



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Ψηφιακός Πολιτισμός, Έξυπνες Πόλεις, IoT και Προηγμένες Ψηφιακές
Τεχνολογίες»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Έξυπνη Μελισσοκομία: Δημιουργώντας μια συσκευή μέτρησης Smart Beekeeping: Creating a measuring device	
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Ιωάννης Καλάκος	Μαρία Ζαράνη
Πατρώνυμο	Αθανάσιος	Μιχαήλ
Αριθμός Μητρώου	ΨΠΟΛ/20021	ΨΠΟΛ/20019
Επιβλέπων	Χρήστος Δουληγέρης, Καθηγητής	

Ημερομηνία Παράδοσης **Ιούλιος 2023**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Χρήστος Δουληγέρης
Καθηγητής

Άγγελος Μιχάλας
Καθηγητής

Δρ. Εμμανουήλ Σκόνδρας
Διδάσκων ΠΜΣ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Copyright © Καλάκος Ιωάννης, Ζαράνη Μαρία 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Πειραιά.

Ορμώμενοι από την αγάπη μας για τα ηλεκτρονικά αλλά και για τη μέλισσα, ξεκινήσαμε να εξετάζουμε με τεχνολογία IoT τη ζωή μέσα στην κυψέλη.

Στα αγαπημένα μας τέκνα Αθανάσιο, Μιχαήλ, Σοφία και Παναγιώτα.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στον καθηγητή μας κ. Χρήστο Δουληγέρη, τον συνεργαζόμενο ερευνητή Δρ. Θεόδωρο Καρβουνίδη και τον Υποψήφιο Διδάκτορα κ. Αλέξανδρο Ταμήλια, καθώς με τη στήριξη και την υπομονή που επέδειξαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής αυτής διατριβής, συνέβαλαν καταλυτικά στην άρτια και επιτυχή ολοκλήρωσή της. Η καθοδήγηση και η βοήθειά τους στα σημεία που ως μεταπτυχιακοί φοιτητές «κολλήσαμε» ήταν σημαντική.

Περίληψη

Δύο από τις βασικότερες παραμέτρους/παράγοντες που επηρεάζουν την ευζωία, ευμάρεια και ευρωστία μιας αποικίας μελισσών είναι η θερμοκρασία και η υγρασία στο εσωτερικό της κυψέλης.

Επιπλέον η συνεχής παρακολούθηση του βάρους μιας κυψέλης παρέχει επιπρόσθετα στοιχεία τα οποία όταν συνεκτιμηθούν με τις δύο ανωτέρω αναφερόμενες παραμέτρους, παρέχουν μια συνολική εικόνα της καλής κατάστασης μιας κυψέλης και κατ' επέκταση και ενός μελισσοστάσιου.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υλοποιείται μια ολοκληρωμένη εφαρμογή «Μελισσοκομίας Ακριβείας» κατά αντιστοιχία της Έξυπνης Γεωργίας και Εκτροφής, με την ανάπτυξη μιας εφαρμογής μέτρησης και καταγραφής δεδομένων θερμοκρασίας και υγρασίας, με σύγχρονες μεθόδους τεχνολογίας Διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things/IoT). Με την εφαρμογή τεχνολογιών ανίχνευσης με χρήση αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας, πραγματοποιείται καταγραφή μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο.

Στη συνέχεια, μέσω τεχνολογιών IoT, τα δεδομένα μεταφέρονται και αποθηκεύονται στο υπολογιστικό νέφος (Cloud), ενώ παράλληλα γίνεται ανάλυση και οπτικοποίηση των δεδομένων με MATLAB, με δυνατότητα, σε μελλοντικό στάδιο, αποστολής sms ή email ευαισθητοποίησης.

Έπειτα, τα επεξεργασμένα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιούνται από τον μελισσοκόμο για τη λήψη αποφάσεων προκειμένου να λαμβάνει αποφάσεις ανάλογα με τα δεδομένα, για παράδειγμα αν θα πρέπει ή όχι να προβεί σε επί τόπου επίσκεψη στο χώρο του μελισσοστάσιου, καθώς και τον τρόπο παρέμβασής του σε αυτό (έλεγχος, μείωση/αύξηση πλαισίων, αντιμετώπιση ασθενειών, τροφή κτλ). Τα δεδομένα αυτά σε μελλοντικό στάδιο μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδος σε εργαλεία λήψης αποφάσεων.

Παράλληλα και προκειμένου να καταστούν κατανοητά τόσο ο σκοπός όσο και τα μέσα της εφαρμογής που αναπτύχθηκε, γίνεται μια σύντομη περιγραφή:

- α) των βασικών αρχών Μελισσοκομίας, των συνθηκών του περιβάλλοντος και πώς αυτά επηρεάζουν την ευμάρεια μιας κυψέλης,
- β) των βασικών αρχών του Διαδικτύου των Πραγμάτων/IoT (ορισμός, σύντομο ιστορικό), καθώς και σύγχρονες εφαρμογές αυτού (έξυπνη πόλη, έξυπνη γεωργία/εκτροφή, έξυπνο σπίτι)
- γ) της τοπολογίας και της ανάλυσης της λειτουργίας των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν (αισθητήρες, Bluetooth/σύνδεση με cloud,...)

Τέλος γίνεται αναλυτική παρουσίαση του τρόπου εφαρμογής, των μετρήσεων, της ανάλυσης των αποτελεσμάτων, των συμπερασμάτων και της ερμηνείας αυτών, καθώς και του τρόπου λήψης αποφάσεων.

Abstract

Two of the most important parameters / factors that affect the well-being, prosperity and robustness of a bee colony are the temperature and the humidity inside the hive.

Furthermore, the continuous monitoring of the weight of a hive provides additional data which, when considered together with the two parameters mentioned above, provide an overall picture of the good condition of a hive and, by extension, of an apiary.

In the present thesis, we develop a complete Precision Beekeeping application which is a subdivision of Smart Agriculture-Breeding. The development of an application for measuring and recording temperature and humidity data, is achieved by using modern methods of Internet of Things (IoT) technology.

By applying detection technologies, in particular temperature and humidity sensors, real-time measurements are recorded.

Then, through IoT technologies, the data is transferred and stored in the computing cloud (Cloud), while at the same time the data is analyzed and visualized with MATLAB, with the possibility, at a future stage, of sending an awareness sort message service (sms) or email.

At the same time the processed data can be used by the beekeeper in order to make decisions according to the data, for example whether or not he should proceed with an on-site visit to the beehive area, as well as what interventions he should choose (control, reduce/increase frames, treat diseases, feed, etc.). This data at a future stage can be used as an input to decision-making tools.

At the same time and in order to understand both the purpose and the means of the application that was developed, a brief description is made of:

- a) the basic principles of Mesotherapy, the environmental conditions and how they affect the prosperity of a hive;
- b) the basics of the Internet of Things (IoT) and its modern applications (smart city, smart farming, smart home)
- c) the topology and the analysis of the operation of the tools used (sensors, Bluetooth/cloud connection, etc)

Finally, a detailed presentation is made of the design of the application, the measurements, the analysis of the results, the conclusions and their interpretation, as well as of the way of making decisions.

Λέξεις Κλειδιά

IoT, Έξυπνη μελισσοκομία, αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας, Υπολογιστικό νέφος (Cloud), Λήψη αποφάσεων

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	2
1 Εισαγωγή	13
1.1 Σκοπός και στόχοι της εργασίας	13
1.2 Δομή της εργασίας	13
1.3 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things/IoT)	13
1.3.1 Ορισμός.....	13
1.3.2 Βασικές ιδιότητες/χαρακτηριστικά των συσκευών IoT	14
1.3.3 Σύγχρονα θέματα και προσεγγίσεις IoT	17
1.4 Μελισσοκομεία - Γενικές αρχές	22
1.4.1 Τάξη κατάταξης – Γενική περιγραφή αποικίας.....	22
1.4.2 Βιολογικός κύκλος μιας αποικίας	22
1.4.3 Προβλήματα μελισσοκομίας και τρόποι αντιμετώπισης	23
1.4.4 Κλιματολογικές συνθήκες και πως επηρεάζουν την ανάπτυξη της κυψέλης	24
1.4.5 Μελισσοκομία ακριβείας (Precision Beekeeping/PB or Precision Apiculture)	29
2 Υλικά – μέθοδος	35
2.1 Υλοποίηση Συστήματος.....	35
2.2 Μικροελεγκτής.....	37
2.2.1 Μικροελεγκτές - Γενικά.....	37
2.2.2 Κατασκευαστές μικροελεγκτών	37
2.2.3 Γλώσσα προγραμματισμού μικροελεγκτών	37
2.2.4 Εφαρμογές	38
2.2.5 Μικροελεγκτής ESP8266	38
2.2.6 NodeMCU V3 (open-source firmware and development kit).....	39
2.3 Αισθητήρες.....	52
2.3.1 Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας.....	55
2.3.2 Αισθητήρας βάρους - Ψηφιακή ζυγαριά	63
2.4 Τροφοδοσία – Αυτονομία συστήματος.....	73
3 Αποτελέσματα	76
3.1 Καταγραφή αποτελεσμάτων	76
4 Ανάλυση – Σχολιασμός αποτελεσμάτων	79
4.1 Δεκέμβριος 2022	79
4.2 Ιανουάριος 2023.....	81
4.3 Φεβρουάριος 2023	82
4.4 Μάρτιος 2023	84
4.5 Απρίλιος 2023	85
4.6 Μάιος 2023.....	87

4.7	Παραδείγματα ημερήσιας καταγραφής/ απεικόνισης.....	93
5	Συμπεράσματα	96
5.1	Συμπεράσματα	96
5.2	Μελλοντική βελτίωση εφαρμογής.....	97
6	Βιβλιογραφία Αναφορές.....	98

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Απεικόνιση των υποκαθιστάμενων ενεργών αισθήσεων του ανθρώπου από αισθητήρες για τη δημιουργία πληθώρας έξυπνων εφαρμογών.....	15
Εικόνα 2: Χαρακτηριστικές λειτουργίες μιας Έξυπνης Πόλης.....	17
Εικόνα 3: Χαρακτηριστική δομή λειτουργιών ενός έξυπνου δικτύου (Smart Grid).....	19
Εικόνα 4: Βασικές λειτουργίες ενός έξυπνου μετρητή.....	20
Εικόνα 5: Το έτοιμο για το "έξυπνο δίκτυο" κτίριο (Smart-Grid Ready Building).....	21
Εικόνα 6: Διάγραμμα του συστήματος έξυπνης μελισσοκομίας που υλοποιήσαμε.....	35
Εικόνα 7: Υλοποίηση συστήματος έξυπνης μελισσοκομίας - Τοποθέτηση αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας στις κυψέλες.....	36
Εικόνα 8 : Ο NodeMCUV3.....	40
Εικόνα 9 : Το pinout του NodeMCUV3.....	41
Εικόνα 10: Διαμόρφωση pin που χρησιμοποιείται στο Arduino IDE.....	42
Εικόνα 11: Interface Περιφερειακών Λειτουργιών.....	43
Εικόνα 12 : Pins.....	43
Εικόνα 13: Φυσικές Διαστάσεις του ESP8266EX.....	44
Εικόνα 14: Διάγραμμα λειτουργίας.....	46
Εικόνα 15: Διαιρέτης Τάσης.....	53
Εικόνα 16: Τυπικό κύκλωμα ελέγχου.....	54
Εικόνα 17: Διάφοροι τύποι αισθητήρων.....	55
Εικόνα 18: Ψηφιακό θερμόμετρο DS18B20.....	55
Εικόνα 19: Υλοποίηση κυκλώματος με ένα ψηφιακό θερμόμετρο DS18B20 με NodeMCU V3.....	56
Εικόνα 20: Υλοποίηση κυκλώματος με τρεις αισθητήρες DS18B20.....	56
Εικόνα 21: Στιγμιότυπο οθόνης υπολογιστή από το Arduino IDE.....	58
Εικόνα 22: Στιγμιότυπο οθόνης υπολογιστή για τον ορισμό της πλακέτας Node MCU 1.0.....	59
Εικόνα 23: Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT 11.....	62
Εικόνα 24: Ψηφιακή μετάδοση πληροφορίας (bit) θερμοκρασίας, υγρασίας και ελέγχου.....	63
Εικόνα 25: Αισθητήρας βάρους.....	64
Εικόνα 26: Μετρητές καταπόνησης σε συνδεσμολογία γέφυρας Wheatstone.....	64
Εικόνα 27: Ενισχυτής HX711.....	65
Εικόνα 28: Ενισχυτής HX711 – Κολλήσεις.....	66
Εικόνα 29: Απεικόνιση κυψελών φόρτωσης.....	66
Εικόνα 30: Kit κυψελών φόρτωσης.....	67
Εικόνα 31: Στιγμιότυπο οθόνης από την εγκατάσταση της βιβλιοθήκης HX711 Arduino.....	68
Εικόνα 32: Στιγμιότυπο οθόνης από την βαθμονόμηση του αισθητήρα βάρους (κυψέλη φόρτωσης).....	70
Εικόνα 33: Στιγμιότυπο οθόνης από αποτελέσματα ζύγισης.....	73
Εικόνα 34: Μονάδα Φόρτισης μπαταρίας λιθίου Solar Power Manager - C.....	73
Εικόνα 35: Οπτική περιγραφή λειτουργίας Waveshare Solar Power Manager C.....	74
Εικόνα 36: Υποστήριξη ηλιακών συλλεκτών 6V-24V.....	75
Εικόνα 37: Επαναφόρτιση μπαταριών λιθίου.....	75
Εικόνα 38: Στιγμιότυπο οθόνης από την εφαρμογή ThingSpeak που φαίνονται τα δύο κανάλια.....	76
Εικόνα 39: Στιγμιότυπα οθόνης από την εφαρμογή ThingSpeak με τις μετρήσεις.....	77
Εικόνα 40: Στιγμιότυπο οθόνης από την εφαρμογή ThingSpeak με την μέγιστη και ελάχιστη μέτρηση θερμοκρασίας 24ώρου.....	78
Εικόνα 41: Πίνακας μετρήσεων Δεκεμβρίου 2022 της εφαρμογής ThingSpeak.....	79

