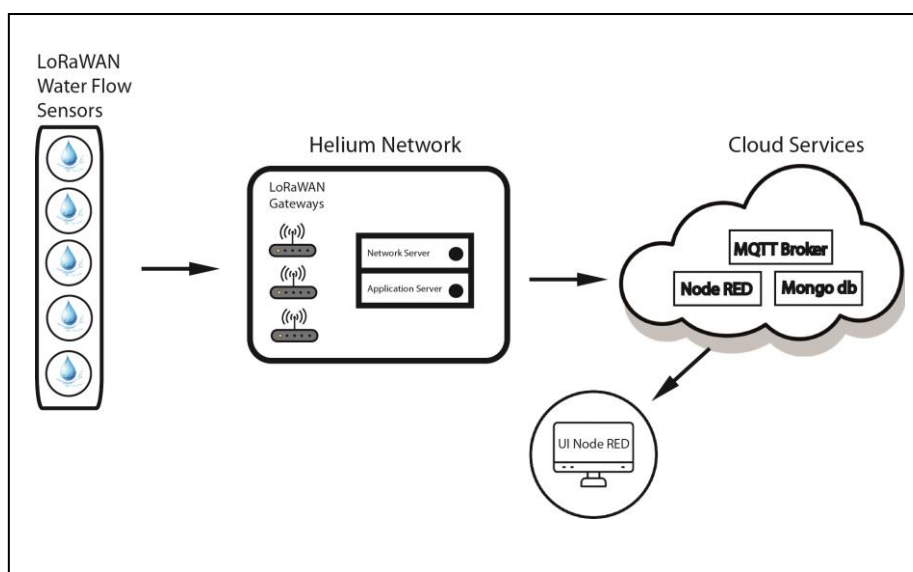


Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΥΦΥΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευφυές δίκτυο ροόμετρων με χρήση τεχνολογιών IoT



Μεταπτυχιακός Φοιτητής: Κωνσταντίνος Αλεξόπουλος, ΑΜ: msciot20000

Επιβλέπων: Γρηγόριος Κουλούρας, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΜΑΪΟΣ 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

FACULTY OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

---

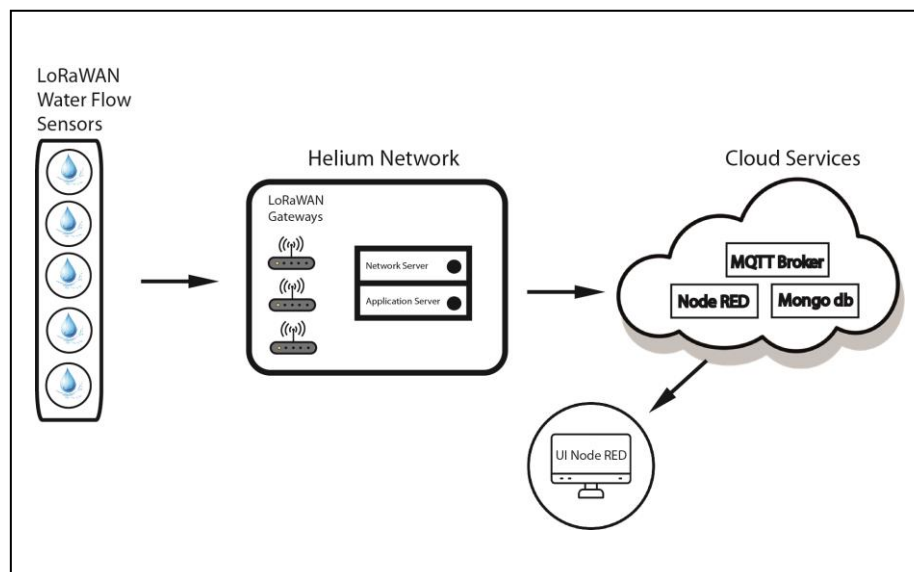
**Master of Science in  
“INTERNET of THINGS AND INTELLIGENT ENVIRONMENTS”**

---

**MSc Thesis**

---

**Intelligent network of flow meters using IoT technologies**



---

Student: Konstantinos Alexopoulos, Registration Number msciot20000

MSc Thesis Supervisor: Dr. Grigorios Koulouras, Associate Professor

**ATHENS-EGALEO, MAY 2024**

---

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

| <b>Γρηγόριος Κουλούρας</b><br>Αναπληρωτής Καθηγητής<br>(Επιβλέπων) | <b>Ξενοφών-Διονύσιος Κανδρής</b><br>Καθηγητής<br>(Μέλος) | <b>Παναγιώτης Παπαγέωργας</b><br>Καθηγητής<br>(Μέλος) |
|--|--|---|
|  |  |   |

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Κωνσταντίνος Αλεξόπουλος,**

**Μάιος, 2024**

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.

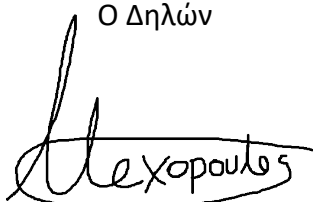
### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κωνσταντίνος Αλεξόπουλος του Θεοδώρου, με αριθμό μητρώου msciot20000, 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  


Κωνσταντίνος Αλεξόπουλος

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μέτρηση της ροής του νερού είναι κομβικής σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση και εξοικονόμηση νερού. Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει μια λύση χαμηλού κόστους και κατανάλωσης ενέργειας για τη μέτρηση της ροής του νερού χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα συνδεδεμένο σε μια μονάδα Adafruit Feather M0 LoRa Radio, που στέλνει μηνύματα μέσω LoRaWAN αξιοποιώντας το δίκτυο Helium. Αυτό στο οποίο αποσκοπεί είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος εύκολου στην εγκατάσταση, τη λειτουργία και τη συντήρηση, το οποίο ταυτόχρονα παρέχει ακριβή και αξιόπιστη μέτρηση της ροής του νερού.

Η διπλωματική εργασία ξεκινά με μια ανασκόπηση της θεωρίας και του ιστορικού της μέτρησης της ροής του νερού και των τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας. Προσεγγίζονται οι αρχές της μέτρησης της ροής του νερού, συμπεριλαμβανομένης της εξίσωσης συνέχειας και της φυσικής της ροής του νερού μέσω των σωλήνων. Εξηγείται, επίσης, το πρωτόκολλο LoRaWAN και τα χαρακτηριστικά της ραδιομονάδας Adafruit Feather M0 LoRa.

Η φάση σχεδιασμού και ανάπτυξης του συστήματος εμπεριέχει την ενσωμάτωση του αισθητήρα YF-201 με τη ραδιομονάδα Adafruit Feather M0 LoRa. Το Arduino IDE χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό του συστήματος, έτσι ώστε μέσω των απαραίτητων διεργασιών να υπολογίζεται ο ρυθμός ροής και ο όγκος νερού που καταναλώνεται.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το σύστημα που αναπτύχθηκε μετρά αξιόπιστα και με ακρίβεια τη ροή του νερού, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για διάφορες εφαρμογές διαχείρισης νερού. Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας του επιτρέπει την παρατεταμένη λειτουργία με μπαταρία. Ωστόσο, εντοπίστηκαν περιορισμοί σχετικά με την εμβέλεια και τον ρυθμό δεδομένων του πρωτοκόλλου LoRaWAN.

Συμπερασματικά, η παρούσα διπλωματική εργασία προτείνει μια οικονομική και αποτελεσματική λύση για τη μέτρηση της ροής του νερού μέσω της χρήσης ενός αισθητήρα συνδεδεμένου σε μια ραδιομονάδα LoRa Feather M0 της Adafruit. Πλεονεκτήματα του συστήματος αποτελούν η εύκολη εγκατάσταση, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και οι δυνατότητες ασύρματης επικοινωνίας. Οι μελλοντικές εργασίες θα μπορούσαν να εστιάσουν στην επέκταση των δυνατοτήτων του συστήματος και στη βελτιστοποίηση της απόδοσής του. Το σύστημα που αναπτύχθηκε έχει τη δυνατότητα να συμβάλει στη βελτίωση των πρακτικών διαχείρισης των υδάτων, να προωθήσει την αποτελεσματική κατανομή των πόρων και να υποστηρίξει τις προσπάθειες βιώσιμης ανάπτυξης.

**ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ:** Adafruit Feather M0, LoRaWAN, Λύσεις χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, Μέτρηση ροής νερού, Τεχνολογία αισθητήρων.

## ABSTRACT

Water flow metering is crucial for effective water management and conservation. This thesis presents a low-cost and low-power solution for water flow measurement using a sensor attached to an Adafruit Feather M0 LoRa Radio Module that sends messages on LoRaWAN. The objective was to develop a system that provides accurate and reliable measurement of water flow while being easy to install, operate and maintain.

The thesis begins with a review of the theory and background of water flow measurement and wireless communication technologies. The principles of water flow metering, including the continuity equation and the physics of water flow through pipes, are discussed. The LoRaWAN protocol and the features of the Adafruit Feather M0 LoRa Radio Module are also explained.

The system design and development phase involved integrating the YF-201 sensor with the Adafruit Feather M0 LoRa Radio Module. The Arduino IDE was used to program the system and implement the necessary calculations for flow rate and volume.

Results show that the developed system successfully measures water flow with accuracy and reliability, making it suitable for various water management applications. The low power consumption of the system enables prolonged operation on battery power. However, limitations related to the range and data rate of the LoRaWAN protocol were identified and discussed.

In conclusion, this thesis contributes a cost-effective and efficient solution for water flow measurement using a sensor attached to an Adafruit Feather M0 LoRa Radio Module. The system's advantages include easy installation, low power consumption, and wireless communication capabilities. Future work could focus on expanding the capabilities of the system and optimizing its performance. The developed system has the potential to enhance water management practices, promote efficient resource allocation, and support sustainable development efforts.

**KEYWORDS:** Adafruit Feather M0, LoRaWAN, Low-cost and low-power solutions, Sensor technology, Water flow metering.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Η υποστήριξη και η ενθάρρυνση που έλαβα ήταν ανεκτίμητη σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Πρώτα από όλα, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στη σύζυγό μου Δανάη και στο γιο μου Θοδωρή για την στήριξη τους, την αστείρευτη υπομονή, την κατανόηση και την αγάπη τους καθ' όλη τη διάρκεια των πολλών ωρών έρευνας και συγγραφής. Είμαι βαθιά ευγνώμων για τη συνεχή υποστήριξη τους.

Ευχαριστώ τους εκπαιδευτικούς μου για την ανεκτίμητη καθοδήγηση και την διαρκή υποστήριξη τους. Η επιστημονική τους γνώση επηρέασε σημαντικά την ακαδημαϊκή μου διαδρομή και είμαι τυχερός που έχω επωφεληθεί από τις γνώσεις τους.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στους συμφοιτητές μου. Η φιλία και ο συλλογικός τους ενθουσιασμός ήταν τα στοιχεία που δημιούργησαν ένα θετικό και ενθαρρυντικό περιβάλλον, καθιστώντας αυτήν την ακαδημαϊκή προσπάθεια ακόμη πιο ανταποδοτική.

Παράλληλα, ο χώρος εργασίας μου και η συναδελφικότητα που μου προσέφερε, συνετέλεσε καθοριστικά στην απρόσκοπτη αφοσίωσή μου στην εκπαιδευτική διαδικασία. Οι συζητήσεις και η ανταλλαγή τεχνικών και τεχνολογικών γνώσεων ήταν καθοριστική.

Τέλος, να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους μου παρείχαν βοήθεια, σχόλια και ενθάρρυνση κατά τη διάρκεια αυτής της διατριβής. Οι συνεισφορές τους συνέβαλαν καθοριστικά στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος.

Με ειλικρινή εκτίμηση,

Κωνσταντίνος Αλεξόπουλος

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ-ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ-ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

**ALPHA:** Πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης που επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων μέσω ενός κοινού καναλιού δικτύου.

**API** “Application Programming Interface”: Είναι ένα σύνολο κανόνων που επιτρέπουν στις εφαρμογές λογισμικού να επικοινωνούν και να μοιράζονται δεδομένα απρόσκοπτα.

**Blockchain:** Είναι ένα αποκεντρωμένο, κατακευματισμένο και δημόσιο ψηφιακό βιβλίο που χρησιμοποιείται για την καταγραφή συναλλαγών σε πολλούς υπολογιστές, έτσι ώστε η εγγραφή να μην μπορεί να τροποποιηθεί αναδρομικά χωρίς την αλλαγή όλων των επόμενων μπλοκ και τη συναίνεση του δικτύου.

**Consensus mechanism:** Πρωτόκολλο στην τεχνολογία του blockchain και των κατακευματισμένων συστημάτων. Αναφέρεται στην διαδικασία με την οποία ένα δίκτυο κόμβων συμφωνεί σχετικά με την κατάσταση του συστήματος ή την εγκυρότητα των συναλλαγών.

**COTS** “Commercial-Off-The-Shelf”: Είναι λογισμικό μαζικής παραγωγής προσβάσιμο σε όλους.

**CPS** “Cyber-physical systems”: Τα κυβερνοφυσικά συστήματα είναι μηχανικά συστήματα όπου οι λειτουργίες και οι ιδιότητες τους προκύπτουν από τη δικτυωμένη αλληλεπίδραση υπολογιστικών και φυσικών στοιχείων.

**Downlink:** Διαδικασία λήψης δεδομένων για σκοπούς ελέγχου.

**DoS** “Denial-of-Service”: Είναι επιθέσεις οι οποίες πλημμυρίζουν ένα σύστημα, ένα διακομιστή ή ένα δίκτυο με υπερβολική κίνηση για να διαταράξουν ή να απενεργοποιήσουν την κανονική λειτουργία του, καθιστώντας το μη διαθέσιμο στους χρήστες.

**IBM Lmic:** Είναι μια εφαρμογή λογισμικού του πρωτοκόλλου LoRaWAN για ασύρματη επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας και χαμηλής κατανάλωσης.

**IoT** “Internet of Things”: Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αναφέρεται σε ένα δίκτυο που αποτελείται από φυσικά αντικείμενα ικανά να συλλέγουν και να μοιράζονται ηλεκτρονικές πληροφορίες

**JavaScript:** Γλώσσα προγραμματισμού για τη δημιουργία διαδραστικού και δυναμικού περιεχομένου σε ιστότοπους.

**JSON:** Μορφή ανταλλαγής δεδομένων. Εύκολο για ανθρώπους και μηχανές. Ζεύγη κλειδιού-τιμής.

**JST jack:** Μικρός ηλεκτρικός σύνδεσμος

**LBT** “Listen Before Talk”: Είναι ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στην ασύρματη επικοινωνία για να προσδιορίσει εάν ένα κανάλι είναι καθαρό πριν από τη μετάδοση δεδομένων.

**LSB** “Least Significant Bit”: Είναι το bit χαμηλότερης τάξης σε ένα δυαδικό αριθμό που μεταδίδεται και είναι το τελευταίο προς τα δεξιά.

**Lilon Battery:** Επαναφορτιζόμενη μπαταρία ιόντων λιθίου.

**LiPoly Battery:** Επαναφορτιζόμενη μπαταρία πολυμερών λιθίου.

**Lorentz Power:** Η δύναμη Λόρεντζ είναι η δύναμη που ασκείται σε ένα φορτισμένο σωματίδιο που βρίσκεται μέσα σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

**MATLAB:** Είναι μια γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου και χρησιμοποιείται κυρίως για αριθμητικούς υπολογισμούς, επιστημονικές και μηχανικές εφαρμογές.



**MQTT** “Message Queuing Telemetry Transport”: Ελαφρύ και ανοιχτού κώδικα πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων που έχει σχεδιαστεί για μικρούς αισθητήρες και κινητές συσκευές.

**MSB** “Most Significant Bit”: Είναι το bit σε ένα δυαδικό αριθμό που μεταδίδεται πρώτο σε μία ακολουθία και είναι το πρώτο από αριστερά.

**NB-IoT** “Narrowband Internet of Things”: Είναι μια τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας IoT χαμηλής κατανάλωσης.

**Node.js**: Είναι μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα, που επιτρέπει να εκτελείτε JavaScript στον υπολογιστή/server, διευκολύνοντας τη δημιουργία εφαρμογών ιστού.

**Packet Forging**: Είναι μια μορφή κυβερνοεπίθεσης που δημιουργεί και στέλνει πακέτα δικτύου για να αποκτήσει μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση ή να διακόψει την επικοινωνία.

**QoS** “Quality of Service”: Είναι μια τεχνική διαχείρισης δικτύου για την ιεράρχηση ορισμένων τύπων κίνησης δεδομένων με γνώμονα τη βέλτιστη απόδοση.

**Replay Attacks**: Επιθέσεις που περιλαμβάνουν τη μη εξουσιοδοτημένη αναμετάδοση δεδομένων, η οποία ενδέχεται να οδηγήσει σε παραβιάσεις ασφάλειας και σε μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στο σύστημα.

**SF** “Spreading Factor”: Είναι ο παράγοντας διασποράς που ελέγχει το εύρος μεταδόσεις του σήματος στο LoRaWAN. Ένα μεγάλο SF αυξάνει το εύρος επικοινωνίας, αλλά μειώνει την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων.

**Sigfox**: Πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας σχεδιασμένο για συσκευές IoT. Παρέχει συνδεσιμότητα μεγάλης εμβέλειας και χαμηλού κόστους.

**The Things Network**: Είναι ένα δίκτυο IoT ανοιχτού κώδικα που βασίζεται στην κοινότητα και χρησιμοποιεί την τεχνολογία LoRaWAN για να επιτύχει την επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας και χαμηλής κατανάλωσης για συσκευές IoT.

**ThinkSpeak**: Είναι μια πλατφόρμα IoT ανοιχτού κώδικα που επιτρέπει στους χρήστες να συλλέγουν και να αναλύουν δεδομένα από αισθητήρες ή συσκευές και να τα οπτικοποιούν σε πραγματικό χρόνο

**Unix epoch**: Σημείο αναφοράς στο χρόνο που χρησιμοποιείται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και ορίζεται ως ο αριθμός των δευτερολέπτων που έχουν περάσει από τις 00:00:00 UTC της 1ης Ιανουαρίου 1970, χωρίς να υπολογίζονται τα δίσεκτα δευτερόλεπτα.

**Uplink**: Διαδικασία μετάδοσης δεδομένων

**USB receptacle connector**: Το θηλυκό τμήμα μιας θύρας USB.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|   |    |
|---|----|
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ Αντικείμενο, ερευνητικά ερωτήματα και διάρθρωση της εργασίας ..... | 14 |
| 1.1 Ιστορικό .....  | 14 |
| 1.2 Δήλωση του προβλήματος .....  | 14 |
| 1.3 Λύση του προβλήματος.....   | 14 |
| 1.4 Στόχοι.....   | 14 |
| 1.5 Πεδίο εφαρμογής και περιορισμοί .....                                   | 15 |
| 1.6 Οργάνωση της διπλωματικής εργασίας.....                                 | 15 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Ανασκόπηση βιβλιογραφίας .....                                   | 16 |
| 2.1 Σχετικές εργασίες .....   | 16 |
| 2.2 Θεωρία και αρχές μέτρησης νερού .....                                   | 17 |
| 2.3 Τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας ανταλλαγής μηνυμάτων.....            | 20 |
| 2.4.1 Η Τεχνολογία LoRa .....   | 24 |
| 2.4.2 Ασφάλεια .....  | 29 |
| 2.4.3 Πιθανές επιθέσεις.....  | 30 |
| 2.5 Το δίκτυο Helium LoRaWAN.....   | 31 |
| 2.6 Πλατφόρμα Node-RED .....  | 32 |
| 2.7 Τεχνολογία Virtual Machine .....  | 32 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Σχεδίαση συστήματος.....   | 33 |
| 3.1 Αρχιτεκτονική συστήματος.....   | 33 |
| 3.1.1 Αισθητήρας ροής νερού YF-201 .....                                    | 34 |
| 3.1.2 Adafruit Feather M0 LoRa Radio Module .....                           | 34 |
| 3.1.3 Δίκτυο Helium και το πρωτόκολλο LoRaWAN .....                         | 35 |
| 3.1.4 Πρωτόκολλο MQTT .....   | 35 |
| 3.1.5 Πλατφόρμα Node-RED.....   | 35 |
| 3.1.7 Άτλας MongoDB.....  | 36 |
| 3.2. Ροή εργασιών συστήματος .....  | 36 |
| 3.2.1 Συλλογή δεδομένων .....   | 36 |
| 3.2.2 Επικοινωνία MQTT.....   | 36 |
| 3.2.3 Επεξεργασία με την πλατφόρμα Node-RED .....                           | 36 |
| 3.2.4 Οπτικοποίηση πίνακα οργάνων .....                                     | 36 |
| 3.2.5 Αποθήκευση στη MongoDB.....   | 37 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Πειραματική Εφαρμογή.....  | 38 |
| 4.1 Υλισμικό (Hardware).....  | 38 |
| 4.1.2 Αισθητήρας ροής YF-S201 .....   | 38 |
| Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Κωνσταντίνος Αλεξόπουλος, AM: msciot20000 | 10 |

|   |    |
|---|----|
| 4.2.2 Adafruit Feather M0 LoRa.....       | 39 |
| 4.2 Λογισμικό (Software).....             | 42 |
| 4.2.1 Helium network .....                | 42 |
| 4.2.2 IDE .....                           | 46 |
| 4.2.3 MQTT – HIVEMQ.....                  | 48 |
| 4.2.4 AzureVM .....                       | 49 |
| 4.2.5 Node-RED .....                      | 50 |
| 4.2.6 MongoDB Atlas .....                 | 54 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Υλικά και Μέθοδοι.....         | 57 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπεράσματα – Προτάσεις ..... | 60 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....                        | 61 |

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 1 – Αισθητήρας ροής στροβίλου .....  | 19 |
| Εικόνα 2 – Απαιτούμενος ρυθμός δεδομένων έναντι εμβέλειας ασύρματης επικοινωνίας (Mekki et al., 2019) ..... | 20 |
| Εικόνα 3 – Γεωγραφική κάλυψη ασύρματης επικοινωνίας (Chaudhari et al., 2020) .....                          | 21 |
| Εικόνα 4 – Εφαρμογές Έξυπνης Πόλης .....  | 22 |
| Εικόνα 5 – Τοπολογία δικτύου LoRaWAN .....  | 23 |
| Εικόνα 6 – Αναπαράσταση bit στο LoRaWAN (Silva et al., 2023).....   | 24 |
| Εικόνα 7 – Spreading Factors (Aras et al., 2017).....   | 27 |
| Εικόνα 8 - Τεχνολογία LoRaWAN .....   | 28 |
| Εικόνα 9 – Οικοσύστημα Helium (Reyneke et al., 2023) .....  | 31 |
| Εικόνα 10 – Διάγραμμα ροής LoRaWAN 868MHz Water Flow Sensors .....  | 33 |
| Εικόνα 11 – Ο αισθητήρας ροής .....   | 34 |
| Εικόνα 12 – Η Ραδιομονάδα .....   | 35 |
| Εικόνα 13 – Χαρακτηριστικά αισθητήρα ροής YF-S201.....  | 38 |
| Εικόνα 14 – Στοιχεία του αισθητήρα ροής YF-S201.....  | 39 |
| Εικόνα 15 – Η ραδιομονάδα συνδεδεμένη με το αισθητήρα ροής.....   | 39 |
| Εικόνα 16 – Πάνω όψη πλακέτας ραδιομονάδας.....   | 40 |
| Εικόνα 17 – Κάτω όψη πλακέτας ραδιομονάδας .....  | 40 |
| Εικόνα 18 – Σύνδεση ραδιομονάδας με αισθητήρα και USB Power Bank.....                                       | 41 |
| Εικόνα 19 – Ραδιομονάδα συνδεδεμένη με μπαταρία LiPoly.....   | 41 |
| Εικόνα 20 – Απεικόνιση κατανάλωσης στον παλμογράφο .....  | 42 |
| Εικόνα 21 – Κονσόλα πλατφόρμας Helium.....  | 43 |
| Εικόνα 22 – Δημιουργία εικονικής συσκευής στην πλατφόρμα Helium.....  | 43 |
| Εικόνα 23 – Στοιχεία εικονικής συσκευής που δημιουργήθηκε στην πλατφόρμα Helium ....                        | 44 |
| Εικόνα 24 – Δημιουργία λειτουργίας Cayenne LPP στην πλατφόρμα Helium.....                                   | 44 |
| Εικόνα 25 – Δημιουργία ενσωμάτωσης MQTT στην πλατφόρμα Helium.....  | 45 |
| Εικόνα 26 – Απεικόνιση της ροής εργασιών στην πλατφόρμα Helium.....   | 45 |
| Εικόνα 27 – Απεικόνιση της μετάδοσης δεδομένων προς το δίκτυο Helium .....                                  | 46 |
| Εικόνα 28 – Εισαγωγή URL για την εγκατάσταση της πλακέτας υλικού .....                                      | 46 |
| Εικόνα 29 – Στοιχεία εικονικής συσκευής στη πλατφόρμα Helium .....  | 47 |
| Εικόνα 30 – Δημιουργία MQTT topic.....  | 48 |
| Εικόνα 31 – MQTT μήνυμα από την πλατφόρμα Helium .....  | 49 |
| Εικόνα 32 – Δημιουργία Virtual Machine στην πλατφόρμα Azure .....   | 49 |
| Εικόνα 33 – Ροή εργασιών στην πλατφόρμα Node-RED .....  | 50 |
| Εικόνα 34 – Ροή εργασιών για τον αισθητήρα ροής νερού στην πλατφόρμα Node-RED .....                         | 51 |
| Εικόνα 35 – Ροή εργασιών για τον αισθητήρα θερμοκρασίας/υγρασίας στην πλατφόρμα Node-RED .....              | 51 |
| Εικόνα 36 – Απεικόνιση δεδομένων στο UI του Node-RED.....   | 51 |

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 37 – Ροή εργασιών για την αποστολή των δεδομένων κατανάλωσης νερού στην πλατφόρμα MongoDB Atlas.....     | 52 |
| Εικόνα 38 – Ροή εργασιών για την αποστολή των δεδομένων θερμοκρασίας/υγρασίας στην πλατφόρμα MongoDB Atlas..... | 52 |
| Εικόνα 39 – Μορφοποίηση δεδομένων κατανάλωσης νερού για δημιουργία πίνακα .....                                 | 52 |
| Εικόνα 40 – Μορφοποίηση δεδομένων θερμοκρασίας/υγρασίας για δημιουργία πίνακα ...                               | 53 |
| Εικόνα 41 – Οπτικοποίηση δεδομένων σε πίνακα στο UI της πλατφόρμας Node-RED.....                                | 53 |
| Εικόνα 42 – Δημιουργία αρχικού Project στην πλατφόρμα MongoDB Atlas.....  | 54 |
| Εικόνα 43 – Δημιουργία Cluster στην πλατφόρμα MongoDB Atlas .....   | 54 |
| Εικόνα 44 – Συλλογή και δημιουργία βάσης δεδομένων στην πλατφόρμα MongoDB Atlas .                               | 55 |
| Εικόνα 45 – Αρχείο αποθήκευσης JSON .....   | 56 |
| Εικόνα 46 – Σύνδεση αισθητήρα στο κύκλωμα νερού .....   | 57 |
| Εικόνα 47 – Σύνδεση αυτόματης βάνας άρδευσης στο κύκλωμα νερού .....  | 58 |
| Εικόνα 48 – Καλώδιο σύνδεσης .....  | 58 |
| Εικόνα 49 – Στεγανό βύσμα (male-female) .....   | 58 |

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## Αντικείμενο, ερευνητικά ερωτήματα και διάρθρωση της εργασίας

---

### 1.1 Ιστορικό

Η μέτρηση και η διαχείριση των υδάτινων πόρων είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της βιώσιμης ανάπτυξης και την προστασία του περιβάλλοντος. Μία από τις βασικές πτυχές της διαχείρισης των υδάτων είναι η ακριβής μέτρηση της ροής του νερού, η οποία παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται και την αποτελεσματικότητα της χρήσης του.

