



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Φοιτητής: Φοίβος-Βασίλειος Γαρπόζης
ΑΜ: 50106801

Επιβλέπων

Διονύσης Κανδρός
Καθηγητής
ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS
ENGINEERING

Diploma Thesis

Design and development of an automated system for the acquisition, transmission and processing of data for agricultural applications



Student: Foivos-Vasileios Garpozis
Registration Number: 50106801

Supervisor

Dionisis Kandris
Professor

ATHENS-EGALEO, JUNE 2022

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Διονύσης Κανδρής, Καθηγητής	Ευάγγελος Βαλαμόντες, Καθηγητής	Γεώργιος Πάτσης, Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Φοίβος-Βασίλειος Γαρπόζης, Ιούνιος, 2022

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 τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοίβος-Βασίλειος Γαρπόζης του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 50106801 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Ο Δηλών
Φοίβος-Βασίλειος Γαρπόζης



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Διονύση Κανδρή για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και την καθοδήγηση κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Ευχαριστώ την οικογένεια μου για τη διαρκή υποστήριξη και την βοήθεια στην σύνταξη και στην εννοιολογική σημασία του κειμένου. Ευχαριστίες οφείλω, στον συμφοιτητή μου Απόστολο Παπανικολάου για την σημαντική βοήθεια στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που προέκυψαν κατά τη διάρκεια υλοποίησης του παρόντος project.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία ασχολείται σε θεωρητικό και πρακτικό επίπεδο με τη γεωργία ακριβείας. Αναφέρονται γενικά θέματα που σχετίζονται με τη γεωργία ακριβείας, όπως είναι η αναγκαιότητά της και οι εφαρμογές της, καθώς επίσης και οι τεχνολογίες IoT που χρησιμοποιούνται, δίνοντας περισσότερο έμφαση στην τεχνολογία LoRa και στο πρωτόκολλο LoRaWAN.

Στο πρακτικό επίπεδο της εργασίας κατασκευάστηκε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων, μέσω της τεχνολογίας LoRa. Το όλο σύστημα προσαρμόστηκε κατάλληλα σε ένα φυτό και τροφοδοτήθηκε με ένα φωτοβολταϊκό powerbank.

Για την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων από το φυτό, χρησιμοποιήθηκε ένας μικροελεγκτής με τους κατάλληλους αισθητήρες. Τα δεδομένα αυτά μεταδόθηκαν ασύρματα σε έναν μικροϋπολογιστή. Ο μικροϋπολογιστής συνδέθηκε με το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο LoRaWAN και μέσω του εργαλείου προγραμματισμού Node-RED, πραγματοποιήθηκε αυτόματα η αποθήκευση, η επεξεργασία και η επίβλεψη των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Επίσης, μέσω του Node-RED, στάλθηκαν δεδομένα πίσω στον μικροελεγκτή, με σκοπό τον απομακρυσμένο έλεγχο, την αυτοματοποίηση του ποτίσματος του φυτού και την εξισορρόπηση της θερμοκρασία, για τη βέλτιστη ανάπτυξη του φυτού.

Όλα μαζί διέπουν ένα IoT σύστημα, όπου παρέχει τις ιδανικές συνθήκες για την ικανοποίηση των αναγκών ενός φυτού, εξοικονομώντας ενέργεια και νερό, χωρίς την παρέμβαση ανθρώπινου δυναμικού.

Λέξεις – κλειδιά

Πρωτόκολλο LoRa, Γεωργία ακριβείας, Διαδίκτυο των Πραγμάτων, LoRa Gateway, Arduino, Raspberry Pi, Node-RED, Αισθητήρες, The Things Network, Ασύρματη επικοινωνία.

Abstract

This paper deals with precision agriculture on a theoretical and practical level. General topics related to precision agriculture are mentioned, such as its necessity and applications, as well as the IoT technologies used, with more emphasis on LoRa technology and the LoRaWAN protocol.

At the practical level of the work, an automated system for data collection, transmission and processing was built using LoRa technology. The whole system was suitably adapted to a plant and powered by a photovoltaic powerbank.

A microcontroller with appropriate sensors was used to collect the necessary data from the plant. This data was transmitted wirelessly to a microcomputer. The microcomputer was connected to the LoRaWAN telecommunication network and through the Node-RED programming tool, the data was automatically stored, processed and monitored in real time.

Also, through Node-RED, data was sent back to the microcontroller for remote control, automation of plant watering and temperature balancing for optimal plant growth.

All together they govern an IoT system, where it provides the ideal conditions to meet a plant's needs, saving energy and water, without human intervention.

Keywords

LoRa Protocol, Precision agriculture, Internet of Things, LoRa Gateway, Arduino, Raspberry Pi, Node-RED, Sensors, The Things Network, Wireless communication.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων	11
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	18
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	20
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	20
Σκοπός και στόχοι	20
Μεθοδολογία	21
Καινοτομία	22
Δομή	22
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Γεωργία Ακριβείας και η Αναγκαιότητα Εφαρμογής της.....	23
1.1 Εισαγωγή.....	23
1.2 Παραδοσιακή Γεωργία.....	23
1.3 Γεωργία Ακριβείας	24
1.4 Αναγκαιότητα της Σύγχρονης Γεωργίας	25
1.5 Εφαρμογές Σύγχρονης Γεωργίας.....	25
1.5.1 Καλλιέργεια Βαμβακιού.....	26
1.5.2 Καλλιέργεια Σιτηρών.....	26
1.5.3 Οπωρώνας μήλων.....	27
1.5.4 Εφαρμογή σε καλλιέργειες ελιάς.....	27
1.5.5 Εφαρμογή στην παρακολούθηση βοοειδών	28
1.5.6 Έξυπνη γεωργία σε θερμοκήπιο.....	28
1.6 Συστήματα και Αισθητήρες στη Γεωργία Ακριβείας	29
1.6.1 Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (Global Positioning System - GPS)	29
1.6.2 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems - GIS) ...	29
1.6.3 Συστήματα Μεταβλητών Εφαρμογών (Variable-Rate Application - VRA).....	29
1.6.4 Συστήματα Παρακολούθησης Αποδόσεων (Yield Monitoring Systems-YMS).....	30
1.6.5 Τηλεπισκόπηση.....	30
1.6.6 Αισθητήρες Καλλιιεργειών Εδάφους.....	31
1.6.7 N-Tester	31
1.7 Αυτοματοποιημένα Συστήματα Πλοήγησης	32
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και η Τεχνολογία LoRa	33
2.1 Εισαγωγή	33
2.2 Διαδίκτυο Των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT)	33
2.3 Η τεχνολογία LoRa και το ανοιχτό πρωτόκολλο LoRaWAN	34
2.4 Κλάσεις Συσκευών.....	35
2.4.1 Συσκευές LoRa κατηγορίας A (Class A).....	36
2.4.2 Συσκευές LoRa κατηγορίας B (Class B)	36
2.4.3 Συσκευές LoRa κατηγορίας C (Class C).....	37
2.5 The Things Network	37
2.6 Οι Μικροελεγκτές και η Χρησιμότητα τους στα IoT.....	38
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Κατασκευή και Χρήση του Αυτοματοποιημένου Συστήματος Άρδευσης	40
3.1 Εισαγωγή.....	40
3.2 Βασικός Εξοπλισμός	40
3.2.1 Έξυπνο Φυτό.....	40
3.2.1.1 Arduino Nano.....	41
3.2.1.2 LoRa Module RFM95W.....	42
3.2.1.3 Αισθητήρας Θερμοκρασίας & Υγρασίας.....	43
3.2.1.4 Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους.....	44
3.2.1.5 Αισθητήρας Φωτός.....	45

3.2.1.6 Αισθητήρας Στάθμης Νερού.....	45
3.2.1.7 Αντλία Νερού.....	46
3.2.1.8 DC Ανεμιστήρας	47
3.2.1.9 BJT Transistor	48
3.2.2 Φωτοβολταϊκό Powerbank.....	49
3.2.2.1 Μπαταρίες Λιθίου.....	49
3.2.2.2 Φωτοβολταϊκά Πάνελ.....	50
3.2.2.3 DC-DC Boost Converter	51
3.2.2.4 Πλακέτα Φόρτισης Μπαταριών Λιθίου CN3065.....	52
3.2.3 LoRa Gateway	53
3.2.3.1 Raspberry Pi	53
3.2.3.2 LoRaWAN Concentrator	55
3.2.4 3D Printer.....	56
3.3 Περαιτέρω Εργαλεία και Υλικά	58
3.3.1 Εξαρτήματα	58
3.3.2 Εργαλεία.....	58
3.3.3 Κόστος Υλικών και Εξαρτημάτων	58
3.4 Προγράμματα.....	59
3.4.1 Arduino IDE	59
3.4.2 EAGLE.....	59
3.4.3 Node-Red.....	60
3.4.4 PuTTY	60
3.4.5 SketchUp	60
3.5 LoRa Node.....	61
3.5.1 Module Adapter Plate	61
3.5.2 Κεραία	61
3.5.3 Σύνδεση Arduino με RFM95W.....	62
3.5.4 Καταχώρηση του LoRa Node στο TTN	64
3.5.5 Προγραμματισμός Arduino	66
3.5.6 Επεξήγηση του κώδικα	70
3.6 LoRa Gateway.....	73
3.6.1 Raspberry Pi Set Up.....	74
3.6.1.1 Εγκατάσταση Λογισμικού.....	74
3.6.1.2 Χειρισμός εξ' αποστάσεως του Raspberry Pi	74
3.6.1.3 Δημιουργία σταθερής IP διεύθυνσης	75
3.6.2 LoRaWAN Concentrator Set Up	76
3.6.2.1 Σύνδεση του Concentrator με το Raspberry Pi.....	76
3.6.2.2 Εγκατάσταση λογισμικού και καταχώρηση στο TTN	77
3.6.3 Καταχώρηση του LoRa Gateway στο TTN	78
3.7 Έλεγχος Επικοινωνίας μεταξύ LoRa Node με Gateway	81
3.8 Αποκωδικοποίηση Μηνύματος	83
3.9 Σύνδεση Αισθητήρων	84
3.9.1 Συνδεσμολογία με Arduino.....	84
3.9.2 Προσαρμογή του Κώδικα κατόπιν Σύνδεσης Αισθητήρων.....	87
3.9.3 Προσαρμογή Αποκωδικοποίησης	94
3.10 Επικοινωνία του TTN με το Node-Red.....	95
3.10.1 Εγκατάσταση Node-red στο Raspberry Pi.....	96
3.10.2 Ενσωμάτωση TTN στο Node-Red	97
3.10.3 Απεικόνιση Δεδομένων	98
3.10.4 Αποθήκευση Δεδομένων.....	101
3.10.5 Αποστολή Δεδομένων στο Έξυπνο φυτό	103

3.10.5.1	Ενεργοποίηση της Αντλίας Νερού.....	103
3.10.5.2	Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση Ανεμιστήρα DC	106
3.10.6	Αποστολή Email	108
3.11	Κατασκευή Φωτοβολταϊκού Powerbank	112
3.11.1	Συνδεσμολογία Powerbank	113
3.11.2	Συνδεσμολογία Φωτοβολταϊκών	115
3.12	3D Εκτυπώσεις.....	117
3.12.1	Σχεδίαση	117
3.12.2	Διαδικασία Εκτύπωσης	118
3.13	Προσαρμογή Ηλεκτρονικών Εξαρτημάτων με 3D Αντικειμένων	119
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : Λειτουργία Συστήματος και Απεικόνιση Αποτελεσμάτων.....	123
4.1	Εισαγωγή.....	123
4.2	Διαδικασία Επικοινωνίας και Σύνδεσης με το Δίκτυο	123
4.3	Παρακολούθηση Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο	124
4.4	Ειδοποιήσεις και Λειτουργία Αντλίας Νερού και Ανεμιστήρα	125
4.5	Ειδοποίηση και Μεταβολή Στάθμης Νερού.....	128
4.6	Απεικόνιση Αποτελεσμάτων	128
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : Επίλογος	131
5.1	Εισαγωγή	131
5.2	Σύνοψη Εργασίας.....	131
5.3	Προβλήματα και Αντιμετώπιση	131
5.3.1	Τροφοδοσία Έξυπνου Φυτού.....	131
5.3.2	Φόρτωση Κώδικα στο Arduino Nano	132
5.3.3	Βιβλιοθήκη και Συνδεσμολογία Arduino με RFM95W	132
5.3.4	Μέθοδος Ενεργοποίησης.....	133
5.3.5	Κατασκευή δικάναλου Gateway	134
5.3.6	Χειρισμός Εξ αποστάσεως	135
5.3.7	Απενεργοποιημένο Node-Red	137
5.3.8	Άσκοπη Αποστολή Δεδομένων	137
5.4	Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις.....	139
5.4.1	Συμπεράσματα Μετρήσεων Απόδοσης Φωτοβολταϊκού Powerbank	139
5.4.2	Αποτελέσματα Διαγραμμάτων	140
5.4.3	Δυσλειτουργία Αισθητήρων	142
5.4.4	Μετάδοση Πακέτων Δεδομένων	144
5.4.5	Ασφάλεια LoRaWAN.....	146
5.4.6	TTN και Περιορισμοί.....	147
5.5	Προτάσεις Μελλοντικής Εξέλιξης.....	147
5.5.1	Αυτόματο Θερμοκήπιο.....	148
5.5.2	Αυτόματο Σύστημα Πυρόσβεσης.....	150
5.5.3	Επιπρόσθετοι Αισθητήρες	150
5.5.4	Αντιμετώπιση Οξείδωσης Αισθητήρων και Διάρκεια Τροφοδοσίας LoRa Node.....	154
5.5.5	Δημιουργία Εικονικού Server και ChirpStack	155
5.5.5.1	Okeanos	155
5.5.5.2	ChirpStack.....	155
5.5.6	WSN και Εφαρμογή του Project σε Αγροκαλλιέργειες	156
5.5.7	5G και LoRaWAN.....	157
5.5.8	Ρομποτική, Τεχνητή Νοημοσύνη και Γεωργία	158
6	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές	160

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 - Διαδικασία οργώματος (Νάκκα, n.d.).....	23
Εικόνα 1.2 - Στάδια βιομηχανικής επανάστασης (prin.gr, n.d.).....	24
Εικόνα 1.3 - Γεωργία ακριβείας. (Precision Agriculture stock illustrations).....	24
Εικόνα 1.4 - (α) Περιεκτικότητα άμμου στο έδαφος με διαφορά 2 έτη.	26
Εικόνα 1.5 -Ετήσιο ποσοστό παραγωγής για 4 χρόνια. (Φουντάς & Γέμτος, 2015)	26
Εικόνα 1.6 - (α) Τιμές βαθμού παραγωγής σιτηρών (β) Χάρτης υγρασίας των σιτηρών (Φουντάς & Γέμτος, 2015).....	27
Εικόνα 1.7 - Χαρτογράφηση ποσοστού παραγωγής μήλων σε διάρκεια 3 ετών (Φουντάς & Γέμτος, 2015)	27
Εικόνα 1.8 - Χάρτης ποιότητας καρπών. Από δεξιά: χρώμα καρπού, διαλυτά στέρεα, συνεκτικότητα σάρκας και μέγεθος καρπού (Φουντάς & Γέμτος, 2015).....	27
Εικόνα 1.9 - (α) Χάρτης εφαρμογής καλίου – φωσφόρου (β) Χάρτης εφαρμογής ασβέστης (Φουντάς & Γέμτος, 2015).....	28
Εικόνα 1.10 - Έξυπνο θερμοκήπιο (naftemporiki, 2021).....	29
Εικόνα 1.11 - Παράδειγμα λειτουργίας ενός VRA (Χαρού, Farmacon.gr, 2016).....	30
Εικόνα 1.12 - Παράδειγμα Συστήματος παρακολούθησης αποδόσεων (Χαρού, Farmacon.gr, 2016)	30
Εικόνα 1.13 - Προβολή δορυφορικής εικόνας, με μέρος αυτής επεξεργασμένη με την μέθοδο της τηλεπισκόπησης (Χαρού, Farmacon.gr, 2016)	31
Εικόνα 1.14 - Αισθητήρας εδάφους Sensoterra. (Σοφός, 2020)	31
Εικόνα 1.15 - N-Tester χειρός (FarmStore.eu)	Error! Bookmark not defined.
Εικόνα 2.1 – Στάδια από την σύνδεση των πραγμάτων και των συσκευών, στις ανθρώπινων αξίες (i-scoop.eu n.d.).....	33
Εικόνα 2.2 - Παράδειγμα εύρους ζώνης και απόστασης πρωτοκόλλου LoRa (CETech, lorawan gateways tutorial lora LoraWAN What are LoRaWAN gateways? 2020)	34
Εικόνα 2.3 - Μεταφορά δεδομένων από τα LoRa nodes στο Gateway και αντίστροφα (Ruotsalainen 2018)	35
Εικόνα 2.4 - Παράθυρα λήψης συσκευών κατηγορίας A (thethingsnetwork, Device Classes n.d.)	36
Εικόνα 2.5 - Παράθυρα λήψης συσκευών κατηγορίας B (thethingsnetwork, Device Classes n.d.).....	37
Εικόνα 2.6 - Παράθυρα λήψης συσκευών κατηγορίας C (thethingsnetwork, Device Classes n.d.)	37
Εικόνα 2.7 - (α) Παγκόσμιος χάρτης (β) χάρτης Ελλάδος, όπου εμφανίζονται τα Gateways, που είναι συνδεδεμένα με το TTN (thethingsnetwork n.d.)	38
Εικόνα 3.1 - Έξυπνο Φυτό.....	41
Εικόνα 3.2 - Arduino Nano (hwlibre, n.d.)	41
Εικόνα 3.3 – (α) Arduino Nano Pinout (β) Arduino Nano ICSP (CIRCUITSTODAY, n.d.).....	42
Εικόνα 3.4 – (α) LoRa Module RFM95W (hoperf, n.d.) (β) Pin Diagram (cdn.sparkfun).....	42
Εικόνα 3.5 - Αλληλουχία μετάδοσης και λήψης δεδομένων από και προς το μόντεμ LoRaTM (cdn.sparkfun).....	43
Εικόνα 3.6 - DHT11 αισθητήρας θερμοκρασίας & υγρασίας (Mobilefish, LoRa/LoRaWAN tutorial 26: Sending Sensor Data To The Things Network)	43
Εικόνα 3.7 - Αντίσταση pull up (Mobilefish, LoRa/LoRaWAN tutorial 26: Sending Sensor Data To The Things Network).....	44
Εικόνα 3.8 - Αισθητήρας υγρασίας εδάφους (grobotronics, n.d.)	44
Εικόνα 3.9 - Φωτοαντίσταση LDR (grobotronics, Photo Resistor LDR 5mm, n.d.).....	45

Εικόνα 3.10 - Αισθητήρας στάθμης νερού (lastminuteengineers, water-level-sensor-arduino-tutorial, n.d.).....	46
Εικόνα 3.11 - DC Αντλία Νερού (PotentialLabs, n.d.).....	46
Εικόνα 3.12 - DC κινητήρας (gatestechzone, n.d.).....	47
Εικόνα 3.13 - DC Ανεμιστήρας 5V (grobotronics, DC Fan 40x40x10mm 5V , n.d.)	47
Εικόνα 3.14 - NPN Transistor 2N2222A (grobotronics, Transistor NPN 800mA - 2N2222A, n.d.)...	48
Εικόνα 3.15 - Λειτουργία του NPN BJT Transistor (Computing, n.d.).....	48
Εικόνα 3.16 - Φωτοβολταϊκό Powerbank.....	49
Εικόνα 3.17 - Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου 18650 των 3.7V, 7800mAh (AliExpress, n.d.)..	49
Εικόνα 3.18 - Λειτουργία μπαταρίας λιθίου (institute, n.d.).....	50
Εικόνα 3.19 - Μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πάνελ 5V, 1.25W (AliExpress, LEORY Hot 5V 1.25W 250mA Mini Monocrystalline Solar Panel Silicon Epoxy , n.d.)	50
Εικόνα 3.20 - DC-DC Boost Converter 2A 5-56V (cableworks, High Voltage DC-DC Boost Converter 2A 5-56V, n.d.)	51
Εικόνα 3.21 - Λειτουργία του converter όταν ο διακόπτης είναι κλειστός (ON) (components, n.d.).	51
Εικόνα 3.22 - Λειτουργία του converter όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός (OFF) (components, n.d.)	52
Εικόνα 3.23 - Πλακέτα φόρτισης μπαταριών λιθίου CN3065 (zipy, n.d.)	52
Εικόνα 3.24 - Συνδέσεις εισόδου και εξόδου για την πλακέτα φόρτισης μπαταριών λιθίου CN3065 (zipy, n.d.)	52
Εικόνα 3.25 - LoRa Gateway	53
Εικόνα 3.26 - Raspberry Pi 4 Model B 2GB RAM (grobotronics, Raspberry Pi 4 - Model B - 2GB, n.d.).....	53
Εικόνα 3.27 - Raspeberry Pi 4 Model B pin out (community.element14, n.d.).....	54
Εικόνα 3.28 - 10 channels - LoRaWAN GPS Concentrator for Raspberry Pi (Dragino)	55
Εικόνα 3.29 - Δομή του συστήματος PG1301 (Dragino)	56
Εικόνα 3.30 - Creality3D Ender-3 Pro (Creality3D Ender-3 Pro, n.d.).....	56
Εικόνα 3.31 - Real filament ABS (Real Filament ABS 1.75mm Black 1kg, n.d.).....	57
Εικόνα 3.32 - Κουτί απομόνωσης θερμοκρασίας για Ender-3 pro.....	57
Εικόνα 3.33 - Arduino IDE logo (arduino.cc, n.d.)	59
Εικόνα 3.34 - Eagle logo (autodesk, n.d.)	59
Εικόνα 3.35 - Node-RED logo (nodered, n.d.)	60
Εικόνα 3.36- PuTTY logo (sussex.ac, n.d.)	60
Εικόνα 3.37 - SketchUp logo (wikipedia, SketchUp, n.d.).....	61
Εικόνα 3.38 - Προσαρμογή PCB με RFM95W	61
Εικόνα 3.39 - Σύνδεση κεραίας.....	62
Εικόνα 3.40 - Διάγραμμα Συνδεσμολογίας RFM95W με Arduino.....	63
Εικόνα 3.41 - Συνδεσμολογία RFM95W με Arduino	63
Εικόνα 3.42 - Συγχρονισμός μεταξύ Αφέντη και Σκλάβου.....	64
Εικόνα 3.43 - Δημιουργία λογαριασμού στο TTN (https://www.thethingsnetwork.org/)	65
Εικόνα 3.44 - Δημιουργία εφαρμογής στο TTN (https://www.thethingsnetwork.org/).....	65
Εικόνα 3.45 – Καταχώρηση της συσκευής (https://www.thethingsnetwork.org/).....	66
Εικόνα 3.46- Ενσωμάτωση βιβλιοθήκης MCCI_LoRaWAN_LMIC_library.zip	67
Εικόνα 3.47 - Μεθοδολογία OTAA (Mobilefish, LoRa/LoRaWAN tutorial 21: OTAA, ABP and LoRaWAN Security, n.d.)	68
Εικόνα 3.48 - Μεθοδολογία ABP (Mobilefish, LoRa/LoRaWAN tutorial 21: OTAA, ABP and LoRaWAN Security, n.d.)	68

Εικόνα 3.49 - Επιλογής μεθόδου ενεργοποίησης OTAA.	69	
Εικόνα 3.50 - Μετατροπή κωδικών σε lsb και msb (https://www.mobilefish.com/download/lora/eui_key_converter.html).....	69	
Εικόνα 3.51 - Αντικατάσταση των τροποποιημένων κωδικών στον κώδικα ttn-otaa.	70	
Εικόνα 3.52 - Τροποποίηση του Pin mapping του κώδικα ttn-otaa.....	70	
Εικόνα 3.53 - Πληροφορίες σχετικά με την IP του router.	74	
Εικόνα 3.54 – Πληροφορίες σχετικά με την IP του Raspberry Pi.....	75	
Εικόνα 3.55 - Σύνδεση PuTTY με Raspberry Pi.....	75	
Εικόνα 3.56 - Αναζήτηση IP domain.....	75	
Εικόνα 3.57 - Αρχείο dhcpcd.....	76	
Εικόνα 3.58 - Concentrator PG1301, Raspberry Pi, Σύνδεση PG1301 με Raspberry Pi..	77	
Εικόνα 3.59 - Σύνδεση κεραίας	Εικόνα 3.60 - Σύνδεση ανεμιστήρα DC	77
Εικόνα 3.61 - Ενεργοποίηση SPI.	78	
Εικόνα 3.62 – Έλεγχος αναγνώρισης GPIO.....	78	
Εικόνα 3.63 – Εγκατάσταση GPIO.	78	
Εικόνα 3.64 – Έλεγχος αναγνώρισης GPIO.....	79	
Εικόνα 3.65 - Gateway ID.	79	
Εικόνα 3.66 - Καταχώρηση Gateway στο TTN.....	80	
Εικόνα 3.67 - Λήψη του αρχείου προώθησης πακέτων.	80	
Εικόνα 3.68 - Εγκατάσταση πακέτου προώθησης.	80	
Εικόνα 3.69 – Αντικατάσταση Gateway ID.....	80	
Εικόνα 3.70 - Αντικατάσταση διεύθυνσης του server.	80	
Εικόνα 3.71 - Σύνδεση Gateway με TTN. (https://eu1.cloud.thethings.network/console/gateways/fivos-10channels-gateway)	81	
Εικόνα 3.72 - Επιλογή πλακέτας.....	81	
Εικόνα 3.73 - Επιλογή μικροεπεξεργαστή.	82	
Εικόνα 3.74 - Επιλογή πόρτας.....	82	
Εικόνα 3.75 - Μεταφόρτωση του κώδικα.....	82	
Εικόνα 3.76 - Λήψη κωδικοποιημένου μηνύματος στο TTN.....	83	
Εικόνα 3.77 - Αποκωδικοποιημένο μήνυμα.....	83	
Εικόνα 3.78 - Συνδεσμολογία αισθητήρων και εξαρτημάτων με το LoRa Node.....	85	
Εικόνα 3.79 - Συνδεσμολογία αισθητήρων και εξαρτημάτων με το LoRa Node.....	86	
Εικόνα 3.80 - Λήψη και εγκατάσταση αρχείου DHTLib.	87	
Εικόνα 3.81 - Δεδομένα στο serial port του Arduino.....	95	
Εικόνα 3.82 - Απεικόνιση δεδομένων στο TTN σε πραγματικό χρόνο.....	95	
Εικόνα 3.83 - Επικοινωνία Node-RED με TTN και TTN με LoRa Node (nootropicdesign, n.d.).....	96	
Εικόνα 3.84 - Εγκατάσταση Node-RED στο Raspberry Pi.....	96	
Εικόνα 3.85 – MQTT integration στο TTN.	97	
Εικόνα 3.86 – Σύνδεση μεταξύ Node-RED και TTN.	97	
Εικόνα 3.87 - Αντιγραφή των απαραίτητων στοιχείων στο mqtt node, για την επίτευξη της επικοινωνίας μεταξύ Node-RED και TTN.....	98	
Εικόνα 3.88 - (α) Επιτυχής σύνδεση, (β) Επιτυχής μεταφορά δεδομένων..	98	
Εικόνα 3.89 - Σύνδεση του “json node”.	99	
Εικόνα 3.90 - Νέα απεικόνιση των δεδομένων.	99	
Εικόνα 3.91 - Αντιγραφή ‘path’ (soil moist)	99	
Εικόνα 3.92 - Μεταφορά path στο chart.....	100	

Εικόνα 3.93 - Απεικόνιση δεδομένων υγρασίας εδάφους σε πραγματικό χρόνο.	100
Εικόνα 3.94 - Ροές εντολών για την απεικόνιση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.	101
Εικόνα 3.95 - Ρυθμίσεις για το csv node.	102
Εικόνα 3.96 - Ρυθμίσεις για το file node.	102
Εικόνα 3.97 - Ροές εντολών για την αποθήκευση των δεδομένων.....	103
Εικόνα 3.98- Ρυθμίσεις του switch node.	104
Εικόνα 3.99 - Ρυθμίσεις για το trigger node.	104
Εικόνα 3.100 - Απεικόνιση ενεργοποίησης αντλίας.	104
Εικόνα 3.101 - Ρυθμίσεις για την σύνδεση του mqtt out με το TTN.....	106
Εικόνα 3.102 - Ροές εντολών για την ενεργοποίηση της αντλίας.....	106
Εικόνα 3.103 - Ρυθμίσεις για το switch node.....	107
Εικόνα 3.104 - Συνάρτηση μετατροπής κωδικοποιημένου μηνύματος για fport= 2 και τιμής 01. ...	107
Εικόνα 3.105 - Συνάρτηση μετατροπής κωδικοποιημένου μηνύματος για fport= 2 και τιμής 00	107
Εικόνα 3.106 - Απεικόνιση ενεργοποίησης/απενεργοποίησης ανεμιστήρα.....	108
Εικόνα 3.107 - Ροές εντολών για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση του ανεμιστήρα.....	108
Εικόνα 3.108 - Πρόσβαση του Node-RED στον λογαριασμό.....	109
Εικόνα 3.109 - Κωδικός πρόσβασης του Node-RED στον λογαριασμό.	109
Εικόνα 3.110 - Σύνδεση Node-RED με λογαριασμό email.	110
Εικόνα 3.111 - Ροές εντολών για την αποστολή email, κατά την ενεργοποίηση της αντλίας.	110
Εικόνα 3.112 - Μηνύματα ενεργοποίησης/απενεργοποίησης ανεμιστήρα στο function node.....	111
Εικόνα 3.113 - Ροές εντολών για την αποστολή email ενεργοποίησής/απενεργοποίησης ανεμιστήρα.	111
Εικόνα 3.114 - Function node όπου γίνεται ο έλεγχος της στάθμης.	111
Εικόνα 3.115 - Switch node, άμα το msg.payload είναι ίσο με 1, τότε στέλνει το μήνυμα.	112
Εικόνα 3.116 - Function node με το μήνυμα που πρόκειται να σταλθεί.	112
Εικόνα 3.117 -Ροές εντολών για την αποστολή email, στην περίπτωση άδειου δοχείου.....	112
Εικόνα 3.118 - Φωτοβολταϊκό powerbank.....	112
Εικόνα 3.119 - Συνδεσμολογία εξαρτημάτων για την κατασκευή powerbank.	113
Εικόνα 3.120 -Σύνδεση μπαταριών, CN3065 και boost converter.	113
Εικόνα 3.121 - Σύνδεση LED, διόδων και διακόπτη.	114
Εικόνα 3.122 - Διάγραμμα πτώσης τάσης κυκλώματος ένδειξης ενέργειας.	114
Εικόνα 3.123 - Τελική συνδεσμολογία εξαρτημάτων για την κατασκευή του powerbank.....	115
Εικόνα 3.124 - Συνδεσμολογία φωτοβολταϊκών.	115
Εικόνα 3.125 - Σύνδεση διόδου στο πάνελ.	116
Εικόνα 3.126 - Παράλληλη σύνδεση φωτοβολταϊκών πάνελ.	116
Εικόνα 3.127 -Ενσωμάτωση του φωτοβολταϊκού συστήματος, πάνω στο κομμάτι υφάσματος.	116
Εικόνα 3.128 - Σύνδεση φωτοβολταϊκών με powerbank.	116
Εικόνα 3.129 - (α) Σχεδιασμός θήκης Gateway, (β) Σχεδιασμός θηκών αισθητήρων.....	117
Εικόνα 3.130 – (α) Σχεδιασμός θήκης έξυπνου φυτού (β) Σχεδιασμός θήκης Powerbank.	117
Εικόνα 3.131 - Ρύθμιση g-code στο Ultimaker Cura.....	118
Εικόνα 3.132 - Διαδικασία 3D εκτύπωσης θήκης αυτοματοποιημένου συστήματος άρδευσης.	118
Εικόνα 3.133 - Αποτέλεσμα εκτύπωσης.....	119
Εικόνα 3.134 - Σύνδεση RF95W με Arduino.....	119
Εικόνα 3.135 - Συγκόλληση water level sensor στο δοχείο.	119
Εικόνα 3.136 - Ένωση αντλίας νερού με δοχείου.	120
Εικόνα 3.137 - Τοποθέτηση καλωδίων στην εσοχή του κυλίνδρου.....	120

Εικόνα 3.138 - Σύνδεση εξαρτημάτων και καλωδίων στο Arduino και τοποθέτηση καλωδίων στην τρύπα της βάσης και του δοχείου.	121
Εικόνα 3.139 - Τοποθέτηση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων στην βάση του δοχείου.	121
Εικόνα 3.140 -Σύνδεση καλωδίων και τοποθέτηση θηκών προστασίας στους αισθητήρες.	121
Εικόνα 3.141 - Τοποθέτηση ανεμιστήρα στο πλεξιγκλάς και σύνδεση με Arduino.....	122
Εικόνα 3.142 - Τοποθέτηση θήκης κεραίας στην βάση του δοχείου.	122
Εικόνα 3.143 - Μεταφύτευση φυτού στο εκτυπωμένο δοχείο.....	122
Εικόνα 4.1 - Απεικόνιση στο TTN των μηνυμάτων που λαμβάνονται από το Gateway.....	123
Εικόνα 4.2 - Απεικόνιση στο TTN της διαδικασίας σύνδεσης με το δίκτυο και του uplink μηνύματος.	123
Εικόνα 4.3 - Απεικόνιση στο TTN της διεύθυνσης από 'που το Gateway έλαβε το μήνυμα.....	124
Εικόνα 4.4 - Απεικόνιση δεδομένων στο Serial port του Arduino.	124
Εικόνα 4.5 - Απεικόνιση δεδομένων στο TTN.....	125
Εικόνα 4.6 - Παρατήρηση διαγραμμάτων σε πραγματικό χρόνο	125
Εικόνα 4.7 - Ειδοποιητήρια email ενεργοποίησης ανεμιστήρα και αντλίας νερού.....	126
Εικόνα 4.8 - Αποστολή εντολής ενεργοποίησης ανεμιστήρα και αντλίας από το TTN στο έξυπνο φυτό.	126
Εικόνα 4.9 - Απεικόνιση του διαγράμματος και της ενεργοποίησης του ανεμιστήρα σε πραγματικό χρόνο.....	126
Εικόνα 4.10 - Απεικόνιση του διαγράμματος της υγρασίας εδάφους, την στιγμή ενεργοποίησης τις αντλίας νερού σε πραγματικό χρόνο.....	127
Εικόνα 4.11 - Ειδοποιητήριο email απενεργοποίησης ανεμιστήρα.	127
Εικόνα 4.12 - Αποστολή εντολής απενεργοποίησης ανεμιστήρα από το TTN στο έξυπνο φυτό.....	127
Εικόνα 4.13 - Απεικόνιση του διαγράμματος της απενεργοποίησης του ανεμιστήρα σε πραγματικό χρόνο.....	127
Εικόνα 4.14 - Ειδοποιητήριο email άδειου δοχείου.	128
Εικόνα 4.15 – Απεικόνιση στο TTN, το ποσοστό της στάθμης νερού στο δοχείο.	128
Εικόνα 4.16 - Προσθήκη νερού στο δοχείο του έξυπνου φυτού.	128
Εικόνα 4.17 - Απεικόνιση στο TTN της μεταβολής τιμής της στάθμης νερού.....	128
Εικόνα 4.18 - Διάγραμμα θερμοκρασίας ατμόσφαιρας.	129
Εικόνα 4.19 - Διάγραμμα υγρασίας ατμόσφαιρας.....	129
Εικόνα 4.20 - Διάγραμμα υγρασίας χώματος.....	129
Εικόνα 4.21 - Διάγραμμα φωτεινότητας.	129
Εικόνα 4.22 - Διάγραμμα στάθμης νερού.....	130
Εικόνα 5.1 - Σφάλμα κατά την μεταφόρτωση του κώδικα στο Arduino Nano.	132
Εικόνα 5.2 - Επιλογή σωστής έκδοσης μικροεπεξεργαστή.	132
Εικόνα 5.3 - Σφάλμα κατά την επικοινωνία του Arduino με το LoRa module.....	133
Εικόνα 5.4 - Μήνυμα, για την μη διαθεσιμότητα της βιβλιοθήκης arduino-Imic-master (matthijskooijman, 2020).	133
Εικόνα 5.5- Νέο σφάλμα κατά την επικοινωνία του Arduino με το LoRa module.....	133
Εικόνα 5.6 - Σύνδεση Raspberry Pi με LoRa modules (transceiver και receiver).....	135
Εικόνα 5.7 - Ανεπιτυχής αναγνώριση του transceiver (LoRa module).	135
Εικόνα 5.8 – απεικόνιση IP διεύθυνσης του router.	136
Εικόνα 5.9 - Διευθύνσεις IP και κατανομή σε κλάσεις (Πατρικάκης)	136
Εικόνα 5.10 - Συνάρτηση στον κώδικα του Arduino, για ενεργοποίηση του ανεμιστήρα.....	137

Εικόνα 5.11 - Συνάρτηση στο 'function node' του Node-RED, για την ενεργοποίηση του ανεμιστήρα.	137
Εικόνα 5.12 - Συνάρτηση στο 'function node' του Node-RED, για την απενεργοποίηση του ανεμιστήρα.	138
Εικόνα 5.13 - Συνάρτηση στον κώδικα του Arduino, για απενεργοποίηση του ανεμιστήρα.	138
Εικόνα 5.14 - Ειδοποιητήρια email ενεργοποίησης ανεμιστήρα και αντλίας νερού.	Error! Bookmark not defined.
Εικόνα 5.15 - Απεικόνιση τιμής της θερμοκρασίας, την στιγμή ενεργοποίησης (20/1, 15:30) και απενεργοποίησης (20/1, 17:31) του ανεμιστήρα.	140
Εικόνα 5.16 - Απεικόνιση τιμής της υγρασίας εδάφους την στιγμή ενεργοποίησης (20/1, 15:30) της αντλίας νερού.	141
Εικόνα 5.17 - Συμπεριφορά του διαγράμματος υγρασίας εδάφους, κατά την ενεργοποίηση της αντλίας νερού.	141
Εικόνα 5.18 - Παρατήρηση διαγράμματος υγρασίας εδάφους, την χρονική περίοδο, όπου η υγρασία της ατμόσφαιρας ήταν αρκετά υψηλή.	142
Εικόνα 5.19 - Παρατεταμένη αποστολή ειδοποιητικών email.	142
Εικόνα 5.20 - Διάγραμμα υγρασίας εδάφους στο Node-RED, για τις χρονικές στιγμές που στάλθηκαν τα email ενεργοποίησης της αντλίας.	143
Εικόνα 5.21 - Οξείδωση αισθητήρα υγρασίας χρώματος και στάθμης νερού.	143
Εικόνα 5.22 - Διάγραμμα στάθμης νερού στο Node-RED, όπου η στάθμη νερού είναι μονίμως κάτω του 35%.	144
Εικόνα 5.23 - Διάγραμμα υγρασίας εδάφους, όπου απεικονίζεται η αναποτελεσματικότητα του αισθητήρα μετά από πέντε ημέρες.	144
Εικόνα 5.24 - Διάγραμμα υγρασίας εδάφους, όπου απεικονίζεται η αναποτελεσματικότητα του αισθητήρα μετά από πέντε ημέρες.	144
Εικόνα 5.25 - Απεικόνιση από google maps, των τεσσάρων σημείων και του Gateway.	145
Εικόνα 5.26 - Απεικόνιση από google maps, της ελάχιστης απόσταση (150m) ενός σημείου.	145
Εικόνα 5.27 - Απεικόνιση από google maps, της μέγιστης απόσταση (190m) ενός δεύτερου σημείου	146
Εικόνα 5.28 - Επίπεδα και διαδικασία κρυπτογράφησης. (GEMALTO, 2017)	147
Εικόνα 5.29 - Αυτόματος μηχανισμός ανοίγματος παραθύρου. (BrightProjects, 2016)	148
Εικόνα 5.30 - Πίνακας LED ανάπτυξης φυτών. (GreatScott!)	149
Εικόνα 5.31 - MagI³C-LDHM LED Step Down High Current Module. (GreatScott!)	149
Εικόνα 5.32 - Διάγραμμα κυκλώματος της μονάδας MagI³C-LDHM LED, όπου απεικονίζεται ο ακροδέκτης DIM. (GreatScott!)	150
Εικόνα 5.33 - αισθητήρας φλόγας υπέρυθρης ακτινοβολίας IR. (pcbboard.ca)	150
Εικόνα 5.34 - Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος με αισθητήρες θερμοκρασίας LMT84. (Daskalakis, 2017)	151
Εικόνα 5.35 - αισθητήρας υγρασίας εδάφους VH400. (Vegetronix)	152
Εικόνα 5.36 - Διαδικασία λειτουργίας ασύρματων αισθητήρων Soil Scout. (Soilscout)	152
Εικόνα 5.37 - Αισθητήρας βροχής (ProjectHub, How to Use a Rain Sensor)	153
Εικόνα 5.38- PIR Αισθητήρας Κίνησης. (ProjectHub, PIR Motion Sensor: How to Use PIRs w/ Arduino & Raspberry Pi)	153
Εικόνα 5.39 - Αισθητήρας pH. (DebasisParida)	154
Εικόνα 5.40 -Σχεδιασμός της γυάλινης ράβδου. (DebasisParida)	154
Εικόνα 5.41 - Okeanos logo. (okeanos, n.d.)	155

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Εικόνα 5.42 - ChirpStack logo. (ChirpStack, n.d.)	155
Εικόνα 5.43 – Αρχιτεκτονική του ChirpStack. (ChirpStack, n.d.).....	156
Εικόνα 5.44 - Αρχιτεκτονική ενός WSN δικτύου. (e-HealthSystems, 2016).....	157
Εικόνα 5.45 - 12V DC ελεγχόμενη βαλβίδα νερού.....	157
Εικόνα 5.46 - Ψεκασμός καλλιέργειας, μέσω drone. (Gonzalez, 2020).....	158
Εικόνα 5.47 - Αυτόνομο ρομπότ, κατά την συγκομιδή. (Wang, 2022)	159

Αλφαβητικό Ευρετήριο

ABP: Activation By Personalization
ADC: Analog to Digital Converter
AES: Advanced Encryption Standard
AI: Artificial Intelligence
API: Application Programming Interface
ARM: Advanced RISC Machines
AVR: Automatic Voltage Regulator
AWS: Amazon Web Services
BJT: Bipolar Junction Transistor
Bush: Bourne Again Shell
CAD: Computer-Aided Design
CAM: Computer-Aided Manufacturing
CPU: Central Processing Unit
DC: Direct Current
EC2: Elastic Compute Cloud
EDA: Electronic Design Automation
FET: Field Effect Transistor
GIS: Geographic Information System
GPIO: General-Purpose Input/Output
GPS: Global Positioning System
HDMI: High-Definition Multimedia Interface
IDE: Integrated Development Environment
ICSP: In Circuit Serial Programming
IoT: Internet of Things
LAN: Local Area Network
LED: Light-Emitting Diode
LDR: Light Dependent Resistor
LoRa: Long Range
LSB: least significant bit
MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MQTT: Message Queueing Telemetry Transport
MSB: most significant bit
NPN: Negative Positive Negative
OTAA: Over The Air Activation

PCB: Printed Circuit Board

PEAT: Progressive Environmental & Agricultural Technologies

PIR: Passive Infrared

PNP: Positive Negative Positive

PoE: Power over Ethernet

PWM: Pulse Width Modulation

RAM: Random-Access Memory

SBC: Single Board Computer

SPI: Serial Peripheral Interface

TCP/IP: Transmission Control Protocol/ /Internet Protocol

TTN: The Things Network

USB: Universal Serial Bus

VM: Virtual Machine

VRA: Variable-Rate Application

WSN: Wireless Sensor Network

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα, η γεωργία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι στην ζωή του ανθρώπου. Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια των φυτών έχουν εκσυγχρονιστεί και εξελίσσονται συνεχώς με ραγδαίους ρυθμούς. Στον 21^ο αιώνα, μηχανές, συσκευές, αισθητήρες και άνθρωποι, έχουν τη δυνατότητα να συνδέονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί η γεωργία ακριβείας.

Μερικές από τις εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας εφαρμόζονται σε καλλιέργειες βαμβακιού, σιταριού, μήλων και ελιάς, αλλά και σε αυτοματοποιημένα θερμοκήπια. Για την εφαρμογή τους, χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα, όπως GPS, GIS, VRA και YMS, συστήματα τηλεπισκόπησης, όπως επίσης και ασύρματοι αισθητήρες οι οποίοι μετρούν τη φωτεινότητα του ήλιου, τη θερμοκρασία και την υγρασία των φύλλων και της ατμόσφαιρας, την υγρασία του χώματος, το pH και την πυκνότητα του εδάφους.

Όλα τα συστήματα και οι αισθητήρες που συγκροτούν την γεωργία ακριβείας, αποτελούν κομμάτι του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Στη σημερινή εποχή το IoT χρησιμοποιείται σε διάφορες συσκευές, είτε σε καθημερινές δραστηριότητες, είτε στη βιομηχανία. Αποτελείται από ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων συσκευών και αντικειμένων, με σκοπό να διευκολύνει την καθημερινότητα του ανθρώπου.

Το IoT αποτελείται από διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται συνήθως στη γεωργία ακριβείας είναι το LoRa, καθώς προσφέρει χαμηλή κατανάλωση ισχύος και δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης, με το ασύρματο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο LoRaWAN, παρέχεται η δυνατότητα στις συνδεδεμένες συσκευές να επικοινωνούν σε μεγάλη εμβέλεια, με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης bit.

Το The Things Network (TTN) αποτελεί μια παγκόσμια ανοιχτή πλατφόρμα που δημιουργεί δίκτυα και συσκευές, χρησιμοποιώντας το LoRaWAN.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση και ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές, μέσω του πρωτοκόλλου LoRa και IoT τεχνολογιών. Το αντικείμενο αυτό έχει ενδιαφέρον διότι η συνεχής ζήτηση τροφίμων, η κλιματική αλλαγή, η αύξηση της λειψυδρίας και η μείωση της καλλιεργήσιμης γης καθιστούν τη γεωργία ακριβείας απαραίτητη.

Επίσης, η αυτοματοποίηση της γεωργίας με χρήση IoT τεχνολογιών, αποτελεί σημαντικό θέμα στην σημερινή εποχή, καθώς η πρόσβαση σε τεχνολογία αισθητήρων, η συνδεσιμότητα μέσω του “Cloud”, οι πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους και η τεχνητή νοημοσύνη, βρίσκονται παντού τόσο στην προσωπική ζωή του ανθρώπου όσο και στον τομέα της βιομηχανίας παγκοσμίως.

Επιπλέον, άλλος ένας λόγος που καθιστά επίκαιρο το θέμα της εργασίας είναι η χρήση της τεχνολογίας LoRa και LoRaWAN, η οποία επεκτείνεται με ραγδαίους ρυθμούς, κυρίως στην γεωργική βιομηχανία και στις μετεωρολογικές υπηρεσίες.

Σκοπός και στόχοι

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δυνατότητα επίβλεψης, σε πραγματικό χρόνο, των συνθηκών ανάπτυξης ενός φυτού, αλλά και η ικανότητα αυτοματοποίησης της διαδικασίας συντήρησης του φυτού με τον βέλτιστο τρόπο.

Έχει ως στόχο τη δημιουργία ιδανικών συνθηκών περιβάλλοντος του φυτού, για την βέλτιστη ανάπτυξή του και την ικανοποίηση των αναγκών του. Επιπλέον, με την εφαρμογή IoT τεχνολογιών, δικτύων, πλατφορμών και προγραμματιστικών εργαλείων, δίνεται η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου και αυτοματοποίησης λειτουργιών χωρίς την ύπαρξη ανθρώπινου δυναμικού.

Μεθοδολογία

Για την εκπόνηση της διπλωματικής ακολουθήθηκαν πέντε βασικά βήματα.

Στο πρώτο βήμα, πραγματοποιήθηκε μία εκτεταμένη έρευνα στο διαδίκτυο, γενικά για την γεωργία ακριβείας, τα IoT και το πρωτόκολλο LoRa, όπου συγκεντρώθηκε η απαιτούμενη βιβλιογραφία, η οποία αποτελείται από επιστημονικές δημοσιεύσεις, άρθρα και βίντεο.

Στο δεύτερο βήμα, πραγματοποιήθηκε αναζήτηση σχετικών project και υλοποιήσεων, δωρεάν λογισμικών και ανοιχτών πλατφορμών, τιμών υλικών και εξαρτημάτων. Παρατηρήθηκε ότι δεν υφίστανται αρκετά project σχετικά με την γεωργία ακριβείας και το LoRa. Επομένως, αποφασίστηκε να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα, που θα συνδυάζει διάφορες μεμονωμένες τεχνολογίες. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε περισυλλογή διαφόρων project που αφορούσαν τον αυτοματισμό στη γεωργία, την χρήση αισθητήρων και μικροελεγκτών, τη συλλογή και την επεξεργασία δεδομένων, την επικοινωνία συσκευών μέσω LoRa και LoRaWAN, τον έλεγχο συστημάτων μέσω του προγραμματιστικού εργαλείου NodeRED και τον σχεδιασμό και τη δημιουργία 3D μοντέλων. Με τις πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ένα σύστημα, το οποίο περιλαμβάνει όλα τα παραπάνω.

Στο τρίτο βήμα, πραγματοποιήθηκε η αγορά των απαραίτητων υλικών και εξαρτημάτων για την κατασκευή του LoRa Node και του LoRa Gateway. Αρχικά, συνδέθηκε το LoRa module στον μικροελεγκτή, προγραμματίστηκε κατάλληλα ο μικροελεγκτής και καταχωρήθηκε στο TTN.

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ο χειρισμός του μικροϋπολογιστή εξ αποστάσεως από τον υπολογιστή. Συνδέθηκαν οι ακροδέκτες του μικροϋπολογιστή με το LoRaWAN Concentrator, εγκαταστάθηκε το απαραίτητο λογισμικό και καταχωρήθηκε στο TTN. Ελέγχθηκε η επικοινωνία του Node με του Gateway και αποκωδικοποιήθηκαν τα μηνύματα που λάμβανε το Gateway. Συνδέθηκαν οι αισθητήρες στο LoRa Node και τροποποιήθηκε κατάλληλα ο κώδικας και η αποκωδικοποίηση των δεδομένων.

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε η επικοινωνία του TTN με το Node-Red, εγκαταστάθηκε το Node-Red στον μικροϋπολογιστή και δημιουργήθηκαν σ' αυτό οι απαραίτητες ροές εντολών που αφορούν την απεικόνιση, την αποθήκευση και την αποστολή δεδομένων, τη λειτουργία της αντλίας νερού και του ανεμιστήρα και την αποστολή Email.

Τέλος, κατασκευάστηκε ένα φωτοβολταϊκό powerbank για να τροφοδοτεί το LoRa Node. Σχεδιάστηκαν και εκτυπώθηκαν θήκες μέσω 3D εκτυπωτή, για την προστασία και την προσαρμογή όλων των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων

Στο τέταρτο βήμα, αφού ελέγχθηκε η λειτουργία του συστήματος, πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή του συστήματος, μέσω του οποίου λήφθηκαν, μεταδόθηκαν και επεξεργάστηκαν τα δεδομένα ενός εβδομάδου. Παρουσιάστηκε η διαδικασία επικοινωνίας του έξυπνου φυτού με το Gateway και η σύνδεσή τους με το δίκτυο. Η απεικόνιση και η παρακολούθηση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι ειδοποιήσεις που στάλθηκαν μέσω email.

Στο πέμπτο βήμα, καταγράφηκαν όλα τα προβλήματα που προέκυψαν κατά την υλοποίηση και την κατασκευή του project, καθώς και η διαδικασία επίλυσής τους. Στην συνέχεια σημειώθηκαν τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις, ενώ ολοκληρώνοντας την εργασία, παρουσιάστηκαν μερικές προτάσεις για την εξέλιξη του project.

Καινοτομία

Η καινοτομία της διπλωματικής σχετίζεται με την απομακρυσμένη επικοινωνία μηχανών, την αυτοματοποίηση γεωργικών εφαρμογών και τον απομακρυσμένο έλεγχο, επίβλεψη και ανάλυση δεδομένων και συστημάτων σε πραγματικό χρόνο. Όλα αυτά, βρίσκονται κάτω από την ομπρέλα της IoT τεχνολογίας, η οποία αναπτύσσεται και επεκτείνεται με ραγδαίους ρυθμούς στην εποχή της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης.

Δομή

Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια γενική περιγραφή για την παραδοσιακή γεωργία και την γεωργία ακριβείας, περιγράφεται η αναγκαιότητά της, μερικές εφαρμογές της, τα συστήματα και οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στο IoT και στους μικροελεγκτές που χρησιμοποιούνται, στην τεχνολογία LoRa και στις κλάσεις συσκευών του, στο πρωτόκολλο LoRaWAN και στην πλατφόρμα TTN.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία κατασκευής του αυτοματοποιημένου συστήματος άρδευσης. Παρουσιάζονται ο εξοπλισμός, τα εξαρτήματα και τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν. Περιγράφεται η σύνδεση των εξαρτημάτων, ο προγραμματισμός και η καταχώρηση του LoRa Node και του LoRa Gateway στο TTN, καθώς και η μεταξύ τους επικοινωνία. Αναλύεται η επικοινωνία του TTN με το Node-Red, η εγκατάστασή του στο Gateway και οι αντίστοιχες ροές εντολών. Η κατασκευή του φωτοβολταϊκού powerbank και τέλος, παρουσιάζεται η σχεδίαση και η εκτύπωση 3D αντικειμένων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η λειτουργία του συστήματος και παρουσιάζεται η διαδικασία επικοινωνίας και σύνδεσης με το δίκτυο, η παρακολούθηση των δεδομένων, η λειτουργία των εξαρτημάτων, οι ειδοποιήσεις και η απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται η σύνοψη της εργασίας, αναλύονται τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν και ο τρόπος που αντιμετωπίστηκαν, αναφέρονται τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις σχετικά με τις μετρήσεις, τα αποτελέσματα, την μετάδοσης, την ασφάλεια και τους περιορισμούς και τέλος αναφέρονται προτάσεις για την μελλοντική ανάπτυξη, βελτίωση και επέκταση του project.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Γεωργία Ακριβείας και η Αναγκαιότητα Εφαρμογής της

1.1 Εισαγωγή

Η διαδικασία της γεωργίας ξεκινάει από την αρχαιότητα και αναπτύσσεται συνεχώς μέχρι και σήμερα. Αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επιβίωση του ανθρώπου, για τον λόγο αυτό, εξελίχθηκε ραγδαία η τεχνολογία στον τομέα της γεωργικής βιομηχανίας, με αποτέλεσμα στον 21^ο αιώνα να αναπτυχθεί η γεωργία ακριβείας.

Στο κεφάλαιο αυτό, επεξηγείται η έννοια της γεωργίας ακριβείας και η αναγκαιότητά της, και αναλύονται οι εφαρμογές της και οι αντίστοιχες βαθμίδες εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται.

1.2 Παραδοσιακή Γεωργία

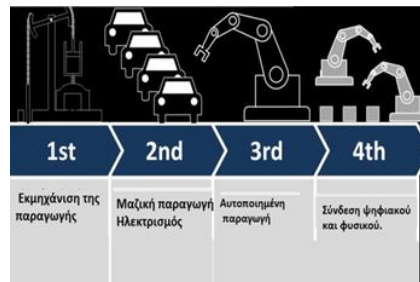
Πριν 12.000 χρόνια που πρωτοεμφανίστηκε η γεωργία, ο άνθρωπος για να εξασφαλίσει την τροφή του, χρησιμοποιούσε εργατικό δυναμικό, ζώα για τις μεταφορές πρώτων υλών και αγαθών και μεγάλους χώρους για την αποθήκευση των αγαθών (Εικόνα 1.1). Επίσης, λόγω σκληρών και απρόβλεπτων καιρικών συνθηκών, υπήρχε μεγάλη φθορά και απώλεια των καλλιεργειών. Επομένως, η γεωργία ήταν ένα επάγγελμα δύσκολο, επίπονο και με χαμηλές αποδοχές.



Εικόνα 1.1 - Διαδικασία οργώματος (Νάκκα, n.d.)

Με την εμφάνιση της βιομηχανικής επανάστασης τον 18^ο αιώνα, η διαδικασία της καλλιέργειας έγινε πιο εύκολη και αποδοτική με την χρήση μηχανών. Με το πέρας των χρόνων, η ανάγκη για εργατικό δυναμικό όλο και μειωνόταν. Δημιουργήθηκαν εξειδικευμένες μηχανές για το σκάψιμο και το όργωμα, η αποθήκευση των αγαθών και πρώτων υλών γινόταν σε όλο και καλύτερα εξοπλισμένους χώρους καθώς επίσης και η μεταφορά τους γινόταν όλο και πιο άμεση. Επιπλέον η αγρότες είχαν τη δυνατότητα να ενημερωθούν για τα ακραία καιρικά φαινόμενα μέσω τηλεπικοινωνιών, όπως το GFS (Global Forecast System), ο οποίος είναι ένας τύπος αριθμητικού μαθηματικού μοντέλου για την πρόγνωση καιρού . (pencil on the moon, 2021), (viologika.gr)

Στις αρχές του 21^{ου} αιώνα έκανε την εμφάνιση της η 4^η βιομηχανική επανάσταση (Εικόνα 1.2), κατά την οποία οι μηχανές, οι συσκευές, οι αισθητήρες και οι άνθρωποι, έχουν την ικανότητα να συνδέονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους, λόγω της αυτοματοποίησης και την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των τεχνολογικών παραγωγών.



Εικόνα 1.2 - Στάδια βιομηχανικής επανάστασης (prin.gr, n.d.)

Η 4^η βιομηχανική επανάσταση, βασίζεται στη συνδυασμένη χρήση κυβερνο-φυσικών συστημάτων, του υπολογιστικού νέφους, τη γνωστικής υπολογιστικής και του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). (Βιομηχανία 4.0, 2021)

Η γεωργία ακριβείας, αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης και των IoT.

1.3 Γεωργία Ακριβείας

Η γεωργία ακριβείας (Precision Agriculture), αποτελεί μια καινοτόμα μέθοδο πρακτικής της γεωργίας, με σκοπό την βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας των εισροών και τον περιορισμό επιβάρυνσης του περιβάλλοντος. (Γέμτος Θ.)

Η έξυπνη γεωργία, είναι σε θέση να παρακολουθεί και να μετράει οτιδήποτε μπορεί να μειώσει σημαντικά τη σπατάλη, την απώλεια και το κόστος. Οι πληροφορίες των παραμέτρων μπορούν να ληφθούν χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικές συσκευές, που διευκολύνουν τον χρήστη να προβεί σε περαιτέρω ενέργειες (Εικόνα1.3). Επομένως, επιτρέπει στους αγρότες να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις τους με καινοτόμες εφαρμογές, οι οποίες θα τους αυξήσουν την καταλληλότητα, την ποσότητα, τη βιωσιμότητα και την οικονομική αποδοτικότητα της φυτικής παραγωγής. Ανιχνευτές αισθητήρων εγκαθίστανται σε διάφορα σημεία της καλλιέργειας για τη μέτρηση των παραμέτρων που ενδιαφέρουν τους αγρότες.



Εικόνα 1.3 - Γεωργία ακριβείας. (Precision Agriculture stock illustrations)

Το σύστημα είναι προγραμματισμένο και συνδεδεμένο σε ένα δίκτυο με τοπολογία αστεριών. Οι κόμβοι αισθητήρων στέλνουν τα εξαγόμενα δεδομένα στον κεντρικό κόμβο. Τα δεδομένα αποστέλλονται σε ένα διακομιστή και αποθηκεύονται σε εσωτερική μνήμη. Στη συνέχεια, οι πληροφορίες απεικονίζονται μέσω του διαδικτύου. Με βάση της πληροφορίες αυτές, οι χρήστες μπορούν να κάνουν ενέργειες ελέγχοντας το σύστημα άρδευσης μέσω του διαδικτύου. (Internet of Things (IoT) - SMART AGRICULTURE, 2016)

Πιο αναλυτικά, τα μέσα και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί η γεωργία ακριβείας παρέχουν:

- Λεπτομερή χαρτογράφηση της εκάστοτε καλλιέργειας

- Αξιολόγηση γονιμότητας της καλλιέργειας και των γεωργικών πρακτικών που εφαρμόζονται
- Πλήρης ενημέρωση και καθοδήγηση προσαρμογής λίπανσης μεταβλητής δόσης
- Παρακολούθηση της ανάπτυξης μιας καλλιέργειας μέσω δορυφόρου
- Παρακολούθηση της υγείας μιας καλλιέργειας μέσω drone κ.ά. (Ecodev.gr)

1.4 Αναγκαιότητα της Σύγχρονης Γεωργίας

Οι βασικότεροι λόγοι που καθιστούν αναγκαία την προτροπή προς νέους τρόπους καλλιέργειας, είναι η κλιματική αλλαγή, όπως επίσης και η συνεχής αύξηση ζήτησης τροφίμων.

Οι συνεχώς αυξανόμενες θερμοκρασίες του πλανήτη, καθιστούν αδύνατον, σε κάποιες χώρες, την καλλιέργεια ορισμένων φυτών. Το πρόβλημα της λειψυδρίας αυξάνεται συνεχώς και η καλλιεργήσιμη γη μειώνεται διαρκώς. Όπως επίσης, η αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων που επιβαρύνουν τόσο την υγεία του ανθρώπου, όσο και το περιβάλλον. Όλα τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών, της ποιότητας, αλλά και της ζωικής παραγωγικότητας. (Worldbank.org, 2021)

Επιπρόσθετα, αντιμετωπίζουμε αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και βάση στατιστικών μέχρι το 2050 η παραγωγή αγαθών για την παρασκευή τροφίμων πρέπει να αυξηθεί έως και 70%. Η μεγάλη αύξηση των ποσοστών παρασκευής τροφίμων έχει ως αποτέλεσμα τόσο την αναζήτηση εναλλακτικών τρόπων καλλιέργειας όσο και την αυξημένη ζήτηση ανθρώπινου δυναμικού, το οποίο θα πρέπει να καλύψει αναγκαίες πρακτικές εργασίες που απαιτούνται για την καλλιέργεια μεγάλων εκτάσεων γης, όπως είναι η άρδευση, η φροντίδα και η γονιμοποίηση των φυτών, ο έλεγχος παρασίτων και ο τρόπος διαχείρισης ανάλογα με τις συνεχείς αλλαγές των συνθηκών. (Λαλούσης, 2019)

Αξίζει να σημειωθεί και το οικονομικό όφελος που προκύπτει με την έξυπνη γεωργία, λόγω της μείωσης στην ποσότητα των πρώτων υλών (νερό, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, κ.ά.) που χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή της, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους παραγωγής, που έχει ως συνέπεια την αύξηση των εσόδων του παραγωγού.

Σημαντικός παράγοντας, επίσης, για την αναγκαιότητα εφαρμογής της έξυπνης γεωργίας είναι η αυτονομία στην παραγωγή προϊόντων, μέσω αυτόματων θερμοκηπίων. Θα μπορούσε ακόμη και μια χώρα να μην χρειάζεται την εισαγωγή προϊόντων από άλλες χώρες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ανατροπή που έχει προκύψει από την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία. Αυτές οι δύο χώρες αποτελούν δυο από τους μεγαλύτερους προμηθευτές σιτηρών παγκοσμίως. Κατά συνέπεια η διακοπή εξαγωγών σιτηρών, λόγω του πολέμου προκάλεσε διαταραχή στην διατροφική ασφάλεια αλλά και απότομες αυξήσεις τιμών σε βασικά προϊόντα.