Εικόνα 42: Γραφική παράσταση μεταβολής θερμοκρασιών μηνός Δεκεμβρίου 2022 με την εφαρμογή ThingSpeak	80
Εικόνα 43: Γραφική παράσταση διακύμανσης θερμοκρασιών μηνός Δεκεμβρίου 2022 με την εφαρμογή ThingSpeak ..	80
Εικόνα 44: Πίνακας μετρήσεων Ιανουαρίου 2023 της εφαρμογής ThingSpeak	81
Εικόνα 45: Γραφική παράσταση μεταβολής θερμοκρασιών μηνός Ιανουαρίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak	81
Εικόνα 46: Γραφική παράσταση διακύμανσης θερμοκρασιών μηνός Ιανουαρίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak ..	82
Εικόνα 47: Πίνακας μετρήσεων Φεβρουαρίου 2023 της εφαρμογής ThingSpeak	82
Εικόνα 48: Γραφική παράσταση μεταβολής θερμοκρασιών μηνός Φεβρουαρίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak ..	83
Εικόνα 49: Γραφική παράσταση διακύμανσης θερμοκρασιών μηνός Φεβρουαρίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak	83
Εικόνα 50: Πίνακας μετρήσεων Μαρτίου 2023 της εφαρμογής ThingSpeak	84
Εικόνα 51: Γραφική παράσταση μεταβολής θερμοκρασιών μηνός Μαρτίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak	84
Εικόνα 52: Γραφική παράσταση διακύμανσης θερμοκρασιών μηνός Μαρτίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak	85
Εικόνα 53: Πίνακας μετρήσεων Απριλίου 2023 της εφαρμογής ThingSpeak	85
Εικόνα 54: Γραφική παράσταση μεταβολής θερμοκρασιών μηνός Απριλίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak	86
Εικόνα 55: Γραφική παράσταση διακύμανσης θερμοκρασιών μηνός Απριλίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak	86
Εικόνα 56: Πίνακας μετρήσεων Μαΐου 2023 της εφαρμογής ThingSpeak	87
Εικόνα 57: Γραφική παράσταση μεταβολής θερμοκρασιών μηνός Μαΐου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak	87
Εικόνα 58: Γραφική παράσταση διακύμανσης θερμοκρασιών μηνός Μαΐου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak	88
Εικόνα 59: Μεταβολή θερμοκρασίας περιβάλλοντος τριών και τεσσάρων μηνών και σήμερα	89
Εικόνα 60: Ημερήσια μεταβολής θερμοκρασίας Κυψέλης Α τριών και δύο μηνών και σήμερα	89
Εικόνα 61: Ημερήσια μεταβολής θερμοκρασίας Κυψέλης Α τεσσάρων και τριών μηνών και σήμερα	90
Εικόνα 62: Ημερήσια μεταβολής θερμοκρασίας Κυψέλης Β τριών και δύο μηνών και σήμερα	91
Εικόνα 63: Ημερήσια μεταβολής θερμοκρασίας Κυψέλης Β τεσσάρων και τριών μηνών και σήμερα	92
Εικόνα 64: Κυψέλη Α - Ημερήσια μεταβολή θερμοκρασίας 4/6/2023	93
Εικόνα 65: Κυψέλη Β - Ημερήσια μεταβολή θερμοκρασίας 4/6/2023	94
Εικόνα 66: Μεταβολή υγρασίας σε σχέση με την θερμοκρασία για τέσσερις και τρεις μήνες και σήμερα	95

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1 : Ιστορικό έρευνας και παρακολούθησης παραμέτρων κυψέλης	32
Πίνακας 2: Περιγραφή των PINS του ESP8266EX	45
Πίνακας 3: Μέτρηση μετατόπισης συχνότητας	48
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά για βέλτιστη απόδοση Radio	49
Πίνακας 5: Κανάλια πομποδέκτη RF	49
Πίνακας 6: Κατανάλωση ενέργειας ανά κατάσταση λειτουργίας του ESP8266EX	51
Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά ενός ESP8266EX	52
Πίνακας 8: Γενικές προδιαγραφές αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας DHT 11	62
Πίνακας 9: Αντιστοίχιση Θερμοκρασίας και Αποφάσεων	88

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υλοποιείται μια ολοκληρωμένη εφαρμογή Μελισσοκομίας Ακριβείας κατά αντιστοιχία της Έξυπνης Γεωργίας-Εκτροφής, με την ανάπτυξη μιας εφαρμογής μέτρησης και καταγραφής δεδομένων θερμοκρασίας και υγρασίας, με σύγχρονες μεθόδους τεχνολογίας Διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things/IoT).

Με την εφαρμογή τεχνολογιών ανίχνευσης με χρήση αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας, πραγματοποιείται καταγραφή μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο. Στη συνέχεια μέσω τεχνολογιών IoT, τα δεδομένα μεταφέρονται και αποθηκεύονται στο Cloud, ενώ παράλληλα γίνεται ανάλυση και οπτικοποίηση των δεδομένων με MATLAB, με δυνατότητα, σε μελλοντικό στάδιο, αποστολής sms ή email ευαισθητοποίησης.

Τέλος, τα επεξεργασμένα δεδομένα χρησιμοποιούνται προκειμένου ο μελισσοκόμος να λαμβάνει αποφάσεις ανάλογα με τα δεδομένα (επί τόπου επίσκεψη και τρόπους παρέμβασης).

1.2 Δομή της εργασίας

Η συνέχεια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής αποτελείται από έξι ενότητες:

Στην **πρώτη ενότητα** γίνεται μια εισαγωγή αφενός στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, καθώς είναι το εργαλείο με το οποίο θα επιχειρήσουμε να προσεγγίσουμε την ιδέα της έξυπνης μελισσοκομίας και αφετέρου στις αρχές Μελισσοκομίας, ώστε να μπορέσει ο αναγνώστης να κατανοήσει τις έννοιες και τα φαινόμενα που προσπαθούμε να μελετήσουμε.

Στη **δεύτερη ενότητα** γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των υλικών και των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν, τα οποία μεταξύ άλλων είναι: ο μικρο-ελεγκτής, οι αισθητήρες, η τροφοδοσία και η αυτονομία συστήματος.

Στην **τρίτη ενότητα** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων, όπως καταγράφηκαν σε πραγματικό χρόνο.

Στην **τέταρτη ενότητα** ακολουθεί η ανάλυση και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

Στην **πέμπτη ενότητα** αναφέρονται τα συμπεράσματα της μελέτης.

Στην **έκτη ενότητα** παρατίθεται η βιβλιογραφία.

1.3 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things/IoT)

1.3.1 Ορισμός

Πατέρας του όρου Internet of Things είναι ο Kevin Ashton, άγγλος πρωτοπόρος της τεχνολογίας, συνιδρυτής του Auto-ID Center του MIT, που δημιούργησε το, παγκόσμιο πρότυπο για το Radio Frequency Identification (RFID). Τη δεκαετία του 1990 συνέλαβε τον όρο Internet of Things για να περιγράψει ένα σύστημα όπου το Internet είναι συνδεδεμένο με το φυσικό κόσμο μέσω παντός τύπου αισθητήρων.

Η αναζήτηση ενός ολοκληρωμένου ορισμού του Διαδικτύου των Πραγμάτων δεν είναι εύκολη [1]. Καθώς, το εύρος ενός συστήματος Internet of Things/IoT ποικίλλει από ένα μικρό σύστημα που περιέχει μοναδικά αναγνωρίσιμα πράγματα και μικρούς αισθητήρες μέχρι ένα σύστημα που διασυνδέει εκατομμύρια πράγματα με ικανότητα παροχής σύνθετων υπηρεσιών. Ως εκ τούτου, είναι καλύτερο να παρέχονται δύο ξεχωριστοί ορισμοί του IoT για μικρά συστήματα και πολύπλοκα συστήματα.

Σενάριο μικρού περιβάλλοντος (μικρά συστήματα): Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων/Internet of Things (IoT) είναι ένα δίκτυο που συνδέει μοναδικά αναγνωρίσιμα «Πράγματα» στο Διαδίκτυο. Τα "Πράγματα" έχουν δυνατότητες ανίχνευσης/ενεργοποίησης και πιθανώς και προγραμματισμού. Μέσω της

εκμετάλλευσης της μοναδικής αναγνώρισης (identification) και αίσθησης (sensing), μπορούν να συλλεχθούν πληροφορίες για το «Πράγμα» και η κατάσταση του μπορεί να αλλάξει από οπουδήποτε, οποτεδήποτε και από οπουδήποτε (anywhere, anytime, by anything).

Σενάριο μεγάλου περιβάλλοντος: Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων οραματίζεται ένα αυτοδιαμορφούμενο, προσαρμοστικό, πολύπλοκο δίκτυο που διασυνδέει τα «πράγματα» με το Διαδίκτυο μέσω της χρήσης τυπικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Τα διασυνδεδεμένα πράγματα έχουν φυσική ή εικονική αναπαράσταση στον ψηφιακό κόσμο, ικανότητα αίσθησης/ενεργοποίησης, δυνατότητα προγραμματισμού και είναι μοναδικά αναγνωρίσιμα. Η αναπαράσταση περιέχει πληροφορίες, συμπεριλαμβανομένων της ταυτότητας, της κατάστασης, της τοποθεσίας ή οποιασδήποτε άλλης επαγγελματικής, κοινωνικής ή ιδιωτικής πληροφορίας. Τα πράγματα προσφέρουν υπηρεσίες, με ή χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, μέσω της εκμετάλλευσης της μοναδικής αναγνώρισης, σύλληψης και επικοινωνίας δεδομένων και της δυνατότητας ενεργοποίησης. Η εκμετάλλευση της υπηρεσίας γίνεται μέσω της χρήσης έξυπνων διεπαφών και είναι διαθέσιμη οπουδήποτε, οποτεδήποτε και για οτιδήποτε λαμβάνοντας υπόψη την ασφάλεια [1].

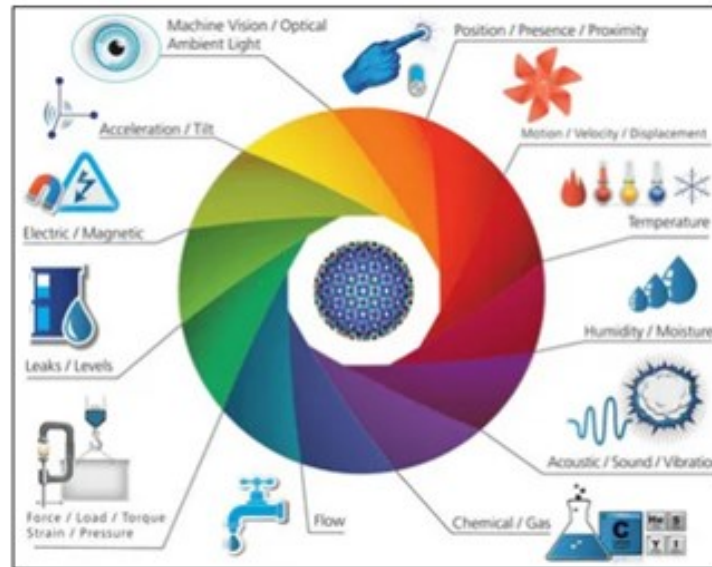
Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things/IoT) [2] είναι το δίκτυο με το οποίο επικοινωνούν ένας μεγάλος αριθμός ηλεκτρονικών συσκευών (οικιακών κ.α.), αυτοκινήτων, καθώς και κάθε άλλου αντικειμένου που χρησιμοποιεί ενσωματωμένη ηλεκτρονική τεχνολογία, λογισμικό, αισθητήρες παντός τύπου και ταυτόχρονα μπορεί να συνδέεται σε δίκτυο για την ανταλλαγή δεδομένων. Επί της ουσίας, η κεντρική ιδέα του IoT είναι η σύνδεση όλων των συσκευών μεταξύ τους σε ένα τοπικό δίκτυο και ακόμα πιο εξελιγμένα με δυνατότητα διασύνδεσης στο Διαδίκτυο (Internet). Το δεύτερο συνθετικό του όρου IoT, «πράγματα» αναφέρεται σε μια ευρεία ποικιλία συσκευών, όχι απαραίτητα με ομοιογένεια. Για παράδειγμα μπορεί να συμπεριλαμβάνονται οχήματα που διαθέτουν αισθητήρες για τον εντοπισμό αντικειμένων/εμποδίων στην πορεία τους, κάμερες, συστήματα ασφαλείας, κλιματιστικά, φώτα και έξυπνες συσκευές (κινητά, ρολόγια).

Βασική προϋπόθεση για τις συσκευές IoT είναι η δυνατότητα τους να συνδέονται μεταξύ τους, ώστε τελικά ο χρήστης να μπορεί να ελέγχει καθεμία από αυτές ξεχωριστά ή και όλες μαζί, από έναν υπολογιστή ή από ένα κινητό.

