ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αποτύπωση των γεωλογικών αλλαγών στην γεωργία με χρήση ασύρματων δικτύων.

Ειδική περίπτωση: Σχεδιασμός και υλοποίηση ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης του μικροκλίματος θερμοκηπίων με τεχνολογίες IoT.

Agricultural changes visualization in farming with wireless networks.

Special case: Design and implementation of an integrated greenhouse microclimate management system with IoT technologies.

Διδασκάλου Λάζαρος

Επιβλέποντες καθηγητές:

Αγγελίδης Παντελής

Γκάλφας Νικόλαος

Κοζάνη, Φεβρουάριος 2021

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των μέσων δικτύωσης, έχουν επηρεάσει εμφανώς διάφορες πτυχές της οικονομίας και της κοινωνικής ζωής των ανθρώπων. Η διασύνδεση διαφόρων συσκευών με το διαδίκτυο και ο έλεγχος τους από τον άνθρωπο αποτελεί προϊόν του Διαδικτύου των Πραγμάτων (ΔτΠ ή IoT). Το IoT αναπτύσσεται και προσαρμόζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις των ανθρώπων. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση και ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου συστήματος ελέγχου των περιβαλλοντολογικών συνθηκών του μικροκλίματος των θερμοκηπίων με χρήση τεχνολογιών IoT. Τα θερμοκήπια αποτελούν κατασκευές με ισχυρές μεθόδους ανάπτυξης φυτών που ολοένα κερδίζουν έδαφος λόγω των δυνατοτήτων τους να προστατεύουν τις καλλιέργειες σε δύσκολες καιρικές συνθήκες ανεξάρτητα από την εποχή. Οι τεχνολογίες που αναπτύσσονται καθιστούν τον έλεγχο του μικροκλίματος ολοένα και πιο εύκολο, προσφέροντας στους καλλιεργητές την δυνατότητα να βελτιστοποιήσουν το κόστος, την ποιότητα και την ποσότητα παραγωγής των προϊόντων τους. Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν βασικές τεχνολογίες IoT, όπως υπηρεσίες cloud για συλλογή, αποθήκευση και απεικόνιση δεδομένων που αφορούν περιβαλλοντικές συνθήκες. Για την αποστολή των δεδομένων στη βάση χρησιμοποιήθηκε το πλέον διαδεδομένο πρωτόκολλο LPWAN δικτύωσης, το LoRaWAN. Πρωταρχικά, τα δεδομένα με μικρή κατανάλωση ενέργειας και μεγάλη χωρική εμβέλεια στέλνονται στην πλατφόρμα The Things Network, απ’ όπου μέσω του πρωτοκόλλου MQTT προωθούνται και αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων χρονοσειρών, την InfluxDB. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Grafana για την απεικόνιση των δεδομένων σε χρονογραφήματα.

Λέξεις κλειδιά

Διαδίκτυο των πραγμάτων, Έξυπνη γεωργία, Θερμοκήπιο, LoRaWAN, Υπηρεσίες cloud

Abstract

In recent years, the evolution of technology in conjunction with the development of networking media, have clearly affected various aspects of the economy and social life of people. The interconnection of various devices with the internet and their human control is a product of the Internet of Things (IoT). The IoT is developed and adapted to the needs of the people. The purpose of this thesis is to design and develop an automated system for controlling the environmental conditions of the greenhouse microclimate using IoT technologies. Greenhouses are structures with strong plant growth methods that are gaining ground due to their ability to protect crops in difficult weather conditions regardless of the season. Developing technologies make microclimate control easier, giving growers the opportunity to optimize the cost, quality and quantity of their products. In this thesis, basic IoT technologies were used, such as cloud services for collecting, storing and displaying data related to environmental conditions. The common LPWAN networking protocol, LoRaWAN, was used to send the data to the database. Primarily, low-power, high-spatial data is sent to The Things Network platform, from where it is forwarded and stored in a time series database, InfluxDB, through the MQTT protocol. Finally, the Grafana tool was used to display the data in vignettes.

Keywords

Internet of Things, Smart agriculture, Greenhouse, LoRaWAN, Cloud services

Δήλωση πνευματικών δικαιωμάτων

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο "Αποτύπωση των γεωλογικών αλλαγών στην γεωργία με χρήση ασύρματων δικτύων. Ειδική περίπτωση: Σχεδιασμός και υλοποίηση ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης του μικροκλίματος θερμοκηπίων με τεχνολογίες IoT", καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη των μελών του Τμήματος κ. Αγγελίδη Παντελή και κ. Γκάλφα Νικόλαο, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

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

Copyright (C) Διδασκάλου Λάζαρος, Αγγελίδης Παντελής, Γκάλφας Νικόλαος, 2021, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή:

Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται όλο και περισσότερο στη χώρα μας η ανάπτυξη του αγροτικού τομέα, ο οποίος αποτελεί θεμελιώδες και αναπόσπαστο συστατικό της οικονομίας μας. Αυτή εμφανίζεται κυρίως λόγω του μεσογειακού κλίματος που την διέπει και επιτρέπει στους καλλιεργητές να παράγουν προϊόντα υψηλής ποιότητας. Πάραυτα, οι αδύναμες δομές της ελληνικής γεωργίας αφήνουν τεράστια περιθώρια ανάπτυξής της μέσω τεχνολογιών. Στόχος εισχώρησης των τεχνολογιών IoT στον κλάδο της γεωργίας είναι η βελτιστοποίηση της παραγωγής από πλευράς κόστους, ποιότητας και ποσότητας, ενώ προσφέρουν μεγάλη γκάμα δυνατοτήτων στους καλλιεργητές.

Υιοθετείται η έννοια της έξυπνης γεωργίας (smart agriculture) που έρχεται να δώσει λύσεις σε πολλά προβλήματα που αντιμετωπίζει ο συγκεκριμένος κλάδος. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που δύναται να επικρατήσουν σε ένα θερμοκήπιο καθορίζουν την ανάπτυξή της εκάστοτε καλλιέργειας. Με τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας δίνεται η δυνατότητα στον καλλιεργητή να γνωρίζει σε βάθος τις συνθήκες της καλλιέργειας του, προστατεύοντάς την από διάφορους κινδύνους που μπορούν να προκύψουν.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που εντοπίζεται στην ανάπτυξη των φυτών είναι η δυσκολία του υπευθύνου να βρίσκεται κοντά τους ούτως ώστε να μπορεί να επέμβει όταν κρίνεται αναγκαίο. Σύγχρονες τεχνολογίες όπως τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, οι τεχνολογίες cloud computing και τηλεμετρίας αναπτύσσονται για να λύσουν τέτοια προβλήματα γλιτώνοντας τον υπεύθυνο από ανούσιες δαπάνες χρόνου, χρήματος και φυσικά ρίσκου.

Κίνητρο για την διεξαγωγή της εργασίας αποτέλεσε η ανάγκη των καλλιεργητών να μπορούν να φροντίζουν την επένδυσή τους απομακρυσμένα. Επιπλέον, η δυνατότητα εύκολης αποθήκευσης των περιβαλλοντικών δεδομένων, για μία καλλιέργεια και για μεγάλο χρονικό διάστημα, μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης πολλών επιστημονικών κοινοτήτων. Ο κλάδος της γεωπονίας μελετώντας τα δεδομένα, θα μπορεί να εξάγει πολύτιμα συμπεράσματα για την συμπεριφορά των φυτών σε αλλαγές συνθηκών στις οποίες αναπτύσσονται. Τέλος, βασικό κίνητρο για την ενασχόληση μου με το αντικείμενο του IoT αποτέλεσε η ανάγκη αξιοποίησης προηγμένων τεχνολογιών, για την ενίσχυση του βιοτικού επιπέδου, την εξοικονόμησης οικονομικών πόρων και όχι μόνο.

Το σύστημα IoT που παρουσιάζεται στην εργασία, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε με γνώμονα τον περιορισμό των κινδύνων που μπορεί να αντιμετωπίσει μία θερμοκηπιακή μονάδα. Πιο αναλυτικά:

Κατασκευάστηκε πρότυπη μακέτα μικρού θερμοκηπίου για την ανάγκη άντλησης δεδομένων υπό πραγματικές συνθήκες χρησιμοποιώντας ως υλικά το ξύλο και το νάιλον. Ως φυτό για τις μετρήσεις επιλέχθηκε το μαρούλι, καθώς το επέτρεπε η εποχή κατά την οποία έλαβε χώρα η εκπόνηση της εργασίας αλλά και γιατί αποτελεί ένα σχετικά εύκολο για καλλιέργεια λαχανικό σε θερμοκήπιο. Ο αισθητήριος κόμβος σχεδιάστηκε ώστε ο χρήστης του συστήματος να ξέρει ανά πάσα στιγμή τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό του θερμοκηπίου του. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται από τους αισθητήρες είναι αυτές της θερμοκρασίας, της υγρασίας, του επίπεδου CO2, της φωτεινότητας, καθώς και της υγρασίας εδάφους. Το θερμοκήπιο χαρακτηρίζεται αυτοματοποιημένο διότι οι λειτουργίες για την διαχείριση των συνθηκών στο εσωτερικό του διενεργούνται αυτόματα χωρίς την επέμβαση του ιδιοκτήτη. Αναλυτικότερα, οι λειτουργίες που υποστηρίζει το σύστημα είναι το πότισμα, ο δυναμικός εξαερισμός, ο φυσικός εξαερισμός και ο τεχνητός φωτισμός. Εφαρμόζονται μέσω διαφόρων ενεργοποιητών, όπως βηματικών μοτέρ, ηλεκτρικής αντλίας νερού, ανεμιστήρων, και ταινίας φωτισμού τύπου Led.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, γίνονται κατανοητές στον αναγνώστη ορισμένες θεμελιώδεις έννοιες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ή IoT, τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, η Έξυπνη Γεωργία καθώς και άλλες έννοιες όπως το πρωτόκολλο LoRaWAN, οι αισθητήρες και τέλος οι ενεργοποιητές. Ακόμη, παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα τα στοιχεία άλλων ερευνητικών έργων σχετικών με αυτοματισμούς σε θερμοκήπια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας συναντάμε την αναλυτική περιγραφή της αναπτυξιακής πλακέτας και των υπόλοιπων ηλεκτρονικών στοιχείων που επιλέχθηκαν για την ορθή λειτουργία του συστήματος καθώς και τον τρόπο σύνδεσης μεταξύ τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το λογισμικό κομμάτι του συστήματος, δηλαδή ότι αφορά στον προγραμματισμό του αισθητήριου κόμβου, στην αποστολή των δεδομένων στην πλατφόρμα The Things Network, στην αποθήκευση αυτών στην βάση δεδομένων και στην απομακρυσμένη απεικόνισή τους σε μορφή γραφημάτων.

Τέλος, παρουσιάζονται τα γραφήματα των δεδομένων που προκύπτουν από την λειτουργία του συστήματος μέσω του εργαλείου Grafana, επισημαίνονται ορισμένες αδυναμίες και προτείνονται οι πιθανές μελλοντικές αναβαθμίσεις του.

Περιεχόμενα

Περίληψη ..... - 1 -

Λέξεις κλειδιά ..... - 1 -

Abstract ..... - 2 -

Keywords ..... - 2 -

Δήλωση πνευματικών δικαιωμάτων ..... - 3 -

Εισαγωγή ..... - 4 -

Περιεχόμενα ..... - 7 -

Πίνακας αρκτικόλεξων ..... - 10 -

Κατάλογος εικόνων ..... - 14 -

Κατάλογος πινάκων ..... - 17 -

Κεφάλαιο 1: Internet of Things ..... - 18 -

1.1 Έξυπνη Γεωργία ..... - 22 -

1.1.1 IoT στην Γεωργία ..... - 23 -

1.1.2 Περίπτωση: Θερμοκήπιο ..... - 24 -

1.1.3 Μικροκλίμα ..... - 26 -

1.2 Τεχνολογίες επικοινωνίας ..... - 33 -

1.3 LoRaWAN ..... - 37 -

1.4 Αρχιτεκτονική IoT ..... - 41 -

1.5 Πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων ..... - 43 -

1.6 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων ..... - 45 -

1.6.1 Αρχιτεκτονική ΑΔΑ ..... - 46 -

1.6.2 Τοπολογίες ΑΔΑ ..... - 49 -

1.7 Μικροελεγκτές ..... - 53 -

1.8 Αισθητήρες ..... - 57 -

1.8.1 Αναλογικοί αισθητήρες ..... - 58 -
1.8.2 Ψηφιακοί αισθητήρες ..... - 58 -
1.8.2.1 Δίαυλοι επικοινωνίας ..... - 59 -
1.9 Ενεργοποιητές ..... - 60 -
1.10 Παραπλήσιες υλοποιήσεις αυτοματισμών σε θερμοκήπια ..... - 61 -
Κεφάλαιο 2: Υλικό μέρος συστήματος ..... - 71 -
2.1 Οι λειτουργίες που υλοποιήθηκαν ..... - 71 -
2.2 Η μακέτα του συστήματος ..... - 72 -
2.3 Η αναπτυξιακή πλακέτα Sodaq Explorer ..... - 74 -
2.4 Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν ..... - 76 -
2.4.1 AM2302 - DHT22 ..... - 76 -
2.4.2 SparkFun Soil Moisture Sensor ..... - 77 -
2.4.3 Flora Lux Sensor - tsl2561 ..... - 78 -
2.4.4 MG – 811 co2 Sensor ..... - 79 -
2.5 Οι ενεργοποιητές και άλλα ηλεκτρονικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ..... - 79 -
2.6 Συνδέσεις ..... - 87 -
Κεφάλαιο 3: Λογισμικό μέρος Συστήματος ..... - 89 -
3.1 Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή ..... - 90 -
3.1.1 Βιβλιοθήκες ..... - 91 -
3.1.2 Καθορισμός στοιχείων για χρήση LoRaWAN ..... - 93 -
3.1.3 Δηλώσεις pins ..... - 94 -
3.1.4 Δηλώσεις μεταβλητών ..... - 95 -
3.1.5 Δηλώσεις συναρτήσεων ..... - 96 -
3.1.6 Δημιουργία αντικειμένων ..... - 96 -

3.1.7 Η συνάρτηση setup() ..... - 97 -
3.1.8 Η συνάρτηση millis() ..... - 99 -
3.1.9 Η συνάρτηση loop() ..... - 100 -
3.1.10 Οι συναρτήσεις των λειτουργιών ..... - 103 -
3.2 Χρήση LoRaWAN μέσω TTN ..... - 105 -
3.3 Υπηρεσίες Cloud -TIG ..... - 108 -
3.3.1 Telegraf ..... - 109 -
3.3.2 InfluxDB ..... - 113 -
3.3.3 Grafana ..... - 118 -
Επίλογος ..... - 126 -
Μελλοντικές επεκτάσεις ..... - 127 -
Βιβλιογραφικές αναφορές ..... - 131 -
Παράρτημα Α ..... - 140 -
Παράρτημα Β ..... - 150 -

Πίνακας αρκτικόλεξων

ΑΔΑ	Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων
ΔτΠ	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
ΙΧ	Ιδιωτική Χρήση
ΟΑΣΘ	Οργανισμός Αστικών Συγκοινωνιών Θεσσαλονίκης
ABP	Activation By Personalisation
A / D	Analog to Digital
ALU	Arithmetic/Logic Unit
AMQP	Advanced Message Queuing Protocol
AppEUI	Application Extended Unique Indetifier
AppKey	Application Key
AppSKey	Application Session Key
API	Application Programming Interface
ARM	Advanced RISC Machines
ARQ	Automatic Repeat Request
AVR	Alf and Vegard's RISC
BLE	Bluetooth Low Energy
CISC	Complex Instruction Set Computer
CLI	Command-line Interface
CN	Coordinator of Network
CO_2	Carbon dioxide
CoAP	Constrained Application Protocol
COM	Common
CPU	Central Processing Unit
CSMA / CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DAC	Digital to Analog Converter
DC	Direct Current
DevAddr	Device Adrdress
DevEUI	Device Extended Unique Indetifier

DHT	Digital Humidity Temperature
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
FEC	Forward Error Correction
FFD	Full Function Device
FreeBSD	Free Berkeley Software Distribution
FSK	Frequency-shift Keying
GND	Ground
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System Mobile
HAN	Home Automation Network
I2C	Inter-Integrated Circuit
IC	Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IIoT	Industrial Internet of Things
I/O	Input/Output
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
ISP	Internet Service Provider
LDR	Light-Dependent Resistor
LED	Light Emitting Diode
LiPo	Lithium Polymer
LoRa	Long Range
LoRaWAN	Long Range Wide-Area Network
LoS	Line of Sight
LPWAN	Low-Power Wide-Area network
LSB	Least Significant Byte First
LTE	Long Term Evolution
LoWPAN	Low-power Wireless Personal Area Network

M2M	Machine to Machine
MAC	Media Access Control
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MPU	Microprocessing Unit
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NC	Normally Closed
NFC	Near-field Communication
NO	Normally Open
NwkSKey	Network Session Key
OSI	Open Systems Interconnection
OTAA	Over the Air Activation
PIC	Peripheral Interface Controller
ppm	parts per million
PWM	Pulse Width Modulation
QoS	Quality of Service
RAM	Random Access Memory
RFD	Reduced Function Device
RFID	Radio Frequency Identification
RISC	Reduced Instruction Set Computer
ROM	Read-Only Memory
RPM	Revolutions Per Minute
RTC	Real Time Clock
SAM	Smart ARM based Microcontroller
SCL	Serial Clock Line
SD	Secure Digital
SDA	Serial Data line
SI	System International
SMS	Short Message Service
SPI	Serial Peripheral Interface

SRAM	Static Random-Access Memory
TCP	Transmission Control Protocol
TIG	Telegraf Influxdb Grafana
TLS	Transport Layer Security
TSDB	Time Series DataBase
TTN	The Things Network
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
UDP	User Datagram Protocol
USART	Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus
VM	Virtual Machine
VPN	Virtual Private Network
WiFi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WSN	Wireless Sensor Network

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1 - Τα οφέλη του IIoT ..... - 21 -
Εικόνα 1.2 - Τομή συνιστωσών του IoT ..... - 22 -
Εικόνα 1.3 - Τοξωτό πολλαπλό ..... - 25 -
Εικόνα 1.4 - Γοτθικό πολλαπλό ..... - 25 -
Εικόνα 1.5 - Τύπου τούνελ [9] ..... - 26 -
Εικόνα 1.6 - Αρχιτεκτονική LoRaWAN ..... - 38 -
Εικόνα 1.7 - Αρχιτεκτονική του συστήματος της εργασίας ..... - 42 -
Εικόνα 1.8 - Αρχιτεκτονική Ασύρματου Δικτύου Επικοινωνίας ..... - 46 -
Εικόνα 1.9 - Τοπολογία Αστέρα ..... - 50 -
Εικόνα 1.10 - Τοπολογία Mesh ..... - 52 -
Εικόνα 1.11 - Τοπολογία Cluster ..... - 52 -
Εικόνα 1.12 - Βασικοί τύποι μικροελεγκτών ..... - 53 -
Εικόνα 1.13 - Δίαυλοι επικοινωνίας αισθητήρων ..... - 58 -
Εικόνα 2.1 - Λειτουργίες που υλοποιήθηκαν ..... - 71 -
Εικόνα 2.2 - Μακέτα συστήματος (1) ..... - 72 -
Εικόνα 2.3 - Μακέτα συστήματος (2) ..... - 73 -
Εικόνα 2.4 - Μακέτα συστήματος (3) ..... - 73 -
Εικόνα 2.5 - Μακέτα συστήματος (4) ..... - 74 -
Εικόνα 2.6 - Sodaq Explorer ..... - 75 -
Εικόνα 2.7 - AM2302 ..... - 76 -
Εικόνα 2.8 - SparkFun soil moisture sensor ..... - 77 -
Εικόνα 2.9 - Flora TSL2561 Lux Sensor ..... - 78 -
Εικόνα 2.10 - MG 811 co2 sensor ..... - 79 -
Εικόνα 2.11 - Real Time Clock ..... - 80 -
Εικόνα 2.12 - Relay Module ..... - 81 -
Εικόνα 2.13 - Relay parts ..... - 81 -
Εικόνα 2.14 - Stepper Motor ..... - 82 -
Εικόνα 2.15 – Module ULN2003 ..... - 83 -
Εικόνα 2.16 – Mini water pump ..... - 84 -

Εικόνα 2.17 - Fan ..... - 84 -
Εικόνα 2.18 - Strip led ..... - 85 -
Εικόνα 2.19 - Τροφοδοτικό ..... - 85 -
Εικόνα 2.20 – Διάτρητη πλακέτα ..... - 86 -
Εικόνα 2.21 - Θήκη αισθητήρων ..... - 86 -
Εικόνα 2.22 - Σχηματικό του συστήματος ..... - 88 -
Εικόνα 3.1 - Ροή δεδομένων του συστήματος ..... - 89 -
Εικόνα 3.2 - Δηλώσεις βιβλιοθηκών ..... - 91 -
Εικόνα 3.3 - Καθορισμός στοιχείων για χρήση LoRaWAN ..... - 94 -
Εικόνα 3.4 - Δηλώσεις pins ..... - 94 -
Εικόνα 3.5 - Δηλώσεις μεταβλητών ..... - 95 -
Εικόνα 3.6 - Δηλώσεις συναρτήσεων ..... - 96 -
Εικόνα 3.7 - Δημιουργία αντικειμένων ..... - 96 -
Εικόνα 3.8 - Η συνάρτηση setup() ..... - 98 -
Εικόνα 3.9 - Η συνάρτηση loop() ..... - 100 -
Εικόνα 3.10 - Άντληση των μετρήσεων ..... - 101 -
Εικόνα 3.11 - Αποστολή του data μέσω LoRaWAN ..... - 101 -
Εικόνα 3.12 - Έλεγχος για πότισμα ..... - 102 -
Εικόνα 3.13 - Έλεγχος για δυναμικό και φυσικό εξαερισμό ..... - 102 -
Εικόνα 3.14 - Έλεγχος για τεχνητό φωτισμό ..... - 103 -
Εικόνα 3.15 - Οι συναρτήσεις των λειτουργιών ..... - 104 -
Εικόνα 3.16 - TTN application overview ..... - 105 -
Εικόνα 3.17 - TTN device overview ..... - 106 -
Εικόνα 3.18 - TTN decoder ..... - 107 -
Εικόνα 3.19 - TTN data(1) ..... - 107 -
Εικόνα 3.20 - TTN data(2) ..... - 107 -
Εικόνα 3.21 - VPN ..... - 108 -
Εικόνα 3.22 - PuTTY ..... - 109 -
Εικόνα 3.23 - Εγκατάσταση Telegraf ..... - 110 -
Εικόνα 3.24 - Telegraf σαν πακέτο deamon ..... - 110 -

Εικόνα 3.25 - Πληροφορίες Telegraf....- 111 -
Εικόνα 3.26 - Εντολή vi editor για το πακέτο Telegraf....- 111 -
Εικόνα 3.27 - MQTT.fx....- 112 -
Εικόνα 3.28 - MQTT.fx (Subscribe)....- 112 -
Εικόνα 3.29 - MQTT.fx (Log)....- 113 -
Εικόνα 3.30 - Εγκατάσταση InfluxDB....- 114 -
Εικόνα 3.31 - InfluxDB σαν πακέτο deamon....- 115 -
Εικόνα 3.32 - InfluxDB....- 115 -
Εικόνα 3.33 - Εντολή vi editor για το πακέτο InfluxDB....- 115 -
Εικόνα 3.34 - Εκκίνηση πακέτου InfluxDB....- 115 -
Εικόνα 3.35 - Πληροφορίες InfluxDB....- 116 -
Εικόνα 3.36 - Εκκίνηση διεπαφής με InfluxDB....- 116 -
Εικόνα 3.37 - Δημιουργία βάσης krokosGreenhouse....- 116 -
Εικόνα 3.38 - Δημιουργία χρήστη telegraf....- 117 -
Εικόνα 3.39 - Δικαιώματα χρήστη telegraf....- 117 -
Εικόνα 3.40 - Εμφάνιση mqtt_consumer....- 117 -
Εικόνα 3.41 - η βάση μέσω Time Series Admin....- 118 -
Εικόνα 3.42 - Η βάση μέσω PuTTY....- 118 -
Εικόνα 3.43 - Εγκατάσταση Grafana....- 119 -
Εικόνα 3.44 - Πληροφορίες Grafana....- 119 -
Εικόνα 3.45 - Πληροφορίες πακέτων του Server....- 120 -
Εικόνα 3.46 - Ενεργές διεργασίες του Server....- 120 -
Εικόνα 3.47 - Γράφημα θερμοκρασίας....- 121 -
Εικόνα 3.48 - Γράφημα σχετικής υγρασίας....- 122 -
Εικόνα 3.49 - Γράφημα φωτεινότητας....- 123 -
Εικόνα 3.50 - Γράφημα επιπέδου CO2....- 124 -
Εικόνα 3.51 - Γράφημα υγρασίας εδάφους....- 125 -

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1 - Πρωτόκολλα IoT, Σύγκριση τεχνολογιών επικοινωνίας φυσικού επιπέδου [18]. ..... - 36 -
Πίνακας 2 - Οι πιο διαδεδομένες Ασύρματες Τεχνολογίες του IoT [8]. ..... - 36 -
Πίνακας 3 - Σύγκριση πρωτοκόλλων IoT με βάση τους βασικού δείκτες απόδοσης... - 44 -
Πίνακας 4 - Παραπλήσιες υλοποιήσεις αυτοματισμών σε θερμοκήπια ..... - 70 -
Πίνακας 5 - Χαρακτηριστικά Sodaq Explorer ..... - 76 -
Πίνακας 6 - Χαρακτηριστικά AM2312 [62] ..... - 77 -
Πίνακας 7 - Χαρακτηριστικά SparkFun soil moisture sensor ..... - 78 -
Πίνακας 8 - Χαρακτηριστικά Flora TSL2561 Lux Sensor ..... - 78 -
Πίνακας 9 - Χαρακτηριστικά MG 811 co2 sensor ..... - 79 -
Πίνακας 10 - Χαρακτηριστικά Real Time Clock ..... - 80 -
Πίνακας 11 - Χαρακτηριστικά Relay Module ..... - 82 -
Πίνακας 12 - Χαρακτηριστικά stepper motor ..... - 83 -
Πίνακας 13 - Χαρακτηριστικά Water pump ..... - 84 -
Πίνακας 14 - Εκτιμώμενο κόστος κατασκευής ..... - 87 -
Πίνακας 15 - Θερμοκρασία ..... - 121 -
Πίνακας 16 - Σχετική υγρασία ..... - 122 -
Πίνακας 17 - Φωτεινότητα ..... - 123 -
Πίνακας 18 - Επίπεδο CO2 ..... - 124 -
Πίνακας 19 - Υγρασία εδάφους ..... - 125 -

Κεφάλαιο 1: Internet of Things

Το Internet of Things (IoT) είναι μια περίπλοκη ιδέα για να δώσουμε ακριβή ορισμό. Είναι ένα έξυπνο σύστημα που συνδυάζει αισθητήρες, ελεγκτές, συνδεσιμότητα και επικοινωνία με τον άνθρωπο. Μπορεί να χαρακτηρισθεί ως ένα ψηφιακό νευρικό σύστημα αφού μας δίνει την δυνατότητα να αντιλαμβανόμαστε καταστάσεις άμεσα, όπως αλλαγή της θερμοκρασίας, και να δραστηριοποιούμαστε ανάλογα. Όργανα αυτού του συστήματος είναι οι αισθητήρες που καταγράφουν τα δεδομένα και τα στέλνουν στον "εγκέφαλο", δηλαδή στον μικροεπεξεργαστή. Επομένως, αυτό το δίκτυο συσκευών συλλέγει και μεταδίδει πληροφορίες και δεδομένα από το φυσικό περιβάλλον και μπορεί να επικοινωνήσει μέσω του Internet, με σκοπό να παρέχει κάποια υπηρεσία. Με άλλα λόγια, με το IoT ο φυσικός κόσμος γίνεται ένα μεγάλο σύστημα πληροφοριών. Η δύναμη του IoT είναι η δυνατότητα συλλογής πολλών δεδομένων και η μετατροπή τους σε χρήσιμες πληροφορίες (postscapes, n.d.).

Ο όρος Internet of Things ακούστηκε πρώτη φορά το 1999 σε μία παρουσίαση του Kevin Ashton, συνιδρυτή του Auto-ID Center στο MIT. Ο Ashton μαζί με μία ομάδα ανθρώπων επινόησε τον τρόπο διασύνδεσης των αντικειμένων στο διαδίκτυο μέσω μιας ετικέτας RFID. Με την τεχνολογία να αποτελεί εργαλείο διευκόλυνσης, το IoT εξαπλώθηκε. Η γρήγορη διάδοση του ασύρματου Internet και των ενσωματωμένων αισθητήρων έφερε νέες τεχνολογίες IoT τις τελευταίες δύο δεκαετίες (Mitchell, 2019).

Ένας από τους τομείς που έχει επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τις τεχνολογίες IoT είναι η γεωργία. Αυτό συμβαίνει λόγω της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού σε παγκόσμιο επίπεδο. Έτσι θα αναζητούνται συνεχώς νέες λύσεις για την κάλυψη των αναγκών με γνώμονα την οικονομική και ποιοτική παραγωγή προϊόντων από τον πρωτογενή τομέα.

Τα πλεονεκτήματα που μπορεί να προσφέρει η ενσωμάτωση IoT στην καθημερινότητα μας είναι πολλά. Όσον αφορά τον άνθρωπο, το IoT μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες υγείας, ασφάλειας, καλύτερου οικονομικού προγραμματισμού κ.α. Επίσης το IoT μπορεί να βοηθήσει τα νοικοκυριά στην ελαχιστοποίηση των σπαταλών σε ρεύμα και τις έξυπνες συσκευές να μπορούν να λειτουργούν με ενεργειακά αποδοτικότερο τρόπο. Επιχειρήσεις και οργανισμοί μπορούν να αποκομίσουν πολλά οφέλη από την χρησιμοποίηση του IoT.

Αυτό γίνεται μέσω της παρακολούθησης των περιουσιακών στοιχείων της επιχείρησης, της ασφάλειας, της εξοικονόμησης ενέργειας, τον εντοπισμό πιθανών βλαβών σε μηχανήματα κ.α. (The Internet of Things, 2010).

Μπορεί το IoT να έχει πολλά πλεονεκτήματα και να συνδράμει στην εξέλιξη των επιχειρήσεων, των ατόμων και γενικότερα όλης της κοινωνίας αλλά υπάρχουν και αρνητικές επιπτώσεις. Δημιουργούνται ανησυχίες, οι οποίες έχουν να κάνουν με την παραβίαση της ιδιωτικότητας, την μεγάλη εξάρτηση από την συνεχώς αναπτυσσόμενη τεχνολογία και την απώλεια θέσεων εργασίας (The Internet of Things, 2010).

Η ασφάλεια είναι το κύριο ζητούμενο των χρηστών του IoT καθώς οι αλληλοεπιδρώμενες συσκευές επηρεάζουν άμεσα την προσωπική τους ζωή. Η ασφάλεια στο διαδίκτυο και η ασφάλεια των δεδομένων αποτελούν μεγάλη μελλοντική πρόκληση στους οργανισμούς που χρησιμοποιούν την συνδεσιμότητα μέσω του IoT. Η ανάγκη δημιουργίας νέων αρχιτεκτονικών ασφαλείας είναι μεγάλης και ζωτικής σημασίας (postscapes, n.d.). Φυσικά υπάρχουν μέθοδοι ασφαλείας για την προστασία των δεδομένων αλλά αυτό δεν εμποδίζει πάντα τους χάκερς να εισβάλουν σε μία βάση και να αντλήσουν σημαντικές πληροφορίες. Είναι σχεδόν αδύνατον κάποιος να σβήσει όλα τα διαδικτυακά του ίχνη. Σημαντικά προσωπικά δεδομένα μπαίνουν από τους χρήστες για την διευκόλυνση τους, όπως οι online αγορές και εξοφλήσεις λογαριασμών. Δυστυχώς αυτές οι λειτουργίες έχουν και κάποιο ποσοστό ρίσκου. Ακόμη, η ετερογένεια των έξυπνων συσκευών ως προς τα πρωτόκολλα επικοινωνίας αποτελεί πρόβλημα για την ασφάλεια των συσκευών και σημαντική πρόκληση για την επιστημονική κοινότητα (The Internet of Things, 2010).

Λόγω της ραγδαίας του εξάπλωσης, το IoT παρέχει υπηρεσίες σχεδόν σε όλα τα επίπεδα της ζωής του ανθρώπου. Είναι επομένως δύσκολο να προβλέψουμε όλες τις πιθανές εφαρμογές του IoT. Παρακάτω αναφέρονται κάποιες από τις πιο διαδεδομένες και εξελίξιμες.

- **Υγεία**

Το πολυτιμότερο αγαθό για τον άνθρωπο είναι η υγεία. Γι’ αυτό το λόγο η παρακολούθηση ενός ασθενή με ειδικές IoT συσκευές, όπως πιεσόμετρο, οξύμετρο, ηλεκτροκαρδιογράφο

κ.α. γίνεται ολοένα και πιο αναγκαία. Οι συσκευές IoT επιτρέπουν στον γιατρό να παρακολουθεί εξ αποστάσεως τον ασθενή του και να ενημερώνεται άμεσα για τυχών δυσλειτουργίες αλλά και να προλαμβάνει ορισμένες καταστάσεις. Εκτιμάται πως στο άμεσο μέλλον στα νοσοκομεία η παρακολούθηση των ασθενών θα γίνεται μέσω μόνιτορ τα οποία θα είναι συνδεδεμένα σε ένα δίκτυο IoT. Με αυτόν τον τρόπο θα βελτιωθούν οι υπηρεσίες υγείας και υγειονομικής περίθαλψης, θα να εξοικονομηθεί χρόνος και θα μειωθεί θεαματικά το κόστος περίθαλψης των ασθενών (Χ. Κώτσιος, pcsteps, 2017).

- **Μεταφορές**

Ήδη υπάρχοντα IoT συστήματα τηλεματικής συμβάλουν στις μετακινήσεις φορτηγών, ταξί, λεωφορείων και ΙΧ αυτοκινήτων. Τηλεματικές υπηρεσίες θεωρούνται όλες οι υπηρεσίες που αναλαμβάνουν την αποστολή και λήψη δεδομένων και πληροφοριών. Ισχυρό παράδειγμα τηλεματικής στις συγκοινωνίες αποτελεί η εφαρμογή του ΟΑΣΘ, η οποία βασίζεται σε ένα IoT σύστημα. Μέσω αυτής ο υποψήφιος επιβάτης έχει τη δυνατότητα να ενημερώνεται για τις πλησιέστερες στάσεις, τις θέσεις των λεωφορείων πάνω στο χάρτη, τις αναμενόμενες αφίξεις των λεωφορείων στις στάσεις και πολλά άλλα που διευκολύνουν τις μετακινήσεις στη Θεσσαλονίκη. Επιπλέον, τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται από εταιρίες ταξί και φορτηγών για τον απομακρυσμένο έλεγχο της πορείας των οχημάτων τους. Τέλος, σημαντική είναι η δυνατότητα που μας δίνει η χρήση αυτών των συστημάτων, για τον εντοπισμό οχήματος σε περίπτωση κλοπής (Χ. Κώτσιος, pcsteps, 2017).

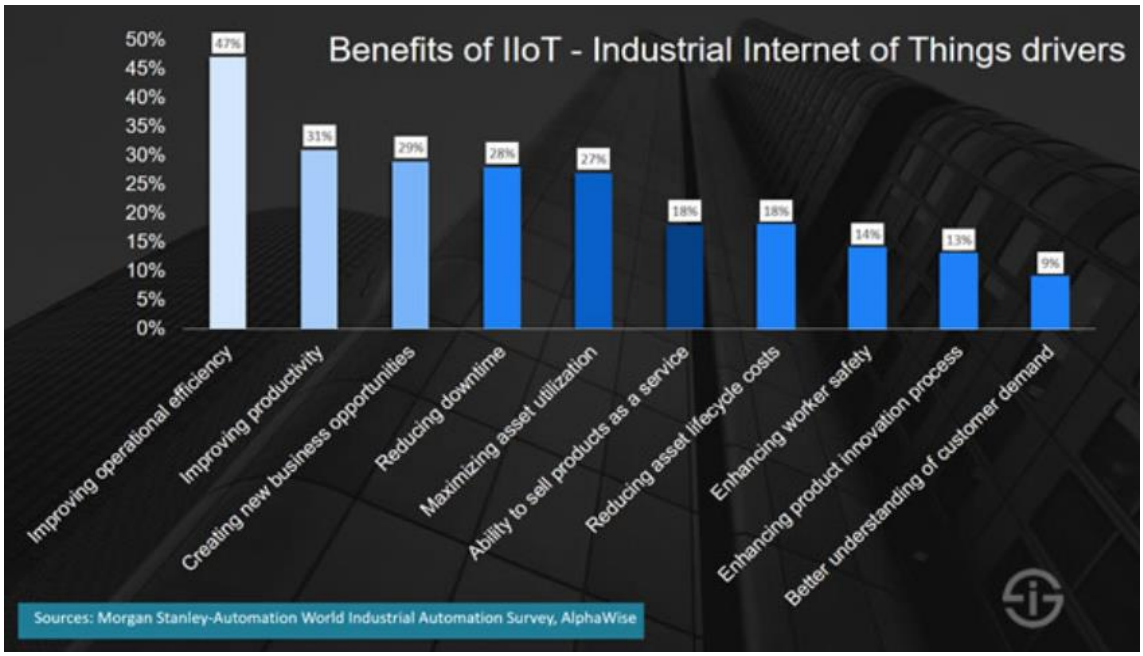
- **Περιβάλλον**

Η βιωσιμότητα του οικοσυστήματος μας ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από συστήματα IoT. Το τεράστιο πρόβλημα της αποψίλωσης δασικών εκτάσεων, μπορεί να ελεγχθεί με συστήματα IoT και να μειωθεί η παράνομη υλοτομία με έγκαιρες επεμβάσεις των κατάλληλων φορέων. Με απλά λόγια, ένας αισθητήρας ήχου εντοπίζει θόρυβο από αλυσοπρίονο σε απαγορευμένη για υλοτομία περιοχή και ενημερώνει τις αρχές για παράνομη δραστηριότητα. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και με το παράνομο κυνήγι για την προστασία της παγκόσμιας πανίδας. Ακόμη, με χρήση IoT συστημάτων μπορούν να αποφευχθούν πολλές περιβαλλοντολογικές καταστροφές. Με κατάλληλους αισθητήρες

μπορεί να ελεγχθεί η μόλυνση του αέρα και του νερού ώστε να βοηθήσει στην έγκαιρη παρέμβαση και αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων κυρίως σε μεγάλες πόλεις. Επιπλέον, καθίσταται δυνατή η πρόβλεψη περιστασιακών κρίσεων που συντελούν στην απώλεια ανθρωπίνων ζωών όπως είναι οι σεισμοί, τα τσουνάμι και οι πυρκαγιές (Business guide to Industrial IoT, n.d.).

- **Βιομηχανία (IIoT)**

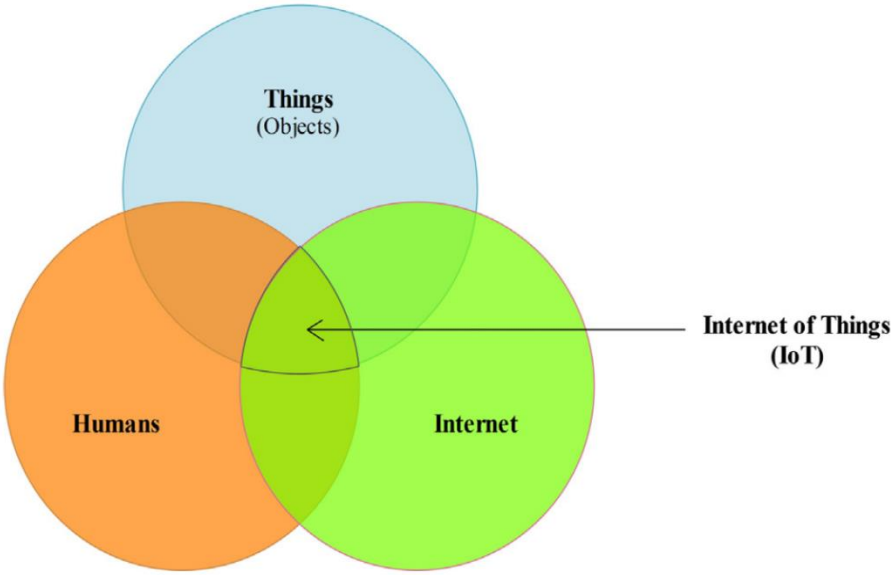
Η βιομηχανική αγορά του IoT εκτιμάται ότι θα φτάσει τα 123,89 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2021. Εστιάζοντας στη βέλτιστη αποτελεσματικότητα, αυτοματοποίηση και συντήρηση μιας επιχείρησης, το βιομηχανικό IoT προσφέρει νέους τρόπους ευφυούς βιομηχανικής παραγωγής, αποτελεσματικούς ελέγχους συντήρησης μηχανημάτων, απομακρυσμένη παρακολούθηση των εργασιών και των αποθεμάτων, νέους τρόπους εξυπηρέτησης πελατών και πολλά άλλα. Το IIoT (Industrial Internet of Things) επιτρέπει στις βιομηχανίες να εξελίξουν τα επιχειρησιακά τους μοντέλα. Οι χρήσιμες πληροφορίες που προσφέρουν οι συσκευές IoT επιτρέπουν την ανάπτυξη νέων μορφών εσόδων σε μία εταιρία και φυσικά νέες εταιρικές σχέσεις (Business guide to Industrial IoT, n.d.).



Εικόνα 1.1 - Τα οφέλη του IIoT

- **Smart Home**

Η μεγάλη γκάμα συσκευών IoT μας παρέχει ένα σύνολο λύσεων και καθιστά δυνατή την υλοποίηση του «Smart Home». Παρέχεται ένα σύστημα με προηγμένες δυνατότητες για την αυτοματοποίηση του οικιακού εξοπλισμού. Η τηλεόραση μπορεί να προβάλει εικόνα από τις κάμερες ασφαλείας, το κλιματιστικό να ελέγξει τον φωτισμό, η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να προβληθεί στο κινητό και πολλές ακόμα ιδιότητες αυτοματισμού (Business guide to Industrial IoT, n.d.).



