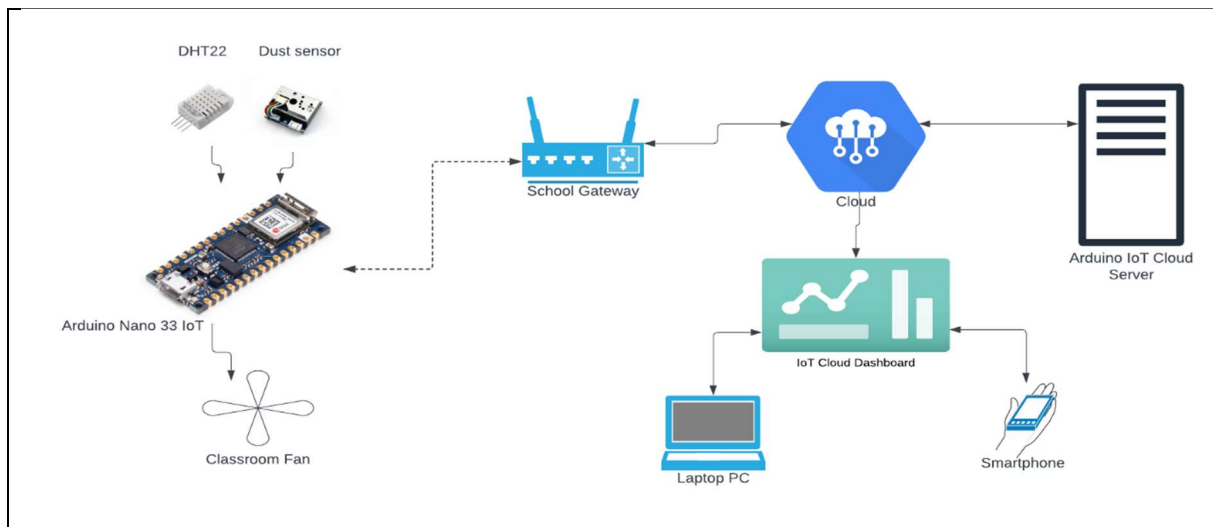


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
«Έξυπνο σύστημα εξαερισμού σχολικών κτιρίων»



Του φοιτητή  
Κούση Ανέστη  
Αρ. Μητρώου: 590515

Επιβλέπων  
Όνοματεπώνυμο: Γιακουμής Άγγελος  
Βαθμίδα: Επίκουρος Καθηγητής

Ημερομηνία: 26 Μαΐου 2023

Τίτλος Δ.Ε.: Έξυπνο σύστημα εξαερισμού σχολικών κτιρίων

Κωδικός Δ.Ε. ...

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Κούσης Ανέστης

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Κούσης Ανέστης

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.:

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. ...

*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.Π.Α.Ε.*

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

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

*«Στην οικογένειά μου»*



## Πρόλογος

Με την εξάπλωση της COVID-19 στις αρχές του 2020, ο παραδοσιακός, δια ζώσης, τρόπος εκπαίδευσης αποδείχθηκε ότι εγκυμονούσε κινδύνους διασποράς του ιού και γι' αυτό το λόγο ελήφθησαν διάφορα μέτρα όπως αρχικά η τηλεκπαίδευση και στη συνέχεια η χρήση μάσκας και η εφαρμογή καλών πρακτικών εξαερισμού των σχολικών κτιρίων. Το 2022 ήρθε μια δεύτερη κρίση η οποία προήλθε από τον πόλεμο μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας καθώς επακόλουθο του πολέμου ήταν η μεγάλη αύξηση των τιμών των ενεργειακών πόρων όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Η κατάσταση αυτή απαιτεί λύσεις οι οποίες να βοηθούν στην προστασία της υγείας των μαθητών με την όσο το δυνατόν καλύτερη ενεργειακή απόδοση.

Οι τεχνολογίες του Διαδικτύου των Αντικειμένων έρχονται να δώσουν λύση στο πρόβλημα με την εγκατάσταση ενός έξυπνου συστήματος εξαερισμού, το οποίο θα «παρακολουθεί» τις συνθήκες ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πίεσης, υγρασίας και θερμοκρασίας στις σχολικές αίθουσες, στους κοινόχρηστους χώρους και στο εξωτερικό περιβάλλον και ανάλογα με την κατάσταση που επικρατεί, θα λαμβάνει αποφάσεις για το αν και ποιοι εξαεριστήρες θα πρέπει να λειτουργήσουν και με πόση ένταση. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μία τέτοια πρόταση η οποία εκτός από την αυτοματοποιημένη λειτουργία προσφέρει στον χρήστη ένα διαισθητικό γραφικό περιβάλλον χειρισμού του συστήματος.

## Περίληψη

Η εξάπλωση της πανδημίας της COVID-19 αύξησε τις απαιτήσεις καλού εξαερισμού των σχολικών αιθουσών. Παράλληλα, η ενεργειακή κρίση που εκδηλώθηκε στις αρχές του 2022 έθεσε νέες απαιτήσεις στην ενεργειακή απόδοση των σχολικών κτιρίων. Η νέα κατάσταση που δημιουργήθηκε απαιτεί τη δημιουργία ενός αποδοτικού αυτοματοποιημένου συστήματος καλού αερισμού των χώρων των σχολικών κτιρίων. Από την άλλη πλευρά, στη σύγχρονη εποχή, έχουν αυξηθεί κατά πολύ οι δυνατότητες έξυπνων συστημάτων ελέγχου με την έλευση των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Αντικειμένων. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει ένα τέτοιο σύστημα το οποίο βασίζεται σε μία πλακέτα μικροελεγκτή Arduino Nano 33 IoT που ελέγχει μέσω αισθητήρων θερμοκρασίας, υγρασίας και σκόνης τις συνθήκες και την ποιότητα του αέρα που επικρατεί σε μία σχολική αίθουσα και στέλνει μέσω ασύρματης δικτύωσης τα δεδομένα που συλλέγει στην εφαρμογή υπολογιστικού νέφους Arduino IoT Cloud για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση. Το προτεινόμενο σύστημα επιτυγχάνει δύο στόχους. Αφενός ενεργοποιεί με αυτόματο τρόπο το σύστημα εξαερισμού εξασφαλίζοντας τις καλύτερες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας για τους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς με την καλύτερη ενεργειακή απόδοση, αφετέρου μέσω μίας διαισθητικής διεπαφής χρήσης, ενημερώνει για τις μετρικές του συστήματος τους διαχειριστές του σχολείου. Για τις ανάγκες εγκυροποίησης και ρυθμίσεων της καλής λειτουργίας του συστήματος κατασκευάστηκε και παρουσιάζεται ένα δοκιμαστικό μοντέλο το οποίο προσομοιώνει αφαιρετικά τη λειτουργία ενός πραγματικού συστήματος που θα μπορούσε να υλοποιηθεί σε μία σχολική τάξη. Το δοκιμαστικό σύστημα που κατασκευάστηκε είναι επεκτάσιμο και από πλευράς υλικού και από πλευράς λογισμικού καθώς η αρχιτεκτονική μπορεί να αποτελέσει τη βάση ενός πραγματικού συστήματος με την προσθήκη περισσότερων αισθητήρων, ενεργοποιητών και ευφυίας.

# «Smart ventilation system for school buildings»

«Anestis Kousis»

## **Abstract**

The spread of the COVID-19 pandemic has increased the requirements for good ventilation in school classrooms. Moreover, the energy crisis that occurred at the beginning of 2022 placed new demands on the energy efficiency of school buildings. The new situation requires the creation of an efficient automated system of effective ventilation in the spaces of school buildings. On the other hand, nowadays, the capabilities of intelligent control systems have greatly increased with the advent of the Internet of Things technologies. This work presents such a system based on an Arduino Nano 33 IoT microcontroller board that controls through temperature, humidity and dust sensors the conditions and air quality prevailing in a school classroom and sends through wireless networking the data it collects to the Arduino IoT Cloud application for further processing and analysis. The proposed system achieves two main goals. On the one hand, it automatically activates the ventilation system, ensuring the best humidity and temperature conditions for students and teachers with the best energy efficiency, on the other hand, through an intuitive user interface, it informs the school administrators about the system's metrics. For the need of validating and regulating the good operation of the system, a demo model was built and presented, which abstractly simulates the operation of a real system that could be implemented in a school classroom. The test system built is scalable both in terms of software and hardware as it can form the basis of a real system by adding more sensors, actuators, and intelligence.

## Ευχαριστίες

Η εκπόνηση αυτής της εργασίας ήταν μία ευκαιρία για εμένα να εμβαθύνω τις γνώσεις και τις δεξιότητές μου σε αναδυόμενες τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των Αντικειμένων και παράλληλα να σχεδιάσω και υλοποιήσω ένα σύστημα το οποίο θα βελτιώσει τις συνθήκες διαβίωσης των μαθητών και των εκπαιδευτικών στην σχολική τάξη.

Καθοδηγητής και συνοδοιπόρος σε αυτήν την διαδρομή ήταν ο επιβλέπων καθηγητής μου κος Άγγελος Γιακουμής τον οποίο θέλω να ευχαριστήσω θερμά για τις πολύτιμες συμβουλές του, την υπομονή του και την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω τη διπλωματική μου εργασία.

Για τη μελέτη μου και την εκπόνηση της εργασίας αυτής χρειάστηκε να αφιερώσω πολύ χρόνο και σκληρή προσπάθεια. Δεν θα είχα ολοκληρώσει ποτέ την εργασία μου εάν δεν είχα στο πλευρό μου τη σύζυγό μου Έλενα και τον γιο μου Παναγιώτη, τους οποίους και ευχαριστώ για την υποστήριξή τους, την υπομονή που επέδειξαν και την αγάπη τους.

# Περιεχόμενα

|  |      |
|--|------|
| Πρόλογος.....  | v    |
| Περίληψη.....  | vi   |
| Abstract .....   | vii  |
| Ευχαριστίες .....  | viii |
| Περιεχόμενα .....  | ix   |
| Κατάλογος Σχημάτων .....   | xi   |
| Κατάλογος Πινάκων.....   | xi   |
| Συνομογραφίες.....   | xii  |
| Κεφάλαιο 1ο: Θεωρητικό πλαίσιο.....  | 1    |
| 1.1 Εισαγωγή.....  | 1    |
| 1.2 Το Διαδίκτυο των αντικειμένων.....   | 2    |
| 1.2.1 Αρχιτεκτονική του ΔτΑ.....   | 4    |
| 1.2.2 Εφαρμογές του ΔτΑ .....  | 8    |
| 1.3 Η ποιότητα του αέρα και ο εξαερισμός των κλειστών χώρων .....                  | 9    |
| 1.4 Σχετική βιβλιογραφία.....  | 11   |
| 1.5 Επίλογος.....  | 13   |
| Κεφάλαιο 2ο: Το υλικό της κατασκευής.....  | 14   |
| 2.1 Εισαγωγή.....  | 14   |
| 2.2 Η πλακέτα Arduino Nano 33 IoT.....   | 14   |
| 2.3 Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν .....                                       | 17   |
| 2.3.1 Αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας DHT22.....                              | 18   |
| 2.3.2 Αισθητήρας σκόνης.....   | 19   |
| 2.4 Το ηλεκτρονικό κύκλωμα της πρωτότυπης κατασκευής.....                          | 22   |
| 2.4.1 Το κύκλωμα ελέγχου .....   | 22   |
| 2.4.2 Το κύκλωμα ισχύος.....   | 23   |
| 2.5 Επίλογος.....  | 24   |
| Κεφάλαιο 3ο: Το λογισμικό του συστήματος .....                                     | 25   |
| 3.1 Εισαγωγή.....  | 25   |
| 3.2 Το περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IoT Cloud .....                                | 26   |
| 3.3 Η δημιουργία του Αντικειμένου.....   | 27   |
| 3.4 Ο κώδικας της εφαρμογής.....   | 28   |
| 3.4.1 Συμπερίληψη βιβλιοθηκών και δηλώσεις σταθερών και καθολικών μεταβλητών ..... | 29   |

|   |   |    |
|---|---|----|
| 3.4.2                                       | Ο κώδικας της συνάρτησης setup().....                   | 30 |
| 3.4.3                                       | Ο κώδικας της συνάρτησης loop() .....                   | 30 |
| 3.5   | Το γραφικό περιβάλλον του χρήστη .....                  | 32 |
| 3.6   | Επίλογος.....   | 33 |
| Κεφάλαιο 4ο:                                | Συμπεράσματα, περιορισμοί και προτάσεις βελτίωσης ..... | 35 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....                           |   | 36 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ..... |   | 39 |

## Κατάλογος Σχημάτων

|   |    |
|---|----|
| Σχήμα 1.1: Το διάγραμμα των δομικών στοιχείων του συστήματος .....                        | 2  |
| Σχήμα 1.2: Αριθμός ενεργών IoT συνδέσεων ανά έτος .....                                   | 3  |
| Σχήμα 1.3: Τα τρία επίπεδα της αρχιτεκτονικής του ΔτΑ.....                                | 5  |
| Σχήμα 1.4: Διάγραμμα ροής δεδομένων στο RFID.....   | 6  |
| Σχήμα 1.5: Εφαρμογές του ΔτΑ.....   | 9  |
| Σχήμα 2.1: Η τοπολογία της πλακέτας Arduino Nano0 33 IoT.....                             | 15 |
| Σχήμα 2.2: Το διάγραμμα ακίδων του Arduino Nano 33 IoT.....                               | 17 |
| Σχήμα 2.3: Το διάγραμμα ακίδων του αισθητήρα DHT22.....                                   | 19 |
| Σχήμα 2.4: Το διάγραμμα εξωτερικών συνδέσεων του αισθητήρα σκόνης.....                    | 20 |
| Σχήμα 2.5: Η σχέση τάσης εξόδου – συγκέντρωσης μικροσωματιδίων.....                       | 21 |
| Σχήμα 2.6: Η καθυστέρηση του σήματος εξόδου του αισθητήρα σκόνης.....                     | 22 |
| Σχήμα 2.7: Το κύκλωμα ελέγχου.....  | 23 |
| Σχήμα 2.8: Το κύκλωμα ισχύος.....   | 24 |
| Σχήμα 3.1: Ο κύκλος λειτουργίας των ρομποτικών συστημάτων.....                            | 25 |
| Σχήμα 3.2: Το περιβάλλον Arduino Cloud IDE.....   | 27 |
| Σχήμα 3.3: Τα στάδια ανάπτυξης μιας εφαρμογής με το περιβάλλον Arduino IoT Cloud.....     | 28 |
| Σχήμα 3.4: Το διάγραμμα ροής της δομής του λογικού ελέγχου του συστήματος εξαερισμού..... | 31 |
| Σχήμα 3.5: Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής.....                                       | 33 |

## Κατάλογος Πινάκων

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Πίνακας 1.1: Κριτήριο ποιότητας του αέρα ανάλογα με τη συγκέντρωση PM2.5        | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Πίνακας 2.1: Τα βασικά συστατικά στοιχεία της πλακέτας Arduino Nano 33 IoT..... | 16                                  |
| Πίνακας 2.2: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα σκόνης.....                | 19                                  |

## Συντομογραφίες

|                 |  |
|-----------------|--|
| ΑΔΑ             | Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων                 |
| Δ.Ε.            | Διπλωματική Εργασία                        |
| ΔΙΠΑΕ           | Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος               |
| ΔτΑ             | Διαδίκτυο των Αντικειμένων                 |
| ΘΕΚ             | Θέρμανση, Εξαερισμός και Κλιματισμός       |
| NO              | Οξείδιο του αζώτου                         |
| NO <sub>2</sub> | Διοξείδιο του αζώτου                       |
| TNΔ             | Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα                   |
| GPS             | Global Positioning Systems                 |
| GUI             | Graphic User Interface                     |
| HVAC            | Heating, Ventilation, and air Conditioning |
| IaaS            | Infrastructure as a Service                |
| IoT             | Internet of Things                         |
| IP              | Internet Protocol                          |
| NFC             | Near-Field Communications                  |
| PaaS            | Platform as a Service                      |
| PM2.5           | Particulate Matter < 2.5 μm                |
| RFID            | Radio Frequency Identification             |
| SaaS            | Software as a Service                      |
| SMA             | Social Media Analysis                      |
| UID             | Unique Identifier                          |
| WSN             | Wireless Sensor Network                    |

## Κεφάλαιο 1ο: Θεωρητικό πλαίσιο

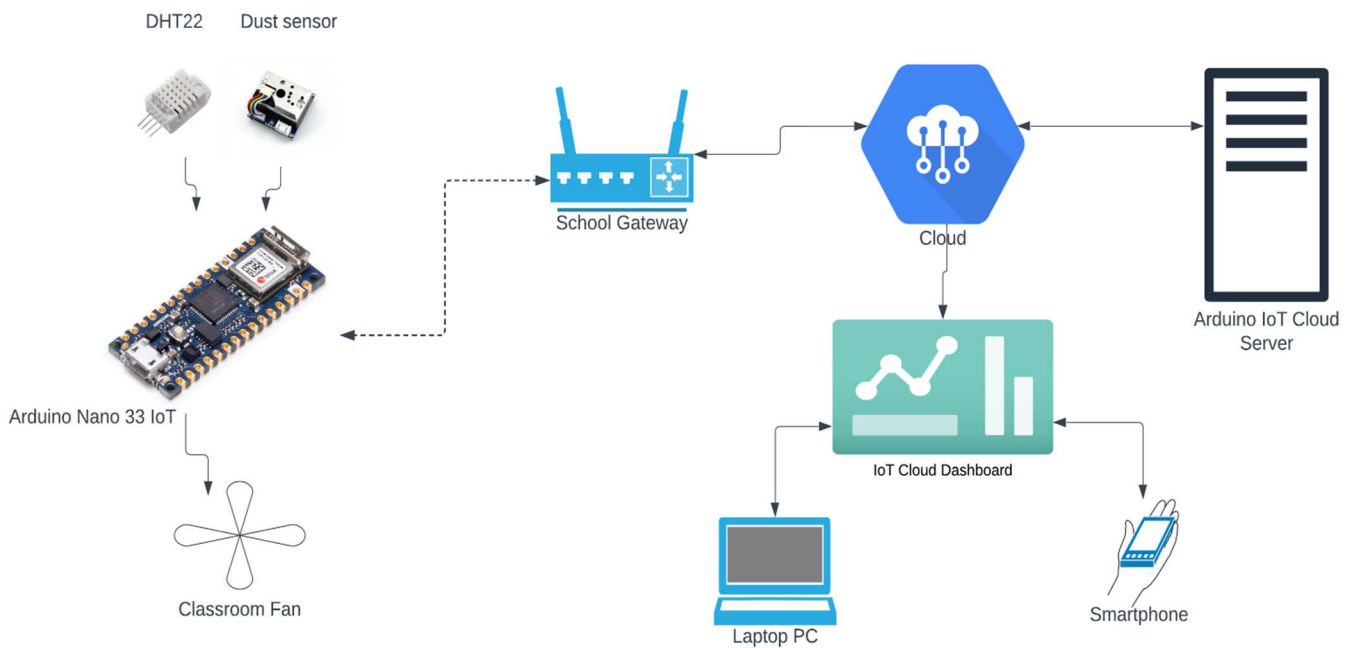
### 1.1 Εισαγωγή

Η ποιότητα του αέρα στη σχολική τάξη σχετίζεται άμεσα με την υγεία, την άνεση και την καλή διάθεση των μαθητών και των εκπαιδευτικών. Καθώς οι εμπλεκόμενοι περνούν ένα μεγάλο μέρος του χρόνου του εντός της αίθουσας ή γενικότερα εντός του σχολικού κτιρίου η ρύπανση του αέρα έχει αντίκτυπο στις επιδόσεις τους και στην παραγωγικότητά τους. Ειδικότερα μετά την εξάπλωση της πανδημίας COVID-19 η ανάγκη για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και τον καλό εξαερισμό των σχολικών χώρων έγινε επιτακτική. Σε αυτό το πρόβλημα καλείται να δώσει απάντηση η τεχνολογία με την αξιοποίηση του Διαδικτύου των Αντικειμένων (ΔτΑ), όρο που στη διεθνή βιβλιογραφία συναντάμε ως *Internet of Things* (IoT).

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία (Δ.Ε.) εκπονείται στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών των μηχανικών ηλεκτρονικής του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος (ΔΠΠΑΕ) και έχει ως σκοπό της το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός συστήματος παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα της αίθουσας και άλλων χώρων του σχολείου καθώς επίσης και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των συστημάτων εξαερισμού των σχολικών κτιρίων.

Για την επίτευξη του σκοπού αυτού αναπτύχθηκε ένα μοντέλο – μακέτα του συστήματος για να γίνουν όλες οι απαραίτητες δοκιμές και ρυθμίσεις καλής λειτουργίας του υλικού και του λογισμικού.

Το διάγραμμα των δομικών στοιχείων του συστήματος εμφανίζεται στο Σχήμα 1.1. Αποτελείται από μία πλακέτα Arduino Nano 33 IoT η οποία βασίζεται σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα μικροελεγκτή και σε αυτήν συνδέονται οι απαραίτητοι για την εφαρμογή αισθητήρες. Η μονάδα επικοινωνεί ασύρματα με το δρομολογητή του σχολείου έτσι ώστε να έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Στο δοκιμαστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες της παρούσης εργασίας, συλλέγονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τα επίπεδα θερμοκρασίας, υγρασίας και ποιότητας του αέρα. Τα δεδομένα αποστέλλονται σε έναν εξυπηρετητή στον οποίο αποθηκεύονται και αναλύονται. Η εφαρμογή παρέχει στον χρήστη ένα ταμπλό παρακολούθησης και χειρισμού των παραμέτρων του συστήματος (dashboard) το οποίο συνδυάζει ευχρηστία και ευελιξία μέσω μιας διαισθητικής γραφικής διεπαφής χρήστη (Graphic User Interface- GUI). Δεν απαιτείται η εγκατάσταση κάποιας εξειδικευμένης εφαρμογής από το χρήστη καθώς έχει επιλεγεί η πρόσβαση να γίνεται μέσω ενός απλού φυλλομετρητή έτσι ώστε να μπορεί να είναι επισκέψιμο το περιβάλλον με οποιαδήποτε συσκευή με σύνδεση στο Διαδίκτυο. Οι δυνατότητες του προτεινόμενου συστήματος δεν περιορίζονται μόνο στην πληροφόρηση του χρήστη και στη ρύθμιση των εμπλεκόμενων παραμέτρων μέσω του dashboard, αλλά με την αξιοποίηση του σχετικού λογισμικού που αναπτύχθηκε, λαμβάνονται άμεσα αποφάσεις έτσι ώστε να ενεργοποιείται το σύστημα εξαερισμού του σχολικού χώρου με αυτοματοποιημένο τρόπο, όταν αυτό είναι απαραίτητο σύμφωνα με τις ρυθμίσεις που εισάγει ο χρήστης.

