
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ & ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδίαση και Υλοποίηση Αυτοματοποιημένης Πλατφόρμας
για την Επίβλεψη Μελισσοκομικής Μονάδας

Λουκάς Γεώργιος

Επιβλέπων: Δρ. Σφακιωτάκης Μιχαήλ

Ηράκλειο Κρήτης
Σεπτέμβριος 2019

HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY
SCHOOL OF ENGINEERING

POSTGRADUATE PROGRAM
MASTER OF SCIENCE IN
ADVANCED MANUFACTURING SYSTEMS, AUTOMATION AND ROBOTICS

MASTER THESIS

Design and Development of an Automated Platform
for Bee Colony Supervision

Loukas Georgios

Advisor: Dr. Sfakiotakis Michael

Heraklion, Crete
September 2019

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας μου θα ήθελα κατ' αρχήν να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρ. Σφακιωτάκη Μιχάλη, ο οποίος πίστεψε στις δυνατότητές μου αλλά και στις προοπτικές της ιδέας που του παρουσίασα, καθώς επίσης και για τη σημαντική βοήθεια που παρείχε όποτε αυτή κατέστη αναγκαία.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου Μπέκα Βασίλη και Χανιωτάκη Βαγγέλη με τους οποίους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών ανταλλάσαμε απόψεις και ιδέες για να πετύχουμε όλοι, αλλά και ο καθένας χωριστά τον δικό του σκοπό. Οι συμβουλές και κυρίως η συμπαράσταση που προσέφεραν αποτέλεσαν σημαντικό ψυχολογικό στήριγμα για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Τέλος, αφιερώνω αυτή την εργασία στην οικογένεια μου που τόσα χρόνια είναι δίπλα μου σε εύκολες και δύσκολες στιγμές και μου παρέχει αμέριστη υποστήριξη.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον για εφαρμογές που αφορούν στην επιστημονική μελέτη των μελισσών. Η ανάγκη για απομακρυσμένη επίβλεψη των μελισσοκομικών μονάδων οδήγησε στην ανάπτυξη ποικίλων συστημάτων τηλεμετρίας, χαρακτηριστικά παραδείγματα των οποίων είναι οι ζυγαριές και τα συστήματα καταγραφής και ανάλυσης της οπτικής πληροφορίας. Η ανάπτυξη των συστημάτων αυτών παρουσιάζει αυξημένες απαιτήσεις στην κατανάλωση ενέργειας, όπως και στην συγκέντρωση, ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων. Με τη συνεχή βελτίωση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που αποτελούν ένα τέτοιο σύστημα είναι εφικτή η δημιουργία μιας κατασκευής η οποία θα εκτελεί αυτοματοποιημένες διεργασίες για την λήψη και αποστολή μετρήσεων. Στο πλαίσιο αυτό, ιδιαίτερου ενδιαφέροντος είναι τα συστήματα ανάλυσης οπτικής και ακουστικής πληροφορίας τα οποία είναι σε θέση να παρουσιάσουν μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την κατάσταση της μελισσοκομικής μονάδας.

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η δημιουργία μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας λήψης και μετάδοσης των απαραίτητων μετρήσεων μιας κυψέλης εντός κάποιας μελισσοκομικής μονάδας, όπως βάρος, θερμοκρασία και υγρασία. Σε πρώτο στάδιο έγινε η έρευνα και η απαραίτητη ανάλυση της λειτουργικότητας του τρόπου λήψης και μετάδοσης δεδομένων ώστε να αποτελέσει ένα ενεργειακά αυτόνομο σύστημα. Στην συνέχεια, έγιναν οι απαραίτητες αναλύσεις του σχεδιασμού της διάταξης και των ηλεκτρονικών ελέγχου ώστε να ακολουθούν μια τυποποιημένη μορφή αποφεύγοντας αστοχίες υλικού. Με την ολοκλήρωση της διάταξης υλοποιήθηκε η διεπαφή μεταξύ χρήστη και υλικού με χρήση γλωσσών προγραμματισμού HTML, PHP και MySQL, η οποία επιτρέπει την παρουσίαση των δεδομένων αλλά και την καταγραφή και εξαγωγή πλήρους ιστορικού. Τέλος, επιτεύχθηκε το πρώτο στάδιο της ακουστικής ανάλυσης της κυψέλης το οποίο αφορά την συλλογή ενός εφικτού και αντιπροσωπευτικού συνόλου δειγμάτων ώστε να δημιουργηθεί μια αυτοματοποιημένη διεργασία για την συχνотική ανάλυση του ακουστικού ίχνους που παράγουν οι μέλισσες, προκειμένου για τον χαρακτηρισμό μιας αποικίας.

Συνοπτικά, ο τρόπος συλλογής και μετάδοσης δεδομένων που αναπτύχθηκε χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό αποτελεσματικότητας αλλά και ενεργειακής αυτονομίας σε σύγκριση με άλλες μεθόδους και διατάξεις που έχουν προταθεί για το σκοπό αυτό. Επίσης προκύπτουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα όσον αναφορά την ταυτοποίηση των ηχητικών σημάτων που λήφθηκαν σε σύγκριση με την πραγματική κατάσταση των κυψελών και τις ερευνητικές δραστηριότητες που έχουν πραγματοποιηθεί στον συγκεκριμένο τομέα.

Summary

In recent years, the research and scientific community has shown great interest in applications that concern the scientific study of bees. The need in remote supervision of bee colonies has led to the development of a great variety of telemetry systems, characteristic examples of which are the bee scales and the visual analysis systems. The development of those systems show increased requirements in energy consumption, collection, analysis and data presentation. With continuous improvement of electronic components that constitute such a system it is possible to create a platform which will perform automated tasks for receiving and sending data. In this context, great interest is shown in visual and acoustic analysis systems which are able to present a complete overview of the bee colony status.

Aim of this thesis is the development of an experimental platform that will be able to receive and transmit all the necessary measurements of a hive, such as weight, temperature and humidity prevailing in the respective beekeeping unit. The first step was the survey and the necessary analysis of the functionality of receiving and transmitting data so to be an energy autonomous system. Then the necessary analysis of the hardware design was made as well as the implementation of all electronic components to avoid hardware failure. With the completion of the experimental platform, the user interface was designed using HTML, PHP and MySQL which is not only able of presenting data but also recording and extracting history data. Finally, the first stage of acoustic analysis was achieved concerning the collection of a feasible and representative number of samples to develop an automated process for frequency analysis of the acoustic trace that bees produce, in order to characterize a colony.

Briefly, the way of collecting and transmitting data points out a high degree of energy efficiency compared to other methods and platforms proposed so far. Some interesting facts arise as far as the identification of acoustic signals that collected in comparison with the real state of the hive and the already existing research activities.

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	5
Εισαγωγή	5
1.1 Ερευνητικό Πλαίσιο	5
1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	7
1.2.1 Ασθένειες μελισσών.....	7
1.2.2 Μελισσοκομικοί χειρισμοί.....	12
1.3 Συστήματα Τηλεμετρίας Μελισσών	16
1.3.1 Εμπορικά διαθέσιμα συστήματα.....	17
1.3.2 Ερευνητικές εφαρμογές	21
1.4 Συνεισφορά της Παρούσας Εργασίας	24
Κεφάλαιο 2	27
Σχεδιασμός και Ανάπτυξη της Διάταξης	27
2.1 Περιγραφή	27
2.2 Μηχανολογική Σχεδίαση και Κατασκευή	28
2.3 Ηλεκτρονικά Ελέγχου Περιφερειακής Μονάδας.....	32
2.3.1 Μονάδα ελέγχου	33
2.3.2 Αισθητήριο θερμοκρασίας - υγρασίας	34
2.3.3 Αδιάβροχο αισθητήριο θερμοκρασίας.....	37
2.3.5 Αισθητήριο βάρους.....	38
2.3.6 Ολοκληρωμένο ενίσχυσης σήματος	40
2.3.7 Ρολόι πραγματικού χρόνου (Real Time Clock)	41
2.3.8 Μονάδα ασύρματης επικοινωνίας (NRF24L01)	42
2.3.9 Πλακέτα επέκτασης.....	45
2.4 Ηλεκτρονικά Ελέγχου Κεντρικής Βάσης.....	46
2.4.1 Μονάδα επικοινωνίας GSM.....	46
2.4.2 Μονάδα ασύρματης επικοινωνίας (Receiver).....	48
2.4.3 Μετατροπέας συνεχούς τάσης	50
2.4.4 Φορτιστής μπαταρίας Λιθίου-Ιόντων	50
2.4.5 Μπαταρία λιθίου-ιόντων	51
2.4.6 Φωτοβολταϊκό πάνελ.....	53
2.4.7 Πλακέτα επέκτασης.....	54
Κεφάλαιο 3	56
Διαχείριση Δεδομένων	56
3.1 Αποστολή Δεδομένων στην Κεντρική Βάση	56
3.2 Αποστολή Δεδομένων στο Διαδίκτυο	57
3.3 Βάση Δεδομένων	58
3.4 Σχεδίαση Ιστοσελίδας.....	61
Κεφάλαιο 4	68
Ανάλυση Ηχητικών Σημάτων της Κυψέλης	68
4.1 Βασικές Έννοιες Ηχητικών Σημάτων των Μελισσών	68
4.2 Αισθητήριο Ήχου και Λήψη Δεδομένων	69

4.3 Μετασχηματισμός Fourier	71
4.4 Πραγματικά Ηχητικά Δείγματα	77
Κεφάλαιο 5.....	81
Σχόλια, Συμπεράσματα και Προτάσεις για Μελλοντική Εξέλιξη.....	81
5.1 Σχόλια και Συμπεράσματα	81
5.2 Μελλοντική Εξέλιξη	82
Βιβλιογραφία.....	84
Παράρτημα	87
A. Κατασκευαστικά-Τεχνικά Στοιχεία.....	88
A1. Τρισδιάστατη σχεδίαση της κατασκευής	88
A2. Ανάλυση δυνάμεων στην κατασκευή.....	91
A3. Ηλεκτρονικά κυκλώματα και πλακέτες	93
A4. Datasheet 97	
B. Ηχογραφήσεις και Αναλύσεις.....	100
Γ. Λειτουργία υπό Πραγματικές Συνθήκες	112

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Ερευνητικό Πλαίσιο

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη συστημάτων παρακολούθησης μελισσών από απόσταση, για χρήση από επαγγελματίες μελισσοκόμους αλλά ταυτόχρονα και σε μια σειρά από εφαρμογές που αφορούν στην επιστημονική μελέτη και την προστασία όχι μόνο των μελισσών αλλά και των φυσικών πόρων του περιβάλλοντος. Οι μέλισσες είναι ένας κρίσιμος κρίκος στην γεωργική παραγωγή. Η επικοινωνία από εκτρεφόμενες αποικίες μελισσών προσαυξάνει την αξία της γεωργικής οικονομίας μέσω της καλλιέργειας και παραγωγής υψηλής ποιότητας τροφών. Οι μέλισσες είναι απαραίτητες για την επικοινωνία σε περισσότερες από 90 καλλιέργειες φρούτων και λαχανικών ανά τον κόσμο.

Από το 2006 έγινε αντιληπτή η κατάρρευση αποικιών (Colony Collapse Disorder). Επίσημος ορισμός της είναι η αποχώρηση των ενήλικων μελισσών και η παραμονή της βασίλισσας, του γόνου και του μελιού η οποία είναι απόρροια ενός πλήθους παραγόντων. Οι κυριότεροι είναι η κακή διατροφή, τα παράσιτα (π.χ. βαρρόα), και τα φυτοφάρμακα. Έχει ανατεθεί έτσι σε υπηρεσίες αλλά και πανεπιστήμια η μελέτη και η διερεύνηση τρόπων διαχείρισης, πρόληψης και έγκαιρης διάγνωσης των προβλημάτων που δημιουργούνται από τους παραπάνω παράγοντες.

Τα βασικά συμπτώματα σε μελίτσια που έχουν καταρρεύσει είναι η απουσία ενήλικων μελισσών μέσα στην κυψέλη με καθόλου νεαρές μέλισσες και η παρουσία μόνο της βασίλισσας. Επίσης, έχει απομείνει ένα μικρό ποσοστό εργατριών, αρκετές κηρήθρες γόνου και μελιού που δεν έχουν λεηλατηθεί από άλλες μέλισσες ή από εχθρούς όπως το σκαθάρι ή ο κηρόσκωρος. Από τη μία υπάρχουν οι μελισσοκόμοι που δεν ελέγχουν αρκετά συχνά τα μελίτσια κυρίως λόγω της μακρινής απόστασης που έχουν τοποθετηθεί οδηγώντας τα σε απώλειες λόγω αφεσμών ή ασθενειών, και από την άλλη οι παραγωγοί που τα ελέγχουν πιο συχνά από ότι πρέπει οδηγώντας τα επίσης σε απώλειες λόγω των συνεχών διαταραχών.

Έχει δημιουργηθεί έτσι η ανάγκη για συνεχή και απομακρυσμένη επιτήρηση των αποικιών με χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων, τα οποία

όμως δεν είναι οικονομικά προσιτά για τους περισσότερους μελισσοκόμους. Πλέον, μπορεί να αγοραστεί μια ζυγαριά για τις κυψέλες η οποία αναγράφει το βάρος της και αποστέλλει τις μετρήσεις σε μορφή μηνύματος στο κινητό τηλέφωνο του παραγωγού, υποβοηθώντας την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την κατάσταση του μελισσιού, όπως ο αριθμός των μελισσών, η έναρξη και λήξη ανθοφορίας, και πότε έγινε αφεσμός. Επίσης ένα άλλο σύστημα επιτήρησης είναι ο μετρητής μελισσών, μια συσκευή η οποία τοποθετείται στην είσοδο της κυψέλης και καταμετρά την κινητικότητα των μελισσών, όπου μια ραγδαία αλλαγή στον αριθμό μπορεί να δηλώσει την πιθανή ύπαρξη νοζεμιάσης ή κατάρρευσης της κυψέλης. Ένα ακόμη βασικό εργαλείο είναι το σύστημα GPS το οποίο καταγράφει και παρακολουθεί την ακριβή τοποθεσία του μελισσιού και ενημερώνει για ενδεχόμενες απώλειες του.

Η κατανόηση παραγόντων όπως η κατανάλωση τροφής, ο όγκος του γόνου, οι ήχοι που παράγονται στο μελίσι και η δυνατότητα παρακολούθησής τους μπορούν να παρέχουν πολύ σημαντικές πληροφορίες και μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την κατάσταση της κυψέλης. Το πιο αντικειμενικό κριτήριο για τον χαρακτηρισμό της υγείας του μελισσιού είναι ο όγκος του γόνου ο οποίος τείνει να διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία 35°C και μπορεί να παρατηρηθεί με αισθητήρα θερμοκρασίας (*Εικόνα 1*), (*Εικόνα 2*). Επιπλέον η στιγμιαία μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό, η οποία οφείλεται στην έντονη κίνηση των φτερών των μελισσών υποδηλώνει την προετοιμασία τους για αναχώρηση από το μελίσι. Είναι γενικώς αποδεκτό ότι μέλισσες είναι δραστήριες μεταξύ 10°C και 38°C . Όταν η θερμοκρασία πλησιάζει το ανώτατο όριο, ομάδες εργατριών τοποθετημένες μέσα και έξω από την είσοδο της κυψέλης κινούν τα φτερά τους μεταφέροντας ρεύμα αέρα προς τα έξω και προς τα μέσα αντίστοιχα. Ταυτόχρονα μια άλλη ομάδα μεταφέρει σταγόνες νερού τις οποίες τοποθετεί σε συγκεκριμένα σημεία στο εσωτερικό της κυψέλης. Με τον αερισμό το νερό εξατμίζεται και προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας. Αντιθέτως, όταν η θερμοκρασία είναι σε χαμηλά επίπεδα οι εργάτριες σχηματίζουν την μελισσόσφαιρα, μια συμπαγή στοιβάδα από εργάτριες πολύ κοντά η μία στην άλλη και με μικροσυσπάσεις των θωρακικών μυών παράγουν την απαιτούμενη θερμότητα για επιβίωση.



Εικόνα 1 : Αισθητήρας Θερμοκρασίας στον γόνο



Εικόνα 2 : Αισθητήρας Θερμοκρασίας Probe

1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Σε αυτή την ενότητα παρέχεται μια επισκόπηση των ασθενειών που προσβάλλουν τις μέλισσες, οι ανάλογοι μελισσοκομικοί χειρισμοί που μελετήθηκαν για την κατανόηση της εκτάσεως του προβλήματος και ο τρόπος ο οποίος μπορεί να βοηθήσει στην καταπολέμησή τους με χρήση της τεχνολογίας.

1.2.1 Ασθένειες μελισσών

Για την επιβίωση τους, όλα τα μελίσινα έρχονται αντιμέτωπα με πολλές δυσκολίες οι οποίες αφορούν σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (χρήση φυτοφαρμάκων, συχνές διαταράξεις κ.λπ.), καιρικές συνθήκες (μεταβολή της θερμοκρασίας, υψηλή υγρασία, δυσέυρετη τροφή, καταστροφή λόγω πλημμυρών κ.α.), και πολλά παράσιτα τα οποία τις προσβάλλουν. Το πρόβλημα με τα παράσιτα εντείνεται περαιτέρω από την άσκηση νομαδικής μελισσοκομίας η οποία ευνοεί την εξάπλωσή τους. Είναι απαραίτητο να γνωρίζει κανείς τον κύκλο ζωής και τις αδυναμίες των διάφορων παρασίτων για να μπορέσει να τα αντιμετωπίσει δραστικά. Οι ασθένειες οφείλονται κυρίως σε βακτήρια και μύκητες και δευτερευόντως σε ιούς. Υπάρχουν βέβαια και ασθένειες που οφείλονται σε τοξικά φυτά και φυτοφάρμακα. Ξεκινώντας την μελέτη των βασικών εχθρών των μελισσών συναντάται :

Η **βαρροϊκή ακαρίαση** [1] αποτελεί την μεγαλύτερη απειλή στην Ελλάδα αλλά και παγκοσμίως η οποία οφείλεται στο ακάρι *Varrroa destructor* (Εικόνα 3) που στην Ελλάδα πρωτοεμφανίστηκε το 1978 στην περιοχή του Έβρου και μεταδόθηκε πολύ γρήγορα σε όλη την χώρα. Προσβάλλει τις μέλισσες σε όλα τα στάδια της ζωής τους και ανεξάρτητα από τον ρόλο τους στην κυψέλη (εργάτρια, βασίλισσα, κηφήνας). Έχουν μήκος $1.1mm$ και πλάτος $1.7mm$ με καστανό χρώμα και ελλειψοειδές σχήμα με 4 ζεύγη ποδιών που καταλήγουν σε βεντούζες.



Εικόνα 3 : Μορφή του ακάριου Βαρρόα

Το θηλυκό ακάρι εγκαταλείπει την ενήλικη μέλισσα και εισέρχεται στο κελί λίγο πριν σφραγιστεί. Έπειτα γεννά μία ποσότητα αυγών στον γόνο δύο εκ των οποίων αναπτύσσονται πλήρως. Τα γονιμοποιημένα θηλυκά εξέρχονται από το κελί μαζί με την μέλισσα, έως ότου μπουν σε κάποιο κελί γόνου για να γεννήσουν. Προσβάλλει τις μέλισσες όλες τις εποχές του χρόνου και το φαινόμενο είναι πιο έντονο όταν δεν υπάρχει γόνος και όλα βρίσκονται πάνω στις μέλισσες.

Εντός της κυψέλης εύκολα μεταπηδά από μέλισσα σε μέλισσα. Σε άλλα μελίσσια μεταδίδεται με την ληλασία και την παραπλάνηση. Η ληλασία είναι πιο συχνό φαινόμενο σε αδύναμα μελίσσια οπότε είναι πιο πιθανή η μετάδοση του ακάρεως. Κάποιοι μελισσοκομικοί χειρισμοί όπως η συνένωση και η μεταφορά γόνου (περιγράφονται σε επόμενη ενότητα του παρόντος) είναι πολύ επικίνδυνοι για τη διάδοση του παράσιτου. Τέλος η συγκέντρωση πολλών μελισσιών σε μικρή έκταση (όπως όταν πρόκειται για μελιτοφορία πεύκου) έχει αυξημένη επίπτωση στην διάδοση του βαρρόα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η παραμόρφωση πολλών μελισσών, οι οποίες εμφανίζουν μικρότερο μέγεθος σε σχέση με το κανονικό και απουσία φτερών. Ακόμη και ανοίγοντας σφραγισμένα κελιά μπορεί να βρεθεί μέσα βαρρόα.

Η αντιμετώπιση είναι πάρα πολύ δύσκολη διότι εκτός από αυτά που παρασιτούν στις μέλισσες και είναι φανερά, υπάρχουν και εκείνα που είναι στο σφραγισμένο γόνο, οπότε ότι χρήση χημικών και να γίνει δεν είναι αποτελεσματική διότι είναι προστατευμένα. Έχουν επίσης αναπτυχθεί πολλές βιοτεχνικές μέθοδοι όπως η αφαίρεση του γόνου την άνοιξη και η χρήση υψηλών θερμοκρασιών. Τα μελίσσια πρέπει να διατηρούνται εύρωστα, γιατί, έως ένα βαθμό μπορούν και μόνο τους να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα.

Η **τραχειακή ακαρίαση** [2] αφορά ένα ακάρι το οποίο ζει και πολλαπλασιάζεται στις τραχείες των ακμαίων μελισσών. Εισέρχεται από το πρώτο θωρακικό στίγμα της μέλισσας στην αναπνευστική τραχεία όπου γεννά αυγά και έπειτα από λίγο καιρό οι τραχείες αποφράσσονται και η μέλισσα δεν αναπνέει.

Ο **κηρόσκωρος** [3] προσβάλλει τις κηρήθρες, τόσο μέσα στην κυψέλη όσο και στην αποθήκη. Υπάρχει ο μεγάλος και ο μικρός κηρόσκωρος (*Εικόνα 4*) με τον μεγάλο κηρόσκωρο να είναι αυτός που προκαλεί τις μεγαλύτερες ζημιές



Εικόνα 4 : Μορφή του κηρόσκωρου

Τα γονιμοποιημένα θηλυκά εισέρχονται στις κυψέλες και εναποθέτουν 300-600 αυγά σε σχισμές και χαραμάδες. Οι προνύμφες ανοίγουν στοές στις κηρήθρες και τρέφονται με κερί, γύρη και μέλι αλλά και με γόνο αφήνοντας νήματα από όπου περνάνε (*Εικόνα 5*). Σε περίπου 30 ημέρες το ακμαίο θα αναπαραχθεί όταν οι συνθήκες θα είναι ευνοϊκές. Οι προνύμφες καταστρέφουν τις κηρήθρες που δεν καλύπτονται από μέλισσες ενώ κάνουν και σοβαρές ζημιές στα ξύλινα μέρη της κυψέλης.

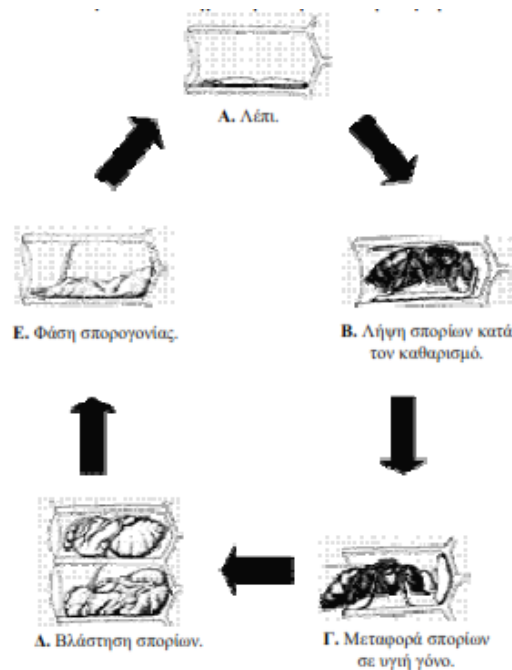
Για την αντιμετώπισή του γινόταν παλαιότερα ευρεία χρήση χημικών ουσιών με υψηλή μεν αποτελεσματικότητα, αλλά αφήνοντας βλαβερά υπολείμματα σε όλα τα μελισσοκομικά προϊόντα. Η καλύτερη μέθοδος η οποία χαρακτηρίζεται από απόλυτη αποτελεσματικότητα αλλά και ασφάλεια έχει να κάνει με την εφαρμογή χαμηλών θερμοκρασιών.



Εικόνα 5 : Νήματα από προνύμφες

Στις βασικές ασθένειες που πλήττουν τις μέλισσες συμπεριλαμβάνεται και η **αμερικανική σηψιγονία** [1]. Προκαλείται από το βακτήριο *Raenibacillus larvae* (*Εικόνα 6*) το οποίο προσβάλλει τις μέλισσες στο στάδιο της προνύμφης. Οι προνύμφες μολύνονται όταν μαζί με την τροφή λάβουν σπόρια του βακτηρίου,

τα οποία βλαστάνουν στο στομάχι και πολλαπλασιάζονται. Οι μέλισσες καθαρίστριες στην προσπάθεια απομάκρυνσης του νεκρού γόνου μολύνονται με σπόρια και τα μεταφέρουν σε υγιείς προνύμφες.

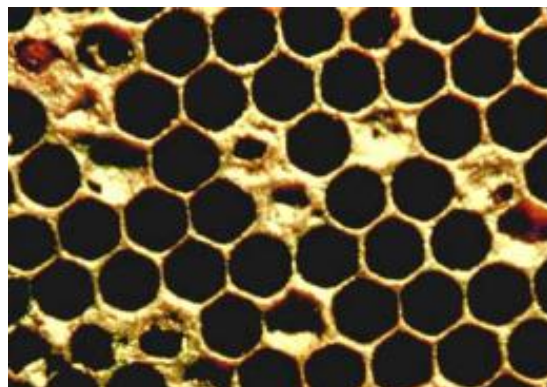


Εικόνα 6 : Κύκλος ζωής του *Paenibacillus larvae*

Από κυψέλη σε κυψέλη μεταδίδεται με την παραπλάνηση και λεηλασία. Τα σπόρια του βακτηρίου επιβιώνουν μέσα στο μέλι και μεταφέρονται σε υγιή μελίτσια. Επίσης, μελισσοκομικοί χειρισμοί όπως η συνένωση, η αλλαγή πλαισίων κ.α. οδηγούν στην διάδοση της ασθένειας. Ως αποτέλεσμα, ο γόνος είναι διάσπαρτος τα καλύμματα των κελιών είναι βυθισμένα, πολλά έχουν τρύπες (Εικόνα 7), (Εικόνα 8), ενώ το χρώμα του γόνου γίνεται σκούρο καφέ.



Εικόνα 7 : Προβληματικά κελιά προσβεβλημένα από το βακτήριο.



Εικόνα 8 : Αναλυτική απεικόνιση των προβληματικών κελιών και η μορφή τους μετά την προσβολή

Τα βαριά προσβεβλημένα μελίτσια καταστρέφονται με φωτιά όπως και τα πλαίσια που βρίσκονται στο αρχικό στάδιο της προσβολής. Προαιρετικά

λαμβάνονται μέτρα για την λεηλασία και την παραπλάνηση και χρησιμοποιούνται ανθεκτικά μελίσσια. Επίσης απαιτείται προσοχή στους μελισσοκομικούς χειρισμούς και αποφυγή τροφοδοσίας με μέλι από άγνωστη προέλευση.

Η **νοζεμίαση** [3] οφείλεται στο πρωτόζωο *Nosema Apis* και μπορεί να προκαλέσει μεγάλα προβλήματα αν δεν γίνει άμεσα αντιληπτή από τον μελισσοκόμο. Αναπτύσσεται στο στομάχι της ενήλικης μέλισσας, διαταράσσοντας την πέψη με αποτέλεσμα την πρόωρη θνησιμότητα. Προσβάλλονται οι υποφαρυγγικοί αδένες με αποτέλεσμα να μην παράγουν αρκετό βασιλικό πολτό. Οι μέλισσες παθαίνουν δυσεντερία ως συνέπεια να μην μπορούν να συγκρατήσουν τα περιττώματά τους και να τα αφήνουν συχνά εντός της κυψέλης. Έτσι μεταδίδεται και στις μέλισσες που θα προσπαθήσουν να απομακρύνουν τα περιττώματα αυτά. Η ασθένεια παρουσιάζεται την άνοιξη, ενώ η εμφάνισή της ευνοείται από τις κακές συνθήκες ξεχειμωνιάσματος (υγρασία εντός της κυψέλης, συχνές επιθεωρήσεις κ.λπ.) και τις συχνές μετακινήσεις. Το πιο χαρακτηριστικό σύμπτωμα είναι τα περιττώματα στην είσοδο της κυψέλης (*Εικόνα 9*) και το ότι οι μέλισσες δεν μπορούν να πετάξουν και σέρνονται στην είσοδο.



Εικόνα 9 : Περιττώματα στην είσοδο και η δυσκολία πτήσης των μελισσών

Τέλος αναφέρεται άλλη μια ασθένεια που μπορεί να αναγνωριστεί με γυμνό μάτι, η **ασκοσφαίρωση** [4]. Προσβάλλει τις προνούμφες ηλικίας μεγαλύτερης των τριών ημερών. Τα σπόρια λαμβάνονται με την τροφή και μέσα σε 48 ώρες ο μύκητας απλώνεται σε όλο το σώμα διαρρηγνύοντας τον εξωσκελετό της προνούμφης, αναγκάζοντας την να χάσει όλα τα υγρά της με αποτέλεσμα να αποξηραθεί (*Εικόνα 10*). Το χρώμα της είναι αρχικά άσπρο ενώ όταν σχηματιστούν τα σπόρια του μύκητα γίνεται σκούρο πράσινο και μαύρο. Οι συχνές επιθεωρήσεις έχουν ως αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας στην περιοχή του γόνου ευνοώντας την ανάπτυξη του συγκεκριμένου μύκητα εντός της κυψέλης.



Εικόνα 10 : Αποξηραμένες προνύμφες λόγω διάρρηξης του εξωσκελετού

1.2.2 Μελισσοκομικοί χειρισμοί

Οι μέλισσες παράγουν μέλι συλλέγοντας νέκταρ για να καλύψουν τις ανάγκες τους. Το μέλι που παράγεται τις περισσότερες φορές είναι υπεραρκετό και πλεονάζον με αποτέλεσμα να το εκμεταλλεύεται αυτό ο μελισσοκόμος και να το συλλέγει. Οι χειρισμοί παίζουν καθοριστικό ρόλο στην μεγιστοποίηση της απόδοσης και κατά συνέπεια του κέρδους, από κάθε μελίσι. Στη συνέχεια αναφέρονται οι βασικοί μελισσοκομικοί χειρισμοί και πώς ο καθένας εξ' αυτών συμβάλει ενεργά στην αύξηση του κέρδους και στη μακροζωία των μελισσών.

Η τοποθέτηση της κάθε κυψέλης και το πατρών (σχηματισμός) που θα επιλέξει ο μελισσοκόμος είναι στρατηγικής σημασίας και θα πρέπει να πληροί συγκεκριμένες προϋποθέσεις για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος. Αρχικά, αυτό που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η ύπαρξη καλής και παρατεταμένης μελιτοφορίας, ώστε να είναι εύκολη η πρόσβαση των μελισσών σε τροφή. Δεν θα πρέπει να τοποθετούνται σε δύσβατες περιοχές που καθιστούν απαγορευτική την προσέγγιση με όχημα για την φορτοεκφόρτωση τους. Το τρεχούμενο νερό είναι απαραίτητο και προτιμάται η τοποθέτησή τους κοντά σε ποτάμι και γενικότερα σε τρεχούμενο νερό διότι τα στάσιμα νερά μπορούν να προκαλέσουν δυσεντερία. Η επιλογή του εδάφους είναι εξίσου σημαντική και πρέπει να αποφεύγονται μέρη που πλημμυρίζουν προκαλώντας αρχικά πρόβλημα στις ίδιες τις μέλισσες αλλά και μεταγενέστερα στην κυψέλη καθιστώντας την άχρηστη. Προτιμώνται μέρη που βρίσκονται εκτός κατοικημένων περιοχών και δεν έχουν άμεση επαφή με δρόμους ταχείας κυκλοφορίας. Τέλος είναι πολύ σημαντικό ο χώρος που θα επιλεγεί να είναι περιφραγμένος ώστε να αποφευχθεί ο βανδαλισμός από ζώα αλλά και ανθρώπους. Η επιθεώρηση των μελισσών θα πρέπει να λαμβάνει χώρα καταρχήν, όταν το επιτρέπουν οι καιρικές συνθήκες. Έχοντας λάβει τις απαραίτητες προφυλάξεις, όπως κάπνισμα της εισόδου πριν το άνοιγμα της κυψέλης, απαραίτητος ρουχισμός ανοιχτού χρώματος και μάσκα, η επιθεώρηση

συνίσταται από μία σειρά από ελέγχους. Πρωτίστως ελέγχεται η ύπαρξη της βασίλισσας και η κατάστασή της, το οποίο καθορίζεται από την εμφάνιση του γόνου. Αν δεν υπάρχει βασίλισσα δεν θα υπάρχουν αυγά στα κελιά και ο γόνος δεν θα είναι σε συμπαγή κατάσταση. Εν συνεχεία, ελέγχεται το μέγεθος του πληθυσμού, το οποίο καθορίζει την απόφαση του μελισσοκόμου για το εάν χρειάζεται ενίσχυση από αλλά μέλισσα. Απαραίτητη είναι η ύπαρξη άφθονης τροφής κυρίως γύρης. Τέλος, ελέγχεται η ύπαρξη ασθενειών και πιθανών εχθρών που μπορεί για την ώρα να φαντάζουν ακίνδυνοι και άμεσα αντιμετωπίσιμοι από το ίδιο το μέλισσι αλλά μελλοντικά να αποφέρουν την κατάρρευση του μελισσιού.

Η μεταφορά των μελισσιών σε περιοχή με καλή ανθοφορία για συλλογή τροφής δίνει την ευκαιρία στις μέλισσες να τραφούν καλύτερα. Κάθε περιττή μεταφορά ταλαιπωρεί τις αποικίες και πολλές μέλισσες πεθαίνουν κυρίως όταν οι αποστάσεις είναι μεγάλες, όταν ο καιρός είναι ζεστός και όταν ο αερισμός της κυψέλης είναι ανεπαρκής. Αυτή η καταπόνηση έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την μείωση της άμυνας της μέλισσας και μεταγενέστερα μπορεί και τον θάνατό της. Με τη μεταφορά οι παραγωγοί στοχεύουν σε μια καλή μελιτοφορία η οποία δίνει την ευκαιρία στο μέλισσι να τραφεί καλύτερα, να αποθηκεύσει γύρη και να καθαρίσουν οι κηρήθρες από προσβεβλημένο γόνο, μουμιοποιημένες προνύμφες και ασκοσφαίρωση.

Η τροφοδότηση των μελισσών αποτελεί σημαντικό παράγοντα υποβοήθησης της προσπάθειάς τους για επιβίωση και παραγωγή μελιού. Η πλειοψηφία των μελισσοκόμων αντιμετωπίζει την περίπτωση κατά την οποία οι μέλισσες αδυνατούν να βρουν τροφή στην περιοχή που βρίσκονται ώστε να επιβιώσουν με το να τροφοδοτήσει ο ίδιος τα μέλισσα για να αποφευχθεί η λιμοκτονία. Παρακάτω αναφέρονται διάφοροι τρόποι τροφοδότησης ανάλογα την κάθε περίπτωση.

- *Τροφοδότηση με γύρη* πραγματοποιείται κατά την περίοδο όπου εκτρέφεται γόνος και οι ανάγκες δεν καλύπτονται από τις ανθοφορίες.
- *Τροφοδότηση με κηρήθρες* μελιού απαιτείται κυρίως την άνοιξη όταν οι μέλισσες δεν έχουν τροφή και ο μελισσοκόμος έχει μεριμνήσει έχοντας αποθηκεύσει αυτές τις κηρήθρες.
- *Τροφοδότηση με σιρόπι* παρέχεται στις μέλισσες με τους ανάλογους τροφοδότες και διαφέρει σε πυκνότητα από εποχή σε εποχή.

Η αντικατάσταση παλαιών κηρηθρών είναι απαραίτητη για την επιβίωση και ανάπτυξη των μελισσών. Οι παλιές κηρήθρες έχουν μεγάλο αριθμό σπορίων από ασθένειες όπως Ευρωπαϊκή σηψιγονία, ασκοσφαίρωση και νοζεμίαση, όπως επίσης και μικρότερα κελιά με αποτέλεσμα οι αναπτυσσόμενες μέσα σε αυτά μέλισσες να είναι μικρόσωμες. Με την αλλαγή των παλιών

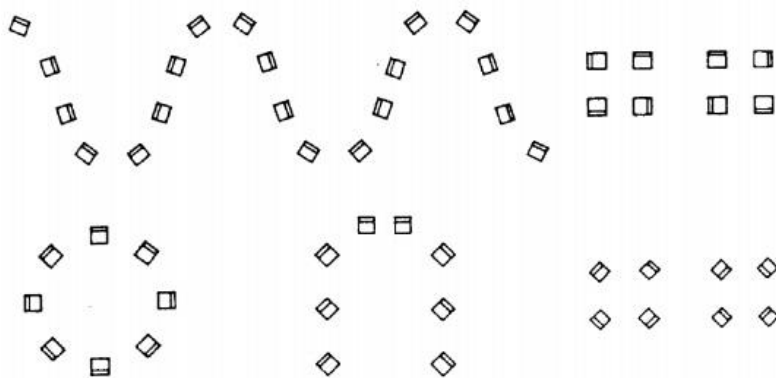
κηρηθρών γίνεται απομάκρυνση υπολειμμάτων και φαρμάκων που χρησιμοποιήθηκαν για την καταπολέμηση εχθρών και ασθενειών.

Ως παραπλάνηση [5] (Εικόνα 11) αναφέρεται το φαινόμενο κατά το οποίο επιστρέφοντας οι μέλισσες στις κυψέλες εισέρχονται σε διαφορετική κυψέλη από αυτή που ανήκουν. Αυτό συμβαίνει όταν οι κυψέλες είναι πανομοιότυπες με προκαθορισμένο προσανατολισμό και πολύ κοντά η μία στην άλλη.



Εικόνα 11 : Τοποθέτηση κυψελών με τέτοιο τρόπο ώστε να ευνοείτε η παραπλάνηση

Οι συνέπειες της παραπλάνησης μπορούν να αποβούν μοιραίες. Μερικές από αυτές είναι η μετάδοση ασθενειών, η άνιση κατανομή του πληθυσμού με αποτέλεσμα την πολύωρη εργασία επιδιόρθωσης του προβλήματος από την πλευρά του μελισσοκόμου, η μειωμένη παραγωγή μελιού, και η ληλασία (βλ. παρακάτω) στα μελίσσια που έχουν μείνει με λιγότερο πληθυσμό. Τα μέτρα που πρέπει να παρθούν από τον μελισσοκόμο είναι απλά και καθόλου χρονοβόρα, όπως η τοποθέτηση των κυψελών σε διαφορετική κατεύθυνση (Εικόνα 12), η βαφή με διαφορετικά χρώματα, και η τοποθέτησή τους σε σημεία όπου υπάρχουν αντικείμενα τα οποία η μέλισσα θα τα αντιστοιχήσει με την κυψέλη όπου ανήκει, όπως μεγάλα δέντρα, θάμνοι, λουλούδια κ.λπ.



Εικόνα 12 : Τοποθέτηση κυψελών με τρόπο ώστε να αποφεύγεται η παραπλάνηση

Η **ληλασία** [5] συμβαίνει όταν μέλισσες προσπαθούν να κλέψουν μέλι από άλλες κυψέλες. Η συμπεριφορά αυτή παρατηρείται κυρίως στις περιόδους όπου δεν υπάρχουν μελιτοφορίες. Με την είσοδο μίας μέλισσας σε μία ξένη κυψέλη άμεσα ειδοποιείται το σμήνος για την ύπαρξη τροφής και αρχίζει η ληλασία προσπαθώντας να εισέλθουν στο μελίσσι από πιθανές σχισμές. Το παραπάνω σενάριο βέβαια δεν θεωρείται σύνηθες αφού το κάθε μελίσσι φρουρείται πολύ καλά. Για την αποφυγή της ληλασίας, ο μελισσοκόμος πρέπει να διατηρεί ισοδύναμα μελίτσια, να φροντίζει οι κυψέλες να είναι καλά κλεισμένες και χωρίς ανοίγματα, ενώ η τροφοδότηση τους, εφόσον είναι απαραίτητη, να γίνεται αργά το απόγευμα.