Εικόνα 1.2 - Τομή συνιστωσών του IoT

1.1 Έξυπνη Γεωργία

Ανατρέχοντας στο παρελθόν, ο γεωργός γνωρίζοντας το μικρό σε έκταση χωράφι του μπορούσε να διαπιστώσει τα προβλήματα που εμφανίζονταν και με προσωπική του επέμβαση να τα διορθώσει. Στην σύγχρονη εποχή, όπου οι ανάγκες παραγωγής έχουν πολλαπλασιαστεί σε τεράστιο βαθμό, ο γεωργός δεν έχει αυτή τη δυνατότητα. Δεν είναι δυνατό καλλιέργειες χιλιάδων στρεμμάτων να εποπτεύονται από τον άνθρωπο χωρίς τη χρήση της τεχνολογίας. Ακόμη, είναι αδύνατο ο γεωργός να θυμάται όλα τα χαρακτηριστικά της μεγάλης σε έκταση καλλιέργειας του. Η εφαρμογή των σύγχρονων τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνιών στη γεωργία αποτελεί την έξυπνη γεωργία. Η

έξυπνη γεωργία έρχεται να προσαρμόσει και να βελτιστοποιήσει τα χαρακτηριστικά της για την επίλυση του προαναφερθέντος προβλήματος. Κάνει διαθέσιμη την διαχείριση της αγροτικής παραγωγής καταγράφοντας και αναλύοντας δεδομένα. Βάση των γεωργικών τεχνολογιών αποτελούν οι δορυφορικές φωτογραφίες, η χρήση αισθητήριων κόμβων και η χρήση εργαλείων τηλεπισκόπησης. Στοιχεία της έξυπνης γεωργίας αποτελούν το Internet of Things, τα συστήματα γεω-εντοπισμού (Global Positioning System – GPS), οι αισθητήρες, το Big Data, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles – UAV), η ρομποτική και πολλά άλλα. Οι εφαρμογές της έξυπνης γεωργίας δεν στοχεύουν μόνο στις μεγάλης έκτασης γεωργικές καλλιέργειες. Οικογενειακοί κήποι, μικρές καλλιέργειες και θερμοκήπια μπορούν να εκμεταλλευτούν τα οφέλη της και να μειώσουν τα έξοδα και το ενεργειακό κόστος συντήρησης τους, αυξάνοντας ταυτόχρονα την ποιότητα και την ποσότητα των αγαθών που παράγουν (BioSense, n.d.).

Σκοπός της είναι η συνολική αναβάθμιση του αγροτικού τομέα με δυνατότητα επιλογής νέων τεχνολογικών μέσων. Πιο συγκεκριμένα, η προσαρμοσμένη χρήση λιπασμάτων ανάλογα με τις ανάγκες κάθε μέρους της καλλιέργειας θα επιτυγχάνεται με τη χρήση νέων τεχνολογιών. Μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση της χρήσης των χημικών λιπασμάτων αλλά και των μηχανημάτων, να προστατέψει τη γόνιμη φυτική γη αλλά και τους υδάτινους πόρους (Σπυρίδων, 2015).

1.1.1 IoT στην Γεωργία

Η έξυπνη γεωργία αποτελεί την ενσωμάτωση της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών σε αγροτικές καλλιέργειες. Αυτό περιλαμβάνει αισθητήρες χαμηλού κόστους για την παρακολούθηση αγροτικών και γεωργικών μονάδων με στόχο την σωστή χρήση των δεδομένων από επιστημονικές ομάδες. Είναι η διαδικασία μετατροπής δεδομένων σε χρήσιμα στοιχεία για την βελτίωση της παραγωγής.

Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, τεράστιος αριθμός συσκευών χρησιμοποιείται στην Γεωργία. Ορισμένες συσκευές είναι αυτόνομα ολοκληρωμένα συστήματα που διατίθενται στο εμπόριο για συγκεκριμένη λειτουργία ενώ άλλες όχι. Στην παρούσα διπλωματική το hardware που χρησιμοποιήθηκε δεν διατίθεται στο εμπόριο σαν ολοκληρωμένο προϊόν αλλά μόνο κομμάτι-κομμάτι.

Έννοιες όπως μετα-επεξεργασία δεδομένων, έξυπνοι αλγόριθμοι παρακολούθησης και ελέγχου και Cloud Computing προσφέρουν τεράστιο ερευνητικό μέλλον και σαφώς λύσεις στην ενσωμάτωση της γεωργίας στο IoT. Επομένως η έξυπνη γεωργία μπορεί να επεκταθεί και να προσαρμοστεί ευέλικτα στις ανάγκες των καλλιεργητών με τη βοήθεια Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων, αισθητήρων, προγραμματιζόμενων μικροεπεξεργαστών, υπηρεσιών ανάλυσης Cloud και IoT. Έτσι, η έξυπνη γεωργία αναμένεται να βελτιστοποιήσει την παραγωγή της με πολλούς τρόπους. Η χρήση αυτών των τεχνολογιών εκτός από τα οφέλη που θα αποδώσει, εμπεριέχει και πολλούς κινδύνους. Τομείς όπως η ασφάλεια των δεδομένων που μεταφέρονται και η ετερογένεια των συσκευών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την υιοθέτηση των τεχνολογιών IoT από τους υποψήφιους χρήστες (Tzounis, Katsoulas, & Bartzanas, 2017).

Η έξυπνη γεωργία χρησιμοποιεί οικονομικά αποδοτικές στρατηγικές διαχείρισης των τεχνολογιών IoT. Διευκολύνει τους αγρότες να ελαχιστοποιήσουν την χρήση φυτοφαρμάκων και άλλων πόρων με καλύτερη πρόληψη ασθενειών.

1.1.2 Περίπτωση: Θερμοκήπιο

Από τα αρχαία χρόνια συναντώνται διάφορες αναφορές για κλειστούς χώρους, μέσα στους οποίους τα φυτά είχαν γρήγορη ανάπτυξη, γνωστά ως θερμοκήπια. Φτάνοντας στην σημερινή, σύγχρονη ελληνική γεωργία, τα θερμοκήπια αποτελούν ένα από τα βασικά μέρη της ελληνικής γεωργικής παραγωγής. Οι νέες τεχνολογίες των θερμοκηπίων, όσον αφορά τα υλικά κατασκευής τους, έχουν βελτιστοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό, δημιουργώντας ιδανικό κλίμα για τις καλλιέργειες. Ο λόγος για τον οποίο τα θερμοκήπια γνωρίζουν ραγδαία ανάπτυξη είναι η δυνατότητα παραμετροποίησης πολλών από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών. Το θερμοκήπιο προσφέρει ασφάλεια σε οποιοδήποτε είδος καλλιέργειας από ακραία καιρικά φαινόμενα, καλύτερη προφύλαξη από εξωτερικούς παράγοντες όπως έντομα και ασθένειες και ακριβή έλεγχο της ανάπτυξης τους. Οι λειτουργίες για τον έλεγχο των συνθηκών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ποικίλουν και αναπτύσσονται ολοένα και περισσότερο. Τέσσερις από αυτές υλοποιούνται στην συγκεκριμένη εργασία, αφήνοντας χώρο για μελλοντική ανάπτυξη πολλών ακόμα.

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες αποτελούν έναν από τους πιο δυναμικούς τομείς της πρωτογενούς παραγωγής. Το υψηλό κόστος κατασκευής των θερμοκηπιακών μονάδων οδηγεί τους καλλιεργητές στο να λαμβάνουν υπόψη κάθε παράγοντα που επηρεάζει, είτε θετικά είτε αρνητικά, την καλλιέργεια τους. Η μακέτα που κατασκευάστηκε για το σύστημα δεν αποτελεί προϊόν επαγγελματικής μελέτης ούτε τηρεί στο απόλυτο επίπεδο τις προδιαγραφές ενός επαγγελματικού θερμοκηπίου. Ο **τύπος του θερμοκηπίου**, το **μέγεθος** και τα **υλικά κατασκευής** αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν το μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Ορισμένοι βασικοί τύποι θερμοκηπίων ανάλογα με το σχήμα κατασκευής τους είναι τοξωτό απλό, τοξωτό πολλαπλό, γοτθικό και τύπου τούνελ.

Εικόνα 1.3 - Τοξωτό πολλαπλό

Εικόνα 1.4 - Γοτθικό πολλαπλό

Εικόνα 1.5 - Τύπου τούνελ (Θερμοκήπια, n.d.)

Το φυτό που επιλέχθηκε, το μαρούλι είναι ετήσιο, ποώδες φυτό γρήγορης ανάπτυξης (Lettuce, 2020). Καλλιεργείται από τους Ρωμαϊκούς χρόνους και προέλευσή του είναι η Ασία. Είναι ανθεκτικό στις χαμηλές θερμοκρασίες και καλλιεργείται συνήθως από το φθινόπωρο μέχρι την άνοιξη. Η καλλιέργεια του στα θερμοκήπια είναι ιδιαίτερα σημαντική για βόρειες χώρες με ψυχρό κλίμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι συνθήκες θερμοκηπίου τον χειμώνα, βοηθούν στην ταχύτερη ανάπτυξη του φυτού.

1.1.3 Μικροκλίμα

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών σε ένα θερμοκήπιο αποτελούν το περιβάλλον ή διαφορετικά το μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Θερμοκρασία και υγρασία ατμόσφαιρας, υγρασία εδάφους, συγκέντρωση CO_2 και φωτεινότητα, είναι οι κύριοι παράγοντες που διαμορφώνουν το μικροκλίμα ενός θερμοκηπίου (Santosh, Tiwari, Singh, & Reddy, 2017). Εκτός από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που προαναφέρθηκαν, το μικροκλίμα του θερμοκηπίου σαφώς επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως το σχήμα του, ο προσανατολισμός του, η κατεύθυνση του ανέμου και τα υλικά κάλυψης του. Όλοι αυτοί οι παράγοντες σε συνδυασμό διαμορφώνουν την συνολική ηλιακή ακτινοβολία, τα θερμικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου και το μοτίβο ροής του αέρα στο εσωτερικό του, δηλαδή το μικροκλίμα. Η επιτυχία, λοιπόν, των καλλιεργειών θερμοκηπίου βασίζεται στην ικανότητα προσεκτικής ρύθμισης του μικροκλίματος εντός του θερμοκηπίου, προκειμένου να ικανοποιηθεί η απαίτηση για σωστή παραγωγή και ποιότητα καλλιεργειών (Li, Tang, Zhang, Dong, & Xiao, 2018).

Τα βασικά πλεονεκτήματα της ρύθμισης και του ελέγχου του μικροκλίματος ενός θερμοκηπίου είναι η παραγωγή προϊόντων εκτός εποχής, η αύξηση της παραγωγής, η βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, η σταθερότητα στην παραγωγή η μείωση του κόστους παραγωγής και η ορθή αντιμετώπιση των ζιζανίων και των ασθενειών (Μιχαήλ).

- **Θερμοκρασία**

Για την σωστή ανάπτυξη των φυτών η θερμοκρασία του θερμοκηπίου θα πρέπει να είναι χαμηλότερη τη νύχτα σε σχέση με την μέρα. Η θερμοκρασία της νύχτας θα πρέπει να κυμαίνεται από 14°C μέχρι 16°C, ενώ της ημέρας από 25°C μέχρι 27°C. Η τεχνητή θέρμανση, κυρίως με αερόθερμο μας επιτρέπει να αυξάνουμε την θερμοκρασία της νύχτας. Η θερμοκουρτίνα βοηθάει στην μείωση των απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου. Ενώ η μείωση της θερμοκρασίας ημέρας μπορεί να επιτευχθεί με φυσικό αερισμό (παράθυρα), με δυναμικό αερισμό (ανεμιστήρες) και με λειτουργίας συστήματος υδρονέφωσης (Μιχαήλ). Η άμεση επίδραση της θερμοκρασίας σε όλες τις φάσεις ανάπτυξης του φυτού, την καθιστούν από τους σημαντικότερους παράγοντες του μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Οι απαιτούμενες τιμές της θερμοκρασίας σε ένα θερμοκήπιο εξαρτώνται, ακόμα, από τον τύπο της καλλιέργειας και τις διαφορές θερμοκρασίας ανάμεσα σε μέρα και νύχτα. Οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (<10 °C) μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ανάπτυξη. Σε τέτοια περίπτωση χρειάζεται τεχνητή θέρμανση. Οι υψηλές θερμοκρασίες (>30 °C) μπορεί να είναι επιβλαβείς για την καλλιέργεια, επομένως το θερμοκήπιο χρειάζεται τεχνητή ψύξη (Santosh, Tiwari, Singh, & Reddy, 2017). Οι ανάγκες του μαρουλιού διαφέρουν από το ένα στάδιο ζωής του στο άλλο. Σε πρώιμο στάδιο τα νεαρά φυτά φυτωρίου χρειάζονται σταθερή θερμοκρασία 23 °C ενώ μετά την τελική του φύτευση είναι ανθεκτικό σε χαμηλές θερμοκρασίες έως και 5 °C. Ένα σχετικά καλό εύρος θερμοκρασιών για σωστή ανάπτυξη μαρουλιού είναι 10 °C έως 18 °C.

- **Υγρασία**

Υγρασίες χαμηλότερες του 60% και υψηλότερες του 90% μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά στην καλλιέργεια προκαλώντας ασθένειες. Χαμηλά ποσοστά υγρασίας εμφανίζονται κατά τον αερισμό σε ξηρά κλίματα ενώ τα υψηλά ποσοστά (>90%) κατά τη διάρκεια της νύχτας (Santosh, Tiwari, Singh, & Reddy, 2017). Για την μείωση της

υγρασίας χρησιμοποιείται είτε φυσικός είτε δυναμικός αερισμός και για την αύξηση της υιοθετούνται διαδικασίες υδρονέφωσης (Μιχαήλ). Το μαρούλι αρέσκεται σε περιβάλλον με υψηλό επίπεδο σχετικής υγρασίας ατμόσφαιρας περιεκτικότητας μέχρι και 90%, ενώ δυσκολεύεται να αναπτυχθεί σε σχετική υγρασίας χαμηλότερη του 60%.

- **Υγρασία εδάφους**

Η υγρασία εδάφους δηλαδή το ποσοστό νερού που εμπεριέχεται στο έδαφος αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη των φυτών και επηρεάζεται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία και ο αερισμός. Η μέτρηση της υγρασίας εδάφους βοηθά τον καλλιεργητή να ελέγχει το πότισμα των φυτών και συνάμα να αποφεύγεται η σπατάλη του. Η έλλειψη υγρασίας στο έδαφος περιορίζει όσο κανείς άλλος παράγοντας την ανάπτυξη των φυτών του θερμοκηπίου (Μιχαήλ). Οι ανάγκες του μαρουλιού σε υγρασίας εδάφους είναι παρόμοιες με αυτές σε υγρασία ατμόσφαιρας. Καλό είναι η υγρασία εδάφους να ξεπερνά σε περιεκτικότητα νερού το 70%.

- **Φωτεινότητα**

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί πηγή ενέργειας των φυτών αφού μέσω αυτής φωτοσυνθέτουν. Η μείωση της φωτεινότητας είναι αναγκαία κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες και επιτυγχάνεται με χρήση σκίασης. Η σκίαση έχει σκοπό την μείωση της φωτεινότητας αλλά και της θερμοκρασίας. Στο Διεθνές Σύστημα (SI) η μονάδα μέτρησης της φωτεινότητας είναι το lux που ισούται με 1 lumen ανά τετραγωνικό μέτρο (1 lm/m2) (Μιχαήλ). Γενικά, κάθε αλλαγή της έντασης του φωτός έχει άμεση επίδραση στο μικροκλίμα και εν συνεχεία στη πιο σημαντική διαδικασία των φυτών, την φωτοσύνθεση. Συνήθως μας ενδιαφέρουν τρεις ιδιότητες του φωτός, η ένταση ακτινοβολίας, η φασματική κατανομή της ακτινοβολίας και η κατανομή της ακτινοβολίας στο χρόνο. Η ενέργεια που είναι διαθέσιμη για την φωτοσύνθεση καθορίζεται από αυτές τις τρεις ιδιότητες. Η ακτινοβολία δηλώνει το ποσό της ακτινοβολούμενης ενέργειας που προσπίπτει σε μια μοναδιαία επιφάνεια στη μονάδα του χρόνου. Η φασματική κατανομή είναι υπεύθυνη για τη φωτοχημική διαδικασία της φωτοσύνθεσης και η κατανομή της ακτινοβολίας στο χρόνο είναι σημαντική για το φαινόμενο της φωτοπεριόδου (Santosh, Tiwari, Singh, & Reddy, 2017). Ένα μαρούλι σε πρώιμο στάδιο χρειάζεται τουλάχιστον 16 ώρες την ημέρα φωτισμό

έντασης μεγαλύτερης από 10000 lux. Στο τελικό του στάδιο 12 ώρες στην ίδια ένταση είναι αρκετές για να φωτοσυνθέσει το φυτό.

- **Διοξείδιο του άνθρακα**

Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την φωτοσύνθεση των φυτών. Η δέσμευσή του από αυτά συμβαίνει κυρίως κατά την διάρκεια της νύχτας. Μονάδα μέτρησης είναι τα ppm (parts per million). Η μέση περιεκτικότητα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι 385 ppm, δηλαδή σε 1000 μονάδες ατμόσφαιρας, οι 385 είναι διοξείδιο του άνθρακα. Όσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο διοξειδίου του άνθρακα τόσο αποτελεσματικότερη γίνεται η διαδικασία της φωτοσύνθεση άρα και η ανάπτυξη του φυτού. Για σωστά επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου χρησιμοποιείται αερισμός. Υπάρχει και τεχνητός τρόπος εμπλουτισμού με διοξείδιο του άνθρακα αλλά είναι ασύμφορος για μικρές καλλιέργειες (Μιχαήλ). Ακόμα και με καλό σύστημα εξαερισμού τα επίπεδα CO_2 μπορεί να ελαττωθούν πολύ σε πυκνή καλλιέργεια (Santosh, Tiwari, Singh, & Reddy, 2017).

Τα **συστήματα ελέγχου** των συνθηκών του μικροκλίματος του θερμοκηπίου ανάλογα με την ποιότητα, τον σχεδιασμό και την πολυπλοκότητα τους, προσφέρουν αποδοτικότερη ή όχι ανάπτυξη και παραγωγή της καλλιέργειας. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι:

- **Συστήματα Εξαερισμού**

Ο εξαερισμός του θερμοκηπίου αποτελεί βασικό παράγοντα για την καλλιέργεια καθώς σε χρονικές περιόδους με υψηλή φωτεινότητα είναι απαραίτητο να κυκλοφορήσει ο αέρας για την αποφυγή υψηλών επιπέδων θερμοκρασίας. Ακόμη, η μείωση του επιπέδου διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), που προκαλείται από ανεπαρκή εξαερισμό, μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες ζημιές στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Ο χωρισμός του εξαερισμού γίνεται με βάση τον τρόπο που αερίζεται το θερμοκήπιο. Υπάρχει ο φυσικός εξαερισμός και ο δυναμικός εξαερισμός. Ο φυσικός εξαερισμός προκαλείται από τον εξωτερικό άνεμο και είναι οι διαφορές πίεσης που δημιουργούνται ανάμεσα στο εξωτερικό και το εσωτερικό μέρος του θερμοκηπίου. Σκοπός είναι η μείωση της θερμοκρασίας και υγρασίας και η αύξηση του επιπέδου διοξειδίου του άνθρακα. Ένα καλό σύστημα φυσικού εξαερισμού

μπορεί να επιτευχθεί με έναν συνδυασμό πλαϊνών παραθύρων και παραθύρων οροφής. Αυτός ο συνδυασμός αντικαθιστά τον εσωτερικό ζεστό αέρα με εξωτερικό κατά την διάρκεια ηλιόλουστων ημερών με ασθενείς ανέμους. Όσον αφορά τον δυναμικό εξαερισμό, αποτελεί τον αποδοτικότερο τρόπο εξαερισμού του θερμοκηπίου. Ένας συνδυασμός ανεμιστήρων απέναντι από άνοιγμα (π.χ. πλαϊνά παράθυρα), αποτελεί ένα βασικό σύστημα δυναμικού εξαερισμού. Οι ανεμιστήρες εξάγουν τον αέρα από το εσωτερικό στο εξωτερικό μέρος του θερμοκηπίου και τα ανοίγματα επιτρέπουν τον φρέσκο αέρα να μπει μέσα διατηρώντας σε επιτρεπτά πλαίσια τα επίπεδα θερμοκρασίας, υγρασίας και διοξειδίου του άνθρακα (Santosh, Tiwari, Singh, & Reddy, 2017). Σύμφωνα με τον Von Zabeltitz (2011), **τα πιο σημαντικά ποσοτικά δεδομένα που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα ενός συστήματος εξαερισμού είναι:** Ο ρυθμός ανταλλαγών του αέρα, η διαφορά εσωτερικής – εξωτερικής θερμοκρασίας, η ομοιογένεια στις τιμές θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία εντός του θερμοκηπίου και η ταχύτητα κίνησης του αέρα πάνω καθώς και δια μέσου της κόμης των φυτών (Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίων).

- **Συστήματα Θέρμανσης**

Μετά τα συστήματα αερισμού, τα συστήματα θέρμανσης αποτελούν τις σημαντικότερες λειτουργίες ελέγχου του μικροκλίματος του θερμοκηπίου, αφού είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Πολλοί είναι οι τρόποι θέρμανσης του θερμοκηπίου, ένας από αυτούς είναι η χρήση αερόθερμου. Οι θερμοκουρτίνες συχνά χρησιμοποιούνται και σαν δίχτυα σκίασης χωρίς όμως να έχουν αποκλειστικά τον ίδιο ρόλο (Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίων). Τα συστήματα θέρμανσης είναι ιδιαίτερα σημαντικά για θερμοκήπια σε ψυχρά κλίματα. Περιορισμοί της χρήσης συστημάτων θέρμανσης στα θερμοκήπια αποτελούν το υψηλό κόστος, η υψηλή κατανάλωση ενέργειας και - από περιβαλλοντικής πλευράς - οι επιπτώσεις που δημιουργούν στην ατμόσφαιρα όπως είναι η εκπομπή επιβλαβών αερίων (Santosh, Tiwari, Singh, & Reddy, 2017).

- **Συστήματα αφύγρανσης**

Η μείωση της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου επιτυγχάνεται με θέρμανση και αερισμό. Επίσης, η αφύγρανση επιτυγχάνεται με συστήματα που κατά τη λειτουργία τους υγροσκοπικά διαλύματα αλάτων υψηλής πυκνότητας, διαχωρίζονται από τον αέρα μέσω

μιας υδρόφοβης συνθετικής μεμβράνης (Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίων). Τα αυξημένα επίπεδα υγρασίας συναντώνται στο χρονικό διάστημα ανάμεσα στο ηλιοβασίλεμα και την ανατολή του ήλιου ενώ κατά την διάρκεια της ημέρας η φωτεινότητα αποτρέπει την αύξηση της, εκτός από τις νεφελώδεις ημέρες. Η αύξηση της υγρασίας αναφέρεται στον σχηματισμό σταγόνων νερού από υδρατμούς. Αυτό συμβαίνει όταν ο θερμός αέρας έρχεται σε επαφή με ψυχρές επιφάνειες όπως ο σκελετός του θερμοκηπίου. Έτσι, εάν η θερμοκρασία επιφάνειας είναι κατώτερη της θερμοκρασίας σημείου δρόσου του αέρα, ο ατμός στον αέρα θα συμπυκνωθεί στην επιφάνεια. Η υψηλή υγρασία παρατηρείται σε ορισμένες χρονικές στιγμές του έτους. Η μη καταπολέμηση της μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα στην καλλιέργεια και δεν μπορεί αποφευχθεί ολοκληρωτικά (Santosh, Tiwari, Singh, & Reddy, 2017).

- **Συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας**

Οι θερμοκουρτίνες αποτελούν κύριο όργανο ενός συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας αφού μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας σε ρεύμα και διατηρούν την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σταθερή (Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίων).

- **Συστήματα σκίασης**

Τα συστήματα σκίασης επηρεάζουν την θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία αλλά και την φωτεινότητα αφού μειώνουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Ένα σύστημα σκίασης θα πρέπει να μπορεί να λειτουργεί σε ένα σημείο ισορροπίας που θα μειώνει σε ικανοποιητικό βαθμό την θερμοκρασία χωρίς να μειώνει υπερβολικά την φωτεινότητα (Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίων). Σε θερμά κλίματα η σκίαση αποτελεί βασική μέριμνα του παραγωγού για τον έλεγχο του εισερχόμενου επιπέδου φωτός στο θερμοκήπιο. Οι οπτικές ιδιότητες είναι αυτές που καθιστούν ένα δίχτυ σκίασης μοναδικό. Σύμφωνα με τους Robledo και Martin (1981), το χρώμα και η διαφάνεια των υλικών κάλυψης επηρεάζουν την απορρόφηση, την αντανάκλαση και τη μετάδοση για μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίες. Επομένως, η ποικιλία των διχτυών σκίασης στην αγορά είναι μεγάλη (Santosh, Tiwari, Singh, & Reddy, 2017).

- **Συστήματα υδρονέφωσης**

Τα ακροφύσια (εκτοξευτήρες/μπεκ) ψεκάζουν το νερό σε μορφή μικρών σταγονιδίων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου προκειμένου να αυξηθεί το ποσοστό της επιφάνειας της επαφής του νερού με τον αέρα. Ένα σύστημα υδρονέφωσης αυξάνει την σχετική υγρασία και μειώνει την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίων).

- **Συστήματα εμπλουτισμού CO_2**

Όταν το θερμοκήπιο παραμένει κλειστό για αρκετό χρόνο το επίπεδο διοξειδίου του άνθρακα μειώνεται με αποτέλεσμα την παράλληλη μείωση των ρυθμών φωτοσύνθεσης και μείωση της παραγωγής. Ο εμπλουτισμός με διοξείδιο του άνθρακα επιτυγχάνεται με φυσικό αερισμό και διάφορους άλλου τεχνητούς τρόπους (Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίων). Η μελέτη εγκατάστασης ενός τεχνητού συστήματος εμπλουτισμού με CO_2 βασίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις απαιτήσεις σε θερμότητα, αφού ένα τέτοιο σύστημα επηρεάζει άμεσα την θερμοκρασία αυξάνοντας την. Το κόστος εγκατάστασης και το κόστος μεταφοράς των δοχείων του καυσίμου αποτελούν τα μειονεκτήματα αυτών των συστημάτων. Η επιλογή του καυσίμου βασίζεται στο κόστος και στην καθαρότητα των εκπομπών αερίων. Η υγρή κηροζίνη, ο συνδυασμός προπάνιο με βουτάνιο και το φυσικό αέριο αποτελούν τα πιο διαδεδομένα καύσιμα (Santosh, Tiwari, Singh, & Reddy, 2017).

- **Συστήματα τεχνητού φωτισμού**

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από ειδικούς λαμπτήρες που τοποθετούνται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και εφαρμόζονται όταν δεν υπάρχει φυσικός φωτισμός. Χρησιμοποιούνται διάφορα είδη λαμπτήρων όπως λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, λαμπτήρες φθορισμού, λαμπτήρες μεταλλικών αλάτων αλογόνων, λαμπτήρες τύπου LED. Οι λαμπτήρες τύπου LED δεν έχουν πολλά χρόνια που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό. Η ακτινοβολία τους κυμαίνεται σε συγκεκριμένες στενές περιοχές του φάσματος και η αποδοτικότητα τους σε φωτεινή ακτινοβολία είναι καλύτερη από αυτή των υπόλοιπων λαμπτήρων. Σύμφωνα με έρευνες (Lomax, 2018), τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας, στα οποία τα μαρούλια αλλά και γενικότερα τα φυτά αναπτύσσονται

καλύτερα, είναι συγκεκριμένα και βρίσκονται στο κόκκινο και το κυανό μέρος του φάσματος.

1.2 Τεχνολογίες επικοινωνίας

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές μελέτες για τα πρωτόκολλα δικτύωσης IoT. Στο συγκεκριμένο άρθρο γίνεται μια σύγκριση των πρωτοκόλλων αυτών και προτείνεται το πιο κατάλληλο πρωτόκολλο ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Ορισμένοι βασικοί δείκτες απόδοσης των πρωτοκόλλων IoT είναι η λανθάνουσα κατάσταση, το απαιτούμενο εύρος ζώνης, η απόδοση και η κατανάλωση. Αυτοί οι παράγοντες αποτελούν τα κριτήρια επιλογής του καταλληλότερου πρωτοκόλλου δικτύωσης για συστήματα IoT.

Τα μέσα και οι τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν και συνεχίζουν να αναπτύσσονται για την διασύνδεση των συσκευών και συστημάτων IoT, καλύπτουν πληθώρα αναγκών των χρηστών. Έτσι, η ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών θα πρέπει να συμβαδίζει με τις ανάγκες των μελλοντικών χρηστών. Μεγαλύτερου βεληνεκούς τεχνολογίες είναι:

- **RFID**

Η τεχνολογία RFID (Radio-frequency Indentification) επιτρέπει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. Τα κύρια μέρη ενός συστήματος RFID είναι οι ετικέτες (tags) και οι αναγνώστες (readers). Τα tags χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά πεδία συχνοτήτων για να μεταφέρουν δεδομένα, χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένη διεύθυνση το καθένα και περιέχουν ηλεκτρονικά αποθηκευμένες πληροφορίες που μπορούν να διαβαστούν από τον reader.

- **Z-Wave**

Χαμηλού κόστους πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιείται κυρίως σε Home Automation Networks (HAN) και σε μικρούς εμπορικούς τομείς. Η απόσταση μεταξύ των δύο κόμβων δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 30 μέτρα. Στην Ευρώπη, λειτουργεί στα 868,42 MHz, ενώ στον Καναδά και στις ΗΠΑ λειτουργεί στα 908,42 MHz.

- **LTE**

Το LTE (Long Term Evolution) είναι πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας για μεταφορά δεδομένων σε υψηλή ταχύτητα, μεταξύ κινητών τηλεφώνων και βασισμένο στο Global System Mobile Communication (GSM). Υποστηρίζει μέχρι και 100 MHz.

- **LoRa**

Το LoRa (LongRange) αποτελεί τεχνολογία φυσικού επιπέδου ασύρματης επικοινωνίας δεδομένων που χρησιμοποιείται κυρίως για σύνδεση μεγάλης εμβέλειας. Χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας. Η ασύρματη μετάδοση γίνεται με χρήση τεχνικής Chirp Spread Spectrum, η οποία είναι τεχνική εξάπλωσης του φάσματος χρησιμοποιώντας παλμούς chirp διαμορφωμένης γραμμικής συχνότητας ευρείας ζώνης για κωδικοποίηση πληροφοριών. Χαρακτηριστικό του LoRa είναι ότι το εύρος ζώνης του προσαρμόζεται με βάση την απόσταση των δύο κόμβων καθώς και το μέγεθος του μηνύματος. Η μέγιστη δυνατή διάρκεια λειτουργίας επιτυγχάνεται καθώς ο network server προσαρμόζει την ισχύ κάθε συσκευής στο δίκτυο. Ακόμα, υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας σε απόσταση έως και 5 χιλιόμετρα σε αστικές περιοχές ενώ σε υπαίθριες μπορεί να φτάσει έως και 45 χιλιόμετρα μεταφέροντας πακέτα μεγέθους από 20 έως 256 bytes.

- **NFC**

Η τεχνολογία NFC (Near-field Communication) είναι παρόμοια με την RFID. Χρησιμοποιείται για μεταφορά δεδομένων ,στα 13,56 MHz, μεταξύ συσκευών που έχουν ενσωματωμένο RFID reader. Το τυπικό εύρος λειτουργίας μιας συσκευής NFC είναι στα 20 εκατοστά. Η τεχνολογία αυτή είναι ασφαλής καθώς δεν επιτρέπει την απομακρυσμένη επικοινωνία και συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη του διαδικτύου.

- **M2M**

Η χρήση της επικοινωνίας M2M (Machine to Machine) έχει αυξηθεί με ταχείς ρυθμούς τα τελευταία χρόνια. Αναφέρεται σε επικοινωνίες μεταξύ υπολογιστών, ελεγκτών, έξυπνων αισθητήρων, κινητών συσκευών κ.α. Τα βασικά στοιχεία της M2M επικοινωνίας είναι το

sensing (ανίχνευση, παρατήρηση, αίσθηση), η εύκολη επικοινωνία συσκευών με ετερογενή στοιχεία, η επεξεργασία της πληροφορίας, οι εφαρμογές και υπηρεσίες.

- **6LoWPAN**

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας IPv6 (Low-power Wireless Personal Area Network) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές πλατφόρμες επικοινωνίας όπως Ethernet, Wi-Fi και IEEE 802.15.4. Λειτουργεί με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χρησιμοποιείται κυρίως σε αυτοματισμούς σπιτιών και κτιρίων (Khanna & Kaur, 2018).

- **Bluetooth**

Το Bluetooth αποτελεί ασύρματη τεχνολογία επικοινωνίας που λειτουργεί στα 2.4 Ghz. Χρησιμοποιείται κυρίως σε προσωπικά δίκτυα καθώς η εμβέλεια μεταξύ των κόμβων μπορεί να φτάσει κατά προσέγγιση τα δέκα μέτρα λειτουργώντας σε χαμηλή ισχύ. Το BLE (Bluetooth Low Energy) αναπτύχθηκε με στόχο την μείωση κατανάλωσης ενέργειας και την αύξηση της διάρκειας ζωής των μπαταριών των συσκευών.

- **ZigBee**

Το ZigBee αποτελεί πρωτόκολλο επικοινωνίας χαμηλής ισχύος, χαμηλού κόστους και χαμηλής απόδοσης. Προσφέρεται από την εταιρία ZigBee Alliance και έχει δυνατότητα σύνδεσης χιλιάδων αισθητήριων κόμβων. Ακόμη αποτελεί πύλη διασύνδεσης με το διαδίκτυο σε επίπεδο εφαρμογής (Reiter, 2014).

Technology	Network	Standards based or Proprietary	Range	Throughput	Energy requirement	Adoption
LoRa	LWPA	Proprietary (Semtech)	High	Low	Low	Moderate
NWave	LWPA	Proprietary (NWave)	High	Low	Low	High
RPMA	LWPA	Proprietary (OnRamp Total Reach)	High	Low	Low	High
SigFox	LWPA	Proprietary (SigFox)	High	Low	Low	Moderate
LTE-M	3GPP/LTE	Standards based (3GPP)	High	High	Low	Upcoming
NB-IoT	3GPP/LTE	Standards based (3GPP)	High	Moderate	Low	Increasing
NB-CIoT	3GPP/LTE	Standards based (3GPP- Huawei, Qualcomm)	High	Moderate	Low	Upcoming
NB-LTE	3GPP/LTE	Standards based (3GPP- Ericsson)	High	Moderate	Low	Upcoming
Bluetooth	Bluetooth	Standards based	Moderate	Low	Moderate	Limited Wearables
ZigBee	802.15.4	Standards based (802.15.4)	Low	High	Moderate	Limited PAN & Home
Thread	802.15.4	Standards based (802.15.4)	Low	High	Moderate	Upcoming
Z-wave	Proprietary	Proprietary (Sigma Design)	Low	Low	Moderate	Very Low Home Automation
WiFi	802.11	Standards based	Moderate	High	High	Very high
WiFi HaLow	802.11ah	Standards based	High	High	Low	Upcoming
HEW	802.11ax	Standards based	Moderate	High	Moderate	Upcoming

Πίνακας 1 - Πρωτόκολλα IoT, Σύγκριση τεχνολογιών επικοινωνίας φυσικού επιπέδου (P.Sarigiannidis, 2019).

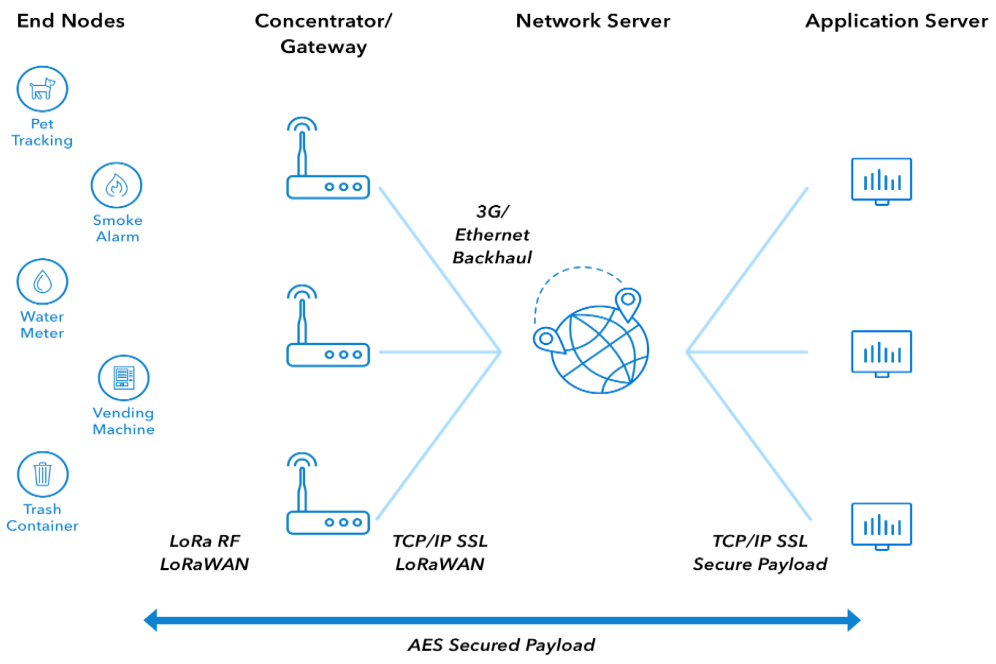
Wireless technology	Wireless standard	Network type	Operating frequency	Max. range	Max data rate & power	Security
WiFi	IEEE 802.11a, 11b, 11g, 11n, 11ac, 11ad	WLAN	2.4, 3.6, 5 GHz 60 GHz	100 m,	6–780 Mbps 6.75 Gbps at 60 GHz 1 Watt	WEP, WPA, WPA2
Z-wave	Z-wave	Mesh	908.42 MHz	30 m	100 Kbps, 1 mW	Triple DES
Bluetooth	Bluetooth (Formerly IEEE 802.15.1)	WPAN	2400–2483.5 MHz	100 m	1–3 Mbps, 1 W	56/128 bit
6LowPAN	IEEE 802.15.4	WPAN	908.42 MHz or 2400–2483.5 MHz	100 m	250 Kbps, 1 mW	128 bit
Thread	IEEE 802.15.4	WPAN	2400–2483.5 MHz	N/A	N/A	N/A
Sigfox	Sigfox	WPAN	908.42 MHz	30–50 km	10–1000 bps	N/A
LoRaWAN	LoRaWAN	WPAN	Various	2–15 km	0.3–50 kbps	N/A
BluetoothSmart (BLE)	IoT Inter-connect	WPAN	2400–2483.5 MHz	100 m	1 Mbps, 10–500 mW	128 bit AES
Zigbee	IEEE 802.15.4	Mesh	2400–2483.5 MHz	10 m	250 Kbps, 1 mW	128 bit
THREAD	IEEE 802.15.4, 6LoWPAN	Mesh	2400–2483.5 MHz	11 m	251 Kbps, 2 mW	128 bit AES
RFID	Many standards	Point to Point	13.56 MHz	1 m	423 Kbps, about 1 mW	Possible
NFC	ISO/IEC 13157	Point to Point	13.56 MHz	0.1m	424 Kbps, 1–2 mW	Possible
GPRS	3GPP	GERAN	GSM 850, 1900 MHz	25 km/10 km	171 Kbps 2 W/1 W	GEA2/GEA3/GEA4
EDGE	3GPP	GERAN	GSM 850/1900 MHz	26 km/10 km	384 Kbps, 3 W/1 W	A5/4, A5/3
HSDPA/HSUPA	3GPP	UTRAN	850/1700/1900 MHz	27 km/10 km	0.73–56 Mbps, 4 W/1 W	USIM
LTE	3GPP	GERAN/UTRAN	700–2600 MHz	28 km/10 km	0.1–1 Gbps, 5 W/1 W	SNOW 3G Stream Cipher
ANT+	ANT + Alliance	WSN	2.4 GHz	100 m	1 Mbps, 1 mW	AES-128
Cognitive Radio	IEEE 802.22 WG	WRAN	54–862 MHz	100 km	24 Mbps, 1 W	AES-GCM
Weightless-N/W	Weightless SIG	LPWAN	700/900 MHz	5 km	0.001–10 Mbps, 40 mW/4 W	128 bit

Πίνακας 2 - Οι πιο διαδεδομένες Ασύρματες Τεχνολογίες του IoT (Tzounis, Katsoulas, & Bartzanas, 2017).

1.3 LoRaWAN

Η επιλογή του LoRaWAN έγινε λόγω της μεγάλης κάλυψης του από gateways του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Κοζάνης αλλά και λόγω των ιδιοτήτων του για εφαρμογές σχετικές με την γεωργία.

Το πλεονέκτημα του φυσικού επιπέδου LoRa είναι η ικανότητα μεγάλης εμβέλειας της τεχνολογίας. Ένα μεμονωμένο gateway μπορεί να καλύψει εκατοντάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το εύρος κάλυψης εξαρτάται από το περιβάλλον και τα φυσικά εμπόδια που μπορεί να υπάρχουν σε μία τοποθεσία. Το LoRaWAN αποτελεί πρωτόκολλο δικτύου, για διαχείριση της επικοινωνίας σε δίκτυα ευρείας περιοχής με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, στο οποίο οι πύλες (gateways) μεταδίδουν μηνύματα μεταξύ τελικών συσκευών ή κόμβων (end-devices or end-nodes) και κεντρικού διακομιστή δικτύου (network server). Μία συσκευή end-device αποτελεί αντικείμενο με ενσωματωμένη συσκευή επικοινωνίας χαμηλής ισχύος η οποία εγκαθίσταται σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Αισθητήρες και ενεργοποιητές αποτελούν συσκευές end-nodes και χρησιμοποιούν LoRaWAN για να επικοινωνήσουν με τις gateways. Η gateway αποτελεί κεραία που λαμβάνει και προωθεί δεδομένα από και προς τις end-devices. Επίσης, αναλαμβάνει την προώθηση μηνυμάτων στον network server με χρήση διαφόρων τεχνολογιών όπως Ethernet,Wi-Fi και πολλά άλλα. Ο network server δρομολογεί μηνύματα από τη συσκευή προς την εφαρμογή (application) η οποία εκτελείται σε αυτόν, αποκωδικοποιεί τα πακέτα και διεξάγει τις απαραίτητες ενέργειες για την εξασφάλιση ασφαλούς επικοινωνίας. Τέλος οι εφαρμογές λαμβάνουν και στέλνουν τα δεδομένα από και προς τον network server. Το LoRaWAN έχει βελτιστοποιηθεί για τελικές συσκευές κυρίως με λειτουργία μπαταρίας που μπορεί να είναι είτε φορητές είτε κάπου τοποθετημένες. Λειτουργεί σε ραδιοφάσμα το οποίο είναι προσβάσιμο στον καθένα δωρεάν χωρίς την χρήση άδειας, όπως το WiFi. Το LoRaWAN όμως, χρησιμοποιεί χαμηλότερες συχνότητες με μεγαλύτερη εμβέλεια σε σχέση με το WiFi, γεγονός που αυξάνει και τους περιορισμούς της εφαρμογής του σε συγκεκριμένες περιοχές. Η εταιρία LoRa Alliance αποτελεί οργανισμό μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα με σκοπό του την προώθηση και τυποποίηση τεχνολογιών LPWAN. Η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών γίνεται ασύγχρονα και τα δεδομένα μεταφέρονται όταν αυτά είναι διαθέσιμα.



