση του χρήστη.

Ένα κύριο εργαλείο στην ανάλυση δεδομένων είναι το Microsoft Excel, όπου παρέχει ευκολία στη χρήση, ιδιαίτερα για απλές οπτικοποιήσεις (π.χ., γραφήματα γραμμών) και βασικούς στατιστικούς υπολογισμούς (μέσο όρο, τυπική απόκλιση), ενώ χρησιμοποιείται κυρίως για μικρότερα σύνολα δεδομένων. Όμως, διαθέτει περιορισμένες δυνατότητες για προηγμένη στατιστική ανάλυση και είναι δύσκολη η διαχείριση και επεξεργασία πολύ μεγάλων συνόλων δεδομένων (Big Data), καθώς μπορεί να γίνει αργό και να εμφανίσει σφάλματα.

Επίσης, ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται ευρέως είναι το MATLAB, όπου παρέχει ένα ισχυρό και ολοκληρωμένο περιβάλλον για αριθμητικούς υπολογισμούς, ανάλυση σημάτων, μοντελοποίηση και οπτικοποίηση δεδομένων. Διαθέτει εξειδικευμένες εργαλειοθήκες (Toolboxes) για στατιστική ανάλυση, επεξεργασία δεδομένων, μηχανική μάθηση και διαχείριση χρονοσειρών. Το MATLAB όμως είναι ένα εμπορικό λογισμικό (με κόστος άδειας χρήσης) και απαιτεί κάποια εξοικείωση με τη γλώσσα προγραμματισμού του [32].

Ακόμα μία επιλογή είναι η γλώσσα προγραμματισμού R, η οποία είναι ένα περιβάλλον λογισμικού ανοιχτού κώδικα, ειδικά σχεδιασμένο για στατιστική ανάλυση και γραφική απεικόνιση. Διαθέτει ένα τεράστιο πλήθος βιβλιοθηκών για εξειδικευμένες στατιστικές εφαρμογές, ξεκινώντας από απλές περιγραφικές στατιστικές έως πολύπλοκα στατιστικά μοντέλα και τεχνικές μηχανικής μάθησης. Είναι ιδιαίτερα ισχυρή στην οπτικοποίηση δεδομένων και την παραγωγή γραφημάτων υψηλής ποιότητας, ενώ έχει μεγάλη και ενεργή κοινότητα υποστήριξης [33].

Τέλος, αναφέρεται η γλώσσα προγραμματισμού Python, η οποία είναι μια δημοφιλής γλώσσα προγραμματισμού ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται τόσο για αυτόνομα προγράμματα όσο και για εφαρμογές scripting σε μια μεγάλη ποικιλία τομέων. Είναι δωρεάν, φορητή, ισχυρή, εκπληκτικά εύκολη και διασκεδαστική στη χρήση. Προγραμματιστές από κάθε γωνιά της βιομηχανίας λογισμικού έχουν διαπιστώσει ότι η εστίαση της Python στην παραγωγικότητα των προγραμματιστών και την ποιότητα του λογισμικού αποτελεί

στρατηγικό πλεονέκτημα σε έργα τόσο μεγάλα όσο και μικρά. Όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα έχουν δημιουργήσει μια τεράστια και ενεργή κοινότητα προγραμματιστών και επιστημόνων δεδομένων, η οποία έχει αναπτύξει έναν εκτενή αριθμό βιβλιοθηκών ειδικά για την ανάλυση δεδομένων, τη στατιστική, τη μηχανική μάθηση και την οπτικοποίηση. Είναι κατάλληλη για όλες τις φάσεις της ανάλυσης δεδομένων, ξεκινώντας από την ανάγνωση και τον καθαρισμό των δεδομένων, από την επεξεργασία και την ανάλυσή τους και φτάνοντας μέχρι την οπτικοποίηση και την εξαγωγή μοντέλων [34]. Η Python ήταν η γλώσσα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάγνωση, την επεξεργασία και την αναπαράσταση των δεδομένων από τους αισθητήρες σε διαγράμματα, όπως φαίνεται αναλυτικά στον κώδικα του Παραρτήματος Β. Για να πραγματοποιηθούν αυτές οι λειτουργίες αξιοποιήθηκαν κάποιες βιβλιοθήκες που καθιστούν την επεξεργασία, την ανάλυση και την οπτικοποίηση των συλλεχθέντων περιβαλλοντικών δεδομένων πολύ πιο εύκολες.

Η βιβλιοθήκη **re** (Regular Expression Operations) παρέχει υποστήριξη για κανονικές εκφράσεις. Οι κανονικές εκφράσεις είναι ισχυρά μοτίβα αναζήτησης κειμένου που επιτρέπουν την εύρεση, αντικατάσταση ή εξαγωγή συγκεκριμένων πληροφοριών από συμβολοσειρές (strings) με βάση σύνθετους κανόνες. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η βιβλιοθήκη **re** αξιοποιήθηκε για την επεξεργασία και τον καθαρισμό των ακατέργαστων δεδομένων που ελήφθησαν από τη σειριακή επικοινωνία των αισθητήρων. Χρησιμοποιήθηκε για την αναζήτηση και εξαγωγή συγκεκριμένων τιμών (π.χ., θερμοκρασία, υγρασία, πίεση, τιμές PPM) από τις γραμμές κειμένου των δεδομένων καταγραφής, καθώς και για την αναγνώριση και επεξεργασία των χρονικών σημάνσεων. Αυτό επέτρεψε τη μετατροπή των μη δομημένων δεδομένων κειμένου σε δομημένη, αριθμητική μορφή κατάλληλη για ανάλυση [35].

Η βιβλιοθήκη **datetime** (Basic Date and Time Types) παρέχει κλάσεις για τη διαχείριση ημερομηνιών και ωρών. Επιτρέπει τη δημιουργία, τροποποίηση, σύγκριση και μορφοποίηση αντικειμένων ημερομηνίας και ώρας με μεγάλη ακρίβεια. Δεδομένου ότι τα περιβαλλοντικά δεδομένα που προέκυψαν είναι χρονοσειρές, η ακριβής διαχείριση των χρονικών δεδομένων για την συγκεκριμένη εργασία ήταν απαραίτητη. Η **datetime** χρησιμοποιήθηκε για την μετατροπή των συμβολοσειρών ώρας και ημερομηνίας που εξάχθηκαν από τα αρχεία καταγραφής δεδομένων σε αναγνωρίσιμα αντικείμενα **datetime**. Αυτό βοήθησε στη σωστή ταξινόμηση των δεδομένων κατά χρονολογική σειρά, τον υπολογισμό χρονικών διαφορών, και την ακριβή απεικόνιση των μεταβλητών σε σχέση με τον χρόνο [36].

Η βιβλιοθήκη **pandas** (Python Data Analysis Library) είναι μια βιβλιοθήκη ανοιχτού κώδικα που παρέχει δομές δεδομένων υψηλής απόδοσης και εύχρηστα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων. Το βασικό δομικό στοιχείο της βιβλιοθήκης είναι το **DataFrame**, το οποίο είναι ένας δισδιάστατος πίνακας, με ετικέτες δεδομένων, καθώς και με στήλες που μπορούν να έχουν διαφορετικούς τύπους. Η βιβλιοθήκη αυτήν είχε κύριο ρόλο στην διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων της συγκεκριμένης εργασίας, καθώς μετά την εξαγωγή και μετατροπή των ακατέργαστων τιμών, αυτά εισήχθησαν σε **DataFrames**. Αυτό επέτρεψε την αποτελεσματική αποθήκευση όλων των περιβαλλοντικών μεταβλητών που μετρήθηκαν, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση και η συγκέντρωση των αερίων σε PPM, καθώς και των αντίστοιχων χρονικών στιγμών σε μια ενιαία και δομημένη μορφή. Με τη χρήση της βιβλιοθήκης αυτής παρέχεται πρόσβαση σε συγκεκριμένες στήλες ή γραμμές δεδομένων, καθώς και εύκολες λειτουργίες φιλτραρίσματος, ομαδοποίησης και μετασχηματισμού των

δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Ο υπολογισμός του μέσου όρου των διαφόρων μεταβλητών πραγματοποιήθηκε απευθείας σε DataFrames, ενώ παρέχει επίσης το πλεονέκτημα ότι είναι ιδανική για την άμεση τροφοδότηση βιβλιοθηκών οπτικοποίησης όπως η Matplotlib [37].

Τέλος, η βιβλιοθήκη **matplotlib** (Python Plotting Library) είναι η πιο δημοφιλής βιβλιοθήκη οπτικοποίησης δεδομένων στην Python. Το pyplot είναι μία υπο-ενότητα της matplotlib που παρέχει μια διεπαφή που μοιάζει με αυτή του MATLAB, καθιστώντας εύκολη τη δημιουργία γραφημάτων και διαγραμμάτων. Στη συγκεκριμένη εργασία η βιβλιοθήκη χρησιμοποιήθηκε για την γραφική απεικόνιση των συλλεχθέντων περιβαλλοντικών δεδομένων και αξιοποιήθηκε για τη δημιουργία των γραφημάτων χρονοσειρών (Time Series Plots). Έτσι, έγινε εφικτή με γρήγορο και αποδοτικό τρόπο η απεικόνιση της εξέλιξης της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της πίεσης και της συγκέντρωσης των αερίων σε συνάρτηση με τον χρόνο για κάθε περιοχή μελέτης. Αυτά τα γραφήματα θα ήταν χρήσιμα για την αναγνώριση ημερήσιων μοτίβων, τάσεων και ανωμαλιών στα δεδομένα, επιτρέποντας μία εις βάθος κατανόηση των περιβαλλοντικών συνθηκών στη Θεσσαλονίκη [38].

Κεφάλαιο 3ο: Θεωρητικό υπόβαθρο

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε σε όλη την εργασία, αρχικά περιλαμβάνει την συλλογή των δεδομένων θερμοκρασίας και υγρασίας του περιβάλλοντος με τη βοήθεια του αισθητήρα DHT11. Ο αισθητήρας, ο οποίος τροφοδοτείται με ρεύμα από το Arduino στέλνει τα δεδομένα σε αυτό μέσω ψηφιακής σειριακής μονοσύρματης (single-wire) επικοινωνίας. Η 1-Wire τεχνολογία είναι ένα ιδιόκτητο πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιεί μόνο ένα καλώδιο δεδομένων (data pin) για την αποστολή των δεδομένων από τον αισθητήρα στο μικροελεγκτή [15, 39]. Παράλληλα μέσω του αισθητήρα BMP280 προκύπτει η μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης, το ύψους από την επιφάνεια της θάλασσας και επίσης μετράει και αυτός την θερμοκρασία, δίνοντας έτσι την δυνατότητα να συγκρίνουμε τις δύο τιμές για να δούμε αν υπάρχει απόκλιση. Ο αισθητήρας αυτός χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο I²C το οποίο είναι ένα κοινό πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται σε μια ποικιλία συσκευών από πολλά διαφορετικά προϊόντα και χρησιμοποιεί για την επικοινωνία μόνο δύο καλώδια, το SCL και το SDA. Η γραμμή SCL είναι η γραμμή ρολογιού, ενώ η SDA είναι η γραμμή δεδομένων η οποία είναι ημιαμφίδρομη (half duplex), ενώ η ίδια γραμμή χρησιμοποιείται και για εκπομπή και για λήψη, αλλά όχι ταυτόχρονα [16, 40]. Τέλος, ο αισθητήρας MQ135 επικοινωνεί με το Arduino μέσω μίας αναλογικής εξόδου του αισθητήρα, η οποία δίνει μία αναλογική τάση (0-5V) που είναι ανάλογη με τη συγκέντρωση των αερίων στον αέρα. Η τιμή που επιστρέφεται είναι μεταξύ 0 και 1023 (10-bit ADC), και σχετίζεται με την τάση από τον αισθητήρα. Έτσι παρέχει δεδομένα που έχουν να κάνουν με την ποιότητα του αέρα καθώς μετράει διάφορα αέρια, όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), αμμωνία (NH₃), benzene, αλκοόλ, και καπνό. Τέλος, το Arduino αναλαμβάνει την ανάγνωση και την επεξεργασία των δεδομένων αυτών που στέλνουν οι αισθητήρες με τη χρήση της γλώσσας C/C++. Αυτές οι ενέργειες γίνονται χάρις στις βιβλιοθήκες που έχουν ενσωματωθεί στο περιβάλλον του Arduino, οι οποίες βοηθούν στην ανάλυση των δεδομένων και την παραγωγή διαφόρων διαγραμμάτων θερμοκρασίας, υγρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης και συγκέντρωσης αερίων για το περιβάλλον όπου δείχνουν οι αισθητήρες [17, 18].

3.1 Αισθητήρες

Ο αισθητήρας είναι μια συσκευή που λαμβάνει ένα σήμα ή ερέθισμα και αποκρίνεται στο ερέθισμα με τη μορφή ηλεκτρικού σήματος. Τα σήματα εξόδου αντιστοιχούν σε ορισμένες μορφές ηλεκτρικού σήματος, όπως ρεύμα ή τάση. Ο αισθητήρας είναι μια συσκευή που λαμβάνει διάφορα είδη σήματος, δηλαδή φυσικό, χημικό ή βιολογικό σήμα και τα μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα. Οι αισθητήρες ταξινομούνται σε διαφορετικούς τύπους με βάση τις εφαρμογές, το σήμα εισόδου και τον μηχανισμό μετατροπής, το υλικό που χρησιμοποιείται σε χαρακτηριστικά αισθητήρα όπως το κόστος, η ακρίβεια ή το εύρος. Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει μια επισκόπηση των αισθητήρων και τις ταξινομήσεις τους σε θερμικούς, μαγνητικούς, οπτικούς, μηχανικούς και χημικούς. Οι λειτουργίες μεταφοράς, τα χαρακτηριστικά και οι προδιαγραφές συζητούνται επίσης με εισαγωγή στις βασικές μορφές αισθητήρων. Μπορούμε να βρούμε αισθητήρες παντού και ολόκληρος ο κόσμος είναι γεμάτος αισθητήρες και τις εφαρμογές τους. Υπάρχουν πολλοί τύποι αισθητήρων που διατίθενται γύρω μας, στα γραφεία, τους κήπους, τα εμπορικά κέντρα, τα σπίτια, τα αυτοκίνητα, τα παιχνίδια κ.λπ. Αυτοί οι αισθητήρες κάνουν τη ζωή μας τόσο εύκολη και άνετη, ξεκινώντας από εφαρμογές όπως το άναμμα των φώτων, οι ανεμιστήρες, η τηλεόραση (τηλεόραση), η αυτόματη ρύθμιση της θερμοκρασίας του δωματίου με κλιματισμό (AC), ο συναγερμός πυρκαγιάς, η ανίχνευση εμποδίων όταν το αυτοκίνητο αντιστρέφει την όπισθεν. ανταποκρίνεται σε ένα σήμα ή ερέθισμα. Τα σήματα ερεθίσματος μπορούν να αληθευθούν από το μέτρο, την ιδιότητα ή την κατάσταση που γίνεται αισθητή. Μπορούμε επίσης να πούμε ότι ένας αισθητήρας είναι ένας μεταφραστής που μετατρέπει μια μη ηλεκτρική τιμή σε ηλεκτρική τιμή. Το σήμα εξόδου ενός αισθητήρα μπορεί να έχει τη μορφή τάσης, ρεύματος ή φόρτισης. Ένας αισθητήρας έχει πολλές μορφές ιδιοτήτων εισόδου και ιδιοτήτων ηλεκτρικής εξόδου. Εάν υπάρχει μικρή αλλαγή στην ανιχνευόμενη ποσότητα, θα προκαλέσει μια μικρή αλλαγή στην ηλεκτρική έξοδο και οι αλλαγές μπορούν να ανιχνευθούν με τις μετρητικές τους δυνατότητες. Όλοι οι αισθητήρες κατηγοριοποιούνται με βάση τις χρήσεις, τις εφαρμογές, το χρησιμοποιούμενο υλικό και ορισμένες τεχνολογίες παραγωγής. Ορισμένοι αισθητήρες ταξινομούνται επίσης με βάση τα χαρακτηριστικά τους, όπως το κόστος, η ακρίβεια ή το εύρος του αισθητήρα. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι αισθητήρων: παθητικός αισθητήρας και ενεργός αισθητήρας. Ένας παθητικός αισθητήρας δεν απαιτεί καμία επιπλέον πηγή ενέργειας και το ηλεκτρικό σήμα παράγεται απευθείας ως απάντηση σε ερέθισμα εξωτερικών πηγών. Αυτό σημαίνει ότι ο αισθητήρας μετατρέπει την ενέργεια εισόδου σε ενέργεια σήματος εξόδου. Παραδείγματα παθητικών αισθητήρων περιλαμβάνουν φωτογραφικούς, θερμικούς, αισθητήρες ηλεκτρικού πεδίου, χημικούς, υπέρυθρους και σεισμικούς. Οι ενεργοί αισθητήρες χρειάζονται εξωτερικές πηγές ενέργειας για την απόκρισή τους, γνωστές ως σήμα διέγερσης. Για την παραγωγή των σημάτων εξόδου. Οι αισθητήρες υιοθετούν τις απαραίτητες αλλαγές σε αυτά τα σήματα εισόδου. Οι ενεργοί αισθητήρες είναι επίσης γνωστοί ως παραμετρικοί αισθητήρες λόγω των δικών τους ιδιοτήτων που μπορούν να τροποποιηθούν ως απόκριση σε ένα εξωτερικό φαινόμενο και αυτές οι ιδιότητες μπορούν στη συνέχεια να μετατραπούν σε ηλεκτρικά σήματα. Οι ενεργοί αισθητήρες έχουν μια ποικιλία εφαρμογών που σχετίζονται με τη μετεωρολογία και την παρατήρηση της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας της Γης. Ο Πίνακας 1.1 δείχνει τις διαφορές μεταξύ παθητικών και ενεργών αισθητήρων.

Παθητικός αισθητήρας	Ενεργός αισθητήρας
Δεν απαιτεί εξωτερική τροφοδοσία	Απαιτεί ρεύμα
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για την ανίχνευση ενέργειας όταν υπάρχει φυσική παρουσία ενέργειας	Παρέχει τη δική του πηγή ενέργειας για φωτισμό
Κανένα πρόβλημα παρεμβολών στο περιβάλλον	Λιγότερο πρόβλημα παρεμβολών
Μπορεί να λειτουργεί στην ίδια κατάσταση περιβάλλοντος	Μπορεί να λειτουργήσει σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος
Ευαίσθητο στις καιρικές συνθήκες	Δεν είναι ευαίσθητο στις καιρικές συνθήκες
Δεν είναι κατάλληλο για συνθήκες σκότους	Λειτουργεί καλά σε συνθήκες σκότους
Δυσκολίες στην ερμηνεία των σημάτων εξόδου	Εύκολη ερμηνεία των σημάτων εξόδου
Λιγότερος έλεγχος του θορύβου	Καλύτερος έλεγχος του θορύβου
Χαμηλή τιμή	Υψηλή τιμή
Παραδείγματα: κάμερα, Sonar	Παραδείγματα: LASER, Radar κ.λπ

Πίνακας 1: Οι διαφορές μεταξύ παθητικών και ενεργών αισθητήρων.

Οι άλλοι τύποι αισθητήρων βασίζονται στις ιδιότητες ανίχνευσής τους όπως μηχανισμός παραλλαγής, αναλογικός και ψηφιακός. Οι ιδιότητες ανίχνευσης των αισθητήρων περιλαμβάνουν ηλεκτρικό, μαγνητικό, φυσικό, χημικό κ.λπ., και ο μηχανισμός μεταβολής περιλαμβάνει τη μετατροπή του σήματος εισόδου σε σήμα εξόδου, τα παραδείγματα του οποίου είναι φωτοηλεκτρικό, θερμοηλεκτρικό, ηλεκτροχημικό, ηλεκτρομαγνητικό κ.λπ. διακριτά χαρακτηριστικά και ψηφιακή έξοδο στη φύση. Οι αισθητήρες διαιρούνται επίσης με τις ιδιότητες ανίχνευσης που δίνονται στον Πίνακα 1.2.

Τύποι	Ιδιότητες
Θερμικός αισθητήρας	Θερμοκρασία, θερμότητα, ροή θερμότητας κ.λπ
Ηλεκτρικός αισθητήρας	Αντίσταση, ρεύμα, τάση, αυτεπαγωγή κ.λπ
Μαγνητικός αισθητήρας	Πυκνότητα μαγνητικής ροής, μαγνητική ροπή κ.λπ
Οπτικός αισθητήρας	Ένταση φωτός, μήκος κύματος, πόλωση κ.λπ
Χημικός αισθητήρας	Σύνθεση, pH, συγκέντρωση κ.λπ
Αισθητήρας πίεσης	Πίεση, δύναμη κ.λπ
Αισθητήρας κραδασμών	Μετατόπιση, επιτάχυνση, ταχύτητα κ.λπ
Αισθητήρας βροχής/υγρασίας	Νερό, υγρασία κ.λπ
Αισθητήρες κλίσης	Γωνία κλίσης κ.λπ
Αισθητήρας ταχύτητας	Ταχύτητα, απόσταση κ.λπ

Πίνακας 2: Οι κατηγορίες των αισθητήρων με βάση τις ιδιότητες ανίχνευσης

Κατά τη λήψη των ερεθισμάτων εισόδου, ο αισθητήρας παράγει έξοδο που λαμβάνεται από διάφορα στάδια μετατροπής πριν παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα. Η απόδοση των αισθητήρων περιγράφεται ως προς τη σχέση μεταξύ των σημάτων εισόδου και εξόδου. Οι αισθητήρες χαρακτηρίζονται ανάλογα με τις τιμές ορισμένων από τις σημαντικές παραμέτρους.

Η ακρίβεια είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό στους αισθητήρες, το οποίο υπολογίζεται σε όρους σφάλμα στη μέτρηση και ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ μετρούμενης τιμής και αληθούς αξία. Αντιπροσωπεύεται ως % της πλήρους κλίμακας ή % της ανάγνωσης. Η βαθμολογία ακρίβειας υποδηλώνει ένα συλλογικό αποτέλεσμα διακύμανσης, γραμμικότητας, βαθμονόμησης, σφάλματα επαναληψιμότητας, νεκρή ζώνη κ.λπ., σε μετρήσεις που

χρησιμοποιούνται σε αισθητήρες. Η ανάλυση ενός αισθητήρα ορίζεται ως η ελάχιστη ανιχνεύσιμη διακύμανση σήματος ενώ ανάγνωση ή μέτρηση κάποιας ποσότητας χρησιμοποιώντας κατάλληλο αισθητήρα. Αυτή είναι επίσης μια ικανότητα του η μέτρηση για να ληφθούν και να παρατηρηθούν μικρές αλλαγές στο χαρακτηριστικό του αποτελέσμα μέτρησης. Η αξιοπιστία του κόμβου αισθητήρα είναι η ικανότητα να εκτελεί την επιθυμητή λειτουργία υπό οποιεσδήποτε δεδομένες συνθήκες α για ορισμένο χρονικό διάστημα. Αυτό μπορεί να αναπαρασταθεί από την άποψη των στατιστικών ως μια πιθανότητα ότι ο αισθητήρας θα λειτουργήσει χωρίς βλάβη στο αναφερόμενο χρονικό διάστημα. Όταν η απόδοση του αισθητήρα ξεπεραστεί υπό δεδομένες συνθήκες, προκαλείται βλάβη του αισθητήρα και μπορεί να είναι προσωρινή ή μόνιμη. Επομένως, πριν από την κατασκευή ή το σχεδιασμό του αισθητήρα, θα πρέπει να ελεγχθεί σωστά, λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες χειρότερες συνθήκες και συνθήκες. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα ερεθίσματα εισόδου και εξόδου του αισθητήρα. Υπάρχουν κυρίως τρεις τύποι παραγόντων, δηλαδή ο αέρας, το έδαφος και το νερό. Κάθε αισθητήρας έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί μόνο υπό ορισμένες συνθήκες. Ο θόρυβος μπορεί επίσης να επηρεάσει το σήμα εξόδου του αισθητήρα και η γήρανση μπορεί να υποβαθμίσει την απόδοση του αισθητήρα. Υπάρχουν κάποιοι άλλοι παράγοντες που μειώνουν την απόδοση των αισθητήρων, όπως ηλεκτρικοί, μηχανικοί, χημικοί και θερμικοί κ.λπ. Επομένως, η απόδοση και η μακροπρόθεσμη σταθερότητα του αισθητήρα μπορούν να βελτιωθούν σχεδιάζοντας τα εξαρτήματα για ακραίες συνθήκες, έτσι ώστε όλοι αυτοί οι παράγοντες να μην δημιουργούν αρνητικές επιπτώσεις κατά τη λειτουργία του αισθητήρα [41].

3.2 Ο αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11

3.2.1 Οι αισθητήρες θερμοκρασίας

Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ποσότητας ενέργειας με τη μορφή θερμότητας και κρύου που παράγεται από ένα αντικείμενο και ένα σύστημα. Επιτρέπει σε κάποιον να αισθανθεί ή να ανιχνεύσει οποιαδήποτε φυσική αλλαγή σε αυτήν την ενέργεια και δίνει την έξοδο ως αναλογική ή ψηφιακή. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές όπως ειδοποίηση θερμοκρασίας περιβάλλοντος, ιατρικά όργανα, αυτοκίνητα κ.λπ. Ανάλογα με την εφαρμογή και τα χαρακτηριστικά της, διατίθενται πολλοί διαφορετικοί τύποι αισθητήρων θερμοκρασίας. Υπάρχουν βασικά δύο τύποι αισθητήρων θερμοκρασίας, ο αισθητήρας θερμοκρασίας επαφής και ο αισθητήρας θερμοκρασίας χωρίς επαφή. Στον αισθητήρα θερμοκρασίας επαφής, υπάρχει φυσική επαφή με το αντικείμενο που ανιχνεύεται και για την παρακολούθηση της αλλαγής της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται αγωγιμότητα. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση στερεών, υγρών ή αερίων σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών. Σε έναν αισθητήρα θερμοκρασίας χωρίς επαφή, χρησιμοποιούμε συναγωγή και ιδιότητες ακτινοβολίας για τη μέτρηση των μεταβολών της θερμοκρασίας. Χρησιμοποιεί ενέργεια ακτινοβολίας με τη μορφή θερμότητας και κρύου.

- **Θερμοστάτης:** Ο θερμοστάτης είναι ένα είδος αισθητήρα θερμοκρασίας επαφής που χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρομηχανικό εξάρτημα και χρησιμοποιεί δύο θερμικά διαφορετικά είδη από μέταλλα, νικέλιο, χαλκό, βολφράμιο ή αλουμίνιο κ.λπ., τα οποία είναι κολλημένα μεταξύ τους για να σχηματίσουν μια διμεταλλική λωρίδα. Όταν είναι κρύο, μια από τις λωρίδες

συστέλλεται και οι επαφές της κλείνουν και το ρεύμα διέρχεται από τον θερμοστάτη. Όταν είναι ζεστό, μια μεταλλική λωρίδα διαστέλλεται και ανοίγει τις επαφές για να σταματήσει τη ροή του ρεύματος.

- **Θερμίστορ:** Το θερμίστορ είναι ένας άλλος τύπος συσκευής ή αντίστασης ευαίσθητης στη θερμοκρασία της οποίας η ηλεκτρική αντίσταση αλλάζει καθώς αλλάζει η θερμοκρασία του αντικειμένου. Οι σύγχρονοι αισθητήρες αποτελούνται από ημιαγωγικά υλικά. Όταν η θερμοκρασία του αντικειμένου ή του περιβάλλοντος χώρου αυξάνεται ή μειώνεται, η αντίσταση θα αυξηθεί ή θα μειωθεί επίσης. Το πόσο θα αυξηθεί ή θα μειωθεί η αντίσταση εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού ημιαγωγού. Το θερμίστορ είναι δύο τύπων: θετικός συντελεστής θερμοκρασίας, (PTC) και αρνητικός συντελεστής θερμοκρασίας, (NTC). Στο PTC, η τιμή αντίστασης αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και στο NTC, η τιμή αντίστασής του μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Τα θερμίστορ χρησιμοποιούνται για ακριβή μέτρηση θερμοκρασίας, έλεγχο και αντιστάθμιση. Τα θερμίστορ είναι πολύ ευαίσθητα και παρουσιάζουν μη γραμμικά χαρακτηριστικά αντίστασης σε σχέση με τη θερμοκρασία. Γενικά, αυτά αποτελούνται από μαγγάνιο, νικέλιο, κοβάλτιο, χαλκό και σίδηρο.