### 1.2 Δήλωση του προβλήματος

Οι παραδοσιακές μέθοδοι μέτρησης της ροής του νερού, όπως οι μηχανικοί μετρητές ροής, μπορεί να είναι ακριβείς, δύσκολο να εγκατασταθούν και απαιτούν συχνή συντήρηση. Με την πρόοδο των τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας και αισθητήρων, υπάρχει η ευκαιρία να αναπτυχθούν λύσεις χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος για τη μέτρηση της ροής του νερού.

### 1.3 Λύση του προβλήματος

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας εφαρμογής χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας για τη μέτρηση της ροής του νερού, με τη χρήση ενός αισθητήρα συνδεδεμένου σε μια ραδιομονάδα Adafruit Feather M0, που στέλνει μηνύματα μέσω LoRaWAN. Η λύση θα πρέπει να είναι ικανή να παρέχει ακριβή και αξιόπιστη μέτρηση και παράλληλα να είναι εύκολη στην εγκατάσταση, τη λειτουργία και τη συντήρηση.

### 1.4 Στόχοι

Οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι οι ακόλουθοι:

- Να εξετάσει τη θεωρία και το υπόβαθρο της μέτρησης της ροής του νερού.
- Να εξετάσει τις δυνατότητες ασύρματης επικοινωνίας και τις τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανταλλαγή μηνυμάτων.
- Να σχεδιάσει και να αναπτύξει ένα ενσωματωμένο σύστημα για τη μέτρηση της ροής του νερού, χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα συνδεδεμένο σε μια ραδιομονάδα που στέλνει μηνύματα μέσω ασύρματης επικοινωνίας.
- Αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος που αναπτύχθηκε από άποψη ακρίβειας, αξιοπιστίας και κατανάλωσης ενέργειας.
- Να χρησιμοποιήσει τεχνολογίες και μεθόδους για την αποθήκευση των δεδομένων που συλλέγονται κατά την λειτουργία του ενσωματωμένου συστήματος.
- Να εντοπιστούν πιθανές περιοχές για μελλοντική βελτίωση και επέκταση του ενσωματωμένου συστήματος που αναπτύχθηκε.

## **1.5 Πεδίο εφαρμογής και περιορισμοί**

Το πεδίο εφαρμογής της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά στην ανάπτυξη μιας λύσης, για την μέτρηση της κατανάλωσης νερού, που μπορεί να εγκατασταθεί σε δίκτυα νερού που χρήζουν έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Μπορεί να είναι απομακρυσμένα από τους εγκαταστάσεις κεντρικού ελέγχου και δυσπρόσιτα. Τα δεδομένα της ροής του νερού, σε πραγματικό χρόνο, επιτρέπουν την έγκαιρη λήψη αποφάσεων και την παρέμβαση εάν είναι απαραίτητο. Μπορούν να ανιχνεύσουν μη φυσιολογικά μοτίβα ροής που μπορεί να υποδεικνύουν διαρροές ή άλλα προβλήματα στο σύστημα. Επιτρέπουν στους χρήστες να αναλύουν τις τάσεις, τα πρότυπα και τη χρήση με την πάροδο του χρόνου. Μπορούν να εγκατασταθούν σε κατοικίες, εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, γεωργικές εγκαταστάσεις και εγκαταστάσεις κοινής ωφέλειας. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης, όπως η παρακολούθηση της ροής του νερού σε ποτάμια, ρέματα και εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

Συνολικά, το πεδίο εφαρμογής των ασύρματων μετρητών ροής νερού είναι ευρύ, και περιλαμβάνει διάφορες εφαρμογές όπου η ακριβής και έγκαιρη παρακολούθηση της ροής του νερού είναι απαραίτητη για την αποτελεσματικότητα, τη διατήρηση και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

Οι περιορισμοί αυτής της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνουν την περιορισμένη εμβέλεια και τον περιορισμένο ρυθμό δεδομένων του πρωτοκόλλου LoRaWAN και την πιθανότητα παρεμβολών από άλλες ασύρματες συσκευές που λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνότητων.

## **1.6 Οργάνωση της διπλωματικής εργασίας**

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι οργανωμένη σε πέντε κεφάλαια. Το κεφάλαιο 1 παρέχει μια εισαγωγή στο ιστορικό, τη διατύπωση του προβλήματος, τους στόχους, το πεδίο εφαρμογής και τους περιορισμούς της διατριβής. Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η ανασκόπηση των δημοσιευμένων εργασιών που έχουν ασχοληθεί, με αντικείμενα και τεχνολογίες, σχετικά με την πειραματική εφαρμογή που αναπτύχθηκε. Περιγράφεται το υπόβαθρο των τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας και των υπηρεσιών που θα χρησιμοποιηθούν. Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του συστήματος για τη μέτρηση της ροής του νερού με τη χρήση ενός αισθητήρα YF-201 συνδεδεμένου με μια ραδιομονάδα Adafruit Feather M0 που στέλνει μηνύματα μέσω LoRaWAN χρησιμοποιώντας το δίκτυο Helium και την δημιουργία μίας βάσης δεδομένων στην υπηρεσία MongoDB. Στο κεφάλαιο 4 αναπτύσσεται ο τρόπος και τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση της πειραματικής εφαρμογής. Στο κεφάλαιο 5 παρατίθενται τα υλικά και οι μέθοδοι που απαιτήθηκαν κατά την ανάπτυξη. Τέλος, το κεφάλαιο 6 ολοκληρώνει τη διπλωματική εργασία συνοψίζοντας τα κύρια ευρήματα και προσδιορίζοντας πιθανές περιοχές για μελλοντική βελτίωση και επέκταση του συστήματος που αναπτύχθηκε.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

---

#### 2.1 Σχετικές εργασίες

Η χρήση έξυπνων τεχνολογιών για την ανάπτυξη συστημάτων μέτρησης στον τομέα της ενέργειας και των ανανεώσιμων πόρων, είναι πλέον κάτι σύνηθες και αποτελεί τομέα έρευνας από ολοένα και περισσότερες ερευνητικές ομάδες. Συγκεκριμένα, το αντικείμενο έχει εξελιχθεί, χάρη στις τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί για τη μέτρηση της ροής του νερού, μέσα από ερευνητικές εργασίες και πειράματα, και προσφέρεται πλέον πληθώρα επιλογών. Το 1993 προτάθηκε από τους Shiqian Cai και Haluk Toral μία τεχνική για τη μέτρηση του ρυθμού ροής σε αγωγό αέρα-νερού με τη χρήση νευρωνικών δικτύων (Cai & Toral, 1993). Το 1997 σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από τον Luis Castaner ένας οικονομικός μετρητής ροής νερού, χωρίς άμεση επαφή με το νερό, με τη χρήση αισθητήρων πυριτίου (Castaner et al., 1997). Το 2012 χρησιμοποιήθηκε από τους Santhosh KV και Roy BK μία τεχνική υπερήχων για τη μέτρηση του ρυθμού ροής με βελτιστοποίηση νευρωνικού δικτύου, έτσι ώστε το σύστημα να παρουσιάζει προσαρμοστικότητα σε διαφορετικές διατομές του αγωγού, τις εναλλαγές της θερμοκρασίας του υγρού και του διαφορετικού ιξώδους (Kv & Roy, 2012). Το 2018 παρουσιάστηκε μία συσκευή IoT που ενσωμάτωσε τρεις αισθητήρες μέτρησης παλμών για την κατανάλωση νερού, αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας. Η επεξεργασία έγινε σε μια μονάδα Raspberry Pi, μέσω της οποίας μεταδιδόταν η πληροφορία στο server, έτσι ώστε ο χρήστης της συσκευής να έχει πρόσβαση στην πληροφορία των μετρήσεων ανά πάσα στιγμή (Al-Ali et al., 2018). Στην έρευνα που δημοσιεύθηκε το 2019 προτάθηκε ένα σύστημα μέτρησης κατανάλωσης νερού που βασιζόταν στην τεχνολογία αναγνώρισης εικόνας με μία κάμερα με την οποία τα ψηφία του μηχανικού μετρητή φωτογραφίζονταν, αποθηκεύονταν και, στη συνέχεια, κατόπιν επεξεργασίας μετατρέπονταν σε binary code και μεταδίδονταν μέσω NB-IoT στο server (Jin et al., 2019). Στην εργασία του Mir`y και Aramice προτάθηκε η πλατφόρμα ThinkSpeak<sup>1</sup> η οποία παρείχε στο χρήστη εργαλεία ανάλυσης των δεδομένων και οπτικοποίηση αυτών μέσω του MATLAB. Τα δεδομένα από τον αισθητήρα νερού συλλέγονταν και μεταδίδονταν, μέσω πρωτοκόλλου Ethernet, από το ArduinoUno προς την πλατφόρμα ThingSpeak (Miry & Aramice, 2020). Σε συνέδριο του IEEE το 2020 παρουσιάστηκε η εργασία των Suryaa, Vigneshwaran και Sujatha, που πρότεινε την χρησιμοποίηση τεσσάρων τύπων αισθητήρων για την ανίχνευση διαρροής του νερού: 1) ακουστικών επιταχυνσιόμετρων με έως και 250 μέτρα εμβέλεια, 2) υδροφωνικών αισθητήρων για ανίχνευση διαρροών σε σωληνώσεις με διατομές άνω των 100mm, 3) αισθητήρων ρυθμού υψηλής πίεσης για τον εντοπισμό μεταβατικών πιέσεων κατά την διάρκεια έκρηξης σε σωληνώσεις και 4) virtual district metering areas που παρακολουθούν τις εισροές και εκροές σε υποσυστήματα του δικτύου ύδρευσης. Αυτοί οι κόμβοι-αισθητήρες επικοινωνούν με την πύλη LoRaWAN και μεταδίδουν τα δεδομένα τα οποία αποθηκεύονται

---

<sup>1</sup> <https://thingspeak.com/> [27 Μαΐου 2024]



σε μία NoSQL βάση δεδομένων (Suryaa et al., 2020). Το 2020 στην έρευνα του Slaný και τον συνάδελφών του, παρουσιάστηκε ένα σύστημα που σχεδιάστηκε για την μέτρηση της κατανάλωσης του νερού χρησιμοποιώντας ένα PCB βασισμένο σε μία μονάδα M2.com και ένα Raspberry PI που λειτουργούσε ως πύλη LoRaWAN. Τα δεδομένα αποστέλλονταν στο The Things Network<sup>2</sup> και στη συνέχεια προωθούνταν στην πλατφόρμα Grafana<sup>3</sup> (Slaný et al., 2020). Στην εργασία των Yauri, Gonzales και Gamero το 2023 παρουσιάστηκε ένα σύστημα μέτρησης και διαχείρισης της ροής του νερού, με τη χρήση ενός αισθητήρα YF-S201 (ροόμετρο) και μίας ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας συνδεδεμένων σε ένα ArduinoUNO, το οποίο χρησιμοποιούσε μία ραδιομονάδα Dragino LoRa SX1276. Το ροόμετρο προβλεπόταν να τοποθετείται στον σημείο ενδιαφέροντος και η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα σε ορισμένα τμήματα του δικτύου, για τον απομακρυσμένο έλεγχο της ροής του νερού. Σε αυτή την περίπτωση, η επικοινωνία μέσω της τεχνολογίας LoRaWAN ήταν αμφίδρομη. Τα μηνύματα αποστέλλονταν στην πλατφόρμα Ubidots Web<sup>4</sup> και αποτυπώνονταν στο User Interface της πλατφόρμας (Yauri et al., 2023).

Υπάρχουν αρκετά διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας και μέθοδοι μεταφοράς δεδομένων σε έξυπνα συστήματα μέτρησης μεγάλων αποστάσεων. Μερικές από τις πιο ευρέως επιλέξιμες τεχνολογίες είναι το LoRaWAN, το Sigfox και το NB-IoT. Το ποια επιλέγεται έχει να κάνει με τις εκάστοτε απαιτήσεις της εφαρμογής, τους διαθέσιμους πόρους και την ασφάλεια που απαιτείται. Στην έρευνά του Lin Jie και των συναδέλφων του το 2017 παρατέθηκε η αρχιτεκτονική του IoT και του CPS. Παρουσιάστηκαν οι διαφορές τους, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν αυτές οι τεχνολογίες στο επίπεδο της ασφάλειας, καθώς και οι τρόποι που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση τέτοιων θεμάτων (Lin et al., 2017). Επίσης, σε εργασία που παρουσιάστηκε σε συνέδριο της IEEE “International Conference on Cybernetics” το 2017, αναφέρθηκαν οι αδυναμίες του LoRaWAN για το πώς συσκευές με χαμηλότερο Spreading Factor μπορούν να καταστρέψουν το σήμα από συσκευές με μεγαλύτερο Spreading Factor στο ίδιο δίκτυο. Επίσης, η διαχείριση κλειδιών και οι frame counters πρέπει να εφαρμόζονται από τους κατασκευαστές, άρα τυχόν αμέλεια μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά θέματα ασφαλείας στις τελικές συσκευές και τα gateways (Aras et al., 2017). Στην ανάλυση των Coman, Malarski, Petersen και Ruepp το 2019 παρουσιάστηκαν ευπάθειες των τεχνολογιών LP-WAN. Το LoRaWAN είναι επιρρεπές σε “Packet Forging” λόγω του 4-byte MIC που χρησιμοποιεί, το Sigfox σε “Replay” λόγω του 12-byte SN και το NB-IoT σε “Malicious UE” λόγω της πλημμελούς προστασίας του ιδιόκτητου δικτύου. Έτσι, το Sigfox δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε κρίσιμες εφαρμογές, εάν ο τελικός χρήστης δεν εφαρμόσει τεχνικές για να προστατευθεί από επιθέσεις replay. Το NB-IoT και το LoRaWAN παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια, αλλά θα πρέπει στο μεν NB-IoT ο χειριστής να εφαρμόσει τις βέλτιστες πρακτικές ασφαλείας, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι επιθέσεις IP (port scanning, spoofing, DNS spoofing, ARP), στο δε LoRaWAN θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι τα πακέτα δεν μπορούν να πλαστογραφηθούν και να προκληθεί προσωρινό DoS από συσκευές που στέλνουν μη έγκυρα πακέτα (Coman et al., 2019).

## 2.2 Θεωρία και αρχές μέτρησης νερού

Η μέτρηση της ροής του νερού αποτελεί βασική διαδικασία για πολλές βιομηχανικές, εμπορικές, αγροτικές και οικιακές εφαρμογές. Περιλαμβάνει τη μέτρηση της ροής και του

<sup>2</sup> <https://www.thethingsnetwork.org/> [27 Μαΐου 2024]

<sup>3</sup> <https://grafana.com/> [27 Μαΐου 2024]

<sup>4</sup> <https://ubidots.com/> [27 Μαΐου 2024]

όγκου του νερού που διέρχεται μέσα από έναν σωλήνα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο, σχετικά με τις αρχές μέτρησης της ροής του νερού, τους διάφορους τύπους αισθητήρων μέτρησης υγρών και τον αισθητήρα YF-201, ο οποίος είναι ο αισθητήρας που θα χρησιμοποιηθεί στην εφαρμογή που θα αναπτυχθεί.

### Αρχές μέτρησης της ροής του νερού

Η μέτρηση της ροής του νερού βασίζεται στις αρχές της ρευστομηχανικής, οι οποίες περιγράφουν τη συμπεριφορά των ρευστών (υγρών και αερίων) σε κίνηση. Η θεμελιώδης εξίσωση της μηχανικής των ρευστών είναι η εξίσωση συνέχειας, η οποία δηλώνει ότι ο ρυθμός ροής μάζας ενός ρευστού είναι σταθερός σε κάθε δεδομένο σημείο ενός σωλήνα (Mikhailov, 2005).

### Τύποι αισθητήρων μέτρησης ροής νερού

- **Ηλεκτρομαγνητικοί μετρητές ροής:** Αυτοί οι μετρητές χρησιμοποιούν τον νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday για τη μέτρηση της ροής αγώγιμων υγρών, όπως το νερό. Είναι κατάλληλοι για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και δεν επηρεάζονται από αλλαγές της πυκνότητας, της θερμοκρασίας και του ιξώδους του υγρού.
- **Μετρητές ροής υπερήχων:** Αυτοί οι μετρητές χρησιμοποιούν υπερηχητικά κύματα για τη μέτρηση της ταχύτητας της ροής του νερού. Ξεχωρίζουν δύο βασικοί τύποι μετρητών ροής υπερήχων: οι χρόνου διέλευσης και Doppler. Στους μετρητές χρόνου διέλευσης υπολογίζεται ο χρόνος που χρειάζονται τα υπερηχητικά σήματα να ταξιδέψουν μαζί και αντίθετα στη ροή, ενώ στους μετρητές Doppler χρησιμοποιείται η μετατόπιση συχνότητας των ανακλώμενων υπερηχητικών κυμάτων από τα κινούμενα σωματίδια μέσα στο νερό.
- **Μετρητές ροής στροβίλου:** Οι μετρητές ροής στροβίλου διαθέτουν ρότορα με πτερύγια που περιστρέφονται όταν το νερό ρέει μέσα από αυτά. Η περιστροφή είναι ανάλογη του ρυθμού ροής. Αυτοί οι μετρητές χρησιμοποιούνται συνήθως για καθαρά υγρά χαμηλού ιξώδους.
- **Μετρητές ροής Vortex:** στους μετρητές ροής τύπου Vortex χρησιμοποιείται η αρχή των δινών Karman, οι οποίες σχηματίζονται όταν ένα ρευστό ρέει δίπλα από ένα σώμα μπλόφα. Η συχνότητα των στροβιλισμών που απορρίπτονται από το σώμα είναι ανάλογη του ρυθμού ροής. Οι μετρητές Vortex είναι κατάλληλοι για διάφορα υγρά, συμπεριλαμβανομένου του νερού.
- **Μετρητές ροής θετικής μετατόπισης:** αυτοί οι μετρητές παγιδεύουν έναν γνωστό όγκο νερού και στη συνέχεια τον απελευθερώνουν για να μετρήσουν τη ροή. Οι συνήθεις τύποι περιλαμβάνουν μετρητές εμβόλων και μετρητές οβάλ γραναζιών. Οι μετρητές θετικής μετατόπισης χρησιμοποιούνται συχνά για τη μέτρηση χαμηλών ρυθμών ροής και είναι κατάλληλοι τόσο για καθαρά όσο και για παχύρρευστα υγρά.
- **Μετρητές ροής διαφορικής πίεσης:** στους μετρητές ροής διαφορικής πίεσης υπολογίζεται η πτώση πίεσης σε μια συστολή στη διαδρομή της ροής. Αυτή η πτώση της πίεσης στη συνέχεια συσχετίζεται με τον ρυθμό ροής. Οι μετρητές στομίου, οι μετρητές Βεντούρη και τα ακροφύσια ροής είναι παραδείγματα μετρητών ροής διαφορικής πίεσης.

### Φυσική της ροής του νερού

Η φυσική της ροής του νερού μέσω σωλήνων διέπεται από διάφορους παράγοντες όπως το ιξώδες του ρευστού, η πτώση πίεσης κατά μήκος του σωλήνα και η διάμετρος του. Η πτώση πίεσης προκαλείται από τις απώλειες λόγω τριβής, καθώς το ρευστό ρέει μέσω του σωλήνα. Είναι ανάλογη του μήκους του σωλήνα, της ταχύτητας του ρευστού και της τραχύτητας της επιφάνειας του σωλήνα. Η ταχύτητα της ροής του νερού μπορεί να μετρηθεί από κάποιον αισθητήρα και να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της παροχής και του όγκου του νερού που διέρχεται από τον σωλήνα. Ο ρυθμός ροής υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$Q = AV$$

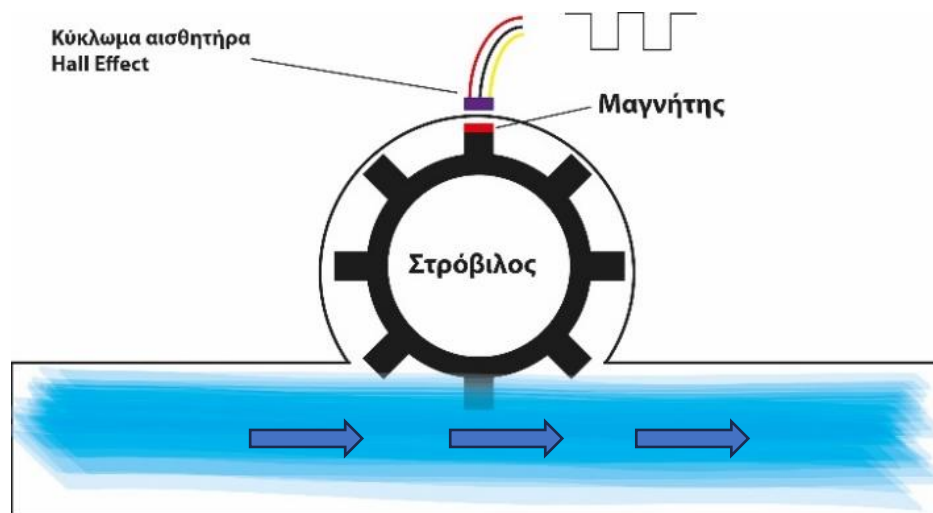
όπου  $Q$  είναι ο ρυθμός ροής,  $A$  η επιφάνεια διατομής του σωλήνα και  $V$  η ταχύτητα του υγρού που μετρά ο αισθητήρας.

### Μαθηματικά μοντέλα και εξισώσεις

Στην έρευνά μας, θα χρησιμοποιήσουμε έναν αισθητήρα στροβίλου για να υπολογίσουμε την ταχύτητα ροής και τον όγκο του νερού. Για να υπολογιστεί ο όγκος του νερού που διέρχεται από τον σωλήνα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, θα χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη εξίσωση:

$$V = Qt$$

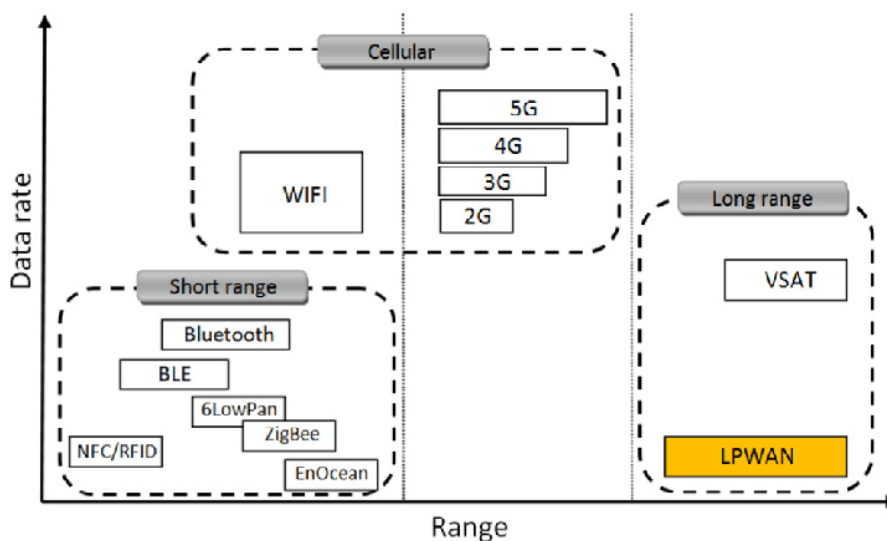
όπου  $V$  είναι ο όγκος του νερού,  $Q$  ο ρυθμός ροής που υπολογίζεται με τη χρήση του αισθητήρα και  $t$  η χρονική περίοδος.



Εικόνα 1 – Αισθητήρας ροής στροβίλου

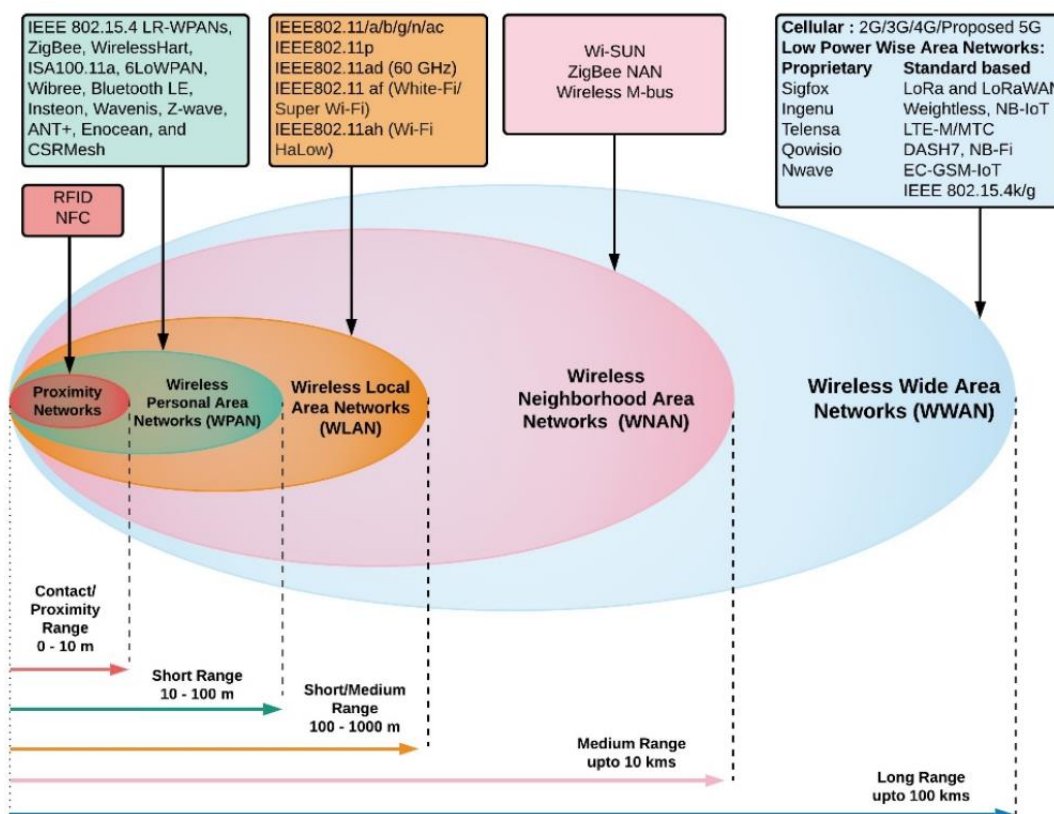
### 2.3 Τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας ανταλλαγής μηνυμάτων.