Εικόνα 1.6 - Αρχιτεκτονική LoRaWAN

Η αρχιτεκτονική δικτύου που ακολουθεί το LoRaWAN βασίζεται σε τοπολογία star μεγάλης εμβέλειας. Για να εξασφαλίσει την μετάδοση του μηνύματος βασίζεσαι σε συμμετρική κρυπτογράφηση χρησιμοποιώντας κλειδιά συνεδρίας (session keys) τα οποία προέρχονται από κλειδιά της τελικής συσκευής. Τα gateways συνδέονται με τον server μέσω τυπικών IP διευθύνσεων ενώ τα end-devices χρησιμοποιούν single-hop LoRa ή διαμόρφωση σήματος FSK για επικοινωνία με ένα ή περισσότερα gateways. Όλη η επικοινωνία είναι αμφίδρομη αλλά η επικρατέστερη είναι αυτή από τα end-devices προς τον server. Όσον αφορά την επικοινωνία μεταξύ end-devices και gateways, διαδίδεται σε διαφορετικά κανάλια συχνοτήτων και ρυθμούς δεδομένων. Ο ρυθμός δεδομένων που μπορούν να μεταφερθούν με LoRa κυμαίνονται από 0.3 kbps έως 50 kbps (LoRaWAN specification, 2017).

- **Χωρητικότητα**

Προκειμένου να καταστεί βιώσιμο ένα δίκτυο αστεριών μεγάλης εμβέλειας, το gateway πρέπει να έχει πολύ υψηλή χωρητικότητα ή ικανότητα να λαμβάνει μηνύματα από έναν πολύ μεγάλο όγκο κόμβων. Η υψηλή χωρητικότητα δικτύου σε ένα δίκτυο LoRaWAN

επιτυγχάνεται με τη χρήση προσαρμοστικού ρυθμού δεδομένων και με τη χρήση ενός πολυκαναλικού πομποδέκτη πολλαπλών μόντεμ στην πύλη, έτσι ώστε να λαμβάνονται ταυτόχρονα μηνύματα σε πολλά κανάλια. Οι κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν την χωρητικότητα είναι ο αριθμός των ταυτόχρονων καναλιών, ο ρυθμός δεδομένων (χρόνος στον αέρα), το μέγεθος ωφέλιμου φορτίου και η συχνότητα μετάδοσης των κόμβων. Δεδομένου ότι το LoRa είναι μια διαμόρφωση φασματοσκοπικής εξάπλωσης, τα σήματα είναι πρακτικά ορθογώνια μεταξύ τους, όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικοί παράγοντες διάδοσης. Το gateway εκμεταλλεύεται αυτήν την ιδιότητα με δυνατότητα λήψης πολλαπλών διαφορετικών ταχυτήτων δεδομένων στο ίδιο κανάλι ταυτόχρονα. Εάν ένας κόμβος έχει καλό σύνδεσμο και βρίσκεται κοντά σε μια πύλη, δεν υπάρχει λόγος να χρησιμοποιεί πάντα τον χαμηλότερο ρυθμό δεδομένων και να γεμίζει το διαθέσιμο φάσμα περισσότερο από ό, τι χρειάζεται. Μετατοπίζοντας τον ρυθμό δεδομένων υψηλότερα, ο χρόνος στον αέρα μειώνεται ανοίγοντας περισσότερο πιθανό χώρο για άλλους κόμβους για μετάδοση. Ο προσαρμοστικός ρυθμός δεδομένων βελτιστοποιεί επίσης τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας ενός κόμβου. Για να λειτουργήσει ο προσαρμοστικός ρυθμός δεδομένων, απαιτείται συμμετρικός επάνω και κάτω σύνδεσμος με επαρκή χωρητικότητα ζεύξης. Αυτές οι δυνατότητες επιτρέπουν σε ένα δίκτυο LoRaWAN να έχει πολύ υψηλή χωρητικότητα και να κάνει το δίκτυο επεκτάσιμο. Ένα δίκτυο μπορεί να αναπτυχθεί με ελάχιστη ποσότητα υποδομής και καθώς απαιτείται χωρητικότητα, μπορούν να προστεθούν περισσότερες πύλες αυξάνοντας τους ρυθμούς δεδομένων, μειώνοντας την ποσότητα της ακρόασης σε άλλες πύλες και κλιμακώνοντας τη χωρητικότητα.

- **Κατηγορίες LoRaWAN**

Το LoRaWAN διαθέτει τρεις διαφορετικές κατηγορίες ή κλάσεις εφαρμογών. Οι εφαρμογές πρώτης κατηγορίας (Class A) υποστηρίζουν αμφίδρομη και ασύγχρονη επικοινωνία μεταξύ κόμβου και πύλης. Οι αισθητήρες ανήκουν σε αυτή την κατηγορία Τα μηνύματα uplink μπορούν να στέλνονται ανά πάσα στιγμή. Έτσι, ο κόμβος ενεργοποιείται όταν χρειάζεται να στείλει κάποιο πακέτο δεδομένων στην πύλη και τον υπόλοιπο χρόνο είναι σε κατάσταση αδράνειας χαμηλού ενεργειακού κόστους. Αυτές οι εφαρμογές πρώτης κατηγορίας αποτελούν τις χαμηλότερες σε κατανάλωση ισχύος για επικοινωνίες που

απαιτούν μηνύματα downlink από τον διακομιστή δικτύου αμέσως μετά από την αποστολή μηνυμάτων uplink από τον κόμβο. Στη δεύτερη κατηγορία (Class B) ανήκουν οι εφαρμογές LoRaWAN που υποστηρίζουν αμφίδρομη και ασύγχρονη επικοινωνία μεταξύ κόμβου και πύλης αλλά για προγραμματισμένες χρονικές στιγμές. Οι εφαρμογές της τρίτης κατηγορίας (Class C) υποστηρίζουν αμφίδρομη και ασύγχρονη επικοινωνία μεταξύ κόμβου και πύλης με μικρότερες καθυστερήσεις σε σχέση με τις προηγούμενες δύο κατηγορίες. Αυτό διότι ο κόμβος δεν αδρανοποιείται ποτέ, είναι ανοιχτός και στέλνει μηνύματα στην πύλη όποτε χρειαστεί. Τρίτης κατηγορίας κόμβοι χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές με συνεχή ισχύ. Συσκευές αυτής της κατηγορίας είναι οι ενεργοποιητές (A technical overview of LoRa and LoRaWAN, 2015).

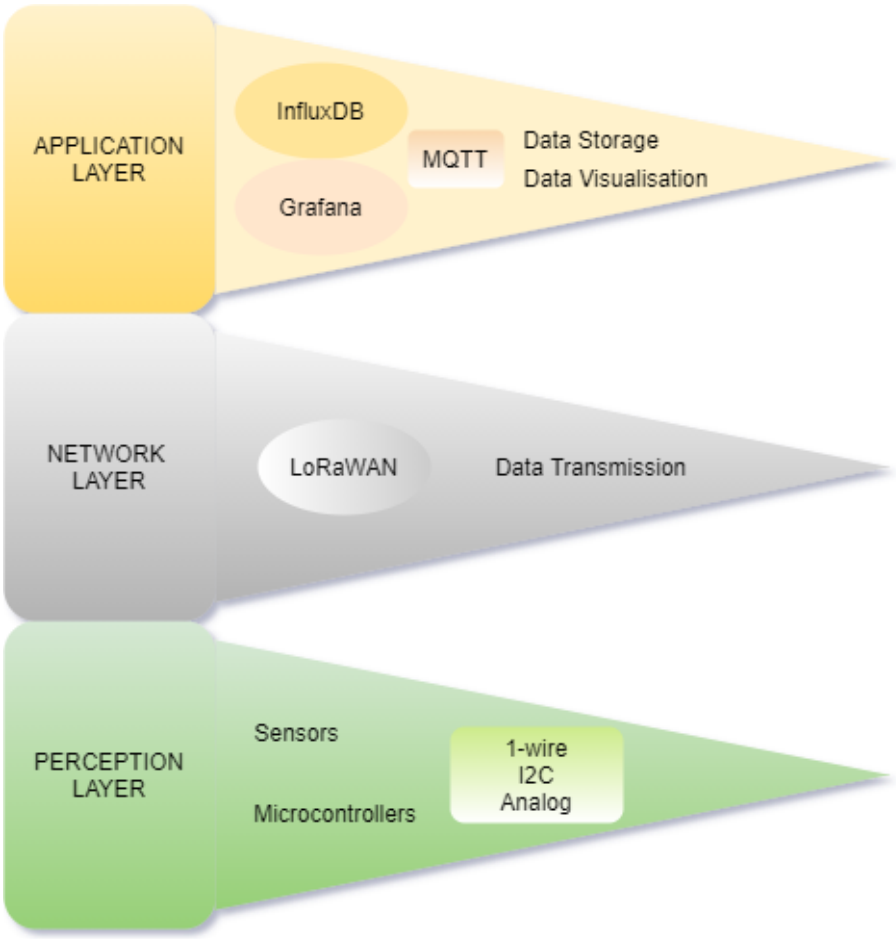
Όταν δημιουργείται μια εφαρμογή LoRaWAN, ο διακομιστής δικτύου εκχωρεί ένα AppEUI από το μπλοκ διευθύνσεων του. Οι συσκευές LoRaWAN έχουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό 64 bit DevEUI (Device Extended Unique Indetifier) που δίνεται στη συσκευή από τον κατασκευαστή. Ωστόσο, όλη η επικοινωνία γίνεται με μια δυναμική διεύθυνση συσκευής 32 bit (DevAddr – Device Adrdress), από την οποία 7 bits δεσμεύονται για το διακομιστή δικτύου, αφήνοντας 25 bit που μπορούν να εκχωρηθούν σε μεμονωμένες συσκευές, Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ενεργοποίηση (Activation) και μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Η ενεργοποίηση OTAA (Over The Air Activation), είναι ο πιο ασφαλής τρόπος σύνδεσης. Το AppKey (Application Key) χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των κλειδιών NwkSKey (Network Session Key) και AppSKey (Application Session Key). Για ενεργοποίηση, η συσκευή στέλνει ένα αίτημα συμμετοχής και χρησιμοποιεί την απάντηση συμμετοχής για να αντλήσει τα κλειδιά της συνεδρίας (NwkSKey και AppSKey) που αναπτύσσει ο χρήστης. Η συσκευή μπορεί να αποθηκεύσει αυτά τα κλειδιά και να συνεχίσει να τα χρησιμοποιεί για επικοινωνία. Ο δεύτερος τρόπος ενεργοποίησης είναι ο ABP (Activation By Personalisation). Σε αυτή τη περίπτωση η συσκευή δεν χρειάζεται DevEUI, AppEUI ή AppKey, αλλά τα κλειδιά της συνεδρίας NwkSKey και AppSKey τα οποία είναι προ-προγραμματισμένα στη συσκευή και η συσκευή είναι προεγγεγραμμένη στο δίκτυο. Όταν η συσκευή θέλει να επικοινωνήσει, το κάνει χρησιμοποιώντας τα κλειδιά συνεδρίας χωρίς αίτημα συμμετοχής.

Σύμφωνα με την μελέτη (Kimogol, 2019), τεχνολογίες όπως το Bluetooth, το ZigBee και το Wi-Fi έχουν μικρό εύρος επικοινωνίας, γεγονός που απαιτεί υψηλή πυκνότητα κόμβων για την κάλυψη μικρής περιοχής. Αυτό προσθέτει πολυπλοκότητα στο σύστημα, μειώνει την διάρκεια ζωής των μπαταριών και αυξάνει το κόστος εγκατάστασης. Ως εκ τούτου, οι προαναφερθείσες τεχνολογίες δεν είναι οι καταλληλότερες για χρήση σε γεωργικές εγκαταστάσεις σε αντίθεση με τεχνολογίες με μεγάλο εύρος επικοινωνίας, όπως είναι η LoRa. Σε σύγκριση με άλλες, μεγάλου εύρους, τεχνολογίες, η LoRa παρουσιάζει ορισμένα χαρακτηριστικά που την καθιστούν κατάλληλη για την γεωργία. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι το χαμηλό κόστος, η μεγάλη εμβέλεια, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας η διαθεσιμότητα και η ύπαρξη εργαλείων ανοιχτού κώδικα για την ανάπτυξη συστημάτων IoT.

1.4 Αρχιτεκτονική IoT

Η πραγματοποίηση ενός συστήματος IoT περιλαμβάνει την ενσωμάτωση πολλών τεχνολογιών. Δεδομένου ότι το IoT έχει εφαρμογή σε πολλές πτυχές της ζωής του ανθρώπου και πρόκειται να παίξει πρωταγωνιστικό ρόλο στην καθημερινότητά του ,θα πρέπει η πρωταρχική προσοχή που θα δώσει κάποιος να αφορά την αρχιτεκτονική και την ασφάλεια του συστήματος IoT. Έτσι, μια αρχιτεκτονική IoT θα πρέπει να είναι έτοιμη να αντιμετωπίσει διάφορους παράγοντες όπως η ποιότητα της υπηρεσίας (QoS), η αξιοπιστία και η υποστήριξη νέων τύπων συσκευών και τεχνολογιών.

Μία αρχιτεκτονική IoT μπορεί να αποτελείται από τρία επίπεδα. Το επίπεδο αντίληψης, το επίπεδο δικτύωσης και το επίπεδο εφαρμογής.



Εικόνα 1.7 - Αρχιτεκτονική του συστήματος της εργασίας

Το επίπεδο αντίληψης είναι το κατώτερο επίπεδο των αρχιτεκτονικών IoT. Περιλαμβάνει τεχνολογίες και συσκευές που χρησιμοποιούνται για συλλογή δεδομένων και αποστολή τους σε βάση δεδομένων, για ταυτοποίηση αντικειμένων βάση ξεχωριστού αναγνωριστικού, την ενεργοποίηση μηχανικών ενεργειών και την επικοινωνία μεταξύ ετερογενών έξυπνων συσκευών με ελάχιστή ή μηδενική αλληλεπίδραση με ανθρώπινες ενέργειες. Ανάλογα με την λειτουργία του, το επίπεδο αντίληψης μπορεί να χωριστεί σε δύο ημιεπίπεδα, το επίπεδο κόμβων και το δίκτυο αντίληψης. Στο επίπεδο κόμβων ανήκουν όλα τα φυσικά αντικείμενα που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και αποσκοπούν στην υλοποίηση λειτουργιών. Τέτοια φυσικά αντικείμενα αποτελούν οι μικροελεγκτές, οι αισθητήρες, οι ενεργοποιητές και οποιοδήποτε άλλο hardware στοιχείο το οποίο είναι συνδεδεμένο στο σύστημα IoT. Το δίκτυο αντίληψης εμπεριέχει τις συνδέσεις αυτών των

φυσικών αντικειμένων και τις τεχνολογίες επικοινωνίας μεταξύ τους. Ακόμη, σε αυτό το επίπεδο ανήκουν οι τεχνολογίες αποστολής των δεδομένων σε gateways, προκειμένω να συνεχιστεί με αποστολή των δεδομένων σε cloud. Τεχνολογίες που ανήκουν σε αυτό το ημιεπίπεδο και έχουν χρησιμοποιηθεί στην εργασία είναι το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων I2C και η σειριακή επικοινωνία των αισθητήρων και των ενεργοποιητών με τον μικροελεγκτή.

Στο επίπεδο δικτύωσης πραγματοποιείται η ενοποίηση πολλών ετερογενών δικτύων, τεχνολογιών και πρωτοκόλλων δικτύωσης. Σκοπός του επιπέδου αυτού είναι η μετάδοση των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήριους κόμβους σε άλλα εργαλεία υπεύθυνα για λήψεις αποφάσεων, αποθήκευση, κωδικοποίηση, εξόρυξη και ανάλυση αυτών των δεδομένων.

Το επίπεδο εφαρμογής αποτελεί το ανώτερο επίπεδο σε μία αρχιτεκτονική IoT. Σκοπός αυτού του επιπέδου είναι η παροχή υπηρεσιών και εφαρμογών για τον τελικό χρήστη (Gupta & Quamara, 2018).

1.5 Πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων

Για την σύνδεση συσκευών χαμηλής ισχύος χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων. Η επικοινωνία αυτών των πρωτοκόλλων γίνεται μέσω ενσύρματου ή ασύρματου δικτύου χωρίς την απαίτηση σύνδεσης στο διαδίκτυο. Ο αριθμός αυτών των πρωτοκόλλων είναι μεγάλος. Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένα κύρια πρωτόκολλα και ο τρόπος λειτουργίας τους.

- **MQTT**

Αποτελεί ένα από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων του IoT. Λειτουργεί με τη διαδικασία Publish / Subscribe, που σημαίνει την ανταλλαγή μηνυμάτων μέσω συμβάντων. Όταν ένα μήνυμα δημοσιεύεται από την συσκευή, ο πελάτης που έχει κάνει subscribe, μπορεί να διαβάσει το μήνυμα και να απαντήσει με την μέθοδο Publish.

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές μελέτες για τα πρωτόκολλα δικτύωσης IoT. Στο συγκεκριμένο άρθρο (Glaroudis, Iossifides, & Chatzimisios, 2019), γίνεται μια σύγκριση των πρωτοκόλλων αυτών και προτείνεται το καταλληλότερο ανάλογα με τις απαιτήσεις

του χρήστη. Ορισμένοι βασικοί δείκτες απόδοσης των πρωτοκόλλων IoT είναι η καθυστέρηση μεταφοράς, το απαιτούμενο εύρος ζώνης, η απόδοση και η κατανάλωση. Αυτοί οι παράγοντες αποτελούν τα κριτήρια επιλογής του καταλληλότερου πρωτοκόλλου δικτύωσης για συστήματα IoT. Ακολουθεί ο συγκριτικός πίνακας των πρωτοκόλλων μεταφοράς δεδομένων του συγκεκριμένου άρθρου και φαίνεται πως το MQTT αποτελεί το περισσότερα υποσχόμενο πρωτόκολλο.

Key performance indicator	Most promising protocol				Least promising protocol
Latency					
Over a LAN	CoAP	MQTT QoS 0	AMQP	HTTP/REST	XMPP
Over a mobile network	MQTT QoS 0	CoAP	WebSocket	MQTT QoS 1	
Bandwidth consumption	CoAP	MQTT	AMQP and XMPP	DDS	HTTP/REST
Throughput	MQTT	DDS	CoAP	AMQP	XMPP
Reliability	MQTT	AMQP	CoAP	HTTP/REST	
Energy consumption	CoAP	MQTT	AMQP	HTTP/REST	
Developers' preference in recent IoT applications	MQTT	HTTP/REST	WebSocket	HTTP 2.0	CoAP, AMQP, XMPP, DDS
Researchers' preference in IoT agriculture applications	MQTT	HTTP/REST	CoAP		

Πίνακας 3 - Σύγκριση πρωτοκόλλων IoT με βάση τους βασικού δείκτες απόδοσης

Όσον αφορά την καθυστέρηση μεταφοράς των πακέτων, το αποδοτικότερο πρωτόκολλο είναι το CoAP ενώ ακολουθεί το MQTT του οποίου η καθυστέρηση μεταφοράς αυξάνεται όταν αυξάνεται και το QoS. Το απαιτούμενο εύρος ζώνης του MQTT ξεπερνά αυτό των AMQP και CoAP με το τελευταίο να έχει το λιγότερο απαιτούμενο εύρος ζώνης. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει για την απόδοση του πρωτοκόλλου CoAP αφού το MQTT παρουσιάζεται πιο αποδοτικό από όλα τα πρωτόκολλα που συγκρίνονται στο συγκεκριμένο άρθρο. Ακόμη, το πρωτόκολλο MQTT εμφανίζεται ως το πιο αξιόπιστο ενώ η χρήση του τα τελευταία χρόνια είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα IoT.

- **CoAP**

Αποτελεί πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων για στοιχεία IoT με περιορισμένες δυνατότητες. Η λειτουργία του βασίζεται σε αιτήματα που στέλνει ο πελάτης στο διακομιστή. Ο διακομιστής λαμβάνει το αίτημα και απαντάει στον πελάτη με HTTP. Αποτελείται από δύο επίπεδα, το επίπεδο ανταλλαγής μηνυμάτων και το επίπεδο αιτημάτων και απόκρισης. Το επίπεδο ανταλλαγής μηνυμάτων είναι υπεύθυνο για την αξιοπιστία και την ακρίβεια των μηνυμάτων ενώ το επίπεδο απόκρισης είναι υπεύθυνο για την διαχείριση του δικτύου και των πελατών. Επίσης, το CoAP υποστηρίζει την αποστολή ασύγχρονων μηνυμάτων.

- **AMQP**

Αποτελεί πρωτόκολλο τεχνολογίας middleware για συστήματα IoT και προσφέρει δυνατότητες δρομολόγησης (routing) και ουράς (queuing) για την ανταλλαγή των μηνυμάτων. Υποστηρίζει την σύνδεση peer-to-peer για αξιόπιστη σύνδεση και ασφαλή μεταφορά δεδομένων μεταξύ των συσκευών και του Cloud. Τέλος, η χρήση του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου γίνεται κυρίως στον τραπεζικό τομέα (Rajora, 2020).

1.6 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

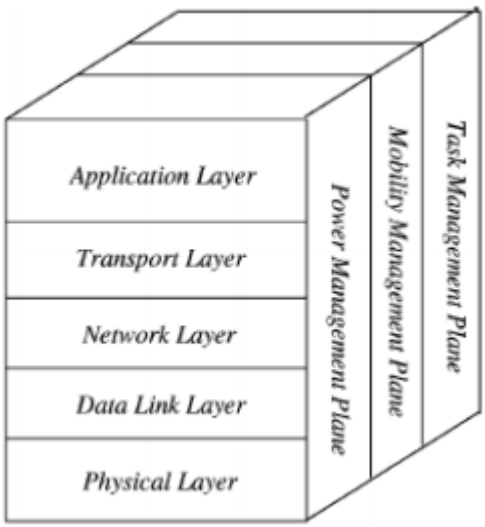
Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (ΑΔΑ / Wireless Sensor Network – WSN) αποτελείται από δεκάδες έως χιλιάδες αισθητήριους κόμβους για την παρακολούθηση φυσικών και περιβαλλοντολογικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η φωτεινότητα, ο ήχος, οι ρύποι και πολλούς άλλους παράγοντες. Οι αισθητήρες λαμβάνουν τα δεδομένα και τα μεταφέρουν μέσω δικτύου σε συγκεκριμένη τοποθεσία. Η χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων ξεκίνησε μέσω στρατιωτικών εφαρμογών για την παρακολούθηση των πεδίων μάχης. Σήμερα χρησιμοποιούνται, σε μεγάλο βαθμό, σε καταναλωτικές και βιομηχανικές περιοχές και υπόσχονται να γεφυρώσουν το χάσμα μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου.

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από αισθητήρες, ραδιοπομποδέκτη με μια εσωτερική κεραία ή μια σύνδεση με εξωτερική κεραία, μικροελεγκτή, ηλεκτρονικό

σύστημα για την διασύνδεση με τους αισθητήρες και πηγή ενέργειας (Wireless sensor network, n.d.).

1.6.1 Αρχιτεκτονική ΑΔΑ

Πριν αναπτύξουμε οποιαδήποτε εφαρμογή με WSN θα πρέπει να κατανοήσουμε την αρχιτεκτονική του. Η πιο κοινή αρχιτεκτονική ακολουθεί το μοντέλο OSI. Τα πέντε επίπεδα που χρειαζόμαστε σε ένα δίκτυο αισθητήρων είναι το επίπεδο εφαρμογής, το επίπεδο μεταφοράς, το επίπεδο δικτύου, το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων και το φυσικό επίπεδο. Σε αυτά τα πέντε επίπεδα προστίθενται και τα cross επίπεδα διαχείρισης όπως φαίνεται στην εικόνα. Τα επίπεδα αυτά είναι διαχείριση ενέργειας, διαχείριση κινητικότητας και διαχείριση στόχου.



Εικόνα 1.8 - Αρχιτεκτονική Ασύρματου Δικτύου Επικοινωνίας

Επίπεδα Cross

Αυτά τα τρία επίπεδα χρησιμοποιούνται για την καλύτερη συνολική απόδοση του δικτύου. Βοηθούν τους αισθητήριους κόμβους να συνεργαστούν καλύτερα μεταξύ τους προκειμένου να φέρουν σε πέρας τον σκοπό για τον οποίο εγκαταστάθηκαν καταναλώνοντας όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια.

- **Επίπεδο διαχείρισης κινητικότητας**

Ανιχνεύει την κίνηση των αισθητήριων κόμβων. Ο κόμβος παρακολουθεί του γείτονες και τα επίπεδα ενέργειας, για πιο ισορροπημένη κατανάλωση ενέργειας.

- **Επίπεδο διαχείρισης στόχου**

Προγραμματίζει τις ενέργειες των αισθητήρων σε μία δεδομένη περιοχή. Προσδιορίζει ποιοι κόμβοι είναι ανενεργοί και ποιοι είναι ενεργοί.

- **Επίπεδο μεταφοράς**

Η λειτουργία αυτού του επιπέδου είναι να παρέχει αξιοπιστία και αποσυμφόρηση μέσω των πρωτοκόλλων που έχουν αναπτυχθεί για αυτή τη δουλειά. Τα πρωτόκολλα αυτά χρησιμοποιούν διάφορους μηχανισμούς για την ανίχνευση απώλειας και την αποκατάσταση αυτής. Αυτό το επίπεδο απαιτείται ειδικά όταν η οργάνωση ενός συστήματος έχει σκοπό την πρόσβαση σε άλλα δίκτυα. Τα πρωτόκολλα μεταφοράς μπορούν να χωριστούν σε Packet driven, όπου όλα τα πακέτα που μεταφέρονται πρέπει να φτάσουν στον τελικό κόμβο και σε Event driven όπου το event πρέπει να ανιχνευτεί αλλά αρκεί ένα μήνυμα ειδοποίησης να φτάσει στον τελικό κόμβο.

- **Επίπεδο δικτύου**

Η κύρια λειτουργία του επιπέδου δικτύου είναι η δρομολόγηση και έχει πολλές προκλήσεις ανάλογα με την εφαρμογή. Οι σημαντικότερες προκλήσεις είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, η περιορισμένη μνήμη και περιορισμένα buffers. Ο αισθητήρας δεν έχει δική του IP και έτσι θα πρέπει να αυτό-οργανώνεται. Η βασική ιδέα του πρωτοκόλλου δρομολόγησης είναι να ορίσει την βασική και τις περιττές διαδρομές σύμφωνα με μία συγκεκριμένη κλίμακα που ονομάζεται μετρική, η οποία διαφέρει από πρωτόκολλο σε πρωτόκολλο. Υπάρχουν πολλά πρωτόκολλα δρομολόγησης για αυτό το επίπεδο και μπορούν να χωριστούν σε επίπεδης δρομολόγησης και ιεραρχικής δρομολόγησης ή μπορούν να χωριστούν σε time driven, query driven και event driven. Στο συνεχές time driven πρωτόκολλο τα δεδομένα στέλνονται περιοδικά και χρονικά καθοδηγούμενα για

εφαρμογές που χρειάζονται περιοδική παρακολούθηση. Στα event driven και query driven πρωτόκολλα, ο αισθητήρας ανταποκρίνεται σύμφωνα με την δράση ή το query του χρήστη.

- **Επίπεδο σύνδεσης δεδομένων**

Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για την πολυπλεξία των δεδομένων, την ανίχνευση πλαισίων δεδομένων, το επίπεδο MAC και τον έλεγχο σφαλμάτων. Επίσης, εξασφαλίζει την αξιοπιστία της λειτουργίας point-to-point και point-to-multipoint.

Τα σφάλματα μπορεί να προέρχονται από τη σύνδεση με το επίπεδο MAC, όπου η επίλυση του προβλήματος γίνεται από τα πρωτόκολλα MAC. Το επίπεδο MAC είναι υπεύθυνο για τις πολιτικές πρόσβασης στο κανάλι, τον προγραμματισμό, τη διαχείριση του buffer και τον έλεγχο σφαλμάτων. Στα WSNs χρειαζόμαστε ένα πρωτόκολλο MAC για τον έλεγχο της ενεργειακής απόδοσης και την αξιοπιστία. Ακόμη τα σφάλματα μπορεί να προέρχονται από το multipath fading στο φυσικό επίπεδο, όπου αυτό το πρόβλημα επιλύεται με δύο τεχνικές. Η μία είναι η τεχνική ARQ η οποία δεν είναι πολύ δημοφιλής στα WSN λόγω πρόσθετου κόστους αναμετάδοσης. Δεν είναι αποτελεσματική για την ανίχνευση σφαλμάτων του πλαισίου δεδομένων, έτσι όλο το πλαίσιο πρέπει να αναμεταδοθεί ακόμη κι αν το σφάλμα είναι ενός bit. Η δεύτερη τεχνική είναι η FEC (Forward Error Correction), η οποία μειώνει τον αριθμό αναμετάδοσης προσθέτοντας πλεονάζοντα δεδομένα σε κάθε μήνυμα έτσι ώστε ο δέκτης να μπορεί να ανιχνεύσει και να διορθώσει τα σφάλματα. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η αναμετάδοση.

- **Φυσικό επίπεδο**

Παρέχει την διεπαφή για την μετάδοση των bit από το φυσικό μέσο. Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για την επιλογή της συχνότητας μετάδοσης, τη δημιουργία της συχνότητας του φορέα, την ανίχνευση σημάτων και τη διαμόρφωση και κρυπτογράφηση των δεδομένων.

IEEE 802.15.4: Προτείνεται για δίκτυο WSN με χαμηλό κόστος, χαμηλή πολυπλοκότητα, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και εύρος επικοινωνίας για τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Χρησιμοποιεί το CSMA / CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) και υποστηρίζει τις τοπολογίες αστέρα και peer-to-peer.

- **Επίπεδο εφαρμογής**

Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση της κυκλοφορίας. Επιπλέον, προσφέρει το λογισμικό για διάφορες εφαρμογές που μεταφράζουν τα δεδομένα σε κατανοητή μορφή ή στέλνει ερωτήματα queries για να αποκτήσει ορισμένες πληροφορίες (Alkhatib & Baicher, 2012).

1.6.2 Τοπολογίες ΑΔΑ

Τα WSNs αποτελούν δίκτυα χωρίς συγκεκριμένη υποδομή και με μεγάλες απαιτήσεις για το μέγεθος των αισθητήριων κόμβων και τη βελτιστοποίηση του χρόνου δραστηριότητας με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Η επιλογή της κατάλληλης τοπολογίας εξαρτάται από παραμέτρους όπως την ποσότητα και την ποιότητα των δεδομένων που δρομολογούνται, την απόσταση μετάδοσης, την κινητικότητα στου αισθητήρες και τη ζωή των μπαταριών των αισθητήριων κόμβων. Σκοπός των αισθητήριων κόμβων είναι η ανίχνευση και η αποστολή διαφορετικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η φωτεινότητα, η υγρασία, η ακτινοβολία και πολλά άλλα. Η λειτουργικότητα των αισθητήριων κόμβων χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες. Στη σύνδεση με το περιβάλλον, στον προγραμματισμό, στην επεξεργασία και στην επικοινωνία.

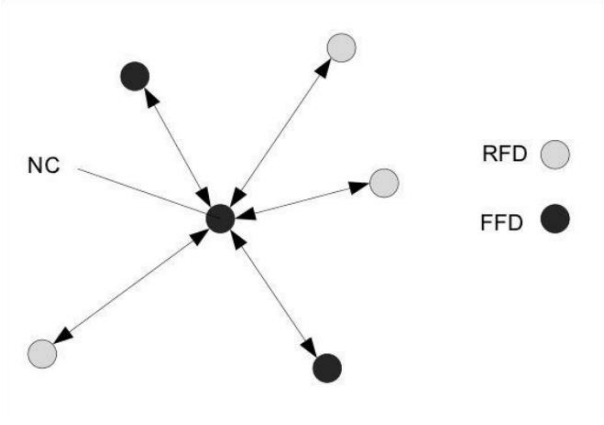
Η σύνδεση με το περιβάλλον περιλαμβάνει τους περιβαλλοντικούς παράγοντες και την ανίχνευση των τιμών τους, καθώς και την ανίχνευση γειτονικών αισθητήριων κόμβων και τον προσδιορισμό των συντεταγμένων τους. Ο προγραμματισμός και η επεξεργασία των αισθητήριων κόμβων αφορά την ανάλυση, τον υπολογισμό και την σύνοψη των πληροφοριών. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται πολλά διαφορετικά είδη μικροελεγκτών. Για την επικοινωνία των αισθητήριων κόμβων υπάρχουν αλγόριθμοι και πρωτόκολλα δρομολόγησης, τα οποία εξαρτώνται από την αρχιτεκτονική του δικτύου. Συνήθως οι αισθητήριοι κόμβοι είναι τυχαία διάσπαρτοι, έτσι οι θέσεις και οι συνδέσεις μεταξύ τους καθορίζουν την τοπολογία του δικτύου. Οι βασικές τοπολογίες που έχουν καθιερωθεί είναι τρεις. Η τοπολογία star (αστέρα) η τοπολογία mesh (πλέγμα) και η τοπολογία cluster/tree (σύμπλεγμα/δέντρο).

Επιπλέον, οι αισθητήριοι κόμβοι σε αυτές τις τοπολογίες μπορούν να χωριστούν σε ακόμα δύο κατηγορίες. Σε συσκευές πλήρους λειτουργίας FFD (κόμβος δρομολογητής) και RFD

(τερματικός κόμβος). Οι FFD υποστηρίζουν ένα σύνολο λειτουργιών και μπορούν να παίξουν ρόλο συντονιστή στο δίκτυο. Οι RFD μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κοινές συσκευές. Έχουν μικρότερη μνήμη υπολογιστικούς πόρους και κατανάλωση ενέργειας.

- **Τοπολογία star**

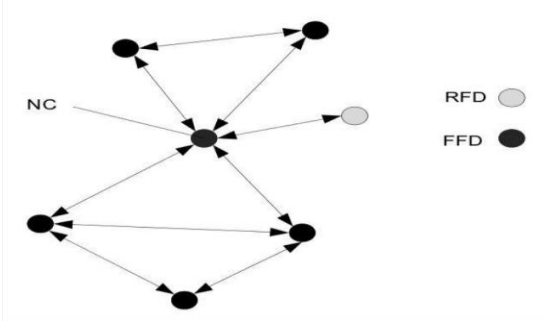
Στην τοπολογία star οι αισθητήριοι κόμβοι μπορεί να είναι είτε FFD είτε RFD. Λειτουργούν ως τερματικές συσκευές και μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας με συσκευή CN. Αυτή είναι η πιο απλή μορφή τοπολογίας. Το όνομα star προκύπτει από την χωρική θέση των αισθητήριων κόμβων γύρω από τον συντονιστή αισθητήριο κόμβο. Η συσκευή CN χρησιμεύει για γρήγορη εναλλαγή ημερομηνιών. Σκοπός της είναι να διαχειρίζεται το έργο των τελικών αισθητήριων κόμβων, να ανταλλάζει δεδομένα μαζί τους και να μεταδίδει την ημερομηνία σε άλλα δίκτυα. Η τοπολογία star είναι ένα σύστημα Single-Hop, πράγμα που σημαίνει ότι τα δεδομένα μεταφέρονται από τον πομπό στον δέκτη με ένα "χτύπημα". Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των δικτύων με αυτή την τοπολογία είναι ότι έχουν την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας συγκριτικά με τις άλλες τοπολογίες. Αντίθετα, το μειονέκτημά της είναι ότι η περίμετρος που καλύπτεται από το δίκτυο είναι ίση μόνο με την περιοχή που καλύπτουν οι τελικοί αισθητήριοι κόμβοι. Εκτός από το ότι η αξιοπιστία της τοπολογίας star δεν είναι πολύ μεγάλη, μία ενδεχόμενη διακοπή σύνδεσης των αισθητήριων τερματικών κόμβων με τον κόμβο-συντονιστή δεν μπορεί να αντικατασταθεί άμεσα. Συνίσταται τα δίκτυα με τοπολογία star να αποτελούνται από μέχρι τριάντα αισθητήριους κόμβους και να καλύπτουν περιοχή με ακτίνα μόνο εκατό μέτρων.



Εικόνα 1.9 - Τοπολογία Αστέρα

- **Τοπολογία mesh**

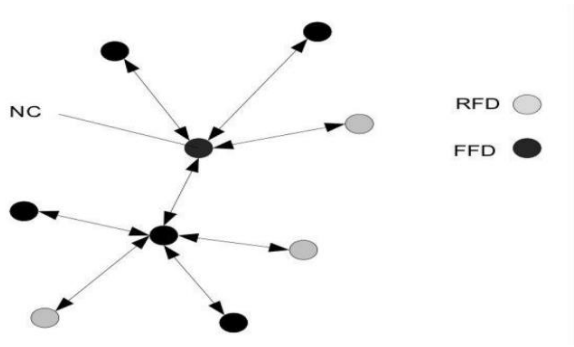
Στην τοπολογία mesh όλοι οι αισθητήριοι κόμβοι θα πρέπει να είναι FFD με εξαίρεση μόνο αυτούς που είναι πολύ απομακρυσμένοι. Σε αυτή την περίπτωση η επικοινωνία με την CN μπορεί να υλοποιηθεί με μεταφορά των πακέτων σε πολλαπλούς κόμβους. Επομένως, αυτής της τοπολογίας τα δίκτυα είναι συστήματα Multi-Hop. Στην τοπολογία mesh έχουμε χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και αυτό προκύπτει από την ιδιότητα του λογισμικού να επιλέγει την συντομότερη διαδρομή ανάμεσα στους αισθητήριους κόμβους. Επιπροσθέτως, για τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας, ο αλγόριθμός ενός τέτοιου δικτύου εξασφαλίζει τον ακριβή συγχρονισμό της ανταλλαγής δεδομένων, δηλαδή ο αισθητήριος κόμβος μετάδοσης στέλνει πακέτο ελέγχου για την ενεργοποίηση του δέκτη του αισθητήριου κόμβου λήψης. Αντιδρά γρήγορα, δέχεται τα δεδομένα και απενεργοποιείται ακαριαία. Τα δίκτυα της τοπολογίας mesh μπορούν να χαρακτηρισθούν και ως self-healing. Δηλαδή με την εμφάνιση ενός κατεστραμμένου κόμβου-δρομολογητή ή διαστρεβλώσεων στο δρομολόγιο των δεδομένων η λύση έρχεται αυτόματα. Με την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των συσκευών στο δίκτυο και την παρουσία κινούμενων αισθητήριων κόμβων, τα δρομολόγια των δεδομένων προσαρμόζονται αυτόματα γεγονός που καθιστά τα δίκτυα αυτής της τοπολογίας αυτόνομα. Η αυτονομία επιτρέπει στο δίκτυο να αναγνωρίζει αυτόματα και να θέτει σε δράση νέους αισθητήριους κόμβους. Η δομή αυτής της τοπολογίας ονομάζεται peer-to-point-to-point και peer-to-peer. Σε αντίθεση με την τοπολογία αστέρα η διαχείριση κατανέμεται μεταξύ όλων των κόμβων. Επίσης, η δυνατότητα κάλυψης μεγάλης έκτασης είναι καλύτερη συγκριτικά με την τοπολογία αστέρα. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ο διευκολυνόμενος έλεγχος της λειτουργικότητας των κόμβων και του δικτύου στο σύνολό του, μέσω ειδικής διαγνωστικής συσκευής ή υπολογιστή.



Εικόνα 1.10 - Τοπολογία Mesh

- **Τοπολογία cluster**

Στην τοπολογία cluster, οι ομάδες αισθητήριων κόμβων, που επικοινωνούν με έναν FFD (cluster-head), είναι διαφοροποιημένες. Ο cluster-head έχει περισσότερη ενέργεια, μνήμη και υπολογιστικό πόρο. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα συλλογής περισσότερων πληροφοριών με την αποθήκευση των πακέτων στη μνήμη και τον υπολογισμό των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί. Μετά, ο cluster-head, μεταδίδει με multi-steps μόνο την πληροφορία που είναι ενημερωμένη, στον σταθμό βάσης. Με αυτή την τοπολογία, κάθε cluster μπορεί να λειτουργεί σε διαφορετικές συχνότητες με άλλα clusters με αποτέλεσμα την αποφυγή συγκρούσεων και την βελτίωση της ποιότητας της επικοινωνίας του δικτύου. Ακόμη, κάθε cluster μπορεί να χρησιμοποιήσει διαφορετικά κλειδιά για κρυπτογράφηση δεδομένων με αποτέλεσμα το δίκτυο να είναι πιο προστατευμένο. Το δίκτυο τοπολογίας cluster είναι αυτό-οργανωμένο, δηλαδή οι αισθητήριοι κόμβοι βρίσκουν, από μόνοι τους, τους γειτονικούς αισθητήριους κόμβους και είναι εξατομικευμένοι σε clusters με έναν κεντρικό cluster-head (Ganev, 2013).



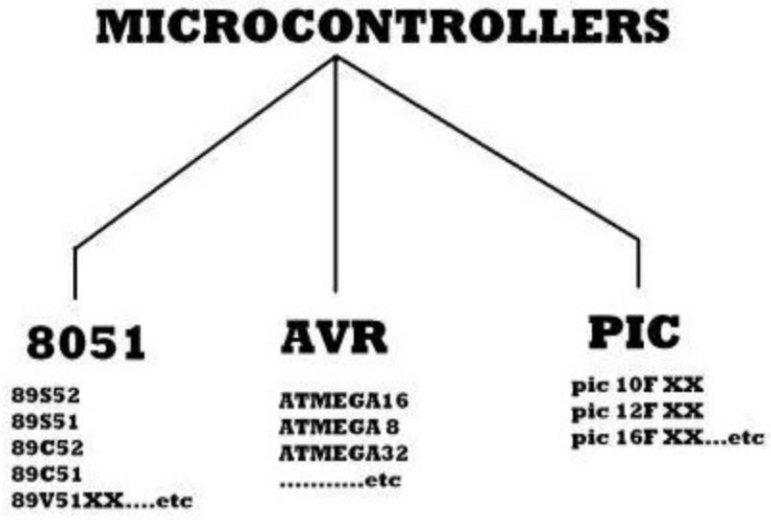
Εικόνα 1.11 - Τοπολογία Cluster

1.7 Μικροελεγκτές

Ένας μικροελεγκτής είναι μια συσκευή ολοκληρωμένου κυκλώματος (integrated circuit - IC) που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο άλλων τμημάτων ενός ηλεκτρικού συστήματος, μέσω μιας μονάδας μικροεπεξεργαστή (MPU - Microprocessing Unit), μνήμης και διάφορων περιφερειακών (Keim, 2019). Ο μικροελεγκτής αποτελεί πλέον μια διαδεδομένη λύση σε συστήματα IoT και διαθέτει μνήμη, μικροεπεξεργαστή, διάφορα περιφερειακά κυκλώματα και θύρες Εισόδου/Εξόδου για επικοινωνία με άλλες συσκευές

Χαρακτηριστικό των μικροελεγκτών είναι το χαμηλό κόστος και το μικρό τους μέγεθος. Λειτουργούν με πολύ χαμηλή συχνότητα ρολογιού και είναι σχεδιασμένοι για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Η αρχιτεκτονική τους ποικίλει ανάλογα με τον σκοπό λειτουργίας τους και ανάλογα με τον μικροεπεξεργαστή που διαθέτουν. Συνήθως χρησιμοποιούνται για περιορισμένες υπολογιστικές λειτουργίες (Microcontroller, χ.χ.).