Η **σύλληψη αφεσμών** μπορεί να επιτευχθεί κατά την περίοδο της άνοιξης όπου τα μελίτσια σμηνουργούν ακόμη και αν έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα. Σε αυτή την περίπτωση βλέπουμε τακτικά αφεσμούς σε κλαδιά (Εικόνα 13) και κορμούς δέντρων (Εικόνα 14). Όταν το κλαδί είναι μικρό, προετοιμάζεται μία κυψέλη που έχει ένα πλαίσιο με ανοιχτό γόνο, ένα με μέλι, μια κτισμένη και μια άδεια κηρήθρα και δύο πλαίσια με φύλλα κηρήθρας. Μόλις τιναχθεί το κλαδί οι μέλισσες μπαίνουν μέσα σε αυτό, εκ των οποίων οι εργάτριες θα περιποληθούν τον γόνο, ενώ όσες έχουν μέλι θα το αποθηκεύσουν στην άδεια κηρήθρα. Βασικό είναι να εγκατασταθεί η βασίλισσα ώστε να μην φύγει το μελίσσι. Σε περίπτωση που το σμήνος βρίσκεται σε χοντρό κλαδί γίνεται η προσέγκυσή του τοποθετώντας ένα πλαίσιο με ανοιχτό γόνο κοντά του. Όταν οι περισσότερες μέλισσες πλησιάσουν το πλαίσιο μεταφέρεται στην κυψέλη που έχει προετοιμαστεί και βρίσκεται σε κοντινή απόσταση.

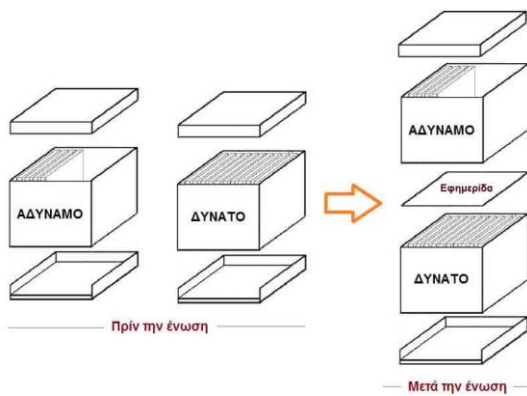


Εικόνα 13 : Σύλληψη αφεσμού



Εικόνα 14 : Σύλληψη αφεσμού

Η **συνένωση** [6] (Εικόνα 15), (Εικόνα 16) των κυψελών είναι πολλές φορές απαραίτητη είτε λόγω έλλειψης βασίλισσας είτε λόγω μικρού πληθυσμού. Αποτελεί μια διαδικασία που αποσκοπεί, αφενός στην σωτηρία του μελισσιού και αφετέρου στην ενδυνάμωση και υψηλότερη απόδοση του.



Εικόνα 15 : Διαδικασία συνένωσης 2 κυψελών.



Εικόνα 16 : Τελικό αποτέλεσμα δύο συνενωμένων κυψελών

Τρύγος [6] καλείται η αφαίρεση του ώριμου μελιού από τις σφραγισμένες κηρήθρες (Εικόνα 17), διαδικασία η οποία λαμβάνει χώρα όταν η πληρότητα της κυψέλης είναι περίπου στο 75%. Εποχή για τον τρύγο είναι πριν το τέλος της μελιτοφορίας, και κατά το πέρας αυτής στην κυψέλη πρέπει να παραμένει μία ποσότητα μελιού για τυχόν μελλοντικές ανάγκες.



Εικόνα 17 : Τελάρο κυψέλης έτοιμο για τρύγο

1.3 Συστήματα Τηλεμετρίας Μελισσών

Πολύ συχνά, οι επαγγελματίες αλλά και οι ερασιτέχνες μελισσοκόμοι έρχονται αντιμέτωποι με στρεσαρισμένες αποικίες από παράσιτα και φυτοφάρμακα. Οι μελισσοκομικοί χειρισμοί που προαναφέρθηκαν αλλά και οι χειροκίνητες επεμβάσεις σε στιγμές που δεν είναι απαραίτητες διαταράσσουν την αποικία. Η τεχνολογία έχει την δυνατότητα να παρέχει πληροφορίες οι οποίες είναι χρήσιμες για την διαχείριση της παραγωγικότητας χωρίς την ανάγκη επιτόπιας επιθεώρησης. Υπάρχει μία νέα τάση τα τελευταία 8 περίπου χρόνια ώστε τέτοιες συσκευές να γίνονται διαθέσιμες στο κοινό.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα αντιπροσωπευτικά συστήματα τηλεμετρίας, τα οποία μελετήθηκαν εις βάθος για την ανάπτυξη του εμπορικού αλλά και ερευνητικού μέρους αυτής της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Οι διατάξεις αυτές είναι εμπορικά διαθέσιμες με συχνά υψηλό κόστος κτήσης, και αξιοποιούν διαφορετικές προσεγγίσεις για την υλοποίηση των λειτουργιών παρακολούθησης και επίβλεψης.

1.3.1 Εμπορικά διαθέσιμα συστήματα

Το σύστημα πολλαπλών αισθητήρων της **Arnia** (Εικόνα 18) έκανε την εμφάνισή του στο τέλος του 2011 και μέχρι σήμερα έχει καταφέρει να κερδίσει την εμπιστοσύνη αρκετών μελισσοκόμων παρέχοντας συνεχή υποστήριξη και σταδιακή βελτίωση των υλικών της.



Εικόνα 18 : Ζυγαριά συστήματος Arnia

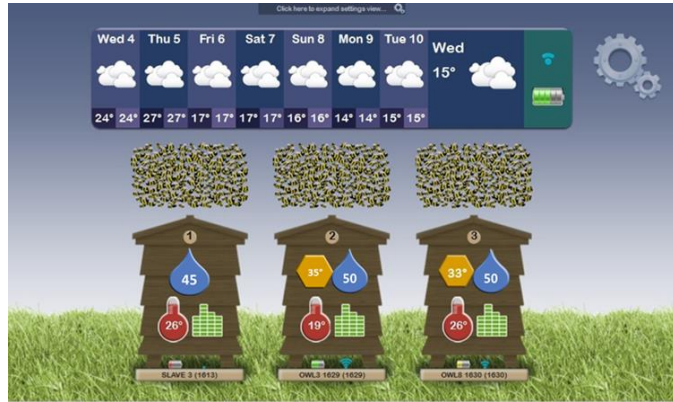
Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα, το οποίο αποτελείται από αισθητήρες θερμοκρασίας/υγρασίας, μετακίνησης της κυψέλης, αλλά και ηχογράφησης του εσωτερικού περιβάλλοντος. Η τοποθέτηση γίνεται σε κάθε μία κυψέλη, στο εσωτερικό είτε στο εξωτερικό μέρος, τροφοδοτείται με 4xAAA μπαταρίες ενώ η μετάδοση των δεδομένων στην κεντρική βάση πραγματοποιείται ασύρματα. Η βάση της κυψέλης συμπεριλαμβάνει την ζυγαριά (Εικόνα 18), η οποία αποτελεί το σημαντικότερο μέρος αυτής της διαδικασίας, δεν συμπεριλαμβάνεται στην παραπάνω σχεδίαση. Παρέχεται ως επιπλέον hardware το οποίο με την σειρά του επικοινωνεί με την κεντρική βάση ασύρματα επιβαρύνοντας έτσι την κινητικότητα του τοπικού δικτύου που έχει διαμορφωθεί καθιστώντας το έτσι επιρρεπές σε σφάλματα.

Η κεντρική βάση βρίσκεται σε μέγιστη απόσταση 30 μέτρων από τις κυψέλες συλλέγοντας τα δεδομένα από τα περιφερειακά συστήματα, μαζί με μετεωρολογικές μετρήσεις, και μεταδίδοντάς τα σε κεντρικό Server (Εικόνα 19). Τροφοδοτείται με μπαταρίες και κάνει χρήση μιας συσκευής 3G Hotspot για την δημιουργία πύλης επικοινωνίας και την αποστολή των δεδομένων στον Server. Η επισκόπηση των δεδομένων γίνεται με την είσοδο του ενδιαφερόμενου στην OnLine πλατφόρμα (Εικόνα 20) χωρίς να χρειάζεται επιπλέον λογισμικό. Τα

δεδομένα παρουσιάζονται συνοπτικά και ξεκάθαρα ενώ ταυτόχρονα υπάρχει η δυνατότητα μελέτης του ιστορικού που έχει καταγραφεί για επιπλέον ανάλυση.



Εικόνα 19 : Αρχιτεκτονική του συστήματος Arnia



Εικόνα 20 : Οπτική απεικόνιση και User Interface

Το σύστημα **Hivemind** ξεκίνησε την οργάνωσή του το 2013 και πρόσφατα (το 2016) παρέχεται ως ένα λειτουργικό και πολλά υποσχόμενο σύστημα που απευθύνεται κυρίως στους επαγγελματίες μελισσοκόμους και παραγωγούς. Αποτελείται από 5 περιφερειακά υποσυστήματα και 1 κυρίως σταθμό για την αποστολή δεδομένων. Τα περιφερειακά συστήματα απαρτίζονται από τη ζυγαριά (Εικόνα 21), το βροχόμετρο (Εικόνα 22), το μετρητή της στάθμης του νερού, το GPS (Εικόνα 23), και τους αισθητήρες θερμοκρασίας/υγρασίας και κίνησης (Εικόνα 24).



Εικόνα 21 : Ζυγαριά συστήματος Hivemind



Εικόνα 22 : Μετρητής Βροχής συστήματος Hivemind



Εικόνα 23 : GPS συστήματος Hivemind



Εικόνα 24 : Σύστημα μέτρησης θερμοκρασίας και κίνησης στην είσοδο της κυψέλης

Ο αισθητήρας κίνησης παρουσιάζεται ως μετρητής στην είσοδο της κυψέλης, όμως δεν μπορεί να θεωρηθεί ως ένα αξιόπιστο μέσο καταμέτρησης των μελισσών. Αυτό συμβαίνει διότι αποτελείται από έναν PIR ανιχνευτή ο οποίος δίνει εντολή στον μικροελεγκτή κάθε φορά που ενεργοποιείται λόγω κίνησης. Η κίνηση αυτή μπορεί όμως να προκληθεί από μία και μόνο μέλισσα που περιφέρεται στην είσοδο, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις να μην αποτελούν αντιπροσωπευτικό δείγμα. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας/υγρασίας είναι ενσωματωμένοι στο ίδιο κουτί κατασκευής με τον αισθητήρα κίνησης καθιστώντας το έτσι άμεσα αναγνωρίσιμο είτε από ζώα είτε από επίδοξους ληστές. Συνεχίζοντας, η κεντρική βάση που επικοινωνεί με τον δορυφόρο πρέπει να βρίσκεται σε εμφανές σημείο στην κορυφή της κυψέλης με περιορισμό στον αριθμό των περιφερειακών που μπορούν να ενσωματωθούν (14 όπως αναφέρει το εγχειρίδιο) αλλά και στην συχνότητα αποστολής δεδομένων, καθώς η επικοινωνία με τον δορυφόρο είναι εφικτή μόνο όταν αυτός βρίσκεται εντός οπτικού πεδίου της συσκευής και χωρίς την δυνατότητα επαναφόρτισης των μπαταριών. Το ιδιαίτερα αυξημένο κόστος για κάθε μία από αυτές τις μονάδες και η πολυπλοκότητα διαχείρισής τους, καθιστούν το σύστημα μη προσιτό σε παραγωγούς αλλά ούτε και σε ερευνητές λόγω των περιορισμένων ερευνητικών δυνατοτήτων που προσφέρει.

Το σύστημα **solutionBee** απευθύνεται αυστηρά σε επαγγελματίες και ερασιτέχνες όπου κύριο μέλημα τους είναι η παραγωγή. Ξεκίνησε το 2014 και ολοκληρώθηκε στα μέσα του 2016 και θεωρείται ένα ευέλικτο σύστημα παρακολούθησης των αποικιών. Αποτελείται από ζυγαριά και αισθητήρα μέτρησης της εξωτερικής θερμοκρασίας. Οι μετρήσεις καταγράφονται κάθε 15 λεπτά και αποστέλλονται στον server για αποθήκευση, παρέχοντας επιπρόσθετες ειδοποιήσεις για έκτακτα συμβάντα στην αποικία.



Εικόνα 25 : Κουτί ηλεκτρονικών συστήματος Solutionbee



Εικόνα 26 : Κεντρικός σταθμός συλλογής δεδομένων συστήματος Solutionbee

Ο κεντρικός σταθμός (Εικόνα 26), ο οποίος συλλέγει τα δεδομένα βάρους και θερμοκρασίας, επικοινωνεί με χρήση 3G δικτύου και έχει τη δυνατότητα επαναφόρτισης των μπαταριών του για μακροχρόνια λειτουργία. Ως τελικό στάδιο είναι η απεικόνιση των δεδομένων με γραφήματα σε ειδικά διαμορφωμένη εφαρμογή. Παρόλο την πολλά υποσχόμενη κατασκευή και εφαρμογή, παρουσιάζει αρκετά προβλήματα που δεν μπορούν να επιλυθούν με μικρό κόστος. Η κατασκευή (Εικόνα 27) αν και στιβαρή είναι αυξημένου βάρους με αποτέλεσμα να μην γίνεται η πλήρης εκμετάλλευση του εύρους μέτρησης του loadcell και η απόσταση μεταξύ των δύο βάσεων πολύ μικρή με αποτέλεσμα το μονωμένο καλώδιο να έχει επαφή αν προστεθεί ένα μεγαλύτερο βάρος.



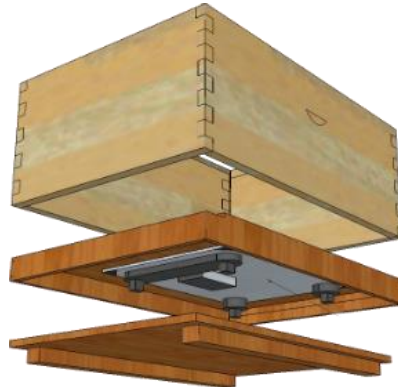
Εικόνα 27 : Συναρμολογημένη η Βάση του συστήματος Solutionbee

Σε ότι αφορά την εφαρμογή, οι μετρήσεις γίνονται με μεγάλη συχνότητα, χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο, σπαταλώντας έτσι ενέργεια από τις μπαταρίες και περιορίζοντας το χρόνο αυτονομίας. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι η πλακέτα ελέγχου της συσκευής δεν είναι επεκτάσιμη, κάτι που δεν επιτρέπει τη διασύνδεση περισσότερων αισθητηρίων, και καθιστά ανέφικτη τη χρήση της διάταξης για ερευνητικούς σκοπούς.

Το σύστημα **ζυγι** (Εικόνα 29) είναι το μόνο που κατασκευάζεται στην Ελλάδα, και αποτελείται από ζυγαριά, αισθητήρα θερμοκρασία/υγρασίας του περιβάλλοντος και αποστολή μετρήσεων μέσω SMS. Η κατανάλωση είναι μικρή λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων και παρέχεται η δυνατότητα έκτακτης ειδοποίησης σε περίπτωση κλοπής, αν και μπορεί να απενεργοποιηθεί εύκολα κλείνοντας τον διακόπτη. Ακολουθεί διαφορετική προσέγγιση συγκριτικά με τις προηγούμενες διατάξεις και χρησιμοποιεί 4 loadcell τύπου button (Εικόνα 28) και ειδικά σχεδιασμένα πλακέτα επέκτασης.



Εικόνα 28 : Αισθητήρας βάρους τύπου Button



Εικόνα 29 : Η τοποθέτηση και αρχιτεκτονική του συστήματος ζυγι

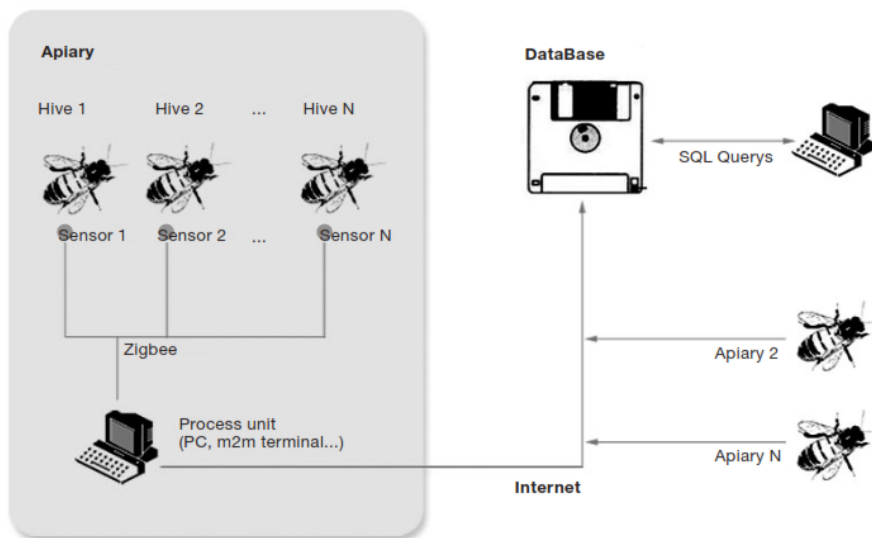
Η προαναφερθείσα προσέγγιση δημιουργήθηκε και παραμένει σε πρώιμο στάδιο διότι αποτελεί μία συσκευή που πρέπει να τοποθετείται σε κάθε κυψέλη χωρίς τη δυνατότητα μαζικής συλλογής δεδομένων, ενώ χαρακτηρίζεται από περιορισμένη επεκτασιμότητα. Αναφέρεται η προαιρετική χρήση μικροφώνου για ακρόαση του χώρου κατά το οποίο πρέπει να επισημανθεί πως η διασύνδεση γίνεται μέσω του module επικοινωνίας αντί του μικροελεγκτή. Η ακρόαση πραγματοποιείται με τηλεφωνική κλήση καθιστώντας αδύνατη την καταγραφή και επεξεργασία της ακουστικής του χώρου. Μη-ρεαλιστική είναι και η μελλοντική εξέλιξη ώστε τα δεδομένα να είναι επεξεργάσιμα σε web εφαρμογή, καθώς το GSM/GPRS module που χρησιμοποιείται δεν υποστηρίζει σύνδεση σε FTP server και περιορίζεται σε TCP συνδέσεις και επικοινωνία μέσω email. Παρόλα αυτά, αν με κάποιο μέσο ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία θα προκύψουν προβλήματα με την κατανάλωση, καθώς η επικοινωνία με χρήση internet είναι υψηλής κατανάλωσης.

1.3.2 Ερευνητικές εφαρμογές

Αναφορικά με τις ερευνητικές εφαρμογές, η επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας αναδεικνύει αρκετές προσπάθειες για καταγραφή και επεξεργασία της οπτικής και ηχητικής δραστηριότητας των μελισσών, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις διαταραχές που επέρχονται και τον

τρόπο αντιμετώπισής τους. Είναι ευρέως γνωστό πως τα ηχητικά κύματα που παράγονται από τα σμήνη μελισσών συσχετίζονται άμεσα με τις συνθήκες που επικρατούν τη δεδομένη στιγμή και είναι πολύ πιθανό να γνωρίζουμε εάν μια κυψέλη είναι ορφανή ή αν μια ικανοποιητική ποσότητα μελιού έχει συγκεντρωθεί. Παρακάτω αναφέρονται συστήματα τα οποία έχουν ήδη δημιουργηθεί προς την κατεύθυνση αυτή.

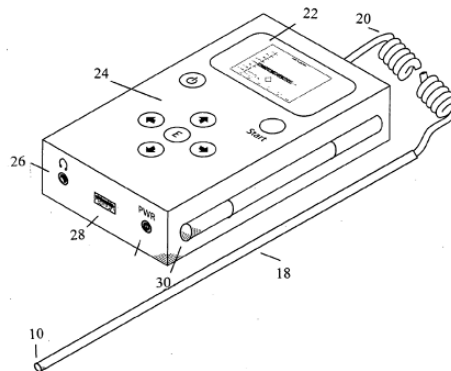
Η πλατφόρμα **Apiary** (Εικόνα 30) αποτελείται από μερικές μονάδες αισθητηρίων, μία σε κάθε κυψέλη. Σταδιακά γίνεται δειγματοληψία των ηχητικών κυμάτων και έπειτα από επεξεργασία αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων. Για την υλοποίηση του συστήματος έχει δημιουργηθεί ένα ενσωματωμένο σύστημα με λειτουργικό Windows XP, το οποίο χρησιμοποιεί ασύρματο Internet για την διασύνδεση στη κεντρική βάση. Κάθε ηχητικό δείγμα είναι διάρκειας 8 δευτερολέπτων και ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 6.250 Hz ώστε η μέγιστη συχνότητα που μπορεί να καταγράψει το σύστημα να είναι 3.125 Hz.



Εικόνα 30 : Αρχιτεκτονική Συστήματος Apiary

Τα δεδομένα που αποθηκεύονται επιτρέπουν την αναζήτηση προτύπων αλλά και αλλαγών. Στο παρελθόν γινόταν χρήση του **Apidictor** και του **Bee Tone Analyzer** αλλά τα δεδομένα δεν μπορούσαν να αποθηκευτούν και τα δείγματα δεν λαμβάνονταν συστηματικά έτσι ώστε να δημιουργείται μια ολοκληρωμένη αντίληψη της κατάστασης της αποικίας. Ο ήχος είναι ένας πληρέστερος δείκτης όσο αναφορά τις παραμέτρους που υποδεικνύουν την κατάσταση του σμήνους. Η εξελικτική πρόταση της δημοσίευσης αφορά την βελτιστοποίηση της πλατφόρμας και την ανάπτυξη του δικτύου για τη δημιουργία μιας σφαιρικής εικόνας όσο αναφορά το βούισμα και τα ηχητικά δεδομένα που μπορούν να εξαχθούν.

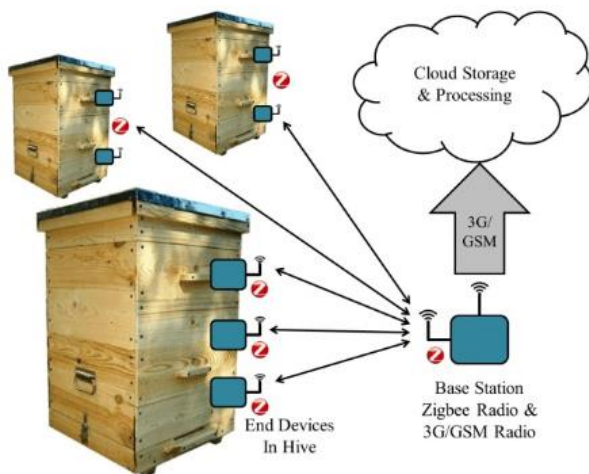
Νέες έρευνες, όπως και η παρούσα, στοχεύουν όχι μόνο στην λήψη ηχητικών δεδομένων αλλά και στη σύγκριση αυτών μέσω βάσεων δεδομένων με γνωστά ηχητικά αποτυπώματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή συμπερασμάτων χωρίς να είναι απαραίτητη η επέμβαση του ανθρώπου για την ανάλυση νέων δεδομένων. Το επόμενο σύστημα (Εικόνα 31) αναφέρεται σε μια φορητή συσκευή που αποτελεί κατοχυρωμένη πατέντα στην Αμερική [7] η οποία υιοθετεί αυτόν τον τρόπο ανάλυσης δεδομένων.



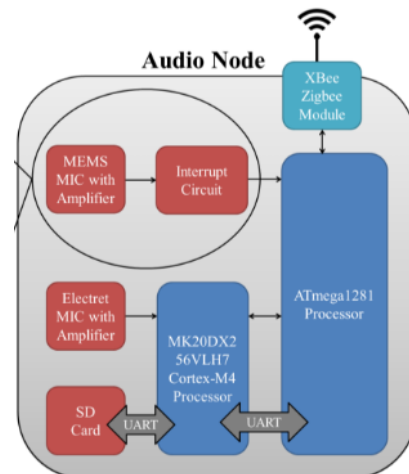
Εικόνα 31 : Καταγραφικό σύστημα (κατοχυρωμένη πατέντα από το 2009).

Αποτελείται από μικρόφωνο, ενισχυτή μικροφώνου, υπολογιστή με κάρτα ήχου και το κατάλληλο λογισμικό ανάλυσης ήχου. Σε αυτή την περίπτωση η ψηφιακή συσκευή εγγραφής είναι ο **PMD670** της εταιρείας **Marantz**. Τα αρχεία .wav που καταγράφονται, επεξεργάζονται από το λογισμικό που φέρει η συσκευή, εκτελώντας μετασχηματισμό Φουριέ (Fast Fourier Transform) και εξάγοντας τα αποτελέσματα σε αρχεία κειμένου για περαιτέρω ανάλυση. Θεωρείται μία από τις ελάχιστες εφαρμογές οι οποίες εξάγουν ένα τελικό αποτέλεσμα έπειτα συγκρίσεως με γνωστά δείγματα.

Στο πανεπιστήμιο Κορκ της Ιρλανδίας αναπτύχθηκε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα καταγραφής της ηχητικής δραστηριότητας των μελισσών [8] το οποίο βασίζεται σε WSN (Wireless Sensor Networks). Ο κόμβος μετάδοσης δεδομένων χρησιμοποιεί Zigbee περιορίζοντας αυτόματα τον όγκο της πληροφορίας που εν τέλει μπορεί να μεταδοθεί και ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιείται είναι ο ATmega1281 όπως φαίνεται στην αρχιτεκτονική του συστήματος (Εικόνα 32), (Εικόνα 33). Λόγω του μεγάλου όγκου ηχογραφήσεων, δεδομένου ότι η συχνότητες που έπρεπε να καταγραφούν είναι περίπου 3kHz, ενσωματώθηκε κάρτα SD για την αποθήκευση αυτών και όχι την αποστολή στο διαδίκτυο.



Εικόνα 32 : Αρχιτεκτονική συστήματος WSN



Εικόνα 33 : Διάταξη του hardware

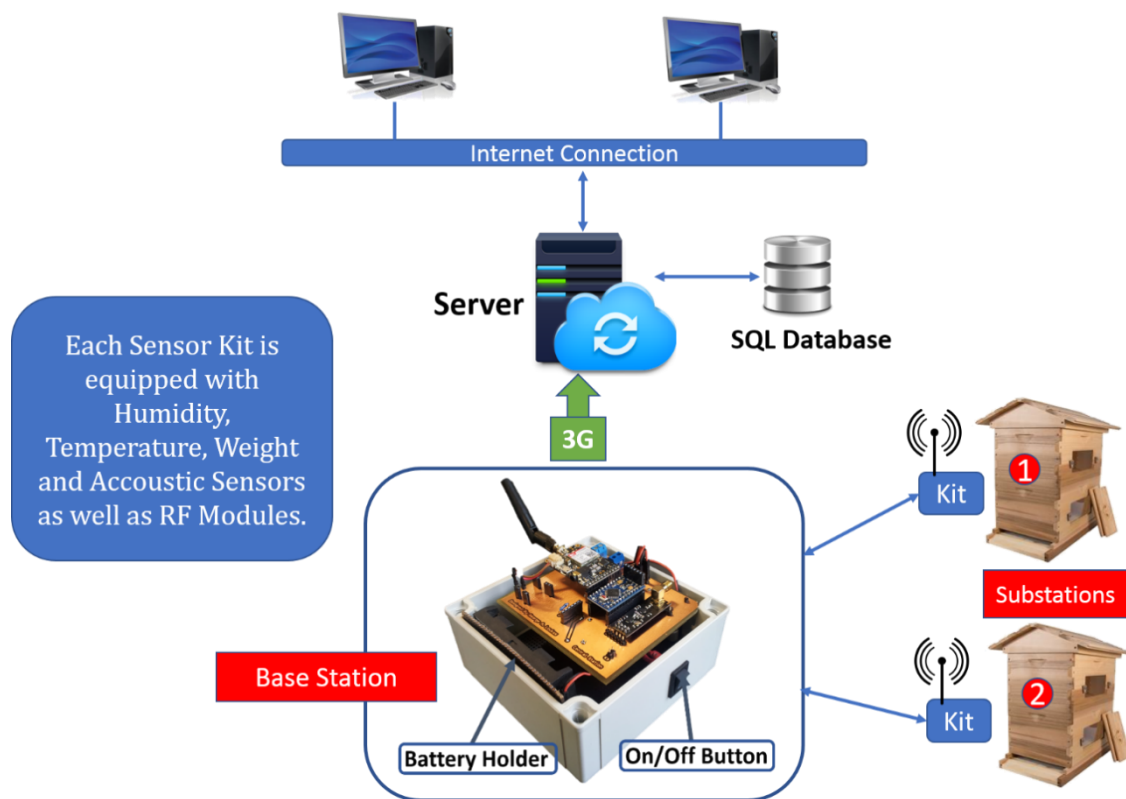
Στη τελική μορφή της, η πειραματική διάταξη εκτελεί ηχογραφήσεις όταν υπάρχει κίνδυνος αφεσμού το οποίο γίνεται αντιληπτό 6-8 ώρες πριν, όπου οι μέλισσες επικοινωνούν στα 300–700Hz. Ο αυτοματισμός έχει υλοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται ενεργοποίηση του μικροελεγκτή και ηχογράφηση ανά τακτά χρονικά διαστήματα στη κάρτα μνήμης για τον μεταγενέστερο έλεγχο από τον μελισσοκόμο. Θεωρείται ενεργειακά αυτόνομο και χαμηλής κατανάλωσης παρόλο που είναι εξοπλισμένο με έναν ARM Cortex-M4 με κύκλο ρολογιού 72MHz και 64KB RAM για τις υψηλής ευκρίνειας ηχογραφήσεις.

1.4 Συνεισφορά της Παρούσας Εργασίας

Τα συστήματα που προαναφέρθηκαν δημιουργήθηκαν από το 2012 έως σήμερα, και βασικός στόχος τους είναι η ενημέρωση της κατάστασης των αποικιών και η αυξημένη παραγωγή, ενώ αναφέρονται κυρίως σε επαγγελματίες ή ερασιτέχνες μελισσοκόμους. Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποσκοπεί καταρχήν στην μελέτη, σχεδίαση και υλοποίηση μιας βελτιστοποιημένης έκδοσης των παραπάνω συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψιν τις αδυναμίες που επισημάνθηκαν και κατά δεύτερον στη βέλτιστη διαχείριση των πληροφοριών που συλλέγονται με απώτερο σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για αποφυγή των ασθενειών και τη βελτιστοποίηση των μελισσοκομικών χειρισμών. Η αναβάθμιση σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα αφορά κυρίως στη χρήση νέων μέσων μετάδοσης της πληροφορίας χαμηλής κατανάλωσης και άμεσα επεκτάσιμων. Σε δεύτερο στάδιο, έγινε η ανάλυση των πληροφοριών και η σχεδίαση της διεπαφής με τον χρήστη.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα λειτουργικό διάγραμμα της αρχιτεκτονικής του συστήματος που αναπτύχθηκε. Η λειτουργία του βασίζεται σε συστήματα Server-Client, όπου τον ρόλο του Server έχει αναλάβει ο Base

Station και τον ρόλο των Clients οι Substations. Κάθε υποσταθμός (client) συλλέγει δεδομένα, με χρήση των ανάλογων εγκατεστημένων αισθητηρίων, τα οποία με την σειρά τους αποστέλλονται στον κεντρικό σταθμό (base station). Έχοντας συλλέξει τα δεδομένα γίνεται σύνδεση του σταθμού βάσης με το σύστημα Cloud που έχει υλοποιηθεί με χρήση κινητής τηλεφωνίας. Έπειτα με κατάλληλα HTTP Calls, δηλαδή συνδέσεις σε ιστοσελίδα, μεταφέρονται τα δεδομένα στον Cloud Server και καταχωρούνται σε Βάση δεδομένων τύπου MySQL. Κάθε χρήστης που ενδιαφέρεται να ενημερωθεί για τις μετρήσεις εισέρχεται στην εκάστοτε ειδικά διαμορφωμένη ιστοσελίδα (γραφήματα, πίνακες) με τα ανάλογα credentials για λόγους ασφαλείας.



Εικόνα 34 : Αρχιτεκτονική του συστήματος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Αναφορικά με τη δομή της παρούσας εργασίας, μετά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση του παρόντος κεφαλαίου, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη και υλοποίηση της κατασκευής, η χρήση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και η στρατηγική λειτουργίας του συστήματος. Τέλος αναλύονται τα δεδομένα που λήφθηκαν και γίνεται μια αποτίμηση της αξιοπιστίας αυτών αλλά και συνολικά της κατασκευής.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η διαχείριση των δεδομένων και η ανάπτυξη της διαδικτυακής εφαρμογής διαχείρισης του συστήματος.

Περιγράφεται ο τρόπος μετάδοσης, η συλλογή και η ανάρτηση των δεδομένων στο διαδίκτυο.

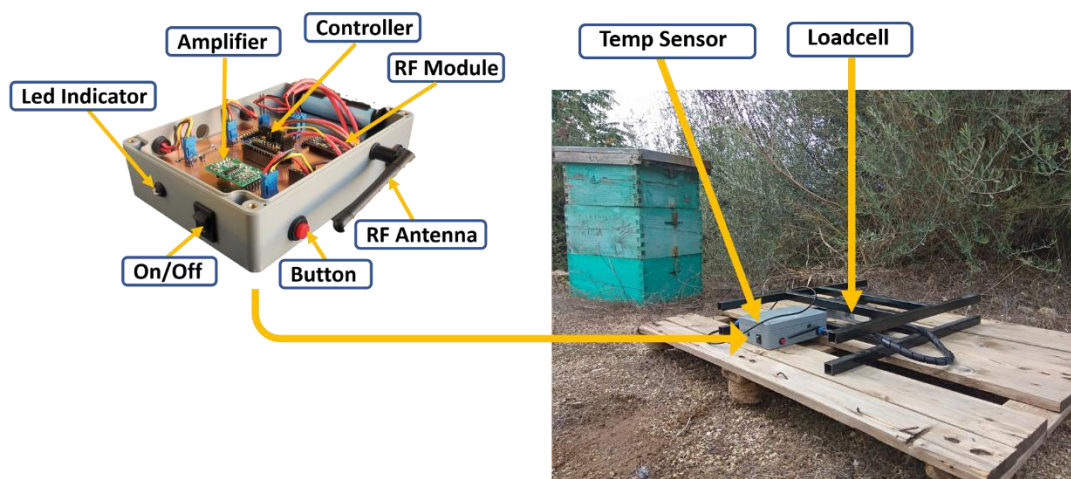
Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αρχικά η περιγραφή και ανάλυση της ερευνητικής δραστηριότητας της παρούσας πτυχιακής και αναλύεται ο τρόπος λήψης και επεξεργασίας της ακουστικής της κυψέλης καθώς και η εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν την υγεία των μελισσών. Τα αποτελέσματα εξάγονται βάσει εκτενούς ανάλυσης ηχογραφημένων σημάτων σε σύγκριση με την υπάρχουσα γνώση αναφορικά με τις συχνότητες που παράγουν οι μέλισσες.

Κεφάλαιο 2

Σχεδιασμός και Ανάπτυξη της Διάταξης

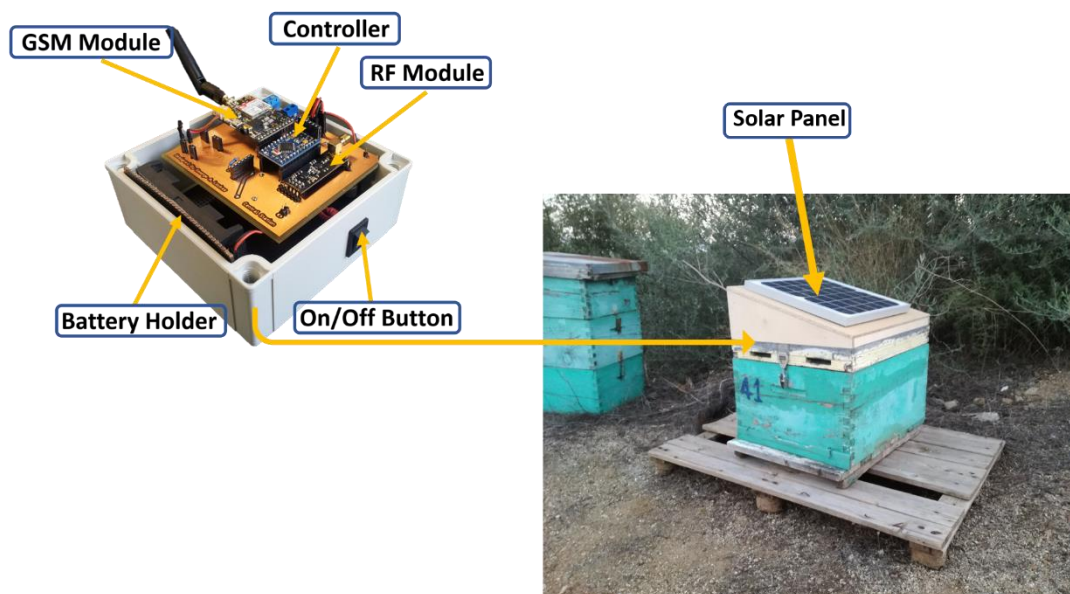
2.1 Περιγραφή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η μηχανολογική σχεδίαση και κατασκευή της διάταξης, καθώς και η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ελέγχου της περιφερειακής μονάδας αλλά και του σταθμού βάσης. Ειδικότερα, περιγράφονται τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, η χρήση πεπερασμένων στοιχείων για την διερεύνηση της αντοχής και μέγιστης μετατόπισης τόσο του αισθητήρα βάρους όσο και ολόκληρης της κατασκευής. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα βασικά μηχανολογικά και ηλεκτρονικά στοιχεία τόσο του υποσταθμού όσο και του σταθμού βάσης.



Εικόνα 35 : Περιφερειακή μονάδα λήψης μετρήσεων – Σε πραγματικές συνθήκες.

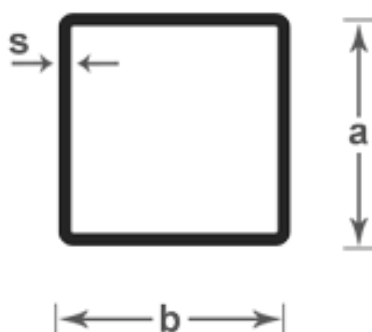
Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική που υιοθετήθηκε, κάθε υποσταθμός αποτελείται από την βάση πάνω στην οποία τοποθετείται η κυψέλη, μαζί με τα ηλεκτρονικά ελέγχου που βρίσκονται εντός ειδικά διαμορφωμένου κουτιού προστασίας. Το κόκκινο κουμπί (βλ. παραπάνω εικόνα) χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση του συστήματος ενώ παρέχονται ενδείξεις λειτουργίας μέσω του Led που βρίσκεται στην εξωτερική πλευρά. Όσο αναφορά τον σταθμό βάσης, αυτός τοποθετείται στο εσωτερικό του καπακιού της μιας κυψέλης ώστε να μην είναι ορατό και να προστατεύεται από καιρικά φαινόμενα. Η κεντρική μονάδα τροφοδοτείται από φωτοβολταϊκό πάνελ καθώς καταναλώνει αρκετή ενέργεια για την μετάδοση των δεδομένων με χρήση δικτύου κινητής τηλεφωνίας.



Εικόνα 36 : Κεντρική μονάδα συλλογής δεδομένων – Σε πραγματικές συνθήκες.

2.2 Μηχανολογική Σχεδίαση και Κατασκευή

Η βάση της διάταξης αποτελείται από δύο επίπεδα τα οποία στον ενδιάμεσο χώρο περιλαμβάνουν τον αισθητήρα βάρους (Loadcell). Το κάθε επίπεδο έχει την μορφή «H» και το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι κοιλοδοκοί διαμορφωμένοι εν' ψυχρώ από έλασμα θερμής έλασης από ποιότητα χάλυβα S235 κατά EN10025 διαστάσεων ($axbxs$) $20x20x2mm$ και βάρους $1.44Kg/m$ (Εικόνα 37), (Εικόνα 38). Όπως φαίνεται και στη μελέτη που παρουσιάζεται στη συνέχεια επιλέχθηκε η παραπάνω διάσταση λόγω της αυξημένης αντοχής (Εικόνα 41), (Εικόνα 42) που παρέχει και του μικρού βάρους σε μία μικρή διάταξη όπως η συγκεκριμένη (Εικόνα 39), (Εικόνα 40), (Εικόνα 51), (Εικόνα 52).