Μία συσκευή IoT χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα που έχει να συνδέεται με το Internet. Χρειάζεται ενέργεια για την λειτουργία της για μεγάλο χρονικό διάστημα και αυτό επιτυγχάνεται είτε με χαμηλή κατανάλωση είτε με μπαταρία μεγάλης διάρκειας. Επίσης, χρειάζεται μεγάλη εμβέλεια ασύρματης επικοινωνίας, αποτελεσματικό ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και μικρό κόστος. Οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για αυτές τις απαιτήσεις δεν μπορούν να καλύψουν το σύνολο των απαιτήσεων όλων των εφαρμογών και γι' αυτό πρέπει να γίνεται σωστή επιλογή, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Το WiFi, Bluetooth και το ZigBee είναι τεχνολογίες που προσφέρουν μικρή εμβέλεια και χρησιμοποιούνται κυρίως σε επίπεδο κτηρίου. Τα LTE, GPRS, 3G, 4G, 5G είναι τεχνολογίες "Cellular" που εφαρμόζονται στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από συσκευές που χρειάζονται ευρεία κάλυψη και υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων με αντιστάθμισμα, όμως, τη μεγάλη κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται. Οι IoT συσκευές χρειάζονται μεγάλη εμβέλεια δικτύου με ταυτόχρονη υποστήριξη μεγάλου αριθμού συσκευών και πολύ χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια. Η κύρια τεχνολογία που αναπτύχθηκε με αυτά τα χαρακτηριστικά είναι το Low Power Wide Area Network (LPWAN). Σε αυτή κατατάσσονται το NB-IoT, μία τεχνολογία που χρησιμοποιεί αδειοδοτημένες συχνότητες, και το Sigfox και LoRa, που χρησιμοποιούν μη αδειοδοτημένες συχνότητες. Το NB-IoT είναι μία τεχνολογία Narrow Band που βασίζεται στο πρωτόκολλο LTE και αναπτύχθηκε από την 3GPP (Mekki et al., 2019). Η λειτουργία του βασίζεται στη συνύπαρξή του με τα υπάρχοντα δίκτυα GSM και LTE (Iqbal et al., 2020). Το Sigfox χρησιμοποιεί τεχνολογία Ultra-Narrow Band επιτυγχάνοντας χαμηλά επίπεδα θορύβου, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας με χαμηλό bit-rate που οδηγεί σε αργούς ρυθμούς αποδιαμόρφωσης (Gaddam & Rai, 2018). Το LoRa είναι μία διαμόρφωση σήματος στο φυσικό επίπεδο και ακολουθεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας LoRaWAN το οποίο καθορίζεται από την ομάδα του LoRa Alliance. Απαρτίζεται από περισσότερες από 400 εταιρείες ανά τον κόσμο. Υιοθετεί τεχνολογία Narrow Band μέσω της οποίας το σήμα μεταδίδεται αμφίδρομα, χρησιμοποιώντας το Chirp Spread Spectrum (CSS), επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο χαμηλά επίπεδα θορύβου με αντίσταση στις παρεμβολές και δυσκολία στον εντοπισμό του (Mekki et al., 2019).



Εικόνα 2 – Απαιτούμενος ρυθμός δεδομένων έναντι εμβέλειας ασύρματης επικοινωνίας (Mekki et al., 2019)

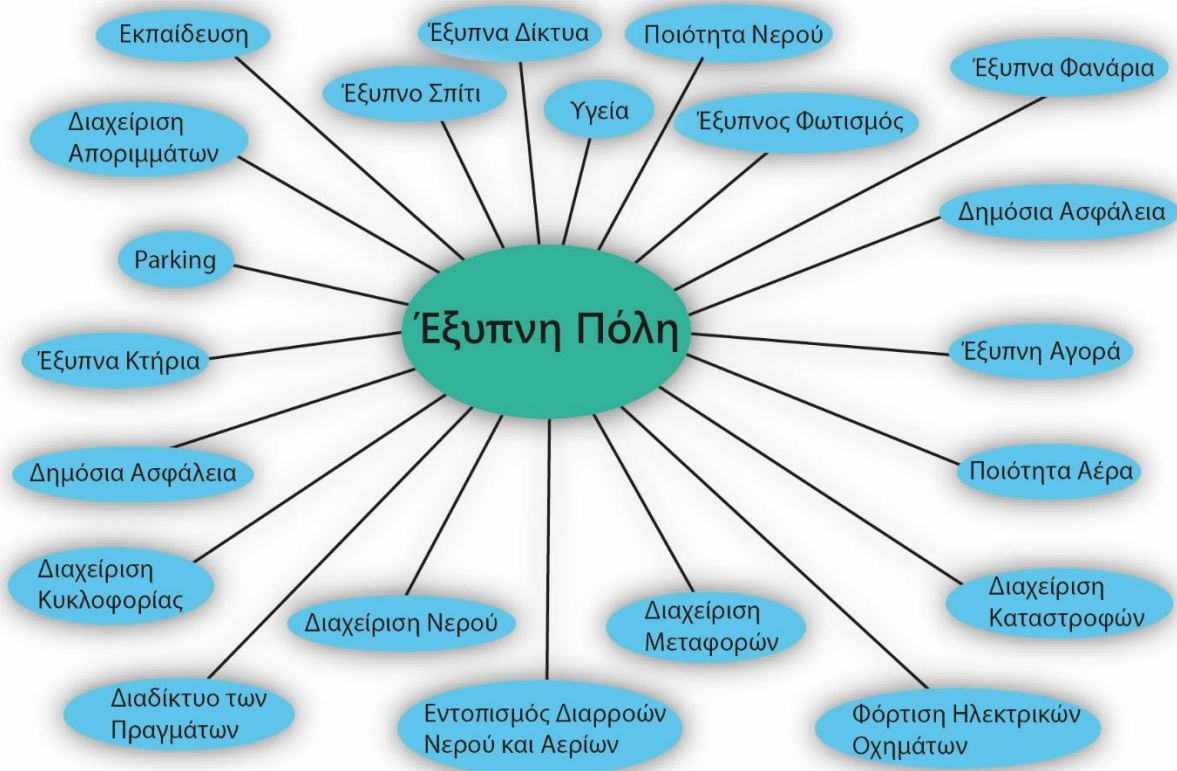
|                                    | NB-IoT   | LoRaWAN                                     | Sigfox   |
|------------------------------------|--|---|--|
| Τεχνολογία                         | Narrow Band LPWA   | Semtech - Long Range Wireless Network       | Ultra Narrow Band                              |
| Αδειοδοτημένη συχνότητα            | Ναι  | Όχι   | Όχι  |
| Συχνότητα                          | LTE Bands  | ISM bands (868MHz EU, 915MHz US, 433MHz AS) | ISM bands (868MHz EU, 915MHz US, 433MHz AS)    |
| Διαμόρφωση                         | QPSK   | CSS   | DBPSK  |
| Εύρος ζώνης                        | 200kHz   | 125kHz                                      | 100Hz  |
| Μέγιστος ρυθμός δεδομένων          | 250kbps  | 50kbps                                      | 10bps  |
| Προσαρμοστικός ρυθμός δεδομένων    | Όχι  | Ναι   | Όχι  |
| Μέγιστο μήκος payload              | 1600 bytes   | 243bytes                                    | 12bytes (UL),8bytes (DL)                       |
| Εύρος κάλυψης                      | 25 km  | Ανοιχτό πεδίο: 10km<br>Αστικό πεδίο: 5km    | Ανοιχτό πεδίο: 30-50km<br>Αστικό πεδίο: 3-10km |
| Αμφίδρομη επικοινωνία              | Ναι/Half Duplex  | Ναι/Half Duplex                             | Περιορισμένη/Half Duplex                       |
| Έλεγχος ταυτότητας & κρυπτογράφηση | Ναι (LTE κρυπτογράφηση)                                    | Ναι (AES128b)                               | Όχι  |
| Αντοχή στις παρεμβολές             | Μικρή  | Πολύ υψηλή                                  | Πολύ υψηλή                                     |
| Τυποποίηση                         | 3GPP   | LoRa Alliance                               | Sigfox Company                                 |
| Πρωτόκολλο                         | Upper Layer: LTE based<br>Core network: S1 interface based | MAC layer protocol (LoRaWAN)                | Lightweight protocol                           |
| Τοπολογία δικτύου                  | Cellular   | Star topology                               | Star network                                   |
| Επιτρέπεται το ιδιωτικό δίκτυο     | Όχι  | Ναι   | Όχι  |
| Διάρκεια ζωής μπαταρίας            | ~ 10 χρόνια  | ~ 10 χρόνια                                 | ~ 10 χρόνια                                    |



Εικόνα 3 – Γεωγραφική κάλυψη ασύρματης επικοινωνίας (Chaudhari et al., 2020)

## 2.4. LoRaWAN

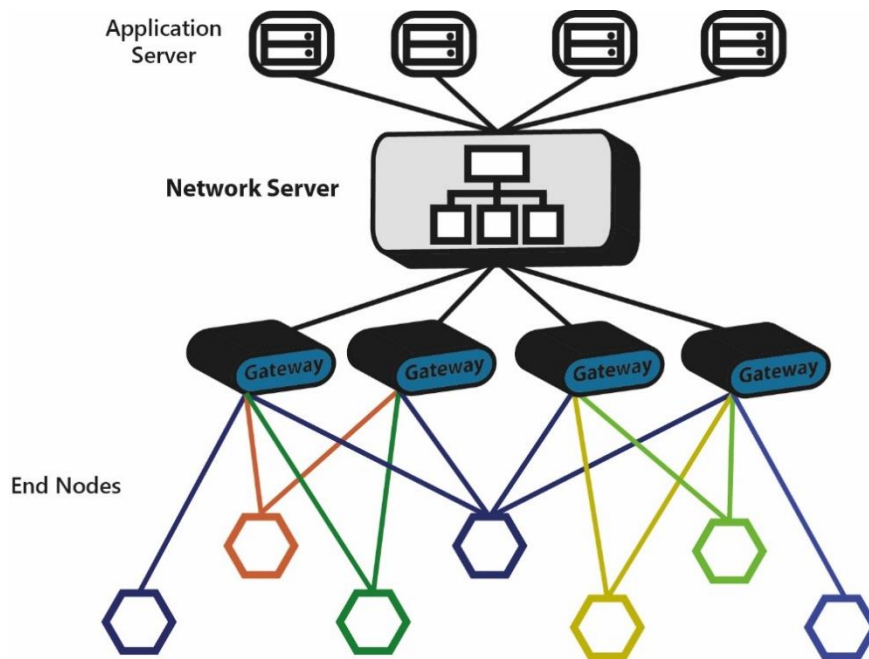
Το LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας σχεδιασμένο για δίκτυα ευρείας κάλυψης και χαμηλής ισχύος. Χρησιμοποιείται για τη σύνδεση συσκευών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) σε μεγάλες αποστάσεις, επιτρέποντας τη μετάδοση δεδομένων από απομακρυσμένους αισθητήρες σε διαδικτυακές πύλες (gateways) και στη συνέχεια σε διακομιστές cloud για ανάλυση και επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων.



Εικόνα 4 – Εφαρμογές Έξυπνης Πόλης

Το LoRaWAN λειτουργεί στις ζώνες συχνότητας Megahertz, γεγονός που του επιτρέπει να προσφέρει δυνατότητες επικοινωνίας μεγάλης εμβέλειας και χαμηλής ισχύος. Το πρωτόκολλο έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων, που συνήθως κυμαίνονται από 0,3 kbps έως 50 kbps, ανάλογα με την εφαρμογή και τη συγκεκριμένη συσκευή LoRaWAN που χρησιμοποιείται (Adelantado et al., 2017).

Το LoRaWAN χρησιμοποιεί μια τοπολογία δικτύου αστέρα, στην οποία οι τελικές συσκευές (όπως οι αισθητήρες) επικοινωνούν με πύλες, οι οποίες με τη σειρά τους επικοινωνούν με έναν διακομιστή δικτύου που διαχειρίζεται το δίκτυο. Ο διακομιστής δικτύου είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση των δεδομένων που μεταδίδονται από τις συσκευές και τη δρομολόγησή τους στον κατάλληλο προορισμό (Devalal & Karthikeyan, 2018).



Εικόνα 5 – Τοπολογία δικτύου LoRaWAN

Το LoRaWAN προσφέρει διάφορα βασικά χαρακτηριστικά που το καθιστούν ελκυστική επιλογή για εφαρμογές IoT.

**Μεγάλη εμβέλεια:** Οι συσκευές LoRaWAN μπορούν να επικοινωνούν σε αποστάσεις αρκετών χιλιομέτρων σε ανοικτές περιοχές και έως και αρκετές εκατοντάδες μέτρα σε αστικά περιβάλλοντα.

**Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας:** Οι συσκευές LoRaWAN έχουν σχεδιαστεί για να καταναλώνουν πολύ λίγη ενέργεια, επιτρέποντάς τους να λειτουργούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα με μπαταρία.

**Χαμηλό κόστος:** Οι συσκευές LoRaWAN είναι σχετικά φθηνές σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας, γεγονός που τις καθιστά ιδανικές για εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας.

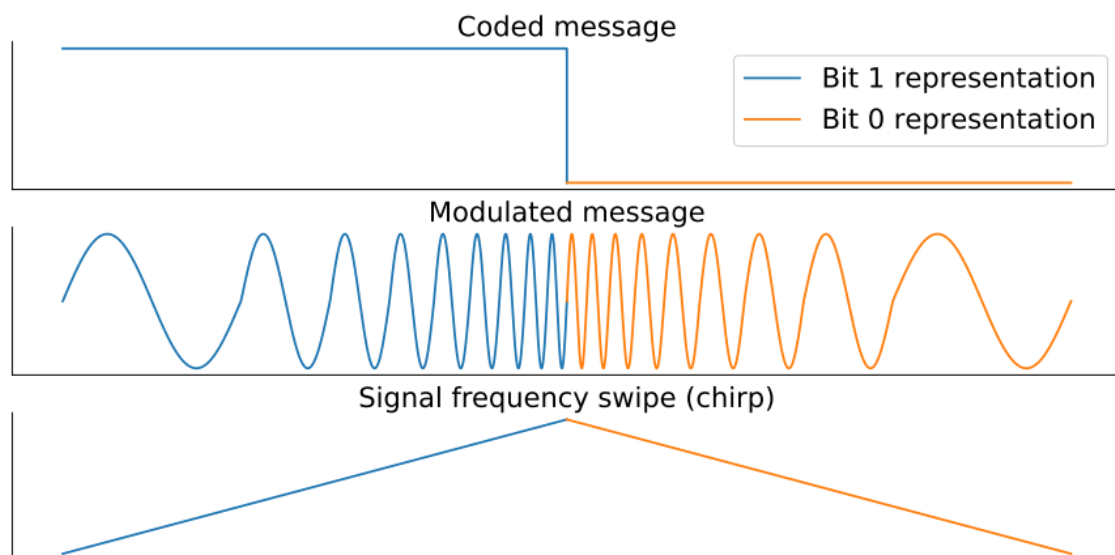
**Επεκτασιμότητα:** Τα δίκτυα LoRaWAN μπορούν να υποστηρίξουν μεγάλο αριθμό συσκευών, καθιστώντας εύκολη την κλιμάκωση καθώς αυξάνεται ο αριθμός των συσκευών στο δίκτυο.

**Ασφάλεια:** Το LoRaWAN περιλαμβάνει διάφορα χαρακτηριστικά ασφαλείας για την προστασία από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και τη διασφάλιση της ακεραιότητας και της εμπιστευτικότητας των δεδομένων που μεταδίδονται μέσω του δικτύου.

Συνοψίζοντας το LoRaWAN χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές IoT, όπως η έξυπνη γεωργία, οι έξυπνες πόλεις, τα έξυπνα δίκτυα, ο βιομηχανικός αυτοματισμός, η διαχείριση καταστροφών και η παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων. Το πρωτόκολλο έχει κερδίσει δημοτικότητα, λόγω της μεγάλης εμβέλειας, της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και του χαμηλού κόστους, καθιστώντας το ιδανική επιλογή για πολλές εφαρμογές IoT.

### 2.4.1 Η Τεχνολογία LoRa

Το LoRa Alliance είναι μία τεχνική ομάδα μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα που καθορίζει τα φυσικά πρότυπα και τα πρότυπα δικτύωσης του δικτύου LoRa. Το LoRaWAN λειτουργεί στο φυσικό επίπεδο χρησιμοποιώντας μια τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται Chirp Spread Spectrum (CSS) και περιλαμβάνει τη μετάδοση σημάτων Chirp για την κωδικοποίηση δεδομένων. Η τεχνική διαμόρφωσης του φάσματος εξάπλωσης Chirp αναπτύχθηκε για εφαρμογές Radar το 1940, και χρησιμοποιείται στην στρατιωτική και διαστημική τεχνολογία εδώ και δεκαετίες (Aras et al., 2017; Devalal & Karthikeyan, 2018). Το Chirp είναι ένα σήμα το οποίο απαιτεί πολύ χαμηλή ενέργεια και μπορεί να αυξάνει και να μειώνει τη συχνότητά του με την πάροδο του χρόνου. Στο LoRaWAN, αυτή η αυξομείωση πραγματοποιείται σε μία συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων. Το σήμα Chirp ξεκινά σε χαμηλή συχνότητα και σταδιακά σαρώνει προς τα πάνω ή προς τα κάτω με την πάροδο του χρόνου. Η διαμόρφωση κατά LoRa αποτελείται από αναπαραστάσεις bit 0 & 1 ως γραμμικές μεταβολές συχνοτήτων (Silva et al., 2023).



Εικόνα 6 – Αναπαράσταση bit στο LoRaWAN (Silva et al., 2023)

Ο ρυθμός αλλαγής συχνότητας καθορίζει τα χαρακτηριστικά του σήματος και ελέγχεται από την παράμετρο Spreading Factor (SF). Η διαμόρφωση αυτή σχετίζεται με το "Digital Spread Spectrum" που έχει σχεδιαστεί από την *Semtech Corporation* και είναι ιδιοκτησίας της (LoRa, 2019; Silva et al., 2023). Εμπεριέχει επτά ρυθμούς οι οποίοι είναι πολλαπλοί ορθογώνιοι παράγοντες διασποράς μεταξύ 6 και 12. Οι υψηλές τιμές του συντελεστή διασποράς σημαίνουν και ποιοτικότερο σήμα με μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στο θόρυβο (Ochoa et al., 2017; Silva et al., 2023). Ο συντελεστής παρέχει μια αντιστάθμιση μεταξύ του ρυθμού δεδομένων και του εύρους.

Ο ρυθμός bit αντιπροσωπεύει την ταχύτητα με την οποία μπορούν να μεταδοθούν τα δεδομένα στο LoRaWAN. Συνεπώς, το Spreading Factor και το εύρος ζώνης έχουν σημαντικό αντίκτυπο στον ρυθμό μετάδοσης των bit. Μικροί συντελεστές διασποράς επιτυγχάνουν



ταχύτερους ρυθμούς μετάδοσης αλλά και μικρό εύρος. Αντίθετα, μεγάλοι συντελεστές έχουν περιορισμένο ρυθμό μετάδοσης αλλά και μεγαλύτερη εμβέλεια. Αυτή ακριβώς η ιδιαιτερότητα του πρωτοκόλλου να μεταδίδει σε χαμηλούς ρυθμούς και σε μεγάλο εύρος τα δεδομένα είναι αυτό που του επιτρέπει να έχει πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας.

Ο ρυθμός συμβόλων ( $R_s$ ) είναι ο ρυθμός βάσει του οποίου μεταδίδονται τα σύμβολα στην ψηφιακή τεχνολογία. Ο ρυθμός συμβόλων σχετίζεται με το ρυθμό μετάδοσης “Bit Rate” ( $R_b$ ) και τον παράγοντα διαμόρφωσης.

$$R_s = \frac{R_b}{SF} \quad (1)$$

Για τη δυαδική διαμόρφωση ο παράγοντας διαμόρφωσης είναι 1, δεδομένου ότι το σήμα του φορέα μεταβάλλεται μόνο από δύο διακριτές καταστάσεις και, έτσι, δεν υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερο συντελεστή. Ο παράγοντας διαμόρφωσης αντιπροσωπεύει το εύρος διαμόρφωσης του σήματος φορέα από το σήμα πληροφοριών. Συνεπώς  $R_s = R_b$

Η διάρκεια του συμβόλου ( $T_s$ ) είναι ο χρόνος που απαιτείται για την μετάδοση ενός συμβόλου και είναι το αντίστροφο του ρυθμού συμβόλων.

$$T_s = \frac{1}{R_s} = \frac{1}{R_b} \quad (2)$$

Στη διαμόρφωση LoRa το Spreading Factor ( $SF$ ) είναι αυτό που καθορίζει την διάρκεια κάθε συμβόλου. Το εύρος ζώνης “Bandwidth” ( $BW$ ) είναι το εύρος συχνοτήτων που χρησιμοποιεί το σήμα LoRa και αντιπροσωπεύει το πλάτος του καναλιού που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία (Silva et al., 2023). Η διάρκεια συμβόλου στην διαμόρφωση LoRa δίνεται από την εξίσωση:

$$T_s = \frac{2^{SF}}{BW} \quad (3)$$

Η διάρκεια του Chirp ( $T_c$ ) σχετίζεται με τη διάρκεια συμβόλου και είναι ο χρόνος που απαιτείται για την μετάδοση ενός bit.

$$T_c = SF \times T_s \quad (4)$$

$$T_c = SF \times \frac{2^{SF}}{BW} \quad (5)$$

Ο ρυθμός bit διαμόρφωσης LoRa μπορεί να εκφραστεί ως:

$$R_b = SF * \frac{1}{2^{SF}} \text{ bit/sec} \quad (6)$$

*R<sub>b</sub>: Bit Rate*

*SF: Spreading Factor*

*BW: Bandwidth (Hz)*

Το  $\frac{1}{2SF \cdot BW}$  αντιπροσωπεύει το χρόνο στον αέρα (ToA) ενός συμβόλου. Το κάθε σύμβολο διασπείρεται με την πάροδο του χρόνου και το Spreading Factor μαζί με το Bandwidth επηρεάζουν την διάρκεια του συμβόλου. Όσο μεγαλύτερο είναι το Spreading Factor ή όσο μικρότερο είναι το Bandwidth τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος στον αέρα. Ο πολλαπλασιασμός του Spreading Factor με τη διάρκεια του συμβόλου δίνει το χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοσή του. Το LoRa παρέχει τρεις κλιμακούμενες ρυθμίσεις για το Bandwidth: στα 125kHz, 250kHz και 500kHz. Τα δεδομένα αποστέλλονται από τον πομπό με ρυθμό chip αντίστοιχο του Bandwidth του συστήματος σε chips ανά δευτερόλεπτο ανά Hertz.

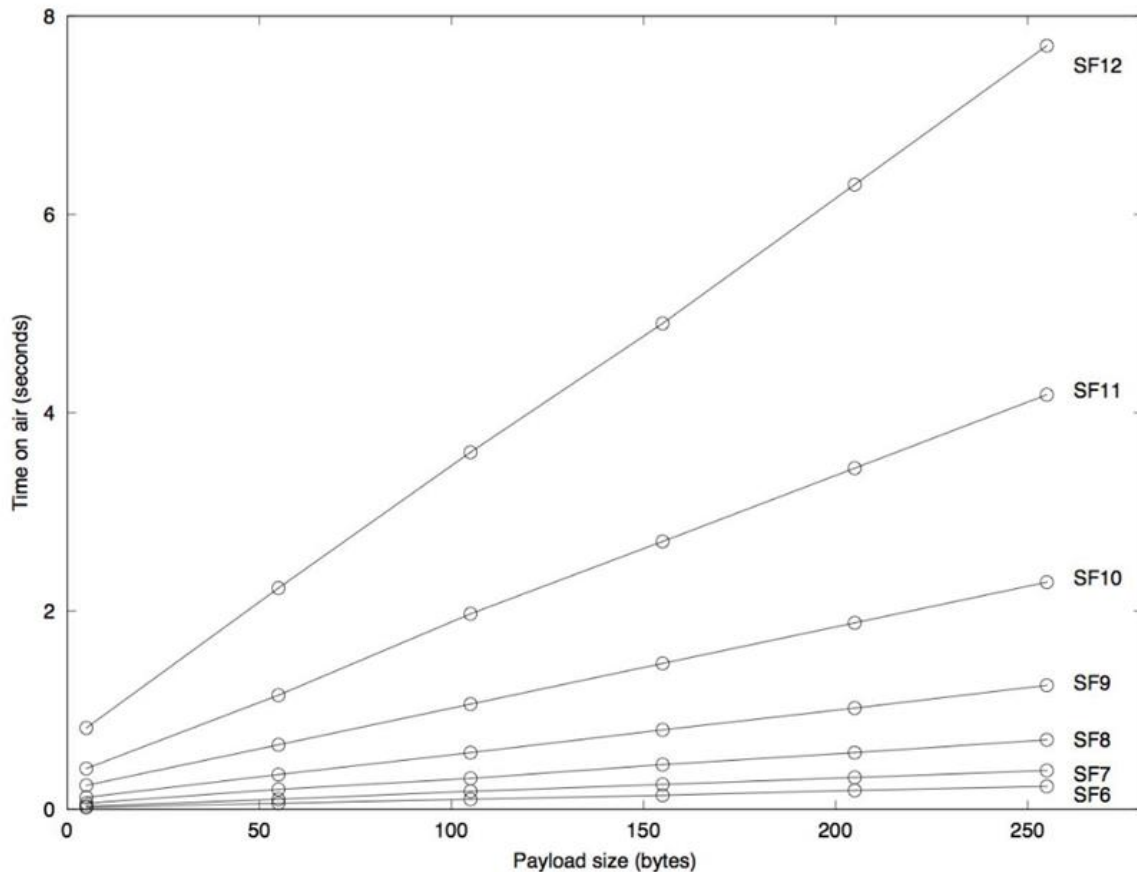
Το μέγεθος ενός πακέτου που χρησιμοποιείται από το πρωτόκολλο LoRaWAN μπορεί να έχει το μέγιστο 256 bytes και η δομή του είναι η εξής:

- Preamble field: Χρησιμοποιείται για σκοπούς συγχρονισμού των δεδομένων.
- Header field: Υπάρχουν δύο τύποι μορφής πακέτων Lora. Ο τύπος ρητής λειτουργίας (explicit header mode) περιλαμβάνει αυτό το πεδίο στο οποίο περιέχονται πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος του payload, τον ρυθμό κωδικοποίησης και το εάν χρησιμοποιείται το CRC πεδίο για τον εντοπισμό των λαθών. Ο τύπος σιωπηρής λειτουργίας (implicit header mode) δεν περιέχει αυτό το πεδίο και οι πληροφορίες μεγέθους payload, ρυθμού κωδικοποίησης και παρουσία πεδίου CRC καθορίζονται εκ των προτέρων μεταξύ των δυο πλευρών ραδιοζεύξης. Έτσι, ο χρόνος μετάδοσης με την αφαίρεση αυτού του πεδίου μειώνεται (Noreen et al., 2017).
- Payload field: Μέγεθος από 2 έως 255 bytes.
  - MAC header: Χρησιμοποιείται για να ορίζει τον τύπο πλαισίου (δεδομένα ή επιβεβαίωση), την έκδοση του πρωτοκόλλου και την κατεύθυνση (uplink or downlink) .
  - MAC payload: Χρησιμοποιείται για να ορίζει τα πραγματικά δεδομένα.
  - MIC: Χρησιμοποιείται ως ψηφιακή υπογραφή του payload.
- CRC: Χρησιμοποιείται προαιρετικά και παρέχει προστασία σφαλμάτων για το payload. (Έχει αλληλεξάρτηση με το Header field)

Για το LoRa, ο πραγματικός χρόνος στον αέρα (ToA) για ένα πακέτο ορίζεται ως:

$$T_{\text{packet}} = T_{\text{preamble}} + T_{\text{payload}}$$

Το Spreading Factor έχει άμεση επίδραση στο χρόνο στον αέρα του LoRa πακέτου. Η εικόνα παρακάτω δείχνει τον χρόνο στον αέρα (ToA) για ένα πακέτο δεδομένων LoRa με διαφορετικά μεγέθη payload και τιμές Spreading Factor (SF). Με την μεταβολή του μεγέθους του payload και των τιμών SF, ο χρόνος στον αέρα αυξάνεται (Noreen et al., 2017).