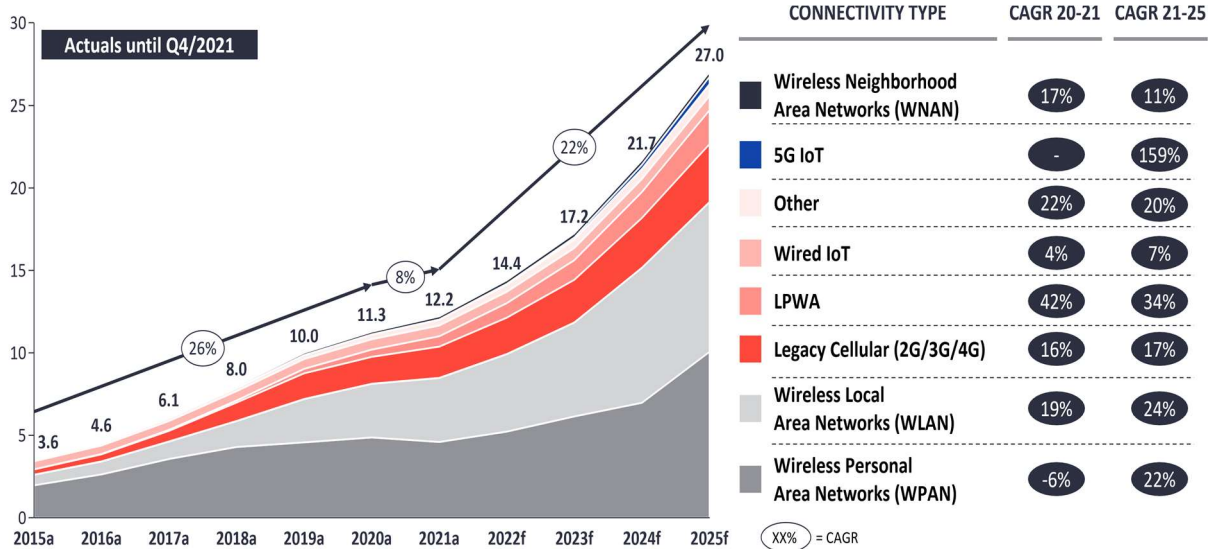


Σχήμα 1.1: Το διάγραμμα των δομικών στοιχείων του συστήματος

Στη συνέχεια του Κεφαλαίου 1 αναλύεται το θεωρητικό πλαίσιο των εννοιών και των τεχνολογιών που εμπλέκονται στο έργο. Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται αναλυτικά το υλικό της κατασκευής και τα κυκλώματα που σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν σε μορφή μακέτας. Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφονται τα στοιχεία του λογισμικού που αξιοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της εφαρμογής καθώς επίσης και ο κώδικας που δημιουργήθηκε για τη λειτουργία του συστήματος. Τα συμπεράσματα, οι περιορισμοί και προτάσεις για περαιτέρω μελέτη περιγράφονται στο Κεφάλαιο 4.

## 1.2 Το Διαδίκτυο των αντικειμένων

Το Διαδίκτυο άλλαξε την καθημερινότητά μας καθώς έφερε μία επανάσταση παρέχοντας όλες τις απαραίτητες υποδομές με τις οποίες πολλοί άνθρωποι διασυνδέθηκαν μεταξύ τους και επίσης κατέστησε δυνατή τη διασύνδεση αντικειμένων τα οποία μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Η υποδομή που διασυνδέει φυσικά και εικονικά αντικείμενα, ονομάζεται «Διαδίκτυο των Αντικειμένων». Η εποχή του ΔτΑ ξεκίνησε περίπου μεταξύ των ετών 2008 και 2009, όταν και σύμφωνα με τη Cisco [1] ο αριθμός των συνδεδεμένων στο Διαδίκτυο συσκευών ξεπέρασε τον πληθυσμό των ανθρώπων στη Γη. Ο όρος “Internet of Things” χρεώνεται στον Kevin Ashton ο οποίος τον χρησιμοποίησε για πρώτη φορά το 1999 θέλοντας να εξηγήσει μια νέα ιδέα σύνδεσης στο Διαδίκτυο της εφοδιαστικής αλυσίδας της εταιρίας στην οποία εργάζονταν (Procter & Gamble). Τότε ο Ashton σε μια αποστροφή του λόγου του είχε αναφέρει «Στον 20 αιώνα οι υπολογιστές ήταν εγκέφαλοι χωρίς αισθήσεις – γνώριζαν μόνο ότι τους λέγαμε εμείς. Στον 21<sup>ο</sup> αιώνα αυτό θα αλλάξει και οι υπολογιστές θα γίνουν αντικείμενα με αισθήσεις» [1]. Πλέον, το 2022, τα διασυνδεδεμένα αντικείμενα είχαν φθάσει τον αριθμό των 14,4 δισεκατομμυρίων και αναμένεται να ξεπεράσουν τα 27 δισεκατομμύρια μέχρι το 2025 όπως φαίνεται και στην προβολή του Σχήματος 1.2 [2]. Αυτοί οι αριθμοί ξεπερνούν προηγούμενη πρόβλεψη της Cisco ότι το 2024 τα διασυνδεδεμένα αντικείμενα θα έχουν ξεπεράσει τα 15 δισεκατομμύρια [1].



Σχήμα 1.2: Αριθμός ενεργών IoT συνδέσεων ανά έτος [2]

Μέχρι σήμερα έχουν δοθεί πολλοί διαφορετικοί ορισμοί για το IoT. Ο Demirer και συν. [3] ορίζουν το ΔτΑ ως «μια υποδομή η οποία διασυνδέει έμψυχα και άψυχα αντικείμενα, επικοινωνεί μαζί τους μέσω Διαδικτύου, συλλέγει δεδομένα μέσω αισθητήρων, τα αποθηκεύει στο νέφος και παρέχει πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο σε ανθρώπους ή μηχανές». Η International Telecommunication Union [4] ορίζει το IoT ως «μια παγκόσμια υποδομή για την κοινωνία της πληροφορίας η οποία παρέχει προχωρημένες υπηρεσίες διασυνδέοντας (φυσικά και εικονικά) πράγματα βασιζόμενη σε προϋπάρχουσες και εξελισσόμενες διαλειτουργικές τεχνολογίες της πληροφορίας και της επικοινωνίας». Οι Giusto και συν. [5] έδωσαν τον ορισμό ότι το IoT είναι «η διάχυτη παρουσία γύρω μας, μιας ποικιλίας πραγμάτων ή αντικειμένων όπως ετικέτες αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας (RFID), αισθητήρες, ενεργοποιητές, κινητά τηλέφωνα κ.λπ., τα οποία μέσω μοναδικών σχημάτων διεύθυνσεων, είναι σε θέση να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και να συνεργάζονται με τους γείτονές τους για την επίτευξη κοινών στόχων».

Ένα αντικείμενο στο ΔτΑ μπορεί να είναι οποιοδήποτε αντικείμενο, όπως ένα εμφύτευμα παρακολούθησης καρδιάς (βηματοδότης), ένας αναμεταδότης biochip σε κάποιο ζώο μιας κτηνοτροφικής μονάδας, ένα αυτοκίνητο που έχει ενσωματωμένους αισθητήρες για να ειδοποιεί τον οδηγό όταν η πίεση των ελαστικών είναι χαμηλή ή οποιοδήποτε άλλο φυσικό ή τεχνητό αντικείμενο που μπορεί να εκχωρηθεί μια διεύθυνση Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (στην αγγλική γλώσσα αλλά και διεθνώς χρησιμοποιείται ο όρος Internet Protocol – IP), και είναι σε θέση να μεταφέρει δεδομένα μέσω δικτύου. Η μεγάλη ποικιλία των αντικειμένων, των τεχνολογιών, των εφαρμογών του IoT καθιστά την προτυποποίηση και την διαλειτουργικότητα ως μείζονα ζητήματα. Έχουν προταθεί διαφορετικές δομές από διαφορετικούς ειδικούς, ωστόσο, δεν υπάρχει ενιαία αρχιτεκτονική που να είναι τυποποιημένη από οποιονδήποτε οργανισμό για το IoT, κάτι στο οποίο να έχουν καταλήξει όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς [6].

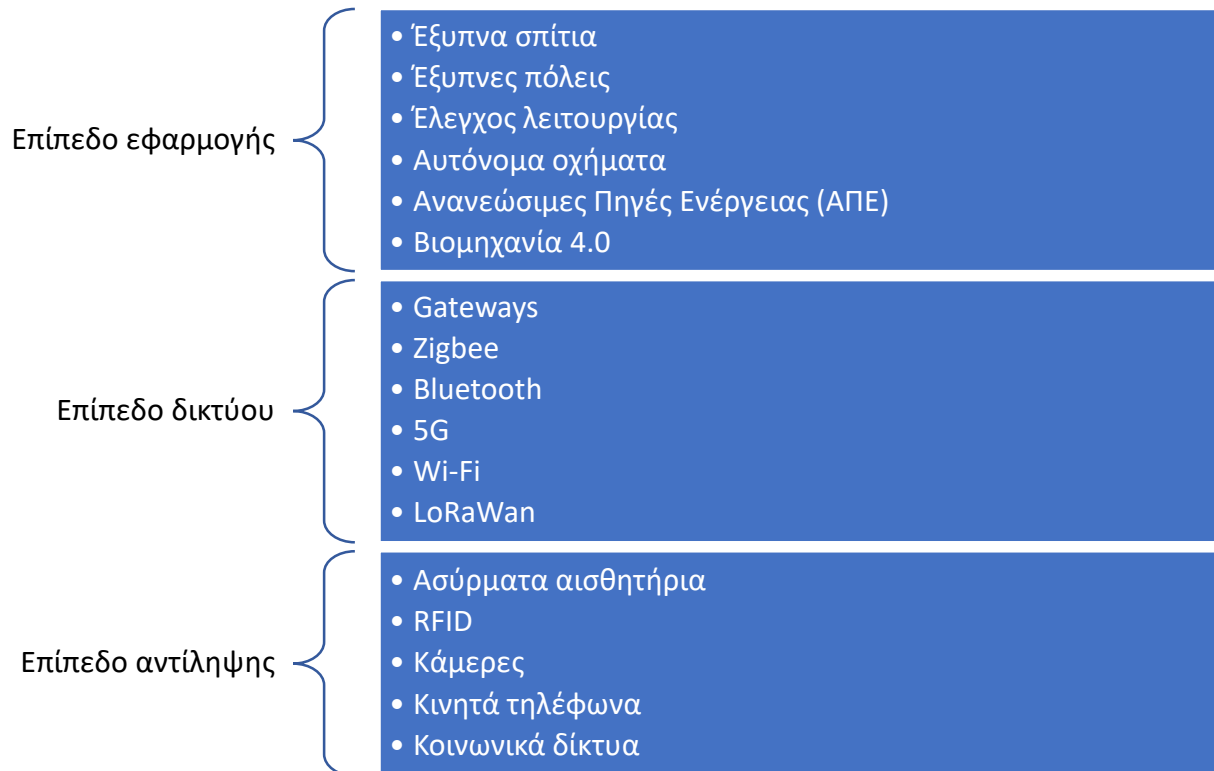
Με τις τεχνολογίες του ΔτΑ τα φυσικά αντικείμενα μετασχηματίζονται σε έξυπνες συσκευές οι οποίες συνδέονται και επικοινωνούν μέσω του Διαδικτύου με σκοπό τη βελτίωση της καθημερινότητας των ανθρώπων και της λειτουργίας των πόλεων [7]. Με το ΔτΑ οποιοσδήποτε και οτιδήποτε μπορεί να γίνει μέρος του Διαδικτύου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον επανακαθορισμό του τρόπου με τον οποίον οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν όχι μόνο μεταξύ τους αλλά και με τα αντικείμενα που τους περιβάλλουν.

### 1.2.1 Αρχιτεκτονική του ΔτΑ

Μία κλειδαριά, ένας λαμπτήρας, ένα αθλητικό παπούτσι, ένα κράνος ποδηλάτη, ένα αυτοκίνητο και άλλα πολλά αντικείμενα της καθημερινότητας μπορούν να αποτελέσουν κόμβους στο ΔτΑ αυξάνοντας τη λειτουργικότητά τους και δίνοντας αξία στη χρήση τους. Το κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των αντικειμένων είναι ότι διαθέτουν ηλεκτρονικό κύκλωμα ελέγχου το οποίο συνδέεται στο Διαδίκτυο διαθέτοντας ένα μοναδικό προσδιορισμό (unique identifier -UID) και μια μοναδική διεύθυνση IP. Αυτά τα αντικείμενα συνδέονται μέσω ενσύρματων ή ασύρματων τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, δορυφορικής επικοινωνίας, Wi-Fi, LoRaWAN, Bluetooth, κ.α. Για τη λειτουργία τους χρησιμοποιούν επίσης δυνατότητες εντοπισμού μέσω ραδιοσυχνότητας (Radio Frequency Identification - RFID) ή επικοινωνιών κοντινού πεδίου (Near-Field Communications - NFC) που ενσωματώνονται ή προστίθενται αργότερα μέσω ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και ετικετών [8].

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες αντικειμένων που μπορούν να διασυνδεθούν. Τα φυσικά και τα ψηφιακά αντικείμενα. Τα φυσικά αντικείμενα αφορούν απτά αντικείμενα ή διαδικασίες οι οποίες τυπικά δεν παράγουν ψηφιακά δεδομένα αν δεν εμπλουτιστούν με κάποια ειδική συσκευή. Παράδειγμα φυσικού αντικειμένου μπορεί να είναι ένας σκύλος, μία γέφυρα, ένα δρομολόγιο λεωφορείου. Σε αυτά θα πρέπει να προστεθεί ένας αισθητήρας ή/και ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα έτσι ώστε να μπορούν να παράγουν ψηφιακά δεδομένα. Τα ψηφιακά αντικείμενα μπορεί να είναι ένα ηλεκτρονικό βιβλίο, μία ψηφιακή φωτογραφία, ένα βίντεο, κ.α. τα οποία έχουν δημιουργηθεί από την αρχή έχοντας ψηφιακή υπόσταση και μπορούν να αναπαραχθούν, διαμοιραστούν, επεξεργαστούν και αποθηκευτούν όπως όλοι οι ψηφιακοί πόροι. Καθώς τα περισσότερα δεδομένα στο Διαδίκτυο έχουν τη μορφή αρχείων κειμένου, μηνυμάτων, ήχου, βίντεο και φωτογραφιών, το ΔτΑ συλλέγει νέα και διαφορετικά δεδομένα. Συνδυάζει τα δεδομένα με διαφορετικούς τρόπους και επιτρέπει στις μηχανές και στους ανθρώπους να κερδίζουν ευρύτερη και βαθύτερη γνώση. Σύμφωνα με τον Greengard [8] αυτό που κάνει το ΔτΑ τόσο σημαντικό είναι ότι συνδέει τα φυσικά αντικείμενα με συσκευές οι οποίες μέχρι τώρα διαχειρίζονταν μόνο ψηφιακά αντικείμενα, όπως ηλεκτρονικές συσκευές, υπολογιστές και εφαρμογές. Συνεπώς με την προσθήκη ενός ολοκληρωμένου ή μιας ετικέτας μπορεί να αλληλοεπιδρά ως κόμβος ενός ψηφιακού συστήματος και να διαμοιράζεται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μέσω του Διαδικτύου. Επιπλέον, με δεδομένο ότι και οι ίδιοι οι άνθρωποι συνδέονται μέσω υπολογιστικών συσκευών στο δίκτυο, οδηγούμαστε στη γέννηση ενός ολότελα νέου εννοιολογικού μοντέλου.

Οι Talarī και συν. [7] θεωρούν την αρχιτεκτονική του ΔτΑ ως ένα σύστημα που αποτελείται από τρία επίπεδα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.3, το επίπεδο αντίληψης (perception layer), το επίπεδο δικτύου (network layer) και το επίπεδο εφαρμογής (application layer).



Σχήμα 1.3: Τα τρία επίπεδα της αρχιτεκτονικής του ΔτΑ.

Το επίπεδο αντίληψης αποτελείται από συσκευές οι οποίες μπορούν να αντιλαμβάνονται, να ανιχνεύουν αντικείμενα, να συλλέγουν πληροφορίες και να ανταλλάσσουν πληροφορίες με άλλες συσκευές μέσω εξειδικευμένων ή γενικής χρήσης δικτύων που προσφέρουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Τέτοια παραδείγματα είναι συσκευές RFID, κάμερες, αισθητήρες υγρασίας, θερμοκρασίας, πίεσης, κ.λπ., συστήματα προσδιορισμού θέσης (Global Positioning Systems - GPS). Η προώθηση των δεδομένων από το επίπεδο αντίληψης στο επίπεδο εφαρμογής είναι μια εργασία που αναλαμβάνει το επίπεδο δικτύου. Τα συστήματα IoT χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό επικοινωνίας δικτύων μικρής εμβέλειας με τεχνολογίες όπως το Bluetooth και το ZigBee που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των πληροφοριών από τις συσκευές σε μια κοινή πύλη. Τεχνολογίες όπως Wi-Fi, 5G, και LoRaWAN μεταφέρουν τις πληροφορίες σε μεγάλες αποστάσεις. Δεδομένου ότι οι εφαρμογές στοχεύουν στη δημιουργία έξυπνων σπιτιών, έξυπνων πόλεων, παρακολούθηση συστημάτων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, το τελευταίο στρώμα που είναι το επίπεδο εφαρμογής, είναι εκεί όπου συγκεντρώνονται και επεξεργάζονται οι πληροφορίες.

Από την άλλη πλευρά η αρχιτεκτονική που παρουσίασε ο Lee [9] για το ΔτΑ δεν γίνεται με μια στρωματοποιημένη αναπαράσταση αλλά ως μία δομή της οποίας τα βασικά δομικά στοιχεία που την αποτελούν είναι:

- Οι ετικέτες RFID
- Οι αισθητήρες
- Τα κοινωνικά δίκτυα
- Η υπολογιστική νέφους
- Οι εφαρμογές

### 1.2.1.1 Η τεχνολογία RFID

Η τεχνολογία RFID επιτρέπει στα αντικείμενα με την προσθήκη μιας ετικέτας να εντοπίζονται και να παρακολουθούνται. Η τεχνολογία RFID χρησιμοποιεί την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια για την ασύρματη μεταφορά δεδομένων από την RFID ετικέτα προς τον αναγνώστη RFID. Όταν το σώμα που ενσωματώνει την ετικέτα πλησιάσει στον αναγνώστη, η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που εκπέμπεται από την κεραία του αναγνώστη τροφοδοτεί τα κυκλώματα της ετικέτας έτσι ώστε να στέλνει δεδομένα η ετικέτα προς τον αναγνώστη [9].

Σε μια τυπική εγκατάσταση ενός συστήματος RFID περιλαμβάνονται ένας ή περισσότεροι αναγνώστες και πολλές ετικέτες RFID. Οι ετικέτες RFID χαρακτηρίζονται από μια συγκεκριμένη διεύθυνση και εφαρμόζονται σε αντικείμενα. Χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνότητας για τη μεταφορά δεδομένων που σχετίζονται με ένα αντικείμενο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4. Αυτές οι ετικέτες είναι ενσωματωμένες με ηλεκτρονικά αποθηκευμένες πληροφορίες που μπορούν να διαβαστούν από τον αναγνώστη RFID όταν το αντικείμενο βρίσκεται κοντά στον αναγνώστη. Το RFID επιτρέπει την παρακολούθηση αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να χρειάζεται να είναι σε οπτική επαφή. Μια ετικέτα RFID διατίθεται σε τρεις διαμορφώσεις. Το πρώτο είναι το Passive Reader Active Tag στο οποίο ο αναγνώστης είναι παθητικός και λαμβάνει το σήμα από τις ενεργές ετικέτες που λειτουργούν με μπαταρία, ενώ το δεύτερο είναι το Active Reader Passive Tag που χρησιμοποιείται πιο συχνά για επικοινωνιακούς σκοπούς. Η τρίτη είναι το Active Reader Active Tag όπου λειτουργεί με το συνδυασμό ενεργής ετικέτας - ενεργού αναγνώστη [10].



Σχήμα 1.4: Διάγραμμα ροής δεδομένων στο RFID

### 1.2.1.2 Οι αισθητήρες

Οι αισθητήρες βρίσκονται στο κατώτερο επίπεδο της τεχνολογίας του IoT όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.3. Αποτελούν στην ουσία τα μάτια, τα αυτιά, τη μύτη και τα δάκτυλα της τεχνολογίας του IoT [9]. Η πρόοδος της τεχνολογίας έχει βοηθήσει στο να κατασκευάζονται όλο και μικρότερου μεγέθους και μεγαλύτερης αξιοπιστίας εξαρτήματα με τα οποία μπορούμε να παρακολουθούμε τις περιβαλλοντικές μεταβολές. Σήμερα έχουμε πλέον στη διάθεσή μας μια εκτενή λίστα συνδεδεμένων αντικειμένων όπως συσκευές γεωγραφικού εντοπισμού, bar code scanners, θερμομέτρα, βαρόμετρα, μετρητές υγρασίας, πίεσης, δονήσεων, γυροσκόπια, μαγνητόμετρα, ανιχνευτές κίνησης, κάμερες, μικρόφωνα, επιταχυνσιόμετρα, radar, sonar και lidar. Στο παρελθόν πολλοί από αυτούς τους αισθητήρες αξιοποιούσαν αναλογικές μεθόδους απλής τεχνολογίας όπως για παράδειγμα τα παραδοσιακά θερμομέτρα που περιέχουν υδράργυρο μέσα σε μια γυάλινη σωλήνα και μετράμε με αυτά τη θερμοκρασία ανάλογα με τη συστολή και διαστολή του υδραργύρου με βάση τη στάθμιση που έχουμε κάνει στη σωλήνα. Αντίστοιχα αισθητήρια αναλογικού τύπου χρησιμοποιούνταν και για άλλα μεγέθη όπως βαρόμετρα, αισθητήρια πίεσης και υγρασίας. Όλα αυτά τα αισθητήρια αποδείχθηκαν εξαιρετικά χρήσιμα στο παρελθόν και συνεισέφεραν σημαντικά στην εξέλιξη των επιστημών και της τεχνολογίας. Πλέον η μικροηλεκτρονική παρέχει νέες δυνατότητες να μετράμε ακόμη περισσότερα μεγέθη και με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια [8].