- **Ανιχνευτής θερμοκρασίας αντίστασης:** Ο ανιχνευτής θερμοκρασίας αντίστασης (RTD) είναι επίσης γνωστός ως θερμόμετρο αντίστασης και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Βασίζεται στον συντελεστή θερμοκρασίας των αισθητήρων και γενικά αποτελείται από αγωγικά μέταλλα υψηλής καθαρότητας όπως πλατίνα, χαλκός ή νικέλιο. Αυτά τα υλικά τυλίγονται σε ένα πηνίο του οποίου οι αλλαγές της ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτώνται από μια συνάρτηση θερμοκρασίας. Η αρχή λειτουργίας ενός RTD είναι πολύ παρόμοια με αυτή του θερμίστορ.

- **Θερμοστοιχείο:** Το θερμοστοιχείο είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της διακύμανσης της θερμοκρασίας σε μια μέτρηση αισθητήρων. Τα θερμοστοιχεία συνδέονται με δύο μέταλλα που ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας μια ένωση. Έτσι, υπάρχουν δύο συνδέσεις στα μέταλλα, η μία ονομάζεται θερμή ένωση και η άλλη ονομάζεται κρύα διασταύρωση, που αναφέρεται επίσης ως διασταύρωση μέτρησης και διασταύρωση αναφοράς, αντίστοιχα. Αυτές οι διασταυρώσεις διατηρούνται σε διαφορετικές θερμοκρασίες λόγω της αλλαγής του EMF (ηλεκτροκινητικής δύναμης) που προκαλείται σε ένα θερμοστοιχείο και της τάσης εξόδου που λαμβάνεται με τη βοήθεια της σχέσης μεταξύ τάσης και θερμοκρασίας. Όταν οι δύο διασταυρώσεις βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες, αναπτύσσεται μια τάση σε όλη τη διασταύρωση που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του αισθητήρα θερμοκρασίας. Το θερμοστοιχείο βασίζεται σε τρία κύρια εφέ: εφέ Thomson, Seebeck και εφέ Peltier. Έχει το ευρύτερο εύρος θερμοκρασιών από όλους τους αισθητήρες θερμοκρασίας, καλύπτοντας από $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Η υγρασία είναι η ποσότητα νερού που υπάρχει στον περιβάλλοντα αέρα και ένα υγρόμετρο είναι η συσκευή που μετρά απευθείας την υγρασία. Η υγρασία είναι ένα μη ηλεκτρικό μέγεθος που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ποσότητα χρησιμοποιώντας ιδιότητες αντίστασης, χωρητικότητας και σύνθετης αντίστασης. Υπάρχουν διάφορες παράμετροι που αλλάζουν λόγω της υγρασίας. Υπάρχουν πέντε βασικοί τύποι αισθητήρων υγρασίας: υγρόμετρο

αντίστασης, χωρητικό υγρόμετρο, διαθλασίμετρο μικροκυμάτων, υγρόμετρο οξειδίου αλουμινίου και υγρόμετρο κρυστάλλου.

- Υγρόμετρο αντίστασης: Σε ένα υγρόμετρο με αντίσταση, το κύριο στοιχείο είναι ένα υλικό του οποίου η αντίσταση αλλάζει με την αλλαγή της υγρασίας ή της σχετικής υγρασίας. Ένα σύρμα ή ένα ηλεκτρόδιο επικαλυμμένο με υδροσκοπικό άλας (χλωριούχο λίθιο) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της υγρασίας. Η αντίσταση του αλατιού αλλάζει με την υγρασία γιατί το υδροσκοπικό αλάτι απορροφά την υγρασία και η αντίστασή του μειώνεται.

- Χωρητικό υγρόμετρο: Σε ένα χωρητικό υγρόμετρο, οι αλλαγές στην υγρασία προκαλούνται από τις αλλαγές στην χωρητικότητα. Στον πυκνωτή χρησιμοποιείται διηλεκτρικό μέσο και ο πυκνωτής αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια ή πλάκες και ένα διηλεκτρικό μέσο υπάρχει ανάμεσα στις πλάκες. Υπάρχει επίσης κάποιο υδροσκοπικό υλικό το οποίο εμφανίζει τη μεταβολή της διηλεκτρικής σταθεράς με την αλλαγή της υγρασίας. Επομένως, τέτοιο υδροσκοπικό υλικό ή αλάτι μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός χωρητικού υγρόμετρου. Εάν η αλλαγή είναι πολύ μικρή, τότε ο πυκνωτής περιλαμβάνει ένα στοιχείο καθορισμού συχνότητας στον ταλαντωτή και μια άλλη συχνότητα παράγεται από τον ταλαντωτή συχνότητας παλμών. Αυτή η συχνότητα είναι ετεροδύναμη και η διαφορά στη συχνότητα είναι ένα μέτρο της σχετικής υγρασίας.

- Διαθλασίμετρο μικροκυμάτων: Ένα διαθλασίμετρο μικροκυμάτων αποτελείται από δύο κοιλότητες, η καθμία συνδεδεμένη με το Klystron. Το Klystron είναι ένα υλικό που παράγει μικροκύματα στα οποία μια κοιλότητα είναι γεμάτη με ξηρό αέρα και μια άλλη κοιλότητα είναι γεμάτη με ένα μείγμα του οποίου η υγρασία μετράται. Στο μείγμα, θα υπάρχει ατμός νερού Advances in Modern Sensors 1-14 και λόγω της παρουσίας υδρατμών, θα υπάρξει αλλαγή στη διηλεκτρική σταθερά και κατά συνέπεια αλλάζει η συχνότητα ενός από τους ταλαντωτές. Εάν δεν υπάρχει αλλαγή στη διηλεκτρική σταθερά, η συχνότητά της θα είναι σταθερή, ενώ στο μείγμα υπάρχουν υδρατμοί και υπάρχει αλλαγή στη διηλεκτρική σταθερά που οδηγεί σε αλλαγή στη συχνότητά της. Οι αλλαγές συχνότητας μετρώνται ως μέτρο υγρασίας.

- Υγρόμετρο οξειδίου του αλουμινίου: Σε ένα υγρόμετρο οξειδίου του αλουμινίου, το οξείδιο του αλουμινίου επικαλύπτεται σε ανοδιωμένο αλουμίνιο και αυτό το οξείδιο του αλουμινίου παρουσιάζει μια αλλαγή στη διηλεκτρική σταθερά σε σχέση με τις αλλαγές στην υγρασία. Υπάρχουν δύο ηλεκτρόδια στα οποία το ένα είναι το εσωτερικό ηλεκτρόδιο και το άλλο είναι το εξωτερικό ηλεκτρόδιο κατασκευασμένο από ένα πολύ λεπτό στρώμα υλικού όπως ο χρυσός. Ορισμένοι πόροι υπάρχουν στο εσωτερικό στρώμα. Λόγω της αλλαγής της υγρασίας, η διηλεκτρική σταθερά αλλάζει και αυτή η αλλαγή μπορεί να μετρηθεί για τη μέτρηση της υγρασίας με γέφυρα ή ηλεκτρική μέθοδο. Τα σφάλματα είναι πολύ μειωμένα και ο χρόνος απόκρισης είναι μικρός και επομένως η απόκριση είναι πολύ γρήγορη.

- Κρυσταλλικό υγρόμετρο: Σε ένα κρυστάλλινο υγρόμετρο, οι κρύσταλλοι επικαλύπτονται υδροσκοπικά υλικά (υδροσκοπικά πολυμερή). Αυτοί οι κρύσταλλοι χρησιμοποιούνται ως στοιχεία προσδιορισμού συχνότητας στον ταλαντωτή, και επομένως όπως και με το χωρητικό υγρόμετρο, εάν υπάρχει αλλαγή στην υγρασία, αλλάζει και η συχνότητα. Η συχνότητα αλλάζει λόγω της υγρασίας καθώς η μάζα του κρυστάλλου αλλάζει με την ποσότητα νερού που απορροφάται από την επικάλυψη. Αυτή η αλλαγή στη συχνότητα μετρείται. Οι

αισθητήρες υγρασίας χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, τη γεωργία, τον ιατρικό τομέα, την παρακολούθηση περιβάλλοντος κ.λπ. [41].

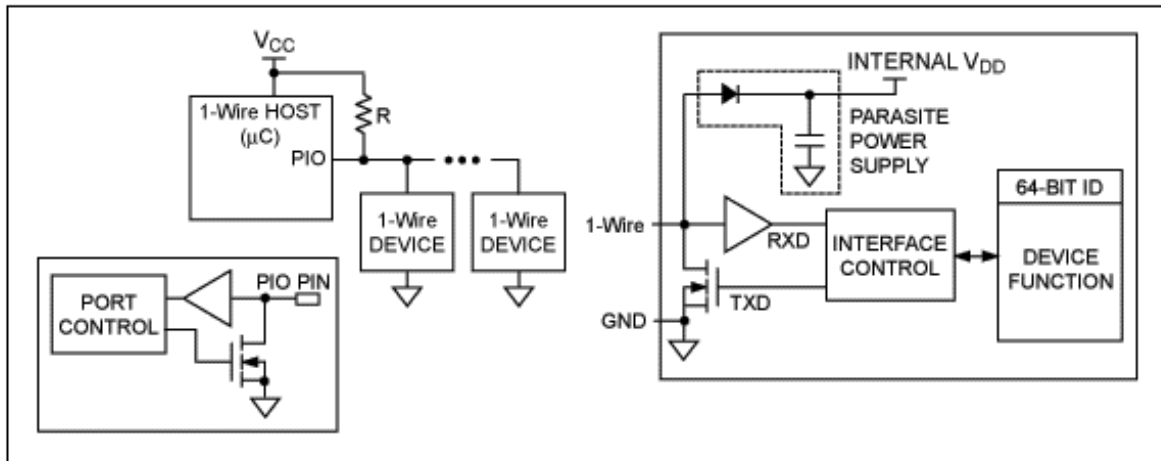
3.2.2 Ο αισθητήρας DHT11

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11 διαθέτει ένα σύμπλεγμα αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας με βαθμονομημένη έξοδο ψηφιακού σήματος. Χρησιμοποιώντας την αποκλειστική τεχνική λήψης ψηφιακού σήματος και την τεχνολογία ανίχνευσης θερμοκρασίας και υγρασίας, εξασφαλίζει υψηλή αξιοπιστία και εξαιρετική μακροπρόθεσμη σταθερότητα. Αυτός ο αισθητήρας περιλαμβάνει ένα εξάρτημα μέτρησης υγρασίας τύπου αντίστασης και ένα στοιχείο μέτρησης θερμοκρασίας. Μπορεί να συνδέθει σε έναν μικροελεγκτή 8-bit, προσφέροντας εξαιρετική ποιότητα, γρήγορη απόκριση, ικανότητα κατά των παρεμβολών με οικονομική απόδοση. Κάθε στοιχείο DHT11 είναι αυστηρά βαθμονομημένο στο εργαστήριο που είναι εξαιρετικά ακριβές στη βαθμονόμηση υγρασίας. Οι συντελεστές βαθμονόμησης αποθηκεύονται ως προγράμματα στη μνήμη, τα οποία χρησιμοποιούνται από την εσωτερική διαδικασία ανίχνευσης σήματος του αισθητήρα. Η σειριακή διεπαφή ενός καλωδίου (single-wire digital interface) καθιστά την ενοποίηση του συστήματος γρήγορη και εύκολη. Το μικρό του μέγεθος, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η μετάδοση σήματος έως και 20 μέτρα το καθιστούν την καλύτερη επιλογή για διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των πιο απαιτητικών. Το εξάρτημα είναι πακέτο καρφίτσας μονής σειράς 4 υποδοχών.

Ο αισθητήρας μετράει την θερμοκρασία σε °C και την υγρασία σε % RH, ενώ επικοινωνεί με το Arduino με single-wire digital interface. Η βάση της τεχνολογίας 1-Wire αποτελεί ένα σειριακό πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί μία μόνο γραμμή δεδομένων συν αναφορά γείωσης για επικοινωνία. Μια κύρια συσκευή 1-Wire ξεκινά και ελέγχει την επικοινωνία με μία ή περισσότερες συσκευές 1-Wire slave στο δίαυλο 1-Wire (**Σχήμα 16**). Κάθε συσκευή 1-Wire slave έχει έναν μοναδικό, αμετάβλητο, εργοστασιακά προγραμματισμένο, αριθμό αναγνώρισης (ID) 64-bit, ο οποίος χρησιμεύει ως διεύθυνση συσκευής στο δίαυλο 1-Wire. Στην περίπτωση αυτής της πτυχιακής εργασίας όπως και στις περισσότερες εφαρμογές ο μικροελεγκτής καθίσταται ως Master της επικοινωνίας και ο αισθητήρας ως ο Slave. Ο οικογενειακός κώδικας 8-bit, ένα υποσύνολο του ID 64-bit, προσδιορίζει τον τύπο και τη λειτουργικότητα της συσκευής. Συνήθως, οι συσκευές 1-Wire slave λειτουργούν στα ακόλουθα τέσσερα εύρη τάσης:

- 1,71V (min) έως 1,89V (max)
- 1,71V (min) έως 3,63V (max)
- 2,97V (mix) έως 3,63V (max)
- 2,8V (min) έως 5,25V (max)

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε δούλεψε με τάση τροφοδοσίας τα 5V. Οι περισσότερες συσκευές 1-Wire δεν έχουν ακροδέκτη για τροφοδοτικό, αλλά λαμβάνουν την ενέργειά τους από το 1-Wire bus. Στην περίπτωση της εργασίας όμως ο αισθητήρας συνδέθηκε και αυτός σε τάση τροφοδοσίας.



Σχήμα 2: Η 1-Wire master-slave επικοινωνία χρησιμοποιεί μία γραμμή δεδομένων και γείωση

Το πρωτόκολλο 1-Wire είναι ένα ψηφιακό σύστημα βασισμένο στην τάση που λειτουργεί με δύο επαφές, δεδομένα και γείωση, για αμφίδρομη επικοινωνία ημιαμφίδρομης επικοινωνίας. Σε σύγκριση με άλλα σειριακά συστήματα επικοινωνίας όπως το I²C ή το SPI, οι συσκευές 1-Wire έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε περιβάλλον στιγμιαίας επαφής. Είτε η αποσύνδεση από τον διάυλο 1-Wire είτε η απώλεια επαφής θέτει τις εξαρτώμενες συσκευές 1-Wire σε μια καθορισμένη κατάσταση επαναφοράς. Όταν η τάση επιστρέψει, οι εξαρτώμενες συσκευές αφυπνίζονται και σηματοδοτούν την παρουσία τους. Με δύο επαφές, οι συσκευές 1-Wire είναι ο πιο οικονομικός τρόπος για να προσθέσετε ηλεκτρονική λειτουργικότητα σε μη ηλεκτρονικά αντικείμενα για αναγνώριση, έλεγχο ταυτότητας και παράδοση δεδομένων βαθμονόμησης ή πληροφοριών κατασκευής [39].

Οι τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα DHT11 φαίνονται παρακάτω:

Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	± 5 % RH	±2°C	1	4 Pin Single Row

Πίνακας 3: Ο πίνακας με τις τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα DHT11

Οι αναλυτικές προδιαγραφές του αισθητήρα:

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Humidity				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
Repeatability			±1%RH	
Accuracy	25°C		±4%RH	
	0-50°C			±5%RH
Interchangeability	Fully Interchangeable			
Measurement Range	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%) 25°C, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			±1%RH	
Long-Term Stability	Typical		±1%RH/year	
Temperature				
Resolution		1°C	1°C	1°C
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
Repeatability			±1°C	
Accuracy		±1°C		±2°C
Measurement Range		0°C		50°C
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S		30 S

Πίνακας 4: Πίνακας με τις αναλυτικές προδιαγραφές του αισθητήρα.

Η τροφοδοσία του DHT11 είναι από 3 έως 5.5V DC. Όταν δοθεί τάση στον αισθητήρα, δεν πρέπει να σταλεί καμία εντολή προς αυτόν για τουλάχιστον ένα δευτερόλεπτο, ώστε να ξεπεραστεί η φάση αστάθειας.

Όπως τονίστηκε ήδη χρησιμοποιείται μονοσύρματη μορφή δεδομένων για την επικοινωνία και τον συγχρονισμό μεταξύ του μικροελεγκτή και του αισθητήρα. Μία πλήρης διαδικασία επικοινωνίας διαρκεί περίπου 4ms. Τα δεδομένα αποτελούνται από ακέραιο και δεκαδικό μέρος. Μια πλήρης μετάδοση περιλαμβάνει 40 bits, με τον αισθητήρα να στέλνει πρώτα τα σημαντικότερα bits. Μορφή δεδομένων: 8 bit ακέραια δεδομένα σχετικής υγρασίας + 8 bit δεκαδικά δεδομένα σχετικής υγρασίας + 8 bit ακέραια δεδομένα θερμοκρασίας + 8 bit δεκαδικά δεδομένα θερμοκρασίας + 8 bit έλεγχος αθροίσματος (checksum). Αν η μετάδοση των δεδομένων είναι σωστή, το checksum (έλεγχος αθροίσματος) πρέπει να ισούται με το άθροισμα των τεσσάρων πρώτων byte. Τέλος, αναφέρεται ότι η περίοδος δειγματοληψίας ανά διαστήματα δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 1 δευτερόλεπτο [15].

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα για $V_{DD}=5V$ και $T = 25^{\circ}C$ φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Power Supply	DC	3V	5V	5.5V
Current Supply	Measuring	0.5mA		2.5mA
	Average	0.2mA		1mA
	Standby	100uA		150uA
Sampling period	Second	1		

Πίνακας 5: Ο πίνακας με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα

3.3 Ο αισθητήρας πίεσης BMP280

3.3.1 Οι αισθητήρες πίεσης

Η πίεση είναι μια εξωτερική δύναμη που ασκείται σε μια επιφάνεια σε περιοχές μονής κατεύθυνσης. Συνήθως μετράμε την πίεση υγρού, αέρα και άλλων αερίων. Ένας αισθητήρας πίεσης παρακολουθεί αυτή την πίεση και μερικές φορές ονομάζεται πομπός πίεσης καθώς μετατρέπει την πίεση σε ηλεκτρικό σήμα. Ο πιο συνηθισμένος τύπος αισθητήρα πίεσης είναι ο αισθητήρας πίεσης με βάση το μανόμετρο. Η μετατροπή της πίεσης σε ηλεκτρικό σήμα είναι επιτυγχάνεται μέσω της φυσικής παραμόρφωσης του μετρητή τάσης που συνδέεται στο διάφραγμα του αισθητήρα πίεσης. Η τάση θα προκαλέσει μια αλλαγή στην ηλεκτρική αντίσταση που είναι ανάλογη με την πίεση. Η αλλαγή της τάσης είναι αποτέλεσμα της πίεσης του περιβάλλοντος. Ένας αισθητήρας πίεσης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη

μέτρηση άλλων μεταβλητών όπως όπως ροή υγρού ή αερίου, ταχύτητα, στάθμη νερού και υψόμετρο [41].

3.3.2 Ο αισθητήρας BMP280

Ο BMP280 είναι ένας αισθητήρας απόλυτης βαρομετρικής πίεσης ειδικά σχεδιασμένος για κινητές εφαρμογές. Η μονάδα αισθητήρα στεγάζεται σε μια εξαιρετικά συμπαγή συσκευασία LGA 8 ακροδεκτών με μεταλλικό καπάκι, με εμβαδόν μόνο $2,0 \times 2,5 \text{ mm}^2$ και ύψος συσκευασίας 0,95 mm. Οι μικρές του διαστάσεις και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας $2,7 \mu\text{A}$ @ 1Hz επιτρέπουν την εφαρμογή σε συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία, όπως κινητά τηλέφωνα, μονάδες GPS ή ρολόγια. Ως διάδοχος του ευρέως διαδεδομένου BMP180, το BMP280 προσφέρει υψηλή απόδοση σε όλες τις εφαρμογές που απαιτούν ακριβή μέτρηση πίεσης. Το BMP280 λειτουργεί με χαμηλότερο θόρυβο, υποστηρίζει νέες λειτουργίες φίλτρου και μια διεπαφή SPI σε εμβαδόν 63% μικρότερο από τον BMP180. Οι αναδυόμενες εφαρμογές πλοήγησης σε εσωτερικούς χώρους, υγειονομικής περίθαλψης, καθώς και βελτίωσης GPS απαιτούν υψηλή σχετική ακρίβεια και χαμηλό συνολικό κόστος ιδιοκτησίας ταυτόχρονα. Για όλους αυτούς τους λόγους ο αισθητήρας BMP280 είναι απόλυτα κατάλληλος για εφαρμογές που απαιτούν ακρίβεια, καθώς διαθέτει εξαιρετική σχετική ακρίβεια $\pm 0,12 \text{ hPa}$, η οποία ισοδυναμεί με διαφορά υψομέτρου $\pm 1 \text{ m}$, ενώ και η απόκλιση θερμοκρασίας είναι μόνο $12,6 \text{ cm/K}$.

Οι τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Παράμετρος	Σύμβολο	Συνθήκη	Ελάχιστο	Τυπικό	Μέγιστο	Μονάδες
Operating temperature range	T_A	operational full accuracy	-40 0	25	+85 +65	$^{\circ}\text{C}$
Operating pressure range	P	full accuracy	300		1100	hPa
Sensor supply voltage	V_{DD}	ripple max. 50mVpp	1.71	1.8	3.6	V
Supply current	$I_{DD,LP}$	1 Hz forced mode		2.8	4.2	μA
Peak current	I_{peak}	during pressure measurement		720	1120	μA
Current at temperature measurement	I_{DDT}			325		μA
Sleep current	I_{DDSL}	25 $^{\circ}\text{C}$		0.1	0.3	μA
Standby current (inactive period of normal mode)	I_{DDSB}	25 $^{\circ}\text{C}$		0.2	0.5	μA

Relative accuracy pressure, $V_{DD} = 3.3V$	A_{rel}	700 ... 900hPa 25 ... 40 °C	± 0.12 ± 1.0			hPa m
Absolute accuracy pressure	A^P_{full}	300 ... 1100 hPa 0 ... 65 °C		± 1.0		hPa
Absolute accuracy temperature	A^T	@ 25 °C 0 ... +65 °C		± 0.5 ± 1.0		°C
Start-up time	$t_{startup}$	Time to first communication after $V_{DD} > 1.58V$, $V_{DDIO} > 0.65V$			2	ms
Possible sampling rate	f_{sample}	osrs_t = osrs_p = 1	157	182		Hz

Πίνακας 6: Οι τεχνικές προδιαγραφές του BMP280

Επίσης παρατίθενται οι απόλυτα μέγιστες τιμές:

Παράμετροι	Συνθήκη	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μονάδα
Voltage at any supply pin	V_{DD} and V_{DDIO} Pin	-0.3	4.25	V
Voltage at any interface pin		0.3	$V_{DDIO} + 0.3$	V
Storage Temperature	$\leq 65\% \text{ rel. H.}$	-45	+85	°C
Pressure		0	20000	hPa
ESD	HBM, at any Pin CDM Machine model		± 2 ± 500 ± 200	kV V V

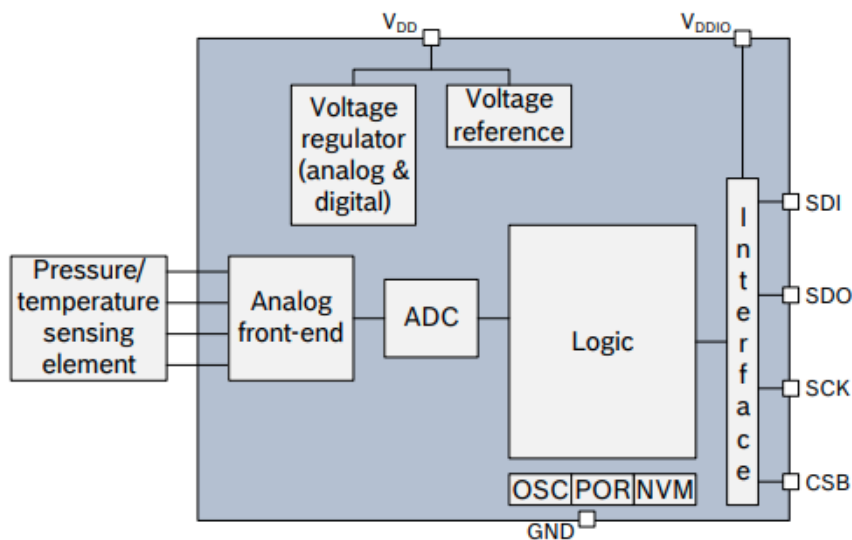
Πίνακας 7: Οι μέγιστες τιμές που μπορούν να δοθούν στο BMP280

Ο BMP280 αποτελείται από ένα στοιχείο ανίχνευσης πίεσης πιεζοηλεκτρικής αντίστασης και ένα ASIC μικτού σήματος. Το ASIC εκτελεί μετατροπές A/D και παρέχει τα αποτελέσματα μετατροπής και δεδομένα αντιστάθμισης ειδικά για τον αισθητήρα μέσω μιας ψηφιακής διεπαφής. Ο BMP280 παρέχει τη μέγιστη ευελιξία στον σχεδιαστή και μπορεί να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις σχετικά με την ακρίβεια, τον χρόνο μέτρησης και την κατανάλωση ενέργειας επιλέγοντας από έναν μεγάλο αριθμό πιθανών συνδυασμών των ρυθμίσεων του αισθητήρα. Ο BMP280 μπορεί να λειτουργήσει σε τρεις λειτουργίες ισχύος:

- λειτουργία ύπνου
- κανονική λειτουργία
- αναγκαστική λειτουργία

Στη λειτουργία ύπνου, δεν εκτελούνται μετρήσεις. Η κανονική λειτουργία περιλαμβάνει έναν αυτοματοποιημένο αέναο κύκλο μεταξύ μιας ενεργής περιόδου μέτρησης και μιας ανενεργής περιόδου αναμονής. Στη αναγκαστική λειτουργία, εκτελείται μία μόνο μέτρηση. Όταν ολοκληρωθεί η μέτρηση, ο αισθητήρας επιστρέφει σε λειτουργία ύπνου. Διατίθεται ένα σύνολο ρυθμίσεων υπερδειγματοληψίας που κυμαίνονται από εξαιρετικά χαμηλή ισχύ έως εξαιρετικά υψηλή ανάλυση, προκειμένου να προσαρμοστεί ο αισθητήρας στην εφαρμογή-στόχο. Επίσης, ο αισθητήρας BMP280 είναι εξοπλισμένος με ενσωματωμένο φίλτρο IIR για την ελαχιστοποίηση των βραχυπρόθεσμων διαταραχών στα δεδομένα εξόδου που προκαλούνται από το χτύπημα μιας πόρτας ή ενός παραθύρου.

Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα του BMP280:

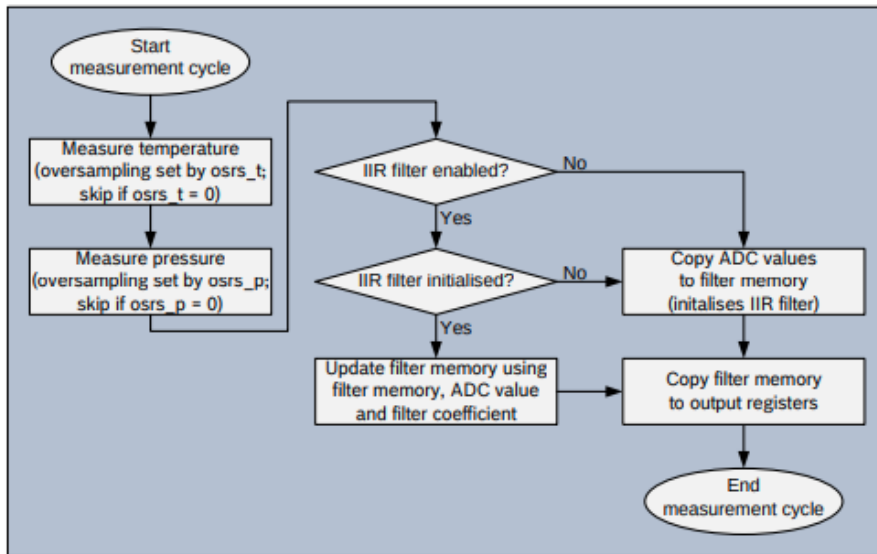


Σχήμα 3: Το μπλοκ διάγραμμα του αισθητήρα

Ο αισθητήρας BMP280 διαθέτει δύο ξεχωριστούς ακροδέκτες για τροφοδοσία:

- Το V_{DD} είναι η κύρια τροφοδοσία για όλα τα εσωτερικά αναλογικά και ψηφιακά λειτουργικά μπλοκ
- Το V_{DDIO} ένας ξεχωριστός ακροδέκτης, που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία της ψηφιακής διεπαφής

Η περίοδος μέτρησης του BMP280 αποτελείται από μια μέτρηση θερμοκρασίας και πίεσης με επιλέξιμη υπερδειγματοληψία. Μετά την περίοδο μέτρησης, τα δεδομένα διέρχονται από ένα προαιρετικό φίλτρο IIR, το οποίο αφαιρεί τις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις της πίεσης (π.χ. που προκαλούνται από το χτύπημα μιας πόρτας). Η ροή απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 4: Ο κύκλος μέτρησης του αισθητήρα

Η μέτρηση της πίεσης μπορεί να ενεργοποιηθεί ή να παραλειφθεί. Η παράλειψη της μέτρησης θα μπορούσε να είναι χρήσιμη εάν ο BMP280 χρησιμοποιείται ως αισθητήρας θερμοκρασίας. Όταν είναι ενεργοποιημένη, υπάρχουν αρκετές επιλογές υπερδειγματοληψίας. Κάθε βήμα υπερδειγματοληψίας μειώνει τον θόρυβο και αυξάνει την ανάλυση εξόδου κατά ένα bit, το οποίο αποθηκεύεται στον καταχωρητή δεδομένων XLSB 0xF9. Η ενεργοποίηση/απενεργοποίηση των ρυθμίσεων μέτρησης και υπερδειγματοληψίας επιλέγονται μέσω των bit `osrs_p[2:0]` στον καταχωρητή ελέγχου 0xF4. Επίσης και η μέτρηση της θερμοκρασίας μπορεί να ενεργοποιηθεί ή να παραλειφθεί. Η παράλειψη της μέτρησης θα μπορούσε να είναι χρήσιμη για την εξαιρετικά γρήγορη μέτρηση της πίεσης. Όταν είναι ενεργοποιημένη, υπάρχουν αρκετές επιλογές υπερδειγματοληψίας. Κάθε βήμα υπερδειγματοληψίας μειώνει τον θόρυβο και αυξάνει την ανάλυση εξόδου κατά ένα bit, το οποίο αποθηκεύεται στον καταχωρητή δεδομένων XLSB 0xFC. Η ενεργοποίηση/απενεργοποίηση της μέτρησης θερμοκρασίας και της ρύθμισης υπερδειγματοληψίας επιλέγονται μέσω των bit `osrs_t[2:0]` στον καταχωρητή ελέγχου 0xF4.

Ο θόρυβος εξαρτάται από τις επιλεγμένες ρυθμίσεις υπερδειγματοληψίας και φίλτρου. Οι αναφερόμενες τιμές προσδιορίστηκαν σε περιβάλλον ελεγχόμενης πίεσης και βασίζονται στη μέση τυπική απόκλιση 32 διαδοχικών σημείων μέτρησης που ελήφθησαν από τον κατασκευαστή με την υψηλότερη ταχύτητα δειγματοληψίας.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ο BMP280 προσφέρει τρεις λειτουργίες: λειτουργία αναστολής λειτουργίας, αναγκαστική λειτουργία και κανονική λειτουργία. Αυτές μπορούν να επιλεγούν χρησιμοποιώντας τα bit λειτουργίας[1:0] στον καταχωρητή ελέγχου 0xF4.

Η λειτουργία αναστολής λειτουργίας (sleep mode) ορίζεται από προεπιλογή μετά την επαναφορά της τροφοδοσίας. Στη λειτουργία αναστολής λειτουργίας, δεν εκτελούνται

μετρήσεις και η κατανάλωση ενέργειας (IDDSM) είναι στο ελάχιστο. Όλα τα μητρώα είναι προσβάσιμα. Μπορούν να διαβαστούν οι συντελεστές Chip-ID και αντιστάθμισης.

Στην αναγκαστική λειτουργία (forced mode), εκτελείται μία μόνο μέτρηση σύμφωνα με τις επιλεγμένες επιλογές μέτρησης και φίλτρου. Όταν ολοκληρωθεί η μέτρηση, ο αισθητήρας επιστρέφει σε λειτουργία αναστολής λειτουργίας και τα αποτελέσματα μέτρησης μπορούν να ληφθούν από τα μητρώα δεδομένων. Για την επόμενη μέτρηση, πρέπει να επιλεγεί ξανά η αναγκαστική λειτουργία. Αυτό είναι παρόμοιο με τη λειτουργία BMP180. Η αναγκαστική λειτουργία συνιστάται για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλό ρυθμό δειγματοληψίας ή συγχρονισμό με βάση τον κεντρικό υπολογιστή.

Η κανονική λειτουργία (normal mode) εναλλάσσεται συνεχώς μεταξύ μιας (ενεργής) περιόδου μέτρησης και μιας (ανενεργής) περιόδου αναμονής, της οποίας ο χρόνος ορίζεται από την αναμονή. Το ρεύμα στην περίοδο αναμονής (I_{DDSB}) είναι ελαφρώς υψηλότερο από ό,τι στη λειτουργία αναστολής λειτουργίας. Μετά τη ρύθμιση των επιλογών λειτουργίας, μέτρησης και φίλτρου, τα τελευταία αποτελέσματα μέτρησης μπορούν να ληφθούν από τα μητρώα δεδομένων χωρίς την ανάγκη περαιτέρω προσπελάσεων εγγραφής. Η κανονική λειτουργία συνιστάται όταν χρησιμοποιείται το φίλτρο IIR και είναι χρήσιμη για εφαρμογές στις οποίες πρέπει να φιλτράρονται βραχυπρόθεσμες διαταραχές (π.χ. φύσημα στον αισθητήρα).

Ο αισθητήρας BMP280 υποστηρίζει τόσο την ψηφιακή διεπαφή I²C όσο και την SPI. Λειτουργεί ως υποτελής μονάδα και για τα δύο πρωτόκολλα. Η διεπαφή I²C υποστηρίζει τις λειτουργίες Standard, Fast και High Speed. Η διεπαφή SPI υποστηρίζει τόσο τη λειτουργία SPI '00' όσο και τη λειτουργία '11' σε διαμόρφωση 4 καλωδίων και 3 καλωδίων. Στην συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε η χρήση της διεπαφής I²C και για αυτό θα είναι η μόνη που θα αναλυθεί.

Η επιλογή διεπαφής γίνεται αυτόματα με βάση την κατάσταση CSB (επιλογή τσιπ). Εάν το CSB είναι συνδεδεμένο στο V_{DDIO} , η διεπαφή I²C είναι ενεργή. Εάν το CSB είναι κατεβασμένο, ενεργοποιείται η διεπαφή SPI. Αφού το CSB έχει κατεβάσει μία φορά (ανεξάρτητα από το αν έχει συμβεί κάποιος κύκλος ρολογιού), η διεπαφή I²C απενεργοποιείται μέχρι την επόμενη επαναφορά κατά την ενεργοποίηση. Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί η ακούσια αποκωδικοποίηση της κίνησης SPI σε άλλον εξαρτημένο ως δεδομένα I²C. Δεδομένου ότι η επαναφορά κατά την ενεργοποίηση εκτελείται μόνο όταν έχουν δημιουργηθεί τόσο το V_{DD} όσο και το V_{DDIO} , δεν υπάρχει κίνδυνος εσφαλμένης ανίχνευσης πρωτοκόλλου λόγω της ακολουθίας ενεργοποίησης που χρησιμοποιείται. Ωστόσο, εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί το I²C και το CSB δεν είναι απευθείας συνδεδεμένο στο V_{DDIO} αλλά μέσω προγραμματιζόμενου ακροδέκτη, πρέπει να διασφαλιστεί ότι αυτός ο ακροδέκτης εξάγει ήδη το επίπεδο V_{DDIO} κατά την ενεργοποίηση κατά την επαναφορά της συσκευής. Εάν δεν συμβαίνει αυτό, η συσκευή θα κλειδωθεί σε λειτουργία SPI και δεν θα ανταποκριθεί στις εντολές I²C [16].

Η διεπαφή I²C χρησιμοποιεί τις ακόλουθες ακίδες:

- SCK: serial clock (SCL)
- SDI: data (SDA)
- SDO: Slave address LSB (GND = '0', VDDIO = '1')

3.4 Ο αισθητήρας μέτρησης της ποιότητας του αέρα MQ135

3.4.1 Οι χημικοί αισθητήρες

Ένας χημικός αισθητήρας είναι μια συσκευή που μεταδίδει χημικές πληροφορίες από μια χημική αντίδραση. Οι χημικές πληροφορίες μπορεί να είναι της σύνθεσης, της συγκέντρωσης και της χημικής δραστηριότητας που προέρχεται από μια χημική αντίδραση ή από φυσικές δραστηριότητες. Έχει διαφορετικές εφαρμογές όπως για οικιακές συσκευές και το χημικό βιομηχανίες. Ο χημικός αισθητήρας περιέχει συνήθως δύο βασικά συστατικά, τα οποία είναι ένα σύστημα χημικού συντονισμού γνωστό ως υποδοχέας και ένας φυσικός χημικός μετατροπέας. Ο υποδοχέας αλληλεπιδρά με αναλυτικά μόρια και ο μορφοτροπέας στέλνει το ηλεκτρικό σήμα. Ένα δείγμα δοκιμής δίνεται στον υποδοχέα ο οποίος ελέγχει τη σύνθεση που συνδέεται με τον μορφοτροπέα. Ο μετατροπέας συλλέγει τις πληροφορίες από τον δέκτη και τις στέλνει στον ενισχυτή σήματος. Αυτό ενισχύει το σήμα από τον αισθητήρα Advances in Modern Sensors 1-15 και το στέλνει ως σήματα εξόδου. Υπάρχουν δύο τύποι χημικών αισθητήρων χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της σύνθεσης: οπτικός αισθητήρας και ηλεκτροχημικός αισθητήρας.

- Οπτικός αισθητήρας: Στον οπτικό αισθητήρα, υπάρχουν ως κύρια στοιχεία ένας πομπός και ένας ανιχνευτής. Ο εκπομπός αισθάνεται το φως στον οπτικό αισθητήρα και οι ακτίνες φωτός πέφτουν πάνω στην αναλυόμενη ουσία και αυτές οι ακτίνες μπορεί να ανακληθούν ή να διαθλαστούν. Αυτά τα ανακλώμενα ή διαθλούμενα φώτα περνούν μέσα από τον ανιχνευτή. Τώρα ο ανιχνευτής λαμβάνει αυτά τα φώτα και ανάλογα με την έντασή τους είναι η χημική ένωση που υπάρχει αναλύονται. Η λειτουργία ενός οπτικού αισθητήρα είναι πολύ απλή και χρησιμοποιεί χαρακτηριστικά συντελεστή απορρόφησης του μέσου και του μήκους διαδρομής που διανύουν οι ακτίνες.

- Ηλεκτροχημικός αισθητήρας: Ο ηλεκτροχημικός αισθητήρας λειτουργεί ενεργώντας σε μόρια αερίου που μας ενδιαφέρουν και παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα ανάλογο με την ένωση που υπάρχει στο αέριο. Αποτελείται από αισθητήρια δομοστοιχεία και ηλεκτρόδια, που χωρίζονται από ένα λεπτό στρώμα ηλεκτρολύτη. Υπάρχουν δύο πλάκες και το κέντρο είναι γεμάτο από ηλεκτρολύτες. Η μία πλάκα είναι η κάθοδος και η άλλη πλάκα είναι η άνοδος. Μια εξωτερική μεμβράνη εισάγεται στο διάλυμα και απορροφάται από ορισμένα ιόντα από το διάλυμα. Επομένως, οι χημικές ιδιότητες του διαλύματος αλλάζουν και το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο θα αλλάξει επίσης, και κατά συνέπεια η αλλαγή στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο διασφαλίζει ότι η χημική σύνθεση είναι παρούσα στο αέριο [41].

3.4.2 Ο αισθητήρας MQ135

Ο αισθητήρας MQ-135 είναι ένας αισθητήρας αερίου που ανιχνεύει μια ποικιλία αερίων, όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), αμμωνία (NH_3), βενζόλιο, αλκοόλ και καπνό. Χρησιμοποιείται συνήθως για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα.

Η λειτουργία του βασίζεται σε ένα στοιχείο ανίχνευσης που διαθέτει, το οποίο μπορεί και αλλάζει την αντίστασή του ανάλογα με τη συγκέντρωση των αερίων. Αυτήν η αντίσταση εξάγει μια αναλογική τάση που αντιστοιχεί στη συγκέντρωση των αερίων και στην πραγματικότητα αντίσταση του αισθητήρα μειώνεται όσο αυξάνεται η συγκέντρωση αερίου.

Οι μεταβλητές που προκύπτουν από τον αισθητήρα είναι οι ακόλουθες:

Smoke & Gaz (DN): Αυτή είναι η ακατέργαστη ψηφιακή ένδειξη από τον αισθητήρα, η οποία είναι χρήσιμη για να εξακριβωθεί η λειτουργία του αισθητήρα

MQ135 RZero: Αυτή είναι η αντίσταση του αισθητήρα σε καθαρό αέρα. Είναι μια τιμή αναφοράς και χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του PPM.

Corrected RZero: Πρόκειται για μια διορθωμένη τιμή του RZero, λαμβάνοντας υπόψη πιθανές αποκλίσεις ή συνθήκες περιβάλλοντος.

Resistance: Αυτή είναι η αντίσταση του αισθητήρα όταν ανιχνεύει αέρια. Η αλλαγή στην αντίσταση είναι αυτή που μεταφράζεται σε συγκέντρωση αερίων.

PPM (Parts Per Million): Αυτή είναι η πιο σημαντική μεταβλητή, καθώς εκφράζει τη συγκέντρωση των αερίων στην ατμόσφαιρα και είναι η πιο άμεσα ερμηνεύσιμη μονάδα για την ποιότητα του αέρα.

Corrected PPM: Μια διορθωμένη τιμή του PPM, η οποία είναι βασισμένη στο "Corrected RZero" αλλά και σε άλλους παράγοντες βαθμονόμησης.

Ο MQ135 είναι ένας αισθητήρας ευρέος φάσματος και δεν είναι εξειδικευμένος για τη μέτρηση συγκεκριμένων αερίων όπως το CO₂, NH₃, βενζόλιο με την ακρίβεια ενός εργαστηριακού οργάνου. Ανιχνεύει αέρια που επηρεάζουν την αγωγιμότητά του. Η τιμή PPM που δίνει είναι μια συνολική ένδειξη "ποιότητας αέρα" και όχι η ακριβής συγκέντρωση κάθε επιμέρους αερίου. Μπορείς να αναφέρεις ότι είναι ενδεικτικός για την παρουσία αυτών των αερίων [17, 18].

Οι τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
VC	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
VH	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
RL	Load resistance	can adjust	
RH	Heater resistance	33Ω±5%	Room Tem

PH	Heating consumption	less than 800mw	
Tao	Using Tem	-10°C - 45°C	
Tas	Storage Tem	-20°C - 70°C	
RH	Related humidity	less than 95%Rh	
Sensitivity	S	$R_s(\text{in air})/R_s(\text{in } 400\text{ppm H}_2) \geq 5$	
Output Voltage	Vs	2.0V ~ 4.0V (in 400ppm H ₂)	
Concentration Slope	α	$\leq 0.6(R_{400\text{ppm}}/R_{100\text{ppm H}_2})$	
O2	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%
Rs	Sensing Resistance	30KΩ-200KΩ (100ppm NH ₃)	Detecting concentration scope 10ppm-300ppm NH ₃ 10ppm-1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol
α (200/50) NH ₃	Concentration Slope rate	≤ 0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20°C ± 2°C Humidity: 65% ± 5%	Vc: 5V ± 0.1V Vh: 5V ± 0.1V	
Preheat time	Over 24 hour		

Πίνακας 8: Ο πίνακας με τις τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα MQ135

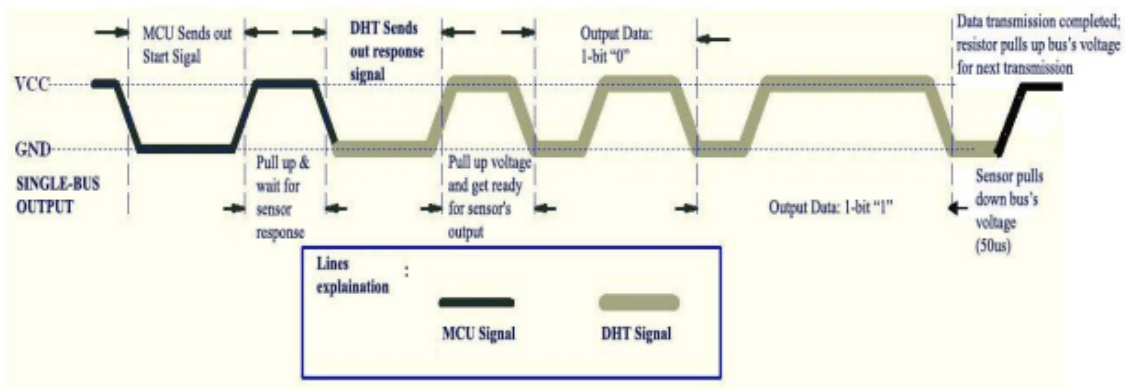
Ο αισθητήρας MQ135 είναι ένας αναλογικός αισθητήρας οξειδίου μετάλλου (MOS), ο οποίος μεταβάλλει την ηλεκτρική του αντίσταση ανάλογα με τη συγκέντρωση των ανιχνευόμενων αερίων στο περιβάλλον. Αυτή η μεταβολή της αντίστασης μετατρέπεται σε μια μεταβαλλόμενη αναλογική τάση στην έξοδο του αισθητήρα που κυμαίνεται από 0V έως 5V. Η σύνδεσή του με τον μικροελεγκτή γίνεται σε μία από τις αναλογικές εισόδους του μικροελεγκτή, όπου η μεταβαλλόμενη τάση εξόδου του αισθητήρα διαβάζεται και μετατρέπεται σε ψηφιακή τιμή μέσω του Αναλογικού-Ψηφιακού Μετατροπέα (ADC) του μικροελεγκτή (π.χ. από 0 έως 1023 για ένα ADC 10-bit). Αυτή η ψηφιακή τιμή είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των αερίων και εκφράζεται σε PPM.

3.5 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

3.5.1 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας Single Wire

Χρησιμοποιείται μονοσύρματη μορφή δεδομένων για την επικοινωνία και τον συγχρονισμό μεταξύ του μικροελεγκτή (MCU) και του αισθητήρα DHT11. Μία πλήρης διαδικασία επικοινωνίας διαρκεί περίπου 4ms. Τα δεδομένα αποτελούνται από ακέραιο και δεκαδικό μέρος. Μια πλήρης μετάδοση περιλαμβάνει 40 bits, με τον αισθητήρα να στέλνει πρώτα τα σημαντικότερα bits. Μορφή δεδομένων: 8 bit ακέραια δεδομένα σχετικής υγρασίας + 8 bit δεκαδικά δεδομένα σχετικής υγρασίας + 8 bit ακέραια δεδομένα θερμοκρασίας + 8 bit δεκαδικά δεδομένα θερμοκρασίας + 8 bit έλεγχος αθροίσματος (checksum). Αν η μετάδοση των δεδομένων είναι σωστή, το checksum (έλεγχος αθροίσματος) πρέπει να ισούται με το άθροισμα των τεσσάρων πρώτων byte.

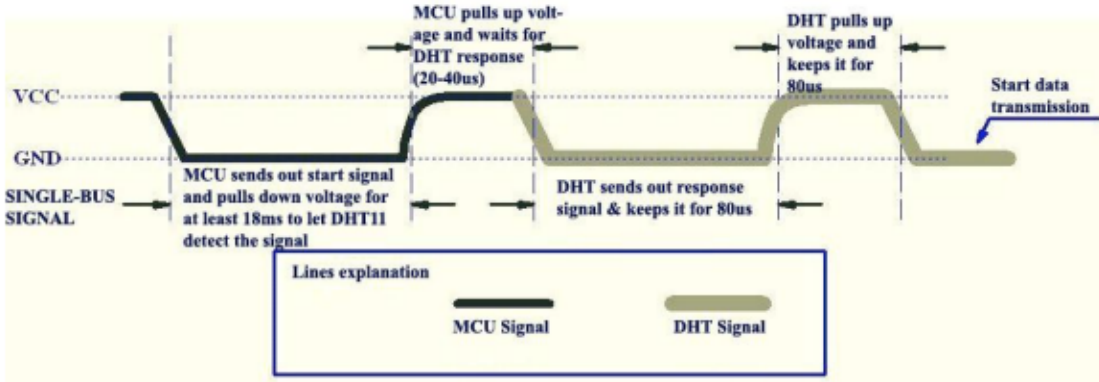
Όταν ο μικροελεγκτής (MCU) στείλει το σήμα εκκίνησης (start signal), ο DHT11 μεταβαίνει από λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης σε λειτουργία λειτουργίας (running mode), περιμένοντας την ολοκλήρωση του σήματος εκκίνησης. Μόλις ολοκληρωθεί, ο DHT11 στέλνει ένα σήμα απόκρισης που περιλαμβάνει 40-bit δεδομένων, τα οποία περιέχουν πληροφορίες σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας προς τον MCU. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να συλλέξει (διαβάσει) συγκεκριμένα δεδομένα. Χωρίς σήμα εκκίνησης από τον μικροελεγκτή, ο DHT11 δεν θα στείλει απάντηση. Αφού ολοκληρωθεί η συλλογή δεδομένων, ο DHT11 επιστρέφει σε λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης μέχρι να λάβει ξανά σήμα εκκίνησης από τον MCU.



Σχήμα 5: Η γενική διαδικασία επικοινωνίας

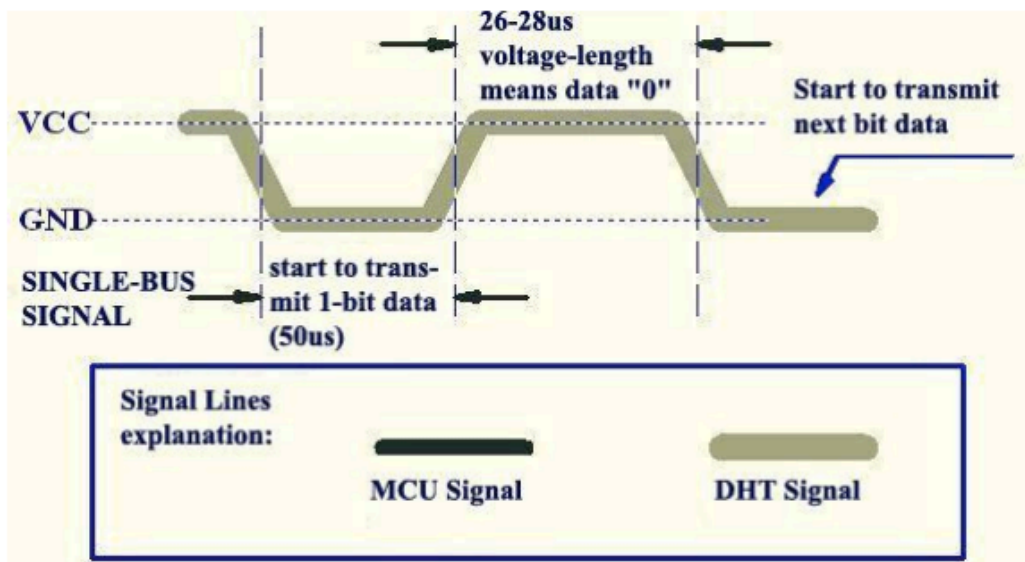
Η γραμμή δεδομένων του μονοσύρματου διαύλου (Single-bus) βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής σε υψηλό επίπεδο τάσης. Όταν ξεκινά η επικοινωνία μεταξύ του MCU και του DHT11, το πρόγραμμα του MCU θέτει τη γραμμή δεδομένων από υψηλή σε χαμηλή τάση και αυτή η διαδικασία πρέπει να διαρκεί τουλάχιστον 18ms για να διασφαλιστεί ότι ο DHT θα

ανιχνεύσει σωστά το σήμα του MCU. Στη συνέχεια, ο MCU επαναφέρει τη γραμμή σε υψηλό επίπεδο και περιμένει 20-40μs για την απόκριση του DHT.

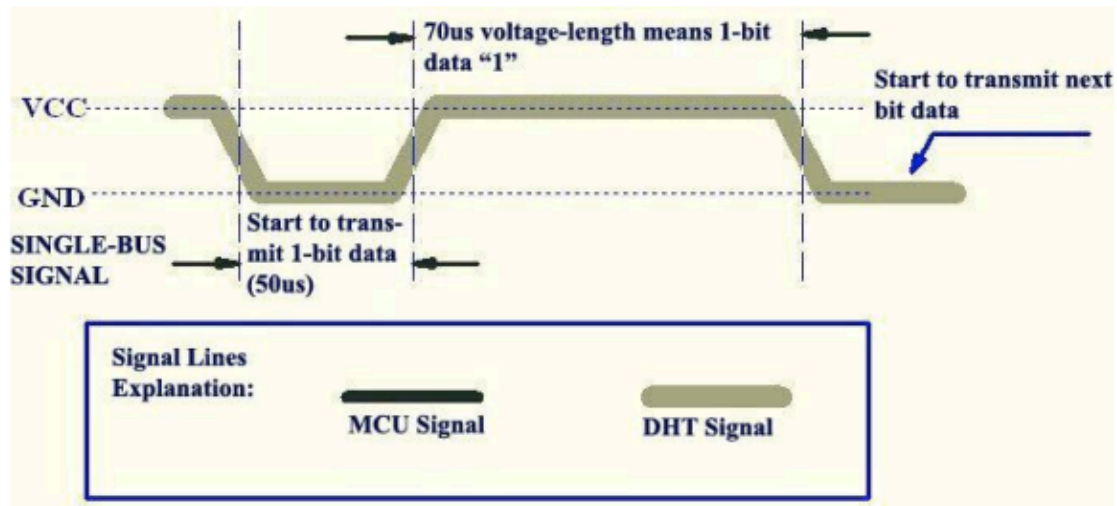


Σχήμα 6: Η διαδικασία όπου ο μικροελεγκτής στέλνει σήμα εκκίνησης προς τον DHT

Μόλις ο DHT ανιχνεύσει το σήμα εκκίνησης, στέλνει ένα σήμα απόκρισης χαμηλής τάσης (low-voltage-level), το οποίο διαρκεί 80μs. Έπειτα, το πρόγραμμα του DHT θέτει τη γραμμή δεδομένων σε υψηλή τάση για άλλα 80μs, προκειμένου να προετοιμαστεί για τη μετάδοση των δεδομένων. Όταν η γραμμή δεδομένων (DATA Single-Bus) βρίσκεται σε χαμηλό επίπεδο τάσης, αυτό σημαίνει ότι ο DHT στέλνει το σήμα απόκρισης. Μετά την αποστολή του σήματος απόκρισης, ο DHT ανεβάζει την τάση και τη διατηρεί για 80μs, προετοιμαζόμενος για τη μετάδοση των δεδομένων. Κατά την αποστολή των δεδομένων από τον DHT προς τον MCU, κάθε bit ξεκινά με παλμό χαμηλής τάσης διάρκειας 50μs. Η διάρκεια του επόμενου παλμού υψηλής τάσης καθορίζει αν το bit που αποστέλλεται είναι "0" ή "1".