Εικόνα 7 – Spreading Factors (Aras et al., 2017)

Το πρωτόκολλο LoRaWAN<sup>5</sup> ορίζει την αρχιτεκτονική του επιπέδου δικτύου για συστήματα με δυνατότητα LoRa, ενώ το φυσικό επίπεδο παρέχει επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας μέσω διαμόρφωσης LoRa. Το LoRaWAN ακολουθεί την τοπολογία δικτύωσης αστέρα που χρησιμοποιεί συσκευές πύλης για τη λήψη δεδομένων από κόμβους και την προώθησή τους σε διακομιστές LoRaWAN (Noreen et al., 2017). Στην Ευρώπη, το LoRa λειτουργεί στις ζώνες συχνοτήτων ISM 433MHz και 868MHz, ενώ στις ΗΠΑ λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 900MHz. Οι ζώνες συχνοτήτων LoRa ελέγχονται από τις ρυθμιστικές αρχές του εκάστοτε κράτους και υπόκεινται στους εθνικούς και διεθνείς κανόνες. Στην Ευρώπη όταν χρησιμοποιούνται οι συχνότητες ISM (863MHz-870MHz), πρέπει να υπάρχει συμμόρφωση του χρήστη στους εξής κανόνες:

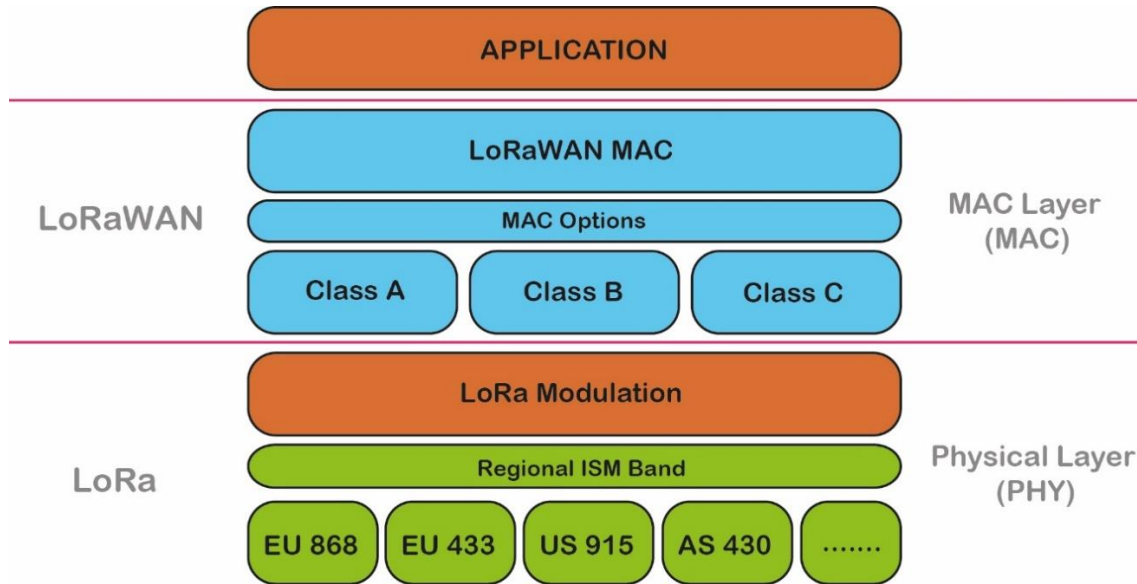
- Μέγιστη ισχύς μετάδοσης Uplink 25mW (14dBm)
- Μέγιστη ισχύς μετάδοσης Downlink 500mW (27dBm)
- Duty Cycle ανά ημέρα 0,1% και 1% αναλόγως το κανάλι εκπομπής
- Μέγιστο επιτρεπόμενο κέρδος κεραίας +2,15dBi

Στην Ελλάδα, σήμερα, ρόλο ρυθμιστικής αρχής έχει αναλάβει η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων «ΕΕΤΤ».

Οι τερματικοί κόμβοι στο δίκτυο LoRaWAN μπορούν να χωριστούν σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες συσκευών, ανάλογα με την αντιστάθμιση μεταξύ της καθυστέρησης επικοινωνίας

<sup>5</sup> <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/> [27 Μαΐου 2024]

κατά τη ζεύξη του δικτύου και της διάρκειας ζωής της μπαταρίας, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Sinha et al., 2017). Προαπαιτούμενο είναι όλες οι συσκευές να μπορούν να υποστηρίζουν τη λειτουργία της κλάσης A. Αντίστοιχα, οι συσκευές κατηγορίας B πρέπει να μπορούν να υποστηρίζουν τη λειτουργία της κλάσης A και B. Τέλος, οι συσκευές κατηγορίας C πρέπει να μπορούν να υποστηρίζουν τη λειτουργία της κλάσης A και B και C.



Εικόνα 8 - Τεχνολογία LoRaWAN

Οι συσκευές κλάσης A είναι η κατηγορία των συσκευών με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Για την αποστολή δεδομένων χρησιμοποιούν καθαρή πρόσβαση ALOHA. Μετά την αποστολή ενός πακέτου δεδομένων, μία συσκευή κλάσης A ανοίγει διαδοχικά δύο παράθυρα λήψης απάντησης. Κάθε παράθυρο λήψης ορίζεται από τη διάρκεια, το χρόνο μετατόπισης και το ρυθμό δεδομένων. Οι συσκευές κλάσης B έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές με αυξημένες ανάγκες λήψης μηνυμάτων από το δίκτυο. Σε αυτή την κατηγορία οι συσκευές συγχρονίζονται χρησιμοποιώντας περιοδικά σήματα (Beacons) που αποστέλλονται από την πύλη, για να καταρτίσουν το χρονοδιάγραμμα των πρόσθετων παραθύρων λήψης, χωρίς προηγούμενη επιτυχημένη μετάδοση μηνύματος εκπομπής. Οι συσκευές κλάσης C είναι συσκευές όπου η κατανάλωση ενέργειας δεν απασχολεί την εφαρμογή και ακούει πάντα το κανάλι λήψης, εκτός από τις περιόδους που εκπέμπουν (Adelantado et al., 2017).

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Class A</b><br/>Κατάλληλες μόνο για αισθητήρες παρακολούθησης και <u>όχι</u> για ενεργοποιητές.</p> | <p>Η συσκευή παραμένει σε αδράνεια έως ότου δει αλλαγή στο περιβάλλον που έχει οριστεί να παρακολουθεί. Τότε εκκινεί μία ζεύξη και αποστέλλει τα δεδομένα. Στη συνέχεια ακούει μία απάντηση από το δίκτυο. Εάν αυτή δεν πραγματοποιηθεί, πέφτει ξανά σε αδράνεια για λίγο και επανέρχεται μετά από λίγο. Εάν και πάλι δεν πάρει απάντηση, αδρανοποιείται ξανά έως ότου αλλάξει κάτι πάλι στο περιβάλλον που παρακολουθεί και εκκινεί τη διαδικασία από την αρχή.</p> |
|---|--|

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Class B</b></p> <p>Κατάλληλες τόσο για αισθητήρες παρακολούθησης όσο και για ενεργοποιητές. Οι πύλες πρέπει να έχουν ενσωματωμένη πηγή χρονισμού GPS.</p> | <p>Μία βελτιωμένη έκδοση της κλάσης A. Η συσκευή προσφέρει προγραμματισμένα παράθυρα επικοινωνίας με το δίκτυο. Τα παράθυρα αυτά είναι επιπρόσθετα αυτών που ανοίγονται κατά την διάρκεια αποστολής δεδομένων προς το δίκτυο με εκκίνηση από τη συσκευή. Ο προγραμματισμός επιτυγχάνεται με εσωτερικό χρονισμό με τη βοήθεια σημάτων beacon που αποστέλλονται περιοδικά από τις πύλες.</p> |
| <p><b>Class C</b></p> <p>Ακούν πάντα μηνύματα κατερχόμενης ζεύξης, εκτός εάν μεταδίδουν αυτές.</p>  | <p>Η συσκευή παραμένει πάντα ενεργή. Υλοποιεί την ίδια διαδικασία με την κλάση A, αλλά δεν κλείνει το 2ο παράθυρο που ανοίγει για να λάβει απάντηση από το δίκτυο, έως ότου εκκινήσει την επόμενη μετάδοση δεδομένων προς το δίκτυο.</p>   |

#### 2.4.2 Ασφάλεια

Στην τεχνολογία LoRaWAN, για την ασφάλεια και τον έλεγχο ταυτότητας εφαρμόζεται AES κρυπτογράφηση (Dworkin, 2023) και IEEE 802.15.4/2006 Annex B (Salman et al., 2010). Οι περισσότερες τεχνολογίες χρησιμοποιούν ασφάλεια ενός επιπέδου, το δίκτυο LoRa, όμως, χρησιμοποιεί δύο επίπεδα, την ασφάλεια δικτύου και την ασφάλεια των εφαρμογών. Η ασφάλεια δικτύου χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ταυτότητας του κόμβου στο δίκτυο, ενώ η ασφάλεια εφαρμογής προστατεύει τα δεδομένα της εφαρμογής του τελικού χρήστη από το χειριστή του δικτύου. Η τεχνολογία LoRaWAN για την ασφάλεια και την αυθεντικότητα ενσωματώνει κλειδί συνεδρίας δικτύου (NwkSKey) και κλειδί συνεδρίας εφαρμογής (AppSKey). Μία τελική συσκευή, για να συμμετάσχει σε ένα δίκτυο, πρέπει να είναι ενεργοποιημένη και πιστοποιημένη. Η τεχνολογία έχει καθορισμένους δύο τρόπους ελέγχου ταυτότητας και ενεργοποίησης:

1. Over the Air Activation (OAA)
2. Activation By Personalization (ABP)

Στην πρώτη περίπτωση OAA, η οποία χρησιμοποιείται και στη συγκεκριμένη εφαρμογή που αναπτύχθηκε, γίνεται μια διαδικασία σύνδεσης για να συνδεθεί η τελική συσκευή σε οποιοδήποτε δίκτυο. Πριν από την είσοδο στο δίκτυο, οι απαραίτητες πληροφορίες φορτώνονται στη συσκευή. Για κάθε μετάδοση αυτό πρέπει να επαναλαμβάνεται, μέσω του δικτύου, όταν οι πληροφορίες του περιβάλλοντος συνεδρίας χάνονται. Αυτή η μέθοδος διασφαλίζει ότι οι τελικές συσκευές δεν περιορίζονται σε κάποιο συγκεκριμένο πάροχο υπηρεσιών και μπορούν να συνδεθούν σε οποιονδήποτε πάροχο υπηρεσιών δικτύου ενώ βρίσκονται σε περιαγωγή. Στην δεύτερη μέθοδο (ABP), οι πληροφορίες που απαιτούνται είναι αποθηκευμένες στη συσκευή και συνδέεται απευθείας στο επιλεγμένο δίκτυο που έχει οριστεί. Εκτός από μέθοδο ενεργοποίησης και οι δύο μέθοδοι παρέχουν αυθεντικοποίηση και ασφάλεια στο δίκτυο (Devalal & Karthikeyan, 2018).

### 2.4.3 Πιθανές επιθέσεις

#### A. Παραβίαση της συσκευής και των κλειδιών του δικτύου (Compromising device and network keys)

Το LoRaWAN παρέχει ασφάλεια από άκρο σε άκρο χρησιμοποιώντας κλειδιά εφαρμογής και δικτύου. Τα κλειδιά αυτά μπορούν όμως να εξαχθούν εάν ένας εισβολέας καταφέρει να έχει φυσική πρόσβαση σε μία συσκευή.

#### B. Τεχνικές εμπλοκής-παρεμβολής (Jamming techniques)

Μία από τις συνήθεις παρεμβολές είναι η μετάδοση ισχυρών ραδιοφωνικών σημάτων κοντά σε συσκευές, με αποτέλεσμα να διακόπτονται οι μεταδώσεις τους. Σύμφωνα με μελέτη των Reynders, Meert και Pollin, οι συσκευές LoRa αντιμετωπίζουν προβλήματα συνύπαρξης (Reynders et al., 2016). Η ταυτόχρονη εκπομπή μηνυμάτων LoRa με τον ίδιο παράγοντα διασποράς (SF) και στην ίδια συχνότητα μπορούν να παρεμβαίνουν μεταξύ τους. Αυτή η ευπάθεια στο φυσικό επίπεδο LoRa μπορεί να επιτρέψει σε τρίτους να μπλοκάρουν δίκτυα LoRaWAN χρησιμοποιώντας εμπορικές συσκευές LoRa “Commercial-Off-The-Shelf” (COTS).

#### Γ. Επίθεση επανάληψης (Replay Attack)

Μια επίθεση επανάληψης είναι μια επίθεση στο πρωτόκολλο ασφαλείας. Ο κύριος σκοπός αυτής της επίθεσης είναι η εξαπάτηση της συσκευής ή της μονάδας, χρησιμοποιώντας μηνύματα χειραψίας ή παλιά δεδομένα από το δίκτυο. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η επίθεση σε ασύρματα δίκτυα, θα πρέπει ο εισβολέας να γνωρίζει τις συχνότητες και τα κανάλια επικοινωνίας για την ανίχνευση δεδομένων από τη μετάδοση μεταξύ συσκευών. Στο LoRaWAN δεν είναι δυνατή η αποκρυπτογράφηση μεταδόσεων μεταξύ τελικών συσκευών και πυλών χωρίς το AppSKey, καθώς ολόκληρο το ωφέλιμο φορτίο του μηνύματος LoRaWAN κρυπτογραφείται από αυτό. Επιπλέον, καθώς η παραβίαση των δεδομένων θα κάνει τον έλεγχο MIC να αποτύχει, δεν είναι δυνατό να γίνει χωρίς το NwkSKey. Παρόλο που είναι δυνατόν να σταλεί ξανά το μήνυμα διαδοχικά, χρησιμοποιώντας μετρητές πλαισίου που ορίζονται στις προδιαγραφές του LoRaWAN, αυτά τα μηνύματα ή οι επιθέσεις μπορούν να εντοπιστούν και να απορριφθούν. Μόλις ενεργοποιηθεί η τελική συσκευή, αυτοί οι μετρητές ορίζονται και οι δύο στο 0 και κάθε μήνυμα που προέρχεται από την πύλη ή τη συσκευή μετράει αυξήσεις. Εάν ληφθεί ένα μήνυμα με χαμηλότερο μετρητή καρτέ από το τελευταίο μήνυμα, αγνοείται. Ωστόσο, η προδιαγραφή LoRaWAN που χειρίζεται τους μετρητές εκτός πλαισίου επαφίεται ειδικά στην εφαρμογή και τον προγραμματιστή. Επομένως, τα δίκτυα που δεν παρακολουθούν αυτούς τους μετρητές πλαισίων θα μπορούσαν να είναι ευάλωτα σε επιθέσεις επανάληψης.

#### Δ. Επιθέσεις σκουληκότρυπας (Wormhole Attacks)

Σε αυτόν τον τύπο επίθεσης, μια κακόβουλη συσκευή μπορεί να συλλέξει τα πακέτα από μια συσκευή και να τα αναμεταδώσει σε άλλη συσκευή που βρίσκεται σε απόσταση για να αναπαράγει το πακέτο που έχει συλλέξει. Χρησιμοποιώντας δύο τύπους συσκευών όπως οι sniffers και οι jammers είναι δυνατή μια επίθεση σκουληκότρυπας σε ένα δίκτυο LoRaWAN. Ο ανιχνευτής (sniffer) αναλαμβάνει να συλλάβει τα πακέτα και δίνει σήμα στον παρεμβολέα (jammer) να ειδοποιήσει ότι κατέλαβε το πακέτο. Η πύλη δεν λαμβάνει ποτέ το πακέτο που έχει καταληφθεί και η επικύρωση του καταγεγραμμένου μηνύματος παραμένει έγκυρη. Η αναπαραγωγή του μηνύματος που καταγράφηκε μπορεί να πραγματοποιηθεί ανά πάσα στιγμή. Ο διακομιστής πύλης και δικτύου προωθεί το πακέτο στο επίπεδο εφαρμογής. Επομένως, τα σημαντικά μηνύματα συναγερμού μπορούν να μπλοκαριστούν και τα κανονικά μηνύματα που έχουν καταγραφεί πριν και δεν έχουν φτάσει ποτέ στην πύλη (gateway)

μπορούν να σταλούν σε αυτήν σαν να μην υπάρχει συναγερμός. Δεδομένου της έλλειψης της πληροφορίας σχετικά με τον χρόνο στα μηνύματα LoRa, είναι δύσκολο να εντοπιστεί αυτή η επίθεση στα δίκτυα LoRaWAN (Aras et al., 2017).

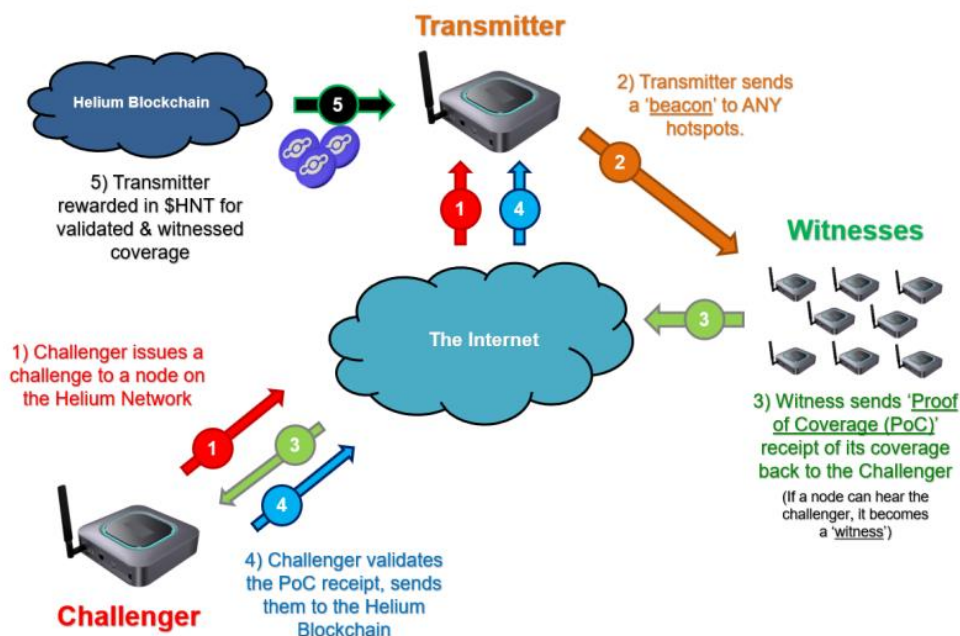
## 2.5 Το δίκτυο Helium LoRaWAN

Το δίκτυο Helium LoRaWAN είναι ένα αποκεντρωμένο ασύρματο δίκτυο που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο LoRa για την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών. Το δίκτυο Helium είναι ένα δίκτυο που επιτρέπει στις συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους και με το διαδίκτυο χωρίς να βασίζονται σε έναν κεντρικό διακομιστή.

Ένα από τα μοναδικά χαρακτηριστικά του δικτύου Helium είναι η χρήση της τεχνολογίας blockchain για την παροχή ασφαλούς και διαφανούς επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών. Οι συσκευές του δικτύου ανταμείβονται με ένα κρυπτονόμισμα που ονομάζεται HNT (Helium Network Token) για την παροχή ασύρματης κάλυψης σε άλλες συσκευές του δικτύου.

Το δίκτυο Helium χρησιμοποιεί, επίσης, μια τεχνολογία για consensus mechanism που ονομάζεται Proof-of-Coverage (PoC), για να διασφαλίσει ότι οι συσκευές παρέχουν όντως ασύρματη κάλυψη. Το PoC περιλαμβάνει την περιοδική αποστολή ενός σήματος από μια συσκευή σε ένα σύνολο άλλων συσκευών στο δίκτυο. Εάν το σήμα λαμβάνεται από αυτές τις συσκευές, η συσκευή που έστειλε το σήμα θεωρείται ότι παρέχει κάλυψη (Reyneke et al., 2023).

Συνολικά, το δίκτυο Helium LoRa παρέχει μια χαμηλού κόστους, ασφαλή και αποκεντρωμένη λύση για την επικοινωνία των συσκευών IoT μεταξύ τους και με το διαδίκτυο. Η χρήση της τεχνολογίας blockchain και της απόδειξης κάλυψης παρέχει ένα επίπεδο διαφάνειας και ασφάλειας που δεν υπάρχει σε άλλες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας. (Haleem et al., 2018) (Reyneke et al., 2023)



Εικόνα 9 – Οικοσύστημα Helium (Reyneke et al., 2023)

## 2.6 Πλατφόρμα Node-RED

Η πλατφόρμα Node-Red βασίζεται πάνω στο Node.js και χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη εφαρμογών IoT. Αναπτύχθηκε από την IBM το 2013 και το 2016 έγινε ανοιχτού κώδικα. Είναι εργαλείο που χρησιμοποιεί τον ιστό για την σύνδεση συσκευών και API. Είναι βασισμένο στο μοντέλο προγραμματισμού με ροές, πράγμα που το κάνει πιο κατανοητό σε χρήστες με μικρότερη εξοικείωση στις γλώσσες προγραμματισμού. Η αρχιτεκτονική ροής δεδομένων εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες που προσφέρουν οι παράλληλοι επεξεργαστές και ξεφεύγει από τον κλασικό τρόπο προγραμματισμού με μία σειρά εντολών που πρόκειται να εκτελεστούν. Το Node-Red προσφέρει οπτική αναπαράσταση, όπου κόμβοι αντιπροσωπεύουν εισόδους και εξόδους που συνδέονται μεταξύ τους με βέλη. Τα αρχεία των ροών που δημιουργούνται αποθηκεύονται σε μορφή JSON. Υποστηρίζεται από την IBM και μία μεγάλη κοινότητα χρηστών. Έχει την δυνατότητα να ενσωματώσει νέους κόμβους σε JavaScript και οι ροές του μπορούν να εισαχθούν και να εξαχθούν. Όταν μία ροή εισάγεται σε ένα σύστημα στο οποίο κάποιος από τους κόμβους που χρησιμοποιείται λείπει, τότε ο χρήστης ειδοποιείται, έτσι ώστε να τον εγκαταστήσει. Οι ροές σε διαφορετικές καρτέλες δεν διαχωρίζονται ως εκ τούτου υπάρχει μία ροή που εκτελείται για όλο το σύστημα (Blackstock & Lea, 2014).

## 2.7 Τεχνολογία Virtual Machine

Με τον όρο Virtual Machine αναφερόμαστε στην τεχνολογία η οποία μιμείται έναν φυσικό ηλεκτρονικό υπολογιστή που βασίζεται σε λογισμικό και προσφέρεται μέσω του Cloud Computing. Μιλάμε, δηλαδή, για ένα αυτόνομο υπολογιστικό περιβάλλον που μπορεί να τρέξει ένα λειτουργικό σύστημα, ώστε να εγκατασταθούν σε αυτό και να εκτελεστούν εφαρμογές. Τα Virtual Machines επιτρέπουν την πολλαπλή και ταυτόχρονη εκτέλεσή τους από έναν και μόνο φυσικό διακομιστή. Έτσι, επιτυγχάνεται η πλήρης και αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων, δίνοντας έτσι την δυνατότητα σε αυτόν που το χρησιμοποιεί να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις, ανάλογα με το φόρτο εργασίας του κάθε συστήματος. Μία υπηρεσία με Virtual Machines προσφέρεται μέσω του Azure, της Cloud πλατφόρμας της Microsoft. Το Azure VMS προσφέρει διάφορες επιλογές διαμόρφωσης των λειτουργικών συστημάτων και πληθώρα επιλογών υπολογιστικής ισχύος, μνήμης και χωρητικότητας αποθήκευσης, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Υποστηρίζει λειτουργικά συστήματα Windows και Linux και στην προκειμένη περίπτωση θα εξεταστεί η επιλογή του λειτουργικού Linux, έτσι ώστε σε αυτό το Virtual Machine να εγκατασταθεί στην συνέχεια η πλατφόρμα του Node RED, που θα παρέχει στην εφαρμογή που αναπτύσσεται την δυνατότητα οπτικοποίησης των πληροφοριών που συλλέγονται από τον αισθητήρα μέτρησης ροής του νερού.



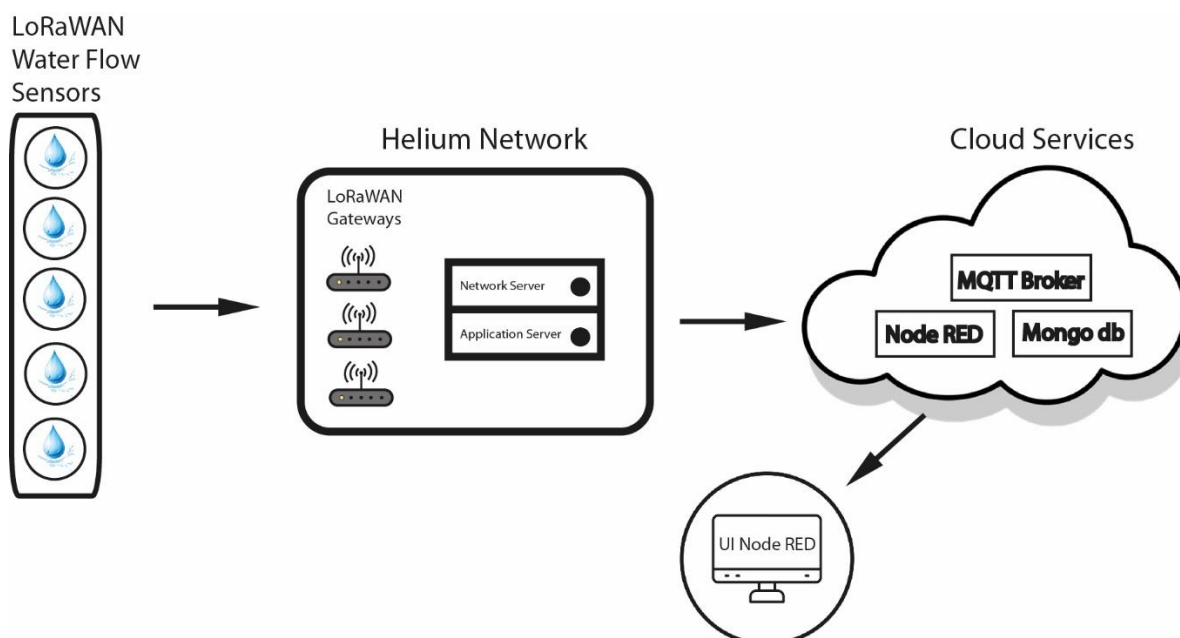
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### Σχεδίαση συστήματος

Ο σχεδιασμός του συστήματος παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιτυχή υλοποίηση της μέτρησης της ροής του νερού, της μετάδοσης της πληροφορίας και της αποθήκευσης αυτής σε μία βάση δεδομένων για τη μετέπειτα ανάλυσή τους. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται μια επισκόπηση της αρχιτεκτονικής του συστήματος και των σχεδιαστικών εκτιμήσεων για κάθε στοιχείο.