Οι αισθητήρες τοποθετούνται είτε στα αντικείμενα που θέλουμε να παρακολουθήσουμε είτε στο περιβάλλον στο οποίο αυτά βρίσκονται, όπως στους δρόμους, στα κτίρια, στο έδαφος, στα φυτά ή στους ωκεανούς. Η σύνδεση των αισθητήρων μπορεί να γίνεται είτε ενσύρματα είτε ασύρματα, δημιουργώντας ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (ΑΔΑ), στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ως Wireless Sensor Network (WSN), το οποίο θεωρείται μία ουσιώδης τεχνολογία για την υλοποίηση εφαρμογών του ΔτΑ. Το ΑΔΑ έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως επαρκή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, ικανοποιητική χρονική απόκριση, ευελιξία, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, μικρότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης. Το ΑΔΑ μπορεί να αποτελέσει μια εξαιρετική λύση για εφαρμογές παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα [11].

Όταν εκατοντάδες ή ακόμη και χιλιάδες αισθητήρια είναι συνδεδεμένα, παρέχεται η δυνατότητα να συλλέγονται δεδομένα πολύ υψηλής ανάλυσης και να εντοπίζονται συσχετίσεις και μοτίβα με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια. Μέσα σε μια πόλη για παράδειγμα μπορεί να δημιουργηθεί ένα σύστημα φωτεινών σηματοδοτών το οποίο θα βελτιστοποιεί τη ροή όλων των δρόμων. Τα δεδομένα που συλλέγονται από το φυσικό περιβάλλον μπορούν να ενισχύσουν τη δημόσια ασφάλεια. Με συνδεδεμένες σιδηροδρομικές γραμμές, γέφυρες, τούνελ και αυτοκινητόδρομους μπορούμε να εντοπίζουμε τότε σε μια κατασκευή εμφανίζεται ο κίνδυνος κάποιας βλάβης ή αστοχίας. Αυτό βοηθάει πολύ στον περιορισμό των κινδύνων αλλά και του κόστους συντήρησης και επισκευής [8].

### 1.2.1.3 Τα κοινωνικά δίκτυα

Στις τεχνολογίες του ΔτΑ τα δεδομένα δεν συλλέγονται αποκλειστικά από αισθητήρια (hard sensing) αλλά και από τα κοινωνικά δίκτυα (soft sensing). Η χρήση των αισθητήρων βοηθάει στο «τί» συμβαίνει αλλά όχι στο «γιατί» ή στο «πώς» συμβαίνει [12]. Οι σημερινές κοινωνίες μοιάζουν με ζωντανούς οργανισμούς οι οποίοι αναπτύσσονται και αλλάζουν με δυναμικό τρόπο με βάση τις ενέργειες των μελών τους, κάτι το οποίο αποτυπώνεται στα κοινωνικά δίκτυα ή στα κοινωνικά μέσα. Ένα κοινωνικό δίκτυο μπορεί να οριστεί ως ένα δίκτυο μεταξύ οντοτήτων ή αλλιώς κόμβων τα οποία συνδέονται μεταξύ σχέσεων ή αλλιώς ακμών, οι οποίες αναπαριστούν τις σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ τους. Τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή χάρις τη δυνατότητα που δίνουν στους ανθρώπους να συνδέονται, να επικοινωνούν, να αλληλεπιδρούν και να διαμοιράζονται τις απόψεις και τις αντιλήψεις τους. Έτσι, τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης μπορούν να αποτελέσουν μία πηγή άντλησης πληροφορίας σχετικά με κάποιον τόπο, σε πραγματικό χρόνο. Η Ανάλυση Κοινωνικών Δικτύων (Social Media Analysis - SMA) μπορεί να αναδείξει πληροφορία για ότι συμβαίνει στην πόλη όπως αυτό αναφέρεται στις αναρτήσεις των ανθρώπων που κινούνται σε αυτήν.

### 1.2.1.4 Η υπολογιστική νέφος

Η υπολογιστική νέφος είναι ένα σύνολο τεχνολογιών το οποίο βασίζεται στον διαμοιρασμό υπολογιστικών πόρων, όπως εξυπηρετητές, μονάδες αποθήκευσης, εύρος ζώνης και λογισμικό με σκοπό την βελτιωμένη ικανοποίηση των υπολογιστικών αναγκών [9]. Η λέξη «Νέφος» χρησιμοποιείται ως μια μεταφορά για την έννοια του Διαδικτύου και ο όρος «υπολογιστική νέφος» περιγράφει την ενσωμάτωση των συνδεδεμένων υπολογιστικών πόρων. Ο Nayak [13] ορίζει την υπολογιστική νέφος ως «μία κεντροποιημένη αποθήκη ενός πολύ μεγάλου αριθμού απομακρυσμένων εξυπηρετητών οι οποίοι διαθέτουν δικτυακή σύνδεση και επιτρέπουν την εξ αποστάσεως προσπέλαση σε υπολογιστικές υπηρεσίες και πόρους. Παραθέτει επίσης τα πέντε βασικά χαρακτηριστικά στα οποία βασίζεται η υπολογιστική νέφος:

- εξατομικευμένες υπηρεσίες κατ' απαίτηση
- προσπέλαση δικτύων ευρείας ζώνης

- συγκέντρωση πόρων
- ευελιξία και άμεση κλιμάκωση και
- καταμετρημένες υπηρεσίες.

Η υπολογιστική νέφος και οι τεχνικές που βασίζονται στο ΔτΑ αξιοποιούν τα ασύρματα δίκτυα με σκοπό την αποθήκευση και την πρόσβαση σε δεδομένα οποτεδήποτε και οπουδήποτε. Στο Νέφος, οι χρήστες μπορούν να βρουν το σύνολο των απαιτούμενων συσκευών υλικού, συνδέσεων δικτύου, αποθηκευτικών χώρων, υπηρεσιών δεδομένων και διεπαφών εφαρμογών που είναι εύκολα προσβάσιμες μέσω του Διαδικτύου. Καθώς η υπολογιστική νέφος αποτελεί ένα σημαντικό δομικό στοιχείο του ΔτΑ υπηρεσίες όπως ο έλεγχος ταυτότητας χρήστη, ο προγραμματισμός εργασιών, οι υπηρεσίες Διαδικτύου αποτελούν επίκαιρα ερευνητικά θέματα και ανοιχτά ζητήματα που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης [14]. Από το Νέφος, οι πληροφορίες είναι προσπελάσιμες μέσω διαφόρων διεπαφών χρήστη, όπως από έναν φυλλομετρητή παγκόσμιου ιστού (web browser) ή εφαρμογές για κινητές συσκευές, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Το Διαδίκτυο βρίσκεται στο επίκεντρο αυτού του μετασχηματισμού, παίζοντας το ρόλο του στην αποτελεσματική, αξιόπιστη και ταχεία επικοινωνία δεδομένων από τις συσκευές στο υπολογιστικό νέφος και αντίστροφα [15]. Η υπολογιστική νέφος προσφέρει τρία διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών για την εξυπηρέτηση των χρηστών ανάλογα με το επίπεδο δικαιωμάτων πρόσβασης στους πόρους του συστήματος από τους χρήστες. Αυτά είναι [13]:

- Λογισμικό ως υπηρεσία (Software as a Service - SaaS)
- Πλατφόρμα ως υπηρεσία (Platform as a Service - PaaS)
- Υποδομή ως υπηρεσία (Infrastructure as a Service - IaaS)

Στις ημέρες μας, πολλές συσκευές και υπηρεσίες του ΔτΑ ενδέχεται να συνδέονται και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους σε ένα κτίριο ή σε μια ευρύτερη περιοχή ανά πάσα στιγμή. Αυτό δημιουργεί αμέτρητες, απρόβλεπτες απαιτήσεις για τις διαθέσιμες υπηρεσίες και υπολογιστικούς πόρους μέσω του Νέφους. Επιπλέον, αυξάνεται δραματικά η απαιτούμενη ποιότητα των υπηρεσιών. Εκτός από την ετερογένεια των πόρων, η επεκτασιμότητα και όγκος των δεδομένων που αντλούνται από το περιβάλλον κάνουν τη διαχείριση των πόρων μια πολύ απαιτητική εργασία. Ως εκ τούτου, η ενσωμάτωση του υπολογιστικού νέφους και του ΔτΑ δεν είναι εύκολη υπόθεση και μπορεί να είναι δύσκολο να δημιουργηθούν, να διανεμηθούν και να διατηρηθούν διάφορες εφαρμογές, ενώ ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών με διατηρημένες απαιτήσεις ποιότητας των υπηρεσιών [14].

Η υπολογιστική νέφος είναι ένα κρίσιμο δομικό στοιχείο του ΔτΑ, όμως αφενός ο μεγάλος αριθμός των παραγόμενων δεδομένων και αφετέρου οι περιορισμένες δυνατότητες δικτύωσης δημιουργεί έναν ιδιαίτερα αυξημένο φόρτο στα κανάλια επικοινωνίας δεδομένων. Αυτό δημιουργεί καθυστερήσεις στη μετάδοση των δεδομένων και συνεπώς στη λήψη πληροφορημένων αποφάσεων κάτι που σε πολλές εφαρμογές υπάρχει απαίτηση να γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Το πρόβλημα αυτό έρχεται να αντιμετωπίσει η αρχιτεκτονική της υπολογιστικής ομίχλης (fog computing) σύμφωνα με την οποία ένα σημαντικό μέρος των υπολογιστικών πόρων για την αποθήκευση, διαχείριση και έλεγχο των δεδομένων δεν γίνεται στο νέφος αλλά κοντά ή εντός της τοπικής συσκευής [16]. Αυτό απαιτεί την εγκατάσταση ακριβότερων υπολογιστικών συσκευών στα φυσικά αντικείμενα, όμως βοηθάει στην αποσυμφόρηση των δικτύων από τον υπερβολικά μεγάλο όγκο ροής δεδομένων.

### 1.2.2 Εφαρμογές του ΔτΑ

Οι δυνατότητες που προσφέρουν οι τεχνολογίες του ΔτΑ επιτρέπουν την ανάπτυξη ενός μεγάλου εύρους εφαρμογών, από τις οποίες μόνο ένα μικρό μέρος είναι ήδη διαθέσιμο στην κοινωνία μας. Τομείς στους οποίους βρίσκουν εφαρμογή οι τεχνολογίες του ΔτΑ είναι η υγεία, η παιδεία, η διακυβέρνηση, η ασφάλεια, η βιομηχανία, η γεωργία, η κτηνοτροφία, το περιβάλλον, η κινητικότητα, ο τουρισμός, η

εφοδιαστική αλυσίδα, για να αναφέρουμε μόνο μερικούς από αυτούς [17]. Όλες αυτές οι εφαρμογές συνδέονται με εμάς με τον ένα ή τον άλλο τρόπο. Η χρήση αυτών των εφαρμογών και τα οφέλη τους έχουν σημαντικό ρόλο στη ποιότητα και στον τρόπο ζωής μας και πλέον υπάρχει τεράστια εξάρτηση από την ύπαρξή τους. Οι Khanna & Kaur [10] θεωρούν ότι τα τελευταία χρόνια, η ύπαρξη και η χρηστικότητα τους έχουν αποκτήσει ύψιστη σημασία για εμάς και ότι ίσως δεν είναι λάθος να δηλώνουμε ότι το μέλλον του Διαδικτύου βασίζεται καθαρά στην ιδέα και το όραμα του ΔτΑ, το οποίο πρακτικά μας οδηγεί στο μέλλον. Στο Σχήμα 1.5 συνοψίζονται μια σειρά από περιπτώσεις χρήσης. Το να χρησιμοποιήσουμε σε αυτούς τους τομείς αντικείμενα τα οποία διαθέτουν αυτοματισμούς δεν είναι κάτι καινούργιο, αλλά η διασύνδεση με το Διαδίκτυο αυξάνει κατά πολύ τις δυνατότητες λήψης πληροφορημένων αποφάσεων με την αξιοποίηση τεχνολογιών όπως η υπολογιστική νέφος, η εξόρυξη δεδομένων και η μηχανική μάθηση.



Σχήμα 1.5: Εφαρμογές του ΔτΑ

### 1.3 Η ποιότητα του αέρα και ο εξαερισμός των κλειστών χώρων

Η ποιότητα του αέρα θεωρείται ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την καλή υγεία του ανθρώπου καθώς, όπως σημειώνουν οι Black & White [18] η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην νοητική ανάπτυξη των παιδιών και των εφήβων και άλλες ασθένειες, όπως καρδιαγγειακές παθήσεις και αρρυθμίες έως και καρκίνο του πνεύμονα. Επίσης μπορεί να υπάρξουν σοβαρές επιπτώσεις όσον αφορά στις μεταδοτικές αναπνευστικές ασθένειες τις αλλεργίες και το άσθμα και τα οξεία μη προσδιοριζόμενα συμπτώματα υγείας που συχνά ονομάζονται συμπτώματα του «συνδρόμου ασθενούς κτιρίου» [19]. Ο Khazaii [20] θεωρεί ότι η ποιότητα ζωής και η παραγωγικότητα των ανθρώπων σχετίζεται με την ποιότητα του αέρα των κτιρίων όπου διαβιούν και εργάζονται και σημειώνει ότι η διαρκής παροχή φρέσκου αέρα στο χώρο αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στην ποιότητα των συνθηκών διαβίωσης.

Έχοντας ως στόχο σχολικά κτίρια τα οποία θα διαθέτουν καλής ποιότητας εσωτερική ατμόσφαιρα θα πρέπει οι σχεδιαστές να συμμορφώνονται με συγκεκριμένες προδιαγραφές καθώς αξιολόγηση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος σε κατοικίες παρουσιάζει μια σειρά τεχνικών προκλήσεων [21]. Οι προδιαγραφές αυτές απαιτούν αρκετή ποσότητα φρέσκου αέρα ως συνάρτηση του αριθμού των μαθητών σε μία αίθουσα και των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών του χώρου. Όπως έχει διαπιστωθεί ένα σύστημα Θέρμανσης – Εξαερισμού και Κλιματισμού (ΘΕΚ) - στην διεθνή βιβλιογραφία συναντάμε τον όρο ως Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) [22] - δεν θα πρέπει μόνο να είναι ικανός να παρέχει την απαιτούμενη ψύξη, ύγρανση, αφύγρανση και θέρμανση με σκοπό τη δημιουργία ενός λειτουργικού και άνετου περιβάλλοντος για τους ενοίκους του κτιρίου, αλλά θα πρέπει επίσης να είναι καθαρός και υγιής και υψηλής ποιότητας για την προστασία των μαθητών από πιθανά επικίνδυνα για την υγεία ζητήματα που δημιουργούνται από την κακή ποιότητα του αέρα.

Επίσης η διατήρηση της υγρασίας του κτιρίου σε αποδεκτά επίπεδα αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα για την άνεση και την υγεία των μαθητών αλλά και για τη λειτουργικότητα του σχολικού κτιρίου. Οποιαδήποτε πρόσθετη υγρασία πέρα από τα συνιστώμενα επίπεδα, είναι ανεπιθύμητη. Η ανεπιθύμητη υγρασία στο εσωτερικό του κτιρίου μπορεί να είναι αποτέλεσμα της διείσδυσης υγρασίας μέσω του κελύφους του κτιρίου, της συμπύκνωσης υδρατμών πάνω από ψυχρές επιφάνειες του εσωτερικού κτιρίου, του ακατάλληλου σχεδιασμού σχέσης εσωτερικής με εξωτερική πίεση του κτιρίου κ.λπ. [21].

Ένα κρίσιμο μέτρο για την ποιότητα του αέρα είναι η συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων (particulate matter) με διάμετρο μικρότερη από 2.5 μικρόμετρα, ( $\mu\text{m}$ ) γνωστό και ως  $\text{PM}_{2.5}$  [23]. Η συγκέντρωση  $\text{PM}_{2.5}$  θεωρείται ένα αξιόπιστο μέτρο της ποιότητας του αέρα του εσωτερικού χώρου ακολουθώντας μια αντιστοιχία τιμών όπως εμφανίζονται στον Πίνακα 1.1 [24]. Σωματίδια  $\text{PM}_{2.5}$  μπορεί να είναι σωματίδια από καπνό τσιγάρου, κεριού ή αναθυμιάσεις που προέρχονται από το μαγείρεμα. Τα υψηλά επίπεδα έκθεσης σε  $\text{PM}_{2.5}$  τείνουν να προκαλούν καρδιαγγειακές νόσους και θνησιμότητα μέσω διαφόρων ασθενειών, όπως η πνευμονική και συστηματική φλεγμονή, η επιταχυνόμενη αθηροσκλήρωση και η αλλοίωση της καρδιακής αυτόνομης λειτουργίας. Σε όλο τον κόσμο, η ρύπανση των εξωτερικών χώρων με μεγάλη συγκέντρωση  $\text{PM}_{2.5}$  ευθύνεται για 6,4 εκατομμύρια θανάτους ετησίως, ενώ στους εσωτερικούς χώρους, έχει διαπιστωθεί ότι μεταφέρουν αλλεργιογόνες ουσίες και ενδοτοξίνες και μπορεί να επιδεινώσουν τα συμπτώματα του άσθματος [25].

Οι Zafar και συν. [15] θεωρούν ότι η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα είναι μια σημαντική εφαρμογή του ΔτΑ η οποία περιλαμβάνει την παρακολούθηση διαφόρων μετρικών του περιβάλλοντος και την αναφορά αυτών των δεδομένων για αποτελεσματικά βραχυπρόθεσμα μέτρα, όπως ο απομακρυσμένος έλεγχος των συσκευών θέρμανσης ή ψύξης και μακροπρόθεσμες στατιστικές αναλύσεις και εφαρμογές εξόρυξης δεδομένων.

Πίνακας 1.1: Κριτήριο ποιότητας του αέρα ανάλογα με τη συγκέντρωση  $\text{PM}_{2.5}$  [24]

| Συγκέντρωση $\text{PM}_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Επίπεδο ποιότητας του αέρα | Αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα |
|--|----------------------------|-----------------------------------|
| 0-35   | I                          | Άριστη                            |
| 36-75  | II                         | Μέση                              |
| 76-115   | III                        | Ελαφρά ρύπανση                    |
| 116-150  | IV                         | Μέση ρύπανση                      |
| 151-250  | V                          | Βαριά ρύπανση                     |

|         |    |                |
|---------|----|----------------|
| 251-500 | VI | Σοβαρή ρύπανση |
|---------|----|----------------|

#### 1.4 Σχετική βιβλιογραφία

Οι Carre & Williamson [21] ανέπτυξαν ένα πλαίσιο αξιολόγησης της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας ένα σύστημα συλλογής δεδομένων χαμηλού κόστους που βασίζεται στην πλατφόρμα μικροελεγκτή Arduino. Στην εργασία τους περιγράφουν τον σχεδιασμό που αναπτύχθηκε, παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των πρώιμων δοκιμών που διεξήγαγαν και διατυπώνουν τα προκαταρκτικά συμπεράσματα της μελέτης τους. Διαπιστώνουν ότι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός χαμηλού κόστους συστήματος ελέγχου της ποιότητας του αέρα μπορεί να μετρήσει ένα ευρύ φάσμα εσωτερικών περιβαλλοντικών παραμέτρων. Χρησιμοποίησαν άμεσα διαθέσιμα, χαμηλού κόστους εξαρτήματα τα οποία τοποθέτησαν σε μία συμπαγή, αυτόνομη συσκευασία.

Οι Karami και συν. [23] δημιούργησαν μια φορητή εργαλειοθήκη συνεχών μετρήσεων η οποία παρέχει μια στιβαρή, εύκολα επεκτάσιμη και χαμηλού κόστους πρόταση για την παρακολούθηση και την εκτίμηση της ποιότητας του περιβάλλοντος εσωτερικού χώρου. Σε αυτήν την εργαλειοθήκη περιλαμβάνονται αισθητήρες θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, φωτισμού, CO<sub>2</sub>, πτητικών οργανικών ενώσεων, PM<sub>2.5</sub> και πληρότητας χώρου με σκοπό τη μέτρηση της απόδοσης της ποιότητας του περιβάλλοντος εσωτερικού χώρου. Για την κατασκευή της εργαλειοθήκης χρησιμοποίησαν πλακέτες Arduino Uno και επάνω σε αυτές συνδέθηκαν οι αισθητήρες για την άντληση των δεδομένων. Για την δικτύωση της πλακέτας χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο επικοινωνίας ZigBee καθώς συνδέθηκε μια συσκευή XBee για κάθε πλακέτα Arduino και ένας δέκτης XBee ο οποίος συνδέθηκε σε έναν σταθερό υπολογιστή. Εναλλακτικά για ακόμη περισσότερη οικονομία και ευελιξία προτείνουν την χρήση ενός φθηνού υπολογιστή μίας πλακέτας, όπως το Raspberry Pi. Για την διαχείριση και ανάλυση των δεδομένων που συνέλλεξαν χρησιμοποίησαν την πλατφόρμα λογισμικού ανοιχτού κώδικα VOLTTRON [26]. Στη συνέχεια διεξήγαγαν πειράματα χρησιμοποιώντας την εργαλειοθήκη που σχεδίασαν για την αξιολόγηση της απόδοσης της ποιότητας του περιβάλλοντος εσωτερικού χώρου σε ένα ανοιχτό εργαστήριο υπολογιστών σε ένα εμπορικό κτίριο. Με βάση τα δεδομένα που συνέλλεξαν ανέλυσαν τη θερμοκρασία, την ποιότητα του αέρα και την απόδοση φωτισμού. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι με σχετικά μικρό κόστος μπορεί να κατασκευαστεί έδειξε μια αξιόπιστη και στιβαρή εργαλειοθήκη για τη συνεχή παρακολούθηση της ποιότητας του περιβάλλοντος εσωτερικού χώρου.