Σχήμα 7: Η διαδικασία όπου ο DHT αποκρίνεται στον μικροελεγκτή με ένδειξη "0"



Σχήμα 8: Η διαδικασία όπου ο DHT αποκρίνεται στον μικροελεγκτή με ένδειξη "1"

Αν το σήμα απόκρισης από τον DHT βρίσκεται συνεχώς σε υψηλό επίπεδο τάσης, αυτό υποδηλώνει ότι ο DHT δεν αποκρίνεται σωστά και θα πρέπει να ελέγξετε τη σύνδεση. Όταν μεταδοθεί το τελευταίο bit των δεδομένων, ο DHT11 κατεβάζει το επίπεδο τάσης και το διατηρεί για 50μs. Στη συνέχεια, η τάση στη γραμμή δεδομένων επανέρχεται στην κατάσταση αναμονής (free status), καθώς ανεβαίνει μέσω της αντίστασης pull-up [15, 39].

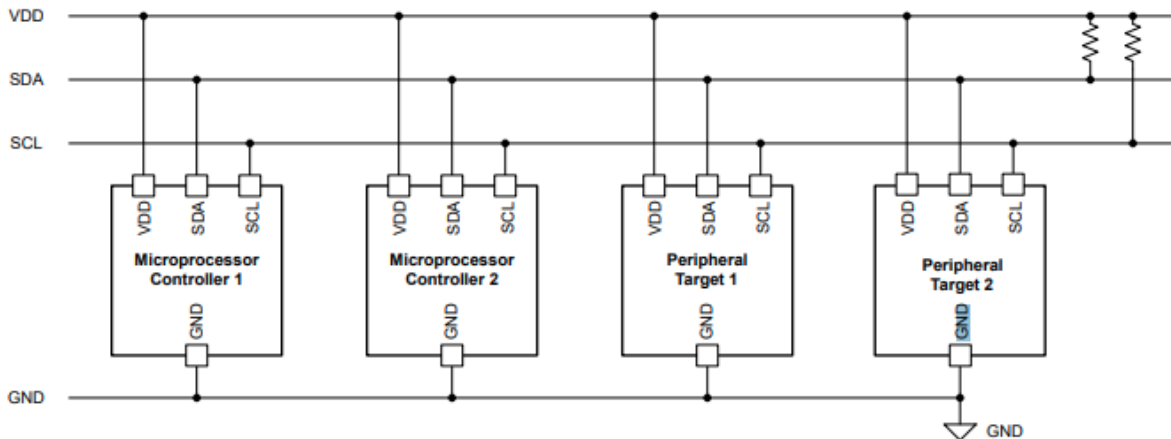
3.5.2 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας I²C

Το I²C είναι ένα πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας δύο καλωδίων που χρησιμοποιεί μια γραμμή σειριακών δεδομένων (SDA) και μια γραμμή σειριακού ρολογιού (SCL). Το πρωτόκολλο υποστηρίζει πολλαπλές συσκευές-στόχους σε έναν δίαυλο επικοινωνίας και μπορεί επίσης να υποστηρίξει πολλαπλούς ελεγκτές που αποστέλλουν και λαμβάνουν εντολές και δεδομένα. Η επικοινωνία αποστέλλεται σε πακέτα byte με μια μοναδική διεύθυνση για κάθε μία.

Το I²C, αντιπροσωπεύει το πρωτόκολλο Inter-Integrated Circuit. Αναπτύχθηκε το 1982 από την Philips Semiconductor (τόρα NXP Semiconductor) ως πρωτόκολλο επικοινωνίας χαμηλής ταχύτητας για τη σύνδεση συσκευών ελεγκτών, όπως μικροελεγκτές και επεξεργαστές με συσκευές-στόχους όπως μετατροπείς δεδομένων και άλλες περιφερειακές συσκευές. Από το 2006, η εφαρμογή του πρωτοκόλλου I²C δεν απαιτεί άδεια χρήσης και πολλές εταιρείες συσκευών ημιαγωγών, συμπεριλαμβανομένης της TI, έχουν εισαγάγει συσκευές συμβατές με I²C. Είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο για πολλούς λόγους. Αρχικά, απαιτεί μόνο δύο γραμμές για επικοινωνία. Όπως άλλα πρωτόκολλα σειριακής επικοινωνίας, υπάρχει μια σειριακή γραμμή δεδομένων και μια σειριακή γραμμή ρολογιού. Το I²C μπορεί να συνδεθεί σε πολλαπλές συσκευές στο δίαυλο μόνο με τις δύο γραμμές. Η συσκευή ελεγκτή μπορεί να επικοινωνήσει με οποιαδήποτε συσκευή-στόχο μέσω μιας μοναδικής διεύθυνσης I²C που αποστέλλεται μέσω της σειριακής γραμμής δεδομένων.

Two-Wire Επικοινωνία

Ένα σύστημα I²C διαθέτει δύο κοινόχρηστες γραμμές επικοινωνίας για όλες τις συσκευές στο δίαυλο. Αυτές οι δύο γραμμές χρησιμοποιούνται για αμφίδρομη, ημι-αμφίδρομη επικοινωνία. Το I²C επιτρέπει πολλαπλούς ελεγκτές και πολλαπλές συσκευές-στόχους. Απαιτούνται αντιστάσεις pull-up και στις δύο αυτές γραμμές. Το Σχήμα 28 δείχνει μια τυπική υλοποίηση του φυσικού επιπέδου I²C.

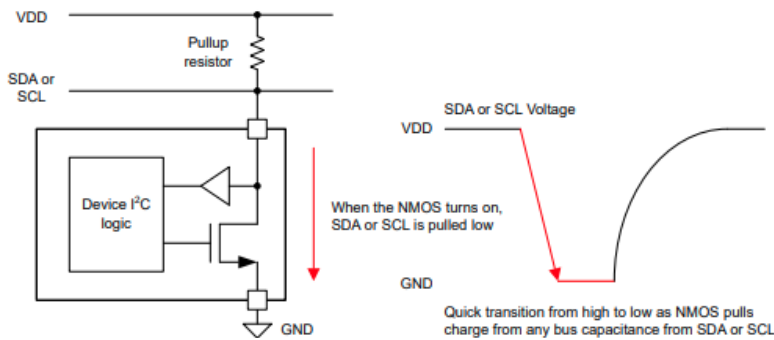


Σχήμα 9: Τυπική I²C υλοποίηση

Ένας από τους λόγους για τους οποίους το I²C είναι ένα κοινό πρωτόκολλο είναι επειδή υπάρχουν μόνο δύο γραμμές που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία. Η πρώτη γραμμή είναι το SCL, το οποίο είναι ένα σειριακό ρολόι που ελέγχεται κυρίως από τη συσκευή ελεγκτή. Το SCL χρησιμοποιείται για να χρονίζει δεδομένα προς ή από τη συσκευή-στόχο. Η δεύτερη γραμμή είναι το SDA, το οποίο είναι η γραμμή σειριακών δεδομένων. Το SDA χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων προς ή από τις συσκευές-στόχους. Για παράδειγμα, μια συσκευή ελεγκτή μπορεί να στείλει δεδομένα διαμόρφωσης και κωδικούς εξόδου σε έναν ψηφιακό-σε-αναλογικό μετατροπέα (DAC) στόχου ή ένας αναλογικός-σε-ψηφιακός μετατροπέας (ADC) στόχου μπορεί να στείλει δεδομένα μετατροπής πίσω στη συσκευή ελεγκτή. Το I²C είναι η ημι-αμφίδρομη επικοινωνία όπου μόνο ένας μόνο ελεγκτής ή μια συσκευή-στόχος στέλνει δεδομένα στο δίαυλο κάθε φορά. Μια συσκευή ελεγκτή I²C ξεκινά και σταματά την επικοινωνία, γεγονός που εξαλείφει το πιθανό πρόβλημα διαφωνίας μεταξύ διαύλου. Η επικοινωνία με μια συσκευή-στόχο αποστέλλεται μέσω μιας μοναδικής διεύθυνσης στο δίαυλο. Αυτό επιτρέπει τόσο πολλαπλούς ελεγκτές όσο και πολλαπλές συσκευές-στόχους στο δίαυλο I²C. Οι γραμμές SDA και SCL έχουν μια σύνδεση open drain σε όλες τις συσκευές στο δίαυλο. Αυτό απαιτεί μια αντίσταση pull-up σε μια κοινή παροχή τάσης.

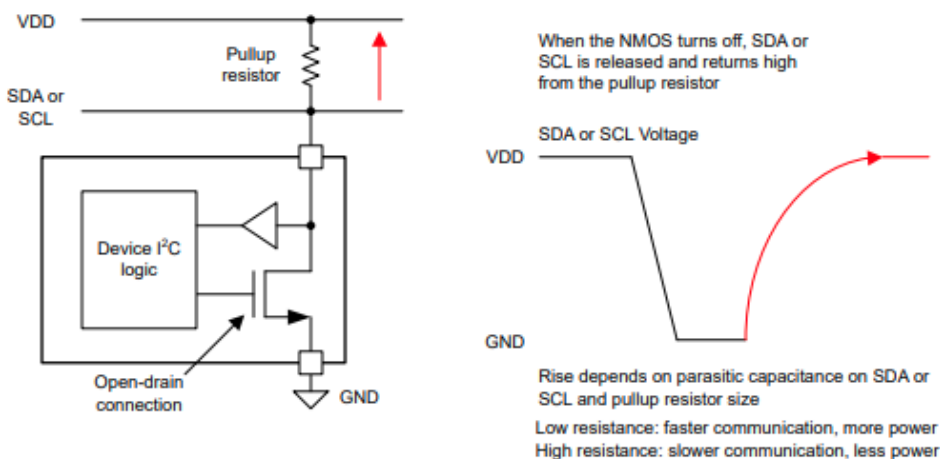
Open-Drain Σύνδεση

Οι συνδέσεις open drain χρησιμοποιούνται τόσο στις γραμμές SDA όσο και στις γραμμές SCL και συνδέονται με ένα τρανζίστορ NMOS. Αυτή η σύνδεση open drain ελέγχει τη γραμμή επικοινωνίας I²C και τραβάει τη γραμμή χαμηλά ή απελευθερώνει τη γραμμή υψηλά. Η σύνδεση αυτή αναφέρεται στη σύνδεση διαύλου NMOS όταν το NMOS είναι απενεργοποιημένο. Το Σχήμα 29 δείχνει τη σύνδεση αυτήν καθώς το NMOS είναι ενεργοποιημένο.



Σχήμα 10: Η Open-Drain σύνδεση που τραβάει τη γραμμή χαμηλής τάσης όταν το NMOS είναι ενεργοποιημένο

Για να ρυθμίσετε το επίπεδο τάσης της γραμμής SDA ή SCL, το NMOS ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται. Όταν το NMOS είναι ενεργοποιημένο, η συσκευή έλκει ρεύμα μέσω της αντίστασης στη γείωση. Αυτό τραβάει χαμηλά τη γραμμή ανοιχτής αποστράγγισης. Συνήθως, η μετάβαση από υψηλή σε χαμηλή για το I²C είναι μια γρήγορη μετάβαση καθώς το NMOS έλκει προς τα κάτω το SDA ή το SCL. Η ταχύτητα της μετάβασης καθορίζεται από την ισχύ του οδηγού NMOS και οποιαδήποτε χωρητικότητα διαύλου στο SDA ή το SCL. Όταν το NMOS απενεργοποιείται, η συσκευή σταματά να έλκει ρεύμα και η αντίσταση έλξης έλκει τη γραμμή SDA ή SCL στο V_{DD}. Το Σχήμα 30 δείχνει μια γραμμή open drain καθώς το NMOS είναι απενεργοποιημένο. Η αντίσταση έλξης έλκει τη γραμμή ψηλά. Η μετάβαση της γραμμής open drain είναι πιο αργή επειδή η γραμμή έλκεται προς τα πάνω έναντι της χωρητικότητας του διαύλου και δεν οδηγείται ενεργά.



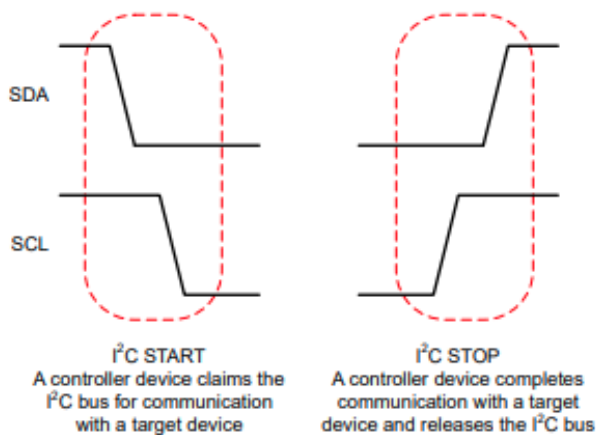
Σχήμα 11: Pullup Resistor τραβάει την υψηλή γραμμή όταν το NMOS είναι απενεργοποιημένο

Μέσω του ελέγχου αυτής της open drain σύνδεσης, τόσο το SDA όσο και το SCL μπορούν να ρυθμιστούν σε υψηλή και χαμηλή τιμή, επιτρέποντας την επικοινωνία I²C. Λόγω της χωρητικότητας στη γραμμή επικοινωνίας, οι γραμμές SDA και SCL εκφορτίζονται με μια εκθετική σταθερά χρόνου RC που καθιζάνει ανάλογα με το μέγεθος της αντίστασης έλξης και τη χωρητικότητα στο δίαυλο I²C. Η υψηλότερη χωρητικότητα περιορίζει την ταχύτητα της επικοινωνίας, τον αριθμό των συσκευών και τη φυσική απόσταση μεταξύ των συσκευών στο δίαυλο. Μια μικρότερη αντίσταση έλξης έχει ταχύτερο χρόνο ανόδου, αλλά απαιτεί περισσότερη ισχύ για την επικοινωνία. Μια μεγαλύτερη αντίσταση έλξης έχει βραδύτερο χρόνο ανόδου που οδηγεί σε βραδύτερη επικοινωνία, αλλά απαιτεί λιγότερη ισχύ.

Ένα από τα πλεονεκτήματα του I²C που χρησιμοποιεί open drain σύνδεση είναι ότι ο ανταγωνισμός μεταξύ των διαύλων δεν θέτει τον δίαυλο σε καταστροφική κατάσταση. Με μια έξοδο open drain, πολλές συσκευές μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους χωρίς καταστροφική σύγκρουση. Για οποιαδήποτε έξοδο σε αυτήν τη σύνδεση, εάν οποιαδήποτε έξοδος τραβάει τη γραμμή χαμηλά, η γραμμή είναι χαμηλή. Αυτό το είδος σύνδεσης ονομάζεται wired-AND σύνδεση. Η έξοδος είναι η λογική AND όλων των εξόδων όταν συνδέονται μεταξύ τους. Εάν οι εξοδοί είναι τύπου push-pull, οι εξοδοί δεν μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους χωρίς την πιθανότητα μιας καταστροφικής κατάστασης. Μια έξοδος push-pull (που χρησιμοποιείται συχνά για επικοινωνία SPI) έχει συμπληρωματικά τρανζίστορ NMOS και PMOS που οδηγούν την έξοδο ψηλά ή χαμηλά. Με τη σύνδεση open drain, οποιαδήποτε συσκευή μπορεί να τραβήξει τη σύνδεση χαμηλά ανά πάσα στιγμή. Η γραμμή εμφανίζεται χαμηλή κάθε φορά που οποιαδήποτε συσκευή τραβήξει τη γραμμή χαμηλά, αλλά δεν εμφανίζεται ως καταστροφική σύγκρουση. Στην έξοδο push-pull, οι εξοδοί είναι επίσης συνδεδεμένες μεταξύ τους. Εάν δύο συσκευές είναι ενεργές στο δίαυλο και η μία έξοδος είναι υψηλή και η άλλη έξοδος είναι χαμηλή, αυτή η σύγκρουση διαύλου έχει μια απροσδιόριστη κατάσταση, πιθανώς να κατακαθίσει στο μέσο σημείο παροχής. Επιπλέον, μια συσκευή έχει αγωγίμο ρεύμα NMOS και μια άλλη συσκευή έχει αγωγίμο ρεύμα PMOS. Αυτές οι συσκευές παρέχουν ρεύμα από το V_{DD} στο GND μέσω μιας διαδρομής πολύ χαμηλής σύνθετης αντίστασης, άγοντας όσο ρεύμα επιτρέπουν τα τρανζίστορ. Το αποτέλεσμα αυτής της σύγκρουσης μπορεί να είναι μια σημαντική ποσότητα ρεύματος, πιθανώς προκαλώντας ζημιά στις συσκευές.

I²C START και STOP

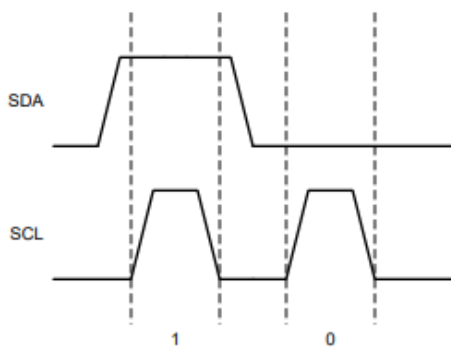
Η επικοινωνία I²C ξεκινά από τη συσκευή ελεγκτή με μια συνθήκη I²C START. Εάν ο δίαυλος είναι ανοιχτός, ένας I²C ελεγκτής διεκδικεί τον δίαυλο για επικοινωνία στέλνοντας μια I²C START. Για να γίνει αυτό, η συσκευή ελεγκτή πρώτα τραβάει το SDA low και στη συνέχεια τραβάει το SCL low. Αυτή η ακολουθία υποδεικνύει ότι η συσκευή ελεγκτή διεκδικεί τον I²C bus για επικοινωνία, αναγκάζοντας άλλες συσκευές ελεγκτή στον δίαυλο να διακόψουν την επικοινωνία τους. Όταν η συσκευή ελεγκτή ολοκληρώσει την επικοινωνία, το SCL απελευθερώνει high και στη συνέχεια το SDA απελευθερώνει high. Αυτό υποδεικνύει μια συνθήκη I²C STOP. Αυτό απελευθερώνει τον δίαυλο για να επιτρέψει σε άλλους ελεγκτές να επικοινωνήσουν ή για να επιτρέψει στον ίδιο ελεγκτή να επικοινωνήσει με μια άλλη συσκευή. Το Σχήμα 31 δείχνει το πρωτόκολλο για μια I²C START και STOP.



Σχήμα 12: I²C START και STOP

Λογικά 1 και 0

Το I²C χρησιμοποιεί μια ακολουθία από μονάδες και μηδενικά για σειριακή επικοινωνία. Το SDA χρησιμοποιείται για τα bit δεδομένων, ενώ το SCL είναι το σειριακό ρολόι που χρονομετρά την ακολουθία bit. Ένα λογικό μηδέν αποστέλλεται όταν το SDA απελευθερώνει τη γραμμή, επιτρέποντας στην αντίσταση pull-up να τραβήξει τη γραμμή σε υψηλό επίπεδο. Ένα λογικό μηδέν αποστέλλεται όταν το SDA τραβάει προς τα κάτω τη γραμμή, ορίζοντας ένα χαμηλό επίπεδο κοντά στο έδαφος. Το Σχήμα 32 δείχνει την αναπαράσταση ενός ψηφιακού 1 και 0 για την επικοινωνία I²C.

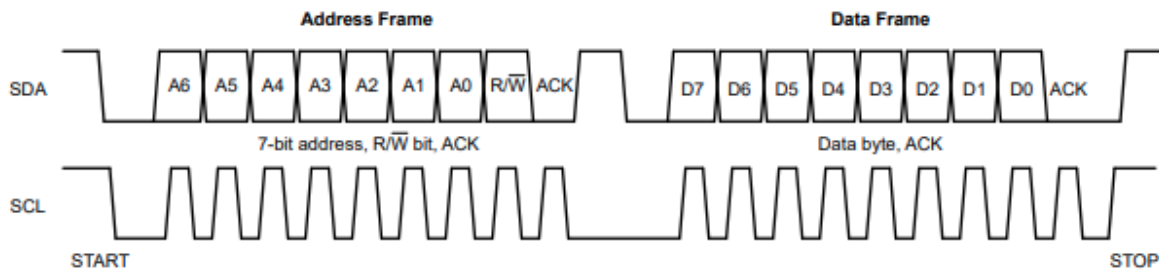


Σχήμα 13: I²C αναπαραστάσεις των ψηφιακών 0 και 1

Τα λογικά ένα και μηδέν λαμβάνονται όταν το SCL παλμοποιείται. Για ένα έγκυρο bit, το SDA δεν αλλάζει μεταξύ μιας ανοδικής και μιας καθοδικής ακμής του SCL για αυτό το bit. Οι αλλαγές του SDA μεταξύ των ανοδικών και καθοδικών ακμών του SCL μπορούν να ερμηνευθούν ως συνθήκη START ή STOP στον διάλογο I²C.

Πλαίσια Επικοινωνίας I²C

Το πρωτόκολλο I²C χωρίζεται σε πλαίσια. Η επικοινωνία ξεκινά με τη συσκευή ελεγκτή να στέλνει ένα πλαίσιο διεύθυνσης μετά από μια START. Το πλαίσιο διεύθυνσης ακολουθείται από ένα ή περισσότερα πλαίσια δεδομένων, καθένα από τα οποία αποτελείται από ένα byte. Κάθε πλαίσιο έχει επίσης ένα bit επιβεβαίωσης για να ειδοποιεί τον ελεγκτή ότι η συσκευή-στόχος ή η συσκευή ελεγκτή έχει λάβει επικοινωνία. Το Σχήμα 33 δείχνει ένα διάγραμμα δύο πλαισίων επικοινωνίας I²C.



Σχήμα 14: I²C διεύθυνση και πλαίσια δεδομένων

Στην αρχή του πλαισίου διεύθυνσης, η συσκευή ελεγκτή εκκινεί μια συνθήκη START. Η συσκευή ελεγκτή πρώτα τραβάει SDA low και στη συνέχεια τραβάει SCL low για την START. Αυτό επιτρέπει στη συσκευή ελεγκτή να διεκδικήσει τον διάυλο χωρίς να αμφισβητηθεί από άλλες συσκευές ελεγκτή στον διάυλο. Κάθε συσκευή-στόχος I²C έχει μια συχετισμένη διεύθυνση I²C. Κατά την έναρξη της επικοινωνίας με μια συγκεκριμένη συσκευή-στόχο, ο ελεγκτής χρησιμοποιεί τη διεύθυνση της συσκευής-στόχου για την αποστολή ή λήψη δεδομένων στα ακόλουθα πλαίσια I²C. Η διεύθυνση I²C αποτελείται από 7 bit και συσκευές στον διάυλο I²C, καθεμία από τις οποίες έχει μια μοναδική διεύθυνση στον διάυλο.

Μια διεύθυνση 7-bit υπονοεί 2^7 (ή 128) μοναδικές διευθύνσεις. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές δεσμευμένες διευθύνσεις I²C που περιορίζουν τον αριθμό των πιθανών συσκευών. Η διεύθυνση αποστέλλεται με το SDA ως δεδομένα και το SCL ως σειριακό ρολόι. Με αυτές τις πληροφορίες, μπορείτε να διαβάσετε την επικοινωνία I²C μιας συσκευής και να κατανοήσετε τι αποστέλλεται από τη συσκευή ελεγκτή και τη συσκευή-στόχο.

Το 8ο bit αυτού του πλαισίου που ακολουθεί τη διεύθυνση, είναι το bit ανάγνωσης-εγγραφής. Εάν αυτό το bit είναι 1, ο ελεγκτής ζητά να διαβάσει δεδομένα από τη συσκευή-στόχο. Εάν αυτό το bit είναι 0, ο ελεγκτής ζητά να γράψει δεδομένα στη συσκευή-στόχο.

Μετά από οποιοδήποτε byte επικοινωνίας, χρησιμοποιείται ένα επιπλέον 9ο bit για να επαληθευτεί η επιτυχής επικοινωνία. Στο τέλος της επικοινωνίας byte διεύθυνσης, η συσκευή-στόχος τραβάει προς τα κάτω το SDA κατά τη διάρκεια του παλμού SCL για να υποδείξει στον ελεγκτή ότι η διεύθυνση ελήφθη. Αυτό είναι γνωστό ως bit επιβεβαίωσης (ACK). Εάν αυτό το bit είναι υψηλό, τότε καμία συσκευή-στόχος δεν έλαβε τη διεύθυνση και η επικοινωνία ήταν ανεπιτυχής. Εάν το bit είναι υψηλό, αυτό είναι γνωστό ως NACK και δεν υπήρξε ACK.

Το πλαίσιο διεύθυνσης ακολουθείται από ένα ή περισσότερα πλαίσια δεδομένων. Αυτά τα πλαίσια αποστέλλονται ένα byte κάθε φορά. Μετά τη μεταφορά κάθε byte δεδομένων, υπάρχει ένα άλλο ACK. Εάν το byte δεδομένων είναι μια εγγραφή στη συσκευή, τότε η συσκευή-στόχος τραβάει το SDA χαμηλό για να επιβεβαιώσει τη μεταφορά. Εάν το byte δεδομένων είναι μια ανάγνωση από τη συσκευή, ο ελεγκτής τραβάει το SDA χαμηλά για να επιβεβαιώσει ότι τα δεδομένα έχουν ληφθεί. Το ACK είναι ένα χρήσιμο εργαλείο εντοπισμού σφαλμάτων. Η απουσία αυτού του bit μπορεί να υποδεικνύει ότι το περιφερειακό στοχευόμενο δεν έλαβε τη σωστή διεύθυνση I²C για επικοινωνία ή ότι το περιφερειακό στοχευόμενο δεν έλαβε τα αναμενόμενα δεδομένα.

Μετά την ολοκλήρωση της επικοινωνίας, ο ελεγκτής εκδίδει μια συνθήκη I²C STOP. Το SCL απελευθερώνεται πρώτα και στη συνέχεια απελευθερώνεται το SDA. Ο ελεγκτής χρησιμοποιεί το STOP για να υποδείξει ότι η επικοινωνία ολοκληρώθηκε και ο διάυλος I²C απελευθερώθηκε.