#### 3.1 Αρχιτεκτονική συστήματος

Κατά τη φάση του σχεδιασμού, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορες εκτιμήσεις για να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία του συστήματος. Η αρχιτεκτονική του συστήματος αποτελείται από πολλαπλά στοιχεία που συνεργάζονται για να επιτευχθεί η μέτρηση της ροής του νερού, η αποθήκευση των δεδομένων, η επεξεργασία αυτών και η αποτύπωση τους.



Εικόνα 10 – Διάγραμμα ροής LoRaWAN 868MHz Water Flow Sensors

### 3.1.1 Αισθητήρας ροής νερού YF-201

Ο αισθητήρας YF-201 είναι ένας αισθητήρας ροής στροβίλου που βασίζεται στο φαινόμενο Hall για να μετρά την ταχύτητα ροής του νερού σε έναν σωλήνα. Χρησιμοποιεί έναν μόνιμο μαγνήτη που εφαρμόζει ένα μαγνητικό πεδίο και έναν ημιαγωγό που μετρά τις αλλαγές στην επαγωγή και, έτσι, τη θέση ενός κοντινού σιδηρομαγνήτη (πτερύγιο στροβίλου). Τα φορτισμένα σωματίδια εκτρέπονται από τη δύναμη Lorentz και, έτσι, δημιουργείται μία τάση στα ηλεκτρόδια του στοιχείου. Η τάση αυτή ονομάζεται τάση Hall, είναι ανάλογη με την ισχύ του μαγνητικού πεδίου και είναι της τάξεως των microvolt. Γι' αυτό το λόγο, οι αισθητήρες αυτού του τύπου έχουν ενσωματωμένους ενισχυτές DC. Οι αισθητήρες αυτού του τύπου διακρίνονται σε αναλογικής και ψηφιακής εξόδου. Ο YF-201 είναι ένας αισθητήρας ψηφιακής εξόδου και παράγει μόνο δύο καταστάσεις On και Off (Storr, 2013).



Εικόνα 11 – Ο αισθητήρας ροής

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο αισθητήρας YF-201 έχει ορισμένους περιορισμούς και πηγές σφαλμάτων. Σε αυτές περιλαμβάνονται η ευαισθησία του αισθητήρα στη θερμοκρασία, οι φυσαλίδες αέρα στο νερό, καθώς και η ακρίβεια της βαθμονόμησης του αισθητήρα. Αυτοί οι παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν χρησιμοποιείται ο αισθητήρας YF-201 για τη μέτρηση της ροής του νερού

### 3.1.2 Adafruit Feather M0 LoRa Radio Module

Το Adafruit Feather M0 LoRa Radio<sup>6</sup> είναι μια μονάδα χαμηλής ισχύος σχεδιασμένη έτσι ώστε να επικοινωνεί σε μεγάλες αποστάσεις με τη χρήση του πρωτοκόλλου LoRaWAN. Η μονάδα βασίζεται στον μικροελεγκτή ATSAMR21G18A, ο οποίος ενσωματώνει έναν επεξεργαστή ARM Cortex-M0+ 32-bit με την ταχύτητα ρολογιού του στα 48 MHz. Η μονάδα περιλαμβάνει, επίσης, έναν ραδιοπομποδέκτη LoRa, μια υποδοχή μπαταρίας για την τροφοδοσία της μονάδας και 10 αναλογικές εισόδους γενικής χρήσης. Η ραδιομονάδα έχει σχεδιαστεί με γνώμονα την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας, καθιστώντας τη έτσι κατάλληλη για συστήματα που λειτουργούν με τη χρήση μπαταρίας ως βασική πηγή. Η μικρή της διάσταση ο συμπαγής σχεδιασμό της και το μικρό βάρος της, διευκολύνει την ενσωμάτωσή της σε πληθώρα συσκευών.

Η μονάδα χρησιμοποιεί λογισμικό ανοικτού κώδικα, το οποίο καθιστά εύκολη την προσαρμογή και την τροποποίησή της για συγκεκριμένες εφαρμογές και μπορεί να προγραμματιστεί χρησιμοποιώντας το περιβάλλον ανάπτυξης IDE Arduino. Το IDE παρέχει μια απλή και εύχρηστη διεπαφή για τον προγραμματισμό της μονάδας και δίνει την δυνατότητα να ενσωματωθεί η βιβλιοθήκη για το πρωτόκολλο LoRaWAN. Για τον προγραμματισμό της μονάδας, ο χρήστης πρέπει πρώτα να συνδέσει τη μονάδα σε έναν υπολογιστή χρησιμοποιώντας ένα καλώδιο USB. Στη συνέχεια, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει

<sup>6</sup> <https://learn.adafruit.com/adafruit-feather-m0-radio-with-lora-radio-module/overview> [27 Μαΐου, 2024]

τον τύπο και τη θύρα της πλακέτας στο Arduino IDE και να γράψει και να φορτώσει τον κώδικα στη μονάδα.

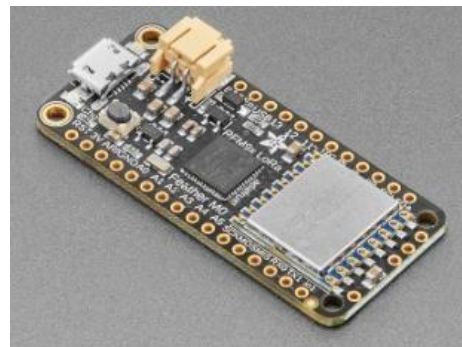
Η ραδιομονάδα Adafruit Feather M0 LoRa έχει ορισμένους περιορισμούς που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη χρήση της για επικοινωνία. Αυτοί οι περιορισμοί περιλαμβάνουν:

Περιορισμένη εμβέλεια: Η εμβέλεια της μονάδας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ζώνης συχνοτήτων, της κεραίας και του περιβάλλοντος. Η μονάδα έχει συνήθως εμβέλεια αρκετών χιλιομέτρων σε ανοικτές περιοχές.

Περιορισμένος ρυθμός δεδομένων: Η μονάδα υποστηρίζει διάφορους ρυθμούς δεδομένων που κυμαίνονται από 0.3 kbps έως 50 kbps, αλλά οι υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων ενδέχεται να οδηγήσουν σε μειωμένη εμβέλεια (Adelantado et al., 2017).

Παρεμβολές: Το πρωτόκολλο LoRaWAN χρησιμοποιεί μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων, οι οποίες μπορεί να είναι ευαίσθητες σε παρεμβολές από άλλες ασύρματες συσκευές (Noreen et al., 2017) (Adelantado et al., 2017).

Η ραδιομονάδα Adafruit Feather LoRa M0 χρησιμεύει ως κεντρικός κόμβος για τη συλλογή δεδομένων της ροής του νερού με τη χρήση του αισθητήρα YF-201. Είναι υπεύθυνη για τη συλλογή των δεδομένων ροής, την κωδικοποίησή τους με χρήση του πρωτοκόλλου LoRaWAN και τη μετάδοσή τους μέσω του δικτύου Helium. Η ραδιομονάδα Adafruit Feather LoRa M0 πρέπει να προγραμματιστεί κατάλληλα, έτσι ώστε να δημιουργεί μια σταθερή σύνδεση με το δίκτυο Helium χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο LoRa.



Εικόνα 12 – Η Ραδιομονάδα

### 3.1.3 Δίκτυο Helium και το πρωτόκολλο LoRaWAN

Το δίκτυο Helium παρέχει την υποδομή για ασύρματη διασύνδεση μεταξύ της ραδιομονάδας και του δικτύου LoRa. Το Adafruit Feather LoRa M0 χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο LoRaWAN για την επικοινωνία με το δίκτυο, επιτρέποντας τη μετάδοση δεδομένων ροής νερού σε μεγάλη απόσταση και με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

### 3.1.4 Πρωτόκολλο MQTT

Το πρωτόκολλο MQTT χρησιμοποιείται για την αποστολή των δεδομένων μέσω μηνυμάτων και παίζει καθοριστικό ρόλο στην απρόσκοπτη μεταφορά δεδομένων μεταξύ του δικτύου Helium και του MQTT Broker. Στην κονσόλα του Helium γίνεται εγγραφή στο αντίστοιχο topic και αποστολή σε αυτό των μηνυμάτων με την αντίστοιχη προγραμματισμένη περιοδικότητα. Παράλληλα, στην πλατφόρμα Node-RED έχει γίνει εγγραφή στο ίδιο topic, ώστε να λαμβάνει τα μηνύματα που δημοσιεύονται.

### 3.1.5 Πλατφόρμα Node-RED

Η πλατφόρμα Node-RED εγκαταστάθηκε σε ένα Virtual Machine στην υπηρεσία Azure της Microsoft. Έτσι λειτουργεί ως πύλη και λαμβάνει τα δεδομένα της ροής του νερού μέσω του

πρωτοκόλλου MQTT. Μέσω της πλατφόρμας Node-RED, εκτελείτε οποιαδήποτε αναγκαία επεξεργασία ή μετασχηματισμός των δεδομένων και στην συνέχεια παρέχεται οπτικοποίηση σε έναν πίνακα οργάνων για εύκολη παρακολούθηση των δεδομένων και περαιτέρω μετάδοσή τους.

### 3.1.6 Atlas MongoDB

Το MongoDB Atlas χρησιμεύει ως βάση δεδομένων στο cloud για την αποθήκευση των δεδομένων ροής νερού που λαμβάνονται. Το Node-RED, στέλνει τα δεδομένα που λαμβάνει μέσω MQTT στη MongoDB Atlas για ασφαλή και κλιμακούμενη αποθήκευση. Για να επιτευχθεί η ασφαλής αποθήκευση των δεδομένων ροής νερού, η πλατφόρμα Node-RED πρέπει να ρυθμιστεί, έτσι ώστε να δημιουργήσει μια σύνδεση με το MongoDB Atlas. Πρέπει να ρυθμιστούν τα κατάλληλα διαπιστευτήρια και οι κατάλληλες διαμορφώσεις, ώστε να είναι δυνατή η μετάδοση και η αποθήκευση δεδομένων.

## 3.2. Ροή εργασιών συστήματος

Η ροή εργασιών αποτυπώνει τα βήματα και τις διαδικασίες που ακολουθούνται στο σύστημα για να επιτευχθεί ο στόχος που έχει τεθεί και μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

### 3.2.1 Συλλογή δεδομένων

Το Adafruit Feather LoRa M0 συλλέγει δεδομένα ροής νερού χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα YF-201 και τα κωδικοποιεί χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο LoRaWAN. Στη συνέχεια, τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω του δικτύου Helium.

### 3.2.2 Επικοινωνία MQTT

Το δίκτυο Helium αποστέλλει τα δεδομένα ροής νερού χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο MQTT. Η πλατφόρμα Node-RED, η οποία έχει εγκατασταθεί σε ένα virtual machine, εγγράφεται στο σχετικό θέμα (topic) MQTT και λαμβάνει τα δεδομένα.

### 3.2.3 Επεξεργασία με την πλατφόρμα Node-RED

Το Node-RED λαμβάνει τα μηνύματα MQTT, εξάγει τα δεδομένα ροής νερού και εκτελεί οποιαδήποτε αναγκαία επεξεργασία ή μετασχηματισμό δεδομένων.

### 3.2.4 Οπτικοποίηση πίνακα οργάνων

Τα επεξεργασμένα δεδομένα ροής νερού εμφανίζονται στη συνέχεια σε πίνακα οργάνων στο περιβάλλον Node-RED. Το ταμπλό παρέχει μια οπτική αναπαράσταση των δεδομένων, επιτρέποντας στους χρήστες να παρακολουθούν και να αναλύουν τις μετρήσεις ροής νερού σε πραγματικό χρόνο.

### 3.2.5 Αποθήκευση στη MongoDB

Το τελευταίο βήμα στη ροή εργασιών του συστήματος περιλαμβάνει την αποθήκευση των δεδομένων ροής νερού στο MongoDB Atlas. Η πλατφόρμα Node-RED, δημιουργεί μια σύνδεση με τη βάση δεδομένων MongoDB Atlas και μεταδίδει με ασφάλεια τα δεδομένα για μακροπρόθεσμη αποθήκευση. Αυτό επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση στα δεδομένα και την ανάκτησή τους για σκοπούς περαιτέρω ανάλυσης ή υποβολής εκθέσεων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### Πειραματική Εφαρμογή

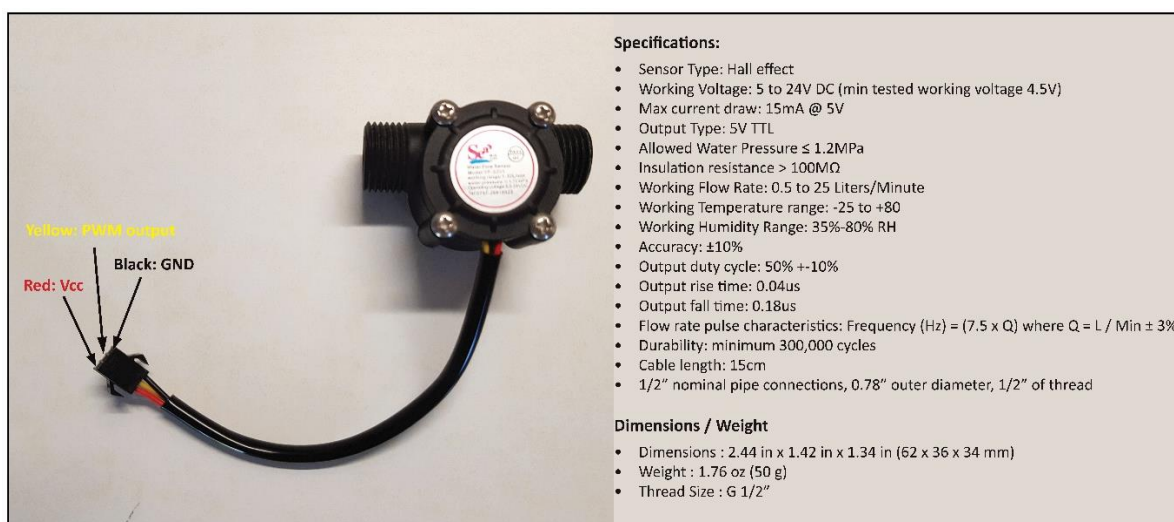
Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται λεπτομερώς τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την ανάπτυξη της πειραματικής εφαρμογής. Το σύστημα σχεδιάστηκε να μετράει τη ροή του νερού και την συνολική κατανάλωση, να την μεταδίδει ασύρματα προς το δίκτυο Helium μέσω του LoRaWAN, και στη συνέχεια, μέσω του πρωτοκόλλου MQTT, η πληροφορία να προωθείται στην υπηρεσία Atlas MongoDB διά μέσου της πλατφόρμας Node-RED.

#### 4.1 Υλισμικό (Hardware)

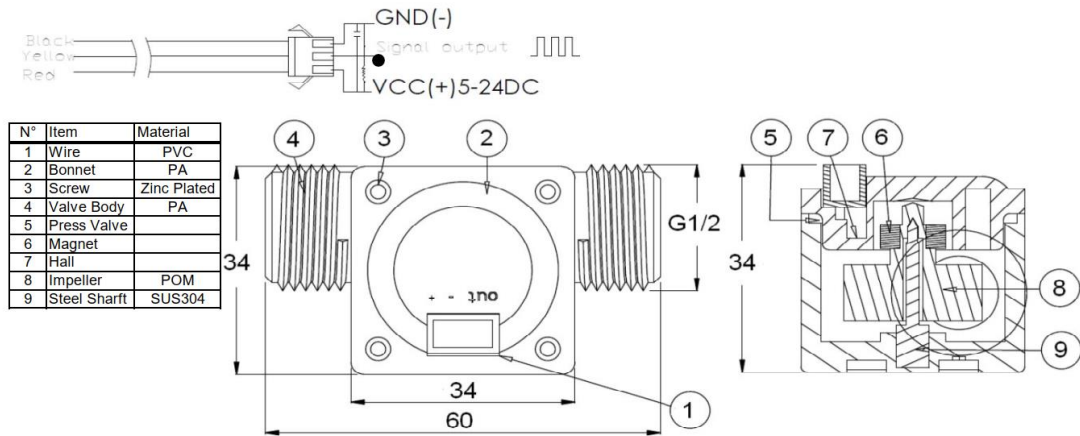
Σε αυτή την ενότητα αναλύονται τα φυσικά στοιχεία-υλικά και οι ηλεκτρονικές συσκευές, που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της εφαρμογής.

##### 4.1.2 Αισθητήρας ροής YF-S201

Ο αισθητήρας ροής YF-S201, όπως φαίνεται στη εικόνα, έχει 3 καλώδια. Το κόκκινο καλώδιο συνδέεται στο VCC, για την παροχή τάσης με εύρος από 4,5Vdc έως 24Vdc και το μαύρο συνδέεται στο GND. Το κίτρινο είναι η έξοδος του αισθητήρα και παρέχει τους παλμούς PWM.



Εικόνα 13 – Χαρακτηριστικά αισθητήρα ροής YF-S201



Εικόνα 14 – Στοιχεία του αισθητήρα ροής YF-S201

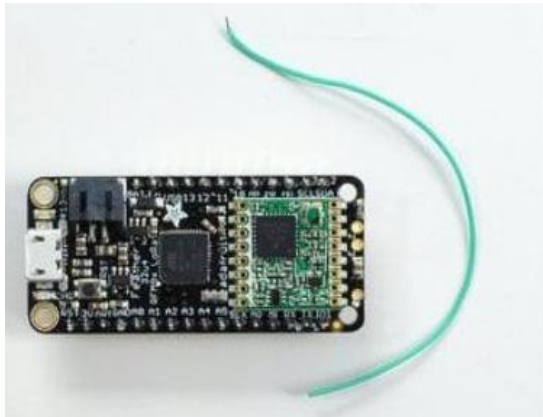
#### 4.2.2 Adafruit Feather M0 LoRa

Η ραδιομονάδα Adafruit Feather M0 LoRa που χρησιμοποιήθηκε παρέχει στο Pin #VBUS (USB) +5Vdc, και στο Pin #GND 0Vdc. Από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα που απαιτεί ελάχιστη τάση λειτουργίας 4,5Vdc το κόκκινο και μαύρο καλώδιο συνδέθηκαν στα αντίστοιχα Pin. Η έξοδος του αισθητήρα, που είναι το κίτρινο καλώδιο, συνδέθηκε απευθείας στο Pin #10 – GPIO. Επίσης, για να χρησιμοποιηθεί το ενσωματωμένο RFM95 κύκλωμα του Adafruit Feather για LoRaWAN θα πρέπει να συνδεθούν μεταξύ τους τα Pin's #10 και #9.



Εικόνα 15 – Η ραδιομονάδα συνδεδεμένη με το αισθητήρα ροής

Η μονάδα Adafruit Feather M0 LoRa δε διαθέτει ενσωματωμένη κεραία και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε ένα απλό καλώδιο στο οποίο, βάσει των τεχνικών χαρακτηριστικών του υλικού για τα 868MHz που θα εκπέμψει το σύστημα, αντιστοιχεί κεραία μήκους 7,8cm.



Cut a stranded or solid core wire to the proper length for the module/frequency

433 MHz - 6.5 inches, or 16.5 cm

868 MHz - 3.25 inches or 8.2 cm

915 MHz - 3 inches or 7.8 cm

Εικόνα 16 – Πάνω όψη πλακέτας ραδιομονάδας

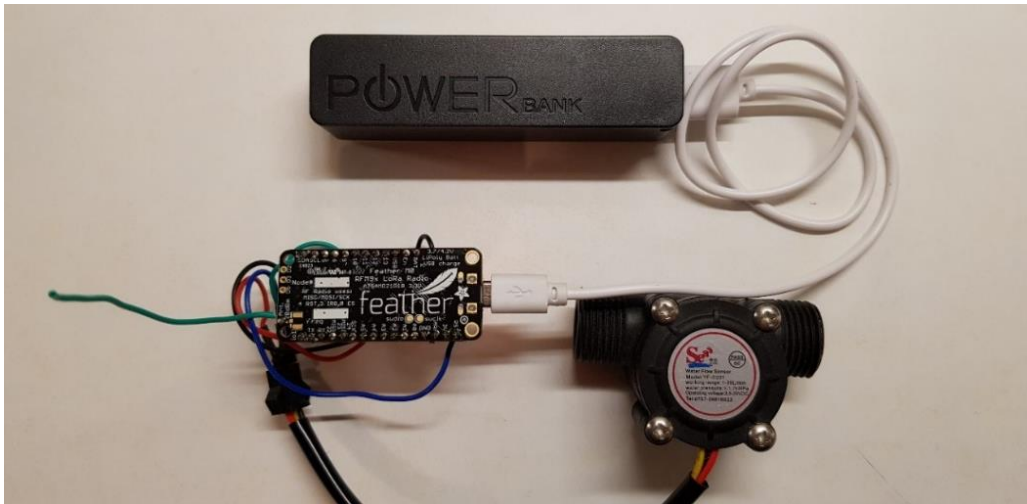
Στη συνέχεια, η ραδιομονάδα συνδέθηκε με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω καλωδίου USB, έτσι ώστε μέσω του λογισμικού IDE να παραμετροποιηθεί και να προγραμματιστεί για να μετράει τους παλμούς από τον αισθητήρα ροής, καθώς επίσης να υπολογίζει τη ροή και την κατανάλωση του νερού, και στη συνέχεια να αποστέλλει τα δεδομένα μέσω LoRaWAN. Παράλληλα, από το USB καλώδιο τροφοδοτείται το σύστημα με 5Vdc τα οποία ρυθμίζονται και υποβαθμίζονται στα 3,3Vdc, που είναι τα απαιτούμενα για να λειτουργήσει η ραδιομονάδα.



Εικόνα 17 – Κάτω όψη πλακέτας ραδιομονάδας

Η ραδιομονάδα μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα, μετά τον αρχικό προγραμματισμό της, με την προσαρμογή κατάλληλης πηγής ενέργειας. Αυτή μπορεί να είναι, για παράδειγμα, ένα απλό Power Bank που παρέχει 5Vdc στο σύστημα συνδεδεμένο στο USB receptacle connector.



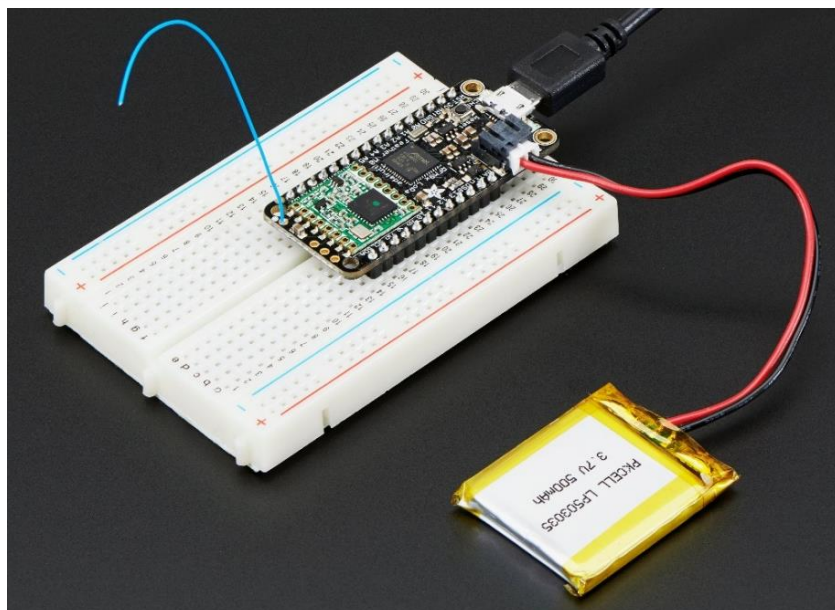


Εικόνα 18 – Σύνδεση ραδιομονάδας με αισθητήρα και USB Power Bank

Μπορεί, επίσης, να είναι μία μπαταρία LiPoly ή Lilon συνδεδεμένη στο JST jack, η οποία έχει και τη δυνατότητα επαναφόρτισης. Το Adafruit Feather MO διαθέτει κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη, έτσι ώστε με τον απαραίτητο κώδικα, ο οποίος παρατίθεται πιο κάτω, κατά τον προγραμματισμό να μπορεί να παρέχει την πληροφορία της τάσης της μπαταρίας ανά πάσα στιγμή και έτσι να μπορεί ο χρήστης να γνωρίζει πότε το σύστημα χρειάζεται επαναφόρτιση ή αντικατάσταση της πηγής ενέργειας.

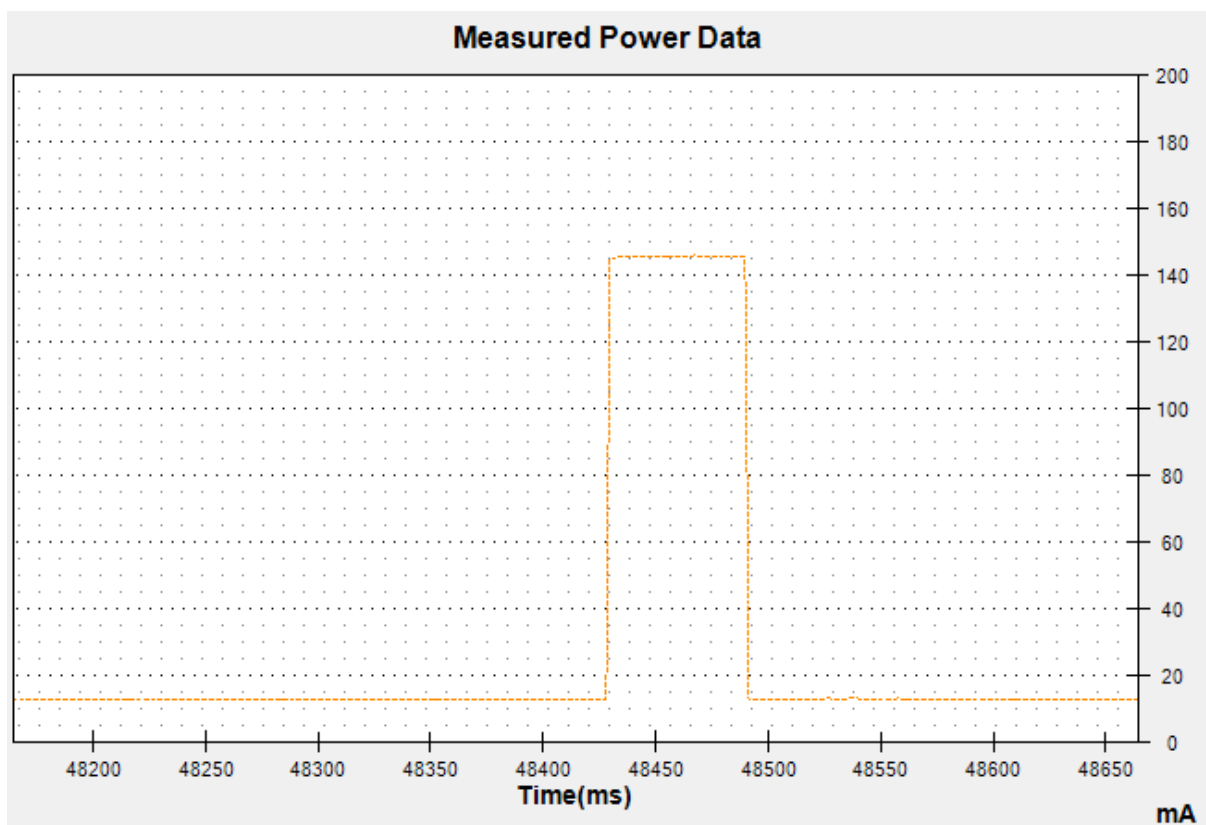
```
#define VBATPIN A7
```

```
float measuredvbat = analogRead(VBATPIN);  
measuredvbat *= 2; // we divided by 2, so multiply back  
measuredvbat *= 3.3; // Multiply by 3.3V, our reference voltage  
measuredvbat /= 1024; // convert to voltage  
Serial.print("VBat: "); Serial.println(measuredvbat);
```



Εικόνα 19 – Ραδιομονάδα συνδεδεμένη με μπαταρία LiPoly

Το τεχνικό φυλλάδιο της Adafruit παραθέτει μία τυπική κατανάλωση που παρουσιάζει η ραδιομονάδα στα πλαίσια εργαστηριακής μέτρησης. Μεταδίδει δεδομένα (payload) μεγέθους 20 bytes και παρουσιάζει κατανάλωση  $\approx 145\text{mA}$  για 70ms. Η κατανάλωση σε κατάσταση ηρεμίας είναι  $\approx 13\text{mA}$ , εκ των οποίων τα 2mA καταναλώνονται για να ακούει η ραδιομονάδα, και τα 11mA τα καταναλώνει ο μικροελεγκτής του κυκλώματος.