Εικόνα 37 : Διαστάσεις κοιλοδοκού



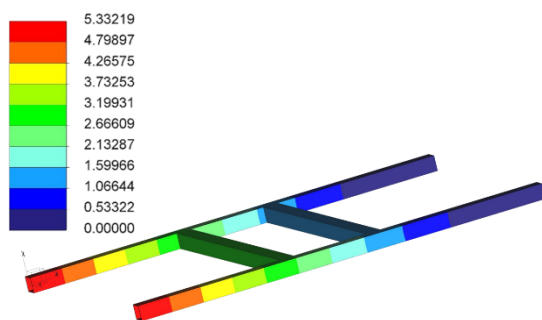
Εικόνα 38 : Πραγματικό υλικό



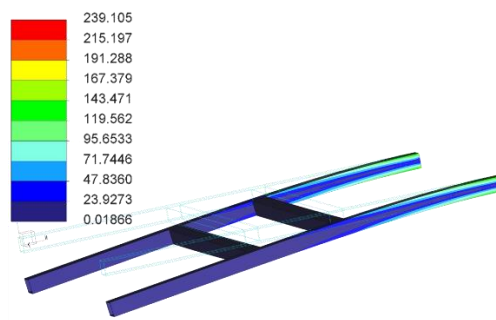
Εικόνα 39 : Μοντέλο CAD



Εικόνα 40 : Πραγματικό μοντέλο



Εικόνα 41 : Μέγιστη παραμόρφωση



Εικόνα 42 : Μέγιστη καταπόνηση

Οι διαστάσεις κάθε επιπέδου της βάσης είναι $52.5 \times 38.5 \times 2 \text{ cm}$ ενώ συναρμολογημένη ανέρχεται σε ύψος 3.2 cm (Εικόνα 51), (Εικόνα 52). Για την στήριξη της βάσης και την προσαρμογή του Loadcell χρησιμοποιήθηκε λάμα πάχους 5 mm ώστε να παρέχεται απόλυτη σταθερότητα στην κατασκευή. Για τις κολλήσεις χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονική ηλεκτροσυγκόλληση, αφού πρώτα δημιουργήθηκαν τα απαραίτητα κουτιά συγκράτησης των δοκών για να επιτευχθεί απόλυτη ακρίβεια στις κολλήσεις. Η στερέωση του Loadcell (Εικόνα 43), (Εικόνα 44) έγινε με χρήση τεσσάρων βιδών διαστάσεων $M6 \times 25 \text{ mm}$.



Εικόνα 43 : Μοντέλο CAD, Πλάγια όψη



Εικόνα 44 : Πραγματικό μοντέλο, Πλάγια όψη

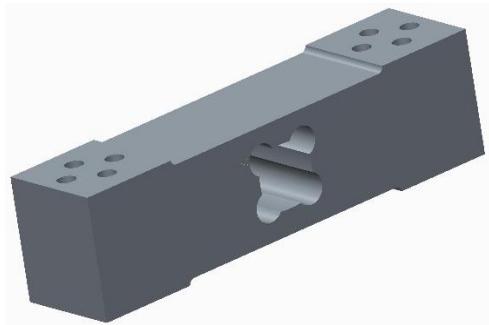
Η επιλογή έγινε βάσει των διατομών των οπών του Loadcell (Εικόνα 45), (Εικόνα 46) οι οποίες είναι βάθους 40 mm και το σπείρωμα έως τα 20 mm . Συνυπολογίζοντας την λάμα πάχους 5 mm καταλήγουμε σε μέγιστο μήκος 25 mm



Εικόνα 45 : Μοντέλο CAD, Πανοραμική όψη



Εικόνα 46 : Πραγματικό Μοντέλο, Πανοραμική όψη

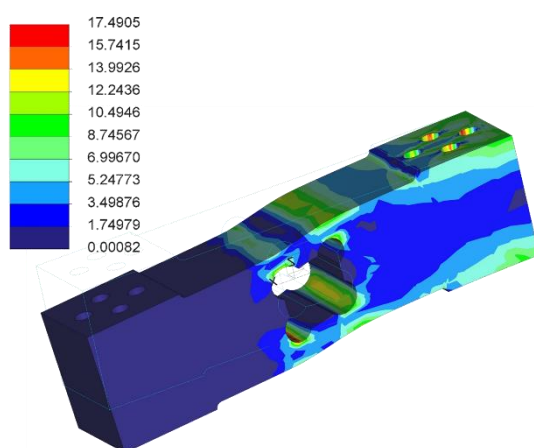


Εικόνα 47 : Μοντέλο CAD, 3D απεικόνιση

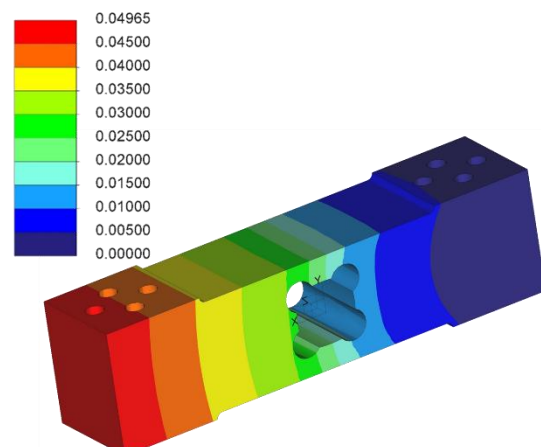


Εικόνα 48 : Πραγματικό μοντέλο, 3D απεικόνιση

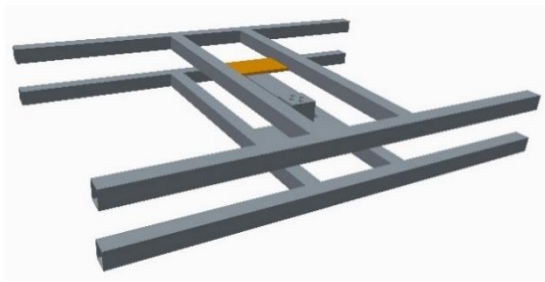
Παρακάτω παρουσιάζεται η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων που εφαρμόστηκε στο Load cell για την ανάλυση και αποτίμηση της αντοχής της δυναμοκυψέλης που επιλέχθηκε. Υπολογίστηκε η καταπόνηση και παραμόρφωση ασκώντας μία δύναμη 100Kg. Παρακάτω (Εικόνα 49) και (Εικόνα 50) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Με κόκκινο χρώμα αναφέρονται οι μέγιστες τιμές των προαναφερθέντων μετρήσεων. Έτσι η μέγιστη καταπόνηση για το Loadcell είναι 17,495 Μpa, ενώ η μέγιστη παραμόρφωση 0,049 mm.



Εικόνα 49 : Μέγιστη καταπόνηση



Εικόνα 50 : Μέγιστη παραμόρφωση

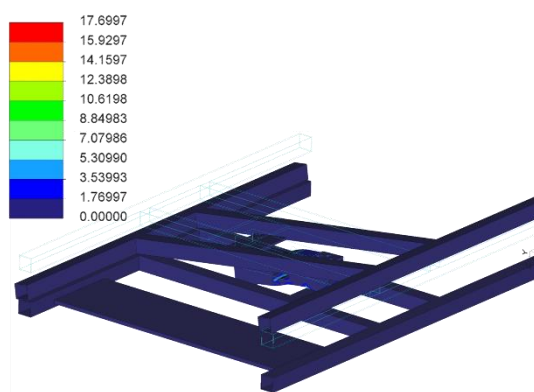


Εικόνα 51 : Μοντέλο CAD

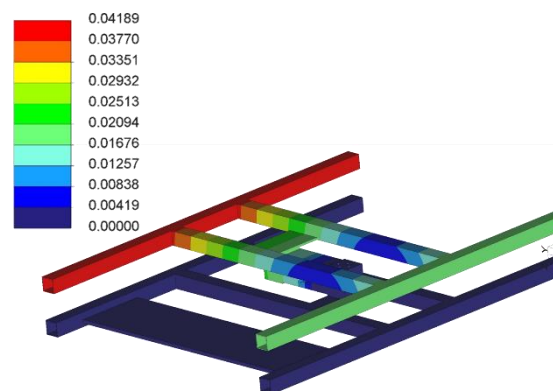


Εικόνα 52 : Πραγματικό μοντέλο

Όπως ακριβώς έγινε η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων μεμονωμένα για το Load cell αλλά και για τις βάσεις της κατασκευής, αντίστοιχα πραγματοποιήθηκε και για την ολοκληρωμένη κατασκευή ώστε να γίνει η ανάλογη μελέτη της συμπεριφοράς της. Παρακάτω (Εικόνα 53), (Εικόνα 54) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κατά την οποία διακρίνονται οι μέγιστες τιμές που ανέρχονται σε 17,699 Mpa για την καταπόνηση και 0,041 για την μετατόπιση..



Εικόνα 53 : Μέγιστη Καταπόνηση

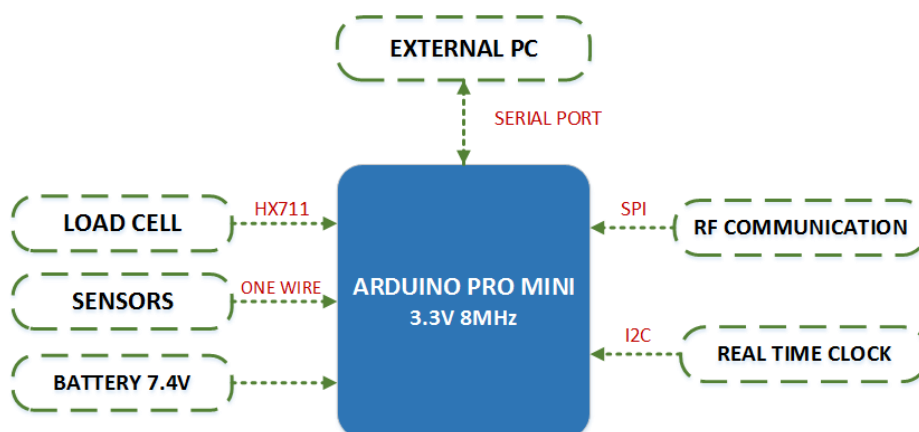


Εικόνα 54 : Μέγιστη Παραμόρφωση

2.3 Ηλεκτρονικά Ελέγχου Περιφερειακής Μονάδας

Τόσο η περιφερειακή μονάδα όσο και ο σταθμός βάσης είναι ενεργειακά αυτόνομα και τροφοδοτούνται από δύο μπαταρίες λιθίου-ιόντων 3.7V χωρητικότητας 2600mAh η καθεμία τοποθετημένες σε σειρά. Η καταγραφή των δεδομένων αλλά και η επεξεργασία τους γίνεται από την αναπτυξιακή πλατφόρμα Arduino Pro-Mini [9], η οποία εφοδιάζεται με 8-bit μικροελεγκτή, στον οποίο εκτελείται πρόγραμμα το οποίο προωθεί τα δεδομένα στον κεντρικό σταθμό έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία. Ο σταθμός με την σειρά του αναλαμβάνει την σύνδεση στο διαδίκτυο και την προώθηση των προσωρινά αποθηκευμένων δεδομένων.

Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται το διάγραμμα αρχιτεκτονικής ελέγχου της περιφερειακής μονάδας με τα βασικά ηλεκτρονικά υποσυστήματα. Τα επιμέρους στοιχεία αυτής παρουσιάζονται αναλυτικότερα στην συνέχεια.

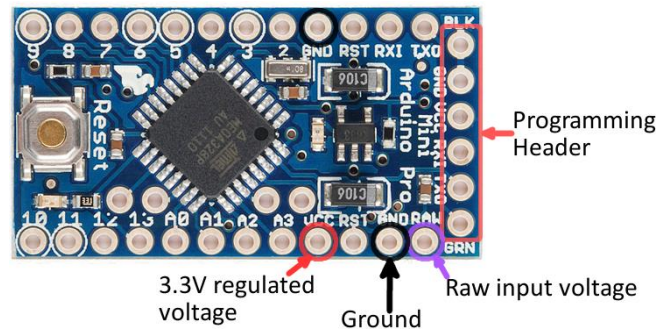


Σχήμα 1 : Διάγραμμα αρχιτεκτονικής ελέγχου περιφερειακής μονάδας

Η σειριακή επικοινωνία με τον κεντρικό υπολογιστή είναι απαραίτητη κατά την διάρκεια των πειραμάτων και των προγραμματιστικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση του πρωτοτύπου. Κατά την κανονική λειτουργία, το σειριακό καλώδιο αποσπάται από τη βάση, ώστε αυτή να αποτελεί ένα αυτόνομο σύστημα. Το ρολόι πραγματικού χρόνου (real time clock) το οποίο έχει προσαρμοστεί χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της κατάστασης λειτουργίας του μικροελεγκτή η οποία θα είναι είτε η πλήρης λειτουργία είτε η κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης.

2.3.1 Μονάδα ελέγχου

Η κεντρική μονάδα ελέγχου του συστήματος βασίζεται στην αναπτυξιακή πλατφόρμα Arduino Pro-Mini [9], (Εικόνα 55) και παρακάτω παρατίθενται τα βασικά χαρακτηριστικά της.



Εικόνα 55 : Η πλατφόρμα Arduino Pro Mini

- Μικροελεγκτής ATmega328
- Συχνότητα χρονισμού λειτουργίας 8Mhz
- 32KB μνήμη FLASH για τον κώδικα της εφαρμογής
- 2KB μνήμη SRAM, 1KB μνήμη EEPROM
- Υποστήριξη πρωτοκόλλων SPI,I2C
- Τάση λειτουργίας 3.3 V, εύρος τροφοδοσίας 3.3 – 12 V
- Προγραμματισμός μέσω FTDI
- 14 ψηφιακές, 6 Αναλογικές εισοδοι
- 2 εξωτερικά interrupt
- 40mA σε κάθε είσοδο/έξοδο
- 6 έξοδοι hardware PWM

Ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής διαθέτει μία θύρα ασύγχρονης σειριακής σύνδεσης η οποία χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό του αλλά και για την επικοινωνία με τον υπολογιστή. Δεν θεωρείται περιορισμός ή μειονέκτημα διότι με χρήση κατάλληλης βιβλιοθήκης καθίσταται δυνατή η δημιουργία πολλών σειριακών κάνοντας χρήση των ψηφιακών PIN του μικροελεγκτή. Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι η χρήση του πρωτοκόλλου SPI για την διασύνδεση του RF Module το οποίο όχι μόνο προσφέρει επικοινωνία με την κεντρική βάση για την αποστολή δεδομένων αλλά παρέχει την δυνατότητα διασύνδεσης πολλών συσκευών οι οποίες θα είναι καταχωρημένες ως αποστολέας ή ως παραλήπτης επεκτείνοντας έτσι την χρήση του ως μια ασύρματη επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές. Μια από τις βασικές λειτουργίες του μικροελεγκτή είναι η πλήρως αυτοματοποιημένη μετάβαση από Sleep Mode σε πλήρη λειτουργία και

η επιστροφή του όταν ολοκληρωθεί η διεργασία. Αυτό γίνεται για εξοικονόμηση ενέργειας όπου στην συγκεκριμένη εφαρμογή είναι υψίστης σημασίας. Η επιλογή του Mode επιτυγχάνεται με την κατάλληλη χρήση των καταχωρητών που παρουσιάζονται παρακάτω. (βλ. Πίνακας 1)

#	Operation	Part of Code
1	Sleep Mode Idle	SLEEP_MODE_IDLE
2	Sleep Mode ADC	SLEEP_MODE_ADC
3	Sleep Mode Power Save	SLEEP_MODE_PWR_SAVE
4	Sleep Mode Standby	SLEEP_MODE_STANDBY
5	Sleep Mode Power Down	SLEEP_MODE_PWR_DOWN

Πίνακας 1 : Καταστάσεις λειτουργίας μικροελεγκτή

Η επιλογή της συγκεκριμένης αναπτυξιακής πλατφόρμας αρχικά βασίστηκε στις δυνατότητες που προσφέρει, στο μικρό της μέγεθος και ακόμη περισσότερο στην πολύ χαμηλή κατανάλωση που απαιτεί. Θεωρητικά οι μικρότερες εκδόσεις των Arduino αποσκοπούν στην μικρότερη κατανάλωση οπότε με τις κατάλληλες δοκιμές επαληθεύτηκε η θεωρητική προσέγγιση ανάμεσα σε ένα Arduino Uno και σε ένα Arduino Pro-Mini. Οι μετρήσεις έγιναν σε κατάσταση πλήρους λειτουργίας και σε κατάσταση Sleep mode idle και Sleep mode Power Down όπου έχουμε και την μεγαλύτερη εξοικονόμηση. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στη συνέχεια (βλ. Πίνακας 2).

	Arduino Uno (Regulator)	Pro Mini (Regulator Bypassed)	Arduino Uno (Regulator)	Pro Mini (Regulator Bypassed)	Arduino Uno (Regulator)	Pro Mini (Regulator Bypassed)
	Full Operation		Sleep Mode Idle		Power Down	
Volt [V]	7.0002	3.3003	7.0001	3.3003	7.0001	3.3003
Current [mA]	56.4569	3.84	48.48	1.27	41.04	186.5 μ A
Power[W] or [mW]	0.395	12.7mW	0.33 W	4.2 mW	0.28 W	0.6 mW

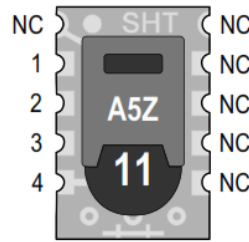
Πίνακας 2 : Κατανάλωση μικροελεγκτών σε διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας

2.3.2 Αισθητήριο θερμοκρασίας - υγρασίας

Για την παρακολούθηση των ατμοσφαιρικών συνθηκών, η περιφερειακή μονάδα είναι εξοπλισμένη με ένα αισθητήριο θερμοκρασίας/υγρασίας της εταιρείας Sensirion (Εικόνα 56), (Εικόνα 57). Έχει επιτευχθεί η ενσωμάτωση αισθητήριων στοιχείων καθώς και επεξεργασία σήματος σε πολύ μικρό αποτύπωμα παρέχοντας μια πλήρως βαθμονομημένη ψηφιακή έξοδο. Για την μέτρηση της σχετικής υγρασίας ακολουθείται η αρχή της χωρητικής ανίχνευσης η οποία βασίζεται στην χωρητική σύζευξη που μπορεί να ανιχνεύσει και να μετρήσει οτιδήποτε έχει διαφορετική διηλεκτρική από αυτή του αέρα.



Εικόνα 56 : Αισθητήριο SHT

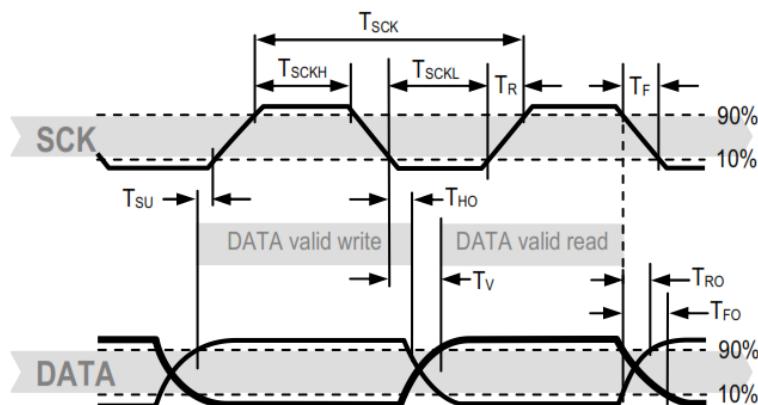


Εικόνα 57 : SHT Pinout

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data
3	SCK	Serial Clock
4	VDD	Source Voltage
NC	NC	Unconnected

Πίνακας 3 : Επεξήγηση Pin

Η τάση τροφοδοσίας πρέπει να είναι από 2.4 – 5.5 V. Το Serial Clock (SCK) χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό της επικοινωνίας μεταξύ του μικροελεγκτή και του αισθητηρίου. Το DATA χρησιμοποιείται για την αμφίδρομη επικοινωνία του αισθητήρα. Για να αποσταλεί μια εντολή στον αισθητήρα το DATA θεωρείται έγκυρο στο ανερχόμενο μέτωπο του SCK και πρέπει να παραμείνει σταθερό όσο το SCK είναι ενεργό. Μετά το κατερχόμενο μέτωπο του SCK το DATA μπορεί να αλλάξει. Οπότε για ασφαλή επικοινωνία για εγκυρότητα των δεδομένων το DATA πρέπει να επεκταθεί κατά χρονικό διάστημα T πριν το ανερχόμενο μέτωπο και μετά το κατερχόμενο του SCK. Για την ανάγνωση των έγκυρων δεδομένων παραμένει χρόνος Tv (Εικόνα 58).



Εικόνα 58 : Χρόνος αποστολής δεδομένων

Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με χρήση αισθητήρα πυριτίου τεχνολογίας band-gap. Το βασικό πλεονέκτημά του είναι ότι μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα με πολύ χαμηλό κόστος. Η αρχή λειτουργίας του αισθητήρα είναι ότι η τάση μιας διόδου πυριτίου η οποία μπορεί αν είναι η διασύνδεση βάσης - εκπομπού ενός διπολικού τρανζίστορ (BJT), εξαρτάται από την θερμοκρασία σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση.

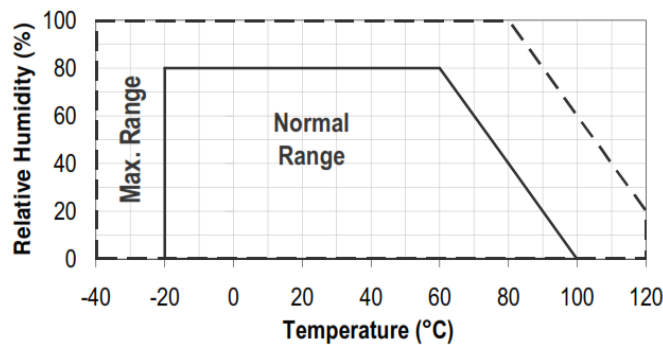
$$V_{BE} = V_{G0} \left(1 - \frac{T}{T_0} \right) + V_{BE0} \left(\frac{T}{T_0} \right) + \left(\frac{nKT}{q} \right) \ln \left(\frac{T_0}{T} \right) + \left(\frac{KT}{q} \right) \ln \left(\frac{I_C}{I_{C0}} \right) \quad (1)$$

όπου T Θερμοκρασία σε Kelvin, T_0 Θερμοκρασία αναφοράς, V_{G0} Τάση bandgap στο απόλυτο μηδέν, V_{BE0} Τάση στο σημείο διασταύρωσης της θερμοκρασίας T_0 και ρεύματος I_{C0} , K Σταθερά Boltzman, q Φορτίο σε ένα ηλεκτρόνιο, n σταθερά εξαρτώμενη από την συσκευή.

Συγκρίνοντας τις τάσεις των δύο κόμβων στην ίδια θερμοκρασία, αλλά σε δύο διαφορετικά ρεύματα I_{C1} και I_{C2} , πολλές από τις μεταβλητές στην εξίσωση (1) εξαλείφονται με αποτέλεσμα να προκύπτει η ακόλουθη την σχέση

$$V_{BE} = \left(\frac{KT}{q} \right) \ln \left(\frac{I_{C1}}{I_{C2}} \right) \quad (2)$$

Η διαφορά τάσης ανάμεσα σε δύο κόμβους p_n , που λειτουργούν σε διαφορετικές πυκνότητες ρεύματος είναι **Proportional To Absolute Temperature (PTAT)**. Τα κυκλώματα PTAT λειτουργώντας είτε με BJT είτε με CMOS τρανζίστορ χρησιμοποιούνται ευρέως σε αισθητήρες θερμοκρασίας. Και οι δύο αισθητήρες είναι διασυνδεδεμένοι σε 14bit ADC και σε ένα κύκλωμα σειριακής επικοινωνίας που έχει ως αποτέλεσμα ένα ποιοτικό σήμα, γρήγορη απόκριση και υψηλή ανοχή σε εξωτερικές διαταραχές. Οι αισθητήρες λειτουργούν άψογα υπό κανονικές συνθήκες (Εικόνα 59) ενώ θα πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση τους σε ακραίες συνθήκες.



Εικόνα 59 : Συνθήκες λειτουργίας

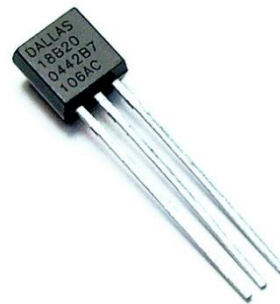
Έπειτα από την εκπομπή των εντολών για την λήψη των μετρήσεων, ο ελεγκτής πρέπει να περιμένει την ολοκλήρωση των μετρήσεων το οποίο μπορεί να διαρκέσει 20/80/320 ms για 8/12/14 bit ανάλυση αντίστοιχα.

2.3.3 Αδιάβροχο αισθητήριο θερμοκρασίας

Σε κάθε κυψέλη είναι απαραίτητη η παρακολούθηση της εσωτερικής θερμοκρασίας και ιδιαίτερα αυτή που επικρατεί στην περιοχή του γόνου. Γίνεται προσπάθεια από τις εργάτριες μέλισσες να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία στους 35 °C διότι όσο πιο κοντά σε αυτήν την τιμή τόσο καλύτερη η υγεία του μελισσιού ώστε να μην αργεί να εκκολαφθεί ο γόνος με αποτέλεσμα να μην κινδυνεύει από ασθένειες και να ζει περισσότερο. Γενικά υπάρχει μια έντονη δραστηριότητα από 10 – 38°C. Οι παραμάνες επιταχύνουν την επιθυμητή θερμοκρασία του γόνου καλύπτοντας τον με το σώμα τους ενώ όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη από 35°C οι μέλισσες δροσίζουν την φωλιά συλλέγοντας νερό και ανεμίζοντας τα φτερά τους. Γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιείται ένα αισθητήριο θερμοκρασίας (Εικόνα 60), (Εικόνα 61) το οποίο έχει την δυνατότητα να τοποθετηθεί στην περιοχή του γόνου χωρίς να αντιμετωπίζει πρόβλημα εάν έρθει σε επαφή με τις μέλισσες.

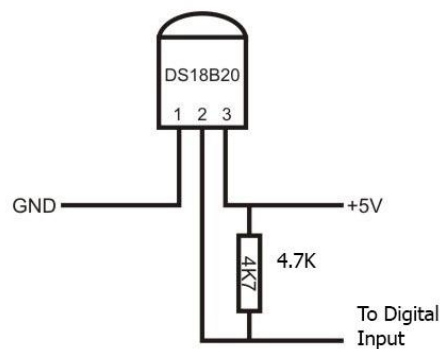


Εικόνα 60 : Αισθητήριο με περίβλημα



Εικόνα 61 : Αισθητήριο χωρίς περίβλημα

Διαθέτει μεταλλικό περίβλημα στην άκρη, στο εσωτερικό του οποίου εφάπτεται το αισθητήριο για βέλτιστη αγωγιμότητα, ενώ το ενισχυμένο πλαστικό περίβλημα κατά μήκος των καλωδίων τα προστατεύει από φθορά. Για τη λειτουργία του πολώνεται στα 5V και για την λήψη δεδομένων από τον μικροελεγκτή συνδέεται σε μια ψηφιακή είσοδο (Εικόνα 62).



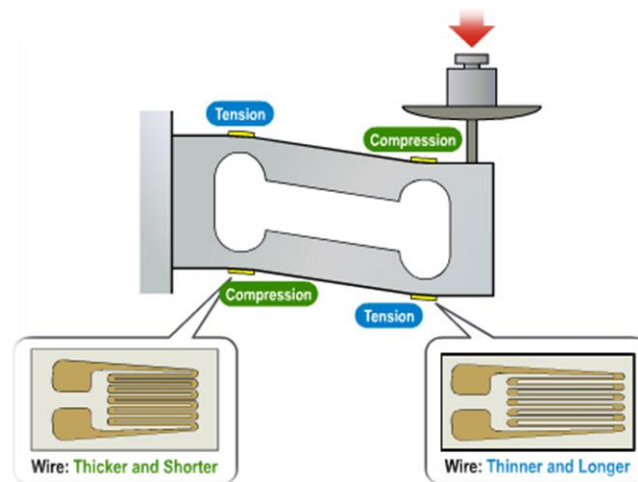
Εικόνα 62 : Διασύνδεση αισθητηρίου

Παρέχει μετρήσεις των $9bit$ και $12bit$ και η επικοινωνία γίνεται μέσω διαύλου 1-Wire, στο οποίο χρειάζεται μια γραμμή για τα δεδομένα (και την γείωση), με τον μικροελεγκτή. Παρακάτω παρατίθενται τα βασικά πλεονεκτήματά του :

- Χρειάζεται μόνο έναν ακροδέκτη για επικοινωνία
- Μέτρηση θερμοκρασίας από $-55^{\circ} C - 125^{\circ} C$
- Ακρίβεια $\pm 0.5^{\circ} C$ από τους $-10^{\circ} C - 85^{\circ} C$
- Προγραμματιζόμενη ανάλυση $9bit$ και $12bit$

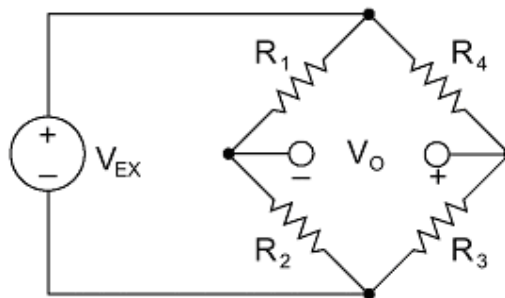
2.3.5 Αισθητήριο βάρους

Βασικό και πρωτεύον στοιχείο για την κατάσταση της αποικίας είναι το βάρος της κάθε κυψέλης, το οποίο άμεσα υποδηλώνει αν το μελίσι είναι υγιές και παράγει μέλι. Λόγω της προσέγγισης της κατασκευής αποφάνθηκε πως ο βέλτιστος τρόπος μέτρησης του βάρους είναι η χρήση δυναμοκυψέλης (Loadcell) τύπου Beam (Εικόνα 63). Προσφέρεται έτσι μια στιβαρή κατασκευή εξαρτώμενη μόνο από ένα αισθητήριο αποφεύγοντας τη χρήση πολλαπλών Loadcell τύπου Button τα οποία φθείρονται με διαφορετικό ρυθμό το καθένα με αποτέλεσμα μετρήσεις που δεν αντιστοιχούν στην πραγματικότητα. Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας Zemic και η ανοχή του είναι 150Kg. Αποτελεί το πιο διαδεδομένο είδος το οποίο βασίζεται στην μέτρηση της παραμόρφωσης με χρήση πολλαπλών μηκυσιομέτρων προσαρμοσμένων σε κατάλληλα σημεία επάνω στο στοιχείο. Στα προαναφερθέντα Load cell η διάταξη των κελιών είναι την μορφής "Z", ώστε η ροπή που εφαρμόζεται στα τέσσερα μηκυσιομέτρα να μπορέσει να μεταφραστεί σε παραμόρφωση κάμψης. Δύο μετράνε την συμπίεση και δύο την ένταση (Εικόνα 63).



Εικόνα 63 : Διάταξη μηχανοσιόμετρων σε Load cell

Με τον συνδυασμό των τεσσάρων μηχανοσιόμετρων σε μια γέφυρα Wheatstone (Εικόνα 64) είναι εύκολο να μετρηθούν μικρές αλλαγές στην αντίστασή τους.



Εικόνα 64 : Γέφυρα Wheatstone

Η έξοδος μιας τέτοιας γέφυρας μετράται μεταξύ των δύο διαιρετών τάσης με την παρακάτω σχέση:

$$V_0 = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \cdot V_{EX} \quad (3)$$

Το μηχανοσιόμετρο είναι μια διάταξη που αποτελείται από πολύ λεπτό σύρμα ή μεταλλικό φύλλο το οποίο έχει συσταθεί σε πλέγμα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει μια γραμμική μεταβολή στην ηλεκτρική αντίσταση όταν εφαρμόζεται δύναμη σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Τα πιο συνηθισμένα αποτελούνται από αντίσταση 120Ω, 350Ω και 1000Ω. Κάθε μηχανοσιόμετρο έχει διαφορετική ευαισθησία η οποία εκφράζεται ποσοτικά ως ο συντελεστής

μέτρησης (Gauge factor), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της κλασματικής ηλεκτρικής αντίστασης προς την κλασματική μεταβολή του μήκους.

$$GF = \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + 1 + 2\nu \quad (4)$$

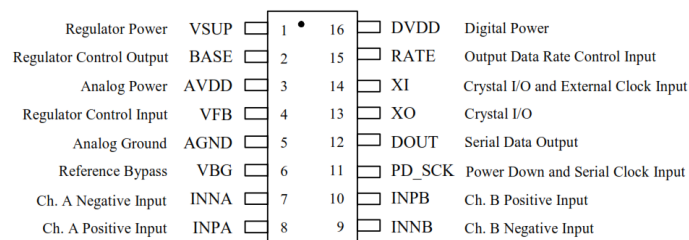
όπου $\varepsilon = \Delta L / L_0$, ν η Αναλογία του Poisson, ρ η Ειδική αντίσταση, ΔR η Αλλαγή στην αντίσταση του μηκυνσιομέτρου και R η Φυσική αντίσταση του μηκυνσιομέτρου.

2.3.6 Ολοκληρωμένο ενίσχυσης σήματος

Οι μεταβολές των προσαρμοσμένων μηκυνσιομέτρων στο Loadcell είναι εξαιρετικά μικρές και οι περισσότερες συσκευές δεν μπορούν να τις ανιχνεύσουν. Σε αυτή την περίπτωση είναι αναγκαία η χρήση ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος για την ενίσχυση του σήματος (Εικόνα 65) πριν την προώθησή του στον μικροελεγκτή.



Εικόνα 65 : Πλακέτα ενίσχυσης



Εικόνα 66 : Επεξήγηση Pin ολοκληρωμένου HX711

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα *HX711* διαθέτει έναν μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα ακρίβειας 24bit , το οποίο έχει ειδικά σχεδιαστεί για ζυγαριές και βιομηχανικές εφαρμογές που αλληλοεπιδρούν άμεσα με αισθητήρια σε μορφή γέφυρας. Ο πολυπλέκτης εισόδου επιλέγει είτε το κανάλι A, είτε το κανάλι B. Το κανάλι A μπορεί να προγραμματιστεί με ένα κέρδος 128 ή 64 το οποίο αναφέρεται σε είσοδο της τάξης των $\pm 20\text{mV}$ και $\pm 40\text{mV}$ αντίστοιχα. Το κανάλι B έχει προκαθορισμένο κέρδος 32. Ο ενσωματωμένος ρυθμιστής παροχής ρεύματος (regulator) εξαλείφει την ανάγκη για χρήση εξωτερικού ρυθμιστή ώστε να παρέχεται ρεύμα στον ADC και στον αισθητήρα. Βασικά χαρακτηριστικά του ολοκληρωμένου *HX711* είναι :

- Δυνατότητα επιλογής από δύο κανάλια
- Ενσωματωμένος προγραμματιζόμενος ενισχυτής με κέρδος 32, 64 και 128

- Ενσωματωμένος ρυθμιστής παροχής ρεύματος για τον ADC και το αισθητήριο
- Απλή σειριακή επικοινωνία
- Ελάχιστη κατανάλωση, $1.5mA$ σε λειτουργία και $< 1\mu A$ απενεργοποιημένο
- Εύρος τάσης λειτουργίας $2.6\sim 5.5V$
- Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας $-40 \sim + 85^{\circ}C$

Όσο αναφορά την σειριακή επικοινωνία τα Pin PD_SCK και DOUT χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση των δεδομένων. Όταν τα δεδομένα δεν είναι έτοιμα για ανάκτηση το DOUT διατηρεί κατάσταση high και το PD_SCK κατάσταση low. Με την εναλλαγή του DOUT σε low υποδηλώνεται ότι τα δεδομένα είναι έτοιμα για ανάκτηση. Για την προώθηση των δεδομένων χρειάζονται στην προκαθορισμένη περίπτωση 25 θετικοί παλμοί ρολογιού εκ των οποίων κάθε παλμός μεταφέρει ένα *bit* μέχρι και τα *24bit* να μετατοπιστούν. Ο 25^{ος} παλμός θα επαναφέρει το DOUT σε high υποδηλώνοντας ότι τα επόμενα δεδομένα δεν είναι έτοιμα.

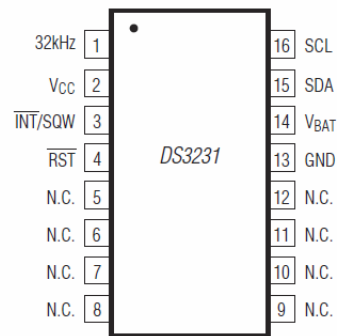
2.3.7 Ρολόι πραγματικού χρόνου (Real Time Clock)

Το ολοκληρωμένο DS3231 (Εικόνα 67) είναι ένα ρολόι χαμηλού κόστους και εξαιρετικής ακρίβειας χρησιμοποιώντας ως δίαυλο επικοινωνίας με τον μικροελεγκτή το πρωτόκολλο I2C. Η συσκευή ενσωματώνει είσοδο μπαταρίας παρέχοντας τη δυνατότητα διατήρησης της ημερομηνίας και ώρας όταν αποσυνδεθεί από την παροχή ρεύματος. Έχει την ικανότητα να διατηρεί δευτερόλεπτα, λεπτά, ώρες, ημέρες, μήνες, και χρόνια διαμορφώνοντας αυτόματα τους μήνες με λιγότερες από 31 ημέρες ρυθμίζοντας επίσης την λειτουργία του σε 24 ή 12 ώρες. Το σημαντικότερο ίσως που προσφέρει η συσκευή είναι οι δύο προγραμματιζόμενες ειδοποιήσεις (Alarms) οι οποίες είναι απαραίτητες στη σηματοδότηση της λειτουργίας του μικροελεγκτή ενώ αυτός βρίσκεται σε κατάσταση ελάχιστης κατανάλωσης. Βασικά χαρακτηριστικά της συσκευής τα οποία καθόρισαν και την επιλογή της είναι :

- Σειριακή επικοινωνία, εύκολη διασύνδεση με πληθώρα μικροελεγκτών
- Μακροχρόνια ακρίβεια
- Τάση λειτουργίας $3.3V$
- Ανοχή θερμοκρασίας περιβάλλοντος $-40^{\circ}C \sim + 85^{\circ}C$

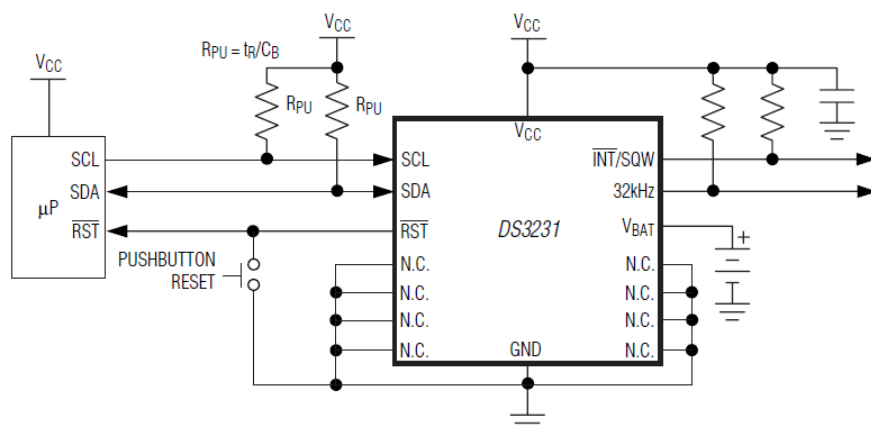


Εικόνα 67 : Πλακέτα ρολογιού ακριβείας RTC



Εικόνα 68 : Pinout ολοκληρωμένου DS3231

Η κατανόηση των Pin και η λειτουργία του καθενός είναι ιδιαίτερη γι' αυτό τον λόγο παρακάτω αναλύονται λεπτομερώς τα σημαντικότερα αυτών τα οποία χρήζουν προσοχής για την ορθή λειτουργία και πλήρη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του συστήματος. Το SDA αναφέρεται στην σειριακή επικοινωνία των δεδομένων με χρήση του πρωτοκόλλου I2C. Για την λειτουργία του χρειάζεται μια αντίσταση pullup και τάση έως 5.5V. Βάσει αυτών συνδέεται στο αναλογικό Pin A4 του μικροελεγκτή. Το SCL αναφέρεται στην είσοδο για τον χρονισμό της μετάδοσης των δεδομένων στην σειριακή επικοινωνία, η ανάλυση των οποίων αναγράφεται εκτεταμένα σε επόμενο στάδιο. Το INT/SQW αναφέρεται στην έξοδο του interrupt/τετραγωνικού παλμού η λειτουργία του οποίου καθορίζεται από το bit INTCN. Όταν το bit είναι 0 λειτουργεί ως έξοδος τετραγωνικού παλμού, ενώ όταν είναι 1 η οποία είναι και η προκαθορισμένη τιμή, λειτουργεί ως interrupt. Η βασική διασύνδεση του ρολογιού με τον μικροελεγκτή φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 69).