Οι διάφορες οικογένειες μικροελεγκτών χαρακτηρίζονται από τα bits τους, την αρχιτεκτονική της μνήμης τους, τις συσκευές μνήμης και το σετ οδηγιών τους.



Εικόνα 1.12 - Βασικοί τύποι μικροελεγκτών

Οι μικροελεγκτές ταξινομούνται σύμφωνα με το εύρος του διαύλου επικοινωνίας τους σε 8-bit, 16-bit και 32-bit μικροελεγκτές. Στους 8-bit μικροελεγκτές η αριθμητική/λογική μονάδα (ALU-Arithmetic/Logic Unit) εκτελεί αριθμητικές και λογικές πράξεις με τελικό

εύρος 0×00 – 0xFF (0-255) για κάθε κύκλο. Παραδείγματα τέτοιων μικροελεγκτών αποτελεί η οικογένεια της Intel 8031/8051 και ο μικροελεγκτής ATmega328P του Arduino UNO. Οι 16-bit μικροελεγκτές παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια και απόδοση με τελικό εύρος 0×0000 – 0xFFFF (0-65535) για κάθε κύκλο. Ορισμένα παραδείγματα 16-bit μικροελεγκτών αποτελούν οι 8051XA, PIC2x και Intel 8096. Οι μικροελεγκτές 32-bit χρησιμοποιούν 32 bits για την εκτέλεση αριθμητικών και λογικών πράξεων και χρησιμοποιούνται για αυτόματες συσκευές όπως ιατρικές συσκευές και μηχανές γραφείου. Παράδειγμα αυτών των μικροελεγκτών αποτελεί η οικογένεια Intel/Atmel 251 και η οικογένεια ESP8266. Άλλος ένας διαχωρισμός των μικροελεγκτών γίνεται με βάση τις συσκευές μνήμης που διαθέτουν. Χωρίζονται σε αυτούς με ενσωματωμένη και σε αυτούς με εξωτερική μνήμη. Όταν ένας μικροελεγκτής διαθέτει όλα τα λειτουργικά του μπλοκ πάνω σε ένα μόνο τσιπ, καλείται ενσωματωμένος μικροελεγκτής. Από την άλλη μεριά, όταν ο μικροελεγκτής δεν έχει όλα τα λειτουργικά του μπλοκ πάνω σε ένα τσιπ καλείται μικροελεγκτής εξωτερικής μνήμης Επίσης, χωρίζουμε τους μικροελεγκτές σε αυτούς με αρχιτεκτονική μνήμης Harvard και σε αυτούς με αρχιτεκτονική μνήμης Princeton. Αρχιτεκτονική Harvard έχουν οι μικροελεγκτές με διαφορετική διεύθυνση μνήμης για το πρόγραμμα και διαφορετική για τα δεδομένα, ενώ οι μικροελεγκτές που υιοθέτησαν την αρχιτεκτονική μνήμης Princeton έχουν κοινές διευθύνσεις μνήμης για το πρόγραμμα και τα δεδομένα. Ακόμη, ο μικροελεγκτές χωρίζονται με βάση το σετ οδηγιών τους σε CISC και RISC. Στους CISC, ο προγραμματιστής έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί μία εντολή η οποία αντικαθιστά πολλές απλούστερες. Στους τύπου RISC μικροελεγκτές, έχουμε μειωμένο σχέδιο μικροεπεξεργαστή για τα βιομηχανικά πρότυπα. Επιτρέπεται σε κάθε εντολή να λειτουργεί σε οποιονδήποτε καταχωρητή, να χρησιμοποιεί οποιονδήποτε τρόπο διευθυνσιοδότησης και να έχει ταυτόχρονη πρόσβαση σε πρόγραμμα και δεδομένα (Microcontrollers Types & Their Applications, χ.χ.).

Ο μικροελεγκτής της αναπτυξιακής πλακέτας Sodaq Explorer είναι ο ATSAMD21J18, 32-Bit ARM Cortex M0+ της οικογένειας SAM D21/DA1 η οποία αναλύεται παρακάτω μαζί με άλλες τρεις βασικές οικογένειες μικροελεγκτών.

- **8051**

Σχεδιάστηκε από την Intel και αποτελεί μικροελεγκτή των 8-bit. Διαθέτει 40 pins, 4kb μνήμη ROM και 128 bytes μνήμη RAM. Αποτελείται από 4 παράλληλες θύρες των 8-bit, οι οποίες προγραμματίζονται και διεθυνσιοδοτούνται ανάλογα με την απαίτηση. Ο δίαυλος συστήματος (system bus) αποτελείται από έναν δίαυλο δεδομένων (data bus) 8-bit, έναν δίαυλο διευθυνσιοδότησης 16-bit και από σήματα για τον έλεγχο του διαύλου. Όλες οι συσκευές όπως η μνήμη προγράμματος, η μνήμη δεδομένων, οι θύρες, η σειριακή διασύνδεση, οι χρονοδιακόπτες και η CPU είναι διασυνδεμένες μεταξύ τους μέσω ενός διαύλου συστήματος (system bus) (Microcontrollers - 8051 Architecture, χ.χ.). Η μνήμη των μικροελεγκτών 8051 χωρίζεται σε δύο μέρη, την μνήμη προγράμματος και την μνήμη δεδομένων. Το εκτελούμενο πρόγραμμα είναι αποθηκευμένο στην μνήμη προγράμματος ενώ τα δεδομένα και τα αποτελέσματα στην μνήμη δεδομένων. Η ενσωμάτωση των μικροελεγκτών 8051 σε μία συσκευή γίνεται εύκολα και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ευρέως σε μεγάλο αριθμό συσκευών που έχουν να κάνουν κυρίως με διαχείριση ενέργειας, οθόνες αφής, αυτοκινούμενα και ιατρικές συσκευές (Microcontrollers Types & Their Applications, χ.χ.). Το pin-40 συνδέει την πηγή ενέργειας των +5V DC. Το pin-20 είναι η γείωση. Τα pins 32-39 αποτελούν θύρες I / O (Input / Output). Το pin-31 είναι αποπολυπλέκτης των pins 32-39. Το pin-30 χρησιμοποιείται για ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση της διεπαφής εξωτερικής μνήμης. Εάν δεν υπάρχει εξωτερική μνήμη είναι πάντα high. Το pin-29 χρησιμοποιείται για ανάγνωση σήματος από εξωτερική μνήμη προγράμματος. Τα pins 21-28 εξυπηρετούν ως θύρες I / O και ως θύρες για σήματα διεύθυνσης υψηλής τάσης. Τα pins 18-19 χρησιμοποιούνται για την παροχή ρολογιού στο σύστημα. Τα pins 10-17 εξυπηρετούν άλλες λειτουργίες όπως διακοπές, χρονοδιακόπτης, σήματα ελέγχου για διεπαφή εξωτερικής μνήμης read and write. Το pin-9 είναι για το RESET, δηλαδή την επαναφορά του 8051 στις αρχικές του τιμές και τα pins 1-8 αποτελούν κατευθυντικές θύρες I / O.

- **AVR**

Αναπτύχθηκε από τους Alf-Egil Bogen και Vegard Wollan από την εταιρεία Atmel. Υιοθετεί την αρχιτεκτονική Harvard RISC με διαφορετικές μνήμες για πρόγραμμα και

δεδομένα. Σε σύγκριση με τους μικροελεγκτές 8051 και PIC έχει υψηλή ταχύτητα. Ακόμη, οι AVR χρειάζονται λιγότερη ενέργεια από τους 8051 αλλά προγραμματίζονται πιο δύσκολα. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τους TinyAVR που έχουν μικρή μνήμη και μέγεθος και χρησιμοποιούνται για απλές εφαρμογές, τους MegaAVR που είναι οι πιο διαδεδομένοι με μνήμη μέχρι 256 KB και χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερης πολυπλοκότητας εφαρμογές και τους XmegaAVR οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε πολύπλοκες εφαρμογές με μεγάλη απαίτηση μνήμης προγράμματος και υψηλές ταχύτητες (Microcontrollers Types & Their Applications, χ.χ.).

- **PIC**

Αποτελεί μικροελεγκτή περιφερειακής διασύνδεσης και αναπτύχθηκε το 1993 από την general instrument's microelectronics. Μπορεί να ελεγχθεί από λογισμικό και βρίσκει εφαρμογή σε συσκευές όπως smart phones, συσκευές ήχου, περιφερειακά για video gaming και ιατρικές συσκευές. Υπάρχουν πολλοί μικροελεγκτές PIC ξεκινώντας από τους PIC16F84 και PIC16C84. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε ο PIC16F877 ο οποίος είναι διπλάσιας τιμής από τον PIC16F84 αλλά έχει οχταπλάσιο μέγεθος κώδικα, πολύ μεγαλύτερη μνήμη RAM, περισσότερα I / O pins, διεπαφή UART (universal asynchronous receiver/transmitter), Αναλογικό σε Ψηφιακό μετατροπέα και πολλά άλλα. Τα πλεονεκτήματα του μικροελεγκτή PIC είναι ότι ακολουθεί αρχιτεκτονική RISC, είναι χαμηλού κόστους με υψηλή ταχύτητα ρολογιού και ο κώδικας του είναι εξαιρετικά αποδοτικός καλύπτοντας μικρότερη μνήμη προγράμματος σε σχέση με τους υπόλοιπους μικροελεγκτές. Αυτό τον τύπο μικροελεγκτών έχουν οι αναπτυξιακές πλακέτες της οικογένειας Arduino (Microcontrollers Types & Their Applications, χ.χ.).

- **SAMD**

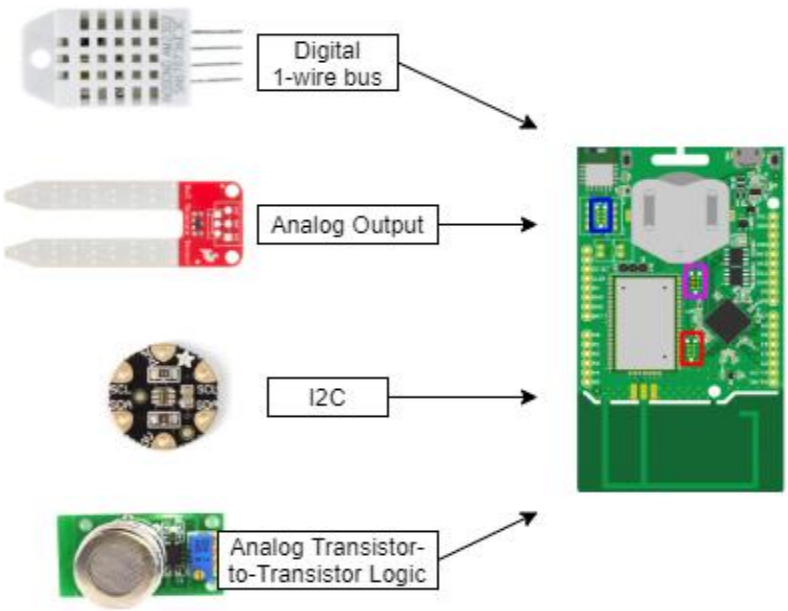
Αποτελούν σειρά μικροελεγκτών χαμηλής ισχύος οι οποίοι χρησιμοποιούν τον μικροεπεξεργαστή ARM Cortex-M0+ των 32 bit. Η μέγιστη συχνότητα λειτουργίας τους είναι 256 KB για την μνήμη Flash και 32 KB για την SRAM. Οι αναπτυξιακές πλακέτες της οικογένειας SAM D21/DA1 διαθέτουν ενσωματωμένη διεπαφή USB 2.0 και έξι διαφορετικές διεπαφές σειριακής επικοινωνίας που μπορούν να υποστηρίξουν πρωτόκολλα όπως USART, UART, SPI και I2C. Ακόμη, υποστηρίζουν μία μεγάλη σειρά

εργαλείων ανάπτυξης προγραμμάτων, συμπεριλαμβανομένων των μεταγλωττιστών C, προγραμμάτων αποσφαλμάτωσης και simulators (SAM D21/DA1 Family Datasheet).

1.8 Αισθητήρες

Αισθητήρας μπορεί να είναι μία συσκευή, ένα μηχάνημα ή ένα υποσύστημα που έχει σκοπό την ανίχνευση γεγονότων ή αλλαγών στο περιβάλλον και την αποστολή πληροφοριών, για αυτές τις αλλαγές, σε άλλα ηλεκτρονικά συστήματα, συνήθως επεξεργαστές. Αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε αντικείμενα καθημερινής χρήσης όπως κουμπιά ανελκυστήρα και λάμπες που ανάβουν με την αφή (Sensor, χ.χ.). Η αλλαγή που καταγράφει ένας αισθητήρας μπορεί να είναι φωτός, θερμότητας, κίνησης, υγρασίας, πίεσης ή πολλών άλλων περιβαλλοντικών δεδομένων. Ο αισθητήρας καταγράφει την αλλαγή και μέσω ενός διαύλου επικοινωνίας στέλνει την πληροφορία σε επεξεργαστές οι οποίοι στην συνέχεια δίνουν την δυνατότητα στον άνθρωπο να τις διαβάσει και να τις επεξεργαστεί. Ο κύριος διαχωρισμός των αισθητήρων γίνεται με βάση το σήμα που εκπέμπουν. Έτσι χωρίζουμε τους αισθητήρες σε ψηφιακούς και αναλογικούς.

Για επικοινωνία του αισθητήρα με τον μικροελεγκτή χρειάζεται μία διεπαφή ή αλλιώς ένας δίαυλος επικοινωνίας. Οι δύο μεγαλύτερες κατηγορίες είναι οι ψηφιακές και οι αναλογικές διεπαφές. Οι ψηφιακές διεπαφές μπορούν να χωριστούν σε σειριακές, παράλληλες και δυαδικές για λειτουργίες τύπου ON/OFF ενώ από τις αναλογικές διεπαφές μπορούμε να μετρήσουμε την τάση και την ένταση του ρεύματος. Άλλος ένα διαχωρισμός των ψηφιακών σειριακών διεπαφών είναι οι συγχρονισμένες και οι ασύγχρονες.



Εικόνα 1.13 - Δίαυλοι επικοινωνίας αισθητήρων

1.8.1 Αναλογικοί αισθητήρες

Αναλογικοί ονομάζονται οι αισθητήρες που εκπέμπουν συνεχές αναλογικό σήμα εξόδου ανάλογο της τιμής της μέτρησης. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αναλογικών αισθητήρων όπως επιταχυνσιόμετρα, πίεσης, φωτός, ήχου, θερμοκρασίας και πολλοί άλλοι. Κάθε μικροελεγκτής έχει έναν ορισμένο αριθμό θυρών αναλογικής διεπαφής. Η λειτουργία των αναλογικών pin βασίζεται σε μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό σήμα. Κάθε μετατροπέας A/D μπορεί να έχει σαν έξοδο ακέραιους αριθμούς από το 0 έως το 1023 μετατρέποντας το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό. Τα αναλογικά σήματα των αισθητήρων μέτρησης υγρασίας εδάφους και διοξειδίου του άνθρακα μετατρέπονται σε ψηφιακά με την συνάρτηση analogRead() του Arduino IDE. Η συνάρτηση αυτή μετατρέπει την τιμή της τάσης του ρεύματος σε ψηφιακή τιμή.

1.8.2 Ψηφιακοί αισθητήρες

Ψηφιακοί καλούνται οι αισθητήρες με τους οποίους η μετατροπή και η μεταφορά των πληροφοριών γίνεται ψηφιακά. Οι ψηφιακοί αισθητήρες καλύπτουν τα μειονεκτήματα των αναλογικών καθώς μετατρέπουν το μετρούμενο σήμα απευθείας σε ψηφιακό σήμα εξόδου (Rouse, 2012). Υπάρχουν, ακόμα, πολλές κατηγορίες αισθητήρων όπως θερμοκρασίας, IR,

υπερήχων, αφής, εγγύτητας, πίεσης, μέτρησης στάθμης, μέτρησης καπνού και διαφόρων αερίων.

1.8.2.1 Δίαυλοι επικοινωνίας

Παρουσιάζονται ορισμένοι δημοφιλείς δίαυλοι των ψηφιακών αισθητήρων. Την διεπαφή 1-wire χρησιμοποιεί ο αισθητήρας DHT22 και υποστηρίζει ασύγχρονη επικοινωνία ενώ η I2C που χρησιμοποιήθηκε για τον αισθητήρα μέτρησης φωτός και για το RTC αποτελεί συγχρονισμένη διεπαφή.

- **One-wire**

Ο δίαυλος επικοινωνίας One-wire αποτελεί πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων με χαμηλή ταχύτητα και αναπτύχθηκε από την Dallas Semiconductor Corporation. Είναι πολύ δημοφιλής διεπαφή για επικοινωνίες χαμηλού κόστους συσκευών αφού η δικτύωση γίνεται με ένα καλώδιο για data και ένα για την γείωση. Για την επικοινωνία, μία master-device ξεκινάει την δραστηριότητα στο δίαυλο. Οι υπόλοιπες συσκευές που μοιράζονται τον δίαυλο μπορούν να διαβάσουν αυτή την δραστηριότητα. Κάθε συσκευή στον δίαυλο έχει μοναδικό σειριακό αριθμό των 64-bits. Το λιγότερο σημαντικό byte είναι αυτό που εκφράζει τον τύπο της συσκευής και το σημαντικότερο είναι αυτό που είναι υπεύθυνο και για την λειτουργία του one-wire (1-Wire, 2020). Ο DHT22 χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο One-wire με ένα επιπλέον καλώδιο, αυτό της τροφοδοσίας.

- **I2C**

Για την επικοινωνία με I2C απαιτούνται δύο καλώδια, το SDA (Serial Data line) και το SCL (Serial Clock line). Κάθε συσκευή συνδεδεμένη σε δίαυλο I2C κατέχει ξεχωριστή διεύθυνση και οι αλληλεπιδράσεις των συσκευών γίνονται με την μέθοδο master-device, όπως ο δίαυλος επικοινωνίας one-wire. Τα δύο καλώδια ή αλλιώς γραμμές είναι αμφίδρομες, δηλαδή τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν και στις δύο κατευθύνσεις. Όταν ο δίαυλος είναι ελεύθερος και οι δύο γραμμές είναι σε κατάσταση HIGH τα δεδομένα στο δίαυλο I2C μπορούν να μεταφερθούν με ρυθμούς έως και 100 kbit/s σε τυπική λειτουργία, έως 400 kbit/s σε γρήγορη λειτουργία, και έως 1 Mbit/s σε fast-mode. Όλες οι μεταφορές δεδομένων ξεκινούν με ένα START και τελειώνουν με ένα STOP. Όταν η SCL

είναι σε κατάσταση HIGH και υπάρξει αλλαγή κατάστασης του SDA από HIGH σε LOW τότε αυτό δηλώνει START. Ενώ όταν η αλλαγή κατάστασης του SDA είναι από LOW σε HIGH τότε γίνεται τερματισμός μεταφοράς (I2C bus specification and user manual, 2014).

- **SPI**

Το SPI (Serial Peripheral Interface Bus) αποτελεί δίαυλο ασύγχρονης επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας. Συνήθως χρησιμοποιείται για επικοινωνία μιας συσκευής με τα περιφερειακά της (π.χ. αισθητήρες) Επιτρέπει σε ένα πακέτο δεδομένων (2 έως 16 bit) να μεταφερθεί σειριακά από και προς μία συσκευή χρησιμοποιώντας σύνδεση τεσσάρων γραμμών:

1. SCLK: Serial Clock (output from master-device),
2. MOSI: Master-device Output other-devices Input, or Master-device Output other-devices Input (data output from master-device),
3. MISO: Master-device Input other-devices Output, or master-device Input other-devices Output (data output from other-devices),
4. SS: Other-devices Select (often active low, output from master-device).

Το SPI είναι ένα ιδιαίτερα δημοφιλές πρωτόκολλο με πολλές εφαρμογές. Ορισμένες από αυτές είναι αισθητήρες, ψηφιακά ποτενσιόμετρα, LCD οθόνες και κάρτες SD. Ακόμη, το SPI χρησιμοποιείται και σε άλλες τεχνικές επικοινωνίας όπως Ethernet, USB, USART, IEEE 802.15.4, IEEE 802.11 (Serial Peripheral Interface (SPI) User Guide, 2012).

1.9 Ενεργοποιητές

Οι ενεργοποιητές (actuators) αποτελούν μεταφορικά το μυϊκό σύστημα ενός ευρύτερου συστήματος. Είναι συσκευές που μετατρέπουν κάποιο είδος αποθηκευμένης ενέργειας σε κίνηση. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τους ηλεκτρικούς, τους πνευματικούς και τους υδραυλικούς κυλίνδρους. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί ενεργοποιητές. Οι ηλεκτρικοί ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται για πολύ ακριβείς κινήσεις είτε γραμμικές είτε περιστροφικές. Αποτελούνται συνήθως από έναν ηλεκτρικό κινητήρα και από ένα σύστημα ελέγχου που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ροπή. Οι πνευματικοί ενεργοποιητές ή πνευματικοί κύλινδροι χρησιμοποιούν πεπιεσμένο αέρα για να παράγουν κίνηση. Μπορούν να είναι ενεργοποιητές μονής ή διπλής ενέργειας με τους

πρώτους να έχουν την δυνατότητα κίνησης μόνο προς μία κατεύθυνση. Ο μηχανισμός τους αποτελείται από ένα έμβολο σφραγισμένο μέσα σε έναν κύλινδρο και βαλβίδες για τον έλεγχο της ροής πεπιεσμένου αέρα στον κύλινδρο. Τέλος, οι υδραυλικοί κύλινδροι βασίζουν την λειτουργία τους στο γεγονός ότι ο όγκος των υγρών δεν μπορεί να αλλάξει, ανεξάρτητα από το πόση πίεση εφαρμόζεται σε αυτό. Ο μηχανισμός τους αποτελείται από δύο έμβολα σε ξεχωριστούς κυλίνδρους όπου το υγρό μπορεί να κινείται από το ένα κύλινδρο στον άλλον (Actuator Mechanisms, χ.χ.). Σε ένα δίκτυο LoRa οι ενεργοποιητές αποτελούν end-nodes κατηγορίας C.

1.10 Παραπλήσιες υλοποιήσεις αυτοματισμών σε θερμοκήπια

Κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος IoT προκύπτουν ορισμένα προβλήματα. Αυτά έχουν να κάνουν τόσο με τα υλικά όσο και με τις τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν. Έπειτα από μελέτη πάνω σε συστήματα αυτοματισμών σε θερμοκήπιο, έγινε η επιλογή των υλικών και των τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν και παρουσιάζονται στα κεφάλαια 2 και 3.

Η επιλογή της πλακέτας έγινε λόγω του αριθμού θυρών που προσφέρει, της ευκολίας στον προγραμματισμό της, αλλά κυρίως λόγω της άμεσης συνδεσιμότητας της με το δίκτυο LoRaWAN. Επιλέχθηκε η τεχνολογία LoRaWAN λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας κατά την διάρκεια μετάδοσης δεδομένων και λόγω της μεγάλης εμβέλειάς του. Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά είναι ιδανικά για συστήματα έξυπνης γεωργίας.

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται τα κύρια μέρη των είκοσι τριών (23) συστημάτων που μελετήθηκαν. Σε πέντε από αυτά, χρησιμοποιήθηκε μικροελεγκτής της οικογένειας ESP8266 για άμεση σύνδεση του συστήματος με δίκτυο Wi-Fi. Κάτι που περιορίζει την εμβέλεια και αυξάνει το κόστος καθώς χρειάζεται εγκατάσταση Wi-Fi σε αρκετά μικρή απόσταση από την καλλιέργεια. Οι μικροελεγκτές Arduino Mega 2560 και Arduino Uno χρησιμοποιήθηκαν από επτά φορές ο καθένας είτε σαν κύριος μικροελεγκτής του συστήματος είτε σε συνδυασμό με esp8266, raspberry pi ή Arduino mini pro.

Όσον αφορά τις τεχνολογίες επικοινωνίας και δικτύωσης, στα εννέα συστήματα χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο Wi-Fi και σε έξι από αυτά χρησιμοποιήθηκε Ethernet

που όπως προαναφέρθηκε περιορίζουν την εμβέλεια. Σε δύο από αυτά χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο X-Bee, σε ένα το ZigBee και σε άλλο ένα το GSM. Ενώ σε πέντε από αυτά δεν υπάρχει επικοινωνία.

Στα συστήματα που δεν υπάρχει μέσο επικοινωνίας η παρακολούθηση των τιμών γίνεται μέσω του serial monitor του Arduino IDE. Ένα από αυτά διαθέτει οθόνη LCD ενώ στο σύστημα που διαθέτει επικοινωνία μέσω GSM ο καλλιεργητής ενημερώνεται για την κατάσταση της καλλιέργειάς του μέσω μηνύματος SMS. Ορισμένα συστήματα διαθέτουν ιστοσελίδα για την εμφάνιση των μετρήσεων αλλά και εφαρμογή Android. Ακόμη, χρησιμοποιήθηκαν και άλλες πλατφόρμες IoT όπως το ThingSpeak και το Amazon Web Services ή και άλλα λογισμικά όπως η εφαρμογή Blynk και το LabVIEW. Σε σύγκριση με την αρχιτεκτονική του συστήματος που υλοποιείται στην συγκεκριμένη εργασία, ο τρόπος μετάδοσης, αποθήκευσης και εμφάνισης των δεδομένων είναι παρόμοιος.. Πιο συγκεκριμένα η μετάδοση γίνεται μέσω του The Things Network η αποθήκευση γίνεται σε βάση δεδομένων InfluxDB και η εμφάνιση με την μορφή διαγραμμάτων στο εργαλείο Grafana.

Όσον αφορά τις λειτουργίες που αφορούν τον έλεγχο και τη διατήρηση του μικροκλίματος του θερμοκηπίου σε σταθερές συνθήκες η πληθώρα είναι μεγάλη. Στον πίνακα, σε όλα τα συστήματα που μελετώνται υπάρχει παρακολούθηση τιμών, όπως και στο σύστημα της εργασίας. Στα δεκαπέντε από τα είκοσι τρία υλοποιείται η λειτουργία του εξαερισμού, σε δώδεκα το πότισμα, σε εννέα ο τεχνητός φωτισμός ενώ άλλες λειτουργίες που παρουσιάζονται σε μερικά είναι αυτές της θέρμανσης, της υδρονέφωσης, του εμπλουτισμού με διοξείδιο του άνθρακα, της ψύξης και της σκίασης.

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία είναι παρόμοιοι ή και ίδιοι με άλλους, όπως φαίνεται στον πίνακα. Σε μεγάλο βαθμό χρησιμοποιούνται οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11 και DHT22. Για την μέτρηση υγρασίας εδάφους ο αισθητήρας YL-69 χαμηλού κόστους και για την μέτρηση του φωτισμού η φωτοαντίσταση (LDR). Ακόμη, παίρνονται μετρήσεις όπως pH εδάφους, βαρομετρική πίεση, επίπεδα co2 και επίπεδα νερού της δεξαμενής ποτίσματος.

Οι λειτουργίες εφαρμόζονται με την βοήθεια των ενεργοποιητών. Ορισμένοι που χρησιμοποιήθηκαν στα συστήματα του πίνακα είναι αντλίες νερού, ανεμιστήρες, λάμπες LED, σκίαστρα, μοτέρ για τις λειτουργίες εξαερισμού και θερμάστρες.

ΤΙΤΛΟΣ: Smart Crop Cultivation Monitoring System by Using IoT (Bounnady, Sibounnavong, Chanthavong, & Saypadith, 2019) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: Wi-Fi *HARDWARE:* NodeMCU ESP8266, Relay *Sensors:* Soil moisture (YL-69), DHT22 hum/temp, water flow *Actuators:* Solenoid valve *SOFTWARE:* Arduino IDE, Cloud services, Excel USER INTERFACE: Android app
ΤΙΤΛΟΣ: An Embedded Fuzzy Logic Microcontroller for Plant Condition Monitoring: A Wireless Sensor Network Odyssey (Sibiya & Sumbwanyambe, 2019) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Εξαερισμός, παρακολούθηση τιμών ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: Xbee *HARDWARE:* Arduino Mega 2560, Xbee radio, HC-05 Bluetooth module *Sensors:* DHT11 hum/temp sensor, constant temperature heating element Actuators: fan *SOFTWARE:* Simulink, Matlab USER INTERFACE: Android app
ΤΙΤΛΟΣ: Environment Dynamic Monitoring and Remote Control of Greenhouse with ESP8266 NodeMCU (Wan, Song, & Cao, 2019) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών, πότισμα, υδρονέφωση, εξαερισμός ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: WiFi *HARDWARE:* NodeMCU ESP8266, OLED module, relay *Sensors:* DHT11, LDR, Soil moisture (YL-69), MQ135 Gas sensor *Actuators:* water pump, humidifiers, grow light, fan *SOFTWARE:* Arduino IDE, cloud services

USER INTERFACE: ThingSpeak IoT analytics, Bylnk App *ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ:* Παρακολούθηση περισσότερων περιβαλλοντολογικών παραμέτρων.
ΤΙΤΛΟΣ: Cultivation of Cash Crops under Automated Greenhouse using Internet of Things (IoT) (Mohanty, Singh, Hota, & Kumar, 2019) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: GSM *HARDWARE:* AT mega 328P, raspberry pi, GSM module *Sensors:* DHT22 hum/temp, BMP180 pressure, Soil moisture (YL-69), LDR, TCS3200 color sensor *SOFTWARE:* Arduino IDE, Cloud services
ΤΙΤΛΟΣ: Automation in Agriculture and IoT (Puranik, Sharmila, Ranjan, & Kumari, 2019) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών από Arduino IDE *HARDWARE:* Arduino UNO, 16x2 Liquid Crystal Display, GSM module *Sensors:* pH sensor, DHT11 hum/temp, Soil moisture (YL-69) *SOFTWARE:* Arduino IDE *ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ:* Μπορεί να γίνει αυτοματοποιημένο χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση και να χρησιμοποιηθεί και σε άλλους τύπους καλλιέργειας όπως η υδροπονία
ΤΙΤΛΟΣ: Automated greenhouse system (Azhar, και συν., 2019) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών, εξαερισμός, τεχνητός φωτισμός, υδρονέφωση ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: WiFi *HARDWARE:* Arduino Mega 2560, ESP 8266, Relay, Solar Panel *Sensors:* DHT22 hum/temp sensor, Sparkfun soil moisture SEN-13322, BH-1750 light *Actuators:* exhaust fan, bulb, LEDs, sprinklers *SOFTWARE:* Arduino IDE, PTC Creo Simulate, ANSYS, Cloud Services *USER INTERFACE:* ThingSpeak IoT analytics, Android app, Website *ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ:* Προσθήκη κάμερας για παρακολούθηση ασθενειών και ανάπτυξη των φυτών
ΤΙΤΛΟΣ: A Smart Sensor Network for an Automated Urban Greenhouse (Meah, Forsyth, & Moscola, 2019) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών, εξαερισμός, θέρμανση, ψύξη, σκίαση

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: Ethernet *HARDWARE:* Arduino Pro Mini, ENC28J60-H Ethernet controller, Raspberry Pi, Arduino Mega *Sensors:* Adafruit TSL2591 light, Adafruit hum/temp AM2302, Decagon Devices 10HS soil moisture *Actuators:* fan, bulb, LEDs, shades *SOFTWARE:* Arduino IDE, MySQL database, Amazon Web Services, Linux plugin Mono USER INTERFACE: Website
ΤΙΤΛΟΣ: Design of Greenhouse Environmental Monitoring System Based on Arduino and ZigBee (Shi, Li, & Qian, 2018) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: ZigBee *HARDWARE:* Arduino UNO R3, ZigBee module *Sensors:* DHT11, MH-Z19B CO2 sensor, Soil moisture (YL-69), LDR SOFTWARE: LabVIEW USER INTERFACE: LabVIEW *ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ:* Το σύστημα θα μπορούσε να παρακολουθεί το θερμοκήπιο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
ΤΙΤΛΟΣ: System of Monitoring and Remote Control of Microclimate in Greenhouses (Salikhov & Zainitdinova, 2018) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Πότισμα, εξαερισμός, γέμισμα δοχείου νερού, παρακολούθηση τιμών ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: WiFi *HARDWARE:* Arduino Uno, Liquid Crystal Display, 8bit micro-circuit PCF8574, real time clock module ds1307, Troyka Shield, Wi-Fi module Esp8266, Relay *Sensors:* DHT11 hum/temp *Actuators:* Water valve, Motor *SOFTWARE:* Arduino IDE, Proteus USER INTERFACE: Website

ΤΙΤΛΟΣ: Improved Computer-oriented Method for Processing of Measurement Information on Greenhouse Microclimate (Laktionov, Vovna, Bashkov, Zori, & Lebediev, 2018) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* πότισμα, εξαερισμός, τεχνητός φωτισμός, θέρμανση, υδρονέφωση, εμπλουτισμός CO2, έλεγχος δοσολογίας λιπασμάτων ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: ethernet *HARDWARE:* Arduino Mega 2560, Ethernet shield W5100, relay *Sensors:* VT83N1 photoresistor, MG811 CO2 sensor, E-201 pH, B57891M010 3J000 thermistor, HIH-4000-003 humidity, Rev. P wind, soil moisture (YL-69) *SOFTWARE:* Arduino IDE, cloud services, Simulink, MATLAB *USER INTERFACE:* ThingSpeak IoT analytics
ΤΙΤΛΟΣ: Low Cost Prototype for Monitoring and Remote Control in Greenhouse for Homes (Gutiérrez, Gutiérrez, Becerril, & Rodríguez, 2018) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* παρακολούθηση τιμών ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: WiFi *HARDWARE:* ESP-12E WiFi Module *Sensors:* DHT22 hum/temp, DS18B20 temperature, piezoelectric resonator *SOFTWARE:* Arduino IDE, IoT DIoTY.co *USER INTERFACE:* Android app, iOS app *ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ:* Προσθήκη κι άλλων αισθητήρων για παρακολούθηση του pH, της φωτεινότητας και του CO2. Επίσης, προσθήκη ενεργοποιητών για τον έλεγχο.
ΤΙΤΛΟΣ: IoT based Automated Greenhouse Monitoring System (Danita, Mathew, Shereen, Sharon, & Paul, 2018) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών, δυναμικός εξαερισμός, πότισμα ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: WiFi *HARDWARE:* Raspberry PI 3, Motor driver IC l293d *Sensors:* DHT11 hum/temp, Soil moisture (YL-69) *Actuators:* Cooling fan, sliding windows, water pump *SOFTWARE:* Arduino IDE, Cloud services *USER INTERFACE:* webpage, ThingSpeak

ΤΙΤΛΟΣ: Automated Smart Greenhouse Environment Using IoT (Agnal, Kapoor, Musfik, & Sharma, 2018) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: Ethernet *HARDWARE:* Arduino UNO, L293D dc motor control, GSM module, Ethernet shield *Sensors:* DHT11 hum/temp, Soil moisture (YL-69), LDR, pH sensor *SOFTWARE:* Arduno IDE, Cloud services *USER INTERFACE:* Amazon Web Services, Android app
ΤΙΤΛΟΣ: A Design of a Remote Greenhouse Monitoring and Controlling System Based on Internet of Things (Taha, Osman, Awadalkareem, Omer, & Saadaldeen, 2018) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών, εξαερισμός, τεχνητός φωτισμός, πότισμα ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: WiFi *HARDWARE:* ESP8266 WIFI module, Raspberry PI 3, Arduino UNO, Relay *Sensors:* DHT11 hum/temp, LDR *Actuators:* fan, Water pump, LED *SOFTWARE:* RedNode Software, Cloud services *USER INTERFACE:* Cloud services *ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ:* Αντικατάσταση του database server με webserver.
ΤΙΤΛΟΣ: An intelligent monitoring and controlling of greenhouse: Deployment of wireless sensor networks and internet of things (Arshad, και συν., 2018) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών, εξαερισμός, πότισμα, ψύξη, τεχνητός φωτισμός ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: Ethernet *HARDWARE:* Arduino, Ethernet Shield, Liquid Crystal Display, Potentiometer, Relay *Sensors:* DHT11 hum/temp, LDR, Soil moisture (YL-69) *Actuators:* Cooling fan, water pump, Light *SOFTWARE:* Arduino IDE, Cloud Services, Proteus v8.6 SP2 USER INTERFACE: ThingSpeak *ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ:* Επεξεργασία εικόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση και την παρακολούθηση των ελαττωματικών φύλλων. Ένα Raspberry Pi μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει την απόδοση του συστήματος.

ΤΙΤΛΟΣ: IOT Based Smart Greenhouse Automation Using Arduino (Shirsath, Kamble, Mane, Kolap, & More, 2017) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών, Υδρονέφωση, Εξαερισμός ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: WiFi *HARDWARE:* Arduino UNO, GSM module, Arduino Wi-Fi shield *Sensors:* DHT11 hum/temp, LDR, Soil moisture (YL-69), Temperature (LM35) *SOFTWARE:* LabVIEW, Arduino IDE, Cloud Services
ΤΙΤΛΟΣ: IOT Based Greenhouse Environment Monitoring and Controlling System using Arduino Platform (Vimal & Shivaprakasha, 2017) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών μέσω IDE, Ψύξη, Εξαερισμός, Πότισμα, Τεχνητός φωτισμός ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: Ethernet *HARDWARE:* GSM SIM800, Ethernet shield, Arduino UNO *Sensors:* DHT11 hum/temp, LDR, Soil moisture (YL-69), pH sensor *Actuators:* cooling fan, exhaust fan, water pump, artificial light, motor *SOFTWARE:* Arduino IDE USER INTERFACE: SMS via GSM
ΤΙΤΛΟΣ: Automation and Monitoring of Greenhouse (Siddiqui, et al., 2017) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση τιμών, Εξαερισμός, Τεχνητός Φωτισμός, Υδρονέφωση, Πότισμα *ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ:* WiFi, Ethernet *HARDWARE:* Arduino Mega 2560 R3, Ethernet Shield R2, Wi-Fi router, Relay *Sensors:* DHT11 hum/temp sensor, LDR, Soil moisture (YL-69) *Actuators:* fan, shower, artificial light *SOFTWARE:* Arduino IDE, PuTTY USER INTERFACE: Web app
ΤΙΤΛΟΣ: An Automated Soil and Climatic Conditions Controlling Greenhouse: A Preliminary Study (Jayasundara, Herath, & Wanniarachchi, 2017)

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ: Υδρονέφωση, Εξαερισμός, Θέρμανση, Πότισμα, Παρακολούθηση τιμών μέσω IDE *HARDWARE:* Arduino Mega 2560, RTC module (DS 3231), CD4051 analog multiplexer/ demultiplexer, Relay *Sensors:* (NTC) Thermistor, DHT11 hum/temp, ML8511 uv light, LDR, Soil moisture (YL-69) *Actuators:* Exhaust fan, Heater, mist sprinklers, solenoid valves *SOFTWARE:* Microsoft Excel, PLX-DAQ
ΤΙΤΛΟΣ: Using a Microcontroller to Automate a Green House for Experiments (Al-Kofahi, et al., 2016) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Παρακολούθηση και αποθήκευση τιμών σε αρχείο, Πότισμα, Τεχνητός φωτισμός, Καταγραφή βίντεο και φωτογραφιών μέσω κάμερας ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: XBee *HARDWARE:* Arduino Mega 2560, Adafruit Data Logging Shield with 8 GB SD card, XBee Pro 60mW Wire Antenna, Relay, Raspberry Pi, Camera Module OV7670 *Sensors:* LDR, Soil moisture (YL-69), AM2302 hum/temp *Actuators:* Lamp, Water solenoid, Water valve *SOFTWARE:* Arduino IDE, Maker Plot USER INTERFACE: Maker Plot
ΤΙΤΛΟΣ: Ubiquitous Greenhouse Monitoring System (Rao, Srijana, Prasad, & Chandrasekaran, 2015) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Εξαερισμός, Τεχνητός φωτισμός, Γέμισμα δεξαμενής νερού, Πότισμα, Παρακολούθηση μέσω IDE *HARDWARE:* Arduino Uno, SIM900A GSM module, GPRS module, Relay *Sensors:* LM35 temp sensor, LDR, Soil moisture, Water level *Actuators:* Light, Fan, Pump *SOFTWARE:* Arduino IDE *USER INTERFACE:* Cloud Services
ΤΙΤΛΟΣ: An Automatic Monitoring and Control System Inside Greenhouse (Hassan, Abdullah, Noor, & Alam, 2015)

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ: Παρακολούθηση τιμών μέσω IDE, Εξαερισμός, Τεχνητός φωτισμός, Πότισμα *HARDWARE:* Arduino UNO, LCD Display, Relay *Sensors:* DHT11 hum/temp, LDR, Grove moisture *Actuators:* Exhaust fan, Light, Servo motor *SOFTWARE:* Arduino IDE *ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ:* Περισσότεροι αισθητήρες για μέτρηση CO2 και pH.
ΤΙΤΛΟΣ: Automated Greenhouse (Bhuvaneswari & Yao, 2014) *ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ:* Κλείσιμο παραθύρου οροφής όταν βρέχει, δυναμικός εξαερισμός όταν έχει υψηλή θερμοκρασία *HARDWARE:* Arduino Uno *Sensors:* LM35 Thermistor, SN-Rain-MOD *Actuators:* Servo Motors, Fan *SOFTWARE:* Arduino IDE USER INTERFACE: LCD

Πίνακας 4 - Παραπλήσιες υλοποιήσεις αυτοματισμών σε θερμοκήπια

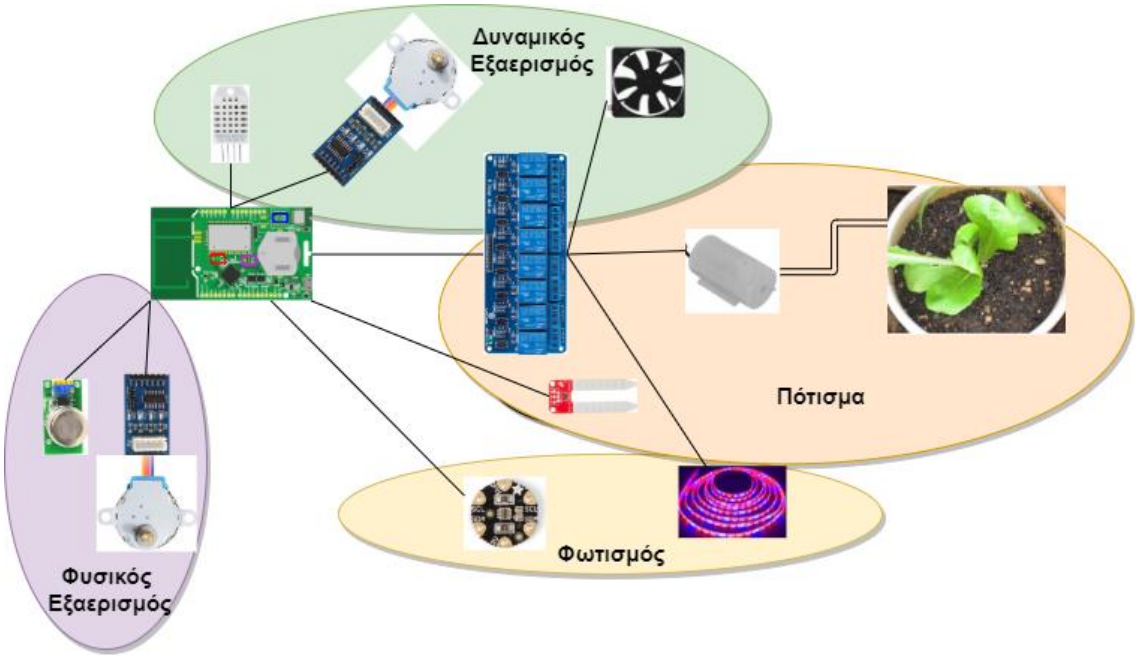
Καταλήγοντας, γίνεται αντιληπτό ότι το σύστημα της συγκεκριμένης εργασίας καλύπτει ένα μεγάλο ποσοστό των δυνατοτήτων των υπόλοιπων συστημάτων με μεγαλύτερο πλεονέκτημα την χρήση LoRaWAN αντί του Wi-Fi ή οποιουδήποτε άλλου πρωτοκόλλου. Επίσης, οι λειτουργίες του είναι περιορισμένες σε σχέση με μερικά από τα υπόλοιπα συστήματα αφού το κόστος των εξαρτημάτων έπαιξε καθοριστικό ρόλο σε αυτό τον περιορισμό.