Εικόνα 20 – Απεικόνιση κατανάλωσης στον παλμογράφο

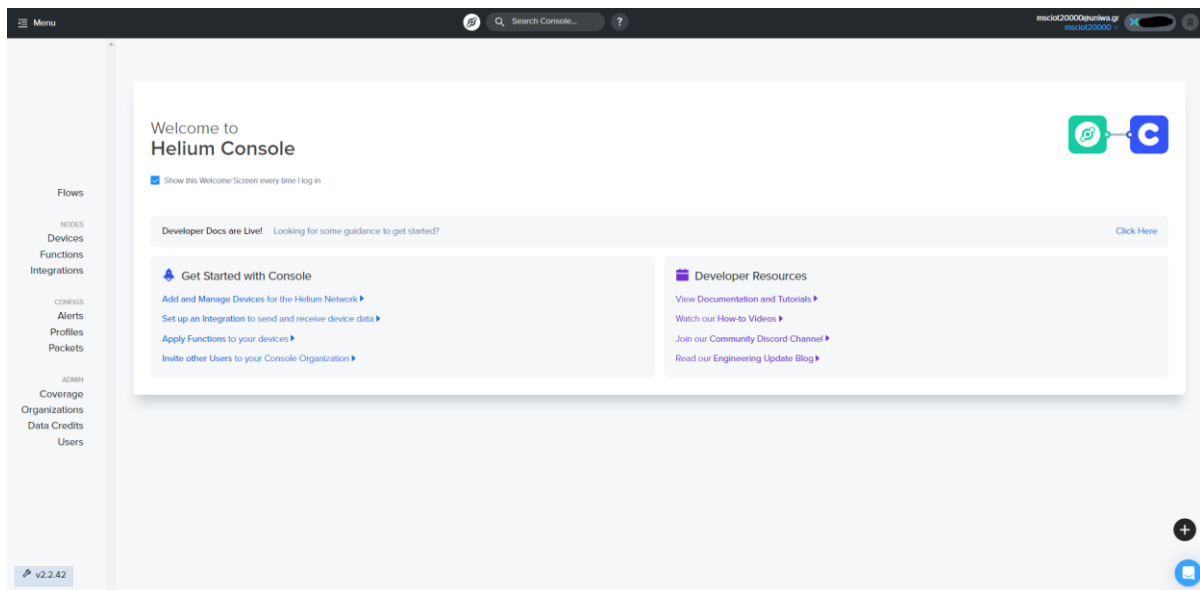
## 4.2 Λογισμικό (Software)

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται ο προγραμματισμός της ραδιομονάδας Adafruit Feather MO LoRa, η πρόσδεσή της στο δίκτυο Helium και η ανάπτυξή της ροής εργασιών στην πλατφόρμα Node-RED, έτσι ώστε οι μετρήσεις να οπτικοποιούνται, να αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων MongoDB Atlas και στη συνέχεια να μπορούν να ανακαλούνται από το χρήστη για περαιτέρω επεξεργασία.

### 4.2.1 Helium network

Το δίκτυο Helium δίνει την δυνατότητα σε συσκευές IoT να συνδέονται στο διαδίκτυο μέσω του πρωτοκόλλου LoRa που χρησιμοποιεί. Για την ανάπτυξη της εφαρμογής μέτρησης ροής νερού χρησιμοποιήθηκε το διαδικτυακό εργαλείο που παρέχεται από το δίκτυο Helium, το Helium Console<sup>7</sup>. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα εγγραφής και διαχείρισης των συσκευών και πλήθος άλλων επιλογών.

<sup>7</sup> <https://console.helium.com> [27 Μαΐου, 2024]



Εικόνα 21 – Κονσόλα πλατφόρμας Helium

Το πρώτο βήμα είναι η δημιουργία ενός λογαριασμού με τα επιθυμητά διαπιστευτήρια (email και password). Ακολουθεί η δημιουργία συσκευής στην οποία αποδίδονται τα απαραίτητα διαπιστευτήρια: ένα 64-bit μοναδικό αναγνωριστικό που ονομάζεται “DevEUI” και ένα αναγνωριστικό της εφαρμογής “AppEUI” που προσδιορίζει τον πάροχο της τελικής συσκευής. Επίσης, αποδίδεται και ένα 128-bit κλειδί “AppKey” για να ενσωματωθούν όλα αυτά μετέπειτα στο υλικολογισμικό (firmware) του κόμβου. Με τον τρόπο αυτό πιστοποιείται και προσδιορίζεται η φυσική συσκευή-κόμβος στο δίκτυο Helium<sup>8</sup> (Aras et al., 2017).

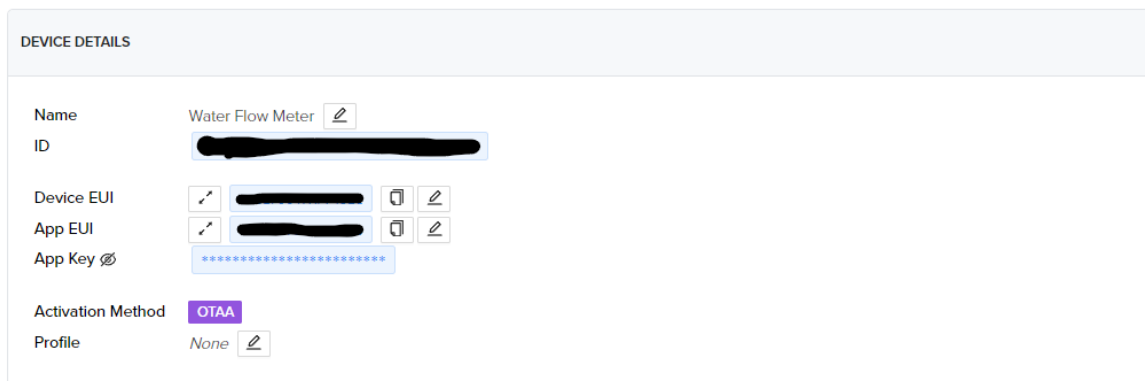
### Add New Device

Important: Users can add up to 10 devices. The first time a device joins the Network could take up to 20 mins. [Learn more about adding devices](#)

| ENTER DEVICE DETAILS |                  | 8 OF 10 DEVICES LEFT |
|----------------------|------------------|----------------------|
| Name                 | Device Name      | 0/52                 |
| Dev EUI              | 6081F92D1F846B40 | 8 / 8 Bytes          |
| App EUI              | 6081F9787ADE09D6 | 8 / 8 Bytes          |
| App Key              | *****            | 16 / 16 Bytes        |

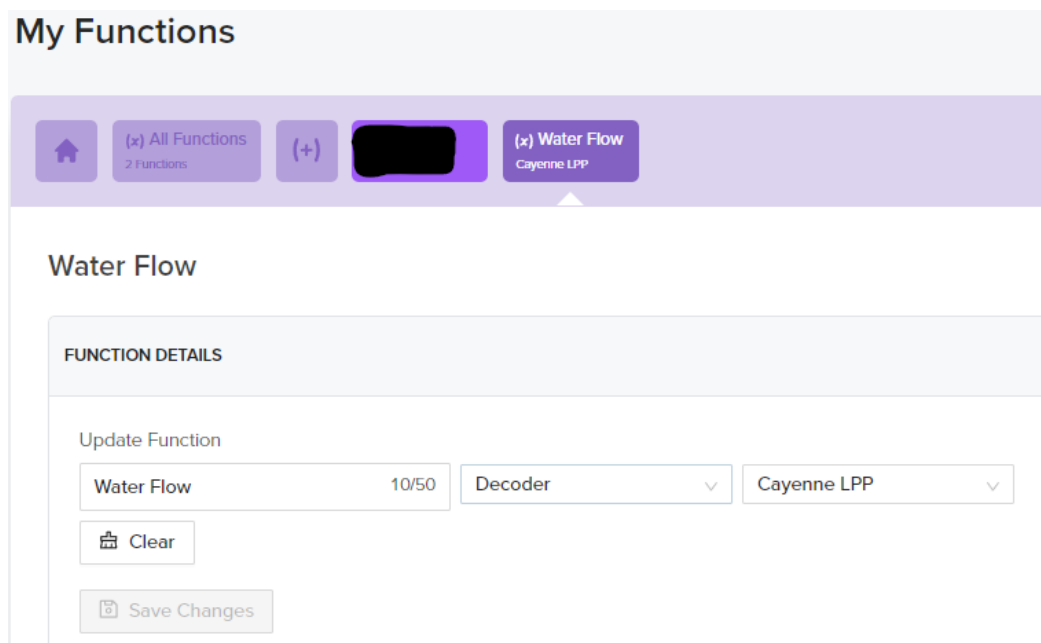
Εικόνα 22 – Δημιουργία εικονικής συσκευής στην πλατφόρμα Helium

<sup>8</sup> <https://docs.helium.com> [27 Μαΐου 2024]



Εικόνα 23 – Στοιχεία εικονικής συσκευής που δημιουργήθηκε στην πλατφόρμα Helium

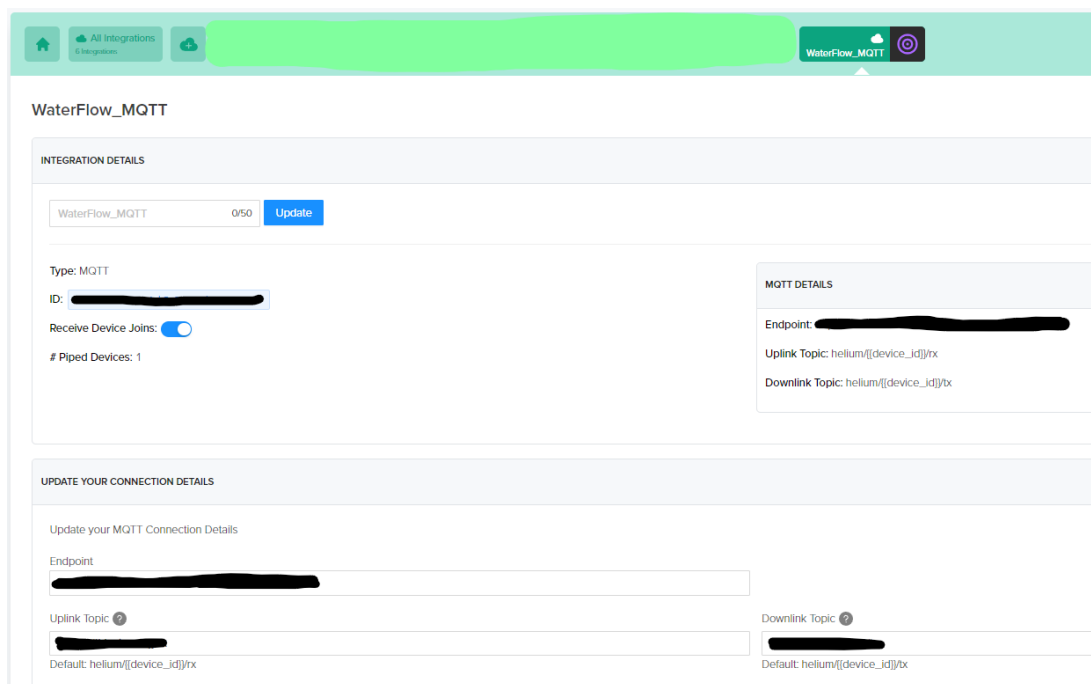
Αφού δημιουργήθηκε η εικονική συσκευή, το επόμενο βήμα είναι να δημιουργηθεί η λειτουργία “Cayenne LPP” στην περιοχή My Functions. Η Cayenne LPP<sup>9</sup> είναι μία μορφή σχεδιασμένη για να ενσωματώνονται οι κόμβοι LoRaWAN σε πλατφόρμες IoT. Επιτυγχάνεται, έτσι, η αποστολή πακεταρισμένων δεδομένων από αισθητήρες στο “The Things Network”.



Εικόνα 24 – Δημιουργία λειτουργίας Cayenne LPP στην πλατφόρμα Helium

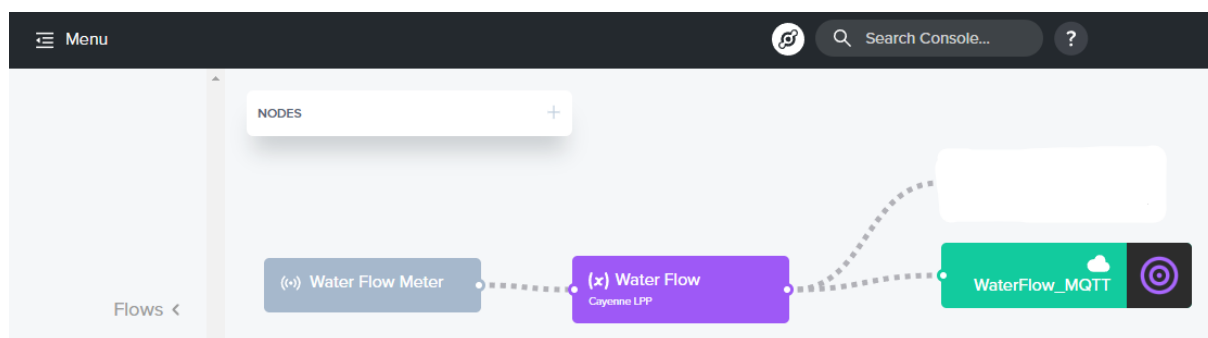
Ο τελικός σχεδιασμός της εφαρμογής, όσον αφορά την πλατφόρμα Helium Console, περιλαμβάνει την προώθηση των πακεταρισμένων μηνυμάτων που αποστέλλονται από τον κόμβο μέτρησης ροής νερού, μέσω MQTT πρωτοκόλλου, σε ένα θέμα “Topic” που έχει ήδη δημιουργηθεί στον broker HiveMQ. Για να επιτευχθεί αυτό, στην περιοχή “My Integrations” δημιουργήθηκε μία διαδικασία ενσωμάτωσης MQTT και συμπληρώθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία σύνδεσης “Endpoint”, “Uplink Topic” και “Downlink Topic” που απαιτούνται. Η συσκευή-Device “Water Flow”, η λειτουργία-function “Cayenne LPP” και η ενσωμάτωση-Integration “WaterFlow\_MQTT”.

<sup>9</sup> <https://docs.mydevices.com/docs/lorawan/cayenne-lpp> [27 Μαΐου 2024]










Εικόνα 25 – Δημιουργία ενσωμάτωσης MQTT στην πλατφόρμα Helium

Με την ολοκλήρωση της παραμετροποίησης πρέπει η συσκευή-device “Water Flow”, η λειτουργία-function “Cayenne LPP” και η ενσωμάτωση-integration “WaterFlow\_MQTT” στην περιοχή “Flows” να τοποθετηθούν με λογική σειρά προώθησης εργασίας, έτσι ώστε να ξεκινήσει η ροή των μηνυμάτων. Συνεπώς, οι ροές-flows αποτυπώνουν την σχέση μεταξύ των devices, functions και integrations.



Εικόνα 26 – Απεικόνιση της ροής εργασιών στην πλατφόρμα Helium



Μόλις ολοκληρωθεί και η σχετική ροή-flow στην πλατφόρμα, το δίκτυο Helium είναι έτοιμο να δεχτεί τα μηνύματα που αποστέλλονται από τη ραδιομονάδα Adafruit Feather M0 μέσω LoRaWAN. Η διαδικασία σύνδεσης “Joining” που ακολουθείται είναι “Over the Air Activation” (OTAA). Η ραδιομονάδα εκκινεί τη διαδικασία μέσω αποστολής μηνύματος αίτησης σύνδεσης και γίνεται δεκτή. Αμέσως μετά τη σύνδεση, η ραδιομονάδα ξεκινάει να στέλνει μηνύματα ακολουθώντας το πρωτόκολλο LoRa. Τα μηνύματα που αποστέλλονται είναι τύπου Up-Link και είναι από τη ραδιομονάδα προς το δίκτυο Helium μέσω των διαθέσιμων πυλών. Παραλαμβάνονται, μορφοποιούνται και δρομολογούνται βάσει της ροής που έχει δημιουργηθεί στην πλατφόρμα Helium Console.

| Event   | Type   | No. of Hotspots | Time                        |
|---|--------|-----------------|-----------------------------|
| +  6 | Uplink | 1               | Jun 4, 2023 11:36:56.000 PM |
| +  5 | Uplink | 1               | Jun 4, 2023 11:35:53.688 PM |
| +  4 | Uplink | 1               | Jun 4, 2023 11:34:51.302 PM |
| +  3 | Uplink | 1               | Jun 4, 2023 11:33:49.120 PM |
| +  2 | Uplink | 1               | Jun 4, 2023 11:32:46.896 PM |
| +  1 | Uplink | 1               | Jun 4, 2023 11:31:44.471 PM |
| -  0 | Uplink | 1               | Jun 4, 2023 11:30:42.501 PM |

| Hotspot Name       | RSSI | SNR  | Frequency | Spreading | Time                        |
|--------------------|------|------|-----------|-----------|-----------------------------|
| custom-mauve-sheep | -110 | 1.00 | 868.10    | SF7BW125  | Jun 4, 2023 11:30:42.501 PM |

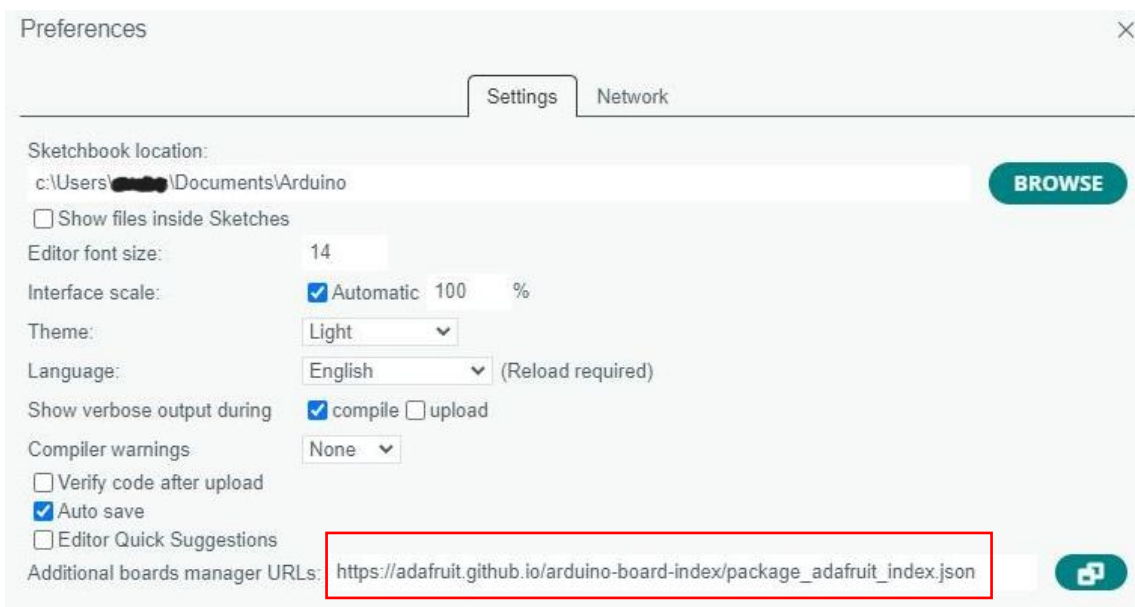
  

|   |              |   |                             |
|---|--------------|---|-----------------------------|
| +  0 | Join Accept  | 1 | Jun 4, 2023 11:30:39.274 PM |
| +  0 | Join Request | 1 | Jun 4, 2023 11:30:37.274 PM |

Εικόνα 27 – Απεικόνιση της μετάδοσης δεδομένων προς το δίκτυο Helium

#### 4.2.2 IDE

Ο προγραμματισμός της ραδιομονάδας Adafruit Feather Mo LoRa πραγματοποιείται μέσω του λογισμικού IDE, μία διαλειτουργική πλατφόρμα (cross-platform) προγραμματισμού που δημιουργήθηκε με τις γλώσσες C και C++. Διαθέτει πληθώρα βιβλιοθηκών που υποστηρίζονται από μία ευρεία κοινότητα και του δίνουν την δυνατότητα δημιουργίας διάφορων υλικολογισμικών. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή ακολουθήθηκε η διαδικασία μέσα από τα documentation του Helium<sup>10</sup>, για να παραμετροποιηθεί, έτσι ώστε να προγραμματιστεί η ραδιομονάδα της Adafruit. Έγινε εγκατάσταση της πλακέτας υλικού από την ηλεκτρονική διεύθυνση που παρέχει η Adafruit<sup>11</sup>



Εικόνα 28 – Εισαγωγή URL για την εγκατάσταση της πλακέτας υλικού

<sup>10</sup> <https://docs.helium.com/network-iot/devices/development/adafruit/adafruit-feather-m0-rfm95/arduino> [27 Μαΐου 2024]

<sup>11</sup> [https://adafruit.github.io/arduino-board-index/package\\_adafruit\\_index.json](https://adafruit.github.io/arduino-board-index/package_adafruit_index.json) [27 Μαΐου 2024]

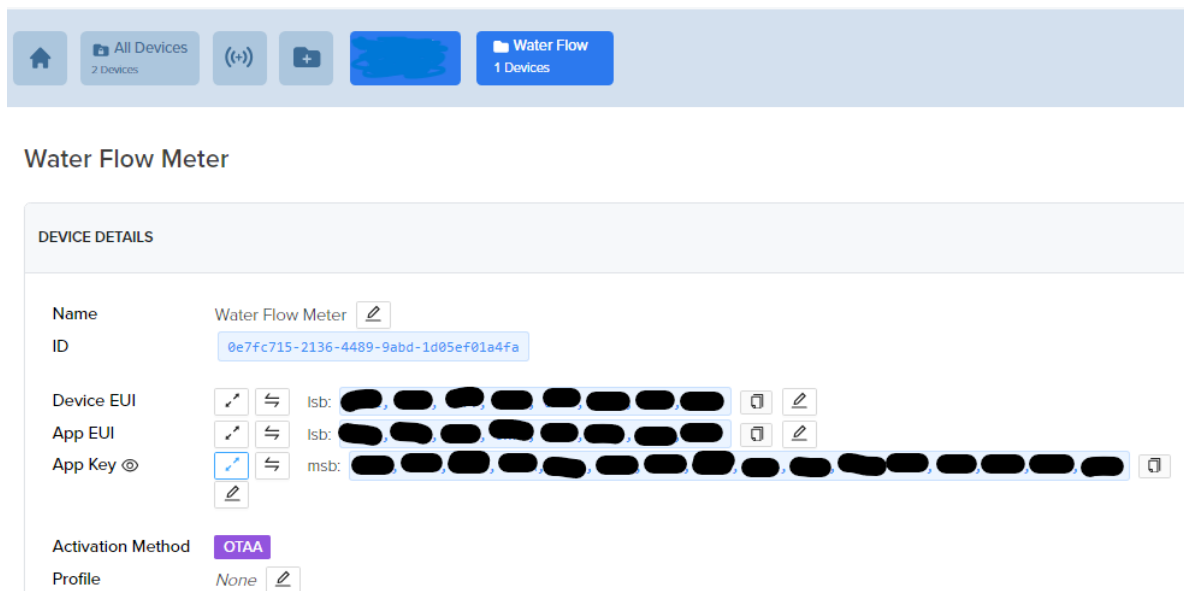
Στη συνέχεια, για να μπορέσει η ραδιομονάδα να επικοινωνήσει με την πλατφόρμα Helium έγινε εγκατάσταση της βιβλιοθήκης IBM Lmic framework, όπου στο “config.h” αρχείο που δημιουργήθηκε επιλέχθηκε η συχνότητα που θα εκπέμπει η μονάδα (868 MHz).

```
#ifndef _lmic_config_h_
#define _lmic_config_h_

// In the original LMIC code, these config values were defined on the
// gcc commandline. Since Arduino does not allow easily modifying the
// compiler commandline, use this file instead.

#define CFG_eu868 1
// #define CFG_us915 1
// This is the SX1272/SX1273 radio, which is also used on the HopeRF
// RFM92 boards.
// #define CFG_sx1272_radio 1
// This is the SX1276/SX1277/SX1278/SX1279 radio, which is also used on
// the HopeRF RFM95 boards.
#define CFG_sx1276_radio 1
```

Κατόπιν, αναπτύχθηκε ο απαραίτητος κώδικας και εντάχθηκαν σε αυτόν, από την πλατφόρμα Helium, τα απαραίτητα διαπιστευτήρια AppEUI, DevEUI και AppKey του εικονικού device που έχουμε δημιουργήσει. Μία παράμετρος που χρήζει προσοχής είναι ο τρόπος γραφής-αποτύπωσης των bit των διαπιστευτηρίων, δηλαδή LSB ή MSB κωδικοποίηση. Το AppEUI και DevEUI πρέπει να είναι σε LSB και το AppKey σε MSB. Στην παρακάτω φωτογραφία απεικονίζεται ο τρόπος αποτύπωσης των διαπιστευτηρίων στην πλατφόρμα Helium και στον κώδικα που ακολουθεί ο τρόπος εισαγωγής αυτών των διαπιστευτηρίων στο firmware της ραδιομονάδας.