Εικόνα 69 : Κύκλωμα ρολογιού

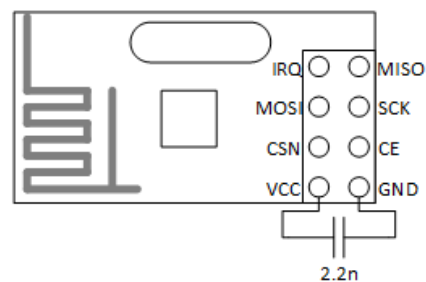
2.3.8 Μονάδα ασύρματης επικοινωνίας (NRF24L01)

Η μονάδα ασύρματης επικοινωνίας (Εικόνα 70), (Εικόνα 71) αποτελείται από έναν πομποδέκτη 2.4GHz με ενσωματωμένο πρωτόκολλο βασικών

συχνοτήτων γνωστό και ως Enhanced Shock Burst, σχεδιασμένο για εφαρμογές χαμηλής κατανάλωσης. Έχει σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί σε παγκόσμιο επίπεδο βιομηχανικών, επιστημονικών και ιατρικών συχνοτήτων από 2.4 – 2.48GHz. Η διασύνδεση και ο προγραμματισμός του γίνεται με χρήση του πρωτοκόλλου SPI που δίνει τη δυνατότητα διαχείρισης των καταχωρητών για εύλικτο προγραμματισμό. Επιπλέον παρέχει την δυνατότητα καθορισμού του ρυθμού δεδομένων έως 2Mbps.



Εικόνα 70 : Πλακέτα RF



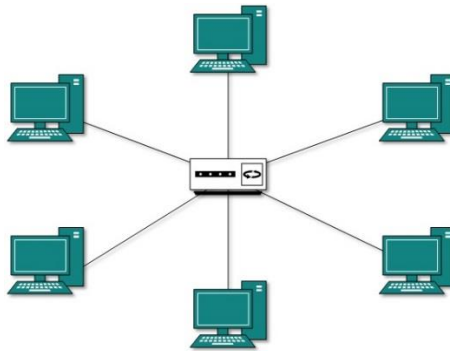
Εικόνα 71 : Pinout Πλακέτας

Για την επιλογή του συγκεκριμένου συστήματος μετάδοσης της πληροφορίας σημαντικό παράγοντα αποτέλεσε η χαμηλή του κατανάλωση. Επιπρόσθετα αναφέρονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά του :

- Παροχή τάσης 3~3.6V
- Κατανάλωση εκπομπού 11.3mA
- Κατανάλωση δέκτη 12.3mA
- Δυνατότητα λήψης από 6 αποστολείς ταυτόχρονα
- Αυτόματη διαχείριση πακέτων
- Κατανάλωση σε κατάσταση Power-down 4.2μΑ

Χρήζει περαιτέρω ανάλυσης η λειτουργία του Shock Burst και των χαρακτηριστικών αυτού, καθώς αποτελεί σημαντική βελτίωση στην ενεργειακή απόδοση αμφίδρομων αλλά και μονής κατεύθυνσης συστημάτων χωρίς να προσθέτει πολυπλοκότητα στον μικροελεγκτή. Παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης πολλών παραμέτρων για την μετάδοση των δεδομένων όπως μέγιστο αριθμό αναμεταδόσεων σε περίπτωση αποτυχίας.

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, η οποία αναφέρεται σε διαχείριση πολλαπλών συστημάτων, παρέχεται η δυνατότητα λειτουργίας του πομποδέκτη σε δίκτυο αστέρα (Εικόνα 72). Ένα υποσύστημα διαμορφώνεται ως δέκτης και έχει την δυνατότητα να δέχεται δεδομένα ταυτόχρονα από 6 διαφορετικούς αποστολείς.



Εικόνα 72 : Δίκτυο αστέρα

Με τον κάθε αποστολέα διαμορφώνεται ένας διάυλος επικοινωνίας ο οποίος έχει μοναδική διεύθυνση αλλά κυμαίνεται στο ίδιο κανάλι συχνοτήτων με όλους. Ο πρώτος διάυλος που διαμορφώνεται έχει μοναδική διεύθυνση μήκους 40bit και οι υπόλοιποι εναλλάσσουν τα τελευταία 8bit διατηρώντας τα σημαντικότερα 32bit (Εικόνα 73).

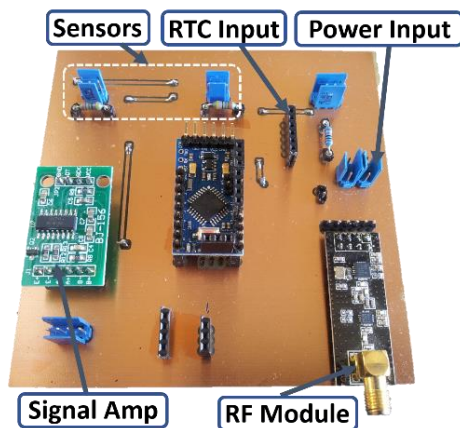
	Byte 4	Byte 3	Byte 2	Byte 1	Byte 0
Data pipe 0 (RX_ADDR_P0)	0xE7	0xD3	0xF0	0x35	0x77
Data pipe 1 (RX_ADDR_P1)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2
Data pipe 2 (RX_ADDR_P2)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC3
Data pipe 3 (RX_ADDR_P3)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC4
Data pipe 4 (RX_ADDR_P4)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC5
Data pipe 5 (RX_ADDR_P5)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC6

Εικόνα 73 : Διευθυνσιοδότηση επιμέρους RF.

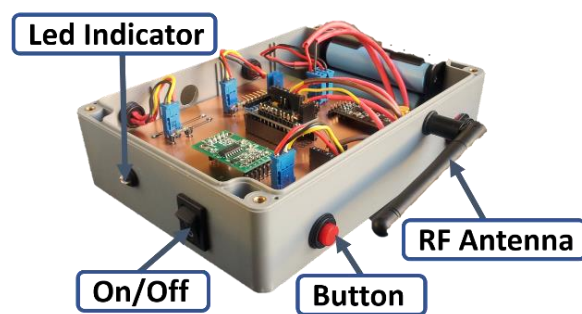
Η μέθοδος Shock Burst χρησιμοποιείται για να αποσταλεί ένα πακέτο όποτε το ζητήσει ο μικροελεγκτής. Από την στιγμή που μεταδοθεί το πακέτο το υποσύστημα NRF θα ενεργοποιήσει τον παραλήπτη και θα περιμένει επιβεβαίωση από αυτόν. Εάν αποτύχει η επιβεβαίωση τότε θα προβεί σε αποστολή του ίδιου πακέτου μέχρι την λήψη επιβεβαίωσης και μέχρι το πέρας των προσπαθειών που έχουν προγραμματιστεί.

2.3.9 Πλακέτα επέκτασης

Για καλύτερη αξιοπιστία αλλά και μεγαλύτερη ευκολία χρήσης, δημιουργήθηκε μία πλακέτα επέκτασης στην οποία προσαρμόζονται τα ηλεκτρονικά υποσυστήματα. Στην (Εικόνα 74) και (Εικόνα 75) φαίνονται η πλακέτα επέκτασης και το κουτί ηλεκτρονικών αντίστοιχα πλήρως διασυνδεδεμένα.



Εικόνα 74 : Πλακέτα επέκτασης, Άνω όψη



Εικόνα 75 : Κουτί ηλεκτρονικών

Η πλακέτα επέκτασης έχει διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εφικτή η προσθήκη δύο ακόμη αισθητηρίων είτε ψηφιακών είτε αναλογικών. Ως αναβαθμισμένη έκδοση της παρούσας θα υλοποιηθεί μια ακόμη μικρότερη σε μέγεθος πλακέτα με περισσότερες εισόδους/εξόδους ώστε να καλύπτει ακόμη μεγαλύτερες ανάγκες. Η φιλοσοφία είναι ένα πλήρες επεκτάσιμο σύστημα στο οποίο η προσθήκη περαιτέρω αισθητηρίων και επενεργητών θα είναι εφικτή χωρίς την παρέμβαση του ειδικού και θα γίνεται από τον ίδιο τον μελισσοκόμο. Όπως εικονίζεται παραπάνω (Εικόνα 75) εξωτερικά του κουτιού διαφαίνονται τα απολύτως απαραίτητα τα οποία είναι ο διακόπτης λειτουργίας, η κεραία για την κάλυψη μεγαλύτερης απόστασης μετάδοσης δεδομένων, το LED ένδειξης λειτουργίας το οποίο βάσει ενός προκαθορισμένου μοτίβου χρωματικής αλλαγής και συχνότητας φωτισμού ενημερώνει τον χρήστη για την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος, και τέλος το κόκκινο κουμπί που χρησιμοποιείται σε περίπτωση αρχικοποίησης της συσκευής μετά από επιθεώρηση ή έπειτα από μεταφορά σε νέα τοποθεσία.

2.4 Ηλεκτρονικά Ελέγχου Κεντρικής Βάσης

Σε αυτή την ενότητα περιγράφονται τα ηλεκτρονικά μέρη της κεντρικής βάσης, η οποία είναι υπεύθυνη για τη συλλογή, το διαχωρισμό και αποστολή των δεδομένων στο Cloud. Σε αυτή την περίπτωση, η τοποθέτηση γίνεται στο εσωτερικό μιας άδειας κυψέλης η οποία μπορεί να βρίσκεται σε μέγιστη ακτίνα χιλίων μέτρων ανοιχτού χώρου από τις υπόλοιπες. Το μόνο εμφανές σημείο θα είναι το φωτοβολταϊκό πάνελ το οποίο φροντίζει για την φόρτιση των μπαταριών οι οποίες είναι 3.7V και τοποθετούνται παράλληλα για επίτευξη μεγαλύτερης χωρητικότητας συνολικού μεγέθους 5200mAh.

2.4.1 Μονάδα επικοινωνίας GSM

Η μονάδα επικοινωνίας GSM (Εικόνα 76), (Εικόνα 77) της κεντρικής βάσης βασίζεται στο SIM800 που υποστηρίζει συχνότητες 850/900/188/1900MHz και συνδέεται σε παγκόσμιο δίκτυο με 2G κάρτες SIM. Στην Ελλάδα υποστηρίζεται μόνο από την Vodafone.



Εικόνα 76 : GSM άνω όψη



Εικόνα 77 : GSM κάτω όψη

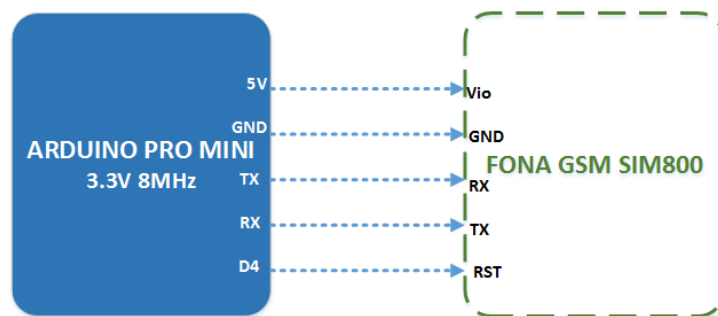
Τα κύρια χαρακτηριστικά και οι δυνατότητές του είναι :

- Δημιουργία και λήψη κλήσεων με εξωτερικό μικρόφωνο.
- Αποστολή και λήψη μηνυμάτων.
- Αποστολή και λήψη δεδομένων (TCP/IP , HTTP).
- Διεπαφή χρήστη με χρήση εντολών AT.

Για τη λειτουργία του χρειάζεται ένας μικροελεγκτής από τον οποίο θα λαμβάνει και θα αποστέλλει πληροφορίες μέσω της σειριακής θύρας. Αναφέροντας περισσότερες λεπτομέρειες για τον τρόπο χρήσης του αξίζει να

σημειωθεί η λειτουργία του κάθε PIN όπως αναλύεται παρακάτω και απεικονίζεται στο Σχήμα 2.

- **JST** χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση του από μπαταρία λιθίου-πολυμερούς ή λιθίου-ιόντων.
- **Micro USB** αποτελεί έξοδο του ελεγκτή φόρτισης της μπαταρίας με μέγιστο ρυθμό φόρτισης 500mA.
- **Vio** θεωρείται το πιο σημαντικό pin για την λειτουργία του συστήματος και πρέπει να τροφοδοτείται εξωτερικά με 3~5V.
- **Key** αναλαμβάνει την λειτουργία του συστήματος. Για την αλλαγή της κατάστασης πρέπει να εφαρμοστεί παλμός διάρκειας 2 δευτερολέπτων.
- **PS** Αποτελεί απλά την ένδειξη λειτουργείας.
- **NS** σηματοδοτεί την κατάσταση του δικτύου. Είναι επίσης διασυνδεδεμένο σε ενδεικτικό LED.



Σχήμα 2 : Διασύνδεση μονάδας GSM με τον μικροελεγκτή της κεντρικής βάσης.

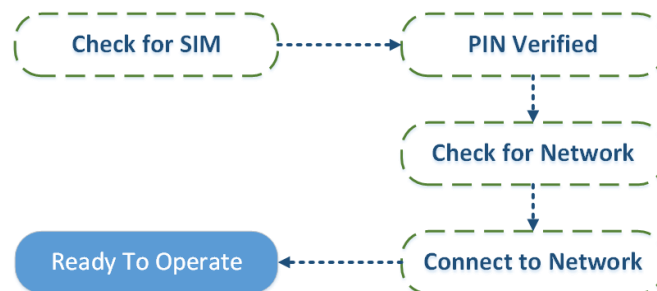
Κατά την διάρκεια των δοκιμών ήταν απαραίτητη η χρήση 2 σειριακών γραμμών για την αμφίδρομη επικοινωνία των επιμέρους συστημάτων. Η πρώτη σειριακή χρησιμοποιείται για την αποστολή των δεδομένων από τον υπολογιστή στον μικροελεγκτή και αντίστροφα, ενώ η δεύτερη για την αποστολή των εντολών από τον μικροελεγκτή στο υποσύστημα GSM. Λόγω της ύπαρξης μίας θύρας hardware στον συγκεκριμένο μικροελεγκτή η δεύτερη σειριακή θύρα δημιουργήθηκε με την βοήθεια ειδικής βιβλιοθήκης (Software Serial) και χρήση ψηφιακών Pin τα οποία ορίζονται ως TX/RX.

Οι εντολές οι οποίες απαιτούνται για την διασύνδεση του GSM συστήματος στο δίκτυο διαφέρουν ως προς τον χρόνο εκτέλεσής τους διότι υπάρχει καθυστέρηση από την ανατροφοδότηση που αναμένεται από το σύστημα η οποία υποδηλώνει την επιβεβαιωμένη μετάδοση της πληροφορίας. Οι δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά τον προγραμματισμό ήταν :

- Η έλλειψη σήματος, με αποτέλεσμα την χρήση μεγαλύτερης κεραίας.

- Η Συμφόρηση της σειριακής με αποτέλεσμα την ολική αποτυχία του συστήματος.
- Η αποφόρτιση της μπαταρίας σε μικρό χρονικό διάστημα όταν λειτουργεί το σύστημα σε πλήρη ισχύ.

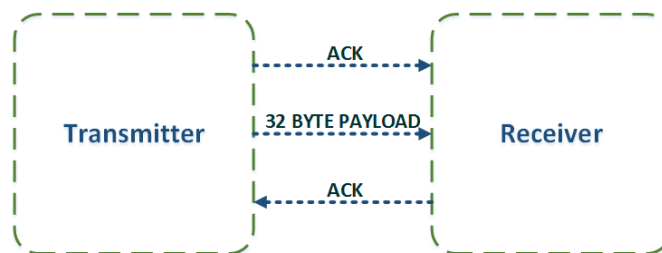
Τα παραπάνω προβλήματα αντιμετωπίστηκαν με ορθό χρονισμό της κάθε εντολής, αποσυμφόρηση της σειριακής μετά από κάθε εκτελεσμένη εντολή και απενεργοποίηση του συστήματος με ταυτόχρονη επαναφόρτιση των μπαταριών όταν βρίσκεται σε καταστολή. Η διαδικασία διασύνδεσης στο δίκτυο φαίνεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3 : Επίτευξη λειτουργίας

2.4.2 Μονάδα ασύρματης επικοινωνίας (Receiver)

Όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 2.3.8, η ασύρματη μονάδα επικοινωνίας NRF24L01 μπορεί να εκτελέσει λειτουργίες είτε ως αποστολέας, είτε ως παραλήπτης. Στην κεντρική βάση επιτελεί τον ρόλο του παραλήπτη.



Σχήμα 4 : Αποστολή ενός πακέτου

Αναλύοντας το πακέτο που λαμβάνει ο παραλήπτης διαπιστώνεται πως εκτός της πληροφορίας η οποία περιέχεται στα 32 Byte αποτελείται από επιπρόσθετες πληροφορίες οι οποίες φαίνονται στον Πίνακα 4.

Preamble	Address	Packet Control Field	Payload	CRC
1 Byte	3-5 Byte	9 Bit	0-32 Byte	1-2 Byte

Πίνακας 4 : Πακέτο αποστολής

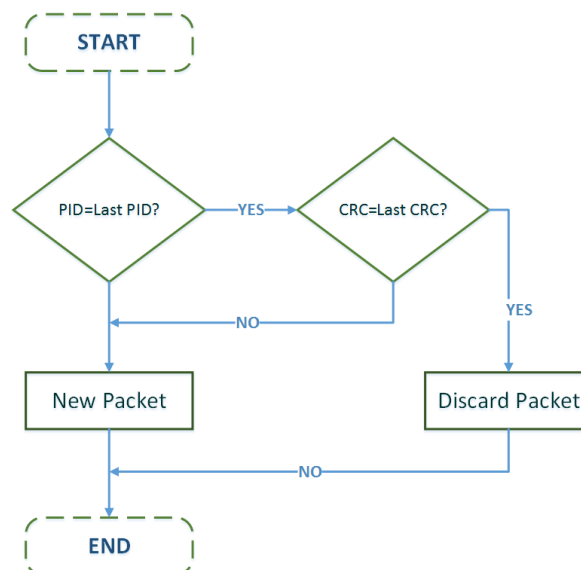
Πιο συγκεκριμένα :

- **Preamble:** είναι μια ακολουθία bit η οποία χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει τα επίπεδα 0 και 1 στον παραλήπτη. Έχει μέγεθος 1 byte και είναι είτε 01010101, είτε 10101010. Ο σκοπός χρήσης αυτής της ακολουθίας είναι η σταθεροποίηση της κατάστασης του παραλήπτη.
- **Address:** αποτελεί τη διεύθυνση ώστε να πιστοποιείται πως έχει γίνει η ανίχνευση του σωστού πακέτου από τον παραλήπτη.
- **Packet Control Field** περιέχει τα εξής πεδία:

Payload length 6bit	PID 2bit	No_ACK 1bit
------------------------	----------	-------------

Πίνακας 5 : 9bit του Packet control field

- ❖ **Payload length:** αντιπροσωπεύει το μέγεθος των δεδομένων σε byte το οποίο μπορεί να είναι από 0 έως 32.
- ❖ **PID:** χρησιμοποιείται για να χαρακτηριστεί εάν το πακέτο είναι καινούριο η έχει αναμεταδοθεί. Παρέχει έτσι προστασία στον παραλήπτη ώστε να μην αποστείλει τα ίδια δεδομένα στον μικροελεγκτή (Σχήμα 5).



Σχήμα 5 :Διάγραμμα ροής διαχείρισης πακέτων

- ❖ **NO_ACK** σηματοδοτεί την χρήση της αυτόματης αναγνώρισης πακέτου.
- **Payload** αποτελεί το περιεχόμενο το οποίο έχει διαμορφωθεί από τον χρήστη

- **CRC** είναι ο μηχανισμός ανίχνευσης λάθους στο πακέτο. Με αυτό τον τρόπο κανένα πακέτο δεν προωθείται εάν το CRC αποτύχει.

2.4.3 Μετατροπέας συνεχούς τάσης

Ο μετατροπέας συνεχούς τάσης (DC/DC converter), είναι ένα κύκλωμα το οποίο έχει την δυνατότητα να αυξάνει ή να μειώνει την τάση που δέχεται στην είσοδό τους.



- Input voltage 3V ~ 32V
- Output voltage 5V ~ 35V;
- Conversion efficiency <94%
- High switching frequency 400KHz
- Output Ripple 50mV
- Load Regulation $\pm 0.5\%$
- Voltage Regulation $\pm 0.5\%$
- Operating Temperature $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +85\text{ }^{\circ}\text{C}$

Εικόνα 78 : Μετατροπέας τάσης/ρεύματος (Step Up)

Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο μετατροπέας XL6009 χρησιμοποιείται για την αύξηση της τάσης όπως αυτή παρέχεται από τις μπαταρίες στο συνολικό κύκλωμα, η οποία ανέρχεται στα 3.7V και τροφοδοτεί άμεσα το GSM. Η επίτευξη των 5V για τη λειτουργία του μικροελεγκτή είναι αναγκαία σύμφωνα με τις θεωρητικές προδιαγραφές αλλά και τις πρακτικές δοκιμές.

Εν συνεχεία, ήταν απαραίτητη η χρήση ενός μετατροπέα υποβιβασμού τάσης LM2596 (Εικόνα 79), ο οποίος χρησιμοποιείται για την σταθεροποίηση της τιμής της τάσης εξόδου η οποία παρέχεται στο ενσωματωμένο κύκλωμα του GSM, το οποίο αναλύεται εκτενώς παρακάτω, για την φόρτιση της μπαταρίας.



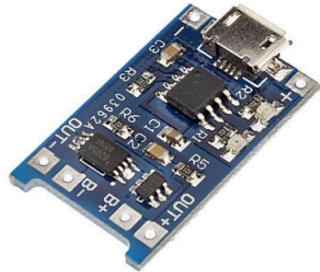
- Input voltage: 4V-35V
- Output voltage: 1.23V-30V
- Input current: 3A
- Conversion efficiency < 92%
- Switching frequency: 150KHz
- Output ripple: 30mA
- Load regulation: $\pm 0.5\%$
- Voltage regulation: $\pm 2.5\%$
- Operating temperature: $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +85\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Εικόνα 79 : Μετατροπέας Step down

2.4.4 Φορτιστής μπαταρίας Λιθίου-Ιόντων

Ο σταθμός βάσης αποτελεί τον κεντρικό κόμβο του συνολικού συστήματος αποστέλλοντας τα επεξεργασμένα δεδομένα στο Cloud. Αυτή η διαδικασία θεωρείται υψηλής ενεργειακής κατανάλωσης και γι' αυτό τον λόγο

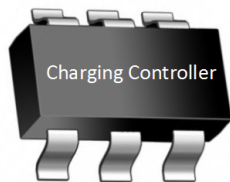
είναι απαραίτητη η αναπλήρωση των μπαταριών όποτε είναι απαραίτητο. Για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι αναγκαία η χρήση ενός φορτιστή μπαταριών λιθίου TP4056, με ενσωματωμένο κύκλωμα ελέγχου (Εικόνα 80).



- Linear charging.
- Charge precision - 1.5%.
- Current - 1A adjustable.
- Input voltage - 4.5V-5.5V.
- Full charge voltage - 4.2V.
- Operating temperature -10 °C ~ +85 °C.

Εικόνα 80 : Πλακέτα φόρτισης

Το παραπάνω σύστημα αποτελείται από δύο ηλεκτρονικά κυκλώματα διασυνδεδεμένα κατάλληλα μεταξύ τους για την επίτευξη της πλήρους φόρτισης χωρίς την καταστροφή της μπαταρίας. Το πρώτο κύκλωμα αποτελείται από το ολοκληρωμένο TP4056, το οποίο αναλαμβάνει την φόρτιση, ενώ το δεύτερο αποτελείται από το ολοκληρωμένο DW01-P (Εικόνα 81), το οποίο αναλαμβάνει την προστασία από υπερφόρτιση.



- Quiescent Current at 3μA (Vcc=3.9V).
- Power-Down Current at 0.1μA (Vcc=2.0V).
- Precision Overcharge Protection Voltage 4.25V ± 50mV
- Load Detection Function during Overcharge Mode.
- Two Detection Levels for Overcurrent Protection.

Εικόνα 81 : ολοκληρωμένο ελέγχου φόρτισης

Το ίδιο ακριβώς κύκλωμα παρέχεται ενσωματωμένο στο υποσύστημα του GSM το οποίο αντιλαμβάνεται την αποφόρτιση της μπαταρίας και επεμβαίνει για την αναπλήρωσή της. Αποτελεί πλεονέκτημα καθώς δεν υπάρχει η περίπτωση αστοχίας υλικού κατά την συναρμολόγηση του συστήματος και η φόρτιση ολοκληρώνεται όταν πληρούνται οι απαραίτητες προϋποθέσεις, όπως η προκαθορισμένη κατώτατη τιμή τάσης της μπαταρίας.

2.4.5 Μπαταρία λιθίου-ιόντων

Για την τροφοδοσία του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν μπαταρίες Λιθίου-Ιόντων (Εικόνα 82) οι οποίες αποτέλεσαν ιδανική επιλογή λόγω του μικρού τους μεγέθους, της πολύ μεγάλης χωρητικότητας αλλά και του υψηλού

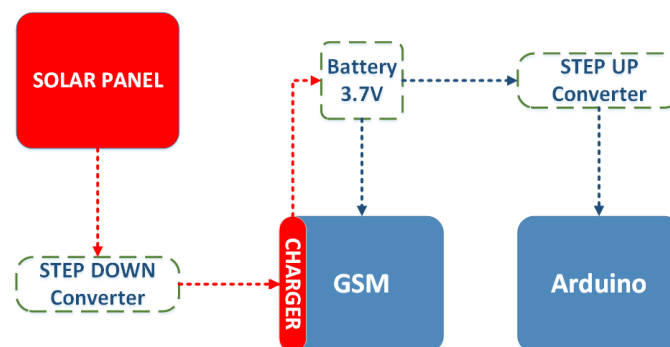
ρεύματος που μπορούν να προσφέρουν σε απαίτηση του GSM, το οποίο στιγμιαία μπορεί να ανέλθει στα 2A.



- Rated voltage : 3.7 V
- Capacity : 2650 mAh
- Standard charge : 1300 mA to 4.2V
- Standard discharge : 520 mA to 2.75V
- Maximum charge current : 2000 mA
- Maximum discharge current : 5200 mA
- Operating temperature : 0°C – 45°C (charge) -20°C – 60°C (discharge)

Εικόνα 82 : Μπαταρίες Li-ion

Για την αναπλήρωση των μπαταριών ακολουθείται η ροή του κυκλώματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 6. Οι μπαταρίες τροφοδοτούν άμεσα το GSM, ενώ για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή η απαιτούμενη τάση παρέχεται από τον Step-Up μετατροπέα. Η φόρτιση μέσω του ηλιακού πάνελ γίνεται εφόσον σταθεροποιηθεί η τάση στα 5V, μέσω του μετατροπέα, τα οποία απαιτεί ο ενσωματωμένος φορτιστής.



Σχήμα 6 : Διάταξη κεντρικής μονάδας

Όσο αφορά την διάρκεια ζωής της μπαταρίας πραγματοποιήθηκε μια εκτενής ανάλυση για μια περιφερειακή κυψέλη η οποία δεν θα είναι εξοπλισμένη με το σύστημα φόρτισης. Το σύστημα θα βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας για 2 λεπτά έως ότου ολοκληρωθούν οι μετρήσεις και σε κατάσταση ύπνου για τις επόμενες 6 ώρες. Οπότε οι χρόνοι κυμαίνονται ως εξής :

$$T_{on} = 120sec, I_{on} = 250mA$$

$$T_{sleep} = 21600sec, I_{sleep} = 10mA$$

Η συνολική χωρητικότητα των μπαταριών είναι:

$$Capacity = 5200mAh$$

Η μέση τιμή του ρεύματος που καταναλώνεται από το κύκλωμα υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση :

$$I_{avg} = \frac{T_{on} \cdot I_{on} + T_{sleep} \cdot I_{sleep}}{T_{on} + T_{sleep}}$$

$$I_{avg} = \frac{120 \cdot 50 + 21600 \cdot 5}{86400}$$

$$P_{avg} = 5 \cdot 2.84 = 14.2 \text{ mW}$$

Η συνολική ενέργεια των μπαταριών θα είναι:

$$Power = 3.7 \cdot 5200 = 19240$$

Επομένως η διάρκεια ζωής τους θα είναι :

$$Batt \text{ Life} = \frac{19240}{14.2} = 1354 \text{ ώρες}$$

Οπότε η μέγιστη διάρκεια ζωής των μπαταριών με τις υπολογιζόμενες τιμές είναι 1.8 μήνες.

2.4.6 Φωτοβολταϊκό πάνελ

Λόγω της αυξημένης κατανάλωσης του σταθμού βάσης είναι απαραίτητη η χρήση φωτοβολταϊκού πάνελ (Εικόνα 83) για την χρονική επέκταση της λειτουργίας του συστήματος.

Η επιλογή του πάνελ έγινε βάσει της μπαταρίας που χρησιμοποιείται στο σύστημα. Μία μπαταρία Li-ion 3.7V και χωρητικότητας $C = 5800mAh$ για να φορτιστεί χρειάζεται τάση μεγαλύτερη από 3.7V και μέγιστο ρεύμα 580mA. Αποτελεί βασικό κανόνα για την φόρτιση μπαταριών Li-ion η χρήση μέγιστου ρεύματος να κυμαίνεται στο 1/10 της χωρητικότητάς της ώστε να μην καταστραφεί. Με βάση τον παραπάνω κανόνα, ο χρόνος που απαιτείται για πλήρη φόρτιση είναι 16 ώρες.

Τα κύρια χαρακτηριστικά για την επιλογή του κατάλληλου πάνελ είναι η τάση και το ρεύμα εξόδου. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει η τάση να είναι 1.5 φορές μεγαλύτερη από την τάση της μπαταρίας, οπότε 5.5 ή 6V, ενώ το ρεύμα

θα πρέπει να υπερβαίνει το άθροισμα των καταναλώσεων που απαιτούνται για την φόρτιση των μπαταριών και τη λειτουργία του μικροελεγκτή, οπότε $580 + 100 = 680mAh$.



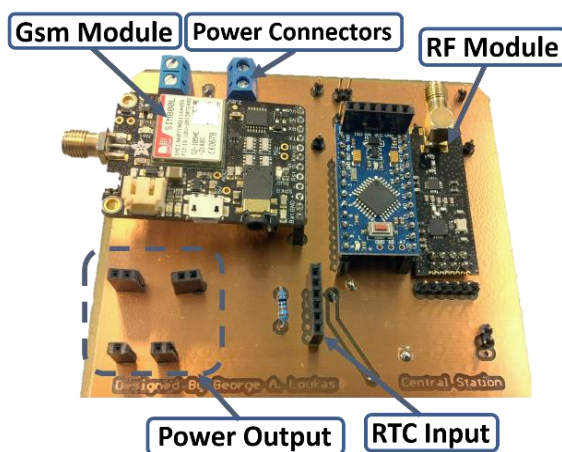
- Ισχύς: 15W
- Τάση Εξόδου: 18V
- Διαστάσεις: 2.2 x 36 x 39 cm
- Βάρος: 1,8 kg
- Ρεύμα: 0,58A
- Απόδοση: 15,75%
- Μονοκρυσταλλικό Πάνελ

Εικόνα 83 : Φωτοβολταϊκό πάνελ

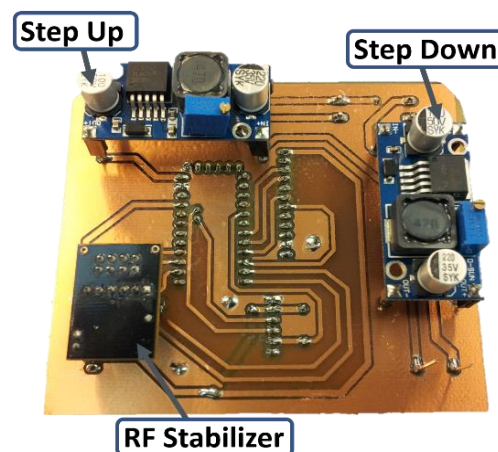
Λόγω των περιορισμένων επιλογών της αγοράς χρησιμοποιήθηκε πάνελ με καλύτερα χαρακτηριστικά και η προσαρμογή της τάσης και του ρεύματος έγινε με την χρήση μετατροπέα και ρυθμιστή φόρτισης όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.4.4.

2.4.7 Πλακέτα επέκτασης

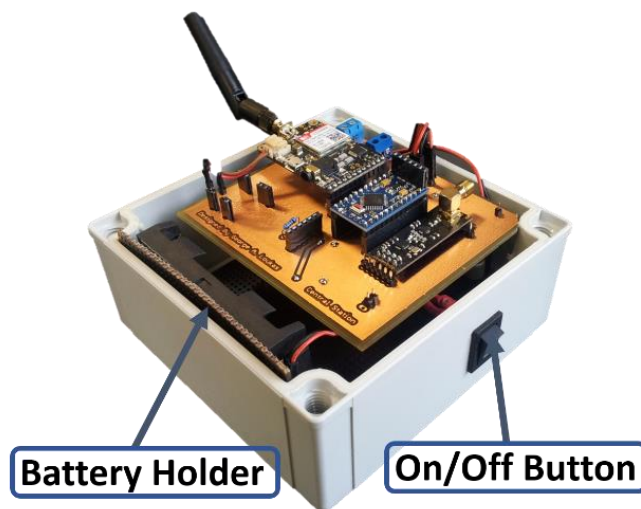
Για την ομαλή διασύνδεση και αποφυγή πολλαπλών καλωδιώσεων ήταν απαραίτητη η δημιουργία μίας πλακέτας επέκτασης (Εικόνα 84), (Εικόνα 85), (Εικόνα 86) η οποία περιλαμβάνει όλα τα παραπάνω ηλεκτρονικά κυκλώματα. Καλώδια χρησιμοποιούνται μόνο για την απόδοση της τροφοδοσίας στην πλακέτα και την διασύνδεση του πάνελ.



Εικόνα 84 : Πλακέτα επέκτασης, άνω όψη



Εικόνα 85 : Πλακέτα επέκτασης, κάτω όψη



Εικόνα 86 : Ολοκληρωμένο κουτί ηλεκτρονικών της κεντρικής βάσης.

Η μέλετη και σχεδίαση της πλακέτας έγινε βάσει του μεγέθους της κατασκευής και των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Επετεύχθηκε λοιπόν το βέλτιστο μέγεθος λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω δεδομένα και τον εργαστηριακό εξοπλισμό. Αποτελεί μια ολοκληρωμένη λύση λήψης και αποστολής δεδομένων καθιστώντας αδυνατή τη χρήση περαιτέρω ηλεκτρονικών εξαρτημάτων χωρίς την ανακατασκευή της.

Κεφάλαιο 3

Διαχείριση Δεδομένων

Η βασική διαφοροποίηση της παρούσας κατασκευής από άλλες υλοποιήσεις έγκειται στον τρόπο με τον οποίο μεταδίδονται και διαχειρίζονται τα δεδομένα. Πιο αναλυτικά, έχει δημιουργηθεί ένα εξειδικευμένο πληροφοριακό σύστημα που είναι ικανό να λαμβάνει και να προωθεί τα δεδομένα των μετρήσεων. Βασίζεται σε δημιουργία FTP Server και ιστοσελίδας η οποία έχει το ρόλο Broker. Βάσει αυτής της προσέγγισης γίνεται καλύτερα αντιληπτή η λειτουργία ενός IoT (Internet of Things) συστήματος. Σε ένα τέτοιο σύστημα μία συσκευή είναι διασυνδεδεμένη στο Internet με ένα μοναδικό χαρακτηριστικό, την IP διεύθυνση. Στην ίδια IP μπορούν να υπάρχουν πολλές μετρήσεις οι οποίες θα προέρχονται από πληθώρα αισθητηρίων.

Η διαχείριση των πολλαπλών αισθητηρίων γίνεται με ένα άλλο μοναδικό χαρακτηριστικό, το *id*. Εφόσον το σύστημα έχει λάβει τις μετρήσεις και είναι έτοιμο να τις προωθήσει στον server αναλαμβάνει ρόλο ο Broker, ένας μεσολαβητής για να επιτευχθεί η μεταφορά των δεδομένων. Είναι ένα κομμάτι κώδικα μη εμφανές στον κοινό αναγνώστη αλλά πολύ χρήσιμο σε έναν προγραμματιστή. Ακολουθώντας εντολές η οποίες είναι προκαθορισμένες για κάθε διαφορετικό IoT σύστημα ο μεσολαβητής είναι ικανός να διαχειριστεί τα δεδομένα και να τα προωθήσει όπως αυτός επιθυμεί. Στην παραπάνω αρχή έχει βασιστεί η συγκεκριμένη εφαρμογή με αποτέλεσμα την πλήρως αυτοματοποιημένη διαχείριση των δεδομένων.

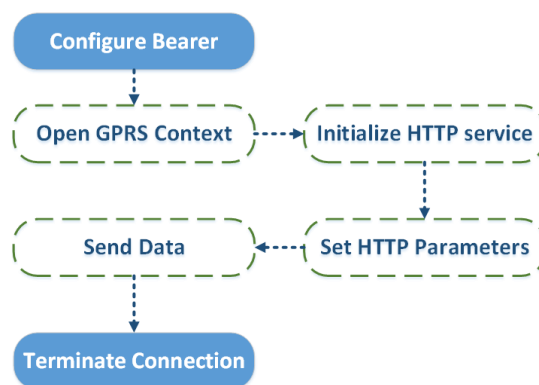
3.1 Αποστολή Δεδομένων στην Κεντρική Βάση

Το σύστημα δεν περιορίζεται σε συγκεκριμένο αριθμό περιφερειακών κυψελών. Αντιθέτως ο κώδικας έχει υλοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι δυνατότητες να είναι απεριόριστες. Από προεπιλογή η αποστολή δεδομένων σε έναν παραλήπτη πραγματοποιείται από 6 αποστολές ταυτόχρονα. Με τις ανάλογες παρεμβάσεις σε επίπεδο λογισμικού επιτεύχθηκε η διασύνδεση πολλαπλών αποστολών με δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων τηρώντας μια προκαθορισμένη σειρά. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.3.8, η κάθε μονάδα χαρακτηρίζεται από μία μοναδική διεύθυνση, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει διαμορφωθεί σε `0xC2C2C2C2E1LL`. Με την ολοκλήρωση της αποστολής ο δίαυλος με την παραπάνω διεύθυνση θα κλείσει και θα ανοίξει ο αμέσως επόμενος ο οποίος έχει καθοριστεί στο πρόγραμμα. Εν τέλει

δημιουργείται ένας μεγάλος αριθμός από διαύλους οι οποίοι ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται με αρμονικό τρόπο για την επίτευξη της επικοινωνίας.

3.2 Αποστολή Δεδομένων στο Διαδίκτυο

Την ανάρτηση των δεδομένων στο cloud την αναλαμβάνει το υποσύστημα του GSM το οποίο έχει ενσωματωθεί στον κεντρικό σταθμό βάσης. Αυτό που χρήζει αναφοράς είναι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η επικοινωνία με χρήση μικροελεγκτή. Το GSM υπακούει μόνο σε εντολές τύπου AT οι οποίες ανήκουν σε ένα σετ εντολών, οι οποίες δημιουργήθηκαν από τον Hayes το 1981. Αυτό το σύνολο εντολών αποτελείται από μια σειρά σύντομων συμβολοσειρών, οι οποίες συνδυάζονται, ώστε να πραγματοποιούν τις επιθυμητές ενέργειες όπως κλήση, αποστολή μηνύματος, και παραμετροποίηση της σύνδεσης. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή είναι απαραίτητη η εκτέλεση ενός σετ εντολών με προκαθορισμένη σειρά όπως αναπαρίσταται στο *Σχήμα 7* για την επίτευξη της σύνδεσης στο διαδίκτυο.