Τέλος, η αναγκαιότητα χρήσης της γεωργίας ακριβείας γίνεται όλο και πιο επιτακτική με την ΕΕ να επικεντρώνεται σε στρατηγικές βιολογικών καλλιεργειών, που καθιστούν την γεωργία πιο βιώσιμη με την παύση χρήσης φυτοφαρμάκων, αντιβιοτικών. (ot.gr, 2022)

1.5 Εφαρμογές Σύγχρονης Γεωργίας

Η Σύγχρονη γεωργία αποτελεί κύριο μέσο παρακολούθησης και βελτιστοποίησης καλλιεργειών. Η τεχνολογία αυτή, έχει εφαρμοστεί σε καλλιέργειες ελιάς, σιτηρών, κριθαριού, καλαμποκιού, βαμβακιού, ελαιοκράμβης, πατάτας, ρυζιού, εσπεριδοειδών, αμπελώνων, CBD κ.ά. Ωστόσο, δύναται να εφαρμοστεί, αντίστοιχα και για τον έλεγχο ζώων. (yara.gr)

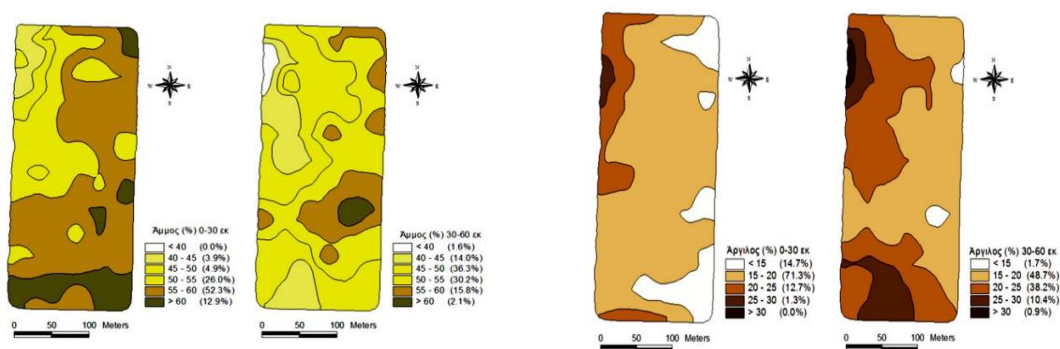
Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Η εφαρμογή του ξεκίνησε, στα τέλη του 20^{ού} αιώνα, σε καλλιέργειες σιτηρών και στη συνέχεια επεκτάθηκε και σε άλλα είδη καλλιέργειας. Αξίζει να σημειωθεί, πως η τεχνολογία της σύγχρονης γεωργίας πρωτοεμφανίστηκε στην Ελλάδα αρχές του 21^{ου} αιώνα.

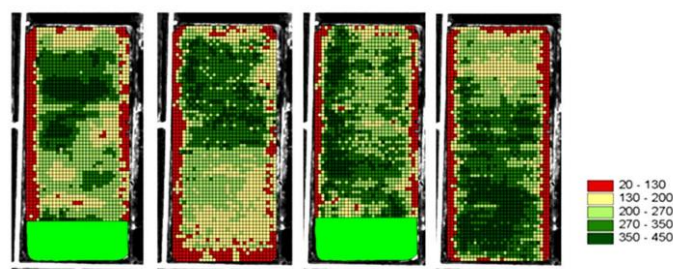
Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν τέτοιες εφαρμογές, της Σύγχρονης γεωργίας, καθώς και οπτικά αποτελέσματα αυτών.

1.5.1 Καλλιέργεια Βαμβακιού

Η καλλιέργεια βαμβακιού, αποτελεί την πρώτη καλλιέργεια στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στη Καρδίτσα, στην οποία εφαρμόστηκε η χαρτογράφηση. Σε αυτόν τον τύπο καλλιέργειας έχουν χρησιμοποιηθεί αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας του φυλλώματος για τον ορισμό του κατάλληλου χρόνου και της ποσότητας άρδευσης, αισθητήρες μέτρησης δεικτών βλάστησης και αισθητήρες για τη σωστή εφαρμογή δόσης λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων, για τη βελτίωση της αποδοτικότητας τους. Τα αποτελέσματα των συλλεγόμενων δεδομένων παρουσιάζονται σε μορφή χάρτη. Αυτά μπορούν να αφορούν στη διαφορά της περιεκτικότητας του εδάφους τόσο σε άμμο (Εικόνα 1.4 α), όσο και σε άργιλο (Εικόνα 1.4 β), ενώ υπάρχει και η δυνατότητα για την επιλογή τμηματικής παρακολούθησης του ποσοστού παραγωγής της καλλιέργειας (Εικόνα 1.5). (Φουντάς & Γέμτος, 2015)



Εικόνα 1.4 - (α) Περιεκτικότητα άμμου στο έδαφος με διαφορά 2 έτη. (β) Περιεκτικότητα αργίλου στο έδαφος με διαφορά 2 έτη. (Φουντάς & Γέμτος, 2015)

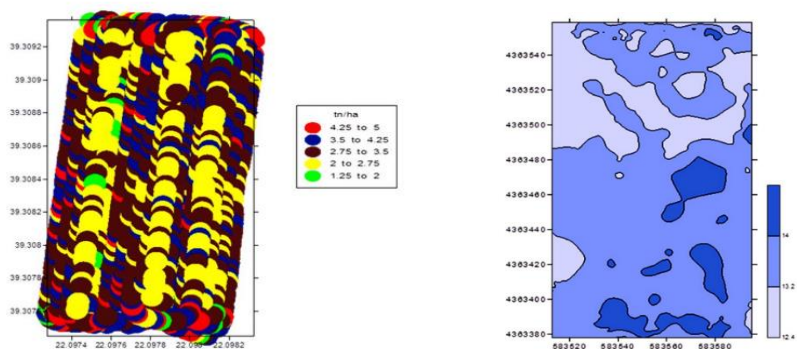


Εικόνα 1.5 -Ετήσιο ποσοστό παραγωγής για 4 χρόνια. (Φουντάς & Γέμτος, 2015)

1.5.2 Καλλιέργεια Σιτηρών

Με αντίστοιχο τρόπο εφαρμόζονται αισθητήρες, αποδίδοντας αποτελέσματα, στην καλλιέργεια των σιτηρών. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να δημιουργήσουν ζώνες αποδίδοντας τον βαθμό παραγωγής (Εικόνα 1.6 α), καθώς και την υγρασία (Εικόνα 1.6 β), βοηθώντας έτσι στην διαχείριση της συγκομιδής και την ανάπτυξη του αγρού. (Φουντάς & Γέμτος, 2015)

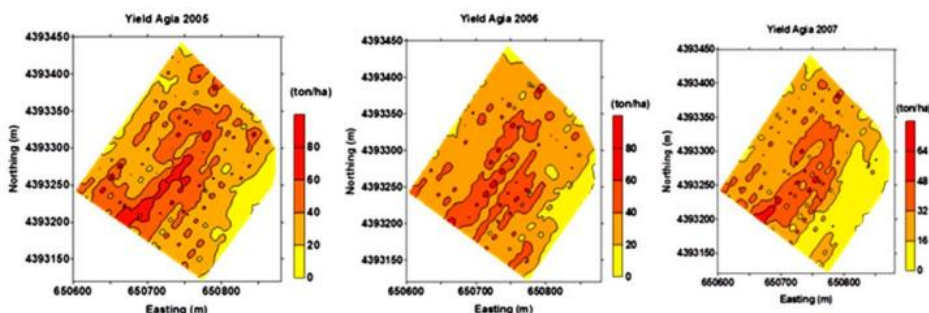
Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



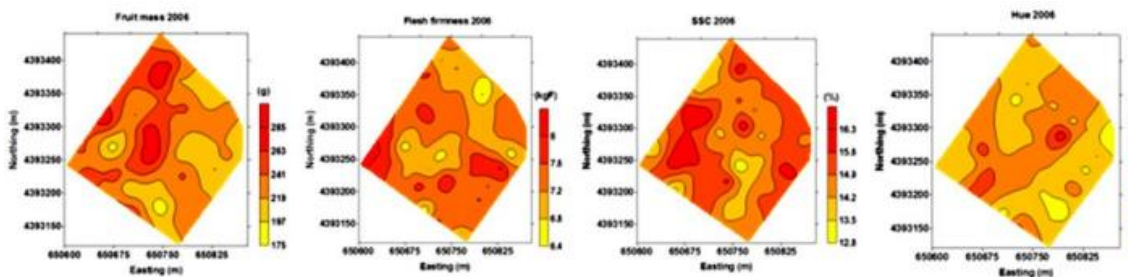
Εικόνα 1.6 - (α) Τιμές βαθμού παραγωγής σιτηρών (β) Χάρτης υγρασίας των σιτηρών (Φουντάς & Γέμτος, 2015)

1.5.3 Οπωρώνας μήλων

Στην Ελλάδα η χρήση σύγχρονης γεωργίας στην καλλιέργεια μήλων επιχειρήθηκε στην Πτολεμαΐδα το 2005. Στη συγκεκριμένη καλλιέργεια έγινε καταγραφή της παραγωγής σε όλη την έκταση του αγροτεμαχίου (Εικόνα 1.7), όπως επίσης και στα χαρακτηριστικά των καρπών (Εικόνα 1.8). Στις αναλύσεις συμπεριελήφθησαν και δεδομένα λίπανσης. Το λίπασμα τοποθετήθηκε χειροκίνητα στην καλλιέργεια, με αποτέλεσμα την τοποθέτηση μεταβλητής ποσότητας και άρα μειωμένης παραγωγής. Ωστόσο αυτή η διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερο καθαρό κέρδος του παραγωγού, λόγω χρήσης μικρότερης ποσότητας λιπάσματος. (Φουντάς & Γέμτος, 2015)



Εικόνα 1.7 - Χαρτογράφηση ποσοστού παραγωγής μήλων σε διάρκεια 3 ετών (Φουντάς & Γέμτος, 2015)



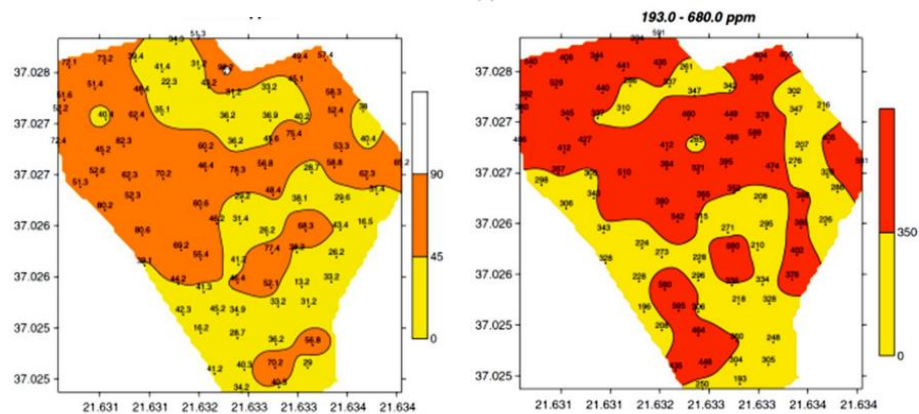
Εικόνα 1.8 - Χάρτης ποιότητας καρπών. Από δεξιά: χρώμα καρπού, διαλυτά στέρεα, συνεκτικότητα σάρκας και μέγεθος καρπού (Φουντάς & Γέμτος, 2015)

1.5.4 Εφαρμογή σε καλλιέργειες ελιάς

Το ακόλουθο παράδειγμα, αφορά την εμπορική καλλιέργεια παραγωγής λαδιού με ζύγισμα του κάθε σακιού ελιών από όπου συλλέχτηκε καθώς επίσης και τον εντοπισμό της θέσης με χρήση GPS. Τελικό αποτέλεσμα, αποτελούν χάρτες που παρουσιάζουν εφαρμογή φωσφόρου/καλίου (Εικόνα 1.9 α) και

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

ασβέστη (Εικόνα 1.9 β) για την βελτιστοποίηση του pH (potential of Hydrogen) και την εξοικονόμηση λιπασμάτων. (Φουντάς & Γέμτος, 2015)



Εικόνα 1.9 - (α) Χάρτης εφαρμογής καλίου – φωσφόρου (β) Χάρτης εφαρμογής ασβέστης (Φουντάς & Γέμτος, 2015)

1.5.5 Εφαρμογή στην παρακολούθηση βοοειδών

Όπως πραγματοποιείται με την παρακολούθηση καλλιεργειών, με τον ίδιο τρόπο δύναται να παρακολουθούνται και τα ζώα μιας φάρμας. Η καταγραφή αφορά την υγεία και την απόδοσή τους και χρησιμεύει στη διατήρηση της υγείας, ευημερίας και φυσικής τοποθεσίας των ζώων. Επομένως, οι αισθητήρες αυτοί, εντοπίζουν άρρωστα ζώα δίνοντας τη δυνατότητα του διαχωρισμού τους από τα υγιή και τον περιορισμό εξάπλωσης μολύνσεων. Επίσης, παρέχουν πληροφορίες σχετικές με την θερμοκρασία, τη δραστηριότητα και ζώου, καθώς επίσης και ολόκληρου του κοπαδιού. (Chalimon, 2020)

1.5.6 Έξυπνη γεωργία σε θερμοκήπιο

Η ιαπωνική κυβέρνηση, εταιρείες του ιδιωτικού τομέα και ακαδημαϊκοί, δημιούργησαν το Asian Monsoon Plant Factory System (PFS). Το PFS, παρέχει την δυνατότητα παραγωγής ιαπωνικών ποικιλιών λαχανικών, χαμηλού κόστους, σε τροπικές περιοχές με ακραία καιρικά φαινόμενα.

Με την συνεργασία της Panasonic, δημιουργήθηκε ένα έξυπνο θερμοκήπιο, στο οποίο ελέγχονται οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας (Εικόνα 1.10).

Τα τεχνολογικά μέσα που χρησιμοποιούνται, αποτελούνται από:

- Κουρτίνες απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας, για τον έλεγχο της θερμοκρασίας
- Αισθητήρες υγρασίας υποβοήθησης της μέτρησης του βαθμού φωτοσύνθεσης
- Παθητική δομή θερμοκηπίου προστασία φυτών από τυφώνες και ισχυρούς ανέμους, έως και 50 μέτρων το δευτερόλεπτο



Εικόνα 1.10 - Έξυπνο θερμοκήπιο (naftemporiki, 2021)

Επιπροσθέτως, δημιουργήθηκε ένα σύστημα διαχείρισης και βελτίωσης συνθηκών, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες IoT. Το Smart Saien's Cloud, ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου, ειδικά προσαρμοσμένο, για την καταγραφή και την επεξεργασία δεδομένων υποτροπικού κλίματος και το Cultivation Navi, ένα σύστημα καταγραφής και πρόσβασης δεδομένων, μέσω εφαρμογής κινητού τηλεφώνου.

Τα συστήματα αυτά, ελέγχονται εξ αποστάσεως έως και 2.000 km και παρέχουν την δυνατότητα πρόσβασης σε χρήσιμα δεδομένα, καθώς και τη δυνατότητα παροχής πληροφοριών από ειδικούς, για τη βελτίωση της ποιότητας και της απόδοσης. (naftemporiki, 2021)

1.6 Συστήματα και Αισθητήρες στη Γεωργία Ακριβείας

Για την υλοποίηση των παραπάνω εφαρμογών και ειδικότερα στη γεωργία ακριβείας, χρησιμοποιούνται συστήματα, εξαρτήματα και αισθητήρες που αφορούν, cloud management και cloud computing, Internet of Things, τηλεπικοινωνιακά και αυτοματοποιημένα συστήματα. Παρακάτω αναφέρονται μερικά παραδείγματα.

1.6.1 Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (Global Positioning System - GPS)

Αρχικά η χρήση του GPS, εφαρμόστηκε για στρατιωτικούς σκοπούς και στη συνέχεια σε άλλους τομείς. Μέσω αυτού του συστήματος πραγματοποιείται καταγραφή της γεωγραφικής έκτασης, μέσω γεωγραφικών συντεταγμένων, εντοπίζοντας και πλοηγώντας, με ακρίβεια 2 cm, τα γεωργικά οχήματα. (Χαρού, Farmacon.gr, 2016)

1.6.2 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems - GIS)

Μέσω των GIS συλλέγονται, διαχειρίζονται και αναλύονται τα δεδομένα συγκεκριμένων γεωγραφικών θέσεων, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο έναν διαδραστικό χάρτη/πίνακα δεδομένων για κάθε γεωγραφική θέση. Τα συστήματα αυτά προμηθεύουν δεδομένα στον εκάστοτε παραγωγό, που αφορούν τη θερμοκρασία, το υψόμετρο, την κλίση, τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους κ.ά. και κατ' επέκταση τη δυνατότητα παρακολούθησης της παραγωγής και τη διατήρηση αρχείου εισροών (φυτοφάρμακα, νερό, σπόρο, λίπασμα κ.ά.) καθώς επίσης και των αποτελεσμάτων αυτών. (Χαρού, Farmacon.gr, 2016)

1.6.3 Συστήματα Μεταβλητών Εφαρμογών (Variable-Rate Application - VRA)

Τα συστήματα μεταβλητών εφαρμογών (VRA), αποτελούν ένα αυτοματοποιημένο εργαλείο που επιτρέπει στους αγρότες να εφαρμόζουν λίπασμα, νερό, χημικά και σπόρους σε μια ακριβή τοποθεσία, ανάλογα με τις ανάγκες του χωραφιού, βοηθώντας με αυτόν τον τρόπο στη βελτιστοποίηση της

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

παραγωγής των καλλιεργειών. Ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζονται τα παραπάνω στοιχεία, βασίζεται σε δεδομένα που συλλέγονται από αισθητήρες, χάρτες και GPS. Επίσης η τεχνολογία η οποία χρησιμοποιείται, περιλαμβάνει μη επανδρωμένα αεροσκάφη, δορυφόρους και συστήματα τεχνητής νοημοσύνης (AI).

Η εφαρμογή VRA μπορεί να βασίζεται σε χάρτες (Map-Based VRA) ή σε αισθητήρες (Sensor-Based VRA).

Πιο αναλυτικά, η εφαρμογή Map-Based VRA είναι η δημιουργία ενός ηλεκτρονικού χάρτη, προσαρμοσμένος στις ανάγκες του χωραφιού, ο οποίος εισάγεται στο σύστημα πριν το σύστημα ξεκινήσει τις δραστηριότητές του. (Εικόνα 1.11)



Εικόνα 1.11 - Παράδειγμα λειτουργίας ενός VRA (Χαρού, Farmacon.gr, 2016)

Η εφαρμογή Sensor-Based VRA είναι η ενσωμάτωση αισθητήρων, οι οποίοι μπορούν να ανιχνεύσουν αυτόματα και σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα που θα βοηθήσουν το σύστημα να αποφασίσει ποιο λίπασμα, χημικό ή σπόρος πρέπει να εφαρμοστεί και σε ποιο σημείο του χωραφιού. (Igor 2018)

1.6.4 Συστήματα Παρακολούθησης Αποδόσεων (Yield Monitoring Systems-YMS)

Τα YMS αποτελούνται από έναν δέκτη GPS, αισθητήρες και έναν υπολογιστή ή κονσόλα διαχείρισης (Εικόνα 1.12). Χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της συγκομιδής, για την καταγραφή και την μέτρηση της απόδοσης μιας καλλιέργειας. Τα ληφθέντα δεδομένα, συνδυαστικά με το GPS και τα GIS, μπορούν να ενταχθούν σε έναν χάρτη και να δώσουν πληροφορίες απόδοσης για κάθε τμήμα του χωραφιού. (Χαρού, Farmacon.gr, 2016)



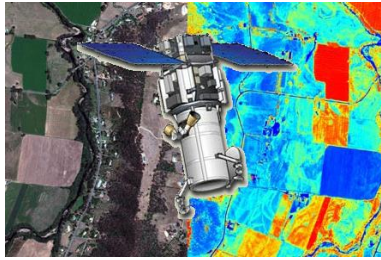
Εικόνα 1.12 - Παράδειγμα Συστήματος παρακολούθησης αποδόσεων (Χαρού, Farmacon.gr, 2016)

1.6.5 Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing Systems)

Η τηλεπισκόπηση αποτελεί την επιστήμη, κατά την οποία μελετώνται και παρατηρούνται τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η καταγραφή πραγματοποιείται μέσω εναερίων ή δορυφορικών μέσων και αφορά την αντανάκλαση των διαφορετικών μηκών κύματος ανάλογα με τη βλάστηση (Εικόνα 1.13). Οι ψηφιακές εικόνες που προκύπτουν παρέχουν στον σύγχρονο αγρότη πληροφορίες σχετικά με τις καλλιέργειες, οι οποίες αφορούν την ηλικία, την

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

κατάσταση της υγείας και το είδος αυτών. Στόχος είναι ο εντοπισμός των καλλιεργητικών πρακτικών και εισροών για την εκάστοτε καλλιέργεια. (Χαρού, Farmacon.gr, 2016)



Εικόνα 1.13 - Προβολή δορυφορικής εικόνας, με μέρος αυτής επεξεργασμένη με την μέθοδο της τηλεπισκόπησης (Χαρού, Farmacon.gr, 2016)

1.6.6 Αισθητήρες Καλλιεργειών Εδάφους

Οι αισθητήρες καλλιεργειών εδάφους (Εικόνα 1.14), προσαρμόζονται στις καλλιέργειες, συλλέγοντας πληροφορίες που αφορούν την υγρασία, τη θερμοκρασία, τις ασθένειες κ.ά., καθώς αποτελούν μηχανισμούς ταχείας μέτρησης και δειγματοληψίας. Με αυτόν τον τρόπο, ο κάθε παραγωγός είναι σε θέση να γνωρίζει τις απαραίτητες πληροφορίες που απαιτούνται για την σωστή ανάπτυξη μιας καλλιέργειας. (Χαρού, Farmacon.gr, 2016)



Εικόνα 1.14 - Αισθητήρας εδάφους Sensoterra. (Σοφός, 2020)

1.6.7 N-Tester

Το N-Tester (Εικόνα 1.15), αποτελεί εργαλείο χειρός για την καταμέτρηση τιμών του αζώτου του φυλλώματος μιας καλλιέργειας. Παρέχει, άμεση καταμέτρηση της ακριβούς θρεπτικής κατάστασης σχετικά με το άζωτο, σε μια αναπτυσσομένη καλλιέργεια. (yara.gr)



Εικόνα 1.15 - N-Tester χειρός (FarmStore.eu)

1.7 Αυτοματοποιημένα Συστήματα Πλοήγησης

Τα αυτοματοποιημένα συστήματα πλοήγησης, ελαχιστοποιούν το σφάλμα του ανθρώπινου παράγοντα παρέχοντας στον οδηγό τη δυνατότητα μεγαλύτερης ακριβούς οδήγησης, με σύστημα δορυφορικής πλοήγησης και την ανάληψη του πλήρους ελέγχου του τιμονιού, για την καλύτερη δυνατή παρατήρηση του υπόλοιπου εξοπλισμού από τον οδηγό. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα πλοήγησης διαφέρουν καθώς εξαρτώνται από το σχήμα της καλλιέργειας. (Χαρού, Farmacon.gr, 2016)

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και η Τεχνολογία LoRa

2.1 Εισαγωγή

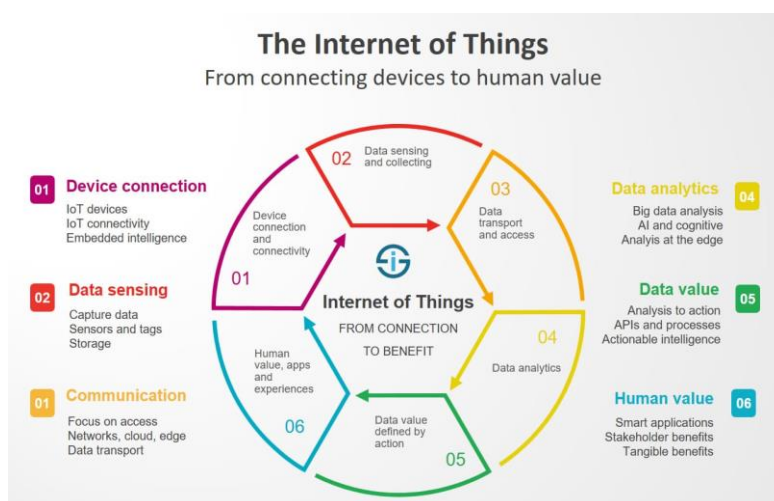
Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), επηρεάζει σημαντικά την προσωπική, αλλά και την επαγγελματική ζωή του ανθρώπου. Σήμερα χρησιμοποιείται σε διάφορες συσκευές, όπως στα κλιματιστικά για τον έλεγχο τους μέσω smartphone, στα έξυπνα αυτοκίνητα για να υπολογίζουν τη συντομότερη διαδρομή ή στα έξυπνα ρολόγια για την παρακολούθηση της καθημερινής δραστηριότητας του χρήστη.

Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται, στο πρωτόκολλο LoRa σε μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα IoT. Επίσης, αναλύονται οι διαφορετικές κλάσεις των συσκευών LoRa, η διαδικασία διασύνδεσής τους μέσω της ανοιχτής διαδικτυακής πλατφόρμας The Things Network (TTN) και κάποιοι μικροελεγκτές που απαιτούνται για την λειτουργία τους.

2.2 Διαδίκτυο Των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT)

Τα τελευταία χρόνια, το IoT, έχει γίνει μια από τις σημαντικότερες τεχνολογίες του 21^{ου} αιώνα, μέσω του οποίου παρέχεται η δυνατότητα σύνδεσης καθημερινών αντικειμένων, όπως οικιακές συσκευές, αυτοκίνητα, θερμοστάτες, μόνιτορ κ.α., με το διαδίκτυο, μέσω ενσωματωμένων συσκευών. (oracle n.d.)

Έως τώρα, δεν υπάρχει ακόμη ακριβής ή τυπικός ορισμός για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Λαμβάνοντας υπόψη πως αποτελείται από δύο λέξεις: «Διαδίκτυο» και «Πράγματα», ο M. Botterman το ορίζει ως «ένα παγκόσμιο δίκτυο διασυνδεδεμένων αντικειμένων που μπορούν να διευθυνσιοδοτηθούν με μοναδικό τρόπο και επικοινωνούν βασιζόμενα σε τυπικά πρωτόκολλα επικοινωνίας» (Botterman, 2009). Αργότερα, ο Ma Hua-Dong αναφέρει πως είναι «ένα δίκτυο που διασυνδέει συνηθισμένα φυσικά αντικείμενα με αναγνωρίσιμες διευθύνσεις, έτσι ώστε να παρέχει έξυπνες υπηρεσίες» (Ma 2011). Με λίγα λόγια, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων προσφέρει δυνατότητα σύνδεσης και επικοινωνίας μεταξύ αντικειμένων μέσω του ίδιου του διαδικτύου. (Εικόνα 2.1)



Εικόνα 2.1 – Στάδια από την σύνδεση των πραγμάτων και των συσκευών, στις ανθρώπινων αξίες (i-scoop.eu n.d.)

Μια συλλογή πρόσφατων εξελίξεων σε διάφορες τεχνολογίες, έκανε την εμφάνιση του IoT πραγματικότητα. Μερικές από αυτές είναι:

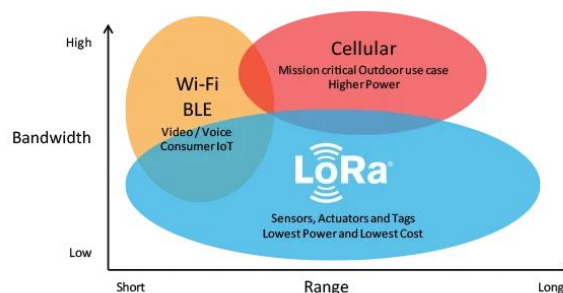
Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

- Πρόσβαση σε τεχνολογία αισθητήρων χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος
- Συνδεσιμότητα μέσω του “Cloud”
- Πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους
- Μηχανική μάθηση και ανάλυση
- Τεχνητή νοημοσύνη (AI) (oracle n.d.)

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων έχει πολλές εφαρμογές, οι οποίες, όμως, απαιτούν κόμβους αισθητήρων υψηλής ενεργειακής απόδοσης, που είναι σε θέση να επικοινωνούν σε μεγάλες αποστάσεις. Για την εκπλήρωση αυτών των απαιτήσεων, αναπτύχθηκαν πολλές τεχνολογίες ευρείας περιοχής χαμηλής κατανάλωσης (Low-Power Wide Area Networks , LPWAN), όπως η LoRa (Long Range). (i-scoop.eu)

2.3 Η τεχνολογία LoRa και το ανοιχτό πρωτόκολλο LoRaWAN

Το πρωτόκολλο LoRa είναι μια πλατφόρμα ασύρματης τεχνολογίας. LoRa σημαίνει "Long Range", επειδή με τη σωστή κεραία και οπτική επαφή δύναται να επιτευχθεί ασύρματη επικοινωνία έως και 100 χιλιόμετρα. Το μειονέκτημα είναι ο περιορισμός που υφίσταται στον ρυθμό δεδομένων και το εύρος ζώνης (Εικόνα 2.2). Περιορισμένος αριθμός δεδομένων μπορεί να αποσταλεί ταυτόχρονα με μέγιστο ρυθμό 50 kbps, οπότε η μετάδοση βίντεο δεν είναι δυνατή, σε αντίθεση με τη μεταφορά δεδομένων αισθητήρων. (CETech 2019)



Εικόνα 2.2 - Παράδειγμα εύρους ζώνης και απόστασης πρωτοκόλλου LoRa (CETech, lorawan gateways tutorial / lora LoRaWAN / What are LoRaWAN gateways? 2020)

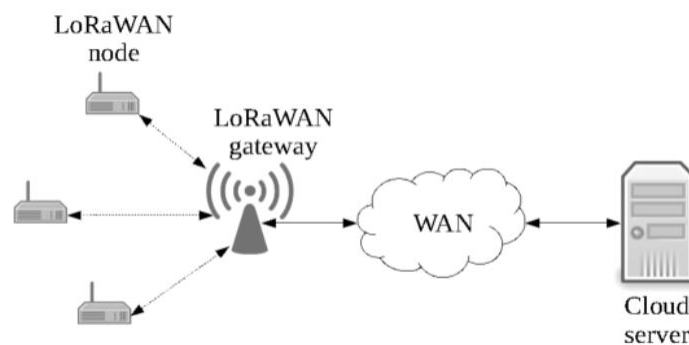
Σε αντίθεση με τις περισσότερες ασύρματες τεχνολογίες, οι οποίες χρησιμοποιούν διαμόρφωση συχνότητας FSK (Frequency Shift Key modulation) για τη μείωση της ισχύος, η LoRa χρησιμοποιεί διαμόρφωση CSS (Chirp-spread-spectrum modulation). Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η διατήρηση των χαρακτηριστικών χαμηλής ισχύος, προς όφελος της αύξησης του εύρους επικοινωνίας (thethingsnetwork.org, 2015). Επομένως, κατά τη μετάδοση ή τη λήψη δεδομένων, απορροφά μόνο 4.2 mA με ισχύ εξόδου +22 dBm. Έτσι, ένα ολόκληρο σύστημα μπορεί να αποδώσει με μπαταρίες διάρκειας έως και ενός έτους. (CETech 2019)

Οι στόχοι του LoRa είναι:

- Η εξάλειψη των επαναληπτών (repeaters)
- Η μείωση του κόστους μιας συσκευής αυξάνοντας, ταυτόχρονα, τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας της
- Η βελτίωση της χωρητικότητας του δικτύου
- Η υποστήριξη μεγάλου αριθμού συσκευών (thethingsnetwork.org, 2015)

Για την επίτευξη των στόχων αυτών, αναπτύχθηκε το LoRaWAN. Το LoRaWAN είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας, το οποίο καλύπτει μια ευρεία περιοχή. Αναπτύχθηκε από τη LoRa Alliance¹ με σκοπό την ενσωμάτωση της LoRa σε μια δικτυακή υποδομή. Επιτρέπει, ουσιαστικά, στις συσκευές IoT, να χρησιμοποιούν LoRa για την μεταξύ τους επικοινωνία, ασύρματα. Με λίγα λόγια, οι διάφοροι κόμβοι αισθητήρων, που χρησιμοποιούν την τεχνολογία LoRa, συνδέονται με ένα Gateway, το οποίο συνδέει τους κόμβους LoRa απευθείας με το διαδίκτυο, μέσω του δικτύου The Things Network. (CETech 2019)

Το LoRa Gateway, αποτελείται από δύο τύπους υλικού, ένα τσιπ που βασίζεται στο LoRa και ένα τσιπ που παρέχει πρόσβαση στο διαδίκτυο. Το τσιπ που βασίζεται στο LoRa, έχει την ικανότητα να συνδεθεί με άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο (LoRa Nodes), επομένως συλλέγει τα δεδομένα από τα LoRa Nodes και τα μεταδίδει στο τσιπ που παρέχει πρόσβαση στο διαδίκτυο, το οποίο με την σειρά του τα μεταφέρει στον διακομιστή (TTN). Επίσης, μπορεί να συμβεί και το αντίστροφο της διαδικασίας αυτής. Δεδομένα από το διαδίκτυο να μεταφερθούν στα LoRa Nodes, μέσω του Gateway (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3 - Μεταφορά δεδομένων από τα LoRa nodes στο Gateway και αντίστροφα (Ruotsalainen 2018)

Υφίστανται δύο τύποι Gateway, οι Single-channel Gateways και οι Multi-channel Gateways. Η διαφορά έγκειται, στον αριθμό των συχνοτήτων που υποστηρίζει ένα συγκεκριμένο Gateway ταυτόχρονα ή στον αριθμό των μηνυμάτων από διαφορετικές συσκευές, που μπορεί να λάβει ένα Gateway. Κυρίως, το Single-channel Gateway έχει μόνο ένα τσιπ LoRa, οπότε μπορεί να επικοινωνήσει με έναν μόνο LoRa Node, ενώ το Multi-channel Gateway, για παράδειγμα 10 καναλιών, μπορεί να επικοινωνήσει ταυτόχρονα και με 10 κόμβους LoRa. (CETech, lorawan gateways tutorial | lora LoraWAN | What are LoRaWAN gateways? 2020)

2.4 Κλάσεις Συσκευών

Το LoRaWAN, διαθέτει τρεις διαφορετικές κατηγορίες τελικών συσκευών (end-point devices) A, B και C, σχεδιασμένες για την κάλυψη διαφορετικών αναγκών, για το ευρύ φάσμα των εφαρμογών. Συνήθως, στις πρώτες δύο κατηγορίες οι συσκευές τροφοδοτούνται από μπαταρίες, ενώ στην τρίτη από το δίκτυο.

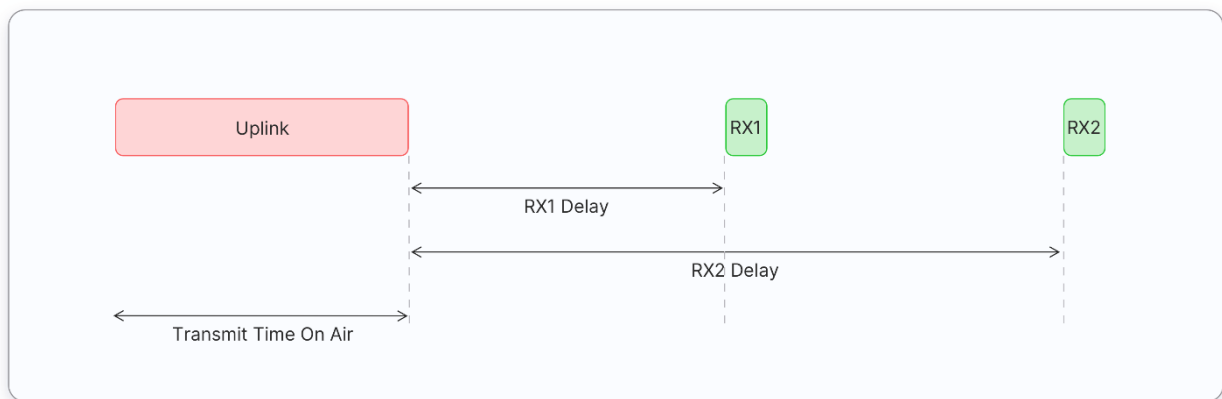
Η κύρια διαφορά στους τρεις τρόπους λειτουργίας είναι στη λήψη των «πακέτων», δηλαδή στην διαδικασία αποστολής των δεδομένων, από το Gateway στη συσκευή, ωστόσο όλες οι κατηγορίες υποστηρίζουν αμφίδρομη επικοινωνία (uplink και downlink). (thethingsnetwork, Device Classes n.d.)

¹ <https://loro-alliance.org/>

2.4.1 Συσκευές LoRa κατηγορίας A (Class A)

Μια συσκευή κατηγορίας A, απαιτεί την υποστήριξη του από όλες τις end-point συσκευές LoRaWAN, διότι ο διακομιστής δικτύου δεν δύναται να ξεκινήσει επικοινωνία σε μια τέτοια συσκευή. Συνεπώς οι συσκευές της εν λόγω κατηγορίας είναι αρμόδιες για την έναρξη της επικοινωνίας σε ένα δίκτυο LoRaWAN.

Οι συσκευές έχουν μόνο δύο πολύ σύντομα παράθυρα λήψης (receive windows) αφού έχουν μεταδώσει ένα μήνυμα ανερχόμενης ζεύξης (uplink). Μεταξύ του τέλους της μετάδοσης του μηνύματος και της έναρξης των downlink windows (RX1 και RX2 αντίστοιχα), υπάρχει καθυστέρηση (Εικόνα 2.4). Έτσι, στην περίπτωση που ο διακομιστής δικτύου δεν ανταποκρίνεται κατά τη διάρκεια αυτών των δύο downlink windows, η επικοινωνία κατερχόμενης ζεύξης (downlink) αποθηκεύεται στην προσωρινή μνήμη στο διακομιστή δικτύου και πραγματοποιείται μετά από την επόμενη μετάδοση ανερχόμενης ζεύξης (uplink transmission).



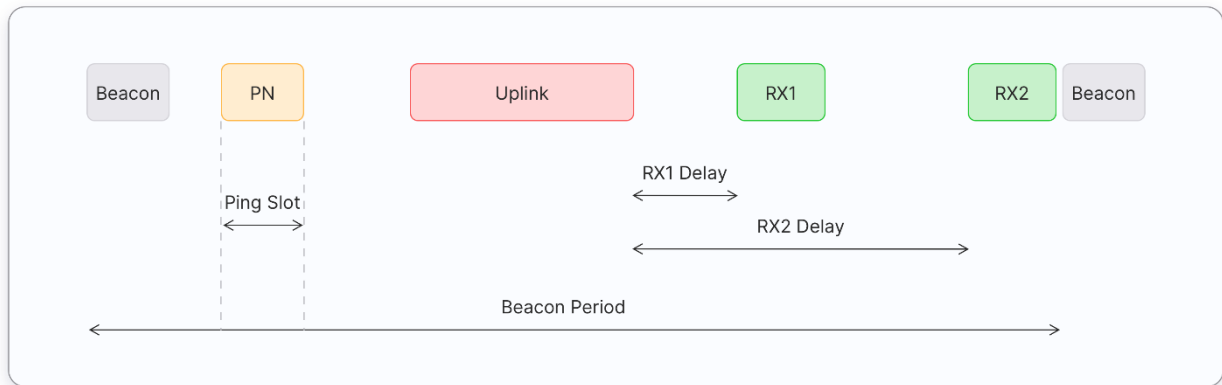
Εικόνα 2.4 - Παράθυρα λήψης συσκευών κατηγορίας A (thethingsnetwork, Device Classes n.d.)

Μετά τα downlink windows, η συσκευή μεταβαίνει σε αδράνεια για εξοικονόμηση ενέργειας, γεγονός το οποίο καθιστά την κατηγορία A ως την κατηγορία που απαιτεί τη χαμηλότερη ισχύ, σε σχέση με τις άλλες δύο. (thethingsnetwork, Device Classes n.d.)

2.4.2 Συσκευές LoRa κατηγορίας B (Class B)

Οι συσκευές κατηγορίας B τροφοδοτούνται από μπαταρίες, όπως και οι συσκευές κατηγορίας A, με την διαφορά πως απαιτούν πολύ μεγάλη ισχύ.

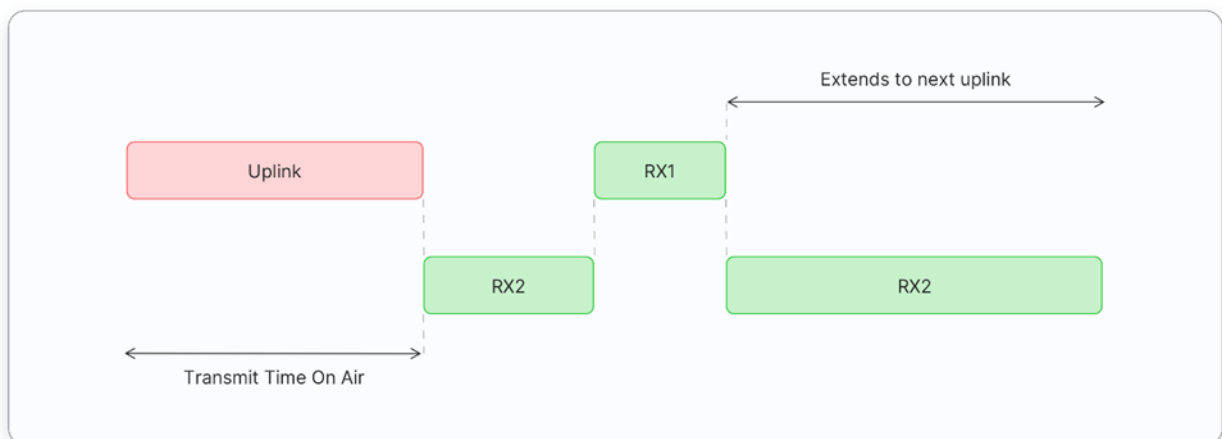
Συγκεκριμένα, προκειμένου να ξεκινήσει η λήψη μηνυμάτων (downlink) από τον διακομιστή δικτύου, οι συσκευές κατηγορίας B συγχρονίζονται στο δίκτυο χρησιμοποιώντας περιοδικά ασύρματα σήματα που ονομάζονται σινιάλα (beacons) τα οποία αποστέλλονται από το Gateway και ανοίγουν περιοδικά παράθυρα λήψης (receive windows), δηλαδή «υποδοχές ping» downlink μηνυμάτων, σε προγραμματισμένες ώρες (Εικόνα 2.5). Αυτό παρέχει στο δίκτυο τη δυνατότητα να στέλνει επικοινωνίες downlink μηνυμάτων με ντετερμινιστικό λανθάνοντα χρόνο, αλλά σε βάρος κάποιας πρόσθετης κατανάλωσης ενέργειας στην end-point συσκευή. Ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών ασύρματων εκπομπών σινιάλων είναι γνωστός ως beacon period. (thethingsnetwork, Device Classes n.d.)



Εικόνα 2.5 - Παράθυρα λήψης συσκευών κατηγορίας B (thethingsnetwork, Device Classes n.d.)

2.4.3 Συσκευές LoRa κατηγορίας C (Class C)

Οι συσκευές κατηγορίας C, δεδομένου ότι συνήθως δεν τροφοδοτούνται από μπαταρία, έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν τα *receive windows* ανοιχτά, επιτρέποντας τη στιγμιαία μετάδοση δεδομένων προς μια συσκευή, χωρίς να χρειάζεται να περιμένουν το άνοιγμα ενός *downlink window* (Εικόνα 2.6). Οι εν λόγω συσκευές διαθέτουν μέγιστες υποδοχές downlink και έχουν τη μικρότερη καθυστέρηση για τη μετάδοση δεδομένων, μεταξύ διακομιστή και end-point συσκευών. Ωστόσο, χρειάζονται περισσότερη ισχύ σε σύγκριση με την κατηγορία A και την κατηγορία B. (thethingsnetwork, Device Classes n.d.)



Εικόνα 2.6 - Παράθυρα λήψης συσκευών κατηγορίας C (thethingsnetwork, Device Classes n.d.)

2.5 The Things Network

Το The Things Network (TTN), ιδρύθηκε το 2015 στην Ολλανδία από τους Johan Stokking και Wienke Giezeman. Αποτελεί μια παγκόσμια συνεργατική πλατφόρμα που δημιουργεί δίκτυα, συσκευές και λύσεις, χρησιμοποιώντας το LoRaWAN, παρέχοντας εργαλεία και ένα παγκόσμιο ανοιχτό δίκτυο, με σκοπό την δυνατότητα της κατασκευής μιας εφαρμογής IoT χαμηλού κόστους και με μεγάλη ασφάλεια.

Τα βασικά στοιχεία του δικτύου αυτού είναι:

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

- Μία συσκευή LoRaWAN, με τη δυνατότητα να αποστέλλει και να λαμβάνει δεδομένα σε τακτά χρονικά διαστήματα.
- Ένα Gateway, που λαμβάνει μηνύματα από το LoRa και τα προωθεί μέσω ενός ασφαλούς προωθητή πακέτων, στο Router.
- Το Router, ένας μικροϋπολογιστής που προωθεί το μήνυμα από το Gateway προς τον Broker.
- Το Broker, ένας μικροϋπολογιστής που προσδιορίζει την συσκευή και προωθεί το φορτίο στον Handler που είναι συνδεδεμένος στην εφαρμογή.
- Ο Handler, ένας μικροϋπολογιστής που αποκρυπτογραφεί και κρυπτογραφεί τα δεδομένα και τα δημοσιεύει στους Brokers που θα χρησιμοποιηθούν από την εφαρμογή.
- Η εφαρμογή (application), ένα μέρος του λογισμικού που εκτελεί ενέργειες.

Όπως προαναφέρθηκε, τα Gateways δημιουργούν γέφυρες επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών και της πλατφόρμας, προωθώντας μηνύματα αντίστοιχα. Τα Gateways υφίστανται σε παγκόσμια εμβέλεια και από την πλατφόρμα παρέχεται ψηφιακός χάρτης (Εικόνα 2.7) προβολής αυτών. Μέσω αυτού, προκύπτει πως στην Ελλάδα υπάρχει επαρκής αριθμός Gateways που καλύπτουν μεγάλο μέρος της γεωγραφικής έκτασης. (Stokking 2017)



Εικόνα 2.7 - (α) Παγκόσμιος χάρτης (β) χάρτης Ελλάδος, όπου εμφανίζονται τα Gateways, που είναι συνδεδεμένα με το TTN (thethingsnetwork n.d.)

2.6 Οι Μικροελεγκτές και η Χρησιμότητά τους στα ΙοΤ

Ο μικροελεγκτής, αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα (τσιπ) που περιλαμβάνει μια θύρα εισόδου/εξόδου, έναν επεξεργαστή και μια μνήμη, παρόμοια δομή με αυτήν των υπολογιστών. Λειτουργεί ερμηνεύοντας μέσω του επεξεργαστή του, τις πληροφορίες που αποθηκεύονται στη μνήμη, κατόπιν λήψης αυτών από το περιφερειακό σύστημα εισόδου/εξόδου, πραγματοποιώντας τις κατάλληλες ενέργειες. (Lutkevich, 2019)

Μερικά από τα πεδία που βρίσκουν εφαρμογή οι μικροελεγκτές είναι:

- Ηλεκτρονικές συσκευές
- Κυκλώματα τηλεπικοινωνιών
- Εφαρμογές δικτύων
- Συστήματα διασύνδεσης
- Συστήματα αυτοματισμού
- Ρομπότ κ.α. (Eln.teilam.gr)

Για την επιλογή των μικροελεγκτών στα ΙοΤ, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

- Στο μέγεθος της μνήμης, τόσο της RAM όσο και της ROM, πρέπει να είναι επαρκές, για την αντιμετώπιση απαιτήσεων που θα προκύψουν από μελλοντικές ενημερώσεις
- Στις απαιτήσεις ισχύος, ανάλογα με την IoT συσκευή. Μπορεί μία συσκευή να χρειάζεται μια μπαταρία πολύ χαμηλής ισχύος, ή να καταναλώνει πολλή ηλεκτρική ενέργεια
- Στο διαδίκτυο και το πρωτόκολλο επικοινωνίας. Ανάλογα, με την εφαρμογή που πρόκειται να συνδεθεί, τα δεδομένα που θα προωθήσει και την αλληπίδρασή της με άλλες συσκευές
- Στον αριθμό των θυρών σύνδεσης (GPIOs), ανάλογα με τις εισόδους δεδομένων, που απαιτεί η συσκευή. Υπάρχουν τόσο ψηφιακές θύρες όσο και αναλογικές θύρες σε μια CPU (Central Processing Unit), οι οποίες επεξεργάζονται διαφορετικούς τύπους εισόδων και εξόδων δεδομένων
- Στην αρχιτεκτονική. Οι περισσότερες εφαρμογές τρέχουν με ARM, MIPS, X86.
- Στο κόστος. Ορισμένοι μικροελεγκτές, συνοδεύονται από τέλη αδειοδότησης για μεμονωμένα προγράμματα οδήγησης συσκευών
- Στην ασφάλεια. Τα τυπικά χαρακτηριστικά ασφαλείας στις εμπορικές πλακέτες, περιλαμβάνουν κρυπτογραφικούς bootloaders και επιταχυντές υλικού, στρώματα ασπίδας και μονάδες προστασίας μνήμης (GREGERSEN 2020)

Στο συγκεκριμένο project, θα χρησιμοποιηθεί ένας μικρούπολογιστής Raspberry Pi και ένας μικροελεγκτής Arduino.

Το Raspberry Pi είναι ένας Single Board Computer (SBC) και βασίζεται σε έναν μικροεπεξεργαστή ARM Cortex A Series, τον Broadcom SoC.

Το Arduino αποτελεί μια αναπτυσσόμενη πλακέτα, η οποία βασίζεται σε μικροελεγκτές της Atmel. Το Arduino Nano, χρησιμοποιεί τον μικροελεγκτή ATmega328P.

Οι διαφορές μεταξύ του μικροεπεξεργαστή και του μικροελεγκτή είναι πως ο μικροεπεξεργαστής, αποτελείται μόνο από μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), ενώ ο μικροελεγκτής περιέχει CPU, μνήμη, εισόδους/εξόδους, όλα ενσωματωμένα σε ένα τσιπ.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Κατασκευή και Χρήση του Αυτοματοποιημένου Συστήματος Άρδευσης

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται όλη η διαδικασία της κατασκευής του αυτοματοποιημένου συστήματος άρδευσης, ξεκινώντας από την περιγραφή του εξοπλισμού, των εξαρτημάτων και των προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς επίσης και το κόστος τους.

Στη συνέχεια, περιγράφονται τα βήματα για τη σύνδεση των εξαρτημάτων, τον προγραμματισμό, την εγκατάσταση του απαιτούμενου λογισμικού και τη διαδικασία καταχώρησης στο TTN, του LoRa Node και του LoRa Gateway.

Κατόπιν, παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την ενεργοποίηση της ασύρματης επικοινωνίας, μεταξύ του LoRa Node και του Gateway και την αποκωδικοποίηση των μηνυμάτων ελέγχου που εστάλησαν, τη σύνδεση των απαραίτητων αισθητήρων στο LoRa Node, την προσαρμογή κατάλληλου κώδικα και την αποκωδικοποίηση των δεδομένων.

Επειτα, περιγράφεται η εγκατάσταση του Node-RED στο LoRa Gateway, καθώς και η διασύνδεσή του με το TTN, με σκοπό την απεικόνιση, την αποθήκευση δεδομένων, την αποστολή εντολών (ενεργοποίηση αντλίας νερού, ενεργοποίηση και απενεργοποίηση ανεμιστήρα) στο έξυπνο φυτό, καθώς επίσης και την αποστολή μηνυμάτων ενημέρωσης στον χρήστη, μέσω email.

Τέλος, περιγράφεται η κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού powerbank, που απαιτήθηκε για την τροφοδοσία του έξυπνου φυτού και η κατασκευή τμημάτων του συστήματος, μέσω 3D εκτυπωτή.

3.2 Βασικός Εξοπλισμός

Για την κατασκευή ενός αυτοματοποιημένου συστήματος άρδευσης, δημιουργήθηκε ένα έξυπνο φυτό, το οποίο επικοινωνεί ασύρματα με ένα LoRa Gateway, στέλνοντας και λαμβάνοντας τα απαραίτητα δεδομένα, που απαιτούνται για να υλοποιηθούν οι απαραίτητες ενέργειες. Επίσης, για την τροφοδοσία του, κατασκευάστηκε ένα φωτοβολταϊκό powerbank.

Κατά την κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν μικροεπεξεργαστές, μικροϋπολογιστές, ολοκληρωμένες μονάδες και πλακέτες, αισθητήρες, DC μοτέρ και DC ανεμιστήρες, καθώς και 3D εκτυπωμένες θήκες για την αδιαβροχοποίηση και την προστασία των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

3.2.1 Έξυπνο Φυτό

Για την κατασκευή του αυτοματοποιημένου φυτού (Εικόνα 3.1), χρησιμοποιήθηκε μικροεπεξεργαστής κατάλληλα προγραμματισμένος, τέσσερις αισθητήρες για την συλλογή δεδομένων, μία αντλία νερού για το πότισμα του φυτού, ένας DC ανεμιστήρας για την αποφυγή υπερθέρμανσης, δύο BJT Transistor για την ενίσχυση του ρεύματος και ένα module (ολοκληρωμένη μονάδα) για την επικοινωνία αυτού με το LoRa Gateway.



Εικόνα 3.1 - Έξυπνο Φυτό.

3.2.1.1 *Arduino Nano*

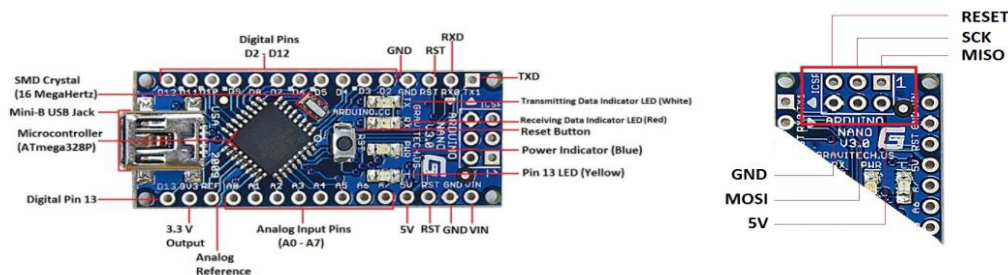
Το Arduino Nano (Εικόνα 3.2), είναι μια μικρή ολοκληρωμένη πλακέτα και κυκλοφόρησε το 2008, είναι μια πλακέτα μικροελεγκτή ανοικτού κώδικα, βασισμένη στον μικροελεγκτή ATmega328P της Microchip και αναπτύχθηκε από την Arduino.cc. Η πλακέτα είναι εξοπλισμένη με ψηφιακούς και αναλογικούς ακροδέκτες εισόδου/εξόδου (I/O) (Εικόνα 3.3), που μπορούν να διασυνδεθούν με διάφορες πλακέτες επέκτασης (shields) και άλλα κυκλώματα. (wikipedia, Arduino Uno, n.d.)



Εικόνα 3.2 - Arduino Nano
(hwlibre, n.d.)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

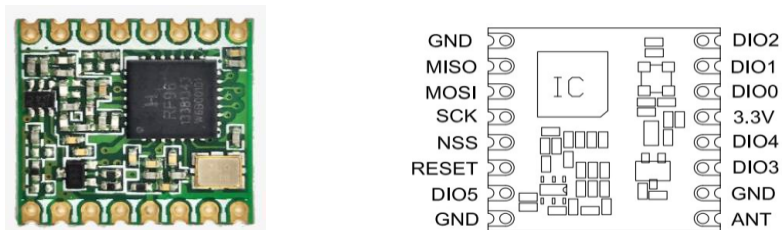
- Είναι μια μικρή πλακέτα μικροελεγκτή, διαστάσεων 18x45mm με βάρος 7gr.
- Βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328p ή MCU και στο ATmega168 σε προηγούμενες εκδόσεις.
- Λειτουργεί με συχνότητα 16 MHz.
- Η μνήμη αποτελείται από 16 KB ή 32 KB flash ανάλογα με την έκδοση, με μνήμη SRAM 1 ή 2 KB και 512 byte ή 1 KB EEPROM ανάλογα με το MCU.
- Έχει τάση τροφοδοσίας 5V, αλλά η τάση εισόδου μπορεί να κυμαίνεται από 7 έως 12V.
- Διαθέτει 14 ψηφιακούς ακροδέκτες, 8 αναλογικούς ακροδέκτες, 2 ακροδέκτες επαναφοράς και 6 ακροδέκτες ισχύος (Vcc και GND). Από τις αναλογικές και ψηφιακές καρφίτσες, έχουν εκχωρηθεί πολλές επιπλέον λειτουργίες, όπως pinMode, digitalWrite και analogRead. Στην περίπτωση των αναλογικών ακροδεκτών, επιτρέπουν ανάλυση 10-bit από 0 έως 5V. Οι ακροδέκτες 3,5,6,9,10 και 11 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι PWM.
- Χρησιμοποιεί ένα mini-USB για τη σύνδεσή του με τον υπολογιστή για τον προγραμματισμό ή την τροφοδοσία του.
- Η κατανάλωση ρεύματος είναι 19mA.
- Μπορεί να βρίσκεται σε λειτουργία μέχρι και 49,7 μέρες, μετά χρειάζεται επανεκκίνηση. (hwlibre, n.d.)



Εικόνα 3.3 – (α) Arduino Nano Pinout (β) Arduino Nano ICSP (CIRCUITSTODAY, n.d.)

3.2.1.2 LoRa Module RFM95W

Το RFM95W (Εικόνα 3.4), είναι μια μικρή ολοκληρωμένη πλακέτα (module). Κατά την λειτουργία του (Εικόνα 3.5), οι καταχωρήσεις μπορούν να γίνουν δεκτές μόνο σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας, κατάσταση αναμονής ή λειτουργία FSTX. Οπότε, η μετάδοση δεδομένων ξεκινά με την αποστολή αιτήματος λειτουργίας TX. Μετά την ολοκλήρωση του αιτήματος, εμφανίζεται η διακοπή TxDone και επιστρέφει σε κατάσταση αναμονής. Μετά τη μετάδοση, τοποθετείται είτε χειροκίνητα σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας, είτε το FIFO (First In First Out) ξαναγεμίζει για μεταγενέστερη λειτουργία Tx. Το FIFO μπορεί να συμπληρωθεί μόνο σε κατάσταση αναμονής. (cdn.sparkfun)

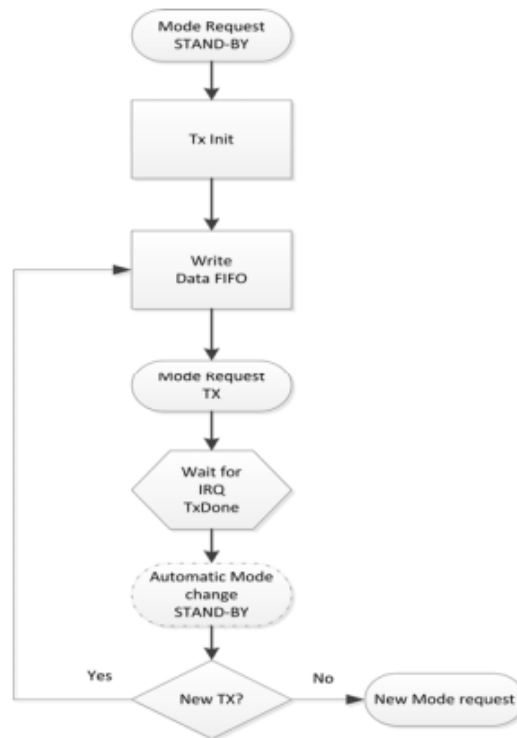


Εικόνα 3.4 – (α) LoRa Module RFM95W (hoperf, n.d.) (β) Pin Diagram (cdn.sparkfun)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Οι διαστάσεις του είναι: 16x16mm.
- Διαθέτει τεχνολογία LoRa, που παρέχει επικοινωνία φάσματος τρομερά μεγάλης εμβέλειας και περιορίζει τις υψηλές παρεμβολές, ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση ρεύματος.
- Μπορεί να επιτύχει ευαισθησία άνω των -148dBm, χρησιμοποιώντας κρύσταλλο χαμηλού κόστους. Η υψηλή ευαισθησία σε συνδυασμό με τον ενσωματωμένο ενισχυτή ισχύος +20 dBm αποφέρει δυνατή σύνδεση, καθιστώντας το βέλτιστο, για κάθε εφαρμογή που απαιτεί εύρος ή αντοχή.
- Υποστηρίζει, επίσης, λειτουργίες υψηλής απόδοσης (G)FSK για συστήματα, όπως WMBus, IEEE802.15.4g.
- Το εύρος συχνοτήτων είναι 868/915 MHz.
- Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (spreading factor) είναι 6 έως 12.
- Το εύρος ζώνης κυμαίνεται μεταξύ 7.8 και 500 kbps.
- Η ευαισθησία του εκτιμάται στα -111 έως -148 dBm. (hoperf, n.d.)

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 3.5 - Αλληλουχία μετάδοσης και λήψης δεδομένων από και προς το μόντεμ LoRaTM (cdn.sparkfun)

3.2.1.3 Αισθητήρας Θερμοκρασίας & Υγρασίας

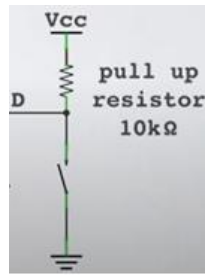
Για την μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας της ατμόσφαιρας, χρησιμοποιήθηκε ο ψηφιακός αισθητήρας DHT11 (Εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.6 - DHT11 αισθητήρας θερμοκρασίας & υγρασίας (Mobilefish, LoRa/LoRaWAN tutorial 26: Sending Sensor Data To The Things Network)

Ο DHT11, χρησιμοποιεί έναν χωρητικό αισθητήρα και ένα θερμίστορ για τη μέτρηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, αντίστοιχα, στέλνοντας ψηφιακό σήμα.

Περιλαμβάνει μια pull up αντίσταση (Εικόνα 3.7) των 10kΩ. Εάν η κατάσταση του ακροδέκτη (pin) είναι άγνωστη, σημαίνει ότι τίποτα δεν συνδέεται με τον ακροδέκτη. Για να αποφευχθεί η κατάσταση αυτή, ο ακροδέκτης ενεργοποιείται σε Vcc (high). Η αντίσταση 10kΩ τοποθετείται για να αποτρέψει βραχυκύκλωμα.



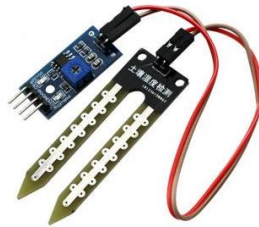
Εικόνα 3.7 - Αντίσταση pull up (Mobilefish, LoRa/LoRaWAN tutorial 26: Sending Sensor Data To The Things Network)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Οι διαστάσεις της πλακέτας είναι: 32x14mm.
 - Ο αισθητήρας μπορεί να στέλνει δεδομένα το λιγότερο ανά 2 sec.
 - Έχει τάση τροφοδοσίας 3 έως 5V DC.
 - Το μέγιστο ρεύμα είναι 2.5mA, κατά τη μεταφορά των δεδομένων.
 - Το εύρος μετρήσεως της υγρασίας είναι 20-80%, με ακρίβεια $\pm 5\%$.
 - Το εύρος μετρήσεως της θερμοκρασίας είναι 0-50 °C, με σφάλμα ± 2 °C.
 - Ο ρυθμό δειγματοληψίας, δεν υπερβαίνει το 1 Hz (μία φορά κάθε δευτερόλεπτο).
- (Mobilefish, LoRa/LoRaWAN tutorial 26: Sending Sensor Data To The Things Network)

3.2.1.4 Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους

Ο αισθητήρα υγρασίας του εδάφους (Εικόνα 3.8), αποτελείται από δύο εκτεθειμένους αγωγούς και δρα ως μεταβλητή αντίσταση (όπως ένα ποτενσιόμετρο), του οποίου η αντίσταση αλλάζει ανάλογα με την περιεκτικότητα νερού στο έδαφος.



Εικόνα 3.8 - Αισθητήρας υγρασίας εδάφους (grobotronics, n.d.)

Η αντίσταση αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη με την υγρασία του εδάφους. Όσο περισσότερο νερό υπάρχει στο έδαφος, τόσο καλύτερη αγωγιμότητα, οπότε χαμηλότερη αντίσταση. Αντίθετα, όσο λιγότερο νερό υπάρχει στο έδαφος τόσο χειρότερη αγωγιμότητα, οπότε υψηλότερη αντίσταση.

Ο αισθητήρας παράγει ένα αναλογικό σήμα εξόδου, από το οποίο μπορεί να καθοριστεί το επίπεδο υγρασίας εδάφους. Εκτός του αναλογικού σήματος, ο αισθητήρας παράγει και μία ψηφιακή έξοδο, η οποία παραβλέπετε στην συγκεκριμένη κατασκευή. (lastminuteengineers, n.d.)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Οι διαστάσεις της πλακέτας είναι: 30x16mm.
- Η τάση λειτουργίας του είναι από 3.3V έως 5V.
- Η θερμοκρασία λειτουργίας του κυμαίνεται από -40°C έως 125°C.
- Περιλαμβάνει ένδειξη ισχύος (κόκκινη) και ψηφιακή ένδειξη εξόδου μεταγωγής (πράσινη), χρησιμοποιώντας το συγκριτή LM393.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

- Επίσης, περιλαμβάνει λειτουργία διπλής εξόδου η οποία αποτελείται από μια DO-ψηφιακή διεπαφή παραγωγής (0 και 1) και μια AO-αναλογική διεπαφή εξόδου. (grobotronics, n.d.)