Η μελέτη πάνω σε αυτά τα συστήματα αυτοματισμού για θερμοκήπια οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογία είναι μεγάλες. Ο καλλιεργητής μπορεί να διαλέξει μέσα από μία τεράστια γκάμα λειτουργιών ανάλογα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις της καλλιέργειάς του.

Κεφάλαιο 2: Υλικό μέρος συστήματος

2.1 Οι λειτουργίες που υλοποιήθηκαν

Υλοποιήθηκαν με επιτυχία οι λειτουργίες του ποτίσματος, του δυναμικού εξαερισμού, του φυσικού εξαερισμού και του φωτισμού.



Εικόνα 2.1 - Λειτουργίες που υλοποιήθηκαν

Πιο συγκεκριμένα, το μαρούλι χρειάζεται ιδιαίτερα αυξημένη υγρασία χώματος της τάξης του 90 %. Για αυτό το λόγο κάθε φορά που η υγρασία χώματος πέφτει κάτω από 80 % ενεργοποιείται το αυτόματο πότισμα. Διαρκεί δέκα δευτερόλεπτα και η ποσότητα νερού που παρέχει στο φυτό της γλάστρας είναι περίπου 300ml.

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας επιτυγχάνεται με τον δυναμικό εξαερισμό. Το μαρούλι χρειάζεται σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και σχετικά μέτριου επιπέδου υγρασία, έτσι όταν η θερμοκρασία υπερβεί το όριο των 15 ^{o} C ή όταν η υγρασία υπερβεί το όριο του 80%, ο δυναμικός εξαερισμός ενεργοποιείται αυτόματα θέτοντας σε λειτουργία τρεις ανεμιστήρες και ένα βηματικό μοτέρ για το άνοιγμα του πλαϊνού παραθύρου. Όλη η διαδικασία του δυναμικού εξαερισμού είναι προγραμματισμένη να διαρκεί 45 λεπτά.

Όσον αφορά τον φυσικό εξαερισμό, ενεργοποιείται όταν το επίπεδο διοξειδίου του άνθρακα είναι χαμηλότερο από 450 ppm. Έχει διάρκεια 20 λεπτά και ενεργοποιεί το βηματικό μοτέρ για το άνοιγμα του παραθύρου οροφής.

Ο τεχνητός φωτισμός ενεργοποιείται περίπου όταν πέφτει ο ήλιος και συγκεκριμένα στις 18:00 το απόγευμα και διαρκεί 12 ώρες. Η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του τεχνητού φωτισμού υλοποιείται με την βοήθεια του RTC όπου ελέγχει την ώρα και πράττει ανάλογα.

Οι συνθήκες δεν μπορούν να έρθουν σε καταστάσεις ιδανικές για ένα θερμοκήπιο λόγω της κατασκευής η οποία δεν είναι επιστημονικά σχεδιασμένη και με τα απαραίτητα υλικά.

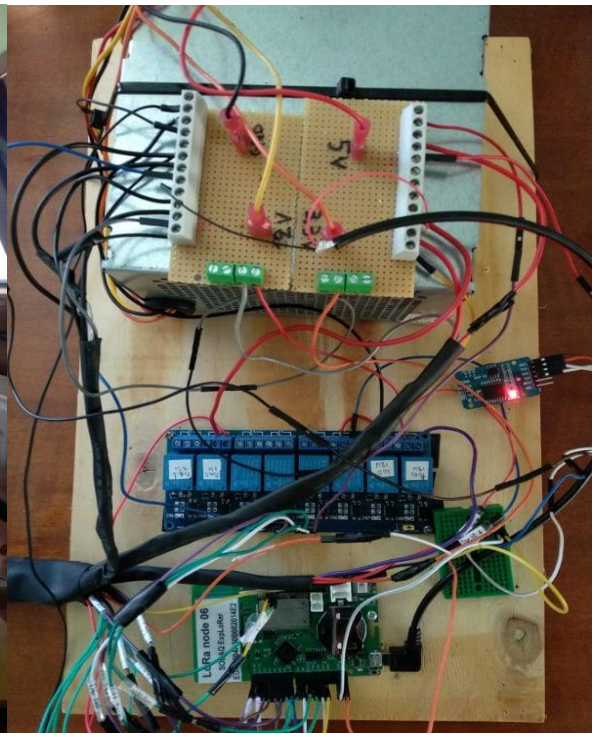
2.2 Η μακέτα του συστήματος

Όπως προαναφέρθηκε για να παρθούν μετρήσεις υπό πραγματικές συνθήκες κατασκευάστηκε μακέτα, διαστάσεων 1.30cm x 0.90cm x 1.20cm, από ξύλο και νάιλον.

Εικόνα 2.2 - Μακέτα συστήματος (1)

Όπως φαίνεται και στην εικόνα τοποθετήθηκαν ανεμιστήρες στο μήκος της πλευράς η οποία βρίσκεται απέναντι από το πλαϊνό παράθυρο και σε ύψος ίδιο με αυτό στο οποίο το φυτό αναπτύσσεται μέσα στη γλάστρα. Οι ανεμιστήρες σε ταυτόχρονη λειτουργία με το πλαϊνό παράθυρο υλοποιούν την λειτουργία του δυναμικού εξαερισμού. Το μοτέρ που ανοιγοκλείνει το παράθυρο της οροφής πραγματοποιεί την λειτουργία του φυσικού

Εικόνα 2.3 - Μακέτα συστήματος (2)



Εικόνα 2.4 - Μακέτα συστήματος (3)

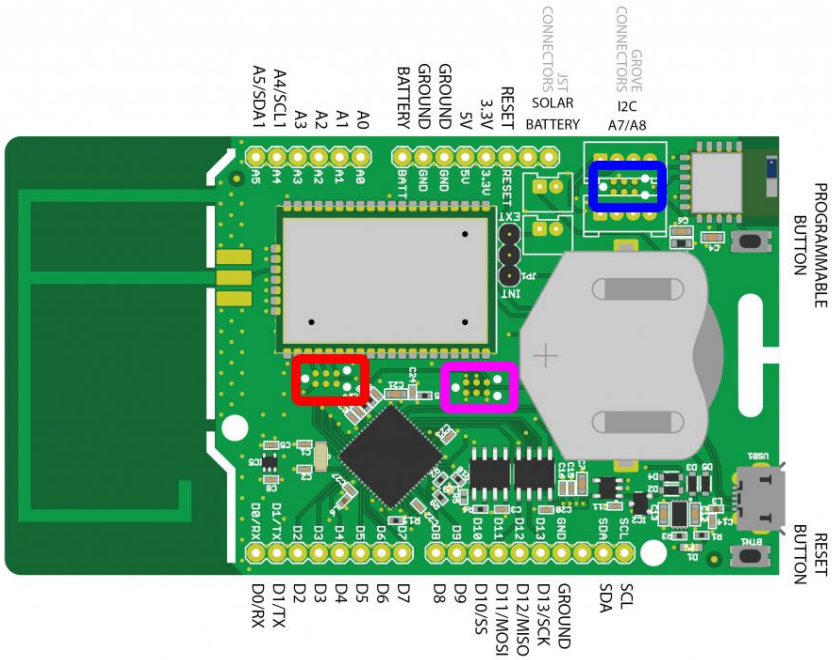
εξαερισμού ενώ η ταινία LED που χρησιμοποιήθηκε υλοποιεί την λειτουργία του φωτισμού. Μέσα στην δεξαμενή με το νερό τοποθετήθηκε η αντλία νερού η οποία υλοποιεί την λειτουργία του ποτίσματος.

Εικόνα 2.5 - Μακέτα συστήματος (4)

2.3 Η αναπτυξιακή πλακέτα Sodaq Explorer

Από την μεγάλη γκάμα διαφορετικών αναπτυξιακών πλακετών για άμεση επικοινωνία με δίκτυο LoRaWAN, επιλέχθηκε η πλακέτα Sodaq Explorer (Rev6c LoRa node) η οποία φιλοξενεί τον μικροελεγκτή ATSAMD21J18, 32-Bit ARM Cortex M0+ της οικογένειας μικροελεγκτών SAMD21. Διαθέτει ικανοποιητικό αριθμό τόσο ψηφιακών όσο και αναλογικών θυρών και αποτελεί ένα έτοιμο Lora node για προγραμματισμό με Arduino IDE. Διαθέτει προηγμένα modules για επικοινωνία, ισχυρές επιλογές ισχύος, ασφάλεια και μεγάλη ισχύ επεξεργασίας. Ο συνδυασμός του module BLE (RN4871) παράλληλα με το chip LoRa (RN2483A), προσφέρουν στον χρήστη αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ ενός ευρέος φάσματος συσκευών. Εκτός από τις δυνατότητες επικοινωνίας, το Sodaq Explorer προσφέρει πολλές δυνατότητες τροφοδοσίας. Μπορεί να τροφοδοτηθεί με ένα solar panel συνδέοντάς το στην κατάλληλη θύρα που διαθέτει η πλακέτα. Ακόμη, η τροφοδοσία μπορεί να γίνει είτε μέσω USB θύρα, είτε μέσω μπαταρίας τύπου LiPo των

3.7 V. Στην εργασία η τροφοδότηση έγινε μέσω καλωδίου USB από το εξωτερικό τροφοδοτικό του συστήματος.



Εικόνα 2.6 - Sodaq Explorer

Μικροελεκτής	ATSAMD21J18, 32-Bit ARM Cortex M0+	EEPROM	Μέχρι 16KB με emulation
Συμβατότητα	Arduino M0 Compatible	Συχνότητα ρολογιού	48 MHz
Μέγεθος	93 x 55 mm	Τροφοδοσία	5V USB και/ή 3.7 μπαταρία LiPo
Τάση λειτουργίας	3.3V	Φόρτιση	Ηλιακός φορτιστής, φόρτιση μέχρι 500mA
I/O Pins	20	LED	RGB LED, Blue LED

Αναλογικό pin εξόδου	10-bit DAC	LoRa	Microchip RN2483 Module
Εξωτερικά Interrupts	Διαθέσιμα σε όλα τα pins	Bluetooth	Microchip RN4871 Module
Ένταση ρεύματος στα I/O pins	7 mA	Cyptochip	ATECC508A
Μνήμη Flash	256 KB και 4MB (external flash)	Αισθητήρας θερμοκρασίας	MCP9700AT
SRAM	32KB	USB	Θύρα MicroUSB

Πίνακας 5 - Χαρακτηριστικά Sodaq Explorer

2.4 Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν

2.4.1AM2302 - DHT22

Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας με βαθμονομημένη ψηφιακή έξοδο για υψηλή αξιοπιστία και μακροπρόθεσμη σταθερότητα. Αποτελεί αισθητήρα χαμηλού κόστους ενώ η ακρίβεια των μετρήσεων ξεπερνά αυτή του DHT11. Τα αισθητήρια στοιχεία του συνδέονται με chip 8 bit. Η τροφοδοσία του μπορεί να είναι από 3,3 μέχρι 6 V DC και η επικοινωνία του με τον μικροεπεξεργαστή γίνεται μέσω 1-wire bus.

Εικόνα 2.7 - AM2302

Τροφοδο-σία	Σήμα εξόδου	Εύρος μέτρησης	Ακρίβεια μέτρησης	Ανάλυση μέτρησης	Pins
3.3-6V DC	Ψηφιακό με διεπαφή 1-wire	υγρασία 0-100% RH θερμοκρασία -40~80 °C	υγρασία ±2% RH θερμοκρασία ±0.5°C	υγρασία 0.1%RH θερμοκρασία 0.1 °C	1- VDD 2 - Dout 3 - NULL 4 – GND

Πίνακας 6 - Χαρακτηριστικά AM2312 (AM2302-DHT22 documentation)

2.4.2 SparkFun Soil Moisture Sensor

Ο αισθητήρας μέτρησης υγρασίας εδάφους που χρησιμοποιήθηκε είναι χαμηλού κόστους και εξαιρετικά ανθεκτικός σε σύγκριση με άλλους της δικιάς του κατηγορίας. Οι δύο ανιχνευτές – probes λειτουργούν ως μεταβλητές αντιστάσεις. Όσο περισσότερο νερό περιέχεται στο έδαφος τόσο μεγαλύτερη είναι και η αγωγιμότητα μεταξύ των ανιχνευτών. Το αποτέλεσμα της μεγάλης περιεκτικότητας σε νερό είναι οι αντιστάσεις να μειώνονται και συνεπώς το σήμα εξόδου να αυξάνεται. Με αυτό το τρόπο γίνεται αντιληπτό εάν το φυτό χρειάζεται πότισμα ή όχι. Τροφοδοτείται από 3,3 μέχρι 5 V DC. Για λόγους μακροζωίας ο αισθητήρας λειτουργεί μόνο όταν χρειάζεται να πάρει μέτρηση. Αυτό επιτυγχάνεται με το να τροφοδοτείται ο αισθητήρας από ένα ψηφιακό pin του μικροεπεξεργαστή. Όταν λοιπόν ο αισθητήρας πρέπει να πάρει μέτρηση, το ψηφιακό pin γίνεται HIGH τροφοδοτώντας τον και LOW όταν η μέτρηση έχει παρθεί.

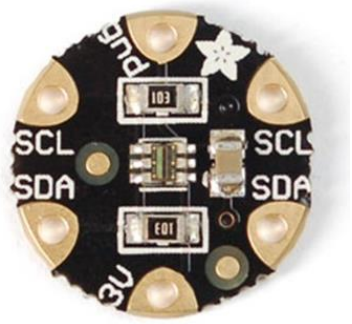
Εικόνα 2.8 - SparkFun soil moisture sensor

Τροφοδοσία	Σήμα εξόδου	Εύρος μέτρησης	Ακρίβεια μέτρησης	Pins
3.3-5 V DC	Αναλογικό	Υγρασία 0-100%	Υγρασία ±0%	1- VCC 2 - GND 3 - SIGNAL

Πίνακας 7 - Χαρακτηριστικά SparkFun soil moisture sensor

2.4.3 Flora Lux Sensor - tsl2561

Αποτελεί προηγμένο ψηφιακό αισθητήρα φωτός (lux) υψηλής ακρίβειας. Ιδανικός για χρήση σε ευρύ φάσμα καταστάσεων φωτός. Περιέχει διόδους τόσο υπέρυθρων όσο και ορατού φάσματος, δηλαδή μπορεί να μετρήσει χωριστά το πλήρες φάσμα και χωριστά το ορατό στο ανθρώπινο μάτι φως. Ο αισθητήρας προσφέρει ψηφιακή διεπαφή I2C.



Εικόνα 2.9 - Flora TSL2561 Lux Sensor

Τροφοδοσία	Σήμα εξόδου	Εύρος μέτρησης	Ακρίβεια μέτρησης	Pins
3V DC	Ψηφιακό με διεπαφή I2C	Lux 0.1 - 40.000+	Lux ± 0%	1- VCC 2 - GND 3 - SCL 4 - SDA

Πίνακας 8 - Χαρακτηριστικά Flora TSL2561 Lux Sensor

2.4.4 MG – 811 co2 Sensor

Ο αισθητήρας μέτρησης διοξειδίου του άνθρακα MG-811 διαθέτει ενσωματωμένο κύκλωμα για την ενίσχυση σήματος εξόδου και ενσωματωμένο κύκλωμα για θέρμανση του αισθητήρα. Είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος σε CO2 και λιγότερο σε αλκοόλ και CO. Χρησιμοποιείται ευρέως για τον έλεγχο ποιότητας του αέρα. Η λειτουργία του είναι απλή. Όταν η συγκέντρωση CO2 αυξάνεται τότε η τάση εξόδου πέφτει. Πιο αναλυτικά, όταν το στοιχείο θέρμανσης ζεσταίνεται, ο αισθητήρας αποκρίνεται στο διοξείδιο του άνθρακα και δημιουργεί μια μικρή τάση ανάλογα με την ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα (MG811 CO2 Sensor Module, 2019).

Εικόνα 2.10 - MG 811 co2 sensor

Τροφοδοσία	Σήμα εξόδου	Εύρος μέτρησης	Ακρίβεια μέτρησης	Pins
6 ± 0.1 V DC ή AC	Ψηφιακό ή Αναλογικό με TTL	350 – 10000 ppm CO2	Lux ±0%	1- VCC 2 - Aout 3 - Dout 4 - GND

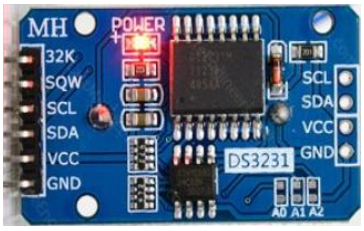
Πίνακας 9 - Χαρακτηριστικά MG 811 co2 sensor

2.5 Οι ενεργοποιητές και άλλα ηλεκτρονικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν

- **Real Time Clock**

Αποτελεί ρολόι πραγματικού χρόνου. Είναι ιδανικό για συστήματα που περιέχουν καταγραφή δεδομένων, χρονικές σημάνσεις, χρονοδιακόπτες και alarms. Το chip DS3231, που είναι ενσωματωμένο, διαχειρίζεται όλες τις λειτουργίες χρονομέτρησης και διαθέτει

διεπαφή I2C για σύνδεση με οποιονδήποτε μικροελεγκτή. Στο σύστημα χρησιμοποιήθηκε για την λειτουργία του τεχνητού φωτισμού. Λαμβάνει μέσω συνάρτησης την τοπική μέρα και ώρα. Στην συνέχεια ελέγχεται εάν έχει φτάσει η ώρα που πρέπει να ανοίξει τον φωτισμό ή αν έχει φτάσει η ώρα που πρέπει να κλείσει ο φωτισμός και το σύστημα πράττει αναλόγως.



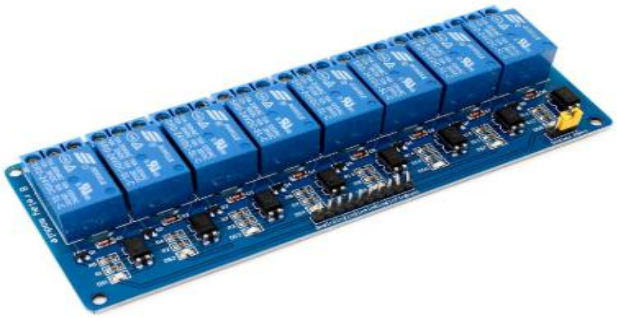
Εικόνα 2.11 - Real Time Clock

Τροφοδοσία	Διεπαφή	Pins
2.3 – 5.5 V	400Khz I2C	1- GND 2 - VCC 3 - SDA 4 - SCL 5 - SQW 6 - 32K

Πίνακας 10 - Χαρακτηριστικά Real Time Clock

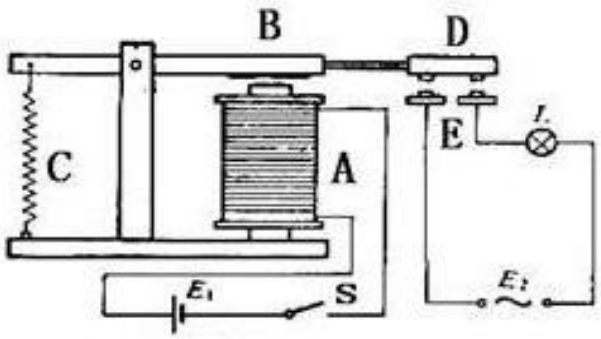
- **8 channel Relay Module**

Αποτελεί ρελέ σκανδαλισμού 8 καναλιών χαμηλού επιπέδου και είναι κατάλληλο για οδήγηση ηλεκτρονικών συσκευών υψηλής ισχύος, όπως φώτα, ανεμιστήρες, μοτέρ κ.α. Συνδέοντας το ρελέ με τον μικροεπεξεργαστή γίνεται εύκολος ο έλεγχος υψηλών τάσεων με χαμηλές.



Εικόνα 2.12 - Relay Module

Στο παρακάτω σχήμα: A – ηλεκτρομαγνήτης, B – οπλισμός, C – ελατήριο, D – επαφή κίνησης, E – σταθερές επαφές.



Εικόνα 2.13 - Relay parts

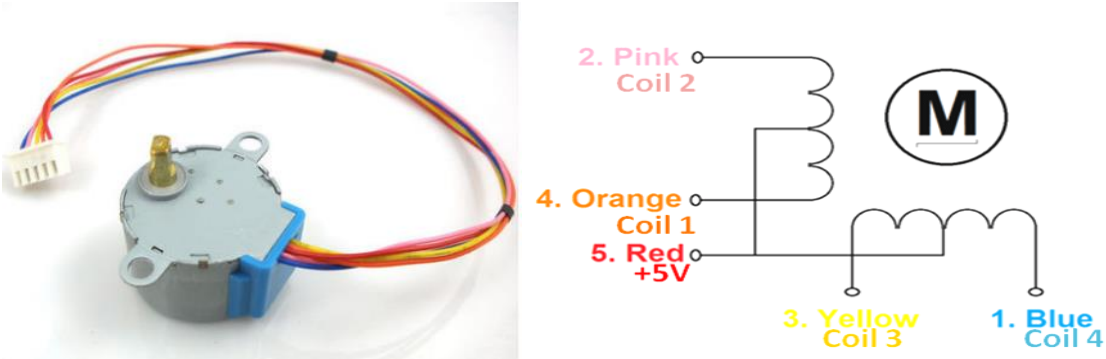
Υπάρχουν δύο σταθερές επαφές. Η μία είναι σταθερά ανοιχτή (NO) και η δεύτερη είναι σταθερά κλειστή (NC). Όταν το πηνίο δεν είναι ενεργοποιημένο, η NO επαφή είναι αυτή που είναι απενεργοποιημένη, ενώ η NC είναι ενεργοποιημένη. Προσθέτοντας μια ορισμένη τάση στο πηνίο και μερικά ρεύματα, θα περάσουν από το πηνίο δημιουργώντας έτσι το ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο. Ο οπλισμός υπερνικά την τάση του ελατηρίου και έλκεται στον πυρήνα, κλείνοντας έτσι την COM επαφή του οπλισμού και την NO επαφή. Αφού το πηνίο απενεργοποιηθεί, η ηλεκτρομαγνητική δύναμη εξαφανίζεται και ο οπλισμός μετακινείται πίσω στην αρχική θέση, απελευθερώνοντας την COM επαφή και την NC επαφή. Το κλείσιμο και η απελευθέρωση των επαφών έχει ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του κυκλώματος.

Υποστήριξη	Τροφοδοσία	Pins	
10A 30V DC σήματα 10A 250V AC σήματα	5V DC	1- VCC 2 – GND 3 - IN1 4 – IN2 5 – IN3 6 – IN4	7 – IN5 8 – IN6 9 – IN7 10 – IN8 11 - JD-VCC

Πίνακας 11 - Χαρακτηριστικά Relay Module

- **28BYJ-48 - 5V Stepper Motor**

Το 28BYJ-48 χρησιμοποιήθηκε για το άνοιγμα του παραθύρου οροφής και του πλάγιου παραθύρου. Αποτελεί βηματικό μοτέρ τεσσάρων πηνίων. Το ένα άκρο του κάθε πηνίου συνδέεται με τα 5 V και το άλλο άκρο κάθε πηνίου συνδέεται με τον ολοκληρωμένο κύκλωμα ULN2003 driver board. Ένα βηματικό μοτέρ αποτελεί μια ηλεκτρομηχανική μηχανή που μετατρέπει τους ηλεκτρικούς παλμούς σε μηχανικές κινήσεις. Ο άξονας ενός βηματικού μοτέρ περιστρέφεται σε διακριτά βήματα όταν εφαρμόζονται ηλεκτρικοί παλμοί χειρισμού σε αυτό με τη σωστή σειρά (λογική ακολουθία). Η περιστροφή του μοτέρ έχει πολλές άμεσες σχέσεις με τους εφαρμοζόμενους παλμούς εισόδου. Η ακολουθία των εφαρμοζόμενων παλμών σχετίζεται άμεσα με την κατεύθυνση της περιστροφής των αξόνων του μοτέρ. Η ταχύτητα της περιστροφής των αξόνων του μοτέρ σχετίζεται άμεσα με τη συχνότητα των παλμών εισόδου και το μήκος της περιστροφής σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό των παλμών εισόδου που εφαρμόζονται.



Εικόνα 2.14 - Stepper Motor

Τροφοδοσία	Αριθμός φάσεων	Γωνία βήματος	Coil	Pins
5V DC	4	5.625° / 64	Unipolar 5 lead coil	1- Coil 1 - Orange 2 - Coil 2 - Pink 3 – Coil 3 - Yellow 4 – Coil 4 Blue 5 - +5V - Red

Πίνακας 12 - Χαρακτηριστικά stepper motor

Το Stride Angle σημαίνει ότι το μοτέρ για να επιτύχει μία ολόκληρη περιστροφή χρειάζεται 64 steps και για κάθε step καλύπτει 5.625°. Όπως προαναφέρθηκε για να μπορέσει να λειτουργήσει το μοτέρ χρειάζεται ένα επιπλέον ηλεκτρικό κύκλωμα – οδηγό, το **ULN2003**.

Εικόνα 2.15 – Module ULN2003

Το κόκκινο καλώδιο παρέχεται με σταθερή τάση ρεύματος +5V και τα άλλα άκρα εξάγονται ως καλώδια. Ένα βηματικό μοτέρ μπορεί να περιστραφεί μόνο εάν τα πηνία είναι γειωμένα σε λογική ακολουθία. Η ακολουθία αυτή είναι που προγραμματίζεται στον μικροεπεξεργαστή και κινεί το μοτέρ.

- **Water Pump – Αντλία νερού**

Η συγκεκριμένη αντλία νερού επιτρέπει την υλοποίηση της λειτουργίας του ποτίσματος. Είναι τοποθετημένη μέσα στο δοχείο νερού και όταν της δοθεί εντολή προωθεί το νερό

μέσω ενός μικρού σωλήνα στο μέρος που χρειάζεται. Αποτελεί αντλία νερού εξαιρετικά χαμηλού κόστους.

Εικόνα 2.16 – Mini water pump

Τροφοδοσία	Ρυθμός ροής	Τρόπος λειτουργίας	Coil	Χρόνος ζωής σε συνεχόμενη λειτουργία
3V DC	100L/H	brushless DC σχεδιασμός, οδήγησης με διεπαφή μαγνήτη	Unipolar 5 lead coil	500 ώρες

Πίνακας 13 - Χαρακτηριστικά Water pump

- **Fan – Ανεμιστήρας**

Εικόνα 2.17 - Fan

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις ανεμιστήρες με λειτουργία στα 12 V DC. Σε συνδυασμό με το ένα stepper motor υλοποιούν την λειτουργία του δυναμικού εξαερισμού.

- **Strip Led – Ταινία Led**

Τα φώτα LED strip είναι νέες και ευέλικτες μορφές φωτισμού. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές και εξαιρέσεις. Αποτελείται από πολλούς ξεχωριστούς εκπομπούς LED τοποθετημένους σε στενή, εύκαμπτη πλακέτα. Τροφοδοτείται με 12 V DC και από τα χρώματα που εκπέμπει χρησιμοποιήθηκαν το κόκκινο και το μπλε. Δηλαδή όλα τα χρώματα του ορατού φάσματος που χρειάζονται τα φυτά στην λειτουργία της φωτοσύνθεσης.

Εικόνα 2.18 - Strip led

- **Power Supply Unit – Τροφοδοτικό**

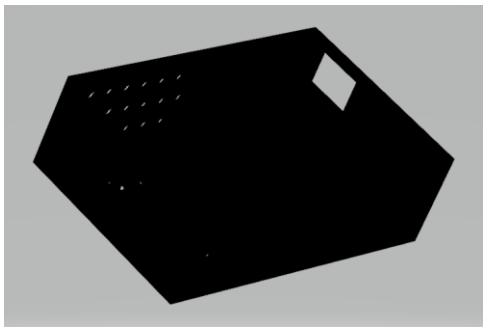
Για την τροφοδοσία του συστήματος χρησιμοποιήθηκε τροφοδοτικό υπολογιστή. Οι έξοδοι του τροφοδοτικού αποτελούνται από τέσσερα καλώδια τα οποία συνδέονται σε διάτρητη πλακέτα. Τα τρία από αυτά παρέχουν σταθεροποιημένη τροφοδοσία (3.3V / 5V / 12V), ενώ το τέταρτο είναι η γείωση (GND) του συστήματος.

Εικόνα 2.19 - Τροφοδοτικό

Εικόνα 2.20 – Διάτρητη πλακέτα

- **Θήκη αισθητήρων**

Η θήκη στην οποία τοποθετήθηκαν οι τρεις από τους τέσσερις αισθητήρες του συστήματος κατασκευάστηκε από την ομάδα Hyperion Robotics με τον 3D εκτυπωτή των εργαστηρίων του πανεπιστημίου. Το σχέδιο πάρθηκε έτοιμο από ηλεκτρονική πηγή αφού βόλευε για την ιδανική τοποθέτηση των αισθητήρων σε αυτό.



Εικόνα 2.21 - Θήκη αισθητήρων

Για πολλά στοιχεία του συστήματος όπως τα υλικά κατασκευής της μακέτας, το τροφοδοτικό, τους ανεμιστήρες, την ταινία Led, τη θήκη για τους αισθητήρες και το sodaq explorer, δεν δαπανήθηκαν χρήματα. Στον παρακάτω πίνακα ωστόσο, παρουσιάζεται το εκτιμώμενο κόστος του συστήματος για όλα του τα στοιχεία.

	Ποσότητα	Κόστος
Sodaq Explorer	1	65 €
Θήκη αισθητήρων	1	-
DHT22	1	2.00 €

SparkFun Soil Moisture Sensor	1	5.00 €
Flora Lux Sensor - tsl2561	1	5.00 €
MG – 811 co2 Sensor	1	23.00 €
8 channel Relay Module	1	7 €
28BYJ-48 - 5V Stepper Motor	2	0.50 €
ULN2003 module	2	0.45 €
Real Time Clock ds3231	1	5.50 €
Mini water pump	1	0.60 €
Fan	3	2.50 €
Strip LED	1	19 €
Power supply	1	10 €
Υλικά για την κατασκευή της μακέτας (ξύλα, νάιλον, συρραπτικό, σιλικόνη)	-	10 €
Καλάι και θερμοσυστελλόμενα υλικά	-	5 €
Καλώδια για όλες τις συνδέσεις	-	5 €
Διάτρητη πλακέτα	2	2 €
		Σύνολο: 167.55 €

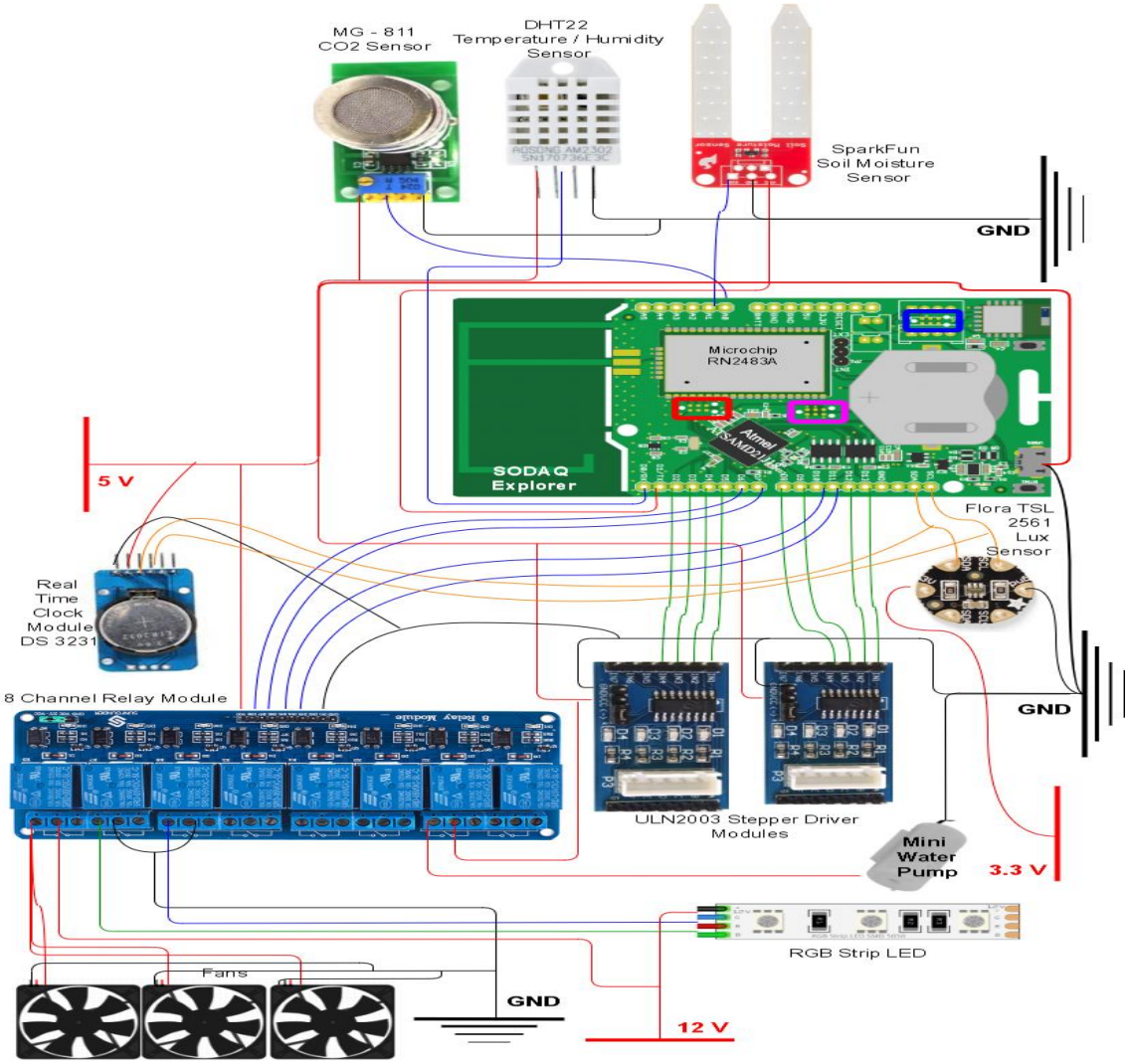
Πίνακας 14 - Εκτιμώμενο κόστος κατασκευής

2.6 Συνδέσεις

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα οι αισθητήρες διοξειδίου του άνθρακα (MG-811), θερμοκρασίας/υγρασίας (DHT22), υγρασίας εδάφους (SparkFun Soil Moisture sensor), φωτεινότητας (Flora TSL25 61) και το ρολόι (Real Time Clock DS3231) συνδέονται με τη πλακέτα Sodaq Explorer με διάφορους τρόπους. Πιο συγκεκριμένα, το αναλογικό σήμα του MG-811 στέλνεται μέσω του pin A0 με την λογική Transistor-to-Transistor. Ο DHT22 επικοινωνεί ψηφιακά μέσω του pin D0 με το πρωτόκολλο 1-wire, ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους τροφοδοτείται από το ψηφιακό pin D1 και το σήμα του μεταδίδεται αναλογικά μέσω του pin A1 ενώ ο αισθητήρας φωτεινότητας και το ρολόι είναι συνδεδεμένα πάνω

στο ίδιο bus I2C στα pins SDA και SCL. Τα inputs του relay module συνδέονται με τα ψηφιακά pins D6, D7, D10 και D11 του Explorer για την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των ανεμιστήρων, της αντλίας νερού και των δύο χρωμάτων της ταινίας led (κόκκινο, μπλε) αντίστοιχα. Τέλος, τα δύο ULN2003 modules είναι συνδεδεμένα στα ψηφιακά pins D2, D3, D4, D5, D8, D9, D12 και D13 για το άνοιγμα ή κλείσιμο του πλαϊνού παραθύρου και του παραθύρου οροφής αντίστοιχα.

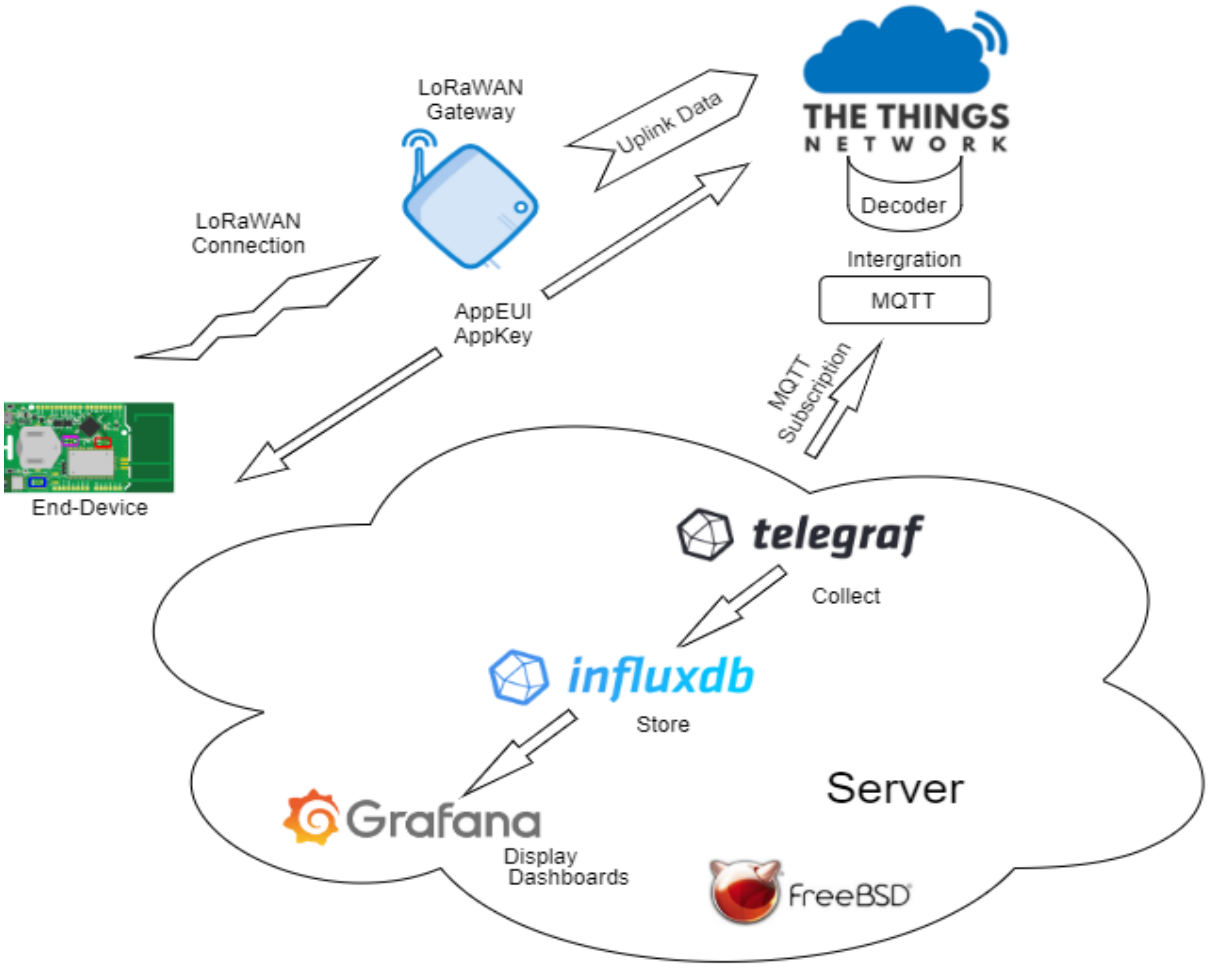
Όλα τα υλικά μέρη του συστήματος συνδέονται σε μία κοινή γείωση (GND) του τροφοδοτικού που κατασκευάστηκε για αυτόν το σκοπό και στην κατάλληλη τροφοδοσία ανάλογα με τις απαιτήσεις τους (12V, 5V ή 3.3V).



Εικόνα 2.22 - Σχηματικό του συστήματος

Κεφάλαιο 3: Λογισμικό μέρος Συστήματος

Η πλακέτα έχει προγραμματιστεί έτσι ώστε να λαμβάνει και να επεξεργάζεται τιμές μετρήσεων από τους αισθητήρες. Οι τιμές στη συνέχεια στέλνονται μέσω δικτύου LoRaWAN στο TTN και αποθηκεύονται προσωρινά στον cloud της πλατφόρμας. Η εφαρμογή βασίστηκε στην αρχιτεκτονική στοίβας TIG (Telegraf-InfluxDB-Grafana) η οποία αποτελείται από το Telegraf για την προώθηση των δεδομένων στην InfluxDB, την InfluxDB για την διαχείριση και αποθήκευσή τους και το Grafana για την οπτικοποίηση των δεδομένων με γραφήματα. Ο πράκτορας Telegraf αντλεί τις τιμές από το TTN με το πρωτόκολλο MQTT και τις αποθηκεύει σε μία βάση δεδομένων InfluxDB. Το εργαλείο Grafana λειτουργεί ως εργαλείο οπτικοποίησης αντλώντας τις μετρήσεις από την βάση.