Σχήμα 7 : Σειρά εκτέλεσης εντολών

Το πρωτόκολλο HTTP (Hypertext Transfer Protocol) έχει σχεδιαστεί για την επικοινωνία με τον τρόπο αίτηση/απάντηση μεταξύ Client και Server. Στην προκειμένη περίπτωση η εφαρμογή που έχει λάβει θέση σε ένα μελισσοκομείο είναι ο Client και η ιστοσελίδα διαχείρισης είναι ο Server. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο είναι POST και GET, εκ των οποίων επιλέχθηκε η δεύτερη. Πιο αναλυτικά με χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου γίνεται ανάρτηση των δεδομένων στο διαδίκτυο ως σχόλια στην διεύθυνση URL:

<http://beeorganized.freeoda.com/?tempin=35&tempout=20&hum=16&weight=25>

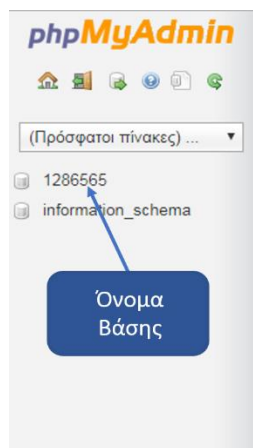
Η χρήση σχολίων στο URL δεν αλλάζει την διεύθυνση στην οποία τελικά θα παραπεμφθεί ο χρήστης, αλλά παρέχει την δυνατότητα διαχείρισης των πληροφοριών καθιστώντας τις διαθέσιμες στο διαδίκτυο. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η σύντομη σύνδεση στο διαδίκτυο χωρίς να είναι

απαραίτητη η εμφάνιση του περιεχομένου της σελίδας. Αυτό είναι μια ιδιαιτερότητα του κώδικα ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο εάν γίνει προσπάθεια σύνδεσης από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Με την επιλογή στιγμιαίας σύνδεσης και απόρριψης του περιεχομένου εξασφαλίζεται η ασφάλεια του συστήματος και των δεδομένων που αποστέλλονται εφόσον δεν εμφανίζεται πουθενά το URL.

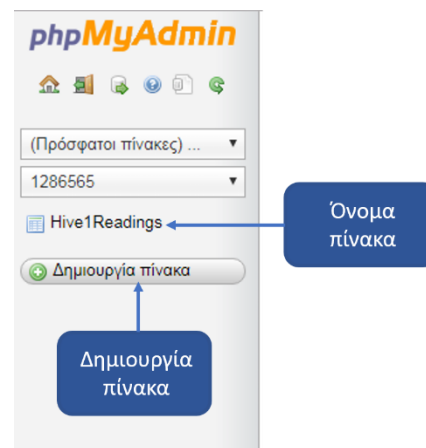
3.3 Βάση Δεδομένων

Με τον όρο βάσεις δεδομένων αναφέρονται οι οργανωμένες, διακριτές συλλογές σχετιζόμενων δεδομένων ηλεκτρονικά και ψηφιακά αποθηκευμένων. Πέρα από την ικανότητα να αποθηκεύει δεδομένα, η βάση δεδομένων παρέχει μέσω του σχεδιασμού και του τρόπου ιεράρχησης των δεδομένων, τα αποκαλούμενα συστήματα διαχείρισης περιεχομένου, δηλαδή τη δυνατότητα γρήγορης άντλησης και ανανέωσης των δεδομένων. Με τον όρο σχεσιακή βάση δεδομένων εννοείται μία συλλογή δεδομένων οργανωμένη σε συσχετισμένους πίνακες που παρέχει ταυτόχρονα ένα μηχανισμό για ανάγνωση, εγγραφή, τροποποίηση ή και πιο πολύπλοκες διαδικασίες πάνω στα δεδομένα. Οι ερωτήσεις (queries), είτε από το χρήστη είτε από λογισμικό, προς τη βάση δεδομένων, γίνονται συνήθως μέσω της διαδεδομένης διαλογικής γλώσσας SQL (Structured Query Language). Εκτελώντας ερωτήματα ο χρήστης (ή το λογισμικό που εκπροσωπεί το χρήστη) είναι δυνατόν, ανάλογα με τα δικαιώματά του, να δημιουργήσει, να μεταβάλλει και να διαγράψει δεδομένα στη βάση, ή να ανασύρει πληροφορίες με σύνθετα κριτήρια αναζήτησης.

Έχοντας αποστείλει τα δεδομένα στο διαδίκτυο η επόμενη ενέργεια είναι η αποθήκευσή τους σε βάση δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία. Χρήζει κατανόησης η δομή της βάσης δεδομένων, καθώς οι μετρήσεις θα πρέπει να καταχωρούνται με βέλτιστο τρόπο. Ο σχεδιασμός έγινε σε περιβάλλον [phpMyAdmin](#), καθώς αυτό υποστηρίζεται ευρέως από free webhosting [10], στην συγκεκριμένη περίπτωση η freeoda.com. Για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων έπρεπε να γίνει καταρχάς είσοδος στο περιβάλλον το οποίο παρείχε η ιστοσελίδα **freeoda.com**. Σε περίπτωση που γινόταν χρήση του τοπικού υπολογιστή ως Server θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό XAMPP το οποίο παρέχει την δυνατότητα αυτής την λειτουργίας, δηλαδή την μετατροπή του τοπικού υπολογιστή σε Server.



Εικόνα 87 : Δημιουργία Βάσης



Εικόνα 88 : Ονομασία βάσης

Κατά την είσοδο στο γραφικό περιβάλλον έχει ήδη δημιουργηθεί η βάση δεδομένων παρέχοντας την δυνατότητα δημιουργίας πινάκων στους οποίους θα καταχωρούνται τα δεδομένα. Όπως φαίνεται στις εικόνες (Εικόνα 87), (Εικόνα 88) η διαδικασία δημιουργίας είναι απλή, απαραίτητη προϋπόθεση όμως είναι ο διαχωρισμός του τύπου των δεδομένων ώστε η καταχώρηση να γίνεται με βέλτιστο τρόπο χωρίς σπατάλη του αποθηκευτικού χώρου. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

- Δημιουργία Βάσης.
- Δημιουργία Πινάκων.
- Καταχώρηση αισθητηρίων (ονομασία).
- Ορισμός τύπου δεδομένων.

Η τελική μορφή της φαίνεται στην Εικόνα 89.

#	Όνομα	Τύπος
<input type="checkbox"/> 1	id	int(11)
<input type="checkbox"/> 2	Date	datetime
<input type="checkbox"/> 3	Time	timestamp
<input type="checkbox"/> 4	TempSensor	float
<input type="checkbox"/> 5	TempOutside	float
<input type="checkbox"/> 6	HumiditySensor	float
<input type="checkbox"/> 7	WeightSensor	float
<input type="checkbox"/> 8	Movement	tinyint(1)

Blue callout boxes: 'Όνομα μεταβλητής' points to the 'id' column, and 'Τύπος μεταβλητής' points to the 'float' data type of the 'TempSensor' column.

Εικόνα 89 : Δομή βάσης δεδομένων

Το πρώτο στοιχείο που θα καταχωρηθεί είναι ο αύξων αριθμός της μέτρησης, ο οποίος έχει επιλεγθεί να αυξάνεται αυτόματα για λόγους εγκυρότητας της αρίθμησης. Στη συνέχεια καταχωρούνται η ημερομηνία και η

ώρα, όπως αυτά έχουν ληφθεί είτε από το RTC του μικροελεγκτή, είτε από το διαδίκτυο. Τέλος, καταχωρούνται οι μετρήσεις των αισθητηρίων οι οποίες έχουν αποσταλεί από την κεντρική μονάδα στην ιστοσελίδα. Όλες οι μετρήσεις είναι τύπου float ενώ η ημερομηνία και ώρα έχουν τον δικό τους αντιπροσωπευτικό τύπο. Έγιναν κατάλληλες δοκιμές εκχώρησης δεδομένων πριν την προσπάθεια διασύνδεσης με την ιστοσελίδα για την διερεύνηση τυχόν σφαλμάτων.

Παρόλο που το γραφικό περιβάλλον παρέχει τη δυνατότητα διαχείρισης των δεδομένων, η καταχώρηση αυτών γίνεται με αυτοματοποιημένο τρόπο το οποίο προϋποθέτει την κατανόηση της γλώσσας MySQL και την σύνταξή της. Παρακάτω αναφέρονται μερικές βασικές εντολές, απαραίτητες για την διαχείριση των μετρήσεων.

```
SELECT * FROM [table name]
```

```
SELECT * FROM [table name] WHERE [field name] = "temperature";
```

```
SELECT * FROM [table name] WHERE temperature = '40';
```

```
SELECT [temperature] FROM [table name] ORDER BY DESC;
```

```
INSERT INTO [database].[table name] ('id','Date') VALUES(NULL, CURRENT_DATE());
```

Η εκχώρηση δεδομένων σε μια βάση γίνεται με την εντολή **INSERT INTO** και η σύνταξή της είναι η εξής :

```
1. $SQL = "INSERT INTO Hive1Readings(id, TempSensor) VALUES ('".$_GET["id"].
2. "','".$_GET["temp"]."')";
3. if (!isset($_GET["temp"]) || empty($_GET["temp"])) {
   } else {
4.     $SQL = "INSERT INTO Hive1Readings(TempSensor) VALUES ('".$_GET["temp"]."')";
5.     mysqli_query($dbh, $SQL);
   }
```

Πιο συγκεκριμένα, επιλέγεται το όνομα της βάσης δεδομένων, το όνομα του πίνακα, τα ονόματα των μεταβλητών και τέλος καταχωρούνται οι μετρήσεις οι οποίες έχουν ληφθεί με την ανάλογη σειρά. Στην *Εικόνα 90* αποτυπώνονται τα περιεχόμενα ενός μέρους της βάσης.

id	Date	Time	TempSensor	HumiditySensor	WeightSensor	Movement
1	2017-01-20	13:45:53	20.7	35	85	0
2	2017-01-20	13:48:05	10	20	50	0
3	2017-01-20	13:48:08	10	20	50	0
4	2017-01-20	14:41:17	40	50	30	0
5	2017-01-23	11:43:53	32	70	48.25	0
6	2017-01-23	11:45:15	18	50	26	0
7	2017-01-23	11:45:49	35.48	60.45	52.36	0
8	2017-02-02	09:32:56	15	28	21	0
9	2017-02-07	09:32:36	21	53	38	0
10	2017-02-15	10:32:11	23	56	36	0
11	2017-02-17	15:23:24	25	58	40	0
12	2017-02-17	15:24:27	26	60	42	0
13	2017-02-17	15:24:49	26	60	42	0

Εικόνα 90 : Περιεχόμενα Βάσης Δεδομένων

3.4 Σχεδίαση Ιστοσελίδας

Η σχεδίαση της ιστοσελίδας έγινε με βάση τις ανάγκες ενός μελισσοκόμου αλλά και τις ανάγκες προώθησης του συστήματος στο ευρύ κοινό. Για αυτούς τους λόγους παρουσιάζεται ως διαφήμιση αλλά και ως χώρος ανάρτησης δεδομένων με χρήση γραφημάτων. Στην τελική έκδοση ο χρήστης θα μπορεί να συνδέεται με τον λογαριασμό που έχει ήδη ενεργοποιήσει και εκτός των δεδομένων που θα καταχωρούνται αυτόματα, θα μπορεί να καταχωρεί μόνος του πληροφορίες για το μελίσσι όπως τρύγος, αρρώστιες κ.λπ. τις οποίες έχει αποσπάσει κατά την επιθεώρηση. Ο σχεδιασμός έγινε με χρήση του προγράμματος **phpStorm** της εταιρείας **JetBrains**. Η αρχική σελίδα φαίνεται στην *Εικόνα 91* και παρέχει τις επιλογές Σχετικά, Υπηρεσίες, Επικοινωνία, Περισσότερα.



Εικόνα 91 : Αρχική σελίδα

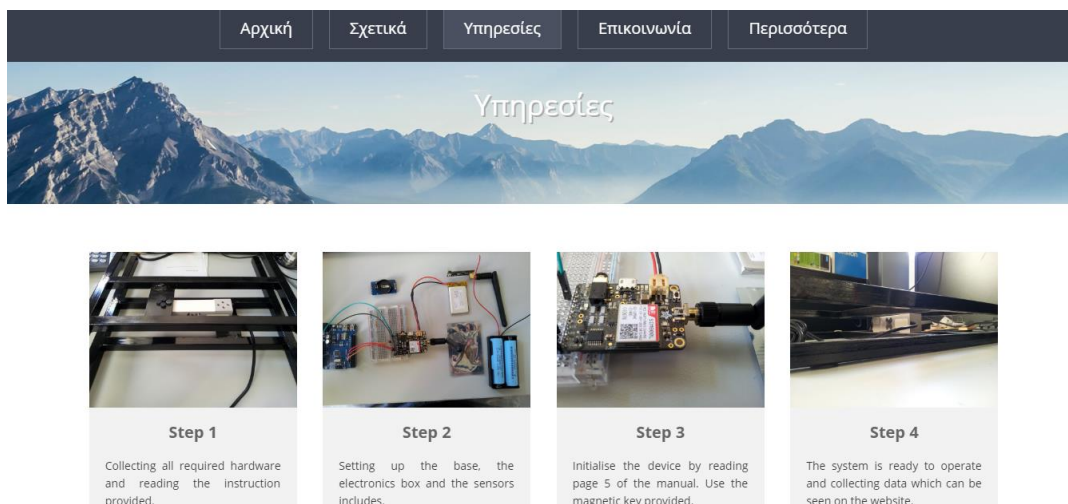
Έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μην αποτελείται από διαφορετικές σελίδες για κάθε ενότητα, εξοικονομώντας χρόνο μεταφόρτωσης της. Είναι απαραίτητο να γίνεται γρήγορη φόρτωση της σελίδας καθώς η σύνδεση μέσω κινητής τηλεφωνίας και αρκετές φορές με χρήση δικτύου 2G περιορίζει αισθητά την χρήση δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αποτυχία μεταφοράς δεδομένων σε περιπτώσεις μεταφόρτωσης μεγάλου όγκου ιστοσελίδων.

Λαμβάνοντας όλα τα παραπάνω υπόψη ο κώδικας έχει διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε και σε περιπτώσεις ανεπαρκούς σήματος τα δεδομένα να αποθηκεύονται στην βάση έστω και εάν αποτύχει η απεικόνισή τους.



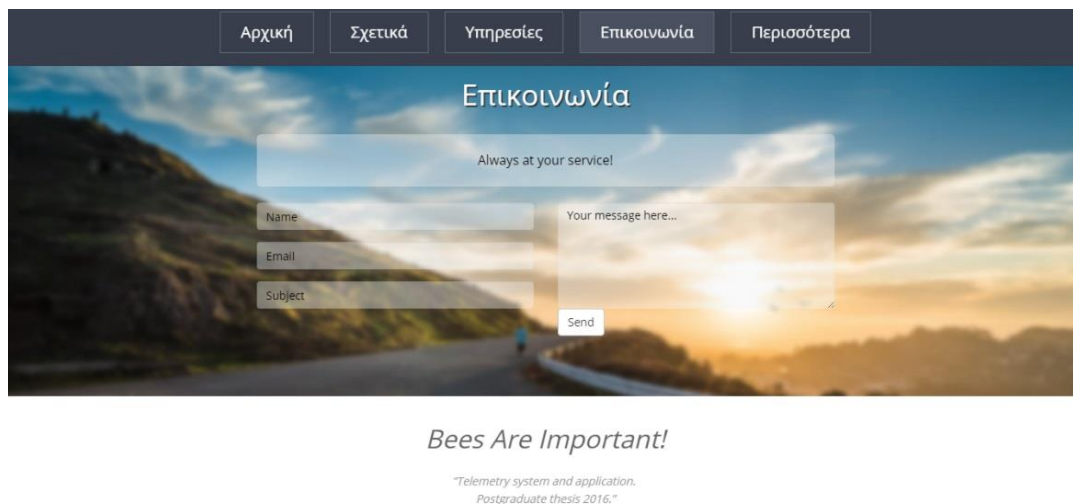
Εικόνα 92 : Υποσελίδα «Σχετικά»

Στην υποσελίδα Σχετικά (Εικόνα 92) έχουν καταχωρηθεί κάποιες βασικές έννοιες της μελισσοκομίας αλλά και της τεχνολογικής προσέγγισης του συστήματος. Γίνεται ενημέρωση των ενδιαφερόμενων για ποιο λόγο οι μέλισσες είναι σημαντικές, τί είναι το σύνδρομο κατάρρευσης αποικίας και πως γίνεται η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων.



Εικόνα 93 : Υποσέλιδα «Υπηρεσίες»

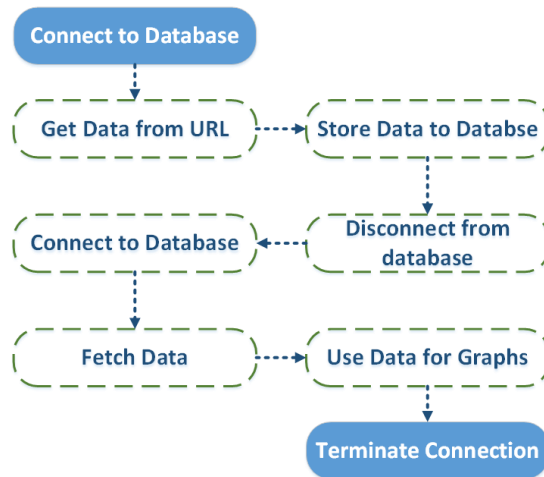
Στην υποσελίδα *Υπηρεσίες* (Εικόνα 93) αναγράφονται τα βασικά βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν ώστε να γίνει η εγκατάσταση και αρχικοποίηση του συστήματος, παρέχοντας κάποιες βασικές επεξηγηματικές εικόνες. Τα βήματα είναι τέσσερα και απαριθμούν την συλλογή του απαραίτητου υλικού, την εγκατάσταση των αισθητηρίων, την αρχικοποίηση και την ολοκλήρωση της εγκατάστασης.



Εικόνα 94 : Υποσέλιδα «Επικοινωνία»

Στην υποσελίδα *Επικοινωνία* (Εικόνα 94) παρέχεται η δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας με τους διαχειριστές για την επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος. Για τη δομή της ιστοσελίδας χρησιμοποιήθηκε CSS και HTML ενώ για τη διαχείριση των δεδομένων η γλώσσα PHP. Η PHP αναλαμβάνει την σύνδεση με τη βάση δεδομένων, τη συγκέντρωση των μετρήσεων και την καταχώρησή τους στην βάση. Επίσης αναλαμβάνει τη συγκέντρωση των δεδομένων από την βάση

για την απεικόνισή τους στην ιστοσελίδα. Πρέπει να γίνει κατανοητό πως ο κύκλος των μετρήσεων που προαναφέρθηκε και όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 8, είναι απαραίτητος για την ασφαλή χρήση των δεδομένων.



Σχήμα 8 : Ροή δεδομένων από και προς την βάση

Η σύνδεση για εκχώρηση στην βάση και η σύνδεση για ανάκτηση των δεδομένων γίνεται σε δύο διαφορετικά σημεία του κώδικα. Καθώς καλείται η σελίδα μέσω του URL από το κεντρικό σύστημα GSM, το οποίο και περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, είναι απαραίτητο πριν εκτελεστεί ο βασικός κώδικας περιεχομένου της σελίδας να εκτελεστεί το ειδικό κομμάτι κώδικα PHP, το οποίο αναλαμβάνει την καταχώρηση των μετρήσεων στην βάση δεδομένων. Εν συνεχεία εκτελείται ο κώδικας εμφάνισης περιεχομένου της σελίδας και πριν την αποτύπωση των γραφημάτων γίνεται ξανά η σύνδεση στην βάση για ανάκτηση των μετρήσεων.

Το επόμενο βήμα βελτίωσης της εμπειρίας του εκάστοτε χρήστη αλλά και της μοναδικής προσφοράς υπηρεσιών του συστήματος ήταν η ανάπτυξη του User interface. Κατόπιν εκτενούς ανάλυσης δημιουργήθηκε ένα Control Panel το οποίο παρέχει την δυνατότητα εισόδου πολλαπλών χρηστών, βελτιωμένη απεικόνιση των δεδομένων και δυνατότητα εκχώρησης περεταίρω πληροφοριών που αφορούν την αποικία. Με αυτό τον τρόπο χρησιμοποιείται μία ιστοσελίδα για πολλαπλούς χρήστες, επιτυγχάνοντας κάθε φορά σύνδεση στην ανάλογη βάση δεδομένων.

Username

Password

Log in

Lost your password?

New to site? Create Account

BKEEP!

2016 Postgraduate Thesis Technological Institute of Crete

Εισαγωγή ονόματος

Εισαγωγή κωδικού

Εικόνα 95 : Φόρμα Login

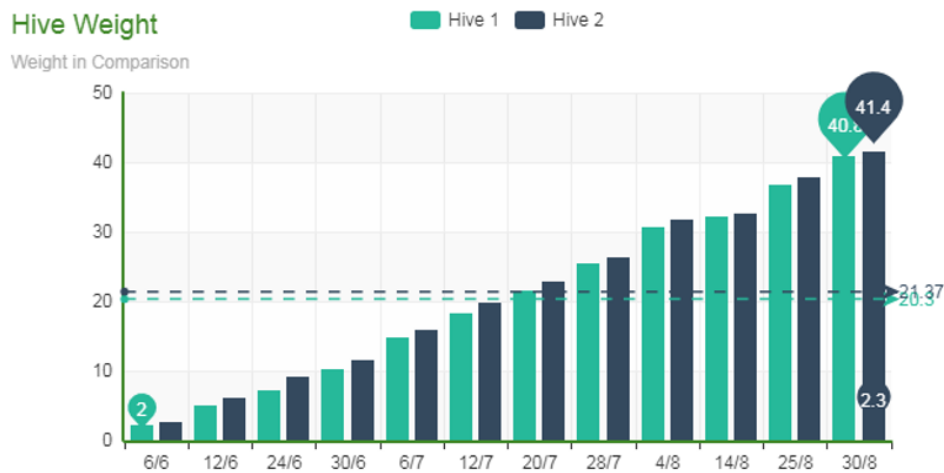
Εφόσον εισαχθούν στο σύστημα τα σωστά credentials, μέσω της Login φόρμας που έχει δημιουργηθεί (Εικόνα 95), γίνεται μετάβαση στο κεντρικό πάνελ (Εικόνα 96). Η απόκτηση προσωπικού λογαριασμού γίνεται μέσω της Registration φόρμας η οποία καταχωρεί στην βάση δεδομένων τα στοιχεία που εισάγει ο κάθε χρήστης.



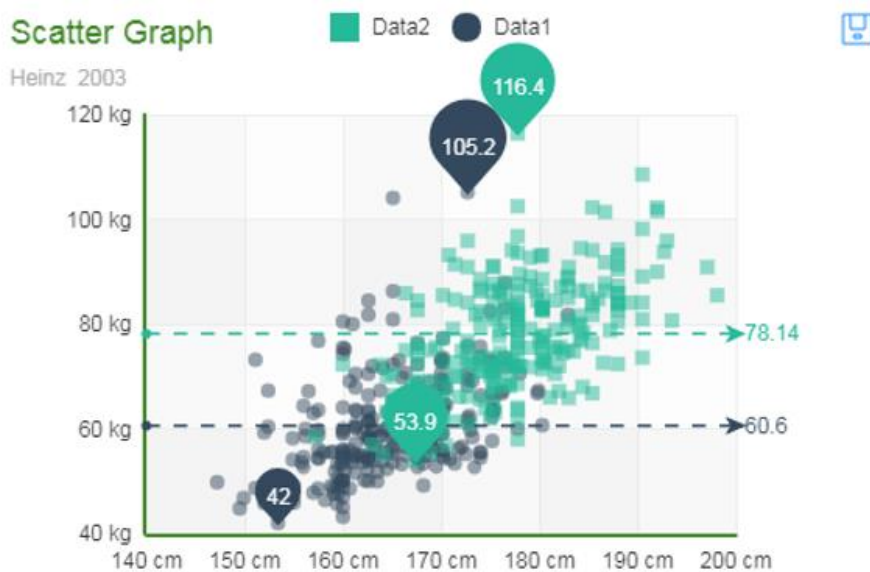
Εικόνα 96 : Κεντρικό πάνελ χρήστη

Το πάνελ διαχείρισης βρίσκεται στα αριστερά της κεντρικής σελίδας κάνοντας το φιλικό και λειτουργικό προς τον επισκέπτη. Αποτελείται από τέσσερις επιλογές, την αρχική σελίδα η οποία παρουσιάζει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες όπως βάρος, θερμοκρασία, αριθμός μελισσών (προσεγγιστικά) κ.λπ., την “Μελισσοκομείο” η οποία παρέχει την δυνατότητα καταχώρησης της κάθε κυψέλης με τα εκάστοτε χαρακτηριστικά η οποία είναι μια πολύ χρήσιμη επιλογή που δίνεται στον χρήστη καθώς μπορεί να κρατά ένα προσωπικό, διαδικτυακό ημερολόγιο. Οι δύο επόμενες επιλογές, “Data Tables” και “Data

Presentation” αφορούν τις μετρήσεις που έχουν συλλεχθεί από τα αισθητήρια και τον τρόπο παρουσίασής τους. Ενδεικτικά παρατίθενται τα παρακάτω γραφήματα.

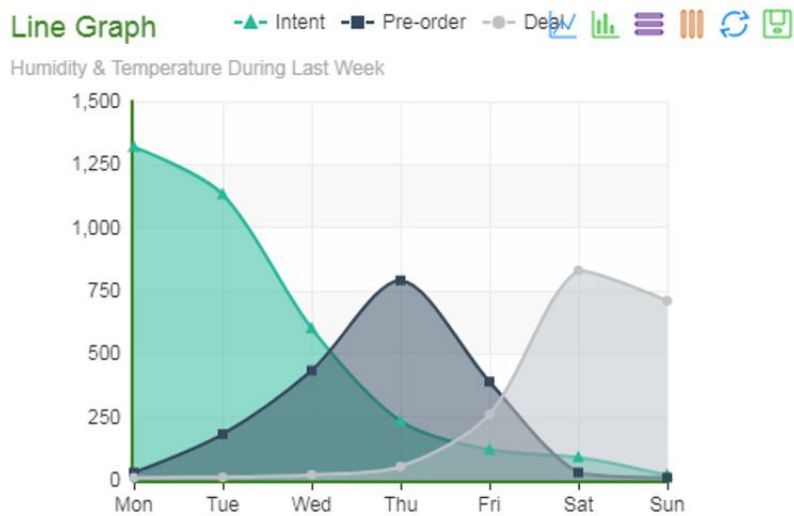


Εικόνα 97 : Γράφημα τύπου Bar



Εικόνα 98 : Γράφημα τύπου Scatter

Παρουσιάζοντας τα δεδομένα με περισσότερα γραφήματα δίνεται η επιλογή στον χρήστη να συγκρίνει την παραγωγή αλλά και τις συνθήκες που επικρατούν, εξάγοντας με αυτό τον τρόπο συμπεράσματα τα οποία τον βοηθούν σε μελλοντικούς χειρισμούς και αποφάσεις.



Εικόνα 99 : Γράφημα τύπου Line

Τα Bar Graphs (Εικόνα 97) αφορούν κατά κύριο λόγο τη μέτρηση του βάρους της εκάστοτε κυψέλης, η επιλογή της οποίας γίνεται από την λίστα μελισσοκομιών. Η θερμοκρασία και η υγρασία απεικονίζονται σε Line Graphs (Εικόνα 99) ενώ οι απότομες μεταβολές των τελευταίων 24 ωρών σε Radar Graphs (Εικόνα 100).



Εικόνα 100 : Γράφημα τύπου Radar

Κεφάλαιο 4

Ανάλυση Ηχητικών Σημάτων της Κυψέλης

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάλυση ηχητικών δεδομένων που ελήφθησαν υπό πραγματικές συνθήκες κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Η παρακολούθηση των ήχων που εκπέμπονται από τις κυψέλες είναι μια πολύ σημαντική δραστηριότητα για τους μελισσοκόμους ώστε να διατηρήσουν υγιή τα μελίσσια τους και να αυξήσουν τη παραγωγικότητα. Ο συνωστισμός (swarming) αποτελεί ένα γεγονός που σηματοδοτεί την αναπαραγωγή και είναι πολύ επικίνδυνο για τη βιωσιμότητα του μελισσιού καθώς αποχωρώντας οι μέλισσες από τη κυψέλη μπορεί να σημάνουν τη κατάρρευση της αποικίας.

Η ανάπτυξη του παραπάνω συστήματος δεν αποσκοπεί μόνο στην έγκαιρη πληροφόρηση για ένα μεμονωμένο συμβάν όπως το προαναφερθέν αλλά στην συνεχή επίβλεψη και αυτοματοποιημένη διεξαγωγή συμπερασμάτων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του μελισσιού. Τα αποτελέσματα και η γνώση η οποία θα ληφθεί μέσω των ερευνών αυτών θα είναι διαθέσιμη για περαιτέρω ανάλυση και σύγκριση από μελισσοκόμους ανά τον κόσμο.

Οι μέλισσες παράγουν ένα χαρακτηριστικό βουητό το οποίο υποδηλώνει και την κατάστασή στην οποία βρίσκονται. Θεωρείται πως είναι ο τρόπος επικοινωνίας των μελισσών και το τελευταίο διάστημα γίνονται προσπάθειες συγκέντρωσης πληθώρας δεδομένων για τον προσδιορισμό των συχνοτήτων που εκπέμπονται. Τα δεδομένα που ηχογραφήθηκαν και οι αναλύσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν επαληθεύτηκαν με δύο τρόπους, την εκτέλεση συγκεκριμένων ενεργειών από πλευράς μελισσοκόμου κατά την λήψη τους και την σύγκρισή τους με παρόμοια σετ δεδομένων που υπάρχουν στην βιβλιογραφία.

4.1 Βασικές Έννοιες Ηχητικών Σημάτων των Μελισσών

Ειδικότερα, στην κυψέλη παράγονται ενδιαφέροντες ήχοι κατά την διάρκεια ζωής του μελισσιού. Ο ήχος της βασίλισσας, ο πιο επιβλητικός, υποδηλώνει στις νέες βασίλισσες την παρουσία της. Είναι πλέον γνωστός ως *ripping* πιστοποιώντας την ετοιμότητά της για μάχη και κατηγοριοποιείται σε *Tooting* και *Quacking* το οποίο εξαρτάται εάν βρίσκεται εκτός ή εντός του κελιού

αντίστοιχα. Σύμφωνα με έρευνες [11], [12] ο περεταίρω διαχωρισμός γίνεται βάση της διάρκειας των συλλαβών που απαρτίζουν την εκάστοτε περίπτωση. Στον ήχο tooting, αρχικά οι συλλαβές διαρκούν 1 δευτερόλεπτο και σταδιακά μειώνονται έως 0.25 δευτερόλεπτα. Αντιθέτως ο ήχος quacking αποτελείται από μικρές συλλαβές διάρκειας 0.1 δευτερολέπτων με χρονική διαφορά 0.1 δευτερολέπτου. Η συχνότητα του riping κυμαίνεται στα 200Hz-550Hz ενώ παράλληλα η συχνότητα του tooting είναι υψηλότερη από αυτή του quacking.

Η παραγωγή του riping ξεκινά από τις βασίλισσες στην ηλικία των 2 ημερών και μεταφράζεται στις εργάτριες ως μικροδονήσεις στην κηρήθρα δημιουργώντας μετατοπίσεις κατά 0.1 έως 1μm. Ο ήχος tooting γίνεται αντιληπτός από τις νέες βασίλισσες σε απόσταση περίπου 10cm. Η κοινωνία των μελισσών βασίζεται στο μητριαρχικό πρότυπο και τον ρόλο αυτό έχει η βασίλισσα διότι χωρίς αυτήν δεν υπάρχει τρόπος αντικατάστασης των γερασμένων μελισσών. Στην περίπτωση απουσίας της, η οποία γίνεται αντιληπτή τις πρώτες 10 μέρες, παρατηρείται το κλάμα των μελισσών (ένα ισχυρό βουητό) και η γέννηση αυγών από τις εργάτριες το οποίο υποδηλώνει τον θάνατο του μελισσιού.

Τέλος ο ρόλος του κηφήνα είναι αποκλειστικά η γονιμοποίηση της βασίλισσας και η μικρή βοήθεια που παρέχουν στις εργάτριες για να δροσίσουν την κυψέλη κατά τους θερινούς μήνες. Αυτή η διαδικασία παράγει ένα βουητό χαμηλότερης συχνότητας και ο λόγος είναι τα μεγάλα φτερά τους. Μόλις οι κηφήνες αρχίσουν και γίνονται επιζήμιοι για την κυψέλη αναλαμβάνουν σημαντικό ρόλο οι εργάτριες ώστε να τους εκδιώξουν. Με αυτό τον τρόπο παράγεται ένα επίμονο βούισμα από τις εργάτριες υψηλής συχνότητας.

4.2 Αισθητήριο Ήχου και Λήψη Δεδομένων

Η πειραματική διαδικασία διαμορφώθηκε σε ελεγχόμενο περιβάλλον μελισσοκομικής αποικίας αποτελούμενης από 12 κυψέλες διαφορετικής δυναμικής. Η περίοδος κατά την οποία έγιναν οι μετρήσεις ήταν το Δεκέμβριο του 2016, με θερμοκρασία μικρότερη των 10°C. Θεωρείται εποχή δύσκολη για τις μέλισσες καθώς προσπαθούν να επιβιώσουν σε χαμηλές θερμοκρασίες. Οι πρώτες δοκιμές έγιναν με την εισχώρηση μικροφώνου από την είσοδο της κυψέλης, το οποίο αποδείχθηκε μη αποτελεσματικό, καθώς η κινητικότητα των μελισσών δεν ήταν μεγάλη για τους προαναφερθείς λόγους. Είναι η περίοδος όπου συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο πλήθος των μελισσών στο κέντρο με σκοπό την άνοδο της θερμοκρασίας σε εκείνο το σημείο. Ήταν απαραίτητο να ανοιχτεί το μελίσσι και να τοποθετηθεί το μικρόφωνο από την άνω πλευρά.

Ακουστική ανάλυση τυπικής αποικίας μελισσών				
	Συχνότητα	Μοτίβο	Αποστολέας	Πιθανή ερμηνεία
Τooting	300-500Hz	Ακολουθία παλμών	Βασίλισσα	Εμποδίζουν την εκκόλαψη άλλων βασιλισσών, Ξεκινούν το Κουάκ.
Κουάκ	300-350Hz	Ακολουθία παλμών	Βασίλισσα	Ενημερώνουν τις βασίλισσές και τις εργάτριες για την παρουσία επιβεβαιωμένων βασιλισσών.
Σφύριγμα	300-3600Hz	Μονός παλμός	Αποικία	Προειδοποιητικό σήμα
Tooting	100-2000Hz	Μονός παλμός	Ανιχνευτής	Σήμα για να ξεκινήσει το Σφύριγμα της αποικίας, δηλώνει ενόχληση
Στρατολόγηση	200-350Hz	Ακολουθία παλμών	Συλλέκτριες	Ενημέρωση για ύπαρξη ποιοτικής και πολύτιμης πηγής τροφής.

Πίνακας 6: Κατανομή συχνοτήτων βάση βιβλιογραφίας

Οι συχνότητες ενδιαφέροντος κυμαίνονται από 100Hz έως 3600Hz όπως παρουσιάζει ο Πίνακας 6.

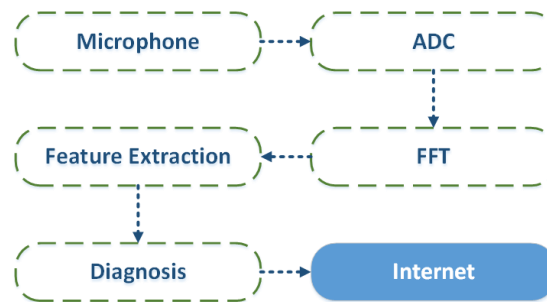
Για την εξασφάλιση καλής ανάλυσης δεδομένων χρησιμοποιήθηκε μικρόφωνο μεγάλης ευαισθησίας από Hands-free και η ηχογράφηση έγινε με χρήση υπολογιστή, όπου η ανάλυση ορίστηκε σε 16bit και η συχνότητα δειγματοληψίας σε 44100Hz. Η απόκριση συχνότητας του μικροφώνου είναι από 20Hz έως 20kHz με αποτέλεσμα να περιοριστεί σε αυτή την συχνότητα.



- Input voltage 2.4V - 5V
- Sampling frequency 20 – 20KHz
- Sensitivity from 6" away (normal noise)
- Output 200mVpp – 5Vpp
- Onboard amplifier
- Ideal for audio-reactive projects FFT

Εικόνα 101 : Μικρόφωνο δειγματοληψίας

Πληθώρα προηγούμενων μελετών [13], [14], [15], [16], [17] έχουν δείξει πως η κατάσταση της κυψέλης μπορεί να καθοριστεί από την ακουστική ανάλυση της, η οποία ακολουθεί την αρχιτεκτονική που αποτυπώνεται στην Εικόνα 102. Το σύστημα στοχεύει στην ανάλυση συχνοτήτων σε εύρος έως τα 4kHz, οπότε η χρήση ενός φίλτρου για την διέλευση μόνο αυτών των συχνοτήτων είναι απαραίτητη.



Εικόνα 102 : Αρχιτεκτονική ακουστικής ανάλυσης

4.3 Μετασχηματισμός Fourier

Η ανάλυση Fourier προέκυψε από την προσπάθεια αναπαράστασης μιας συνάρτησης ως αθροίσματος απλούστερων περιοδικών τριγωνομετρικών συναρτήσεων. Οπότε κεντρική ιδέα είναι η κατανόηση των ιδιοτήτων μιας συνάρτησης ή ενός σήματος μέσω διάσπασης τους σε γνωστά, στοιχειώδη μέρη. Ο όρος Μετασχηματισμός Φουριέ αναφέρεται σε μια μαθηματική διεργασία η οποία αποσυνθέτει μια συνάρτηση σε άθροισμα απείρων περιοδικών ημιτονοειδών και συνημιτονοειδών συναρτήσεων. Το αποτέλεσμα είναι μια νέα συνάρτηση με ένα νέο πεδίο ορισμού.

Η ανάλυση Fourier έχει πολλές επιστημονικές εφαρμογές όπως στην φυσική, στις διαφορικές εξισώσεις, στην επεξεργασία σήματος κ.λπ. Ως ορισμό του μετασχηματισμού έχουμε τον παρακάτω :

Έστω $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$ τοπικά ολοκληρώσιμη συνάρτηση. Ως μετασχηματισμός Fourier της συνάρτησης f ορίζεται η συνάρτηση :

$$\hat{f}: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}, \hat{f}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad , (5)$$

Υπό την προϋπόθεση ότι ορίζεται στο \mathbb{C} το αναγραφόμενο γενικευμένο ολοκλήρωμα. Ο μετασχηματισμός συμβολίζεται επίσης με $F\{f(t)\}$.

Ο τρόπος που δουλεύει ο FFT είναι αρκετά απλός. Χρησιμοποιεί ένα κομμάτι χρόνου που ονομάζεται Frame (ένας συγκεκριμένος αριθμός δειγμάτων) και θεωρεί αυτό το κομμάτι σαν μοναδική περίοδο μιας επαναλαμβανόμενης κυματομορφής. Ο λόγος για τον οποίο λειτουργεί αυτό είναι ότι ο ήχος πάνω από κάθε σύντομη χρονική περίοδο μοιάζει σαν μια κανονική επαναλαμβανόμενη συνάρτηση. Οπότε αντί να γίνεται διερεύνηση για την συχνότητα ανάμεσα σε όλες τις πιθανές συχνότητες που είναι απείρως μεγάλος αριθμός, κατανέμεται το φάσμα συχνοτήτων σε έναν αριθμό ζωνών συχνοτήτων που ονομάζεται bins. Το μέγεθος των bins είναι καθορισμένο από

τον αριθμό δειγμάτων στο Frame “πλαίσιο” της ανάλυσης μας. Το πλήθος των bins δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

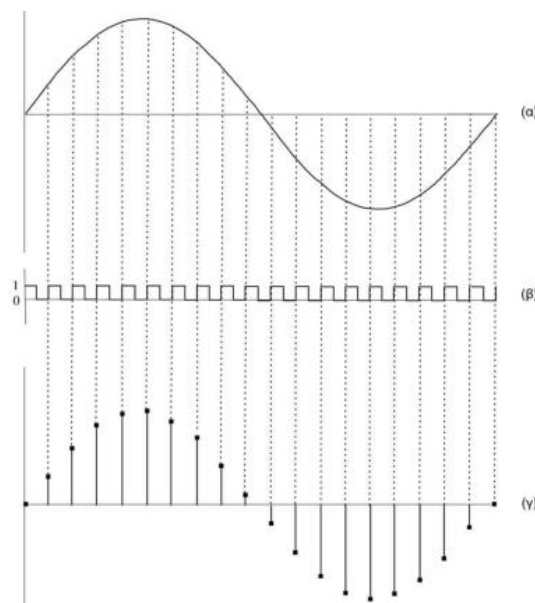
$$q_{bins} = \frac{S_{frame}}{2}$$

Όπου q_{bins} το πλήθος των bins και S_{frame} το μέγεθος του frame.