1.3.2 Βασικές ιδιότητες/χαρακτηριστικά των συσκευών IoT

Για να αποκτήσουμε μια ξεκάθαρη εικόνα του αντικειμένου, είναι ωφέλιμο να απαριθμήσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά/ιδιότητες που συνηθίζουν ή υποχρεούνται να έχουν οι συσκευές IoT. Αυτά περιγράφονται παρακάτω [3]:

1. **Δυναμική φύση:** Οι βασικές παράμετροι της κάθε εφαρμογής, υφίστανται δυναμικές μεταβολές, οι οποίες προκαλούνται από το περιβάλλον της αντίστοιχης συσκευής. Μία εφαρμογή που έχει σχεδιαστεί ορθά παρέχει στο χρήστη πρόσβαση σε όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, με τρόπο θα λέγαμε εύχρηστο και απλό, ώστε ο χρήστης να δυσκολεύεται στο ελάχιστο δυνατό. Επιπρόσθετα και η κατάσταση των συσκευών αλλάζει δυναμικά (ενεργές/απενεργοποιημένες, συνδεδεμένες/αποσυνδεδεμένες, αλλαγή γεωγραφικής θέσης/συντεταγμένων και ταχύτητας). Τέλος, ο αριθμός των διασυνδεδεμένων συσκευών μπορεί να είναι επίσης απόλυτα μεταβλητός (δυναμικός).
2. **Αισθήσεις:** Η ενσωμάτωση των πέντε ενεργών ανθρώπινων αισθήσεων σε μία συσκευή με τη χρήση κατάλληλων αισθητήρων, οδηγώντας έτσι σε πληθώρα εφαρμογών (**Εικόνα 1**).



Εικόνα 1: Απεικόνιση των υποκαθιστάμενων ενεργών αισθήσεων του ανθρώπου από αισθητήρες για τη δημιουργία πληθώρας έξυπνων εφαρμογών

(<https://www.pcsteps.gr/wp-content/uploads/2017/08/%CE%A4%CE%B9-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%BF-Internet-of-Things-IoT-%CE%9A%CE%B1%CE%B9-%CE%A0%CF%8E%CF%82-%CE%B8%CE%B1-%CE%91%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%BE%CE%B5%CE%B9-%CF%84%CE%B7-%CE%96%CF%89%CE%AE-%CE%9C%CE%B1%CF%82-10.png>)

3. **Ετερογένεια:** Οι συσκευές συνδέονται στο Διαδίκτυο με διαφορετικές πλατφόρμες και δίκτυα και συνεπώς είναι ετερογενείς. Παρόλα αυτά θα πρέπει να μπορούν να συνδέονται και να επικοινωνούν με άλλες συσκευές και πλατφόρμες, χρησιμοποιώντας διαφορετικά δίκτυα.
4. **Συνδεσιμότητα:** Η συνδεσιμότητα αφορά, τόσο την προσβασιμότητα, όσο και τη συμβατότητα του δικτύου και είναι ο καθοριστικός παράγοντας που καθιστά μια εφαρμογή πλήρως λειτουργική. Η προσβασιμότητα επιτρέπει τη σύνδεση σε όλους τους τύπους δικτύου, ενώ η συμβατότητα παρέχει την κοινή δυνατότητα δημιουργίας και χρήσης δεδομένων του δικτύου με όλες τις πλατφόρμες (Android, iPhone) [4].
5. **Τεράστιος αριθμός χρηστών:** Ο αριθμός διασυνδεδεμένων συσκευών στο Διαδίκτυο, μέσω IoT, έχει ολοένα και μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις, ιδιαίτερα μετά την ανάπτυξη του δικτύου 5G, που προσβλέπει στην σύνδεση ενός εκατομμυρίου (1.000.000) χρηστών ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι ακόμα πιο δύσκολη και συνεπώς κρίσιμη θα είναι και η αποτελεσματικότητα στην διαχείριση και ερμηνεία των παραγομένων δεδομένων. Υπάρχουν τρεις σημαντικές κατηγορίες χρηστών [5]:
 - οι μεμονωμένοι πολίτες,
 - η κοινότητα των πολιτών (πολίτες μιας πόλης, μιας περιφέρειας, μιας χώρας ή της κοινωνίας στο σύνολό της)
 - οι επιχειρήσεις.
6. **Ασφάλεια:** Η δομή ενός συστήματος IoT θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η χρήση αυτού να είναι ασφαλής και εύκολη. Όλα τα έξυπνα αντικείμενα που είναι συνδεδεμένα σε ένα σύστημα IoT έχουν δυνατότητα διασύνδεσης και μεταξύ τους, με συνέπεια να εγείρονται θέματα ασφάλειας και ιδιωτικότητας, ειδικότερα σε περιπτώσεις μεγάλης αυτονομίας των αντικειμένων. Οι βασικές αρχές που θα πρέπει να διασφαλιστούν είναι [6]:
 - **Εμπιστευτικότητα:** Καθόσον οι υπηρεσίες IoT μπορεί να εμπεριέχουν ευαίσθητα δεδομένα και πληροφορίες, θα πρέπει να υπάρχει εμπιστευτικότητα μεταξύ των χρηστών που τα διαχειρίζονται ώστε να παρέχεται η διασφάλισή τους. Η εμπιστευτικότητα συνήθως επιτυγχάνεται με μεθόδους κρυπτογράφησης (συμμετρική ή ασύμμετρη).

- **Ιδιωτικότητα:** Με την παράλληλη χρήση αφενός τεχνικών ροής πληροφοριών (Information Flow Control) για το χαρακτηρισμό της διακινούμενης πληροφορίας (ως προς τον λόγο διακίνησής της) και αφετέρου πρωτοκόλλων ελέγχου πρόσβασης και τεχνικών προστασίας της ανωνυμίας παρέχεται προστασία των προσωπικών δεδομένων του χρήστη.
 - **Ακεραιότητα:** Οι πάροχοι υπηρεσιών διαδικτύου καθώς και οι κυβερνητικές οργανώσεις, μέσω του IoT διακινούν πληροφορίες μεγάλης σημαντικότητας που απαιτούν να διασφαλίζεται η ακεραιότητα και εγκυρότητα αυτών με τη χρήση συναρτήσεων κατακερματισμού και κωδικών αυθεντικοποίησης μηνύματος, ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα αλλοίωσης αυτών.
 - **Διαθεσιμότητα:** Η άμεση διαθεσιμότητα της πληροφορίας στους χρήστες εξασφαλίζεται μέσω συμφωνιών παροχής Υπηρεσίας (Service Level Agreements, SLAs) μεταξύ χρηστών και παρόχων.
 - **Αυθεντικότητα:** Μέσω αλγόριθμων αυθεντικοποίησης πραγματοποιείται η επαλήθευση της ταυτότητας των χρηστών (αποδέκτης/αποστολέας). Η επαλήθευση θα πρέπει να είναι αμφίδρομη:
 - (α) ο αποδέκτης των δεδομένων να είναι σίγουρος για τη ταυτότητα του αποστολέα και συνεπώς και για την αυθεντικότητα της πηγής και
 - (β) ο πάροχος των δεδομένων να ταυτοποιεί τον αποδέκτη της πληροφορίας.
 - **Αξιοπιστία:** Τα συστήματα IoT θα πρέπει να εξασφαλίζουν την αξιοπιστία που παρέχουν, συμπεριλαμβανομένων και των δεδομένων, που θα πρέπει να ανανεώνονται συστηματικά και μεταδίδονται σωστά.
 - **Έλεγχος Πρόσβασης:** Η εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε δεδομένα και πόρους διασφαλίζεται μέσω μηχανισμών ελέγχου πρόσβασης που παίρνουν αποφάσεις βάσει ενός μοντέλου ελέγχου πρόσβασης. Μπορεί να γίνεται η χρήση λιστών ελέγχου πρόσβασης που καθορίζουν τα δικαιώματα και το ρόλο των χρηστών.
7. **Περιβάλλουσα νοημοσύνη (Ambient Intelligence):** Η περιβάλλουσα νοημοσύνη αποτελεί ένα ενδιαφέρον εγχείρημα, που πλησιάζει αρκετά την τεχνητή νοημοσύνη για ένα μέλλον, στο οποίο θα υπάρχει αλληλεπίδραση των ανθρώπων με ένα ψηφιακό περιβάλλον τόσο φυσικά, σχεδόν όσο αλληλοεπιδρούν οι άνθρωποι μεταξύ τους [7]. Απομακρύνει ελαφρώς τις συσκευές από την συνηθισμένη λειτουργία τους κατόπιν εντολής, δίνοντας τους τη δυνατότητα να αλλάζουν αυτόματα κάποιες ρυθμίσεις τους βάσει συγκεκριμένων μετρήσεων και παραμέτρων, τόσο του εγγύτερου όσο και του ευρύτερου περιβάλλοντός τους και έχει πέντε παράγοντες επιτυχίας, όπου η εφαρμογή του επόμενου βασίζεται στην επιτυχή εφαρμογή του προηγούμενου:
- **Ενσωμάτωση (Embedding):** ικανότητα της τεχνολογίας να συνυπάρχει με τον χρήστη, χωρίς να τον ενοχλεί.
 - **Πλαίσιο ευαισθητοποίησης της συσκευής (context-awareness):** ικανότητα μιας έξυπνης συσκευής να συνταιριάζει τις ειδικές ανάγκες του χρήστη με τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος
 - **Εξατομίκευση (personalization):** προσαρμογή της συσκευής στις ατομικές ανάγκες και προτιμήσεις του κάθε χρήστη.
 - **Προσαρμογή (adaption):** ικανότητα της συσκευής (πέραν της εξατομίκευσης να προσαρμόζεται στις μεταβολές της κατάστασης του χρήστη.
 - **Προβλεπτικότητα καταστάσεων (anticipation):** ικανότητα της συσκευής να προβλέπει καταστάσεις.

1.3.3 Σύγχρονα θέματα και προσεγγίσεις IoT

Εφαρμογές IoT – Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται διάφορες εφαρμογές του IoT που απευθύνονται στις σημαντικότερες ανάγκες της κοινωνίας όπως: το έξυπνο σπίτι, η έξυπνη πόλη, η έξυπνη μεταφορά, η έξυπνη βιομηχανία, η έξυπνη αγροτική και λιανική επιχείρηση και η έξυπνη γεωργία και εκτροφή.

Έξυπνη Πόλη

Μια πόλη μπορεί να γίνει πολύ έξυπνη με την βοήθεια της τεχνολογίας, ώστε οι κάτοικοί της να απολαμβάνουν μια άνετη, ευχάριστη και πιο ποιοτική καθημερινότητα στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης [8]. Οι χαρακτηριστικές λειτουργίες μιας έξυπνης πόλης φαίνονται στην **Εικόνα 2**.



Εικόνα 2: Χαρακτηριστικές λειτουργίες μιας Έξυπνης Πόλης.

(http://ecopress.gr/wp-content/uploads/Smart_cities_infographic-600-x-444-600x444.jpg)

Οι ψηφιακές τεχνολογίες αξιοποιούνται και μεταφράζονται σε καλύτερες υπηρεσίες προς τους πολίτες, καλύτερη χρήση των πόρων και λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και σίγουρα μια πιο διαδραστική – και με μεγαλύτερη απόκριση διοίκηση της πόλης [9]:

- **Ενημερωμένοι πολίτες:** Με τη δημιουργία διαδραστικών διαδικτυακών εφαρμογών χαρτογράφησης με ενσωματωμένη πληροφορία σε ένα χάρτη, ο πολίτης ενημερώνεται άμεσα, εύκολα και απλά για τις δυνατότητες που προσφέρονται από τον Δήμο, καθώς και χρηστικές πληροφορίες για τις παρεχόμενες υπηρεσίες και τις δομές του, τα έργα που είναι σε εξέλιξη στην ευρύτερη γειτονιά/περιοχή τους, τους δημοτικούς χώρους αναψυχής (πάρκα, χώροι πρασίνου), τις υποδομές, τις πολιτιστικές εκδηλώσεις, τα προβλήματα που επιλύθηκαν στη γειτονιά τους.
- **Καλύτερη διαχείριση/παρακολούθηση του Περιβάλλοντος:** Η αποτελεσματικότερη διαχείριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των έργων και των δραστηριοτήτων μιας πόλης απαιτεί καταρχάς την ενημέρωση για τα περιβαλλοντικά θέματα της περιοχής και κατά δεύτερον τη συνεργασία και τη συμμετοχή των κατοίκων της στη διαδικασία της λήψης των σχετικών αποφάσεων. Μια δυναμική λύση είναι η συνεργασία σε πραγματικό χρόνο πάνω σε ένα διαδραστικό χάρτη, όπου για παράδειγμα οι πολίτες θα μπορούν να ενημερώνονται αλλά και να ενημερώνουν σχετικά με θέματα που τους αφορούν ως πολίτες, να πραγματοποιούν ηλεκτρονικές συναλλαγές, να λαμβάνουν μέρος σε έρευνες

και σε ψηφίσματα, να λαμβάνουν ειδοποιήσεις για την ασφάλειά τους (ακραία καιρικά φαινόμενα, θέματα υγείας και αυτοπροστασίας) κα.

- **Αποτελεσματικότερη διαχείριση των υποδομών και έργων:** η συνεργασία των Τοπικών Φορέων με την χρήση της «Γεωχωρικής» τεχνολογίας¹ (GIS) και η διαμοίραση της πληροφορίας μεταξύ αυτών αλλά και εξωτερικών συνεργατών συμβάλει στην αρτιότερη διαχείριση αλλά και στη βελτίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Η διαχείριση, η παρακολούθηση και η αποτελεσματικότερη υλοποίηση:
 - του οδικού δικτύου,
 - των νέων έργων,
 - των χώρων αναψυχής και άθλησης,
 - του ηλεκτροφωτισμού,
 - των απορριμμάτων,
 - των χώρων πρασίνου και πάρκων

συμβάλει αποφασιστικά στη βελτίωση της καθημερινότητας των πολιτών.