Οι Li και συν. [25], σχεδίασαν ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων σωματιδίων χαμηλού κόστους που μπορούν να αναπτυχθούν σε εσωτερικούς χώρους. Διαπίστωσαν ότι σε αντίστοιχα συστήματα με αισθητήρες χαμηλού κόστους καταγράφονται περιορισμοί όσον αφορά την ευαισθησία και επίσης κακή ποιότητας σήματος. Για την αντιμετώπιση των περιορισμών αυτών ανέπτυξαν ένα σύστημα που διαθέτει ένα βαθυπερατό φίλτρο το οποίο σε συνδυασμό με ένα παράθυρο χρονοκαθυστέρησης είδαν ότι μπορεί να εξασφαλίσει βελτίωση της ποιότητας του σήματος. Οι δοκιμές του συστήματος έγιναν σε έναν χώρο με υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης PM<sub>2.5</sub>, όπως είναι ένα ξυλουργικό εργαστήριο και εκεί διαπίστωσαν την υψηλή απόδοση του συστήματος χάρη στη βελτιωμένη ευαισθησία του. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από το δικτυωμένο σύστημα χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή χωροχρονικών κατανομών συγκέντρωσης PM με τη μέθοδο Kriging και ένα μοντέλο Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ) για τον εντοπισμό μοτίβων κατά τη διαδικασία παραγωγής σωματιδίων και αερισμού του χώρου.

Οι Zafar και συν. [15] παρουσίασαν την εφαρμογή και τα αποτελέσματα ενός συστήματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης που χρησιμοποιεί αισθητήρες για τη θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος χώρου. Το σύστημα που ανέπτυξαν συλλέγει δεδομένα τα οποία μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για την ενεργοποίηση βραχυπρόθεσμων ενεργειών όπως ο απομακρυσμένος έλεγχος συσκευών θέρμανσης ή ψύξης ή μακροπρόθεσμα μετά από στατιστική ανάλυση. Τα δεδομένα ανίχνευσης μεταφορτώνονται σε χώρο αποθήκευσης στο υπολογιστικό νέφος και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων στους τελικούς χρήστες γίνεται με μια εφαρμογή έξυπνου τηλεφώνου με λειτουργικό Android η οποία έχει πρόσβαση στο νέφος μέσω υπηρεσίας Web REST API. Το υλικό του συστήματος βασίζεται στην πλακέτα Arduino UNO και επίσης διαθέτει έναν αισθητήρα DHT11 για μέτρηση θερμοκρασίας και υγρασίας και μία μονάδα ESP8266, η οποία μεταδίδει δεδομένα μέσω πρωτοκόλλου Wi-Fi για να ανοίξει την υπηρεσία IoT API ThingSpeak όπου αναλύονται και αποθηκεύονται.

Οι Gillooly και συν. [27] ανέπτυξαν μια συγκριτικά χαμηλού κόστους, φορητή πλατφόρμα δειγματοληψίας του αέρα που υπάρχει στο σπίτι και ένα πλαίσιο ανάπτυξης και συντήρησης του συστήματος. Θεωρούν ότι το σύστημα που ανέπτυξαν πέτυχε τον στόχο τους να χαρακτηρίσουν ορισμένους βασικούς ρύπους εσωτερικού χώρου με υψηλή ευαισθησία και ικανοποιητική ακρίβεια. Στη μελέτη τους περιγράφουν τη διαδικασία επιλογής, επικύρωσης, βαθμονόμησης και διατήρησης της πλατφόρμας που ανέπτυξαν η οποία λαμβάνει μετρήσεις από το περιβάλλον εστιάζοντας σε αισθητήρες μέτρησης PM<sub>2.5</sub>, οξειδίου του αζώτου (NO) και διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>). Συμπεραίνουν ότι οι αισθητήρες χαμηλού κόστους θα πρέπει να αναπτύσσονται με προσοχή, δεδομένου του οικονομικού κόστους και του κόστους υπολογιστικών πόρων που υπερβαίνει κατά πολύ το κόστος των αισθητήρων και προτείνουν ανάλογες εφαρμογές να γίνονται με συμμετοχή της κοινότητας έτσι ώστε να μειώνεται το κόστος και επιτυγχάνονται ευρύτεροι στόχοι.

Οι Choudhari και συν. [11] προτείνουν μια λύση για την παρακολούθηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης και θορύβου σε βιομηχανικό περιβάλλον με τη χρήση ασύρματου ενσωματωμένου υπολογιστικού συστήματος. Το σύστημα υποστηρίζει την παρακολούθηση της διακύμανσης παραμέτρων όπως τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και υγρασίας. Για την απαίτηση συνεχούς παρακολούθησης, ελέγχου και ανάλυσης συμπεριφοράς του συστήματος, το μοντέλο που παρουσιάζουν έχει την ιδιότητα να είναι προσαρμόσιμο και να μπορεί να συνεργαστεί με οποιοδήποτε περιβάλλον υπολογιστικής υποδομής νέφους. Για την αξιολόγηση του μοντέλου υλοποίησαν ένα πρωτότυπο, που αποτελείται από πλακέτα Arduino Nano, συσκευές αισθητήρων για τρεις παραμέτρους όπως υγρασία, θερμοκρασία και επίπεδα σκόνης.

Οι Saini, Dutta & Marques διεξήγαγαν μία συστηματική επισκόπηση το 2020 [28] με σκοπό την ποσοτικοποιημένη μελέτη της τρέχουσας τεχνολογίας στα συστήματα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους που βασίζονται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Η κύρια συμβολή της εργασίας τους είναι να παρουσιάσει τη σύνθεση της υπάρχουσας έρευνας, τα κενά γνώσης, τις σχετικές προκλήσεις και τις μελλοντικές συστάσεις. Η μελέτη τους επισημαίνει πτυχές σχεδιασμού για συστήματα παρακολούθησης, συμπεριλαμβανομένων των τύπων αισθητήρων, των μικροελεγκτών, της αρχιτεκτονικής και της συνδεσιμότητας μαζί με ζητήματα υλοποίησης 40 μελετών που δημοσιεύθηκαν κατά τη διάρκεια της πενταετίας 2015 – 2020. Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι το 70%, το 65% και το 27,5% των μελετών επικεντρώθηκαν στην παρακολούθηση των παραμέτρων θερμικής άνεσης, των επιπέδων CO<sub>2</sub> και PM, αντίστοιχα. Επιπλέον, το 37,5% και το 35% των συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις εργασίες που αναλύθηκαν βασίζονται στους ελεγκτές Arduino ή σε υπολογιστές μίας πλακέτας Raspberry Pi αντίστοιχα. Διαπίστωσαν επίσης ότι μόνο το 22,5% των μελετών ακολούθησε την προσέγγιση βαθμονόμησης πριν από την εφαρμογή του συστήματος και ότι το 72,5% των συστημάτων που μελετήθηκαν έχουν ενεργειακή απόδοση σύμφωνα με τους ισχυρισμούς των κατασκευαστών τους.

Μετά την ολοκλήρωση της συστηματικής επισκόπησης που έκαναν οι Saini, Dutta & Marques προχώρησαν το 2021 στην έκδοση ενός βιβλίου [29] που είχε ως αντικείμενο τις εφαρμογές του ΔτΑ για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα στους εσωτερικούς χώρους. Σκοπός του βιβλίου αυτού είναι ο συνδυασμός των δύο σχετικών κλάδων: της επιστήμης των υπολογιστών και της ποιότητας του αέρα. Οι συγγραφείς θεωρούν ως βασική καινοτομία του βιβλίου τους ότι παρουσιάζει τις κορυφαίες τεχνολογίες, εφαρμογές, αλγόριθμους, συστήματα και μελλοντικό πεδίο εφαρμογής του ΔτΑ λαμβάνοντας υπόψη αυτόν τον διεπιστημονικό τομέα που ενσωματώνει τα δεδομένα που συλλέγονται από έξυπνους αισθητήρες που θα υποβληθούν σε επεξεργασία με χρήση εργαλείων ανάλυσης δεδομένων για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους. Παρουσιάζουν επίσης μια σύνθεση των τεχνολογιών του ΔτΑ για την παρακολούθηση της ποιότητας αέρα αξιοποιώντας προβλέψεις που μπορεί να γίνουν από το σύστημα με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης.

### **1.5 Επίλογος**

Οι τεχνολογίες του ΔτΑ έχουν αλλάξει τον τρόπο που ζούμε και λειτουργούμε σε όλες της πτυχές της καθημερινότητάς μας. Μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην επίλυση διάφορων προβλημάτων που παρουσιάζονται στην λειτουργία των σχολικών κτιρίων όπως ο επαρκής και αποδοτικός αερισμός τους καθώς οι κακές συνθήκες της ατμόσφαιρας του χώρου της σχολικής αίθουσας μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στις επιδόσεις και στην υγεία των μαθητών. Γι' αυτό το σκοπό τα τελευταία χρόνια έχει διεξαχθεί εκτενής ερευνητική προσπάθεια για την εξεύρεση λύσεων και προτάσεων για την αντιμετώπιση του ζητήματος, μέρος της οποίας παρουσιάστηκε στο παρόν κεφάλαιο.

## Κεφάλαιο 2ο: Το υλικό της κατασκευής

### 2.1 Εισαγωγή

Οι μικροελεγκτές αποτελούν το μυαλό του σύγχρονου κόσμου, ελέγχοντας τη λειτουργία σχεδόν όλων των ηλεκτρομηχανικών συστημάτων, από το απλό τηλεχειριστήριο της τηλεόρασης έως έναν ανελκυστήρα. Ένας μικροελεγκτής διαθέτει, όπως και ένας προσωπικός υπολογιστής, μονάδα επεξεργασίας, μνήμη και συστήματα εισόδου/εξόδου, όλα τοποθετημένα μέσα σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα. Αντίθετα με τους προσωπικούς υπολογιστές, οι μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται σε πιο απλές εφαρμογές, είναι μικροί σε μέγεθος και είναι φθηνότεροι. Δεν είναι μηχανές γενικής χρήσης, που να μπορούν να τρέξουν το ίδιο άνετα μια εφαρμογή επεξεργασίας κειμένου και ένα παιχνίδι, αλλά είναι ρυθμισμένοι έτσι ώστε να επιτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες, συνεχώς χωρίς διακοπή. Λαμβάνουν μετρήσεις από τους αισθητήρες για φαινόμενα όπως το φως, ο ήχος, η θερμοκρασία, η υγρασία κ.λπ. τις οποίες αναλύουν βάσει κάποιου προ-φορτωμένου κώδικα και στέλνουν οδηγίες στις συσκευές εξόδου ή πληροφορίες σε άλλες υπολογιστικές συσκευές με τις οποίες είναι συνδεδεμένοι.

Οι μονάδες εισόδου ενός μικροελεγκτή της πλατφόρμας Arduino μπορούν να διαβάζουν είτε ψηφιακά είτε αναλογικά σήματα. Αυτό δίνει μια μεγάλη ευελιξία στο χρήστη για το ποιους αισθητήρες θα χρησιμοποιήσει για να μετρά τα διάφορα μεγέθη και φαινόμενα. Αντίστοιχα στις μονάδες εξόδου του Arduino μπορούν να συνδεθούν είτε ψηφιακοί είτε αναλογικοί ενεργοποιητές.

Για την υλοποίηση του project χρειάστηκε να κατασκευαστεί μία μακέτα της οποίας τα υλικά και τα διαγράμματα των κυκλωμάτων περιγράφονται στο παρόν κεφάλαιο. Για την υλοποίηση της μακέτας της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν:

- Μία πλακέτα Arduino Nano
- Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας / υγρασίας DHT22
- Ένας αισθητήρας σκόνης βασισμένος στο GP2Y1010AU0F
- Ένας ανεμιστήρας (fan) 12V DC
- Ένα MOSFET IRF520
- Ένα transistor NPN BC547
- Δύο αντιστάτες 10 kΩ
- Ένας αντιστάτης 4.7 kΩ
- Ένας αντιστάτης 220 Ω
- Μία εξωτερική πηγή τροφοδοσίας τάσης 12V DC

Στην παράγραφο 2.2 παρατίθεται μία σύντομη περιγραφή της πλακέτας Arduino Nano 33 IoT. Στην παράγραφο 2.3 περιγράφονται οι δύο αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή, ο DHT22 και ο GP2Y1010AU0F αντίστοιχα. Στην παράγραφο 2.4 περιγράφεται το κύκλωμα ελέγχου καθώς επίσης και το κύκλωμα ισχύος όπως υλοποιήθηκε για τις ανάγκες κατασκευής της μακέτας.

### 2.2 Η πλακέτα Arduino Nano 33 IoT

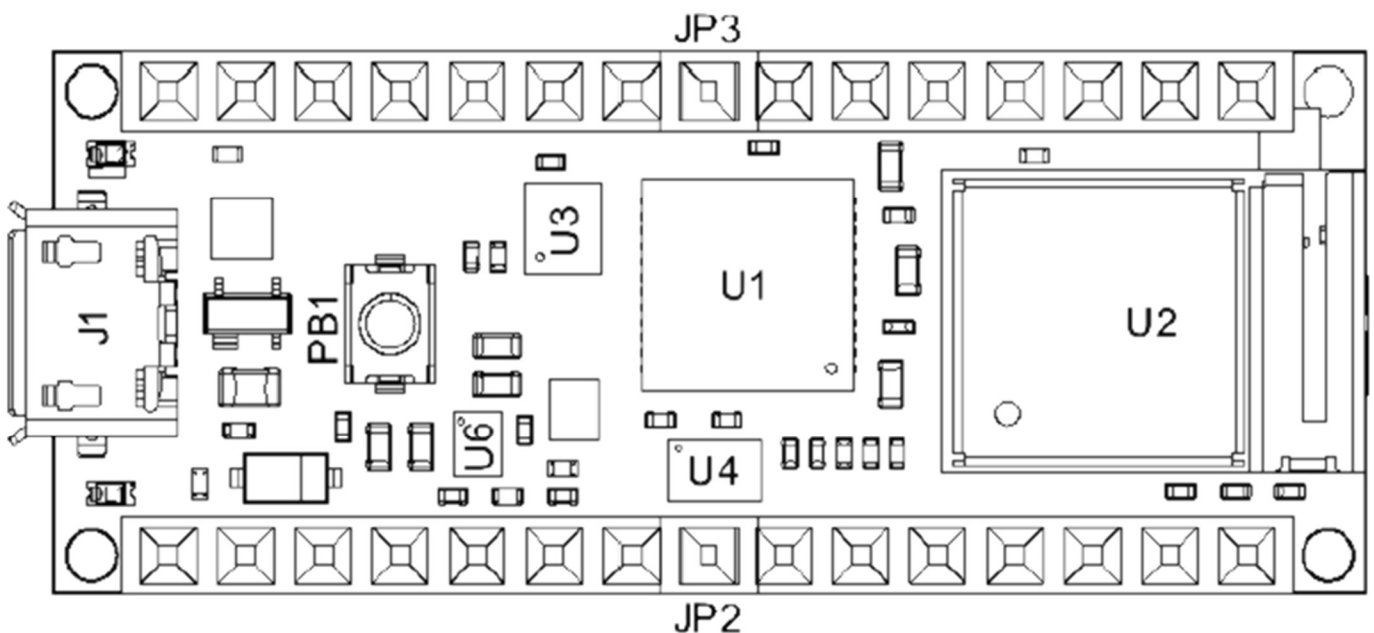
Το βασικό υλικό συστατικό του συστήματος είναι μικροελεγκτής ο οποίος φιλοξενείται σε μία πλακέτα Arduino Nano 33 IoT. Οι Radjou & Prabhu [30] θεωρούν ότι η οικογένεια Arduino η οποία ακολουθεί την φιλοσοφία ανοικτού κώδικα αποτελεί ιδανικό μέσο ανάπτυξης εφαρμογών ΔτΑ εύκολα και χωρίς μεγάλο κόστος. Αναφέρουν ότι το Arduino εφευρέθηκε το 2005 από τον Massimo Banzì, έναν Ιταλό μηχανικό και το περιγράφουν ως ένα μικροσκοπικό μικροελεγκτή μονής πλακέτας που μπορούν να χρησιμοποιήσουν ερασιτέχνες και επαγγελματίες για να κατασκευάσουν συσκευές που αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους χρησιμοποιώντας αισθητήρες και ενεργοποιητές. Αυτά κυμαίνονται από πολύ

απλές κατασκευές όπως θερμοστάτες ή αυτόματα ποτιστικά συστήματα μέχρι και πολύ σοφιστικέ συστήματα που μπορεί να ζωγραφίζουν έργα τέχνης ή να δημιουργούν γλυπτά. Ο σχεδιασμός του υλικού του Arduino είναι ελεύθερα διαθέσιμος σε όποιον θέλει να συναρμολογήσει τη δική του συμβατή πλακέτα, κάτι που έχει δώσει την ευκαιρία σε πολλούς ανεξάρτητους κατασκευαστές να δημιουργήσουν τα δικά τους ανταγωνιστικά προϊόντα με πολύ χαμηλό κόστος ή να δημιουργήσουν προϊόντα τα οποία θα συνεργάζονται με την πλατφόρμα.

Μέχρι σήμερα έχουν παρουσιαστεί διάφορες εκδοχές της πλατφόρμας Arduino, ξεκινώντας από το Uno και στη συνέχεια τα Mega, Mini, Nano, LilyPad και άλλα [31]. Από όλα αυτά το Nano είναι αυτό με τις μικρότερες διαστάσεις, αλλά όχι και τις μικρότερες δυνατότητες. Η εταιρεία παρουσίασε τον Ιούνιο του 2019 τέσσερις διαφορετικές εκδοχές της έκδοσης Nano. Οι εκδοχές αυτές είναι [31]:

- Arduino Nano Every, για «καθημερινές» εφαρμογές και τη χαμηλότερη τιμή
- Arduino Nano 33 IoT, για εφαρμογές του ΔτΑ
- Arduino Nano BLE (Bluetooth Low Energy) το οποίο προσφέρει δυνατότητες σύνδεσης μέσω του πρωτοκόλλου Bluetooth
- Arduino Nano Sense, το οποίο διαθέτει πολλούς ενσωματωμένους αισθητήρες

Η πλακέτα Arduino Nano 33 IoT είναι μια πλακέτα πολύ μικρών διαστάσεων (18 X 45 mm) η οποία βασίζεται στον επεξεργαστή Arm Cortex-M0+ SAMD21G18A της Atmel (πλέον της Microchip), έναν 32-bit επεξεργαστή χαμηλής κατανάλωσης. Λεπτομερή τεχνικά χαρακτηριστικά και block διάγραμμα του επεξεργαστή είναι διαθέσιμα στο [32]. Η πλακέτα επίσης ενσωματώνει δυνατότητες σύνδεσης μέσω των τεχνολογιών Wi-Fi (IEEE 802.11b, IEEE 802.11g και IEEE 802.11n ) και Bluetooth® 4.2 μέσω μιας μονάδας NINA-W102 ένα chipset χαμηλής ισχύος το οποίο λειτουργεί στη συχνότητα των 2.4GHz. Όσον αφορά στο θέμα της ασφάλειας της επικοινωνίας, αυτή επαφίεται στο ολοκληρωμένο κρυπτογράφησης ECC608 της Microchip [33]. Αναλυτικά η τοπολογία των στοιχείων που ενσωματώνονται στην πλακέτα Arduino Nano 33 IoT φαίνεται στο Σχήμα 2.1, ενώ η αντιστοιχία συμβόλων - υλικών στον Πίνακα 2.1 [34].



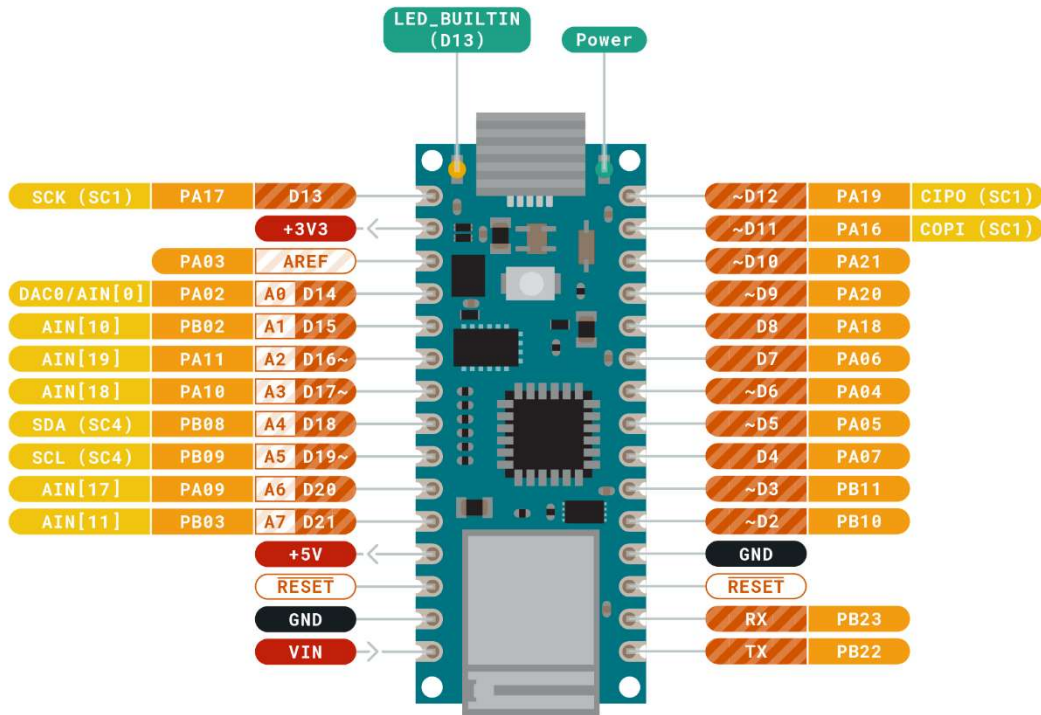
Σχήμα 2.1: Η τοπολογία της πλακέτας Arduino Nano0 33 IoT

Πίνακας 2.1: Τα βασικά συστατικά στοιχεία της πλακέτας Arduino Nano 33 IoT

| Σύμβολο | Περιγραφή στοιχείου                           |
|---------|---|
| U1      | Μικροελεγκτής ATSAMD21G18A                    |
| U2      | Μονάδα NINA-W102-00B Wi-Fi/BLE                |
| U3      | Αισθητήρας LSM6DSOXTR IMU                     |
| U4      | Ολοκληρωμένο κρυπτογράφησης ATECC608A-MAHDA-T |
| J1      | Σύνδεση Micro USB                             |
| PB1     | Μπουτόν επανεκκίνησης IT-1185-160G-GTR        |

Ο επεξεργαστής SAMD21G18A χρονίζεται στη συχνότητα των 48MHz ενώ επίσης διαθέτει 256 KB μνήμης Flash για το firmware και τα προγράμματα και 32 KB SRAM για τα δεδομένα. Η πλακέτα υποστηρίζει διεπαφές τύπου USB, SPI, I2C, I2S και UART. Η τροφοδοσία γίνεται με τάση 5V DC μέσω της θύρας USB ή από τροφοδοτικό ή μπαταρία που δίνει από 4,5 έως 21 V DC. Μια μονάδα DC-DC τύπου MPM3610 είναι υπεύθυνη για την υποβάθμιση της τάσης καθώς τα κυκλώματα της πλακέτας λειτουργούν στα 3,3 V. Σημαντική επίσης λειτουργία που προσφέρεται με την πλακέτα, είναι η Αδρανειακή Μονάδα Μέτρησης (Inertial Measurement Unit – IMU) 6 αξόνων LSM6DSL η οποία ενσωματώνει ένα 3D επιταχυνσιόμετρο και επίσης ένα 3D γυροσκόπιο.