Κατά την επεξεργασία σημάτων, ήχου, εικόνες, σεισμικά κύματα, η ανάλυση Fourier μπορεί να απομωνώσει συντελεστές από μια σύνθετη κυματομορφή ώστε να είναι ευκολότερη η ανίχνεσή τους. Μερικά παραδείγματα χρήσης του μετασχηματισμού είναι :

- Σε ηχογραφήσεις για να αφαιρεθεί ο θόρυβος του παρασκηνίου με την αφαίρεση των συντελεστών Fourier που δεν υπερβαίνουν ένα καθορισμένο εύρος.
- Διαχωρισμός του τονικού σήματος που παράγει κάθε τηλεφωνικό πλήκτρο για την ανίχνευση του πλήκτρου που πατήθηκε.
- Δημιουργία του ηχητικού φασματογραφήματος που χρησιμοποιείται για την ανάλυση ήχων

Σε αντίθεση με τα αναλογικά συστήματα ένα ψηφιακό μέσο, όπως μια ψηφιακή συσκευή ηχογράφησης ή στην περίπτωση μας ο υπολογιστής μπορεί να διαχειριστεί πεπερασμένο πλήθος τιμών. Κατ’ αυτό τον τρόπο σε ένα ψηφιακό σύστημα μια κυματομορφή ήχου δεν μπορεί να αναπαρασταθεί σαν ένα χρονικό συνεχές, αλλά σαν πλήθος από σημεία τα οποία αφορούν χρονικά στιγμιότυπα της κυματομορφής. Κάθε τέτοιο στιγμιότυπο αποτυπώνει την τιμή πλάτους της ταλάντωσης στην αντίστοιχη διακριτή χρονική στιγμή το οποίο ονομάζεται δείγμα (sample).

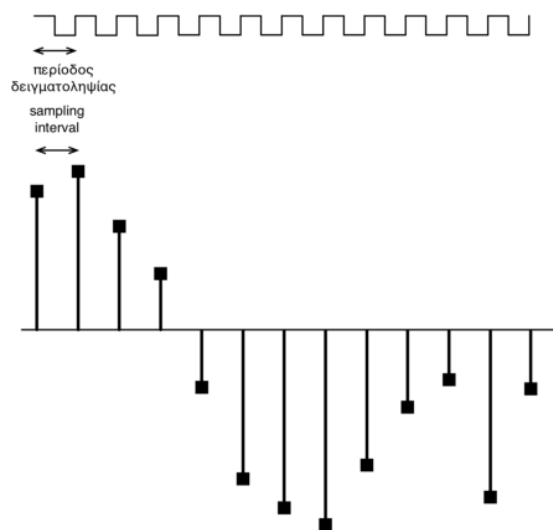


Εικόνα 103 : Ψηφιακή αποτύπωση κυματομορφής (α), ακολουθία παλμών (β), ως σύνολο δειγμάτων ήχου (γ)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα οι χρονικές στιγμές κατά τις οποίες λαμβάνονται τιμές των δειγμάτων από την συνεχή κυματομορφή είναι περιοδικά επαναλαμβανόμενες και σηματοδοτούνται από την τετραγωνική κυματομορφή, μια ακολουθία παλμών με τις καταστάσεις 0 και 1. Όταν η ακολουθία λαμβάνει την τιμή 1, λαμβάνεται και μια τιμή-δείγμα από την αρχική ημιτονοειδή. Η συχνότητα με την οποία ταλαντώνεται αυτή η κυματομορφή καλείται συχνότητα δειγματοληψίας και καθορίζει το πλήθος των δειγμάτων που θα ληφθούν από την αρχική αναλογική κυματομορφή [18].

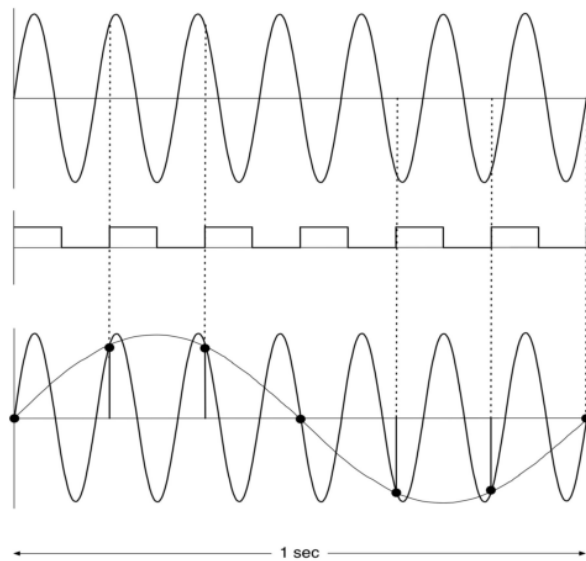
Όσο περισσότερα δείγματα τόσο καλύτερη θα είναι η αποτύπωση της πληροφορίας. Περίοδο δειγματοληψίας καλείται το διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο διαδοχικά δείγματα (βλ. παρακάτω).

$$\text{Περίοδος Δειγματοληψίας} = \frac{1}{\text{Συχνότητα Δειγματοληψίας}}$$



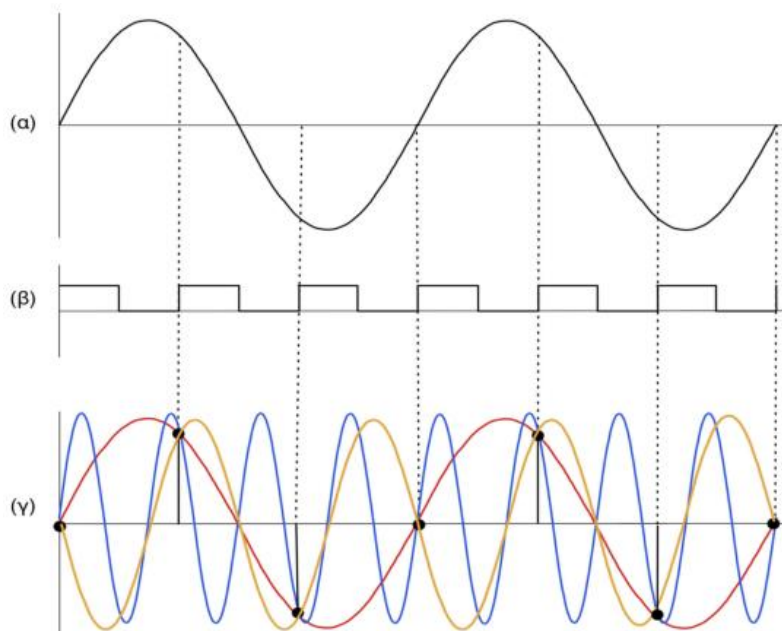
Εικόνα 104 : Περίοδος δειγματοληψίας είναι το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε διαδοχικά δείγματα ήχου

Για παράδειγμα έστω σε μια αρχική ημιτονοειδή με συχνότητα $f_0 = 7\text{Hz}$ λαμβάνονται δείγματα με συχνότητα δειγματοληψίας $f_s = 6\text{Hz}$. Ενώνοντας τα σημεία που αντιστοιχούν στα δείγματα μπορούμε να αναπαραστήσουμε γραφικά την ημιτονοειδή που παράγεται από την δειγματοληψία. Οπότε εκτός από την αρχική μπορεί να σχεδιαστεί και μια δεύτερη με συχνότητα 1Hz (Εικόνα 105).



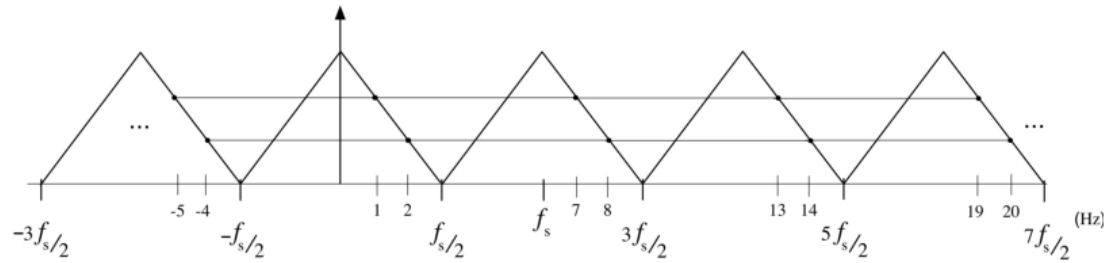
Εικόνα 105 : Ημιτονοειδής με συχνότητα 7Hz (α), ακολουθία παλμών με συχνότητα 6Hz (β), οι εξαγόμενες ημιτονοειδής στα 7Hz και 1 Hz (γ)

Με τον ίδιο τρόπο η παραγόμενη ημιτονοειδής από την παραπάνω δειγματοληψία θα μπορούσε επίσης να έχει συχνότητα 13Hz, 19Hz, 25Hz κ.λπ. Το φαινόμενο της παραγωγής πολλαπλών ημιτονοειδών επαναλαμβάνεται και για κάθε άλλη βασική ημιτονοειδή με οποιαδήποτε αρχική συχνότητα όπως φαίνεται και στο παρακάτω παράδειγμα (Εικόνα 106) όπου από μία αρχική ημιτονοειδή με συχνότητα 2Hz λαμβάνονται δείγματα με συχνότητα δειγματοληψίας 6Hz [19].



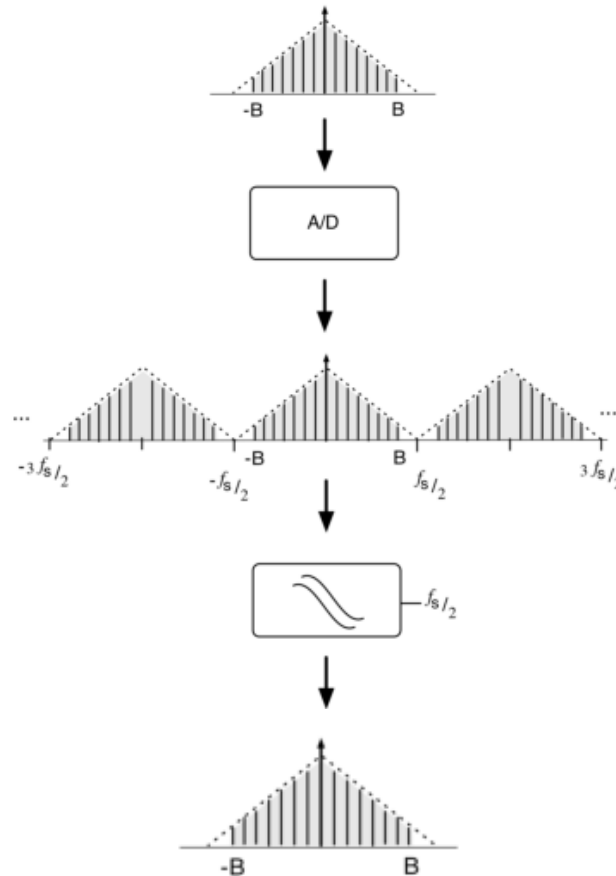
Εικόνα 106 : Βασική συχνότητα 2Hz (α), συχνότητα δειγματοληψίας 6Hz (β), ψευδώνυμη στα -4Hz (πορτοκαλί), ψευδώνυμη στα 8Hz (μπλε) (γ)

Με βάση τα δύο παραπάνω παραδείγματα και την εμφάνιση των πολλαπλών τους, μπορούν να οριστούν οι περιοχές εντός των οποίων εμφανίζεται επαναληψιμότητα το παραπάνω φαινόμενο για οποιαδήποτε αρχική συχνότητα ημιτονοειδούς.



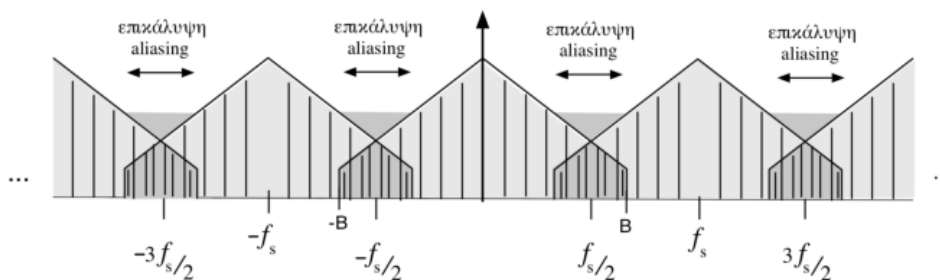
Εικόνα 107 : Περιοχές που εμφανίζονται ψευδώνυμες μιας βασικής κατά την δειγματοληψία

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρείται πως κάθε περιοχή οροθετείται από τα περιττά πολλαπλάσια του μισού της συχνότητας δειγματοληψίας $f_s/2$. Η συγκεκριμένη συχνότητα ονομάζεται Nyquist και παίζει σημαντικό ρόλο στην αποτύπωση του σήματος κατά την δειγματοληψία [20]. Έστω μια σύνθετη κυματομορφή η οποία αποτελείται από ένα πλήθος ημιτονοειδών με συχνότητες από $-B$ έως B . Όπως και πριν λαμβάνονται ακέραια πολλαπλάσια σύμφωνα με το τύπο $f_0 + (k \times f_s)$. Το είδωλο θα πολλαπλασιαστεί και οι συχνότητες $[-B, B]$ βρίσκονται στο διάστημα $[-f_s/2, f_s/2]$, ισχύει δηλαδή $B < f_s/2$ (Εικόνα 108).



Εικόνα 108 : Στάδια ανασύνθεσης του αρχικού σήματος κατά την δειγματοληψία

Αν μειωθεί η συχνότητα δειγματοληψίας έτσι ώστε $B > f_s/2$ τότε καθώς το συχνοτικό εύρος είναι μεγαλύτερο του διαστήματος $[-f_s/2, f_s/2]$ θα έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιαστούν περιοχές επικάλυψης (Εικόνα 109).



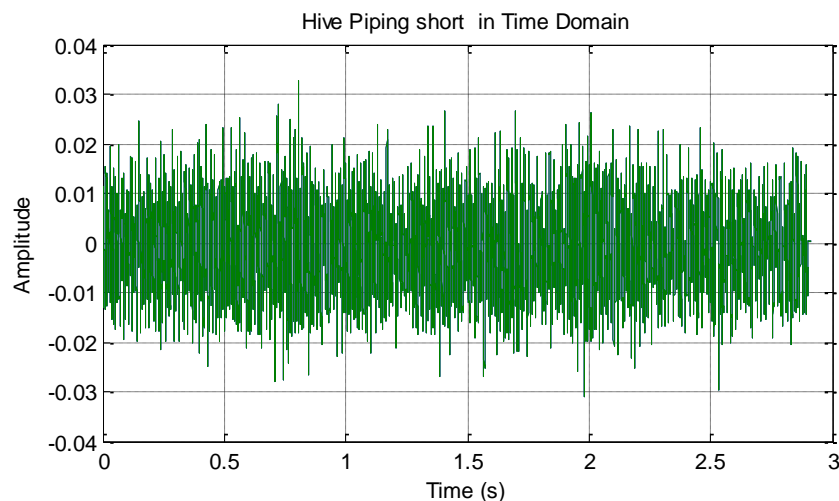
Εικόνα 109 : Δημιουργία περιοχών επικάλυψων με επακόλουθο τη δημιουργία θορύβου όταν $B > f_s/2$

Οπότε εάν ακολουθηθεί η διαδικασία ανασύνθεσης του αρχικού σήματος, θα ανασυντεθεί ένα σήμα το οποίο θα διαφέρει σημαντικά, θα υπάρχει δηλαδή εισαγωγή θορύβου με την εισαγωγή παράπλευρων συχνοτήτων στα άκρα του φάσματος.

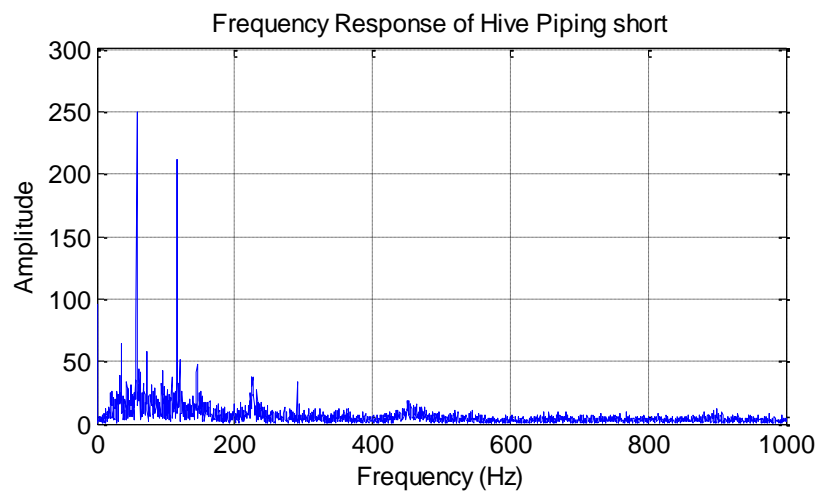
4.4 Πραγματικά Ηχητικά Δείγματα

Στην προσπάθεια επαλήθευσης των παραπάνω αποτελεσμάτων ήταν απαραίτητο να ληφθούν ηχητικά δείγματα σε πραγματικές συνθήκες. Οι χρόνοι δειγματοληψίας διαφέρει το οποίο οφείλεται στις συνθήκες που επικρατούσαν την δεδομένη στιγμή όπως βαλτώδες έδαφος, βροχή, αναστάτωση της κυψέλης και έλλειψη παροχής ενέργειας για την λειτουργία του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Παρόλα αυτά έγινε συλλογή δειγμάτων σε πάνω από 15 κυψέλες με πλήρη επιτυχία. Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται τα αποτελέσματα, όπου με πράσινη κυματομορφή αναγράφονται τα ηχητικά δεδομένα στο πεδίο του χρόνου, ενώ με μπλε στο πεδίο της συχνότητας έπειτα της ανάλυσης Fourier.

Στην *Εικόνα 110* έχει καταγραφεί το Piping για σύντομο χρονικό διάστημα τριών δευτερολέπτων. Με την ανάλυση Fourier τα αποτελέσματα στην *Εικόνα 111* υποδηλώνουν έναν σύντομο παλμό περίπου στα 100HZ όπου σύμφωνα με τον πίνακα των σχετικών ερευνών δηλώνει ενόχληση. Σε αυτή την περίπτωση επαληθεύεται η πρόβλεψη καθώς η κυψέλη υπέστη εξωτερική διαταραχή προσπαθώντας να εισαχθεί το μικρόφωνο από την άνω πλευρά όπως και μετακινώντας την ελαφρά από την αρχική θέση.

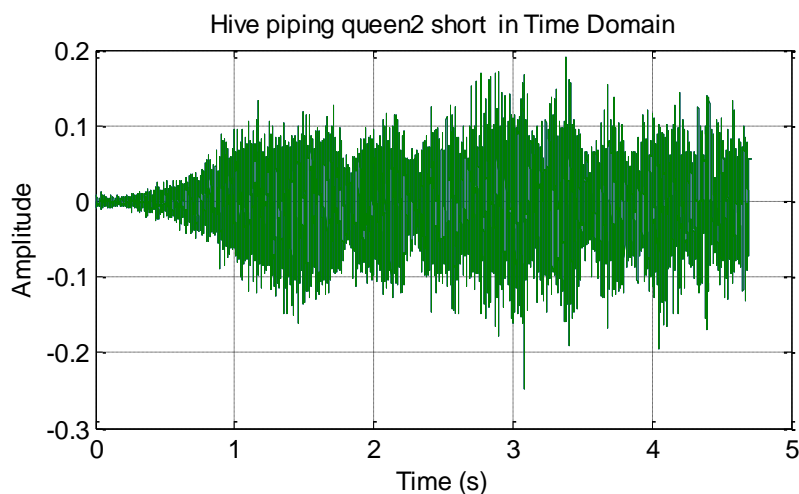


Εικόνα 110 : Ηχογράφιση σε κυψέλη κατά της διάρκεια Piping

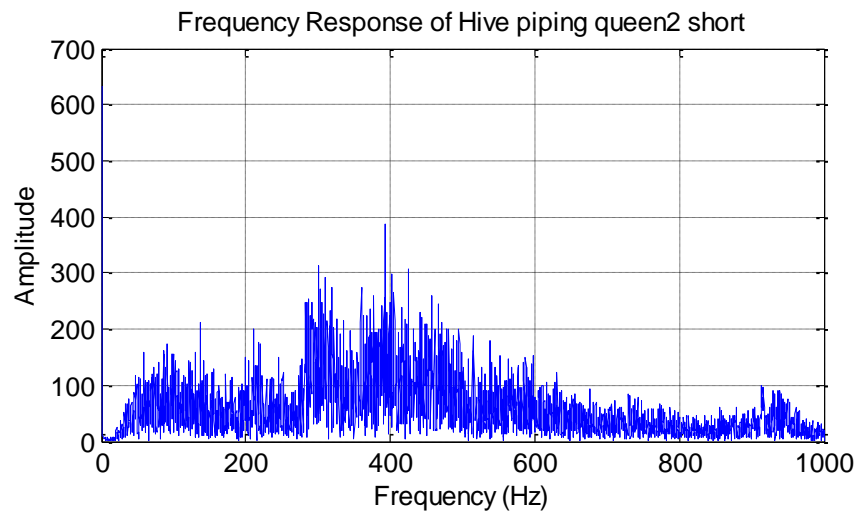


Εικόνα 111 : Piping της κυψέλης στο πεδίο της συχνότητας

Στην *Εικόνα 112* έχει καταγραφεί το Piping της βασίλισσας υποδηλώνοντας την παρεμπόδιση της εκκόλαψης νέας βασίλισσας. Σε σύγκριση με την παραπάνω ηχογράφιση παρατηρείται η μεγάλη διαφορά στην ένταση του ήχου, περίπου 10 φορές πιο δυνατός ήχος, παρόλο που οι συνθήκες παρέμειναν οι ίδιες, δηλαδή η ποιότητα του μικροφώνου και η απόσταση του από το κέντρο της κυψέλης. Στην ανάλυση Φουριέ που ακολούθησε παρατηρείτε στην *Εικόνα 113* μια ακολουθία παλμών που κυμαίνεται στα 300Hz~500Hz. Ανατρέχοντας στην ακουστική ανάλυση της βιβλιογραφίας επιβεβαιώνεται πως σε αυτές της συχνότητες έχει καταγραφεί η συγκεκριμένη περίπτωση όπως ακριβώς και στο παραπάνω πείραμα.



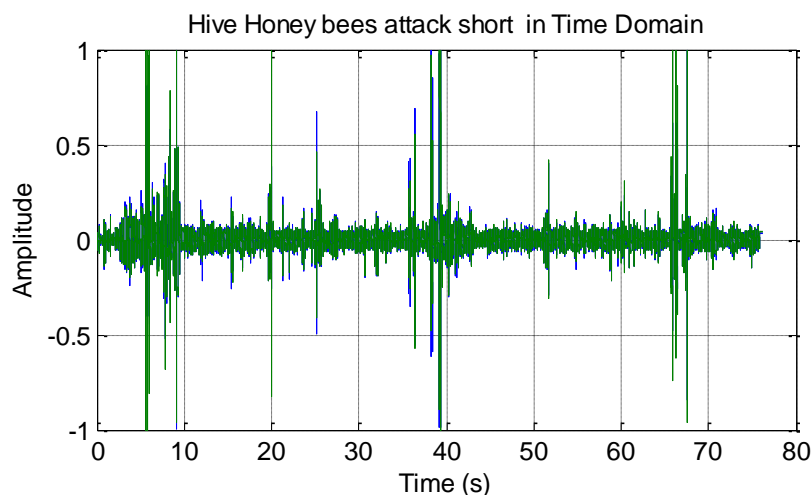
Εικόνα 112 : Ηχογραφημένο Piping της Βασίλισσας



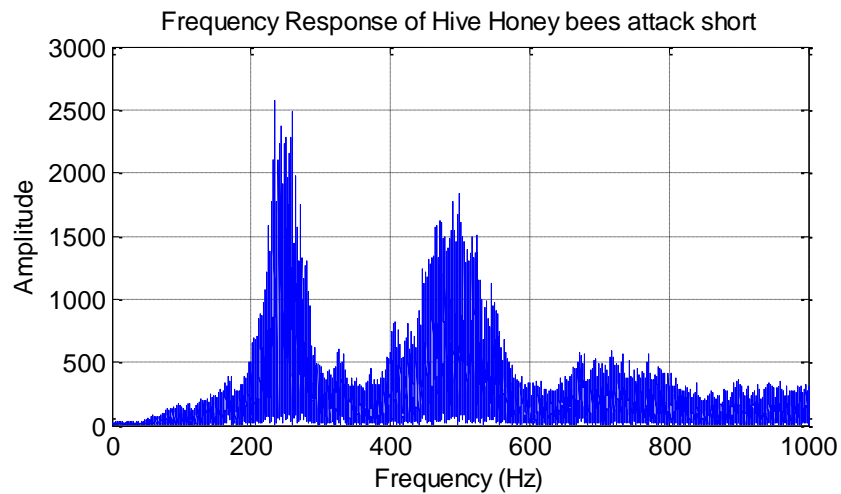
Εικόνα 113 : Piping της Βασίλισσας στο πεδίο της συχνότητας

Στην *Εικόνα 114* έχει καταγραφεί η επίθεση στην κυψέλη από αράχνη μεγάλου μεγέθους. Η διαφορά που παρατηρείται στην ένταση σε αυτή την περίπτωση επηρεάζεται από τις συνθήκες που επικρατούν στον χώρο καθώς το μικρόφωνο και η ανάλυση του εξοπλισμού διαφέρει. Αξίζει να σημειωθεί πως στην ανάλυση που ακολουθεί στην *Εικόνα 115* παρατηρείται ένα μέγιστο της τιμής περίπου στα 500Hz όπου χαρακτηρίζεται το σφύριγμα, ως προειδοποιητικό σήμα της αποικίας, υποδηλώνοντας ενόχληση.

Το σήμα όμως που υπερिशύει κυμαίνεται περίπου στα 250Hz~300Hz το οποίο προέρχεται από τις συλλέκτριες και αναφέρεται στην ύπαρξη πολύτιμης πηγής τροφής. Αυτό σημαίνει πως το σμήνος με το προειδοποιητικό σήμα και τις απαραίτητες ενέργειες που ακολούθησαν κατάφεραν να προστατεύσουν την κυψέλη.



Εικόνα 114 : Ηχογράφηση από επίθεση μεγάλης αράχνης



Εικόνα 115 : Επίθεση στην κυψέλη στο πεδίο της συχνότητας

Αναφέρθηκαν τρεις σημαντικές περιπτώσεις στις οποίες μια κυψέλη και ο πληθυσμός της καλείται να αντιμετωπίσει. Στο παράρτημα του κειμένου υπάρχουν περισσότερες περιπτώσεις στις οποίες αναγράφονται οι συνθήκες κατά τις οποίες ηχογραφήθηκαν και χρήζουν μελέτης και σχολιασμού.

Κεφάλαιο 5

Σχόλια, Συμπεράσματα και Προτάσεις για Μελλοντική Εξέλιξη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής ήταν η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας για την επίβλεψη μελισσοκομικής μονάδας, απαρτιζόμενης από διατάξεις συλλογής και επεξεργασίας αισθητηριακής πληροφορίας και κατάλληλο λογισμικό διαχείρισης των δεδομένων της μονάδας σε Cloud σύστημα. Συνολικά, η πλατφόρμα που αναπτύχθηκε ικανοποιεί πλήρως τις προδιαγραφές που είχαν τεθεί προκαταρκτικά, και χαρακτηρίζεται από την αποτελεσματική, εύχρηστη και αξιόπιστη λειτουργία, σε συνδυασμό με την πολύ ικανοποιητική ενεργειακή αυτονομία, που αποτελεί σημαντική προϋπόθεση για συστήματα αυτού του τύπου.

Στις επόμενες ενότητες του παρόντος κεφαλαίου παρουσιάζονται ειδικότερα σχόλια και συμπεράσματα, καθώς και μια σειρά από προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις του συστήματος.

5.1 Σχόλια και Συμπεράσματα

Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από την παρούσα πειραματική διάταξη και τις ηχογραφήσεις υπό πραγματικές συνθήκες είναι η συνολική αξιοπιστία της κατασκευής, η χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, και η επιβεβαίωση των θεωρητικών ηχητικών μετρήσεων της βιβλιογραφίας.

Πιο συγκεκριμένα, κατά το πρώτο στάδιο της πτυχιακής έγινε μελέτη για τον τρόπο μετάδοσης των δεδομένων μεταξύ των υποσταθμών όπως και της κεντρικής βάσης με το Cloud σύστημα. Έπειτα από πολλές δοκιμές χρησιμοποιήθηκε το NRF24L01 το οποίο έχει την ικανότητα μετάδοσης πληροφοριών σε μεγαλύτερες αποστάσεις (έως χίλια μέτρα σε ανοιχτό χώρο) με χαμηλότερο θόρυβο λόγω των ενσωματωμένων κυκλωμάτων που διαθέτει. Η απαραίτητη προσθήκη στο σύστημα ήταν ο σταθεροποιητής τάσης του ασύρματου Module για την ομαλή αποστολή δεδομένων χωρίς απώλειες πακέτων. Ο λόγος χρήσης του επιπρόσθετου αυτού συστήματος ήταν πως η παροχή απαραίτητης ενέργειας προέρχεται από μπαταρίες και όχι από τροφοδοτικό.

Στο στάδιο της επικοινωνίας με τον παγκόσμιο ιστό θεωρήθηκε μοναδική επιλογή το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, λόγω της μεγάλης έκτασης κάλυψης που προσφέρει στον Ελλαδικό χώρο (αλλά και διεθνώς). Έγινε μελέτη των

διαθέσιμων Module και επιλέχθηκε το SIM800L σε συνδυασμό με κάρτα SIM της Vodafone η οποία είναι η μόνη που εξακολουθεί να υποστηρίζει 2G δίκτυο. Η παραπάνω επιλογή οφείλεται επίσης στο μέγεθος και στην πληθώρα βοηθητικών συστημάτων που διαθέτει το Module όπως software reset, low consumption mode και embedded charger.

Ολοκληρώνοντας την επικοινωνία των υποσταθμών με τον κεντρικό σταθμό έγινε μελέτη του τρόπου αποστολής των δεδομένων στο διαδίκτυο. Ο αποδοτικότερος τρόπος δεν ήταν ο συνήθης κατά τον οποίο ένα σύστημα αιτείται σύνδεση σε server για μεταφορά αρχείων αλλά η αποστολή τους με στιγμιαία σύνδεση σε ειδικά διαμορφωμένη ιστοσελίδα. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η εξοικονόμηση χρόνου και η μεγαλύτερη αξιοπιστία καθώς δεν είναι απαραίτητη η ολοκλήρωση της φόρτωσης της σελίδας. Χρησιμοποιώντας ως σχόλια τα δεδομένα στο URL της σελίδας πρωταρχικός ρόλος της είναι να αποσπάσει τις πληροφορίες που περιέχονται στην διεύθυνση αυτή ακόμη και αν αποτύχει η φόρτωση λόγω μεγάλου όγκου πληροφοριών ή λόγω έλλειψης σήματος. Η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται άμεσα και η παρουσίαση τους μπορεί να γίνει σε δεύτερο χρόνο.

Σε ότι αφορά την ιστοσελίδα υπήρξαν δυο πρότυπα. Στην αρχή δημιουργήθηκε μια απλή σελίδα σε γλώσσα HTML με στοιχεία PHP παρέχοντας τις βασικές λειτουργίες αποθήκευσης και απεικόνισης δεδομένων. Σε δεύτερο χρόνο, μελετώντας τις ανάγκες των σύγχρονων μελισσοκόμων, προέκυψε η ανάγκη βελτίωσης της ιστοσελίδας, η οποία τελικά κατασκευάστηκε με πρότυπο ένα control panel μιας σύγχρονης επιχείρησης το οποίο παρέχει καταχώρηση προσωπικών δεδομένων, δημιουργία αναφορών και εξαγωγή αρχείων excel για την αρχειοθέτηση του ιστορικού.

Στο τελικό στάδιο της παρούσας πτυχιακής επιβεβαιώθηκε η ακουστική ανάλυση στο εσωτερικό της κυψέλης χρησιμοποιώντας πραγματικά δείγματα σε σχέση με τα θεωρητικά της βιβλιογραφίας. Έγινε ηχογράφηση υπό διαφορετικές συνθήκες και σε έναν σημαντικό αριθμό κυψελών, ώστε να υπάρχουν επαρκή δεδομένα.

5.2 Μελλοντική Εξέλιξη

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται μια σειρά από προτεινόμενες βελτιώσεις και επεκτάσεις για το συνολικό σύστημα και το επιμέρους υλικό (hardware) και λογισμικό (software) αυτού.

Ειδικότερα, βελτιώσεις μπορούν να γίνουν στη συγκόλληση των κοιλοδοκών που απαρτίζουν τη βάση έδρασης της κυψέλης, καθώς στο αρχικό πρωτότυπο οι συγκολλήσεις έγιναν από μη-εξειδικευμένο προσωπικό και παρουσιάζουν μια σειρά από μικρό-ατέλειες που τις καθιστούν ευάλωτες σε φθορά.

Μία άλλη προτεινόμενη βελτίωση είναι υλοποίηση νέων πλακετών που θα ενσωματώνουν όλα τα επιμέρους ηλεκτρονικά υποσυστήματα σε ένα ενιαίο

PCB, με στόχο τον περιορισμό των διαστάσεων, τη μείωση του κόστους αλλά και την αύξηση της αξιοπιστίας των ηλεκτρονικών. Παράλληλα, θα μπορούσε να διερευνηθεί η προοπτική χρήσης μικροελεγκτών με μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ και περισσότερη μνήμη, προκειμένου να υποστηριχθούν καλύτερα πιο προηγμένες λειτουργίες όπως η επιτόπου ανάλυση των ηχητικών σημάτων που λαμβάνονται από την κυψέλη.

Σε ότι αφορά τη μετάδοση των δεδομένων στο διαδίκτυο, μπορούν να ερευνηθούν νέοι τρόποι και νέα πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία αναπτύσσονται συνεχώς και μπορούν να καταστήσουν ένα τέτοιο σύστημα ενεργειακά πιο αποδοτικό. Παράλληλα, θα μπορεί να μελετηθεί και να υλοποιηθεί ένα ανεξάρτητο πληροφοριακό σύστημα για την αποθήκευση των δεδομένων χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση γνωστών εταιρειών Web Hosting.

Τέλος, η παρούσα κατασκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μελλοντικούς φοιτητές προπτυχιακού και μεταπτυχιακού επιπέδου για μελέτη του τρόπου λήψης, μετάδοσης και ανάλυσης δεδομένων αλλά και ως οδηγός για την περαιτέρω βελτίωση του συστήματος.

Βιβλιογραφία

- [1] Evans, J., & Berrett, S., *The complete guide to beekeeping*, Unwin Hyman, 1989.
- [2] Paparella, Michael M, *The Journal of Laryngology & Otology*, 1964.
- [3] Blackiston, H., *Beekeeping for dummies*, John Wiley & Sons, 2016.
- [4] Eltz, T., Whitten, W. M., Roubik, D. W., & Linsenmair, K. E, *Fragrance collection, storage, and accumulation by individual male orchid bees*, *Journal of Chemical Ecology*, 1999.
- [5] Delaplane, K. S., Mayer, D. R., & Mayer, D. F., *Crop pollination by bees*, Cabi, 2000.
- [6] A. George, *Beekeeping, A guide to the Better Understanding of Bees Their Diseases and the Chemistry of Beekeeping*, Biotech Books, 2004.
- [7] Bromenshenk, J. J., Henderson, C. B., Seccomb, R. A., Welch, P. M., Debnam, S. E., & Firth, D. R., *Bees as biosensors: chemosensory ability, honey bee monitoring systems, and emergent sensor technologies derived from the pollinator syndrome.*, *Biosensors*, 2015.
- [8] Murphy, F. E., Popovici, E., Whelan, P., & Magno, M. , «Development of an heterogeneous wireless sensor network for instrumentation and analysis of beehives,» *In Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, pp. pp. 346-351, May 2015.
- [9] Monk, S., *Programming Arduino*, Tab Electronics, 2012.
- [10] Freeoda, «Free Webhosting,» 2015-2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: www.freewebhosting.com. [Πρόσβαση 2018].
- [11] Michelsen, A., Kirchner, W.H., Andersen, B.B., Lindauer, M., «The tooting and quacking vibration signals of honeybee queens,» σε *Journal of Comparative Physiology*, 1986, pp. 605-611.
- [12] Schneider, S.S., Painter-Kurt, S., Degrandi-Hoffman, G., «The role of the vibration signal during queen competition in colonies of the honeybee,» σε *Animal Behaviour*, 2001, pp. 1173-1180.
- [13] Bencsik, M., Bencsik, J., Baxter, M., Lucian, A., Romieu, J., & Millet, M., *Identification of the honey bee swarming process by analysing the time course of hive vibrations*, *Computers and electronics in agriculture*, 2011.
- [14] Ferrari, S., Silva, M., Guarino, M., & Berckmans, D., *Monitoring of swarming sounds in bee hives for early detection of the swarming period.*, *Computers and electronics in*

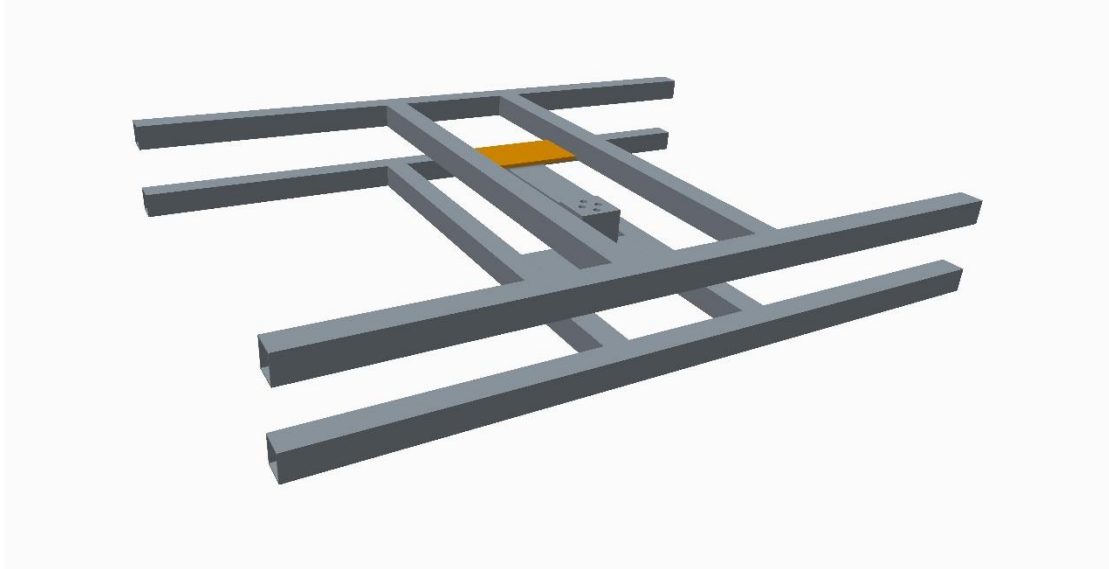
- agriculture, 2008.
- [15] Ganchev, T., Potamitis, I., & Fakotakis, N., Acoustic monitoring of singing insects. In Acoustics, Speech and Signal Processing., ICASSP, 2007.
- [16] Kirchner, W. H., Acoustical communication in honeybees., *Apidologie*, 1993.
- [17] Wenner, A. M., Sound production during the waggle dance of the honey bee., 1962.
- [18] Dodge, C., T. A Jerse, Computer Music : Synthesis, Composition and performance, New York: Schirmer, 1997.
- [19] Lyons, R. G., Understanding Digital Signal Processing, NJ, USA : Prentice Hall, 2010.
- [20] Pohlmann, K., Principles of digital audio, New York: McGraw-Hill/TAB Electronics, 2010.
- [21] Cox-Foster, «A metagenomic survey of microbes in honey bee colony collapse disorder.,» *Science* 318(5848), pp. 283-287, 2007.
- [22] M. Wikelski, «Large-range movements of neotropical orchid bees observed via radio telemetry.,» *PLoS one* 5.5, p. e10738, 2007.
- [23] Campbell, J., Mummert, L., & Sukthankar, R., Video monitoring of honey bee colonies at the hive entrance., ICPR, 2008.
- [24] Chiron, G., Gomez-Krämer, P., & Ménard, M., Outdoor 3D Acquisition System for Small and Fast Targets. Application to honeybee monitoring at the beehive entrance., GEODIFF, 2013.
- [25] Fitzgerald, D. W., Murphy, F. E., Wright, W. M., Whelan, P. M., & Popovici, E. M., Design and development of a smart weighing scale for beehive monitoring., ISSC, 2015.
- [26] Mezquida, D. A., & Martínez, J. L., Short communication. platform for bee-hives monitoring based on sound analysis. a perpetual warehouse for swarm apos; s daily activity, Spanish Journal of Agricultural Research, 2009.
- [27] Qandour, A., Ahmad, I., Habibi, D., & Leppard, M., Remote beehive monitoring using acoustic signals., 2014.
- [28] Rangel, J., & Seeley, T. D., The signals initiating the mass exodus of a honeybee swarm from its nest., Science Direct, 2008.
- [29] Wenner, Adrian M., «Communication with queen honey bees by substrate sound.,» *Science*, pp. 446-448, 19 10 1962.
- [30] Struye, M. H., Mortier, H. J., Arnold, G., Miniggio, C., & Borneck, R., Microprocessor-controlled monitoring of honeybee flight activity at the hive entrance., *Apidologie*, 1994.