Αυτό είναι το βασικό πρωτόκολλο για οποιαδήποτε επικοινωνία I²C μεταξύ της συσκευής ελεγκτή και της συσκευής στόχου. Η επικοινωνία μπορεί να αποτελείται από περισσότερα από ένα byte δεδομένων. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου μια συσκευή στόχου έχει πολλαπλά

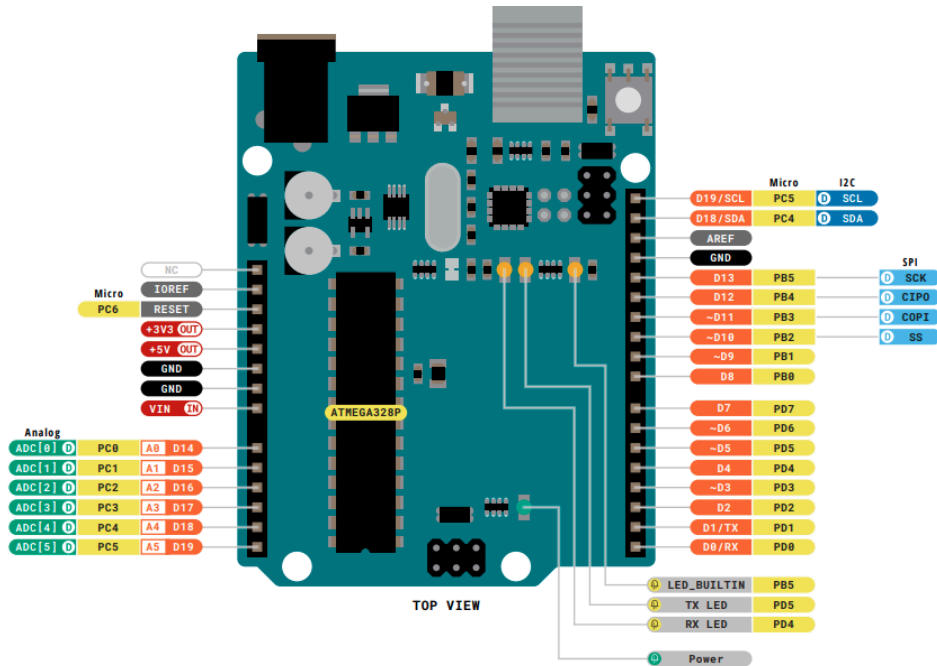
μητρώα δεδομένων και διαμόρφωσης, μια ανάγνωση από μια συσκευή μπορεί να ξεκινήσει με μια εγγραφή στη συσκευή για να υποδείξει ποιος μητρώο πρόκειται να διαβαστεί. Οι ακόλουθες ενότητες παρουσιάζουν παραδείγματα για το πώς να διαβάσετε από και να γράφετε σε διαφορετικές συσκευές μετατροπέα δεδομένων [40].

3.6 Το Arduino και η χρήση του

Το Arduino Uno είναι ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας. Διαθέτει τον επεξεργαστή ATmega328P ο οποίος έχει 8-bit RISC αρχιτεκτονική με συχνότητα που φτάνει τα 16 MHz. Διαθέτει Program Memory Size (Flash) 32 kB, 2 kB SRAM και 1 kB EEPROM. Η ελάχιστη τάση λειτουργίας είναι τα 1.8 V, ενώ η μέγιστη τάση λειτουργίας είναι τα 5.5 V. Διαθέτει τις λειτουργίες Power On Reset (POR) και Brown Out Detection (BOD), ενώ χρησιμοποιεί 32 περιφερειακούς ακροδέκτες. Αναλυτικότερα:

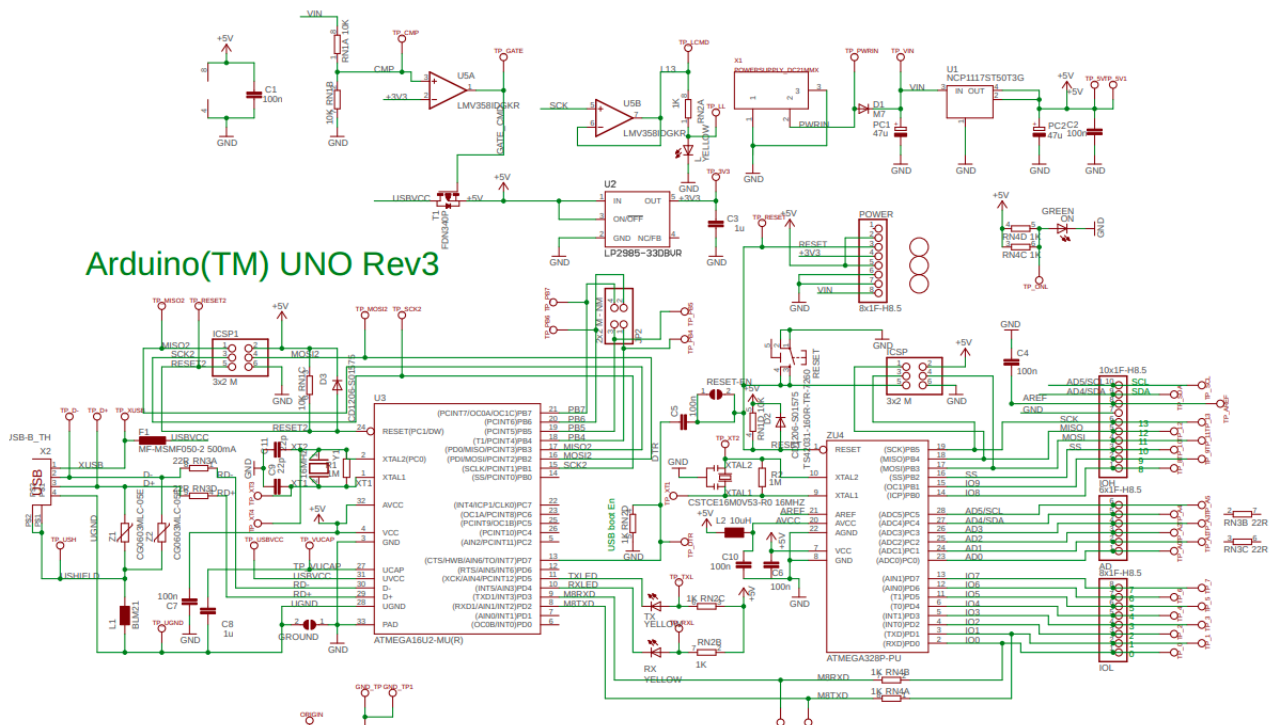
- 2x 8-bit Timer/Counter με ειδικό καταχωρητή περιόδου και σύγκριση καναλιών
- 1x 16-bit Timer/Counter με ένα ειδικό μητρώο περιόδου, καταγραφή εισόδου και σύγκριση καναλιών
- 1x USART με γεννήτρια κλασματικού baud rate και ανίχνευση έναρξης καρτέ
- 1x ελεγκτή/περιφερειακό Serial Peripheral Interface (SPI)
- 1x Dual mode ελεγκτή/περιφερειακό I²C
- 1x Αναλογικό συγκριτή με κλιμακούμενη είσοδο αναφοράς
- Watchdog Timer με ξεχωριστό on-chip ταλαντωτή
- 6 PWM κανάλια
- Interrupt and wake-up on pin change
- Debug σύνδεση-διεπαφή για on-chip debugging και προγραμματισμό

Στην εικόνα 25 φαίνεται το Pinout διάγραμμα του Arduino Uno:



Σχήμα 15: Το Pinout διάγραμμα του Arduino Uno

Επίσης, καθώς όλη η τεχνολογία του Arduino είναι Open-Source, παρακάτω παρατίθεται και το σχηματικό του κυκλώματος του [31, 42, 43]:



Σχήμα 16: Το σχηματικό διάγραμμα του Arduino Uno

Κεφάλαιο 4ο: Πειραματικό μέρος

4.1 Πειραματική διάταξη

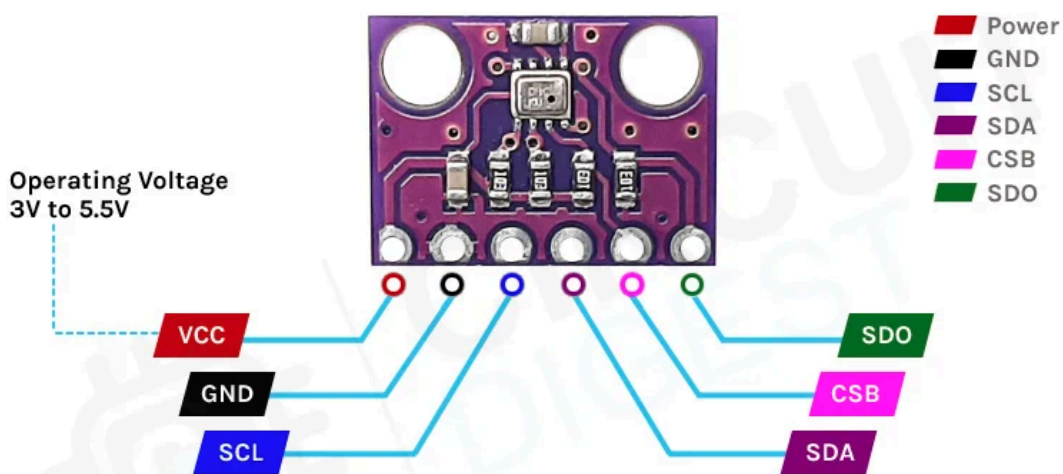
Ο αισθητήρας με τον οποίο μετρήθηκε η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντος ήταν ο αισθητήρας DHT11, όπου παρακάτω παρατίθεται η συνδεσμολογία του:



Σχήμα 17: Ο αισθητήρας DHT11

Ο πρώτος ακροδέκτης συνδέθηκε στην τάση τροφοδοσίας του Arduino Uno και ο τελευταίος στην γείωσή του. Ο δεύτερος ακροδέκτης είναι αυτός που στέλνει το σήμα με τα δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας στον μικροελεγκτή.

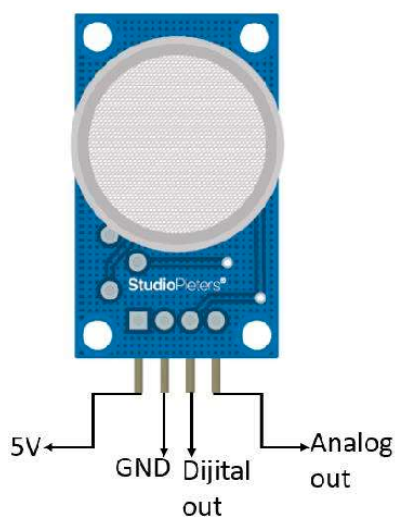
Ο αισθητήρας με τον οποίο επίσης μετρήθηκε η θερμοκρασία αλλά και η ατμοσφαιρική πίεση του περιβάλλοντος ήταν ο αισθητήρας BME280, όπου παρακάτω παρατίθεται η συνδεσμολογία του:



Σχήμα 18: Ο αισθητήρας BME280

Ο πρώτος ακροδέκτης συνδέθηκε στην τάση τροφοδοσίας του Arduino Uno και μπορεί να είναι από 3.3V έως 5V. Ο δεύτερος ακροδέκτης αφορά την γείωση του αισθητήρα και συνδέθηκε στην γείωση το μικροελεγκτή. Ο τρίτος ακροδέκτης είναι το σειριακό ρολόι, όπου η κύρια συσκευή (ο μικροελεγκτής) παλμοδοτεί αυτόν τον ακροδέκτη σε τακτά χρονικά διαστήματα για να δημιουργήσει σήμα ρολογιού για επικοινωνία. Ο τέταρτος ακροδέκτης αποτελεί το SDA που σημαίνει η γραμμή των σειριακών δεδομένων, όπου μέσω αυτού του ακροδέκτη γίνεται ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ δύο συσκευών. Ο πέμπτος ακροδέκτης είναι το CSB και είναι ο ακροδέκτης για την επιλογής τσιπ της μονάδας και αφορά το πρωτόκολλο SPI και δεν χρησιμοποιείται σε αυτήν την περίπτωση. Τέλος, το SDO είναι ο ακροδέκτης εξόδου σειριακών δεδομένων της μονάδας και επίσης αφορά το πρωτόκολλο SPI και δεν χρησιμοποιείται.

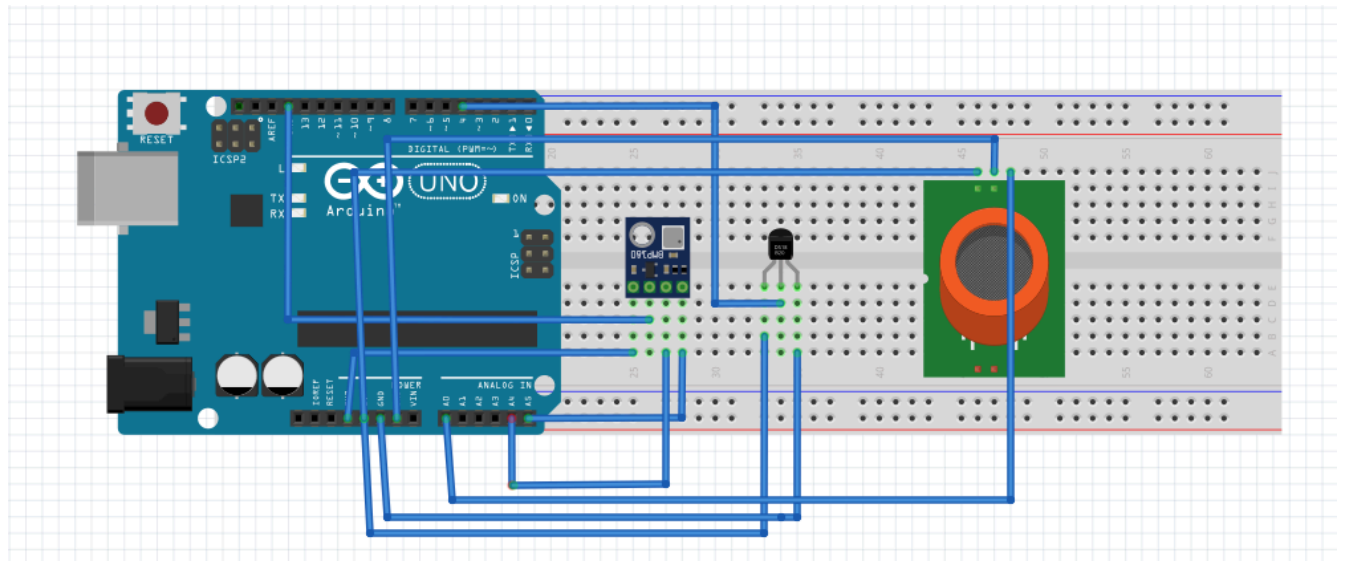
Τέλος, χρησιμοποιήθηκε και ο αισθητήρας MQ135 με τον οποίο επίσης μετρήθηκε η συγκέντρωση των διαφόρων αερίων στο περιβάλλον όπου παρακάτω παρατίθεται η συνδεσμολογία του:



Σχήμα 19: Ο αισθητήρας MQ135

Ο πρώτος ακροδέκτης συνδέθηκε στην τάση τροφοδοσίας του Arduino Uno και πρέπει να είναι 5V. Ο δεύτερος ακροδέκτης αφορά την γείωση του αισθητήρα και συνδέθηκε στην γείωση το μικροελεγκτή. Ο τρίτος ακροδέκτης είναι η ψηφιακή έξοδος του αισθητήρα και δεν χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη περίπτωση. Τέλος, ο τελευταίος ακροδέκτης χρησιμοποιήθηκε για να σταλούν τα αναλογικά δεδομένα με τις μετρήσεις της συγκέντρωσης των αερίων στον μικροελεγκτή. Ο μικροελεγκτής αναλαμβάνει την διαδικασία να ψηφιοποιήσει αυτά τα δεδομένα.

Παρακάτω παρατίθεται το σχηματικό διάγραμμα με όλες τις συνδέσεις του κυκλώματος, το οποίο πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα [Fritzing](#).



Σχήμα 20: Η πειραματική διάταξη με τον μικροελεγκτή και τους αισθητήρες

4.2 Υλοποίηση λογισμικού

4.2.1 Η υλοποίηση για την πλατφόρμα του Arduino

Αρχικά, αναπτύχθηκε ο κώδικας που παρατίθεται στο Παράρτημα Α για την πλατφόρμα Arduino και υλοποιεί την ανάγνωση και την εμφάνιση δεδομένων από τους τρεις διαφορετικούς αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία και είναι ο αισθητήρας ποιότητας αέρα MQ135, ο αισθητήρας πίεσης και θερμοκρασίας BMP280 και ο αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11 για να μπορούν να εξαχθούν περιβαλλοντολογικά δεδομένα για τις περιοχές ενδιαφέροντος της εργασίας.

Στην αρχή του κώδικα, εισάγονται όλες οι απαραίτητες βιβλιοθήκες για τη διαχείριση των αισθητήρων. Ορίζεται η ψηφιακή είσοδος DHTPIN (pin 4) για τον αισθητήρα DHT11, ενώ ο αισθητήρας MQ135 συνδέεται στην αναλογική είσοδο A0. Αρχικοποιούνται επίσης οι μεταβλητές θερμοκρασίας και υγρασίας που χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση των μετρήσεων του MQ135. Ο αισθητήρας BMP280 συνδέεται μέσω του πρωτοκόλλου I2C (διεύθυνση 0x76).

Στη συνάρτηση setup(), γίνεται η αρχικοποίηση των αισθητήρων και η εμφάνιση βασικών χαρακτηριστικών τους στη σειριακή θύρα. Ειδικότερα ο BMP280 ξεκινά με συγκεκριμένες παραμέτρους υπερδειγματοληψίας και φίλτρων, σύμφωνα με το datasheet του και ο DHT11 ξεκινά και εμφανίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων θερμοκρασίας και

υγρασίας του (όρια, ανάλυση κ.λπ.).

Η συνάρτηση `loop()` είναι η κύρια συνάρτηση του προγράμματος, καθώς εκτελείται συνεχώς και συλλέγει δεδομένα από όλους τους αισθητήρες με χρονικές καθυστερήσεις μεταξύ των μετρήσεων. Αρχικά, διαβάζει την τιμή της αναλογικής τάσης από τον αισθητήρα MQ135 και υπολογίζει την ποσότητα ρύπων σε μέρη ανά εκατομμύριο (PPM), τόσο την "ακατέργαστη" όσο και τη διορθωμένη (βάσει θερμοκρασίας και υγρασίας), οι οποίοι υπολογισμοί γίνονται από τον οδηγό του αισθητήρα και εμφανίζονται με χρήση κατάλληλων συναρτήσεων στην οθόνη. Έπειτα, διαβάζονται τα δεδομένα από τον αισθητήρα BMP280 που παρέχει τιμές θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου και πίεσης σε εκατοστά του μιλιμπάρ (hPa). Τέλος, διαβάζονται τα δεδομένα από τον αισθητήρα DHT11 που χρησιμοποιείται για την καταγραφή θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, ενώ ελέγχει και την εγκυρότητα των δεδομένων (αν είναι NaN) και, εφόσον είναι έγκυρα, τα εμφανίζει στην οθόνη.

Συνοψίζοντας, ο συγκεκριμένος κώδικας αποτελεί μια ολοκληρωμένη εφαρμογή ως ένα σύστημα παρακολούθησης περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η ποιότητα του αέρα, η θερμοκρασία, η υγρασία και η ατμοσφαιρική πίεση. Συνδυάζει δεδομένα από διαφορετικούς αισθητήρες, παρέχοντας την δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ τους, προσφέρει διορθωμένες μετρήσεις και εμφανίζει όλες τις τιμές μέσω της σειριακής θύρας του Arduino στην οθόνη.

4.2.2 Η υλοποίηση του κώδικα σε Python

Το Python script που παρατίθεται στο παράρτημα Β χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση και οπτικοποίηση των δεδομένων αφού είχαν συλλεχθεί από τους αισθητήρες περιβαλλοντικών μετρήσεων (θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης και ποιότητας αέρα) και είχαν αποθηκευτεί σε αρχείο κειμένου σε κάθε περίπτωση. Πρόκειται για ένα εργαλείο, το οποίο οργανώνει τα δεδομένα, τα μετατρέπει σε κατάλληλη μορφή και στη συνέχεια δημιουργεί γραφικά διαγράμματα για την ευκολότερη κατανόηση των μεταβολών με την πάροδο του χρόνου.

Αρχικά, το αρχείο κειμένου διαβάζεται ολόκληρο και το περιεχόμενό του αποθηκεύεται σε μεταβλητή (`data_content`). Στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται κανονικές εκφράσεις (`regular expressions`) για την αναγνώριση και εξαγωγή συγκεκριμένων τύπων γραμμών από το αρχείο. Για την θερμοκρασία από τον DHT1, αναζητείται η λέξη "Temperature" με συγκεκριμένη μορφή ώρας και μονάδα °C. Παρόμοια προσέγγιση ακολουθήθηκε για την ένδειξη "Humidity" με μονάδα % για την υγρασία από τον DHT11. Η θερμοκρασία από τον BMP280 εντοπίζεται με τη φράση "Temperature =" και μονάδα *C, ενώ τα δεδομένα αερίων από τον MQ135 που περιλαμβάνει τιμές PPM και διορθωμένες τιμές (Corrected PPM) βάσει υγρασίας και θερμοκρασίας εντοπίζονται με τις φράσεις PPM και Corrected PPM.

Οι πληροφορίες αποθηκεύονται σε λίστες από λεξικά (`dictionaries`), με κοινό πεδίο τον χρόνο (`Time`) και την αντίστοιχη μέτρηση. Αυτό επιτρέπει τη μετατροπή των λιστών σε `DataFrames` της βιβλιοθήκης `pandas`, τα οποία είναι ιδανικά για ανάλυση δεδομένων. Επίσης, καθώς οι καταγραφές περιλαμβάνουν μόνο ώρα και όχι ημερομηνία, το script προσθέτει το τρέχον έτος

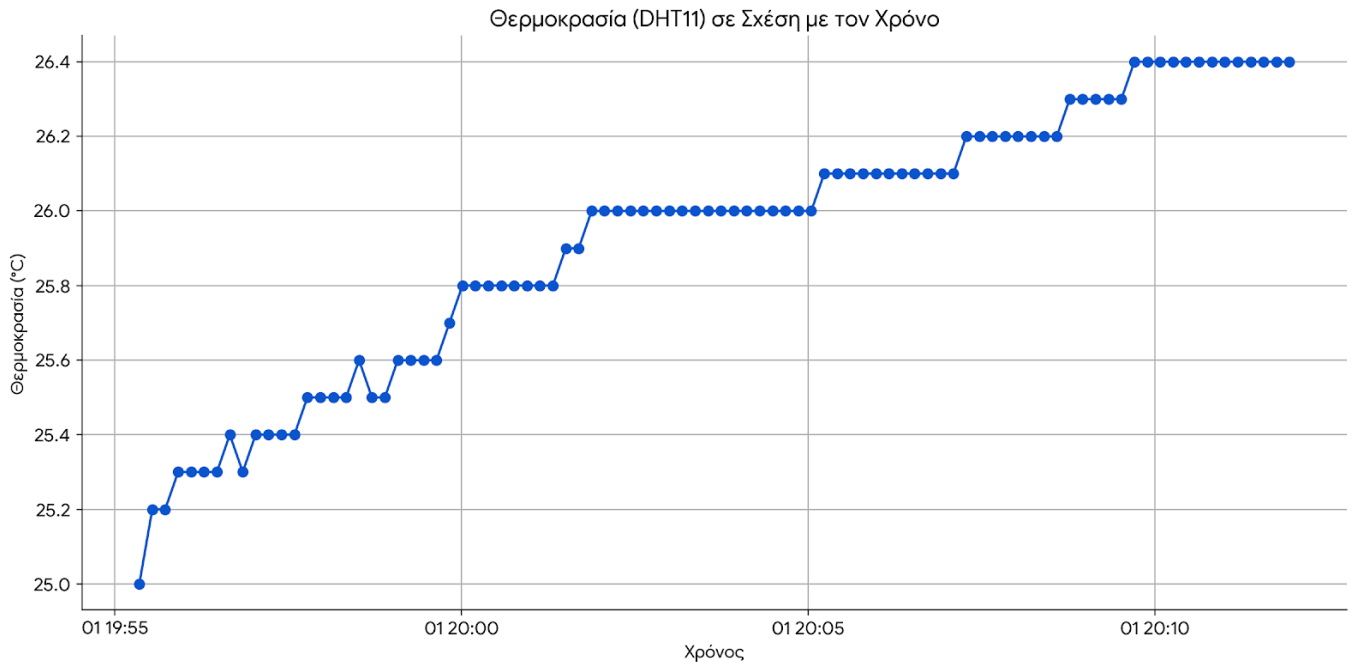
για να δημιουργήσει πλήρη αντικείμενα `datetime`, διευκολύνοντας έτσι τη χρονολογική απεικόνιση.

Για την οπτικοποίηση των μετρήσεων το `script` δημιουργεί τέσσερα διαδοχικά γραφήματα με τη χρήση της βιβλιοθήκης `matplotlib`. Αρχικά, γίνεται γραφική παράσταση της θερμοκρασίας από τον αισθητήρα DHT11 σε συνάρτηση με τον χρόνο με μπλε γραμμή. Για την θερμοκρασία από τον αισθητήρα BMP280 ακολουθείται παρόμοια με την προηγούμενη διαδικασία και η γραμμή που αναπαριστά τα δεδομένα έχει πορτοκαλί χρώμα. Με πράσινη γραμμή εμφανίζεται η σχετική υγρασία από τον αισθητήρα DHT11 με την πάροδο του χρόνου και τέλος η ποιότητα του αέρα από τον MQ135 απεικονίζεται με δύο γραμμές, μία για την ακατέργαστη τιμή PPM και μία για τη διορθωμένη τιμή PPM.

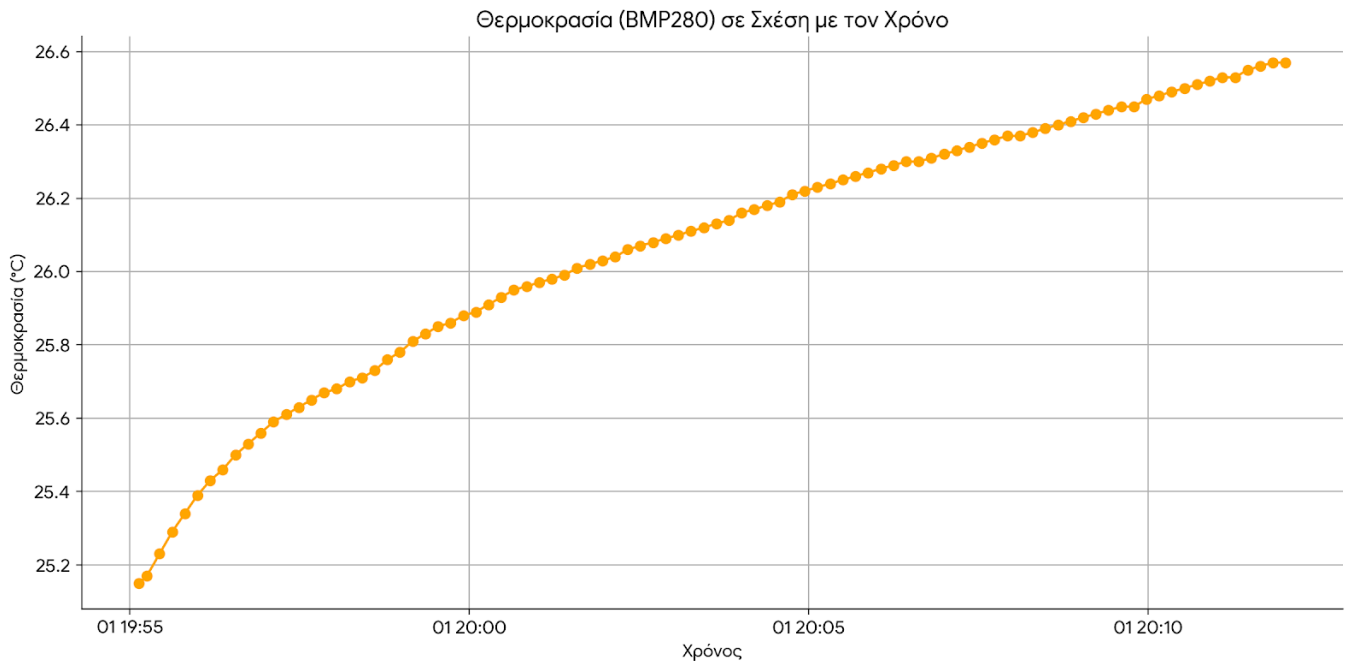
Συμπερασματικά, το συγκεκριμένο `script` επιτρέπει τη μετατροπή αδόμητων δεδομένων καταγραφής σε κατανοητά γραφήματα. Μέσω της χρήσης των βιβλιοθηκών `regex`, `pandas` και `matplotlib`, παρέχεται ένα ισχυρό εργαλείο για την οπτικοποίηση περιβαλλοντικών παραμέτρων, διευκολύνοντας τη διάγνωση τάσεων, τον εντοπισμό ανωμαλιών και την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και των συνθηκών θερμοκρασίας/υγρασίας.