3.2.1.5 Αισθητήρας Φωτός

Μια φωτοαντίσταση ή αλλιώς Light Dependent Resistor (LDR) (Εικόνα 3.9) είναι ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα με ευαισθησία στο φως. Όταν το φως έρχεται σε άμεση επαφή με αυτό, τότε η αντίσταση αλλάζει. Οι τιμές της αντίστασης του LDR, δύναται να αλλάξουν σε πολλές τάξεις μεγέθους, ανάλογα με την αύξηση του επιπέδου του φωτός.



Εικόνα 3.9 - Φωτοαντίσταση LDR (grobotronics, Photo Resistor LDR 5mm, n.d.)

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των LDR είναι ημιαγωγοί και περιλαμβάνουν υλικά, όπως το CDS (cadmium sulphide).

Καθώς το φως πέφτει στον ημιαγωγό, τα φωτόνια απορροφώνται από το πλέγμα των ημιαγωγών και μέρος της ενέργειάς τους μεταφέρεται στα ηλεκτρόνια. Επομένως, μερικά ηλεκτρόνια αποκτούν αρκετή ενέργεια για να απελευθερωθούν από το κρυσταλλικό πλέγμα, έτσι ώστε, στη συνέχεια, να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τη μείωση της αντίστασης του ημιαγωγού και ως εκ τούτου, τη συνολική αντίσταση LDR.

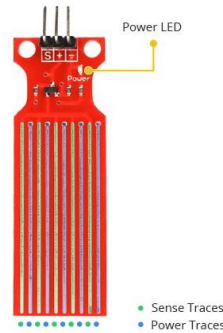
Όσο περισσότερο φως πέφτει στην αντίσταση LDR, τόσο μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτρονίων απελευθερώνεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα η αντίσταση να μειώνεται. (ElectronicsNote, n.d.)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Οι διαστάσεις του είναι 5mm.
- Η αντίσταση στο φως είναι από 0 έως 20kΩ.
- Η αντίσταση στο σκοτάδι είναι 1MΩ το λιγότερο.
- Η μέγιστη τάση είναι 150V.
- Η μέγιστης ισχύς είναι 100MW. (grobotronics, Photo Resistor LDR 5mm, n.d.)

3.2.1.6 Αισθητήρας Στάθμης Νερού

Ο αισθητήρας (Εικόνα 3.10) αυτός, χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της στάθμης του νερού. Αποτελείται από μια σειρά από δέκα εκτεθειμένους αγωγούς χαλκού, πέντε από αυτούς είναι αγωγοί ισχύος και οι άλλα πέντε είναι αγωγοί αίσθησης.



Εικόνα 3.10 - Αισθητήρας στάθμης νερού (lastminuteengineers, water-level-sensor-arduino-tutorial, n.d.)

Αυτοί οι αγωγοί είναι συνυφασμένοι, έτσι ώστε να υπάρχει ένας αγωγός αίσθησης μεταξύ δύο αγωγών ισχύος. Ωστόσο οι αγωγοί αυτοί, δεν συνδέονται αλλά γεφυρώνονται με νερό όταν βυθίζονται.

Η σειρά των εκτεθειμένων παράλληλων αγωγών, λειτουργούν ως μεταβλητή αντίσταση (όπως ένα ποτενσιόμετρο), του οποίου η αντίσταση αλλάζει ανάλογα με τη στάθμη του νερού. Η αλλαγή της αντίστασης αντιστοιχεί στην απόσταση από την κορυφή του αισθητήρα, μέχρι την επιφάνεια του νερού.

Η αντίσταση είναι αντιστρόφως ανάλογη με το ύψος του νερού. Όσο βαθύτερα βυθίζεται ο αισθητήρας στο νερό, τόσο καλύτερη αγωγιμότητα δημιουργείται, με αποτέλεσμα χαμηλότερη αντίσταση. Αντίστροφα, όταν ο αισθητήρας δεν βυθίζεται αρκετά, τόσο μικρότερη αγωγιμότητα προκαλείται, με αποτέλεσμα υψηλότερη αντίσταση.

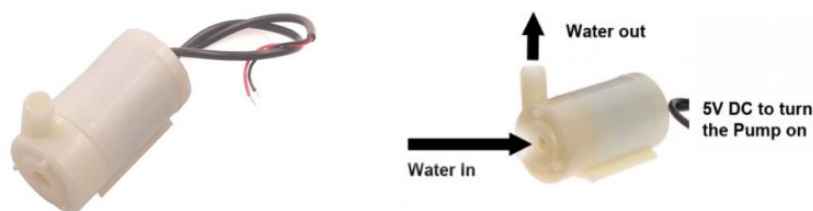
Ο αισθητήρας παράγει ένα αναλογικό σήμα εξόδου, από το οποίο μπορεί να καθοριστεί η στάθμη του νερού. (lastminuteengineers, water-level-sensor-arduino-tutorial, n.d.)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Οι διαστάσεις του είναι 65 mm x 20 mm x 8 mm.
- Η τάση τροφοδοσίας είναι μεταξύ 3 και 5V.
- Η ελάχιστη ένταση λειτουργίας είναι 20mA.
- Η περιοχή ανίχνευσης νερού είναι 40 mm x 16 mm.
- Η θερμοκρασία λειτουργίας είναι από 10 °C έως 30 °C.
- Η υγρασία λειτουργίας είναι από 10% έως 90%. (devobox, n.d.)

3.2.1.7 Αντλία Νερού

Η αντλία νερού (εικόνα 3.11) είναι μια μηχανή που περιλαμβάνει έναν DC κινητήρα. Όταν η αντλία λειτουργεί υπό τάση, τότε αρχίζει και λειτουργεί ο DC κινητήρας, όπου μεταφέρει υγρό υπό πίεση.

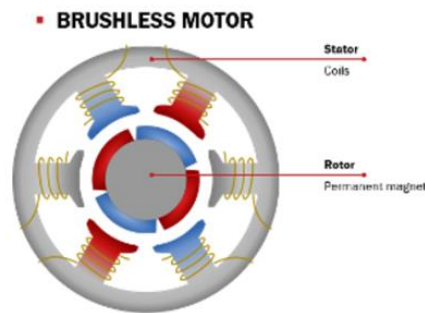


Εικόνα 3.11 - DC Αντλία Νερού (PotentialLabs, n.d.)

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Στο κέντρο του κινητήρα υπάρχει ένας στροφέας με πηνία γύρω του. Γύρω από αυτά τα πηνία υπάρχουν μαγνήτες, οι οποίοι δημιουργούν ένα μόνιμο μαγνητικό πεδίο που ρέει μέσα από τον στροφέα (Εικόνα 3.12).

Με την ενεργοποίηση του κινητήρα, ηλεκτρική ενέργεια ρέει στα πηνία, παράγοντας ένα μαγνητικό πεδίο που απωθεί τους μαγνήτες γύρω από τον στροφέα, προκαλώντας τον στροφέα να περιστρέφεται 180 μοίρες. Όταν ο στροφέας περιστρέφεται, η κατεύθυνση του ηλεκτρισμού στα πηνία αναστρέφεται, ωθώντας ξανά τον στροφέα και προκαλώντας τον να γυρίσει άλλες 180 μοίρες. Μέσα από μια σειρά ωθήσεων, ο στροφέας συνεχίζει να περιστρέφεται, οδηγώντας τον ρότορα και τροφοδοτώντας την αντλία.



Εικόνα 3.12 - DC κινητήρας (gatestechzone, n.d.)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Η τάση τροφοδοσίας είναι 2.5 έως 6V.
- Το ρεύμα λειτουργίας του είναι από 130 έως 220mA.
- Ο ρυθμός ροής κυμαίνεται μεταξύ 80 και 120 L/H.
- Ο μέγιστος ανεφοδιασμός υγρού είναι 40 - 110 mm.
- Η ζωή συνεχόμενης λειτουργίας του είναι 500 ώρες.
- Η έξοδος της εξωτερικής διαμέτρου είναι 7,5 mm.
- Η έξοδος της εσωτερικής διαμέτρου είναι 5 mm. (PotentialLabs, n.d.)

3.2.1.8 DC Ανεμιστήρας

Ο DC ανεμιστήρας (Εικόνα 3.13) είναι μία μηχανή που περιλαμβάνει έναν DC κινητήρα. Όταν εφαρμόζεται τάση, τότε αρχίζει και λειτουργεί ο DC κινητήρας, με αποτέλεσμα να περιστρέφονται οι έλικες που είναι εφαρμοσμένοι πάνω στον κινητήρα, όπου με την σειρά τους δημιουργούν την ροή του αέρα .



Εικόνα 3.13 - DC Ανεμιστήρας 5V (grobotronics, DC Fan 40x40x10mm 5V , n.d.)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Το μέγεθος του ανεμιστήρα είναι 40x10 mm.
- Η τάση λειτουργίας του είναι μεταξύ 3.5 και 6V.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

- Η ενέργεια που καταναλώνει είναι 88Mw.
- Η αποδοτικότητα του είναι 11.99m3/h.
- Το επίπεδο θορύβου είναι 23dBA.
- Ο ρυθμός περιστροφής/ταχύτητα είναι 6100rpm.
- Η ανοχή της κατανάλωσης ρεύματος και ισχύος είναι $\pm 15\%$.
- Η θερμοκρασία λειτουργίας κυμαίνεται μεταξύ -10 έως 70°C.
- Η στατική πίεση είναι 3.05mm H₂O. (grobotronics, DC Fan 40x40x10mm 5V , n.d.)

3.2.1.9 BJT Transistor

Το τρανζίστορ (Εικόνα 3.14) έχει εφαρμογές όπως, ενίσχυση και σταθεροποίηση τάσης, διαμόρφωση συχνότητας, λειτουργία ως διακόπτης και ως μεταβλητή ωμική αντίσταση. Το τρανζίστορ, όταν συνδέεται σε μία πηγή τάσης, μπορεί ανάλογα με την τάση με την οποία πολώνεται, να ρυθμίζει την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος που απορροφά. Στην προκειμένη περίπτωση, το τρανζίστορ θα λειτουργήσει ως διακόπτης.

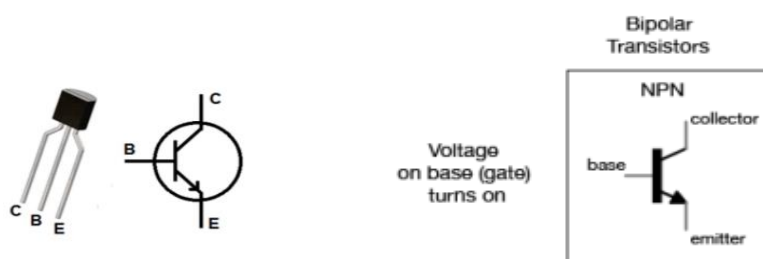


Εικόνα 3.14 - NPN Transistor 2N2222A (grobotronics, Transistor NPN 800mA - 2N2222A, n.d.)

Υπάρχουν διάφοροι τύποι τρανζίστορ και χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: διπολικά τρανζίστορ (BJT) και τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (FET). Όλα έχουν τρεις συνδέσεις, που αναφέρονται ως βάση (base), συλλέκτη (collector) και εκπομπό (emitter).

Μεταξύ των διπολικών τρανζίστορ, υπάρχουν δύο τύποι: τρανζίστορ NPN και τρανζίστορ PNP. Για την αντλία νερού και τον DC ανεμιστήρα, θα χρησιμοποιηθεί BJT NPN τρανζίστορ.

Όταν εφαρμόζετε θετική τάση στη βάση ενός τρανζίστορ NPN, τότε ενεργοποιείται η σύνδεση συλλέκτη-εκπομπού και επιτρέπει στο ρεύμα να ρέει από τον συλλέκτη στον εκπομπό (Εικόνα 3.15). (ITPPhysicalComputing, n.d.)



Εικόνα 3.15 - Λειτουργία του NPN BJT Transistor (Computing, n.d.)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Το μέγιστο ρεύμα του συλλέκτη είναι 800mA,
- Η μέγιστη τάση βάσης είναι 40V,
- Η μέγιστη τάση συλλέκτη-εκπομπού είναι 75V,
- Η μέγιστη ισχύς είναι 500mW. (grobotronics, Transistor NPN 800mA - 2N2222A, n.d.)

Να σημειωθεί πως εφαρμόστηκε τρανζίστορ, σε αντίθεση με το ρελέ που χρησιμοποιείται, κατά βάση, σε αντίστοιχες κατασκευές, καθώς το ρελέ, αποτελεί έναν μηχανικό διακόπτη, με αποτέλεσμα να

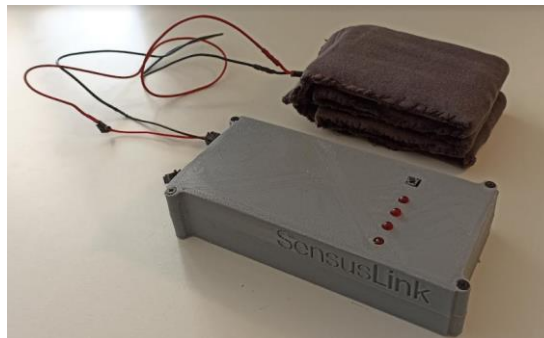
ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Φοίβος-Βασίλειος Γαρπόζης 48

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

καθυστερεί η ρύθμιση της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος. Επομένως, δεν είναι αρκετά αποτελεσματικό, για τη άμεση ενεργοποίηση και απενεργοποίησή του, που απαιτείται στην προκειμένη περίπτωση. (ITPPhysicalComputing, n.d.)

3.2.2 Φωτοβολταϊκό Powerbank

Για την τροφοδοσία του έξυπνου φυτού χρησιμοποιήθηκε ένα φωτοβολταϊκό powerbank (Εικόνα 3.16). Το φυτό μπορεί να βρίσκεται σε περιοχές όπου δεν υπάρχει τροφοδοσία ή ρεύμα, γι' αυτόν τον λόγο απαιτείται ένα powerbank με επαρκή ισχύ, με σκοπό να τροφοδοτείται όλο το εικοσιτετράωρο. Ο χρόνος ζωής του powerbank μπορεί να διαρκέσει κατά πολύ προσδίδοντας σ' αυτό και ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, ώστε να μην είναι αναγκαία η συνεχής φόρτισή του.



Εικόνα 3.16 - Φωτοβολταϊκό Powerbank

3.2.2.1 Μπαταρίες Λιθίου

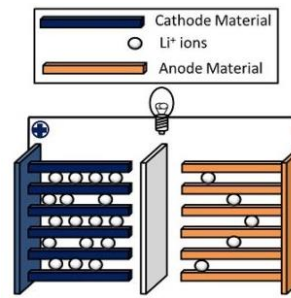
Για την φόρτιση του powerbank χρησιμοποιήθηκαν 6 επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου 18650 των 3.7V (Εικόνα 3.17), χωρητικότητας 7800mAh.



Εικόνα 3.17 - Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου 18650 των 3.7V, 7800mAh (AliExpress, n.d.)

Η μπαταρία ιόντων λιθίου (Li-ion) είναι μια προηγμένη τεχνολογία μπαταριών, που χρησιμοποιεί ιόντα λιθίου (Εικόνα 3.18). Κατά τη διάρκεια ενός κύκλου εκφόρτισης, τα άτομα λιθίου στην άνοδο (anode) ιονίζονται και διαχωρίζονται από τα ηλεκτρόνια τους. Τα ιόντα λιθίου κινούνται από την άνοδο και περνούν μέσα από τον ηλεκτρολύτη, έως ότου φτάσουν στην κάθοδο (cathode), όπου επανασυνδέονται με τα ηλεκτρόνια τους και εξουδετερώνονται ηλεκτρικά.

Τα ιόντα λιθίου είναι αρκετά μικρά σε μέγεθος, γι' αυτόν τον λόγο, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι ικανές να έχουν πολύ υψηλή τάση και αποθήκευση φόρτισης, ανά μονάδα μάζας και όγκου. (institute, n.d.)



Εικόνα 3.18 - Λειτουργία μπαταρίας λιθίου (institute, n.d.)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Το μέγεθος της μπαταρίας είναι 65mm με διάμετρο 18.2mm.
- Η ονομαστική χωρητικότητα είναι: 7800 mAh.
- Η ονομαστική τάση είναι 3.7V.
- Η ελάχιστη εκφόρτιση της μπαταρίας είναι 2.75V.
- Η μέγιστη φόρτιση της μπαταρίας είναι 4.2V.
- Τυπική φόρτιση 10 ώρες.
- Γρήγορη φόρτιση 2.5 ώρες.
- Η μέγιστη φόρτιση και εκφόρτιση είναι: 7800mA.
- Η θερμοκρασία λειτουργίας φόρτισής του κυμαίνεται μεταξύ -20 και 60°C. (AliExpress, n.d.)

3.2.2.2 Φωτοβολταϊκά Πάνελ

Για την φόρτιση του powerbank χρησιμοποιήθηκαν 6 μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ (Εικόνα 3.19) των 5V με ισχύ 1.25W.



Εικόνα 3.19 - Μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πάνελ 5V, 1.25W (AliExpress, LEORY Hot 5V 1.25W 250mA Mini Monocrystalline Solar Panel Silicon Epoxy , n.d.)

Το φωτοβολταϊκό αποτελείται από ένα πλαίσιο (panel) μέσα στο οποίο βρίσκονται οι κυψέλες. Οι κυψέλες μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρικό ρεύμα. Από το πίσω μέρος του φωτοβολταϊκού πάνελ, εξέρχονται δύο καλώδια (ένα θετικό και ένα αρνητικό) από όπου διοχετεύεται το ηλεκτρικό ρεύμα.

Το μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών είναι, ότι μετατρέπουν μόνο ένα ποσοστό της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από τον τύπο των φωτοβολταϊκών και την κλίση τους προς τον ήλιο.

Οι τύποι των φωτοβολταϊκών διακρίνονται σε μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά στοιχεία. Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση, μετατρέποντας έως και το 17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Ενώ τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν χαμηλότερη απόδοση (13%-15%). (GreenEnergyParts)

Επίσης τα φωτοβολταϊκά, για να αποκτήσουν την μέγιστη ενέργεια του ήλιου (17%) πρέπει να βρίσκονται κάθετα στις ακτίνες του ήλιου.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Οι διαστάσεις του φωτοβολταϊκού είναι 110 x 70mm.
- Η ονομαστική του τάση είναι 5V.
- Η μέγιστη του ισχύ είναι 1.25W.
- Η μέγιστη ένταση ρεύματος είναι 250mA.

(AliExpress, LEORY Hot 5V 1.25W 250mA Mini Monocrystalline Solar Panel Silicon Epoxy , n.d.)

3.2.2.3 DC-DC Boost Converter

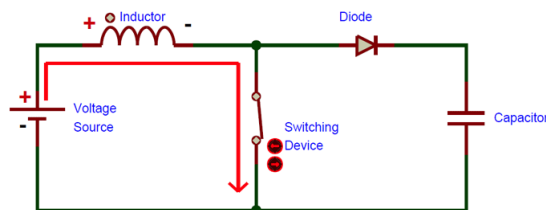
Ένας boost converter (Εικόνα 3.20) είναι ένας μετατροπέας ισχύος, όπου παίρνει μια τάση εισόδου και την ενισχύει ή την αυξάνει. Αποτελείται από ένα πηνίο (inductor), έναν διακόπτη MOSFET (switching device), μια δίοδο (diode) και έναν πυκνωτή (capacitor).



Εικόνα 3.20 - DC-DC Boost Converter 2A 5-56V (cableworks, High Voltage DC-DC Boost Converter 2A 5-56V, n.d.)

Ο διακόπτης MOSFET είναι ένα τρανζίστορ, όπου απαιτεί αμελητέο ρεύμα στη βάση για να ενεργοποιηθεί και μηδενικό ρεύμα για την απενεργοποίησή του.

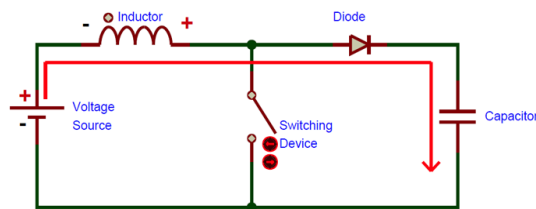
Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός (κατάσταση ON) (Εικόνα 3.21), η πηγή σήματος ανεβαίνει στο high με αποτέλεσμα να ενεργοποιηθεί το MOSFET. Όλο το ρεύμα εκτρέπεται στο MOSFET μέσω του πηνίου. Επίσης, ο πυκνωτής εξόδου παραμένει φορτισμένος, καθώς δεν μπορεί να εκφορτιστεί λόγω της διόδου.



Εικόνα 3.21 - Λειτουργία του converter όταν ο διακόπτης είναι κλειστός (ON) (components, n.d.)

Όταν ο διακόπτης ανοίξει (κατάσταση OFF) (Εικόνα 3.22), τότε το πηνίο αλλάζει την πολικότητα του για να διατηρήσει την ομαλή ροή του ρεύματος, χρησιμοποιώντας την ενέργεια που ήταν αποθηκευμένη στο μαγνητικό της πεδίο. Επομένως, το πηνίο λειτουργεί σαν πηγή τάσης σε σειρά με την τάση τροφοδοσίας, με αποτέλεσμα η άνοδος της διόδου να έχει υψηλότερη τάση από την κάθοδο και κατά συνέπεια ο πυκνωτής εξόδου να φορτιστεί με υψηλότερη τάση από πριν και η τάση εξόδου να αυξηθεί. (components, n.d.)

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 3.22 - Λειτουργία του converter όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός (OFF) (components, n.d.)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Η διαστάσεις του είναι 4.3x3x1.2cm.
 - Η τάση εισόδου κυμαίνεται από 3.5 έως και 35V.
 - Η τάση εξόδου κυμαίνεται μεταξύ 5και 56V.
 - Η μέγιστη ένταση του ρεύματος είναι 3A.
 - Η αποδοτικότητα μετατροπής είναι 90%.
- (cableworks, High Voltage DC-DC Boost Converter 2A 5-56V, n.d.)

3.2.2.4 Πλακέτα Φόρτισης Μπαταριών Λιθίου CN3065

Για την φόρτιση των μπαταριών χρησιμοποιήθηκε η πλακέτα φόρτισης CN3065 (Εικόνα 3.23). Είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, που απορροφά την περισσότερη δυνατή ενέργεια από μια ηλιακή είσοδο, ώστε να φορτίσει μία συνδεδεμένη μπαταρίας λιθίου.

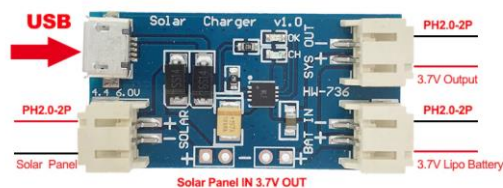


Εικόνα 3.23 - Πλακέτα φόρτισης μπαταριών λιθίου CN3065 (zipy, n.d.)

Η πλακέτα έχει ενσωματωμένο έναν 8 bit μετατροπέα (ADC), ο οποίος μετατρέπει την τάση, από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα. Επίσης, περιλαμβάνει θύρα USB που επιτρέπει τη φόρτιση της μπαταρίας (Εικόνα 3.24).

Επιπλέον, περιλαμβάνει μια λυχνία LED, η οποία γίνεται κόκκινη κατά τη φόρτιση και πράσινη όταν έχει ολοκληρωθεί η φόρτιση.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ισχύς εξόδου από την μπαταρία είναι άναρχη, οπότε απαιτείται buck ή boost converter (μετατροπέας) ανάλογα για τη ρύθμιση της εξόδου στην επιθυμητή τάση. (joeknowselectronics, n.d.)



Εικόνα 3.24 - Συνδέσεις εισόδου και εξόδου για την πλακέτα φόρτισης μπαταριών λιθίου CN3065 (zipy, n.d.)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

- Οι διαστάσεις του είναι 20x40mm.
- Η τάση εισόδου φωτοβολταϊκού πάνελ είναι μεταξύ 4.4 και 6V.
- Το μέγιστο ρεύμα φόρτισης είναι 500mA.
- Περιέχει ενσωματωμένες τρεις διεπαφές για καλώδια τύπου JST 2 ακροδεκτών (PH2.0) και έναν micro-USB.
- Περιλαμβάνει προστασία από βραχυκύκλωση.
(ziyu, n.d.)

3.2.3 LoRa Gateway

Για την κατασκευή του LoRa Gateway (Εικόνα 3.25), χρησιμοποιήθηκε ένας μικροϋπολογιστής, Raspberry Pi. Με κατάλληλο προγραμματισμό και με ροές εντολών, μέσω του εργαλείου ανάπτυξης Node-Red, πραγματοποιήθηκε η διασύνδεση του με το TTN, με σκοπό την διαχείριση και την επεξεργασία των δεδομένων.

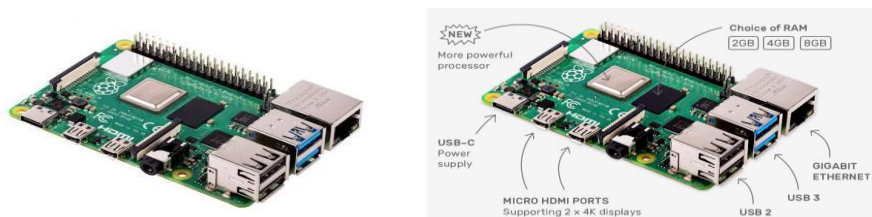


Εικόνα 3.25 - LoRa Gateway

Για την λήψη και την αποστολή των δεδομένων, συνδέθηκε στο Raspberry Pi, μία μονάδα υψηλής απόδοσης, η οποία είναι σχεδιασμένη να λαμβάνει πολλά πακέτα LoRa ταυτόχρονα, χρησιμοποιώντας διαφορετικά κανάλια.

3.2.3.1 Raspberry Pi

Το Raspberry Pi 4 Model B (Εικόνα 3.26) είναι ένας μικροϋπολογιστής με επιδόσεις ίδιες με αυτές ενός επιτραπέζιου υπολογιστή. Διαθέτει μνήμη 2GB RAM, έναν επεξεργαστή quad-core 64 bit, υποστηρίζει διπλές οθόνες, μέχρι 4K ανάλυση, μέσω ενός ζεύγους θυρών micro-HDMI, Gigabit Ethernet, USB 3.0, ασύρματο LAN, Bluetooth 5.0, 3.5mm jack και τροφοδοσία με USB-C. (ExplainingComputers, n.d.)



Εικόνα 3.26 - Raspberry Pi 4 Model B 2GB RAM (grobotronics, Raspberry Pi 4 - Model B - 2GB, n.d.)

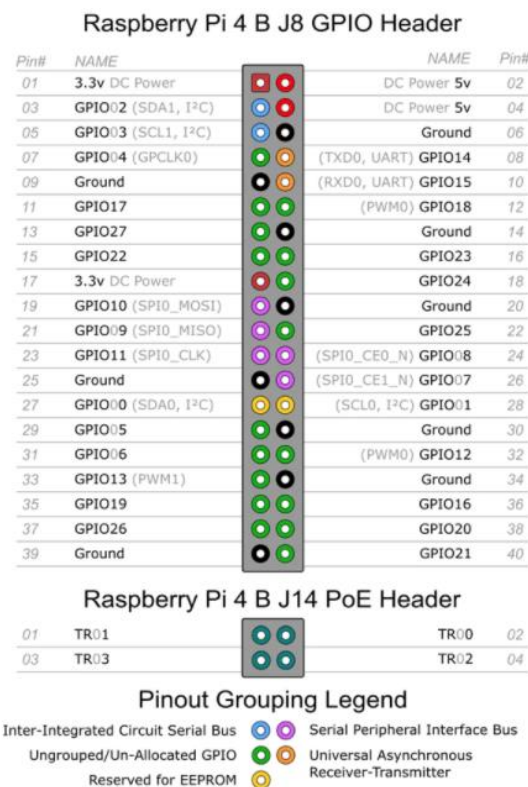
Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Επίσης, το Raspberry Pi 4 Model B, περιλαμβάνει 40 GPIO και 4 PoE ακροδέκτες (Εικόνα 3.27), όπου χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση ενός σημείου ασύρματης πρόσβασης, τηλεφώνου IP και κάμερας δικτύου.

Οι GPIO είναι ψηφιακοί ακροδέκτες σήματος, όπου χρησιμοποιούνται ως είσοδοι, έξοδοι ή και τα δύο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον χρήστη κατά τον χρόνο εκτέλεσης.

Επιπλέον, δέχονται αιτήματα ανάγνωσης και εγγραφής, τα οποία είναι καθορισμένα από τον χρήστη. Τα αιτήματα εγγραφής χρησιμοποιούνται για να ρυθμίζεται ο ακροδέκτης σε υψηλή ή χαμηλή τάση.

Οι ακροδέκτες εισόδου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη δεδομένων από περιφερειακές συσκευές. Ενώ, οι ακροδέκτες εξόδου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο περιφερειακών συσκευών ή την αποστολή δεδομένων στις συσκευές αυτές. (Raspberry Pi GPIO connector, n.d.)



Εικόνα 3.27 - Raspberry Pi 4 Model B pin out (community.element14, n.d.)

Το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιεί το Raspeberry Pi είναι το Raspbian. Το Raspbian, είναι ένα λειτουργικό σύστημα που βασίζεται στο Debian (Linux). Το λογισμικό που χρησιμοποιούν τα Linux είναι το Bush, μια τερματική εφαρμογή που χρησιμοποιείται για διασύνδεση με ένα λειτουργικό σύστημα μέσω γραπτών εντολών.

Το Raspberry Pi μπορεί, επίσης, να υποστηρίξει και άλλα λειτουργικά συστήματα όπως, τα Windows 10 αλλά με περιορισμούς. Από το 2013, το Raspbian , παρέχεται επίσημα από το Ίδρυμα Raspberry Pi ως το κύριο λειτουργικό σύστημα. (wikipedia, n.d.)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

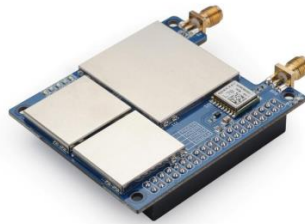
- Ο επεξεργαστής είναι ο Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz.
- Η μνήμη είναι 2GB.
- Συνδέεται ασύρματα με 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac.
- Περιλαμβάνει σύνδεση με LAN, Bluetooth 5.0, BLE.
- Ενσύρματα με Gigabit Ethernet.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

- Περιλαμβάνει δύο θύρες USB 3.0 και δύο θύρες USB 2.0.
- 40 ακίδες GPIO.
- Δύο θύρες micro HDMI (up to 4Kp60).
- Δύο θύρες οθόνης MIPI DSI και δύο lane MIPI CSI.
- Μία τετραπολική θύρα στερεοφωνικού ήχου.
- H.265 (4Kp60) και H.264 (1080p60, 1080p30).
- Γραφικά OpenGL ES, 3.0.
- Υποστηρίζει κάρτα micro SD, για φόρτωση λειτουργικού συστήματος και αποθήκευσης δεδομένων.
- Η τάση λειτουργίας είναι στα 5V DC μέσω USB-C ή μέσω ακροδεκτών GPIO.
- Λειτουργία μέσω PoE (απαιτείται ξεχωριστό PoE HAT).
- Η θερμοκρασία λειτουργίας κυμαίνεται μεταξύ 0° και 50° C. (grobotronics, Raspberry Pi 4 - Model B - 2GB, n.d.)

3.2.3.2 *LoRaWAN Concentrator*

Για την επικοινωνία με το έξυπνο φυτό, χρησιμοποιήθηκε το PG1301 της εταιρίας Dragino. Το PG1301 είναι ένας πομποδέκτης υψηλής απόδοσης (Εικόνα 3.28), με 10 κανάλια, το οποίο είναι σχεδιασμένο να λαμβάνει πολλά πακέτα LoRa ταυτόχρονα, χρησιμοποιώντας τυχαίους παράγοντες διασποράς, σε τυχαία κανάλια.

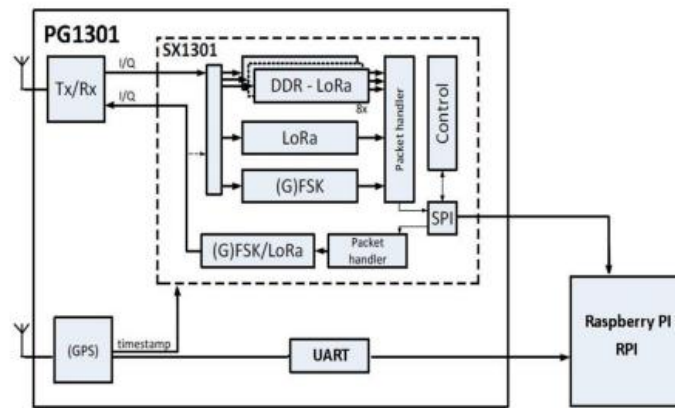


Εικόνα 3.28 - 10 channels - LoRaWAN GPS Concentrator for Raspberry Pi (Dragino)

Ο πομποδέκτης αυτός (Εικόνα 3.29), επιτρέπει την σύνδεση μεταξύ ενός κεντρικού ασύρματου δικτύου και πολλών ασύρματων κόμβων αισθητήρων (LoRa nodes) σε ένα ευρύ φάσμα αποστάσεων. Έχει την ικανότητα να συνδέεται με 5000 κόμβους ανά km²

Το PG1301 είναι σχεδιασμένο να συνδέεται με ένα Raspberry Pi, με σκοπό την δημιουργία ενός έξυπνου δικτύου, για την απόκτηση, τη μέτρηση, την επεξεργασία και τη μεταφορά δεδομένων αλλά και για διάφορες εφαρμογές IoT.

Επιπλέον, έχει ενσωματωμένο GPS, που παρέχει συγχρονισμό ακριβείας στο SX1301 και γεωγραφικές συντεταγμένες στο Raspberry Pi για περαιτέρω διαδικασίες.



Εικόνα 3.29 - Δομή του συστήματος PG1301 (Dragino)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Υποστηρίζει Raspberry Pi 3B/ 3B+/ 4.
- Η ευαισθησία είναι έως -145.5dBm με SX1257 Tx/Rx.
- Η απόρριψη παρεμβολών CW είναι 70 dB στα 1 MHz offset.
- Παρέχει δυνατότητα λειτουργίας με αρνητικό SNR, CCR έως 9dB.
- Περιέχει διπλές ψηφιακές διεπαφές ραδιοφώνου TX και RX.
- Περιλαμβάνει 10 προγραμματισμένες παράλληλες διαδρομές αποδιαμόρφωσης.
- Περιλαμβάνει Dynamic data-rate (DDR) προσαρμογή.
- Περιέχει 1.3 Γενικές διεπαφές.
- Παρέχει διεπαφή SPI για LoRa.
- Η τάση λειτουργίας του είναι στα 5V με ένταση ρεύματος 1A.
- Περιλαμβάνει μία κεραία SMA για LoRa και μία κεραία SMA X για GPS. (Dragino)

3.2.4 3D Printer

Για την προστασία των ηλεκτρικών συσκευών που κατασκευάστηκαν, από τις αντίξοες καιρικές συνθήκες, κατασκευάστηκαν κατάλληλα σχεδιασμένες θήκες, οι οποίες δημιουργήθηκαν με την βοήθεια τρισδιάστατου εκτυπωτή, Creality3D Ender-3 Pro (Εικόνα 3.30).



Εικόνα 3.30 - Creality3D Ender-3 Pro (Creality3D Ender-3 Pro, n.d.)

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια διαδικασία κατασκευής, στην οποία σχηματίζεται ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. Αυτό θεωρείται πρόσθετη διαδικασία, καθώς το αντικείμενο κατασκευάζεται από το μηδέν, σε αντίθεση με τις αφαιρετικές διεργασίες, στις οποίες το υλικό κόβεται ή τρυπιέται.

Ένας εκτυπωτής 3D λειτουργεί ουσιαστικά εξωθώντας λιωμένο πλαστικό, μέσω ενός μικροσκοπικού ακροφυσίου, που κινείται ακριβώς υπό την ρύθμιση του υπολογιστή. Εκτυπώνει ένα στρώμα, περιμένει να στεγνώσει και στη συνέχεια εκτυπώνει την επόμενη στρώση στην κορυφή.

Οι εκτυπωτές 3D, έχουν την δυνατότητα να μετατρέπουν ψηφιακά αρχεία που περιέχουν τρισδιάστατα δεδομένα σε φυσικά αντικείμενα. Τα ψηφιακά αυτά αρχεία, μπορούν να σχεδιαστούν με προγράμματα σχεδίασης CAD και CAM ή από σαρωτή 3D σε φυσικά αντικείμενα. (Hoffman, n.d.)

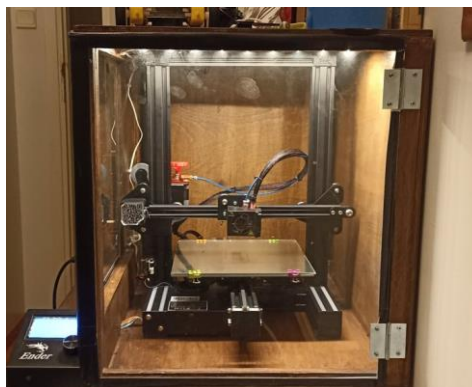
Στη προκειμένη περίπτωση, επειδή οι συσκευές θα βρίσκονται εκτεθειμένες στον ήλιο για μεγάλο χρονικό διάστημα και σε υψηλές θερμοκρασίες, το πλαστικό που χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση είναι ABS (Εικόνα 3.31).



Εικόνα 3.31 - Real filament ABS (Real Filament ABS 1.75mm Black 1kg, n.d.)

Το πλαστικό ABS, αποτελείται από τρία χημικά στοιχεία, το Acrylonitrile, το Butadiene και το Styrene. Το Acrylonitrile στο ABS παρέχει χημική και θερμική σταθερότητα, ενώ το Butadiene προσθέτει ανθεκτικότητα και δύναμη. Το Styrene δίνει στο τελικό αποτέλεσμα ένα ωραίο, γυαλιστερό φινίρισμα.. Έχει επίσης υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και είναι πολύ ανθεκτικό στις φυσικές επιπτώσεις και τη χημική διάβρωση, οι οποίες επιτρέπουν στο τελικό πλαστικό να αντέξει τη βαριά χρήση και τις δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες. Αντέχει σε θερμοκρασίες έως και 200° C (adrecoplastics.co.uk, n.d.)

Το αρνητικό του ABS είναι ότι έχει χαμηλό σημείο τήξης, επομένως, κατά την εκτύπωση η θερμοκρασίες του περιβάλλοντος πρέπει να είναι υψηλές. Η οποιαδήποτε αλλαγή της θερμοκρασίας, κατά την διάρκεια της εκτύπωσης, μπορεί να προβεί καταστροφική. Για αυτόν τον λόγο, κατασκευάστηκε ένα κουτί (Εικόνα 3.32), που μπορεί να διατηρεί υψηλές θερμοκρασίες και να μην επηρεάζεται από εξωτερικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες.



Εικόνα 3.32 - Κουτί απομόνωσης θερμοκρασίας για Ender-3 pro

3.3 Περαιτέρω Εργαλεία και Υλικά

Για την κατασκευή του έξυπνου φυτού, του φωτοβολταϊκού powerbank και του LoRa Gateway, χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον εξαρτήματα, όπως και συγκεκριμένα εργαλεία.

3.3.1 Εξαρτήματα

Αυτά που χρησιμοποιήθηκαν είναι: ON-OFF διακόπτης, πατητός διακόπτης, 4 αντιστάσεις των 100Ω, 2 αντιστάσεις των 1kΩ, 4 led, 8 δίοδοι, καλώδια, JST connectors, πλεξιγκλάς, μαύρο και γκρι νήμα για 3D εκτυπωτές, ένας DC ανεμιστήρας και ένας σωλήνας νερού.

3.3.2 Εργαλεία

Τα εργαλεία που συνέβαλαν στην κατασκευή των παραπάνω είναι: κολλητήρι, καλάι, απογυμνωτής καλωδίων, πολύμετρο, κόφτης, κατσαβίδι και ένα πιστόλι σιλικόνης.

3.3.3 Κόστος Υλικών και Εξαρτημάτων

Το συνολικό κόστος του project, ανέρχεται στα 300€ και αποτελείται από τα παρακάτω εξαρτήματα και υλικά.

- Έξυπνο φυτό: 33€
- Φωτοβολταϊκό Powerbank: 38€
- LoRa Gateway: 181€
- Περαιτέρω υλικά: 8€

Έξυπνο φυτό

- Arduino Nano: 5.74€
- LoRa module RFM95W: 15.12€
- Αισθητήρας Θερμοκρασίας & Υγρασίας: 3.20€
- Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους: 1.90€
- Αισθητήρας Φωτός: 0.16€
- Αισθητήρας Στάθμης Νερού: 1.50€
- Αντλία Νερού: 2.49€
- DC Ανεμιστήρας: 2.80€
- BJT Transistor: 2x0.08€

Φωτοβολταϊκό Powerbank

- Μπαταρίες Λιθίου: 6x2.5€
- Φωτοβολταϊκά πανελ: 6 x 1.89€
- DC-DC Boost Converter: 7.84€
- Πλακέτα Φόρτισης Μπαταριών Λιθίου CN3065: 3.90€

LoRa Gateway

- Raspberry Pi: 49.90€
- LoRaWAN Concentrator: 128€
- DC Ανεμιστήρας: 2.80€

Περαιτέρω υλικά

- Διακόπτης, αντιστάσεις, led, δίοδοι, καλώδια, νήμα για 3D εκτυπωτές κ.λπ.

3.4 Προγράμματα

Για την ανάπτυξη του αυτοματοποιημένου συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν προγράμματα όπως, το λογισμικό Arduino IDE για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή, το πρόγραμμα EAGLE για τον σχεδιασμό και την απεικόνιση των συνδεσμολογιών μέσω διαγραμμάτων, το Node-Red για την διασύνδεση με το TTN με σκοπό την διαχείριση και την επεξεργασία των δεδομένων μέσω ροών εντολών, το SketchUp, για τον σχεδιασμό τρισδιάστατων ψηφιακών αρχείων και τέλος το Excel, για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων και των πειραμάτων με την χρήση διαγραμμάτων.

3.4.1 Arduino IDE

Το λογισμικό Arduino IDE (Εικόνα 3.33), περιέχει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου για τη σύνταξη κώδικα, το οποίο συνδέεται με τον μικροελεγκτή Arduino, με σκοπό την μεταξύ τους επικοινωνία και την ενσωμάτωση του κώδικα.



Εικόνα 3.33 - Arduino IDE logo (arduino.cc, n.d.)

Οι κώδικες που γράφονται στο πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου, ονομάζονται σκίτσα και αποθηκεύονται ως αρχεία .ino. Επίσης, το λογισμικό περιλαμβάνει, μία περιοχή μηνυμάτων, όπου παρέχει σχόλια κατά την αποθήκευση και την εξαγωγή παρουσιάζοντας τα σφάλματα.

Η γραμμή εργαλείων, περιέχει επιλογές όπως, τον καθορισμό της θύρας και του μικροελεγκτή, την δυνατότητα ελέγχου και αποθήκευσης των σκίτσων, των οποίων τα αποτελέσματα απεικονίζονται στην σειριακή οθόνη. (arduino.cc, n.d.)

3.4.2 EAGLE

Το EAGLE είναι λογισμικό σχεδιασμού κυκλωμάτων (EDA) (Εικόνα 3.34), που επιτρέπει στους σχεδιαστές να τυπώνουν κυκλώματα (PCB) και να σχεδιάζουν με ευκολία σχηματικά διαγράμματα, παρέχοντας ένα μεγάλο εύρος από βιβλιοθήκες για τον σχεδιασμό κυκλωμάτων.



Εικόνα 3.34 - Eagle logo (autodesk, n.d.)

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Στην προκειμένη περίπτωση, το λογισμικό EAGLE, χρησιμοποιήθηκε μόνο για τον σχεδιασμό σχηματικών διαγραμμάτων, αποθηκεύοντας τα ως αρχεία .sch. (autodesk, n.d.)

3.4.3 Node-Red

Το Node-RED (Εικόνα 3.35) είναι ένα εργαλείο προγραμματισμού για την διασύνδεση διεπαφών (API), συσκευών και διαδικτυακών υπηρεσιών.



Εικόνα 3.35 - Node-RED logo (nodered, n.d.)

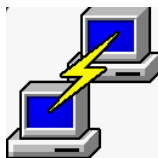
Το πρόγραμμα επεξεργασίας που παρέχει, βασίζεται σε πρόγραμμα περιήγησης που διευκολύνει τη συνένωσή του με ροές, χρησιμοποιώντας ένα ευρύ φάσμα κόμβων. Στη συνέχεια, οι ροές μπορούν να αναπτυχθούν σε πραγματικό χρόνο, με απλές επιλογές.

Χρήσιμες λειτουργίες, πρότυπα και ροές μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, μέσω μίας ενσωματωμένης βιβλιοθήκης, ενώ μέσω προγράμματος επεξεργασίας κειμένου δύναται να χρησιμοποιηθούν συναρτήσεις σε γλώσσα Java. (nodered, n.d.)

3.4.4 PuTTY

Το PuTTY (Εικόνα 3.36) είναι μια δωρεάν εφαρμογή SSH για υπολογιστές, η οποία περιλαμβάνει εξομοιωτή τερματικού. Επίσης, είναι χρήσιμο για λειτουργικά συστήματα Unix, είναι μικρό και προσφέρει αυτονομία. (sussex.ac, n.d.)

Το SSH (Secure Shell) αποτελεί ένα πρωτόκολλο ασφαλούς συστήματος αναγνώρισης και μεταφορά αρχείων, κατά το οποίο μεταφέρονται κρυπτογραφημένα δεδομένα μεταξύ δύο υπολογιστών. (wikipedia, SSH, n.d.)



Εικόνα 3.36- PuTTY logo (sussex.ac, n.d.)

3.4.5 SketchUp

Το SketchUp (Εικόνα 3.37) είναι ένα τρισδιάστατο πρόγραμμα μοντελοποίησης της εταιρίας Trimble Inc. Περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα σχεδιαστικών δυνατοτήτων, με εφαρμογή στην αρχιτεκτονική, στην εσωτερική διακόσμηση, στον βιομηχανικό σχεδιασμό και σχεδιασμό προϊόντων και στην ανάπτυξη βιντεοπαιχνιδιών. (wikipedia, SketchUp, n.d.)



Εικόνα 3.37 - SketchUp logo (wikipedia, SketchUp, n.d.)

3.5 LoRa Node

Αρχικά, δημιουργείται ένας κόμβος αισθητήρων (LoRa Node), ο οποίος αποτελείται από ένα Arduino, ένα RFM95W LoRa module και τέσσερις αισθητήρες, με σκοπό να επικοινωνεί με ένα Gateway και στέλνει ένα μήνυμα “Hello World” στο TTN (The Things Network).

3.5.1 Module Adapter Plate

Για την εύκολη προσαρμογή του RFM95W στο breadboard ή στο Arduino, χρησιμοποιήθηκε ένα ESP8266 WIFI module adapter plate (προσαρμοστής PCB) (Εικόνα 3.38), με την εξής διαδικασία:

1. Αφαιρείται το περισσευούμενο μέρος του PCB με ένα κοπίδι.
2. Αφαιρείται ο ακροδέκτης, που θα εφαρμοστεί η κεραία (RESET).
3. Συγκολλούνται οι ακροδέκτες (για λόγους ευκολίας, όλες οι συγκολλήσεις γίνονται πάνω σε ένα breadboard).
4. Χρησιμοποιείται ένα πολύμετρο για πιθανό βραχυκύκλωμα.
5. Συγκολλείται το RFM95W στο module adapter plate.



Εικόνα 3.38 - Προσαρμογή PCB με RFM95W

3.5.2 Κεραία

Για την δημιουργία της κεραίας μετάδοσης, χρησιμοποιήθηκε ένα καλώδιο συμπαγούς σύρματος διαμέτρου (d) 0.254mm, το οποίο συγκολλήθηκε στο σημείο RESET του module adapter plate (Εικόνα 3.39).

. Η συχνότητα που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη είναι: $f=868\text{MHz}$, οπότε για να βρεθεί το μήκος του καλωδίου, εφαρμόστηκε η παρακάτω εξίσωση:

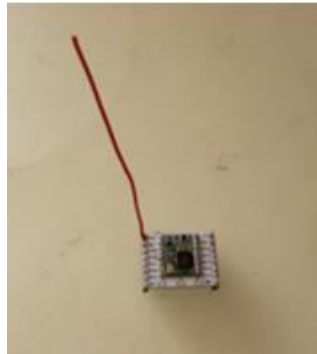
$$c = \lambda * f \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{299792458}{868000000} = 0.34538m \quad (1)$$

Για πρακτικούς λόγους το μέγεθος του καλωδίου μειώθηκε στο 1/4:

$$l = \frac{\lambda}{4} = \frac{0.34538}{4} = 0.086m = 86mm \quad (2)$$

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

όπου: l = μήκος καλωδίου, λ = μήκος κύματος, f = συχνότητα, c = ταχύτητα του φωτός



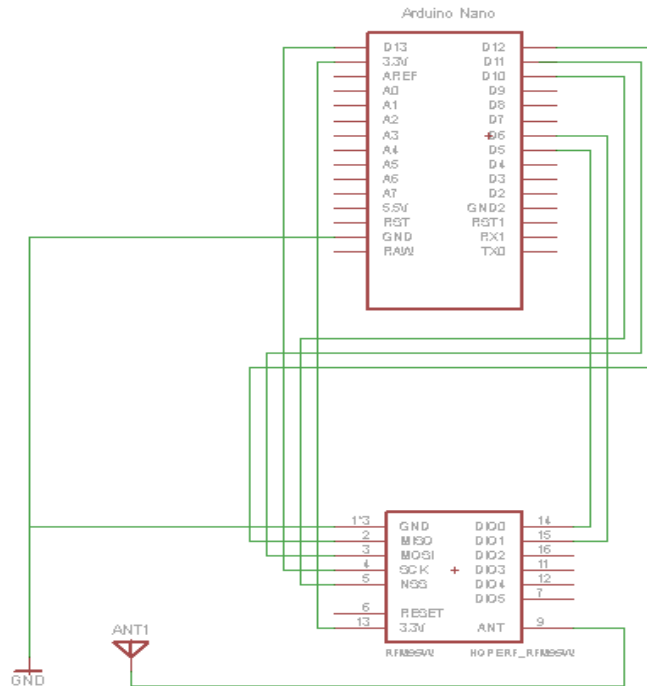
Εικόνα 3.39 - Σύνδεση κεραίας

3.5.3 Σύνδεση Arduino με RFM95W

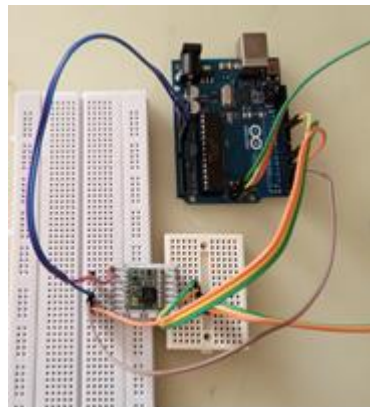
Η σύνδεση του RFM95W με το Arduino (Εικόνα 3.41), γίνεται με βάση τον πίνακα 3.1 και το διάγραμμα (Εικόνα 3.40), το οποίο σχεδιάστηκε με την βοήθεια του λογισμικού EAGLE PCB, συνδεσμολογίας.

Πίνακας 3.1 - Συνδεσμολογία Arduino με RFM95W

HopeRF RFM95W LoRa transceiver module	Arduino Pin	HopeRF RFM95W LoRa transceiver module	Arduino Pin
ANT	-	GND	-
GND	GND	DIO5	-
DIO3	-	RESET	-
DIO4	-	NSS	10
3.3V	3.3V	SCK	13
DIO0	5	MOSI	11
DIO1	6	MISO	12
DIO2	-	GND	-



Εικόνα 3.40 - Διάγραμμα Συνδεσμολογίας RFM95W με Arduino



Εικόνα 3.41 - Συνδεσμολογία RFM95W με Arduino

Επεξηγήσεις συντομογραφιών:

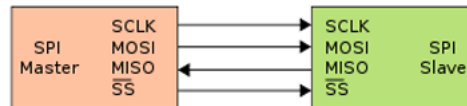
- ANT = Antenna
- GND = Ground
- DIO = Digital Input/Output
- NSS = Slave Select
- SCK = Serial Clock (output from master)
- MOSI = Master Out Slave In (data output from master)
- MISO = Master In Slave Out (data output from slave). (mobilefish, Build LoRa node using Arduino Uno and HopeRF RFM95 LoRa transceiver module, n.d.)

Στον RFM95W χρησιμοποιείται ο ακροδέκτης RXTX για τον έλεγχο διακοπής της κεραίας. Ο RXTX, ρυθμίζεται αυτόματα high όταν είναι TX (transmit) και low όταν είναι RX (receive).

Το DIO0 χρησιμοποιείται ως TxDone και RxDone και το DIO1 ως RxTimeout. (sowashi, n.d.)

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Το SPI πρωτόκολλο, αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την απλοποίηση της διαδικασίας μεταφοράς δεδομένων από έναν μικροελεγκτή, σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα. Αυτό επιτυγχάνεται, μέσω ξεχωριστών γραμμών για τα δεδομένα και το σήμα ρολογιού, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ιδανικό συγχρονισμό (Εικόνα 3.42).



Εικόνα 3.42 - Συγχρονισμός μεταξύ Αφέντη και Σκλάβου

Οι SPI συσκευές μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως αφέντες, οι οποίοι παράγουν παλμούς ρολογιού, είτε ως σκλάβοι που μεταφέρουν δεδομένα, μόνο μετά από αίτηση του αφέντη.

Οι συσκευές SPI χρησιμοποιούν τέσσερα σήματα (ακροδέκτες):

- 1) Το Serial clock (SCK) σήμα ρολογιού, πραγματοποιεί συγχρονισμό της μεταφοράς δεδομένων μεταξύ αφέντη (έξοδος) και σκλάβου (είσοδος), πάνω στις γραμμές MOSI και MISO.
- 2) Με το σήμα Master in, slave out (MISO), μεταφέρονται σειριακά δεδομένα από τον σκλάβο (έξοδος) στον αφέντη (είσοδος).
- 3) Με το σήμα Master out, slave in (MOSI), μεταφέρονται σειρικά δεδομένα από τον αφέντη (έξοδος) στον σκλάβο (είσοδος).
- 4) Ο ακροδέκτης Slave select (SS), λειτουργεί πάντα είσοδος κατά την διαμόρφωση της συσκευής SPI σε σκλάβο. Ενώ, δεν μπορεί να ελεγχθεί από τον κώδικα, παρα μόνο από το SPI κύκλωμα.

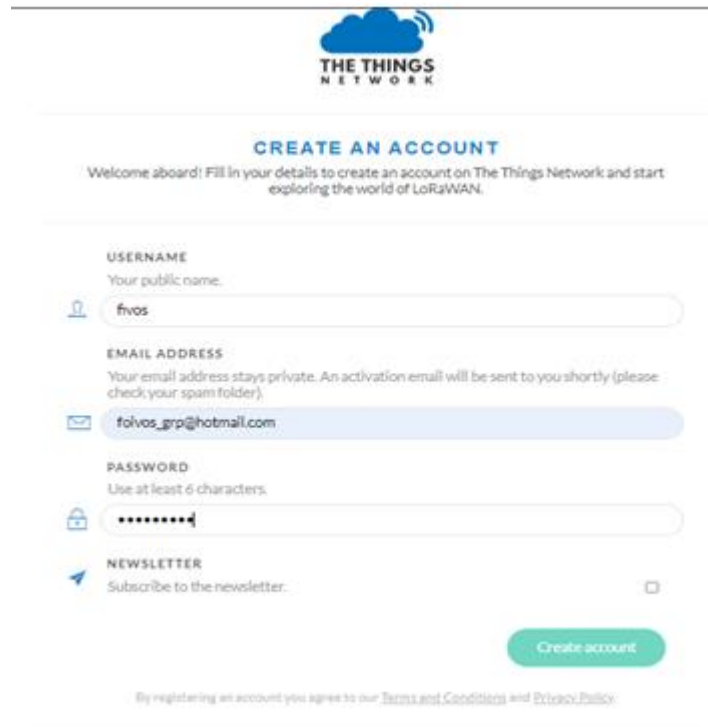
Στο Arduino, οι SPI ακροδέκτες βρίσκονται είτε ενσωματωμένοι στους ψηφιακούς ακροδέκτες, είτε σε ξεχωριστούς ακροδέκτες πάνω στο PCB του Arduino. (Πλευριτάκης, n. d.)

3.5.4 Καταχώρηση του LoRa Node στο TTN

Για την επίτευξη της επικοινωνίας μεταξύ του LoRa Node και του Gateway, θα πρέπει πρώτα να γίνει καταχώρηση, του LoRa Node που κατασκευάστηκε, στο TTN. Η συσκευή που θα καταχωριστεί είναι κλάσης A. Για την καταχώρηση, αρχικά δημιουργήθηκε λογαριασμός στην ιστοσελίδα The things network² (Εικόνα 3.43). (mobilefish, Sending messages to/from The Things Stack Community Edition (V3), n.d.)

² <https://www.thethingsnetwork.org/>

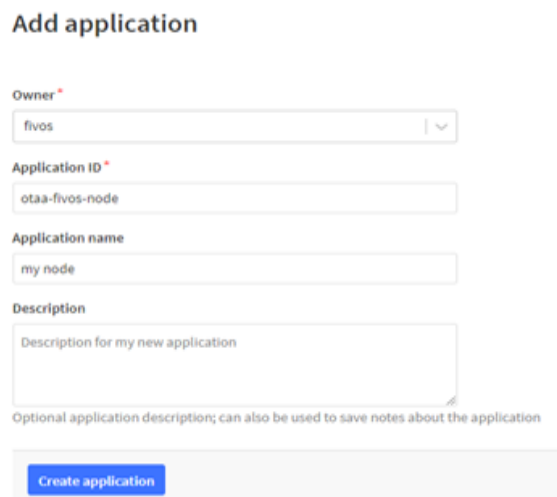
Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



The screenshot shows the 'CREATE AN ACCOUNT' page on the The Things Network website. At the top, there is a logo for 'THE THINGS NETWORK' featuring a blue cloud with a signal icon. Below the logo, the heading 'CREATE AN ACCOUNT' is displayed in blue. A welcome message reads: 'Welcome aboard! Fill in your details to create an account on The Things Network and start exploring the world of LoRaWAN.' The form contains the following fields: 'USERNAME' with the value 'fivos', 'EMAIL ADDRESS' with the value 'foivos_grp@hotmail.com', and 'PASSWORD' with masked characters. There is also a 'NEWSLETTER' checkbox which is unchecked. A green 'Create account' button is located at the bottom right. At the very bottom, a small note states: 'By registering an account you agree to our [Terms and Conditions](#) and [Privacy Policy](#).'

Εικόνα 3.43 - Δημιουργία λογαριασμού στο TTN (<https://www.thethingsnetwork.org/>)

Με την ολοκλήρωση της εγγραφής, παρέχεται δυνατότητα δημιουργίας εφαρμογής στο TTN (Εικόνα 3.44), από την επιλογή *Applications* → *Add application*.



The screenshot shows the 'Add application' page on the The Things Network website. The heading 'Add application' is at the top. The form contains the following fields: 'Owner' with a dropdown menu showing 'fivos', 'Application ID' with the value 'otaa-fivos-node', 'Application name' with the value 'my node', and 'Description' with the value 'Description for my new application'. Below the description field, there is a note: 'Optional application description; can also be used to save notes about the application'. A blue 'Create application' button is located at the bottom.

Εικόνα 3.44 - Δημιουργία εφαρμογής στο TTN (<https://www.thethingsnetwork.org/>)

Κατόπιν, εισάγονται πληροφορίες σχετικά με το LoRa Node (Εικόνα 3.45), από την επιλογή *add end device* → *Manually*

Frequency plan *

Europe 863-870 MHz (SF9 for RX2 - recommended)

LoRaWAN version *

MAC V1.0.2

Regional Parameters version *

PHY V1.0.2 REV B

Show advanced activation, LoRaWAN class and cluster settings ^

Activation mode *

- Over the air activation (OTAA)
 - Activation by personalization (ABP)
 - Define multicast group (ABP & Multicast)

Additional LoRaWAN class capabilities

None (class A only)

Network defaults

Use network's default MAC settings

Cluster settings

Use external LoRaWAN backend servers

DevEUI *

70 B3 D5 7E 00 04 7A 8F 1/50 used

AppEUI *

00 00 00 00 00 00 00 00

AppKey *

FF B1 A3 FD 75 98 B5 93 D1 B4 67 35 B1 CA A9 4E

End device ID *

eui-70b3d57ed0047a8f

This value is automatically prefilled using the DevEUI

After registration

- View registered end device
- Register another end device of this type

Εικόνα 3.45 – Καταχώρηση της συσκευής (<https://www.thethingsnetwork.org/>)

Τα DevEUI, AppEUI και AppKey αποθηκεύονται, για την διασύνδεση του Arduino με το TTN:

- DevEUI: 70B3D57ED0047A8F
- AppEUI: 0000000000000000
- AppKey: FFB1A3FD759BB593D1B46735B1CAA94E

3.5.5 Προγραμματισμός Arduino

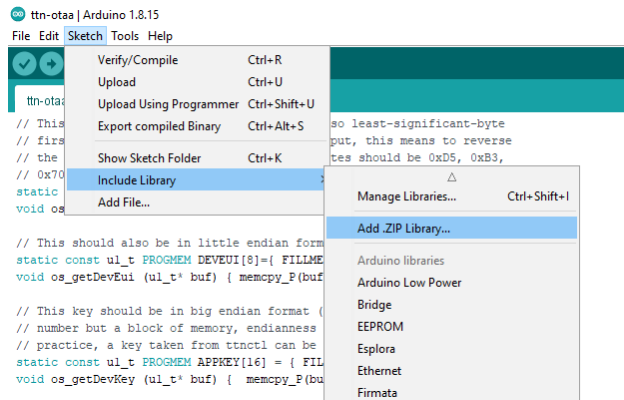
Για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή, θα χρησιμοποιηθεί η βιβλιοθήκη Arduino-LMIC library³, ελαφρώς τροποποιημένη, για να εκτελείται στο Arduino και να επιτρέπει τη χρήση των πομποδεκτών SX1272, SX1276 και συμβατών modules, όπως αυτός που χρησιμοποιήθηκε (HopeRF RFM95W). Η σύνδεσή τους γίνεται μέσω του SPI (Serial Peripheral Interface).

Η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη προσφέρει μία πλήρη εκτέλεση του LoRaWAN κλάσης A και B, υποστηρίζοντας τις EU-868 και US-915 ζώνες συχνοτήτων.(IBM, n.d.)

Με την βιβλιοθήκη LMIC, γίνεται η παρακολούθηση της ολοκλήρωσης μετάδοσης πακέτων, ώστε να μπορεί να ανοίξει τα RX1 και RX2 σε σταθερό χρόνο, μετά το τέλος της μετάδοσης. Αυτό επιτυγχάνεται, παρακολουθώντας την έξοδο του DIO0 και σημειώνοντας την ώρα. (sowashi, n.d.)

Η ενσωμάτωση της βιβλιοθήκης στην εφαρμογή του Arduino (Εικόνα 3.46) υλοποιείται, επιλέγοντας *sketch* → *include Library* → *add ZIP Library* → *MCCI_LoRaWAN_LMIC_library.zip*

³ <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/mcci-lorawan-lmic-library/>



Εικόνα 3.46- Ενσωμάτωση βιβλιοθήκης MCCI_LoRaWAN_LMIC_library.zip

Στην συνέχεια, πραγματοποιείται διαφοροποίηση του κώδικα (Imic_project_config.h), ο οποίος βρίσκεται στην βιβλιοθήκη MCCI_LoRaWAN_LMIC_library, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια.

```
// project-specific definitions
#define CFG_eu868 1 //συχνότητα εκπομπής στην Ευρώπη
#define CFG_sx1276_radio 1 // το RFM95W που χρησιμοποιείται
#define DISABLE_PING // απενεργοποιούνται οι κώδικες που αφορούν downlinks κατηγορίας B
κατά τις υποδοχές ping
#define DISABLE_BEACONS // απενεργοποιούνται οι κώδικες που αφορούν το beacon tracking
#define LMIC_DEBUG_LEVEL 0 // για πιο λεπτομερή έξοδο, μπορεί να αλλαχτεί η εντολή από 0
σε 2
```

Κατόπιν, δοκιμάζεται η σωστή επικοινωνία μεταξύ του LoRa Node και του Gateway, προτού συνδεθούν οι αισθητήρες, στέλνοντας και εμφανίζοντας στο Gateway ένα απλό μήνυμα "Hello, world!", χρησιμοποιώντας την μέθοδο ενεργοποίησης OTAA.

Η μέθοδος OTAA έχει αποδειχθεί ως ο καλύτερος τρόπος λειτουργίας για LoRaWAN συσκευές. (sowashi, n.d.)