- [31] Stalidzans, E., & Berzonis, A., Temperature changes above the upper hive body reveal the annual development periods of honey bee colonies., Computers and electronics in agriculture, 2013.
- [32] Steiner, R, Bees, SteinerBooks, 1988.
- [33] Wenner, Adrian M, «Sound communication in honeybees,» Scientific American 210, 1964.
- [34] IDE, P., «JetBrains PhpStorm,» 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.jetbrains.com/>. [Πρόσβαση 2017].
- [35] J. J. Bromenshenk, «Honey bee acoustic recording and analysis system for monitoring hive health». U.S Ευρεσιτεχνία 7,549,907, 23 June 2009.

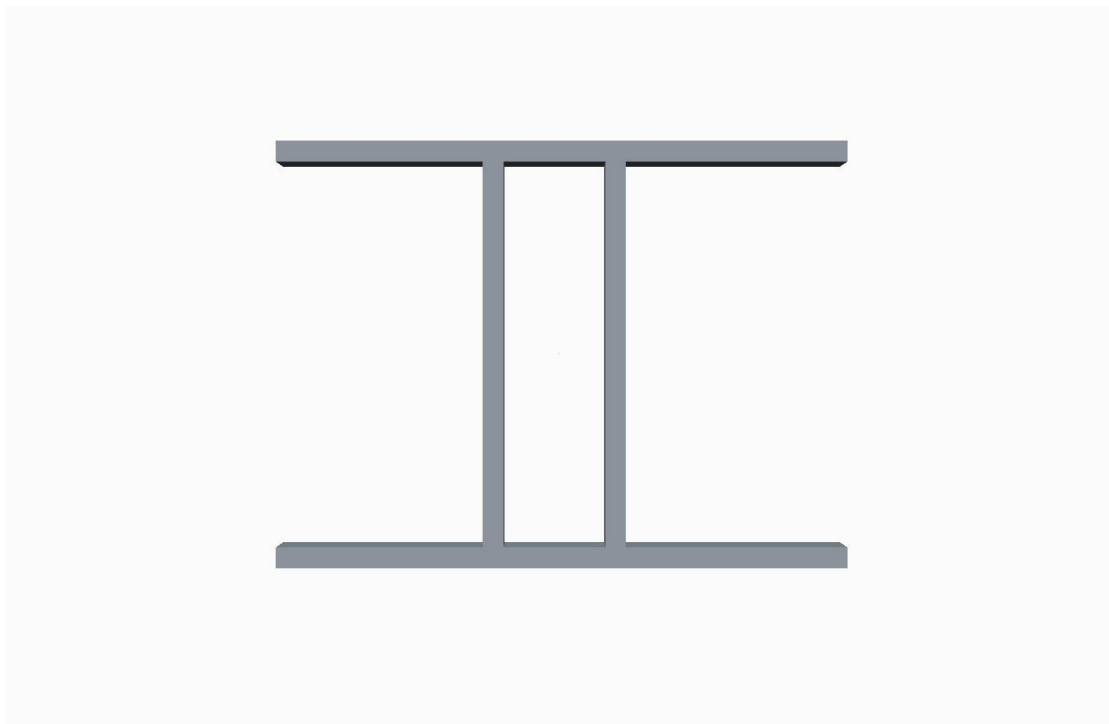
Παράρτημα

Α. Κατασκευαστικά-Τεχνικά Στοιχεία

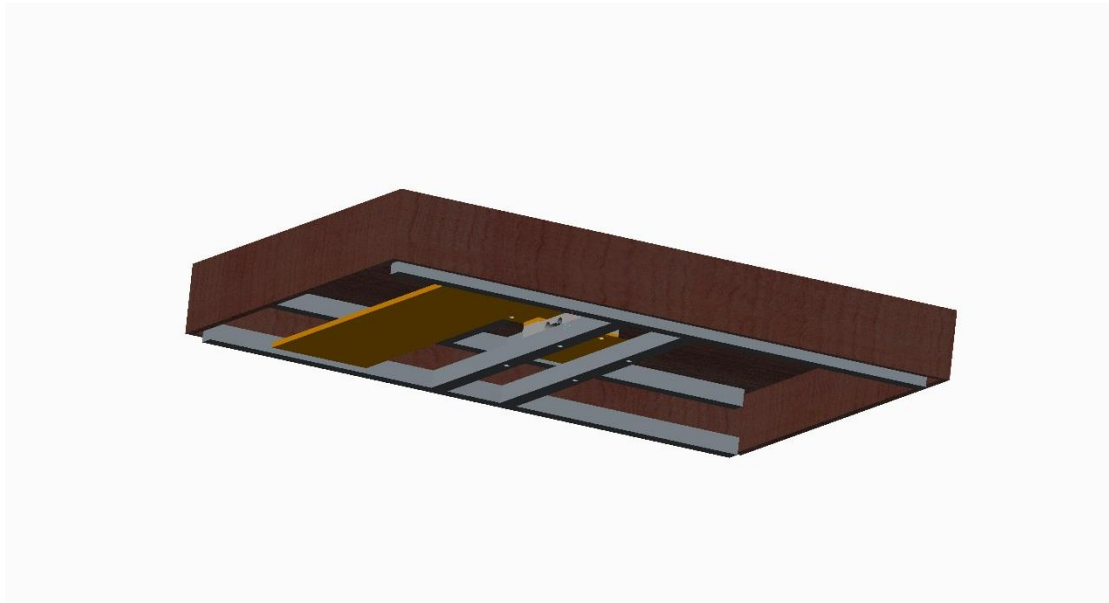
Α1. Τρισδιάστατη σχεδίαση της κατασκευής



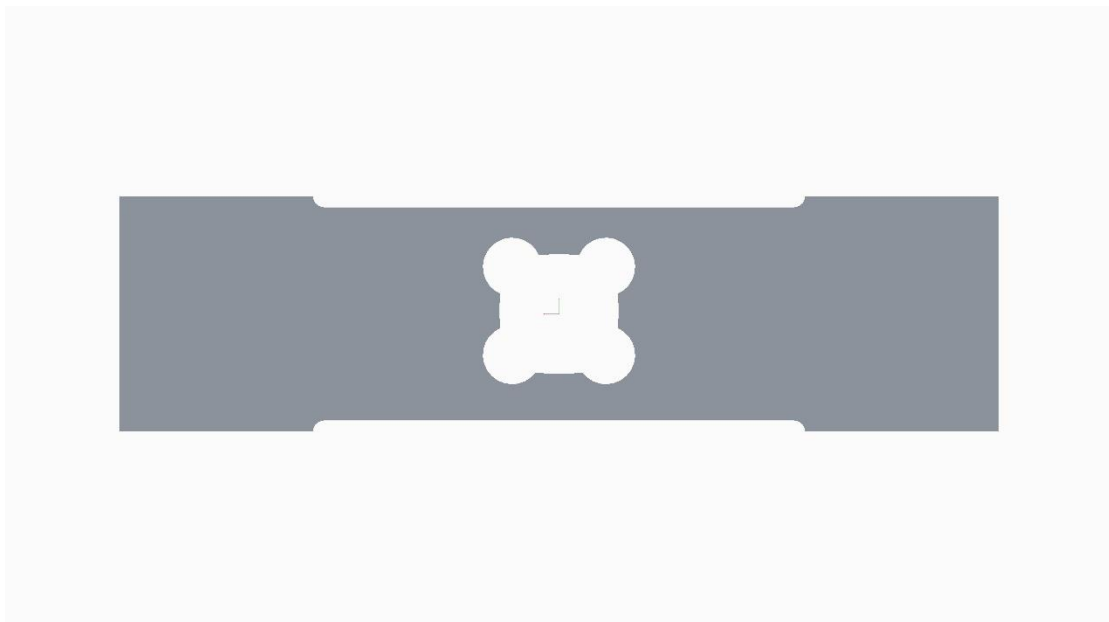
Εικόνα 116 : Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσης



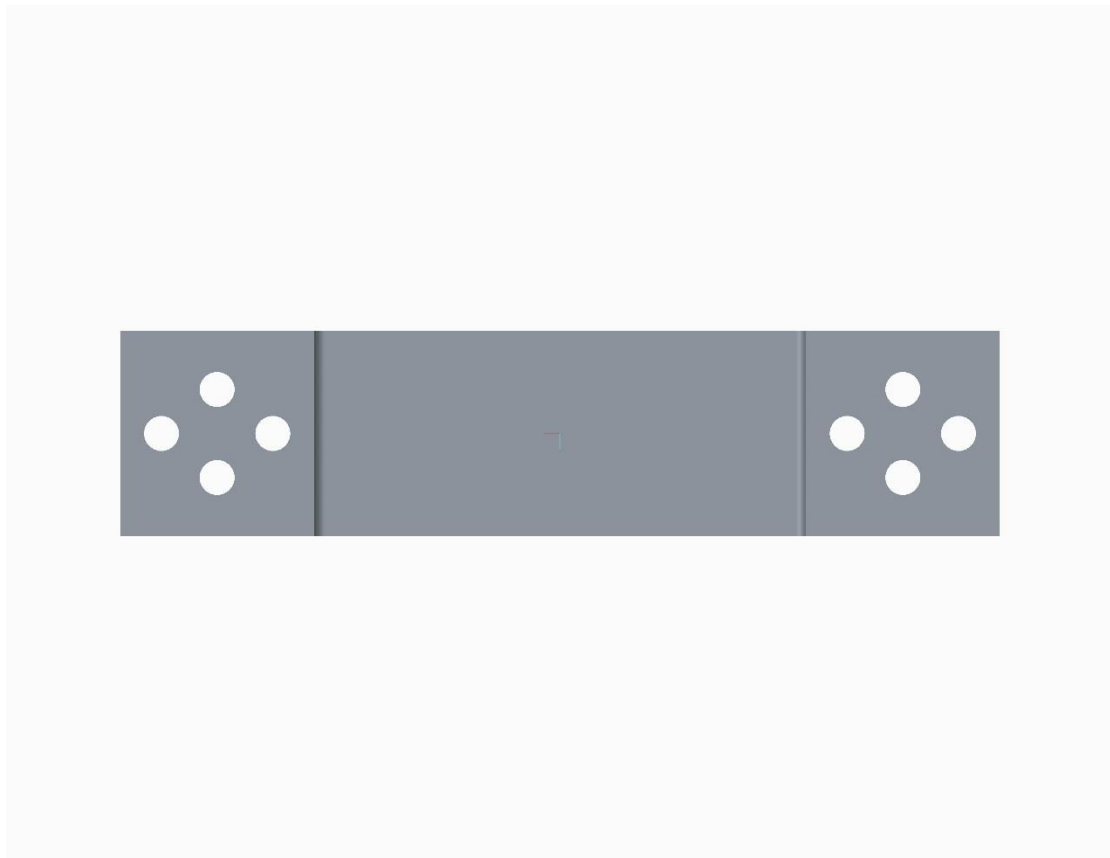
Εικόνα 117 : Απεικόνιση κάτω μέρους της κατασκευής



Εικόνα 118 : Ολοκληρωμένη απεικόνιση της κατασκευής

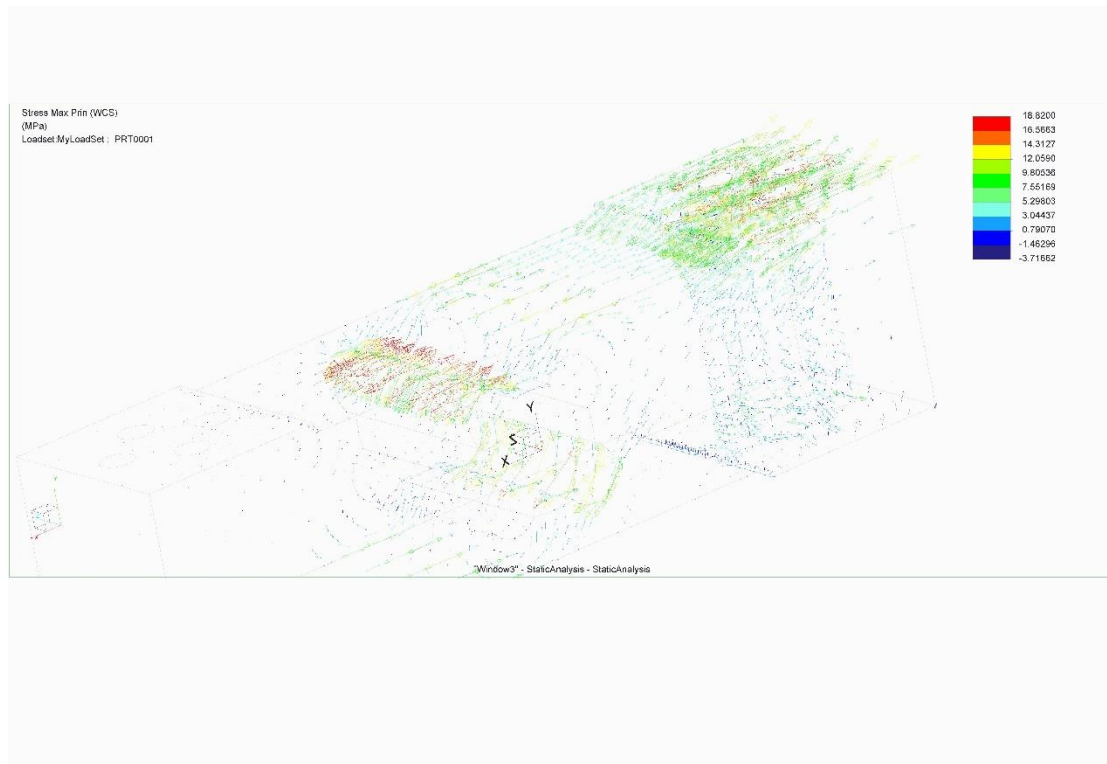


Εικόνα 119 : 3D πλάγια όψη Loadcell

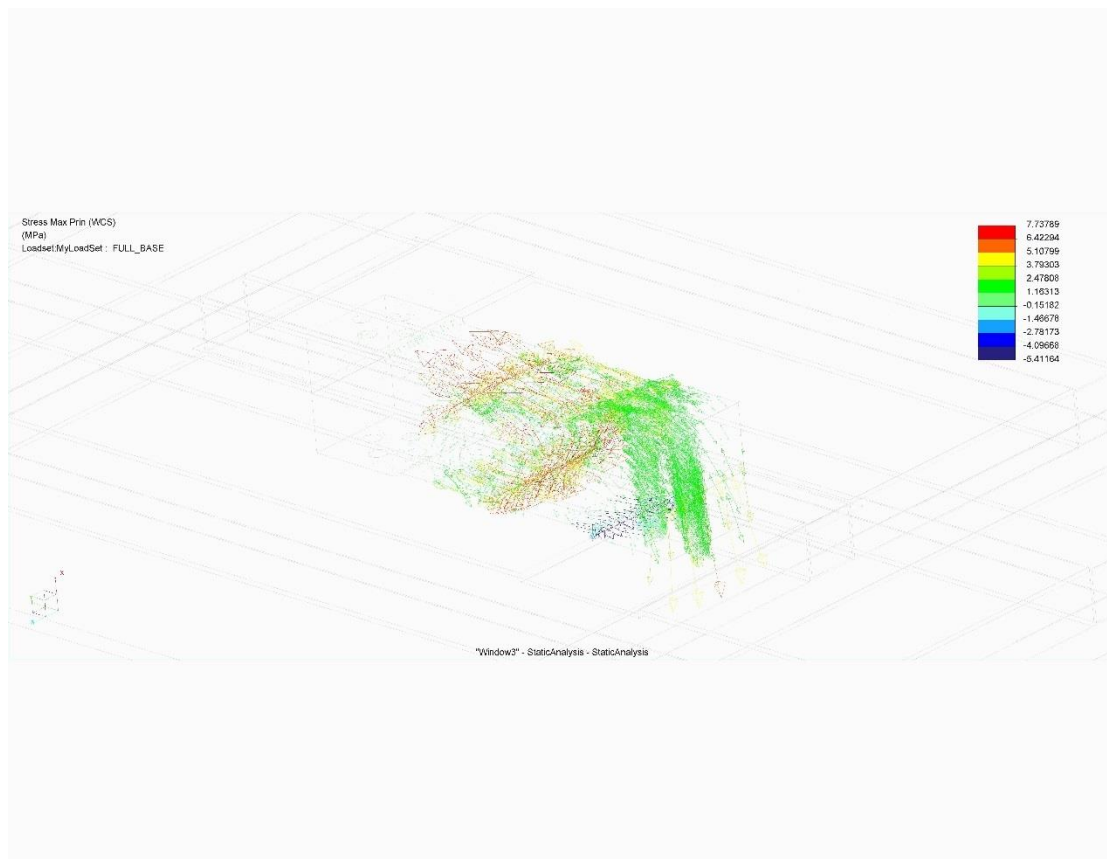


Εικόνα 120 : 3D άνω όψη Loadcell

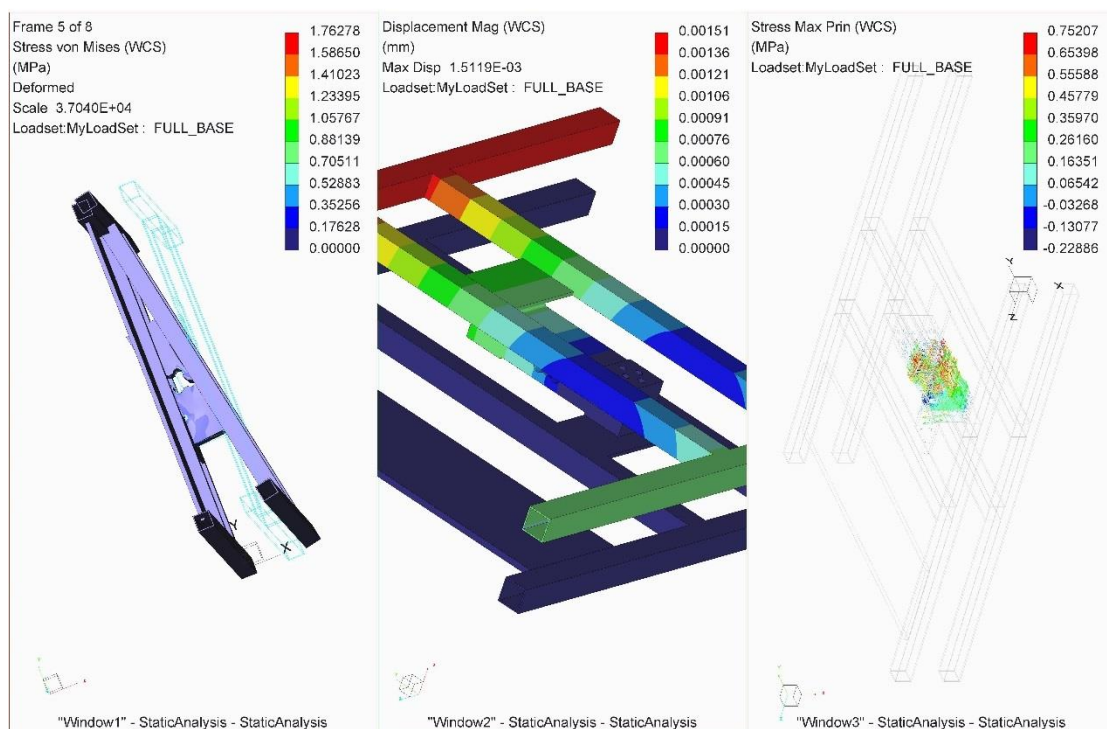
A2. Ανάλυση δυνάμεων στην κατασκευή



Εικόνα 121 : Ανάλυση δυνάμεων που ασκούνται στο Loadcell

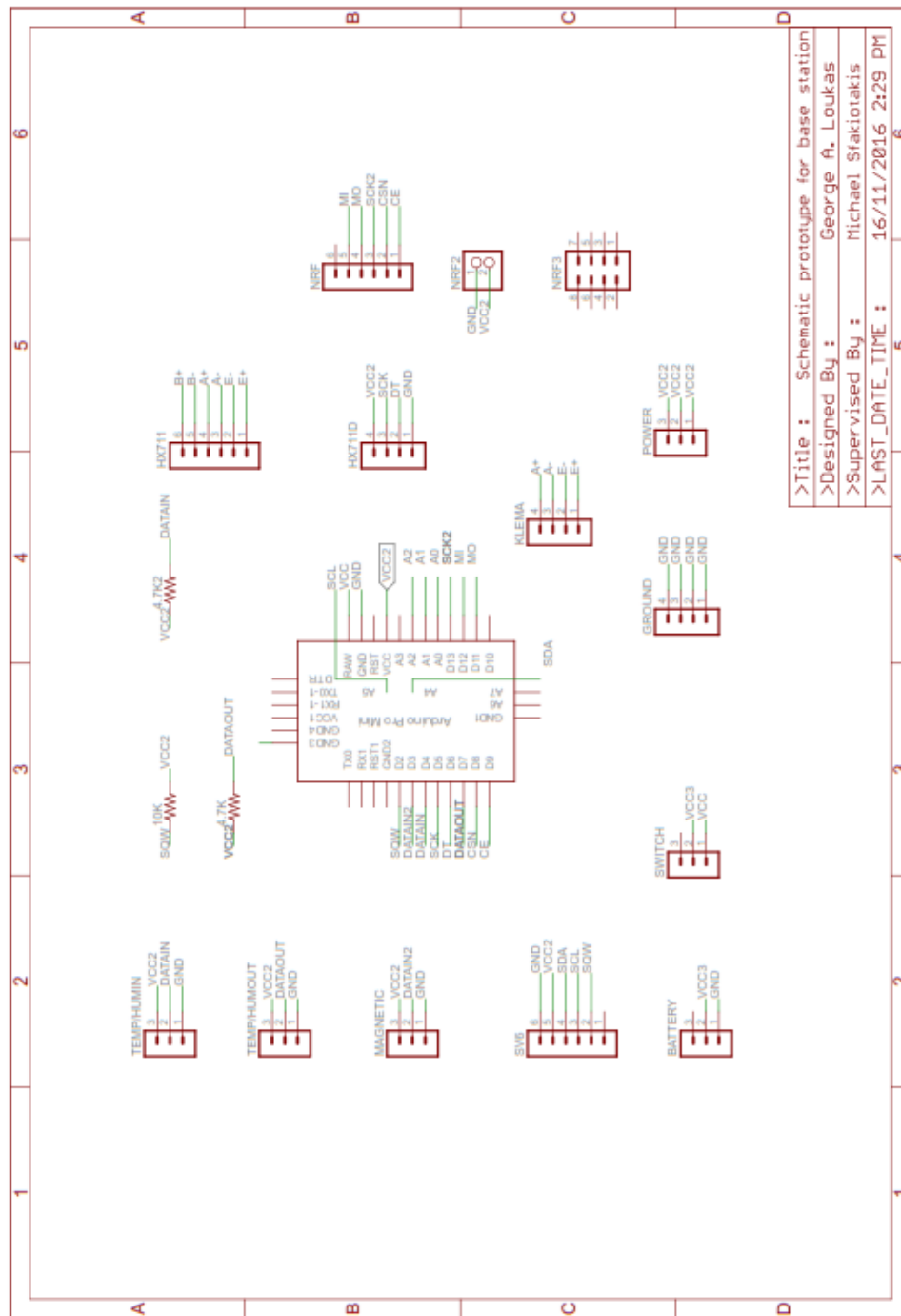


Εικόνα 122 : Ανάλυση δυνάμεων που ασκούνται στην κατασκευή

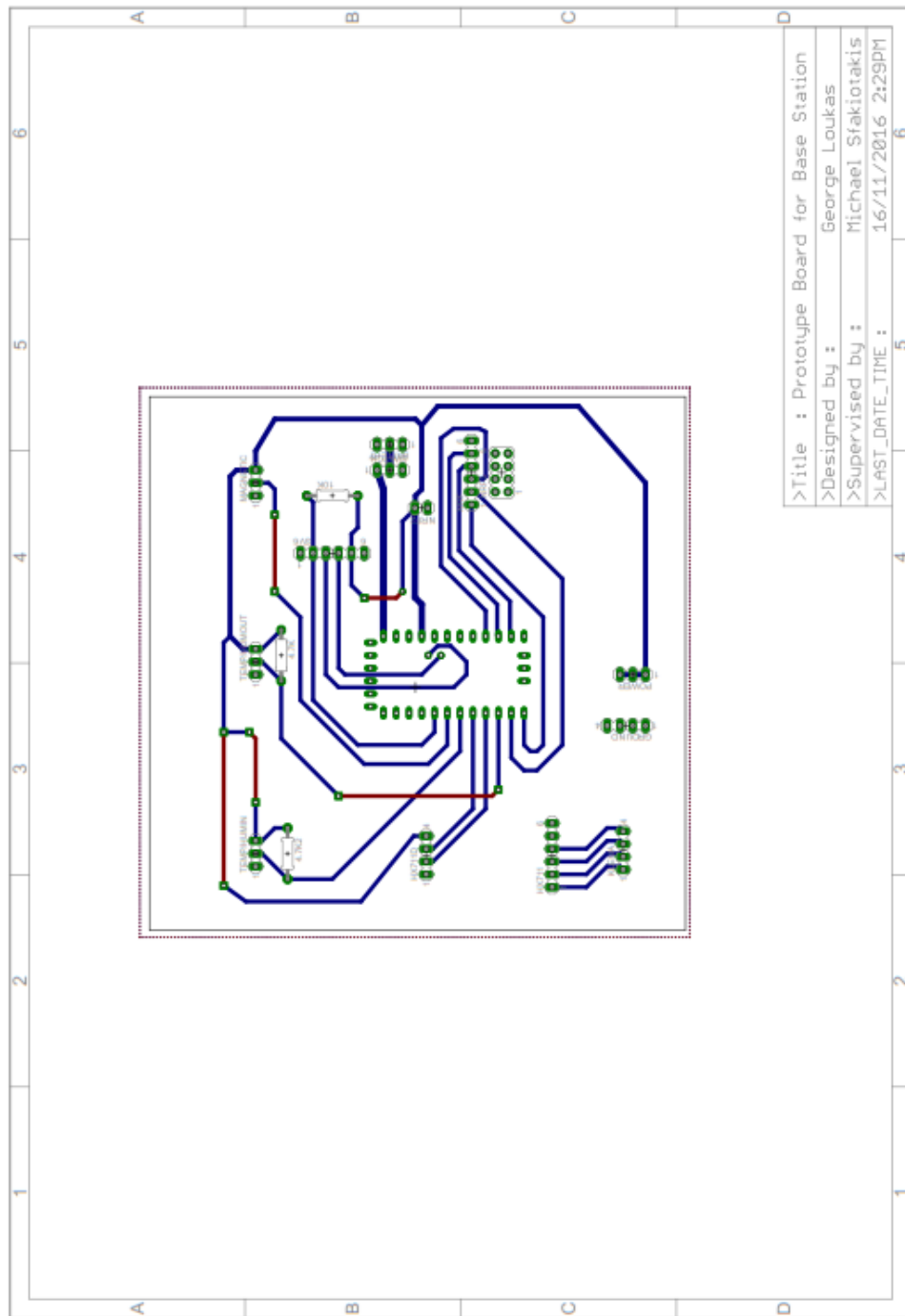


Εικόνα 123 : Μέγιστη παραμόρφωση και ανάλυση δυνάμεων

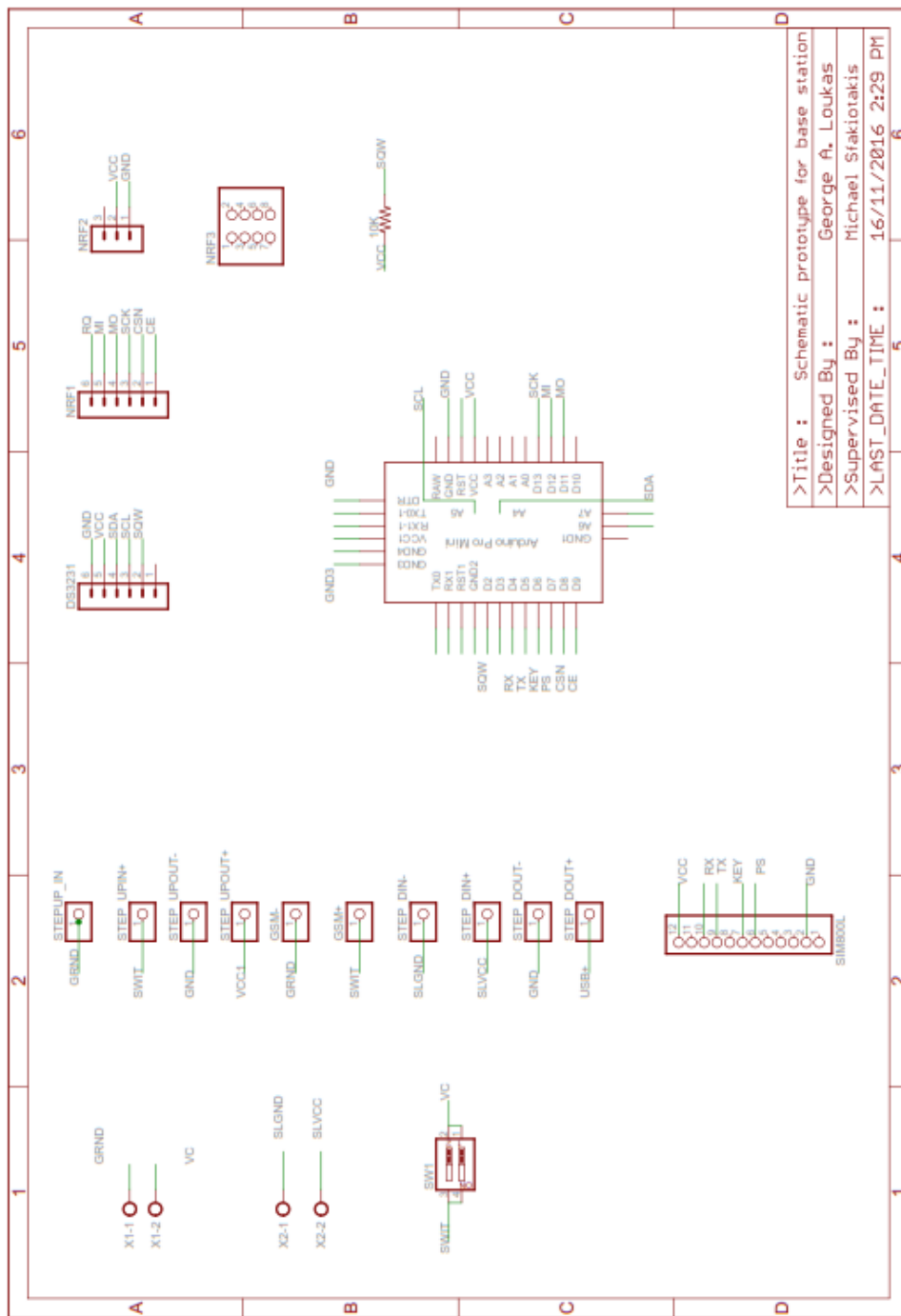
A3. Ηλεκτρονικά κυκλώματα και πλακέτες



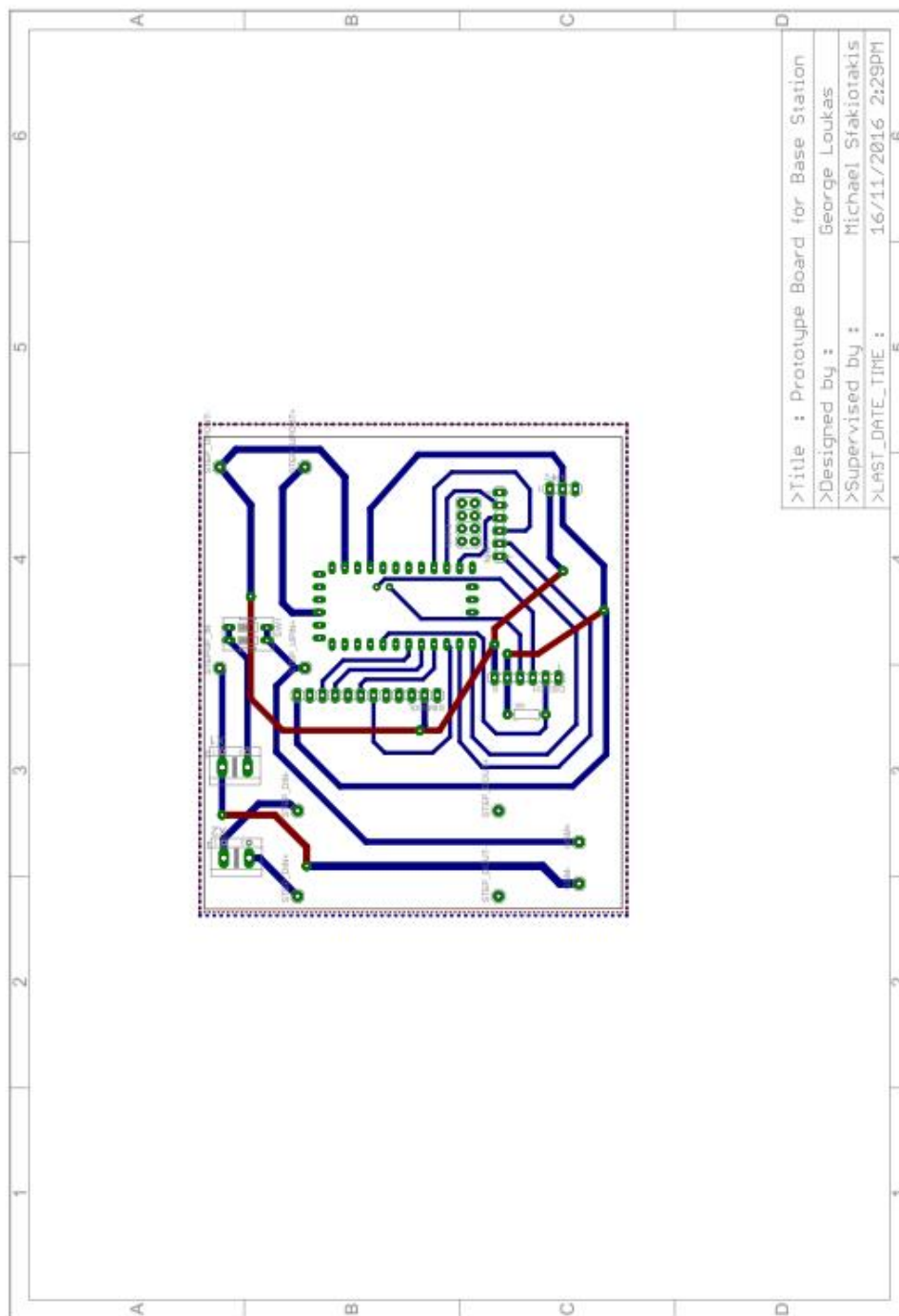
Εικόνα 124 : Σχηματικό πρωτότυπο ηλεκτρονικής πλακέτας σταθμού βάσης



Εικόνα 125 : Πρωτότυπη πλακέτα σταθμού βάσης



Εικόνα 126 : Σχηματικό πρωτότυπο ηλεκτρονικής πλακέτας περιφερειακής μονάδας



Εικόνα 127 : Πρωτότυπη ηλεκτρονική πλακέτα περιφερειακής μονάδας

A4. Datasheet

Type L6E Load Cell



Detailed specifications L6E

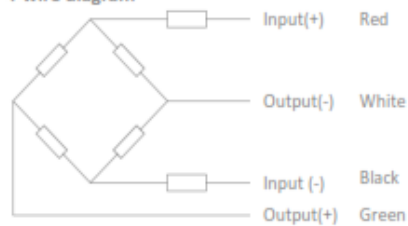
Accuracy class		OIML R60 C3		OIML R60 C4		OIML R60 C5	
Output sensitivity (= FS)	mV/V	2.0 ± 0.2					
Maximum capacity (E _{max})	kg	50, 60, 80, 100	150, 200, 300	50, 60, 80, 100	150, 200, 300	50, 60, 80, 100	150, 200, 300
Max.number of load cell intervals	n _{LC}	3000		4000		5000	
Ratio of min. LC verification interval	Y = E _{max} / V _{min}	10000		15000		20000	
Combined Error	%FS	≤± 0.0230		≤± 0.0175		≤± 0.0140	
Minimum dead load	Of E _{max}	0%					
Safe overload	of E _{max}	150 %					
Ultimate overload	of E _{max}	300 %					
Zero balance	of FS	< ± 2.0 %					
Excitation, recommended voltage	V	5 ~ 12					
Excitation maximum	V	18					
Input resistance	Ω	406 ± 6					
Output resistance	Ω	350 ± 3					
Insulation resistance	MΩ	≥5000 (at 50VDC)					
Compensated temperature	°C	-10 ~ +40					
Operating temperature	°C	-35 ~ +65					
Storage temperature	°C	-40 ~ +70					
Element material		Aluminium					
Ingress Protection (acc. to EN 60529)		IP65					
Recommended torque on fixation	Nm	M6:20					

Wiring

Wiring:

Shielded, 4 conductor cable.
 Cable diameter: Ø5.3mm.
 Standard cable length: 2m.
 Shield not connected to element.
 Cable jacket in PVC.

4-wire diagram



Specifications and dimensions are subject to change without notice and do not constitute any liability whatsoever.

Zemic Europe B.V.
 Leerloolerstraat 8
 4871 EN Etten-Leur
 The Netherlands

Nr. 2018.01 L6E RevB

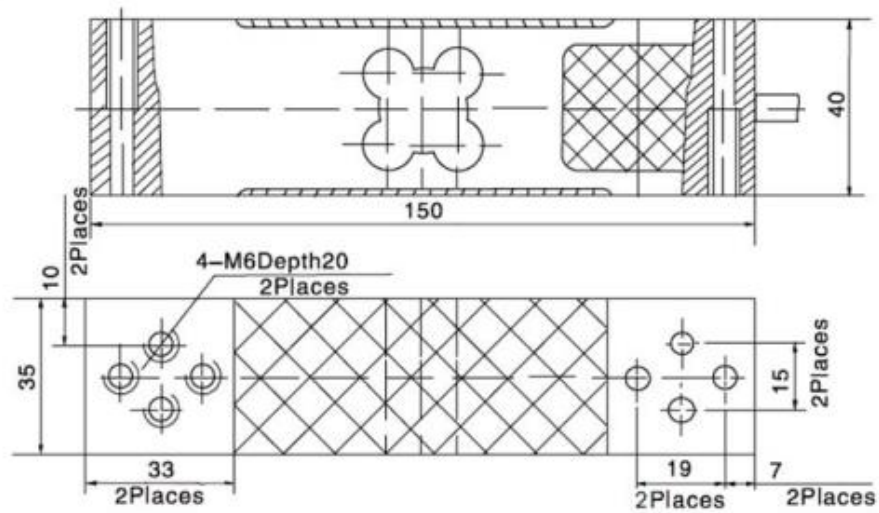
2/3

T: +31 70 50 39480
 F: +31 70 50 39481
 info@zemic.nl
www.zemic.nl

Type L6E Load Cell



Dimensions in mm



Specifications and dimensions are subject to change without notice and do not constitute any liability whatsoever.