4.3 Πειραματικά αποτελέσματα

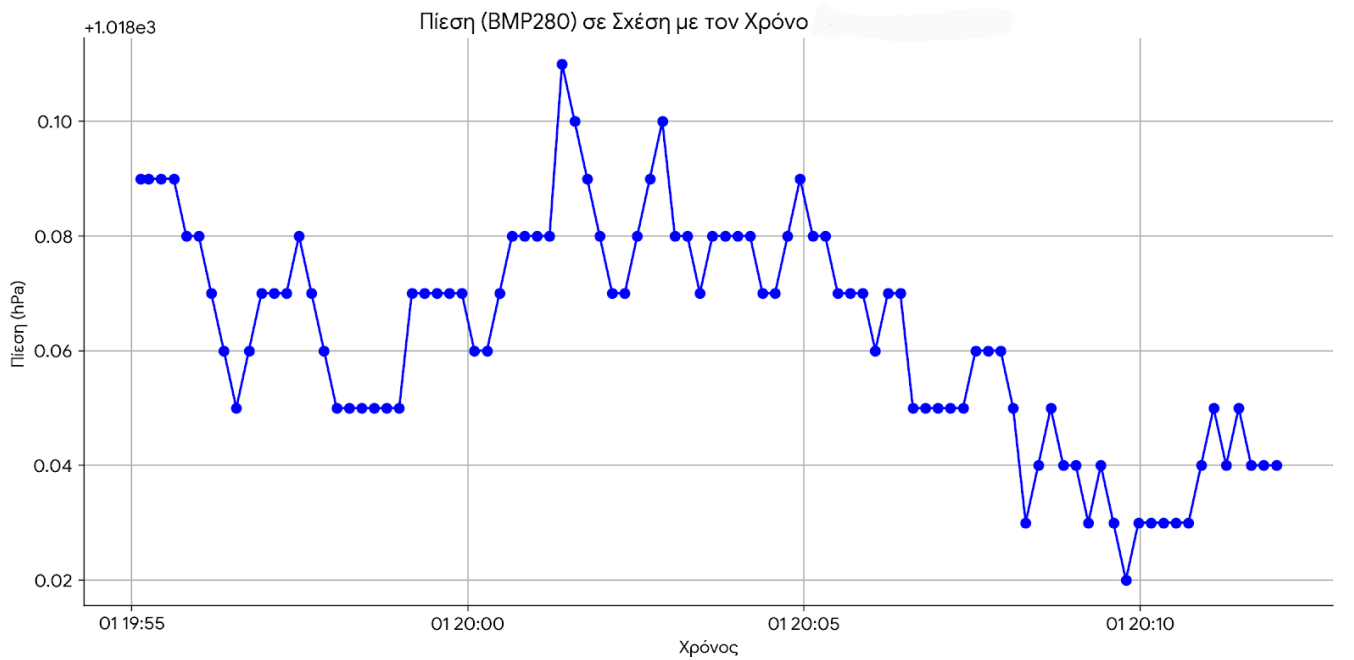
Για να εξακριβωθεί η σωστή λειτουργία της διάταξης λήφθηκαν αρχικά κάποιες μετρήσεις σε περιβάλλον δωματίου, όπου μετρήθηκε η θερμοκρασία του δωματίου, η υγρασία και η συγκέντρωση των αερίων. Οι μετρήσεις αυτές είχαν ως σκοπό να θεωρηθούν σαν βάση στα επόμενα πειράματα. Παρακάτω βλέπουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα:



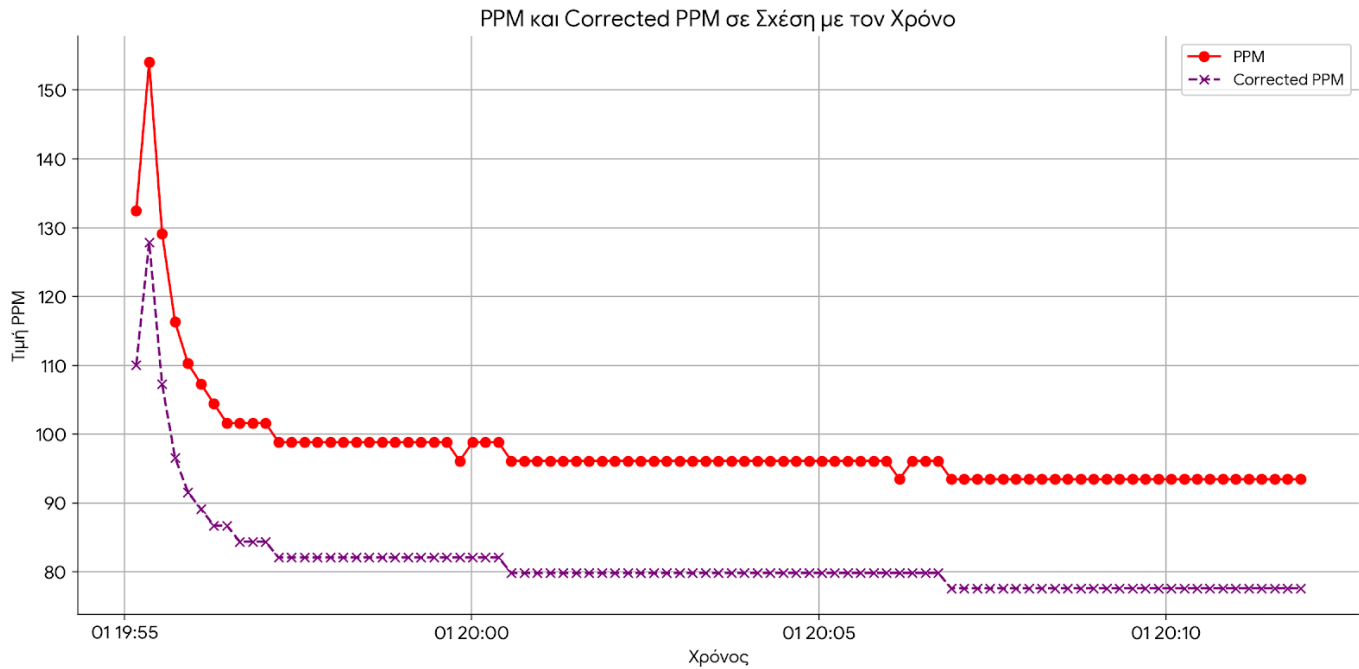
Κεφάλαιο 4



Σχήμα 23: Μέτρηση θερμοκρασίας (BMP280) σε συνθήκες δωματίου



Σχήμα 24: Μέτρηση πίεσης (BMP280) σε συνθήκες δωματίου



Σχήμα 25: Μέτρηση συγκέντρωσης αερίων (MQ135) σε συνθήκες δωματίου

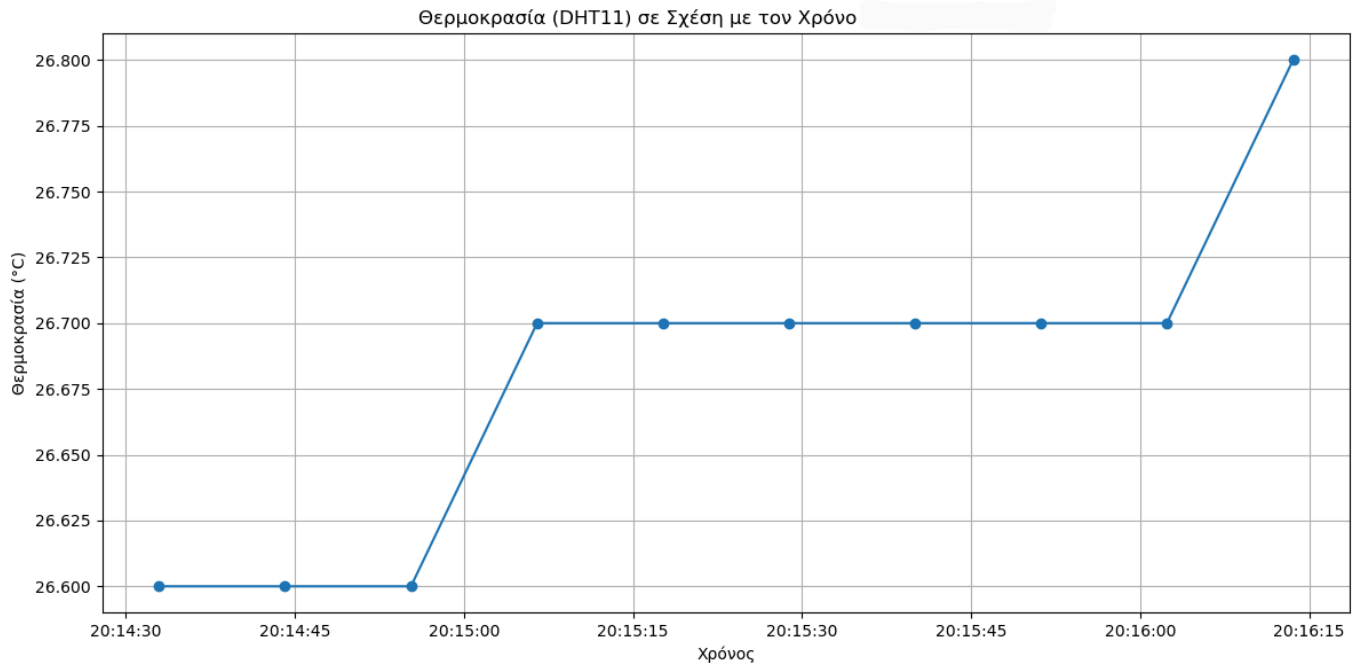
Παρακάτω παρατίθενται οι μέσες τιμές των πειραματικών μετρήσεων:

- Μέση Θερμοκρασία (DHT11): 25.92 °C
- Μέση Θερμοκρασία (BMP280): 26.06 °C
- Μέση Υγρασία (DHT11): 51.73 %
- Μέση Πίεση (BMP280): 1018.06 hPa
- Μέση τιμή PPM: 98.02 ppm
- Μέση τιμή Corrected PPM: 81.49 ppm

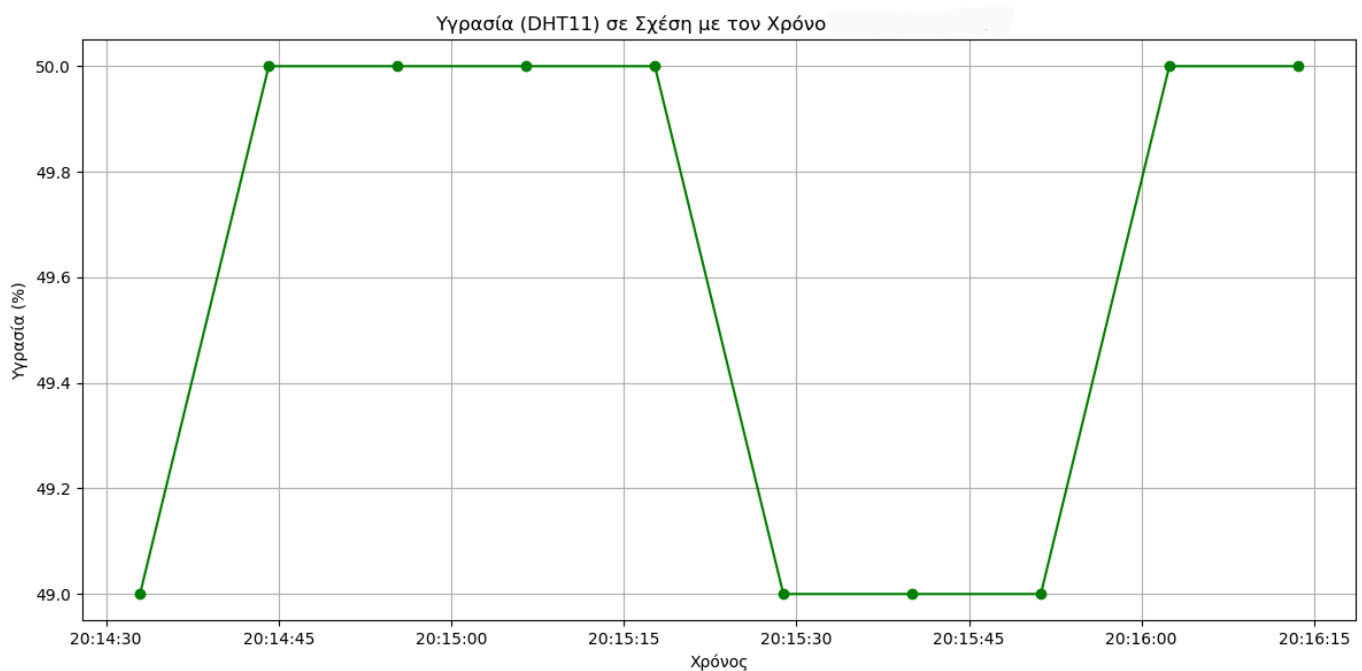
Αρχικά, παρατηρείται ότι το σύστημα λειτουργεί ορθά, καθώς και οι δύο αισθητήρες μετρούν σχεδόν την ίδια θερμοκρασία. Η υγρασία και η ατμοσφαιρική πίεση είναι σε φυσιολογικά επίπεδα, ενώ και η συγκέντρωση των αερίων είναι σε σχετικά χαμηλά και φυσιολογικά επίπεδα.

Κεφάλαιο 4

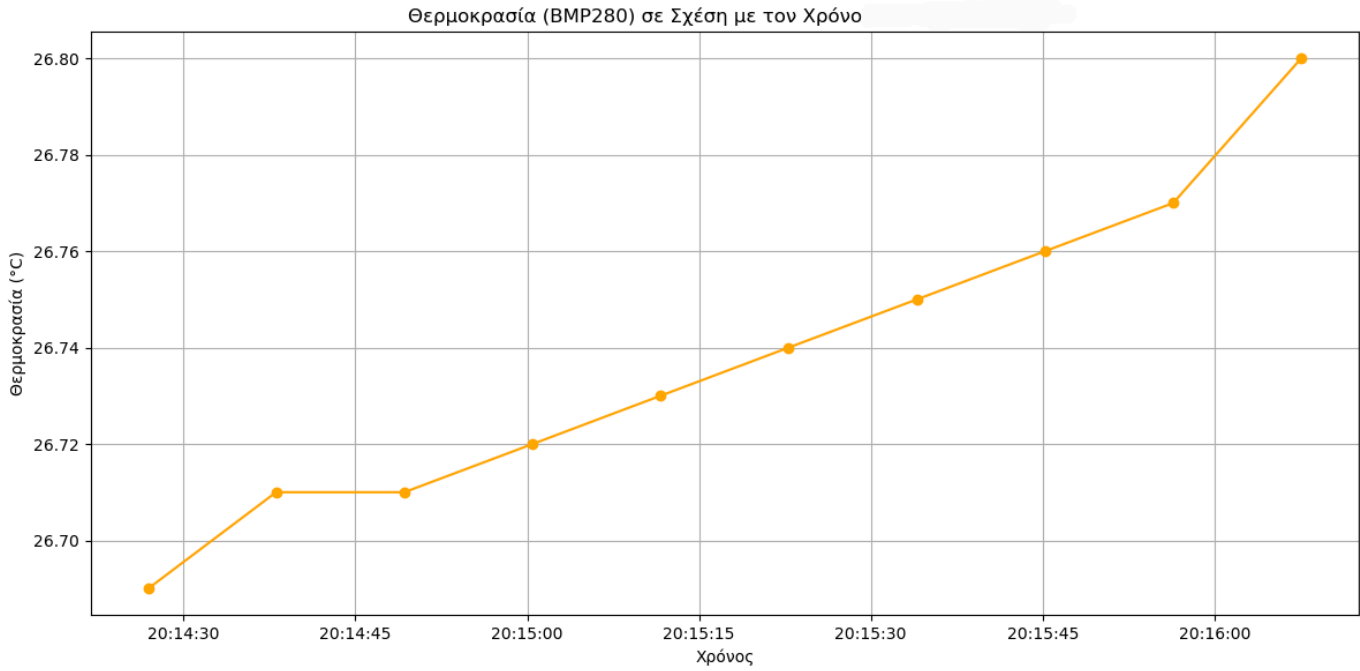
Για να εξακριβωθεί η σωστή λειτουργία της διάταξης, λήφθηκαν επίσης μετρήσεις σε περιβάλλον με υψηλή συγκέντρωση αερίων σε εσωτερικό χώρο, έχοντας ανοίξει έναν αναπτήρα και ελευθερώνοντας υγραέριο στο δωμάτιο με σκοπό την μέτρηση μεγαλύτερης συγκέντρωσης αερίων. Παρακάτω βλέπουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα:



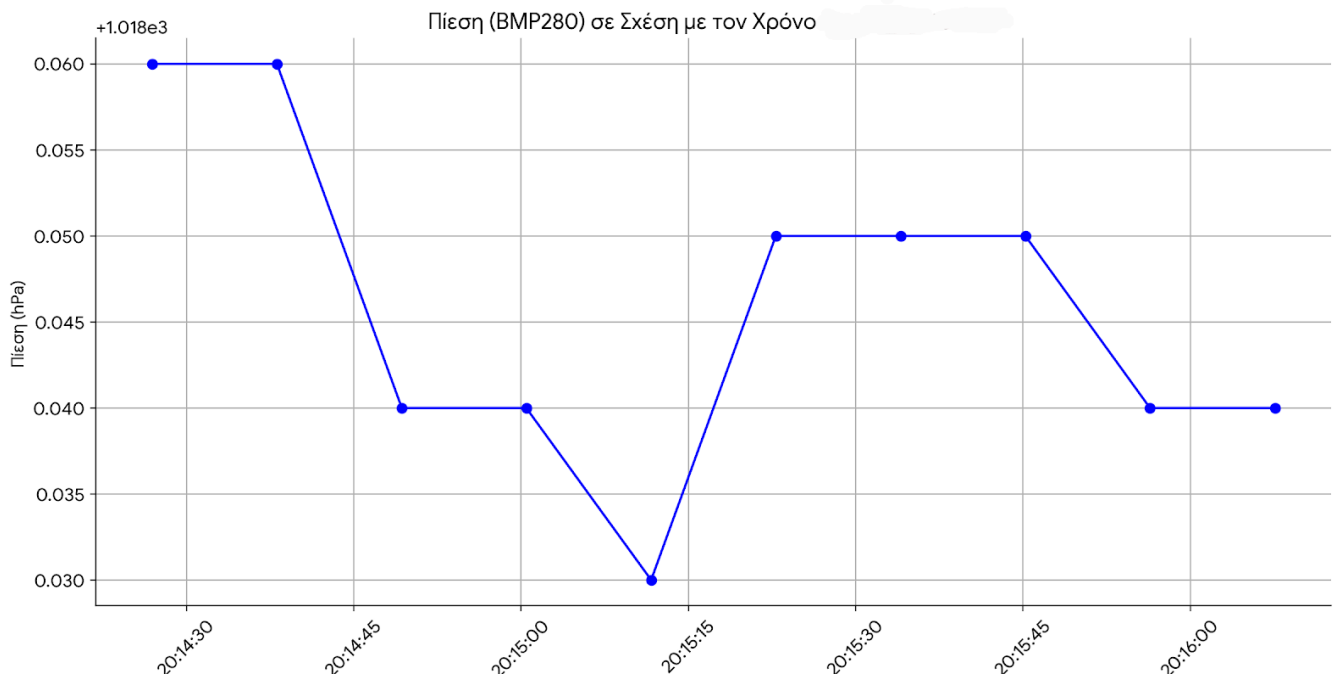
Σχήμα 26: Μέτρηση θερμοκρασίας (DHT11) σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης αερίων



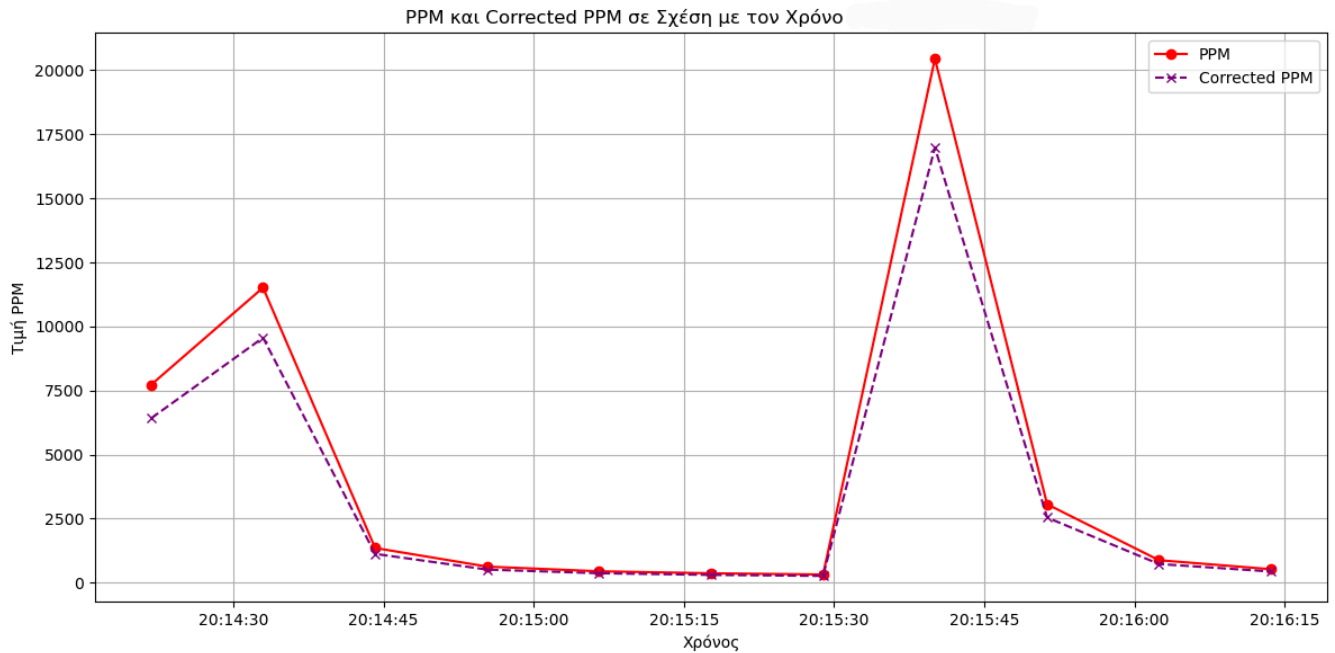
Σχήμα 27: Μέτρηση υγρασίας (BMP280) σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης αερίων



Σχήμα 28: Μέτρηση θερμοκρασίας (BMP280) σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης αερίων



Σχήμα 29: Μέτρηση πίεσης (BMP280) σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης αερίων



Σχήμα 30: Μέτρηση συγκέντρωσης αερίων (MQ135) σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης αερίων

Παρακάτω παρατίθενται οι μέσες τιμές των πειραματικών μετρήσεων:

- Μέση Θερμοκρασία (DHT11): 26.68 °C
- Μέση Θερμοκρασία (BMP280): 26.74 °C
- Μέση Υγρασία (DHT11): 49.60 %
- Μέση Πίεση (BMP280): 1018.05 hPa
- Μέση τιμή PPM: 4298.65 ppm
- Μέση τιμή Corrected PPM: 3569.22 ppm

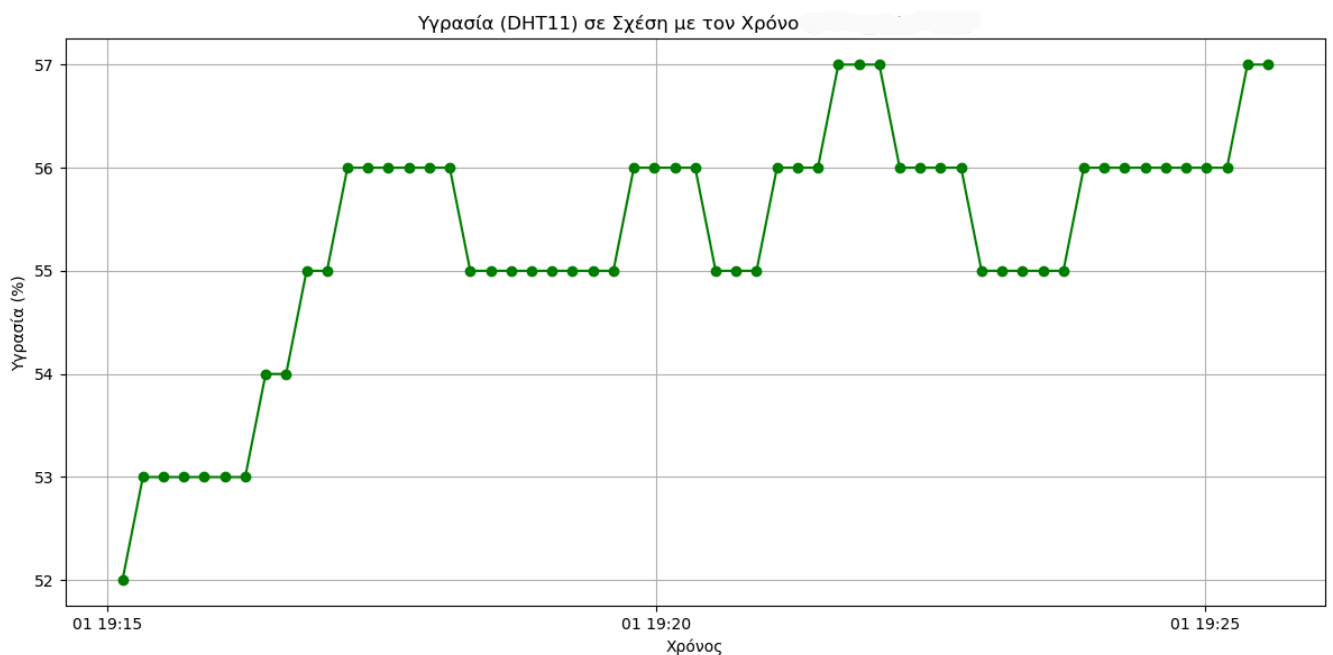
Παρατηρείται ότι οι μετρήσεις της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι σχετικά αμετάβλητες σε σχέση με πριν, με τη μόνη διαφορά στη μέση τιμή της θερμοκρασίας, το οποίο όμως είναι λογικό καθώς οι μετρήσεις έγιναν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Αντιθέτως, η τιμή της συγκέντρωσης των αερίων που μετρήθηκε ήταν πολύ μεγαλύτερη, επειδή έρεε υγραέριο από τον αναπτήρα, γεγονός το οποίο καταδεικνύει τη σωστή λειτουργία του συστήματος.

Επομένως, έχοντας εξακριβωθεί η σωστή λειτουργία της πειραματικής διάταξης πραγματοποιήθηκε το κυρίως πείραμα. Η καταγραφή των δεδομένων στο περιβάλλον της Θεσσαλονίκης έγινε σε 3 διαφορετικούς σταθμούς του Μετρό Θεσσαλονίκης για να υπάρξει μεγαλύτερο δείγμα από διαφορετικές περιοχές. Επιλέχθηκε ο σταθμός Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός, όπου είναι η αφετηρία, ο σταθμός Παπάφη όπου είναι αυτός που βρίσκεται στη μέση μεταξύ της αφετηρίας και του τερματικού σταθμού, καθώς και ο τερματικός σταθμός Νέα Ελβετία.