Για να ενεργοποιηθεί μία end device συσκευή σε ένα LoRaWAN δίκτυο, χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι:

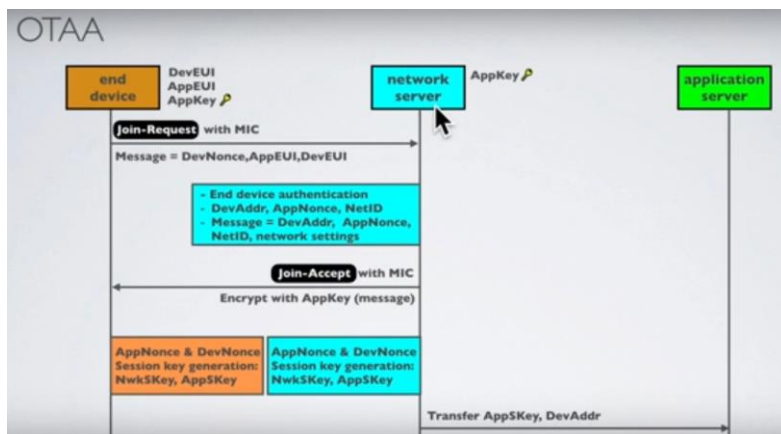
- Over The Air Activation (OTAA)
- Activation By Personalisation (ABP)

Η μέθοδος OTAA (Εικόνα 3.47), προσφέρει έναν ασφαλή τρόπο σύνδεσης του κόμβου με έναν διακομιστή (server) δικτύου. Πριν την ενεργοποίηση, η συσκευή πρέπει να γνωρίζει και να αποθηκεύει τα DevEUI, AppEUI και AppKey, ίδιο με αυτό που πρέπει να αναγνωρίζει και να αποθηκεύει ο διακομιστής δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι τα κλειδιά ασφαλείας “διαπραγματεύονται” με τη συσκευή και η συσκευή εκτελεί μία διαδικασία σύνδεσης «χειραψία» με το δίκτυο (Join-Request with MIC → Join Accept with MIC).

- Το EUI (Extended Unique Identifier), έχει μήκος 64 bit και χρησιμοποιείται γενικά για την αναγνώριση στοιχείων δικτύου.
- Το DevEUI αναγνωρίζει με μοναδικό τρόπο την συσκευή και είναι παρόμοιο με μια διεύθυνση MAC.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

- Το AppEUI αναγνωρίζει με μοναδικό τρόπο τον διακομιστή εφαρμογών (application server) και είναι παρόμοιο με έναν αριθμό θύρας (port number).
- Το AppKey είναι ένα AES 128 bit symmetric key και χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του Message Integrity Code (MIC) για τη διασφάλιση της ακεραιότητας του μηνύματος. Τόσο η συσκευή όσο και ο διακομιστής δικτύου πρέπει να αποθηκεύουν το ίδιο AppKey.

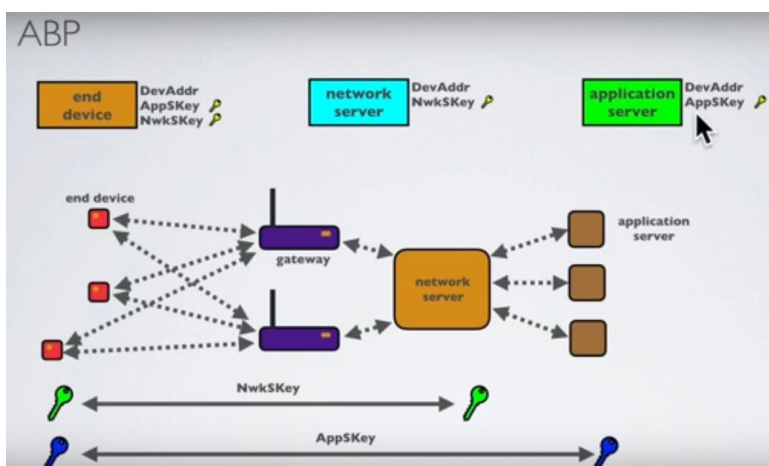


Εικόνα 3.47 - Μεθοδολογία OTAA (Mobilefish, LoRa/LoRaWAN tutorial 21: OTAA, ABP and LoRaWAN Security, n.d.)

Αντίθετα, στην μέθοδο ABP (Εικόνα 3.48), η συσκευή δεν αποθηκεύει το DevEUI, AppEUI και AppKey, όπως και ο διακομιστής δικτύου δεν αποθηκεύει το AppKey. Αυτό σημαίνει, ότι τα κλειδιά κρυπτογράφησης διαμορφώνονται με μη αυτόματο τρόπο στη συσκευή και μπορούν να ξεκινήσουν την αποστολή δεδομένων στο Gateway, χωρίς να απαιτείται διαδικασία «χειραγίας» για την ανταλλαγή των κλειδιών (όπως αυτή που εκτελείται κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας σύνδεσης OTAA).

- Η συσκευή είναι προφορτωμένη με το DevAddr, το AppSKey και το NwkSKey.
- Ο διακομιστής δικτύου είναι προφορτωμένος με το DevAddr και το NwkSKey.
- Ο διακομιστής εφαρμογών είναι προφορτωμένος με το DevAddr και το AppSKey.

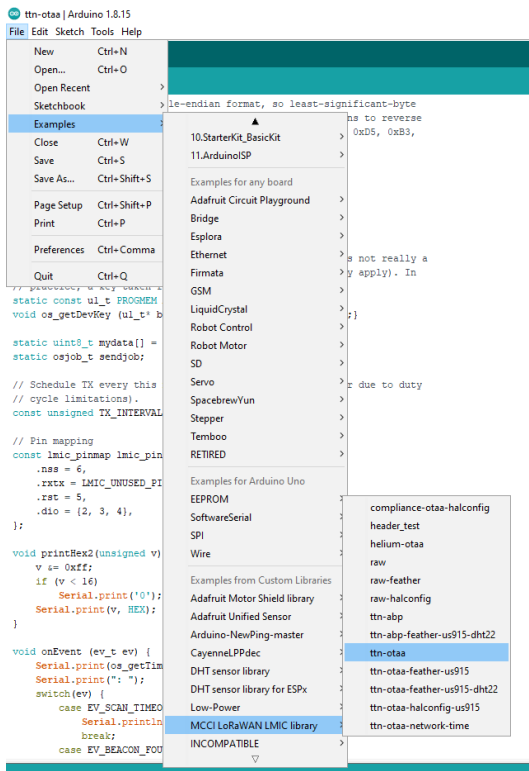
Όταν μια συσκευή προσπαθεί να επικοινωνήσει με το διακομιστή δικτύου, θα στείλει απευθείας τα κρυπτογραφημένα μηνύματα. (Mobilefish, LoRa/LoRaWAN tutorial 21: OTAA, ABP and LoRaWAN Security, n.d.)



Εικόνα 3.48 - Μεθοδολογία ABP (Mobilefish, LoRa/LoRaWAN tutorial 21: OTAA, ABP and LoRaWAN Security, n.d.)

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Επομένως, στην εφαρμογή του Arduino, επιλέγεται το παράδειγμα *ttn-otaa* (Εικόνα 3.49), που περιέχει η βιβλιοθήκη *MCCI_LoRaWAN_LMIC*, μέσω του *File* → *Examples* → *MCCI_LoRaWAN_LMIClibrary* → *ttn-otaa*.



Εικόνα 3.49 - Επιλογής μεθόδου ενεργοποίησης OTAA.

Στον κώδικα, αντικαθίστανται τα *DevEUI*, *AppEUI* και *AppKey* που αποθηκεύτηκαν προηγουμένως, τροποποιημένα σε μορφή *lsb* και *msb* αντίστοιχα (Εικόνα 3.51). Η μετατροπή των κωδικών, γίνεται μέσω διαδικτυακού ιστότοπου⁴ (Εικόνα 3.50).

AppEUI (Application EUI, 8-bytes)

Arduino Sketch (APPEUI LSB):
{ 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 }

Note: If your end device has no AppEUI always use zeros in the Things Stack Community Edition.

DevEUI (Device EUI, 8-bytes)

Arduino Sketch (DEVEUI LSB):
{ 0x8F, 0x7A, 0x04, 0xD0, 0x7E, 0xD5, 0xB3, 0x70 }

AppKey (Application Key, 16-bytes)

Arduino Sketch (APPEKEY MSB):
{ 0xFF, 0xB1, 0xA3, 0xFD, 0x75, 0x9B, 0xB5, 0x93, 0xD1, 0xB4, 0x67, 0x35, 0xB1, 0xCA, 0xA9, 0x4E }

Εικόνα 3.50 - Μετατροπή κωδικών σε *lsb* και *msb* (https://www.mobilefish.com/download/lora/eui_key_converter.html)

⁴ https://www.mobilefish.com/download/lora/eui_key_converter.html

```
static const ul_t PROGMEM APPEUI[8]={0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00};
void os_getArtEui (ul_t* buf) { memcpy_P(buf, APPEUI, 8);}

// This should also be in little endian format, see above.
static const ul_t PROGMEM DEVEUI[8]={ 0x8F, 0x7A, 0x04, 0xD0, 0x7E, 0xD5, 0xB3, 0x70 };
void os_getDevEui (ul_t* buf) { memcpy_P(buf, DEVEUI, 8);}

// This key should be in big endian format (or, since it is not really a
// number but a block of memory, endianness does not really apply). In
// practice, a key taken from ttnctl can be copied as-is.
static const ul_t PROGMEM APPKEY[16]={ 0xFF, 0xB1, 0xA3, 0xFD, 0x75, 0x9B, 0xB5, 0x93, 0xD1, 0xB4, 0x67, 0x35, 0xB1, 0xCA, 0xA9, 0x4E };
void os_getDevKey (ul_t* buf) { memcpy_P(buf, APPKEY, 16);}
```

Εικόνα 3.51 - Αντικατάσταση των τροποποιημένων κωδικών στον κώδικα ttn-otaa.

Big-endian και little-endian είναι όροι που περιγράφουν τη σειρά, με την οποία μια ακολουθία byte αποθηκεύεται στη μνήμη του υπολογιστή. Big-endian είναι μια ακολουθία με την οποία το πιο σημαντικό bit (msb) αποθηκεύεται πρώτα, ενώ το Little-endian ορίζει πρώτα την αποθήκευση του λιγότερο σημαντικού bit (lsb). (Mobilefish, LoRa/LoRaWAN tutorial 22: OTAA and Uplink Demonstration With The Things Network, n.d.)

Έπειτα, τροποποιείται το pin mapping του κώδικα (Εικόνα 3.52) σύμφωνα με τον προαναφερόμενο Πίνακα 3.1. Οι ακροδέκτες που δεν συνδέονται με το Arduino, αναγράφονται ως LMIC_UNUSED_PIN.

```
// Pin mapping
const lmic_pinmap lmic_pins = {
    .nss = 10,
    .rxtx = LMIC_UNUSED_PIN,
    .rst = LMIC_UNUSED_PIN,
    .dio = {5, 6, LMIC_UNUSED_PIN},
};
```

Εικόνα 3.52 - Τροποποίηση του Pin mapping του κώδικα ttn-otaa.

3.5.6 Επεξήγηση του κώδικα

Παρακάτω, εξηγείται ο τροποποιημένος κώδικας ttn-otaa, ο οποίος στέλνει το μήνυμα "Hello, world!" στο TTN.

```
#include <lmic.h>
#include <hal/hal.h>
#include <SPI.h>
#ifdef COMPILE_REGRESSION_TEST
# define FILLMEIN 0
#else
# warning "You must replace the values marked FILLMEIN with real values from the TTN control panel!"
# define FILLMEIN (#dont edit this, edit the lines that use FILLMEIN)
#endif
```

// Το APPEUI πρέπει να είναι σε little-endian μορφή (lsb).

```
static const ul_t PROGMEM APPEUI[8]= { 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 };
void os_getArtEui (ul_t* buf) { memcpy_P(buf, APPEUI, 8);}
```

// Το DEVEUI πρέπει να είναι σε little-endian μορφή (lsb).

```
static const ul_t PROGMEM DEVEUI[8]= { 0x8F, 0x7A, 0x04, 0xD0, 0x7E, 0xD5, 0xB3, 0x70};
void os_getDevEui (ul_t* buf) { memcpy_P(buf, DEVEUI, 8);}
```

// Το DEVEUI πρέπει να είναι σε big endian μορφή (msb).

```
static const u1_t PROGMEM APPKEY[16] = { 0xFF, 0xB1, 0xA3, 0xFD, 0x75, 0x9B, 0xB5, 0x93,
0xD1, 0xB4, 0x67, 0x35, 0xB1, 0xCA, 0xA9, 0x4E };
void os_getDevKey (u1_t* buf) { memcpy_P(buf, APPKEY, 16);}
```

```
static uint8_t mydata[] = "Hello, world!"; // το μήνυμα το οποίο θα σταλεί στο Gateway.
static osjob_t sendjob;
```

// Προγραμματίζεται το TX να στέλνει δεδομένα κάθε 60s (ενδέχεται να είναι και μεγαλύτερο λόγω περιορισμένου duty cycle).

```
const unsigned TX_INTERVAL = 60;
```

// Pin mapping, οι ακροδέκτες του Arduino όπου έχει συνδεθεί το RFM95W.

```
const lmic_pinmap lmic_pins = {
  .nss = 10,
  .rxtx = LMIC_UNUSED_PIN,
  .rst = 5,
  .dio = {2, 3, LMIC_UNUSED_PIN},
};
```

```
void onEvent (ev_t ev) {
  Serial.print(os_getTime());
  Serial.print(": ");
  switch(ev) {
    case EV_SCAN_TIMEOUT:
      Serial.println(F("EV_SCAN_TIMEOUT"));
      break;
    case EV_BEACON_FOUND:
      Serial.println(F("EV_BEACON_FOUND"));
      break;
    case EV_BEACON_MISSED:
      Serial.println(F("EV_BEACON_MISSED"));
      break;
    case EV_BEACON_TRACKED:
      Serial.println(F("EV_BEACON_TRACKED"));
      break;
    case EV_JOINING:
      Serial.println(F("EV_JOINING"));
      break;
    case EV_JOINED:
      Serial.println(F("EV_JOINED"));
      {
        u4_t netid = 0;
        devaddr_t devaddr = 0;
        u1_t nwkKey[16];
        u1_t artKey[16];
        LMIC_getSessionKeys(&netid, &devaddr, nwkKey, artKey);
        Serial.print("netid: ");
        Serial.println(netid, DEC);
        Serial.print("devaddr: ");
        Serial.println(devaddr, HEX);
        Serial.print("artKey: ");
```

```
    for (int i=0; i<sizeof(artKey); ++i) {
        Serial.print(artKey[i], HEX);
    }
    Serial.println("");
    Serial.print("nwkKey: ");
    for (int i=0; i<sizeof(nwkKey); ++i) {
        Serial.print(nwkKey[i], HEX);
    }
    Serial.println("");
}

LMIC_setLinkCheckMode(0);
break;

case EV_JOIN_FAILED:
    Serial.println(F("EV_JOIN_FAILED"));
    break;
case EV_REJOIN_FAILED:
    Serial.println(F("EV_REJOIN_FAILED"));
    break;
case EV_TXCOMPLETE:
    Serial.println(F("EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)"));
    if (LMIC.txrxFlags & TXRX_ACK)
        Serial.println(F("Received ack"));
    if (LMIC.dataLen) {
        Serial.print(F("Received "));
        Serial.print(LMIC.dataLen);
        Serial.println(F(" bytes of payload"));
    }

    // Προγραμματίζεται η επόμενη μετάδοση.
    os_setTimedCallback(&sendjob,
        os_getTime()+sec2osticks(TX_INTERVAL), do_send);
    break;
case EV_LOST_TSYNC:
    Serial.println(F("EV_LOST_TSYNC"));
    break;
case EV_RESET:
    Serial.println(F("EV_RESET"));
    break;
case EV_RXCOMPLETE:
    Serial.println(F("EV_RXCOMPLETE"));
    break;
case EV_LINK_DEAD:
    Serial.println(F("EV_LINK_DEAD"));
    break;
case EV_LINK_ALIVE:
    Serial.println(F("EV_LINK_ALIVE"));
    break;
case EV_TXSTART:
    Serial.println(F("EV_TXSTART"));
    break;
default:
```


Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

```
        Serial.print(F("Unknown event: "));
        Serial.println((unsigned) ev);
        break;
    }
}

void do_send(osjob_t* j){
    // Ελέγχεται εάν εκτελείται τρέχουσα εργασία TX/RX.
    if (LMIC.opmode & OP_TXRXPEND) {
        Serial.println(F("OP_TXRXPEND, not sending"));
    } else {
        // Προετοιμάζεται η μετάδοση δεδομένων την επόμενη δυνατή στιγμή.
        LMIC_setTxData2(1, mydata, sizeof(mydata)-1, 0);
        Serial.println(F("Packet queued"));
    }
    // Το επόμενο TX προγραμματίζεται μετά την ολοκλήρωση της ενέργειας TX_COMPLETE.
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Serial.println(F("Starting"));

    #ifdef VCC_ENABLE
    pinMode(VCC_ENABLE, OUTPUT);
    digitalWrite(VCC_ENABLE, HIGH);
    delay(1000);
    #endif

    //αρχή βιβλιοθήκης LMIC
    os_init();
    // Επαναφέρεται η κατάσταση MAC. Η περίοδος σύνδεσης και οι εκκρεμείς μεταφορές δεδομένων
    απορρίπτονται.
    LMIC_reset();

    //Έναρξη εργασίας (η αυτόματη αποστολή ξεκινά το OTAA)
    do_send(&sendjob);
}

void loop() {
    os_runloop_once();
}
```

3.6 LoRa Gateway

Μετά την κατασκευή, προγραμματισμό και καταχώρηση του LoRa Node στο TTN, κατασκευάστηκε ένα Gateway, για την μεταξύ τους αμφίδρομη επικοινωνία. Για την πραγματοποίησή αυτού, αρχικά, έγινε η κατάλληλη ρύθμιση του μικροϋπολογιστή Raspberry Pi, κατόπιν συνδέθηκε το Concentrator και εγκαταστάθηκε το απαραίτητο λογισμικό, ενώ τέλος, καταχωρήθηκε το LoRa Gateway στο TTN.

3.6.1 Raspberry Pi Set Up

Προτού συνδεθεί το Raspberry Pi με το Concentrator, εγκαταστάθηκε το λειτουργικό σύστημα Rasbian, παρέχοντας σταθερή IP διεύθυνση, για την γρήγορη και εύκολη εξ' αποστάσεως πρόσβαση του μικροϋπολογιστή. Ενώ, για τον εξ' αποστάσεως χειρισμό του τερματικού χρησιμοποιήθηκε ο εξομοιωτής τερματικού PuTTY.

3.6.1.1 Εγκατάσταση Λογισμικού

Για την εγκατάσταση του λογισμικού του Raspberry Pi, πραγματοποιήθηκε η είσοδος στην αντίστοιχη διαδικτυακή σελίδα⁵.

Επιλέχθηκε το κατάλληλο λογισμικό για το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιείται, όπου στην προκειμένη περίπτωση αφορά τα Windows 10, μέσω των επιλογών: *Software* → *Raspberry OS* → *Download for windows*. (ETAPRIME, n.d.)

Στην συνέχεια, εγκαταστάθηκε το λογισμικό Raspberry OS στην κάρτα μνήμης του μικροϋπολογιστή:

- install raspberry pi image
- open → choose OS → raspberry Pi OS (32-bit)
- choose storage → SDHC Card (mounted as E:\)
- Write

Ακολουθούνται τα βήματα εγκατάστασης:

- Use US keyboard
- password: *****
- αναμονή για σύνδεση στο internet
- update software

3.6.1.2 Χειρισμός εξ' αποστάσεως του Raspberry Pi

Για τον χειρισμό του Raspberry Pi από τον υπολογιστή, αναζητείται η IP διεύθυνση του router, στο command line του εκάστοτε υπολογιστή (Εικόνα 3.53), στην προκειμένη περίπτωση:

- cmd → ipconfig → 192.168.68.1

```
Wireless LAN adapter Wi-Fi:
Connection-specific DNS Suffix . . :
Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::f83b:33ba:50d6:d85c%11
IPv4 Address. . . . . : 192.168.68.110
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
Default Gateway . . . . . : fe80::c2c9:e3ff:fe73:7fe8%11
                            192.168.68.1
```

Εικόνα 3.53 - Πληροφορίες σχετικά με την IP του router.

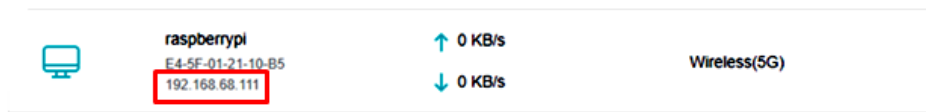
Για την εύρεση του IP του Raspberry Pi ανοίγεται ο Browser και πληκτρολογείται η IP διεύθυνση:

- <http://192.168.68.1>
- Κωδικός λογαριασμού: *****
- clients

⁵ <https://www.raspberrypi.com/>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Αφού ολοκληρωθούν οι παραπάνω ενέργειες, εμφανίζονται πληροφορίες σχετικά με την IP του Raspberry Pi (Εικόνα 3.54) και αποθηκεύεται για την δυνατότητα του χειρισμού εξ' αποστάσεως.

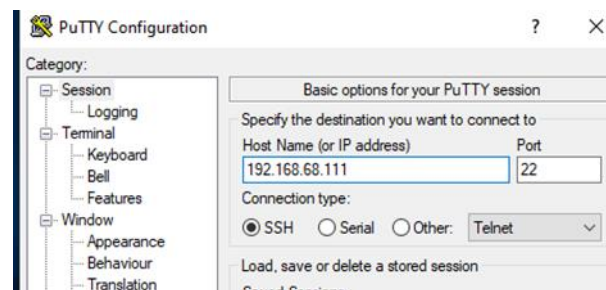


Εικόνα 3.54 – Πληροφορίες σχετικά με την IP του Raspberry Pi

Στην συνέχεια, πραγματοποιείται η είσοδος στην σελίδα⁶, με σκοπό την εγκατάσταση του εξομοιωτή τερματικού PuTTY, στον υπολογιστή.

Τέλος, συνδέεται το PuTTY με το τερματικό του Raspberry Pi (Εικόνα 3.55):

- connection type: SSH
- Host Name: 192.168.68.111
- username: pi
- password: **** (Part 3 - Accessing Raspberry Pi from SSH via PuTTY in Windows 10, n.d.)

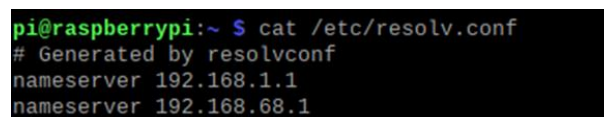


Εικόνα 3.55 - Σύνδεση PuTTY με Raspberry Pi

3.6.1.3 Δημιουργία σταθερής IP διεύθυνσης

Η διεύθυνση IP του Raspberry Pi αλλάζει συνεχώς, καθώς χρησιμοποιείτε μια δυναμική διεύθυνση IP, για λόγους ασφαλείας. Για την τροποποίηση σε στατική IP διεύθυνση, απαιτούνται συγκεκριμένες ενέργειες.

Στο terminal του Raspberry Pi, πληκτρολογείτε η εντολή “cat /etc/resolv.conf” (Εικόνα 3.56).



Εικόνα 3.56 - Αναζήτηση IP domain.

Κατόπιν, γίνεται η εύρεση του αρχείου DHCP CD (Εικόνα 3.57):

- sudo nano /etc/dhcpd.conf

⁶ <https://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/latest.html>

```

GNU nano 3.2 /etc/dhcpd.conf
# define static profile
#profile static_eth0
#static ip_address=192.168.1.23/24
#static routers=192.168.1.1
#static domain_name_servers=192.168.1.1

# fallback to static profile on eth0
#interface eth0
#fallback static_eth0
    
```

Εικόνα 3.57 - Αρχείο dhcpd.

Τελικά, πραγματοποιείται επεξεργασία στο τέλος του κώδικα, πληκτρολογώντας το interface που χρησιμοποιείται (wlan0), το static IP του Raspberry Pi (192.168.68.111), το IP του router (192.168.68.1) και το IP του domain server (192.168.1.1 192.168.68.1), όπως παρουσιάζεται: (CircuitBasics, n.d.)

```

interface wlan0
static ip_address=192.168.68.111
static routers=192.168.68.1
static domain_name_servers=192.168.1.1 192.168.68.1
    
```

3.6.2 LoRaWAN Concentrator Set Up

Για την προετοιμασία και την ρύθμιση του Raspberry Pi, απαιτείται η σύνδεση του Concentrator, η εγκατάσταση του απαιτούμενου λογισμικού, οι απαραίτητες ρυθμίσεις και η καταχώρηση στο TTN.

3.6.2.1 Σύνδεση του Concentrator με το Raspberry Pi

Η συνδεσμολογία του Raspberry Pi με το Concentrator (Εικόνα 3.58) ολοκληρώθηκε σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.2 - Συνδεσμολογία Raspberry Pi με LoRaWAN Concentrator PG1301 (Dragino, PG1301 LoRaWAN Concentrator User Manual)

Αριθμός ακροδεκτών	Χαρακτηρισμός ακίδων Raspberry Pi	Χαρακτηρισμός ακίδων PG1301
2	5V	5V
4	5V	5V
6	GND	GND
8	UART_TX	GPS_RX
9	GND	GND
10	UART_RX	GPS_TX
12	PPS	GPS_PPS
14	GND	GND
16	GPIO23	LoRa_RESET
19	GPIO10	LoRa_MOSI
20	GND	GND

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

21	GPIO9	LoRa_MISO
23	GPIO11	LoRa_SCK
24	GPIO8	LoRa_CSN
25	GND	GND
30	GND	GND
34	GND	GND
39	GND	GND

Στην συνέχεια, συνδέεται η κεραία (Εικόνα 3.59) και ένας ανεμιστήρας DC (Εικόνα 3.60), με βάση τον Πίνακα 3.3, για την αποφυγή υπερθέρμανσης, λόγω συνεχούς λειτουργίας του LoRa Gateway.

Πίνακας 3.3 - Συνδεσμολογία ανεμιστήρα DC με Concentrator PG1301

Αριθμός ακροδεκτών	DC ανεμιστήρας	Χαρακτηρισμός ακροδεκτών PG1301
4	Vin	5V
6	GND	GND



Εικόνα 3.58 - Concentrator PG1301,

Raspberry Pi,

Σύνδεση PG1301 με Raspberry Pi



Εικόνα 3.59 - Σύνδεση κεραίας

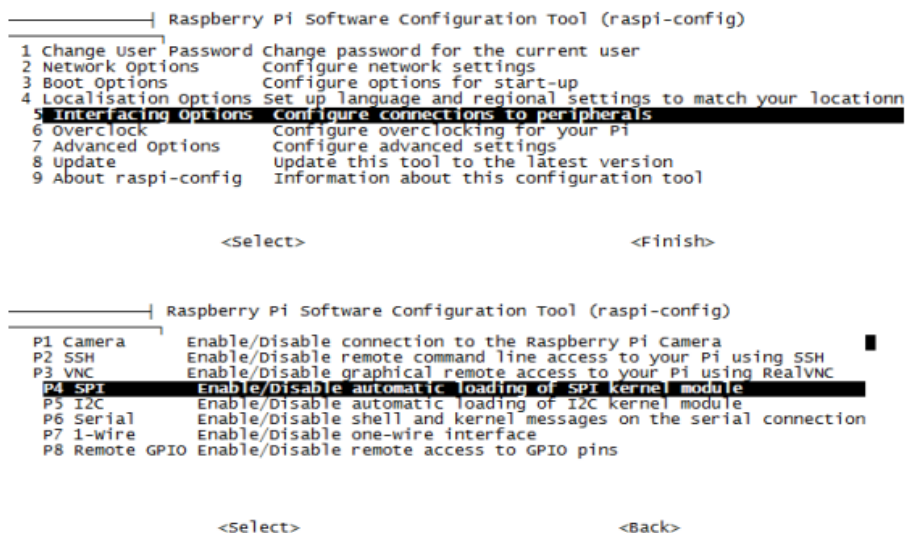


Εικόνα 3.60 - Σύνδεση ανεμιστήρα DC

3.6.2.2 Εγκατάσταση λογισμικού και καταχώρηση στο TTN

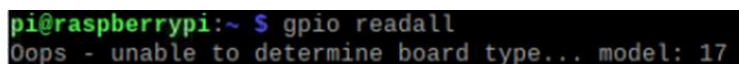
Αρχικά ενεργοποιούνται τα SPI στο Raspberry Pi, με την εντολή “*sudo raspi-config*” και πραγματοποιείται η ενέργεια: *5 Interfacing option* → *P4 SPI* (Εικόνα 3.61).

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 3.61 - Ενεργοποίηση SPI.

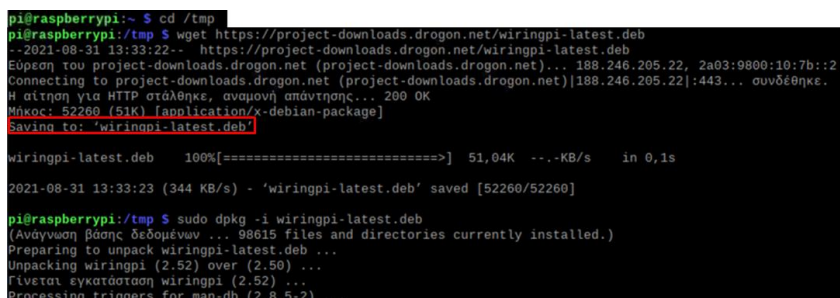
Έπειτα, πληκτρολογείται στο terminal του Raspberry Pi η εντολή “*gpio readall*”. Με αυτόν τον τρόπο, γίνεται ο έλεγχος αναγνώρισης των GPIO του Raspberry Pi, με αντίστοιχο μήνυμα (Εικόνα 3.62).



Εικόνα 3.62 – Έλεγχος αναγνώρισης GPIO.

Παρατηρείται ότι δεν αναγνωρίζονται οπότε εγκαθίσταται η τελευταία έκδοση του wiringpi⁷ πληκτρολογώντας, στο terminal (Εικόνα 3.63), τις παρακάτω εντολές:

- `cd /tmp`
- `wget https://project-downloads.drogon.net/wiringpi-latest.deb`
- `sudo dpkg -i wiringpi-latest.deb`



Εικόνα 3.63 – Εγκατάσταση GPIO.

3.6.3 Καταχώρηση του LoRa Gateway στο TTN

Αρχικά ελέγχεται, εάν η εγκατάσταση των GPIO είναι επιτυχής, πληκτρολογώντας την εντολή “*gpio readall*” (Εικόνα 3.64).

⁷ <http://wiringpi.com/wiringpi-updated-to-2-52-for-the-raspberry-pi-4b/>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

```
pi@raspberrypi:/tmp $ gpio readall
-----Pi 4B-----
| BCM | wPi | Name | Mode | V | Physical | V | Mode | Name | wPi | BCM | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 8 | SDA.1 | IN | 1 | 3 | 4 | | | 5v | | |
| 3 | 9 | SCL.1 | IN | 1 | 5 | 6 | | | 0v | | |
| 4 | 7 | GPIO. 7 | IN | 1 | 7 | 8 | 1 | IN | Tx0 | 15 | 14 |
| | | | | | | | | | 0v | | |
| 17 | 0 | GPIO. 0 | IN | 1 | 11 | 12 | 0 | IN | GPIO. 1 | 1 | 18 |
| 27 | 2 | GPIO. 2 | IN | 0 | 13 | 14 | | | 0v | | |
| 22 | 3 | GPIO. 3 | IN | 0 | 15 | 16 | 0 | IN | GPIO. 4 | 4 | 23 |
| | | | | | | | | | 3.3v | | |
| 10 | 12 | MOSI | IN | 0 | 19 | 20 | | | 0v | | |
| 9 | 13 | MISO | IN | 0 | 21 | 22 | 0 | IN | GPIO. 6 | 6 | 25 |
| 11 | 14 | SCLK | IN | 0 | 23 | 24 | 1 | IN | CE0 | 10 | 8 |
| | | | | | | | | | 0v | | |
| 0 | 30 | SDA.0 | IN | 1 | 27 | 28 | 1 | IN | SCL.0 | 31 | 1 |
| 5 | 21 | GPIO.21 | IN | 1 | 29 | 30 | | | 0v | | |
| 6 | 22 | GPIO.22 | IN | 1 | 31 | 32 | 0 | IN | GPIO.26 | 26 | 12 |
| 13 | 23 | GPIO.23 | IN | 0 | 33 | 34 | | | 0v | | |
| 19 | 24 | GPIO.24 | IN | 0 | 35 | 36 | 0 | IN | GPIO.27 | 27 | 16 |
| 26 | 25 | GPIO.25 | IN | 0 | 37 | 38 | 0 | IN | GPIO.28 | 28 | 20 |
| | | | | | | | | | 0v | | |
| | | | | | | | | | 3.3v | | |
| | | | | | | | | | 0v | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| BCM | wPi | Name | Mode | V | Physical | V | Mode | Name | wPi | BCM |
-----Pi 4B-----
```

Εικόνα 3.64 – Έλεγχος αναγνώρισης GPIO.

Μετά την ρύθμιση του Raspberry Pi, ξεκινάει η εγκατάσταση του λογισμικού, οπότε δεσμεύεται η ID του Gateway (Εικόνα 3.65), πληκτρολογώντας την εντολή “ifconfig”.

```
pi@raspberrypi:~ $ ifconfig
eth0: flags=4096<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
    ether e4:5f:01:21:10:b4 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0


lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 5 bytes 284 (284.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 5 bytes 284 (284.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0


wlan0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.68.111 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.68.255
    inet6 fe80::d560:6ba9:f848:21e5 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether e4:5f:01:21:10:b5 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 2195 bytes 155122 (151.4 KiB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 3858 bytes 2910562 (2.7 MiB)
```


Εικόνα 3.65 - Gateway ID.


Αποθηκεύεται η ID του Gateway σε δεκαεξαδική μορφή, καθώς θα χρειαστεί στην καταχώρηση του Gateway στο TTN: E45F01FFFF2110B4

Εισάγονται οι απαραίτητες πληροφορίες επιλέγοντας Gateways → Add gateway, για την καταχώρηση του Gateway στο TTN (Εικόνα 3.66).

Gateway ID  *

Gateway EUI 

Gateway name 

Gateway description 

Optional gateway description; can also be used to save notes about the gateway

Gateway Server address

The address of the Gateway Server to connect to

Εικόνα 3.66 - Καταχώρηση Gateway στο TTN.

Πραγματοποιείται η λήψη του αρχείου προώθησης πακέτων, από τον Dragino server στο Raspberry Pi, πληκτρολογώντας, στο terminal την εντολή (Εικόνα 3.67):

`wget http://www.dragino.com/downloads/downloads/LoRa_Gateway/PG1301/software/lorapktfwd.deb`

```
pi@raspberrypi:~$ wget http://www.dragino.com/downloads/downloads/LoRa_Gateway/PG1301/software/lorapktfwd.deb
--2021-11-03 13:36:31-- http://www.dragino.com/downloads/downloads/LoRa_Gateway/PG1301/software/lorapktfwd.deb
Εύρεση του www.dragino.com (www.dragino.com)... 162.241.22.11
Connecting to www.dragino.com (www.dragino.com)|162.241.22.11|:80... συνδέθηκε.
Η αίτηση για HTTP στάλθηκε, αναμονή απάντησης... 301 Moved Permanently
Τοποθεσία: https://www.dragino.com/downloads/downloads/LoRa_Gateway/PG1301/software/lorapktfwd.deb [ακολουθεί]
--2021-11-03 13:36:46-- https://www.dragino.com/downloads/downloads/LoRa_Gateway/PG1301/software/lorapktfwd.deb
Connecting to www.dragino.com (www.dragino.com)|162.241.22.11|:443... συνδέθηκε.
Η αίτηση για HTTP στάλθηκε, αναμονή απάντησης... 200 OK
Μήκος: 72556 (71K) [application/x-debian-package]
Saving to: 'lorapktfwd.deb'

lorapktfwd.deb      100%[=====] 70,86K  206KB/s  in 0,3s
2021-11-03 13:36:47 (206 KB/s) - 'lorapktfwd.deb' saved [72556/72556]
```

Εικόνα 3.67 - Λήψη του αρχείου προώθησης πακέτων.

Εγκαθίσταται το πακέτο προώθησης με την εντολή “`sudo dpkg -i lorapktfwd.deb`” (Εικόνα 3.68).

```
pi@raspberrypi:~$ sudo dpkg -i lorapktfwd.deb
Selecting previously unselected package lorapktfwd.
(Ανάγνωση βάσης δεδομένων ... 105208 files and directories currently installed.)
Preparing to unpack lorapktfwd.deb ...
Unpacking lorapktfwd (1) ...
Γίνεται εγκατάσταση lorapktfwd (1) ...
Created symlink /etc/systemd/system/multi-user.target.wants/lorapktfwd.service → /lib/systemd/system/lorapktfwd.service.
```

Εικόνα 3.68 - Εγκατάσταση πακέτου προώθησης.

Διαμορφώνεται το αρχείο `conf.json`, για την αντικατάσταση του σωστού Gateway ID (“E45F01FFFF2110B4”) (Εικόνα 3.69). Για την είσοδο στο αρχείο `conf.json`, πληκτρολογούνται οι παρακάτω εντολές:

- `cd /etc /lora-gateway`
- `sudo nano local_conf.json`

```
/* Put these parameters that are different for each gateway (eg. pointing one gateway to a tes
/* Settings defined in global_conf will be overwritten by those in local_conf */
  "gateway_conf": {
    "gateway_ID": "E45F01FFFF2110B4" /* you must pick a unique 64b number for each gateway
  }
}
```

Εικόνα 3.69 – Αντικατάσταση Gateway ID.

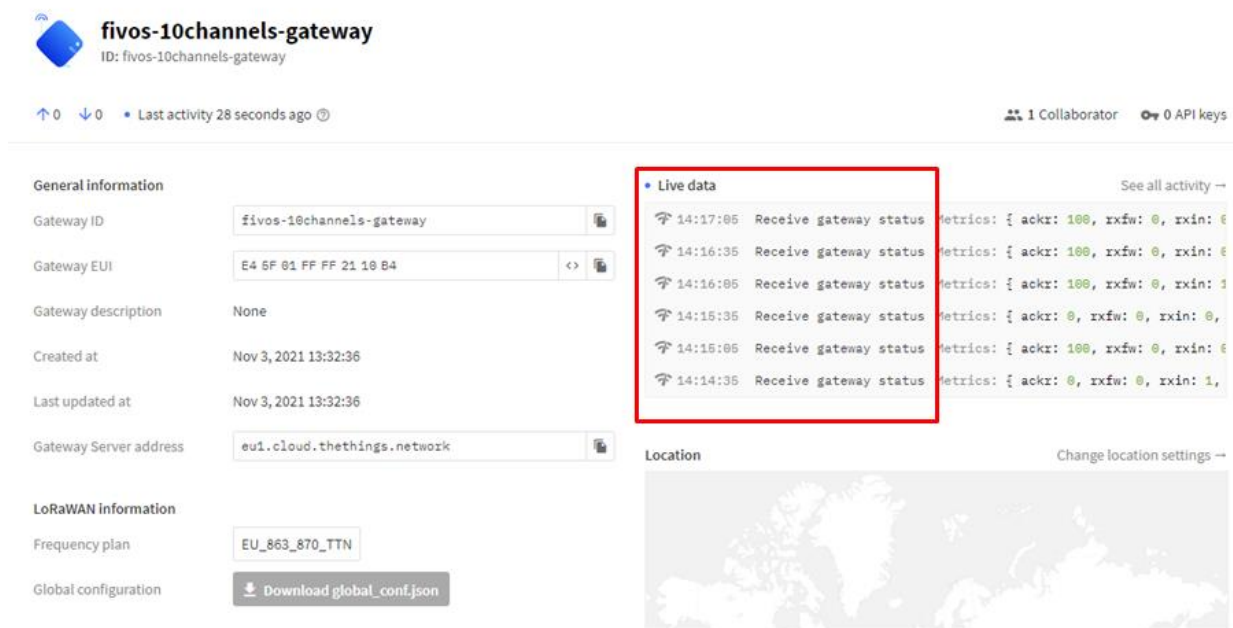
Διαμορφώνεται το αρχείο `conf.json`, για την αντικατάσταση της σωστής διεύθυνσης του server “`eu1.cloud.thethings.network`”) (Εικόνα 3.70):

```
  "gateway_conf": {
    "gateway_ID": "0000000000000000",
    "server_address": "eu1.cloud.thethings.network",
    "serv_port_up": 1700,
    "serv_port_down": 1700,
    "keepalive_interval": 10,
    "stat_interval": 30,
```

Εικόνα 3.70 - Αντικατάσταση διεύθυνσης του server.

Τελικά, μέσω του TTN μπορεί να ελεγχθεί η επιτυχής σύνδεση αυτού με το Gateway (Εικόνα 3.71):

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



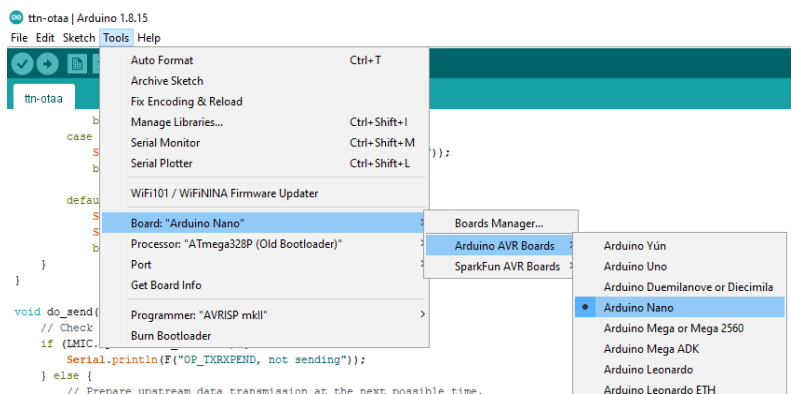
Εικόνα 3.71 - Σύνδεση Gateway με TTN. (<https://eu1.cloud.thethings.network/console/gateways/fivos-10channels-gateway>)

Αξίζει να σημειωθεί πως για την παύση, την έναρξη και τον τερματισμό του Gateway, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εντολές αντίστοιχα:

- `sudo systemctl stop lorapktfwd`
 - `sudo systemctl start lorapktfwd`
 - `sudo poweroff`
- (Dragino, PG1301 LoRaWAN Concentrator User Manual)

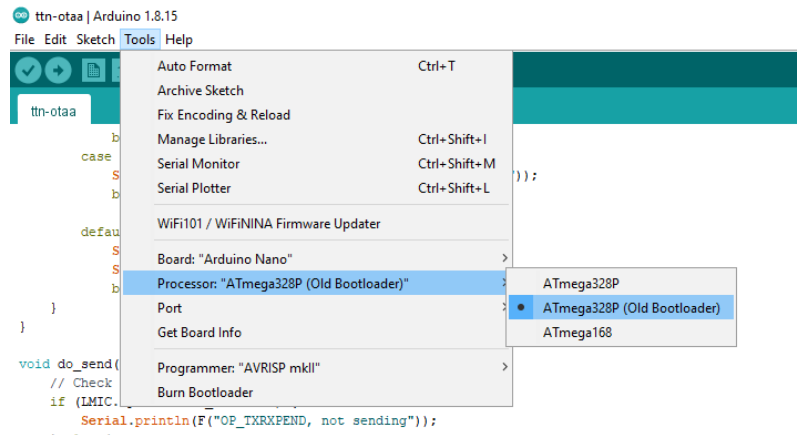
3.7 Έλεγχος Επικοινωνίας μεταξύ LoRa Node με Gateway

Για τον έλεγχο επικοινωνίας του LoRa Node με το Gateway, στο Arduino IDE, επιλέγεται ο μικροελεγκτής (Εικόνα 3.72), ο επεξεργαστής που χρησιμοποιείται (Εικόνα 3.73) και η πόρτα (Εικόνα 3.74), στην οποία είναι συνδεδεμένος:

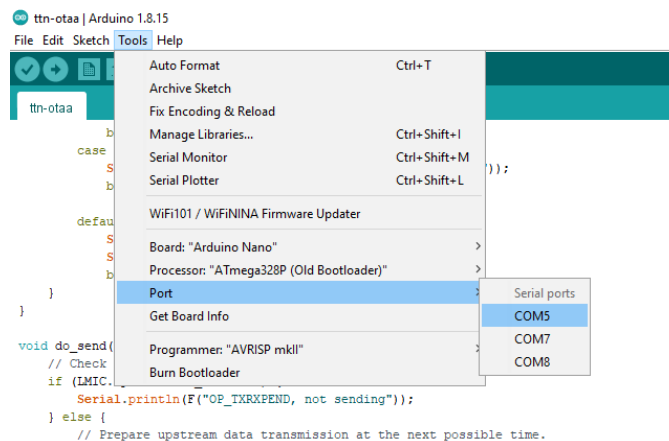


Εικόνα 3.72 - Επιλογή πλακέτας.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

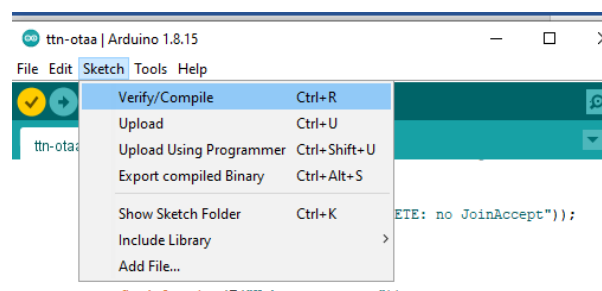


Εικόνα 3.73 - Επιλογή μικροεπεξεργαστή.



Εικόνα 3.74 - Επιλογή πόρτας.

Τέλος, μεταφορτώνεται ο κώδικας στον μικροεπεξεργαστή (Εικόνα 3.75).



Εικόνα 3.75 - Μεταφόρτωση του κώδικα.

Στο 'serial port' του Arduino, παρατηρείται ότι η σύνδεση είναι επιτυχής και στο TTN φαίνεται ότι το μήνυμα "Hello, world!" έχει σταλθεί κωδικοποιημένο στο δεκαεξαδικό σύστημα (Εικόνα 3.76), στο Gateway, από την διεύθυνση του Lora Node (26 0B 0B 30) που κατασκευάστηκε .

```
13108025: EV_TXSTART
13437053: EV_JOINED
netid: 19
devaddr: 260B0B30
AppSKey: A4-13-7E-4C-5C-7B-FB-B9-A1-53-06-4E-FD-D5-C9-55
NwkSKey: E6-6F-BA-DA-A1-0D-86-A7-2B-96-D3-07-B5-1D-E8-21
13444147: EV_TXSTART
13770573: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)
14150546: EV_TXSTART

↑ 20:56:12 MAC payload: 48 65 6c 6c 6f 2c 20 77 ... FPort: 1 Data rate: SF7BW125 SNR: 9 RSSI: -90
↑ 20:56:12 DevAddr: 26 0B 0B 30 FCnt: 3 FPort: 1 Data rate: SF7BW125 SNR: 9 RSSI: -90
↑ 20:55:06 Data rate: SF7BW125 SNR: 7.2 RSSI: -91
```

Εικόνα 3.76 - Λήψη κωδικοποιημένου μηνύματος στο TTN.

Το κωδικοποιημένο μήνυμα στο δεαεξαδικό σύστημα, είναι μία αναπαράσταση των αποκρυπτογραφημένων δυαδικών δεδομένων, δηλαδή κάθε δύο ψηφία είναι ένα "byte": 48 65 6c 6f 2c 20 77 6f 72 6c 64 21.

3.8 Αποκωδικοποίηση Μηνύματος

Για την αποκωδικοποίηση των μηνυμάτων, πραγματοποιείται η σύνδεση στο TTN και μέσω των επιλογών *Applications* → *otaa-fivos-node* → *End devices* → *Payload formatters*, εισάγεται στο 'Formatter code', ο παρακάτω κώδικας:

```
function Decoder(input) {
  var result = "";
  for (var i = 0; i < bytes.length; i++) {
    result += (String.fromCharCode(bytes[i]));
  }
  return {text: result};
}
```

Στο TTN, παρατηρείται ότι το μήνυμα αποκωδικοποιήθηκε με επιτυχία (Εικόνα 3.77).

```
↑ 16:40:00 eui-hello-world Forward uplink data message Payload: { text: "Hello, world!" } 48 65 6c 6c 6f 2c 20 77 ... FPort: 1 Data rate: SF8BW125 SNR: 10.
```

Εικόνα 3.77 - Αποκωδικοποιημένο μήνυμα.

Οι συσκευές LoRaWAN κρυπτογραφούν το ωφέλιμο φορτίο, μέσω του αλγορίθμου Advanced Encryption Standard (AES), χρησιμοποιώντας κλειδιά των 128 bits. Το πρωτόκολλο LoRaWAN προσφέρει δύο επίπεδα ασφάλειας, το επίπεδο δικτύου και το επίπεδο εφαρμογής.

- Στο επίπεδο δικτύου, με σκοπό τα δεδομένα να μην αλλάζουν κατά τη μεταφορά. Το μήνυμα συνοδεύεται με έναν ειδικό κωδικό, γνωστό ως Message Integrity Code (MIC) χρησιμοποιώντας το NwkSKey. Η κρυπτογράφηση του ωφέλιμου φορτίου, πραγματοποιείται από τη συσκευή στον server.
- Στο επίπεδο εφαρμογής, το ωφέλιμο φορτίο κρυπτογραφείται χρησιμοποιώντας το AppSKey, από τη συσκευή στον server.

Για την αποκωδικοποίηση των δεδομένων, εφαρμόζεται η συνάρτηση Decoder που έχει μόνο μία παράμετρο (input) , η οποία αφορά json object.

Το json object (JavaScript Object Notation) είναι ένα ανοικτό μορφότυπο, το οποίο χρησιμοποιεί κείμενο, που μπορεί να διαβαστεί από τον άνθρωπο. Δημιουργείται αυτόματα και περιέχει πάντα δύο ζεύγη κλειδιών/τιμών. Το fport (frame port) και τα bytes. Το fport, χρησιμοποιείται για τη διάκριση μεταξύ διαφορετικών τύπων μηνυμάτων ανάλογα την τιμή του. Το fport= 1 περιέχει τα δεδομένα που στέλνονται στο TTN (uplink), το fport= 2 περιέχεται το downlink μήνυμα για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του ανεμιστήρα και το fport= 3, περιέχεται το downlink μήνυμα για την ενεργοποίηση της αντλίας νερού. Στην προκειμένη περίπτωση, είναι προεπιλεγμένο ίσο με 1.

Όταν μεταδίδονται τα δυαδικά δεδομένα, μετατρέπονται αυτόματα, στη δεκαδική αναπαράστασή τους, στην συνέχεια αποθηκεύονται σε έναν πίνακα διαχωρισμένων byte και αντιστοιχίζονται στο αντίστοιχο byte του json object.

Ο ρόλος του payload formatter είναι να εξάγει ένα Javascript object, το οποίο περιέχει εντολές σε γλώσσα Java. Στην προκειμένη περίπτωση, χρησιμοποιείται ο τύπος δεδομένων “string”, για την μετατροπή των bytes σε ένα σύνολο χαρακτήρων, με σκοπό την αναπαράσταση του μηνύματος “Hello, world!”. (Mobilefish, LoRa/LoRaWAN tutorial 53: Payload Formatters (V3), fport and json, n.d.)

3.9 Σύνδεση Αισθητήρων

Εφόσον ο έλεγχος επικοινωνίας ήταν επιτυχής, ακολούθησε η σύνδεση των αισθητήρων στο Arduino. Οι αισθητήρες που συνδέθηκαν για την απόκτηση των δεδομένων αφορούν έναν αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας, έναν αισθητήρα υγρασίας εδάφους, έναν για τον έλεγχο στάθμης νερού, όπως επίσης και μία φωτοαντίσταση LDR.

Τα επιπλέον εξαρτήματα που συνδέθηκαν είναι μία αντλία νερού DC για την άρδευση του φυτού, ένας ανεμιστήρας DC για την αποφυγή υπερθέρμανσης των εξαρτημάτων και του μικροελεγκτή και τέλος, χρησιμοποιήθηκαν τρεις αντιστάσεις και δύο BJT Transistor για τον έλεγχο ροής του ρεύματος.

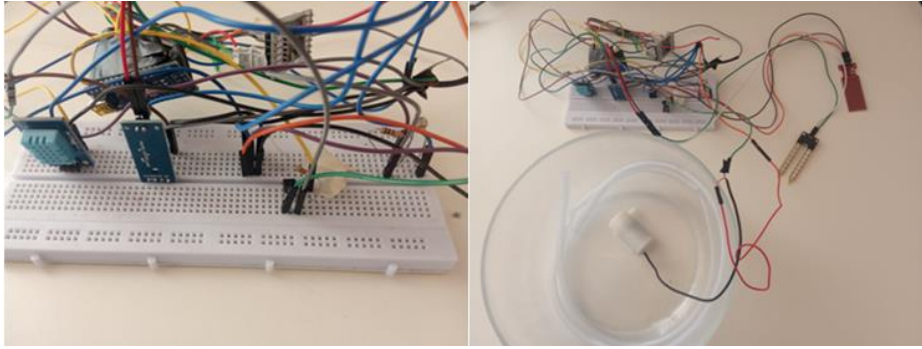
3.9.1 Συνδεσμολογία με Arduino

Η συνδεσμολογία στο breadboard (Εικόνα 3.78), πραγματοποιήθηκε βάση διαγράμματος (Εικόνα 3.79) μέσω του λογισμικού EAGLE PCB και του Πίνακα 3.4: (DIYMachines, n.d.)

Πίνακας 3.4 - Συνδεσμολογία αισθητήρων με Arduino.

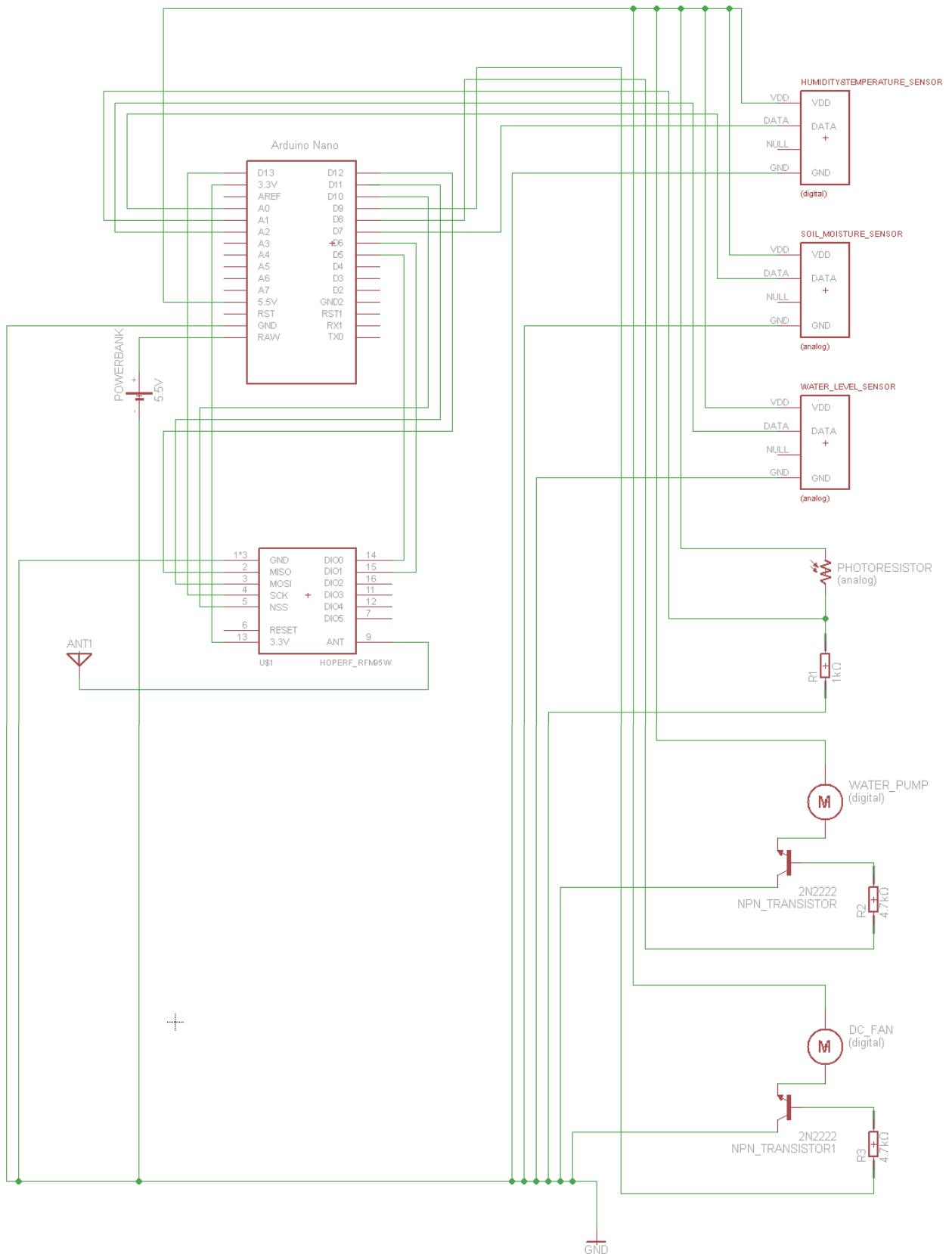
Arduino	Humidity & Temperature	Soil moisture	Water level	Photoresistor	Water pump	DC Fan
5V	Vcc	Vcc	Vcc	Vcc	Vcc	Vcc
GND	GND	GND	GND	GND	GND	GND
D7	Data					
D8					Data	
D9						Data
A0		Data				
A1				Data		
A2			Data			

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 3.78 - Συνδεσμολογία αισθητήρων και εξαρτημάτων με το LoRa Node.

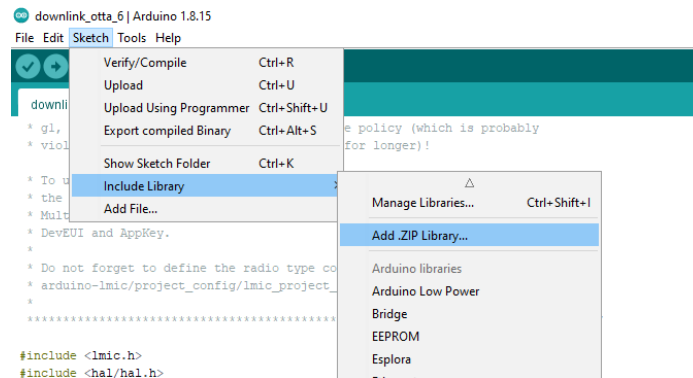
Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 3.79 - Συνδεσμολογία αισθητήρων και εξαρτημάτων με το LoRa Node.

3.9.2 Προσαρμογή του Κώδικα κατόπιν Σύνδεσης Αισθητήρων

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες αλλαγές στον κώδικα. Αρχικά, εγκαταστάθηκε η βιβλιοθήκη αρχείου .zip (Εικόνα 3.80) από σχετική ιστοσελίδα⁸, η οποία διαθέτει όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για την λήψη των ενδείξεων υγρασίας και θερμοκρασίας από τον αισθητήρα.



Εικόνα 3.80 - Λήψη και εγκατάσταση αρχείου DHTLib.