Εικόνα 3.1 - Ροή δεδομένων του συστήματος

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1, το MQTT αποτελεί πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων για το IoT. Έχει σχεδιαστεί ιδανικά για την σύνδεση απομακρυσμένων συσκευών με μικρό αποτύπωμα κώδικα και ελάχιστο εύρος ζώνης δικτύου και οι εφαρμογές του είναι πάρα πολλές στον χώρο των βιομηχανιών και όχι μόνο. Χρησιμοποιεί το μοντέλο δημοσίευσης – εγγραφής (publish – subscribe) το οποίο έχει την δυνατότητα να στέλνει μηνύματα σε πολλαπλούς πελάτες (Clients). Η λειτουργία του είναι απλή και υλοποιείται με ένα MQTT Broker. Ο publisher δημοσιεύει τα μηνύματα σε ένα topic και ο client πρέπει να κάνει subscribe στο συγκεκριμένο topic για να διαβάσει τα μηνύματα. Χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο TCP/IP για την σύνδεση του με τον Broker. Η δουλεία του Broker είναι να φιλτράρει τα μηνύματα που δέχεται με βάση το topic και να τα διανέμει στους subscribers (Steve Cope, 2020).

3.1 Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή

Το Arduino IDE (Intergraded Development Environment) αποτελεί πλατφόρμα που λειτουργεί με συναρτήσεις από τις γλώσσες προγραμματισμού C και C++ έχοντας όμως δικούς του κανόνες δόμησης του προγράμματος. Τα λογισμικά συστήματος στα οποία υποστηρίζεται το Arduino IDE είναι το Windows, το MacOS και το Linux. Είναι σχεδιασμένο για συγγραφή και ανέβασμα προγραμμάτων σε πλακέτες Arduino αλλά και σε άλλες οικογένειες μικροελεγκτών όπως η SAMD21 την οποία φιλοξενεί ο Sodaq Explorer.

Ένα πρόγραμμα σε περιβάλλον Arduino IDE αποτελείται κυρίως από τρία μέρη, την κύρια δομή, τις μεταβλητές και σταθερές του προγράμματος και τις συναρτήσεις. Η δομή ενός προγράμματος περιλαμβάνει το κομμάτι κώδικα στο οποίο γίνονται δηλώσεις και αρχικοποιήσεις μεταβλητών, σταθερών, συναρτήσεων και βιβλιοθηκών. Ακόμη, κύριο μέρος της δομής αποτελεί η συνάρτηση setup() η οποία εκτελείται μόνο μία φορά και σε αυτή μπορούν να γίνουν διάφορες ενέργειες όπως αρχικοποιήσεις καταστάσεων και pins. Τέλος, το τρίτο μέρος για την ανάπτυξη ενός προγράμματος σε Arduino IDE είναι η συνάρτηση loop(). Αυτή η συνάρτηση τοποθετείται κάτω από τη συνάρτηση setup() και εκτελείται συνεχόμενα από τη στιγμή που θα τροφοδοτηθεί η πλακέτα μέχρι τη στιγμή που για οποιονδήποτε λόγο σταματήσει η τροφοδοσία ρεύματος.

Οι μεταβλητές του προγράμματος μπορούν να πάρουν διάφορες τιμές. Η δήλωση μιας μεταβλητής γίνεται ως εξής: « τύπος όνομα_μεταβλητής ». Οι κύριοι τύποι των μεταβλητών είναι int (ακέραιοι αριθμοί -32.768 έως 32.768), float (δεκαδικοί αριθμοί), char (γράμματα και αριθμοί) και boolean οι οποίες παίρνουν τιμές True ή False.

Οι σταθερές δηλώνονται στο πρόγραμμα του IDE με τον ίδιο τρόπο με τις μεταβλητές προσθέτοντας μπροστά το χαρακτηριστικό const.

3.1.1 Βιβλιοθήκες

#include <Sodaq_RN2483.h>

Αποτελεί βιβλιοθήκη για τη χρήση του chip, της Microchip Technology, RN2483A LoRaWAN, το οποίο είναι ενσωματωμένο στο Sodaq Explorer. Το RN2483A είναι ένα πλήρως πιστοποιημένο module των 868MHz που βασίζεται στην ασύρματη τεχνολογία Lora. Το ενσωματωμένο πρωτόκολλο LoRaWAN επιτρέπει την σύνδεση με οποιαδήποτε υποδομή δικτύου συμβατή με LoRaWAN.

```
1 #include <Sodaq_RN2483.h>
2 #include <Sodaq_wdt.h>
3 #include <DHT.h>
4 #include <CO2Sensor.h>
5 #include <Adafruit_Sensor.h>
6 #include <Adafruit_TSL2561_U.h>
7 #include <Wire.h>
8 #include "RTClib.h"
9 #include <Stepper.h>
```

Εικόνα 3.2 - Δηλώσεις βιβλιοθηκών

#include <Sodaq_wdt.h>

Το watchdog είναι ένας timer (αυτός που κρατά την ώρα) σε ηλεκτρονική ή σε μορφή λογισμικού, ο οποίος χρησιμοποιείται για εντοπισμό και διόρθωση πιθανών δυσλειτουργιών του υπολογιστικού συστήματος στο οποίο τρέχει. Η βιβλιοθήκη Sodaq_wdt.h είναι ειδικά διαμορφωμένη για χρήση με πλακέτες sodaq. Η λύση που δίνει η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη στο σύστημα αφορά την λειτουργία του ποτίσματος. Το άνοιγμα της αντλίας νερού διαρκεί δέκα δευτερόλεπτα και αρχικά υλοποιήθηκε με απλό delay(). Στη συνέχεια παρατηρήθηκε πως το uplink, ενώ προγραμματίστηκε να συμβαίνει

κάθε πέντε λεπτά, έχανε μερικές μεταδόσεις με αποτέλεσμα ορισμένες φορές τα δεδομένα να στέλνονται με κενά των δέκα λεπτών. Έτσι χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος sodaq_wdt_safe_delay() και έδωσε λύση στο πρόβλημα με τις μετρήσεις πλέον να στέλνονται κάθε πέντε λεπτά με ακρίβεια δευτερολέπτου και χωρίς εμπόδια.

#include <DHT.h>

Αποτελεί βιβλιοθήκη για τη σειρά αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας DHT, για τη σωστή λήψη μετρήσεων. Ορισμένες από τις συναρτήσεις της DHT.h είναι οι begin(), readTemperature(), convertCtoF(), convertFtoC(), readHumidity(), computeHeatIndex(), read() και expectPulse().

#include <CO2Sensor.h>

Αυτή η βιβλιοθήκη επιτρέπει την ορθή λειτουργία και το σωστό καλιμπράρισμα του αισθητήρα μέτρησης διοξειδίου του άνθρακα (MG-811). Ο αισθητήρας δίνει μια τιμή τάσης μεταξύ 0 και 5 V η οποία μετατρέπεται αυτόματα σε μια τιμή συγκέντρωσης CO2 μέσω μαθηματικού τύπου.

#include <Adafruit_Sensor.h>

Η δήλωση της συγκεκριμένης βιβλιοθήκης είναι αναγκαία για κάθε χρήση αισθητήρα της εταιρίας Adafruit.

#include <Adafruit_TSL2561_U.h>

Καθορίζει ορισμένες βασικές πληροφορίες του αισθητήρα μέτρησης φωτεινότητας (Flora TSL2561). Ακόμη είναι υπεύθυνη για την αποστολή της μέτρησης του αισθητήρα στη σωστή μονάδα μέτρησης η οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι τα lux και με αυτό τον τρόπο ο χρήστης δεν αναγκάζεται να δημιουργεί μαθηματικές φόρμουλες για την εξαγωγή μιας ορθής μέτρησης.

#include <Wire.h>

Αυτή η βιβλιοθήκη επιτρέπει την επικοινωνία με I2C. Υπάρχουν εκδόσεις I2C επικοινωνίας των 7-bit και των 8-bit, με τα πρώτα εφτά bit να είναι για αναγνώριση

συσκευής και το τελευταίο bit να καθορίζει εάν η επικοινωνία μπορεί να διαβαστεί απλά ή και να γραφτεί. Η Wire χρησιμοποιεί για την μετάδοση δεδομένων ένα buffer των 32 byte και σε περίπτωση υπέρβασης αυτού του μεγέθους η επικοινωνία απορρίπτεται. Στο σύστημά μας η βιβλιοθήκη επιτρέπει την επικοινωνία του αισθητήρα φωτεινότητας (Flora TSL2561 Lux Sensor) και του ρολογιού (RTC).

#include "RTClib.h"

Αυτή η βιβλιοθήκη επιτρέπει σε αναπτυξιακές πλακέτες που ακολουθούν την αρχιτεκτονική SAMD να χρησιμοποιούν οποιοδήποτε RTC module όπως και το RTC με το chip DS3231 της εργασίας. Η κύρια λειτουργεία που εκτελεί το RTC της εργασίας είναι να κρατάει την ώρα και τα λεπτά όποτε αυτό χρειάζεται να γίνει.

#include <Stepper.h>

Αυτή η βιβλιοθήκη επιτρέπει τον έλεγχο μονοπολικών (unipolar) και διπολικών (bipolar) βηματικών μοτέρ.

3.1.2 Καθορισμός στοιχείων για χρήση LoRaWAN

Σε αυτό το σημείο του κώδικα καθορίζονται ορισμένες σταθερές και τα κλειδιά της επικοινωνίας μεταξύ της συσκευής explorer_krokos_greenhouse και του TTN.

Στην γραμμή 10 δηλώνεται η σειριακή θύρα η οποία χρησιμοποιήθηκε για την ανάγκη εκτύπωσης μηνυμάτων αποσφαλμάτωσης στο serial monitor. Μέσω αυτής της διαδικασίας αποσφαλμάτωσης εντοπίστηκε το πρόβλημα με τον χρόνο της λειτουργίας ποτίσματος, το οποίο και λύθηκε με την χρήση της βιβλιοθήκης Sodaq_wdt.h. Στην γραμμή 11 γίνεται αρχικοποίηση της σειριακής θύρας με την οποία γίνεται η επικοινωνία LoRaWAN αφού είναι συνδεδεμένη με το module RN2483 του sodaq explorer και στην γραμμή 12 δηλώνεται το pin για να γίνεται reset της διαδικασίας αποστολής μέσω LoRaWAN.

```
10 #define CONSOLE_STREAM  SerialUSB
11 #define LORA_STREAM     Serial2
12 #define LORA_RESET_PIN  LORA_RESET
13 #define FORCE_FULL_JOIN 0
14 #define LORA_PORT       1
15 static const uint8_t APP_EUI[8]   = { 0x70, 0xB3, 0xD5, 0x7E, 0xD0, 0x03, 0x70, 0x66 };
16 static const uint8_t APP_KEY[16]  = { 0x29, 0x98, 0xC6, 0xF2, 0xE5, 0x49, 0x0B, 0x43,
17                                      0x0C, 0x4C, 0xC9, 0xD9, 0x51, 0x55, 0x75, 0x89 };
```

Εικόνα 3.3 - Καθορισμός στοιχείων για χρήση LoRaWAN

Στις γραμμές 15 και 16 γίνεται η δήλωση των APP_EUI και APP_KEY τα οποία είναι τα χαρακτηριστικά της συσκευής explorer_krokos_greenhouse στο TTN. Το APP_EUI αποτελεί το id της επικοινωνίας ενώ το APP_KEY αποτελεί το κλειδί.

3.1.3 Δηλώσεις pins

Ο αισθητήρας μέτρησης υγρασίας εδάφους συνδέεται με το αναλογικό pin A1. Η τροφοδοσία του αισθητήρα γίνεται μόνο την χρονική στιγμή που πρέπει να παρθεί μέτρηση από το pin D1. Αυτός ο τρόπος τροφοδοσίας του αισθητήρα επιμηκύνει την διάρκεια ζωής του αφήνοντας την τάση να υπάρχει μόνο όταν δοθεί εντολή να παρθεί μέτρηση υγρασίας εδάφους.

```
#define DHTPIN 0
#define DHTTYPE DHT22
int soil_sensor = A1;
int soil_power = 1;
int fans = 6;
int pump = 7;
int blue = 10;
int red = 11;
```

Εικόνα 3.4 - Δηλώσεις pins

Ο αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας περιβάλλοντος DHT22 είναι συνδεδεμένος με το pin D0. Στην επόμενη εντολή καθορίζεται ο τύπος της σειράς αισθητήρων DHT για να γίνει εύκολη η αναγνώριση του αισθητήρα από τον μικροεπεξεργαστή.

Στα ψηφιακά pins D6, D7, D10 και D11 είναι συνδεδεμένα τα inputs του relay module οκτώ καναλιών. Το pin IN07 του ρελέ ανοιγοκλείνει την βάνα του ποτίσματος.

Με το pin, IN01, ενεργοποιούνται οι ανεμιστήρες που σε συνδυασμό με το άνοιγμα του πλαϊνού παραθύρου υλοποιούν την λειτουργία του δυναμικού εξαερισμού.

Τα pins IN02 και IN03 του relay module, είναι συνδεδεμένα με τα ψηφιακά pin D10 και D11 του Sodaq Explorer και υλοποιούν την λειτουργία του τεχνητού φωτισμού αναβοσβήνοντας την ταινία led.

Εν συνεχεία, τα ψηφιακά pins D2, D3, D4 και D5 είναι συνδεδεμένα με τα pins του οδηγού ULN2003 για το άνοιγμα και κλείσιμο του πλαϊνού παραθύρου για τη λειτουργία του δυναμικού εξαερισμού. Τα pins D8, D9, D12 και D13 είναι συνδεδεμένα με τον δεύτερο οδηγό ULN2003 που κινεί το stepper motor το οποίο είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του φυσικού εξαερισμού, δηλαδή το άνοιγμα του παραθύρου οροφής. Τα pins για την κίνηση του κάθε μοτέρ δηλώνονται στην δημιουργία των αντικειμένων των μοτέρ.

3.1.4 Δηλώσεις μεταβλητών

Στις μεταβλητές soil_m, temp, hum και CO2 αποθηκεύονται οι τιμές από τις μετρήσεις των αισθητήρων.

```
26 float hum;
27 float temp;
28 int co2;
29 int lux;
30 long soil_m;
31 long soil_m_temp;
32 unsigned long previousMillisDynVertON=0;
33 unsigned long previousMillisPhyVertON=0;
34 unsigned long previousMillisGETdata=0;
35 bool pumpState=LOW;
36 bool dynVertState=LOW;
37 bool phyVertState=LOW;
38 bool ledState=LOW;
39 const int steps = 2038;
```

Εικόνα 3.5 - Δηλώσεις μεταβλητών

Πιο συγκεκριμένα στην soil_m αποθηκεύεται η τιμή της υγρασίας εδάφους. Η μεταβλητή soil_m_temp αποτελεί προσωρινή μεταβλητή που αποθηκεύει τα volts που περνούν από το pin D1 για την περιστασιακή λειτουργία του αισθητήρα υγρασίας εδάφους. Στις μεταβλητές temp και hum αποθηκεύονται οι μετρήσεις θερμοκρασίας και σχετικής

υγρασίας αντίστοιχα. Ακόμη, στην μεταβλητή CO2 αποθηκεύεται το επίπεδο συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα μετά από κάθε μέτρηση του αισθητήρα αερίων MG-811. Τέλος δηλώνεται και η σταθερά steps η οποία είναι τα βήματα που εκτελεί το συγκεκριμένο μοντέλο stepper μοτέρ που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία για την ολοκλήρωση ενός κύκλου ή 360 ^{o}.

3.1.5 Δηλώσεις συναρτήσεων

Οι συναρτήσεις είναι τύπου void. Δεν επιστρέφουν κάποια παράμετρο, απλά εκτελούν ορισμένες λειτουργίες. Πιο συγκεκριμένα, ορισμένες από αυτές ενεργοποιούν τους actuators του συστήματος και κάποιες άλλες τους απενεργοποιούν ενώ η συνάρτηση configureFloraSensor() είναι αναγκαία για την ορθή λειτουργία του αισθητήρα μέτρησης φωτεινότητας.

```
40 void configureFloraSensor();
41 void watering();
42 void wateringOFF();
43 void dynVert();
44 void phyVert();
45 void lightning();
46 void lightningOFF();
```

Εικόνα 3.6 - Δηλώσεις συναρτήσεων

3.1.6 Δημιουργία αντικειμένων

RTC_DS3231 rtc;

Δημιουργεί το αντικείμενο rtc της βιβλιοθήκης RTClib.h για την χρήση του RTC DS3231 module.

```
47 RTC_DS3231 rtc;
48 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
49 CO2Sensor co2Sensor(A0, 0.99, 100);
50 Adafruit_TSL2561_Unified tsl = Adafruit_TSL2561_Unified(TSL2561_ADDR_FLOAT, 12345);
51 Stepper side = Stepper(steps, 2, 4, 3,  5);
52 Stepper roof = Stepper(steps, 8, 12, 9, 13);
```

Εικόνα 3.7 - Δημιουργία αντικειμένων

CO2Sensor co2Sensor(A0, 0.99, 100);

Δημιουργείται ένα αντικείμενο co2Sensor της βιβλιοθήκης CO2sensor.h. Η πρώτη παράμετρος δηλώνει το αναλογικό pin σήματος στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο αισθητήρας. Η δεύτερη παράμετρος αποτελεί τον συντελεστή αδράνειας του αισθητήρα με την χρήση της συγκεκριμένης βιβλιοθήκης και η τρίτη παράμετρος είναι το σύνολο των μετρήσεων που κάνει ο αισθητήρας κάθε φορά που του δίνεται εντολή να στείλει δεδομένα.

Adafruit_TSL2561_Unified tsl=Adafruit_TSL2561_Unified(TSL2561_ADDR_FLOAT, 12345);

Δημιουργεί το αντικείμενο tsl για χρήση του αισθητήρα φωτεινότητας TSL2561.

Stepper side = Stepper(steps, 2, 4, 3, 5);

Η συνάρτηση αυτή δημιουργεί ένα νέο αντικείμενο της συνάρτησης Stepper. Αυτό το αντικείμενο αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο βηματικό μοτέρ. Ο αριθμός των pins εξαρτάται από το αν είναι μονοπολικό ή διπολικό το μοτέρ. Το πεδίο steps αντιπροσωπεύει τον αριθμό των βημάτων σε μία περιστροφή του μοτέρ. Στην εικόνα φαίνεται η δημιουργία των αντικειμένων των μοτέρ που κινούν το πλαϊνό παράθυρο και το παράθυρο οροφής. Με τον ίδιο τρόπο ορίζονται δύο αντικείμενα, το side που είναι για την λειτουργία του πλαϊνού παραθύρου και το roof για την λειτουργία του παραθύρου που βρίσκεται στην οροφή.

3.1.7 Η συνάρτηση setup()

Σε αυτό το σημείο δημιουργείται η βασική συνάρτηση setup() η οποία πρέπει να υπάρχει σε κάθε πρόγραμμα δημιουργημένο σε περιβάλλον Arduino IDE. Στην γραμμή 54 δίνεται ο χρόνος των 10 δευτερολέπτων στο πρόγραμμα για να γίνει διαθέσιμη η σειριακή θύρα CONSOLE_STREAM για την χρησιμοποίηση του serial monitor.

Οι γραμμές 55 με 61 αφορούν το RTC. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχή γίνεται έλεγχος για το αν το RTC module είναι σωστά τοποθετημένο στο I2C bus. Εάν δεν μπορέσει να το εντοπίσει τότε σταματάει το πρόγραμμα με την εντολή abort(), ενώ εάν εντοπιστεί το

πρόγραμμα συνεχίζεται και με την εντολή rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__))) παίρνεται η τοπική ημερομηνία και ώρα και αποθηκεύονται στις κατάλληλες μεταβλητές της βιβλιοθήκης RTClib.h.

Στην συνέχεια της συνάρτησης setup() δηλώνονται συγκεκριμένα pins ως inputs ή outputs του προγράμματος. Ακόμη, δηλώνονται οι αρχικές καταστάσεις τους. Τα pins red, blue, fans και pump δηλώνονται ως output και η τιμή που τους δίνεται είναι το HIGH. Με αυτό τον τρόπο οι ενεργοποιητές που λειτουργούν με τα συγκεκριμένα pins, δεν είναι σε λειτουργία κατά την εκκίνηση του προγράμματος. Για να πετύχει αυτό θα έπρεπε οι καταστάσεις των pins να είναι LOW όπως συμβαίνει με το pin που τροφοδοτεί τον αισθητήρα μέτρησης υγρασίας εδάφους στην γραμμή 72. Κάτι τέτοιο όμως δεν συμβαίνει αφού η χρήση του relay module αντιστρέφει την ιδιότητα του HIGH και του LOW. Για παράδειγμα, όταν το pin pump έχει την τιμή HIGH η αντλία νερού δεν λειτουργεί, ενώ όταν έχει την τιμή LOW η αντλία λειτουργεί και το φυτό ποτίζεται.

```
53 void setup() {
54   while((!CONSOLE_STREAM) && (millis()<10000));
55   if (! rtc.begin()) {
56     SerialUSB.println("Couldn't find RTC");
57     SerialUSB.flush();
58     abort();
59   }
60   if (rtc.lostPower()) {
61     rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
62   }
63   pinMode(red,OUTPUT);
64   digitalWrite(red,HIGH);
65   pinMode(blue,OUTPUT);
66   digitalWrite(blue,HIGH);
67   pinMode(fans, OUTPUT);
68   digitalWrite(fans,HIGH);
69   pinMode(pump, OUTPUT);
70   digitalWrite(pump,HIGH);
71   pinMode(soil_power, OUTPUT);
72   digitalWrite(soil_power, LOW);
73   dht.begin();
74   side.setSpeed(10);
75   roof.setSpeed(10);
76   LORA_STREAM.begin(LoRaBee.getDefaultBaudRate());
77     LoRaBee.setDiag(CONSOLE_STREAM);
78   if (FORCE_FULL_JOIN || !LoRaBee.initResume(LORA_STREAM, LORA_RESET_PIN)) {
79       LoRaBee.init(LORA_STREAM, LORA_RESET_PIN, true, true);
80       uint8_t eui[8];
81       if (LoRaBee.getHWEUI(eui, sizeof(eui)) != 8) { return; }
82       if (!LoRaBee.initOTA(eui, APP_EUI, APP_KEY, false)) { return; }
83     }
84 }
```

Εικόνα 3.8 - Η συνάρτηση setup()

Στη γραμμή 73 ξεκινά η λειτουργεία του αισθητήρα DHT22 και στη συνέχεια η συνάρτηση setSpeed ορίζει την ταχύτητα των μοτέρ σε περιστροφές ανά λεπτό (RPM/Revolutions Per Minute).

Στην γραμμή 76 ξεκινά η επικοινωνία με την σειριακή θύρα και η εντολή getDefaultBaudRate() επιστρέφει το σωστό ρυθμό baud για την θύρα αυτή. Με την εντολή LoRaBee.setDiag(CONSOLE_STREAM) στην γραμμή 77, ορίζεται το CONSOLE_STREAM ως θύρα για τον εντοπισμό σφαλμάτων και ακολουθεί η αρχικοποίηση της σύνδεσης στο δίκτυο. Στην συνέχεια δηλώνεται η μεταβλητή eui που αποτελεί το κλειδί της σύνδεσης και λαμβάνεται από τον αισθητήριο κόμβο. Με τις γραμμές 78 με 82 επιβεβαιώνεται η σύνδεση με το δίκτυο LoRaWAN του TTN.

3.1.8 Η συνάρτηση millis()

Η συνάρτηση millis() είναι εξαιρετικά χρήσιμη για την ορθή λειτουργία του συστήματος καθώς μας επιστρέφει τον ακριβή αριθμό των milliseconds που έχουν περάσει από τη στιγμή που το Arduino ξεκίνησε να τρέχει το πρόγραμμα. Αποθηκεύοντας τα milliseconds στα οποία συνέβη ένα γεγονός, βοηθά σε μία ενδεχόμενη επανάληψη του ίδιου γεγονότος μετά από ορισμένο χρόνο, τον οποίο βεβαίως επιλέγει ο προγραμματιστής. Σε αυτή την λογική έχει στηριχτεί και η χρονική δομή του προγράμματος του συγκεκριμένου συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση της συνάρτησης millis() ορίστηκε ανά πόσο χρόνο θα στέλνονται οι μετρήσεις από τον αισθητήριο κόμβο στο cloud του TTN. Επίσης, με τον ίδιο τρόπο ορίστηκε ο χρόνος στον οποίο τα παράθυρα και οι ανεμιστήρες θα πρέπει να είναι ανοιχτά για τις λειτουργίες του φυσικού και του δυναμικού εξαερισμού. Η σύνταξη της συνάρτησης είναι ΩΡΑ=millis() και δεν δέχεται παράμετρο. Τέλος, ο τύπος των δεδομένων που επιστρέφει, δηλαδή τα milliseconds, είναι unsigned long.

Η συνάρτηση micros() έχει ακριβώς την ίδια λειτουργία με την millis() με την μόνη διαφορά να βρίσκεται στο δεδομένο που επιστρέφουν. Η micros() επιστρέφει τα microseconds που έχουν περάσει από την στιγμή που το Arduino ξεκίνησε να τρέχει το πρόγραμμα.

Ακόμη μία δημοφιλής συνάρτηση του λογισμικού Arduino IDE είναι η delay(). Η delay() διακόπτει το πρόγραμμα για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το οποίο ορίζεται ως

παράμετρος στην κλήση της συνάρτησης. Σε σύγκριση με την συνάρτηση millis(), η delay() έχει κάποια μειονεκτήματα. Ένα είναι ότι με την delay() δεν είναι γνωστός ο χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος, ενώ με την millis() μπορούμε να διασφαλίσουμε ότι ένας βρόγχος τρέχει όσο συχνά επιθυμεί ο προγραμματιστής, ανεξάρτητα από τον χρόνο εκτέλεσης όλου του προγράμματος. Το δεύτερο μειονέκτημα της delay() είναι ότι διακόπτει ολόκληρη την ροή του κώδικα ο οποίος συνεχίζει να τρέχει όταν έχει περάσει ο χρόνος που έχει οριστεί σε αυτή. Η συνάρτηση millis() λοιπόν, είναι πραγματικά εύχρηστη όταν χρειάζονται εργασίες χρονισμού μέσα στο σύστημα.

3.1.9 Η συνάρτηση loop()

Η συνάρτηση loop() είναι η κύρια συνάρτηση του προγράμματος αφού μέσα της εκτελούνται όλες οι λειτουργίες του αισθητήριου κόμβου. Η συνάρτηση loop() εκτελείται διαρκώς. Αρχικά δημιουργείται ένας μεγάλος βρόχος ελέγχου if, ο οποίος ελέγχει εάν έχουν περάσει πέντε λεπτά από την τελευταία στιγμή που έτρεξε. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε 5 λεπτά, οι αισθητήρες επικοινωνούν με τον κόμβο στέλνοντας του τα δεδομένα και αυτός με την σειρά του τα προωθεί στο cloud του TTN μέσω LoRaWAN.

```
85 void loop() {
86   unsigned long currentMillisGETdata=millis();
87   if((currentMillisGETdata-previousMillisGETdata)>=(300000)){
88     previousMillisGETdata=currentMillisGETdata;
89     co2Sensor.calibrate();
90     configureFloraSensor();
91     byte data[10];
92     char dnbuf[16];
93     char upbuf[16];
94     LoRaBee.getMacParam("dnctr", dnbuf, 16);
95     LoRaBee.getMacParam("upctr", upbuf, 16);
```

Εικόνα 3.9 - Η συνάρτηση loop()

Στην γραμμή 89 γίνεται το καλιμπράρισμα του αισθητήρα MG-811 και στην επόμενη γραμμή μία αντίστοιχη διαδικασία του αισθητήρα μέτρησης φωτεινότητας.

Στην γραμμή 91 ορίζεται η μεταβλητή data[] η οποία αποτελεί το πακέτο των δεδομένων που στέλνονται και στην συνέχει οι μετρητές του πακέτου που στέλνεται και λαμβάνεται (uplink, downlink). Οι γραμμές 94 και 95 επιστρέφουν τις παραμέτρους MAC για uplink και downlink.

Ακολουθούν οι εντολές για την άντληση των μετρήσεων από τους 4 αισθητήρες του συστήματος. Αρχικά ενεργοποιείται η θύρα που θέτει σε λειτουργία τον αισθητήρα μέτρησης υγρασίας εδάφους και διαβάζεται το αναλογικό του σήμα. Με τη χρήση της συνάρτησης map η μέτρηση του αισθητήρα μετατρέπεται σε ποσοστό επί τις εκατό. Στην συνέχεια διαβάζονται οι τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας και μετατρέπονται σε int, με πολλαπλασιασμό επί το εκατό, για την αποστολή τους στο TTN όπου διαιρούνται ξανά με το εκατό για την εμφάνιση των δεκαδικών ψηφίων.

```
96    digitalWrite(soil_power, HIGH);
97    soil_m_temp = analogRead(soil_sensor);
98    digitalWrite(soil_power, LOW);
99    soil_m = map(soil_m_temp, 0, 898, 0, 100);
100   hum = dht.readHumidity();
101   temp = dht.readTemperature();
102   int16_t int_temp = (int16_t)(temp * 100);
103   int16_t int_hum = (int16_t)(hum * 100);
104   int co2 = co2Sensor.read();
105   sensors_event_t event;
106   tsl.getEvent(&event);
107   lux = event.light;
```

Εικόνα 3.10 - Άντληση των μετρήσεων

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο οι μετρήσεις των αισθητήρων μπαίνουν στο πακέτο δεδομένων που πρόκειται να αποσταλεί στο TTN.

```
108     data[0] = int_temp >> 8;
109     data[1] = int_temp & 0xFF;
110     data[2] = int_hum >> 8;
111     data[3] = int_hum & 0xFF;
112     data[4] = soil_m >> 8;
113     data[5] = soil_m & 0xFF;
114     data[6] = lux >> 8;
115     data[7] = lux & 0xFF;
116     data[8] = co2 >> 8;
117     data[9] = co2 & 0xFF;
118     uint8_t i = LoRaBee.send(LORA_PORT, data, sizeof(data));
119   }
```

Εικόνα 3.11 - Αποστολή του data μέσω LoRaWAN

Η αγκύλη που κλείνει στην γραμμή 119 είναι το κλείσιμο του βρόχου ελέγχου των 5 λεπτών που προαναφέρθηκε.

Ακολουθούν οι βρόχοι για τον έλεγχο των τιμών που στέλνουν οι αισθητήρες και των καταστάσεων των ενεργοποιητών. Εφόσον μία κατάσταση ισχύει εκτελείται η αντίστοιχη λειτουργία.

```
120  if ((soil_m<80) && (pumpState==LOW)){
121      watering();
122      sodaq_wdt_safe_delay(10000);
123      wateringOFF();
124  }
```

Εικόνα 3.12 - Έλεγχος για πότισμα

Πιο αναλυτικά, εάν το ποσοστό της υγρασίας που περιέχει το χώμα είναι μικρότερο του 80% και η αντλία δεν είναι σε λειτουργία, τότε καλείται η συνάρτηση watering() η οποία θέτει σε κατάσταση LOW το pin 7 που με την σειρά του τροφοδοτεί με τάση την αντλία νερού.

```
125  if (((temp>15) || (hum>80)) && (dynVertState==LOW)){
126      dynVert();
127  }
128  if (dynVertState == HIGH){
129    unsigned long currentMillisDynVertON=millis();
130    if ((currentMillisDynVertON - previousMillisDynVertON)>=(2700000)){
131      previousMillisDynVertON=millis();
132      digitalWrite(fans,HIGH);
133      side.step(steps/4);
134      dynVertState=LOW;
135    }
136  }
137  if ((co2<450) && (phyVertState==LOW)){
138    phyVert();
139  }
140  if (phyVertState == HIGH){
141    unsigned long currentMillisPhyVertON=millis();
142    if ((currentMillisPhyVertON - previousMillisPhyVertON)>=(2700000)){
143      previousMillisPhyVertON=millis();
144      roof.step(steps/4);
145      phyVertState=LOW;
146    }
147  }
```

Εικόνα 3.13 - Έλεγχος για δυναμικό και φυσικό εξαερισμό

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται ο κώδικας των εξαερισμών του συστήματος. Ο φυσικός εξαερισμός ενεργοποιείται μόνο στην περίπτωση που το επίπεδο του CO2 γίνει μικρότερο

του 450 και το παράθυρο οροφής είναι κλειστό. Από την άλλη μεριά, η κατάσταση του δυναμικού εξαερισμού μπορεί να ενεργοποιηθεί με δύο τρόπους αφού οι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία. Ο βρόχος ελέγχου στην γραμμή 125 ελέγχει εάν το πλαϊνό παράθυρο είναι κλειστό και η θερμοκρασία ή η σχετική υγρασία έχει υπερβεί το όριο που τους έχει οριστεί. Εάν ισχύει η συνθήκη αυτή, καλείται η συνάρτηση του δυναμικού εξαερισμού. Η απενεργοποίηση του δυναμικού εξαερισμού γίνεται στις γραμμές 128 μέχρι 135. Αρχικά, ελέγχεται αν είναι ενεργοποιημένη η λειτουργία. Εάν η συνθήκη είναι αληθής προχωρά στον έλεγχο του χρόνου, δηλαδή εάν έχουν περάσει 45 λεπτά από την ώρα που ενεργοποιήθηκε η λειτουργία, τότε η λειτουργία απενεργοποιείται. Αυτό γίνεται κλείνοντας το πλαϊνό παράθυρο και τους ανεμιστήρες. Με τον ίδιο τρόπο απενεργοποιείται και η λειτουργία του φυσικού εξαερισμού.

```
148   DateTime now = rtc.now();
149   int time_temp= now.hour();
150   if ((time_temp==18) && (ledState==LOW)){
151     lightning();
152   }
153   if ((time_temp==6) && (ledState==HIGH)){
154     lightningOFF();
155   }
156 }
```

Εικόνα 3.14 - Έλεγχος για τεχνητό φωτισμό

Τέλος, η λειτουργία του τεχνητού εξαερισμού ενεργοποιείται με βάση την ώρα. Δημιουργείται το αντικείμενο now στο οποία αποθηκεύονται τα στοιχεία της ημερομηνίας και της ώρας. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται η μεταβλητή time_temp για να αποθηκευτεί σε αυτή η τιμή της ώρας της ημέρας. Ελέγχεται εάν η ώρα είναι 6, δηλαδή 18 (σε μορφή 18:00) και εάν είναι ενεργοποιημένη η λειτουργία του τεχνητού φωτισμού. Εφόσον η συνθήκη είναι αληθής ενεργοποιείται ο τεχνητός φωτισμός και έχει διάρκεια 12 ώρες.

3.1.10 Οι συναρτήσεις των λειτουργιών

Η συνάρτηση watering() καλείται εφόσον χρειάζεται πότισμα και η λειτουργία της είναι να κλείνει το relay στο οποίο είναι συνδεδεμένη η αντλία νερού, δηλαδή να ανοίγει την αντλία και να κρατά την κατάσταση της στην μεταβλητή pumpState. Η συνάρτηση wateringOFF() ανοίγει το relay, δηλαδή κλείνει την αντλία και δίνει την τιμή LOW στην

μεταβλητή της κατάστασής της. Η συνάρτηση dynVert() εκτελεί τον δυναμικό εξαερισμό. Αυτό που κάνει είναι να ανοίγει το πλαϊνό παράθυρο με εκτέλεση κίνησης 90° του stepper motor σε συνδυασμό με το άνοιγμα των ανεμιστήρων. Τη ίδια κίνηση των 90° εκτελεί το παράθυρο οροφής στην συνάρτηση phyVert() για τον φυσικό εξαερισμό. Ακόμη, οι δύο συναρτήσεις των εξαερισμών κρατούν την κατάσταση της λειτουργίας τους στις μεταβλητές dynVertState και phyVertState ενώ κρατούν και την ώρα στην οποία ενεργοποιήθηκαν οι λειτουργίες στις μεταβλητές previousMillisDynVertON και previousMillisPhyVertON.

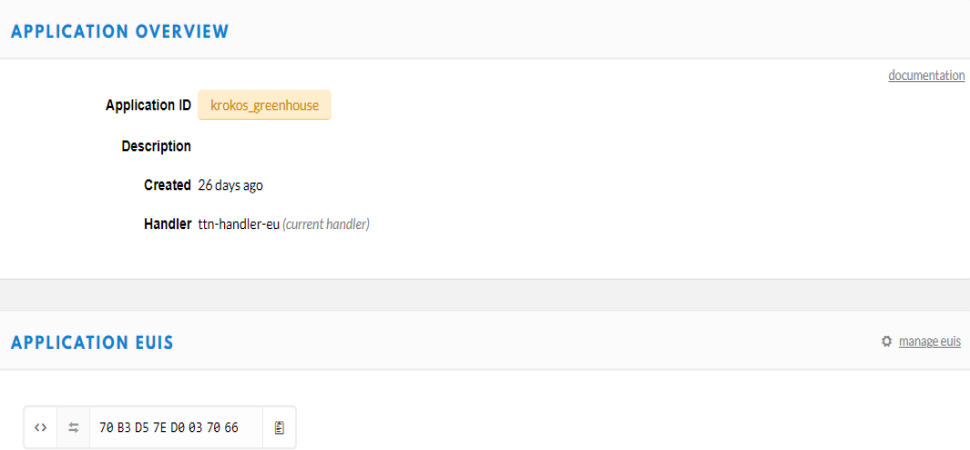
```
157 void watering(){
158   digitalWrite(pump,LOW);
159   pumpState=HIGH;
160 }
161 void wateringOFF(){
162   digitalWrite(pump,HIGH);
163   pumpState=LOW;
164 }
165 void dynVert(){
166   digitalWrite(fans,LOW);
167   side.step(steps/4);
168   dynVertState=HIGH;
169   previousMillisDynVertON=millis();
170 }
171 void phyVert(){
172   roof.step(steps/4);
173   phyVertState=HIGH;
174   previousMillisPhyVertON=millis();
175 }
176 void lightning(){
177   digitalWrite(blue, LOW);
178   digitalWrite(red, LOW);
179   ledState=HIGH;
180 }
181 void lightningOFF(){
182   digitalWrite(blue, HIGH);
183   digitalWrite(red, HIGH);
184   ledState=LOW;
185 }
186 void configureFloraSensor(void){
187   tsl.enableAutoRange(true);
188   tsl.setIntegrationTime(TSL2561_INTEGRATIONTIME_13MS);
189 }
```

Εικόνα 3.15 - Οι συναρτήσεις των λειτουργιών

Οι συναρτήσεις lightning() και lightningOFF() συμπεριφέρονται όπως τις watering() και wateringOFF() εκτελώντας την λειτουργία του τεχνητού φωτισμού. Τέλος η συνάρτηση configureFloraSensor() απαιτείται για τη σωστή λειτουργία του αισθητήρα φωτεινότητας.

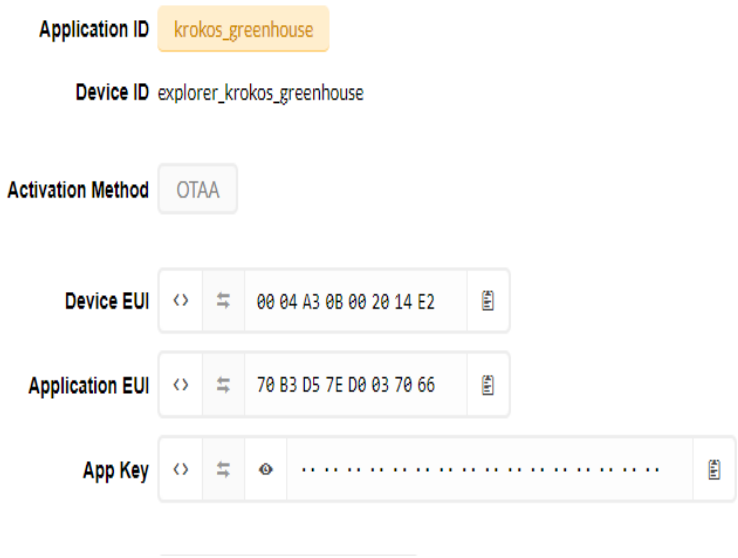
3.2 Χρήση LoRaWAN μέσω TTN

Το TTN αποτελεί μία υποδομή ανοιχτού κώδικα με στόχο την παροχή δωρεάν κάλυψης LoRaWAN δικτύου. Για να χρησιμοποιηθεί το TTN πρέπει να αποκτηθεί πρόσβαση μέσω μίας από τις πύλες (Gateways) που είναι εγκατεστημένες σε χιλιάδες περιοχές ανά τον κόσμο ή να εγκατασταθεί μία. Για την εργασία η σύνδεση έγινε μέσω της πύλης LoRa του πανεπιστημίου. Δημιουργήθηκε καινούριος λογαριασμός και στη συνέχεια καινούριο Application με όνομα krokos_greenhouse. Το TTN αυτόματα δημιουργεί ένα μοναδικό αναγνωριστικό 64 bit AppEUI (Application Extended Unique Indetifier) με το οποίο οι συσκευές θα μπορούν να συνδεθούν. Όταν δημιουργείται μια εφαρμογή στο TTN, ο διακομιστής δικτύου των λογαριασμών του TTN εκχωρεί ένα AppEUI από το μπλοκ διευθύνσεών του. Αυτό σημαίνει ότι κάθε εφαρμογή στο TTN έχει τουλάχιστον ένα AppEUI που ξεκινά με «70 B3 D5 7E D». Οι συσκευές LoRaWAN έχουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό 64 bit DevEUI (Device Extended Unique Indetifier) που δίνεται στη συσκευή από τον κατασκευαστή. Ωστόσο, όλη η επικοινωνία γίνεται με μια δυναμική διεύθυνση συσκευής 32 bit (DevAddr – Device Adrdress), από την οποία 7 bits δεσμεύονται για το TTN.



Εικόνα 3.16 - TTN application overview

Στη συνέχεια για να προστεθεί το Sodaq Explorer σαν συσκευή επιλέχθηκε το Register Device. Συμπληρώθηκε η φόρμα με τα χαρακτηριστικά του Sodaq Explorer σαν node. Το AppKey που δημιουργείται αυτόματα χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση της συσκευής, στο πρόγραμμά της.