- **Βιώσιμες και απλές λύσεις για την ορθολογική διαχείριση του νερού:** Η διαχείριση και η παρακολούθηση της ποιότητας και της ποσότητας του νερού αποτελεί ένα από τα φλέγοντα θέματα στις μέρες μας. Η διαχείριση ξεκινάει με την καταγραφή (θέσης και περιγραφικών δεδομένων) των θέσεων υδροληψίας και των υποδομών ύδρευσης και άρδευσης καθώς επίσης περιλαμβάνει και την ολοκληρωμένη διαχείριση των λεκανών απορροής. Η ενσωμάτωση της γεωχωρικής πληροφορίας κρίνεται απαραίτητη σε τέτοιες δράσεις και η αυτοματοποίηση των διαδικασιών αποτελεί ένα από τους σημαντικότερους παράγοντες για την αποτελεσματικότερη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Μερικά παραδείγματα των πλεονεκτημάτων και των ωφελειών που θα απολαμβάνει ο σύγχρονος κάτοικος αλλά και ο διαχειριστής μιας έξυπνης πόλης παρατίθενται κάτωθι:

- Έξυπνες θέσεις στάθμευσης με αυτόματη ειδοποίηση και οδηγίες πρόσβασης, έξυπνα παγκάκια με δυνατότητα ηλιακής φόρτισης ηλεκτρονικών συσκευών
- εφαρμογές διαχείρισης απορριμμάτων (πληρότητα κάδου) που καθοδηγεί τον οδηγό του απορριμματοφόρου σε λιγότερες επεμβάσεις κένωσης κάδων, με εξοικονόμηση στην κατανάλωση καυσίμων και αντίστοιχη μείωση εκπομπών CO₂, οδηγώντας ταυτόχρονα και σε αποτροπή υπερπλήρωσης των κάδων και συνεπώς και σε ένα πιο καθαρό και όμορφο περιβάλλον με καθαρότερους κάδους
- Έξυπνα κτίρια/υποδομές, με την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με νέας τεχνολογίας LED με αποτέλεσμα μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και ταυτόχρονα τη εγκατάσταση και χρήση έξυπνων ελεγκτών φωτισμού που τοποθετούνται στα ίδια τα φωτιστικά σώματα στους δρόμους (απομακρυσμένος έλεγχος, προγραμματισμός ώρας ενεργοποίησης και απενεργοποίησης λειτουργίας φωτισμού και κριτήρια αυξομείωσης έντασης αυτού) για επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας.
- Έξυπνοι μετρητές και ελεγκτές πίεσης στο υδρευτικό δίκτυο για την αποτελεσματικότερη και αποδοτικότερη διαχείριση των υδάτων (σταθεροποίηση της πίεσης και ανίχνευση διαρροών και παράνομων συνδέσεων), εξασφαλίζοντας την εξοικονόμηση στην κατανάλωση νερού που οφείλεται σε διαρροές και παράνομες συνδέσεις.
- Έξυπνο σύστημα παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων, με τη χρήση έξυπνων μετρητών, διακοπών και αισθητήρων που, από κοινού, παρέχουν δυνατότητα εντοπισμού της προέλευσης της σπατάλης ή της διαρροής στην κατανάλωση

¹ **Γεωχωρικές Τεχνολογίες (GIS):** ο κλάδος των επιστημών που αναφέρονται στη συλλογή, επεξεργασία, διαχείριση, απεικόνιση και ερμηνεία πληροφοριών με γεωγραφική αναφορά που αφορούν το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. (<http://www.geospatial.uniwa.gr/>, επίσκεψη 10/03/2022)

ηλεκτρικής ενέργειας και άμεσου περιορισμού τους, επιτυγχάνοντας έτσι σε πραγματικό χρόνο μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, αλλά και του ενεργειακού αποτυπώματος διοξειδίου του άνθρακα, παράγοντες εξαιρετικά σημαντικούς για την προστασία του περιβάλλοντος.

Οι καινοτόμες αυτές δυνατότητες στηρίζονται σε σύγχρονη ψηφιακή τεχνολογία και ειδικότερα στην τεχνολογία NB-IoT, η οποία με τη βοήθεια αισθητήρων επιτρέπει την απευθείας σύνδεση των συσκευών με τις αντίστοιχες έξυπνες εφαρμογές, μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας, χωρίς την δημιουργία νέων δικτύων (ασύρματων ή ενσύρματων).

Με την ψηφιακή αναβάθμιση της έξυπνης πόλης, η πολιτεία μπορεί να πετύχει αφενός την εξοικονόμηση πόρων και την αποτελεσματικότητα τόσο στη λειτουργία των υπηρεσιών όσο και στη διαχείριση των προβλημάτων της και αφετέρου την ταχύτερη και πιο διαφανή λήψη αποφάσεων.

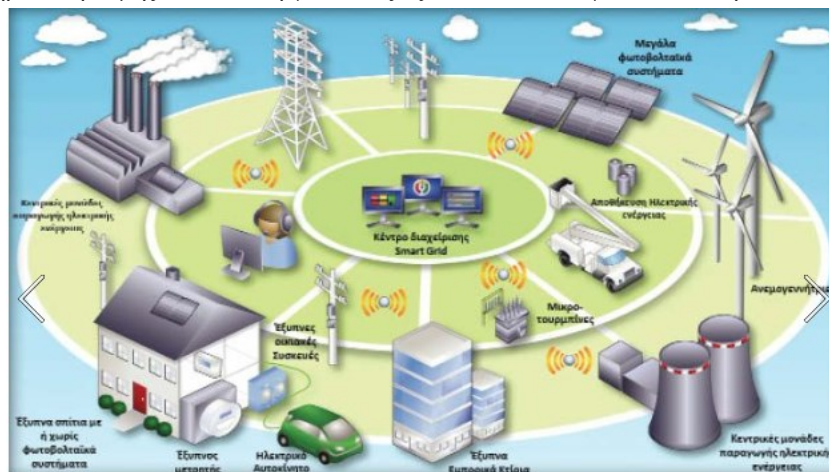
Έξυπνη Ενέργεια

Το μέλλον της ενέργειας είναι η έξυπνη ενέργεια. Η παραγωγή, δηλαδή, καθαρής και φθηνής ενέργειας και η λειτουργία της αγοράς, η διαχείριση και αποδοτική χρήση της με καινοτόμες τεχνολογίες, στο δρόμο για έναν ανταγωνιστικό ενεργειακό τομέα προς όφελος της οικονομίας και των καταναλωτών. Η χρήση τεχνολογιών μηδενικών ή χαμηλών εκπομπών, όπως οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και το φυσικό αέριο, εδραιώνεται όλο και περισσότερο και με χαμηλότερο κόστος, με πρώτη προτεραιότητα την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας ως τον συντομότερο δρόμο για την αειφόρο ανάπτυξη [10]:

- δραστική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας παραγόμενης από ορυκτά καύσιμα,
- μείωση των εκπομπών CO₂
- εξοικονόμηση φυσικών και οικονομικών πόρων.

Τα βασικά χαρακτηριστικά μιας έξυπνης ενεργειακά πόλης είναι [11]:

- **Το έξυπνο δίκτυο (Smart Grid):** είναι ένα μοντέρνο Ηλεκτρικό Δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί Τεχνολογίες Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων (Information and Communications Technologies/ICT) για τη συλλογή πληροφοριών που έχουν να κάνουν με την συμπεριφορά των παρόχων και των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να καθορίσει την ανταπόκρισή του. Χρησιμοποιεί κατάλληλες μετρητικές διατάξεις για να συλλέξει σε πραγματικό χρόνο την ενέργεια που καταναλώνεται αλλά και που παράγεται αποκεντρωμένα από τα κτίρια (smart metering). Η χαρακτηριστική δομή των λειτουργιών ενός έξυπνου δικτύου φαίνονται στην **Εικόνα 3**.



Εικόνα 3: Χαρακτηριστική δομή λειτουργιών ενός έξυπνου δικτύου (Smart Grid)

(https://www.4green.gr/jpg/news/700/Quantum_tx33_4.jpg)

Το έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνει ένα μεγάλο κομμάτι νέας ενεργειακής τεχνολογίας, όπως [12]:

- ανανεώσιμες πηγές ενέργειας,
- έξυπνες συσκευές τελευταίας τεχνολογίας και
- έξυπνους μετρητές.

Σημαντικότερες παράμετροι του έξυπνου δικτύου αποτελούν:

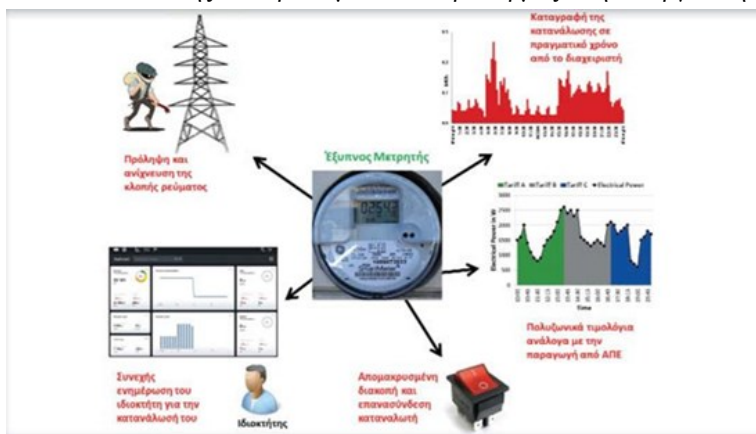
- η ηλεκτρονική ρύθμιση της ισχύος καθώς και
- ο έλεγχος της παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπλέον έχει ένα μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων:

- αυτόματη επαναφορά μετά από τεχνικές διαταραχές,
- μειωμένη ζήτηση αιχμής,
- μειωμένο λειτουργικό κόστος
- μειωμένο τελικό κόστος ως προς τους καταναλωτές,
- αυξημένη αντοχή σε βλάβες,
- δυνατότητα συνεχούς ενσωμάτωσης νέων τεχνολογικών εννοιών.
- μεγαλύτερη ασφάλεια όσον αφορά επιθέσεις
- συνεχή εποπτεία της ενεργειακής κατανάλωσης με έξυπνους μετρητές του, βάσει IT διαδικασιών.

- **Ο έξυπνος μετρητής:** αποτελεί βασική παράμετρο για την ανάπτυξη και τη λειτουργία των έξυπνων δικτύων. Έχοντας αμφίδρομη επικοινωνία μετατρέπει έναν παθητικό καταναλωτή σε ενεργό, επιτρέποντάς του να αλληλοεπιδρά με το δίκτυο και να συμμετέχει με αυτόν τον τρόπο στην συνολική ενεργειακή εξοικονόμηση της έξυπνης πόλης [12]. Οι βασικές του λειτουργίες φαίνονται στην **Εικόνα 4** και είναι οι κάτωθι:

- εξ' αποστάσεως και σε πραγματικό χρόνο, μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας από τον διαχειριστή του δικτύου.
- λήψη εξειδικευμένων σημάτων για τον διαχωρισμό της διάθεσης πολυζωνικών τιμολογίων ανάλογα με την παραγωγή και την ζήτηση της ενέργειας από ΑΠΕ.
- δυνατότητα απομακρυσμένης διακοπής και επανασύνδεσης του καταναλωτή.
- ασφαλής μετάδοση των μετρητικών δεδομένων.
- πρόληψη και ανίχνευση της κλοπής ρεύματος.
- δυνατότητα του καταναλωτή να έχει σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα της κατανάλωσής του προκειμένου να προσαρμόξει την ενεργειακή του συμπεριφορά.

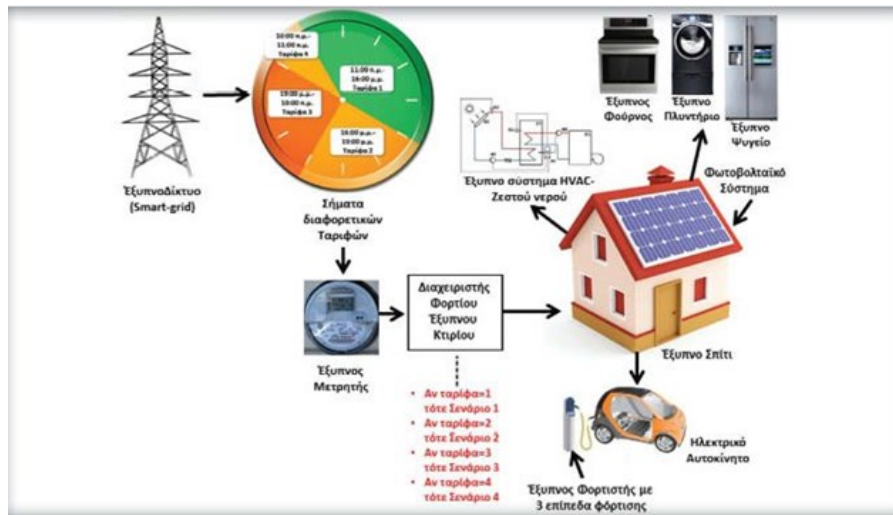


Εικόνα 4: Βασικές λειτουργίες ενός έξυπνου μετρητή

(https://www.4green.gr/jpg/news/700/Quantum_tx33_5.jpg)

- **Το έτοιμο για “ έξυπνο δίκτυο” κτίριο (Smart-grid ready building):** Το έξυπνο κτίριο βασίζεται στις αντίστοιχες «έξυπνες» τεχνολογίες που τα τελευταία χρόνια εξελίσσονται ραγδαία [11]. Η αντικατάσταση των συμβατικών μετρητών με αντίστοιχους “έξυπνους”, αποτελεί ένα σημαντικό

πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση αυτή. Όμως για την βέλτιστη αξιοποίηση της ενέργειας δεν αρκεί μόνο η μέτρησή της. Θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα διοχέτευσης της περίσσιας ενέργειας εκεί που αυτή υπολείπεται, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη αξιοποίηση των ΑΠΕ και μείωση της κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων. Επιπλέον ένας έξυπνος μετρητής παρέχει δυνατότητα διαφορετικής πολυζωνικής τιμολόγησης στον διαχειριστή/ πάροχο του δικτύου μέσω λήψης εξειδικευμένων σημάτων ανάλογα με τις λειτουργικές απαιτήσεις του έξυπνου δικτύου. Μια σχηματική απεικόνισή του φαίνεται στην **Εικόνα 5**.