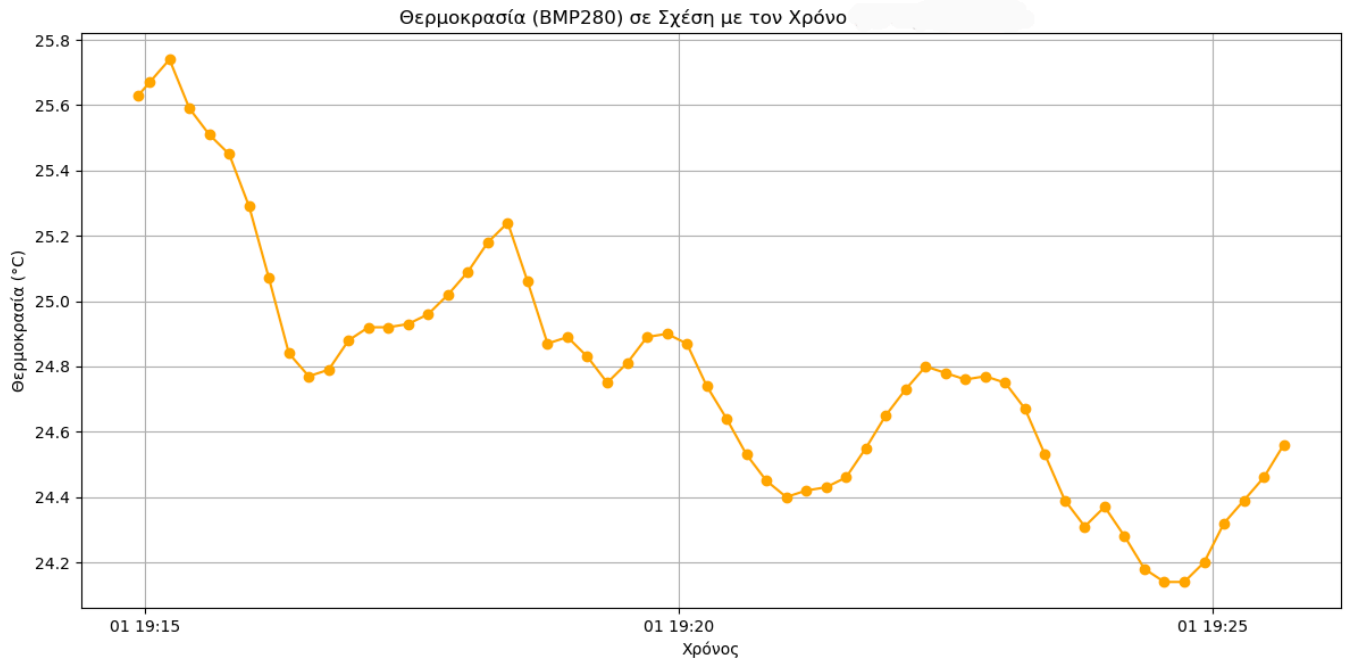
Τα δεδομένα απο τον σταθμό Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός:



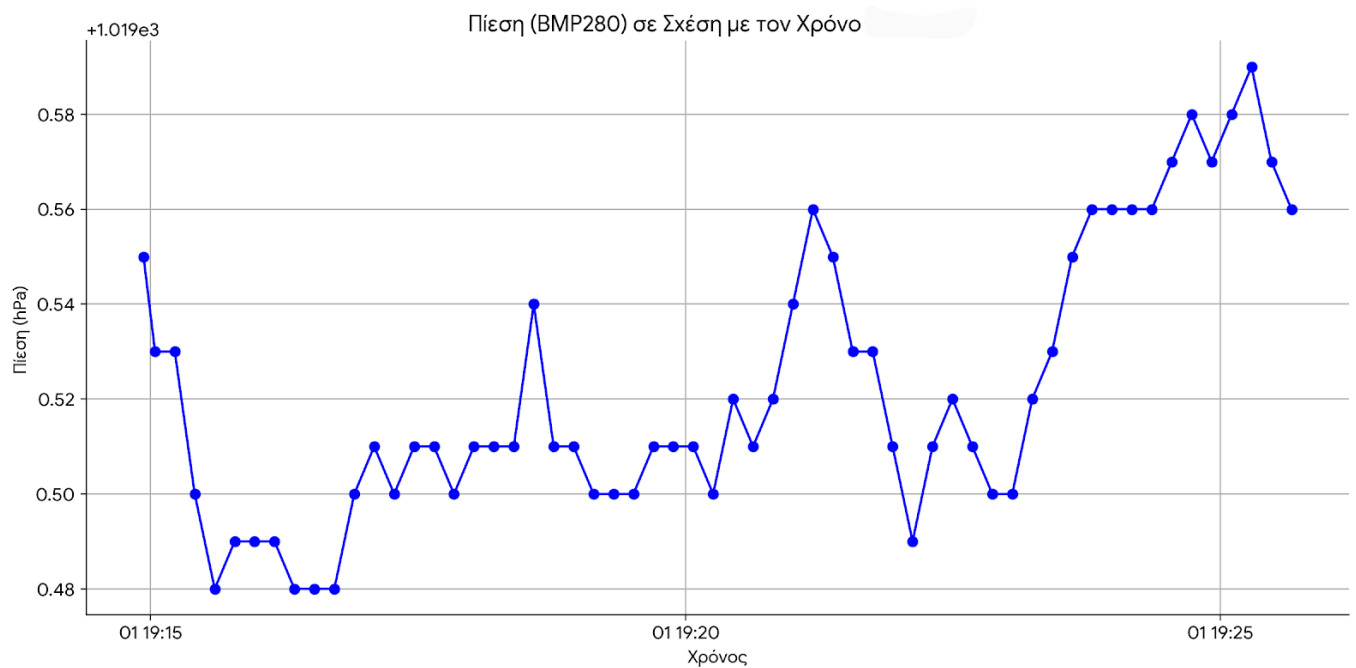
Σχήμα 31: Μέτρηση θερμοκρασίας (DHT11) στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό



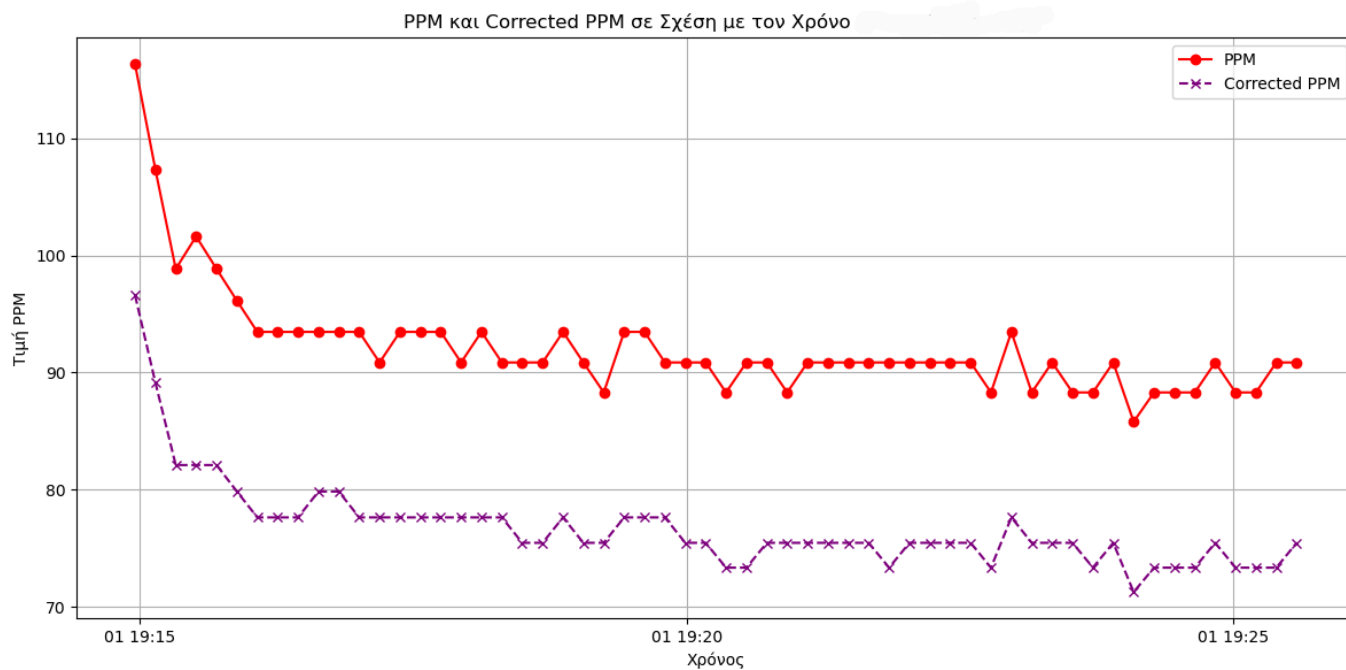
Σχήμα 32: Μέτρηση υγρασίας (BMP280) στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό



Σχήμα 33: Μέτρηση θερμοκρασίας (BMP280) στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό



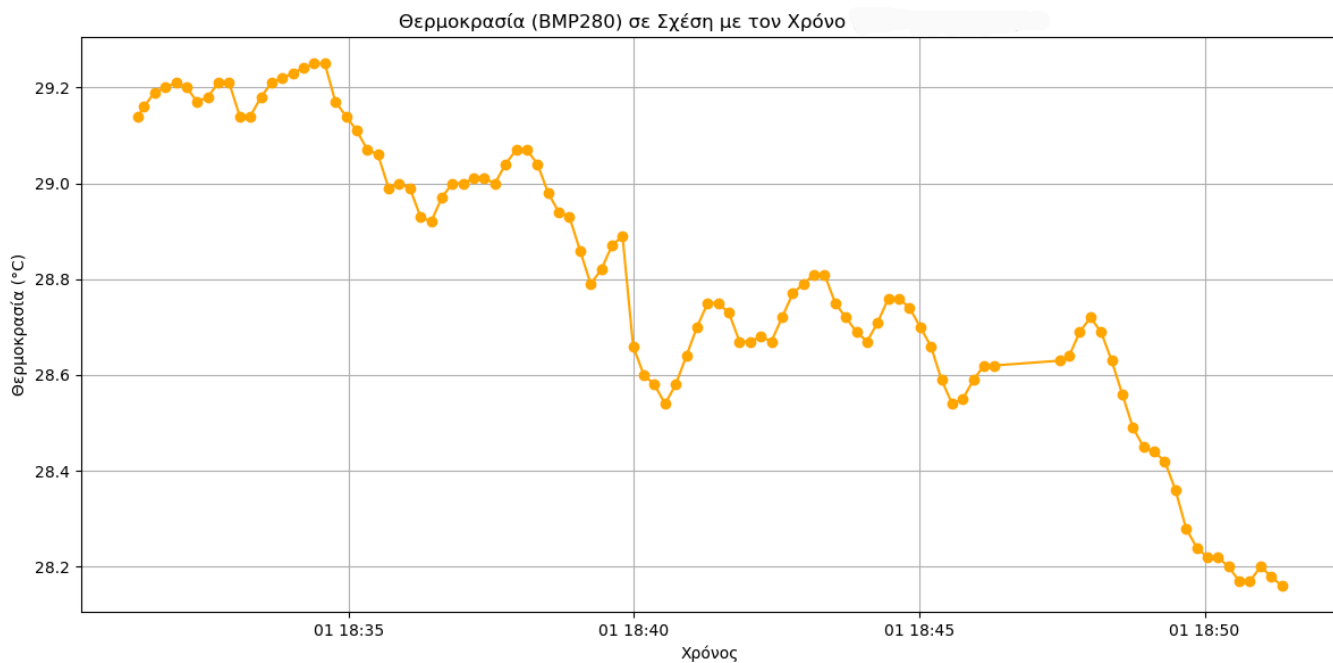
Σχήμα 34: Μέτρηση πίεσης (BMP280) στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό



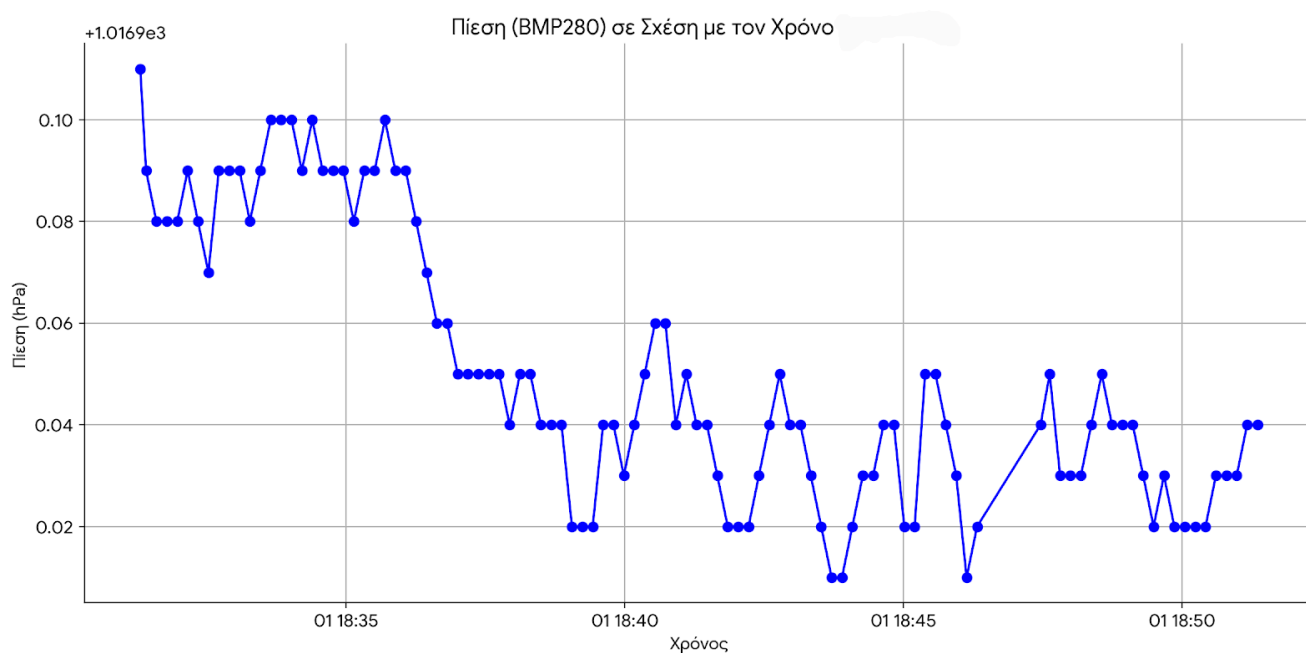
Σχήμα 35: Μέτρηση συγκέντρωσης αερίων (MQ135) στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό

Παρακάτω παρατίθενται οι μέσες τιμές των πειραματικών μετρήσεων:

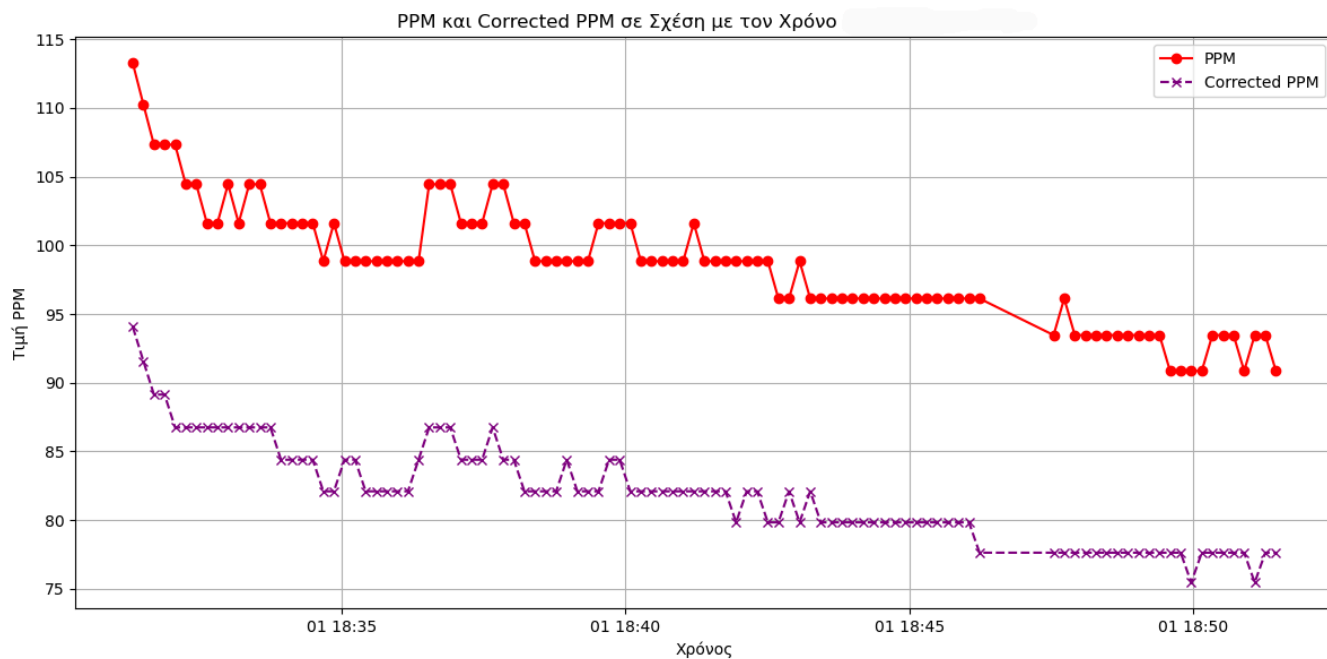
- Μέση Θερμοκρασία (DHT11): 23.56 °C
- Μέση Θερμοκρασία (BMP280): 24.78 °C
- Μέση Υγρασία (DHT11): 55.32 %
- Μέση Πίεση (BMP280): 1019.52 hPa
- Μέση τιμή PPM: 92.15 ppm
- Μέση τιμή Corrected PPM: 76.75 ppm



Σχήμα 38: Μέτρηση θερμοκρασίας (BMP280) στο σταθμό Παπάφη



Σχήμα 39: Μέτρηση πίεσης (BMP280) στο σταθμό Παπάφη

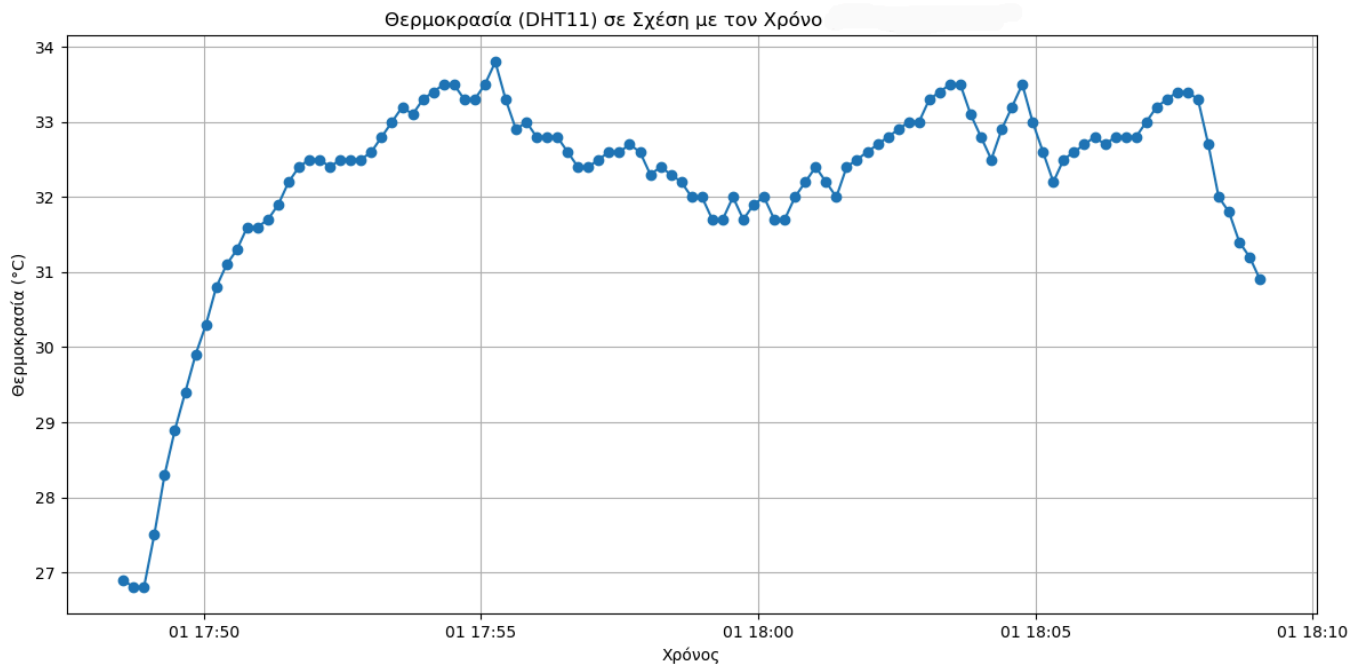


Σχήμα 40: Μέτρηση συγκέντρωσης αερίων (MQ135) στο σταθμό Παπάφη

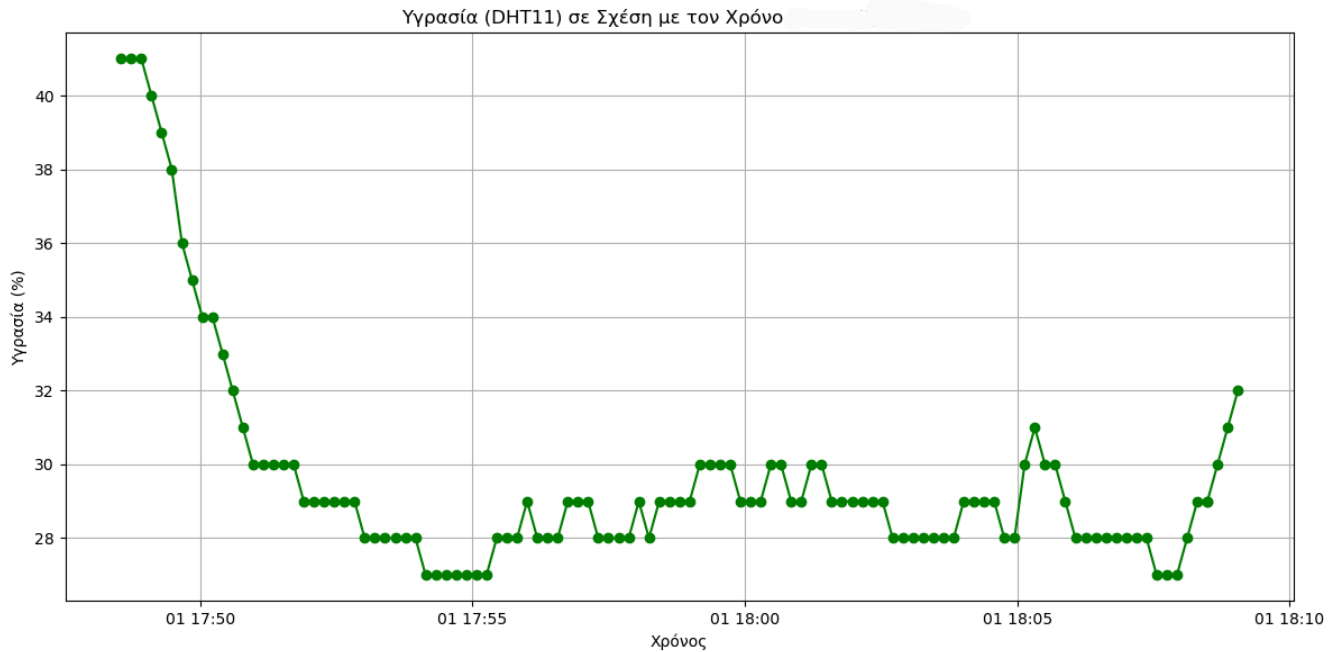
Παρακάτω παρατίθενται οι μέσες τιμές των πειραματικών μετρήσεων:

- Μέση Θερμοκρασία (DHT11): 27.25 °C
- Μέση Θερμοκρασία (BMP280): 28.80 °C
- Μέση Υγρασία (DHT11): 42.82 %
- Μέση Πίεση (BMP280): 1016.95 hPa
- Μέση τιμή PPM: 98.63 ppm
- Μέση τιμή Corrected PPM: 81.95 ppm

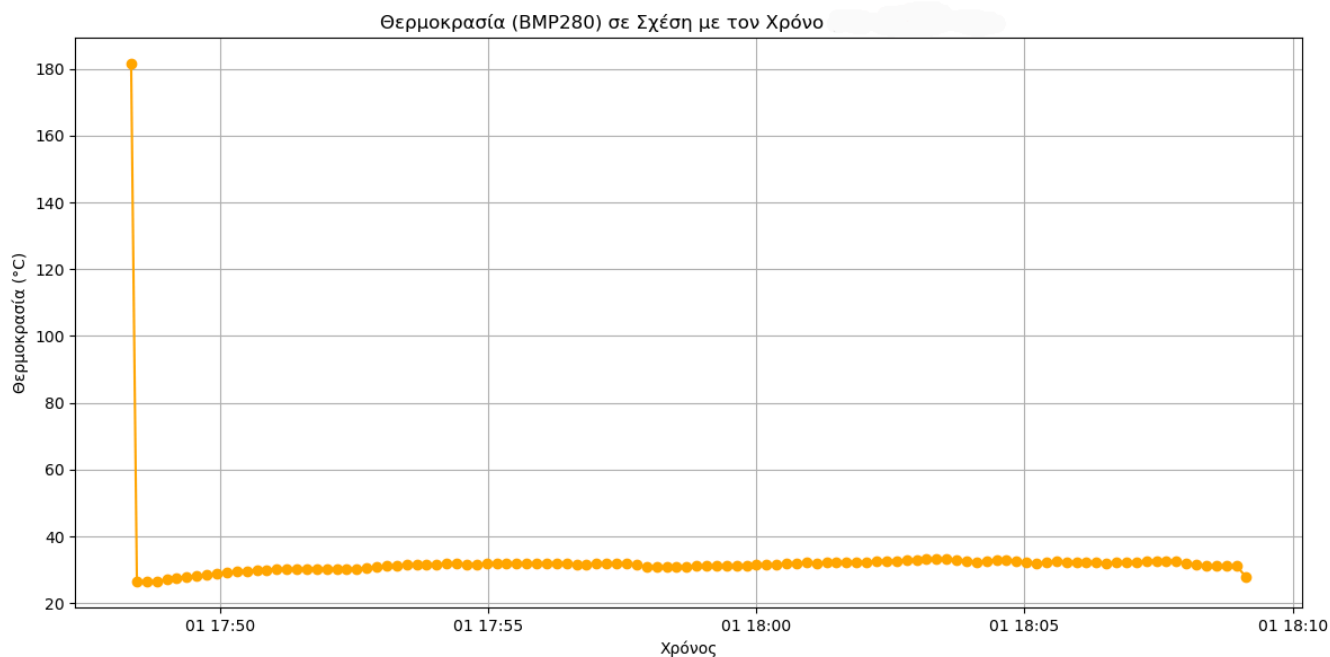
Τα δεδομένα απο τον σταθμό του μετρό Νέα Ελβετία:



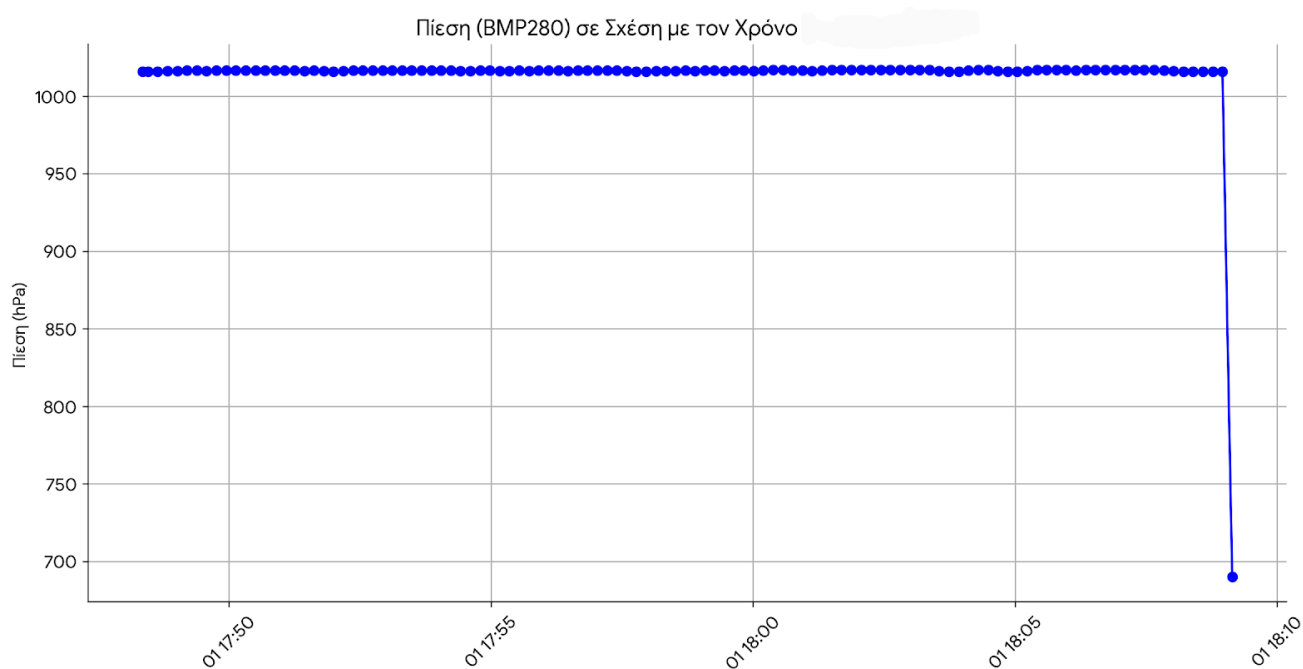
Σχήμα 41: Μέτρηση θερμοκρασίας (DHT11) στο σταθμό Νέα Ελβετία