Εικόνα 3.17 - TTN device overview

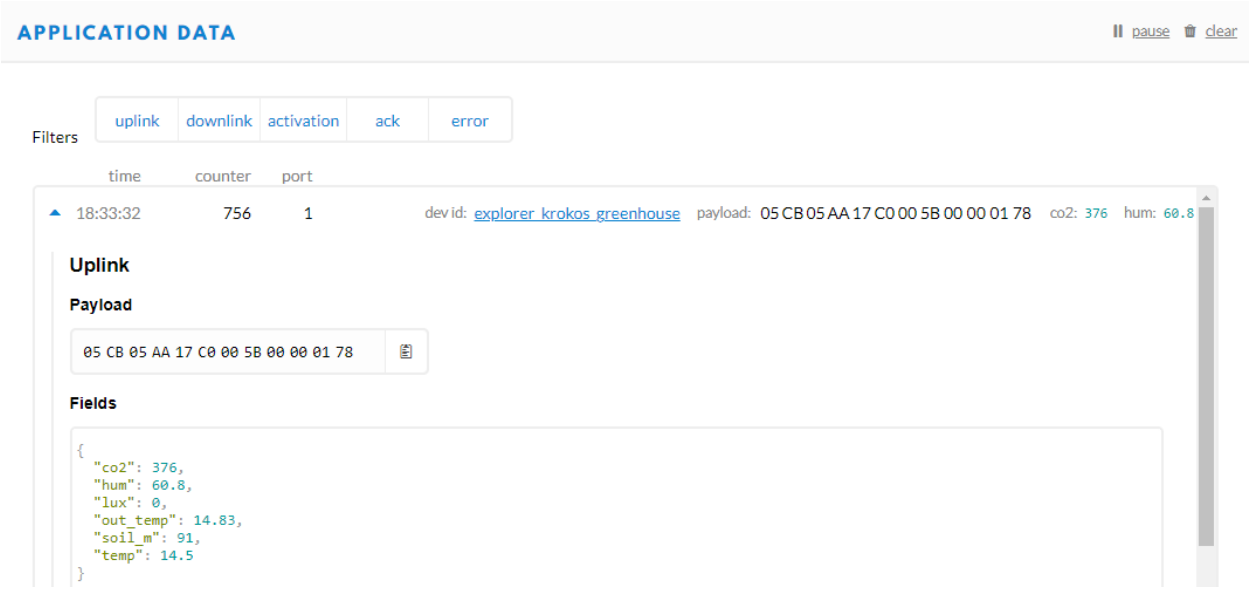
Η ενεργοποίηση της συσκευής γίνεται μέσω OTAA με κλειδιά τα “Device ID”, “Application EUI” και “App Key”. Αφού η συσκευή συνδέθηκε με επιτυχία στο TTN ξεκίνησε και την αποστολή δεδομένων από τους αισθητήρες. Τα δεδομένα εισάγονται στην κονσόλα TTN ως bytes σε δεκαεξαδική μορφή. Για να μπορεί ο χρήστης να δει τα δεδομένα του σε δεκαδική μορφή, το TTN παρέχει αποκρυπτογράφο (decoder) επιλέγοντας την καρτέλα “Payload Format”. Στην εργασία η συνάρτηση decoder που δημιουργήθηκε, εισάγει το buffer με τα δεδομένα σε δεκαεξαδική μορφή και τα αποκρυπτογραφεί, εμφανίζοντάς τα στην κονσόλα ως payload_fields με το όνομα και την τιμή του κάθε δεδομένου. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο κώδικας του decoder. Συνολικά στέλνονται πέντε μετρήσεις. Κάθε μέτρηση αποτελείται από δύο bytes και καταλαμβάνει δύο θέσεις στο buffer που στέλνεται. Με την τεχνική LSB τα bytes τοποθετούνται στις μεταβλητές temperature, humidity, soil_moisture, luminosity και

co2_level. Για να εμφανιστούν σε σωστή μορφή με δεκαδικά οι μετρήσεις temperature και humidity γίνεται διαίρεση με το εκατό.

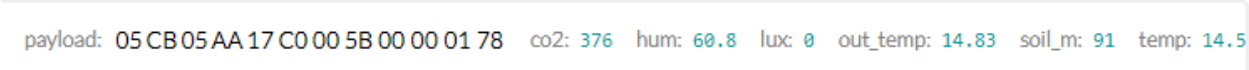
```
function Decoder (bytes,port) {

var temperature = (bytes[0] << 8 | bytes[1]);
var humidity = (bytes[2] << 8 | bytes[3]);
var soil_moisture = (bytes[4] << 8 | bytes[5]);
var luminosity = (bytes[6] << 8 | bytes[7]);
var co2_level = (bytes[8] << 8 | bytes[9]);

  return {
    temp: temperature/100.0,
    hum: humidity/100.0,
    soil_m: soil_moisture,
    lux: luminosity,
    co2: co2_level
  };
}
```

Εικόνα 3.18 - TTN decoder

Τα δεδομένα εμφανίζονται στην καρτέλα “Data” με την παρακάτω μορφή:



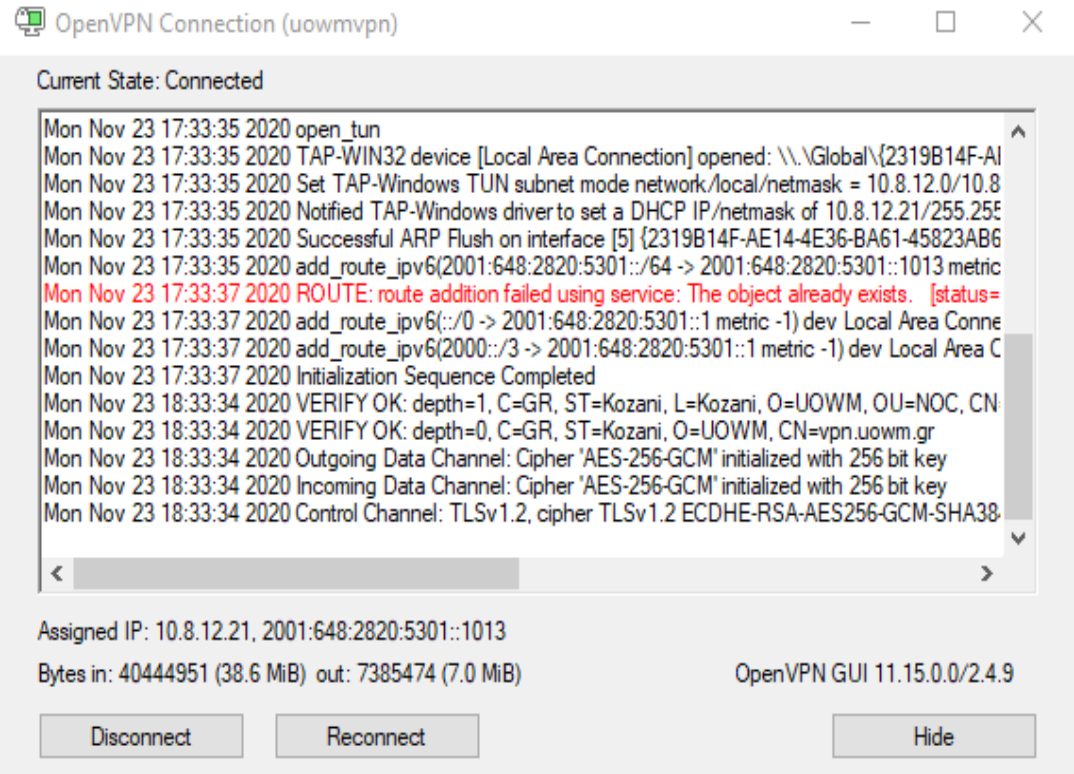
Εικόνα 3.19 - TTN data(1)



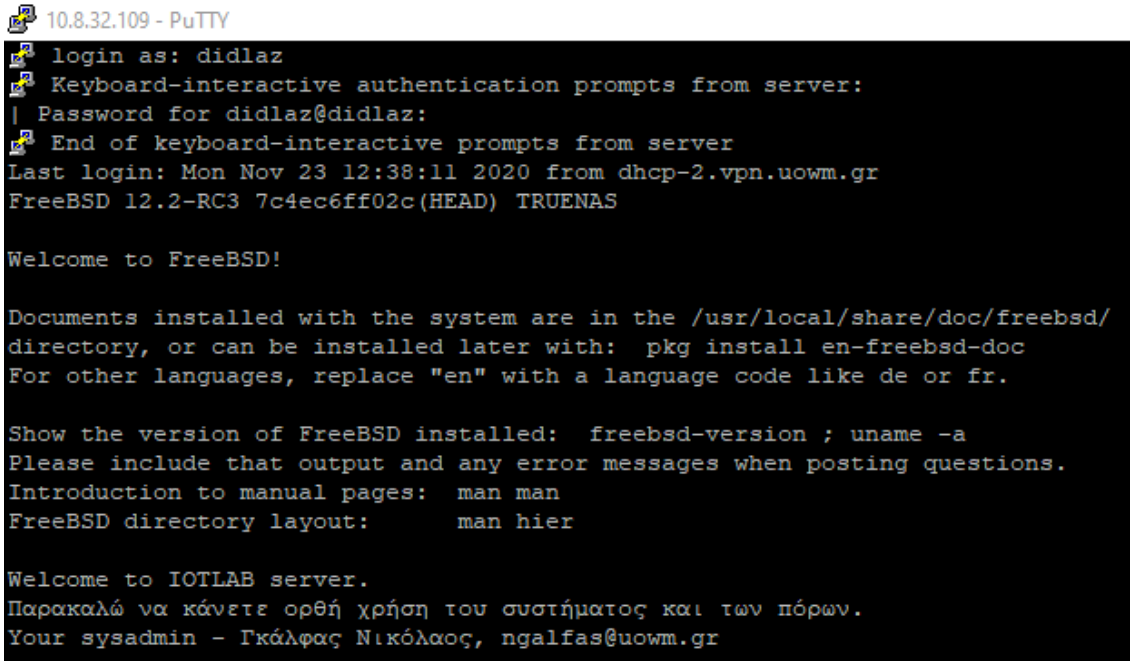
Εικόνα 3.20 - TTN data(2)

3.3 Υπηρεσίες Cloud -TIG

Ο server βασίστηκε σε αρχιτεκτονική στοίβας TIG. Ο πράκτορας ανοιχτού κώδικα Telegraf είναι υπεύθυνος για την συλλογή και προώθηση των δεδομένων στην InfluxDB. Το Telegraf μπορεί να αλληλεπιδράσει με έναν server δικτύου LoRaWAN μέσω μιας απλής διαμόρφωσής του, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο MQTT. Χρησιμοποιήθηκε server του εργαστηρίου IoT του πανεπιστημίου με λειτουργικό συστήματος το FreeBSD και δημιουργήθηκε Virtual Machine για απομακρυσμένη σύνδεση μέσω VPN και PuTTY.



Εικόνα 3.21 - VPN



Εικόνα 3.22 - PuTTY

Στην συνέχεια τα πακέτα των Telegraf, Influxdb και Grafana εγκαθίστανται με χρήση του CLI (Command-line Interface) του FreeBSD.

3.3.1 Telegraf

Το Telegraf αποτελεί ένα εργαλείο – πράκτορα ανοιχτού κώδικα για servers και η λειτουργία του είναι η συλλογή και προώθηση δεδομένων. Τα plugins του Telegraf είναι πολλά, καθιστώντας το εξαιρετικά ευέλικτο και επεκτάσιμο. Είναι γραμμένο σε γλώσσα GO και αφήνει ελάχιστο αποτύπωμα μνήμης. Όπως έγινε και με την συγκεκριμένη εργασία, το Telegraf μπορεί να αλληλοεπιδράσει με servers LoRaWAN χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο MQTT για την αποθήκευση δεδομένων στην βάση δεδομένων InfluxDB. Οι εξαιρετικές δυνατότητες που προσφέρει το Telegraf, το καθιστούν εξαιρετική επιλογή για συλλογή δεδομένων (Telegraf 1.15 documentation, n.d.). Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η εγκατάσταση του Telegraf στον server.

```
$ sudo pkg install telegraf
didlaz's password:
Updating FreeBSD repository catalogue...
FreeBSD repository is up to date.
All repositories are up to date.
The following 1 package(s) will be affected (of 0 checked):

New packages to be INSTALLED:
        telegraf: 1.15.3

Number of packages to be installed: 1

The process will require 61 MiB more space.
13 MiB to be downloaded.

Proceed with this action? [y/N]: Y
[didlaz] [1/1] Fetching telegraf-1.15.3.txz: 100%   13 MiB   1.9MB/s    00:07
Checking integrity... done (0 conflicting)
[didlaz] [1/1] Installing telegraf-1.15.3...
===> Creating groups.
Creating group 'telegraf' with gid '884'.
===> Creating users
Creating user 'telegraf' with uid '884'.
[didlaz] [1/1] Extracting telegraf-1.15.3: 100%
$
```

Εικόνα 3.23 - Εγκατάσταση Telegraf

Ακολουθεί η ενεργοποίηση του ως service deamon και οι πληροφορίες του πακέτου. Έτσι με κάθε σύνδεση στον server, το πακέτου του telegraf ξεκινάει αυτόματα.

```
$ sudo sysrc -f/etc/rc.conf telegraf_enable="YES"
```

Εικόνα 3.24 - Telegraf σαν πακέτο deamon

```
$ pkg info telegraf
telegraf-1.15.3
Name           : telegraf
Version        : 1.15.3
Installed on   : Mon Nov  9 20:35:10 2020 EET
Origin         : net-mgmt/telegraf
Architecture   : FreeBSD:11:amd64
Prefix         : /usr/local
Categories     : net-mgmt
Licenses       : MIT
Maintainer     : girgen@FreeBSD.org
WWW            : https://influxdata.com/time-series-platform/telegraf/
Comment        : Time-series data collection
Annotations    :
        FreeBSD_version: 1104001
        repo_type      : binary
        repository     : FreeBSD
Flat size      : 61.5MiB
Description    :
Telegraf is an open source agent written in Go for collecting metrics and data
on the system it's running on or from other services. Telegraf then writes the
data to InfluxDB in the correct format.

WWW: https://influxdata.com/time-series-platform/telegraf/
```

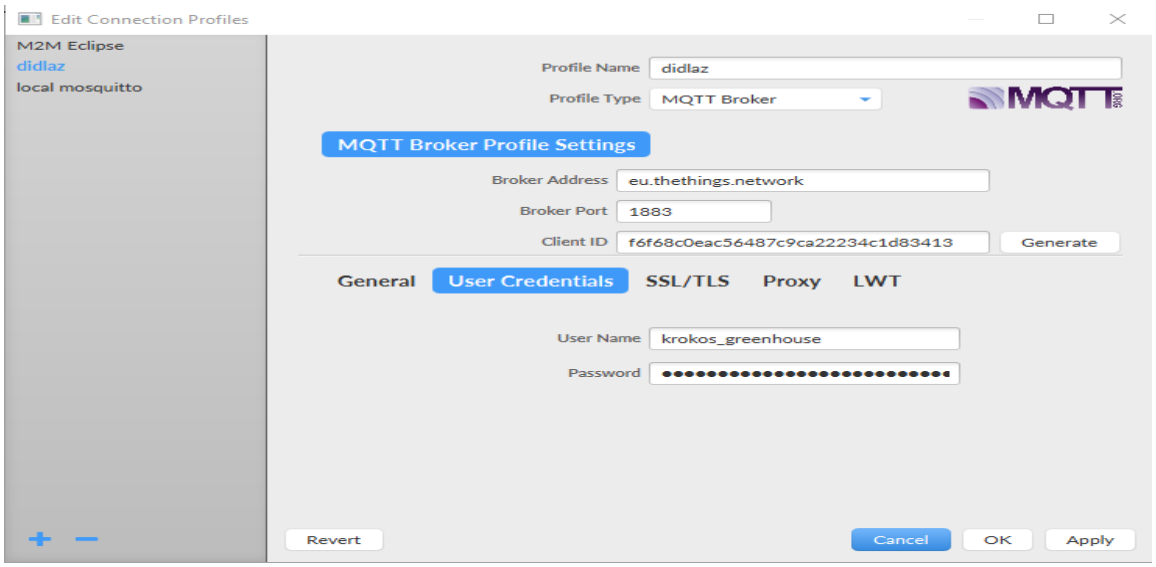
Εικόνα 3.25 - Πληροφορίες Telegraf

Στη συνέχεια, γίνεται επεξεργασία του αρχείου διαμόρφωσης που βρίσκεται στην τοποθεσία /usr/local/etc. Αρχεία τύπου .conf μπορούν να επεξεργαστούν με διάφορους τρόπους. Ένας απ' τους οποίους είναι το εργαλείο vi που αποτελεί text editor και χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των αρχείων διαμόρφωσης. Το αρχείο telegraf.conf διαμορφώθηκε για την παραλαβή μηνυμάτων MQTT από το TTN, για το Application krokos_greenhouse.

```
$ sudo vi /usr/local/etc/telegraf.conf
```

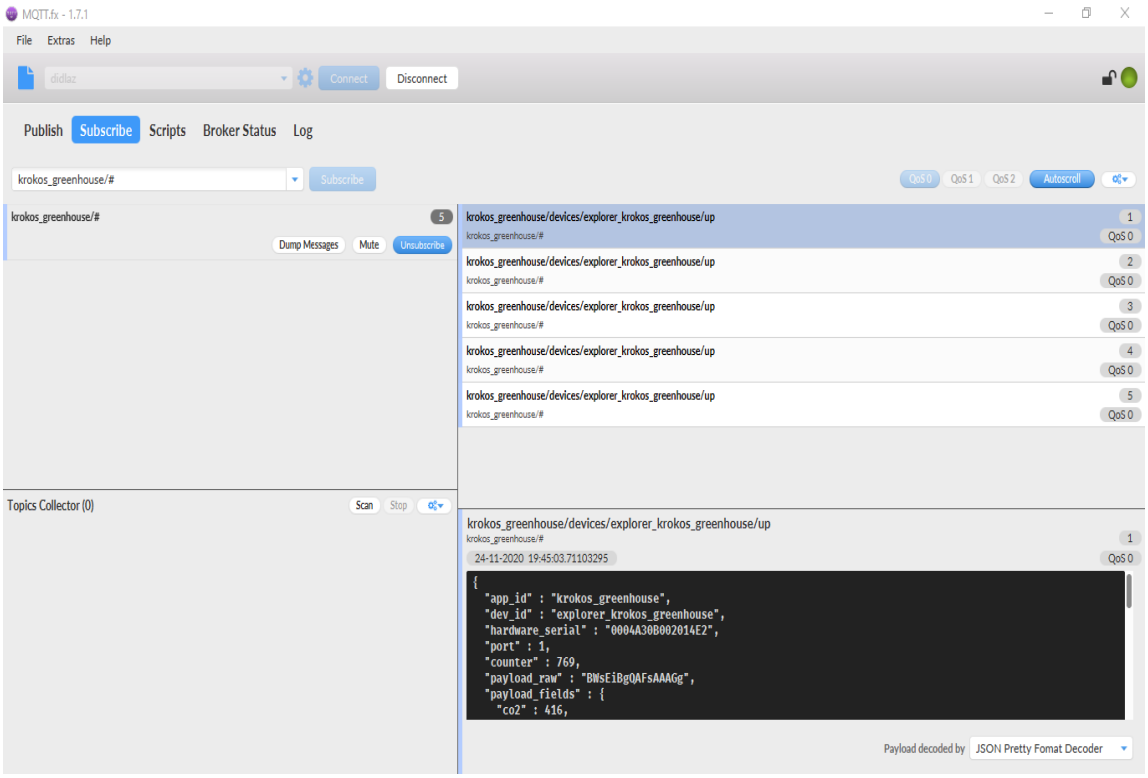
Εικόνα 3.26 - Εντολή vi editor για το πακέτο Telegraf

Στην συγκεκριμένη εργασία, για την επίβλεψη των πακέτων MQTT και για λόγους αποσφαλμάτωσης, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MQTT.fx. Δημιουργήθηκε καινούριο προφίλ για την σύνδεση με τον Broker και έγινε subscribe σε αυτό για να λαμβάνει τα μηνύματα.

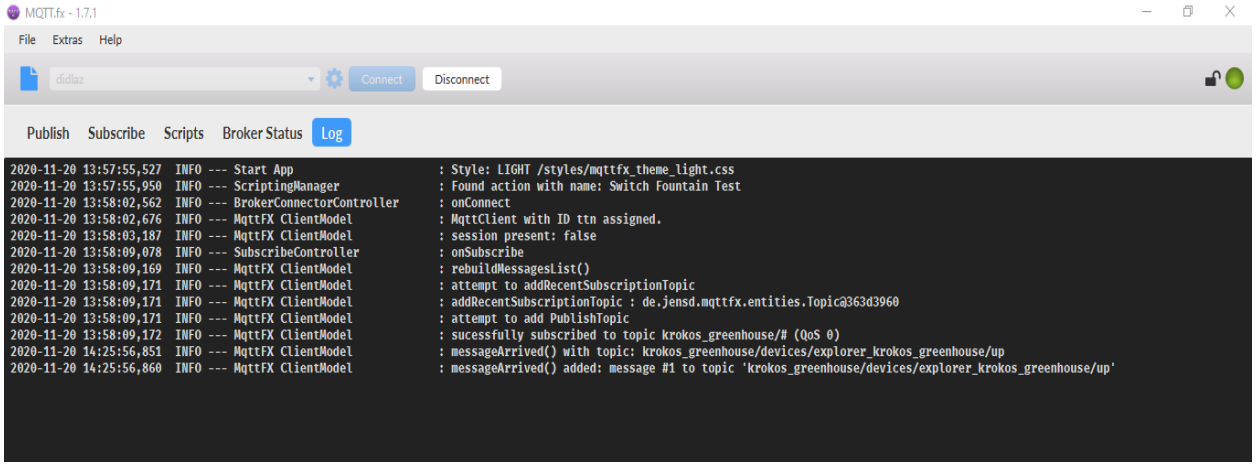


Εικόνα 3.27 - MQTT.fx

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται το payload που στέλνεται από το TTN διαμορφωμένο, σύμφωνα με τις ανάγκες της εφαρμογής, με τον decoder.



Εικόνα 3.28 - MQTT.fx (Subscribe)



Εικόνα 3.29 - MQTT.fx (Log)

Η σωστή αποστολή μηνυμάτων από το TTN προς το Telegraf επιβεβαιώνεται από την καρτέλα Log όπου εμφανίζεται το messageArrived() με topic krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse.

3.3.2 InfluxDB

Η InfluxDB αποτελεί μία βάση δεδομένων σε χρονοσειρές (time series database) που αναπτύχθηκε από την InfluxData. Ο κώδικας της InfluxDB είναι γραμμένος σε GO και ενδείκνυται για τον χειρισμό δεδομένων σε χρονοσειρές. Η χρονοσειρά (time serie) είναι μία ταξινομημένη ακολουθία τιμών μίας μεταβλητής σε ίσα χρονικά διαστήματα. Οι μετρήσεις που αποτελούν μία χρονοσειρά ταξινομούνται σε ένα χρονοδιάγραμμα το οποίο αποκαλύπτει πληροφορίες μέσω των μοτίβων των τιμών των μετρήσεων. Οι περιπτώσεις χρήσης βάσης δεδομένων με χρονοσειρές είναι κυρίως τρεις. Η πρώτη αφορά την ανάλυση χρονοσειρών για την διερεύνηση την αλλαγής μίας μεταβλητής με την πάροδο του χρόνου. Η δεύτερη χρήση αφορά την ανάλυση οπισθοδρόμησης, η οποία μελετά πώς οι αλλαγές σε μία μεταβλητή μπορούν να επηρεάσουν άλλες μεταβλητές κατά την ίδια χρονική περίοδο. Παράδειγμα εφαρμογής αυτής της ανάλυσης αποτελεί η λειτουργία του δυναμικού εξαερισμού της εργασίας. Εάν η θερμοκρασία υπερβεί την τιμή που της έχουμε θέσει σαν ιδανική, τότε ενεργοποιείται ο δυναμικός εξαερισμός ο οποίος μειώνει την θερμοκρασία για να την φέρει στο κατάλληλο επίπεδο αλλά ταυτόχρονα επηρεάζει και άλλες τιμές μεταβλητών όπως την υγρασία και το επίπεδο CO2 του θερμοκηπίου. Τέλος,

η τρίτη περίπτωση χρήσης είναι η πρόβλεψη χρονοσειρών, δηλαδή η χρήση προηγούμενων τιμών και μοτίβων για την πρόβλεψη μελλοντικών δραστηριοτήτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της χρήσης αποτελεί η πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών μιας περιοχής.

Μία βάση δεδομένων με χρονοσειρές (TSDB – Time Series DataBase), όπως η InfluxDB, είναι ειδικά διαμορφωμένη για βέλτιστη λειτουργία με χρονοσειρές ή δεδομένα με χρονική σήμανση. Η εγκατάστασή της στον server έγινε με CLI του FreeBSD:

```
$ sudo pkg install influxdb
didlaz's password:
Updating FreeBSD repository catalogue...
FreeBSD repository is up to date.
All repositories are up to date.
The following 1 package(s) will be affected (of 0 checked):

New packages to be INSTALLED:
        influxdb: 1.8.0

Number of packages to be installed: 1

The process will require 138 MiB more space.
45 MiB to be downloaded.

Proceed with this action? [y/N]: y
Please type 'Y[es]' or 'N[o]' to make a selection

Proceed with this action? [y/N]: Y
[didlaz] [1/1] Fetching influxdb-1.8.0.txz: 100%   45 MiB   6.7MB/s    00:07
Checking integrity... done (0 conflicting)
[didlaz] [1/1] Installing influxdb-1.8.0...
===> Creating groups.
Creating group 'influxd' with gid '907'.
===> Creating users
Creating user 'influxd' with uid '907'.
[didlaz] [1/1] Extracting influxdb-1.8.0: 100%
$
$
```

Εικόνα 3.30 - Εγκατάσταση InfluxDB

Θέλοντας το πακέτο της InfluxDB να εκτελείται αυτόματα ως deamon από τον server, έγινε η ενεργοποίησή του με την ακόλουθη εντολή η οποία πάει στο αρχείο rc.conf και προσθέτει το influx_enable=”YES”.

```
$ sudo sysrc -f/etc/rc.conf influxd_enable="YES"
didlaz's password:
influxd_enable:  -> YES
```

Εικόνα 3.31 - InfluxDB σαν πακέτο deamon

Ορίζεται το αρχείο διαμόρφωσης της InfluxDB που βρίσκεται στην τοποθεσία /usr/local/etc και τροποποιείται με τον text editor vi για την σωστή λειτουργίας της βάσης με το σύστημα.

```
$ sudo influxd -config /usr/local/etc/influxd.conf
didlaz's password:

 8888888           .d888 888                    8888888b.  888888b.
   888            d88P"  888                    888  "Y88b 888  "88b
   888            888    888                    888    888 888  .88P
   888   88888b.  888888 888 888  888 888  888 888    888 8888888K.
   888   888 "88b 888    888 888  888  Y8bd8P' 888    888 888  "Y88b
   888   888  888 888    888 888  888   X88K   888    888 888    888
   888   888  888 888    888 Y88b 888 .d8""8b. 888  .d88P 888   d88P
 8888888 888  888 888    888  "Y88888 888  888 8888888P"  8888888P"

2020-11-09T17:53:41.277714Z     info    InfluxDB starting       {"log_id": "0QNY75
cG000", "version": "1.8.0", "branch": "unknown", "commit": "unknown"}
2020-11-09T17:53:41.277775Z     info    Go runtime      {"log_id": "0QNY75cG000",
"version": "go1.15.2", "maxprocs": 2}
run: open server: listen: listen tcp 127.0.0.1:8088: bind: address already in use
$
```

Εικόνα 3.32 - InfluxDB

```
$ sudo vi /usr/local/etc/influxd.conf
```

Εικόνα 3.33 - Εντολή vi editor για το πακέτο InfluxDB

Με την παρακάτω εντολή το πακέτο της InfluxDB ξεκινάει, αλλά όπως φαίνεται στην εικόνα έχει ήδη ξεκινήσει αφού ορίστηκε ως deamon service προηγουμένως.

```
$ sudo service influxd start
influxd already running?  (pid=2010).
```

Εικόνα 3.34 - Εκκίνηση πακέτου InfluxDB

Οι πληροφορίες του πακέτου φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

```
$ pkg info influxdb
influxdb-1.8.0
Name           : influxdb
Version        : 1.8.0
Installed on   : Mon Nov  9 18:48:24 2020 EET
Origin         : databases/influxdb
Architecture   : FreeBSD:11:amd64
Prefix         : /usr/local
Categories     : databases net-mgmt
Licenses       : MIT
Maintainer     : woodsb02@FreeBSD.org
WWW            : https://influxdata.com/
Comment        : Open-source distributed time series database
Options        :
        MANPAGES       : on
Annotations    :
        FreeBSD_version: 1104001
        repo_type      : binary
        repository     : FreeBSD
Flat size      : 138MiB
Description    :
An open-source, distributed, time series database with no external
dependencies. InfluxDB is the new home for all of your metrics,
events, and analytics.

InfluxDB is a time series, metrics, and analytics database. It'written
in Go and has no external dependencies. That means once you install
it there's nothing else to manage (like Redis, ZooKeeper, HBase,
or whatever).

InfluxDB is targeted at use cases for DevOps, metrics, sensor data,
and real-time analytics. It arose from our need for a database like
this on more than a few previous products we' built. You can read
more about our jurney from SaaS application to open source time
series database.

WWW: https://influxdata.com/
$
```

Εικόνα 3.35 - Πληροφορίες InfluxDB

Για να ξεκινήσει η διεπαφή με το shell της InfluxDB δόθηκε η παρακάτω εντολή.

```
$ influx
Connected to http://localhost:8086 version 1.8.0
InfluxDB shell version: 1.8.0
>
```

Εικόνα 3.36 - Εκκίνηση διεπαφής με InfluxDB

Δημιουργήθηκε καινούριος χρήστης για την InfluxDB και καινούρια βάση με όνομα krokosGreenhouse.

```
> CREATE DATABASE krokosGreenhouse
> SHOW DATABASES
name: databases
name
----
_internal
telegraf
krokosGreenhouse
```

Εικόνα 3.37 - Δημιουργία βάσης krokosGreenhouse

```
> CREATE USER telegraf WITH PASSWORD 'kr0k0$Gr33nh0us3'
> GRANT ALL ON telegraf TO telegraf
> SHOW USERS
user     admin
----     -----
telegraf false
>
```

Εικόνα 3.38 - Δημιουργία χρήστη telegraf

Με την ακόλουθη εντολή δίνονται δικαιώματα στον χρήστη telegraf για να μπορεί να έχει αλληλεπίδραση με την βάση krokosGreenhouse.

```
> GRANT ALL ON krokosGreenhouse TO telegraf
```

Εικόνα 3.39 - Δικαιώματα χρήστη telegraf

```
> use krokosGreenhouse
Using database krokosGreenhouse
> show measurements
name: measurements
name
----
mqtt_consumer
```

Εικόνα 3.40 - Εμφάνιση mqtt_consumer

Για την επιβεβαίωση της σωστής μεταφοράς των δεδομένων στην βάση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Time Series Admin, το οποίο προσφέρει στον χρήστη οπτικοποίηση οποιασδήποτε βάσης τύπου time series με την χρήση των queries.

select * from mqtt_consumer

Time format Date with seconds

Query results

name	tags	time (UTC)	hardware_serial	host	payload_co2	payload_hum	payload_lux	payload_out_temp	payload_soil_m	payload_temp
mqtt_consumer		2020-11-21T21:38:24Z	0004A30B002014E2	didlaz	460	64.3	0	11.29	91	10.1
mqtt_consumer		2020-11-21T22:13:30Z	0004A30B002014E2	didlaz	337	64	0	11.29	91	9.89
mqtt_consumer		2020-11-21T22:43:30Z	0004A30B002014E2	didlaz	372	64.5	0	11.29	91	9.89
mqtt_consumer		2020-11-22T10:55:58Z	0004A30B002014E2	didlaz	424	64.3	105	11.93	91	9.89
mqtt_consumer		2020-11-22T11:36:00Z	0004A30B002014E2	didlaz	384	64.19	75	11.93	91	10.9
mqtt_consumer		2020-11-22T12:06:00Z	0004A30B002014E2	didlaz	424	66.4	65	11.93	91	11.2

Εικόνα 3.41 - η βάση μέσω Time Series Admin

10.8.32.109 - PuTTY

```
1608789029877352148 0004A30B002014E2 didlaz 412    85.4    4    11.29    90    8.89    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608789331724713549 0004A30B002014E2 didlaz 404    86.8    7    11.29    90    8.8     krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608789632491110080 0004A30B002014E2 didlaz 388    87.3    8    11.29    90    9       krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608789934261020006 0004A30B002014E2 didlaz 400    87.5    42   10.96    91    8.7     krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608790235084154271 0004A30B002014E2 didlaz 412    87.6    44   10.96    90    9       krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608790536867464800 0004A30B002014E2 didlaz 404    86.1    97   10.96    90    9.2     krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608790837579044680 0004A30B002014E2 didlaz 408    85.2    137  10.96    91    9.7     krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608791139425684402 0004A30B002014E2 didlaz 392    83.1    168  10.96    90    10.3    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608791742024314294 0004A30B002014E2 didlaz 392    80.19   275  11.29    90    11.4    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608792042820145126 0004A30B002014E2 didlaz 416    78.19   306  11.29    91    11.8    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608792344646354923 0004A30B002014E2 didlaz 354    75.8    323  11.29    91    12.1    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608792947774212579 0004A30B002014E2 didlaz 424    77.5    482  11.93    91    12.7    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608793248515979474 0004A30B002014E2 didlaz 412    77      524  10.96    91    13.2    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608793550318135534 0004A30B002014E2 didlaz 384    75.1    538  11.61    91    13.6    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608793852112788229 0004A30B002014E2 didlaz 420    73.9    569  11.61    91    13.8    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608794153948281953 0004A30B002014E2 didlaz 428    72.4    608  11.61    91    14.1    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608794454722588915 0004A30B002014E2 didlaz 372    71.69   636  10.96    91    14.2    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608794756504519583 0004A30B002014E2 didlaz 396    70.19   668  11.61    91    14.3    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608795058303662249 0004A30B002014E2 didlaz 416    69.9    743  11.29    91    13.8    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608795360107762559 0004A30B002014E2 didlaz 437    71.1    1424 11.93    91    13.3    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608795962688466244 0004A30B002014E2 didlaz 400    74.3    306  11.29    91    12.6    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608796264503529162 0004A30B002014E2 didlaz 276    76      102  11.61    91    12      krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608796566314949422 0004A30B002014E2 didlaz 442    77.69   471  11.61    91    11.5    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608796867099300926 0004A30B002014E2 didlaz 412    79.69   412  11.61    90    11.7    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
1608797168936456138 0004A30B002014E2 didlaz 424    80.6    397  11.61    91    11.6    krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up
```

Εικόνα 3.42 - Η βάση μέσω PuTTY

3.3.3 Grafana

Το Grafana αποτελεί λογισμικό ανοιχτού κώδικα γραμμένο σε GO και Javascript για οπτικοποίηση μετρήσεων από οποιαδήποτε Time Series βάση δεδομένων. Παρέχει εργαλεία για την μετατροπή των δεδομένων της βάσης σε γραφήματα. Ορισμένα από τα

βασικά χαρακτηριστικά του Grafana είναι η Απεικόνιση (Visualize), η Ειδοποίηση (Alerting) και οι Δυναμικοί Πίνακες Ελέγχου (Dashboards) (Grafana documentation, n.d.).

Η τρόπος εγκατάστασης του πακέτου καθώς και η ενεργοποίησή του σαν deamon service, είναι ο ίδιος με το Telegraf και την InfluxDB.

```
$ sudo pkg install grafana
Updating FreeBSD repository catalogue...
FreeBSD repository is up to date.
All repositories are up to date.
The following 1 package(s) will be affected (of 0 checked):

New packages to be INSTALLED:
        grafana: 1.9.1

Number of packages to be installed: 1

The process will require 3 MiB more space.
562 KiB to be downloaded.

Proceed with this action? [y/N]: Y
[didlaz] [1/1] Fetching grafana-1.9.1.txz: 100%  562 KiB 575.5kB/s    00:01
Checking integrity... done (0 conflicting)
[didlaz] [1/1] Installing grafana-1.9.1...
[didlaz] [1/1] Extracting grafana-1.9.1: 100%
$ grafana
-sh: grafana: not found
$ sudo sysrc -f/etc/rc.conf grfana_enable="YES"
grfana_enable:  -> YES
$
```

Εικόνα 3.43 - Εγκατάσταση Grafana

Στην επόμενη εικόνα φαίνονται οι πληροφορίες του πακέτου.

```
$ pkg info grafana
grafana-1.9.1
Name           : grafana
Version        : 1.9.1
Installed on   : Sun Nov 22 11:21:53 2020 EET
Origin         : www/grafana
Architecture   : FreeBSD:12:amd64
Prefix         : /usr/local
Categories     : www
Licenses       : APACHE20
Maintainer     : robak@FreeBSD.org
WWW            : https://github.com/grafana/grafana
Comment        : Dashboard and graph editor for Graphite, InfluxDB & OpenTSDB
Annotations    :
        FreeBSD_version: 1201000
        repo_type      : binary
        repository     : FreeBSD
Flat size      : 3.49MiB
Description    :
Grafana is An open source, feature rich metrics dashboard
and graph editor for Graphite, InfluxDB & OpenTSDB.

WWW: https://github.com/grafana/grafana
```

Εικόνα 3.44 - Πληροφορίες Grafana

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα πακέτα που είναι εγκατεστημένα στο VM και όλες οι διαδικασίες που εκτελούνται σε αυτό. Όπως φαίνεται στην δεύτερη εικόνα, τα πακέτα Telegraf, Influxd και Grafana εκτελούνται αυτόματα ως υπηρεσίες deamon με την εκκίνηση του server.

```
$ pkg info
gettext-runtime-0.21           GNU gettext runtime libraries and programs
grafana-1.9.1                  Dashboard and graph editor for Graphite, InfluxDB
 & OpenTSDB
grafana6-6.7.4                 Dashboard and graph editor for multiple data stor
es
indexinfo-0.3.1                Utility to regenerate the GNU info page index
influxdb-1.8.0                 Open-source distributed time series database
pkg-1.15.10                    Package manager
sudo-1.9.3p1                   Allow others to run commands as root
telegraf-1.15.3                Time-series data collection
```

Εικόνα 3.45 - Πληροφορίες πακέτων του Server

```
$ ps auxw
USER       PID %CPU %MEM    VSZ    RSS TT  STAT STARTED    TIME COMMAND
root      1972  0.0  0.0  11400   2768  -  IsJ  08:09   0:00.16 /usr/sbin/syslogd -c -ss
root      2003  0.0  0.0  10844   2284  -  IsJ  08:09   0:00.00 daemon: /usr/local/bin/telegraf[2004] (daemon)
telegraf  2004  0.0  0.7 781548  52216  -  IJ   08:09   0:07.51 /usr/local/bin/telegraf --quiet --config=/usr/local/e
root      2009  0.0  0.0  11004   2424  -  IsJ  08:09   0:00.02 daemon: /usr/local/bin/influxd[2010] (daemon)
influxd   2010  0.0  2.4 945592 171776  -  IJ   08:09   2:03.20 /usr/local/bin/influxd -config=/usr/local/etc/influxd
grafana   2045  0.0  0.0  10844   2284  -  IsJ  08:09   0:00.00 daemon: /usr/local/bin/grafana-server[2046] (daemon)
grafana   2046  0.0  0.7 778844  52664  -  IJ   08:09   0:17.38 /usr/local/bin/grafana-server -config=/usr/local/etc/
root      2064  0.0  0.1  19860   8404  -  IsJ  08:09   0:00.01 /usr/sbin/sshd
root      2068  0.0  0.0  11248   2608  -  SsJ  08:09   0:00.25 /usr/sbin/cron -J 15 -s
root     12772  0.0  0.1  20400   8996  -  IsJ  13:10   0:00.05 sshd: didlaz [priv] (sshd)
didlaz   12839  0.0  0.1  20404   9048  -  IJ   13:11   0:00.08 sshd: didlaz@notty (sshd)
didlaz   12840  0.0  0.1  16528   6560  -  IsJ  13:11   0:00.01 /usr/libexec/sftp-server
root     16646  0.0  0.1  20400   9004  -  IsJ  16:07   0:00.04 sshd: didlaz [priv] (sshd)
didlaz   16649  0.0  0.1  20404   9036  -  SJ   16:08   0:00.09 sshd: didlaz@pts/0 (sshd)
root     19588  0.0  0.0  11248   2608  -  DJ   18:25   0:00.00 cron: running job (cron)
root     19592  0.0  0.0  11248   2608  -  SVJ  18:25   0:00.00 cron: running job (cron)
didlaz   16650  0.0  0.0  12000   3124  0  SsJ  16:08   0:00.01 -sh (sh)
didlaz   19612  0.0  0.0  11596   2932  0  R+J  18:25   0:00.00 ps auxw
```

Εικόνα 3.46 - Ενεργές διεργασίες του Server

Παρακάτω φαίνονται οι μετρήσεις των περιβαλλοντικών συνθηκών, που επικρατούν στο θερμοκήπιο, σε μορφή χρονογραφημάτων και πινάκων από το dashboard που δημιουργήθηκε στο Grafana. Το εύρος χρόνου των γραφημάτων είναι 7 μέρες.

Τα κενά στα γραφήματα των μετρήσεων στις 7/2/2021 οφείλεται σε διακοπή του ρεύματος στην περιοχή του Κρόκου Κοζάνης.

TEMPERATURE

Time	mean
2021-02-11 12:30:00	12.57 °
2021-02-11 12:00:00	12.78 °
2021-02-11 11:30:00	12.93 °
2021-02-11 11:00:00	13.27 °
2021-02-11 10:30:00	13.48 °
2021-02-11 10:00:00	14.15 °

1 2 3 4

Πίνακας 15 - Θερμοκρασία

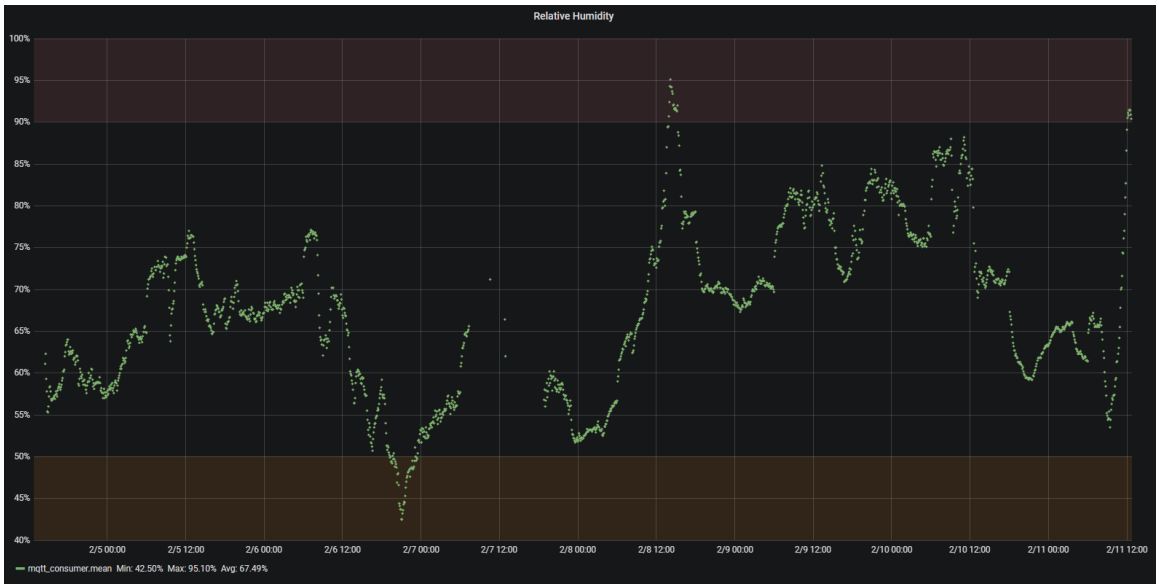
Εικόνα 3.47 - Γράφημα θερμοκρασίας

HUMIDITY	
Time	mean
2021-02-11 12:30:00	90.90 %H
2021-02-11 12:00:00	90.73 %H
2021-02-11 11:30:00	80.40 %H
2021-02-11 11:00:00	71.38 %H
2021-02-11 10:30:00	63.28 %H
2021-02-11 10:00:00	58.83 %H

1 2 3 4

Πίνακας 16 - Σχετική υγρασία

Στο παρακάτω γράφημα της σχετικής υγρασίας ατμόσφαιρας, ο λόγος για τον οποίο η τιμή υπερβαίνει το όριο του 90% είναι η βροχή. Αυτό συνέβη επειδή η μακέτα βρίσκεται κοντά σε ανοιχτό παράθυρο και έτσι οι τιμές επηρεάζονται από εξωτερικά καιρικά φαινόμενα.