Εικόνα 5: Το έτοιμο για το "έξυπνο δίκτυο" κτίριο (Smart-Grid Ready Building)

(https://www.4green.gr/jpg/news/700/Quantum_tx33_6.jpg)

Έξυπνη Γεωργία-Εκτροφή

Με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών (π.χ. IoT) αναπτύσσονται τόσο η έξυπνη γεωργία όσο και η έξυπνη εκτροφή. Στο πλαίσιο της έξυπνης γεωργίας/εκτροφής παρέχονται δυνατότητες όπως:

- ανίχνευση των αγροτικών ζώων και των κινήσεων τους σε πραγματικό χρόνο
- ανίχνευση και αναγνώριση των ασθενειών των ζώων για τον έλεγχο, την έρευνα και την πρόληψή τους
- εντοπισμός, εμβολιασμένων και ελεγχόμενων για ασθένειες, ζώων
- ακριβής προσδιορισμός δειγμάτων αίματος και ιστού
- πιστοποίηση της κατάστασης της υγείας των ζώων
- διεύρυνση περιοχής διάθεσης μιας γεωργικής παραγωγής απευθείας στους καταναλωτές χωρίς μεσάζοντες και κατά συνέπεια
- πιο άμεση και μικρότερη αλυσίδα μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών.

Κλάδος της έξυπνης εκτροφής μπορεί να θεωρηθεί και η έξυπνη μελισσοκομία, η οποία αναλύεται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

1.4 Μελισσοκομεία - Γενικές αρχές

1.4.1 Τάξη κατάταξης – Γενική περιγραφή αποικίας

Η Ευρωπαϊκή ή δυτική μέλισσα, στα λατινικά “*Apis Mellifera*” (μέλισσα μελιοφόρος), ανήκει στην τάξη των Υμενοπτέρων και χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα κοινωνική συμπεριφορά. Ζει σε πολυπληθείς αποικίες μέσα σε φωλιές (κυψέλες), που αποτελούνται από την βασίλισσα και δύο διαφορετικές κάστες μελισσών (εργάτριες και κηφήνες), που περνούν μαζί το χειμώνα (πολυτεείς αποικίες). Ανάλογα με το μέγεθος και το στάδιο ανάπτυξής της, ο πληθυσμός μιας αποικίας κυμαίνεται από 20.000 έως 80.000 άτομα: μία (ή προσωρινά περισσότερες) βασίλισσα, 1.000-1.400 κηφήνες και τα υπόλοιπα εργάτριες [13].

Η βασίλισσα γονιμοποιείται στο παρθενικό και μοναδικό ταξίδι της έξω από την κυψέλη, από ένα ικανό πλήθος κηφήνων που την συνοδεύουν. Μετά την επιστροφή της ξεκινάει να παράγει τα αυγά (γόνους), ενώ πολυάριθμες εργάτριες αναλαμβάνουν διαφορετικές εργασίες που είναι απαραίτητες για την επιβίωση της αποικίας, όπως καθαρίστρια, τροφός, αρχιτέκτονας/μαραγκός, αποθηκάριος, αερίστρια, φρουρός και συλλέκτρια. Η βασίλισσα διαφέρει μορφολογικά από τις εργάτριες σε μέγεθος, σχήμα και χρώμα και είναι ανίκανη να ζήσει μόνη της, αφού στην κυριολεξία οι μέλισσες /τροφοί βάζουν την τροφή στο στόμα της βασίλισσας. Από την άλλη μεριά οι εργάτριες δεν μπορούν να ζευγαρώσουν. Συνεπώς είναι κατανοητό ότι, όλες οι κάστες είναι απαραίτητες για τη διαβίωση μιας αποικίας μελισσών, αφού η μία δρα συμπληρωματικά της άλλης.

Τέλος, η αποικία αναπαράγεται με τη σημιουργία, διαδικασία κατά την οποία, παρουσία νεώτερης βασίλισσας, η γηραιότερη βασίλισσα αποχωρεί από την κυψέλη, παίρνοντας μαζί της ικανό αριθμό μελισσών (εργατριών και κηφήνων) αναζητώντας νέα κατοικία, δημιουργώντας έτσι ένα σμήνος. Η σημιουργία είναι ο φυσικός μηχανισμός πολλαπλασιασμού των αποικιών μελισσών, ο οποίος εξαρτάται από γενετικές και άλλες ιδιαιτερότητες μιας συγκεκριμένης αποικίας μελισσών. Δεν υπάρχουν άμεσα αντιληπτές ενδείξεις των συνθηκών προετοιμασίας αυτής της διαδικασίας για έναν μελισσοκόμο, χωρίς να ανοίξει την κυψέλη.

1.4.2 Βιολογικός κύκλος μιας αποικίας

Ως «βιολογικός κύκλος» μιας αποικίας, ορίζονται τα μεγάλα ετήσια στάδια που είναι καθοριστικά για την ανάπτυξή της (συγκομιδή μελιού και φωτοκία βασίλισσας). Ο κύκλος αυτός εξαρτάται τόσο από τις εποχές όσο και από το περιβάλλον (ποιότητα και ποσότητα διαθέσιμων μελιτοφόρων λουλουδιών).

Ο ετήσιος κύκλος ανάπτυξης μιας αποικίας μελισσών [13] μπορεί να διακριθεί:

- στον Παθητικό χειμώνα και
- στις ενεργές περιόδους (άνοιξη – θέρος – φθινόπωρο)

Έτσι οι μέλισσες, ανάλογα με την εποχή, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Μέλισσες του καλοκαιριού: γεννιούνται την άνοιξη και το καλοκαίρι και η ζωή τους είναι σύντομη – τρεις εβδομάδες περίπου. Συμμετέχουν στην ανάπτυξη της αποικίας και στην αποθήκευση των χειμερινών αποθεμάτων.
- Χειμερινές μέλισσες: γεννιούνται το Φθινόπωρο ή αρχές του χειμώνα και ζουν έως και έξι μήνες.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον βιολογικό κύκλο της αποικίας είναι:

- Το υψόμετρο και το γεωγραφικό πλάτος
- Τα γενετικά χαρακτηριστικά των μελισσών

Οι παράγοντες, οι οποίοι συμβάλλουν αθροιστικά, αλλά και παράλληλα μεμονωμένα και εξειδικευμένα στην αποδοτικότητα μιας μελισσοκομικής μονάδας/αποικίας και σε περίπτωση που δεν εκτιμηθούν σωστά ανεβάζουν το κόστος αλλά και τις απώλειες μιας επιχείρησης είναι οι κάτωθι [14]:

- η βιολογική δυναμική των μελισσοσμηνών της
- η ποσότητα και η απόδοση των μελισσοκομικών φυτών της περιοχής εκτροφής
- οι κλιματικές συνθήκες στην περιοχή εκτροφής
- η συγκρότηση και το μέγεθός της
- ο διαθέσιμος εξοπλισμός και τα μέσα που έχει στην διάθεσή του ο μελισσοκόμος
- η ικανότητα του μελισσοκόμου να λαμβάνει τις σωστές αποφάσεις και να προβαίνει σε τεχνικούς και επιχειρησιακούς χειρισμούς.

1.4.3 Προβλήματα μελισσοκομίας και τρόποι αντιμετώπισης

Η τοποθέτηση μελισσοκομικής ζυγαριάς σε μια κυψέλη είναι ικανή να απαλλάξει το μελισσοκόμο από αρκετές ανησυχίες και άγχη και να δώσει λύσεις σε πολυάριθμα προβλήματα που απασχολούν τον κλάδο της μελισσοκομίας, με στόχο πάντα να προσφέρει την μέγιστη δυνατή εξυπηρέτηση και ιδανικά αποτελέσματα. Τα έσοδα θα αυξηθούν, όχι μόνο λόγω της μεγαλύτερης παραγωγής αλλά και της σημαντικής εξοικονόμησης οικονομικών πόρων από έξοδα μεταφορών, καθώς και των απωλειών παραγωγής που θα μπορούσαν να προκύψουν.

Πρωταρχικό μέλημα ενός μελισσοκόμου είναι η διατήρηση της υγείας των μελισσών στη κυψέλη του, προκειμένου να έχει την βέλτιστη και την πιο πλούσια παραγωγή μελιού στα πλαίσια πάντα του εφικτού.

Το γεγονός αυτό αποκτά άλλες διαστάσεις, όταν αναλογιστεί κανείς ότι η πλειοψηφία των επαγγελματιών μελισσοκόμων έχουν στην κατοχή τους, όχι μία, αλλά δεκάδες και καμιά φορά και εκατοντάδες κυψέλες, διασκορπισμένες σε διαφορετικά μέρη, μακριά η μια από την άλλη, που πρέπει να επιβλέπουν και να φροντίζουν, ώστε να έχουν την μεγαλύτερη δυνατή παραγωγή.

Δυστυχώς όμως, ο αριθμός κυψελών που μπορούν να επιθεωρήσουν σε μικρό χρονικό διάστημα, είναι αρκετά περιορισμένος. Ο χρόνος που απαιτείται για ένα μελισσοκόμο για μια επιθεώρηση μπορεί να είναι από μέρες έως εβδομάδες, και αρκετές φορές ακόμα περισσότερο, προκειμένου να μεταβεί σε κάθε περιοχή που έχει τοποθετήσει μελίσιμα, με αποτέλεσμα να μην έχει άμεση γνώση της κατάστασης και των αναγκών στις κυψέλες του.

Επισημαίνεται εδώ ότι οι απαιτήσεις που μπορούν να προκύψουν στα μελίσιμα ποικίλουν από μελίσι σε μελίσι και παίζουν σημαντικό και πολλές φορές καταλυτικό ρόλο στην ομαλή εξέλιξη και πρόοδο της κάθε κυψέλης.

Οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν στο χώρο των μελισσοστάσιων έχουν άμεση σχέση με την καλή υγεία και παραγωγικότητα των μελισσιών. Ο χειμώνας είναι μια δύσκολη και απαιτητική εποχή για τις κυψέλες, αφού οι μέλισσες δεν μπορούν να βγουν έξω στο κρύο και εξαρτώνται από την ποσότητα του μελιού σε αποθήκευση για να παραμείνουν ζεστές και για να τρέφονται επαρκώς. Συνεπώς, εάν το μέλι τους δεν επαρκεί για να μείνουν υγιείς, ο μελισσοκόμος θα πρέπει να τους παρέχει σιρόπι ώστε να συνεχιστεί η αύξηση της παραγωγής, γεγονός που είναι πρακτικά δύσκολο εάν δεν έχει άμεση γνώση της κατάστασης της κυψέλης.

Επιπλέον είναι εξαιρετικά ωφέλιμο για έναν μελισσοκόμο να γνωρίζει ανά πάσα ώρα και στιγμή την απόδοση των σημείων που έχει τοποθετήσει τα μελίσιμα του. Εάν μια κυψέλη δεν είναι παραγωγική (δεν έχει την απαιτούμενη απόδοση), ο μελισσοκόμος άμεσα πρέπει να εφαρμόσει τις ανάλογες διαδικασίες και να λάβει αντίστοιχες αποφάσεις (π.χ. μετακίνηση σε άλλο προσφορότερο σημείο). Η χαμηλή απόδοση μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι στο σημείο που είναι τοποθετημένη:

- επικρατούν ακραία καιρικά φαινόμενα (υπερβολικά έντονος αέρας, αρκετά δυνατές και συνεχείς βροχοπτώσεις, κα).
- Υπάρχει μη ικανοποιητικό ποσοστό θερμοκρασίας και υγρασίας, που διαφέρει από περιοχή σε περιοχή.

Και βέβαια στην περίπτωση που το σημείο που είναι τοποθετημένη μια κυψέλη με τοποθετημένη ζυγαριά, είναι εξαιρετικά αποδοτικό, ο μελισσοκόμος έχει την επιλογή να μεταφέρει απευθείας και τα υπόλοιπα μελίσσια του σε εκείνη την περιοχή για να εκμεταλλευτεί το ιδανικό ποσοστό παραγωγικότητας που του προσφέρεται και να αυξήσει τις πιθανότητες μιας επιτυχημένης συγκομιδής.

Γίνεται λοιπόν εύκολα κατανοητό ότι η μελισσοκομία σαν επάγγελμα απαιτεί συνεχή και άμεση προσοχή, ενημέρωση και επίβλεψη της κάθε κυψέλης ξεχωριστά ώστε να υπάρχουν άρτια αποτελέσματα, γεγονός που είναι δύσκολο επιτεύξιμο για έναν μελισσοκόμο. Γι' αυτό και η σημαντικότητα μιας μελισσοκομικής ζυγαριάς, καθώς και άλλων αισθητήρων (θερμοκρασίας και υγρασίας) γίνεται ξεκάθαρη, αφού καθιστούν δυνατή τη συνεχή παρακολούθηση και τον έλεγχο μεγάλου αριθμού μελισσιών σε πολλά και γεωγραφικά διαφορετικά σημεία.

Μια μελισσοκομική ζυγαριά δίνει την δυνατότητα καταγραφής ανά τακτά χρονικά διαστήματα, του βάρους της κυψέλης, δηλαδή της ποσότητας του παραγόμενου μελιού, σε βάση δεδομένων στο cloud, με άμεση πρόσβαση σαν μήνυμα στο κινητό του ή σε online πλατφόρμα, χωρίς να απαιτείται η μετάβαση του μελισσοκόμου σε κάθε μελίσι ξεχωριστά.