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στον κώδικα:

```
#include <lmic.h>
```

```
#include <hal/hal.h>
```

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

```
#include <dht.h> // Βιβλιοθήκη για τον αισθητήρα DHT11
```

```
#ifndef COMPILE_REGRESSION_TEST
```

```
# define FILLMEIN 0
```

```
#else
```

```
# warning "You must replace the values marked FILLMEIN with real values from the TTN control panel!"
```

```
# define FILLMEIN (#dont edit this, edit the lines that use FILLMEIN)
```

```
#endif
```

```
static const u1_t PROGMEM APPEUI[8]={0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00};
```

```
void os_getArtEui (u1_t* buf) { memcpy_P(buf, APPEUI, 8);}
```

```
static const u1_t PROGMEM DEVEUI[8]={ 0x8F, 0x7A, 0x04, 0xD0, 0x7E, 0xD5, 0xB3, 0x70 };
```

```
void os_getDevEui (u1_t* buf) { memcpy_P(buf, DEVEUI, 8);}
```

```
static const u1_t PROGMEM APPKEY[16]={ 0xFF, 0xB1, 0xA3, 0xFD, 0x75, 0x9B, 0xB5, 0x93,  
0xD1, 0xB4, 0x67, 0x35, 0xB1, 0xCA, 0xA9, 0x4E };
```

⁸ <https://www.circuitbasics.com/how-to-set-up-the-dht11-humidity-sensor-on-an-arduino/>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

```
void os_getDevKey (u1_t* buf) { memcpy_P(buf, APPKEY, 16);}
```

```
static osjob_t sendjob;
```

// Προγραμματίζεται το TX να στέλνει δεδομένα κάθε 30 λεπτά (ενδέχεται να είναι και μεγαλύτερο λόγω περιορισμένου duty cycle).

```
const unsigned TX_INTERVAL = 1800;
```

```
const lmic_pinmap lmic_pins = {  
  .nss = 10,  
  .rxtx = LMIC_UNUSED_PIN,  
  .rst = LMIC_UNUSED_PIN,  
  .dio = {5, 6, LMIC_UNUSED_PIN},  
};
```

```
dht DHT;
```

#define DHT11_PIN 7 // ο ψηφιακός ακροδέκτης όπου είναι συνδεδεμένος ο αισθητήρας υγρασίας & θερμοκρασίας

```
int sw=0; // αρχικοποίηση της παραμέτρου switch
```

```
int fan = 9; // ο ψηφιακός ακροδέκτης όπου είναι συνδεδεμένος ο ανεμιστήρας
```

```
int pump = 8; // ο ψηφιακός ακροδέκτης όπου είναι συνδεδεμένη η αντλία νερού
```

```
int fPort = 1; // Αλλαγή της fport στο TTN ανάλογα με τις λειτουργίες του έξυπνου φυτού:
```

```
1=dht11/LDR/Soil_Moisture/Water_level/switch, 2=fan, 3=pump
```

```
void onEvent (ev_t ev) {
```

```
  Serial.print(os_getTime());
```

```
  Serial.print(": ");
```

```
  switch(ev) {
```

```
    case EV_SCAN_TIMEOUT:
```

```
      Serial.println(F("EV_SCAN_TIMEOUT"));
```

```
      break;
```

```
    case EV_BEACON_FOUND:
```

```
      Serial.println(F("EV_BEACON_FOUND"));
```

```
      break;
```

```
    case EV_BEACON_MISSED:
```

```
      Serial.println(F("EV_BEACON_MISSED"));
```

```
      break;
```

```
    case EV_BEACON_TRACKED:
```

```
      Serial.println(F("EV_BEACON_TRACKED"));
```



```
        break;
    case EV_JOINING:
        Serial.println(F("EV_JOINING"));
        break;
    case EV_JOINED:
        Serial.println(F("EV_JOINED"));
        {
            u4_t netid = 0;
            devaddr_t devaddr = 0;
            u1_t nwkKey[16];
            u1_t artKey[16];
            LMIC_getSessionKeys(&netid, &devaddr, nwkKey, artKey);
            Serial.print("netid: ");
            Serial.println(netid, DEC);
            Serial.print("devaddr: ");
            Serial.println(devaddr, HEX);
            Serial.print("AppSKey: ");
            for (size_t i=0; i<sizeof(artKey); ++i) {
                if (i != 0)
                    Serial.print("-");
                printHex2(artKey[i]);
            }
            Serial.println("");
            Serial.print("NwkSKey: ");
            for (size_t i=0; i<sizeof(nwkKey); ++i) {
                if (i != 0)
                    Serial.print("-");
                printHex2(nwkKey[i]);
            }
            Serial.println();
        }
        LMIC_setLinkCheckMode(0);
        break;

    case EV_JOIN_FAILED:
        Serial.println(F("EV_JOIN_FAILED"));
        break;
    case EV_REJOIN_FAILED:
        Serial.println(F("EV_REJOIN_FAILED"));
```

```
break;
case EV_TXCOMPLETE:
  Serial.println(F("EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)"));
  if (LMIC.txrxFlags & TXRX_ACK)
    Serial.println(F("Received ack"));

  if (LMIC.dataLen) {
    Serial.print(F("Received "));
    Serial.print(LMIC.dataLen);
    Serial.println(F(" bytes of payload"));
```

// Επιλέγεται η fPort στο TTN ανάλογα με την λειτουργία που πραγματοποιεί το έξυπνο φυτό:

```
fPort = LMIC.frame[LMIC.dataBeg - 1];
Serial.print(F("fPort "));
Serial.println(fPort);
```

//Εάν τα δεδομένα που δέχεται το LoRa Node από το TTN είναι: fPort == 3 και result == 1, τότε ενεργοποιείται (ο ψηφιακός ακροδέκτης ενεργοποιείται στο HIGH) η αντλία νερού για 10 δευτερόλεπτα (ο ψηφιακός ακροδέκτης επανέρχεται στο LOW)

```
if (fPort == 3) {
  uint8_t result = LMIC.frame[LMIC.dataBeg + 0];
  if (result == 1) {
    Serial.println("pump on");
    digitalWrite(pump, HIGH);
    int count= 0;
    do {
      count++;
      Serial.println (count, DEC);
      delay(1000);
    } while (count <10);

    Serial.println("pump off");
    digitalWrite(pump, LOW);

  }
}
```

//Εάν τα δεδομένα που δέχεται το LoRa Node από το TTN είναι: fPort = 2 και result = 1, τότε ενεργοποιείται (ο ψηφιακός ακροδέκτης ενεργοποιείται στο HIGH) ο ανεμιστήρας και το switch = 1

//Εάν τα δεδομένα είναι: fPort = 2 και result = 2, τότε απενεργοποιείται ο ανεμιστήρας (ο ψηφιακός ακροδέκτης επανέρχεται στο LOW) και το switch = 0

```
    if (fPort == 2) {
        uint8_t result = LMIC.frame[LMIC.dataBeg + 0];
        if (result == 1) {
            Serial.println("fan on");
            digitalWrite(fan, HIGH);
            sw=1;
        }
        if (result == 0) {
            Serial.println("fan off");
            digitalWrite(fan, LOW);
            sw=0;
        }
    }
    Serial.println();
}
os_setTimedCallback(&sendjob, os_getTime()+sec2osticks(TX_INTERVAL), do_send);
break;
case EV_LOST_TSYNC:
    Serial.println(F("EV_LOST_TSYNC"));
    break;
case EV_RESET:
    Serial.println(F("EV_RESET"));
    break;
case EV_RXCOMPLETE:
    // data received in ping slot
    Serial.println(F("EV_RXCOMPLETE"));
    break;
case EV_LINK_DEAD:
    Serial.println(F("EV_LINK_DEAD"));
    break;
case EV_LINK_ALIVE:
    Serial.println(F("EV_LINK_ALIVE"));
    break;
case EV_TXSTART:
    Serial.println(F("EV_TXSTART"));
    break;
case EV_TXCANCELED:
    Serial.println(F("EV_TXCANCELED"));
    break;
```

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

```
case EV_RXSTART:
    /* do not print anything -- it wrecks timing */
    break;
case EV_JOIN_TXCOMPLETE:
    Serial.println(F("EV_JOIN_TXCOMPLETE: no JoinAccept"));
    break;

default:
    Serial.print(F("Unknown event: "));
    Serial.println((unsigned) ev);
    break;
}
}
```

```
const int dry = 1023; // τιμή για στεγνό χώμα (soil moisture sensor)
const int wet = 0; // τιμή για υγρό χώμα (soil moisture sensor)
const int light = 1000; // τιμή για μέγιστη φωτεινότητα (LDR sensor)
const int dark = 0; // τιμή για σκοτάδι (LDR sensor)
const int low = 0; // τιμή άδειου δοχείου (Water Level sensor)
const int high = 660; // τιμή γεμάτου δοχείου (Water Level sensor)
```

```
void do_send(osjob_t* j){
    // Check if there is not a current TX/RX job running
    if (LMIC.opmode & OP_TXRXPEND) {
        Serial.println(F("OP_TXRXPEND, not sending"));
    } else {
```

// διαβάζει τις τιμές που δέχεται από τον ψηφιακό ακροδέκτη του αισθητήρα θερμοκρασίας & υγρασίας

```
int chk = DHT.read11(DHT11_PIN);
int humidity = DHT.humidity;
int temperature = DHT.temperature;
```

int sensorValue = analogRead(A0); // για τον αισθητήρα υγρασίας χώματος, διαβάζει τον αναλογικό ακροδέκτη 0

int LDRsensor = analogRead(A1); // για τον αισθητήρα φωτός, διαβάζει τον αναλογικό ακροδέκτη 1

int WaterLevelsensor = analogRead(A2); // για τον αισθητήρα στάθμης νερού, διαβάζει τον αναλογικό ακροδέκτη 2

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

```
int percentageHumidity = map(sensorValue, wet, dry, 100, 0); // υπολογίζει το ποσοστό επί τοις εκατό % των τιμών της υγρασίας χώματος
```

```
int percentageSunlight = map(LDRsensor, light, dark, 100, 0); // υπολογίζει το ποσοστό επί τοις εκατό % των τιμών του φωτός
```

```
int percentageWaterLevel = map(WaterLevelsensor, high, low, 100, 0); // υπολογίζει το ποσοστό επί τοις εκατό % των τιμών της στάθμης νερού
```

```
// Εμφανίζει στην σειριακή πόρτα τα ποσοστά υγρασίας ατμόσφαιρας, υγρασίας χώματος, φωτισμού και στάθμης νερού, την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας σε βαθμούς κελσίου και την τιμή του switch
```

```
Serial.println("Humidity(%): " + String(humidity));  
Serial.println("Temperature(°C): " + String(temperature));  
Serial.println("Soil_Moist(%): " + String(percentageHumidity));  
Serial.println("sunlight(%): " + String(percentageSunlight));  
Serial.println("WaterLevel(%): " + String(percentageWaterLevel));  
Serial.println("Switch: " + String(sw));
```

```
// Στέλνονται από την συσκευή στο TTN 12 bytes (2 bytes για κάθε δεδομένο) και αποθηκεύονται σε έναν πίνακα διαχωρισμένων bytes (εννοείται ότι η fport = 1)
```

```
byte payload[12];  
payload[0] = highByte(humidity);  
payload[1] = lowByte(humidity);  
payload[2] = highByte(temperature);  
payload[3] = lowByte(temperature);  
payload[4] = highByte(percentageHumidity);  
payload[5] = lowByte(percentageHumidity);  
payload[6] = highByte(percentageSunlight);  
payload[7] = lowByte(percentageSunlight);  
payload[8] = highByte(percentageWaterLevel);  
payload[9] = lowByte(percentageWaterLevel);  
payload[10] = highByte(sw);  
payload[11] = lowByte(sw);
```

```
LMIC_setTxData2(1, payload, sizeof(payload), 0);  
Serial.println(F("Packet queued"));
```

```
    }  
}  
  
//.....
```

```
void setup() {
```

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

```
Serial.begin(9600);
Serial.println(F("Starting"));

pinMode(pump, OUTPUT); //ρύθμιση της ψηφιακής εξόδου της αντλία νερού
pinMode(fan, OUTPUT); // ρύθμιση της ψηφιακής εξόδου του ανεμιστήρα

#ifdef VCC_ENABLE
pinMode(VCC_ENABLE, OUTPUT);
digitalWrite(VCC_ENABLE, HIGH);
delay(1000);
#endif

os_init();
LMIC_reset();

// Το LMIC αντισταθμίζει το σφάλμα ρολογιού +/- 1%
LMIC_setClockError(MAX_CLOCK_ERROR * 1 / 100);

do_send(&sendjob);
}

void loop() {
  os_runloop_once();
}
(Mobilefish, Sending messages to/from The Things Stack Community Edition (V3), n.d.)
```

3.9.3 Προσαρμογή Αποκωδικοποίησης

Τα δυαδικά δεδομένα που ελήφθησαν από το LoRa Node, μετατρέπονται αυτόματα, στην δεκαδική αναπαράσταση τους και αντιστοιχίζονται στο αντίστοιχο byte του json object. Στο json object, ξεκαθαρίζονται σε ποιες παραμέτρους αντιστοιχεί το κάθε δεδομένο (2bytes).

Επομένως, για την αποκωδικοποίηση, πραγματοποιείται η σύνδεση στο TTN και μέσω των *Applications* → *otaa-fivos-node* → *End devices* → *Payload formatters*, πληκτρολογείται στο 'Formatter code' ο εξής κώδικας:

```
function Decoder(input) {
  var humidity = (bytes[0]<<8) | bytes[1];
  var temperature = (bytes[2]<<8) | bytes[3];
  var Soil_Moist= (bytes[4]<<8) | bytes[5];
  var sunlight = (bytes[6]<<8) | bytes[7];
  var Water_Level = (bytes[8]<<8) | bytes[9];
```

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

```
var sw = (bytes[10]<<8) | bytes[11];
return {
  'humidity': humidity,
  'temperature': temperature,
  'soil_moist': Soil_Moist,
  'sunlight': sunlight,
  'water_level': Water_Level,
  'switch': sw
};
}
```

Στο serial port του Arduino, παρατηρείται η αποστολή των δεδομένων και η επιτυχής σύνδεση του με το Gateway (Εικόνα 3.81).

```
Starting
Humidity(%): 33
Temperature(°C): 19
Soil_Moist(%): 20
sunlight(%): 57
WaterLevel(%): 43
Switch: 0
Packet queued
6771: EV_JOINING
401016: EV_TXSTART
722977: EV_JOINED
netid: 19
devaddr: 260BDAC1
AppSKey: 47-A6-14-69-E0-93-CA-09-C7-A7-E8-44-20-BC-06-CB
NwkSKey: DF-38-67-FC-FC-0F-60-B0-B1-C8-54-E0-73-85-CD-E7
```

← Δεδομένα

← Σύνδεση με Gateway

Εικόνα 3.81 - Δεδομένα στο serial port του Arduino.

Στο TTN παρατηρείται, πώς η αποστολή και η αποκωδικοποίηση των δεδομένων είναι επιτυχής και μεταδίδονται ανά μισή ώρα (Εικόνα 3.82).

Time	Entity ID	Type	Data preview	Verbose stream	Pause
↑ 15:47:27	eui-78b3d57ed0047a8f	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 40, soil_moist: 81, sunlight: 41, switch: 0, temperature: 19, water_level: 44 } 00 28 00 13 00 51 00 29 ..		FPort: 1
↑ 15:47:27	eui-78b3d57ed0047a8f	Successfully processed data message	DevAddr: 26 08 E9 B0 FCnt: 4 FPort: 1 Data rate: SF7BW125 SNR: 9.5 RSSI: -91		
15:17:28		Console: Stream reconnected	The stream connection has been re-established		
↑ 15:17:23	eui-78b3d57ed0047a8f	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 41, soil_moist: 88, sunlight: 59, switch: 0, temperature: 19, water_level: 46 } 00 29 00 13 00 58 00 38 ..		FPort: 1
↑ 15:17:23	eui-78b3d57ed0047a8f	Successfully processed data message	DevAddr: 26 08 E9 B0 FCnt: 3 FPort: 1 Data rate: SF7BW125 SNR: 9.2 RSSI: -91		
15:17:22		Console: Stream connection closed	The connection was closed by the stream provider		

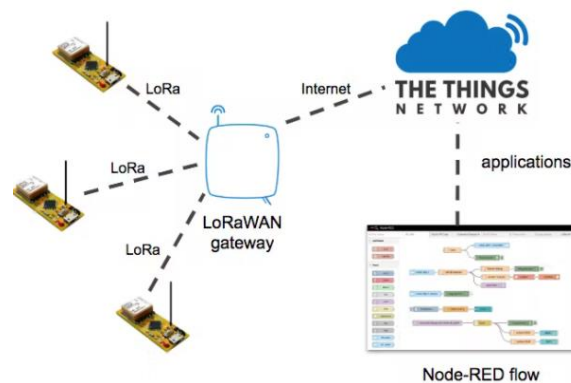
Εικόνα 3.82 - Απεικόνιση δεδομένων στο TTN σε πραγματικό χρόνο.

3.10 Επικοινωνία του TTN με το Node-Red

Το εργαλείο ανάπτυξης Node-RED, θα χρησιμοποιηθεί ως το κύριο μέσο που θα λαμβάνει αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο. Αρχικά, θα πραγματοποιηθεί η επικοινωνία του Node-RED με το TTN

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

(Εικόνα 3.83) και κάθε φορά που θα δέχεται τα δεδομένα από το TTN, θα εισέρχονται σε ένα σύστημα ροών εντολών.



Εικόνα 3.83 - Επικοινωνία Node-RED με TTN και TTN με LoRa Node (nootropicdesign, n.d.).

Μερικές από τις εντολές αυτές αφορούν, την ενεργοποίηση της αντλίας νερού όταν το ποσοστό υγρασίας του χώματος δεν είναι επαρκές, την ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση του ανεμιστήρα, την ενημέρωση του χρήστη μέσω email, κ.ά. Το Node-RED θα στέλνει τα αντίστοιχα δεδομένα στο TTN και το TTN θα τα προωθεί, με την σειρά του, πίσω στο έξυπνο φυτό.

Εκτός από την λήψη αποφάσεων, το Node-RED έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει τα δεδομένα για περαιτέρω ανάλυση, αλλά και να τα απεικονίζει σε μορφή διαγραμμάτων σε πραγματικό χρόνο.

3.10.1 Εγκατάσταση Node-red στο Raspberry Pi

Αρχικά, ενεργοποιείται το terminal του Raspberry Pi μέσω του προγράμματος PuTTY. Για την εγκατάσταση του Node-RED στο Raspberry Pi (Εικόνα 3.84), πληκτρολογούνται οι παρακάτω εντολές:

- `bash<(curl-sL https://raw.githubusercontent.com/node-red/linux-installers/master/deb/update-nodejs-and-nodered)`
- Yes
- Start node red: `node-red-start (ubidots)`

```
Running Node-RED install for user pi at /home/pi on raspbian
This can take 20-30 minutes on the slower Pi versions - please wait.
Stop Node-RED ✓
Remove old version of Node-RED ✓
Remove old version of Node.js ✓
Install Node.js 14 LTS
Clean npm cache
Install Node-RED core
Move global nodes to local
Npm rebuild existing nodes
Install extra Pi nodes
Add shortcut commands
Update systemd script
Any errors will be logged to /var/log/nodered-install.log
```

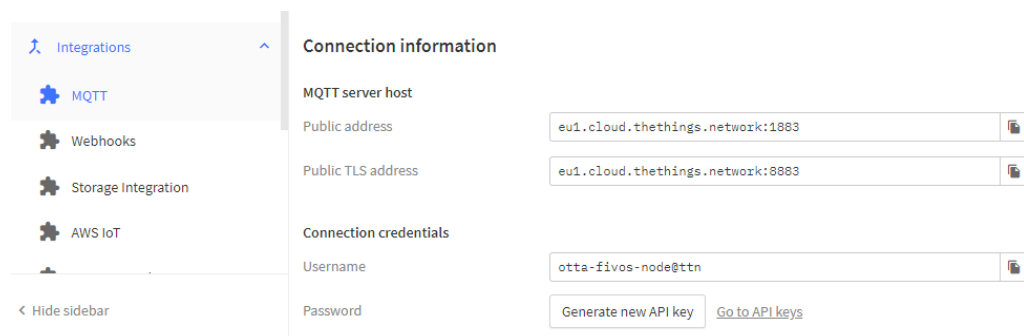
Εικόνα 3.84 - Εγκατάσταση Node-RED στο Raspberry Pi

Έπειτα, για να ενεργοποιούνται ταυτόχρονα το Node-RED και το Raspberry Pi, πληκτρολογείτε στο ‘terminal’, η παρακάτω εντολή “`sudo systemctl enable nodered.service`”.

3.10.2 Ενσωμάτωση TTN στο Node-Red

Η επικοινωνία του TTN με το Node-RED, επιτυγχάνεται μέσω του πρωτοκόλλου MQTT. Το MQTT αποτελεί ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων, που σχεδιάστηκε για να δημιουργήσει ένα αξιόπιστο πρότυπο επικοινωνίας μεταξύ μηχανών. Επιπλέον, αφορά πρωτόκολλο δικτύου δημοσίευσης και συνδρομής, που σημαίνει πως αντί να επικοινωνούν με έναν server, οι συσκευές και οι εφαρμογές δημοσιεύουν και εγγράφονται σε θέματα που διαχειρίζεται ένας broker. Το MQTT χρησιμοποιεί συνήθως το πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης/Πρωτόκολλο Διαδικτύου (TCP/IP) ως μέσο μεταφοράς, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει άλλα αμφίδρομα μέσα μεταφοράς. (u-blox)

Αρχικά, πραγματοποιείται η είσοδος στο TTN και ακολουθούνται οι επιλογές *application* → *my otaa node* → *Integrations* → *MQTT* → *generate new API key* (Εικόνα 3.85). Οι πληροφορίες που εμφανίζονται, αποθηκεύονται για την πραγματοποίηση της επικοινωνίας με το Node-RED.



Εικόνα 3.85 – MQTT integration στο TTN.

Στην συνέχεια, πραγματοποιείται η είσοδος στο Node-RED, πληκτρολογώντας στον Browser του υπολογιστή τον σύνδεσμο⁹, που αποτελεί το IP του Raspberry Pi, όπου είναι εγκατεστημένο το Node-RED.

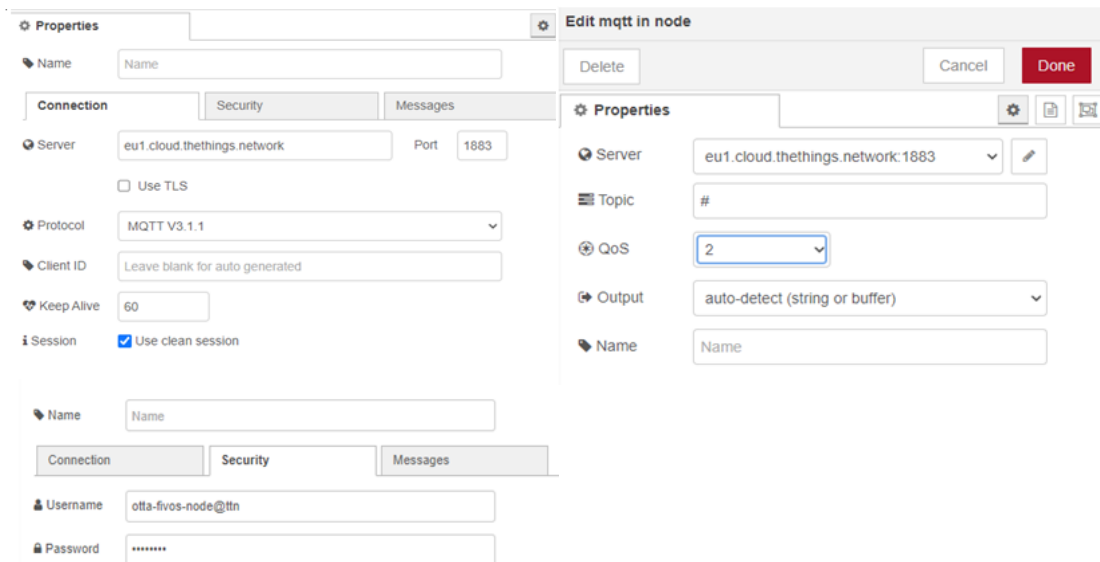
Για την εγκατάσταση της παλέτας, που περιέχει τις απαραίτητες ροές εντολών, επιλέγονται στο Node-RED, τα παρακάτω:

- *Install dashboard* → *menu* → *manage pallet* → *install* → *node-red-dashboard*

Στην παλέτα, επιλέγεται το “*mqtt node*”, το “*debug node*” και πραγματοποιείται η μεταξύ τους σύνδεση. Στο “*mqtt node*” αντιγράφονται τα στοιχεία που αποθηκεύτηκαν από το TTN (Εικόνα. 3.87).

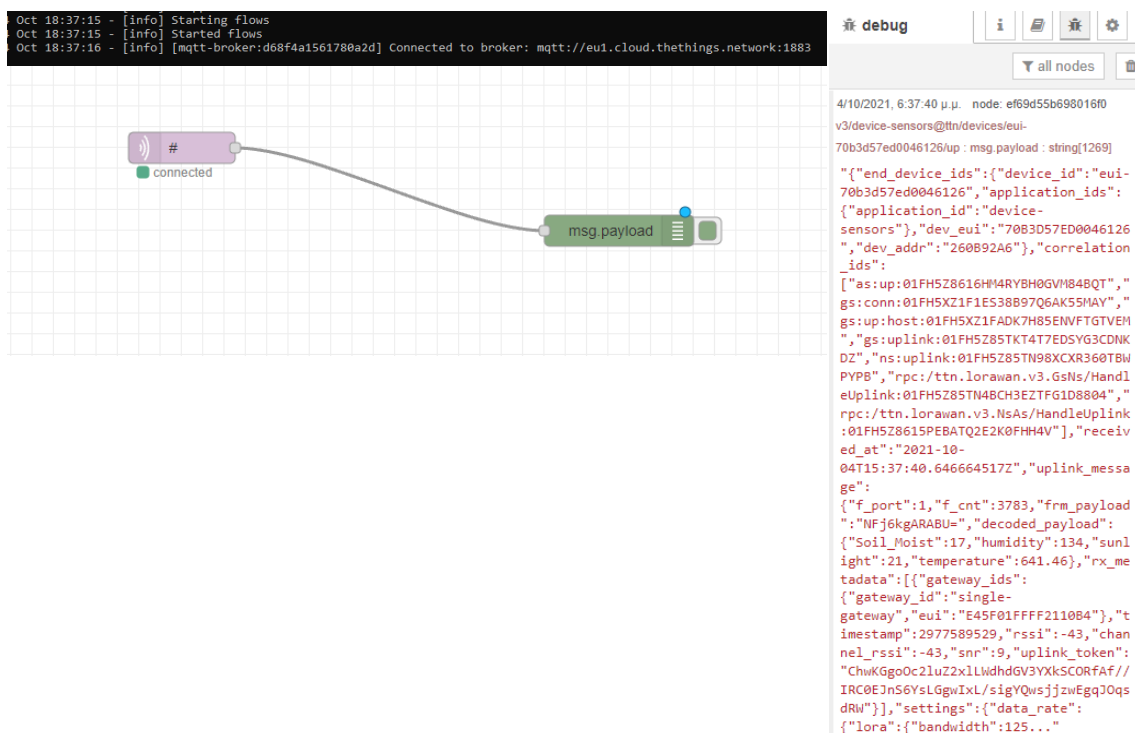
⁹ <http://192.168.68.111/:1880/>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 3.87 -Αντιγραφή των απαραίτητων στοιχείων στο mqtt node, για την επίτευξη της επικοινωνίας μεταξύ Node-RED και TTN.

Τέλος, επιλέγεται το *deploy* και παρουσιάζεται η εξέλιξη της μεταξύ τους σύνδεσης (Εικόνα 3.88 α) και η μεταφορά των δεδομένων (Εικόνα 3.88 β). (TheThingsNetwork, n.d.)



Εικόνα 3.88 - (α) Επιτυχής σύνδεση,

(β) Επιτυχής μεταφορά δεδομένων.

3.10.3 Απεικόνιση Δεδομένων

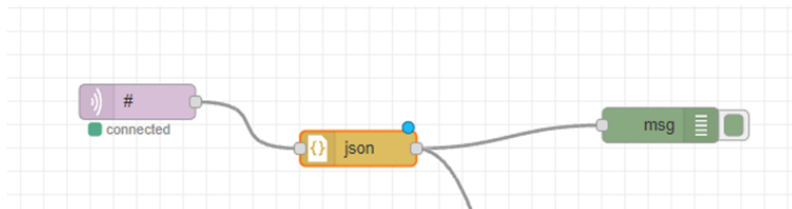
Για να γίνουν αντιληπτά τα δεδομένα από τον άνθρωπο, το μήνυμα αποτελέσματος σχετικά με τη μεταφορά δεδομένων, θα πρέπει να υποστεί επεξεργασία από το μορφότυπο JSON (JavaScript Object Notation).

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Αρχικά, μεταβάλλεται η απεικόνιση του μηνύματος στο “*debug node*”:

- *debug* → *change to: complete msg object*

Στην συνέχεια συνδέεται το “*json node*”. (Εικόνα 3.89)



Εικόνα 3.89 - Σύνδεση του “*json node*”.

Το μήνυμα αποτελέσματος, μετά την επεξεργασία, έχει διαφορετική μορφή και για την εύρεση των δεδομένων που στάλθηκαν, επιλέγονται τα παρακάτω (Εικόνα 3.90):

- *debug messages* → *payload* → *uplink_message* → *decoded_payload* (SuperHouseTV, n.d.)

```
5/10/2021, 11:47:14 π.μ. node: ef69d55b698016f0
v3/device-sensors@ttn/devices/eui-70b3d57ed0046126/up : msg : Object
  > object
    topic: "v3/device-sensors@ttn/devices/eui-70b3d57ed0046126/up"
  > payload: object
    > end_device_ids: object
    > correlation_ids: array[7]
      received_at: "2021-10-05T08:47:14.185665512Z"
    > uplink_message: object
      f_port: 1
      f_cnt: 293
      frm_payload: "AAAAAAQ//0="
    > decoded_payload: object
      humidity: 0
      soil_moist: 16
      sunlight: 65533
      temperature: 0
    > rx_metadata: array[1]
    > settings: object
      received_at: "2021-10-05T08:47:13.975819734Z"
      consumed_airtime: "0.056576s"
    > network_ids: object
  qos: 0
  retain: false
  _msgid: "136d86c4b94242b5"
```

Εικόνα 3.90 - Νέα απεικόνιση των δεδομένων.

Για την απεικόνιση των δεδομένων, σε πραγματικό χρόνο μέσω διαγραμμάτων, αντιγράφεται το ‘*path*’ (Εικόνα 3.91).

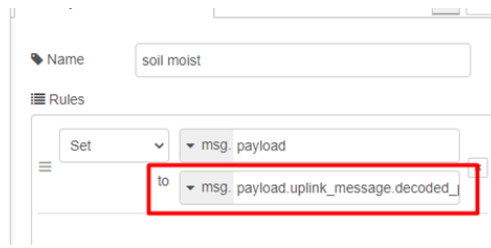
```
humidity: 0
soil_moist: 16
sunlight: 65533
temperature: 0
```

Copy path

Εικόνα 3.91 - Αντιγραφή ‘*path*’ (soil moist)

Επιλέγεται το “*change node*” και μεταφέρεται το ‘*path*’ (Εικόνα 3.92).

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

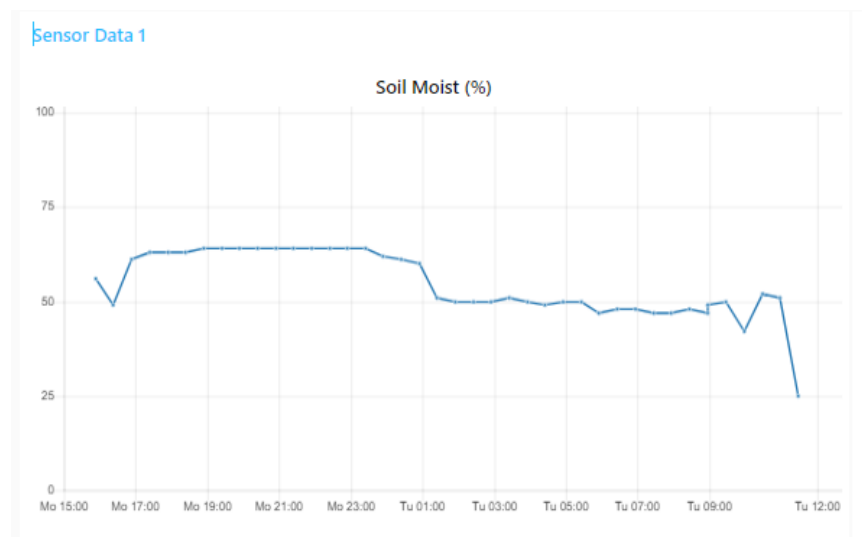


Εικόνα 3.92 - Μεταφορά path στο chart.

Τέλος, συνδέεται το “chart node”, για την απεικόνιση του διαγράμματος, με τις απαραίτητες αλλαγές, όπως παρουσιάζονται:

- X-axis → last: 10 days
- Y-axis → min: 0 and max: 100
- Label: Soil Moist (%)
- group → edit → tab → Sensor data
- group → edit → name → Sensor Data 1
- Width → 16

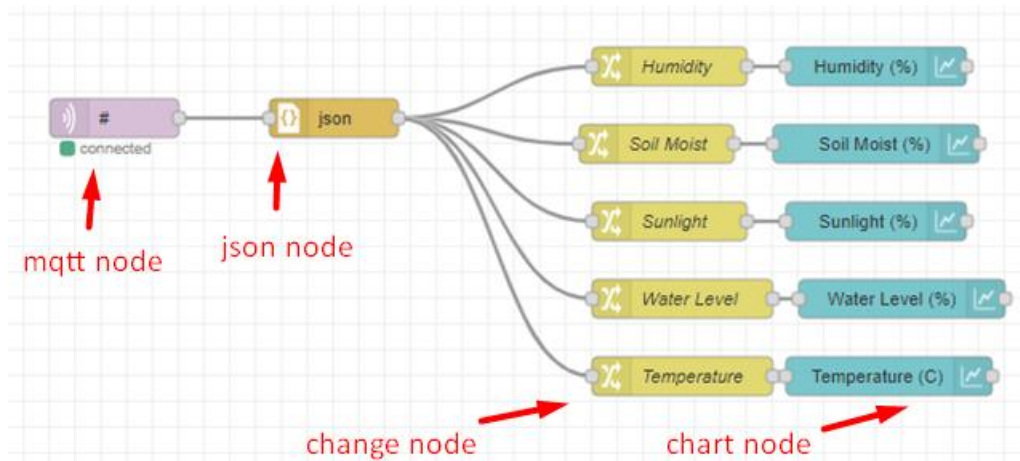
Για την απεικόνιση των διαγραμμάτων σε πραγματικό χρόνο (Εικόνα 3.93), πληκτρολογείτε στον Browser του υπολογιστή, ο σχετικός σύνδεσμος¹⁰.



Εικόνα 3.93 - Απεικόνιση δεδομένων υγρασίας εδάφους σε πραγματικό χρόνο.

Η διαδικασία είναι η ίδια για όλα τα δεδομένα (humidity, temperature, water level, sunlight) (Εικόνα 3.94).

¹⁰ <http://127.0.0.1:1880/ui>



Εικόνα 3.94 - Ροές εντολών για την απεικόνιση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

3.10.4 Αποθήκευση Δεδομένων

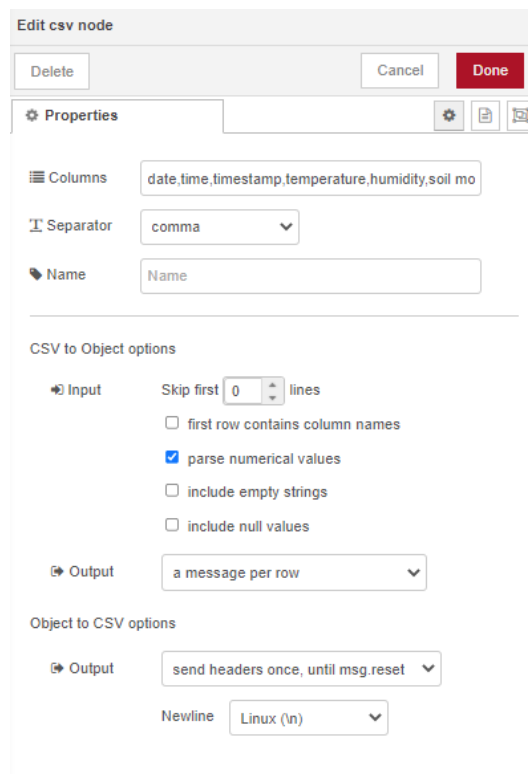
Για την αποθήκευση των δεδομένων, χρησιμοποιείται ένα “*function node*”, όπου επιτρέπει την δημιουργία συναρτήσεων σε γλώσσα Java. Οπότε, στο “*function node*”, αποθηκεύονται τα ‘*path*’ των δεδομένων, μαζί με την ακριβή χρονική στιγμή που ελήφθησαν.

```
var now=new Date();
var yyyy=now.getFullYear(); //χρονολογία
var mm=now.getMonth()<9? "0"+(now.getMonth()+1):(now.getMonth()+1); // μήνας
var dd=now.getDate()<10? "0"+now.getDate():now.getDate(); //ημέρα
var hh=now.getHours()<10? "0"+now.getHours():now.getHours(); //ώρα
var mmm=now.getMinutes()<10? "0"+now.getMinutes():now.getMinutes(); // λεπτά
var ss=now.getSeconds()<10? "0"+now.getSeconds():now.getSeconds(); // δευτερόλεπτα
```

```
msg.payload={
  "date":dd + "/" + mm + "/" + yyyy, // ημερομηνία σε μορφή: dd/mm/yyyy
  "time": hh + ":" + mmm + ":" + ss, // ώρα σε μορφή: hh:mm:ss
  "timestamp":msg.payload.uplink_message.settings.timestamp, //χρονοσήμανση
  "temperature":msg.payload.uplink_message.decoded_payload.temperature, //‘path’ για την
  θερμοκρασία της ατμόσφαιρας
  "humidity":msg.payload.uplink_message.decoded_payload.humidity, //‘path’ για την υγρασία της
  ατμόσφαιρας
  "soil moist":msg.payload.uplink_message.decoded_payload.soil_moist, //‘path’ για την υγρασία
  του εδάφους
  "sunlight":msg.payload.uplink_message.decoded_payload.sunlight // ‘path’ για τη φωτεινότητα
}
return msg;
```

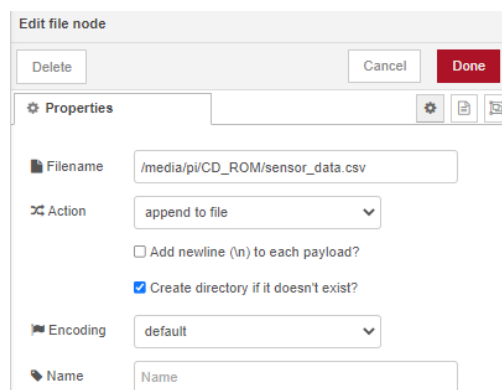
Για την αποθήκευση των δεδομένων αυτών σε .csv αρχείο, επιλέγεται το “*csv node*”, όπου πραγματοποιούνται οι παρακάτω αλλαγές (Εικόνα 3.95).

- Columns: date,time,timestamp,temperature,humidity,soil moist,sunlight,water level
- CSV to Object options → Input: parse numerical values
- CSV to Object options → Output: a message per row
- Object to CSV options → Output: send headers once, until msg.reset
- Object to CSV options → Newline: Linux (\n)



Εικόνα 3.95 - Ρυθμίσεις για το csv node.

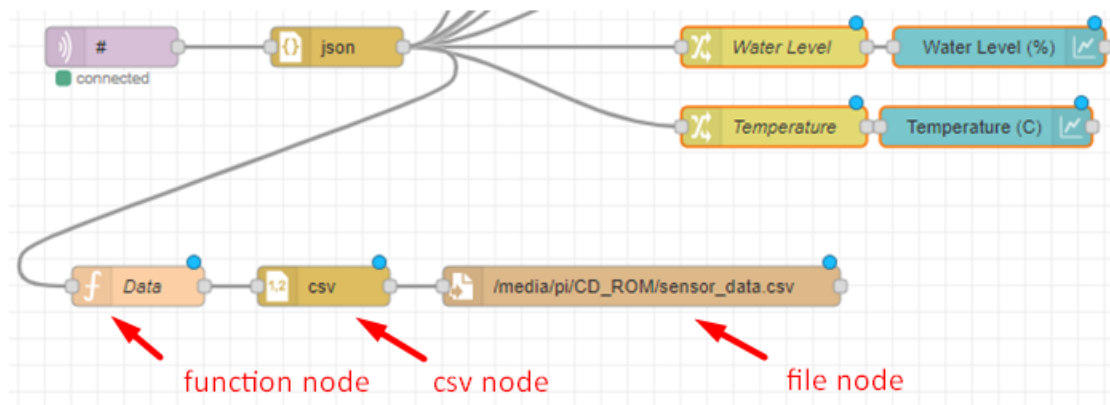
Τέλος, συνδέεται στο Raspberry Pi ένα usb stick, όπου θα αποθηκεύεται το csv αρχείο. Για την επίτευξη αυτού, επιλέγεται το “*file node*” και πραγματοποιούνται απαραίτητες ενέργειες που αφορούν το όνομα του αρχείου (Filename) και την δημιουργία λεξικού (Create directory if it doesn't exist?) (Εικόνα 3.96).



Εικόνα 3.96 - Ρυθμίσεις για το file node.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Η διαδικασία αποθήκευσης των δεδομένων και σύνδεσης των ροών εντολών, παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 3.97). (CsongorVarga, Auto Logger - Store Node-Red data in daily CSV files, n.d.)



Εικόνα 3.97 - Ροές εντολών για την αποθήκευση των δεδομένων.

3.10.5 Αποστολή Δεδομένων στο Έξυπνο φυτό

Εκτός, από την αναπαράσταση διαγραμμάτων και την αποθήκευση δεδομένων, το Node-RED χρησιμοποιείται, για την ενεργοποίηση της αντλίας νερού κάθε φορά που η υγρασία εδάφους είναι κάτω από το 55%. Όπως επίσης, ενεργοποιείται ο ανεμιστήρας κάθε φορά που η θερμοκρασία είναι άνω των 25°C.

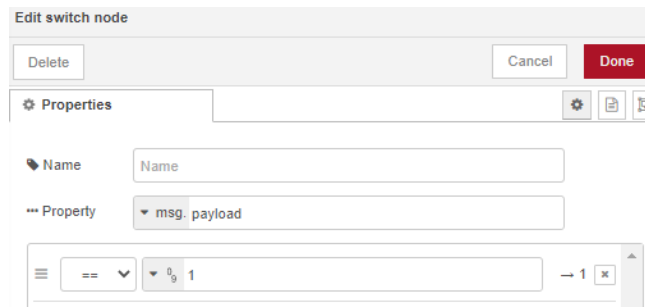
Το Node-RED στέλνει στο TTN, την τιμή 01 στην fport= 3 για την ενεργοποίηση της αντλίας νερού, την τιμή 01 στην fport= 2 για την ενεργοποίηση του ανεμιστήρα και την τιμή 00 στην fport= 2 για την απενεργοποίηση του.

3.10.5.1 Ενεργοποίηση της Αντλίας Νερού

Για την ενεργοποίηση της αντλίας, αντιγράφεται το 'path' της υγρασίας εδάφους. Στην συνέχεια, επιλέγεται το "function node", όπου γράφονται οι παρακάτω εντολές:

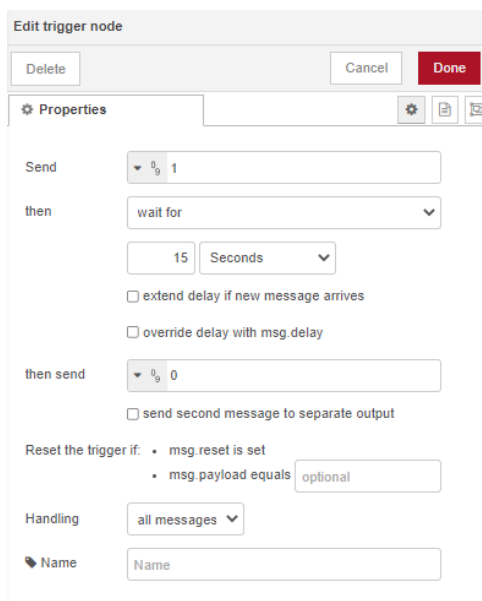
```
if (msg.payload.uplink_message.decoded_payload.soil_moist < 55 ) // το  
"payload.uplink_message.decoded_payload.soil_moist" είναι το 'path' της υγρασίας εδάφους  
    msg.payload = 1;  
else  
    msg.payload = 0;  
return msg;
```

Ύστερα, επιλέγεται το "switch node" και ρυθμίζεται κατάλληλα για τον κατατοπισμό των ροών εντολών, ανάλογα με το αποτέλεσμα της συνάρτησης (Εικόνα 3.98). Για παράδειγμα, εάν το *msg.payload* της συνάρτησης είναι ίσο με 1, τότε ακολουθεί το "trigger node".



Εικόνα 3.98- Ρυθμίσεις του switch node.

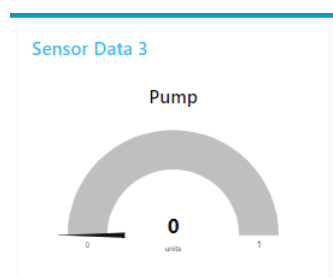
Με το “*trigger node*”, επιλέγεται 15sec, ο χρόνος διαρκείας, που θα μείνει ανοιχτή η αντλία (Εικόνα 3.99). Η τιμή 1 ορίζει το ξεκίνημα της αντλίας, ενώ η τιμή 0 το κλείσιμο της.



Εικόνα 3.99 - Ρυθμίσεις για το trigger node.

Έπειτα, ακολουθεί το “*gauge node*”, όπου απεικονίζει την στιγμή και την διάρκεια όπου ανοίγει η αντλία νερού, σε πραγματικό χρόνο (Εικόνα 3.100). Στο “*gauge node*”, γίνονται οι εξής ρυθμίσεις: (CsongorVarga, n.d.)

- Label: Gauge
- group → edit → tab → Sensor data
- group → edit → name → Sensor Data 3
- min: 0
- max: 1



Εικόνα 3.100 - Απεικόνιση ενεργοποίησης αντλίας.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Μετά το “*switch node*” συνδέεται ένα “*function node*”, για την αποστολή της εντολής ενεργοποίησης της αντλίας στο TTN. Με αυτόν τον τρόπο, μετατρέπεται το κωδικοποιημένο ωφέλιμο φορτίο και η αντίστοιχη *fport*, σε μήνυμα (json object), μέσω του μορφότυπου Base64. Στον Πίνακα 3.5, απεικονίζεται η αντιστοιχία των δεκαεξαδικών τιμών σε Base64. (Mobilefish, LoRa/LoRaWAN tutorial 58: Uplink and downlink messages using the Paho MQTT Python client library)

```
return {
  "payload": {
    "downlinks": [{
      "f_port": 3,
      "frm_payload": "AQ==" , // μετατρέπεται η δεκαεξαδική τιμή, στην αντίστοιχη αναπαράσταση
base64
      "priority": "NORMAL"
    }]
  }
}
```

Πίνακας 3.5 - Δεκαεξαδικές τιμές και οι αντίστοιχες αναπαράστασεις Base64

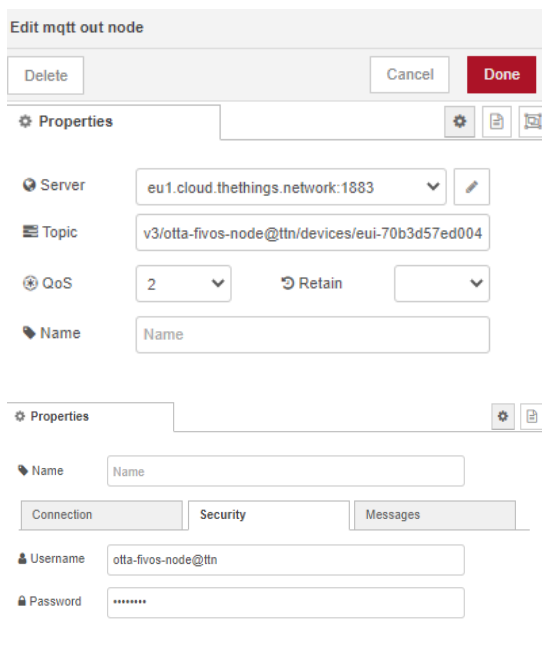
Hex Value	Base64
00	AA==
01	AQ==
02	Ag==
03	Aw==

Τέλος, επιλέγεται το “*mqtt out node*” και γίνονται απαραίτητες ρυθμίσεις (Εικόνα 3.101), για να γίνει η επικοινωνία και η μεταφορά του κωδικοποιημένου κειμένου στο TTN. (thethingsindustries)

Αντιγράφεται το ‘*application_id*’ και το ‘*device_id*’ στο Topic:

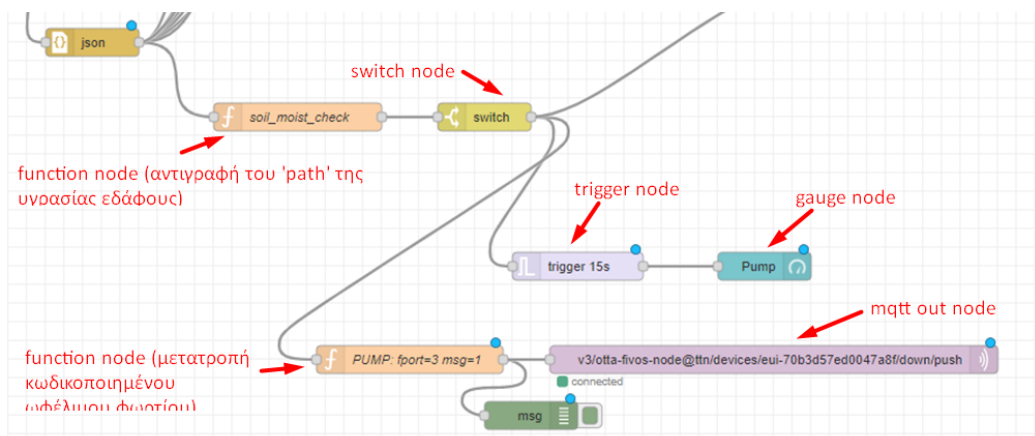
- Topic: v3/ otta-fivos-node @ttn/devices/eui-70b3d57ed0046126/down/push

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 3.101 - Ρυθμίσεις για την σύνδεση του mqtt out με το TTN.

Οι ροές εντολών, που απαιτούνται για την ενεργοποίηση της αντλίας νερού, καθώς και η μεταξύ τους σύνδεση παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 3.102).



Εικόνα 3.102 - Ροές εντολών για την ενεργοποίηση της αντλίας.

3.10.5.2 Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση Ανεμιστήρα DC

Για τον έλεγχο του ανεμιστήρα, αντιγράφηκε το 'path' της θερμοκρασίας και του sw στο "function node", στο οποίο πληκτρολογήθηκαν και οι παρακάτω εντολές.

```

if (msg.payload.uplink_message.decoded_payload.temperature > 25 &&
msg.payload.uplink_message.decoded_payload.switch==0) // το msg.payload...temperature και
το msg.payload...switch, είναι το 'path' της θερμοκρασίας και του sw αντίστοιχα
{
msg.payload = 1;
}
else if (msg.payload.uplink_message.decoded_payload.temperature <= 25 &&
msg.payload.uplink_message.decoded_payload.switch==1)

```

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

```
{  
  msg.payload = 0;  
}
```

```
return msg;
```

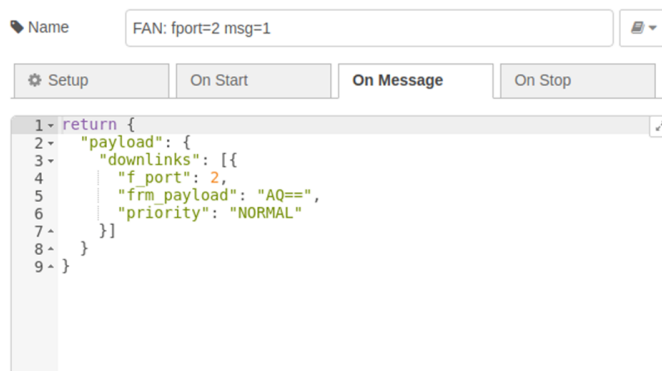
Όποτε, η θερμοκρασία είναι άνω των 25°C και το sw= 0, τότε το *msg.payload*= 1. Ενώ, όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη ή ίση των 25°C και το sw= 1, τότε το *msg.payload*= 0.

Έπειτα, συνδέεται ένα *switch node* και πραγματοποιούνται οι απαραίτητες ρυθμίσεις (Εικόνα 3.103).



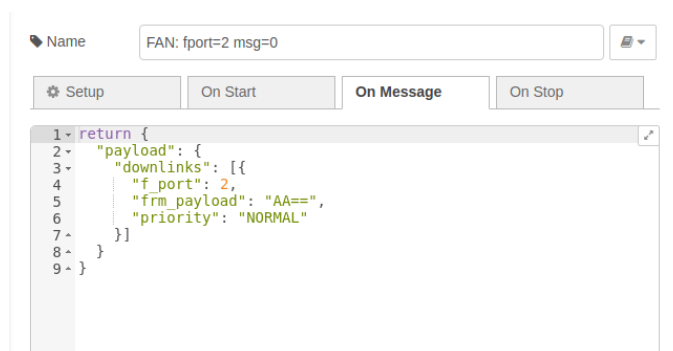
Εικόνα 3.103 - Ρυθμίσεις για το switch node.

Στην περίπτωση που το *msg.payload* είναι ίσο με 1, τότε ακολουθεί η συνάρτηση (*function node*) που κωδικοποιεί το ωφέλιμο φορτίο σε μήνυμα (Εικόνα 3.104) και στην συνέχεια το “*mqtt out node*” επικοινωνεί με το TTN και μεταφέρει το κωδικοποιημένο κείμενο.



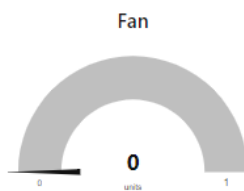
Εικόνα 3.104 - Συνάρτηση μετατροπής κωδικοποιημένου μηνύματος για fport= 2 και τιμής 01.

Η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται όταν το *msg.payload* είναι ίσο με 0 (Εικόνα 3.105).



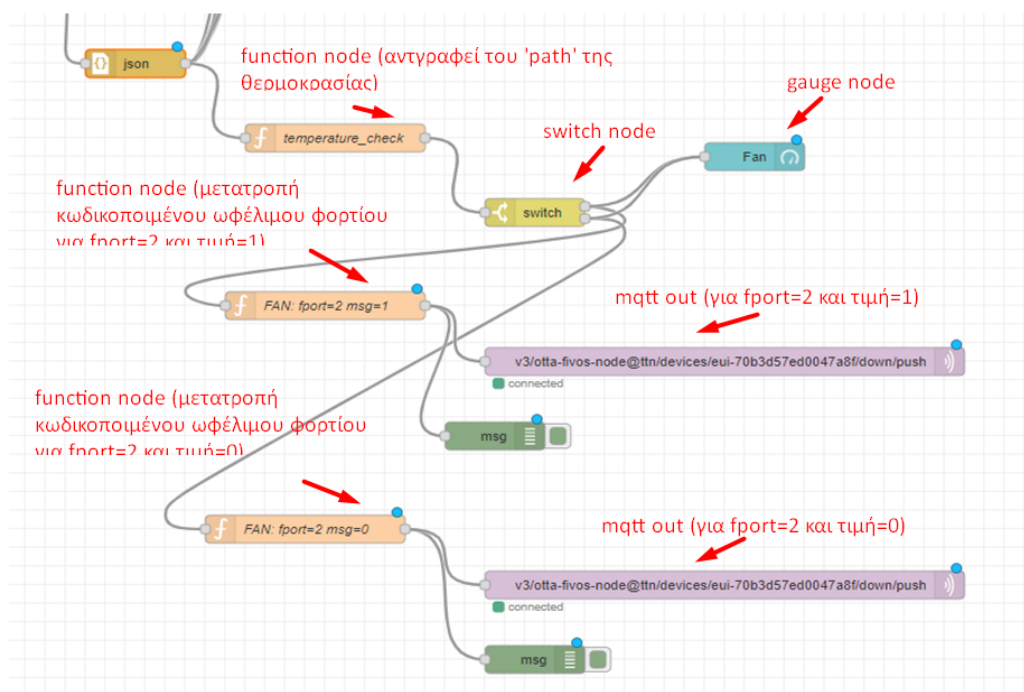
Εικόνα 3.105 - Συνάρτηση μετατροπής κωδικοποιημένου μηνύματος για fport= 2 και τιμής 00

Τελικά, αν το *msg.payload* είναι ίσο με 1, είτε είναι ίσο με 0, με την χρήση ενός “*gauge node*”, απεικονίζεται η στιγμή και η διάρκεια, όπου ενεργοποιείται και απενεργοποιείται ο ανεμιστήρας (Εικόνα 3.106).



Εικόνα 3.106 - Απεικόνιση ενεργοποίησης/απενεργοποίησης ανεμιστήρα.

Οι ροές εντολών, που απαιτούνται για την ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση του ανεμιστήρα, καθώς και την μεταξύ τους σύνδεση, απεικονίζονται παρακάτω (Εικόνα 3.107).



Εικόνα 3.107 - Ροές εντολών για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση του ανεμιστήρα.

3.10.6 Αποστολή Email

Το Node-RED προσφέρει επίσης, την ικανότητα ενημέρωσης του χρήστη μέσω sms ή email. Στην προκειμένη περίπτωση, ο χρήστης λαμβάνει ένα μήνυμα μέσω email και ενημερώνεται για την στιγμή που ενεργοποιείται η αντλία, ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται ο ανεμιστήρας και αδειάζει το δοχείο νερού.

Για την διαδικασία αυτή αρχικά, πραγματοποιείται η είσοδος στον λογαριασμό της Google (Εικόνα 3.108) για να επιτρέψει την πρόσβαση στο Node-RED¹¹.

¹¹ <https://myaccount.google.com/u/0/lesssecureapps>

← Πρόσβαση σε λιγότερο ασφαλείς εφαρμογές

Ορισμένες εφαρμογές και συσκευές χρησιμοποιούν λιγότερο ασφαλή τεχνολογία σύνδεσης, πράγμα το οποίο καθιστά τον λογαριασμό σας πιο ευπαθή. Μπορείτε να απενεργοποιήσετε την πρόσβαση για αυτές τις εφαρμογές, το οποίο συνιστάται από εμάς, ή να ενεργοποιήσετε την πρόσβαση εάν θέλετε να τις χρησιμοποιείτε παρά τους κινδύνους. Η Google θα ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΕΙ αυτόματα αυτήν τη ρύθμιση εάν δεν χρησιμοποιείται. [Μάθετε περισσότερα](#)

Να επιτρέπονται οι λιγότερο ασφαλείς εφαρμογές:
ΕΝΕΡΓΟ



Εικόνα 3.108 - Πρόσβαση του Node-RED στον λογαριασμό.

Η Google, για λόγους ασφαλείας, δεν επιτρέπει την αποστολή email στο χρήστη, από οποιαδήποτε εφαρμογή. Γι' αυτόν τον λόγο, δημιουργείται ένας κωδικός για τις λιγότερο ασφαλείς εφαρμογές. Για την δημιουργία του κωδικού αυτού, πραγματοποιούνται τα εξής βήματα:

- Η είσοδος στην σελίδα¹².
- Επιλογή της εφαρμογής node-red και καταχώρηση του κωδικού πρόσβασης (Εικόνα 3.109).

← Κωδικός πρόσβασης εφαρμογής

Οι κωδικοί εφαρμογής σας επιτρέπουν να συνδέεστε στον Λογαριασμό σας Google από εφαρμογές σε συσκευές που δεν υποστηρίζουν την επαλήθευση σε 2 βήματα. Θα χρειαστεί να εισαγάγετε τον κωδικό μόνο μία φορά. Δεν χρειάζεται να τον απομνημονεύσετε. [Μάθετε περισσότερα](#)

Δεν έχετε κωδικούς πρόσβασης εφαρμογής.

Επιλέξτε την εφαρμογή και τη συσκευή για την οποία θέλετε να δημιουργήσετε κωδικό πρόσβασης.

node-red X

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ

Δημιουργήθηκε κωδικός πρόσβασης εφαρμογής

Κωδικός πρόσβασης εφαρμογής για τη συσκευή σας

uhig lp

Πώς να τον χρησιμοποιήσετε

Μεταβείτε στις ρυθμίσεις για το Λογαριασμό σας Google στην εφαρμογή ή τη συσκευή που προσπαθείτε να ρυθμίσετε. Αντικαταστήστε τον κωδικό πρόσβασης σας με τον κωδικό πρόσβασης 16 χαρακτήρων που φαίνεται παραπάνω.

Όπως ακριβώς ο κανονικός κωδικός πρόσβασης σας, αυτός ο κωδικός πρόσβασης εφαρμογής παρέχει πλήρη πρόσβαση στο Λογαριασμό σας Google. Δεν θα χρειαστεί να τον απομνημονεύσετε, οπότε μην τον γράψετε ή τον αποκαλύψετε σε κανέναν.

TEΛΟΣ

Email
securesally@gmail.com

Password
••••••••

Εικόνα 3.109 - Κωδικός πρόσβασης του Node-RED στον λογαριασμό.

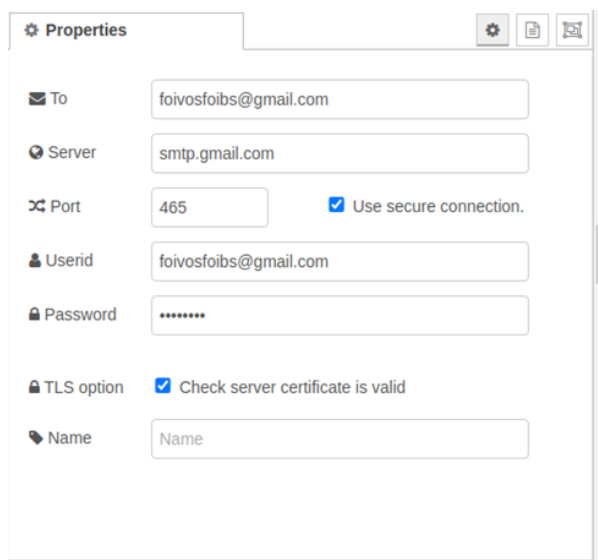
Στην συνέχεια εγκαθίσταται το email node, στο Node-RED επιλέγοντας *manage pallette* → *install* → *node-red-node-email*.

¹² https://accounts.google.com/IssuedAuthSubTokens?hide_authsub=1

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

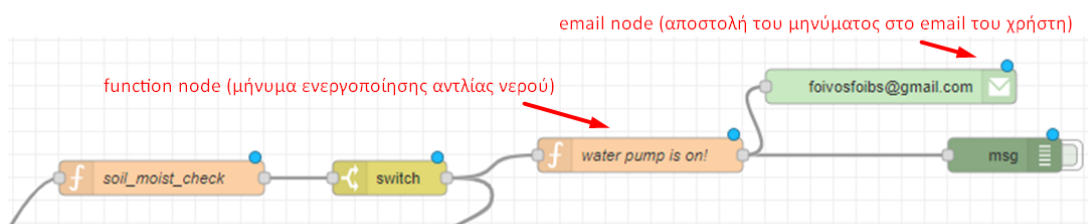
Έπειτα, επιλέγεται το “*function node*” και εισάγεται το μήνυμα που θα αποστέλεται στον χρήστη.
msg.payload="water pump is on!";
return msg;

Μετά το “*function node*”, συνδέεται το “*email node*”, για να πραγματοποιηθεί η σύνδεση με τον λογαριασμό του χρήστη πρέπει, να επιλεγθεί το email που πρόκειται να σταλεί το σχετικό μήνυμα, ο server και η πόρτα (για το google είναι: smtp.gmail.com και 465), καθώς και το όνομα χρήστη και ο κωδικός πρόσβασης (Εικόνα 3.110).



Εικόνα 3.110 - Σύνδεση Node-RED με λογαριασμό email.

Οι ροές εντολών, που απαιτούνται για την αποστολή του email, καθώς και η μεταξύ τους σύνδεση, απεικονίζονται παρακάτω (Εικόνα 3.111) .



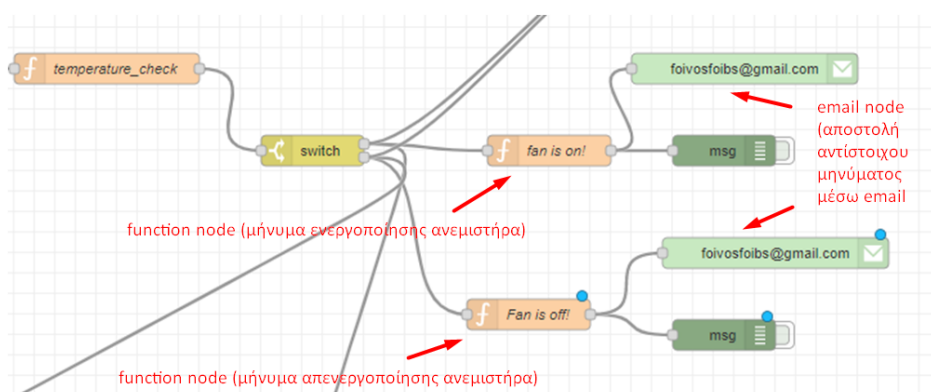
Εικόνα 3.111 - Ροές εντολών για την αποστολή email, κατά την ενεργοποίηση της αντλίας.

Για την αποστολή email, ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του ανεμιστήρα ακολουθείται η ίδια διαδικασία (επιλογή “*function node*” για την δημιουργία του μηνύματος και σύνδεση με “*email node*”) (Εικόνα 3.112).



Εικόνα 3.112 - Μηνύματα ενεργοποίησης/απενεργοποίησης ανεμιστήρα στο function node.

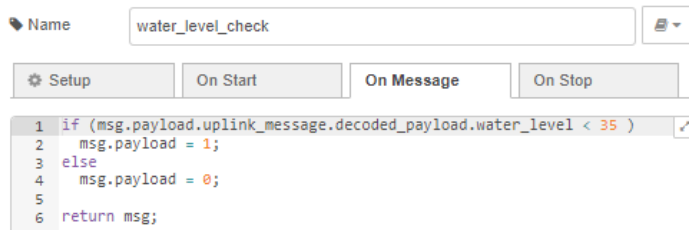
Παρουσίαση των ροών εντολών, για την αποστολή email ενεργοποίησης/απενεργοποίησης ανεμιστήρα και της μεταξύ τους σύνδεσης (Εικόνα 3.113).



Εικόνα 3.113 - Ροές εντολών για την αποστολή email ενεργοποίησης/απενεργοποίησης ανεμιστήρα.

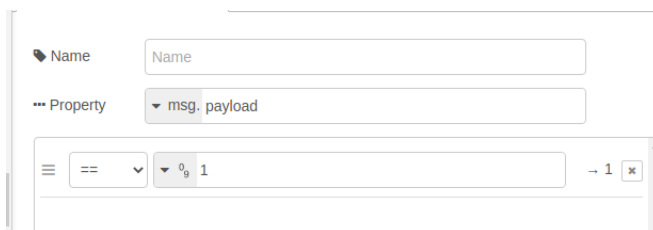
Τέλος, για την ειδοποίηση σχετικά με την στάθμη του νερού, αντιγράφεται το σχετικό ‘path’ και όταν η τιμή της στάθμης του νερού είναι κάτω από 35%, τότε στέλνει το μήνυμα: "Your water tank is almost empty, please add some water to the tank!". (MasonManden, n.d.)

Στο “function node” ελέγχεται η στάθμη νερού (Εικόνα 3.114).

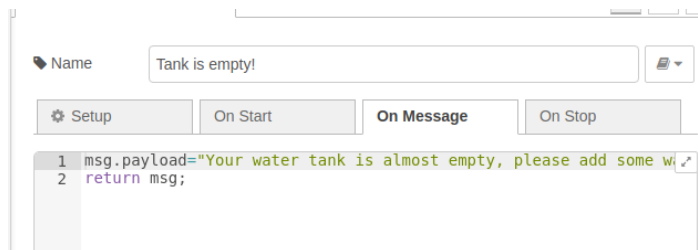


Εικόνα 3.114 - Function node όπου γίνεται ο έλεγχος της στάθμης.

Με το “switch node” κατατοπίζεται η συνάρτηση (Εικόνα 3.115), εάν το *msg.payload* είναι ίσο με 1, τότε το “switch node” συνδέεται με το “function mode”, όπου περιλαμβάνει το μήνυμα (Εικόνα 3.116). Τέλος, το “function node” συνδέεται με το “email node” για την αποστολή του email.

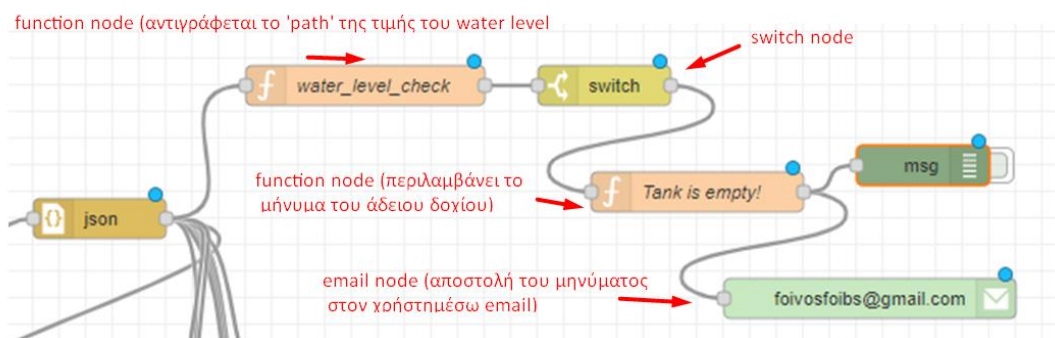


Εικόνα 3.115 - Switch node, άμα το msg.payload είναι ίσο με 1, τότε στέλνει το μήνυμα.



Εικόνα 3.116 - Function node με το μήνυμα που πρόκειται να σταλθεί.