Εικόνα 29 – Στοιχεία εικονικής συσκευής στη πλατφόρμα Helium

```

static const u1_t PROGMEM APPEUI[8]={ [REDACTED] };
void os_getArtEui (u1_t* buf) { memcpy_P(buf, APPEUI, 8);}

static const u1_t PROGMEM DEVEUI[8]={ [REDACTED] };
void os_getDevEui (u1_t* buf) { memcpy_P(buf, DEVEUI, 8);}

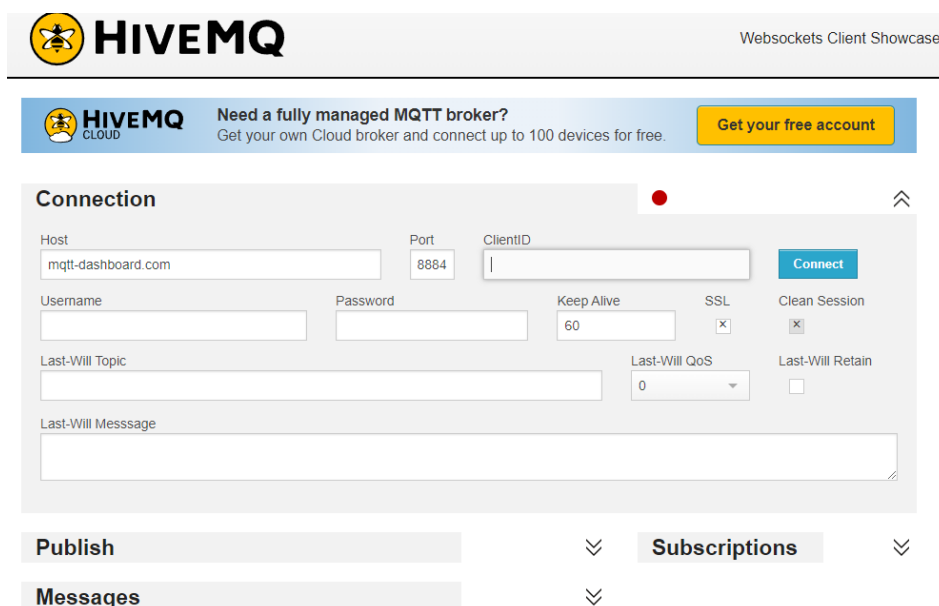
static const u1_t PROGMEM APPKEY[16] = { [REDACTED] };
void os_getDevKey (u1_t* buf) { memcpy_P(buf, APPKEY, 16);}

```

Στη συνέχεια, στον κώδικα που αναπτύχθηκε ενσωματώθηκε ο χρόνος μεταξύ των μηνυμάτων που αποστέλλει η ραδιομονάδα, προς την πλατφόρμα Helium, μέσω του LoRaWAN. Η παράμετρος αυτή είναι πολύ σημαντική και πρέπει κατά τον υπολογισμό της να ληφθούν υπόψη η περιοχή εκπομπής (Region), το μέγεθος του μηνύματος, το Spreading factor (SF) και το εύρος ζώνης (BW) που έχει χρησιμοποιηθεί. Λανθασμένος υπολογισμός μπορεί να οδηγήσει σε υπέρβαση του Time on Air (ToA) των μηνυμάτων που αποστέλλονται, με αποτέλεσμα η πλατφόρμα Helium να παύσει την επικοινωνία με τη ραδιομονάδα που υπερβαίνει αυτή την παράμετρο βάσει του πρωτοκόλλου LoRaWAN. Συνεπώς, πρέπει να ληφθεί υπόψη το είδος των μετρήσεων και το πεδίο στο οποίο έχει αναπτυχθεί η εφαρμογή, έτσι ώστε τα μηνύματα να περιοριστούν στα απολύτως απαραίτητα, χωρίς αυτό να υπονομεύει την αξιοπιστία της.

#### 4.2.3 MQTT – HIVEMQ

Για την οπτικοποίηση και τη δημιουργία βάσης δεδομένων των μετρήσεων της εφαρμογής, χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο MQTT. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε η δωρεάν υπηρεσία που προσφέρει η πλατφόρμα Hivemq<sup>12</sup>. Τα μηνύματα δημοσιεύονται στον MQTT Broker του Hivemq, μέσω του MQTT Integration που έχει δημιουργηθεί στο Helium Console, σε συγκεκριμένο θέμα (Topic). Απαραίτητο στη διαδικασία είναι να συμπληρωθούν και να χρησιμοποιηθούν τα διαπιστευτήρια username και password, έτσι ώστε να υπάρχει ασφάλεια στη μετάδοση των μηνυμάτων MQTT. Χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο MQTT και κάνοντας Subscribe στο Topic μπορούμε να λάβουμε τα μηνύματα που μεταδίδονται σε αυτό και να τα επεξεργαστούμε κατάλληλα.



Εικόνα 30 – Δημιουργία MQTT topic

<sup>12</sup> <https://www.hivemq.com/demos/websocket-client/> [27 Μαΐου 2024]



Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνεται ένα τυπικό μήνυμα MQTT που αποστέλλεται από το Helium και δημοσιεύεται στο αντίστοιχο topic. Περιλαμβάνει τις πληροφορίες που θέλουμε να μεταδώσουμε από τις μετρήσεις σχετικά με την κατανάλωση νερού, αλλά και πλήθος άλλων που σχετίζονται με το πρωτόκολλο LoRa και την πλατφόρμα Helium.

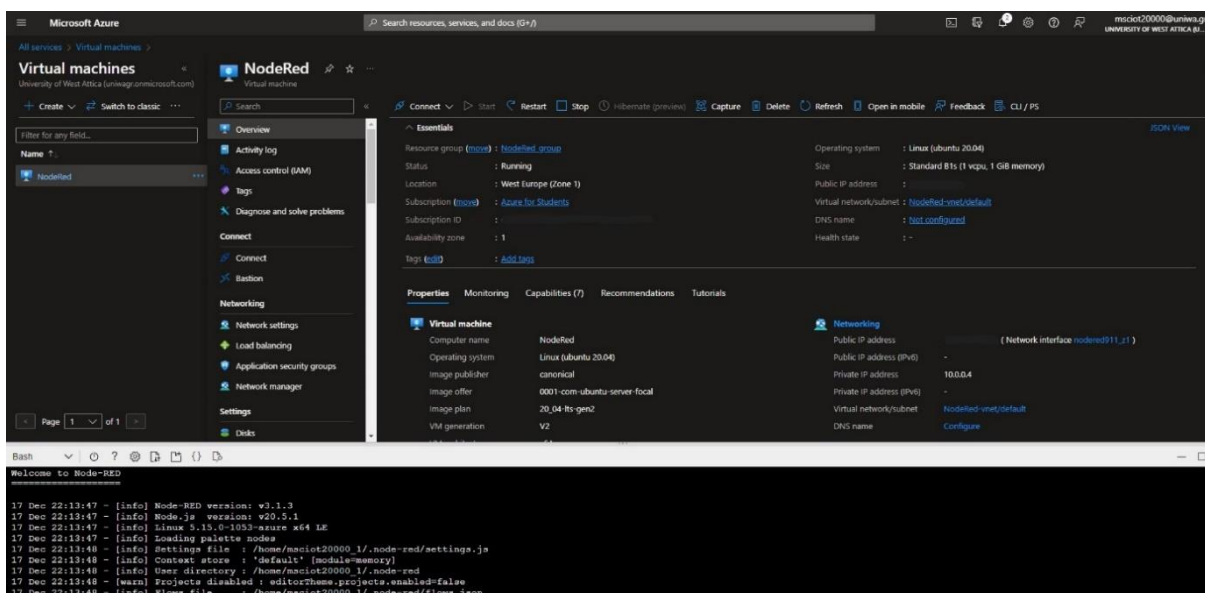
```
10/12/2023, 6:44:01 PM node: f0ff9c.1c81d068
helium/0e7fc715-2136-4489-9abd-1d05ef01a4fa/rx : msg.payload : string[1222]

{"app_eui": "6081F9787ADE09D6", "dc": {"balance": 997876, "nonce": 2}, "decoded": {"payload": [{"channel": 1, "name": "analog_in", "type": 2, "value": 0.77}, {"channel": 2, "last": true, "name": "analog_in", "type": 2, "value": 24}], "status": "success"}, "dev_eui": "6081F9047AF7452C", "devaddr": "07000048", "fcnt": 11, "hotspots": [{"channel": 7, "frequency": 868.5, "hold_time": 0, "id": "11uqEKAmjWhNjt2fGra63itpokTMepCtRL4n1HoRjB4m8M9PTid", "lat": 38.020713992254024, "long": 23.64739716044195, "name": "thankful-cream-worm", "reported_at": 1697125438968, "rssi": -109.0, "snr": -4.800000190734863, "spreading": "SF7BW125", "status": "success"}, {"id": "0e7fc715-2136-4489-9abd-1d05ef01a4fa", "metadata": {"adr_allowed": false, "cf_list_enabled": false, "labels": [{"id": "5f1cc523-b97a-419a-a806-55504dad9ee", "name": "Water Flow", "organization_id": "61ac7374-5c62-4406-b90a-4c03310addc7"}], "multi_buy": 1, "organization_id": "61ac7374-5c62-4406-b90a-4c03310addc7", "preferred_hotspots": [], "rx_delay": 1, "rx_delay_actual": 1, "rx_delay_state": "rx_delay_established"}, "nam..."
```

Εικόνα 31 – MQTT μήνυμα από την πλατφόρμα Helium

#### 4.2.4 AzureVM

Για την εγκατάσταση της πλατφόρμας Node-RED, που θα αναλάβει την διαχείριση των δεδομένων που αποστέλλονται μέσω μηνυμάτων MQTT, δημιουργήθηκε ένα Virtual Machine στην υπηρεσία του Microsoft Azure με λειτουργικό σύστημα Linux και έκδοση Ubuntu Server 20.04 LTS x64-Gen2. Δεδομένου ότι το node.js είναι single-threaded, η επιλογή του μεγέθους του Virtual Machine δεν χρειάζεται να είναι με πολλαπλούς πυρήνες. Στην συνέχεια ακολουθηθήκαν τα βήματα, βάση του [documentation<sup>13</sup>](https://nodered.org/docs/getting-started/azure#create-the-base-image) του Node-RED, για την σωστή παραμετροποίηση του εικονικού μηχανήματος και εγκαταστάθηκε η πλατφόρμα.



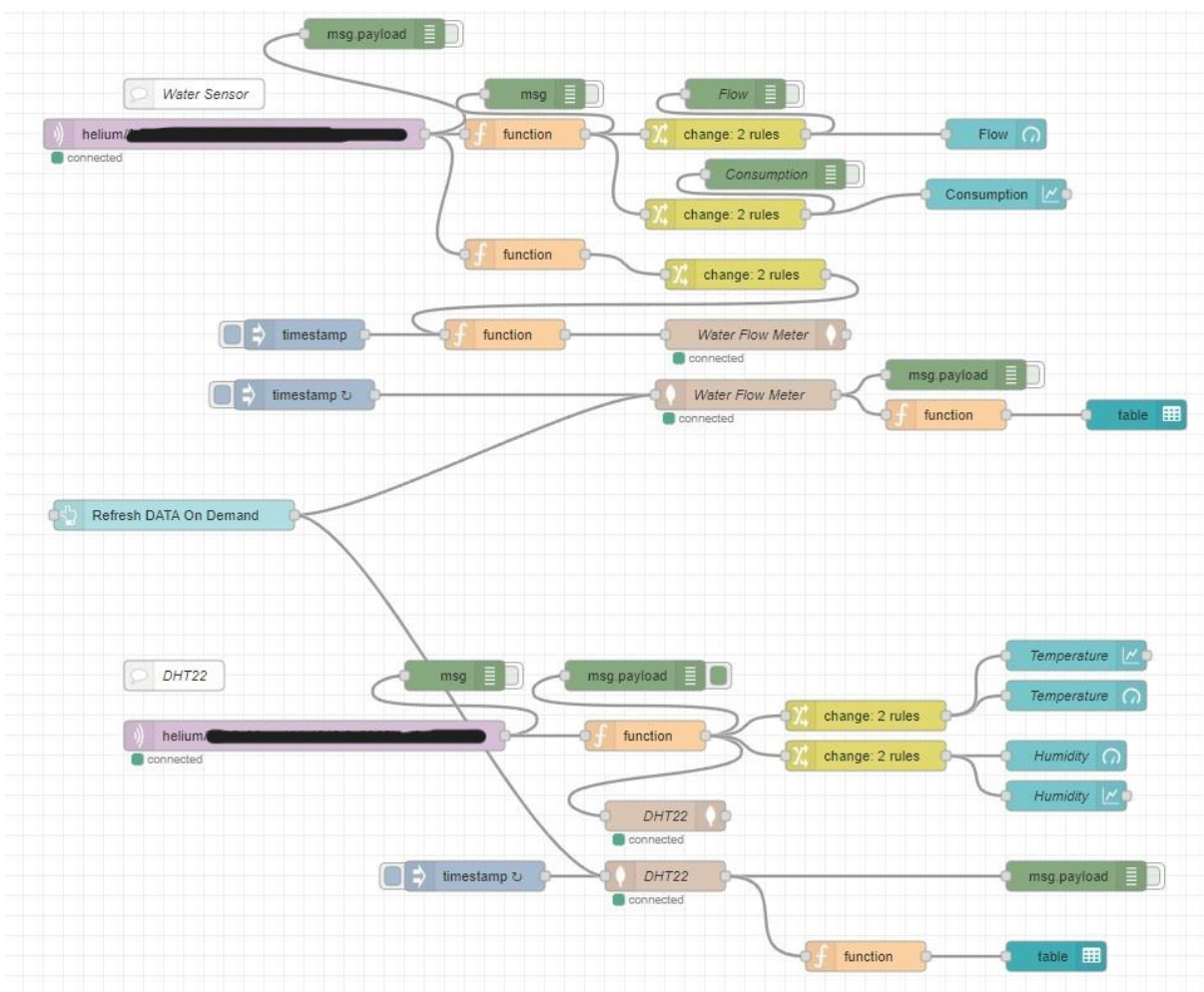
Εικόνα 32 – Δημιουργία Virtual Machine στην πλατφόρμα Azure

<sup>13</sup> <https://nodered.org/docs/getting-started/azure#create-the-base-image> [27 Μαΐου 2024]

#### 4.2.5 Node-RED

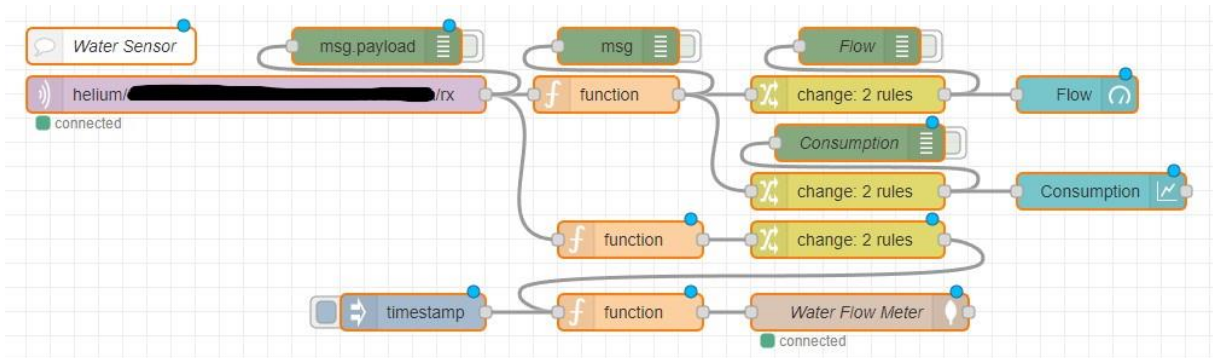
Αφού εγκαταστάθηκε η πλατφόρμα Node-RED, στο Virtual Machine, δημιουργήθηκε η απαραίτητη ροή ούτως ώστε να μπορεί να λαμβάνει τα μηνύματα MQTT, να τα επεξεργάζεται και να τα μορφοποιεί. Έπειτα, μέσω του Dashboard που προσφέρει η πλατφόρμα, γίνεται η οπτικοποίηση της πληροφορίας που προέρχεται από τις μετρήσεις του συστήματος ροής νερού. Έτσι ο χρήστης μπορεί να έχει άμεση πρόσβαση στην κατανάλωση και τη στιγμιαία ροή του νερού. Επίσης, δημιουργήθηκε και η απαραίτητη ροή στην πλατφόρμα Node-RED που επιτρέπει την σύνδεση με την υπηρεσία MongoDB Atlas. Σε αυτή προωθούνται όλες μετρήσεις που προέρχονται από την εφαρμογή μέτρησης ροής νερού και φυλάσσονται, έτσι ώστε να δημιουργηθεί η βάση δεδομένων που απαιτείται. Η πληροφορία της βάσης δεδομένων ανακαλείται ανά πάσα στιγμή από την πλατφόρμα Node-Red και απεικονίζεται και αυτή σε πίνακα στο Dashboard. Δίνεται, λοιπόν, η δυνατότητα στο χρήστη να ανακαλεί ανά πάσα στιγμή και να ενημερώνεται για την κατανάλωση που έχει αποτυπωθεί σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή στο σύστημα.

Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνεται η ροή που έχει δημιουργηθεί για να δέχεται και να επεξεργάζεται τα μηνύματα MQTT από 2 διαφορετικά Topics : ένα από τη ραδιομονάδα που μετράει την ροή και την κατανάλωση νερού και ένα επιπλέον από τη ραδιομονάδα που μετράει την θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος.

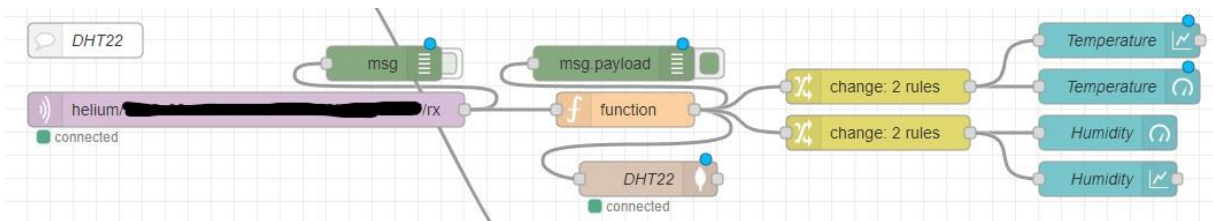


Εικόνα 33 – Ροή εργασιών στην πλατφόρμα Node-RED

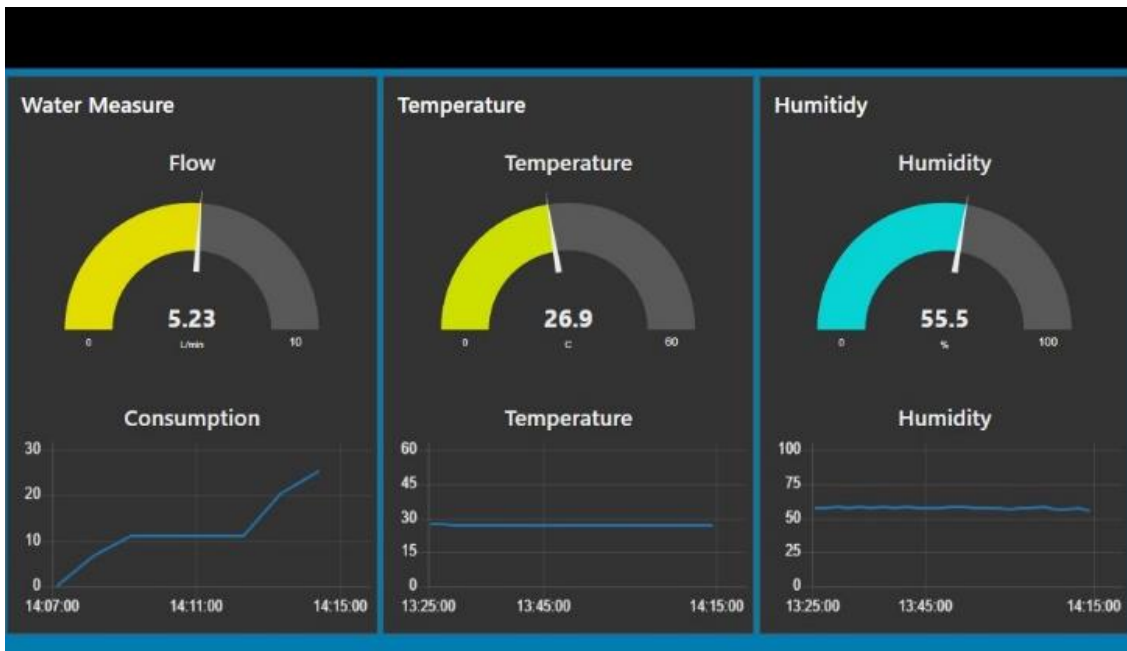
Τα μηνύματα που φτάνουν μέσω του mqtt node μορφοποιούνται κατάλληλα μέσω των node function και προωθούνται αντίστοιχα στα node του dashboard για οπτικοποίηση και στο node του MongoDB για προώθηση στην πλατφόρμα MongoDB Atlas.



Εικόνα 34 – Ροή εργασιών για τον αισθητήρα ροής νερού στην πλατφόρμα Node-RED

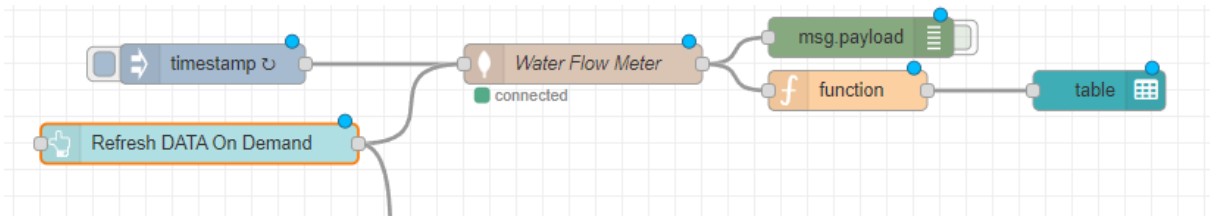


Εικόνα 35 – Ροή εργασιών για τον αισθητήρα θερμοκρασίας/υγρασίας στην πλατφόρμα Node-RED

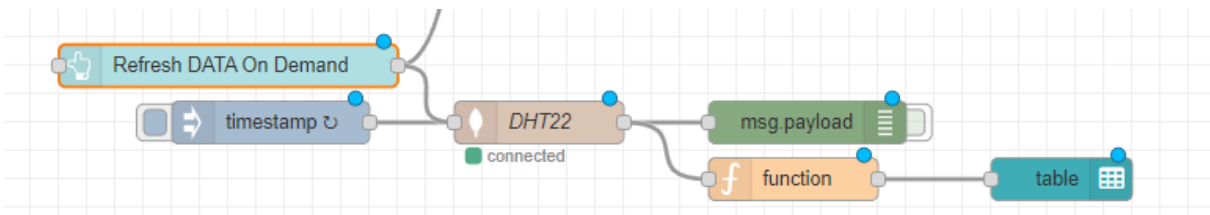


Εικόνα 36 – Απεικόνιση δεδομένων στο UI του Node-RED

Τα δεδομένα που αποστέλλονται στο MongoDB Atlas αποθηκεύονται και δημιουργούν μία βάση δεδομένων η οποία ανακαλείται αυτόματα περιοδικά, αλλά και κατά εμβόλιμη εντολή, και αποτυπώνεται σε πίνακα του Dashboard.



Εικόνα 37 – Ροή εργασιών για την αποστολή των δεδομένων κατανάλωσης νερού στην πλατφόρμα MongoDB Atlas



Εικόνα 38 – Ροή εργασιών για την αποστολή των δεδομένων θερμοκρασίας/υγρασίας στην πλατφόρμα MongoDB Atlas

Τα JSON αρχεία που προωθούνται από το MongoDB Atlas αναπαριστούν ένα πίνακα με πολλά στοιχεία και, για να επιτευχθεί η πρόσβαση σε αυτά ούτως ώστε να οπτικοποιηθούν στο dashboard, χρησιμοποιήθηκε ένα function node με τον απαραίτητο κώδικα σε javascript, για να μορφοποιηθούν κατάλληλα τα δεδομένα.

**Edit function node**

Delete Cancel Done

**Properties**

Name: Name

Setup On Start **On Message** On Stop

```

1 var formattedData = [];
2
3 for (var i = 0; i < msg.payload.length; i++) {
4   var item = msg.payload[i];
5
6   var timestamp = new Date(item.payload.timestamp).toLocaleString();
7
8   var formattedItem = {
9     No: i + 1,
10    "Date & Time": timestamp,
11    //topic: item.topic,
12    //value: item.payload.value,
13    Consumption: item.payload.value,
14    _id: item._id
15  };
16  formattedData.push(formattedItem);
17
18 }
19
20 msg.payload = formattedData;
21 return msg;
22

```

**debug**

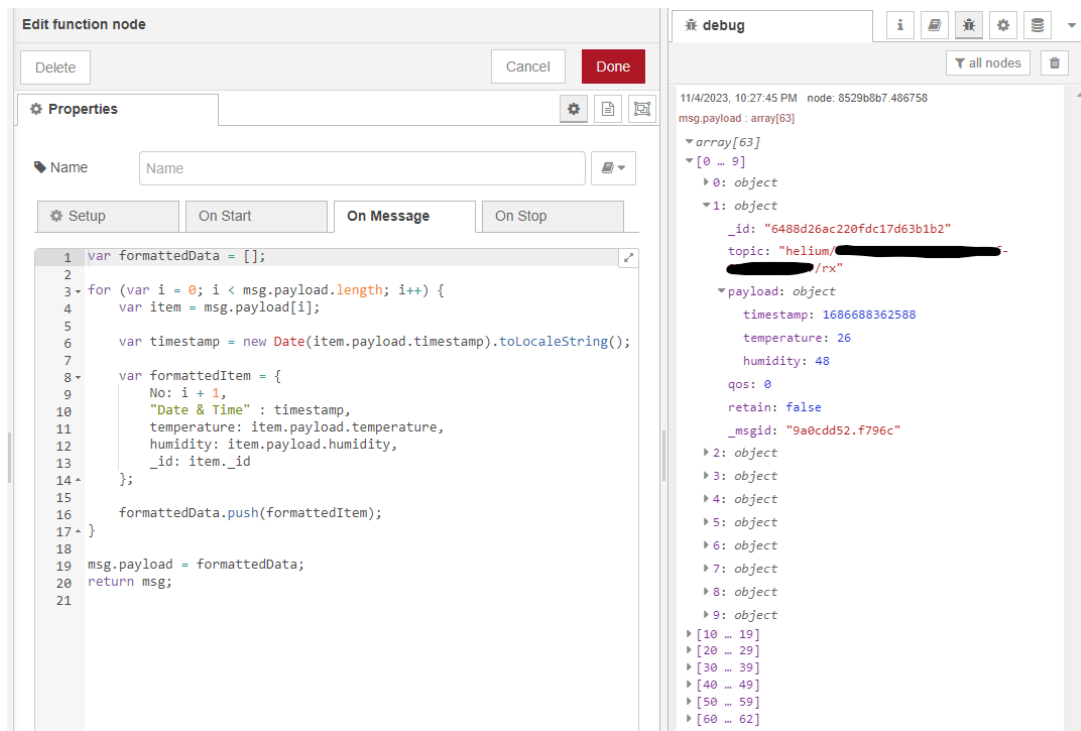
11/4/2023, 10:19:06 PM node: 6458ad7.d0b6554

```

msg.payload : array[53]
  array[53]
    [0 ... 9]
      0: object
      1: object
      2: object
      3: object
      4: object
      5: object
      6: object
      7: object
      8: object
      9: object
      _id: "647f679eaae212b11e390c11"
      topic: "Consumption"
      payload: object
        value: 2.03
        timestamp: 1686071198647
        qos: 0
        retain: false
        _msgid: "ebcab569.c81768"
    [10 ... 19]
    [20 ... 29]
    [30 ... 39]
    [40 ... 49]
    [50 ... 52]