Η γνώση του βάρους είναι από τα σημαντικότερα μεγέθη μιας κυψέλης, καθώς αποτελεί ισχυρή ένδειξη της υγιούς κατάστασης αυτής και σε αντίθετη περίπτωση των πιθανών κινδύνων:

- μια ραγδαία μείωση βάρους μπορεί να έχει προκληθεί από σημινουργία, από θάνατο της αποικίας, από ρίψη της κυψέλης από κάποιο μεγάλο ζώο (αρκούδα). Σε αυτή την περίπτωση ο μελισσοκόμος θα ενημερωθεί άμεσα για την μείωση βάρους και θα μπορέσει να ενεργήσει εγκαίρως, χωρίς να δημιουργηθούν μεγάλες απώλειες στο μελίσι του.
- κατά την διάρκεια του χειμώνα, άμεση γνώση της ανάγκης φροντίδας ενός μελισσοστάσιου.
- την εποχή της συγκομιδής, γνώση για την ακριβή ποσότητα του μελιού που θα πρέπει να τρυγήσει και που θα πρέπει να αφήσει μέσα στην κυψέλη αντίστοιχα, ώστε να παραμείνουν υγιείς οι μέλισσες.

Επιπλέον, το σύστημα ελέγχου εκτός από ζυγαριά μπορεί να περιέχει και αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας, για την εύκολη παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στο χώρο του μελισσοστάσιου από τον μελισσοκόμο. Στις έντονες καιρικές συνθήκες που θέτουν σε κίνδυνο αφενός την επαρκή παραγωγή μελιού και αφετέρου την υγεία των μελισσών, ο μελισσοκόμος έχει άμεση γνώση της κατάστασης ώστε να πράξει αναλόγως για το καλό της κυψέλης, μεταφέροντας την σε μια άλλη περιοχή που τηρεί τις προϋποθέσεις για την καλύτερη ποιότητα ζωής των μελισσών.

Παράλληλα, δίνεται η δυνατότητα της σύγκρισης των προηγούμενων μετρήσεων βάρους, θερμοκρασίας και υγρασίας, ώστε εξάγοντας στατιστικά στοιχεία για τυχόν αλλαγές και αυξομειώσεις που μπορούν να επηρεάσουν αξιολογώντας το μέλλον της απόδοσης των κυψελών.

1.4.4 Κλιματολογικές συνθήκες και πως επηρεάζουν την ανάπτυξη της κυψέλης

Οι αποικίες μελισσών παρουσιάζουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα ως υποκείμενα για συνεχή παρακολούθηση, ειδικά όταν διατηρούνται σε κυψέλες όπου όλα τα μέρη της αποικίας διαχωρίζονται εύκολα, μετριούνται και τροποποιούνται εάν χρειάζεται. Οι αποικίες μελισσών είναι ενεργές, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, όλη την ημέρα κάθε μέρα και έχουν θεωρηθεί ως «υπερ-οργανισμοί» με μεμονωμένες μέλισσες να παίζουν ρόλους ανάλογους με τα κύτταρα ενός πολυκύτταρου οργανισμού [15].

Μια αποικία μελισσών μέσα στην κυψέλη, λειτουργώντας ως ένας ζωντανός οργανισμός, ρυθμίζουν τη θερμοκρασία και την υγρασία και προστατεύουν την αποικία από ασθένειες και παράσιτα, αξιοποιώντας δυνατότητες που οι απομονωμένες ή μεμονωμένες μέλισσες δεν μπορούν. Η αποτελεσματικότητα μιας αποικίας στην εκτέλεση αυτών των συλλογικών και αρκετά σύνθετων λειτουργιών/συμπεριφορών μπορεί να αποτελέσει δείκτη αξιολόγησης της γενετικής, της υγείας και της φαινολογίας αυτής. **Φαινολογία** είναι η μελέτη του χρονοδιαγράμματος των γεγονότων του κύκλου ζωής όλων των ζωντανών οργανισμών, όπου κύκλος ζωής ενός οργανισμού είναι η χρονική περίοδος που περιλαμβάνει μια γενεά μέσω της αναπαραγωγής [16].

Παρόλο που οι υγιείς αποικίες μελισσών διατηρούν ένα σταθερό περιβάλλον σε ένα τουλάχιστον τμήμα της κυψέλης, ωστόσο αυτό το περιβάλλον εξακολουθεί να υπόκειται σε μεταβαλλόμενους βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες:

- μια τοπική ροή νέκταρ μπορεί γρήγορα να ενισχύσει τα αποθέματα τροφής της αποικίας,
- μια ξαφνική έκθεση σε φυτοφάρμακο σε ένα κοντινό χωράφι μπορεί απότομα να μειώσει τον αριθμό των τροφοσυλλεκτών.
- μια απροσδόκητη περίοδος ασυνήθιστα κρύου καιρού μπορεί να μειώσει τη δραστηριότητα των τροφοσυλλεκτών και την παραγωγή γόνου.
- ο θάνατος της βασίλισσας ή του αναπαραγωγικού σμήνους (κηφήνες), μπορούν επίσης να προκαλέσουν απότομες αλλαγές στη δυναμική της αποικίας.

Με τη συνεχή παρακολούθηση των αποικιών, κατά την διεξαγωγή πειραμάτων στο πεδίο, μπορούν να εξηγηθούν αυτοί οι παράγοντες κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της θεραπείας.

Καθώς η τεχνολογική εξέλιξη των αισθητήρων έχει προχωρήσει αισθητά, η εφαρμογή τους, τόσο στην έρευνα για τις μέλισσες όσο και στην γενική μελισσοκομία, έχει αυξηθεί σημαντικά. Μικρότεροι, φθηνότεροι και ακριβέστεροι αισθητήρες, μαζί με ευκολότερες συνδέσεις με υπολογιστές και Διαδίκτυο επιτρέπουν σε ερευνητές και στους μελισσοκόμους να παρακολουθούν πολλές φυσικές πτυχές των αποικιών μελισσών συνεχώς, εξ αποστάσεως και με ελάχιστο ανθρώπινο δυναμικό. Με την εγκατάσταση αισθητήρων, είναι δυνατόν να παρακολουθούνται οι κυψέλες χωρίς καμία ενόχληση, ακόμη και κατά τις περιόδους που δεν είναι κατάλληλες για επεμβατικές επιθεωρήσεις, όπως το χειμώνα ή περιόδους υψηλού άγχους για τις αποικίες.

Βάρος

Η τοποθέτηση ενός αισθητήρα βάρους (ζυγαριά) σε μια κυψέλη μελισσών για ζύγιση δεν δημιουργεί σημαντική ενόχληση στην κυψέλη και εφόσον η κυψέλη παραμένει μόνιμα πάνω στη ζυγαριά, η ζύγιση δεν προκαλεί διαταραχή στις μέλισσες. Η περιοδική ζύγιση (εβδομαδιαία ή ακόμα και καθημερινή) συνήθως πραγματοποιείται για να καθοριστεί το κατάλληλο χρονικό σημείο για τη συλλογή του μελιού ή για να εκτιμηθούν τα επίπεδα τροφής στις κυψέλες. Η συνεχής ζύγιση με μια ζυγαριά ακριβείας μπορεί να παρέχει αυτές τις πληροφορίες, καθώς και δεδομένα για απότομες αλλαγές στην κυψέλη (όπως π.χ. απώλεια πληθυσμού).[15].

Τα δεδομένα βάρους είναι σχετικά εύκολα να καθοριστούν και να αναλυθούν, καθώς μια αποικία έχει μια μοναδική τιμή βάρους σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Οι περισσότερες κυψέλες φορτίου μπορούν επίσης να ελέγχουν τη μεταβλητότητα της θερμοκρασίας, τουλάχιστον σε ένα προκαθορισμένο εύρος τιμών. Ωστόσο, ορισμένοι καιρικοί παράγοντες, όπως η βροχόπτωση και ο άνεμος, μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια των δεδομένων που συλλέγονται από τις ζυγαριές. Η συνεχής ζύγιση έχει αποδειχθεί ότι παρέχει πληροφορίες:

- για τις καιρικές επιπτώσεις,
- την ανάπτυξη και κατανάλωση τροφής των αποικιών,
- το σμήνος,
- την εγκατάλειψη κυψέλης,
- την επίδραση των φυτοφαρμάκων στις αποικίες μελισσών,
- τις αλλαγές στη διαθεσιμότητα νέκταρ και γύρης και
- τις διαφορές μεταξύ των φυλών μελισσών.

Παρέχοντας δεδομένα σχετικά με τις αλλαγές στο βάρος της αποικίας, συλλέγονται πολύτιμες πληροφορίες για την κατάσταση της αποικίας. Ωστόσο, για μια ολοκληρωμένη και ακριβή ανάλυση, είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη και άλλες παραμέτρους της αποικίας, όπως ο αριθμός των ενηλίκων μελισσών, ο αριθμός των γονέων και τα αποθέματα τροφής. Οι δραστηριότητες συλλογής τροφής μπορούν να επηρεάσουν τα δεδομένα βάρους, αλλά όπως προαναφέρθηκε, η ποιότητα των δεδομένων μπορεί να είναι ανεπαρκής για την πλήρη κατανόηση της κατάστασης της αποικίας. Παράγοντες όπως οι αλλαγές στο νερό και στη γύρη μπορούν να προκαλέσουν διακυμάνσεις στα δεδομένα βάρους, καθιστώντας δύσκολο τον ακριβή προσδιορισμό των αλλαγών που οφείλονται στην πληθυσμιακή δυναμική. Για το λόγο αυτό, η πρόσθετη μέτρηση του μεγέθους της αποικίας, καθώς και των αποθεμάτων τροφής, είναι πολύ σημαντική. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να αναλύσουμε και να ερμηνεύσουμε τα δεδομένα βάρους με πιο

ολοκληρωμένο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη τις πιθανές παραμετρικές παρεμβολές και αλληλεπιδράσεις που μπορεί να επηρεάζουν τα αποτελέσματα.

Θερμοκρασία

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο ετήσιος κύκλος ανάπτυξης μιας αποικίας μελισσών διακρίνεται στον παθητικό χειμώνα και στις ενεργές περιόδους. Κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων, οι μετρήσεις θερμοκρασίας μπορούν να εξυπηρετήσουν διάφορους στόχους για τη βελτίωση της μελισσοκομίας. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν διεξαχθεί, η θερμοκρασία είναι η παράμετρος που έχει την υψηλότερη επίδραση στις μέλισσες σε σχέση με άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους. Κατά τη διάρκεια του παθητικού χειμώνα, οι μετρήσεις θερμοκρασίας μπορούν να βοηθήσουν στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων για τις αποικίες, διασφαλίζοντας ότι η θερμοκρασία δεν πέφτει κάτω από κρίσιμα επίπεδα που μπορεί να βλάψουν τη μέλισσες. Κατά τη διάρκεια των ενεργών περιόδων, οι μετρήσεις θερμοκρασίας μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για το πότε είναι ορθό και κατάλληλο να διεξαχθούν διάφορες εργασίες στη μελισσοκομία, όπως η αντικατάσταση των πλαισίων ή η συλλογή του μελιού. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας λοιπόν, μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση και βελτίωση της μελισσοκομίας, επιτρέποντας την προσαρμογή των δραστηριοτήτων σύμφωνα με τις ανάγκες και τις συνθήκες κάθε περιόδου.

Η αύξηση της εξωτερικής θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα γραμμικές αυξήσεις στη θερμοκρασία της εισόδου της κυψέλης, της περιφέρειάς της και του κέντρου της. Οι σχέσεις αφενός μεταξύ της κεντρικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και αφετέρου μεταξύ της κεντρικής θερμοκρασίας και της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της περιφερειακής και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος είναι γραμμικές. Αυτό σημαίνει ότι όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αυξάνεται, υπάρχει τάση για αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας και όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μειώνεται, υπάρχει τάση για μείωση της κεντρικής θερμοκρασίας. Επίσης, όταν η κεντρική θερμοκρασία αυξάνεται, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της περιφερειακής και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος αυξάνεται, και όταν η κεντρική θερμοκρασία μειώνεται, η διαφορά αυτή μειώνεται. Αυτή η παρατήρηση μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις για την κατανόηση των δραστηριοτήτων των μελισσών και των αλληλεπιδράσεών τους με το περιβάλλον. [17]. Οι μεταβολές στην θερμοκρασία σε μία κυψέλη κυμαίνονται όπως αναφέρεται παρακάτω:

- Στην κατάσταση ενεργού εκτροφής γόνου η θερμοκρασία στο κέντρο της κυψέλης αυξάνεται έως 30 °C.
- Κατά τη θερινή περίοδο, η θερμοκρασία στη φωλιά του γόνου (κέντρο της κυψέλης) είναι κατά μέσο όρο 35,5 °C και μπορεί να κυμαίνεται από 33,8 °C έως 37,0 °C.
- Κατά τη χειμερινή περίοδο, η θερμοκρασία στο κέντρο μιας κυψέλης διατηρείται σε μέση τιμή 21,3 °C και μπορεί να κυμαίνεται από 12,0 °C, έως 33,5 °C). Με την αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, η κεντρική θερμοκρασία πέφτει ενώ η περιφερειακή θερμοκρασία αυξάνεται ελαφρά. Με τη μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, η περιφερειακή θερμοκρασία μειώνεται κατά ένα μικρό ποσοστό ενώ η κεντρική θερμοκρασία αυξάνεται.