Ακολουθεί, η παρουσίαση των ροών εντολών, για την αποστολή email, στην περίπτωση της χαμηλής στάθμης νερού και της μεταξύ τους σύνδεσης (Εικόνα 3.117).



Εικόνα 3.117 -Ροές εντολών για την αποστολή email, στην περίπτωση άδειου δοχείου.

3.11 Κατασκευή Φωτοβολταϊκού Powerbank

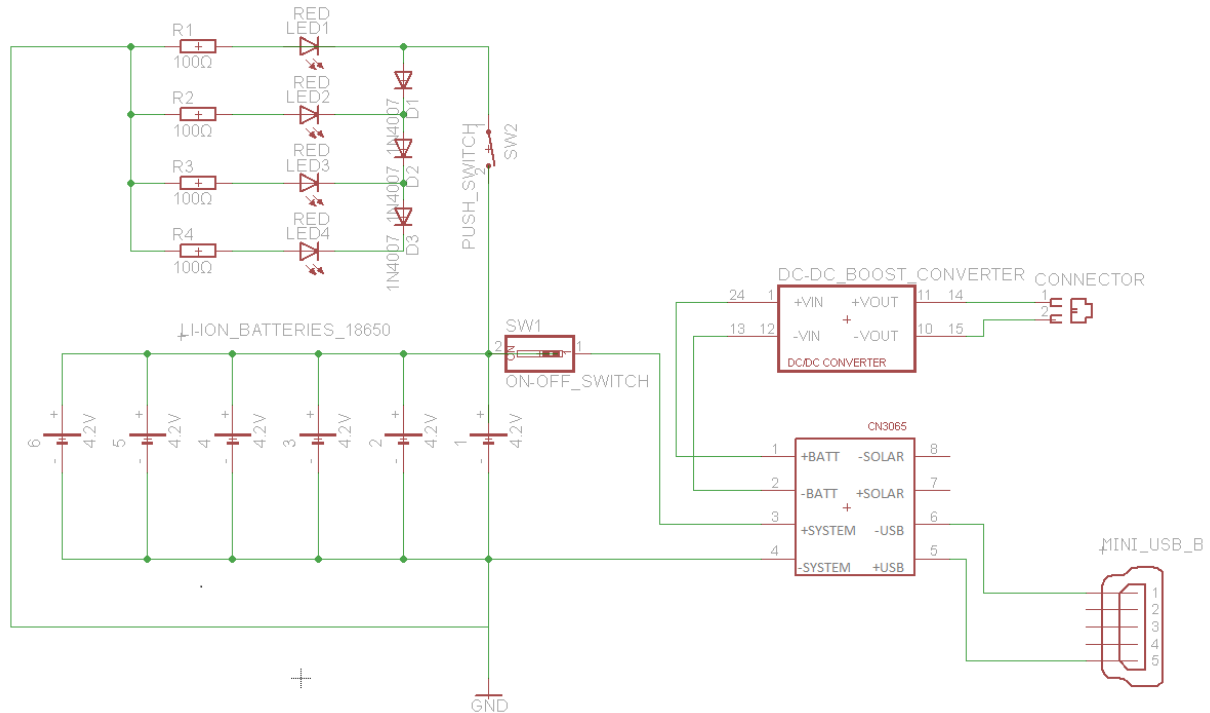
Για την τροφοδοσία του έξυπνου φυτού, χρησιμοποιήθηκε ένα φωτοβολταϊκό powerbank (Εικόνα 3.118), με σκοπό την συνεχή λειτουργία του συστήματος, σε οποιοδήποτε σημείο του σπιτιού, εντός ή εκτός.



Εικόνα 3.118 - Φωτοβολταϊκό powerbank

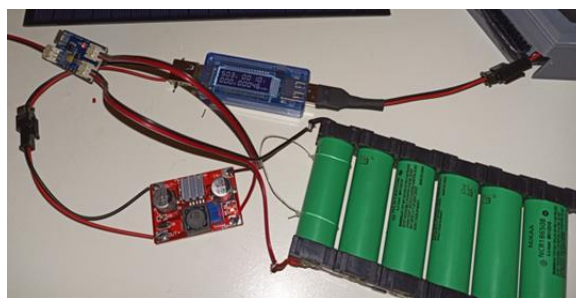
3.11.1 Συνδεσμολογία Powerbank

Όλες οι συνδεσμολογίες πραγματοποιήθηκαν με βάση το παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 3.119):



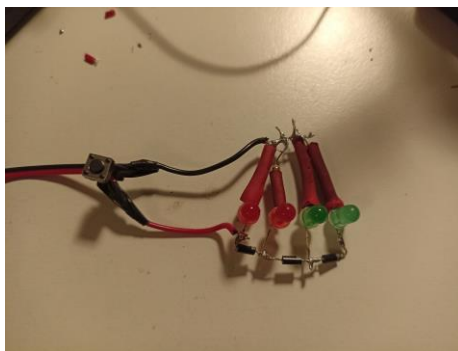
Εικόνα 3.119 - Συνδεσμολογία εξαρτημάτων για την κατασκευή powerbank.

Αρχικά, συνδέθηκαν 6 μπαταρίες παράλληλα, στην συνέχεια συνδέθηκε η πλακέτα φόρτισης CN3065, όπου επιτρέπει την φόρτιση των μπαταριών, μέσω φωτοβολταϊκών ή θήρας USB. Συνδέθηκε και το boost converter για την ανύψωση της τάσης (Εικόνας 3.120). (julianSarokin)



Εικόνα 3.120 -Σύνδεση μπαταριών, CN3065 και boost converter.

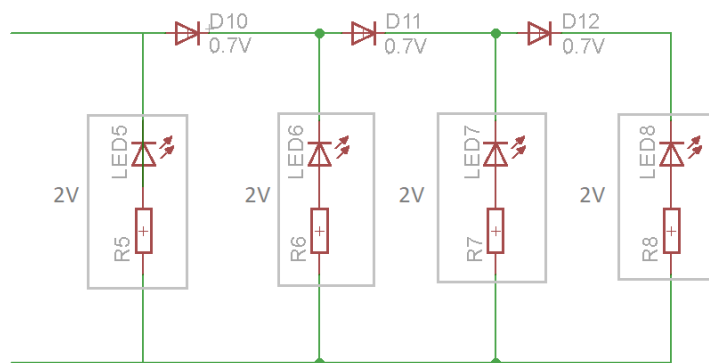
Στην συνέχεια, συνδέθηκαν τα led, οι αντιστάσεις, οι δίοδοι και ο διακόπτης (Εικόνα 3.121), για την ένδειξη της χωρητικότητας του powerbank



Εικόνα 3.121 - Σύνδεση LED, διόδων και διακόπτη.

Οι διόδοι είναι ανάστροφα πολωμένοι. Η ανάστροφη πόλωση αυξάνει την περιοχή απογύμνωσης (επαφή PN) και εμποδίζει τη διέλευση του ρεύματος, οπότε η τάση της καθόδου είναι υψηλότερη από εκείνη της ανόδου. Επομένως, δεν θα ρέει ρεύμα, στο LED, μέχρι η τάση στα άκρα της να φτάσει στην επιθυμητή τιμή και η διόδος να καταρρεύσει. Σ' αυτό το σημείο, η επαφή PN παύει να υφίσταται και η διόδος γίνεται αγωγίμη.

Η πτώση τάσης της διόδου 1N4007 είναι 0.7V και η πτώση τάσης τους κόκκινου LED είναι 2V (Εικόνα 3.122).



Εικόνα 3.122 - Διάγραμμα πτώσης τάσης κυκλώματος ένδειξης ενέργειας.

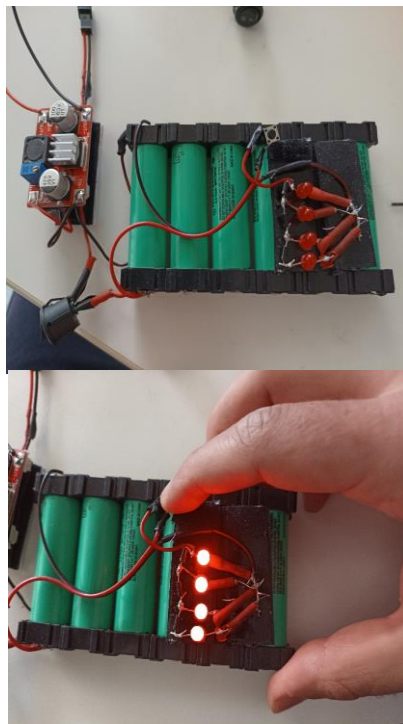
Συνεπώς με βάση το παραπάνω διάγραμμα, η τάση που απαιτείται για την ενεργοποίηση του κάθε LED παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.6.

Πίνακας 3.6 – Θεωρητικές τιμές τάσης μπαταρίας, για την ενεργοποίηση του αντίστοιχου LED

Τάση μπαταρίας (V)	Ενεργοποίηση LED (ON)
2	LED1
2.7	LED1,LED2
3.4	LED1,LED2,LED3
4.2	LED1,LED2,LED3,LED3

Τέλος, τα εξαρτήματα, συνδέθηκαν όλα μαζί, με έναν διακόπτη ενεργοποίησης/απενεργοποίησης κυκλώματος (Εικόνα 3.123).

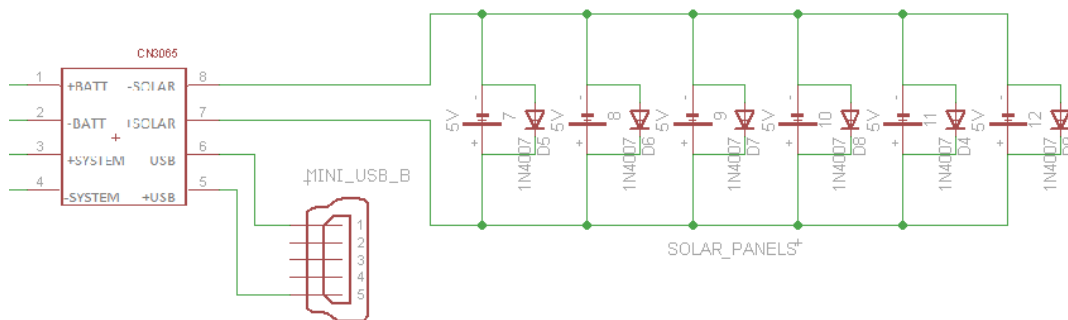
Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 3.123 - Τελική συνδεσμολογία εξαρτημάτων για την κατασκευή του powerbank.

3.11.2 Συνδεσμολογία Φωτοβολταϊκών

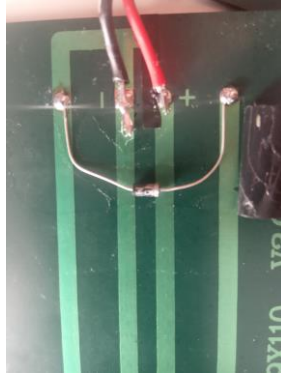
Όλες οι απαραίτητες συνδεσμολογίες για την δημιουργία ενός αναδιπλούμενου φωτοβολταϊκού πάνελ, πραγματοποιήθηκαν με βάση το παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 3.124).



Εικόνα 3.124 - Συνδεσμολογία φωτοβολταϊκών.

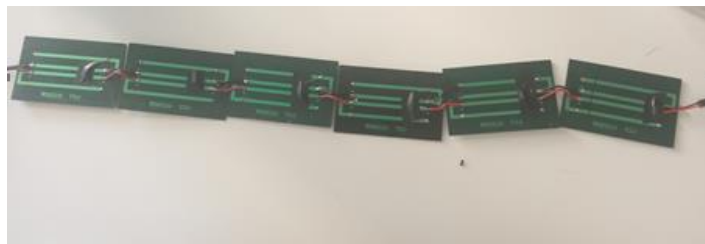
Οι διόδοι, χρησιμοποιήθηκαν ως διόδοι παράκαμψης (bypass diodes) και συνδέθηκαν παράλληλα με τα φωτοβολταϊκά πάνελ (Εικόνα 3.125). Εάν, σε ένα από τα πάνελ δεν προσπίπτει επαρκές φως, τότε η διόδος παράκαμψης, αποτρέπει την υπερφόρτισή του, παρέχοντας μια διαδρομή ρεύματος γύρω από αυτό, με σκοπό να αποφευχθεί πιθανή υπερθέρμανση ή βλάβη του.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 3.125 - Σύνδεση διόδου στο πάνελ.

Ύστερα, συνδέθηκαν τα πάνελ παράλληλα (Εικόνα 3.126) και ενσωματώθηκε ένα κομμάτι υφάσμα (Εικόνα 3.127), για λόγους προστασίας και πρακτικότητας.

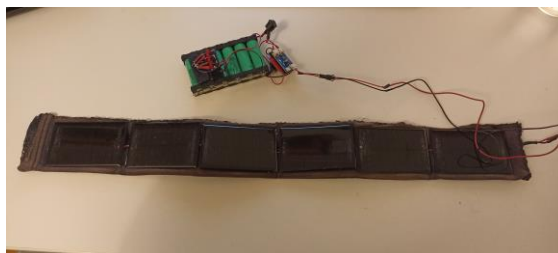


Εικόνα 3.126 - Παράλληλη σύνδεση φωτοβολταϊκών πάνελ.



Εικόνα 3.127 - Ενσωμάτωση του φωτοβολταϊκού συστήματος, πάνω στο κομμάτι υφάσματος.

Τέλος, συνδέθηκαν τα φωτοβολταϊκά πάνελ με το CN3065 του powerbank (Εικόνα 3.128).



Εικόνα 3.128 - Σύνδεση φωτοβολταϊκών με powerbank.

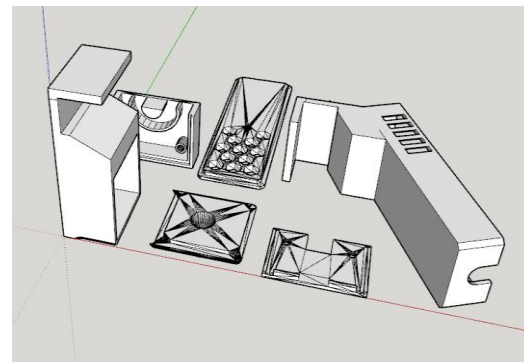
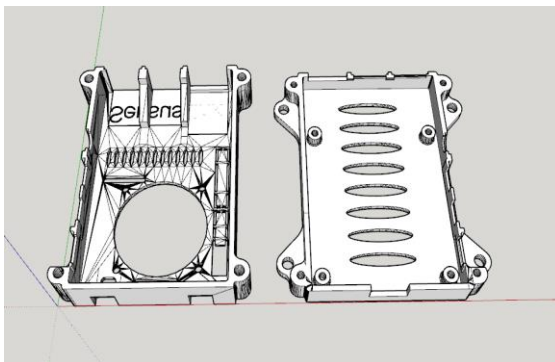
3.12 3D Εκτυπώσεις

Μετά την υλοποίηση όλων των απαραίτητων ηλεκτρονικών συσκευών, πραγματοποιήθηκε ο κατάλληλος σχεδιασμός και η μοντελοποίηση, για την δημιουργία θηκών προστασίας, μέσω του προγράμματος SketchUp. Επίσης, σχεδιάστηκε κατάλληλα προσαρμοσμένη θήκη, για την ενσωμάτωση του αυτοματοποιημένου συστήματος άρδευσης (έξυπνο φυτό).

Έπειτα, μέσω 3D εκτυπωτή, πραγματοποιήθηκε η εκτύπωση των 3D μοντέλων, φτιαγμένα από θερμοπλαστικό ABS.

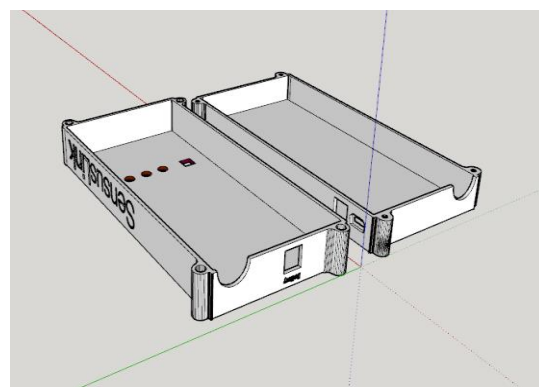
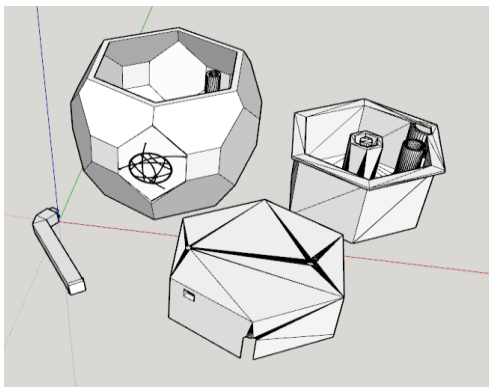
3.12.1 Σχεδίαση

Αρχικά σχεδιάστηκαν, μέσω του SketchUp, τα μοντέλα που αφορούν θήκη Gateway (Εικόνα 3.129 α), αισθητήρων (Εικόνα 3.129 β), αυτοματοποιημένου συστήματος (Εικόνα 3.130 α) και Powerbank (Εικόνα 3.130 β), τα οποία αποθηκεύτηκαν ως stl αρχεία.



Εικόνα 3.129 - (α) Σχεδιασμός θήκης Gateway,

(β) Σχεδιασμός θηκών αισθητήρων.

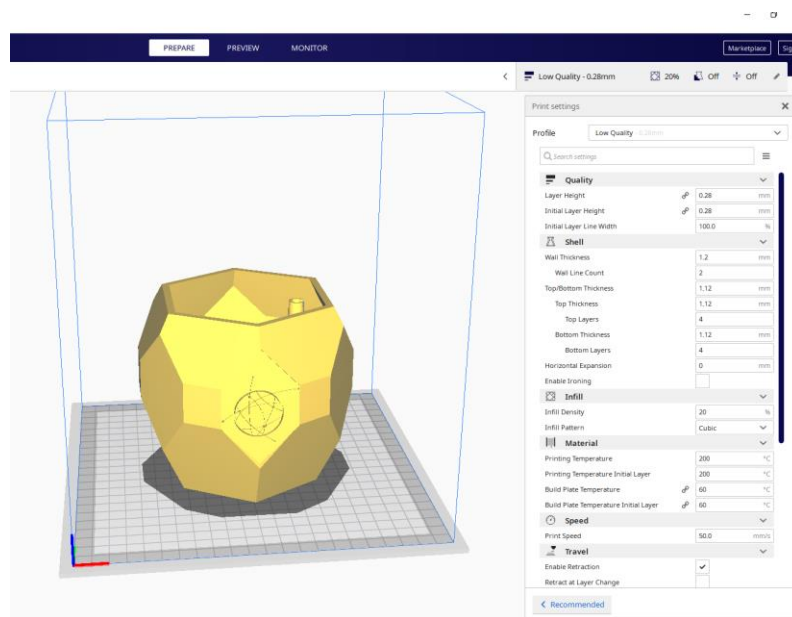


Εικόνα 3.130 - (α) Σχεδιασμός θήκης έξυπνου φυτού

(β) Σχεδιασμός θήκης Powerbank.

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες ρυθμίσεις (Quality, Shell, Infill, Speed,...) στο πρόγραμμα Ultimaker Cura (Εικόνα 3.131), μέσω του οποίου χωρίζεται το αρχείο μοντέλου (stl) σε στρώματα και δημιουργείται ένα αρχείο (g-code), το οποίο αναγνωρίζεται από τον υπολογιστή.

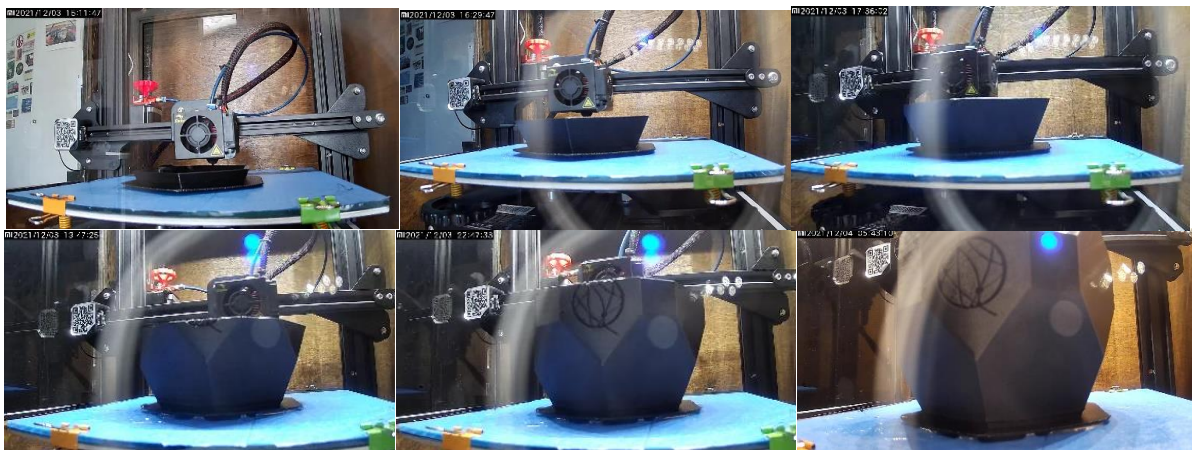
Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 3.131 - Ρύθμιση g-code στο Ultimaker Cura.

3.12.2 Διαδικασία Εκτύπωσης

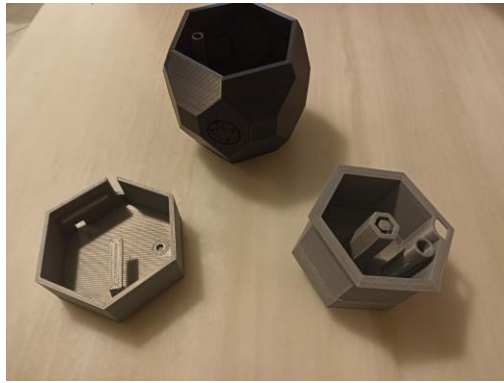
Το αρχείο (g-code), ενσωματώνεται στον 3D εκτυπωτή, για την έναρξη της διαδικασίας εκτύπωσης (Εικόνα 3.132). Προτού ξεκινήσει η εκτύπωση, ρυθμίζεται κατάλληλα η επιφάνεια εκτύπωσης, του 3D εκτυπωτή και προσαρμόζονται οι ιδανικές περιβαλλοντικές συνθήκες εκτύπωσης ειδικά με χρήση ABS πλαστικών (απομόνωση σε αεροστεγές κουτί, σε θερμοκρασία άνω των 30°C).



Εικόνα 3.132 - Διαδικασία 3D εκτύπωσης θήκης αυτοματοποιημένου συστήματος άρδευσης.

Ένα από τα αποτελέσματα των 3D εκτυπώσεων, παρουσιάζεται στην συνέχεια (Εικόνα 3.133).

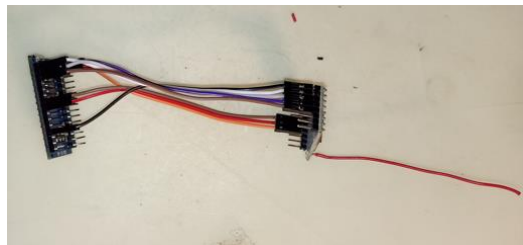
Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 3.133 - Αποτέλεσμα εκτύπωσης.

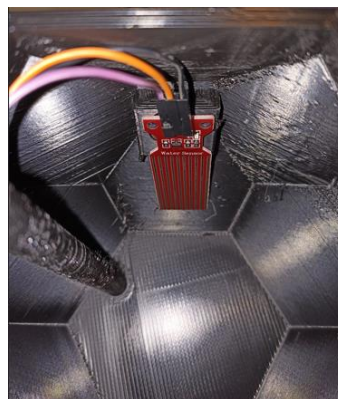
3.13 Προσαρμογή Ηλεκτρονικών Εξαρτημάτων με 3D Αντικειμένων

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε σύνδεση του RFM95W με το arduino, μέσω καλωδίου 10cm (Εικόνα 3.134).



Εικόνα 3.134 - Σύνδεση RF95W με Arduino.

Στην συνέχεια, τοποθετείται στο εσωτερικό του δοχείου το water level sensor, με κόλλα σιλικόνης και συνδέεται με τρία καλώδια των 35cm (Εικόνα 3.135).



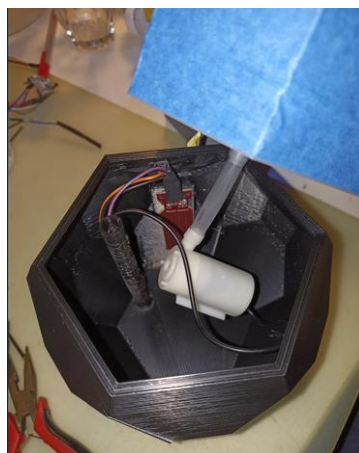
Εικόνα 3.135 - Συγκόλληση water level sensor στο δοχείο.

Κατόπιν, η αντλία νερού, ενώνεται με το δοχείο μέσω ενός σωλήνα των 5cm (Εικόνα 3.136).



Εικόνα 3.136 - Ένωση αντλίας νερού με δοχείου.

Τοποθετούνται τα καλώδια του water level sensor και της αντλίας, στην εσοχή του κυλίνδρου (Εικόνα 3.137) και συνδέονται στους ανάλογους ακροδέκτες του Arduino.



Εικόνα 3.137 - Τοποθέτηση καλωδίων στην εσοχή του κυλίνδρου.

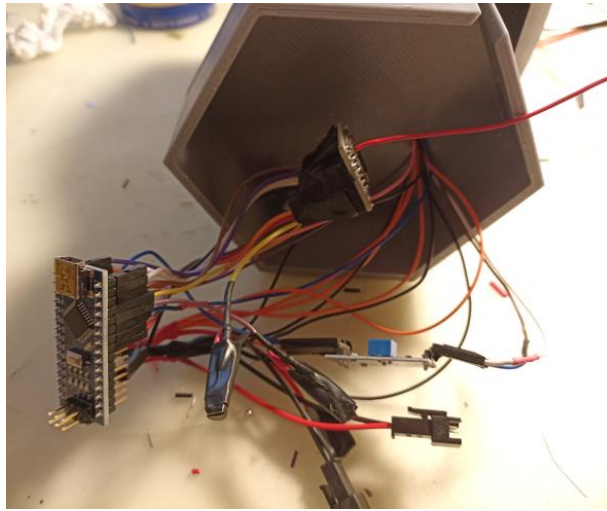
Επίσης, συνδέονται στο Arduino:

- Η πλακέτα του soil moisture sensor, μέσω τριών καλωδίων των 10cm.
- Έξι καλώδια των 35cm, για την μετέπειτα σύνδεση τους με τους αντίστοιχους αισθητήρες (humidity & temperature sensor και sunlight sensor).
- Τα transistors και οι αντιστάσεις στους ανάλογους ακροδέκτες για την αντλία και τον ανεμιστήρα.
- Τα connectors στους ανάλογους ακροδέκτες για την μπαταρία και τον ανεμιστήρα.

Σημειώνεται ότι συνδέθηκαν επίσης δύο καλώδια των 35cm, στην πλακέτα του soil moisture sensor, για την μετέπειτα σύνδεση τους με τον αισθητήρα.

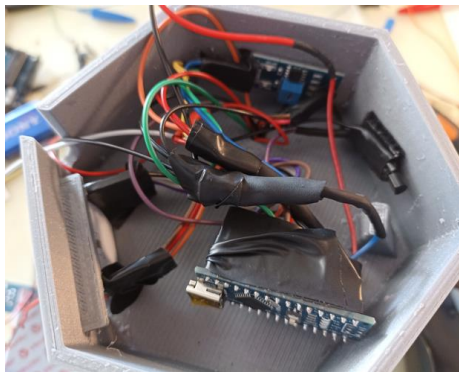
Αφού έχουν γίνει όλες οι απαραίτητες συνδέσεις με βάση το διάγραμμα που έχει προαναφερθεί (Εικόνα 3.79), τοποθετούνται όλα τα καλώδια μέσα από την εσοχή του κυλίνδρου του δοχείου (Εικόνα 3.138), για τις αντίστοιχες συνδέσεις.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



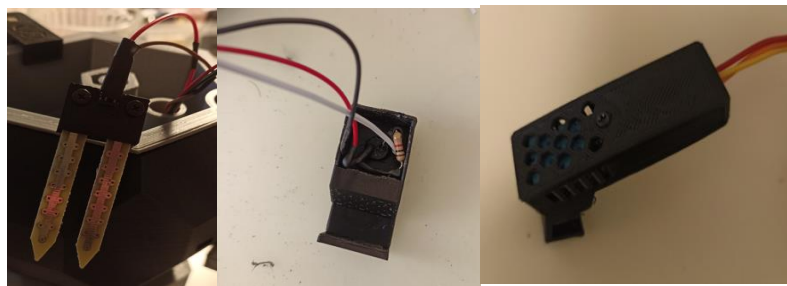
Εικόνα 3.138 - Σύνδεση εξαρτημάτων και καλωδίων στο Arduino και τοποθέτηση καλωδίων στην τρύπα της βάσης και του δοχείου.

Στη συνέχεια, τοποθετούνται όλα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα στην βάση του δοχείου (Εικόνα 3.139).



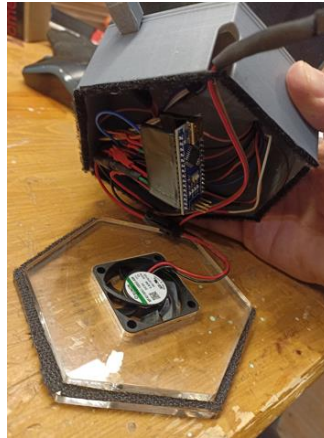
Εικόνα 3.139 - Τοποθέτηση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων στην βάση του δοχείου.

Συνδέονται οι αισθητήρες στα αντίστοιχα καλώδια και τοποθετούνται και οι εκτυπωμένες θήκες (Εικόνα 3.140).



Εικόνα 3.140 - Σύνδεση καλωδίων και τοποθέτηση θηκών προστασίας στους αισθητήρες.

Κατόπιν, σε ένα κομμάτι πλεξιγκλάς κατάλληλων διαστάσεων, τοποθετείται στο κέντρο του ο ανεμιστήρας και συνδέεται στο connector. Τελικά, εφαρμόζονται στην βάση του δοχείου (Εικόνα 3.141).



Εικόνα 3.141 - Τοποθέτηση ανεμιστήρα στο πλεξιγκλάς και σύνδεση με Arduino.

Επίσης, εφαρμόζεται και η θήκη της κεραίας στη βάση του δοχείου (Εικόνα 3.142).



Εικόνα 3.142 - Τοποθέτηση θήκης κεραίας στην βάση του δοχείου.

Τέλος, τοποθετείται το χώμα και μεταφυτεύεται το φυτό (Εικόνα 3.143). (DIYMachines, Automatic Smart Plant Pot - DIY, 3D Printed, Arduino, Self Watering, Project)



Εικόνα 3.143 - Μεταφύτευση φυτού στο εκτυπωμένο δοχείο.

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Λειτουργία Συστήματος και Απεικόνιση Αποτελεσμάτων

4.1 Εισαγωγή

Μετά τον έλεγχο λειτουργίας του συστήματος και την προσαρμογή των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή του συστήματος, όπου λήφθηκαν, μεταδόθηκαν και επεξεργάστηκαν τα δεδομένα ενός εφταημέρου.

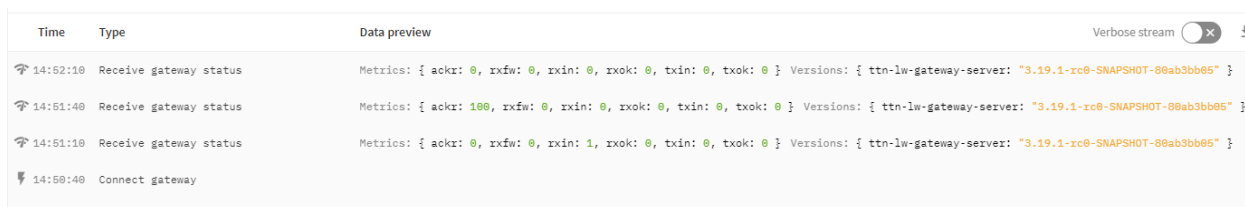
Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται τόσο η διαδικασία επικοινωνίας του έξυπνου φυτού με το Gateway και η σύνδεσή τους με το δίκτυο όσο και η απεικόνιση και η παρακολούθηση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Επίσης, παρουσιάζονται οι ειδοποιήσεις που στάλθηκαν μέσω email κατά το εφταήμερο της λειτουργίας του συστήματος, καθώς και οι λειτουργία της αντλίας νερού και του ανεμιστήρα.

Στο τέλος του κεφαλαίου, με την ολοκλήρωση του εφταημέρου, απεικονίζονται τα αποτελέσματα των δεδομένων τα οποία αποθηκεύτηκαν.

4.2 Διαδικασία Επικοινωνίας και Σύνδεσης με το Δίκτυο

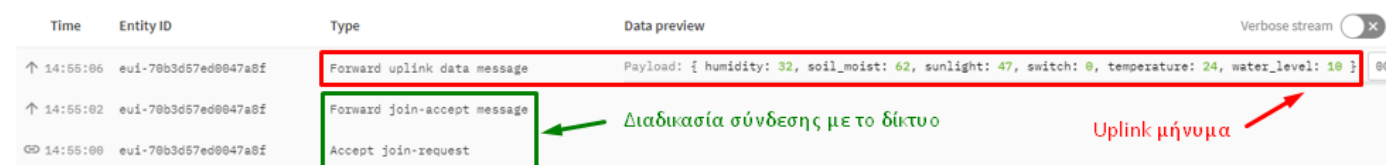
Αρχικά ενεργοποιείται το Gateway. Στο TTN, μέσω των επιλογών *Gateways* → *finos-10channels-gateway* → *Live data*, παρατηρούνται τα μηνύματα που λαμβάνονται από το Gateway κάθε 30 δευτερόλεπτα (Εικόνα 4.1).



Time	Type	Data preview
14:52:10	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, rxfw: 0, rxin: 0, rxok: 0, txin: 0, txok: 0 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.19.1-rc0-SNAPSHOT-08ab3bb65" }
14:51:40	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 100, rxfw: 0, rxin: 0, rxok: 0, txin: 0, txok: 0 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.19.1-rc0-SNAPSHOT-08ab3bb65" }
14:51:10	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, rxfw: 0, rxin: 1, rxok: 0, txin: 0, txok: 0 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.19.1-rc0-SNAPSHOT-08ab3bb65" }
14:50:40	Connect gateway	

Εικόνα 4.1 - Απεικόνιση στο TTN των μηνυμάτων που λαμβάνονται από το Gateway.

Έπειτα ενεργοποιείται και το έξυπνο φυτό. Στο πεδίο ‘Applications’ του TTN, μέσω των επιλογών *Applications* → *my otaa node* → *Live data*, παρατηρείται η διαδικασία σύνδεσης «χειραψία» με το δίκτυο και η αποστολή του uplink μηνύματος (Εικόνα 4.2).



Time	Entity ID	Type	Data preview
↑ 14:55:06	eui-70b3d57ed0047a8f	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 32, soil_moist: 62, sunlight: 47, switch: 0, temperature: 24, water_level: 10 }
↑ 14:55:02	eui-70b3d57ed0047a8f	Forward join-accept message	
⌂ 14:55:00	eui-70b3d57ed0047a8f	Accept join-request	

Εικόνα 4.2 - Απεικόνιση στο TTN της διαδικασίας σύνδεσης με το δίκτυο και του uplink μηνύματος.

Επίσης, στα μηνύματα που λαμβάνονται από το Gateway, παρατηρείται και το ‘DevAddress’, δηλαδή η διεύθυνση της συσκευής από ‘που το Gateway έλαβε το μήνυμα. Το συγκεκριμένο ‘DevAddress’ είναι η διεύθυνση του έξυπνου φυτού (Εικόνα 4.3).

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Time	Type	Data preview
15:56:10	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 66.7, rxfw: 2, rxin: 2, rxok: 2, txin: 1, txok: 1 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.19.1-rc0-SNAPSHOT-88ab3bb85" }
↑ 15:56:05	Receive uplink message	DevAddr: 26 0B D5 11 <> FPort: 1 Data rate: SF7BW125 SNR: 9.8 RSSI: -72
↓ 15:56:01	Send downlink message	Rx1 Delay: 5 Rx1 Frequency: 868500000 Rx2 Frequency: 869525000
↑ 15:55:59	Receive uplink message	JoinEUI: 00 00 00 00 00 00 00 00 <> DevEUI: 70 B3 D5 7E D0 04 7A 8F <> Data rate: SF7BW125 SNR: 8 RSSI: -72
15:55:40	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, rxfw: 0, rxin: 0, rxok: 0, txin: 0, txok: 0 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.19.1-rc0-SNAPSHOT-88ab3bb85" }
15:55:10	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 100, rxfw: 0, rxin: 1, rxok: 0, txin: 0, txok: 0 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.19.1-rc0-SNAPSHOT-88ab3bb85" }

Εικόνα 4.3 - Απεικόνιση στο TTN της διεύθυνσης από 'που το Gateway έλαβε το μήνυμα.

Στο 'serial port' του Arduino παρατηρούνται:

- Τα δεδομένα που στέλνονται στο Gateway.
- Τα 'EV_JOINING' και 'EV_JOINED' τα οποία αποτελούν τη διαδικασία σύνδεσης με το δίκτυο.
- Το 'devaddress', το οποίο αποτελεί τη διεύθυνση του LoRa Node (Έξυπνο φυτό).
- Τα 'AppSKey' και 'NwkSKey', τα οποία αποτελούν τα κλειδιά κρυπτογράφησης που ορίζει η ασφάλεια του LoRaWAN (Εικόνα 4.4)

```

COM6

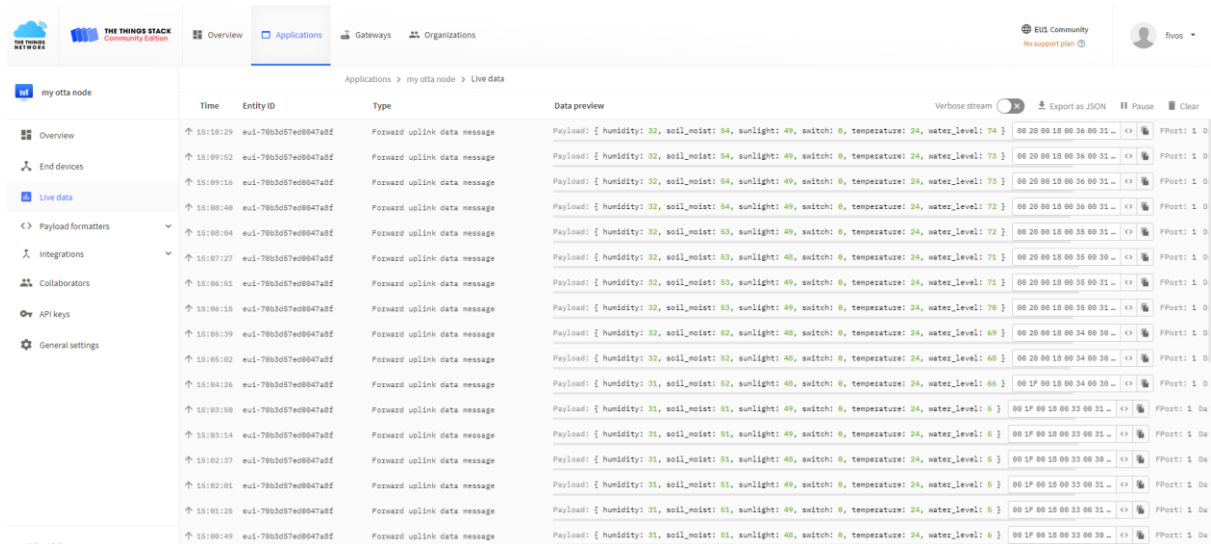
Starting
Humidity(%): 30
Temperature(°C): 25
Soil_Moist(%): 61
sunlight(%): 48
WaterLevel(%): 85
Switch: 0
Packet queued
6715: EV_JOINING
19922: EV_TXSTART
341469: EV_JOINED
netid: 19
devaddr: 260BD511
AppSKey: DF-51-D5-5E-4A-E0-DC-78-F6-D6-C6-67-12-BA-01-D0
NwkSKey: D2-02-D4-53-14-AC-C5-D0-CD-86-48-62-7C-01-C6-4E
348428: EV_TXSTART
731531: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)
    
```

Εικόνα 4.4 - Απεικόνιση δεδομένων στο Serial port του Arduino.

4.3 Παρακολούθηση Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο

Στο πεδίο Applications του TTN, μέσω των επιλογών Applications → my otaa node → Live data, παρατηρούνται τα δεδομένα που στέλνονται στο Gateway (Εικόνα 4.5).

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 4.5 - Απεικόνιση δεδομένων στο TTN.

Για την παρακολούθηση των δεδομένων και του συστήματος, πραγματοποιήθηκε η είσοδος στο περιβάλλον του Node-RED¹³, με σκοπό την παρακολούθηση των διαγραμμάτων σε πραγματικό χρόνο (Εικόνα 4.6).



Εικόνα 4.6 - Παρατήρηση διαγραμμάτων σε πραγματικό χρόνο

4.4 Ειδοποιήσεις και Λειτουργία Αντλίας Νερού και Ανεμιστήρα

Κατά το εφτάημερο της λειτουργίας του συστήματος, στάλθηκαν μέσω email, διάφορες ειδοποιήσεις σχετικά με τις λειτουργίες του συστήματος, καθώς επίσης, υπήρχε και η δυνατότητα παρακολούθησης των διαγραμμάτων και των δεδομένων. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πρώτες ειδοποιήσεις και εντολές, που πραγματοποιήθηκαν και η απεικόνιση των διαγραμμάτων, στις συγκεκριμένες χρονικές στιγμές.

Η πρώτη ειδοποίηση, μέσω email, σχετικά με την ενεργοποίηση του ανεμιστήρα και της αντλίας νερού, πραγματοποιήθηκε στις 20/1 στις 15:30 (Εικόνα 4.7), την ίδια στιγμή, στάλθηκε η αντίστοιχη

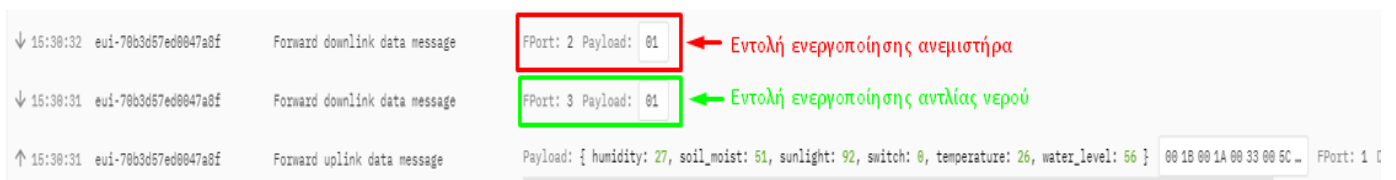
¹³ <http://192.168.68.111:1880/ui>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

εντολή της ενεργοποίησής τους στο έξυπνο φυτό (Εικόνα 4.8), καθώς η θερμοκρασία ξεπέρασε το όριο των 25°C και η υγρασία του χώματος ήταν κάτω από το 55%.

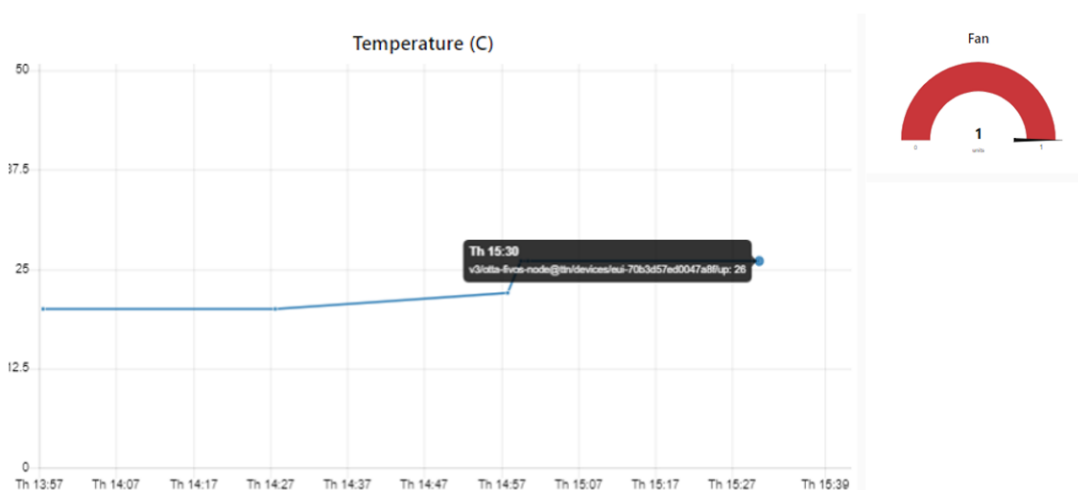


Εικόνα 4.7 - Ειδοποιητήρια email ενεργοποίησης ανεμιστήρα και αντλίας νερού.



Εικόνα 4.8 - Αποστολή εντολής ενεργοποίησης ανεμιστήρα και αντλίας από το TTN στο έξυπνο φυτό.

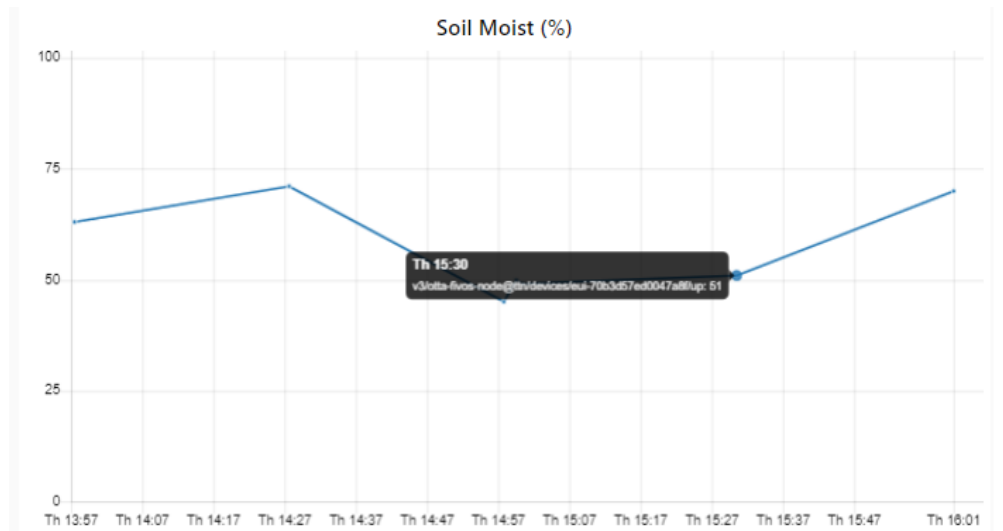
Στο περιβάλλον του Node-RED, προβάλλεται το διάγραμμα της θερμοκρασίας, τη στιγμή που ενεργοποιείται ο ανεμιστήρας (Εικόνα 4.9).



Εικόνα 4.9 - Απεικόνιση του διαγράμματος και της ενεργοποίησης του ανεμιστήρα σε πραγματικό χρόνο.

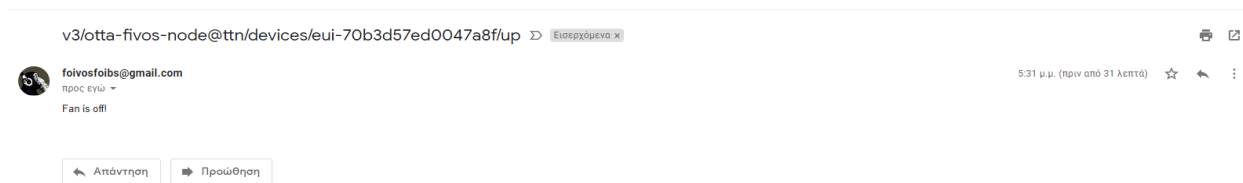
Όπως επίσης και το διάγραμμα της υγρασίας εδάφους, την στιγμή ενεργοποίησης της αντλίας νερού (Εικόνα 4.10).

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 4.10 - Απεικόνιση του διαγράμματος της υγρασίας εδάφους, την στιγμή ενεργοποίησης τις αντλίας νερού σε πραγματικό χρόνο.

Στις 17:31, στάλθηκε το email σχετικά με την απενεργοποίηση του ανεμιστήρα (Εικόνα 4.11) και η αντίστοιχη εντολή από το TTN στο έξυπνο φυτό (Εικόνα 4.12), καθώς η θερμοκρασία αποκαταστάθηκε.

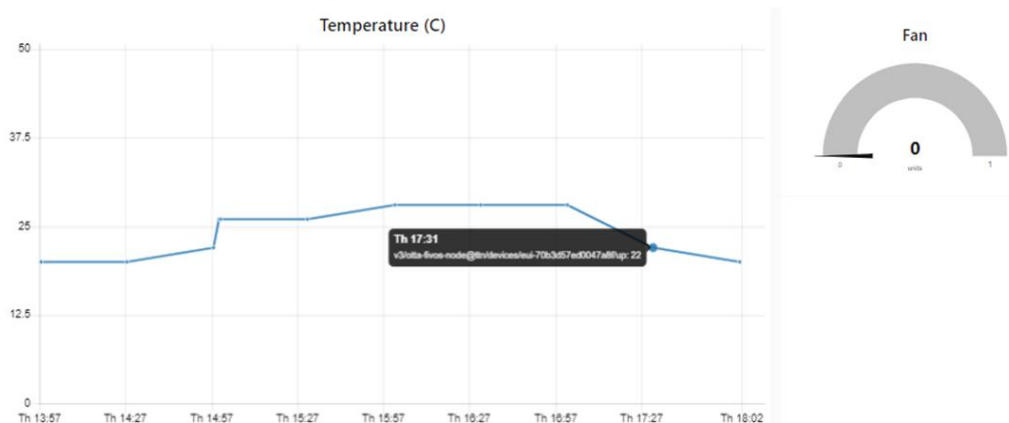


Εικόνα 4.11 - Ειδοποιητήριο email απενεργοποίησης ανεμιστήρα.



Εικόνα 4.12 - Αποστολή εντολής απενεργοποίησης ανεμιστήρα από το TTN στο έξυπνο φυτό.

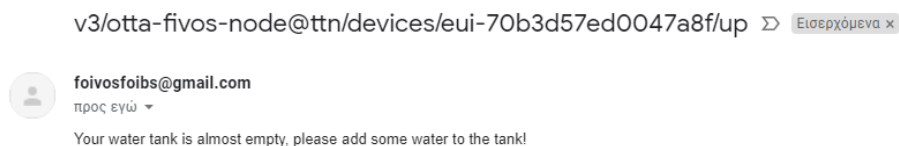
Ταυτόχρονα στο Node-RED, προβάλλεται το διάγραμμα της θερμοκρασίας, τη στιγμή της απενεργοποίησης του ανεμιστήρα (Εικόνα 4.13).



Εικόνα 4.13 - Απεικόνιση του διαγράμματος της απενεργοποίησης του ανεμιστήρα σε πραγματικό χρόνο.

4.5 Ειδοποίηση και Μεταβολή Στάθμης Νερού

Κατά την λειτουργία του συστήματος, στάλθηκε ειδοποίηση, μέσω email, ότι το δοχείο νερού είναι σχεδόν άδειο (Εικόνα 4.14)



Εικόνα 4.14 - Ειδοποιητήριο email άδειου δοχείου.

Στο TTN παρατηρήθηκε ότι η στάθμη του νερού βρισκόταν στο 5% (Εικόνα 4.15)



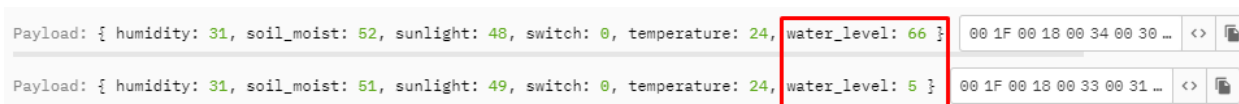
Εικόνα 4.15 – Απεικόνιση στο TTN, το ποσοστό της στάθμης νερού στο δοχείο.

Επομένως προστέθηκε νερό στο δοχείο του έξυπνου φυτού, για να μπορέσει η αντλία νερού να αντλήσει την απαιτούμενη ποσότητα νερού και να ποτίσει το φυτό (Εικόνα 4.16).



Εικόνα 4.16 - Προσθήκη νερού στο δοχείο του έξυπνου φυτού.

Στο TTN παρατηρείται η μεταβολή της τιμής της στάθμης του νερού έπειτα από την προσθήκη του νερού στο δοχείο (Εικόνα 4.17).



Εικόνα 4.17 - Απεικόνιση στο TTN της μεταβολής τιμής της στάθμης νερού.

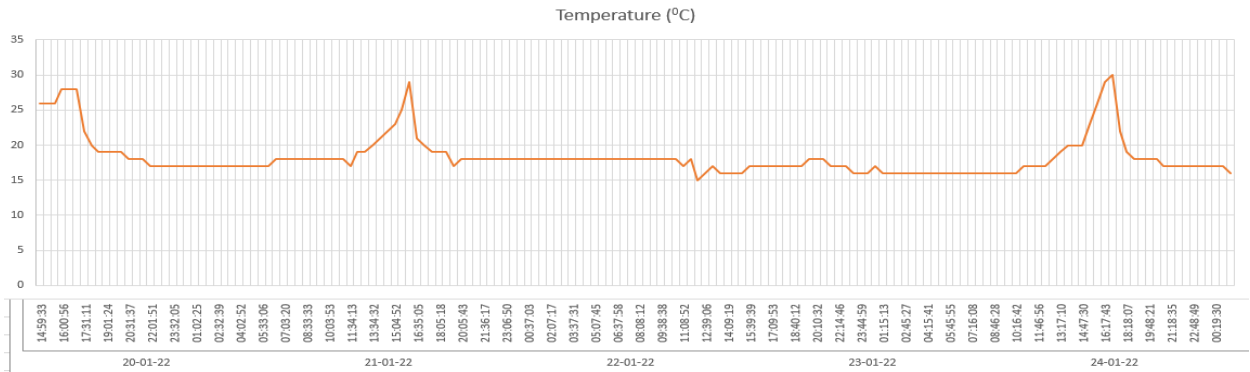
4.6 Απεικόνιση Αποτελεσμάτων

Με την ολοκλήρωση του εφταήμερου συλλέχθηκαν όλα τα δεδομένα σε ένα usb stick και μέσω επεξεργασίας από το πρόγραμμα Excel προέκυψαν χρονοδιαγράμματα όπου παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα αυτών. Μερικά από αυτά, αφορούν διαγράμματα:

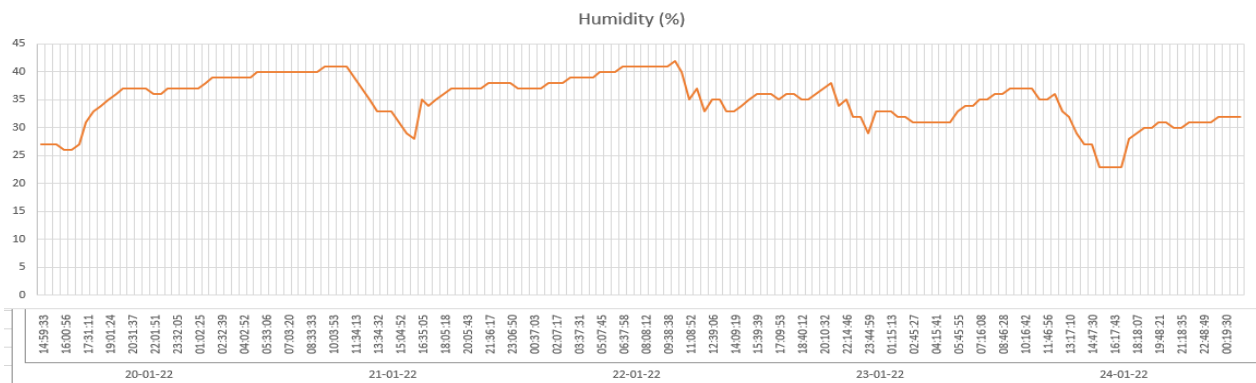
- Ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας (Εικόνα 4.18),
- Ατμοσφαιρικής υγρασίας (Εικόνα 4.19),
- Υγρασίας χώματος (Εικόνα 4.20),

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

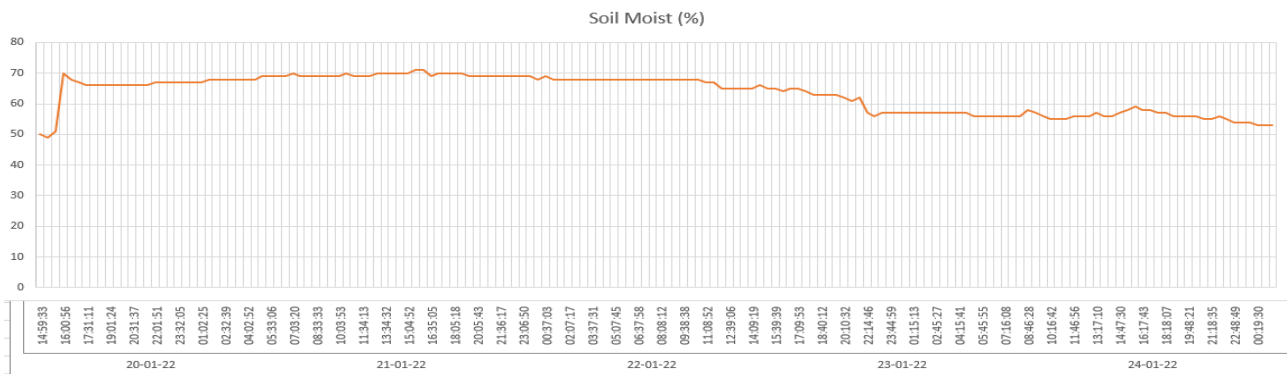
- Φωτεινότητας (Εικόνα 4.21),
- Στάθμης νερού (Εικόνα 4.22).



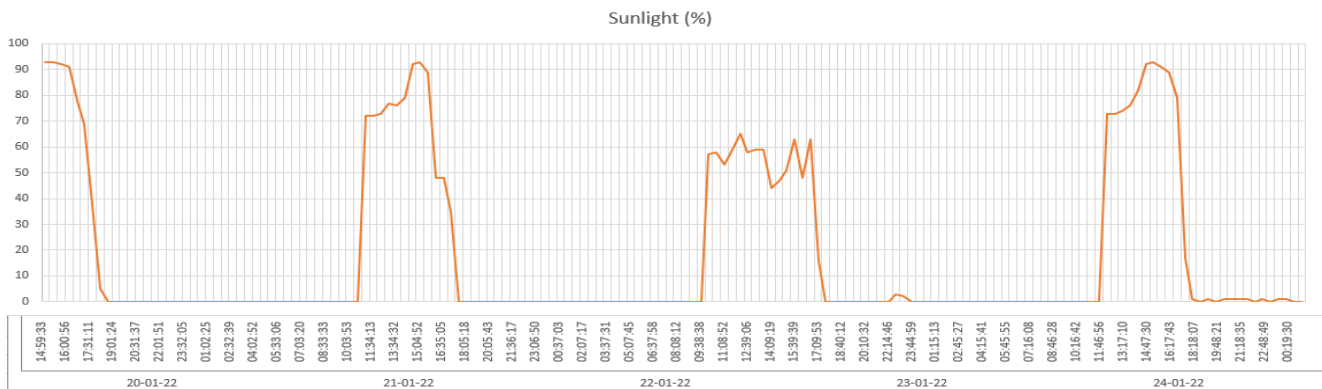
Εικόνα 4.18 - Διάγραμμα θερμοκρασίας ατμόσφαιρας.



Εικόνα 4.19 - Διάγραμμα υγρασίας ατμόσφαιρας.

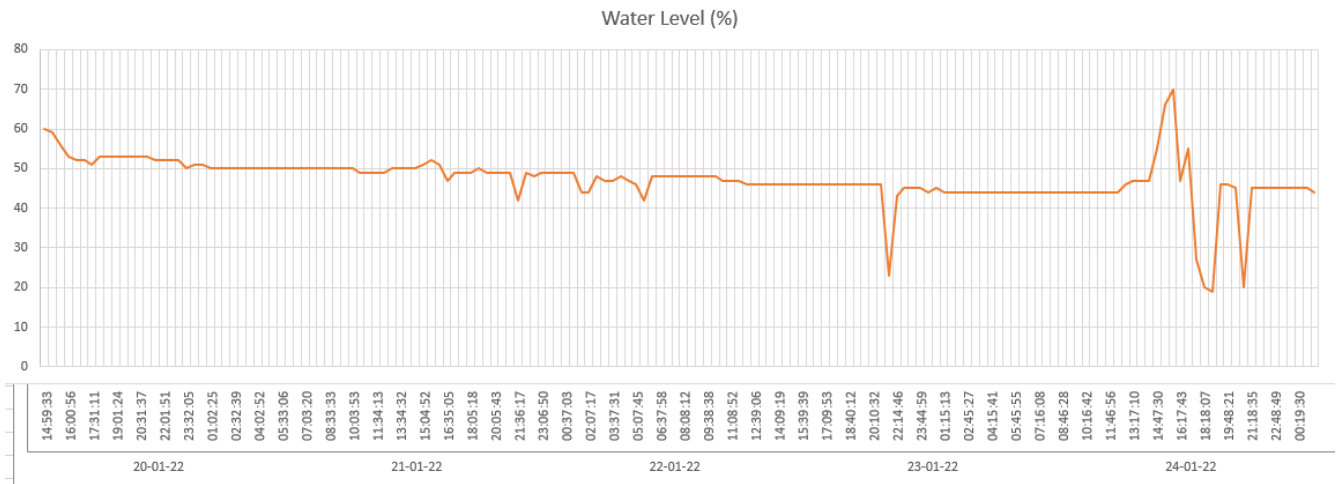


Εικόνα 4.20 - Διάγραμμα υγρασίας χώματος.



Εικόνα 4.21 - Διάγραμμα φωτεινότητας.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



Εικόνα 4.22 - Διάγραμμα στάθμης νερού.

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Επίλογος

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τόσο τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την υλοποίηση και την λειτουργία της εφαρμογής που αναπτύχθηκε όσο και ο τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών.

Επίσης, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις που προέκυψαν, καθώς και μερικές μελλοντικές προτάσεις, για την εξέλιξη και την βελτίωσή του.

5.2 Σύνοψη Εργασίας

Στην παρούσα εργασία αναλύθηκαν ο εξοπλισμός, τα εξαρτήματα και το κόστος τους, όπως επίσης και τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν.

Πραγματοποιήθηκε αναλυτική περιγραφή της απαιτούμενης διαδικασίας για τη σύνδεση των εξαρτημάτων, τον προγραμματισμό, την εγκατάσταση του απαιτούμενου λογισμικού και τη διαδικασία καταχώρησης στο TTN του LoRa Node και του LoRa Gateway, καθώς επίσης και περιγραφή της διαδικασίας ενεργοποίησης της ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ τους.

Έπειτα αναλύθηκαν η αποκωδικοποίηση των μηνυμάτων ελέγχου που εστάλησαν, η σύνδεση των απαραίτητων αισθητήρων στο LoRa Node, η προσαρμογή του κώδικα και η αποκωδικοποίηση των δεδομένων.

Στη συνέχεια εγκαταστάθηκε το Node-RED στο LoRa Gateway το οποίο διασυνδέθηκε με το TTN, για την απεικόνιση, την αποθήκευση δεδομένων, την αποστολή των απαιτούμενων εντολών στο έξυπνο φυτό και την αποστολή μηνυμάτων ενημέρωσης στον χρήστη μέσω email.

Επίσης αναλύθηκε ο τρόπος και η διαδικασία κατασκευής του φωτοβολταϊκού powerbank, που τροφοδοτούσε το έξυπνο φυτό, καθώς επίσης και η κατασκευή των πλαστικών τμημάτων του συστήματος, μέσω 3D εκτυπωτή.

Η εργασία ολοκληρώθηκε με την παρουσίαση, μέσω εικόνων, της διαδικασίας επικοινωνίας του έξυπνου φυτού με το Gateway και της σύνδεσής τους με το δίκτυο. Της παρακολούθησης των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Των ειδοποιήσεων που στάλθηκαν μέσω email. Της λειτουργίας της αντλίας νερού και του ανεμιστήρα κατά το εφτάήμερο της λειτουργίας του συστήματος. Παράλληλα απεικονίστηκαν τα αποτελέσματα των δεδομένων που λήφθηκαν, μεταδόθηκαν και επεξεργάστηκαν.