Το διάγραμμα των ακίδων του Arduino Nano 33 IoT φαίνεται στο Σχήμα 2.2 το οποίο διατίθεται από τον κατασκευαστή με άδειες creative commons στον ιστότοπο της εταιρίας [33] ενώ επίσης διατίθεται λεπτομερές φύλλο δεδομένων (datasheet) [34] από την εταιρία. Όντας υλικό ανοιχτού κώδικα, το Arduino είναι φημισμένο για την ευχέρεια με την οποία οι προγραμματιστές το χρησιμοποιούν.



|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  Ground |  Internal Pin |  Digital Pin |  Microcontroller's Port |
|  Power  |  SWD Pin      |  Analog Pin  |  |
|  LED    |  Other Pin    |  Default     |  |

  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

Σχήμα 2.2: Το διάγραμμα ακίδων του Arduino Nano 33 IoT

### 2.3 Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν

Ο πρώτος σταθμός στην πορεία για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής του ΔτΑ είναι η ενσωμάτωση μηχανισμών για την συλλογή δεδομένων από το σύστημα [35]. Η συλλογή αυτή γίνεται με τη χρήση αισθητήρων οι οποίοι ανιχνεύουν και ενημερώνουν για αλλαγές στο περιβάλλον της συσκευής [36]. Οι αλλαγές αυτές μπορεί να αφορούν μεταξύ άλλων τη θερμοκρασία, την πίεση, την υγρασία, την ποσότητα σκόνης, διοξειδίου του άνθρακα και τοξινών, την κίνηση, την ένταση του ήχου και του φωτός, αλλά και το βάρος [37]. Ακόμη, οι αισθητήρες μπορούν να προσδιορίσουν το μέγεθος, τη θέση και την ταχύτητα ενός αντικειμένου. Συχνά βρίσκονται ενσωματωμένοι σε αντικείμενα, όπως είναι οι μηχανές και οι ηλεκτρονικές συσκευές.

Οι αισθητήρες μπορεί να είναι ενσύρματοι ή ασύρματοι, ωστόσο όλοι μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους δημιουργώντας ένα δίκτυο αισθητήρων, το οποίο αποστέλλει τα δεδομένα στο επίπεδο εφαρμογής. Η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και του Διαδικτύου μπορεί να εδραιωθεί με τεχνολογίες όπως

Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, DSL, LAN, LoRaWAN και 5G. Οι ασύρματες τεχνολογίες ελαττώνουν το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης που υφίσταται όταν χρησιμοποιούνται καλώδια, συνεπώς ενισχύουν την ανάπτυξη του ΔτΑ. Οι κόμβοι των αισθητήρων αναφέρουν τα αποτελέσματά τους σε έναν μικρό αριθμό ειδικών κόμβων, τα οποία είναι γνωστά ως data sinks [38].

Σε ένα οικοσύστημα μιας εφαρμογής ΔτΑ, το hard sensing, δηλαδή η εξειδικευμένη χρήση αισθητήρα, είναι το κύριο παράδειγμα εφαρμογής αισθητήρα σε πολλές περιπτώσεις, καθώς μπορεί να προσαρμοστεί για να ικανοποιήσει πολλές ανάγκες εφαρμογών. Από την άλλη, το soft sensing περιλαμβάνει ποικίλα παραδείγματα μη εξειδικευμένων εφαρμογών, όπως τα ομοιομορφικά, τα συμμετοχικά (για παράδειγμα το crowdsensing) και το social sensing, όπου οι κόμβοι των αισθητήρων είναι οι χρήστες. Το soft sensing χρησιμοποιεί τις δυνατότητες σύνδεσης που έχουν τα έξυπνα τηλέφωνα (για παράδειγμα GSM, Bluetooth, Wi-Fi) και ενσωματωμένους αισθητήρες, όπως GPS, κάμερα, μέτρο επιτάχυνσης, γυροσκόπιο και μικρόφωνο [39].

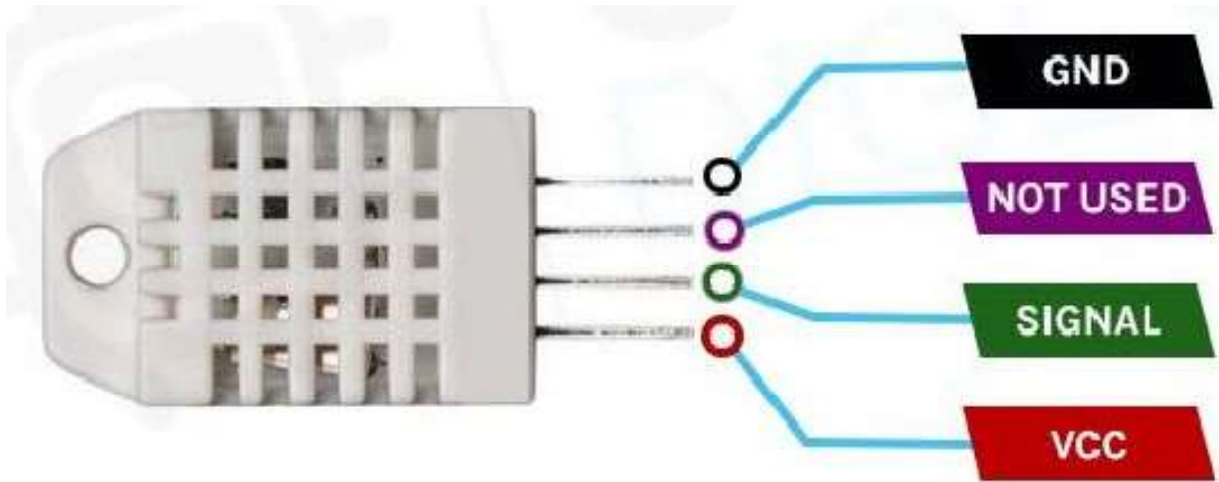
Για της ανάγκες της κατασκευής του συστήματος παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα και εξαερισμού μιας σχολικής τάξης χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρες:

- Ένας ψηφιακός αισθητήρας DHT22 ο οποίος επιστρέφει δεδομένα που αφορούν μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας. Τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα αυτού αναλύονται στην παράγραφο 2.3.1
- Ένας αναλογικός αισθητήρας σκόνης που βασίζεται στο στοιχείο GP2Y1010AU0F της Sharp. Η λειτουργία και τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα αυτού περιγράφονται στην παράγραφο 2.3.2.

### 2.3.1 Αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας DHT22

Το DHT22 είναι ένας αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας χαμηλού κόστους. Περιέχει ένα θερμίστορ και έναν χωρητικό αισθητήρα υγρασίας λαμβάνοντας μετρήσεις από τον περιβάλλοντα αέρα. Στην έξοδό του (στο signal pin) επιστρέφει ψηφιακό σήμα με εύρος 0-100% και ακρίβεια  $\pm 2\%$  για την υγρασία και εύρος  $40^{\circ}$ - $80^{\circ}$  C και ακρίβεια  $\pm 0.5^{\circ}$  C για την θερμοκρασία. Το DHT22 ανήκει στην οικογένεια αισθητήρων DHTxx όπως και το DHT11 το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο [15] με πολύ καλά αποτελέσματα και έχει χαμηλότερο κόστος, όμως έχει μικρότερη ακρίβεια.

Το DHT22 διαθέτει τέσσερις ακίδες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3, από τις οποίες οι τρεις χρησιμοποιούνται για τη σύνδεσή του. Η πρώτη ακίδα χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του αισθητήρα και τέταρτη συνδέεται στη γείωση. Τα δεδομένα εμφανίζονται στη δεύτερη ακίδα, ενώ η τρίτη ακίδα είναι ανενεργή. Σύμφωνα με το φύλλο δεδομένων [40] του υλικού πρέπει να τοποθετείται ένας αντιστάτης έως 10 K $\Omega$  μεταξύ της τροφοδοσίας και της ακίδας δεδομένων. Στο κύκλωμα της κατασκευής έχει τοποθετηθεί αντιστάτης 4,7 K $\Omega$ . Για την επικοινωνία και έλεγχο του αισθητήρα DHT22 με το Arduino απαιτείται η εγκατάσταση ειδικής βιβλιοθήκης. Η βιβλιοθήκη αυτή ονομάζεται DHT22, αλλά δεν είναι η μοναδική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθώς υπάρχουν πολλές εναλλακτικές λύσεις που διατίθενται ελεύθερα στο Διαδίκτυο. Η βιβλιοθήκη αυτή πρέπει να εγκατασταθεί στο IDE του Arduino καθώς η έξοδος data του αισθητήρα δίνει ένα ψηφιακό σήμα το οποίο περιέχει την πληροφορία τόσο της θερμοκρασίας όσο και της υγρασίας. Ο τρόπος που αναλύεται το σήμα δεν χρειάζεται να αναλυθεί από τον χρήστη καθώς από την βιβλιοθήκη παρέχονται έτοιμες συναρτήσεις για την εξαγωγή των δεδομένων, όπως περιγράφεται και στο κεφάλαιο 3.



Σχήμα 2.3: Το διάγραμμα ακίδων του αισθητήρα DHT22

### 2.3.2 Αισθητήρας σκόνης

Για την μέτρηση των μικροσωματιδίων της ατμόσφαιρας της σχολικής τάξης χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας σκόνης (dust sensor) της εταιρίας Waveshare [24]. Ο αισθητήρας αυτός ενσωματώνει το στοιχείο GP2Y1010AU0F της Sharp και έχει τη δυνατότητα ανίχνευσης σωματιδίων μεγαλύτερης διαμέτρου από 0.8μm, όπως για παράδειγμα τα σωματίδια καπνού. Ο αισθητήρας σκόνης GP2Y1010AU0F είναι πολύ δημοφιλής σε τέτοιου είδους εφαρμογές καθώς έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές αντίστοιχες μελέτες [23], [25]. Έχει ως κύρια χαρακτηριστικά την χαμηλή κατανάλωση, την αναλογική έξοδο, γραμμικότητα στην έξοδο σε σχέση με τη συγκέντρωση σωματιδίων και επίσης διαθέτει ενσωματωμένο κύκλωμα ρύθμισης της τάσης τροφοδοσίας έτσι ώστε να υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος τάσεων τροφοδοσίας (2.5V~5.5V) δίνοντας μεγάλη ευελιξία στον χρήστη για σύνδεση με πολλές διαφορετικές συσκευές και εφαρμογές όπως παρακολούθηση ποιότητας της ατμόσφαιρας, κλιματισμός και ανίχνευση σωματιδίων PM<sub>2.5</sub>. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα GP2Y1010AU0F συνοψίζονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα σκόνης

| Χαρακτηριστικό          | Τιμή                         |
|-------------------------|------------------------------|
| Ευσαιθησία              | 0.5V/(100μg/m <sup>3</sup> ) |
| Εύρος μέτρησης          | 500μg/m <sup>3</sup>         |
| Τροφοδοσία              | 2.5V~5.5V                    |
| Ρεύμα λειτουργίας       | 20mA(max)                    |
| Θερμοκρασία λειτουργίας | -10°C~65°C                   |
| Θερμοκρασία αποθήκευσης | -20°C~80°C                   |
| Διάρκεια ζωής           | 5 years                      |
| Διαστάσεις              | 63.2mm×41.3mm×21.1mm         |
| Μέγεθος θυρίδα αέρα     | 9.0mm                        |

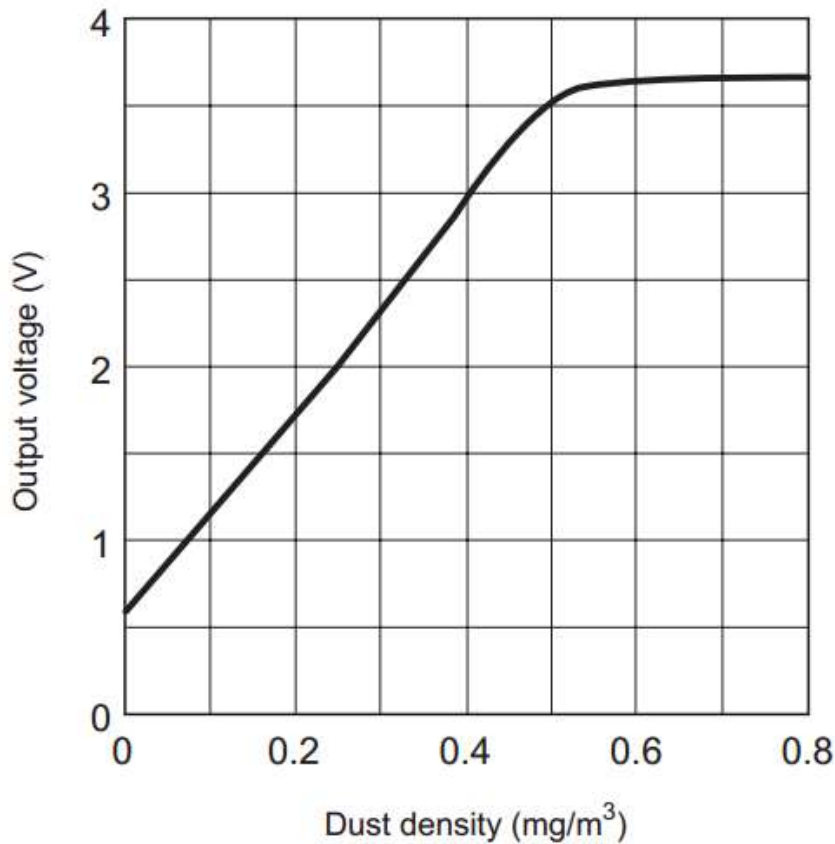
Ο αισθητήρας διαθέτει τέσσερις ακροδέκτες για τις εξωτερικές συνδέσεις του, όπως εμφανίζονται στο Σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4: Το διάγραμμα εξωτερικών συνδέσεων του αισθητήρα σκόνης

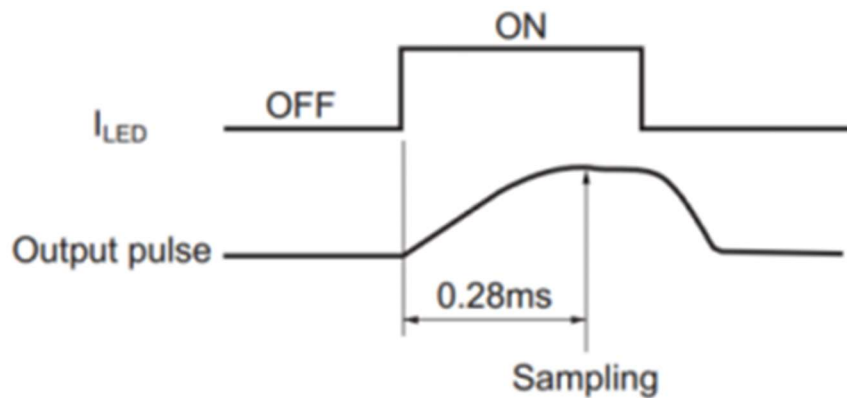
Για την επικοινωνία και τον έλεγχο του αισθητήρα με την πλακέτα Arduino δεν απαιτείται η εγκατάσταση κάποιας συγκεκριμένης βιβλιοθήκης, καθώς το Arduino αναγνωρίζει την έξοδο AOUT του αισθητήρα απλά ως ένα αναλογικό σήμα τάσης 0.6 – 3.3 V DC το οποίο αντιστοιχεί σε τιμές

συγκέντρωσης μικροσωματιδίων. Η σχέση αυτή είναι γραμμική, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5 το οποίο διατίθεται στο εγχειρίδιο χρήσης του κατασκευαστή [24].



Σχήμα 2.5: Η σχέση τάσης εξόδου – συγκέντρωσης μικροσωματιδίων.

Επειδή δεν διατίθεται κάποια βιβλιοθήκη για τη λειτουργία του αισθητήρα, ο χρήστης πρέπει να λάβει υπόψη του κάποια θέματα όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας του. Αρχικά θα πρέπει να τεθεί σε κατάσταση HIGH το pin του εσωτερικού LED υπέρυθρης ακτινοβολίας. Μεσολαβούν 0.28 ms μέχρι ο ελεγκτής να μπορέσει πάρει το δείγμα για να το αποτυπώσει στην έξοδο, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.6. Η περίοδος δειγματοληψίας διαρκεί 0.04 ms. Όταν ολοκληρωθεί η δειγματοληψία, θα πρέπει το εσωτερικό LED να απενεργοποιηθεί και να ενεργοποιηθεί ξανά όταν θα ληφθεί το επόμενο δείγμα. Οι χρόνοι αυτοί θα πρέπει να ληφθούν υπόψη του χρήστη για τον ορθό προγραμματισμό της συσκευής, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 3.



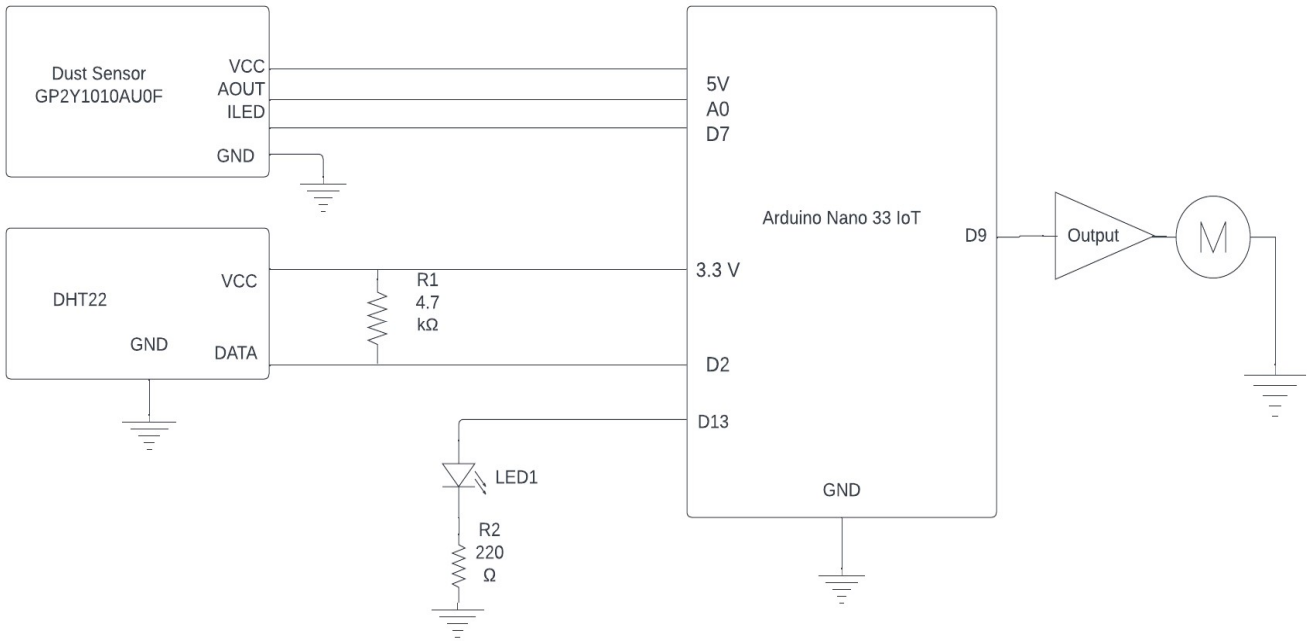
Σχήμα 2.6: Η καθυστέρηση του σήματος εξόδου του αισθητήρα σκόνης

## 2.4 Το ηλεκτρονικό κύκλωμα της πρωτότυπης κατασκευής

Το ηλεκτρονικό κύκλωμα της πρωτότυπης κατασκευής απαιτείται από δύο επιμέρους κυκλώματα, το κύκλωμα ελέγχου και το κύκλωμα ισχύος. Ο λόγος που δεν συνδέεται ο ανεμιστήρας απ' ευθείας σε κάποια έξοδο του Arduino είναι ότι γενικά οι κινητήρες απαιτούν περισσότερο ρεύμα για να λειτουργήσουν από αυτό που μπορεί να δώσει μία έξοδος του Arduino (40 mA είναι η μέγιστη ένταση μιας εξόδου του Arduino) και ειδικά κατά την εκκίνηση οι κινητήρες τραβούν πολύ μεγάλες ποσότητες ρεύματος. Επίσης επειδή οι κινητήρες παράγουν το δικό τους ρεύμα (εξαιτίας του φαινομένου της επαγωγής), υπάρχει ο κίνδυνος της καταστροφής των κυκλωμάτων του Arduino.