Κατά τη θερινή περίοδο είναι σημαντικό να ανιχνευθούν οι διαφορετικές καταστάσεις μιας αποικίας μελισσών (συνθήκες σμηνουργίας, μελαγχολικές, χωρίς βασίλισσα, κα.) που έχουν άμεση σχέση με αυξομείωση της θερμοκρασίας [17]. Βάσει των ανωτέρω, είναι σαφές ότι η ανίχνευση των συνθηκών προετοιμασίας σμηνουργίας παραμένει μια πρόκληση ελλείψει άμεσων ενδείξεων που θα ήταν ορατές χωρίς το άνοιγμα της κυψέλης. Για την αντιμετώπισή της, η καλύτερη επιλογή φαίνεται να είναι η εφαρμογή μεθόδων μελισσοκομίας ακριβείας σε μεμονωμένες αποικίες. Αυτό σημαίνει ότι ο μελισσοκόμος θα πρέπει να χρησιμοποιεί πιο ακριβείς και λεπτομερείς μεθόδους για την παρακολούθηση της κάθε αποικίας ξεχωριστά. Μπορεί αυτό να συμπεριλαμβάνει τη χρήση αισθητήρων θερμοκρασίας και άλλων παραμέτρων για την παρακολούθηση των εσωτερικών συνθηκών της κυψέλης, χωρίς να είναι αναγκαίο να ανοίξει την κυψέλη. Επίσης, η στενή παρακολούθηση των δραστηριοτήτων των μελισσών, όπως οι πτήσεις εισροής-εκροής και η συμπεριφορά των μελισσών στην είσοδο της κυψέλης, μπορεί επίσης να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες. Η χρήση μεθόδων μελισσοκομίας ακριβείας σε μεμονωμένες αποικίες μπορεί να επιτρέψει στον μελισσοκόμο να αποκτήσει μια πιο ολοκληρωμένη και λεπτομερή κατανόηση των διαδικασιών που συμβαίνουν εντός της αποικίας και να προετοιμαστεί για τυχόν σμηνουργίες.

Κατά τη διάρκεια του παθητικού χειμώνα, η εφαρμογή μετρήσεων θερμοκρασίας μπορεί να αποτελέσει ιδιαίτερα χρήσιμη πρακτική για την ανίχνευση διάφορων συμβάντων που εκδηλώνονται εντός της αποικίας. Αυτές οι μετρήσεις μπορούν να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες και ειδοποιήσεις για τις ακόλουθες καταστάσεις:

- **Αυξημένη Κατανάλωση Τροφής:** Η αύξηση της κατανάλωσης τροφής μπορεί να υποδείξει ότι οι μέλισσες ενδέχεται να έχουν ανάγκη για περισσότερη τροφή, ίσως λόγω μιας αυξημένης δραστηριότητας ή της ανάγκης να διατηρήσουν τη θερμοκρασία της κοινότητάς τους.
- **Έναρξη Εκτροφής Γόνου:** Η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να υποδείξει την έναρξη της εκτροφής του γόνου, καθώς οι μέλισσες ξεκινούν την εκτροφή νέων ενήλικων.
- **Θάνατος Ολόκληρης Της Αποικίας:** Η παρατήρηση μιας ραγδαίας μείωσης της θερμοκρασίας μπορεί να υποδείξει τον θάνατο όλης της αποικίας, που μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες, όπως ασθένειες, κακές συνθήκες περιβάλλοντος ή σε άλλους παράγοντες.

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας, λοιπόν, μπορούν να λειτουργήσουν ως ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την παρακολούθηση της κατάστασης της αποικίας κατά τη διάρκεια του χειμώνα και για τη λήψη κατάλληλων μέτρων εφόσον απαιτείται.

Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιούνται με την τοποθέτηση αισθητήρων θερμοκρασίας σε διαφορετικά σημεία μιας κυψέλης.

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας παρέχουν μεμονωμένες τιμές ανά αισθητήρα σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, αλλά σε αντίθεση με τις μετρήσεις βάρους, που δεν εξαρτώνται από το σημείο τοποθέτησης των αισθητήρων, υπάρχει μια σειρά τιμών μέσα σε μια κυψέλη, ανάλογα με τον αριθμό και τη θέση τοποθέτησης των αισθητήρων [15].

Η θέση ενός δεδομένου αισθητήρα θερμοκρασίας μέσα στην κυψέλη θα καθορίσει το βαθμό επηρεασμού του από τις εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος και συνεπώς οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων σημείων μέσα σε μια κυψέλη μπορεί να είναι μεγάλες (επάνω μέρος, εσωτερικό, κάτω μέρος). Η τοποθέτηση αισθητήρων θερμοκρασίας μέσα στο συγκρότημα γόνου μπορεί να προσφέρει πληροφορίες που αντικατοπτρίζουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την εσωτερική κατάσταση της αποικίας, αντίθετα από την επίδραση των εξωτερικών συνθηκών. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας που είναι τοποθετημένοι στο εσωτερικό του συγκροτήματος γόνου είναι πιο προστατευμένοι από τις εξωτερικές περιβαλλοντικές μεταβολές, όπως η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή οι αλλαγές στις καιρικές συνθήκες. Αυτό συμβαίνει διότι το εσωτερικό του συγκροτήματος γόνου λειτουργεί ως ένα είδος θερμικής μόνωσης, προστατεύοντας τον χώρο αυτόν από τις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας που μπορεί να παρατηρούνται στο περιβάλλον. Αντίθετα, οι αισθητήρες που βρίσκονται πιο κοντά στο εξωτερικό της κυψέλης επηρεάζονται περισσότερο από τις αλλαγές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και τις καιρικές συνθήκες. Αυτή η στρατηγική τοποθέτησης αισθητήρων μπορεί να προσφέρει πιο ακριβείς και αξιόπιστες μετρήσεις θερμοκρασίας που αντικατοπτρίζουν τις εσωτερικές συνθήκες της αποικίας, ενισχύοντας την κατανόηση της δραστηριότητας και της κατάστασης των μελισσών.

Η παρατήρηση σχετικά με τη μεταβλητότητα των αισθητήρων σε σταθερά σημεία είναι σημαντική. Οι αισθητήρες που τοποθετούνται σε σταθερά σημεία μέσα στην κυψέλη μπορεί να αντιμετωπίσουν μεταβολές στην απόστασή τους από τη συστάδα γόνου λόγω των διακυμάνσεων του πληθυσμού των μελισσών και των αλλαγών στο μέγεθος της συστάδας κατά τη διάρκεια του έτους. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, για παράδειγμα, ο πληθυσμός των μελισσών μπορεί να μειωθεί και η συστάδα γόνου να συμπιεστεί. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στην απόσταση μεταξύ των αισθητήρων και της συστάδας, επηρεάζοντας έτσι την ακρίβεια των μετρήσεων. Επίσης, οι αλλαγές στις θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού της κυψέλης κατά τον χειμώνα μπορεί να οδηγήσουν σε πιο ακραίες συνθήκες που επηρεάζουν τη λειτουργία των αισθητήρων. Για την ακριβή και αξιόπιστη παρακολούθηση των συνθηκών εντός της κυψέλης, ίσως είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη αυτές οι μεταβολές και να πραγματοποιούνται κατάλληλες προσαρμογές στην τοποθεσία και την τεχνολογία των αισθητήρων για τη διατήρηση της ακρίβειας των μετρήσεων κατά τη διάρκεια όλων των εποχών.

Συστοιχίες αισθητήρων που είναι ενσωματωμένοι στην επιφάνεια των πλασιών κυψέλης επιλύουν αυτό το πρόβλημα, όμως μια τέτοια προσέγγιση μπορεί να είναι ακριβή στην εφαρμογή. Εναλλακτικά μπορεί να επιλεγεί η συμπερίληψη πολλών διαφορετικών κυψελών προκειμένου να ελεγχθεί η μεταβλητότητα στη θέση του γόνου.

Η τυποποίηση της τοποθέτησης των αισθητήρων είναι σημαντική για να εξασφαλιστεί συνέπεια και αξιοπιστία στις μετρήσεις. Η επιλογή της θέσης των αισθητήρων εξαρτάται από τον σκοπό της μέτρησης και τον τρόπο με τον οποίο θέλουμε να παρακολουθήσουμε την κατάσταση της αποικίας. Τοποθετώντας τον αισθητήρα πάνω από ένα μεσαίο πλαίσιο στο κουτί γόνου, μπορούμε να παρακολουθούμε τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του συγκροτήματος του γόνου. Αυτή η θέση μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη θερμοκρασία της συστάδας γόνου, η οποία είναι σημαντική για την ανάπτυξη του γόνου και την εκτροφή. Αν τοποθετήσουμε τους αισθητήρες στο κέντρο της συστάδας γόνου σε κάθε κυψέλη, αυτό μπορεί να μας παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη θερμοκρασία εκείνης της συγκεκριμένης περιοχής. Ωστόσο, αν η συστάδα γόνου μετακινείται ή αλλάζει μέγεθος, η ακρίβεια των μετρήσεων ενδέχεται να επηρεαστεί. Η επιλογή της θέσης των αισθητήρων εξαρτάται από τους στόχους και τις ανάγκες ενός μελισσοκόμου. Σε κάθε περίπτωση, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι πιθανές μεταβολές που μπορεί να επηρεάσουν τη θέση των αισθητήρων και να προσαρμόζεται ανάλογα η τοποθεσία τους για την διατήρηση της ακρίβειας των μετρήσεων.

Η επικάλυψη των αισθητήρων με πρόπολη ή κερί είναι μια ισχυρή πιθανότητα. Καθώς οι μέλισσες αντιδρούν σε ξένα αντικείμενα με τη δημιουργία πρόπολης ή κεριού, αυτό μπορεί να παρεμποδίσει την απρόσκοπτη λειτουργία των αισθητήρων μέσα στην κυψέλη. Για την αξιοπιστία των μετρήσεων, είναι απαραίτητο να ελέγχονται τακτικά οι αισθητήρες μέσα στην κυψέλη και να διασφαλίζεται ότι δεν έχουν καλυφθεί από πρόπολη, κερί ή άλλα υλικά. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την τακτική επιθεώρηση των αισθητήρων και την αφαίρεση οποιωνδήποτε ξένων υλικών ενδέχεται να εμποδίζουν τη λειτουργία τους. Επίσης, η σωστή τοποθέτηση των αισθητήρων με βάση την τοποθεσία της συστάδας γόνου ή άλλα επιτόπια χαρακτηριστικά μπορεί να βοηθήσει στο να μειωθεί ο κίνδυνος της κάλυψης των αισθητήρων. Η προσεκτική περιποίηση των αισθητήρων μέσα στην κυψέλη θα διασφαλίσει τη σωστή λειτουργία τους και την ακρίβεια των μετρήσεων που πραγματοποιούν.

Υγρασία

Η υγρασία στη κυψέλη είναι ο σοβαρότερος εχθρός του μελισσιού. Όλες οι ασθένειες για να εξαπλωθούν χρειάζονται υγρασία. Όταν αυτό αγνοηθεί χάνονται τα μελίσσια, αρρωσταίνουν και χάνονται βασίλισσες, κτλ. Το μελισσοσμήνος στη φύση του, διαλέγει πάντα φωλιές οι οποίες δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη υγρασίας. Για παράδειγμα πολλές φωλιές μελισσιών μέσα σε δέντρα έχουν αερισμό από δύο τρύπες, και το υλικό που είναι φτιαγμένο γύρω τους δεν συγκρατεί υγρασία. Για παράδειγμα, σε μια σπηλιά, στο κοίλωμα ενός βράχου ή στη καμινάδα ενός σπιτιού επιτρέπεται καλός αερισμός που δεν αφήνει καθόλου υγρασία [18].

Συνεπώς το πρώτο πράγμα που απαιτείται να ληφθεί υπόψη για την επιλογή τοποθεσίας για το ξεχειμώνιασμα ενός μελισσοστάσιου είναι το ποσοστό υγρασίας που δεν πρέπει να ξεπερνάει το 60%. Η ύπαρξη υψηλών επιπέδων υγρασίας μέσα μπορεί να προκαλέσει μούχλα στο κερόπανο, στις κηρήθρες που έχουν γύρη, ακόμα και ξίνισμα του μελιού, αν αυτό είναι ασφράγιστο και έχει κακοκαιρία.

Λόγω της έντονης δραστηριότητας εντός της κυψέλης, υπάρχουν φορές που η εσωτερική θερμοκρασία, μπορεί να διαφέρει από τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, μέχρι και 20°C. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συμπύκνωση των υδρατμών. Η συμπύκνωση προέρχεται αποκλειστικά από την ψύξη του αέρα. Ο ζεστός αέρας εντός της κυψέλης, ψύχεται όταν έρθει σε επαφή με τα τοιχώματά της, το καπάκι ή το κερόπανο και τότε υγροποιείται.

Η υγρασία που οφείλεται στη συμπύκνωση εμφανίζεται σε πάρα πολλά σημεία, δημιουργεί εστίες μούχλας, μαυρίλες και γενικότερα ένα ανθυγιεινό περιβάλλον για τις μέλισσες.

Το χειμώνα επίσης έχουμε πρόβλημα υγροποίησης-συμπύκνωσης σε σημεία

της κυψέλης που δεν έχουν καλή μόνωση (πχ στο καπάκι ή στο πάνω μέρος των τελάρων). Αξίζει να σημειωθεί ότι από την ύπαρξη υψηλών επιπέδων υγρασίας, επηρεάζεται ακόμα και ο γόνος, που αποτελεί το μόνο μέσο εξασφάλισης μακροβιότητας ενός μελισσιού (ασθένεια σηψιγονία).