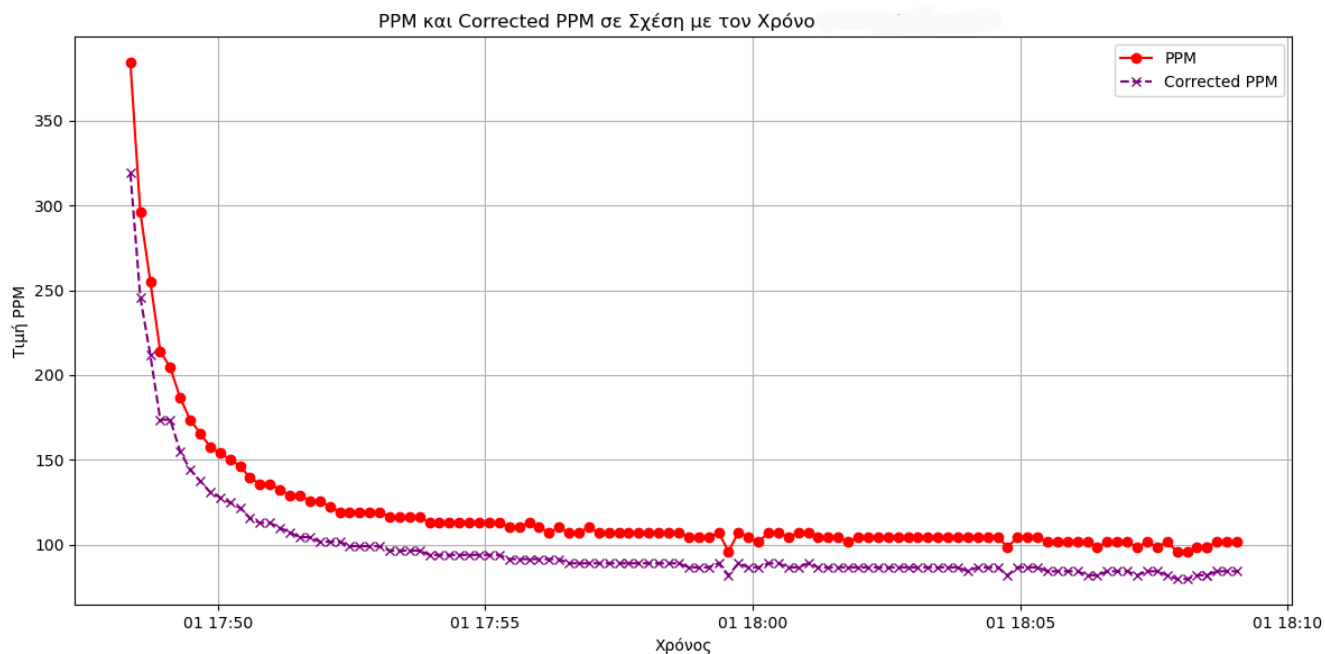
Σχήμα 42: Μέτρηση υγρασίας (BMP280) στο σταθμό Νέα Ελβετία



Σχήμα 43: Μέτρηση θερμοκρασίας (BMP280) στο σταθμό Νέα Ελβετία



Σχήμα 44: Μέτρηση πίεσης (BMP280) στο σταθμό Νέα Ελβετία



Σχήμα 45: Μέτρηση συγκέντρωσης αερίων (MQ135) στο σταθμό Νέα Ελβετία

Παρακάτω παρατίθενται οι μέσες τιμές των πειραματικών μετρήσεων:

- Μέση Θερμοκρασία (DHT11): 32.21 °C
- Μέση Θερμοκρασία (BMP280): 32.65 °C
- Μέση Υγρασία (DHT11): 29.60 %
- Μέση Πίεση (BMP280): 1013.73 hPa
- Μέση τιμή PPM: 119.03 ppm
- Μέση τιμή Corrected PPM: 98.81 ppm

Για να γίνει καλύτερα η σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας που περιέχει όλες τις μέσες τιμές των μετρήσεων σε κάθε σταθμό.

	Συνθήκες Δωματίου	Συνθήκες Δωματιου με υψηλη συγκεντρωση αεριων	Στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό	Στο Σταθμό Παπάφη	Στο Σταθμό Νέα Ελβετία
Μέση Θερμοκρασία (DHT11)	25.92 °C	26.68 °C	23.56 °C	27.25 °C	32.21 °C
Μέση Θερμοκρασία (BMP280)	26.06 °C	26.74 °C	24.78 °C	28.80 °C	32.65 °C
Μέση Υγρασία (DHT11)	51.73 %	49.60 %	55.32 %	42.82 %	29.60 %
Μέση Πίεση (BMP280)	1018.06 hPa	1018.05 hPa	1019.52 hPa	1016.95 hPa	1013.73 hPa
Μέση τιμή PPM	98.02 ppm	4298.65 ppm	92.15 ppm	98.63 ppm	119.03 ppm
Μέση τιμή Corrected PPM	81.49 ppm	3569.22 ppm	76.75 ppm	81.95 ppm	98.81 ppm

Πίνακας 9: Οι μέσες τιμές των πειραματικών μετρήσεων σε όλες τις περιοχές μέτρησης

Με βάση τον πίνακα 9 όπου φαίνονται συγκεντρωτικά όλες οι μετρήσεις, αρχικά σε περιβάλλον δωματίου υπο κανονικές συνθήκες και σε συνθήκες με υψηλή συγκέντρωση αερίων, αλλά και σε 3 διαφορετικές περιοχές της πόλης της Θεσσαλονίκης μπορούν να εξαχθούν διάφορα χρήσιμα συμπεράσματα.

Πρώτον παρατηρείται ότι οι δύο αισθητήρες που μετρούσαν την θερμοκρασία σε όλες τις περιοχές έδιναν παρόμοιες τιμές για τη θερμοκρασία, γεγονός το οποίο καταδύκνυει την ορθή λειτουργία του συστήματος. Συγκρίνοντας τις τιμές της θερμοκρασίας φαίνεται ότι στις συνθήκες δωματίου και στους σταθμούς Παπάφη και Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός οι τιμές ήταν σχετικά παρόμοιες με μικρές διακυμάνσεις. Στο Σταθμό Νέα Ελβετία η τιμή της θερμοκρασίας ήταν υψηλότερη λόγω του ότι οι μετρήσεις δεν έγιναν υπό σκιά όπως έγιναν στις υπόλοιπες περιπτώσεις, ενώ πρέπει να αναφερθεί ότι όλες οι μετρήσεις έγιναν την ίδια ημέρα ώστε να έχει βάση η σύγκρισή τους, αλλά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Σχετικά με τις μέτρησεις της σχετικής υγρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης τα δεδομένα είναι απολύτως φυσιολογικά για το περιβάλλον μίας πόλης με σχετικές βέβαια διακυμάνσεις. Οι μετρήσεις στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό είναι εκείνες που βρίσκονται πιο κοντά στις συνθήκες δωματίου. Στο Σταθμό Παπάφη παρατηρείται μία πτώση και στα δύο μεγέθη, ενώ στο Σταθμό Νέα Ελβετία παρατηρείται ακόμα μεγαλύτερη πτώση στην υγρασία και την ατμοσφαιρική πίεση.

Τέλος, όσον αφορά τη συγκέντρωση των αερίων, όπου είναι και το κύριο ζήτημα της εργασίας, παρατηρείται ότι σε όλες τις μετρήσεις, η μέτρηση της διορθωμένης τιμής της συγκέντρωσης των αερίων (Corrected PPM) ήταν σε όλες μικρότερη της τιμής της συγκέντρωσης των αερίων (PPM), διότι αυτή προκύπτει με βάση την τιμή της θερμοκρασίας και της υγρασίας του περιβάλλοντος και έτσι πραγματοποιεί κάποια διόρθωση στη συγκέντρωση. Φαίνεται ότι το σύστημα μπορεί να μετρήσει με αποτελεσματικότητα μία μεγάλη συγκέντρωση αερίων, όπως έγινε στην περίπτωση που διοχετεύθηκε υγραέριο στο περιβάλλον μέσω ενός αναπτήρα. Προχωρώντας στις μετρήσεις για τους σταθμούς του μετρό στις διάφορες περιοχές της πόλης της Θεσσαλονίκης παρατηρείται ότι οι μετρήσεις στο Σταθμό Παπάφη ήταν στα επίπεδα των μετρήσεων σε συνθήκες δωματίου, ενώ στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό οι μετρήσεις ήταν χαμηλότερες από ότι στο δωμάτιο. Τέλος, η υψηλότερη συγκέντρωση αερίων παρατηρήθηκε στο Σταθμό Νέα Ελβετία, όπου οι τιμές ήταν αρκετά υψηλότερες σε σχέση με τους δύο προηγούμενους σταθμούς.

Συνοψίζοντας, το σύστημα μέτρησης περιβαλλοντολογικών παραμέτρων που κατασκευάστηκε, έδειξε ότι μπορεί να παρέχει αξιόπιστες μετρήσεις, δίνοντας μία ορθή κατανόηση της κατάστασης που βρίσκεται το περιβάλλον που χρειάζεται να μετρηθεί.

BIBΛIOΓΡΑΦΙΑ

- [1] Kenneth Button, City management and urban environmental indicators, Ecological Economics, 2002.
- [2] Lígia T. Silva, José F.G. Mendes, City Noise-Air: An environmental quality index for cities, Elsevier, October 2012
- [3] Marc T. J. Johnson, Jason Munshi-South, Evolution of life in urban environments, *Science*, 2017
- [4] Anabi Hilary Kelechi, Mohammed H. Alsharif, Chidumebi Agbaetuo, Osichinaka Ubadike, Alex Aligbe, Peerapong Uthansakul, Raju Kannadasan and Ayman A. Aly, Design of a Low-Cost Air Quality Monitoring System Using Arduino and ThingSpeak, Tech Science Press, 2021
- [5] Sriyanka, Dr. Siddarama R Patil, Smart Environmental Monitoring through Internet of Things (IoT) using RaspberryPi 3, International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (ICCTCEEC-2017)
- [6] Lirane Kertesse Mandjoupa, Kibria K. Roman, Hossain Azam and Max Denis, Analyzing Urban Microclimate (UMC) Parameters and Comprehensive Review of UHI and Air Quality Interconnections, MDPI, 2025
- [7] Subrata Chattopadhyay, Srimanta Gupta, Raj Narayan Saha, Spatial and Temporal Variation of Urban Air Quality: A GIS Approach, Scientific Research, 2010
- [8] Fengfei Song, Guang J. Zhang, V. Ramanathan, and L. Ruby Leung, Trends in surface equivalent potential temperature: A more comprehensive metric for global warming and weather extremes, PNAS 2022 Vol. 119 No. 6 e2117832119
- [9] Jan Velicka, Martin Pies, Radovan Hajovsky, Wireless Measurement of Carbon Dioxide by use of IQRf Technology, IFAC PapersOnLine 51-6 (2018) 78–83
- [10] Muhammad Kabir, Um E Habiba, Wali Khan, Amin Shah, Sarvat Rahim, Patricio R. De los Rios-Escalante, Zia-Ur-Rehman Farooqi, Liaqat Ali, Muhammad Shafiq, Climate change due to increasing concentration of carbon dioxide and its impacts on environment in 21st century; a mini review, Journal of King Saud University – Science 35 (2023) 102693
- [11] Shilpa S. Shetty, Deepthi D , Harshitha S , Shipra Sonkusare , Prashanth B. Naik , Suchetha Kumari N , Harishkumar Madhyastha , Environmental pollutants and their effects on human health, Heliyon Volume 9, Issue 9, September 2023, e19496
- [12] A history of the thermometer and its use in meteorology, Middleton, W. E. Knowles (William Edgar Knowles), Baltimore: Johns Hopkins Press

- [13] Drake, Stillman (1970). "Berti, Gasparo". Dictionary of Scientific Biography. Vol. 2. New York: Charles Scribner's Sons. pp. 83–84
- [14] Webster, John G. The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook. CRC Press
- [15] Mouser, DHT11 Humidity & Temperature Sensor, available at <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1-143054.pdf?srsid=AfmBOorXmRaWRagiHxFRG4MEG1bR8CjDbr4ljRePHdsejqk0men-JgVe>
- [16] Bosch, BMP280: Datasheet, BST-BMP280-DS001-11, May 5th, 2015 Available at: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf>
- [17] TECHNICAL DATA MQ-135 GAS SENSOR, Available at: <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>
- [18] Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd, Air Quality Gas Sensor (Model: MQ135), Manual Version: 1.4, 2015-03-10, available at: [https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ135%20\(Ver1.4\)%20-%20Manual.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ135%20(Ver1.4)%20-%20Manual.pdf)
- [19] M. Ansah, R. Sowah, J. Melià-Seguí, F. Katsriku, X. Vilajosana et al., "Characterising foliage influence on LoRaWAN pathloss in a tropical vegetative environment," IET Wireless Sensor Systems, vol. 10, no.5, pp. 198–207, 2020.
- [20] S. Kaivonen and E. Ngai, "Real-time air pollution monitoring with sensors on city bus," Digital Communications and Networks, vol. 6, no. 1, pp. 23, 2020.
- [21] R. Dhanusha and S. Rathi, "A survey on air pollution monitoring using internet of things," International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology, vol. 7, no. 3, pp. 350–355, 2020.
- [22] P. Souza, A. Anjomshoaa, F. Duarte, R. Kahn and C. Ratti, "Air quality monitoring using mobile low-cost sensors mounted on trash-trucks: Methods development and lessons learned," Sustainable Cities and Society, vol. 60, no. 3, pp. 102239– 102248, 2020.
- [23] N. Motlagh, E. Lagerspetz, P. Nurmi, X. Li, S. Varjonen et al., "Toward massive scale air quality monitoring," IEEE Communications Magazine, vol. 58, no. 2, pp. 54–59, 2020.
- [24] K. Zheng, S. Zhao, Z. Yang, X. Xiong and W. Xiang, "Design and implementation of LPWA-based air quality monitoring system," IEEE Access, vol. 4, no. 2, pp. 3238–3245, 2016.
- [25] H. Fan, C. Zhao and Y. Yang, "A comprehensive analysis of the spatio-temporal variation of urban air pollution in China during 2014–2018," Atmospheric Environment, vol. 220, no. 5, pp. 117066–117086, 2020.

- [26] V. Masson, A. Lemonsu, J. Hidalgo and J. Voogt, “Urban climates and climate change,” Annual Review of Environment and Resources, vol. 45, no. 3, pp. 411–444, 2020.
- [27] N. Kularatna and B. H. Sudantha, “An environmental air pollution monitoring system based on the IEEE, 1451 standard for low cost requirements,” IEEE Sensors Journal, vol. 8, no. 4, pp. 415–422, 2008.
- [28] M. Taştan and A. S. Gökozan, “Real-time monitoring of indoor air quality with internet of things-based E-nose,” Applied Sciences, vol. 9, no. 16, pp. 3435–3455, 2019.
- [29] Martin Bates, PIC Microcontrollers (Third Edition) An Introduction to Microelectronics, 2011
- [30] Paul Horowitz, The Art of Electronics, Third Edition, 2015
- [31] Arduino® UNO R3, User Manual, SKU: A000066, Available at: [Arduino Uno Datasheet](#)
- [32] Brian R. Hunt, Ronald L. Lipsman, Jonathan M. Rosenberg, A Guide to MATLAB, Cambridge University Press, 2006
- [33] The Book of R: A First Course in Programming and Statistics 1st Edition, Tilman M. Davies, No Starch Press, 2016
- [34] Learning Python: Powerful Object-Oriented Programming 5th Edition, Mark Lutz, O'Reilly Media, 2013
- [35] Python Documentation, Available at: <https://docs.python.org/3/library/re.html>
- [36] Python Documentation, Available at: <https://docs.python.org/3/library/datetime.html>
- [37] Python Documentation, Available at: <https://pandas.pydata.org/docs/>
- [38] Python Documentation, Available at: <https://matplotlib.org/>
- [39] Analog Devices, Overview of 1-Wire Technology and Its Use, June 2008. available at: <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/guide-to-1-wire-communication.html>
- [40] Texas Instruments, Application Note, A Basic Guide to I2C, Joseph Wu. available at: https://www.ti.com/lit/an/sbaa565/sbaa565.pdf?ts=1744102903372&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
- [41] G. R. Sinha, Advances in Modern Sensors, IOP Publishing, 2020
- [42] Arduino® UNO R3, Pinout Diagram, Available at: [Arduino Uno Pinout](#)
- [43] Arduino® UNO R3, Schematic, Available at: [Arduino Uno Schematic](#)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α Ο κώδικας λογισμικού του Arduino

```
#include <MQ135.h>
```

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <Adafruit_BMP280.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Adafruit_GFX.h>
```

```
#include <Adafruit_Sensor.h>
```

```
#include <DHT.h>
```

```
#include <DHT_U.h>
```

```
/* Define DHT 11 output*/
```

```
#define DHTPIN 4    // Digital pin connected to the DHT sensor
```

```
#define DHTTYPE    DHT11
```

```
DHT_Unified dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
uint32_t delayMS;
```

```
/* MQ 135 */
```

```
#define PIN_MQ135 A0
```

```
MQ135 mq135_sensor(PIN_MQ135);
```

```
float temperature = 21.0; // Assume current temperature. Recommended to measure with DHT22
```

```

float humidity = 65.0; // Assume current humidity. Recommended to measure with DHT22

/* BMP 280*/

Adafruit_BMP280 bmp; // I2C

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  /* BMP 280 */

  while ( !Serial ) delay(100); // wait for native usb

  Serial.println(F("BMP280 test"));

  unsigned status;

  status = bmp.begin(0x76);

  if (!status) {

    Serial.println(F("Could not find a valid BMP280 sensor, check wiring or try a different address!"));

  }

  /* Default settings from datasheet. */

  bmp.setSampling(Adafruit_BMP280::MODE_NORMAL, /* Operating Mode. */

    Adafruit_BMP280::SAMPLING_X2, /* Temp. oversampling */

    Adafruit_BMP280::SAMPLING_X16, /* Pressure oversampling */

    Adafruit_BMP280::FILTER_X16, /* Filtering. */

    Adafruit_BMP280::STANDBY_MS_500); /* Standby time. */

  /* DHT 11 */

  // Initialize device.

  dht.begin();

  Serial.println(F("DHTxx Unified Sensor Example"));

  // Print temperature sensor details.

  sensor_t sensor;

  dht.temperature().getSensor(&sensor);

```

```

Serial.println(F("-----"));

Serial.println(F("Temperature Sensor"));

Serial.print (F("Sensor Type: ")); Serial.println(sensor.name);

Serial.print (F("Max Value: ")); Serial.print(sensor.max_value); Serial.println(F("°C"));

Serial.print (F("Min Value: ")); Serial.print(sensor.min_value); Serial.println(F("°C"));

Serial.print (F("Resolution: ")); Serial.print(sensor.resolution); Serial.println(F("°C"));

Serial.println(F("-----"));

// Print humidity sensor details.

dht.humidity().getSensor(&sensor);

Serial.println(F("Humidity Sensor"));

Serial.print (F("Sensor Type: ")); Serial.println(sensor.name);

Serial.print (F("Driver Ver: ")); Serial.println(sensor.version);

Serial.print (F("Unique ID: ")); Serial.println(sensor.sensor_id);

Serial.print (F("Max Value: ")); Serial.print(sensor.max_value); Serial.println(F("%"));

Serial.print (F("Min Value: ")); Serial.print(sensor.min_value); Serial.println(F("%"));

Serial.print (F("Resolution: ")); Serial.print(sensor.resolution); Serial.println(F("%"));

Serial.println(F("-----"));

// Set delay between sensor readings based on sensor details.

delayMS = sensor.min_delay / 1000;

}

void loop() {

  /* Code for MQ135*/

  int sg = analogRead(PIN_MQ135);

  Serial.print("Smoke & Gaz: ");

  float ppm = mq135_sensor.getPPM();

  float correctedPPM = mq135_sensor.getCorrectedPPM(temperature, humidity);

```

```

Serial.print("\t PPM: ");

Serial.print(ppm);

Serial.print("\t Corrected PPM: ");

Serial.print(correctedPPM);

Serial.println("ppm");

delay(5000);

/* Code for BMP280 */

Serial.print(F("Temperature = "));

Serial.print(bmp.readTemperature());

Serial.println(" *C");

float pressure = bmp.readPressure() / 100.0F; // Convert Pa to hPa

Serial.print(F("Pressure = "));

Serial.print(pressure);

Serial.println(" hPa");

Serial.println();

delay(5000);

/* DHT 11 */

// Delay between measurements

delay(delayMS);

// Get temperature event and print its value.

sensors_event_t event;

dht.temperature().getEvent(&event);

if (isnan(event.temperature)) {

```

```

Serial.println(F("Error reading temperature!"));
}
else {
Serial.print(F("Temperature: "));
Serial.print(event.temperature);
Serial.println(F("°C"));
}
// Get humidity event and print its value.
dht.humidity().getEvent(&event);
if (isnan(event.relative_humidity)) {
Serial.println(F("Error reading humidity!"));
}
else {
Serial.print(F("Humidity: "));
Serial.print(event.relative_humidity);
Serial.println(F("%"));
}
}

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β Ο κώδικας λογισμικού σε Python

```

import re

from datetime import datetime

import pandas as pd

import matplotlib.pyplot as plt

```

```

# Read the content of the uploaded file

with open('home_lighter.txt', 'r') as f:

    data_content = f.read()

# Initialize lists to store extracted data

dht11_temp_data = []

dht11_humidity_data = []

bmp280_temp_data = []

mq135_gas_data = []

# Regex patterns for individual lines

dht11_temp_pattern = re.compile(r'\d{2}:\d{2}:\d{2}\.\d{3}) -> Temperature: ([\d.]+)°C')

dht11_humidity_pattern = re.compile(r'\d{2}:\d{2}:\d{2}\.\d{3}) -> Humidity: ([\d.]+)%')

bmp280_temp_pattern = re.compile(r'\d{2}:\d{2}:\d{2}\.\d{3}) -> Temperature = ([\d.]+) °C')

mq135_gas_values_pattern = re.compile(r'\d{2}:\d{2}:\d{2}\.\d{3}) -> Smoke & Gaz: [\d.]+ DN\s+MQ135
RZero: [\d.]+\s+Corrected RZero: [\d.]+\s+Resistance: [\d.]+\s+PPM: ([\d.]+)\s+Corrected PPM: ([\d.]+)ppm')

# Process the data line by line

lines = data_content.split('\n')

for line in lines:

    # DHT11 Temperature

    match = dht11_temp_pattern.search(line)

    if match:

        time_str, temp = match.groups()

        dht11_temp_data.append({'Time': time_str, 'Temperature': float(temp)})

    continue

```

```

# DHT11 Humidity

match = dht11_humidity_pattern.search(line)

if match:

    time_str, humidity = match.groups()

    dht11_humidity_data.append({'Time': time_str, 'Humidity': float(humidity)})

    continue

# BMP280 Temperature

match = bmp280_temp_pattern.search(line)

if match:

    time_str, temp = match.groups()

    bmp280_temp_data.append({'Time': time_str, 'Temperature': float(temp)})

    continue

# MQ135 Gas Data

match = mq135_gas_values_pattern.search(line)

if match:

    time_str, ppm, corrected_ppm = match.groups()

    mq135_gas_data.append({'Time': time_str, 'PPM': float(ppm), 'Corrected PPM': float(corrected_ppm)})

    continue

# Create DataFrames

df_dht11_temp = pd.DataFrame(dht11_temp_data)

df_dht11_humidity = pd.DataFrame(dht11_humidity_data)

df_bmp280_temp = pd.DataFrame(bmp280_temp_data)

df_gas = pd.DataFrame(mq135_gas_data)

```

```

# Check if DataFrames are empty before proceeding

if df_dht11_temp.empty or df_dht11_humidity.empty or df_bmp280_temp.empty or df_gas.empty:

    print("Δεν βρέθηκαν αρκετά δεδομένα για την δημιουργία των διαγραμμάτων. Παρακαλώ ελέγξτε τη μορφή του αρχείου.")

else:

    current_year = datetime.now().year # Using current year as year is missing from log

    # Convert 'Time' column to datetime objects

    df_dht11_temp['Time'] = df_dht11_temp['Time'].apply(lambda x: datetime.strptime(f'{current_year}-{x}', '%Y-%H:%M:%S.%f'))

    df_dht11_humidity['Time'] = df_dht11_humidity['Time'].apply(lambda x: datetime.strptime(f'{current_year}-{x}', '%Y-%H:%M:%S.%f'))

    df_bmp280_temp['Time'] = df_bmp280_temp['Time'].apply(lambda x: datetime.strptime(f'{current_year}-{x}', '%Y-%H:%M:%S.%f'))

    df_gas['Time'] = df_gas['Time'].apply(lambda x: datetime.strptime(f'{current_year}-{x}', '%Y-%H:%M:%S.%f'))

    # Plot Temperature (DHT11)

    plt.figure(figsize=(12, 6))

    plt.plot(df_dht11_temp['Time'], df_dht11_temp['Temperature'], marker='o', linestyle='-')

    plt.title('Θερμοκρασία (DHT11) σε Σχέση με τον Χρόνο')

    plt.xlabel('Χρόνος')

    plt.ylabel('Θερμοκρασία (°C)')

    plt.grid(True)

    plt.tight_layout()

    plt.show()

    # Plot Temperature (BMP280)

```

```

plt.figure(figsize=(12, 6))

plt.plot(df_bmp280_temp['Time'], df_bmp280_temp['Temperature'], marker='o', linestyle='-', color='orange')

plt.title('Θερμοκρασία (BMP280) σε Σχέση με τον Χρόνο')

plt.xlabel('Χρόνος')

plt.ylabel('Θερμοκρασία (°C)')

plt.grid(True)

plt.tight_layout()

plt.show()

# Plot Humidity (DHT11)

plt.figure(figsize=(12, 6))

plt.plot(df_dht11_humidity['Time'], df_dht11_humidity['Humidity'], marker='o', linestyle='-', color='green')

plt.title('Υγρασία (DHT11) σε Σχέση με τον Χρόνο')

plt.xlabel('Χρόνος')

plt.ylabel('Υγρασία (%)')

plt.grid(True)

plt.tight_layout()

plt.show()

# Plot PPM

plt.figure(figsize=(12, 6))

plt.plot(df_gas['Time'], df_gas['PPM'], marker='o', linestyle='-', color='red', label='PPM')

plt.plot(df_gas['Time'], df_gas['Corrected PPM'], marker='x', linestyle='--', color='purple', label='Corrected PPM')

plt.title('PPM και Corrected PPM σε Σχέση με τον Χρόνο')

plt.xlabel('Χρόνος')

plt.ylabel('Τιμή PPM')

```

```
plt.grid(True)
```

```
plt.legend()
```

```
plt.tight_layout()
```

```
plt.show()
```