### 2.4.1 Το κύκλωμα ελέγχου

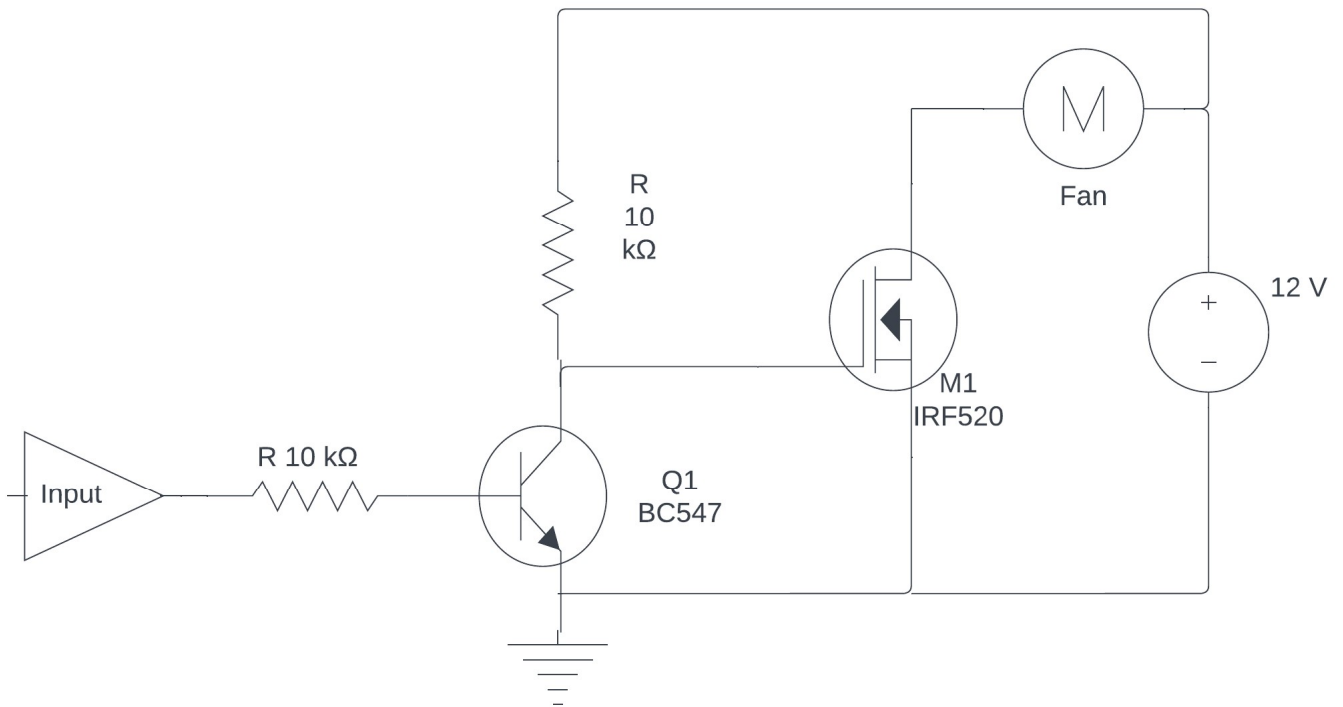
Το κύκλωμα ελέγχου της κατασκευής εμφανίζεται στο Σχήμα 2.7. Αποτελείται από το Arduino Nano 33 IoT, τον αισθητήρα υγρασίας και θερμοκρασίας DHT22 και τον αισθητήρα σκόνης GP2Y1010AU0F, ενώ επίσης έχει συνδεθεί στην έξοδο D13 του Arduino ένα LED για τον έλεγχο της επικοινωνίας της εφαρμογής με τη συσκευή. Καθώς το GP2Y1010AU0F δίνει αναλογικό σήμα (0-5V) στην έξοδό του (pin AOUT) συνδέεται στην ακίδα A0 του Arduino. Το εσωτερικό LED του αισθητήρα (ILED) συνδέεται στην ακίδα D7 έτσι ώστε να ελέγχεται με τις κατάλληλες εντολές ο κύκλος λειτουργίας του. Ο αισθητήρας DHT22 δίνει στην έξοδό του ψηφιακό σήμα, συνεπώς μπορεί να συνδεθεί σε μία ψηφιακή είσοδο του Arduino, όπως αυτή του pin D2. Το κύκλωμα ισχύος λαμβάνει ψηφιακό σήμα (ON/OFF) από την έξοδο D9 του Arduino. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η έξοδος D9 του Arduino έχει επιλεγεί γιατί υποστηρίζει διαμόρφωση εύρους παλμού (Pulse Width Modulation). Στο συγκεκριμένο σύστημα που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, η έξοδος είναι δύο καταστάσεων, όμως με δεδομένη τη δυνατότητα PWM της D9, μπορεί ο ανεμιστήρας να έχει μεταβλητή ταχύτητα κάνοντας τις ανάλογες αλλαγές στο λογισμικό του συστήματος και όχι στο κύκλωμα.



Σχήμα 2.7: Το κύκλωμα ελέγχου

#### 2.4.2 Το κύκλωμα ισχύος

Η κίνηση του ανεμιστήρα ελέγχεται από ένα MOSFET IRF520 του οποίου η πύλη οδηγείται από ένα NPN transistor BC547 όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8. Η τάση λειτουργίας του ανεμιστήρα (12 V DC) καθώς και οι απαιτήσεις σε ρεύμα και ειδικά κατά την εκκίνησή του, απαιτούν την χρήση εξωτερικής πηγής και του MOSFET για τον έλεγχό του. Σε περίπτωση που χρησιμοποιούμε την πλακέτα Arduino Uno αυτά τα δύο υλικά θα ήταν αρκετά για την απρόσκοπτη λειτουργία του κυκλώματος. Όμως το Arduino Nano 33 IoT βγάζει στην έξοδό του 3.3 V, τάση που δεν είναι ικανή να πυροδοτήσει την πύλη του MOSFET και γι' αυτό το λόγο τοποθετείται άλλη μια βαθμίδα ελέγχου με την χρήση του BC547. Η συγκεκριμένη συνδεσμολογία, μπορεί να εξασφαλίζει τις απαιτήσεις της πύλης του MOSFET σε τάση και ρεύμα, όμως έχει την ιδιαιτερότητα ότι αντιστρέφει το σήμα που έρχεται από την ακίδα 9 του Arduino στο κύκλωμα ισχύος. Αυτό αντιμετωπίζεται είτε με τη χρήση μιας ακόμη βαθμίδας η οποία θα αντιστρέφει το σήμα, είτε πιο εύκολα μέσω του λογισμικού, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 3, όπου σύμφωνα με τον κώδικα που αναπτύχθηκε ο ανεμιστήρας λειτουργεί όταν η έξοδος του D9 είναι σε κατάσταση LOW, ενώ απενεργοποιείται όταν η D9 είναι σε κατάσταση HIGH.



Σχήμα 2.8: Το κύκλωμα ισχύος

## 2.5 Επίλογος

Το υλικό του συστήματος αποτελείται από το κύκλωμα ελέγχου και το κύκλωμα ισχύος. Το κύκλωμα ελέγχου περιλαμβάνει τον μικροελεγκτή, τους αισθητήρες για την μέτρηση των επιπέδων υγρασίας, θερμοκρασίας και συγκέντρωσης αιωρούμενων μικροσωματιδίων και βοηθητικά υλικά για τις συνδέσεις τους.

Το κύκλωμα ισχύος έχει αναπτυχθεί αποκλειστικά για τις ανάγκες κατασκευής μιας δοκιμαστικής κατασκευής – μακέτας και μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την πραγματική εφαρμογή του συστήματος. Περιλαμβάνει έναν ανεμιστήρα εξαερισμού, ο οποίος οδηγείται από ένα MOSFET και ένα διπολικό τρανζίστορ.

## Κεφάλαιο 3ο: Το λογισμικό του συστήματος

### 3.1 Εισαγωγή

Για τον προγραμματισμό των μικροελεγκτών που χρησιμοποιούνται στις πλακέτες της οικογένειας Arduino χρησιμοποιείται μια εξειδικευμένη έκδοση της γλώσσας προγραμματισμού C++ ενώ διατίθεται και ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης με την ονομασία Arduino IDE, το οποίο έχει φθάσει στην έκδοση 2.1.0 (Μάιος 2023) και είναι δωρεάν διαθέσιμο στη διεύθυνση <https://www.arduino.cc/en/software>.

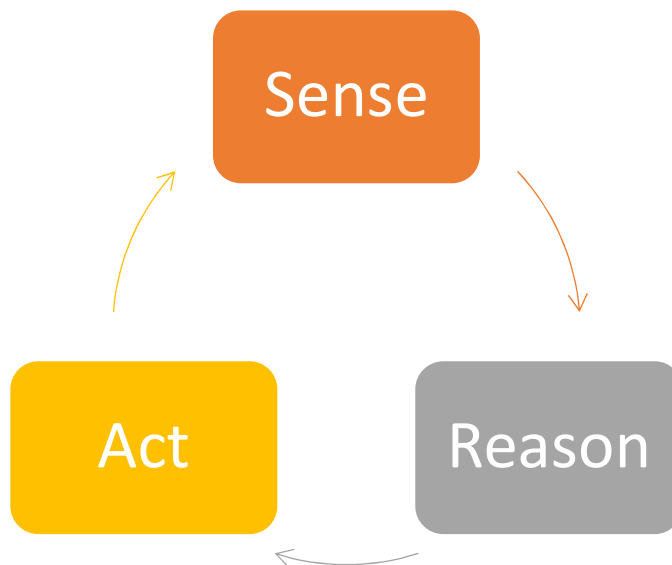
Ένα τυπικό πρόγραμμα για την πλατφόρμα Arduino αποτελείται από δύο κύρια δομικά στοιχεία:

- Τη συνάρτηση setup
- Τη συνάρτηση loop

Πριν από αυτές τις συναρτήσεις συνήθως υπάρχει ένα μπλοκ εντολών με τις κλήσεις εξωτερικών βιβλιοθηκών, τις υπογραφές των συναρτήσεων και τις δηλώσεις των μεταβλητών και των σταθερών.

Στη συνάρτηση setup περιέχεται ο κώδικας με τον οποίον τυπικά δηλώνεται ο ρόλος που θα έχουν οι διάφορες ακίδες που θα χρησιμοποιηθούν στο κύκλωμα, δηλαδή εάν θα είναι μονάδες εισόδου ή εξόδου. Η συνάρτηση setup είναι η πρώτη που εκτελείται και εκτελείται ακριβώς μία φορά.

Ακολουθεί η εκτέλεση της συνάρτησης loop η οποία επαναλαμβάνεται εγγενώς ατέρμονα, δηλαδή χωρίς να χρειαστεί ο προγραμματιστής να συντάξει κάποια δομή επανάληψης. Η φιλοσοφία του κώδικα που εισάγεται στο σώμα της συνάρτησης αυτής ακολουθεί τον κύκλο λειτουργίας των ρομποτικών συστημάτων Sense – Reason – Act (SRA) [41], σε ελεύθερη μετάφραση αισθάνομαι – σκέπτομαι – ενεργώ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Στη συνάρτηση loop ουσιαστικά ενσωματώνονται όλες οι λειτουργίες που θέλουμε να γίνονται από την εφαρμογή, όπως εκχώρηση των δεδομένων που διαβάζονται από τους αισθητήρες σε μεταβλητές, υπολογισμοί και επεξεργασία των δεδομένων, λήψεις αποφάσεων και αποστολή σημάτων προς τους ενεργοποιητές ώστε να ολοκληρωθεί ο κύκλος λειτουργίας.



Σχήμα 3.1: Ο κύκλος λειτουργίας των ρομποτικών συστημάτων

### 3.2 Το περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IoT Cloud

Το περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IoT Cloud είναι μία έκδοση του Arduino IDE η οποία τρέχει στο περιβάλλον ενός φυλλομετρητή [42]. Το Arduino IoT Cloud επιτρέπει στο χρήστη να συνδέει συσκευές, να οπτικοποιεί δεδομένα και να ελέγχει τα έργα του από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου χωρίς να χρειάζεται εγκατάσταση σε τοπικό υπολογιστή. Επίσης το περιβάλλον παρέχει πολλές ευκολίες για την εγκατάσταση των συσκευών και πρόσθετων βιβλιοθηκών ενώ είναι γενικά πολύ φιλικό για τους νέους χρήστες καθώς επιτρέπει την ανάπτυξη μικρών έργων ακόμη και χωρίς συγγραφή κώδικα. Για πιο πολύπλοκες όμως εφαρμογές ο χρήστης θα χρειαστεί να συντάξει κώδικα μέσω του Arduino Cloud IDE. Στο Σχήμα 3.2 εμφανίζεται ένα στιγμιότυπο της οθόνης του περιβάλλοντος, όπου φαίνεται ποιο είναι το σημείο έναρξης συγγραφής νέου σεναρίου. Παρατηρούμε ότι η οθόνη χωρίζεται σε τρεις περιοχές, όπου στην πρώτη αριστερά εμφανίζονται οι επιλογές:

- Sketchbook – Πλοήγηση στα σενάρια που έχει αναπτύξει ο χρήστης
- Examples – έτοιμα σενάρια – παραδείγματα για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Παρέχονται και σύνδεσμοι με οδηγίες για τις αντίστοιχες κατασκευές
- Libraries – Διαχείριση και εγκατάσταση των πρόσθετων βιβλιοθηκών που είναι διαθέσιμες για όλες τις πλακέτες της οικογένειας Arduino
- Monitor – Ενεργοποίηση / απενεργοποίηση του παραθύρου παρακολούθησης της σειριακής θύρας
- Reference – Οδηγός αναφοράς για τις διαθέσιμες συναρτήσεις, εγγενείς σταθερές και μεταβλητές καθώς και για τις διαθέσιμες προγραμματιστικές δομές.
- Help – Παροχή βοήθειας
- Preferences – Διάφορες ρυθμίσεις όπως επιλογή θέματος, μέγεθος γραμματοσειράς, αυτόματη αποθήκευση, εμφάνιση κονσόλας, απόκρυψη αρχείων κ.λπ.
- Feature usage – Χρήση διαθέσιμων πόρων.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όσον αφορά τους διαθέσιμους πόρους υπάρχουν τέσσερα επίπεδα συνδρομής, Free, Entry, Maker και Maker Plus, τα οποία έχουν αντίστοιχα αυξανόμενο κόστος και οι διαφορές τους εντοπίζονται στον αριθμό των αντικειμένων που υποστηρίζονται, στον αριθμό των μεταβλητών, στον αποθηκευτικό χώρο, στον χρόνο διατήρησης των δεδομένων, στον αριθμό των μεταγλωττίσεων ανά ημέρα, στη δυνατότητα διαμοιρασμού του dashboard και στην παροχή εργαλείων μηχανικής μάθησης. Στην δωρεάν έκδοση υπάρχει ο περιορισμός των 5 μεταβλητών που μπορούν να συνδέονται με τα στοιχεία του dashboard και γι' αυτό το λόγο στην δοκιμαστική κατασκευή της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε η συνδρομή Entry.

Το περιεχόμενο της κεντρικής περιοχής της οθόνης αλλάζει ανάλογα με την επιλογή που έχει κάνει ο χρήστης στο αριστερό μενού. Για παράδειγμα όταν επιλέγει το Sketchbook εμφανίζονται τα σενάρια που έχουν αναπτυχθεί, ενώ όταν είναι επιλεγμένο το Libraries εμφανίζεται ένα παράθυρο διαχείρισης των βιβλιοθηκών.

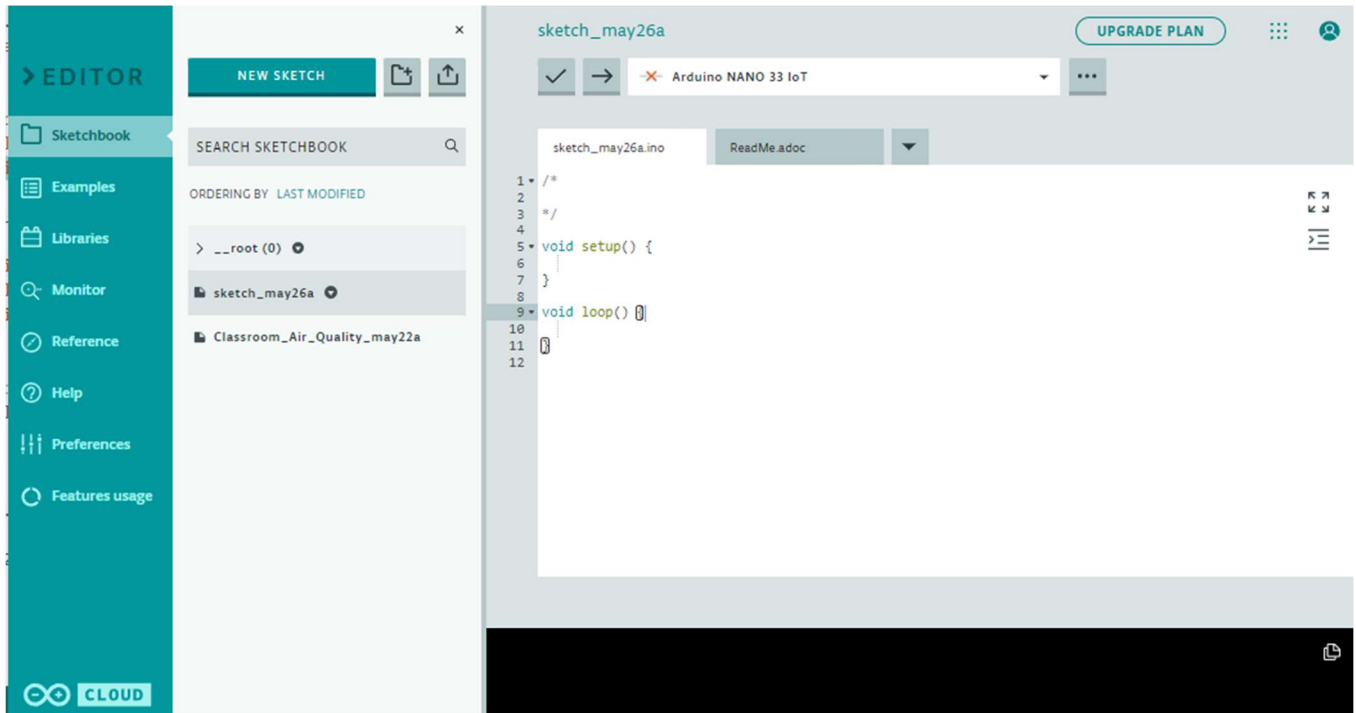
Στην περιοχή που βρίσκεται στη δεξιά πλευρά της οθόνης εμφανίζονται τρία στοιχεία:

- Στο επάνω μέρος υπάρχουν τα πλήκτρα εγκυροποίησης και φόρτωσης του κώδικα, ένας καταρράκτης επιλογής της πλακέτας που χρησιμοποιείται καθώς και τον αριθμό της θύρας που είναι συνδεδεμένη και ένα πλήκτρο που προσφέρει λειτουργίες διαχείρισης των αρχείων.
- Στη μέση υπάρχει ένα σημειωματάριο όπου ο χρήστης μπορεί να συντάξει τον κώδικά του
- Στο κάτω μέρος είναι η κονσόλα του περιβάλλοντος

Το Arduino IoT Cloud υποστηρίζει μια ευρεία γκάμα συσκευών όπως τις οικογένειες MKR, Nano, Portenta και Niela της Arduino, καθώς επίσης και τα ESP8266 και ESP32 τα οποία ανήκουν σε ανεξάρτητους κατασκευαστές. Με το περιβάλλον Cloud ο χρήστης μπορεί να συγκεντρώνει δεδομένα πραγματικού χρόνου καθώς και ιστορικά δεδομένα από διαφορετικές σε μία τοποθεσία ανεξάρτητα από

το πόσο απλή η σύνθετη είναι η εφαρμογή του. Το περιβάλλον παρέχει όλα τα πλεονεκτήματα της υπολογιστικής νέφους, όπως:

- Αποθήκευση δεδομένων στο νέφος
- Πρόσβαση από διαφορετικές συσκευές από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου
- Αυτόματη τήρηση αντιγράφων ασφαλείας
- Αυτόματη ενημέρωση εφαρμογών και βιβλιοθηκών
- Αυτόματη ενημέρωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο
- Ευελιξία και κλιμάκωση ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη
- Ασφαλή επικοινωνία με την εφαρμογή κρυπτογράφησης από άκρο σε άκρο.