Zemic Europe B.V.
 Leerloolerstraat 8
 4871 EN Etten-Leur
 The Netherlands

Nr. 2018.01 L0E Rev8

3/3

T: +31 70 50 39480
 F: +31 70 50 39481
 info@zemic.nl
www.zemic.nl

1.2 Block diagram

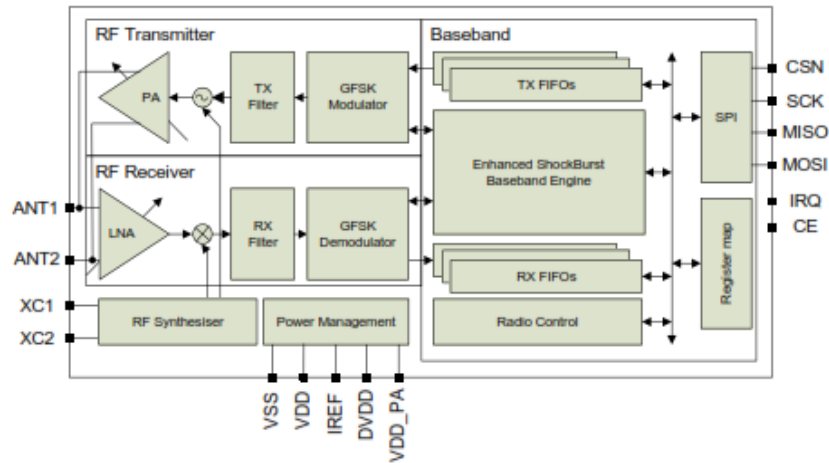


Figure 1. nRF24L01+ block diagram

Reference PCB Board (Single Layer)

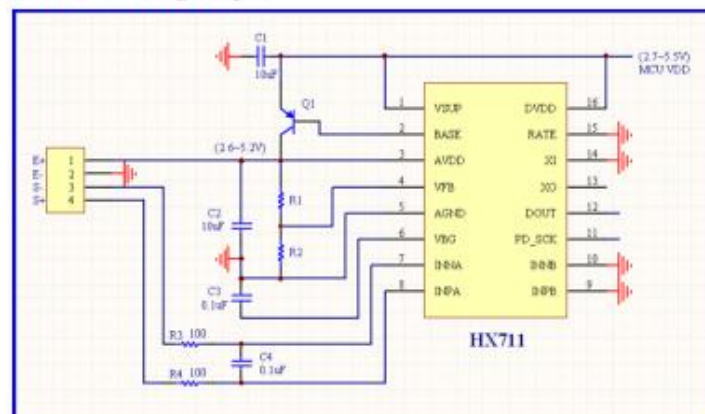
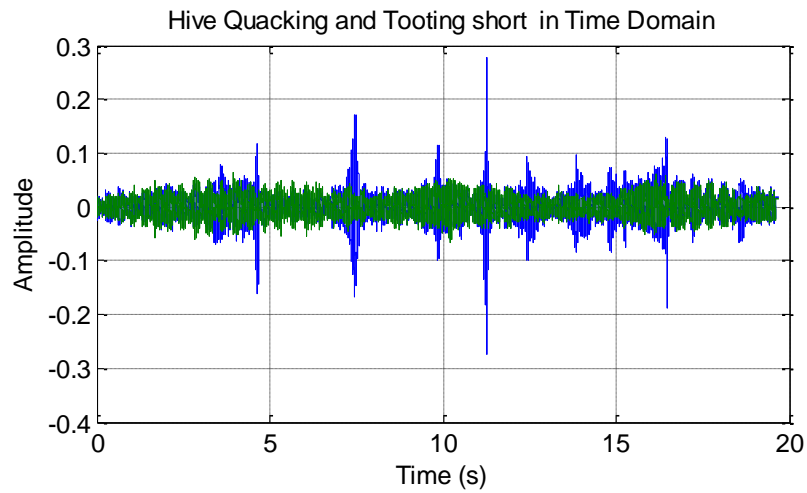
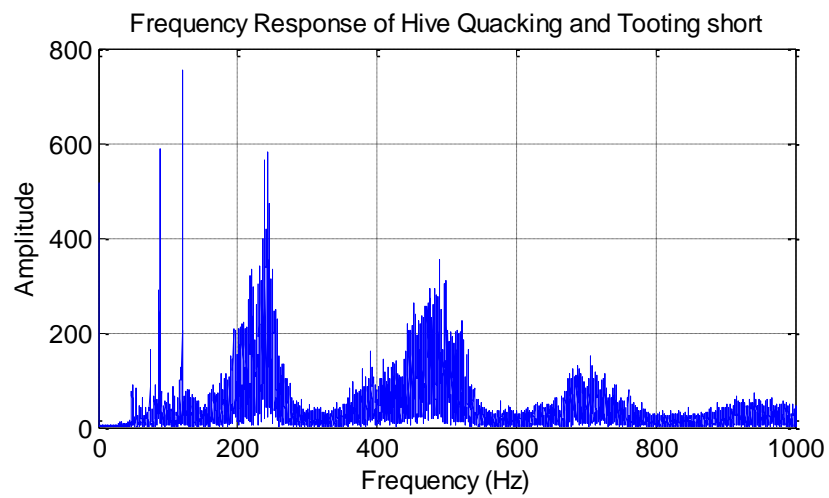


Fig.4 Reference PCB board schematic

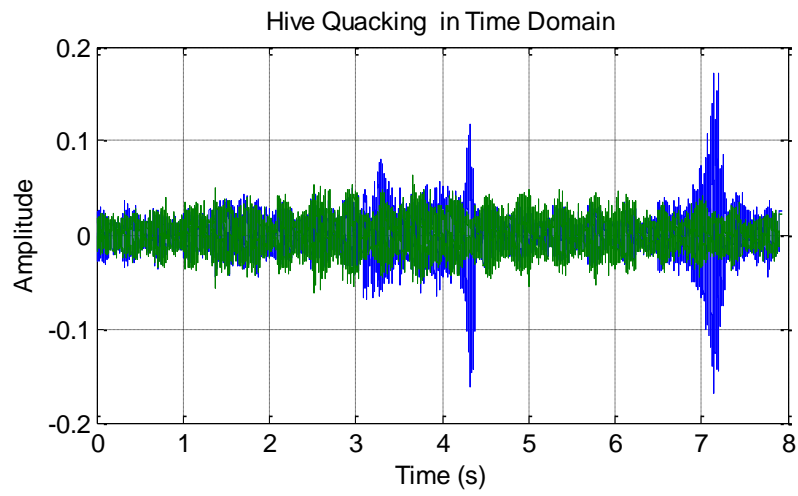
B. Ηχογραφήσεις και Αναλύσεις



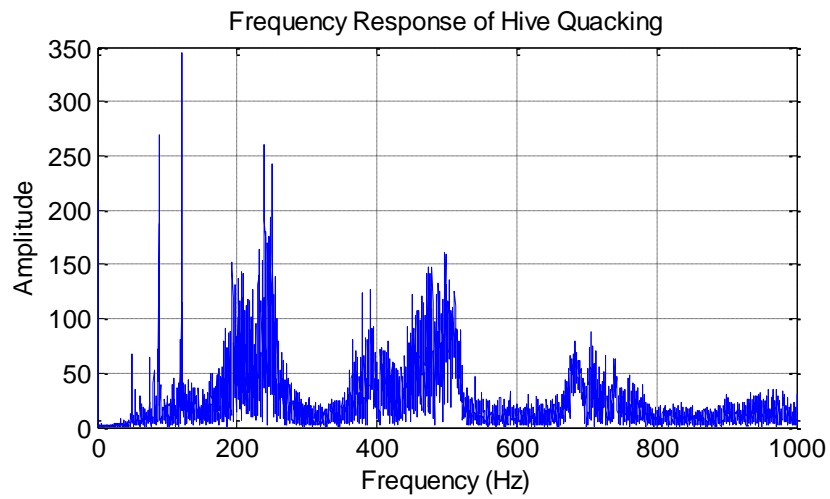
Εικόνα 128 : Quacking στην κυψέλη



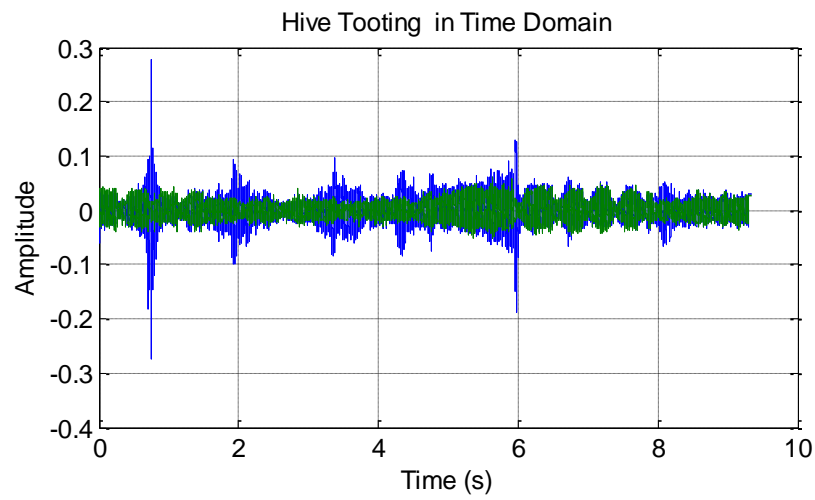
Εικόνα 129 : Quacking στο πεδίο συχνότητας



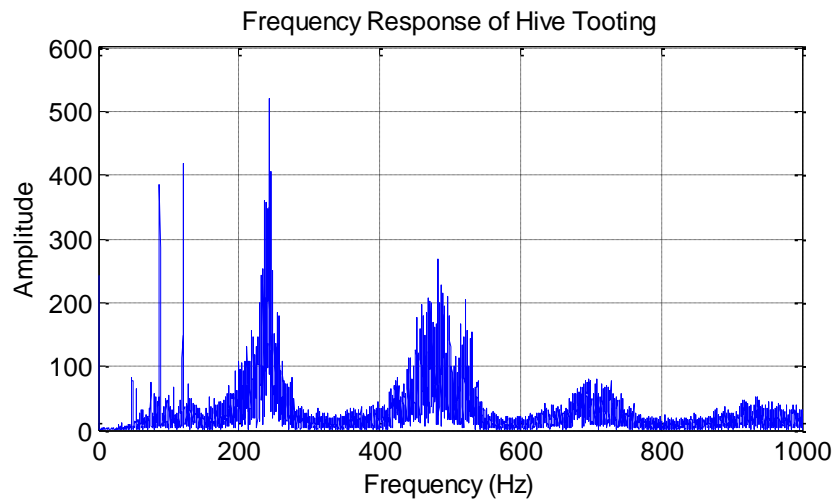
Εικόνα 130 : Quacking στην κυψέλη 2



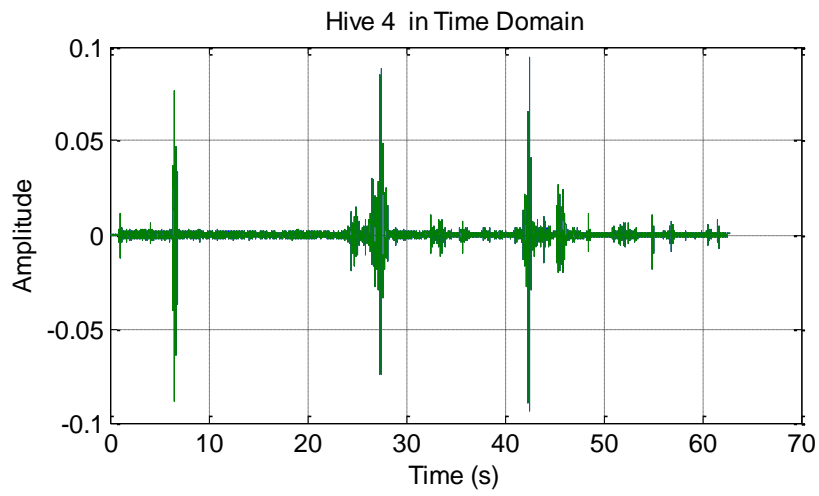
Εικόνα 131 : Quacking στο πεδίο συχνότητας



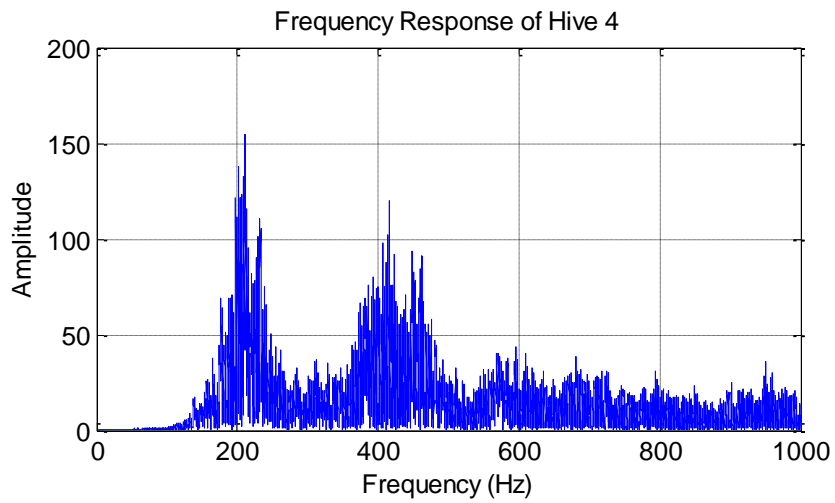
Εικόνα 132 : Tooting στην κυψέλη



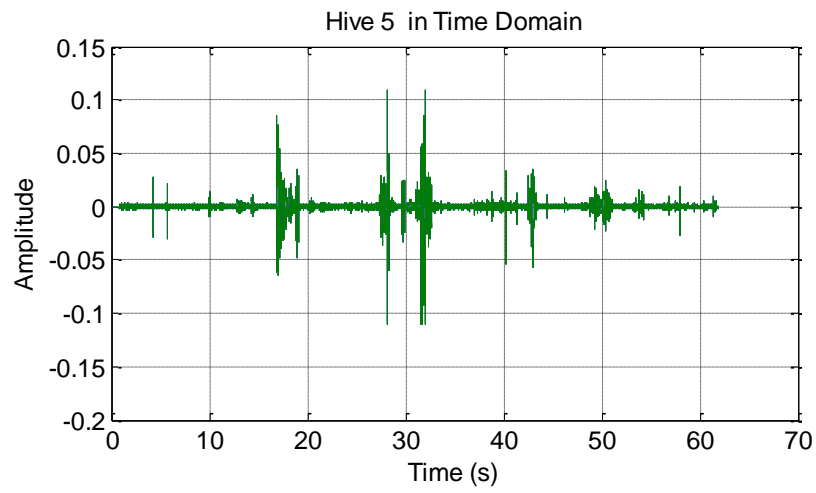
Εικόνα 133 : Tooting στο πεδίο συχνότητας



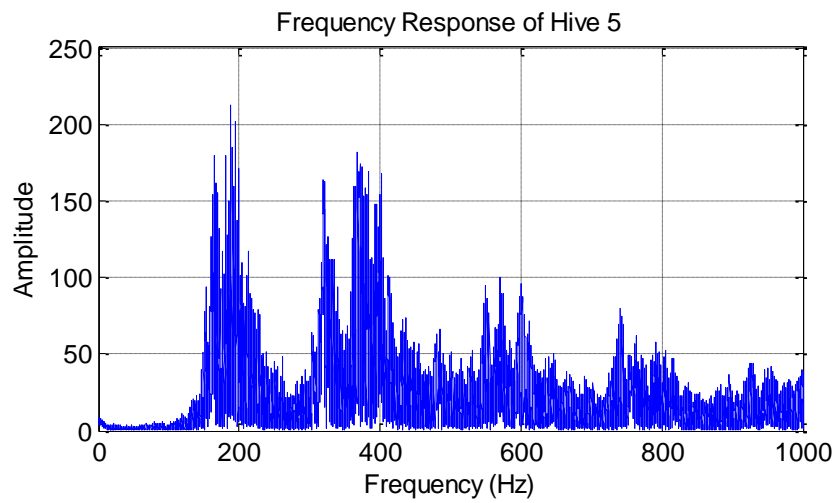
Εικόνα 134 : Σφύριγμα, υποδηλώνει ύπαρξη τροφής



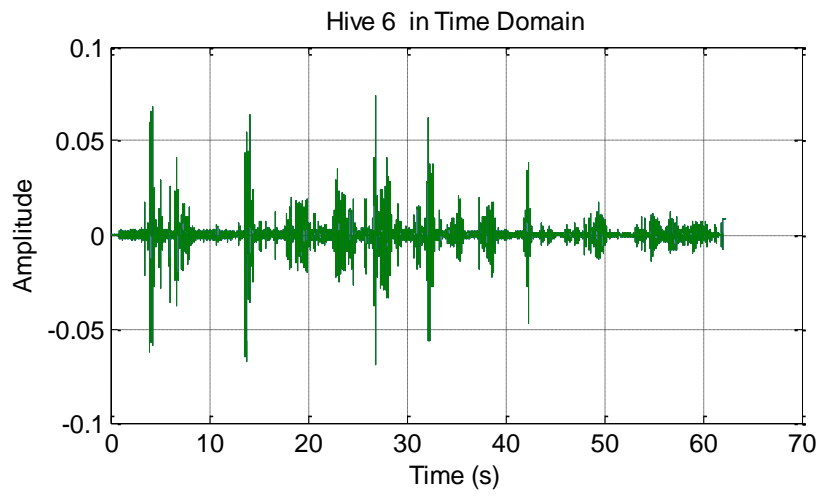
Εικόνα 135 : Ύπαρξη τροφής στο πεδίο της συχνότητας



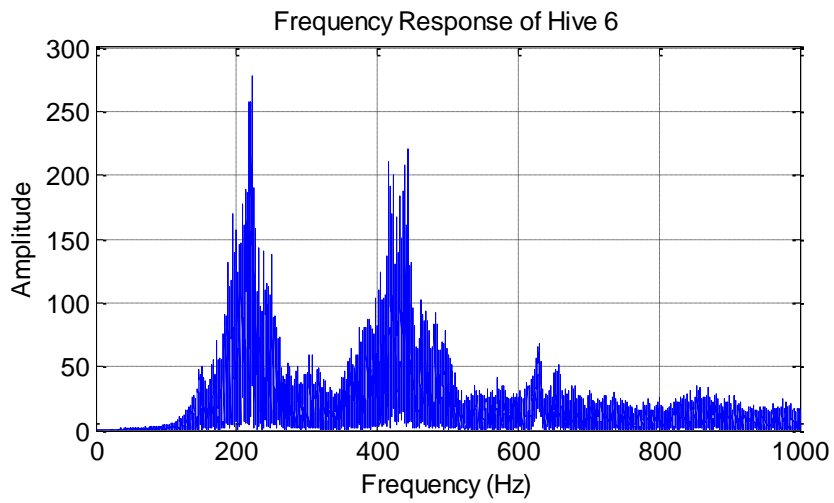
Εικόνα 136 : Σφύριγμα, ύπαρξη τροφής και προειδοποιητικό σήμα



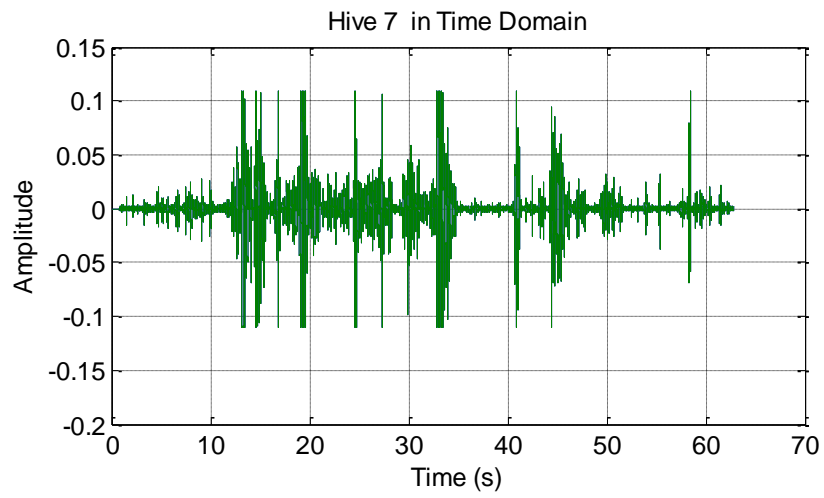
Εικόνα 137 : Ύπαρξη τροφής στο πεδίο της συχνότητας



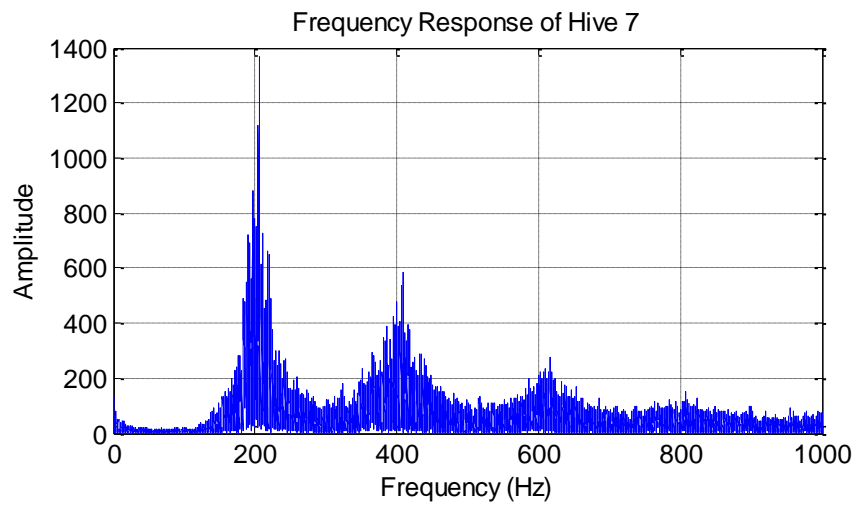
Εικόνα 138 : Εν ώρα τροφής και Προειδοποιητικό Σήμα



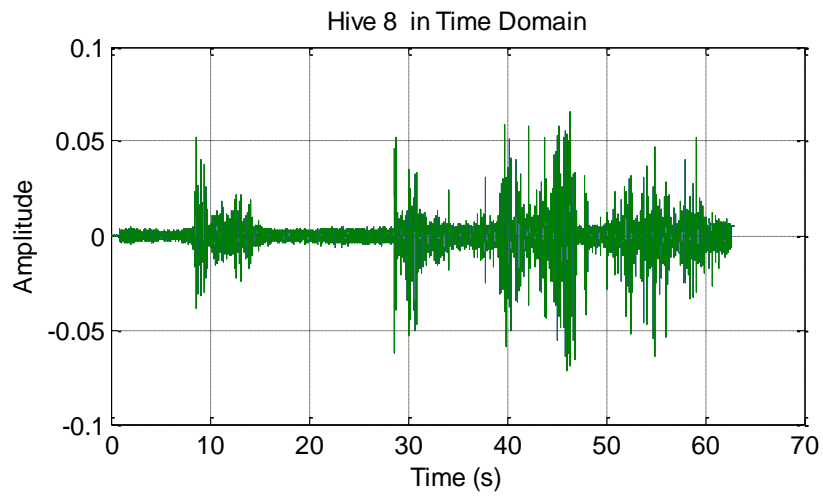
Εικόνα 139 : Εν ώρα τροφής και Προειδοποιητικό σήμα στην συχνότητα



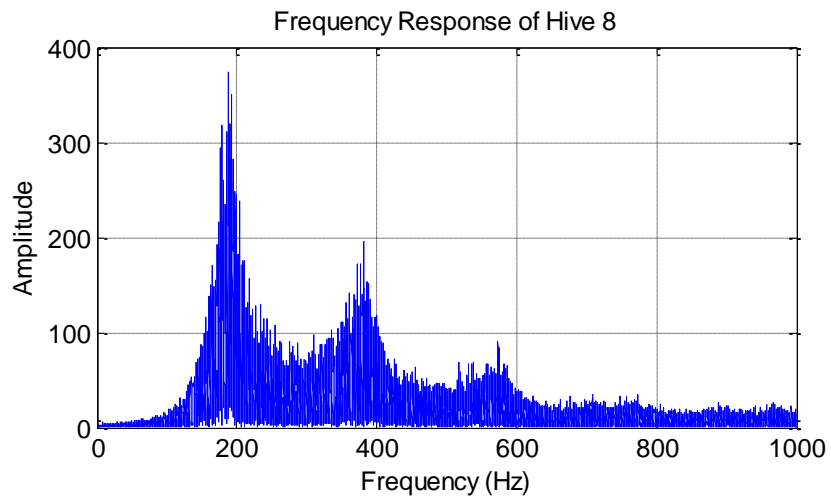
Εικόνα 140 : Εν ώρα τροφής και προειδοποιητικό σήμα



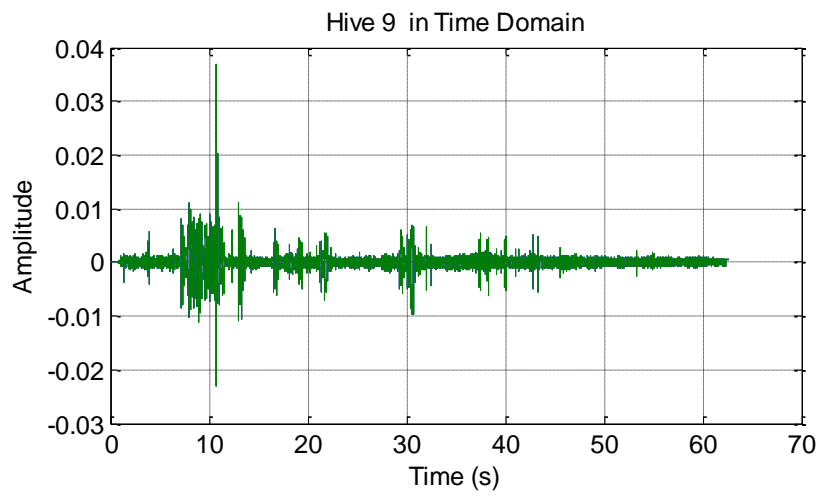
Εικόνα 141 : Εν ώρα τροφής και προειδοποιητικό σήμα



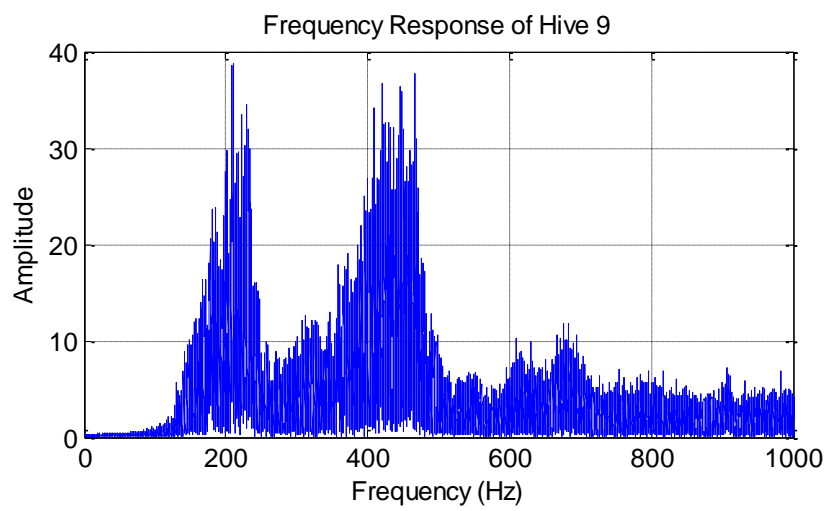
Εικόνα 142 : Ακολουθία παλμών



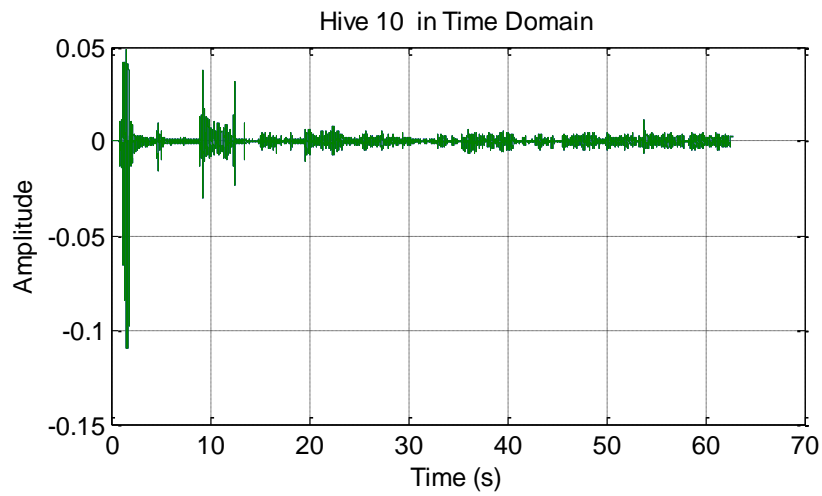
Εικόνα 143 : Υποδηλώνει ύπαρξη τροφής



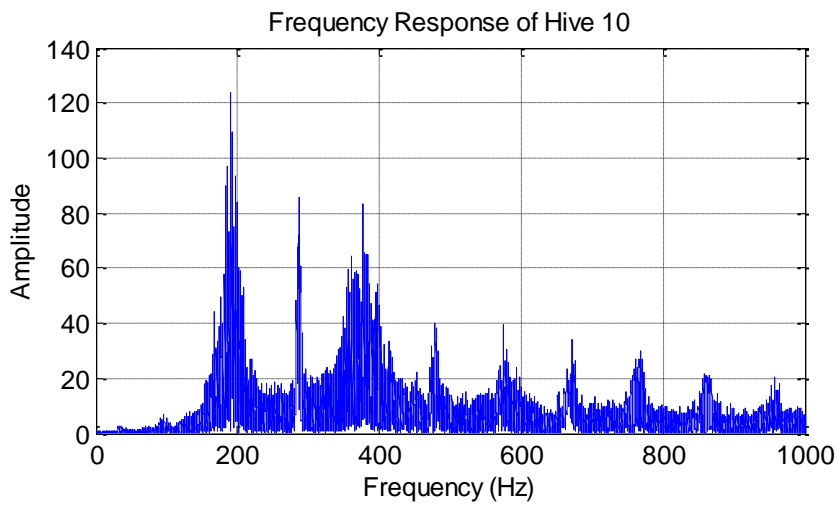
Εικόνα 144 : Ακολουθία και μονός παλμός



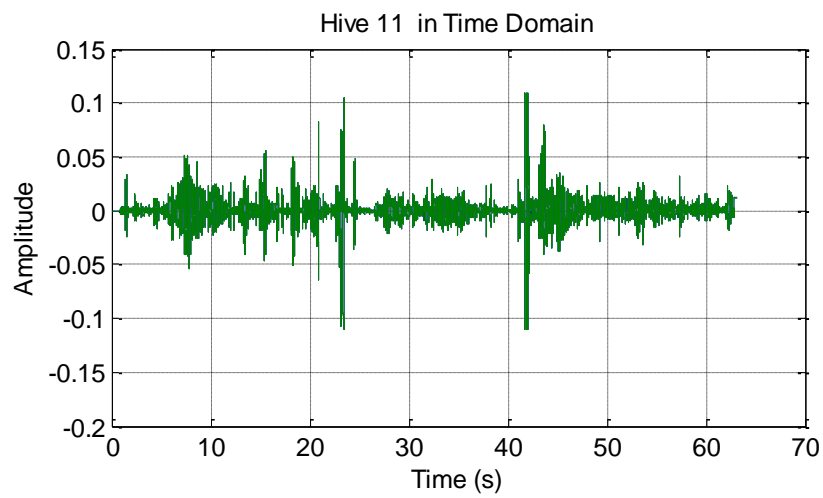
Εικόνα 145 : Υποδηλώνει ύπαρξη τροφής και ενόχληση



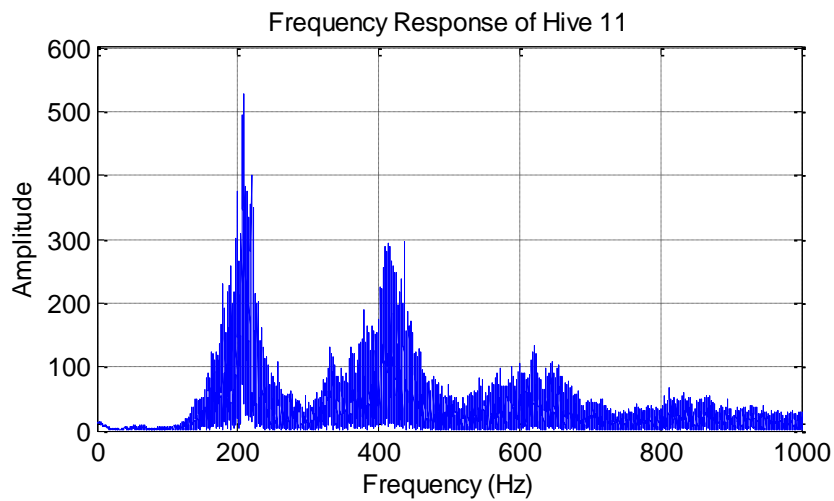
Εικόνα 146 : Ακολουθία και μονός παλμός. Δηλώνει ύπαρξη τροφής και ενόχληση



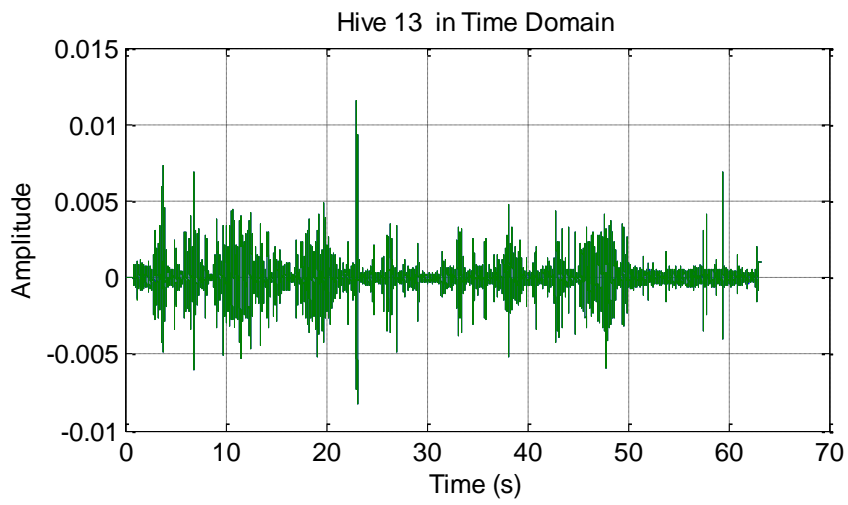
Εικόνα 147 : Ακολουθία και μονός παλμός στο πεδίο της συχνότητας



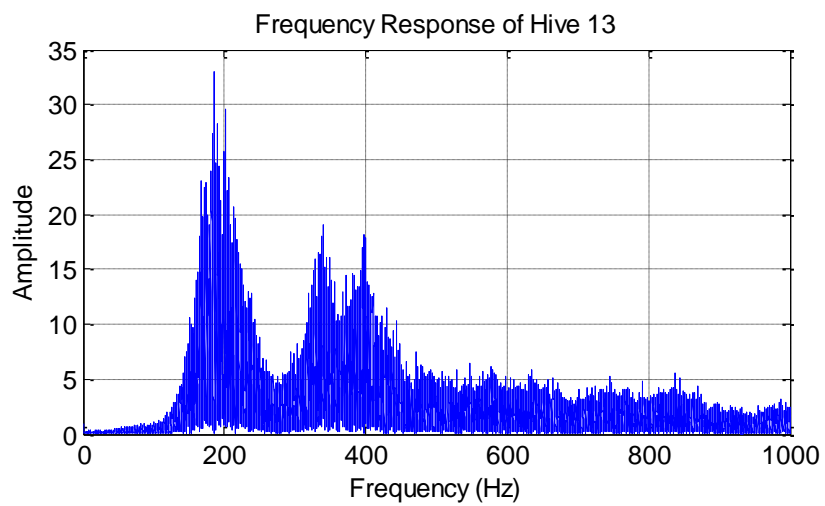
Εικόνα 148 : Ακολουθία παλμών και μονός παλμός



Εικόνα 149 : Υποδηλώνει ύπαρξη τροφής και ενόχληση στο πεδίο της συχνότητας



Εικόνα 150 : Ακολουθία παλμών και μονός παλμός



Εικόνα 151 : Υποδηλώνει ύπαρξη τροφής και προειδοποιητικό σήμα

Γ. Λειτουργία υπό Πραγματικές Συνθήκες



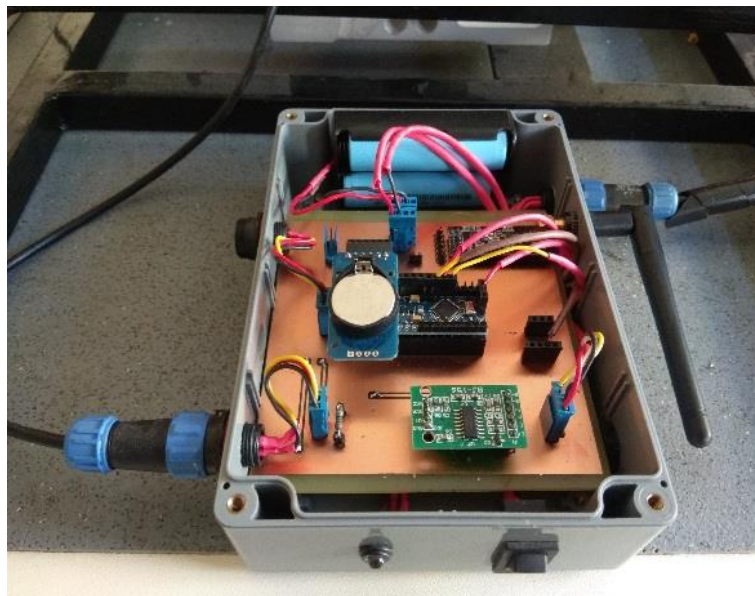
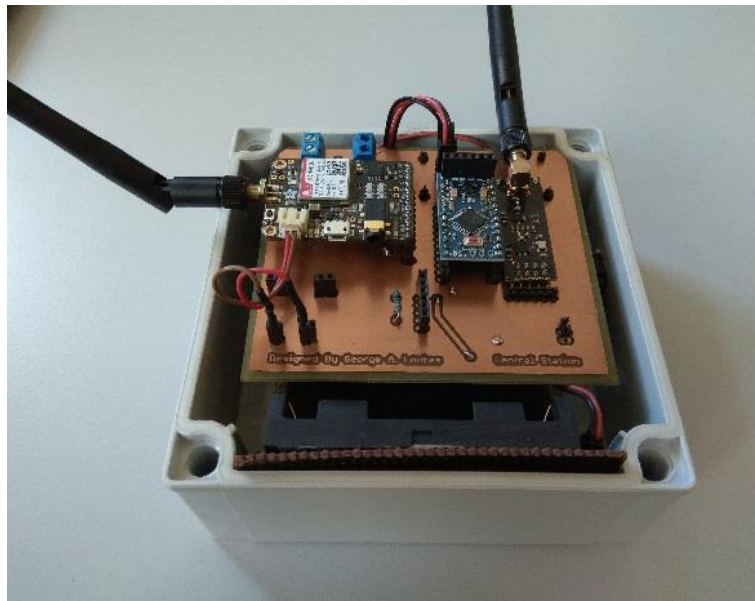
Εικόνα 152 : Περιφερειακή μονάδα προς εγκατάσταση



Εικόνα 153 : Περιφερειακή μονάδα σε λειτουργία



Εικόνα 154 : Κεντρικός σταθμός συλλογής δεδομένων σε λειτουργία



Εικόνα 155 : Κεντρική (άνω εικόνα) και Περιφερειακή (κάτω εικόνα) μονάδα ηλεκτρονικών ελέγχου