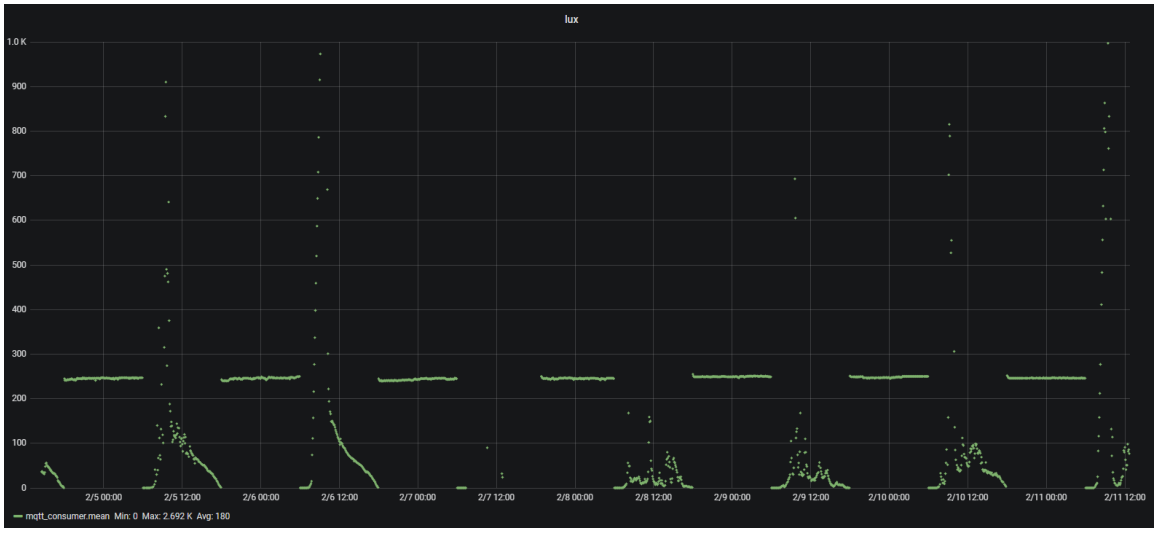
Εικόνα 3.48 - Γράφημα σχετικής υγρασίας

LUX	
Time	mean
2021-02-11 12:30:00	81.67
2021-02-11 12:00:00	65.83
2021-02-11 11:30:00	46.83
2021-02-11 11:00:00	10.33
2021-02-11 10:30:00	6.60
2021-02-11 10:00:00	45.00

1 2 3 4

Πίνακας 17 - Φωτεινότητα

Ακολουθεί το γράφημα της φωτεινότητας που έχει λάβει το φυτό στην διάρκεια μιας βδομάδας. Τα σημεία που φαίνονται σας ευθείες γραμμές είναι τα δωδεκάωρα κατά τα οποία είναι ενεργοποιημένος ο τεχνητός φωτισμός, από τις 18:00 το απόγευμα μέχρι τις 06:00 το πρωί.



Εικόνα 3.49 - Γράφημα φωτεινότητας

CO2 LEVEL

Time	mean
2021-02-11 12:30:00	406.67 ppm
2021-02-11 12:00:00	404.83 ppm
2021-02-11 11:30:00	398.67 ppm
2021-02-11 11:00:00	399.00 ppm
2021-02-11 10:30:00	409.60 ppm
2021-02-11 10:00:00	398.00 ppm

1 2 3 4

Πίνακας 18 - Επίπεδο CO2

Το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα σε παγκόσμια κλίμακα και κατά μέσο όρο κυμαίνεται κοντά στα 415 ppm, κάτι που συμβαίνει και στο εσωτερικό της μακέτας σύμφωνα με το παρακάτω γράφημα.

Εικόνα 3.50 - Γράφημα επιπέδου CO2

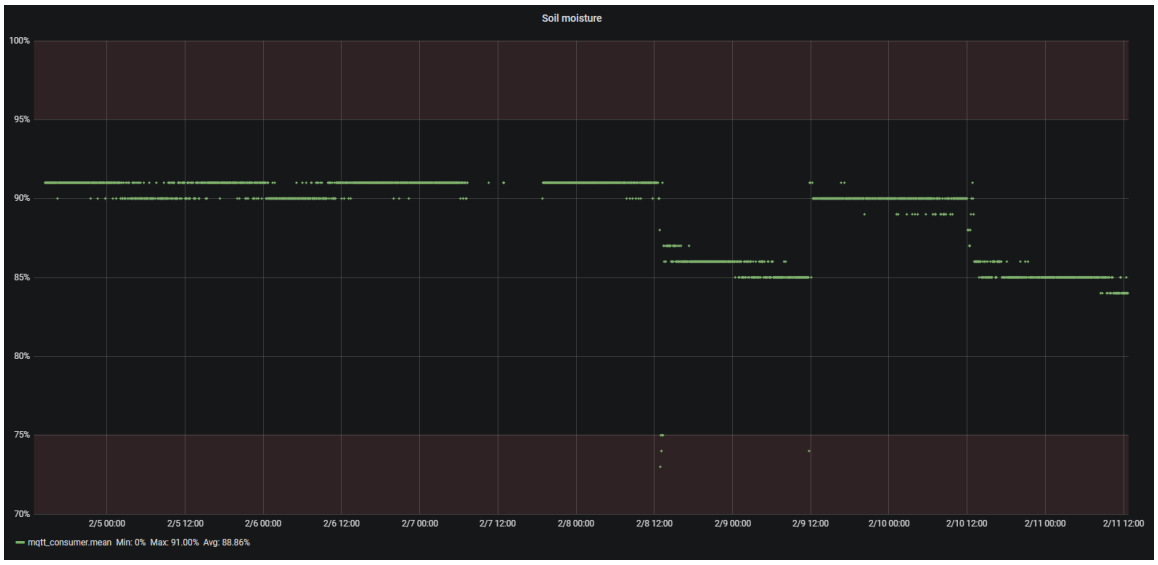
SOIL MOISTURE

Time	mean
2021-02-10 22:30:00	85.00%
2021-02-10 22:00:00	85.00%
2021-02-10 21:30:00	85.00%
2021-02-10 21:00:00	85.20%
2021-02-10 20:30:00	85.20%
2021-02-10 20:00:00	85.17%

1 2 3 4

Πίνακας 19 - Υγρασία εδάφους

Στο παρακάτω γράφημα της υγρασίας εδάφους φαίνονται τα δύο σημεία στα οποία γίνεται το αυτόματο πότισμα αφού η τιμή της υγρασίας εδάφους πέφτει κάτω από το 80%. Το πότισμα φέρνει ξανά το επίπεδο υγρασίας εδάφους κοντά στο 90%.



Εικόνα 3.51 - Γράφημα υγρασίας εδάφους

Επίλογος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν έννοιες όπως το IoT, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και η έξυπνη γεωργία. Κατόπιν, παρουσιάστηκε ο σχεδιασμός ενός συστήματος για θερμοκήπιο, το οποίο αντλεί μετρήσεις από μία σειρά αισθητήρων και αναλόγως τις συνθήκες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου εκτελεί ορισμένες λειτουργίες. Αυτές είναι το πότισμα, ο τεχνητός φωτισμός, ο δυναμικός εξαερισμός και ο φυσικός εξαερισμός.

Ισχυρό πλεονέκτημα του συστήματος, σε σχέση με υπόλοιπα που αφορούν αυτοματισμούς σε θερμοκήπια, είναι η χρήση της δικτύωσης LoRaWAN καθώς η εμβέλεια του πρωτοκόλλου αυτή είναι μεγάλη φτάνοντας δεκάδες και εκατοντάδες χιλιόμετρα απόσταση.

Το μειονέκτημα του συστήματος είναι η μακέτα του μικρού θερμοκηπίου αφού αυτή έγινε χωρίς επιστημονική μελέτη πάνω σε κατασκευές θερμοκηπίων.

Το σύστημα αποτελεί μία σχεδόν ολοκληρωμένη λύση όσον αφορά τον προγραμματισμό της πλακέτας και την απομακρυσμένη παρακολούθηση των συνθηκών που επικρατούν στο θερμοκήπιο. Παρ’ όλα αυτά, η εξέλιξή του μπορεί να είναι μεγάλη. Ακολουθούν ορισμένες μελλοντικές επεκτάσεις που μπορούν να απογειώσουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος και να καλύψουν κάθε ανάγκη των καλλιεργειών σε θερμοκήπια.

Μελλοντικές επεκτάσεις

Οι μελλοντικές επεκτάσεις και αναβαθμίσεις που μπορεί να έχει ένα σύστημα IoT είναι ιδιαίτερα πολλές και είναι αδιανόητο να αναφερθούν όλες σε αυτό το στάδιο. Η ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών φέρνει νέες προοπτικές και μεθόδους που μπορούν να προστεθούν στις ήδη υπάρχουσες και να απογειώσουν την λειτουργία οποιουδήποτε συστήματος IoT.

- **Προσθήκη ασφάλειας στην μεταφορά των δεδομένων**

Οι δυνατότητες που μας προσφέρουν οι τεχνολογίες IoT είναι μεγάλες και οι μεταφορές των δεδομένων αμέτρητες. Στην μεταφορά των δεδομένων υπάρχει πιθανότητα οι πληροφορίες που μεταδίδονται να αλλοιωθούν ή με κάποιον κακόβουλο τρόπο να φτάσουν σε λάθος χέρια. Επομένως, η ασφάλεια κατά την μεταφορά των δεδομένων αποτελεί κύριο παράγοντα ενός ορθού σχεδιασμού συστήματος IoT. Σαν μελλοντική επέκταση της εργασίας σε επίπεδο ασφάλειας προτείνεται η χρήση του mosquito broker της εταιρίας Eclipse, ο οποίος αποτελεί broker ανοιχτού κώδικα για χρήση του πρωτοκόλλου MQTT με κρυπτογράφηση TLS. Η TLS αποτελεί κρυπτογράφηση ασφαλείας για επικοινωνίες μέσω διαδικτύου και η δουλειά της είναι να κρυπτογραφεί τα δεδομένα. Ακόμη, διασφαλίζει ότι όσοι ανταλλάσσουν πληροφορίες είναι πραγματικά αυτοί που ισχυρίζονται, δηλαδή υπάρχει έλεγχος ταυτότητας των οντοτήτων που ανταλλάσσουν πληροφορίες. Τέλος, η κρυπτογράφηση TSL επαληθεύει ότι οι πληροφορίες που μεταφέρονται δεν έχουν πλαστογραφηθεί ή παραβιαστεί από τρίτους.

- **Προσθήκη περισσότερων αισθητήρων**

Η γκάμα των αισθητήρων που αντλούν περιβαλλοντικές συνθήκες είναι μεγάλη και καλύπτει κάθε πιθανή ανάγκη του καλλιεργητή. Στο παρόν σύστημα η τοποθέτηση επιπλέον αισθητήρων, με βεβαιότητα θα βοηθούσε στην περαιτέρω ανάλυση των συνθηκών στις οποίες μεγαλώνει η εκάστοτε καλλιέργεια. Ένας σημαντικός παράγοντας που μπορεί να ελεγχθεί μέσω αισθητήρα είναι το pH του χώματος και το pH του νερού ποτίσματος. Κάθε φυτό έχει τις δικές του ανάγκες σε οξύτητα νερού και χώματος και αυτό μπορεί να ελεγχθεί μέσω αισθητήρα. Επίσης, το επίπεδο πολλών αερίων που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών μπορούν να μετρηθούν από αισθητήρες, να αξιολογηθούν και να

αυξομειωθούν για την βέλτιστη ανάπτυξη και την πιθανή αποφυγή ασθενειών τους. Αέρια που επηρεάζουν την ανάπτυξη είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το οξυγόνο, το άζωτο, το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου και πολλά άλλα. Στην παρούσα εργασία το αέριο για το οποίο παίρνονται μετρήσεις είναι το διοξείδιο του άνθρακα διότι αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα για την διαδικασία της φωτοσύνθεσης των φυτών. Επιπλέον, με την προσθήκη ενός ανεμόμετρου το σύστημα έχει τη δυνατότητα να συλλέγει πληροφορίες για την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου στο εξωτερικό του θερμοκηπίου, τις οποίες μπορούμε να αξιοποιήσουμε προς όφελος των αναγκών της καλλιέργειας. Τέλος, η επέκταση του συστήματος θα μπορούσε να γίνει με χρήση κάμερας για ζωντανή μετάδοση της εικόνας από το εσωτερικό του θερμοκηπίου.

- **Προσθήκη περισσότερων λειτουργιών ρύθμισης του μικροκλίματος του θερμοκηπίου**

Η προσθήκη πρόσθετων λειτουργιών για την ρύθμιση του μικροκλίματος μέσα στο θερμοκήπιο αποτελεί κύρια μελλοντική επέκταση της εργασίας αυτής. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1.1.3 τα συστήματα αυτά ποικίλουν και μπορούν να καλύψουν οποιαδήποτε ανάγκη των φυτών. Η συγκεκριμένη επέκταση μπορεί να γίνει με την προσθήκη επιπλέον ενεργοποιητών που θα πραγματοποιούν τις λειτουργίες. Ένα σύστημα θέρμανσης με χρήση ειδικής θερμάστρας θα μπορούσε να ελέγχει την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου αυξάνοντάς την όταν είναι αναγκαίο. Ένα σύστημα θέρμανσης σε συνδυασμό με εξαερισμό μπορεί να θεωρηθεί σύστημα αφύγρανσης αφού μειώνει την υγρασία όταν χρειάζεται. Ακόμη, σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας θα μπορούσε να προστεθεί στο σύστημα με χρήση θερμοκουρτίνας η οποία συγκρατεί τον θερμό αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ελαττώνοντας τις ανάγκες της καλλιέργειας για αύξηση της θερμοκρασίας. Επίσης, για ηλιόλουστες μέρες στις οποίες η καλλιέργεια έχει λάβει όλον τον απαραίτητο φωτισμό που χρειάζεται, τα συστήματα σκίασης την προστατεύουν από υπερβολική άντληση φωτός η οποία μπορεί να επιφέρει καταστροφές σε αυτήν. Για την αύξηση της υγρασίας το σύστημα θα μπορούσε να έχει κάποια λειτουργία υδρονέφωσης με χρήση ακροφύσιων (μπεκ) τα οποία ψεκάζουν την καλλιέργεια εκτοξεύοντας υγρασία σε μορφή σταγονιδίων. Τέλος, ως μελλοντική επέκταση της εργασίας θα μπορούσαν να

προστεθούν λειτουργίες για τον εμπλουτισμό διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και για τον εμπλουτισμό του εδάφους ή του νερού ποτίσματος με θρεπτικές ουσίες.

- **Χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας**

Η χρήση ενεργοποιητών μεγάλης ισχύος δυσχεραίνει την λειτουργία συστήματος με πηγές ενέργειας όπως χρήση μπαταρίας ή ηλιακού πάνελ και αυτός ήταν ο λόγος για τον οποίο η τροφοδοσία του συγκεκριμένου συστήματος έγινε με τροφοδοτικό σταθερής τάσης. Βεβαίως, με εναλλακτικές πηγές ενέργειας έχουμε την δυνατότητα να λειτουργούμε χιλιάδες αισθητήριους κόμβους, υπεύθυνους για καταγραφή περιβαλλοντικών συνθηκών και αποστολή τους σε cloud. Το σύστημα μπορεί να αναβαθμιστεί και να βελτιωθεί όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας εάν η τροφοδοσία της αναπτυξιακής πλακέτας και των αισθητήρων γινόταν με ένα ηλιακό πάνελ καλύπτοντας με αυτόν τον τρόπο ένα από τα πιο ισχυρά χαρακτηριστικά του LoRaWAN.

- **Εφαρμογή του συστήματος σε growbox ή μεγάλων διαστάσεων θερμοκήπιο**

Το σύστημα της εργασίας εφαρμόστηκε σε μικρή μακέτα θερμοκηπίου, κατασκευασμένη με ελλιπείς γνώσεις μηχανικής και υλικών, λόγω την δυσκολίας πρόσβασης σε πραγματικό θερμοκήπιο. Έτσι, η χρήση του ενδείκνυται για εφαρμογή σε κανονικών διαστάσεων θερμοκήπιο με χρήση διαφορετικών ενεργοποιητών μεγαλύτερης ισχύος (π.χ. μοτέρ για άνοιγμα παραθύρων, ηλεκτροβάνες για πότισμα, ειδικούς λαμπτήρες για τεχνητό φωτισμό, θερμάστρες, συστήματα σκίασης, υδρωνέφωσης, εμπλουτισμού με διοξείδιο του άνθρακα και πολλά άλλα). Ακόμη, το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να έχει εφαρμογή σε άλλου τύπου εναλλακτικούς τρόπους καλλιέργειας σε κλειστό χώρο όπως είναι το growbox. Τέλος, η εφαρμογή του θα παρείχε μεγάλη συνεισφορά στην παρακολούθηση των συνθηκών ενός φυτωρίου, στο οποίο τα φυτά μεγαλώνουν μόνο για το πρώιμο στάδιο της ανάπτυξής τους και είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε κακές περιβαλλοντικές συνθήκες για αυτά.

- **Επέκταση του συστήματος σε επίπεδο εφαρμογής IoT**

Όσον αφορά το επίπεδο εφαρμογής τελικού χρήστη, το συγκεκριμένο σύστημα θα μπορούσε να επεκταθεί με την δημιουργία android και iOS εφαρμογή και την δημιουργία site όπου ο χρήστης θα μπορεί να βλέπει τις μετρήσεις αλλά και να επεμβαίνει στις λειτουργίες του συστήματος με την χρήση κουμπιών εφόσον το θεωρεί αναγκαίο.

Βιβλιογραφικές αναφορές

1-Wire. (2020, Δεκέμβριος 25). Ανάκτηση Δεκέμβριος 31, 2020, από wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/1-Wire

A technical overview of LoRa and LoRaWAN. (2015, Νοέμβριος). Ανάκτηση Νοέμβριος 22, 2020, από LoRa Alliance Inc: https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf

Actuator Mechanisms. (χ.χ.). (Creative Mechanisms) Ανάκτηση Οκτώβριος 22, 2019, από creativemechanisms: https://www.creativemechanisms.com/actuators

Agnal, S., Kapoor, K., Musfik, M., & Sharma, R. (2018, Οκτώβριος). Automated Smart Greenhouse Environment Using IoT. (IRJET, Επιμ.) India: 2018 International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).

Alkhatib, A., & Baicher, G. (2012). Wireless sensor network architecture. 2012 International Conference on Computer Networks and Communication Systems (CNCS 2012). Ανάκτηση Μάρτιος 2, 2019

Al-Kofahi, M., Chapman, C., Edison, B., Johnson, E., Harman, M., Zayyad, N., . . . Miller, W. (2016, Δεκέμβριος). Using a Microcontroller to Automate a Green House for Experiments. (U. for Promoting Ideas, Επιμ.) Baldwin City, USA: 2016 Journal of Agriculture and Life Sciences (ISSN). Ανάκτηση από www.jalsnet.com

AM2302-DHT22 documentation. (χ.χ.). Ανάκτηση Αύγουστος 25, 2019, από adafruit: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Digital+humidity+and+temperature+sensor+AM2302.pdf

Arshad, J., Saleem, S., Badar, M., Khalid, S., Mumtaz, Z., Ullah, S., . . . Madni, H. (2018, Νοέμβριος). An intelligent monitoring and controlling of greenhouse: Deployment of wireless sensor networks and internet-of-things. Pakistan. doi:10.20944/preprints201811.0215.v1

Azhar, M., Hamid, M., Irfan, M., Awais, M., Khan, U., & Zeb, A. (2019, Μάρτιος 6). Automated greenhouse system. (IEEE, Επιμ.) Islamabad, Pakistan: 2019 2nd International Conference on Communication, Computing and Digital systems (C-CODE). doi:10.1109/C-CODE.2019.8681013

Bhuvaneswari, T., & Yao, J. (2014, Δεκέμβριος 15). Automated Greenhouse. (IEEE, Επιμ.) Kuala Lumpur, Malaysia: 2014 IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation (ROMA). doi:10.1109/ROMA.2014.7295887

BioSense (Επιμ.). (χ.χ.). *Τι είναι η Έξυπνη Γεωργία;*. Ανάκτηση Αύγουστος 9, 2019, από smart-akis: https://www.smart-akis.com/index.php/el/network-el/what-is-smart-farming-el/

Bounnady, K., Sibounnavong, P., Chanthavong, K., & Saypadith, S. (2019, Ιούλιος 2). Smart Crop Cultivation Monitoring System by Using IoT. (IEEE, Επιμ.) Luang Prabang, Laos: 2019 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST). doi:10.1109/ICEAST.2019.8802584

Business guide to Industrial IoT. (χ.χ.). (i-scoop) Ανάκτηση Αύγουστος 9, 2019, από The Industrial Internet of Things (IIoT): the business guide to Industrial IoT: https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/industrial-internet-things-iiot-saving-costs-innovation/

Choi , H., Moon, B., & Kang, N. (2015, Ιούνιος 25). Effects of LED light on the production of strawberry during cultivationin a plastic greenhouse and in a growth chamber. Republic of Korea. doi:https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.022

Danita, M., Mathew, B., Shereen, N., Sharon, N., & Paul, J. (2018, Ιούνιος 14). IoT based Automated Greenhouse Monitoring System. (IEEE, Επιμ.) Madurai, India: 2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS). doi:10.1109/ICCONS.2018.8662911

Ganev, Z. (2013, Ιούνιος 26). TOPOLOGIES OF WIRELESS SENSOR NETWORKS. Bitola: 2013 International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies.

Glaroudis, D., Iossifides, A., & Chatzimisios, P. (2019, Νοέμβριος 26). Survey, Comparison and Research Challenges of IoT Application Protocols for Smart Farming. Elsevier B.V. doi:https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.107037

Grafana documentation. (χ.χ.). (Grafana Labs) Ανάκτηση Νοέμβριος 24, 2020, από Grafana Labs: https://grafana.com/docs/grafana/latest/getting-started/

Gupta, B., & Quamara, M. (2018, Σεπτεμβρίου 17). An overview of Internet of Things (IoT): Architectural aspects, challenges, and protocols. (Wiley, Επιμ.) Kurukshetra, India: Concurrency and Computation: Practice and Experience. doi:https://doi.org/10.1002/cpe.4946

Gutiérrez, E., Gutiérrez, S., Becerril, J., & Rodríguez, F. (2018, Νοέμβριος 15). Low Cost Prototype for Monitoring and Remote Control in Greenhouse for Homes. Ixtapa, Mexico: In 2018 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC). doi:10.1109/ROPEC.2018.8661433

Hassan, N., Abdullah, S., Noor, A., & Alam, M. (2015, Σεπτέμβριος 11). An Automatic Monitoring and Control System Inside Greenhouse. (IEEE, Επιμ.) Dhaka, Bangladesh: 2015 3rd International Conference on Green Energy and Technology (ICGET).

I2C bus specification and user manual. (2014, Απρίλιος 4). Ανάκτηση από NXP Semiconductors: https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf

Jayasundara, J., Herath, H., & Wanniarachchi, W. (2017, Δεκέμβριος 16). An Automated Soil and Climatic Conditions Controlling Greenhouse: A Preliminary Study. 2017 International Journal of Scientific Engineering and Technology. doi:10.5958/2277-1581.2017.00056.0

Keim, R. (2019, Μάρτιος 25). *What Is a Microcontroller*. Ανάκτηση Αύγουστος 18, 2019, από allaboutcircuits: https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/what-is-a-microcontroller-introduction-component-characteristics-component/

Khanna, A., & Kaur, S. (2018, Φεβρουάριος). Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. (Elsevier, Επιμ.) Computers and Electronics in Agriculture. doi:10.1016/j.compag.2018.12.039

Kimogol, S. (2019). Smart Farming For Emerging Economies, A LoRaWAN Based Approach. Oslo: Institute of Informatics Faculty of mathematics and natural sciences, University of Oslo.

Laktionov, I., Vovna, O., Bashkov, Y., Zori, A., & Lebediev, V. (2018, Οκτώβρης 1). Improved Computer-oriented Method for Processing of Measurement Information on Greenhouse Microclimate. Donetsk: 2019 International Journal Bioautomotion. doi:10.7546/ijba.2019.23.1.71-86

Lettuce. (2020, Νοέμβριος 23). Ανάκτηση Νοέμβριος 30, 20, από wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Lettuce

Li, G., Tang, L., Zhang, X., Dong, J., & Xiao, M. (2018, Μάρτιος 11). Factors affecting greenhouse microclimate and its regulating techniques: A review. (I. P. Ltd, Επιμ.) Barcelona, Spain: 2018 8th International Conference on Environment Science and Engineering (ICESE). doi:10.1088/1755-1315/167/1/012019

Lomax, R. (2018, Ιανουάριος 3). LED Grow Lamps for Lettuce-LUX, PPFD, Spectrums, and Growth-Observations during 2017. (ReasearchGate, Επιμ.) doi:10.13140/RG.2.2.31944.42243

LoRaWAN™ 1.1 Specification. (2017). Ανάκτηση Ιανουάριος 6, 2021, από LoRa Alliance Inc: https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawantm_specification_-v1.1.pdf

Meah, K., Forsyth, J., & Moscola, J. (2019, Ιανουάριος 10). A Smart Sensor Network for an Automated Urban Greenhouse. (IEEE, Επιμ.) 2019 International Conference on

Robotics,Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST). doi:10.1109/ICREST.2019.8644079

MG811 CO2 Sensor Module. (2019, Σεπτέμβριος 24). Ανάκτηση από Parallax: https://www.parallax.com/

Microcontroller. (χ.χ.). Ανάκτηση Αύγουστος 16, 2019, από techopedia: https://www.techopedia.com/definition/3641/microcontroller

Microcontrollers - 8051 Architecture. (χ.χ.). Ανάκτηση Αύγουστος 18, 2019, από tutorialspoint: https://www.tutorialspoint.com/microprocessor/microcontrollers_8051_architecture.htm

Microcontrollers Types & Their Applications. (χ.χ.). (Elprocus) Ανάκτηση Αύγουστος 18, 2019, από Microcontrollers – Types & Applications: https://www.elprocus.com/microcontrollers-types-and-applications/

Mitchell, D. (2019). *Internet of Things (IoT), What it is and why it matters*. (SAS, Επιμελητής) Ανάκτηση Ιανουάριος 8, 2019, από https://www.sas.com/en_za/insights/big-data/internet-of-things.html

Mohanty, N., Singh, D., Hota, A., & Kumar, S. (2019, Απρίλιος 4). Cultivation of Cash Crops under Automated Greenhouse using Internet of Things (IoT). (IEEE, Επιμ.) Chennai, India: 2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP). doi:10.1109/ICCSP.2019.8697930

P.Sarigiannidis (Επιμ.). (2019). *Πρωτόκολλα του Διαδικτύου των Πραγμάτων.* Ανάκτηση Αύγουστος 8, 2019, από Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας Τμημα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών.

postscapes, H. (Επιμ.). (χ.χ.). *What Is The "Internet of Things"?* Ανάκτηση Αύγουστος 9, 2019, από https://www.postscapes.com/what-exactly-is-the-internet-of-things-infographic/

Puranik, V., Sharmila, Ranjan, A., & Kumari, A. (2019, Απρίλιος 18). Automation in Agriculture and IoT. (IEEE, Επιμ.) Ghaziabad, India: 2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU). doi:10.1109/IoT-SIU.2019.8777619

Rajora, G. (2020, Φεβρουάριος 3). Development of a Wireless Sensor Network for agricultural monitoring for internet of things (IoT). Castelldefels School of Telecommunications and Aerospace Engineering.

Rao, K., Srijana, K., Prasad, D., & Chandrasekaran, K. (2015, Δεκέμβριος 17). Ubiquitous Greenhouse Monitoring System. (IEEE, Επιμ.) Mandya, India: 2015 International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT). doi:10.1109/ERECT.2015.7499037

Reiter, G. (2014, Ιούνιος). Wireless connectivity for the Internet of Things. (T. Instruments, Επιμ.)

Rouse, M. (2012, Ιούλιος). *sensor*. Ανάκτηση Σεπτέμβριος 1, 2019, από whatis.techtarget.com: https://whatis.techtarget.com/definition/sensor

Salikhov, R., & Zainitdinova, A. (2018, Οκτώβριος). System of Monitoring and Remote Control of Microclimate in Greenhouses. (IEEE, Επιμ.) 2018 14th International Scientific-Technical Conference APEIE. doi:10.1109/APEIE.2018.8545889

SAM D21/DA1 Family Datasheet. (χ.χ.). Ανάκτηση Ιανουάριος 3, 2021, από Microchip Technology Inc.: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/SAM_D21_DA1_Family_DataSheet_DS40001882F.pdf

Santosh, D., Tiwari, K., Singh, V., & Reddy, A. (2017). Micro Climate Control in Greenhouse. 2017 International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. doi:https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.603.199

Sensor. (χ.χ.). Ανάκτηση Σεπτέμβριος 1, 2019, από wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Sensor

Serial Peripheral Interface (SPI) User Guide. (2012). Ανάκτηση από Instuments, Texas: https://www.ti.com/

Shi, L., Li, Q., & Qian, S. (2018, Δεκέμβριος 15). Design of Greenhouse Environmental Monitoring System Based on Arduino and ZigBee. (S. N. Ltd, Επιμ.) Jiangsu, China: 2018 International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation (IWAMA). doi:https://doi.org/10.1007/978-981-13-2375-1_72

Shirsath, D., Kamble, P., Mane, R., Kolap, A., & More, R. (2017, Μάρτιος 10). IOT Based Smart Greenhouse Automation Using Arduino. 2017 International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology (IJIRCST). doi:DOI: 10.21276/ijircst.2017.5.2.4

Sibiya, M., & Sumbwanyambe, M. (2019, Ιανουάριος 28). An Embedded Fuzzy Logic Microcontroller For Plant Condition Monitoring: A Wireless Sensor Network Odyssey. (IEEE, Επιμ.) Bloemfontein, South Africa: 2019 Southern African Universities Power Engineering Conference/Robotics and Mechatronics/Pattern Recognition Association of South Africa (SAUPEC/RobMech/PRASA). doi:10.1109/RoboMech.2019.8704748

Siddiqui, M., Khan, A., Kanwal, N., Mehdi, H., Noor, A., & Khan, M. (2017, Δεκέμβριος 30). Automation and Monitoring of Greenhouse. (IEEE, Επιμ.) Karachi, Pakistan: 2017 International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT). doi:10.1109/ICICT.2017.8320190

Steve Cope. (2020, Σεπτέμβριος 10). *How MQTT Works*. Ανάκτηση Νοέμβριος 24, 2020, από http://www.steves-internet-guide.com/mqtt-works/

Taha, F., Osman, A., Awadalkareem, S., Omer, M., & Saadaldeen, R. (2018, Αύγουστος 12). A Design of a Remote Greenhouse Monitoring and Controlling System Based on Internet of Things. Khartoum, Sudan: 2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE). doi:10.1109/ICCCEEE.2018.8515866

Telegraf 1.15 documentation. (χ.χ.). Ανάκτηση Νοέμβριος 24, 2020, από InfluxData: https://docs.influxdata.com/telegraf/v1.15/

The Internet of Things. (2010, Μάρτιος 15). Ανάκτηση Αύγουστος 9, 2019, από Cortland, Suny: https://sites.google.com/a/cortland.edu/the-internet-of-things/

Tzounis, A., Katsoulas, N., & Bartzanas, T. (2017, Δεκέμβριος). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. (E. Ltd, Επιμ.) Volos, Greece. doi:10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007

Vimal, P., & Shivaprakasha, K. (2017, Ιούλιος 6). IOT Based Greenhouse Environment Monitoring and Controlling System using Arduino Platform. (IEEE, Επιμ.) Kannur, India: 2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT). doi:10.1109/ICICICT1.2017.8342795

Wan, Z., Song, Y., & Cao, Z. (2019, Μάρτιος 15). Environment Dynamic Monitoring and Remote Control of Greenhouse with ESP8266 NodeMCU. (IEEE, Επιμ.) Chengdu, China: 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC). doi:10.1109/ITNEC.2019.8729519

Wireless sensor network. (χ.χ.). Ανάκτηση Αύγουστος 13, 2019, από wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network

Θερμοκήπια. (χ.χ.). Ανάκτηση Αύγουστος 13, 2019, από Α.Ε. Γεωθερμική: http://www.geotherm.gr/

Μιχαήλ, Χ. (χ.χ.). Ρύθμιση συνθηκών ατμόσφαιρας θερμοκηπίου. (Υ. Γ. Περιβάλλοντος, Επιμ.) ΑΓΡΟΚΥΠΡΟΣ. Ανάκτηση από http://www.moa.gov.cy/moa/agrokypros.nsf/0/A45BA8C2DBAD49FFC2257A280042374A/$file/RY8MISH%20SYN8HKON%20PERIBALLONTOS%208ERMOKHPIOU.pdf

Σπυρίδων, Γ. Ν. (2015). Γεωργία ακριβείας. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράματα και Βοηθήματα.

Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίων. (χ.χ.). Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Ανάκτηση Αύγουστος 13, 2019, από https://www.aua.gr/ekk/wp-content/uploads/2017/01/ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ-ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ-1.pdf

Χ. Κώτσιος, pcsteps. (2017, Αύγουστος 25). *Τι Είναι Το Internet Of Things (IoT) Και Πώς Αλλάζει Ήδη Τη Ζωή Μας*. Ανάκτηση 8 9, 2019, από Pcsteps: https://www.pcsteps.gr/213103-τι-είναι-το-internet-of-things-iot-smart-home/

Παράρτημα Α

Ο κώδικας της αναπτυξιακής πλακέτας sodaq explorer στο πρόγραμμα Arduino IDE:

```
#include <Sodaq_RN2483.h>

#include <Sodaq_wdt.h>

#include <DHT.h>

#include <CO2Sensor.h>

#include <Adafruit_Sensor.h>

#include <Adafruit_TSL2561_U.h>

#include <Wire.h>

#include "RTClib.h"

#include <Stepper.h>

#define CONSOLE_STREAM  SerialUSB

#define LORA_STREAM     Serial2

#define LORA_RESET_PIN  LORA_RESET

#define FORCE_FULL_JOIN 0

#define LORA_PORT       1

static const uint8_t APP_EUI[8] = { 0x70, 0xB3, 0xD5, 0x7E, 0xD0, 0x03, 0x70, 0x66 };

static const uint8_t APP_KEY[16] = { 0x29, 0x98, 0xC6, 0xF2, 0xE5, 0x49, 0x0B, 0x43,
0x0C, 0x4C, 0xC9, 0xD9, 0x51, 0x55, 0x75, 0x89 };

#define DHTPIN 0

#define DHTTYPE DHT22

int soil_sensor = A1;

int soil_power = 1;
```

```
int fans = 6;

int pump = 7;

int blue = 10;

int red = 11;

float hum;

float temp;

int co2;

int lux;

long soil_m;

long soil_m_temp;

unsigned long previousMillisDynVertON=0;

unsigned long previousMillisPhyVertON=0;

unsigned long previousMillisGETdata=0;

bool pumpState=LOW;

bool dynVertState=LOW;

bool phyVertState=LOW;

bool ledState=LOW;

const int steps = 2038;

void configureFloraSensor();

void watering();

void wateringOFF();

void dynVert();
```

```
void phyVert();

void lightning();

void lightningOFF();

RTC_DS3231 rtc;

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

CO2Sensor co2Sensor(A0, 0.99, 100);

Adafruit_TSL2561_Unified tsl = Adafruit_TSL2561_Unified(TSL2561_ADDR_FLOAT,
12345);

Stepper side = Stepper(steps, 2, 4, 3, 5);

Stepper roof = Stepper(steps, 8, 12, 9, 13);


void setup() {

  while((!CONSOLE_STREAM) && (millis()<10000));

  if (! rtc.begin()) {

    SerialUSB.println("Couldn't find RTC");

    SerialUSB.flush();

    abort();

  }

  if (rtc.lostPower()) {

    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));

  }

  pinMode(red, OUTPUT);
```

```
  digitalWrite(red, HIGH);
  pinMode(blue, OUTPUT);
  digitalWrite(blue, HIGH);
  pinMode(fans, OUTPUT);
  digitalWrite(fans, HIGH);
  pinMode(pump, OUTPUT);
  digitalWrite(pump, HIGH);
  pinMode(soil_power, OUTPUT);
  digitalWrite(soil_power, LOW);
  dht.begin();
  side.setSpeed(10);
  roof.setSpeed(10);
  LORA_STREAM.begin(LoRaBee.getDefaultBaudRate());
    LoRaBee.setDiag(CONSOLE_STREAM);
  if (FORCE_FULL_JOIN || !LoRaBee.initResume(LORA_STREAM,
LORA_RESET_PIN)) {
      LoRaBee.init(LORA_STREAM, LORA_RESET_PIN, true, true);
      uint8_t eui[8];
      if (LoRaBee.getHWEUI(eui, sizeof(eui)) != 8) { return; }
      if (!LoRaBee.initOTA(eui, APP_EUI, APP_KEY, false)) { return; }
    }
}
```

```
void loop() {
  unsigned long currentMillisGETdata=millis();   //5 min
  if((currentMillisGETdata-previousMillisGETdata) >= (300000)) {
    previousMillisGETdata=currentMillisGETdata;
    co2Sensor.calibrate();
    configureFloraSensor();
    byte data[10];
    char dnbuf[16]; // get frame counters
    char upbuf[16];
    LoRaBee.getMacParam("dnctr", dnbuf, 16);
    LoRaBee.getMacParam("upctr", upbuf, 16);
    CONSOLE_STREAM.print("Downlink frame counter: ");
    CONSOLE_STREAM.println(dnbuf);
    CONSOLE_STREAM.print("Uplink frame counter: ");
    CONSOLE_STREAM.println(upbuf);
    CONSOLE_STREAM.println("Sending test message...");
    //soil moisture sensor
    digitalWrite(soil_power, HIGH);
    soil_m_temp = analogRead(soil_sensor);
    digitalWrite(soil_power, LOW);
    soil_m = map(soil_m_temp, 0, 898, 0, 100);
    //DHT22
```

```
  hum = dht.readHumidity();
  temp = dht.readTemperature();
  int16_t int_temp = (int16_t)(temp * 100);
  int16_t int_hum = (int16_t)(hum * 100);
  //MG_811 CO2 sensor
  int co2 = co2Sensor.read();
  //Adafruit lux sensor
  sensors_event_t event;
  tsl.getEvent(&event);
  lux = event.light;
  data[0] = int_temp >> 8;
  data[1] = int_temp & 0xFF;
  data[2] = int_hum >> 8;
  data[3] = int_hum & 0xFF;
  data[4] = soil_m >> 8;
  data[5] = soil_m & 0xFF;
  data[6] = lux >> 8;
  data[7] = lux & 0xFF;
  data[8] = co2 >> 8;
  data[9] = co2 & 0xFF;
  uint8_t i = LoRaBee.send(LORA_PORT, data, sizeof(data));
}
```

```
//Ελεγχος για πότισμα
if ((soil_m<80) && (pumpState==LOW)) {
    watering();
    sodaq_wdt_safe_delay(10000);
    wateringOFF();
}
  //Ελεγχος για δυναμικό εξαερισμό
if (((temp>15) || (hum>80)) && (dynVertState==LOW)) {
    dynVert();
  }
  if (dynVertState == HIGH) {
    unsigned long currentMillisDynVertON=millis();        //20min
    if ((currentMillisDynVertON - previousMillisDynVertON) >= (2700000)) {
      previousMillisDynVertON=millis();
      digitalWrite(fans, HIGH);
      side.step(steps/4);
      dynVertState=LOW;
    }
  }
   //Ελεγχος για φυσικό εξαερισμό
  if ((co2<450) && (phyVertState==LOW)) {
    phyVert();
```

```
    }
    if (phyVertState == HIGH) {
      unsigned long currentMillisPhyVertON=millis();
      if ((currentMillisPhyVertON – previousMillisPhyVertON) >= (2700000)) {
        previousMillisPhyVertON=millis();
        roof.step(steps/4);
        phyVertState=LOW;
      }
    }
    //Ελεγχος για φωτισμό
    DateTime now = rtc.now();
    int time_temp= now.hour();
    if ((time_temp==18) && (ledState==LOW)) {
      lightning();
    }
    if ((time_temp==6) && (ledState==HIGH)) {
      lightningOFF();
    }
}
void watering() {
  digitalWrite(pump, LOW);
  pumpState=HIGH;
```

```
}
void wateringOFF() {
  digitalWrite(pump, HIGH);
  pumpState=LOW;
}
void dynVert() {
  digitalWrite(fans, LOW);
  side.step(steps/4);
  dynVertState=HIGH;
  previousMillisDynVertON=millis();
}
void phyVert() {
  roof.step(steps/4);
  phyVertState=HIGH;
  previousMillisPhyVertON=millis();
}
void lightning() {
  digitalWrite(blue, LOW);
  digitalWrite(red, LOW);
  ledState=HIGH;
}
void lightningOFF() {
```

```
  digitalWrite(blue, HIGH);
  digitalWrite(red, HIGH);
  ledState=LOW;
}
void configureFloraSensor(void) {
  tsl.enableAutoRange(true);
  tsl.setIntegrationTime(TSL2561_INTEGRATIONTIME_13MS);
}
```

Παράρτημα Β

Τα περιεχόμενα του αρχείου telegraf.conf:

```
[agent]

flush_interval = "15s"

interval = "15s"

logfile = "/var/log/telegraf/telegraf.log"


[[inputs.mqtt_consumer]]

servers = ["tcp://eu.thethings.network:1883"]

qos = 0

connection_timeout = "30s"

topics = [ "krokos_greenhouse/devices/explorer_krokos_greenhouse/up" ]

client_id = "ttn"

username = "krokos_greenhouse"

password = "ttn-account-v2.FN5JBUhK2SZXfX5JkmRSeOXLQ8r6KJOjaQPfCx4vVEw"

data_format = "json"

json_query="{krokos_greenhouse,explorer_krokos_greenhouse,hardware_serial,\"payload\":payload_fields}"

json_name_key="krokos_greenhouse"

tag_keys=["explorer_krokos_greenhouse","hardware_serial"]


[[outputs.influxdb]]
```

```
database = "krokosGreenhouse"

urls = ["http://localhost:8086"]

username = "telegraf"

password = "**********"
```