Σχήμα 3.2: Το περιβάλλον Arduino Cloud IDE

### 3.3 Η δημιουργία του Αντικειμένου

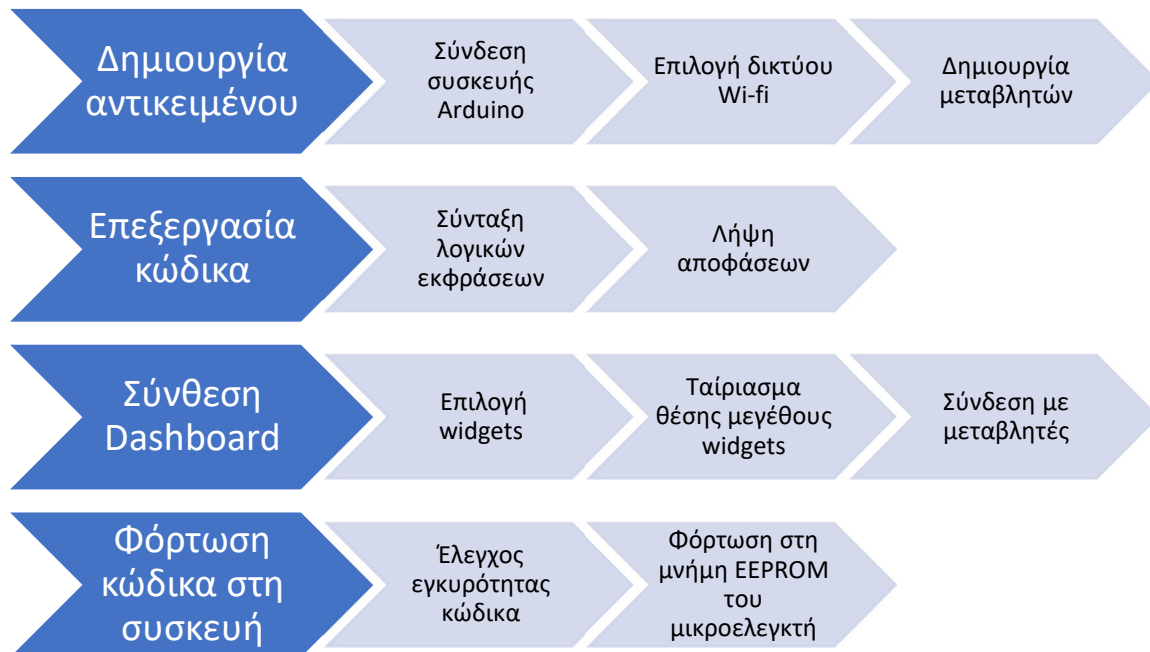
Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.3, το πρώτο βήμα για οποιαδήποτε εφαρμογή θέλουμε να αναπτύξουμε με το περιβάλλον Arduino IoT Cloud είναι η δημιουργία ενός νέου Αντικειμένου (όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται στην τεκμηρίωση του περιβάλλοντος «Thing»). Οποιαδήποτε συσκευή από τις επιλέξιμες θελήσουμε να χρησιμοποιήσουμε για την εφαρμογή θα πρέπει αρχικά να την ορίσουμε ως Αντικείμενο. Η δημιουργία του Αντικειμένου περιλαμβάνει κάποιες αρχικές ρυθμίσεις όπως:

- Επιλογή συσκευής Arduino και ρύθμιση
- Επιλογή δικτύου Wi-Fi
- Δημιουργία μεταβλητών

Ότι ρυθμίσεις γίνουν σε αυτό το βήμα αποθηκεύονται σε ένα ειδικό sketch file που δημιουργείται αυτόματα από το περιβάλλον ανάπτυξης. Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να μπει σε αυτό το sketch file, να το ανοίξει και να παρατηρήσει ότι είναι ένα αρχείο με επέκταση .ino, δηλαδή ένα αρχείο πηγαίου κώδικα του Arduino. Σε αυτό το αρχείο ο χρήστης μπορεί να εντοπίσει τις μεθόδους που έχουν αυτόματα δηλωθεί από το περιβάλλον ανάπτυξης και να τις επεξεργαστεί περαιτέρω προσθέτοντας γραμμές κώδικα που αφορούν στην λειτουργία του Αντικειμένου. Αν ο χρήστης πατήσει στο κουμπί

“Open full editor” ανοίγει σε νέο παράθυρο το Arduino cloud IDE όπου μπορεί να δει και να επεξεργαστεί και τα υπόλοιπα αρχεία που έχουν δημιουργηθεί από το Arduino IoT Cloud σύμφωνα με τις αρχικές ρυθμίσεις που έκανε, που είναι τα εξής:

- thingProperties.h: περιέχει τις δηλώσεις και τις ιδιότητες των μεταβλητών και των μεθόδων
- secret: περιέχει το SSID και τον κωδικό πρόσβασης του Wi-Fi δικτύου



Σχήμα 3.3: Τα στάδια ανάπτυξης μιας εφαρμογής με το περιβάλλον Arduino IoT Cloud

### 3.4 Ο κώδικας της εφαρμογής

Η δημιουργία ενός αντικειμένου με την καθοδήγηση του Arduino IoT Cloud παράγει ένα μεγάλο μέρος του απαιτούμενου κώδικα για τη λειτουργία του συστήματος.

Δημιουργούνται τρία αρχεία:

- Ένα αρχείο [όνομα εφαρμογής].ino το οποίο είναι το αρχείο που περιλαμβάνει τις συναρτήσεις setup() και loop() και σε αυτό έχει πρόσβαση ο χρήστης να κάνει τις αλλαγές που θέλει
- Μία κλάση με όνομα thingProperties.h το οποίο δημιουργείται αυτόματα από το περιβάλλον και αποτελείται από τα εξής μπλοκ κώδικα:
  - Κλήσεις των βιβλιοθηκών ArduinoIoTCloud.h και Arduino\_ConnectionHandler.h οι οποίες περιέχουν τον απαραίτητο κώδικα για την εγκαθίδρυση και διαχείριση της επικοινωνίας του Arduino με το Νέφος και την εγκαθίδρυση της επικοινωνίας μέσω του πρωτοκόλλου Wi-Fi με τον τοπικό ασύρματο δρομολογητή αντίστοιχα.
  - Δήλωση δύο πινάκων χαρακτήρων για την αποθήκευση του αναγνωριστικού του τοπικού δικτύου και του μυστικού κωδικού που απαιτείται να εισαχθεί για να γίνει η σύνδεση
  - Υπογραφές των μεθόδων που περιγράφουν το τί θα συμβαίνει όταν αλλάζει η τιμή κάποιας μεταβλητής που έχει ιδιότητα εγγραφής.
  - Δηλώσεις όλων των μεταβλητών που δημιουργήθηκαν αυτόματα από το περιβάλλον
  - Μία μέθοδος με όνομα initProperties() η οποία περιλαμβάνει τις ιδιότητες των μεταβλητών που δημιουργήθηκαν από το περιβάλλον του Arduino IoT Cloud.

- Δημιουργία ενός αντικειμένου της κλάσης WiFiConnectionHandler το οποίο δημιουργείται με ορίσματα τα στοιχεία σύνδεσης του Wi-Fi. Σε όλα τα παραπάνω ο χρήστης μπορεί να κάνει αν θέλει κάποιες αλλαγές, αλλά συστήνεται να το κάνει μόνο εάν είναι απαραίτητο. Στην εφαρμογή της παρούσας εργασίας δεν χρειάστηκε να γίνει κάποια τροποποίηση στον κώδικα αυτού του αρχείου. Η κλάση thingProperties.h καλείται από το κύριο αρχείο με τη δήλωση #include thingProperties.h η οποία γίνεται στην αρχή του.
- Κρυπτογραφημένο δυαδικό αρχείο που περιλαμβάνει τα στοιχεία σύνδεσης του πρωτοκόλλου Wi-Fi, έτσι ώστε να μην είναι αυτά ορατά σε κάποιον που έχει πρόσβαση στον κώδικα. Μπορεί κάποιος να τα δει ή να τα αλλάξει μέσω της καρτέλας Secret που υπάρχει στο IDE ή από την οθόνη του αντικειμένου στο περιβάλλον Arduino IoT Cloud.

Τα παραπάνω αρχεία είναι αναρτημένα στο Παράρτημα.

Στην παρούσα εφαρμογή χρειάστηκε να γίνουν αλλαγές μόνο στο βασικό αρχείο του Sketch στο οποίο δόθηκε το όνομα Classroom\_Air\_Quality.ino. Ακόμη και σε αυτό το αρχείο κάποια μπλοκ του κώδικα δημιουργήθηκαν αυτόματα από το καθοδηγούμενο περιβάλλον. Αυτά είναι:

- Η δήλωση #include "thingProperties.h" για την ενσωμάτωση της αναφερόμενης κλάσης
- Η συνάρτηση setup() η οποία περιέχει τον απαραίτητο κώδικα για την αρχικοποίηση των μεταβλητών που δημιουργήθηκαν στο καθοδηγούμενο περιβάλλον καθώς και για τον έλεγχο της επικοινωνίας της συσκευής με τη σειριακή θύρα, τον τοπικό δρομολογητή και τον εξυπηρετητή στο Νέφος. Επίσης εκεί περιλαμβάνεται και ο κώδικας που διαχειρίζεται τα μηνύματα που εμφανίζονται κατά την εκσφαλμάτωση στην κονσόλα.
- Η συνάρτηση loop(), η οποία περιέχει μία εντολή που καλεί μια μέθοδο ArduinoCloud.update() που ενημερώνει τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στο Νέφος.
- Το σώμα όλων των μεθόδων των εγγράψιμων μεταβλητών που δηλώθηκαν στην κλάση thingProperties.h, έτσι ώστε ο προγραμματιστής να καθορίσει τι θα συμβαίνει όταν αλλάζει η τιμή μιας μεταβλητής από ένα χειριστήριο του dashboard.

Επίσης δημιουργείται αυτόματα και ένας λεπτομερής σχολιασμός του κώδικα που βοηθάει τον χρήστη να κατανοήσει τη λειτουργία των εντολών.

Το επόμενο βήμα που έχει να κάνει ο σχεδιαστής είναι να συμπληρώσει τον κώδικα με τα κομμάτια που καθορίζουν τη λειτουργία των συνδεδεμένων συσκευών και με αυτά που δίνουν λογική στο σύστημα.

### 3.4.1 Συμπερίληψη βιβλιοθηκών και δηλώσεις σταθερών και καθολικών μεταβλητών

Για τη λειτουργία του αισθητήρα DHT22 χρειάστηκε η δήλωση #include <DHT22.h> έτσι ώστε να συμπεριληφθεί η βιβλιοθήκη στο project.

Ακολουθεί ένα μπλοκ δηλώσεων τεσσάρων σταθερών που αφορούν στους αριθμούς των ακίδων στις οποίες έχουν συνδεθεί οι εξωτερικές συσκευές:

```
const int fanPin = 9;
```

```
const int dustPin = A0;
```

```
const int dustIntLedPin = 7;
```

```
const int dht22Pin = 2;
```

Στη συνέχεια γίνεται η δημιουργία ενός στιγμιότυπου DHT22 με την εντολή DHT22 dht22(dht22Pin); . Η παράμετρος dht22Pin είναι σταθερά που έχει την τιμή 2 και είναι ο αριθμός της ακίδας που είναι συνδεδεμένος ο ακροδέκτης data του αισθητήρα.

Ακολουθεί ένα μπλοκ δηλώσεων τριών ακέραιων μεταβλητών

```
int samplingTime = 280;
```

```
int deltaTime = 40;
```

```
int sleepTime = 9680;
```

Οι μεταβλητές αυτές καθορίζουν τους χρόνους για τη λειτουργία εσωτερικού led υπέρυθρων του αισθητήρα σκόνης, σύμφωνα με την καμπύλη του Σχήματος 2.6.

Οι μεταβλητές κινητής υποδιαστολής `noMeasured` και `calcDust` που δηλώνονται στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν για το μετασχηματισμό της τάσης της εξόδου του αισθητήρα σκόνης.

### 3.4.2 Ο κώδικας της συνάρτησης `setup()`

Στην συνάρτηση `setup()` συμπληρώθηκαν οι εντολές

```
pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
```

```
pinMode(fanPin, OUTPUT);
```

```
pinMode(dustIntLedPin, OUTPUT);
```

Σκοπός των παραπάνω εντολών είναι να δηλωθεί ότι οι συγκεκριμένες ακίδες θα είναι σε κατάσταση εγγραφής. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η σταθερά `LED_BUILTIN` δεν χρειάζεται να δηλωθεί καθώς είναι μια εγγενής σταθερά του Arduino και αφορά την ακίδα 13.

### 3.4.3 Ο κώδικας της συνάρτησης `loop()`

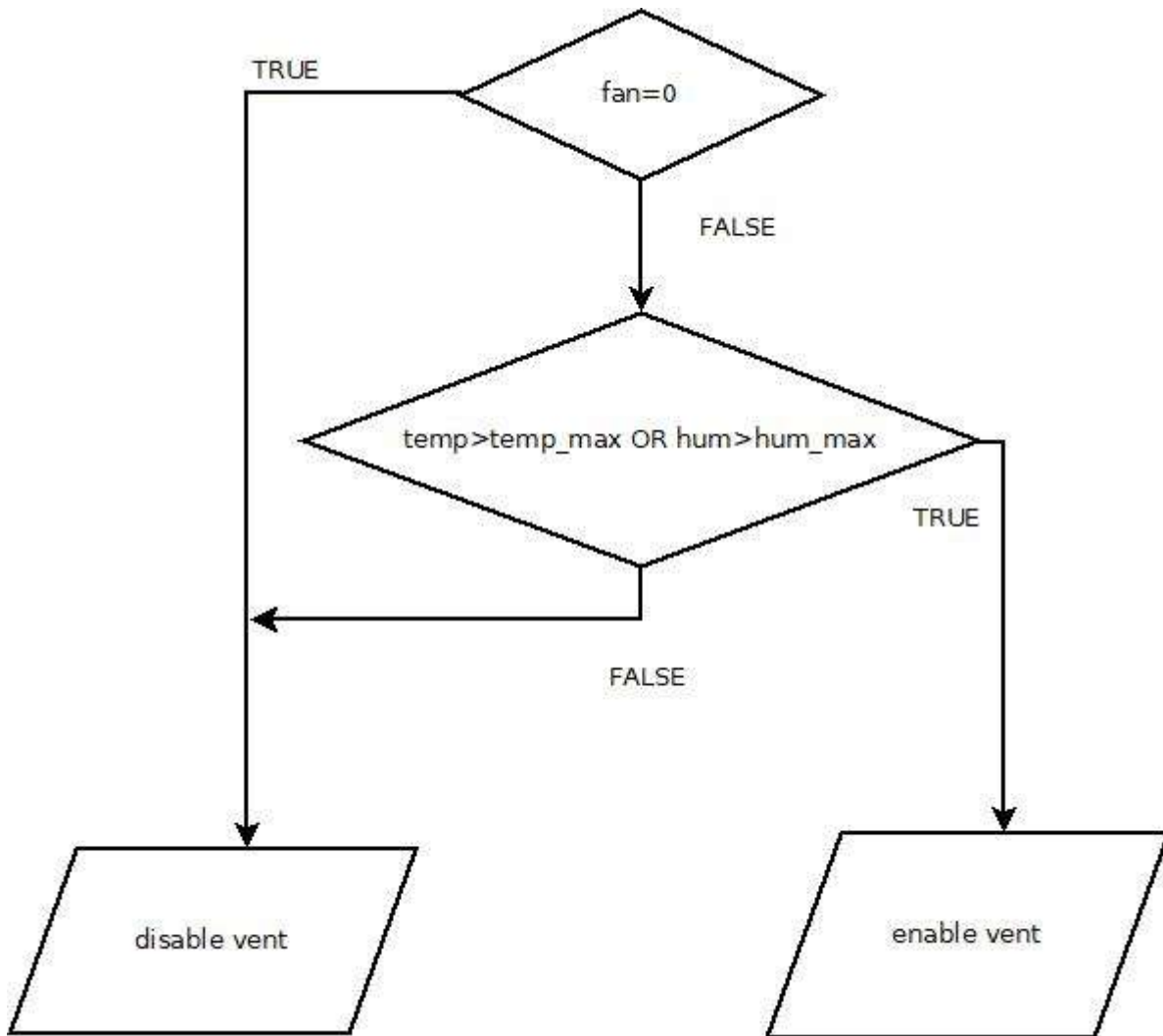
Τα μπλοκ κώδικα που προστέθηκαν στη συνάρτηση `loop()` είναι:

Η κλήση `digitalWrite(LED_BUILTIN, led)`; Η οποία χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της σύνδεσης της συσκευής μας με το dashboard καθώς από εκεί ελέγχεται η κατάσταση του led από το αντίστοιχο χειριστήριο.

Η δομή σύνθετης επιλογής που ελέγχει την λειτουργία του εξαερισμού ανάλογα με την κατάσταση του διακόπτη απενεργοποίησης ή αυτόματης λειτουργίας και των επιπέδων θερμοκρασίας και υγρασίας που λαμβάνονται από τον αισθητήρα DHT22. Όταν ο διακόπτης λειτουργίας, ο οποίος εκφράζεται από τη μεταβλητή `fan`, είναι απενεργοποιημένος τότε και ο εξαερισμός είναι απενεργοποιημένος, ανεξάρτητα από τις τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας που υπάρχουν στον χώρο. Όταν ο διακόπτης αυτόματης λειτουργίας είναι ενεργοποιημένος, τότε ελέγχονται τα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας του χώρου, συγκρίνονται με τις τιμές κατωφλίου που έχει καθορίσει ο χρήστης από το dashboard και αν έστω και ένα από τα δύο ξεπερνάει την τιμή κατωφλίου, τότε ο εξαερισμός ενεργοποιείται και παραμένει ενεργός μέχρι να επανέλθουν οι τιμές στα φυσιολογικά επίπεδα. Το λογικό διάγραμμα αυτού του μπλοκ εντολών εμφανίζεται στο Σχήμα 3.4, ενώ ακολουθεί ο κώδικας που υλοποιεί την δομή σύνθετης επιλογής.

```
if(!fan){  
    digitalWrite(fanPin, HIGH); //turn-off fan  
} else if(temperature > temp_max || humidity>hum_max){  
    digitalWrite(fanPin,LOW); //turn on fan  
} else {  
    digitalWrite(fanPin, HIGH); //turn-off fan
```

}



Σχήμα 3.4: Το διάγραμμα ροής της δομής του λογικού ελέγχου του συστήματος εξαερισμού

Ακολουθεί το μπλοκ κώδικα που περιλαμβάνει τον χρονισμό του led υπέρυθρων και λήψης τιμών του αισθητήρα σκόνης, καθώς και μετασχηματισμού των τιμών που λαμβάνονται. Οι λειτουργίες αυτές γίνονται με το κώδικα:

```

digitalWrite(dustIntLedPin, LOW); //power on the dust sensor internal led
delayMicroseconds(samplingTime); //delay for the dust sensor sampling time
voMeasured = analogRead(dustPin); //Reads the dust pin value
delayMicroseconds(deltaTime);
digitalWrite(dustIntLedPin,HIGH); // turn the dust sensor internal led off
delayMicroseconds(sleepTime);
calcDust = voMeasured * 5.0 / 1024.0; //Maps the 0-5V output in a range of 0 -1023 value
dust = 170 * calcDust - 0.1;
  
```

Σε περίπτωση που τα επίπεδα συγκέντρωσης σκόνης ξεπεράσουν ένα όριο που καθορίζει ο χρήστης από το dashboard (μεταβλητή dust\_max), τότε τίθεται σε κατάσταση HIGH η μεταβλητή dust\_alert και

ειδοποιείται ο χρήστης του συστήματος μέσω σχετικής ένδειξης στο dashboard. Ο κώδικας που υλοποιεί αυτήν την λειτουργία είναι

```
if(dust>dust_max){  
    dust_alert=HIGH;  
}  
else{  
    dust_alert=LOW;  
}
```

Ακολουθεί ο κώδικας που ενημερώνει τις τιμές υγρασίας και θερμοκρασίας που λαμβάνονται από τον αισθητήρα DHT22. Όπως έχει προαναφερθεί ο συγκεκριμένος αισθητήρας είναι ψηφιακός και η τιμή δεν αντιστοιχεί απλά σε μία στάθμη δυναμικού που μπορεί να εμφανίζεται σε κάποιο pin του Arduino και στη συνέχεια με τους απαραίτητους μετασχηματισμούς να μετατρέπεται στο μετρούμενο μέγεθος. Για αυτά τα μεγέθη η λήψη των τιμών γίνεται μέσω εξειδικευμένων μεθόδων του αντικειμένου της κλάσης DHT22 που είναι οι `getHumidity()` και `getTemperature()` αντίστοιχα. Οι μέθοδοι αυτές αναλαμβάνουν να αναλύσουν το ψηφιακό σήμα που λαμβάνεται και έτσι ο σχεδιαστής του συστήματος αντιμετωπίζει τον αισθητήρα ως μαύρο κουτί, απλά χρησιμοποιώντας τις μεθόδους αυτές.

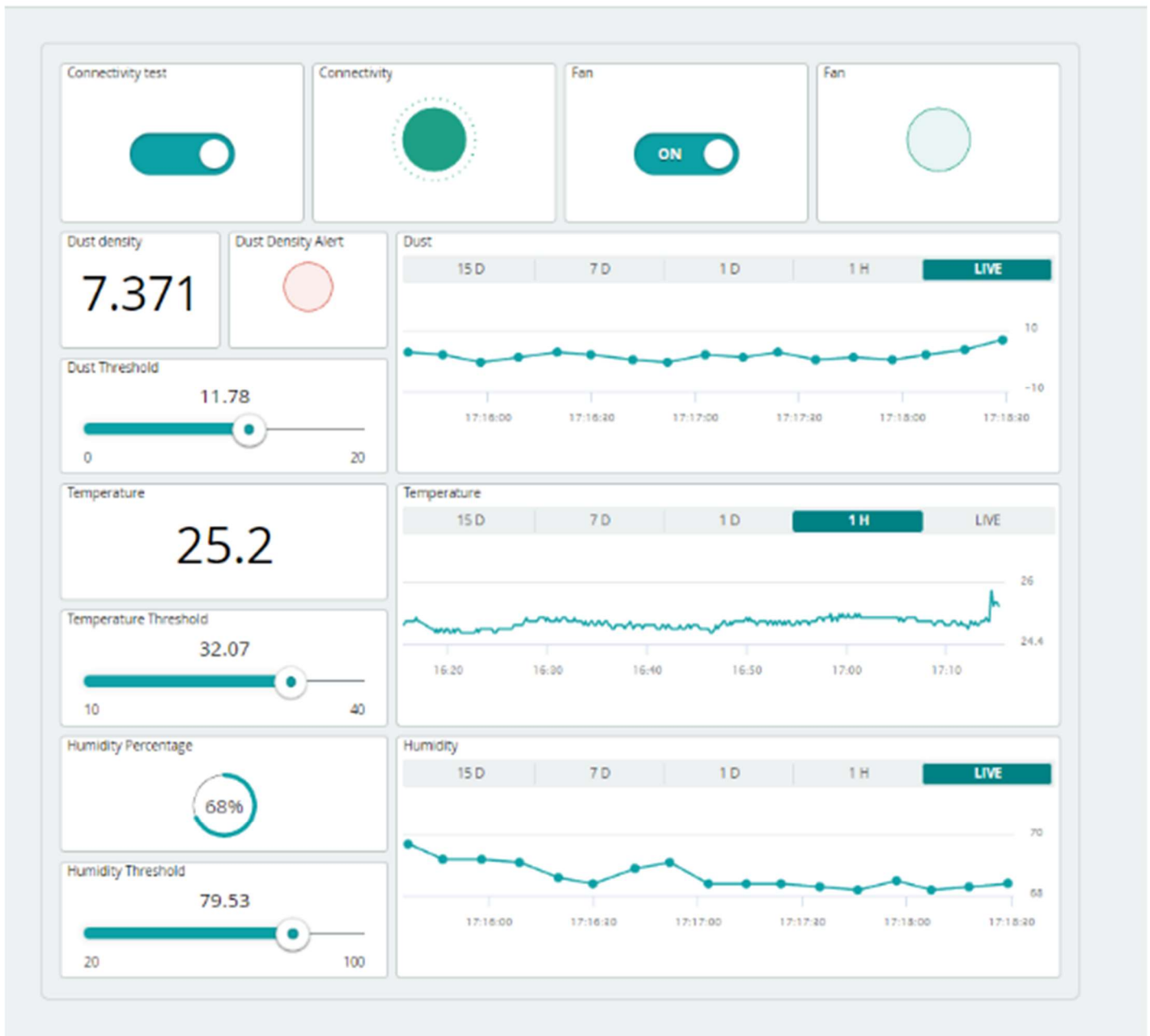
Στις μεθόδους εγγράψιμων μεταβλητών δεν προστέθηκε κάποιος λειτουργικός κώδικας, παρά μόνο προβλέφθηκε η εμφάνιση της κατάστασης της συνδεσιμότητας και του συστήματος εξαιρισμού να εμφανίζονται όχι μόνο στο dashboard, αλλά και στο παράθυρο της σειριακής θύρας.