5.3 Προβλήματα και Αντιμετώπιση

Κατά την υλοποίηση αλλά και τη λειτουργία του συστήματος αντιμετωπίστηκαν διάφορα προβλήματα, τα οποία αφορούσαν την τροφοδοσία του έξυπνου φυτού, τον κώδικα, τη βιβλιοθήκη και τη συνδεσμολογία του Arduino και τη μέθοδο ενεργοποίησης της end-device.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε προσπάθεια κατασκευής ενός δικάναλου Gateway χωρίς επιτυχία. Παρουσιάστηκαν και αντιμετωπίστηκαν προβλήματα σχετικά με το Raspberry Pi (Gateway), που αφορούσαν τον εξ' αποστάσεως χειρισμό του, τη μη λειτουργία του Node-RED κατά την εκκίνησή του και την άσκοπη αποστολή δεδομένων (downlink) από το TTN προς το έξυπνο φυτό.

5.3.1 Τροφοδοσία Έξυπνου Φυτού

Το σύστημα απαιτεί συνεχή και ασταμάτητη τροφοδοσία, γι' αυτόν τον λόγο κατασκευάστηκε powerbank, αυξημένης χωρητικότητας και συνδέθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελ, για την καθημερινή ανατροφοδότηση της χωρητικότητάς του από τον ήλιο.

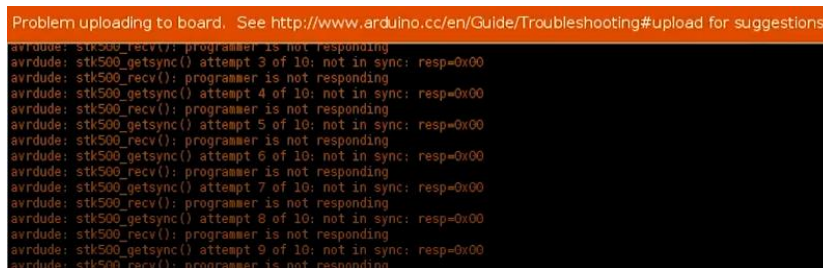
Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Κατά την τροφοδοσία του έξυπνου φυτού παρατηρήθηκε ότι η μέγιστη διάρκεια ζωής των μπαταριών του powerbank ανερχόταν στις 3 ημέρες, ενώ με την εφαρμογή των φωτοβολταϊκών πάνελ η διάρκεια των μπαταριών αυξήθηκε στις 5 έως 6 ημέρες.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε, εντός οικίας. Εάν το σύστημα βρισκόταν σε εξωτερικό χώρο, πιθανόν το powerbank να άντεχε περισσότερο, λόγω αυξημένης ακτινοβολίας.

5.3.2 Φόρτωση Κώδικα στο Arduino Nano

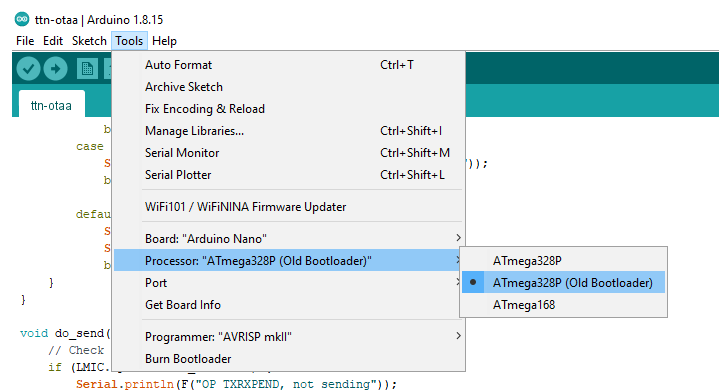
Κατά τη μεταφόρτωση του κώδικα στο Arduino, παρουσιάστηκε ένα σφάλμα “avrduide: stk500_getsync() attempt 10 of 10: not in sync: resp=0x3c” (Εικόνα 5.1).



```
Problem uploading to board. See http://www.arduino.cc/en/Guide/Troubleshooting#upload for suggestions.
avrduide: stk500_recv(): programmer is not responding
avrduide: stk500_getsync() attempt 3 of 10: not in sync: resp=0x00
avrduide: stk500_recv(): programmer is not responding
avrduide: stk500_getsync() attempt 4 of 10: not in sync: resp=0x00
avrduide: stk500_recv(): programmer is not responding
avrduide: stk500_getsync() attempt 5 of 10: not in sync: resp=0x00
avrduide: stk500_recv(): programmer is not responding
avrduide: stk500_getsync() attempt 6 of 10: not in sync: resp=0x00
avrduide: stk500_recv(): programmer is not responding
avrduide: stk500_getsync() attempt 7 of 10: not in sync: resp=0x00
avrduide: stk500_recv(): programmer is not responding
avrduide: stk500_getsync() attempt 8 of 10: not in sync: resp=0x00
avrduide: stk500_recv(): programmer is not responding
avrduide: stk500_getsync() attempt 9 of 10: not in sync: resp=0x00
avrduide: stk500_recv(): programmer is not responding
```

Εικόνα 5.1 - Σφάλμα κατά την μεταφόρτωση του κώδικα στο Arduino Nano.

Το πρόβλημα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το Arduino Nano που χρησιμοποιήθηκε υποστηρίζει μικροεπεξεργαστή παλαιότερης έκδοσης (perft, 2018). Επομένως, επιλέχθηκε η σωστή έκδοση του μικροεπεξεργαστή (Εικόνα 5.2).



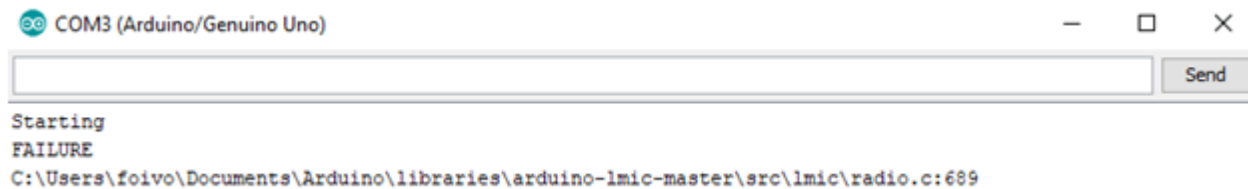
Εικόνα 5.2 - Επιλογή σωστής έκδοσης μικροεπεξεργαστή.

5.3.3 Βιβλιοθήκη και Συνδεσμολογία Arduino με RFM95W

Αρχικά, για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή και τη συνδεσμολογία του με το RFM95W, χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη arduino-lmic-master¹⁴.

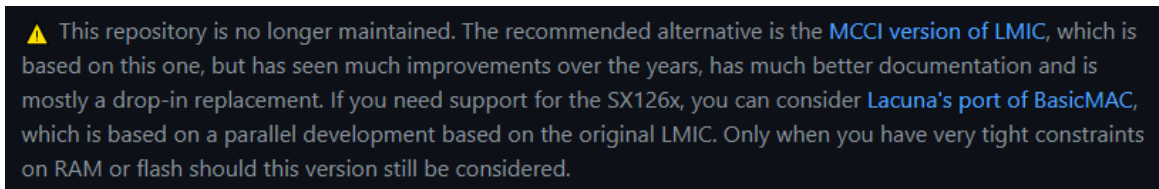
Μετά τη μεταφόρτωση του κώδικα στο Arduino, παρατηρήθηκε στο ‘serial port’, ότι η επικοινωνία του Arduino με το LoRa module, ήταν ανεπιτυχής (Εικόνα 5.3).

¹⁴ <https://github.com/matthijskooijman/arduino-lmic>



Εικόνα 5.3 - Σφάλμα κατά την επικοινωνία του Arduino με το LoRa module.

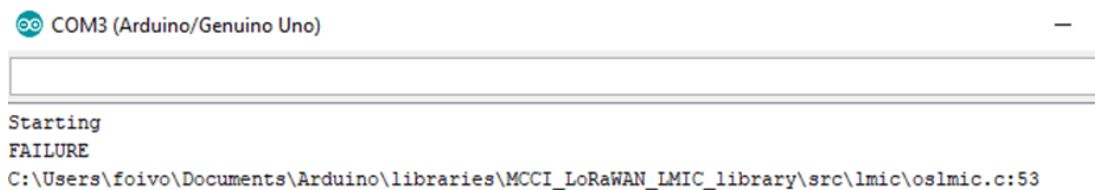
Το σφάλμα αυτό, οφείλεται στο γεγονός, ότι η βιβλιοθήκη αυτή δεν είναι πλέον διαθέσιμη (Εικόνα 5.4) (matthijskooijman, 2020).



Εικόνα 5.4 - Μήνυμα, για την μη διαθεσιμότητα της βιβλιοθήκης arduino-lmic-master (matthijskooijman, 2020).

Επομένως, χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη Arduino-LMIC library¹⁵ και συνδέθηκαν οι αντίστοιχοι ακροδέκτες του Arduino με το LoRa module, όπως προαναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 3.5.5.

Μετά τη μεταφόρτωση του νέου κώδικα στο Arduino, παρατηρήθηκε στο 'serial port', ένα καινούργιο σφάλμα στην μεταξύ τους επικοινωνία (Εικόνα 5.5).



Εικόνα 5.5- Νέο σφάλμα κατά την επικοινωνία του Arduino με το LoRa module.

Μετά από έρευνα παρατηρήθηκε ότι το πρόβλημα οφειλόταν στη συνδεσμολογία των MISO, MOSI και SCK με τους ICSP ακροδέκτες του Arduino.

Οι ακροδέκτες ICSP λειτουργούν ως προγραμματιστής AVR, ο οποίος χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό ή την εκκίνηση του Arduino. Ο προγραμματιστής αυτός λειτουργεί κυρίως στην πλακέτα ATmega328, δηλαδή στο Arduino UNO (Munish, 2020), ενώ ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιείται στο παρόν project, είναι το Arduino Nano, όπου βασίζεται στην πλακέτα ATmega328P.

Το Arduino, υποστηρίζει την επικοινωνία SPI, όχι μόνο στους ICSP ακροδέκτες, αλλά και στους ψηφιακούς ακροδέκτες 13, 11 και 12. Συνεπώς, για την επίλυση του σφάλματος συνδέθηκαν τα MISO, MOSI και SCK, στους ψηφιακούς ακροδέκτες 13, 11 και 12 αντίστοιχα (Kakkar, 2019).

5.3.4 Μέθοδος Ενεργοποίησης

Για να ενεργοποιηθεί μία end-device σε ένα LoRaWAN δίκτυο, χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι Over The Air Activation (OTAA) και Activation By Personalisation (ABP), όπως προαναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 3.5.5.

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ABP, αλλά στην μέθοδο αυτή η συσκευή δεν αποθήκευε τα DevEUI, AppEUI και AppKey, όπως και ο διακομιστής δικτύου δεν αποθήκευε το AppKey. Επομένως,

¹⁵ <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/mcci-lorawan-lmic-library/>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

κάθε φορά που ενεργοποιούταν το LoRa Node, έπρεπε να καταχωρηθεί στο TTN μία καινούργια end-device, με καινούργια DevEUI, AppEUI και AppKey, διαφορετικά η επικοινωνία μεταξύ του LoRa Node και του TTN, δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί.

Τελικά, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος OTTA, η οποία προσφέρει έναν ασφαλή τρόπο σύνδεσης του LoRa Node με τον διακομιστή δικτύου. Πριν την ενεργοποίηση, η συσκευή και ο διακομιστής δικτύου γνωρίζουν και αποθηκεύουν τα DevEUI, AppEUI και AppKey.

5.3.5 Κατασκευή δικάναλου Gateway

Για την αποφυγή της αγοράς του LoRaWAN Gateway (PG1301 της εταιρίας Dragino), λόγω μεγάλου κόστους, πραγματοποιήθηκε προσπάθεια κατασκευής ενός δικάναλου Gateway, χρησιμοποιώντας ένα Raspberry Pi και δύο RFM95W modules (ένα για uplink και ένα για downlink μηνύματα). Δυστυχώς, δεν μπορούσε να πραγματοποιηθεί επικοινωνία μεταξύ LoRa modules (receiver και transceiver), καθώς το Raspberry Pi, αδυνατούσε να αναγνωρίσει τον transceiver. Το πρόβλημα αυτό, πιθανώς, οφείλεται στο γεγονός ότι η βιβλιοθήκη¹⁶, δημιουργήθηκε το 2018. Επομένως, μερικά στοιχεία του κώδικα να μην υποστηρίζονται πλέον.

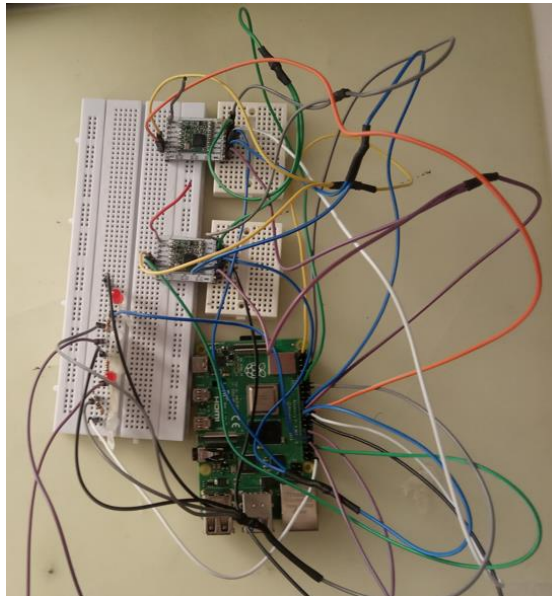
Η διαδικασία κατασκευής του Gateway και το αντίστοιχο σφάλμα, παρουσιάζονται παρακάτω.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε η συνδεσμολογία του Raspberry Pi με τα δύο LoRa modules (Εικόνα 5.6), με βάση τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.1).

Πίνακας 5.1 – Σύνδεση Raspberry Pi με LoRa modules (transceiver και receiver)

Name (RFM95W Pins)	Transceiver(raspberry Pins)	Receiver (raspberry Pins)
3.3V	1	1
GND	6	6
DIO0	22	36
NSS	24	26
RESET	11	11
MOSI	19	19
MISO	21	21
SCK	23	23

¹⁶ https://github.com/xypron/dual_chan_pkt_fwd



Εικόνα 5.6 - Σύνδεση Raspberry Pi με LoRa modules (transceiver και receiver).

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η λήψη του αρχείου προώθησης πακέτων, στο Raspberry Pi, πληκτρολογώντας, στο terminal την εντολή:

```
git clone -b dual_chan_pkt_fwd_up_down https://github.com/bokse001/dual_chan_pkt_fwd
```

Επιπρόσθετα, διαμορφώθηκε κατάλληλα το αρχείο *global_conf.json*, για την επίτευξη της επικοινωνίας του Raspberry Pi με το TTN, συμπληρώνοντας τα παρακάτω στοιχεία (xypron, 2018):

- "name": "Fivos",
- "email": "foivos_grp@hotmail.com",
- "interface": "wlan0",
- "address": "eu1.cloud.thethings.network"

Για την έναρξη του Gateway, πληκτρολογήθηκε στο terminal, η εντολή *systemctl start dual_chan_pkt_fwd*. Κατά την έναρξή του, παρατηρήθηκε ότι η επικοινωνία και η αναγνώριση του Raspberry Pi με το transceiver, ήταν ανεπιτυχής (Εικόνα 5.7).

```
pi@raspberrypi:~/dual_chan_pkt_fwd $ ./dual_chan_pkt_fwd
server: .address = router.eu.staging.thethings.network; .port = 1700; .enable = 1
server: .address = router.eu.thethings.network; .port = 1700; .enable = 0
Gateway Configuration
your name (a@b.c)
Dual channel pkt forwarder
Latitude=0.00000000
Longitude=0.00000000
Altitude=10
Interface: eth0
Trying to detect module CE0 with NSS=10 DI00=6 Reset=0 Led1=unused
Transceiver version 0x00
Unrecognized transceiver: Permission denied
```

Εικόνα 5.7 - Ανεπιτυχής αναγνώριση του transceiver (LoRa module).

5.3.6 Χειρισμός Εξ αποστάσεως

Ένα από τα κύρια προβλήματα που παρουσιάστηκαν, ήταν η είσοδος στο Node-RED από άλλον υπολογιστή. Το Raspberry Pi αλλάζει την IP διεύθυνσή του ανά διαστήματα, για λόγους ασφαλείας. Επομένως, κάποιες φορές, ο εξ αποστάσεως χειρισμός του Raspberry Pi ήταν αδύνατος, καθώς απαιτείται η IP διεύθυνση. Γι' αυτόν τον λόγο, δημιουργήθηκε στατική IP στο Raspberry Pi.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Κατόπιν, παρουσιάστηκε πρόβλημα κατά τη διασύνδεση του Raspberry Pi στο διαδίκτυο μέσω Wi-Fi hotspot.

Τελικά, η αποτυχημένη σύνδεση οφειλόταν στο γεγονός ότι η IP του router (hotspot) ανήκε σε διαφορετικό υποδίκτυο, από τη στατική IP του Raspberry Pi, που δημιουργήθηκε προηγουμένως.

Οι IP διευθύνσεις χωρίζονται σε πέντε κλάσεις A,B,C,D και E. Αναλόγως το ποιος αριθμός είναι στα πρώτα 8 bits από τα 32 που έχει μία IP διεύθυνση, μπορεί να γίνει αντιληπτό σε ποια κλάση ανήκει η συγκεκριμένη IP και συνεπώς πόσα υποδίκτυα και IP διευθύνσεις μπορούν να υπάρξουν σε εκείνη την κλάση (Εικόνα 4.9) (Πατρικάκης).

Επομένως, στο cmd (command line) του υπολογιστή, πληκτρολογήθηκε η εντολή 'ipconfig' για την απεικόνιση της IP του router (hotspot) (Εικόνα 5.8):

```
Wireless LAN adapter Wi-Fi:

Connection-specific DNS Suffix . . :
Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::f83b:33ba:50d6:d85c%12
IPv4 Address. . . . . : 192.168.190.10
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
Default Gateway . . . . . : 192.168.190.216
```

Εικόνα 5.8 – απεικόνιση IP διεύθυνσης του router.

Με βάση το παρακάτω παράρτημα, παρατηρείται ότι η IP του router είναι κλάσης C (Εικόνα 5.9).

Class	1 st Octet Decimal Range	1 st Octet High Order Bits	Network/Host ID (N=Network, H=Host)	Default Subnet Mask	Number of Networks	Hosts per Network (Usable Addresses)
A	1 – 126*	0	N.H.H.H	255.0.0.0	126 (2 ⁷ – 2)	16,777,214 (2 ²⁴ – 2)
B	128 – 191	10	N.N.H.H	255.255.0.0	16,382 (2 ¹⁴ – 2)	65,534 (2 ¹⁶ – 2)
C	192 – 223	110	N.N.N.H	255.255.255.0	2,097,150 (2 ²¹ – 2)	254 (2 ⁸ – 2)
D	224 – 239	1110				Reserved for Multicasting
E	240 – 254	1111				Experimental, used for research

Note: Class A addresses 127.0.0.0 to 127.255.255.255 cannot be used and is reserved for loopback and diagnostic functions.

Class	Private Networks	Subnet Mask	Address Range
A	10.0.0.0	255.0.0.0	10.0.0.0 - 10.255.255.255
B	172.16.0.0 - 172.31.0.0	255.240.0.0	172.16.0.0 - 172.31.255.255
C	192.168.0.0	255.255.0.0	192.168.0.0 - 192.168.255.255

Εικόνα 5.9 - Διευθύνσεις IP και κατανομή σε κλάσεις (Πατρικάκης)

Συνεπώς, η IP του Raspberry Pi, θα έπρεπε να είναι από 192.168.190.0 έως 192.168.190.255 για να ανήκει στο ίδιο υποδίκτυο.

Για την αλλαγή της στατικής IP του Raspberry Pi, πραγματοποιήθηκε η εύρεση του αρχείου DHCP CD, πληκτρολογώντας στο terminal την εντολή 'sudo nano /etc/dhcpd.conf'. Έπειτα, στο τέλος του κώδικα, επεξεργάστηκε η στατική IP του Raspberry Pi (192.168.190.111) και το IP του router (192.168.190.216), όπως παρουσιάζεται:

```
interface wlan0
static ip_address=192.168.190.111
static routers=192.168.190.216
static domain_name_servers=192.168.1.1 192.168.68.1
```


5.3.7 Απενεργοποιημένο Node-Red

Για την έναρξη της λειτουργίας του Raspberry Pi (Gateway), για την ενεργοποίηση του Node-RED έπρεπε να πραγματοποιηθεί ο χειρισμός του εξ αποστάσεως, πληκτρολογώντας κάθε φορά στο 'terminal' την εντολή "node-red-start".

Συνεπώς, για να ενεργοποιούνται ταυτόχρονα το Node-RED και το Raspberry Pi, πληκτρολογήθηκε μία φορά στο 'terminal', η εντολή "sudo systemctl enable nodered.service". Όπως ακριβώς περιγράφεται και στο υποκεφάλαιο 3.10.1.

5.3.8 Άσκοπη Αποστολή Δεδομένων

Αξίζει να αναλυθεί και η λειτουργία του switch (sw). Στην περίπτωση που η θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 25°C, το TTN έστειλε στο έξυπνο φυτό, την εντολή ενεργοποίησης του ανεμιστήρα. Αντίστοιχα, όταν η θερμοκρασία υπερέβαινε ή ήταν ίση με 25°C, έστειλε την εντολή απενεργοποίησης του ανεμιστήρα.

Η παρατεταμένη αποστολή downlink μηνυμάτων, ήταν περιττή, ενώ αρκούσε να σταλεί μία εντολή την πρώτη φορά που θα ενεργοποιούταν ή απενεργοποιούταν ο ανεμιστήρας.

Για την αποφυγή αποστολής άσκοπων μηνυμάτων προστέθηκε άλλο ένα δεδομένο το 'sw'. Το 'sw' από προεπιλογή είναι ίσο με 0. Όταν η θερμοκρασία γίνει για πρώτη φορά μεγαλύτερη των 25°C, το 'sw' γίνεται ίσο με 1 (Εικόνα 5.10).

```
if (fPort == 2) {
  uint8_t result = LMIC.frame[LMIC.dataBeg + 0];
  if (result == 1) {
    Serial.println("fan on");
    digitalWrite(fan, HIGH);
    sw=1;
  }
  if (result == 0) {
    Serial.println("fan off");
    digitalWrite(fan, LOW);
    sw=0;
  }
}
```

Εικόνα 5.10 - Συνάρτηση στον κώδικα του Arduino, για ενεργοποίηση του ανεμιστήρα.

Έπειτα, το Node-RED ελέγχει εάν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη των 25°C, αλλά δεν ξαναστέλνει εντολή ενεργοποίησης (msg.payload=1), επειδή το 'sw' είναι ίσο με 1 (Εικόνα 5.11).

```
if (msg.payload.uplink_message.decoded_payload.temperature > 25 && msg.payload.uplink_message.decoded_payload.switch==0 )
{
  msg.payload = 1;
}
else if (msg.payload.uplink_message.decoded_payload.temperature <= 25 && msg.payload.uplink_message.decoded_payload.switch==1)
{
  msg.payload = 0;
}
return msg;
```

Εικόνα 5.11 - Συνάρτηση στο 'function node' του Node-RED, για την ενεργοποίηση του ανεμιστήρα.

Όταν η θερμοκρασία γίνει ίση ή μικρότερη των 25°C, τότε το Node-RED στέλνει την εντολή απενεργοποίησης του ανεμιστήρα (msg.payload=0) (Εικόνα 5.12) και το 'sw' γίνεται ίσο με το 0 (Εικόνα 5.13).

```
if (msg.payload.uplink_message.decoded_payload.temperature > 25 && msg.payload.uplink_message.decoded_payload.switch==0)
{
  msg.payload = 1;
}
else if (msg.payload.uplink_message.decoded_payload.temperature <= 25 && msg.payload.uplink_message.decoded_payload.switch==1)
{
  msg.payload = 0;
}
return msg;
```

Εικόνα 5.12 - Συνάρτηση στο 'function node' του Node-RED, για την απενεργοποίηση του ανεμιστήρα.

```
if (fPort == 2) {
  uint8_t result = LMIC.frame[LMIC.dataBeg + 0];
  if (result == 1) {
    Serial.println("fan on");
    digitalWrite(fan, HIGH);
    sw=1;
  }
  if (result == 0) {
    Serial.println("fan off");
    digitalWrite(fan, LOW);
    sw=0;
  }
}
```

Εικόνα 5.13 - Συνάρτηση στον κώδικα του Arduino, για απενεργοποίηση του ανεμιστήρα.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.2), παρουσιάζεται ένα παράδειγμα, για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του 'sw'. Ο πίνακας περιλαμβάνει:

- Τις διάφορες τιμές της θερμοκρασίας (TEMP)
- Το 'sw' πριν σταλεί η εντολή ενεργοποίησης/απενεργοποίησης του ανεμιστήρα (SW)
- Την κατάσταση λειτουργίας του ανεμιστήρα (FAN), δηλαδή όταν το msg.payload=1, τότε ενεργοποιείται (ON), ενώ όταν msg.payload=0 απενεργοποιείται (OFF)
- Το 'sw', αφότου σταλεί η εντολή ενεργοποίησης/απενεργοποίησης του ανεμιστήρα (SW').

Πίνακας 5.2 - Παράδειγμα λειτουργίας του 'sw'.

TEMP (°C)	SW	FAN	SW'
18	0	-	0
22	0	-	0
27	0	ON	1
30	1	-	1
32	1	-	1
29	1	-	1
24	1	OFF	0
19	0	-	0
15	0	-	0

5.4 Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις

Κατά την εκπόνηση του project και τη λειτουργία του συστήματος, υπήρξαν διάφορα συμπεράσματα και παρατηρήσεις.

Ένα από τα συμπεράσματα, αφορά την απόδοση του φωτοβολταϊκού powerbank. Επίσης παρατηρήθηκαν και επεξεργάστηκαν τα αποτελέσματα των χρονοδιαγραμμάτων.

Επιπλέον, βγήκαν συμπεράσματα σχετικά με την δυσλειτουργία των αισθητήρων και αναλύθηκε η διαδικασία της μετάδοσης και της ασφάλειας των LoRa Node.

Τέλος, αναφέρθηκαν οι περιορισμοί του TTN που αφορούν την μετάδοση και τα δεδομένα.

5.4.1 Συμπεράσματα Μετρήσεων Απόδοσης Φωτοβολταϊκού Powerbank

Πρακτικά, ένα powerbank αποτελεί μια μπαταρία μεγάλου μεγέθους, επομένως η χωρητικότητά του μετριέται σε mAh. Οι μπαταρίες λιθίου που χρησιμοποιήθηκαν έχουν ονομαστική χωρητικότητα 7800mAh.

Κατά την διάρκεια της φόρτισης λαμβάνεται υπόψη, το ποσοστό απώλειας ενέργειας (θερμότητα που εκλύεται από το σύστημα) και φθοράς, λόγω μη αυθεντικότητας της μπαταρίας, το οποίο ανέρχεται στο 26% κατά προσέγγιση.

Επομένως, η πραγματική χωρητικότητα της μπαταρίας, είναι περίπου:

$$7800 * 0.74 = 5772mAh \quad (3)$$

Εξαιτίας των απωλειών, συνδέθηκαν 6 μπαταρίες παράλληλα, με σκοπό την αύξηση της χωρητικότητας του powerbank. Συνεπώς, η τελική χωρητικότητα του powerbank που προκύπτει είναι περίπου:

$$6 * 5772 = 34632mAh \quad (4)$$

Το Arduino, τροφοδοτείται με τάση 5V, ενώ η μέγιστη τάση των μπαταριών ανέρχεται στα 4.2V. Επομένως η τάση του powerbank δεν επαρκεί για την φόρτιση του Arduino, γι' αυτόν τον λόγο συνδέθηκε το boost converter, το οποίο ανυψώνει τη τάση από τα 4.2V στα 6V.

Μετά από δοκιμές, παρατηρήθηκε ότι η ένδειξη φωτεινότητας των LED, ανάλογα με την ενέργεια της μπαταρίας, διαφέρει από τη θεωρητική προσέγγιση, λόγω απωλειών θερμότητας των εξαρτημάτων. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3 – Πραγματικές τιμές τάσης μπαταρίας, για την ενεργοποίηση του αντίστοιχου LED

Τάση μπαταρίας (V)	Ενεργοποίηση LED (ON)
1.7	LED1
2.4	LED1,LED2
3.1	LED1,LED2,LED3
3.8	LED1,LED2,LED3,LED3

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι το powerbank, σταματά να τροφοδοτεί το Arduino, όταν είναι αναμμένα τα 2 LED. Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται φόρτιση του powerbank.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Το συμπέρασμα αυτό είναι λογικό, επειδή η ελάχιστη τάση που απαιτείται για την τροφοδοσία του Arduino είναι 5V. Με βάση τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 5.2), όταν είναι αναμμένα τα 3 LED, η τάση της μπαταρίας είναι στα 3.1V και το boost converter ανυψώνει την τάση κατά 2V, οπότε:

$$3.1 + 2 = 5.1V \quad (5)$$

Τα φωτοβολταϊκά που χρησιμοποιήθηκαν έχουν ονομαστική ισχύ 1.25W και τάση 5V, επομένως η ένταση του ρεύματος είναι:

$$\frac{1.25}{5} = 0.25A \quad (6)$$

Κατά την διάρκεια της φόρτισης λαμβάνεται υπόψη, το ποσοστό απώλειας ενέργειας (η απώλεια αυτή, οφείλεται στην κλήση με την οποία προσπίπτουν οι ακτίνες του ηλίου στα πάνελ και στη θερμότητα που εκλύεται από το σύστημα) και φθοράς, λόγω μη αυθεντικότητας των φωτοβολταϊκών. Συνεπώς το ποσοστό απώλειας ενέργειας, ανέρχεται περίπου στο 20%.

Επομένως η πραγματική ένταση του ρεύματος των φωτοβολταϊκών είναι περίπου:

$$0.25 * 0.7 = 0.175A \quad (7)$$

Λόγω των απωλειών, συνδέθηκαν 6 φωτοβολταϊκά παράλληλα, για την αύξηση της ενέργειας:

$$6 * 0.175 = 1.05A \quad (8)$$

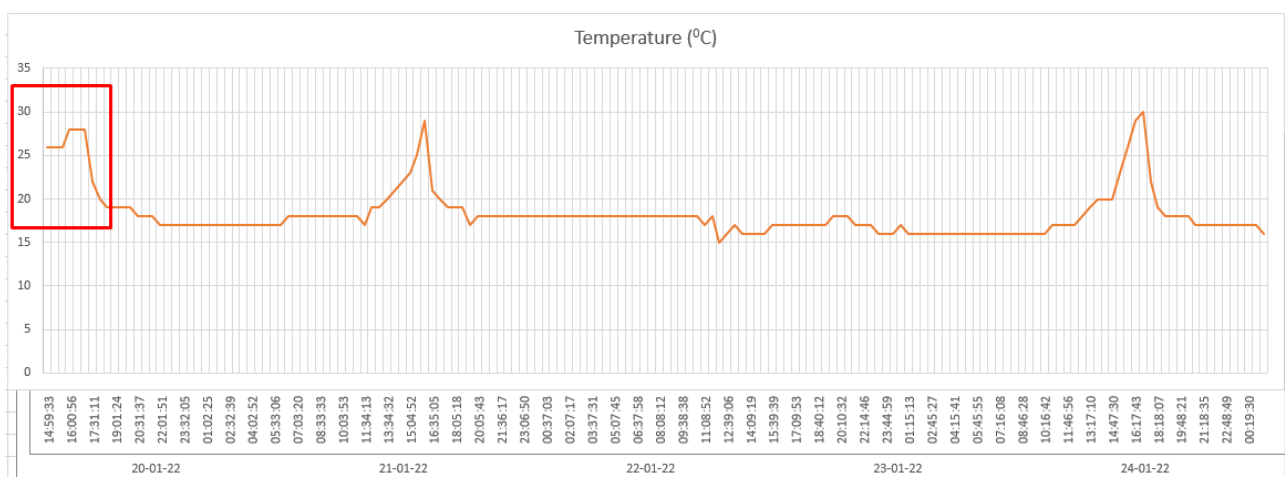
Η τελική ισχύς που απορροφούν τα φωτοβολταϊκά είναι:

$$5 * 1.05 = 5.25W \quad (9)$$

5.4.2 Αποτελέσματα Διαγραμμάτων

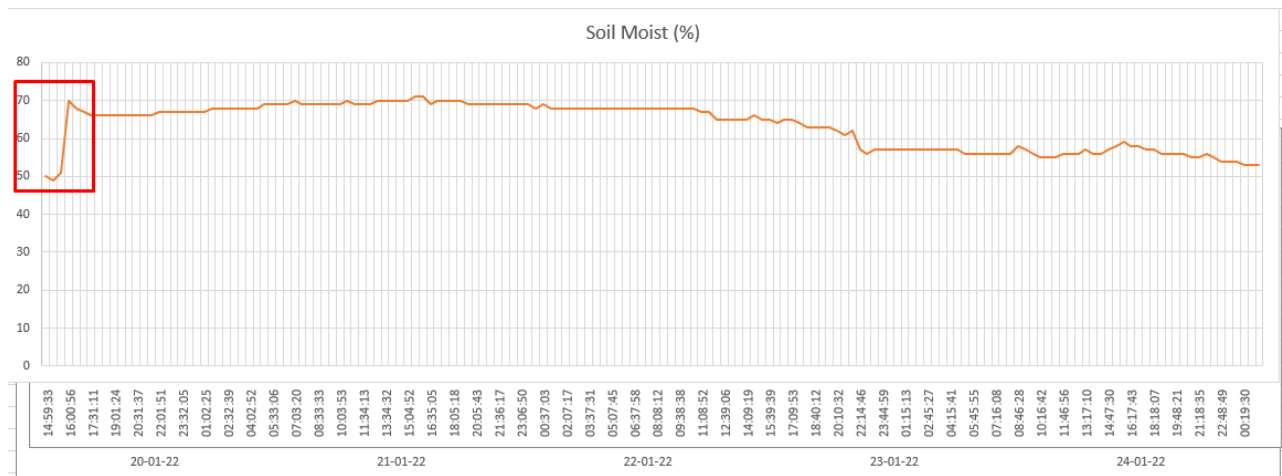
Με την ολοκλήρωση του εφταήμερου, έγινε επεξεργασία των δεδομένων που αποτυπώθηκαν στα χρονοδιαγράμματα.

Αρχικά, αξίζει να παρατηρηθεί η ένδειξη της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, την πρώτη χρονική στιγμή ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του ανεμιστήρα από το διάγραμμα (Εικόνα 5.15).



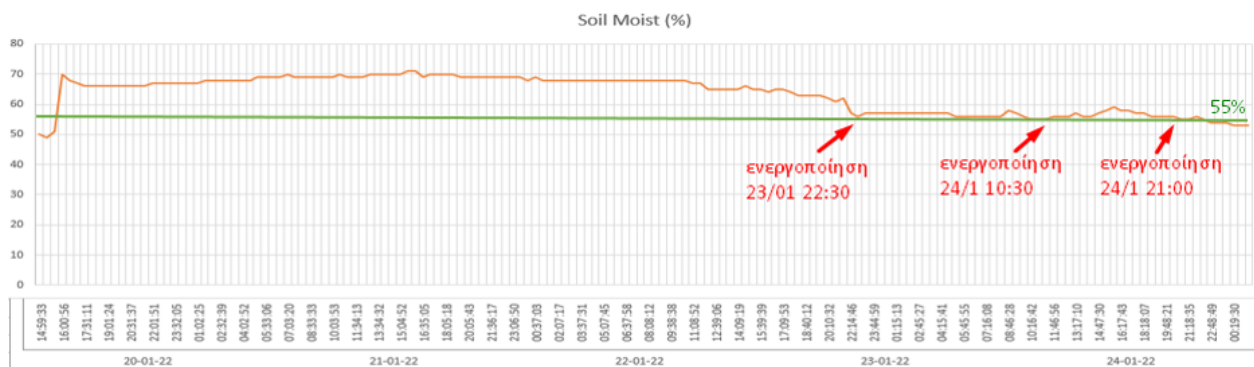
Εικόνα 5.14 - Απεικόνιση τιμής της θερμοκρασίας, την στιγμή ενεργοποίησης (20/1, 15:30) και απενεργοποίησης (20/1, 17:31) του ανεμιστήρα.

Ενώ στο διάγραμμα εδαφικής υγρασίας, απεικονίζεται η απότομη αλλαγή της τιμής, τη χρονική στιγμή της ενεργοποίησης της αντλίας νερού (Εικόνα 5.16).



Εικόνα 5.15 - Απεικόνιση τιμής της υγρασίας εδάφους την στιγμή ενεργοποίησης (20/1, 15:30) της αντλίας νερού.

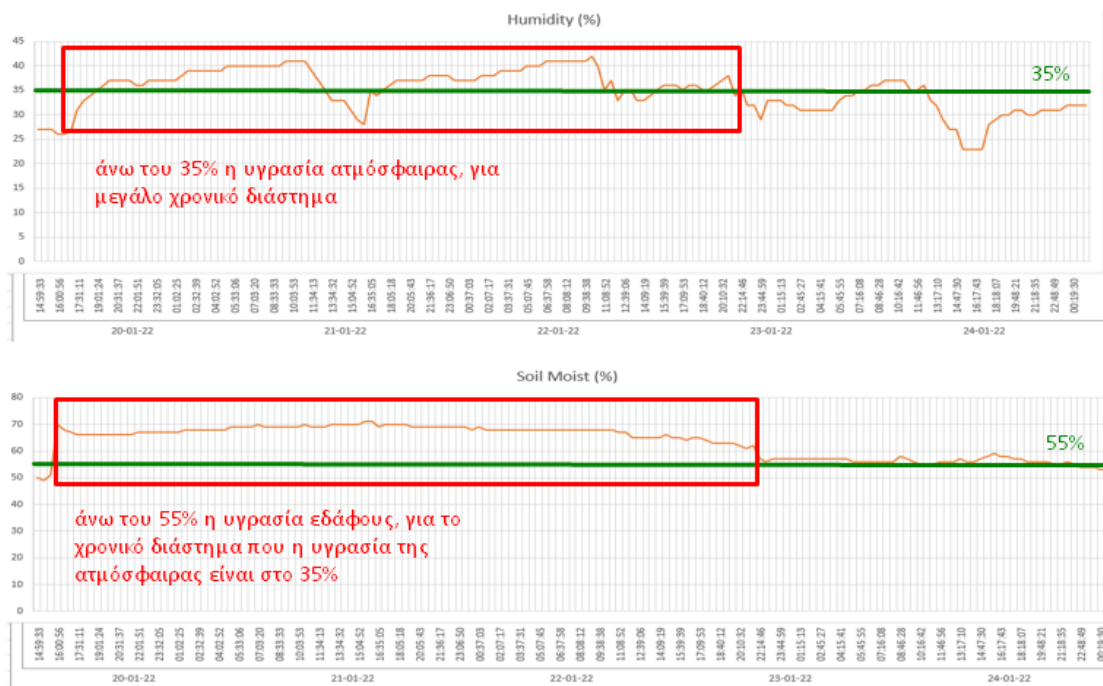
Έπειτα από διάφορους πειραματισμούς, κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος και με βάση τις ανάγκες του φυτού, συμπεραίνεται ότι το κατάλληλο ποσοστό υγρασίας του χώματος, για την ενεργοποίηση της αντλίας είναι στο 55% και ο χρόνος ποτίσματος είναι 10sec. Το συμπέρασμα αυτό, μπορεί να φανεί και στην ομαλή συμπεριφορά του διαγράμματος της υγρασίας εδάφους. Το φυτό ποτίζεται ανά 12 ώρες περίπου (Εικόνα 5.17).



Εικόνα 5.16 - Συμπεριφορά του διαγράμματος υγρασίας εδάφους, κατά την ενεργοποίηση της αντλίας νερού.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι την χρονική περίοδο που η υγρασία της ατμόσφαιρας ήταν άνω του 35%, η αντλία νερού δεν ενεργοποιήθηκε, επειδή η υγρασία του χώματος ήταν άνω του 55% (Εικόνα 5.18). Επομένως όταν η υγρασία της ατμόσφαιρας είναι υψηλή, δεν απαιτείται πότισμα του φυτού.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

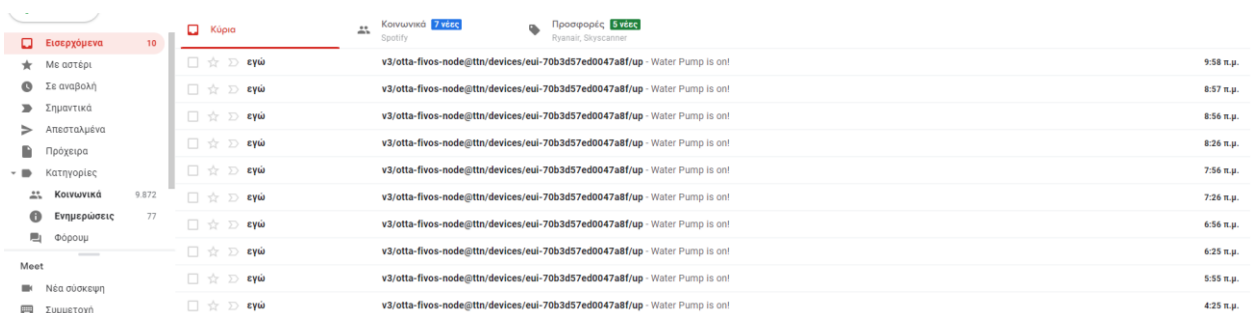


Εικόνα 5.17 - Παρατήρηση διαγράμματος υγρασίας εδάφους, την χρονική περίοδο, όπου η υγρασία της ατμόσφαιρας ήταν αρκετά υψηλή.

5.4.3 Δυσλειτουργία Αισθητήρων

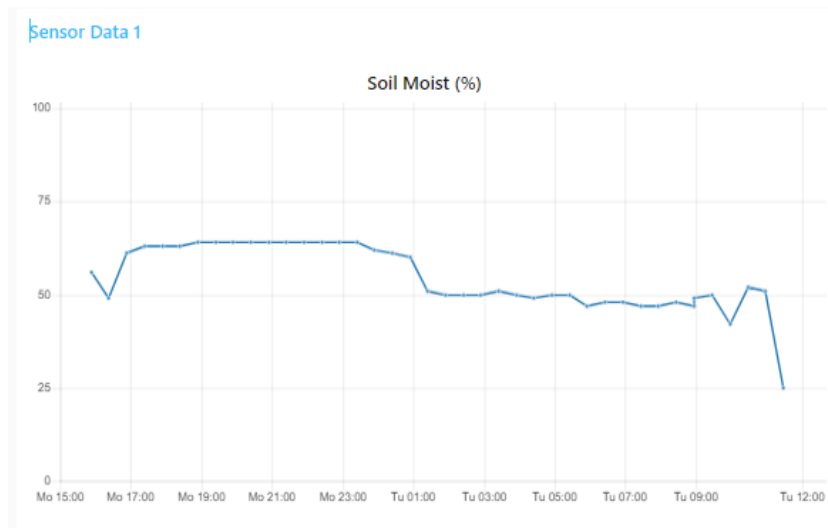
Η επιλογή των αισθητήρων, παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα των μετρήσεων, τόσο στην αποδοτικότητά τους σε βάση χρόνου, όσο και στην απόκλιση των μετρήσεων. Για το συγκεκριμένο project χρησιμοποιήθηκαν, απλοί αισθητήρες χαμηλού κόστους, με αποτέλεσμα να υπάρξουν αποκλίσεις στις μετρήσεις, αλλά και προβλήματα στην απόδοση του συστήματος.

Κατά την συνεχή λειτουργία του συστήματος, παρατηρήθηκε μια παρατεταμένη αποστολή ειδοποιητικών email, που αφορούσαν την ενεργοποίηση της αντλίας (Εικόνα 5.19).



Εικόνα 5.18 - Παρατεταμένη αποστολή ειδοποιητικών email.

Για τις χρονικές στιγμές εκείνες, παρατηρήθηκε στο Node-RED, ότι η υγρασίας εδάφους ήταν μονίμως κάτω του 55% (Εικόνα 5.20).



Εικόνα 5.19 - Διάγραμμα υγρασίας εδάφους στο Node-RED, για τις χρονικές στιγμές που στάλθηκαν τα email ενεργοποίησης της αντλίας.

Βάση των παραπάνω, βγαίνει το συμπέρασμα ότι το φυτό ποτιζόταν, αλλά ο αισθητήρας αδυνατούσε να αναγνωρίσει την αύξηση της υγρασίας του χώματος, με αποτέλεσμα η διαδικασία ποτίσματος, να επαναλαμβάνεται ξανά και ξανά.

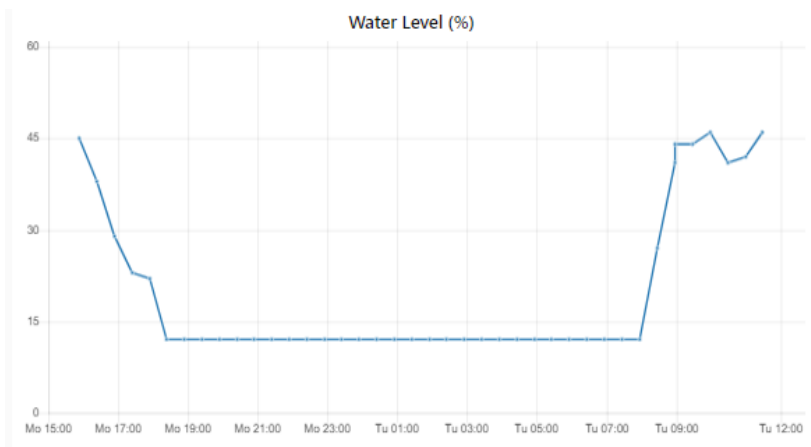
Η αδυναμία μέτρησης της υγρασίας από τον αισθητήρα οφειλόταν στην οξείδωσή του, λόγω της συνεχόμενης λειτουργίας του και της επαφής του με το υγρό χώμα. (Εικόνα 5.21).



Εικόνα 5.20 - Οξείδωση αισθητήρα υγρασίας χώματος και στάθμης νερού.

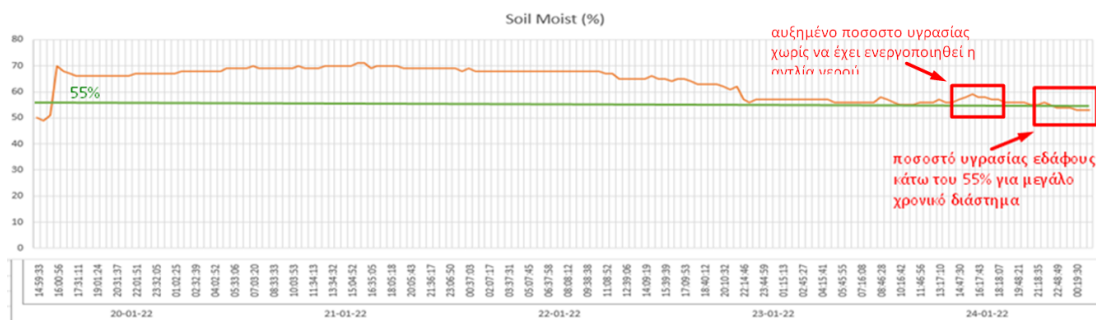
Το ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε και στον αισθητήρα στάθμης νερού. Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα της στάθμης νερού στο Node-RED, όπου η στάθμη νερού είναι μονίμως κάτω του 35% (Εικόνα 5.22).

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές



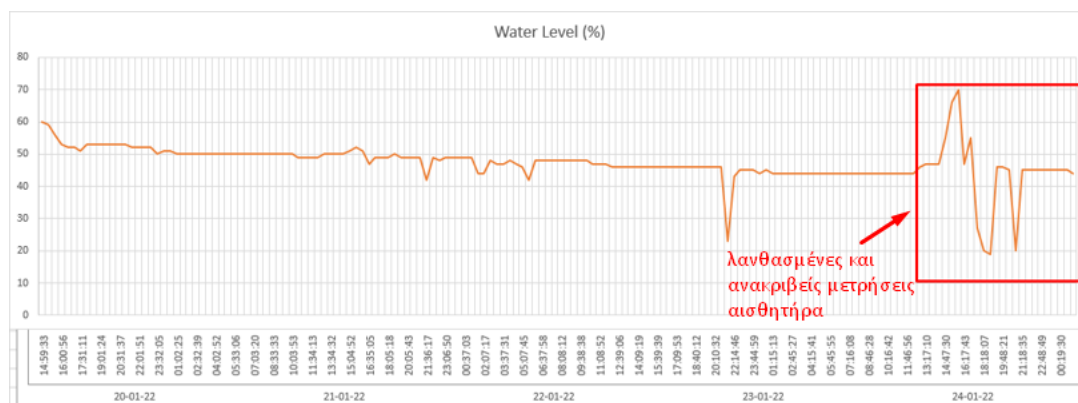
Εικόνα 5.21 - Διάγραμμα στάθμης νερού στο Node-RED, όπου η στάθμη νερού είναι μονίμως κάτω του 35%.

Επίσης, μετά το πέρας των πέντε ημερών, παρατηρήθηκε η αναποτελεσματικότητα του αισθητήρα υγρασίας εδάφους, συνεπώς συμπεραίνεται ότι ο μέγιστος χρόνος ζωής του συγκεκριμένου αισθητήρα είναι 5 μέρες περίπου (Εικόνα 5.23).



Εικόνα 5.22 - Διάγραμμα υγρασίας εδάφους, όπου απεικονίζεται η αναποτελεσματικότητα του αισθητήρα μετά από πέντε ημέρες.

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στον αισθητήρα στάθμης νερού (Εικόνα 5.24).



Εικόνα 5.23 - Διάγραμμα υγρασίας εδάφους, όπου απεικονίζεται η αναποτελεσματικότητα του αισθητήρα μετά από πέντε ημέρες.

5.4.4 Μετάδοση Πακέτων Δεδομένων

Το σύστημα, ελέγχθηκε ως προς τη μέγιστη απόσταση που μπορεί να μεταδώσει, αλλά και ως προς τον τρόπο που μεταδίδει, ανάλογα με την κλάση του LoRa Node.

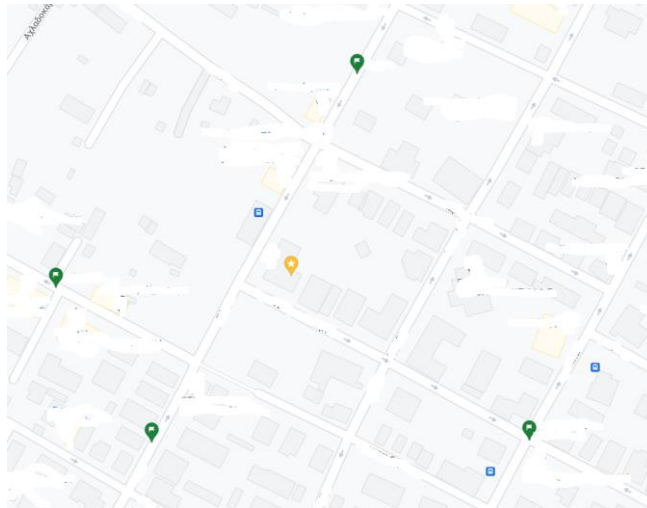
Για την απόσταση μετάδοσης σταθεροποιήθηκε το Gateway και μετακινήθηκε το LoRa Node σε διάφορα σημεία.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Για τον τρόπο μετάδοσης, παρατηρήθηκε ο χρόνος ανταπόκρισης του συστήματος, σχετικά με τα uplink και downlink μηνύματα.

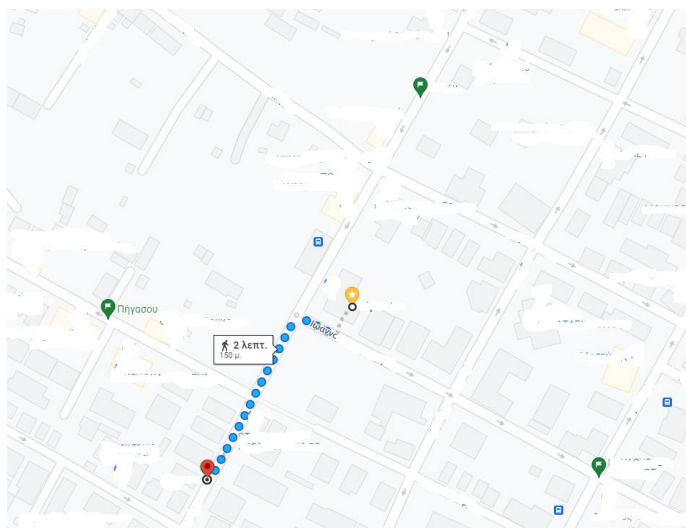
5.4.4.1 Μέγιστη Απόσταση Μετάδοσης

Έπειτα από πειραματισμούς παρατηρήθηκε ότι το μέγιστο εύρος που μπορεί να μεταδώσει το LoRa Node είναι περίπου 150m έως 190m. Ο έλεγχος έγινε τοποθετώντας το LoRa Node σε τέσσερα διαφορετικά σημεία. Τα σημεία που παρουσιάζονται με πράσινο χρώμα είναι τα LoRa Nodes, ενώ η τοποθεσία του Gateway, απεικονίζεται με κίτρινο χρώμα (Εικόνα 5.25).

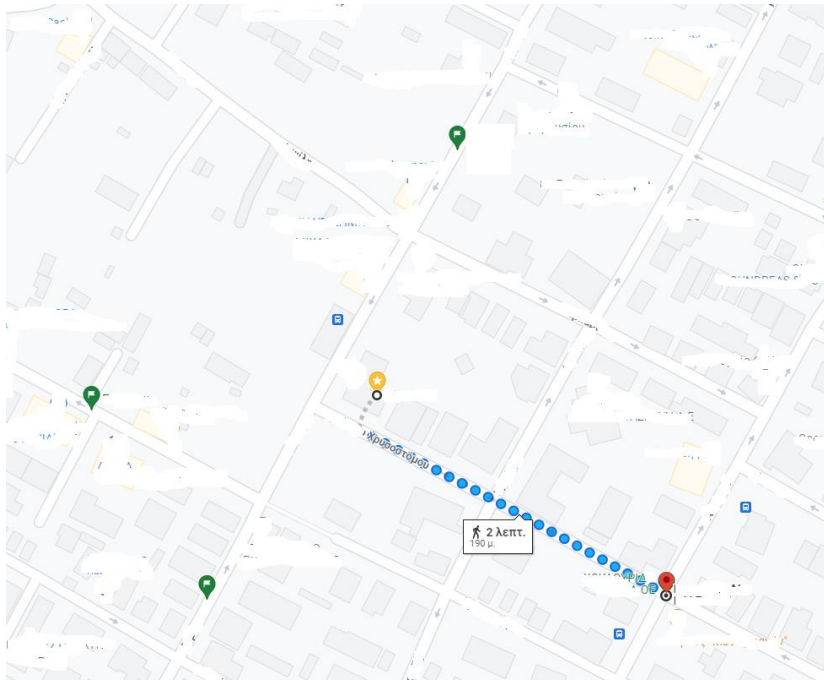


Εικόνα 5.24 - Απεικόνιση από google maps, των τεσσάρων σημείων και του Gateway.

Στο Google maps, απεικονίζεται η ελάχιστη απόσταση (150m) (Εικόνα 5.26) και η μέγιστη απόσταση (190m) (Εικόνα 5.27), όπου το LoRa Node δύναται να επικοινωνήσει με το Gateway.



Εικόνα 5.25 - Απεικόνιση από google maps, της ελάχιστης απόστασης (150m) ενός σημείου.



Εικόνα 5.26 - Απεικόνιση από google maps, της μέγιστης απόστασης (190m) ενός δεύτερου σημείου

Η απόκλιση στην απόσταση μετάδοσης, από σημείο σε σημείο και η δυσκολία μετάδοσης σε μεγαλύτερες αποστάσεις οφείλεται:

- Στα εμπόδια (κτίρια, δέντρα) που υπάρχουν μεταξύ του Gateway και του LoRa Node
- Στο χαμηλό υψόμετρο, όπου είναι τοποθετημένο το LoRa Node
- Στην χαμηλή ισχύ του LoRa Node
- Στο μέγεθος και στην ποιότητα της κεραίας (CETech, lorawan gateways tutorial | lora LoraWAN | What are LoRaWAN gateways?, 2020)

5.4.4.2 Διαδικασία Αποστολής Δεδομένων

Το LoRa Node που χρησιμοποιήθηκε στο project, αποτελεί συσκευή κλάσης A. Επομένως, παρατηρείται μία χρονοκαθυστέρηση κατά την αποστολή δεδομένων (downlink messages), από το Gateway προς το έξυπνο φυτό, όπως προαναφέρθηκε και στο υποκεφάλαιο 2.3.1.

Στην πράξη, όταν μεταδίδεται ένα μήνυμα ανερχόμενης ζεύξης (uplink), για παράδειγμα η υγρασία εδάφους να είναι κάτω από το 55%, τότε αυτόματα το TTN, στέλνει ένα μήνυμα κατερχόμενης ζεύξης (downlink), για να ανοίξει η αντλία νερού και να ποτίσει το φυτό. Η εντολή αυτή, δεν πραγματοποιείται αμέσως, αλλά αποθηκεύεται στην προσωρινή μνήμη του διακομιστή δικτύου και πραγματοποιείται μετά από 30 λεπτά, όπου μεταδίδεται το επόμενο uplink μήνυμα.

Στο συγκεκριμένο project, η χρονοκαθυστέρηση των 30 λεπτών είναι πολύ μικρή και δεν επηρεάζει το φυτό. Επίσης, με τις συσκευές κλάσης A, πετυχαίνεται πολύ χαμηλή ισχύ συγκριτικά με τις άλλες δύο κλάσεις. Εάν το project απαιτούσε γρήγορη ανταπόκριση, θα επιλεγόταν συσκευή κλάσης C, όπου επιτρέπει τη στιγμιαία μετάδοση δεδομένων, αλλά απαιτεί μεγάλη ισχύ συγκριτικά με την κλάση A και B.

5.4.5 Ασφάλεια LoRaWAN

Η ασφάλεια του LoRaWAN, ορίζει δύο επίπεδα κρυπτογράφησης:

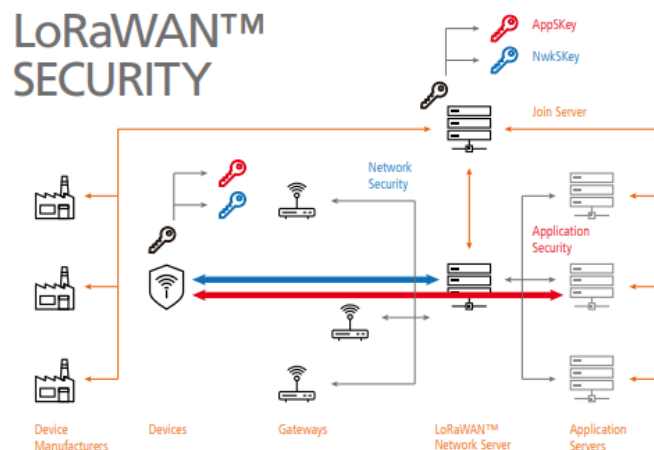
Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

- Στο πρώτο επίπεδο χρησιμοποιείται ένα μοναδικό network session key 128-bit (NwkSKey) που μοιράζεται μεταξύ της τελικής συσκευής (end-device) και του διακομιστή δικτύου (network server).
- Στο δεύτερο επίπεδο χρησιμοποιείται ένα μοναδικό application session key 128 bit (AppSKey) που μοιράζεται μεταξύ της end-device συσκευής και του επιπέδου εφαρμογής (application level).

Οι αλγόριθμοι AES χρησιμοποιούνται για την παροχή ελέγχου ταυτότητας και ακεραιότητας των πακέτων στον διακομιστή δικτύου και κρυπτογράφησης, από την end-device συσκευή στον διακομιστή εφαρμογής.

Ο αλγόριθμος AES είναι ένας συμμετρικός αλγόριθμος κρυπτογράφησης, που λαμβάνει απλό κείμενο των 128 bit και το μετατρέπει σε κρυπτογράφημα, χρησιμοποιώντας κλειδιά των 128, 192 και 256 bit.

Με την παροχή αυτών των δύο επιπέδων καθίσταται δυνατή, η υλοποίηση κοινόχρηστων δικτύων (multitenant) χωρίς ο διαχειριστής δικτύου να έχει ορατότητα στα δεδομένα ωφέλιμου φορτίου (payload data) των χρηστών. (Εικόνα 4.34) (LoRaAllianceTechnicalCommittee n.d.)



Εικόνα 5.27 - Επίπεδα και διαδικασία κρυπτογράφησης. (GEMALTO, 2017)

5.4.6 TTN και Περιορισμοί

Η πολιτική του TTN (Fair Access Policy), περιορίζει τα δεδομένα που μπορεί να στείλει κάθε end-device συσκευή, επιτρέποντας:

- Κατά μέσο όρο το λιγότερο, 30 δευτερόλεπτα χρόνου αποστολής uplink μηνυμάτων, ανά 24 ώρες, ανά συσκευή.
- Το πολύ 10 downlink μηνύματα, ανά 24 ώρες, συμπεριλαμβανομένων και των ACK, τα οποία χρησιμοποιούνται για την επιβεβαίωση των uplink μηνυμάτων.
- Τη διατήρηση του ωφέλιμου φορτίου της εφαρμογής κάτω από 12 bytes. Δηλαδή, το ωφέλιμο φορτίο πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Αυτό σημαίνει ότι δεν πρέπει να αποστέλλεται JSON ή απλό (ASCII) κείμενο, αλλά να κωδικοποιούνται τα δεδομένα ως δυαδικά δεδομένα. (arjanvanb, 2021)

5.5 Προτάσεις Μελλοντικής Εξέλιξης

Το συγκεκριμένο project, έχει πολλά περιθώρια ανάπτυξης, βελτίωσης και επέκτασης. Με την προσθήκη διάφορων υλικών, κινητήρων, ανεμιστήρων και led ανάπτυξης φυτών, θα μπορούσε να

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

κατασκευαστεί ένα μικρό θερμοκήπιο, για την εξισορρόπηση της θερμοκρασίας και την γρήγορη και βέλτιστη ανάπτυξη του φυτού.

Επιπλέον, θα ήταν συνετό να προστεθεί ένα αυτόματο σύστημα πυρόσβεσης, όπως επίσης και επιπλέον αισθητήρες με άλλες ιδιότητες, αλλά και η αντικατάσταση των ήδη υπαρχόντων, με άλλους πιο εξελιγμένους και βελτιωμένους αισθητήρες.

Επίσης, στο κεφάλαιο αυτό, αναφέρονται λύσεις για την αντιμετώπιση ποικίλων προβλημάτων που παρουσιάστηκαν, όπως η οξείδωση των αισθητήρων, η μικρή διάρκεια τροφοδοσίας του LoRa Node, η αδυναμία εισόδου στο NodeRED από μακρινές αποστάσεις και οι περιορισμοί του TTN.

Τέλος, θα αναφερθεί το πώς μπορεί να συνυπάρξει στο μέλλον, το 5G με το LoRaWAN, αλλά και το πώς μπορεί να εξελιχθεί η έξυπνη γεωργία, εφαρμόζοντας ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless Sensor Networks-WSNs) (Kandris, 2020), ολοκληρωμένα μοντέλα αυτοματοποιημένης γεωπονίας (Nikolidakis, S., et. al. 2015), μοντέλα της τεχνητής νοημοσύνης (Imrus Salehin, 2020), και αυτοματοποιημένα ρομπότ (Stephan Hussmann, 2019).

5.5.1 Αυτόματο Θερμοκήπιο

Το έξυπνο φυτό, το οποίο κατασκευάστηκε, θα μπορούσε να τοποθετηθεί σε ένα γυάλινο κουτί το οποίο θα περιελάμβανε μηχανισμούς για εξισορρόπηση της θερμοκρασίας και led ανάπτυξης φυτών για την γρήγορη ανάπτυξη του φυτού.

Ο σκοπός της κατασκευής αυτής, είναι η προσομοίωση ενός αυτόματου θερμοκηπίου.

5.5.1.1 Εξισορρόπηση Θερμοκρασίας

Για τον εξαερισμό του κουτιού, μπορεί να τοποθετηθεί στο γυάλινο κουτί ένας αυτόματος μηχανισμός ανοίγματος παραθύρου (Εικόνα 5.29). Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να κατασκευαστεί με έναν βηματικό κινητήρα (stepper motor) και με 3D εξαρτήματα, φτιαγμένα από θερμοπλαστικό ABS. Τα stl αρχεία, για την εκτύπωση των 3D εξαρτημάτων μπορούν να βρεθούν, στην ανοιχτή πλατφόρμα Thingiverse¹⁷.



Εικόνα 5.28 - Αυτόματος μηχανισμός ανοίγματος παραθύρου. (BrightProjects, 2016)

Εκτός του εξαερισμού, μπορούν να τοποθετηθούν και δύο DC ανεμιστήρες, για να περιορίζουν την αύξηση της θερμοκρασίας.