```

Εικόνα 39 – Μορφοποίηση δεδομένων κατανάλωσης νερού για δημιουργία πίνακα



Εικόνα 40 – Μορφοποίηση δεδομένων θερμοκρασίας/υγρασίας για δημιουργία πίνακα

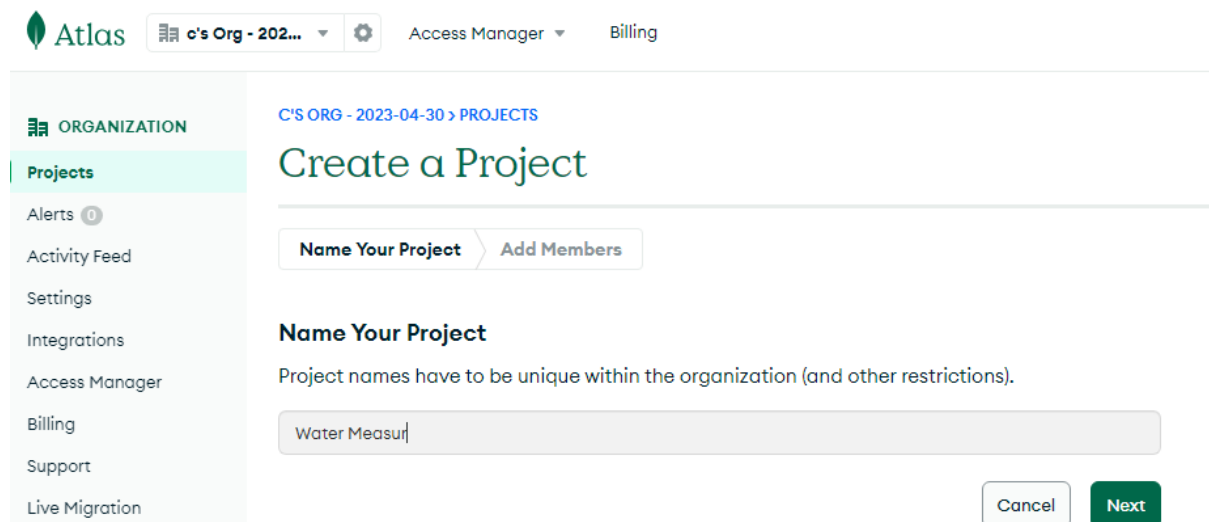
Το αποτέλεσμα της μορφοποίησης φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία. Ο πίνακας αποτυπώνει τον αύξοντα αριθμό της μέτρησης, την ημερομηνία και την ώρα που παρελήφθη το μήνυμα, τη μέτρηση και την ταυτότητα του μηνύματος.

| Water Consumption Table |                          |             |                          |                          |
|-------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|
| REFRESH DATA ON DEMAND  |                          |             |                          |                          |
| No                      | Date & Time              | Consumption | _id                      |                          |
| 44                      | 29/10/2023, 2:14:24 μ.μ. | 25.2        | 653e4ca09164f5b948466202 |                          |
| 43                      | 29/10/2023, 2:13:21 μ.μ. | 20.41       | 653e4c619164f5b948466200 |                          |
| 42                      | 29/10/2023, 2:12:19 μ.μ. | 11.1        | 653e4c239164f5b9484661ff |                          |
| 41                      | 29/10/2023, 2:11:16 μ.μ. | 11.1        | 653e4be49164f5b9484661fd |                          |
| 40                      | 29/10/2023, 2:10:14 μ.μ. | 11.1        | 653e4ba69164f5b9484661fb |                          |
| 39                      | 29/10/2023, 2:09:12 μ.μ. | 11.1        | 653e4b689164f5b9484661fa |                          |
| 38                      | 29/10/2023, 2:08:09 μ.μ. | 6.63        | 653e4b299164f5b9484661f8 |                          |
| 37                      | 29/10/2023, 2:07:07 μ.μ. | 0           | 653e4aeb9164f5b9484661f7 |                          |
| 36                      | 12/10/2023, 6:53:22 μ.μ. | 25.52       | 65281672b9b0cbf648d63113 |                          |
| No                      | Date & Time              | temperature | humidity                 | _id                      |
| 48                      | 29/10/2023, 2:14:21 μ.μ. | 26.9        | 55.5                     | 653e4c9d9164f5b948466201 |
| 47                      | 29/10/2023, 2:12:19 μ.μ. | 26.9        | 57                       | 653e4c239164f5b9484661fe |
| 46                      | 29/10/2023, 2:10:16 μ.μ. | 26.9        | 56.5                     | 653e4ba89164f5b9484661fc |
| 45                      | 29/10/2023, 2:08:14 μ.μ. | 26.8        | 56.5                     | 653e4b2e9164f5b9484661f9 |
| 44                      | 29/10/2023, 2:06:11 μ.μ. | 26.8        | 58                       | 653e4ab39164f5b9484661f6 |
| 43                      | 29/10/2023, 2:04:09 μ.μ. | 26.9        | 57.5                     | 653e4a399164f5b9484661f5 |
| 42                      | 29/10/2023, 2:02:06 μ.μ. | 27          | 57.5                     | 653e49be9164f5b9484661f4 |
| 41                      | 29/10/2023, 2:00:04 μ.μ. | 27          | 56.5                     | 653e49449164f5b9484661f3 |
| 40                      | 29/10/2023, 1:58:01 μ.μ. | 26.8        | 57.5                     | 653e48c99164f5b9484661f2 |

Εικόνα 41 – Οπτικοποίηση δεδομένων σε πίνακα στο UI της πλατφόρμας Node-RED

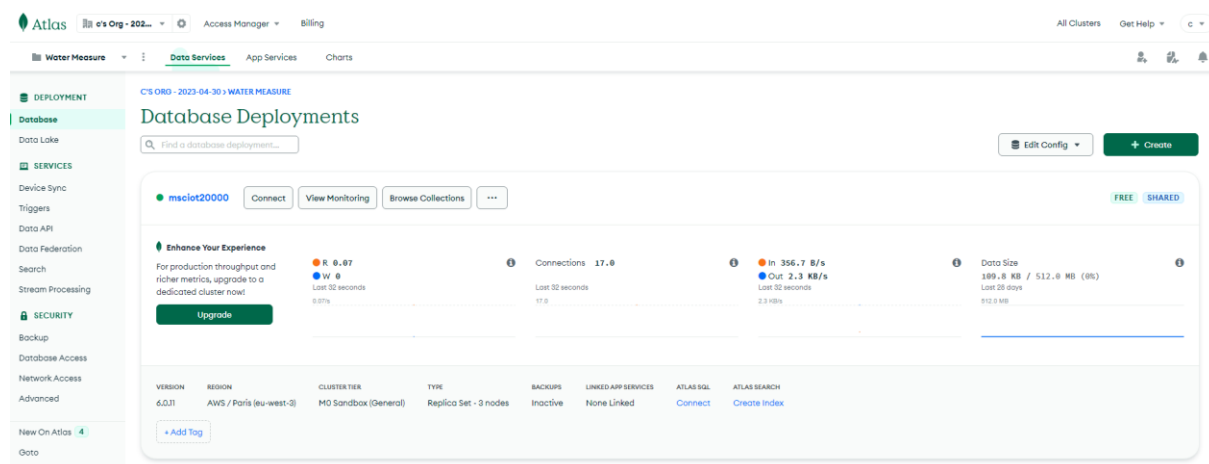
## 4.2.6 MongoDB Atlas

Το MongoDB Atlas παρέχεται από την MongoDB και είναι μία ανοιχτού κώδικα βάση δεδομένων NoSQL. Παρέχει μία υπηρεσία cloud με αυτοματοποιημένες εργασίες διαχείρισης. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα στους προγραμματιστές να επικεντρωθούν στην ανάπτυξη εφαρμογών. Το πρώτο βήμα για τη χρησιμοποίηση της πλατφόρμας είναι η δημιουργία λογαριασμού με τα επιθυμητά διαπιστευτήρια (email και password). Στη συνέχεια, όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία, πρέπει να δημιουργηθεί ένα Project.



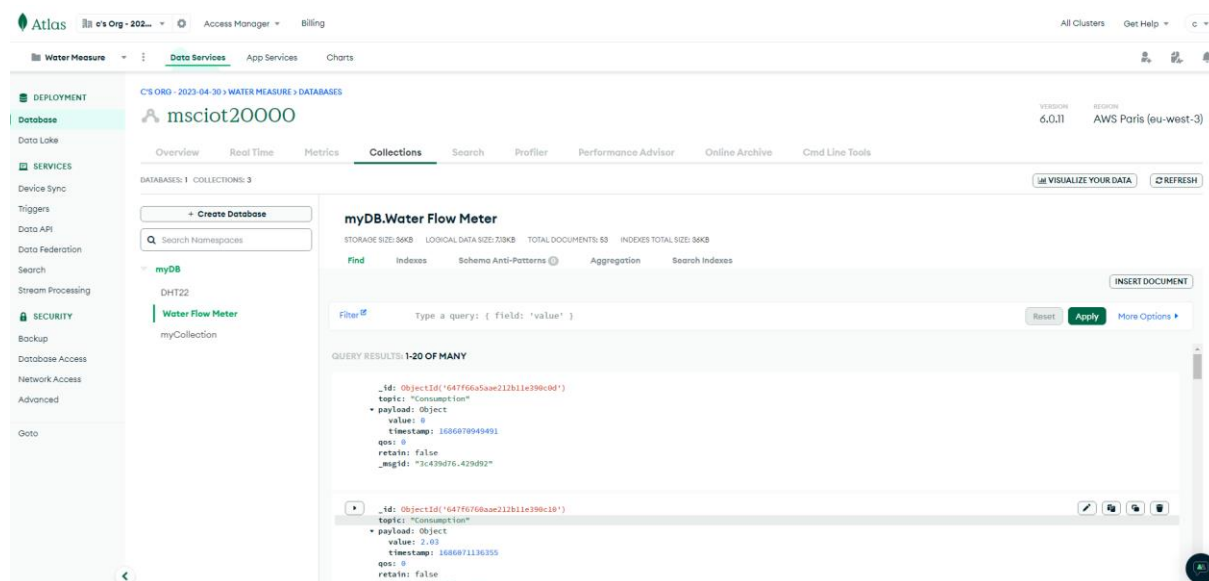
Εικόνα 42 – Δημιουργία αρχικού Project στην πλατφόρμα MongoDB Atlas

Αφού δημιουργηθεί το project, σειρά έχει μέσα σε αυτό να αρχικοποιηθεί η βάση δεδομένων που θα δεχθεί τα δεδομένα που θα αποστέλλονται από το μετρητή ροής νερού. Αναπτύσσεται ένα Cluster με όνομα “msciot2000”



Εικόνα 43 – Δημιουργία Cluster στην πλατφόρμα MongoDB Atlas

Μέσα σε αυτό το cluster “msciot20000” γίνεται, κατόπιν, η αρχικοποίηση της βάσης δεδομένων. Σε αυτή πλέον παρέχεται η δυνατότητα να ορίζονται συλλογές “Collections” με δεδομένα από διαφορετικές πηγές. Έτσι, μπορούν πολλαπλοί μετρητές να αποστέλλουν τις μετρήσεις τους και να αποθηκεύονται στην εκάστοτε συλλογή και όλες αυτές να βρίσκονται ομαδοποιημένες μέσα στο αρχικό “Project”. Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνεται το Project “WATER MEASURE” με το Cluster “msciot20000” που εμπεριέχεται, η Database “myDB” και τρεις συλλογές που αποθηκεύουν τα δεδομένα “Water Flow Meter”, “DHT22” και “myCollection”. Προφανώς, αυτή που αφορά την εργασία είναι η “Water Flow Meter”. Οι υπόλοιπες έχουν δημιουργηθεί για να αξιολογηθεί η υπηρεσία ως προς τις δυνατότητες που προσφέρει.



Εικόνα 44 – Συλλογή και δημιουργία βάσης δεδομένων στην πλατφόρμα MongoDB Atlas

Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνεται ένα τυπικό JSON αρχείο-μήνυμα που εισάγει και αποθηκεύει διάφορα πεδία στην βάση δεδομένων.

- id: Ένα μοναδικό αναγνωριστικό του αρχείου για την MongoDB.
- topic: Η κατηγορία “Consumption” που σχετίζεται με τα δεδομένα.
- payload: Δευτερεύον έγγραφο που εμπεριέχει δύο πεδία, value και timestamp.
  - ◆ value: Αριθμητική τιμή 4,13 που αντιπροσωπεύει την κατανάλωση του νερού σε λίτρα.
  - ◆ timestamp: Αριθμητική τιμή που αντιπροσωπεύει χρονική στιγμή σε μορφή Unix epoch.
- qos: Τιμή 0 που αντιπροσωπεύει το “Quality of Service” του πρωτοκόλλου MQTT
- retain: Τιμή false που αντιπροσωπεύει παράμετρο του πρωτοκόλλου MQTT.
- msgId: Πεδίο που περιέχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό για το μήνυμα.

```
_id: ObjectId('652811d2b9b0cbf648d63100')
topic: "Consumption"
▼ payload: Object
  value: 4.13
  timestamp: 1697124818420
qos: 0
retain: false
_msgid: "97fa735c.51dc2"
```

Εικόνα 45 – Αρχείο αποθήκευσης JSON



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### Υλικά και Μέθοδοι

---

Στο κεφάλαιο «υλικά και μέθοδοι» αποτυπώνεται ο εξοπλισμός, οι τεχνικές και οι διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της εφαρμογής μέτρησης της κατανάλωσης νερού.

Για τη μέτρηση της αποτελεσματικότητας και της απόδοσης της εφαρμογής, επιλέχθηκε να τοποθετηθεί και να αξιολογηθεί σε οικιακό σύστημα ποτίσματος, το οποίο λειτουργεί με χρονοδιακόπτη αυτόματης βάνας άρδευσης. Βασικό στοιχείο της όλης διαδικασίας ήταν η τοποθέτηση του αισθητήρα YF-S201 στο κύκλωμα παροχής νερού του αυτόματου ποτίσματος. Στις 2 επόμενες φωτογραφίες που ακολουθούν διακρίνεται η συγκεκριμένη διάταξη.



Εικόνα 46 – Σύνδεση αισθητήρα στο κύκλωμα νερού



Εικόνα 47 – Σύνδεση αυτόματης βάνας άρδευσης στο κύκλωμα νερού

Ο αισθητήρας επιλέχθηκε να τοποθετηθεί πριν την αυτόματη βάνα άρδευσης για να ελαχιστοποιηθεί η περίπτωση εισχώρησης αέρα στο κύκλωμα, ο οποίος θα επηρέαζε αρνητικά τις μετρήσεις, μιας και ο συγκεκριμένος τύπος αισθητήρα είναι επιρρεπής σε τέτοιου είδους αστοχίες.

Η ραδιομονάδα τοποθετήθηκε σε στεγανό πλαστικό κουτί, έτσι ώστε να είναι σε προστατευμένο περιβάλλον και μακριά από τυχόν διαρροή νερού. Για την επικοινωνία χρησιμοποιήθηκε θωρακισμένο διπολικό καλώδιο 2x0.25mm<sup>2</sup> με εξωτερικό μανδύα από νεοπρένιο, ανθεκτικό στις μηχανικές και καιρικές καταπονήσεις. Στο καλώδιο του αισθητήρα τοποθετήθηκε στεγανό αρσενικό βύσμα WEIPU® IP68|T(-40/+85)°C. Αντίστοιχα στο καλώδιο προς τη ραδιομονάδα τοποθετήθηκε θηλυκό βύσμα.



Εικόνα 48 – Καλώδιο σύνδεσης



Εικόνα 49 – Στεγανό βύσμα (male-female)

Στον αισθητήρα YF-S201 χρειάστηκε να γίνει calibration, ούτως ώστε οι μετρήσεις του να είναι ακριβείς. Δημιουργήθηκε ο απαραίτητος κώδικας και χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα ArduinoUNO για να μετρηθεί το πλήθος των παλμών που παράγονται κατά τη διέλευση ενός λίτρου νερού. Χρησιμοποιήθηκε προσημασμένο δοχείο 1 λίτρου και πραγματοποιήθηκαν 10 μετρήσεις. Ο μέσος όρος των παλμών που παράχθηκαν κατά τη διέλευση ενός λίτρου νερού ήταν 510.

```

1  const int flowSensorPin = 2; // Το digital pin συνδέεται με τον αισθητήρα ροής
2  volatile unsigned long pulseCount = 0; // Μεταβλητή για την αποθήκευση του αριθμού παλμών
3  unsigned long previousCount = 0; // Μεταβλητή για αποθήκευση του προηγούμενου αριθμού παλμών
4
5  void setup() {
6      Serial.begin(9600);
7      pinMode(flowSensorPin, INPUT_PULLUP);
8      attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(flowSensorPin), countPulse, FALLING);
9  }
10
11 void loop() {
12     //Ελέγχει εάν έχει αλλάξει ο αριθμός παλμών
13     if (pulseCount != previousCount) {
14         Serial.print("Pulse count: ");
15         Serial.println(pulseCount);
16         previousCount = pulseCount; // Update της προηγούμενης μέτρησης
17     }
18 }
19
20 void countPulse() {
21     pulseCount++; // Αύξηση του αριθμού των παλμών
22 }

```

Ο αριθμός των παραγόμενων παλμών χρησιμοποιήθηκε, στη συνέχεια, στον κώδικα της ραδιομονάδας για τη μέτρηση της συνολικής κατανάλωσης σε λίτρα μέσω ενός "Interrupt Service". Ο LCounter αυξάνεται κάθε φορά που συμπληρώνονται 510 παλμοί, συνεπώς μετράει τα λίτρα νερού που διέρχονται από τον αισθητήρα.

```

// Interrupt service routine για τον αισθητήρα ροής
void ISRCountPulse()
{
    pulseCounter++; if (pulseCounter > 510) { pulseCounter = 0; LCounter++;}
}

```

Για το ρυθμό ροής του νερού χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής βαθμονόμησης (K-factor) του συγκεκριμένου αισθητήρα, ο οποίος αναφέρεται στο τεχνικό φυλλάδιο του κατασκευαστή και ισούται με 7,5. Ο συντελεστής βαθμονόμησης χρησιμοποιείται για να μετατρέψει τους παλμούς της εξόδου του αισθητήρα σε ρυθμό ροής. Η εξίσωση που μας δίνει το ρυθμό ροής είναι ανάλογη της συχνότητας προς το συντελεστή βαθμονόμησης K.

$$Q = \frac{F \text{ (Hz)}}{K} \text{ (L/min)}$$

*Q: Ρυθμός ροής (L/min)*

*F: Συχνότητα παλμών (Hz)*

*K: 7,5*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### Συμπεράσματα – Προτάσεις

---

Η ανάπτυξη και ο σχεδιασμός του συστήματος για τη μέτρηση της ροής και της κατανάλωσης του νερού περιλαμβάνει τη ραδιομονάδα Adafruit Feather M0 LoRa, το πρωτόκολλο LoRaWAN, το δίκτυο Helium, το πρωτόκολλο MQTT, ένα virtual machine στο οποίο έχει εγκατασταθεί η πλατφόρμα Node-RED και το MongoDB Atlas, που δημιουργεί και αποθηκεύει την βάση δεδομένων των μετρήσεων του αισθητήρα. Ο συνδυασμός των τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν επέδειξε μία ολοκληρωμένη και αποδοτική λύση για τη συλλογή, επεξεργασία και αποθήκευση των δεδομένων. Από την πλευρά της απόδοσης μπορούν να εξαχθούν αρκετά συμπεράσματα. Το σύστημα επέδειξε ακρίβεια και αξιοπιστία τόσο κατά την μέτρηση της ροής όσο και καθόλη τη διάρκεια μετάδοσης των δεδομένων προς το δίκτυο Helium και την αποθήκευση τους στην βάση δεδομένων MongoDB Atlas. Η χαμηλή κατανάλωση που επέδειξε η ραδιομονάδα είναι καίριας σημασίας για τη βιωσιμότητα μίας τέτοιας εφαρμογής σε απομακρυσμένο περιβάλλον με περιορισμένους πόρους. Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των δεδομένων, μέσω της οπτικοποίησης της πλατφόρμας Node-RED, επιτρέπει στον χρήστη τη λήψη έγκαιρων αποφάσεων. Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να επεκταθεί με την εισαγωγή και άλλων αισθητήρων και να προσαρμοστεί σε διαφορετικά σενάρια διαχείρισης του νερού. Μελλοντικές επεκτάσεις θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν στον αλγόριθμο της εφαρμογής με την εισαγωγή μηχανικής μάθησης (machine learning) για την ανάλυση μοτίβων και ανωμαλιών στα δεδομένα ροής του νερού, ούτως ώστε να προβλεφθούν βλάβες και αστοχίες. Μια άλλη παράμετρος που θα μπορούσε να αναπτυχθεί είναι το “Edge Computing”. Η δημιουργία, δηλαδή, υπολογιστικής ικανότητας κοντά στον κόμβο, έτσι ώστε να περιοριστούν τα μεταδιδόμενα μηνύματα LoRa, στα απολύτως απαραίτητα, ούτως ώστε να υπάρχει αποσυμφόρηση του δικτύου. Όσον αφορά στην απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία της ραδιομονάδας, θα μπορούσε να επιλεγεί αισθητήρας με δυνατότητα μετατροπής της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική, κατά τη ροή του νερού. Με αυτή τη μέθοδο, μία επαναφορτιζόμενη μπαταρία θα μπορούσε να τροφοδοτεί το κύκλωμα επεκτείνοντας, έτσι, κατά πολύ την αυτόνομη λειτουργία της ραδιομονάδας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiro, P., Martinez, B., Melia-Segui, J., & Watteyne, T. (2017). Understanding the Limits of LoRaWAN. *IEEE Communications Magazine*, 55(9), 34–40. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600613>
- Al-Ali, A. R., Landolsi, T., Hassan, M. H., Ezzeddine, M., Abdelsalam, M., & Baseet, M. (2018). An IoT-Based Smart Utility Meter. *2018 2nd International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*, 80–83. <https://doi.org/10.1109/ICSGSC.2018.8541314>
- Aras, E., Ramachandran, G. S., Lawrence, P., & Hughes, D. (2017). Exploring the Security Vulnerabilities of LoRa. *2017 3rd IEEE International Conference on Cybernetics (CYBCONF)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CYBConf.2017.7985777>
- Blackstock, M., & Lea, R. (2014). Toward a Distributed Data Flow Platform for the Web of Things (Distributed Node-RED). *Proceedings of the 5th International Workshop on Web of Things*, 34–39. <https://doi.org/10.1145/2684432.2684439>
- Cai, S., & Toral, H. (1993). Proceedings Of 1993 International Joint Conference On Neural Networks. *Proceedings of 1993 International Conference on Neural Networks (IJCNN-93-Nagoya, Japan)*, i–xxxiii. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.1993.714125>
- Castaner, L., Jimenez, V., Dominguez, M., Masana, F., & Rodriguez, A. (1997). Design and fabrication of a low cost water flow meter. *Proceedings of International Solid State Sensors and Actuators Conference (Transducers '97)*, 1, 159–162 vol.1. <https://doi.org/10.1109/SENSOR.1997.613607>

- Chaudhari, B. S., Zennaro, M., & Borkar, S. (2020). LPWAN Technologies: Emerging Application Characteristics, Requirements, and Design Considerations. *Future Internet*, 12(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/fi12030046>
- Coman, F. L., Malarski, K. M., Petersen, M. N., & Ruepp, S. (2019). Security Issues in Internet of Things: Vulnerability Analysis of LoRaWAN, Sigfox and NB-IoT. *2019 Global IoT Summit (GIOTS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/GIOTS.2019.8766430>
- Devalal, S., & Karthikeyan, A. (2018). LoRa Technology—An Overview. *2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, 284–290. <https://doi.org/10.1109/ICECA.2018.8474715>
- Dworkin, M. J. (2023). *Advanced Encryption Standard (AES) (NIST FIPS 197-upd1)*; p. NIST FIPS 197-upd1). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.197-upd1>
- Gaddam, S. C., & Rai, M. K. (2018). A Comparative Study on Various LPWAN and Cellular Communication Technologies for IoT Based Smart Applications. *2018 International Conference on Emerging Trends and Innovations In Engineering And Technological Research (ICETIETR)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ICETIETR.2018.8529060>
- Haleem, A., Allen, A., Thompson, A., Nijdam, M., & Garg, R. (2018). *A Decentralized Wireless Network*.
- Iqbal, M., Abdullah, A., & Shabnam, F. (2020). *An Application Based Comparative Study of LPWAN Technologies for IoT Environment* (p. 1860). <https://doi.org/10.1109/TENSYMP50017.2020.9230597>

- Jin, G., Bai, K., Zhang, Y., & He, H. (2019). A Smart Water Metering System Based on Image Recognition and Narrowband Internet of Things. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 33(4), 293–298. <https://doi.org/10.18280/ria.330405>
- Kv, S., & Roy, B. (2012). An Intelligent Flow Measurement Technique using Ultrasonic Flow Meter with Optimized Neural Network. *International Journal of Control and Automation*, 5(4).
- Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. (2017). A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5), 1125–1142. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2683200>
- LoRa, S. (2019). *LoRaWAN: A technical overview (2019)*.
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.12.005>
- Mikhailov, G. K. (2005). Daniel Bernoulli, Hydrodynamica (1738). In *Landmark Writings in Western Mathematics 1640-1940* (pp. 131–142). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044450871-3/50090-5>
- Miry, A. H., & Aramice, G. A. (2020). Water monitoring and analytic based thingspeak. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 10(4), 3588. <https://doi.org/10.11591/ijece.v10i4.pp3588-3595>
- Noreen, U., Bounceur, A., & Clavier, L. (2017). A study of LoRa low power and wide area network technology. *2017 International Conference on Advanced Technologies for*

<https://doi.org/10.1109/ATSIP.2017.8075570>

Ochoa, M. N., Guizar, A., Maman, M., & Duda, A. (2017). Evaluating LoRa energy efficiency for adaptive networks: From star to mesh topologies. *2017 IEEE 13th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/WiMOB.2017.8115793>

Reynders, B., Meert, W., & Pollin, S. (2016). Range and coexistence analysis of long range unlicensed communication. *2016 23rd International Conference on Telecommunications (ICT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICT.2016.7500415>

Reyneke, M., Mullins, B., & Reith, M. (2023). LoRaWAN & The Helium Blockchain: A Study on Military IoT Deployment. *International Conference on Cyber Warfare and Security*, 18(1), Article 1. <https://doi.org/10.34190/iccws.18.1.944>

Salman, N., Rasool, I., & Kemp, A. H. (2010). Overview of the IEEE 802.15.4 standards family for Low Rate Wireless Personal Area Networks. *2010 7th International Symposium on Wireless Communication Systems*, 701–705. <https://doi.org/10.1109/ISWCS.2010.5624516>

Silva, E. F., Figueiredo, L. M., De Oliveira, L. A., Chaves, L. J., De Oliveira, A. L., Rosário, D., & Cerqueira, E. (2023). Adaptive Parameters for LoRa-Based Networks Physical-Layer. *Sensors*, 23(10), 4597. <https://doi.org/10.3390/s23104597>

Sinha, R. S., Wei, Y., & Hwang, S.-H. (2017). A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. *ICT Express*, 3(1), 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.03.004>

Slaný, V., Lučanský, A., Koudelka, P., Mareček, J., Krčálová, E., & Martínek, R. (2020). An Integrated IoT Architecture for Smart Metering Using Next Generation Sensor for



- Water Management Based on LoRaWAN Technology: A Pilot Study. *Sensors*, 20(17), 4712. <https://doi.org/10.3390/s20174712>
- Storr, W. (2013, August 13). Hall Effect Sensor and How Magnets Make It Works. *Basic Electronics Tutorials*. <https://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html>
- Suryaa, K. S., Vigneshwaran, S., & Sujatha, R. (2020). LoRaWAN Based Secured Water Leak Monitoring System. *2020 IEEE 4th Conference on Information & Communication Technology (CICT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CICT51604.2020.9312052>
- Yauri, R., Gonzales, M., & Gamero, V. (2023). Remote Monitoring and Control System of a Water Distribution Network using LoRaWAN Technology. *WSEAS TRANSACTIONS ON SYSTEMS AND CONTROL*, 18, 73–82. <https://doi.org/10.37394/23203.2023.18.8>