### 3.5 Το γραφικό περιβάλλον του χρήστη

Για την διαχείριση του συστήματος αναπτύχθηκε ένα γραφικό περιβάλλον οπτικοποίησης και χειρισμού των παραμέτρων του το οποίο δεν απαιτεί την εγκατάσταση κάποιας εξειδικευμένης εφαρμογής αλλά τρέχει σε ένα παράθυρο ενός φυλλομετρητή. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5 πρόκειται στην ουσία για έναν πίνακα ελέγχου (dashboard) ο οποίος υλοποιείται με τη μορφή ιστοσελίδας η οποία φιλοξενείται στους εξυπηρετητές παγκόσμιου ιστού του Arduino IoT Cloud. Η υλοποίηση του dashboard δεν απαιτεί γνώσεις προγραμματισμού HTML, CSS και άλλων γλωσσών που χρησιμοποιούνται στη δημιουργία ιστότοπων αλλά γίνεται με οπτικό τρόπο μέσα από το περιβάλλον του Arduino IoT Cloud. Απλά με λειτουργίες «σύρε κι άφησε» του ποντικιού μπορεί ο χρήστης να τοποθετεί και να τακτοποιεί διάφορα εργαλεία οπτικοποίησης και χειρισμού (widgets) στο dashboard και στη συνέχεια να τα συνδέσει με τις αντίστοιχες μεταβλητές που θέλει να διαχειρίζεται ή να παρακολουθεί.

Τα dashboards αποτελούν ένα σημαντικό στοιχείο των εφαρμογών του ΔτΑ για τη διαχείριση και τη παρακολούθησή τους. Η αναπαράσταση της πληροφορίας με ένα web-based user interface έχει επίσης το πλεονέκτημα ότι μπορεί ο χρήστης να έχει πρόσβαση από οποιαδήποτε υπολογιστική συσκευή μπορεί να τρέχει έναν φυλλομετρητή του παγκόσμιου ιστού. Οι οπτικοποιήσεις που εμφανίζονται σε ένα dashboard επικοινωνούν απ' ευθείας στον διαχειριστή του σχολικού κτιρίου τα δεδομένα που τον ενδιαφέρουν ενώ παράλληλα η χρονική απεικόνιση παράγει χρονοσειρές για περαιτέρω αναλύσεις. Το dashboard επίσης υποστηρίζει τη δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων κατωφλίου θερμοκρασίας, υγρασίας και συγκέντρωσης σκόνης αυξάνοντας την ευελιξία του συστήματος.

Classroom



Σχήμα 3.5: Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής

### 3.6 Επίλογος

Η οικογένεια πλακετών Arduino υποστηρίζει τον προγραμματισμό των μικροελεγκτών τους με μία εξειδικευμένη έκδοση της γλώσσας προγραμματισμού C++. Παρέχεται στον χρήστη ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης το οποίο μπορεί να εγκατασταθεί σε διάφορα λειτουργικά συστήματα, όπως τα Windows, το Mac OS ή το Linux, αλλά επίσης προσφέρεται και μία cloud εκδοχή του περιβάλλοντος, το Arduino IoT Cloud. Αυτό το περιβάλλον μάλιστα επεκτείνει τις δυνατότητες και την ευκολία ανάπτυξης εφαρμογών του ΔτΑ καθώς παρέχει επιπρόσθετα εργαλεία, όπως ένα καθοδηγούμενο περιβάλλον δημιουργίας αντικειμένου χωρίς την ανάγκη συγγραφής κώδικα, την δημιουργία dashboards ελέγχου της λειτουργίας της συσκευής και επίσης πρόσβαση από οποιαδήποτε συσκευή με σύνδεση στο Διαδίκτυο.

### Κεφάλαιο 3

Διαπιστώνουμε ότι η εφαρμογή που αναπτύχθηκε ακολουθεί την λογική του επιμερισμού του φόρτου των υπολογισμών στο Νέφος και τοπικά στη συσκευή (cloud / fog computing). Τα δεδομένα που συλλέγονται αποστέλλονται στο υπολογιστικό νέφος για ανάλυση και οπτικοποίηση και επίσης ο χρήστης στέλνει δεδομένα από τον εξυπηρετητή προς τη συσκευή μέσα από τις παραμέτρους που ρυθμίζει. Η λήψη αποφάσεων όμως μπορεί να γίνεται και σε τοπικό επίπεδο, όπως για παράδειγμα όταν ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται το σύστημα εξαιρισμού ανάλογα με τις τιμές της θερμοκρασίας ή της υγρασίας της σχολικής αίθουσας. Σε αυτήν την περίπτωση οι υπολογισμοί και οι λήψεις αποφάσεων γίνονται σε τοπικό επίπεδο σε πραγματικό χρόνο και χωρίς να επιβαρύνεται το δίκτυο.

Ο χειρισμός του συστήματος γίνεται από ένα διαισθητικό γραφικό περιβάλλον όπου ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί τα φαινόμενα που καταγράφονται και επίσης να ρυθμίζει διάφορες παραμέτρους του συστήματος.

## Κεφάλαιο 4ο: Συμπεράσματα, περιορισμοί και προτάσεις βελτίωσης

Η παρούσα εργασία περιγράφει το σχεδιασμό, την υλοποίηση και την λειτουργία ενός συστήματος το οποίο βασίζεται στις τεχνολογίες του ΔτΑ και έχει ως σκοπό τον παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και τον επαρκή εξαερισμό μιας σχολικής μονάδας με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο.

Για την υλοποίηση της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα ανοικτού κώδικα Arduino Nano 33 IoT όσον αφορά το υλικό και το περιβάλλον Arduino IoT Cloud όσον αφορά το λογισμικό. Διαπιστώθηκε ότι μπορεί να κατασκευαστεί ένα τέτοιο σύστημα το οποίο, με την χρήση των ανάλογων αισθητήρων, θα μπορεί να ελέγχει τα επίπεδα θερμοκρασίας, υγρασίας και ποιότητας μιας σχολικής αίθουσας και να λαμβάνονται αποφάσεις με αυτοματοποιημένο τρόπο για ενεργοποίηση του συστήματος εξαερισμού. Επίσης παρέχεται στον χρήστη ένα παραθυρικό περιβάλλον διαχείρισης του συστήματος και όλα αυτά με πολύ μικρό κόστος.

Κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης μελέτης χρειάστηκε να κατασκευαστεί ένα δοκιμαστικό κύκλωμα – μοντέλο έτσι ώστε να μπορέσουν να γίνουν κάποιες δοκιμές σε συνθήκες οι οποίες θα προσομοιώνουν στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό τις πραγματικές συνθήκες μιας σχολικής τάξης. Δεν λήφθηκαν υπόψη σημαντικές παράμετροι ενός πραγματικού συστήματος ΘΕΚ όπως η θέση, ο προσανατολισμός και η αρχιτεκτονική του κτιρίου, ο όγκος του χώρου, οι τεχνικές προδιαγραφές των στοιχείων ισχύος του συστήματος και άλλοι. Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε περισσότερο στο κύκλωμα ελέγχου και στο λογισμικό που υποστηρίζει τέτοιου είδους εφαρμογές έχοντας ως σκοπό να αναδείξει τις δυνατότητες της τεχνολογίας για τη δημιουργία και έλεγχο αποδοτικών συστημάτων ΘΕΚ χαμηλού κόστους για τη βελτίωση της διαβίωσης των μαθητών εντός της σχολικής τάξης. Η εγκατάσταση ενός πλήρους λειτουργικού συστήματος θα δώσει τη δυνατότητα δοκιμών σε πραγματικές συνθήκες έτσι ώστε να γίνουν βελτιώσεις και ρυθμίσεις που θα οδηγήσουν στην τελική έκδοση της πλατφόρμας. Διαπιστώνεται ότι το σύστημα είναι επεκτάσιμο όχι μόνο από πλευράς υλικού όπως προαναφέρθηκε, αλλά και από πλευράς λογικής καθώς χάρη στην ευελιξία του περιβάλλοντος Arduino IoT Cloud μπορούν εύκολα να γίνουν επεκτάσεις με ακόμη περισσότερες παραμέτρους όπως για παράδειγμα ημέρες, ώρες ή καιρικές συνθήκες με βάση πληροφορίες που θα λαμβάνονται από άλλους εξυπηρετητές από τον παγκόσμιο ιστό.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Cisco, IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things, Indianapolis: Cisco Press, 2017.
- [2] M. Hasan, «State of IoT 2022: Number of Connected IoT Devices Growing 18% to 14.4 Billion Globally,» 18 May 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/>. [Πρόσβαση 14 August 2022].
- [3] V. Demirer, B. Aydin and S. B. Celic, "Exploring the Educational Potential of Internet of Things (IoT) in Seamless Learning," in *The Internet of Things: Breakthroughs in Research and Practice*, Hershey, PA, IGI Global, 2017, pp. 1-15.
- [4] ITU, «Y.2060: Overview of the Internet of Things,» 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I>. [Πρόσβαση 13 August 2022].
- [5] D. Giusto, A. Iera, G. Morabito και L. Atzori, *The Internet of Things*, Cham, Switzerland: Springer, 2010.
- [6] A. Ali Laghari, K. Wu, R. Ali Laghari, M. Ali και A. Khan, «A Review and State of Art of Internet of Things (IoT),» *Archives of Computational Methods in Engineering*, τόμ. 29, pp. 1395-1413, 2022.
- [7] S. Talari, M. Shafie-khan, P. Siano, V. Loia, A. Tommasetti and J. P. Catalao, "A Review of Smart Cities Based on the Internet of Things Concept," *Energies*, vol. 10, no. 4, 23 March 2017.
- [8] S. Greengard, *The Internet of Things*, Cambridge, MA: The MIT Press, 2021.
- [9] H. Lee, "The Internet of Things and Assistive Technologies for People with Disabilities: Applications, Trends, and Issues," in *The Internet of Things: Breakthroughs in Research and Practice*, Hershey, PA, IGI Global, 2017, pp. 161-187.
- [10] A. Khanna και S. Kaur, «Internet of Things (IoT), Applications and Challenges: A Comprehensive Review,» *Wireless Personal Communications*, τόμ. 114, αρ. 1, pp. 1687-1762, 2020.
- [11] Y. Choudhari, M. Patil, R. Dehankar, S. Khandekar και N. Chourasia, «Arduino Nano based Dust and Humidity Quality Monitoring using Web of Things,» *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, τόμ. 3, αρ. 2, pp. 662-665, 2020.
- [12] A. Souza, M. Figueredo, N. Cacho, D. Araujo and C. A. Prolo, "Using Big Data and Real-Time Analytics to Support Smart City Initiatives," *IFAC-Papers Online*, vol. 49, no. 30, pp. 257-262, 2016.
- [13] P. Nayak, «Internet of Things Services, Applications, Issues, and Challenges,» σε *Internet of Things: Breakthroughs in Research and Practice*, Hershey, PA, IGI Global, 2017, pp. 491-506.
- [14] F. Al-Turjman, *The Cloud in IoT-enabled Spaces*, Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group LLC, 2020.

- [15] S. Zafar, G. Miraj, R. Baloch, D. Murtaza και K. Arshad, «An IoT Based Real-Time Environmental Monitoring System Using Arduino and Cloud Service,» *Engineering, Technology & Applied Science Research*, τόμ. 8, αρ. 4, pp. 3238-3242, 2018.
- [16] P. Wlodarczak, "Smart Cities - Enabling Technologies for Future Living," in *City Networks: Collaboration and Planning for Health and Sustainability*, Cham, Switzerland, Springer, 2017, pp. 1-16.
- [17] L. Atzori, A. Iera και G. Morabito, «The Internet of Things: A Survey,» *Computer Networks*, τόμ. 54, αρ. 1, pp. 2787-2805, 2010.
- [18] I. Black και G. White, «Citizen Science, Air Quality, and the Internet of Things,» σε *The Internet of Things: Breakthroughs in Research and Science*, Hershey, PA, IGI Global, 2017, pp. 137-160.
- [19] W. Fisk, «Health and Productivity Gains from Better Indoor Environments and their Relationship with Building Energy Efficiency,» *Annual Review of Energy and the Environment*, τόμ. 25, αρ. 2000, pp. 537-566, 2000.
- [20] J. Khazaii, *Energy-Efficient HVAC Design*, Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2014.
- [21] A. Carre και T. Williamsin, «Design and Validation of a Low Cost Indoor Environment Quality Data Logger,» *Energy and Buildings*, τόμ. 158, αρ. 1, pp. 1751-1761, 2018.
- [22] M. Trcka και J. Hensen, «Overview of HVAC system simulation,» *Automation in Construction*, τόμ. 19, αρ. 2, pp. 93-99, 2010.
- [23] M. Karami, G. V. McMorrow και L. p. Wang, «Continuous Monitoring of Indoor Environmental Quality Using an Arduino-based Data Acquisition System,» *Journal of Building Engineering*, τόμ. 19, αρ. 1, pp. 412-419, 2018.
- [24] Waveshare, «Dust Sensor User Manual,» Waveshare, Shenzhen, China, 2015.
- [25] J. Li, H. Li, Y. Ma , A. Abokifa, C. Lu και P. Biswas, «Spatiotemporal Distribution of Indoor Particulate Matter Concentration with a Low-cost Sensor Network,» *Building and Environment*, τόμ. 127, αρ. 1, pp. 138-147, 2018.
- [26] Pacific Northwest National Laboratory, «Volttron: A Technology for Efficient Buildings and Integration of Distributed Energy Resources with the Grid,» US Department of Energy, Washington, D.C, 2017.
- [27] S. Gillooly, Y. Zhou, J. Vallarino, M. Chu, D. Michanovicz, J. Levy και G. Adamkiewicz, «Development of an In-home, Real-time Air Pollutant Sensor Platform and Implications for Community Use,» *Environmental Pollution*, τόμ. 244, αρ. 1, pp. 440-450, 2019.
- [28] J. Saini, M. Dutta και G. Marques, «Indoor Air Quality Monitoring Systems Based on Internet of Things: A Systematic Review,» *International Journal of Environmental Research and Public Health*, τόμ. 17, αρ. 1, p. 4942, 2020.
- [29] J. Saini, M. Dutta και G. Marques, *Internet of Things*, Cham, Switzerland: Springer Nature, 2021.

- [30] N. Radjou και J. Prabhu, *Frugal Innovation: How to Do More with Less*, New York, NY: Public Affairs, 2014.
- [31] H. Al-Mimi, A. Al-Dahoud, M. Fezari και M. Daoud, «A Study on New Arduino Nano Board for WSN and IoT Applications,» *International Journal of Advanced Science and Technology*, τόμ. 29, αρ. 4, pp. 10223-10230, 2020.
- [32] Microchip Technology Inc., «Microchip Developer Help,» 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://microchipdeveloper.com/32arm:samd21-mcu-overview>. [Πρόσβαση 14 May 2023].
- [33] Arduino S.r.i., «Arduino Nano 33 IoT,» 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano-33-iot>. [Πρόσβαση 11 May 2023].
- [34] Arduino S.r.i., «Arduino Nano 33 IoT,» 12 May 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://docs.arduino.cc/static/764c57c48c80e3e7c4796c1327a49f0c/ABX00027-datasheet.pdf>. [Πρόσβαση 14 May 2023].
- [35] J. Massana, C. Pous, L. Burgas, J. Melendez and J. Colomer, "Identifying services for short-term load forecasting using data driven models in a Smart City platform," *Sustainable Cities and Society*, vol. 28, pp. 108-117, 2017.
- [36] M. Marjani, F. Nasaruddin, A. Gani, A. Karim, I. A. T. Hashem, A. Siddiqua και I. Yaqoob, «Big IoT Data Analytics: Architecture, Opportunities, and Open Research Challenges,» *IEEE Access*, τόμ. 5, pp. 5247-5261, 29 March 2017.
- [37] G. Aydin, I. R. Hallac and B. Karakus, "Architecture and Implementation of a Scalable Sensor Data Storage and Analysis System Using Cloud Computing and Big Data Technologies," *Journal of Sensors*, p. 11 pages, 30 March 2015.
- [38] S. Panda, "Security Issues and Challenges in Internet of Things," in *The Internet of Things: Breakthroughs in Research and Practice*, Hersey, Pa, IGI Global, 2017, pp. 189-204.
- [39] H. Habibzadeh, A. Boggio-Dandry, Z. Qin, T. Soyata, B. Kantarci and H. Mouftah, "Soft Sensing in Smart Cities: Handling 3Vs Using Recommender Systems, Machine Intelligence, and Data Analytics," *IEEE Communications Magazine*, pp. 78-86, February 2018.
- [40] T. Liu, «Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22,» Aosong Electronics Co.,Ltd, Guangzhou, 2019.
- [41] N. Fanchamps, L. Slangen, P. Hennissen και M. Specht, «The Influence of SRA Programming on Algorithmic Thinking and Self-efficacy Using Lego Robotics in Two Types of Instruction,» *International Journal of Technology and Design Education*, τόμ. 31, αρ. 1, pp. 203-222, 2019.
- [42] S. Monk, *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*, New York: McGraw-Hill Education, 2023.
- [43] H. Arasteh, V. Hosseinneshad, V. Loia και P. Siano, «IoT-based Smart Cities: a Survey,» σε *The 16th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, (IEEE-EEEIC'16)*, Florence, 2016.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

### Αρχείο Classroom\_Air\_Quality.ino

```
#include "thingProperties.h"
#include <DHT22.h>

const int fanPin = 9; // the number of the fan pin
const int dustPin = A0; // the number of the dust pin
const int dustIntLedPin = 7; //the number of the internal led pin of the dust sensor
const int dht22Pin = 2; // the number of the dht22 pin

DHT22 dht22(dht22Pin);

int samplingTime = 280; //Sampling time od dust sensor
int deltaTime = 40; //delta time of the dust sensor
int sleepTime = 9680; //sleep time of the dust sensor

float voMeasured = 0; //initialises the voltage output variable for the dust sensor
float calcDust = 0; //initialises the mapping variable for the dust sensor

void setup() {
  // Initialize serial and wait for port to open:
  Serial.begin(9600);
  // This delay gives the chance to wait for a Serial Monitor without blocking if none is found
  delay(1500);

  // Defined in thingProperties.h
  initProperties();

  // Connect to Arduino IoT Cloud
```

```
ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);
```

```
/*
```

The following function allows you to obtain more information related to the state of network and IoT Cloud connection and errors the higher number the more granular information you'll get. The default is 0 (only errors). Maximum is 4

```
*/
```

```
setDebugMessageLevel(2);
```

```
ArduinoCloud.printDebugInfo();
```

```
pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
```

```
pinMode(fanPin, OUTPUT);
```

```
pinMode(dustIntLedPin, OUTPUT);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  ArduinoCloud.update();
```

```
  digitalWrite(LED_BUILTIN, led); //turns on-off the testing led
```

```
  if(!fan){
```

```
    digitalWrite(fanPin, HIGH); //turn-off fan
```

```
  } else if(temperature > temp_max || humidity>hum_max){
```

```
    digitalWrite(fanPin,LOW); //turn on fan
```

```
  } else {
```

```
    digitalWrite(fanPin, HIGH); //turn-off fan
```

```
  }
```

```
  digitalWrite(dustIntLedPin, LOW); //power on the dust sensor internal led
```

```
  delayMicroseconds(samplingTime); //delay for the dust sensor sampling time
```

```
  voMeasured = analogRead(dustPin); //Reads the dust pin value
```

```
  delayMicroseconds(deltaTime);
```

```

digitalWrite(dustIntLedPin,HIGH); // turn the dust sensor internal led off
delayMicroseconds(sleepTime);

calcDust = voMeasured * 5.0 / 1024.0; //Maps the 0-5V output in a range of 0 -1023 value
dust = 170 * calcDust - 0.1;

if(dust>dust_max){
  dust_alert=HIGH;
}
else{
  dust_alert=LOW;
}

temperature = dht22.getTemperature();
humidity = dht22.getHumidity();

delay(1000);
}
void onLedChange() {
  Serial.print("Led status changed:");
  Serial.println(led);
}

void onFanChange() {
  Serial.print("Fan status changed:");
  Serial.println(!fan);
}

void onTempMaxChange() {
}
void onTempMinChange() {
}

```

```
void onDustMaxChange() {  
}
```

```
void onHumMaxChange() {  
}
```

### **Αρχείο thingProperties.h**

```
// Code generated by Arduino IoT Cloud
```

```
#include <ArduinoIoTCloud.h>
```

```
#include <Arduino_ConnectionHandler.h>
```

```
const char SSID[] = SECRET_SSID; // Network SSID (name)
```

```
const char PASS[] = SECRET_OPTIONAL_PASS; // Network password (use for WPA, or use as  
key for WEP)
```

```
void onDustMaxChange();
```

```
void onHumMaxChange();
```

```
void onTempMaxChange();
```

```
void onFanChange();
```

```
void onLedChange();
```

```
float dust;
```

```
float dust_max;
```

```
float humidity;
```

```
float hum_max;
```

```
float temperature;
```

```
float temp_max;
```

```
bool dust_alert;
```

```
bool fan;
```

```
bool led;
```

```
void initProperties(){
```

```
ArduinoCloud.addProperty(dust, READ, 10 * SECONDS, NULL);
ArduinoCloud.addProperty(dust_max, READWRITE, ON_CHANGE, onDustMaxChange);
ArduinoCloud.addProperty(humidity, READ, 10 * SECONDS, NULL);
ArduinoCloud.addProperty(hum_max, READWRITE, ON_CHANGE, onHumMaxChange);
ArduinoCloud.addProperty(temperature, READ, 10 * SECONDS, NULL);
ArduinoCloud.addProperty(temp_max, READWRITE, ON_CHANGE, onTempMaxChange);
ArduinoCloud.addProperty(dust_alert, READ, 1 * SECONDS, NULL);
ArduinoCloud.addProperty(fan, READWRITE, ON_CHANGE, onFanChange);
ArduinoCloud.addProperty(led, READWRITE, ON_CHANGE, onLedChange);

}

WiFiConnectionHandler ArduinoIoTPreferredConnection(SSID, PASS);
```