Ο βηματικός κινητήρας και οι DC ανεμιστήρες, μπορούν να συνδεθούν σε ένα νέο LoRa Node, το οποίο θα αποτελείται από ένα Arduino Nano και ένα RFM95W. Κάθε φορά που ο αισθητήρας θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας θα μετρά θερμοκρασία άνω των 30°C, θα ενεργοποιούνται οι μηχανισμοί αυτοί για την εξισορρόπηση της θερμοκρασίας.

¹⁷ <https://www.thingiverse.com/thing:1519614>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Δεν απαιτείται δεύτερο Gateway, για την επικοινωνία του LoRa Node με το TTN, καθώς το Gateway που χρησιμοποιήθηκε στο παρόν project, αποτελείται από δέκα κανάλια και με αυτόν τον τρόπο υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας με δέκα διαφορετικά LoRa Nodes ταυτόχρονα.

5.5.1.2 Led Ανάπτυξης Φυτών

Οι λάμπες ανάπτυξης φυτών, μπορούν να βοηθήσουν στην ταχύτερη ανάπτυξη και την ποιότητα των φυτών, ως προς:

- Την βελτίωση της ρίζας τους
- Την ακριβή ημερομηνία άνθησης
- Την αύξηση της βιομάζας

Για την προσθήκη της λάμπας ανάπτυξης φυτών στο project, θα χρειαστεί ένα τρίτο LoRa Node, το οποίο θα έχει και αυτό την δυνατότητα να επικοινωνεί με το δεκακάναλο Gateway.

Το Arduino Nano του LoRa Node, θα δημιουργεί ένα σήμα εξασθένισης PWM.

Το σήμα εξασθένισης PWM λαμβάνει μια ορθογώνια κυματομορφή, με μεταβλητό θετικό κύκλο λειτουργίας (duty cycle) και ρυθμίζει το ρεύμα των LED αναλογικά. Μειώνει, δηλαδή, την μέση ισχύ που παρέχει ένα ψηφιακό σήμα, τεμαχίζοντάς το ουσιαστικά σε διακριτά μέρη και το μετατρέπει σε αναλογικό μεταβάλλοντας τον χρόνο για τον οποίο παραμένει 'on' και 'off'. Ο όρος "duty cycle" χρησιμοποιείται για να περιγράψει το ποσοστό ή την αναλογία του χρόνου που παραμένει σε λειτουργία 'on' σε σύγκριση με τον χρόνο που βρίσκεται σε κατάσταση 'off'.

Στην συνέχεια το Arduino θα συνδεθεί με έναν πίνακα LED ανάπτυξης φυτών (Εικόνα 5.30), ο οποίος θα περιλαμβάνει 6 υπέρυθρες, 4 κόκκινες, 2 μπλε and 4 άσπρες λυχνίες LED.



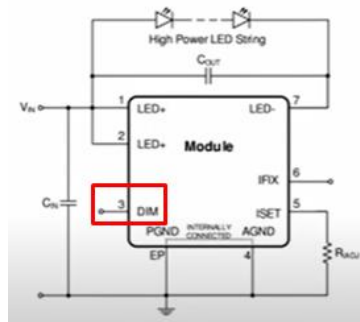
Εικόνα 5.29 - πίνακας LED ανάπτυξης φυτών. (GreatScott!)

Επιπρόσθετα το Arduino θα συνδεθεί με τέσσερις μονάδες υποβιβασμού ρεύματος LED (step down converters) MagI³C-LDHM (Εικόνα 5.31).



Εικόνα 5.30 - MagI³C-LDHM LED Step Down High Current Module. (GreatScott!)

Αυτές οι μονάδες μετατρέπουν μια μεταβλητή τάση εισόδου σε σταθερό ρεύμα εξόδου. Η φωτεινότητα μπορεί να ρυθμιστεί από τον ακροδέκτη DIM της μονάδας (Εικόνα 5.32).



Εικόνα 5.31 - Διάγραμμα κυκλώματος της μονάδας MagI³C-LDHM LED, όπου απεικονίζεται ο ακροδέκτης DIM. (GreatScott!)

Στη συνέχεια θα κωδικοποιηθεί κατάλληλα το Arduino, ώστε να παράγει τα σήματα PWM αλλά και να ενεργοποιεί τις λυχνίες LED, όταν ο αισθητήρας φωτεινότητας θα μετρά φωτεινότητα κάτω του 10%. Όλο το σύστημα πρέπει να τροφοδοτείται με πηγή τάσης 19V. (GreatScott!)

5.5.2 Αυτόματο Σύστημα Πυρόσβεσης

Στο αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης, θα μπορούσε να προστεθεί και ένα σύστημα πυρόσβεσης, καθώς υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς χωρίς την παρουσία ανθρώπου, λόγω ταυτόχρονης λειτουργίας πολλαπλών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και χρήσης διάφορων μπαταριών.

Για την υλοποίηση του αυτόματου συστήματος πυρόσβεσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας αισθητήρας φλόγας υπέρυθρης ακτινοβολίας IR (Εικόνα 5.33). Ο αισθητήρας, μπορεί να ανιχνεύσει υπέρυθρο φως με μήκος κύματος που κυμαίνεται από 700nm έως 1000nm και στη συνέχεια να το μετατρέψει σε μεταβαλλόμενο ρεύμα. (pcbboard.ca)



Εικόνα 5.32 - αισθητήρας φλόγας υπέρυθρης ακτινοβολίας IR. (pcbboard.ca)

Εκτός από τον αισθητήρα φλόγας, χρειάζεται μία 12V DC αντλία νερού και ένα NPN BJT Transistor, για την ενεργοποίηση της αντλίας νερού, την στιγμή που ο αισθητήρας θα ανιχνεύσει την φωτιά.

Να σημειωθεί ότι, τα εξαρτήματα αυτά θα συνδεθούν σε ένα LoRa Node. Η διαφορά με τα υπόλοιπα LoRa Nodes που έχουν προαναφερθεί, είναι στην κλάση τους. Τα προηγούμενα LoRa Nodes είναι κλάσης A, για το γεγονός ότι η λειτουργία του συστήματος δεν επηρεάζεται από χρονοκαθυστερήσεις, ενώ σε ένα σύστημα πυρόσβεσης, το LoRa Node πρέπει να είναι κλάσης C, για να υπάρξει γρήγορη ανταπόκριση από την στιγμή που θα ανιχνευτεί η φωτιά, μέχρι την στιγμή που θα ενεργοποιηθεί η αντλία νερού.

5.5.3 Επιπρόσθετοι Αισθητήρες

Στο συγκεκριμένο project, χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες χαμηλού κόστους και παρατηρήθηκαν δυσλειτουργίες και ανακρίβειες στις μετρήσεις. Παρακάτω αναφέρονται πιο εξελιγμένοι αισθητήρες, όπως αισθητήρες θερμοκρασίας φύλλων και ασύρματοι αισθητήρες υγρασίας εδάφους.

Επίσης, αναφέρονται και μερικοί επιπλέον αισθητήρες, όπου θα μπορούσαν να προστεθούν στο project, όπως αισθητήρας βροχής, PIR αισθητήρας κίνησης και αισθητήρας pH.

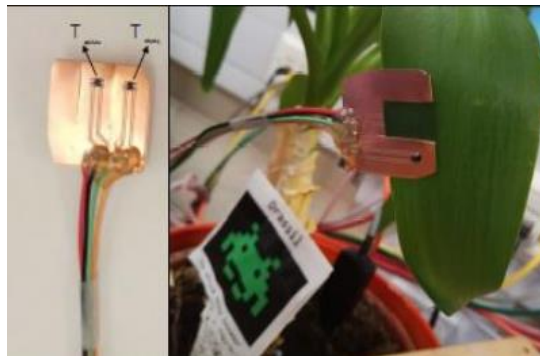
5.5.3.1 Αισθητήρας Θερμοκρασίας Φύλλων

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας φύλλων, μετρά τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του φύλλου και της ατμόσφαιρας, η οποία σχετίζεται άμεσα με την πίεση του νερού του φυτού (υγρασία φυτών).

Ο αισθητήρας αυτός, θεωρείται πρωτοποριακός στην έξυπνη γεωργία, καθώς οι μετρήσεις συγκεντρώνονται απευθείας από το φυτό και όχι από το έδαφος (υγρασία εδάφους) ή από την ατμόσφαιρα (σχετική υγρασία). Οι μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο, από τη διαφορά θερμοκρασίας φύλλου-αέρα μπορούν να δείξουν πότε το φυτό χρειάζεται νερό, “ακούγοντας” το ίδιο το φυτό.

Πιο συγκεκριμένα, η πλακέτα του αισθητήρα, αποτελείται από δύο αναλογικούς αισθητήρες θερμοκρασίας "LMT84" (Εικόνα 5.34). Κάθε αισθητήρας συνδέεται με έναν ADC και καταναλώνει 5.4μΑ στα 1.8V. Η ακρίβεια του καθενός είναι ± 0.4 °C.

Η πλακέτα τοποθετείται πάνω στο φύλλο, ο ένας αναλογικός αισθητήρας εφάπτεται με το πάνω μέρος του φύλλου, όπου ανιχνεύει τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας (Ταέρας) και ο δεύτερος, με το κάτω μέρος της επιφάνεια του φυλλώματος, καταγράφει την θερμοκρασία αυτού (Τφύλλο).



Εικόνα 5.33 - Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος με αισθητήρες θερμοκρασίας LMT84. (Daskalakis, 2017)

Στην συνέχεια ο μικροελεγκτής, συλλέγει τις πληροφορίες από τους αισθητήρες, μέσω των ADC, οι οποίοι τις μετατρέπουν σε τάση (mV).

Τέλος, η θερμοκρασία υπολογίζεται από τη διαφορά Τφύλλο – Ταέρας. (Daskalakis, 2017)

5.5.3.2 Αισθητήρες Υγρασίας Εδάφους

Όπως παρατηρήθηκε από το project, προέκυψαν προβλήματα με τους αισθητήρες υγρασίας εδάφους, τόσο στην ακρίβεια των μετρήσεων, όσο και στη διάρκεια ζωής τους.

Οι απλοί αισθητήρες, ειδικά οι αισθητήρες που βασίζονται στην αγωγιμότητα ή την αντίσταση, είναι αναποτελεσματικοί, καθώς τα άλατα και τα λιπάσματα που βρίσκονται στο έδαφος προκαλούν μεροληψία στις μετρήσεις τους.

Ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους VH400 (Εικόνα 5.35) της εταιρίας Vegetronix, χρησιμοποιεί εξαιρετική ακρίβεια για την μέτρηση της υγρασίας του νερού σε οποιοδήποτε έδαφος, ανεξάρτητα από την αλατότητα του εδάφους. Ο VH400 βασίζεται στον ηλεκτρομαγνητισμό χωρητικότητας, ο οποίος δεν απαιτεί άμεση ηλεκτρική επαφή με το έδαφος και δεν χρησιμοποιεί εκτεθειμένο μέταλλο για να πραγματοποιήσει μετρήσεις, οπότε δεν διαβρώνεται και δεν χρειάζεται επαναβαθμονόμηση.

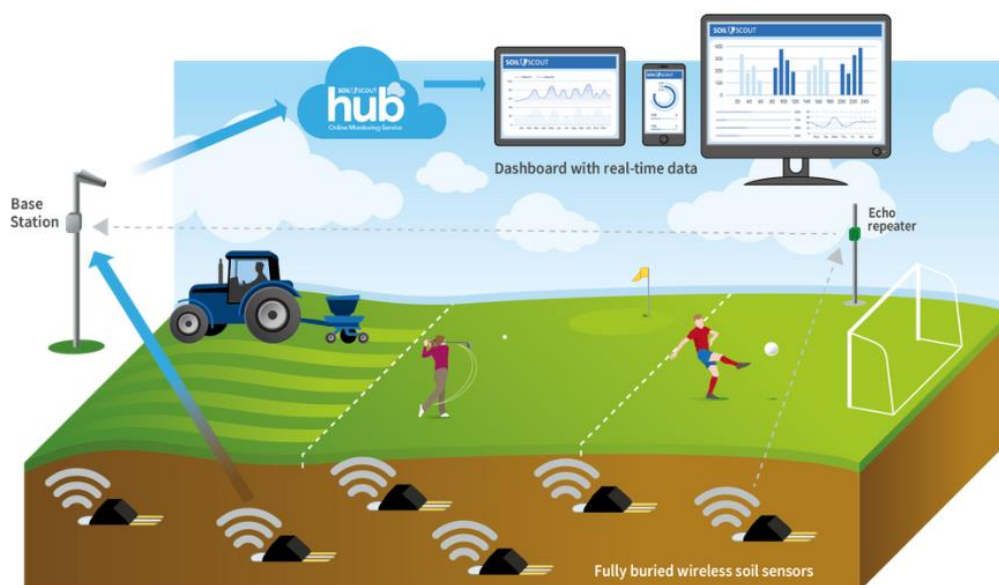


Εικόνα 5.34 - αισθητήρας υγρασίας εδάφους VH400. (Vegetronix)

Επίσης, καταναλώνει πολύ χαμηλή ενέργεια και είναι εξαιρετικά γρήγορος. Κατά την ενεργοποίησή του απορροφά μόνο 12mA και η απόκριση της εξόδου είναι στιγμιαία, με τις αλλαγές στην υγρασία του νερού. (Vegetronix)

Εκτός από την αναποτελεσματικότητα των αισθητήρων υγρασίας εδάφους, ένα επιπλέον πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονοι γεωργοί, είναι ο αυξημένος όγκος καλωδίων. Σε ένα μεγάλης έκτασης πεδίο, όπως για παράδειγμα ένα γήπεδο γκολφ, απαιτείται μεγάλος αριθμός αισθητήρων υγρασίας εδάφους, με αποτέλεσμα ο αυξημένος όγκος καλωδίων να αποτελεί μεγάλο εμπόδιο.

Οι ασύρματοι αισθητήρες Soil Scout (Εικόνα 5.36), τοποθετούνται υπόγεια στο έδαφος, σε καλά επιλεγμένες θέσεις σε ολόκληρο το χωράφι. Σε αντίθεση με τους αισθητήρες που προεξέχουν από το έδαφος, οι πλήρως θαμμένοι αισθητήρες παρέχουν ακριβή και σε πραγματικό χρόνο δεδομένα υγρασίας, αλατότητας και θερμοκρασίας του εδάφους. (Soilscout)



Εικόνα 5.35 - Διαδικασία λειτουργίας ασύρματων αισθητήρων Soil Scout. (Soilscout)

5.5.3.3 Αισθητήρας Βροχής

Ο αισθητήρας βροχής ανιχνεύει το νερό της βροχής, το οποίο βραχυκυκλώνει την ταινία του τυπωμένου κυκλώματος (Εικόνα 5.37).



Εικόνα 5.36 - Αισθητήρας βροχής (ProjectHub, How to Use a Rain Sensor)

Ο αισθητήρας λειτουργεί ως μεταβλητή αντίσταση, η οποία αυξάνεται όταν ο αισθητήρας είναι βρεγμένος και μειώνεται όταν είναι στεγνός. (ProjectHub, How to Use a Rain Sensor)

5.5.3.4 PIR Αισθητήρας Κίνησης

Οι παθητικοί αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας (Passive Infrared) (Εικόνα 5.38), μπορούν να ανιχνεύσουν την κίνηση αντικειμένων που εκπέμπουν φως υπέρυθρης ακτινοβολίας, όπως για παράδειγμα στην συγκεκριμένη περίπτωση, ανεπιθύμητα ζώα και έντομα.



Εικόνα 5.37- PIR Αισθητήρας Κίνησης. (ProjectHub, PIR Motion Sensor: How to Use PIRs w/ Arduino & Raspberry Pi)

Η έξοδος του αισθητήρα, μπορεί να συνδεθεί απευθείας σε έναν από τους ψηφιακούς ακροδέκτες του Arduino (ή οποιουδήποτε μικροελεγκτή). Εάν ανιχνευθεί οποιαδήποτε κίνηση από τον αισθητήρα, η τιμή αυτού του ακροδέκτη θα τεθεί σε "1". Τα δύο ποτενσιόμετρα στην πλακέτα επιτρέπουν την ρύθμιση της ευαισθησίας και του χρόνου καθυστέρησης μετά την ανίχνευση μιας κίνησης. (ProjectHub, PIR Motion Sensor: How to Use PIRs w/ Arduino & Raspberry Pi)

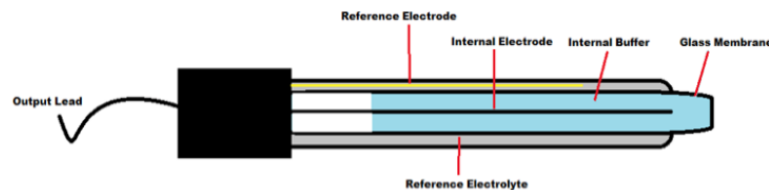
5.5.3.5 Αισθητήρας pH

Ο αναλογικός αισθητήρας pH (Εικόνα 5.39), έχει σχεδιαστεί για να μετρά την τιμή pH ενός διαλύματος και να δείχνει την οξύτητα ή την αλκαλικότητα του χώματος.



Εικόνα 5.38 - Αισθητήρας pH. (DebasisParida)

Ο αισθητήρας pH, αποτελείται από μία γυάλινη ράβδο, η οποία είναι γεμάτη με διάλυμα Ph=7. Ο σχεδιασμός της ράβδου (Εικόνα 5.40), εξασφαλίζει ένα περιβάλλον με απομονωμένα ιόντα υδρογόνου στο εσωτερικό του. Όταν ο αισθητήρας βυθίζεται στο χρώμα, τα ιόντα υδρογόνου του διαλύματος αρχίζουν να εναλλάσσονται με άλλα θετικά φορτισμένα ιόντα της γυάλινης ράβδου, γεγονός που δημιουργεί ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό κατά μήκος της ράβδου, το οποίο τροφοδοτείται στην ηλεκτρονική μονάδα (module) του αισθητήρα, μετρά το δυναμικό μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων και το μετατρέπει σε μονάδες pH. Η διαφορά μεταξύ αυτών των δυναμικών καθορίζει την τιμή του pH. (DebasisParida)



Εικόνα 5.39 -Σχεδιασμός της γυάλινης ράβδου. (DebasisParida)

5.5.4 Αντιμετώπιση Οξείδωσης Αισθητήρων και Διάρκεια Τροφοδοσίας LoRa Node

Το κύριο πρόβλημα του project, ήταν η μικρή διάρκεια ζωής τόσο των αισθητήρων όταν εκτίθενται σε υγρό περιβάλλον, όσο και η διάρκεια ζωής των μπαταριών του powerbank λόγω συνεχούς τροφοδοσίας.

Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, μπορούν να τροφοδοτούνται οι αισθητήρες μόνο την στιγμή που λαμβάνονται οι μετρήσεις, δηλαδή κάθε 30 λεπτά.

Ένας εύκολος τρόπος για να επιτευχθεί αυτό, είναι να συνδεθούν οι ακροδέκτες VCC των αισθητήρων, σε έναν από τους ψηφιακούς ακροδέκτες του Arduino και με κατάλληλο προγραμματισμό του κώδικα, να ενεργοποιούνται (HIGH) οι αισθητήρες για 10 ms, ώστε να στέλνονται τα δεδομένα στο TTN και αμέσως μετά να απενεργοποιούνται (LOW). (lastminuteengineers, water-level-sensor-arduino-tutorial, n.d.)

Με αυτόν τον τρόπο, όχι μόνο ο ρυθμός διάβρωσης των αισθητήρων επιβραδύνεται σημαντικά, αλλά και η μη συνεχής παροχή ρεύματος αυξάνει τη διάρκεια ζωής των μπαταριών του powerbank, κατά συνέπεια και τη διάρκεια ζωής του LoRa Node.

5.5.5 Δημιουργία Εικονικού Server και ChirpStack

Στο παρόν project παρουσιάστηκαν διάφορα προβλήματα και περιορισμοί. Ένα από αυτά αποτελεί η αδυναμία του χρήστη να εισέλθει στο Node-RED, μέσω Putty, από υπολογιστή που βρισκόταν σε πολύ μακρινές αποστάσεις. Όπως επίσης και οι περιορισμοί από την πολιτική του TTN.

5.5.5.1 Okeanos

Όπως προαναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 4.2.6, ο λόγος που ο χρήστης αδυνατούσε να εισέλθει στο Node-RED, μέσω Putty, από υπολογιστή που βρισκόταν σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, ήταν ότι ο υπολογιστής και το raspberry Pi έπρεπε να βρίσκονται στο ίδιο υποδίκτυο, συνεπώς στην περίπτωση που το Node-RED βρισκόταν σε ένα εικονικό server, δεν θα υπήρχε αυτό το πρόβλημα, από όποιον υπολογιστή και να συνδεόταν ο χρήστης.

Ένα από τα εικονικά server που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είναι ο okeanos. (Εικόνα 5.41)



Εικόνα 5.40 - Okeanos logo. (okeanos, n.d.)

Ο okeanos είναι μια υπηρεσία IaaS (Infrastructure as a Service). Με την υπηρεσία IaaS, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να φτιάξει τον δικό του υπολογιστή, ο οποίος θα είναι πάντα συνδεδεμένος στο διαδίκτυο, χωρίς να ανησυχεί για βλάβες hardware, καλώδια, προβλήματα συνδεσιμότητας και προβλήματα λογισμικού.

Με τον okeanos ο χρήστης δημιουργεί τη δική του εικονική μηχανή (Virtual Machine) και τα δικά του εικονικά δίκτυα. Ουσιαστικά, παρέχεται η δυνατότητα διαχείρισης, διαγραφής και σύνδεσης στα συγκεκριμένα δίκτυα, αλλά και η πραγματοποίηση μεγάλου πλήθους ενεργειών, όλα μέσα από το πρόγραμμα περιήγησης του διαδικτύου.

Επιπλέον, δίνεται η ικανότητα αποθήκευσης αρχείων και διαμοιρασμού με ετέρους στο διαδίκτυο, όπως επίσης και η πρόσβαση σε αυτά ανά πάσα στιγμή, από οπουδήποτε στον κόσμο. Η πρόσβαση σε αυτά τα αρχεία μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από την VM του χρήστη. (okeanos, n.d.)

5.5.5.2 ChirpStack

Στο υποκεφάλαιο 4.3.7, αναφέρθηκαν οι περιορισμοί, της πολιτικής του TTN, στα δεδομένα που μπορεί να στείλει κάθε end-device συσκευή. Οι περιορισμοί αυτοί θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με το Chirpstack (Εικόνα 5.42).



Εικόνα 5.41 - ChirpStack logo. (ChirpStack, n.d.)

Το Chirpstack είναι ένα δίκτυο LoRaWAN Server Stack, το οποίο παρέχει στοιχεία ανοιχτού κώδικα για δίκτυα LoRaWAN.

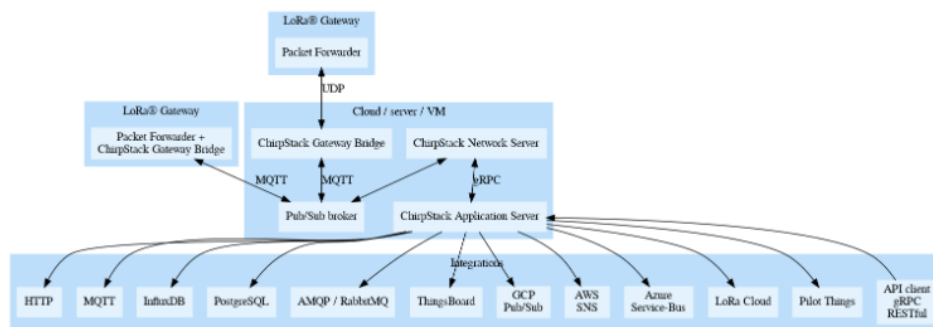
Παρέχει ένα φιλικό προς τον χρήστη web-interface για τη διαχείριση των συσκευών, δηλαδή διαδικτυακή εφαρμογή που δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να αλληλοεπιδράσει με το λογισμικό που εκτελείται, μέσω ενός απομακρυσμένου διακομιστή. Επίσης παρέχει APIs για integrations (για παράδειγμα, ενσωμάτωση πρωτοκόλλου MQTT).

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Επιπρόσθετα, υποστηρίζει πολλαπλές δυνατότητες και όλες τις κλάσεις συσκευών LoRa και διαθέτει μια ενεργή κοινότητα για την υποστήριξη των προγραμματιστών.

Το Chirpstack αποτελείται από:

- ChirpStack Gateway Bridge: Χειρίζεται την επικοινωνία μεταξύ των Gateways και του Server
- ChirpStack Network Server: Χειρίζεται τον έλεγχο ταυτότητας και την επικοινωνία με τον διακομιστή εφαρμογών
- ChirpStack Application Server: Χειρίζεται την κρυπτογράφηση και την αποκρυπτογράφηση και παρέχει integrations με εφαρμογές των εταιρών (Εικόνα 5.43).



Εικόνα 5.42 – Αρχιτεκτονική του ChirpStack. (ChirpStack, n.d.)

Για τη δημιουργία του Chirpstack, προαπαιτούνται τα παρακάτω:

- Δημιουργία ενός account AWS (Amazon Web Service), για την εγκατάσταση του LoRa Network Server. Η AWS παρέχει servers, αποθήκευση, δικτύωση, απομακρυσμένους υπολογιστές, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, ανάπτυξη κινητών συσκευών και ασφάλεια.
- Δημιουργία Ubuntu EC2 στο AWS. Το EC2 (Elastic Compute Cloud), πρόκειται για μια διαδικτυακή υπηρεσία του AWS, με τη χρήση της οποίας ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ένα VM, με βάση των απαιτήσεις του.
- Ενεργοποίηση των θυρών UDP 1700 και TCP 8080 στις ομάδες ασφαλείας, για την προώθηση πακέτων LoRa και την απόκτηση πρόσβασης στο web του chirpstack. Οι ομάδες ασφαλείας, λειτουργούν ως ένα εικονικό τείχος προστασίας για τα EC2, με σκοπό τον έλεγχο της εισερχόμενης και εξερχόμενης κυκλοφορίας των πακέτων.

Για την εγκατάσταση του δικτύου LoRa στο AWS και για οποιαδήποτε άλλη απαιτούμενη διαδικασία, όπως για παράδειγμα την σύνδεση ενός LoRa Node ή Gateway με το δίκτυο, ακολουθούνται τα αντίστοιχα βήματα που περιγράφονται στις οδηγίες της ιστοσελίδας¹⁸ (ChirpStack, n.d.)

5.5.6 WSN και Εφαρμογή του Project σε Αγροκαλλιέργειες

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, έχει τη δυνατότητα να επεκταθεί. Δύναται να εφαρμοστεί σε μεγάλα θερμοκήπια και σε τεράστιες εκτάσεις αγροκαλλιέργειών, χρησιμοποιώντας έναν μεγάλο αριθμό από LoRa Nodes που επικοινωνούν μεταξύ τους, μέσω WSN δικτύου.

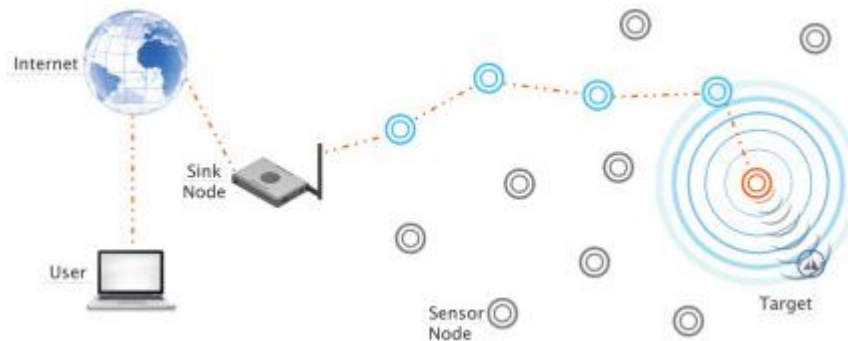
Ένα WSN, αποτελείται από χωρικά κατανομημένους αισθητήρες και ένα ή περισσότερα Nodes (κόμβους). Ένα Node με αισθητήρες, μπορεί να συμπεριφέρεται τόσο ως συλλέκτης δεδομένων όσο και ως δρομολογητής δεδομένων.

Στο συγκεκριμένο project το LoRa Node που χρησιμοποιήθηκε, συμπεριφερόταν ως συλλέκτης δεδομένων, εάν όμως προστίθεντο περισσότερα LoRa Nodes και προγραμματιζόντουσαν κατάλληλα, τότε

¹⁸ <https://www.chirpstack.io/project/guides/debian-ubuntu/>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

θα μπορούσαν να μεταφέρουν τα δεδομένα ασύρματα στο κοντινότερο Node και αυτό με την σειρά του στο επόμενο, μέχρι να δεδομένα να καταλήξουν στο Gateway. (Εικόνα 5.44) (e-HealthSystems, 2016)



Εικόνα 5.43 - Αρχιτεκτονική ενός WSN δικτύου. (e-HealthSystems, 2016)

Επιπλέον, στο project αυτό είχε εφαρμοστεί μία DC αντλία νερού, όπου αντλούσε το απαραίτητο νερό από ένα δοχείο και κάθε φορά που άδειαζε το δοχείο, ο χρήστης λάμβανε ένα αντίστοιχο μήνυμα, με σκοπό να το γεμίσει. Για την επέκταση της διαδικασίας άρδευσης, θα μπορούσε να εφαρμοστεί μία 12V DC ελεγχόμενη βαλβίδα νερού (Εικόνα 5.45) σε κάθε κομμάτι γης, που αντιστοιχεί ένα LoRa Node.

Με αυτόν τον τρόπο, η βαλβίδα νερού που αντιστοιχεί στο Node, όπου ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους μετρά τιμή κάτω του 55%, θα ενεργοποιείται και θα αντλεί νερό κατευθείαν από το δίκτυο νερού, χωρίς να χρειάζεται ο χρήστης κάθε φορά να γεμίζει με νερό ένα δοχείο που αδειάζει.



Εικόνα 5.44 - 12V DC ελεγχόμενη βαλβίδα νερού.

5.5.7 5G και LoRaWAN

Η τεχνολογία 5G βρίσκεται στο προσκήνιο λόγω της πρωτοφανούς ταχύτητας και της ποιότητας του σήματος. Με το 5G, οι συνδεδεμένες συσκευές θα μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα μεγάλου μεγέθους έως και 50% ταχύτερα, γεγονός που υπόσχεται επανάσταση σε όλους τους κλάδους.

Το LoRaWAN μπορεί να κάνει σχεδόν τις ίδιες εργασίες που μπορεί να κάνει και το 5G, απλώς πιο αργά και φτηνά. Η ταχύτητα του LoRa, κυμαίνεται μεταξύ 0,3Kbps και 27Kbps, πράγμα που σημαίνει ότι θα χρειαστούν αρκετές ώρες για τη μετάδοση μιας εικόνας και αρκετά έτη για την απευθείας μετάδοση μιας ταινίας. Η τεχνολογία αναπτύχθηκε αρχικά για βιομηχανικούς αισθητήρες IoT και όχι για καταναλωτικές συσκευές. Επίσης, χρησιμοποιείται για τη μετάδοση μικρών πακέτων δεδομένων (περίπου 240 bytes) και δεν υποστηρίζει πρωτόκολλα δικτύου. Το LoRa είναι κατάλληλο για τη μετάδοση δεδομένων θερμοκρασίας, υγρασίας, δόνησης, φωτισμού και παρόμοιων δεδομένων.

Οι συσκευές που λειτουργούν με LoRaWAN μπορούν να συνομιλούν μεταξύ τους σε μεγάλες αποστάσεις, ακόμη και αν κάθε μία από αυτές τις συσκευές βρίσκεται σε ξεχωριστό κτίριο. Επιπλέον, οι μπαταρίες τους διαρκούν περισσότερο από τις μπαταρίες των συσκευών που χρησιμοποιούν 4G και 5G.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Μια συσκευή που βασίζεται στο LoRa μπορεί να λειτουργήσει έως και δέκα χρόνια με μία μπαταρία, ενώ μια συσκευή 5G θα αντέξει μόνο μερικές ώρες. (IoT.Business.News, 2020)

Το 5G προορίζεται συνήθως για εφαρμογές υψηλής χωρητικότητας, όπως για παράδειγμα για επιτήρηση ή για backhaul. Backhaul είναι η διαδικασία που ένα Gateway χρησιμοποιεί ένα δίκτυο, για να επικοινωνήσει με αισθητήρες ή συσκευές και στη συνέχεια μέσω Ethernet ή Wi-Fi, συνδέεται με το 'Cloud' για να διαβιβάσει δεδομένα.

Το 'Cloud' αναφέρεται σε διακομιστές, στους οποίους παρέχεται πρόσβαση μέσω του Διαδικτύου, καθώς και στο λογισμικό και στις βάσεις δεδομένων που εκτελούνται σε αυτούς τους διακομιστές.

Σίγουρα, το LoRaWAN και το 5G θα συνυπάρχουν στο μέλλον. Κατά κύριο λόγο η σχέση θα έχει τη μορφή υβριδικών δικτύων που θα αναπτυχθούν για διάφορες χρήσεις, καθώς συνδέονται εκατομμύρια συσκευές IoT που διαθέτουν το πρωτόκολλο LoRaWAN και συνεχίζουν να αυξάνονται. Τα δίκτυα 5G θα συμπληρώνουν τα δίκτυα LoRaWAN, τόσο ως τεχνολογία δικτύου πρόσβασης (access network) όσο και για τη μεταφορά δεδομένων από Gateways σε απομακρυσμένες περιοχές μέσω 'Cloud'. (Lorrain, 2021)

5.5.8 Ρομποτική, Τεχνητή Νοημοσύνη και Γεωργία

Το 2050 ο παγκόσμιος πληθυσμός θα αυξηθεί από 7,3 δισεκατομμύρια, σε 9,7 δισεκατομμύρια, που σημαίνει ότι η παραγωγή τροφίμων απαιτεί αύξηση κατά 70%. Ο μόνος τρόπος που μπορεί να επιτευχθεί αυτό, είναι μέσω της ρομποτικής, της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και της υπολογιστικής όρασης.

Η υπολογιστική όραση είναι ένας τομέας της τεχνητής νοημοσύνης, που ασχολείται με το πώς οι υπολογιστές μπορούν να κατανοήσουν σε υψηλό επίπεδο ψηφιακές εικόνες ή βίντεο. Από την πλευρά της μηχανικής επιδιώκει να κατανοήσει και να αυτοματοποιήσει εργασίες, που μπορεί να κάνει το ανθρώπινο οπτικό σύστημα. Με την χρήση υπολογιστικής όρασης μέσω drone (μη επανδρωμένο αεροσκάφος) (Εικόνα 5.46), μπορεί να πραγματοποιηθεί η παρακολούθηση της υγείας και της προόδου των καλλιεργειών, εντοπίζοντας τα επιβλαβή παράσιτα στην καλλιέργεια. Τα παράσιτα προκαλούν ζημιές στις καλλιέργειες, κατά συνέπεια και στην παραγωγή τροφίμων. Επίσης, κάποια έντομα, μπορούν να μεταδώσουν βακτήρια ή μύκητες σε μια καλλιέργεια, η οποία μπορεί να εξαπλωθεί αρκετά γρήγορα με αποτέλεσμα να προκληθούν μεγάλες απώλειες. Μόλις εντοπιστούν, τα drones θα προχωρήσουν στον ψεκασμό της καλλιέργειας με φυτοφάρμακα.



Εικόνα 5.45 - Ψεκασμός καλλιέργειας, μέσω drone. (Gonzalez, 2020)

Οι αγρότες θα είναι επίσης σε θέση να ενημερώνονται όταν μία ασθένεια έχει εντοπιστεί. Η έγκαιρη ανίχνευση των ασθενειών, μειώνει την πιθανότητα εξάπλωσης και εξασφαλίζει καλύτερο ποιοτικό έλεγχο.

Η υπολογιστική όραση, μπορεί επίσης να εφαρμοστεί στο πρόβλημα της διάγνωσης του εδάφους. Η PEAT (Progressive Environmental & Agricultural Technologies) έχει αναπτύξει έναν αλγόριθμο που μπορεί να προσδιορίσει τις δυνάμεις και την ευεξία του εδάφους. Στόχος είναι να μειωθούν οι πιθανότητες ανάπτυξης υπανάπτυκτων καλλιεργειών, βελτιστοποιώντας την παραγωγή υγιούς καλλιέργειών.

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Επιπρόσθετα, τα αυτόνομα ρομπότ, βοηθούν στην αύξηση της παραγωγικότητας και επιτρέπουν στους αγρότες να επικεντρωθούν σε πιο σημαντικές πτυχές. Η συγκομιδή και η συλλογή, είναι μία από τις πιο δημοφιλείς εφαρμογές ρομποτικής στη γεωργία. Λόγω της ακρίβειας και της ταχύτητάς τους, μπορούν να επιτύχουν και να βελτιώσουν το μέγεθος της παραγωγής, καθώς και να μειώσουν τα απόβλητα από τις καλλιέργειες που αφήνονται στο χωράφι. Επίσης με τα αυτόνομα ρομπότ, θα παρέχεται η δυνατότητα φόρτισης ή και αντικατάστασης των μπαταριών των Nodes που συλλέγουν της πληροφορίες.

Τέλος, τα αυτόνομα ρομπότ σε συνδυασμό με την υπολογιστική όραση, θα είναι σε θέση να αναγνωρίζουν την ωριμότητα των καλλιεργειών και να διαλέγουν με βάση την ωρίμανση, την απαλλαγή από ασθένειες και πολλών άλλων κριτηρίων. (Εικόνα 5.47) (ConvenientlyPrimed, 2020)



Εικόνα 5.46 - Αυτόνομο ρομπότ, κατά την συγκομιδή. (Wang, 2022)

6 Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

adrecoplastics.co.uk. (n.d.). *ABS plastic properties*. Retrieved from <https://adrecoplastics.co.uk/abs-plastic-properties/>

AliExpress. (n.d.). *Cncool 7800mAh 100% New Original NCR18650B 3.7v 18650 Lithium Rechargeable Battery* . Retrieved from <https://www.aliexpress.com/item/32951251644.html?spm=a2g0o.9042311.0.0.27424c4d27fgMX>

AliExpress. (n.d.). *LEORY Hot 5V 1.25W 250mA Mini Monocrystalline Solar Panel Silicon Epoxy* . Retrieved from <https://www.aliexpress.com/item/32814502323.html?spm=a2g0o.9042311.0.0.27424c4d27fgMX>

arduino.cc. (n.d.). *Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1*. Retrieved from <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics>

arjanvanb. (2021). *Fair Use Policy explained*. Retrieved from [thethingsnetwork.org: https://www.thethingsnetwork.org/forum/t/fair-use-policy-explained/1300](https://www.thethingsnetwork.org/forum/t/fair-use-policy-explained/1300)

autodesk. (n.d.). *Eagle*. Retrieved from <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview#what-is-eagle->

BINARY_UPDATES. (n.d.). *Install Node Red on Raspberry Pi4- Run and Deploy Node Flow*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=MsQ8HOQIGGw>

Botterman, M. (2009). *Internet of Things: An Early Reality of the Future Internet*. WORKSHOP REPORT Prague.

BrightProjects. (2016). *Window Opener*. Retrieved from Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:1519614>

cableworks. (n.d.). *GL5516 5mm Photoresistor LDR Light-Dependent Resistor - Light Sensor for Arduino*. Retrieved from <https://www.cableworks.gr/ilektronika/arduino-and-microcontrollers/components-and-ic/gl5516-5mm-photoresistor-ldr-light-dependent-resistor-light-sensor-for-arduino/>

cableworks. (n.d.). *High Voltage DC-DC Boost Converter 2A 5-56V*. Retrieved from <https://www.cableworks.gr/ilektronika/arduino-and-microcontrollers/buck-and-boost-converters/boost-converter-step-up-dc-dc/high-voltage-dc-dc-boost-converter-2a-5-56v/>

cdn.sparkfun. (n.d.). Retrieved from https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/8/0/4/RFM95_96_97_98W.pdf

CETech. (2019). *Lora tutorial | Getting started with lora | What is LoRa features | LoRa introduction | LoRaWAN*. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=jp_2gwBrQc8

CETech. (2020). *lorawan gateways tutorial | lora LoraWAN | What are LoRaWAN gateways?* Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=avGefKfQ0AI>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Chalimov, A. (2020, 07 07). *EasternPeak.com*. Retrieved from IOT IN AGRICULTURE: 8 TECHNOLOGY USE CASES FOR SMART FARMING : <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-technology-use-cases-for-smart-farming-and-challenges-to-consider/>

ChirpStack. (n.d.). *The ChirpStack project*. Retrieved from chirpstack.io: <https://www.chirpstack.io/project/>

CircuitBasics. (n.d.). *How to Set Up a Static IP on the Raspberry Pi (with Raspbian Jessie)*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=yd2hwce98Aw>

CircuitBasics. (n.d.). *HOW TO SET UP THE DHT11 HUMIDITY SENSOR ON AN ARDUINO*. Retrieved from <https://www.circuitbasics.com/how-to-set-up-the-dht11-humidity-sensor-on-an-arduino/>

CIRCUITSTODAY. (n.d.). Retrieved from <https://www.circuits.today.com/arduino-nano-tutorial-pinout-schematics>

community.element14. (n.d.). *Raspeberry Pi 4 Model B pin out* . Retrieved from <https://community.element14.com/products/raspberry-pi/w/documents/4317/raspberry-pi-4-model-b-default-gpio-pinout-with-poe-header>

components. (n.d.). *Boost Converter: Basics, Working, Design & Operation*. Retrieved from <https://components101.com/articles/boost-converter-basics-working-design>

ConvenientlyPrimed. (2020). *3 Applications of AI in Agriculture*. Retrieved from youtube.com: https://www.youtube.com/watch?v=nsnpEmr1q_k

Creality3D Ender-3 Pro. (n.d.). Retrieved from <https://www.skroutz.gr/s/16504698/Creality3D-Ender-3-Pro-%CE%A3%CF%85%CE%BD%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%BF%CF%8D%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF%CF%82-3D-Printer-%CE%BC%CE%B5-%CE%A3%CF%8D%CE%BD%CE%B4%CE%B5%CF%83%CE%B7-USB-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-Card->

CsongorVarga. (n.d.). *Auto Logger - Store Node-Red data in daily CSV files*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=E2aBIqssQLM&t=317s>

CsongorVarga. (n.d.). *Sprinklers control in Node Red*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=6iVs8CGY7uw>

Daskalakis, S. N. (2017). *Backscatter Morse Leaf Sensor for*. Retrieved from ieeexplore.ieee.org: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8233888>

DebasisParida. (n.d.). *pH Meter using Arduino Uno and LCD Display*. Retrieved from circuitdigest.com: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-ph-meter>

devobox. (n.d.). *Water Level Sensor for Arduino*. Retrieved from https://www.devobox.com/el/enviromental/415-water-level-sensor-for-arduino.html?search_query=water+level+sensor&results=138

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

DIYMachines. (n.d.). *Automatic Smart Plant Pot - (DIY, 3D Printed, Arduino, Self Watering, Project)*. Retrieved from <https://www.instructables.com/Automatic-Smart-Plant-Pot-DIY-3D-Printed-Arduino-S/>

DIYMachines. (n.d.). *Automatic Smart Plant Pot - DIY, 3D Printed, Arduino, Self Watering, Project*. Retrieved from <https://www.instructables.com/Automatic-Smart-Plant-Pot-DIY-3D-Printed-Arduino-S/>

docs.arduino.cc. (n.d.). *Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1*. Retrieved from <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics>

Dragino. (n.d.). PG1301 LoRaWAN Concentrator User Manual.

Dragino. (n.d.). PG1301 LoRaWAN Concentrator User Manual.

Ecodev.gr. (n.d.). Retrieved from ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ & Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΟΙΚΟΑΝΑΠΤΥΞΗΣ : <https://ecodev.gr/georgia-akriveias-2/>

e-HealthSystems. (2016). *Wireless Sensor Network*. Retrieved from sciencedirect.com: [https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/wireless-sensor-network#:~:text=A%20wireless%20sensor%20network%20\(WSN,following%20an%20ad%20hoc%20con,figuration.](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/wireless-sensor-network#:~:text=A%20wireless%20sensor%20network%20(WSN,following%20an%20ad%20hoc%20con,figuration.)

ElectronicsNote. (n.d.). *Light Dependent Resistor LDR: Photoresistor*. Retrieved from https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/resistors/light-dependent-resistor-ldr.php

Eln.teilam.gr. (n.d.). Retrieved from <http://www.eln.teilam.gr/sites/default/files/Lesson03.pdf>

ETAPRIME. (n.d.). *How To Install & Set Up Raspberry Pi OS - Pi4 Pi3 Pi2*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=y45hsd2AOpw>

ExplainingComputers. (n.d.). *Raspberry Pi 4 Model B*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=CXCjpJasvG0&t=798s>

FarmStore.eu. (n.d.). Retrieved from N-TESTER® and briefcase (Nitrogen Control of Crops): <https://farm-store.eu/produit/n-tester-and-briefcase/?lang=en>

gatestechzone. (n.d.). Retrieved from <https://www.gatestechzone.com/en/news/2021-06-electric-water-pumps>

GEMALTO. (2017). *SECURING APPLICATION PAYLOADS*. Retrieved from lora-alliance.org: https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/lorawan_security_whitepaper.pdf

Gonzalez, S. (2020). *Robots in Agriculture: Council for Agricultural Science and Technology Outlines Opportunities, Challenges*. Retrieved from grainnet.com.

GreatScott! (n.d.). *"Magical" LEDs let my plants grow faster? (Experiment) The Future of Farming!* Retrieved from youtube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=4FryMPpJG6I>

GreenEnergyParts. (n.d.). *The Solar Guide*. Retrieved from <https://www.greenenergyparts.com/solarguide>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

GREGERSEN, C. (2020). *A Complete Guide to Microcontrollers for IoT*. Retrieved from <https://www.nabto.com/iot-microcontroller-guide/>

grobotronics. (n.d.). *DC Fan 40x40x10mm 5V*. Retrieved from <https://grobotronics.com/dc-fan-40x40x10mm-5v-slide-bearing-ee40100s2.html>

grobotronics. (n.d.). *Photo Resistor LDR 5mm*. Retrieved from <https://grobotronics.com/photo-resistor-ldr-5mm.html?sl=en>

grobotronics. (n.d.). *Raspberry Pi 4 - Model B - 2GB*. Retrieved from <https://grobotronics.com/raspberry-pi-4-model-b-2gb.html>

grobotronics. (n.d.). *Soil Hygrometer / Moisture Detection Module*. Retrieved from <https://grobotronics.com/soil-humidity-sensor.html>

grobotronics. (n.d.). *Transistor NPN 800mA - 2N2222A*. Retrieved from <https://grobotronics.com/transistor-npn-75v-800ma-2n2222a.html>

Hoffman, T. (n.d.). *3D Printing: What You Need to Know*. Retrieved from <https://www.pcmag.com/news/3d-printing-what-you-need-to-know>

hoperf. (n.d.). Retrieved from <https://www.hoperf.com/modules/lora/RFM95.html>

hubspot. (n.d.). *How to Use Excel Like a Pro*. Retrieved from <https://blog.hubspot.com/marketing/how-to-use-excel-tips>

hwlibre. (n.d.). Retrieved from <https://www.hwlibre.com/el/arduino-nano/>

IBM, M. K. (n.d.). *arduino.cc*. Retrieved from <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/mcci-lorawan-lmic-library/>

Igor, I. (2018). *Variable Rate Application in Precision Agriculture*. Retrieved from medium.com: [https://medium.com/remote-sensing-in-agriculture/variable-rate-application-in-precision-agriculture-70a8b2be871d#:~:text=Variable%20rate%20application%20\(VRA\)%20in,sensors%2C%20maps%2C%20and%20gps.](https://medium.com/remote-sensing-in-agriculture/variable-rate-application-in-precision-agriculture-70a8b2be871d#:~:text=Variable%20rate%20application%20(VRA)%20in,sensors%2C%20maps%2C%20and%20gps.)

Imrus Salehin, I. M. (2020). *An Artificial Intelligence Based Rainfall Prediction Using LSTM and Neural Network*. Retrieved from [ieeexplore.ieee.org: https://ieeexplore.ieee.org/document/9398022](https://ieeexplore.ieee.org/document/9398022)

institute, c. e. (n.d.). *Lithium-Ion Battery*. Retrieved from <https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/battery-technology/>

IoT.Business.News. (2020). *LoRaWAN will temporarily replace 5G networks for IoT*. Retrieved from [iotbusinessnews.com: https://iotbusinessnews.com/2020/11/03/90590-lorawan-will-temporarily-replace-5g-networks-for-iot/](https://iotbusinessnews.com/2020/11/03/90590-lorawan-will-temporarily-replace-5g-networks-for-iot/)

i-scoop.eu. (n.d.). Retrieved from Making sense of IoT (Internet of Things) – the IoT business guide: https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/?fbclid=IwAR1TT0h9ZFj3CPBFglFKYW_EVEV1fkS2fqwbDkVwIIBltyHBHCL3nFBMkrg

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

ITPPhysicalComputing. (n.d.). *Transistors, Relays, and Controlling High-Current Loads*. Retrieved from https://itp.nyu.edu/physcomp/lessons/electronics/transistors-relays-and-controlling-high-current-loads/?fbclid=IwAR1DouCBKICGQBWqW4kYTYwkxRX5-c_tr6fQE0MRax1spFPX3K4h9O9w14g

joeknowselectronics. (n.d.). *CN3065 Solar 4.4-6V 500mA Lithium Battery Charging Board*. Retrieved from <https://joeknowselectronics.com/product/000068>

julianSarokin. (n.d.). *HOW-TO: BUILD A SOLAR POWERED RASPBERRY PI*. Retrieved from <https://juliansarokin.com/how-to-build-a-solar-powered-raspberry-pi/>

Kakkar, M. (2019). *LoRaWAN*. Retrieved from mobilefish.com: https://www.mobilefish.com/developer/lorawan/lorawan_quickguide_build_lora_node_rfm95_arduino_uno.html

Kandris, D. et. al. (2020). *Applications of Wireless Sensor Networks: An Up-to-Date Survey*. Retrieved from mdpi.com: <https://www.mdpi.com/2571-5577/3/1/14>

lastminuteengineers. (n.d.). *soil-moisture-sensor-arduino-tutorial*. Retrieved from <https://lastminuteengineers.com/soil-moisture-sensor-arduino-tutorial/>

lastminuteengineers. (n.d.). *water-level-sensor-arduino-tutorial*. Retrieved from <https://lastminuteengineers.com/water-level-sensor-arduino-tutorial/>

LoRaAllianceTechnicalCommittee. (n.d.). *LoRaWAN® Is Secure (but Implementation Matters)*. Retrieved from lora-alliance.org: https://lora-alliance.org/resource_hub/lorawan-is-secure-but-implementation-matters/

Lorrain, R. (2021). *The Future of 5G and LoRaWAN®: Friends or Foes?* Retrieved from blog.semtech.com: <https://blog.semtech.com/the-future-of-5g-and-lorawan-friends-or-foes>

Lutkevich, B. (2019, November). *TechTarget.com*. Retrieved from microcontroller (MCU): <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/microcontroller>

Ma, H.-D. (2011, November). *Internet of Things: Objectives and Scientific Challenges*. Retrieved from Internet of Things: Objectives and Scientific Challenges.

MasonManden. (n.d.). *Send Emails With Your Smart Home Using Node-Red*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=LucZZVO8heU>

matthijskooijman. (2020). *github.com*. Retrieved from <https://github.com/matthijskooijman/arduino-lmic>

Mobilefish. (n.d.). *Build LoRa node using Arduino Uno and HopeRF RFM95 LoRa transceiver module*. Retrieved from https://www.mobilefish.com/developer/lorawan/lorawan_quickguide_build_lora_node_rfm95_arduino_uno.html

Mobilefish. (n.d.). *LoRa/LoRaWAN tutorial 20: LoRa End Node Libraries*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=0dnnqToK28A&list=PLmL13yqb6OxdeOi97EvI8QeO8o-PqeQ0g&index=22>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Mobilefish. (n.d.). *LoRa/LoRaWAN tutorial 21: OTAA, ABP and LoRaWAN Security*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=KrNDOBzhxeM&list=PLmL13yqb6OxdeOi97EvI8QeO8o-PqeQ0g&index=23>

Mobilefish. (n.d.). *LoRa/LoRaWAN tutorial 22: OTAA and Uplink Demonstration With The Things Network*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=d8q-hZLI6I&list=PLmL13yqb6OxdeOi97EvI8QeO8o-PqeQ0g&index=22>

Mobilefish. (n.d.). *LoRa/LoRaWAN tutorial 26: Sending Sensor Data To The Things Network*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=EMoZ9taGZR&t=4s>

Mobilefish. (n.d.). *LoRa/LoRaWAN tutorial 53: Payload Formatters (V3), fport and json*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=yzd90TkCa54&t=835s>

Mobilefish. (n.d.). *LoRa/LoRaWAN tutorial 58: Uplink and downlink messages using the Paho MQTT Python client library*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=k5-1o8WifQM>

Mobilefish. (n.d.). *Sending messages to/from The Things Stack Community Edition (V3)*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=NboIRfoWE0Y&list=PLmL13yqb6OxdeOi97EvI8QeO8o-PqeQ0g&index=59>

Munish. (2020). *ARDUINO - ICSP, AREF, and .Hex File*. Retrieved from [c-sharpcorner.com: https://www.c-sharpcorner.com/article/hex-file-and-icsp-pins-of-arduino/](https://www.c-sharpcorner.com/article/hex-file-and-icsp-pins-of-arduino/)

naftemporiki. (2021, Μάιος Δευτέρα). «Εξυπνο», ελεγχόμενο εξ αποστάσεως θερμοκήπιο για περιοχές με «δύσκολο» κλίμα. Retrieved from [naftemporiki.gr: https://www.naftemporiki.gr/story/1732757](https://www.naftemporiki.gr/story/1732757)

Nikolidakis, S. et.al. (2015). *Energy efficient automated control of irrigation in agriculture by using wireless sensor networks*. Retrieved from [researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/274264066_Energy_efficient_automated_control_of_irrigation_in_agriculture_by_using_wireless_sensor_networks](https://www.researchgate.net/publication/274264066_Energy_efficient_automated_control_of_irrigation_in_agriculture_by_using_wireless_sensor_networks)

nodered. (n.d.). *Node-RED*. Retrieved from <https://nodered.org/>

nootropicdesign. (n.d.). *Using LoRaWAN End Devices on The Things Network*. Retrieved from <https://www.hackster.io/nootropicdesign/using-lorawan-end-devices-on-the-things-network-206a86>

oceanos. (n.d.). *SO, WHAT IS THIS ~ OKEANOS THING ?* Retrieved from [oceanos.grnet.gr: https://oceanos.grnet.gr/about/what/](https://oceanos.grnet.gr/about/what/)

oracle. (n.d.). *What is IoT?* Retrieved from <https://www.oracle.com/in/internet-of-things/what-is-iot/>

ot.gr. (2022, 03 17). Retrieved from Πόλεμος στην Ουκρανία: Αλλαγές στην ευρωπαϊκή γεωργία για να διασφαλιστεί η διατροφική επάρκεια: <https://www.ot.gr/2022/03/17/diethni/polemos-stin-oukrania-allages-stin-eyropaiki-georgia-gia-na-diasfalistei-i-diatrofiki-eparkeia/>

Part 3 - Accessing Raspberry Pi from SSH via PuTTY in Windows 10. (n.d.). Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=uNStEDWnPXY&t=110s>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

pcboard.ca. (n.d.). *Flame Sensor Module*. Retrieved from pcboard.ca: <https://www.pcboard.ca/flame-sensor-module>

pencil on the moon. (2021, Ιανουάριος 19). Retrieved Νοέμβριος 1, 2021, from <https://www.pencilonthemoon.gr/i-epanastasi-tis-eksynnis-georgias-ksekinaei-me-ta-rompot/?fbclid=IwAR2Fw8wdOYQy5QGgFJZBgvqo1Vimp8SSDbLkyCWeES0Rrh4Lq61ohO8MjHcw>

pert. (2018). *avrdude: stk500_getsync() attempt 10 of 10: not in sync: resp=0x00*. Retrieved from forum.arduino.cc: https://forum.arduino.cc/t/avrdude-stk500_getsync-attempt-10-of-10-not-in-sync-resp-0x00/509854/10

PotentialLabs. (n.d.). *Submersible Pump Mini*. Retrieved from <https://potentiallabs.com/cart/Buy-micro-dc-3-6v-submersible-pump-mini-water-pump-online-hyderabad-india>

Precision Agriculture stock illustrations. (n.d.). Retrieved from istockphoto: <https://www.istockphoto.com/illustrations/precision-agriculture>

prin.gr. (n.d.). Retrieved from <https://prin.gr/2017/01/%CE%B7-%CF%84%CE%AD%CF%84%CE%B1%CF%81%CF%84%CE%B7-%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B5%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7/>

ProjectHub. (n.d.). *How to Use a Rain Sensor*. Retrieved from create.arduino.cc: <https://create.arduino.cc/projecthub/MisterBotBreak/how-to-use-a-rain-sensor-bcecd9>

ProjectHub. (n.d.). *PIR Motion Sensor: How to Use PIRs w/ Arduino & Raspberry Pi*. Retrieved from create.arduino.cc: <https://create.arduino.cc/projecthub/electropeak/pir-motion-sensor-how-to-use-pirs-w-arduino-raspberry-pi-18d7fa>

Raspberry Pi 4 Model B 2GB. (n.d.). Retrieved from <https://www.skroutz.gr/s/19390846/Raspberry-Pi-4-Model-B-2GB.html#description>

Raspberry Pi GPIO connector. (n.d.). Retrieved from <https://docs.aws.amazon.com/greengrass/v1/developerguide/raspberrypi-gpio-connector.html>

Real Filament ABS 1.75mm Black 1kg. (n.d.). Retrieved from <https://www.skroutz.gr/s/13049533/Real-Filament-ABS-1-75mm-Black-1kg.html>

Ruotsalainen, H. (2018). *LoRaWAN network components and their interconnections*. Retrieved from researchgate.net: https://www.researchgate.net/figure/LoRaWAN-network-components-and-their-interconnections_fig1_327005939

Soilscout. (n.d.). *The Most Advanced Wireless*. Retrieved from soilscout.com: <https://soilscout.com/solution/wireless-soil-moisture-sensor>

sowashi. (n.d.). Retrieved from <https://github.com/openwave-co-jp/arduino-lmic-master-for-LG01-JP/blob/master/README.md>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Stephan Hussmann, F. J. (2019). *Development and evaluation of a low-cost delta robot system for weed control applications in organic farming*. Retrieved from [ieeexplore.ieee.org](https://ieeexplore.ieee.org/document/8826959):
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8826959>

Stokking, J. (2017). *The Things Network Architecture*. Retrieved from
<https://www.thethingsnetwork.org/article/the-things-network-architecture-1>

SuperHouseTV. (n.d.). *SuperHouse #41: Datalogging with MQTT, Node-RED, InfluxDB, and Grafana*. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=ffg3_1AgtyA

sussex.ac. (n.d.). *PuTTY*. Retrieved from
<https://www.sussex.ac.uk/its/services/software/owncomputer/putty>

thethingsindustries. (n.d.). *Send Messages*. Retrieved from
<https://www.thethingsindustries.com/docs/integrations/node-red/send/>

thethingsnetwork. (n.d.). *COMMUNITIES*. Retrieved from <https://www.thethingsnetwork.org/community>

thethingsnetwork. (n.d.). *Device Classes*. Retrieved from
<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/classes/>

TheThingsNetwork. (n.d.). *Integrating Node RED with The Things Stack*. Retrieved from
<https://www.youtube.com/watch?v=RqNntBJXyOo>

thethingsnetwork.org. (2015). Retrieved from What are LoRa and LoRaWAN?:
https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/?fbclid=IwAR2PfHu6ytN5byYbRZCFqR-BxtDHg_MEBXDVNLLk6AnSIAFQWj8sr1AUCpw

ubidots. (n.d.). *How to install Node-RED in Raspberry Pi*. Retrieved from
<https://help.ubidots.com/en/articles/1958375-how-to-install-node-red-in-raspberry-pi>

u-blox. (n.d.). *MQTT beginner's guide*. Retrieved from <https://www.u-blox.com/en/blogs/insights/mqtt-beginners-guide>

Vegetronix. (n.d.). *Stop Over-Watering With Soil Moisture Sensors*. Retrieved from [vegetronix.com](https://vegetronix.com/Products/VH400/):
<https://vegetronix.com/Products/VH400/>

viologika.gr. (n.d.). Retrieved from <https://www.viologika.gr/blog/kalliergeies/paradosiaki-kalliergeia/>

Wang, Y. (2022). *IDTechEx Outlines the Future of the Agricultural Robotics Industry*. Retrieved from [idtechex.com](https://www.idtechex.com/it/research-article/idtechex-outlines-the-future-of-the-agricultural-robotics-industry/25744):
<https://www.idtechex.com/it/research-article/idtechex-outlines-the-future-of-the-agricultural-robotics-industry/25744>

wikipedia. (n.d.). *Arduino Uno*. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno

wikipedia. (n.d.). *Raspberry Pi OS*. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi_OS

wikipedia. (n.d.). *SketchUp*. Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/SketchUp>

wikipedia. (n.d.). *SSH*. Retrieved from <https://el.wikipedia.org/wiki/SSH>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Worldbank.org. (2021, 04 05). Retrieved from CLIMATE-SMART AGRICULTURE:

<https://www.worldbank.org/en/topic/climate-smart-agriculture>

xypron. (2018). *Dual Channel LoRaWAN Gateway (Up and Downlink)*. Retrieved from github.com:

https://github.com/xypron/dual_chan_pkt_fwd

yara.gr. (n.d.). Retrieved from Καλλιέργειες: <https://www.yara.gr/threpsi-lipansi/gewrgia-akriveias/n-tester/>

zipy. (n.d.). *CN3065 Mini Solar Lithium Battery Charger Board Lipo Battery Charging Module Solar Panel Micro USB for Arduino Outdoor Camping*. Retrieved from <https://www.zipy.gr/p/ali/cn3065-mini-solar-lithium-battery-charger-board-lipo-battery-charging-module-solar-panel-micro-usb-for-arduino-outdoor-camping/33053533761/>

Βιομηχανία 4.0. (2021, Αύγουστος 6). Retrieved from

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%AF%CE%B1_4.0

Γέμτος Θ., Φ. Σ. (n.d.). *Εφαρμογές και προοπτική γεωργίας ακριβείας στην Ελλάδα*. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Internet of Things (IoT) - SMART AGRICULTURE. (2016, Δεκέμβριος 7). Retrieved from

<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=j4HBIOf5ZDA>

Λαλούσης, Ν. (2019, Σεπτέμβριος 28). *apothesis*. Retrieved Νοέμβριος 1, 2021, from

<https://apothesis.eap.gr/handle/repo/44207>

Νάκκα, Α. (n.d.). Retrieved from <http://3epal-ioann.ioa.sch.gr/wp-content/uploads/thematiki-enotita.pdf>

Πατρικάκης, Χ. (n.d.). *Δίκτυα Ηλεκτρονικών Υπολογιστών*. Retrieved from

file:///C:/Users/foivo/Desktop/%CE%A3%CE%A7%CE%9F%CE%9B%CE%97%CE%BF%20%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%BC%CE%B7%CE%BD%CE%BF/Diktua_Ypologistwn/Computer%20Networks%20v2.2.pdf

Πλευριτάκης, Γ. (n.d.). Retrieved from learnelectronics: <https://learnelectronics.gr/%CF%84%CE%BF-%CF%80%CF%81%CF%89%CF%84%CF%8C%CE%BA%CE%BF%CE%BB%CE%BB%CE%BF-%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%AF%CE%B1%CF%82-spi/>

Σοφός, Β. (2020, 04 06). *Οι χαμηλού κόστους αισθητήρες εδάφους Sensoterra στα χωράφια όλου του κόσμου*. Retrieved from Agronews: <https://www.agronews.gr/tech/183525/oi-hamilou-kostous-aisthitires-edafous-sensoterra-sta-horafia-olou-tou-kosmou/>

Φουντάς, Σ., & Γέμτος, Θ. (2015). *Γεωργία ακριβείας*. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.

Χαρού, Α. (2016). *Farmacon.com*. Retrieved from Γεωργία Ακριβείας VS Συμβατική Γεωργία:

<https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/georgia-akriveias/item/1300-georgia-akriveias-vs-symvatiki-georgia>

Σχεδίαση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος συλλογής, μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων για γεωργικές εφαρμογές

Χαρού, Α. (2016). *Farmacon.gr*. Retrieved from Γεωργία ακριβείας: βασικές τεχνολογίες και έννοιες: <https://blog.farmacon.gr/katigories/tehniki-arthrografia/georgia-akriveias/item/1309-i-texnologa-tis-georgias-akriveias>