Για τον λόγο αυτό άλλωστε η υγρασία αποτελεί αναγκαία συνθήκη για να μην επιλεγεί μία τοποθεσία για εγκατάσταση μελισσοστάσιου. Οι μελισσοκόμοι δεν επιλέγουν ποτέ μέρη, δίπλα σε ποτάμια, ρεματιές, ρυάκια, λίμνες ή θάλασσες. Πηγαίνουν σε όσο το δυνατόν ξηρό έδαφος με καλή αποστράγγιση. Υπάρχουν εκτάσεις πεδινές που πλημμυρίζουν εύκολα και συγκρατούν νερά. Αυτές οι περιοχές πρέπει να αποφεύγονται αν και αποτελούν φαινομενικά μια καλή επιλογή ξεχειμωνιάσματος. Για να μην έχει

υγρασία το μέρος που θα τοποθετηθούν τα μελίσσια, πρέπει να είναι ηλιόλουστο, αφού ο ήλιος είναι αντιστρόφως ανάλογος της υγρασίας.

Συνεπώς, η μέτρηση των επιπέδων υγρασίας εντός της κυψέλης, βοηθά εκτός από την εξασφάλιση ιδανικών συνθηκών για τη διαβίωση των μελισσών και στην αποφυγή μολύνσεων εντός αυτής.

1.4.5 Μελισσοκομία ακριβείας (Precision Beekeeping/PB or Precision Apiculture)

Η μελισσοκομία ακριβείας (Precision Beekeeping/PB or Precision Apiculture) είναι μια στρατηγική μελισσοκομικής διαχείρισης που βασίζεται στην παρακολούθηση μεμονωμένων αποικιών μελισσών για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης πόρων και τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας [17]. Παρόμοια με τη γεωργία ακριβείας, η μελισσοκομία ακριβείας μπορεί να θεωρηθεί ένας κύκλος τριών φάσεων (απόκτηση δεδομένων – ανάλυση δεδομένων – εφαρμογή/λήψη αποφάσεων), με την πρώτη φάση – απόκτηση δεδομένων – να παίζει σημαντικό και καθοριστικό ρόλο [19].

Στη συνέχεια με βάση τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί, σε συνδυασμό με τις εξειδικευμένες γνώσεις μελισσοκομίας, προβαίνουμε σε συμπεράσματα σχετικά με την συμπεριφορά της αποικίας των μελισσών και την λήψη αποφάσεων για τον καθορισμό της διαχειριστικής διαδικασίας.

Οι τεχνολογικές μέθοδοι ανίχνευσης μπορούν να βρουν εφαρμογή στην μελισσοκομία ακριβείας για την μέτρηση σε πραγματικό χρόνο των διαφορετικών παραμέτρων που επηρεάζουν την ανάπτυξη μιας αποικίας μελισσών.

Η συλλογή συνεχών και πραγματικού χρόνου πληροφοριών σχετικά με τις συνθήκες της αποικίας των μελισσών είναι κρίσιμη για τη μελέτη και κατανόηση νέων ασθενειών και την ανάπτυξη βελτιωμένων εργαλείων για την μελισσοκομία.

Η διαταραχή κατάρρευσης των αποικιών (Colony Collapse Disorder - CCD) είναι μια σοβαρή απειλή για την παγκόσμια μελισσοκομία και την επιβίωση των μελισσών. Η δυνατότητα συλλογής, σε πραγματικό χρόνο, δεδομένων για την κατάσταση των αποικιών, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, οι επιπτώσεις του καιρού και η δραστηριότητα των μελισσών, μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη και την αντιμετώπιση προβλημάτων όπως η CCD. Η παρακολούθηση των μελισσιών σε πραγματικό χρόνο μπορεί να αποκαλύψει αλλαγές στη συμπεριφορά και την υγεία τους πριν ακόμα αναπτυχθούν πλήρως τα συμπτώματα της ασθένειας. Επιπλέον, η συνεχής παρακολούθηση μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη νέων εργαλείων και τεχνικών διαχείρισης των κυψελών που θα βελτιώσουν την παραγωγή μελιού, την ανατροφοδότηση των μελισσών και την αποτροπή ασθενειών. Η ανάλυση των δεδομένων μπορεί να παρέχει ευκαιρίες για την ανάπτυξη προληπτικών μέτρων και την προώθηση βέλτιστων πρακτικών στη μελισσοκομία. Συνολικά, η χρήση τεχνολογίας παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο μπορεί να συμβάλει στην προστασία και την ευημερία των μελισσών, προσφέροντας κρίσιμες πληροφορίες

Είναι ενθαρρυντικό να βλέπουμε την τεχνολογία να προχωρά στην κατεύθυνση της συνεχούς και ακριβούς παρακολούθησης των αποικιών μελισσών. Η δυνατότητα μέτρησης τόσων παραμέτρων μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την υγεία και την ευημερία των μελισσών, καθώς και για τη γενική δυναμική των αποικιών. Η μέτρηση της θερμοκρασίας είναι ένας απλός και οικονομικός τρόπος παρακολούθησης. Η θερμοκρασία μπορεί να αντικατοπτρίζει τη δραστηριότητα των μελισσών, τις συνθήκες εκτροφής του γόνου, τις επιπτώσεις των καιρικών συνθηκών και πολλά άλλα. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας είναι εύκολο να τοποθετηθούν στις κυψέλες και μπορούν να προσφέρουν στους μελισσοκόμους πολύτιμες πληροφορίες για την κατάσταση των αποικιών τους. Ωστόσο, είναι επίσης σημαντικό να ξεετάσουμε και τις άλλες δυνατότητες μέτρησης, όπως η παρακολούθηση ήχου, δόνησης, κυψέλης, παρακολούθηση βίντεο και ζύγιση. Κάθε παράμετρος μπορεί να προσφέρει μια μοναδική πλευρά της κατάστασης της αποικίας και να συμβάλει στη συνολική κατανόηση της υγείας των μελισσών. Οι τεχνολογικές εξελίξεις παρέχουν πολλές επιλογές για την παρακολούθηση των μελισσών και αυτό μπορεί να συμβάλει στην προστασία αυτών των σημαντικών εντόμων και της ισορροπίας του οικοσυστήματος.

Η συνεχής καταγραφή και ανάλυση δεδομένων πράγματι μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την παρακολούθηση μεμονωμένων κυψελών μελισσών και για την προσαρμογή της διαχείρισης των αποικιών σε ατομικό επίπεδο. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την πιο ακριβή και προσαρμοσμένη φροντίδα κάθε αποικίας, ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες και συνθήκες της. Οι συνεχείς μετρήσεις μπορούν να αναδείξουν τάσεις και πρότυπα στη συμπεριφορά των μελισσών, όπως οι εποχιακές μεταβολές, οι

περίοδοι δραστηριότητας, οι αλλαγές στον πληθυσμό και τα αποθέματα τροφής, καθώς και άλλες αλλαγές που μπορεί να υποδείξουν προβλήματα ή προοπτικές βελτίωσης. Ενδεικτικές αλλαγές ή ασυνήθιστες καταστάσεις που ανιχνεύονται από τα δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν σε πρόωρες ενέργειες, όπως επισκευές στην κυψέλη (πλαίσια), ενίσχυση τροφής, αντιμετώπιση ασθενειών κ.λπ. Επίσης, η ατομική παρακολούθηση μπορεί να βοηθήσει τους μελισσοκόμους να προσαρμόσουν την καλλιέργεια τους στις τοπικές συνθήκες, με στόχο την αύξηση της απόδοσης των αποικιών και τη διατήρηση της υγείας των μελισσών. Προφανώς, αυτή η προσέγγιση απαιτεί την εξοικείωση με την ανάλυση δεδομένων και την κατανόηση της σχέσης που έχουν οι παράμετροι μεταξύ τους, καθώς και την ικανότητα να προσαρμόζονται οι διαχειριστικές ενέργειες ανάλογα με τα δεδομένα που συλλέγονται. [17].

Κατά τη θερινή περίοδο είναι σημαντικό να ανιχνευθούν διάφορες επικίνδυνες καταστάσεις μιας αποικίας μελισσών, όπως πριν από σμηνοουργία, χωρίς φόννο, χωρίς βασίλισσα και άλλες [17].

Κατά τη διάρκεια της παθητικής περιόδου του χειμώνα, μια περίοδος αδράνειας και μειωμένης δραστηριότητας των μελισσών, οι μετρήσεις μπορούν να αποτελέσουν εξαιρετικό εργαλείο για την ανίχνευση σημαντικών συμβάντων και αλλαγών που ενδέχεται να επηρεάσουν την αποικία. Η αυξημένη κατανάλωση τροφής μπορεί να υποδεικνύει από τη μία πλευρά ότι οι μέλισσες έχουν ανάγκη για περισσότερα αποθέματα τροφής, ενώ από την άλλη μπορεί να υποδεικνύει ότι κάτι δεν λειτουργεί σωστά στην αποικία, όπως προβλήματα με την απόκτηση τροφής. Η έναρξη εκτροφής γόνου είναι ένα σημαντικό γεγονός στη ζωή της αποικίας και οι μετρήσεις μπορούν να δείξουν αν υπάρχουν ενδείξεις για την πρόθεση της αποικίας να εκτρέψει γόνο. Ο θάνατος ολόκληρης της αποικίας είναι ένα σοβαρό γεγονός και οι μετρήσεις μπορούν να επιβεβαιώσουν την απώλεια δραστηριότητας της αποικίας και να βοηθήσουν να εντοπιστεί η αιτία του θανάτου. Η συνδυασμένη ανάλυση των δεδομένων θερμοκρασίας, κατανάλωσης τροφής και άλλων παραμέτρων μπορεί να παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την υγεία και την κατάσταση της αποικίας κατά τη διάρκεια της παθητικής περιόδου του χειμώνα. [17].

Ιστορικό έρευνας και παρακολούθησης παραμέτρων κυψέλης

Η μελισσοκομία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς της Γεωργίας. Απειλείται όμως από πολλές ασθένειες και επιβλαβή γεγονότα.

Η συνεχής παρακολούθηση παρέχει διαχρονικά δεδομένα σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της υγείας των αποικιών και του περιβάλλοντος και συσχετίζοντας:

- A) συμβάντα που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό μιας κυψέλης, κατά κύριο λόγο αλλαγές:
 - στη δραστηριότητα των τροφοσυλλεκτριών,
 - στην υγεία της κυψέλης,
 - στη φαινολογία
 - στην κατάσταση της βασίλισσας
- B) εξωτερικούς παράγοντες:
 - τον καιρό
 - τη ροή του νέκταρ
 - την έκθεση σε φυτοφάρμακα

Ο Πίνακας 1 που ακολουθεί επιχειρεί να κάνει μια καταγραφή πρώιμων και πρόσφατων μελετών που χρησιμοποιούν συνεχή παρακολούθηση των φυσικών παραμέτρων των αποικιών μελισσών.

Παράμετρος	Μέθοδος	Τοποθεσία διεξαγωγής μελέτης	Αριθμός αποικιών	Διάρκεια ωριαίων δεδομένων	Έρευνα
Βάρος και θερμοκρασία	Μηχανική ζυγαριά και θερμομέτρα υδραργύρου εντός της κυψέλης	πεδίο	1	1 έτος: ωριαία ημερήσια	Gates (1914)
Βάρος	Μηχανική ζυγαριά	πεδίο	2	12 ημέρες	Hambleton (1925)

Παράμετρος	Μέθοδος	Τοποθεσία διεξαγωγής μελέτης	Αριθμός αποικιών	Διάρκεια ωριαίων δεδομένων	Έρευνα
Βάρος	Ηλεκτρονική ζυγαριά	πεδίο	1	1 μήνας	Buchmann and Thoenes (1990)
Βάρος	Ηλεκτρονική ζυγαριά	πεδίο	2–4	16 μήνες	Meikle et al. (2006 , 2008)
Θερμοκρασία	Ηλεκτρικά θερμοστοιχεία	Μονωμένο δωμάτιο	1	5 μήνες, ωριαία ημερήσια	Phillips and Demuth (1914)
Θερμοκρασία, [O ₂] και [CO ₂]	Ηλεκτρικά θερμοστοιχεία, μεταβολικός θάλαμος με εξαγόμενο αέρα που διέρχεται από εξωτερικούς ανιχνευτές	πεδίο	1	3 ημέρες	Milner (1921)
Θερμοκρασία	εξαγόμενος αέρας που περνά πάνω από το θερμόμετρο	πεδίο	1	Περίπου 5 ημέρες	Southwick and Mugaas (1971)
Θερμοκρασία, [CO ₂], αριθμός μελισσών που παράγουν αέρα	θερμόμετρα υδραργύρου εντός της κυψέλης, εξαγόμενος αέρας που διέρχεται από εξωτερικούς ανιχνευτές	Δεν αναφέρεται	1	52 ώρες	Seeley (1974)
Θερμοκρασία, [O ₂], αριθμός μελισσών που παράγουν αέρα	μεταβολικός θάλαμος με εξαγόμενο αέρα που διέρχεται από εξωτερικούς ανιχνευτές	Εργαστήριο	Δεν αναφέρεται	Σειρές πειραμάτων διάρκειας 24–48 ωρών σε χρονικό διάστημα 14 μηνών	Kronenberg and Heller (1982)
Θερμοκρασία, [O ₂] και [CO ₂]	εξαγόμενος αέρας που διέρχεται από ανιχνευτές	πεδίο	10	Δεν προσδιορίζεται, κάποιες περίοδοι τουλάχιστον 12 ωρών	Southwick and Moritz (1987)
Θερμοκρασία, [O ₂] και [CO ₂], υγρασία	εξαγόμενος αέρας που διέρχεται από ανιχνευτές αερίου	Πεδίο και εργαστήριο	Δεν αναφέρεται	18 εβδομάδες	Van Nerum and Buelens (1997)
Θερμοκρασία	Αισθητήρες εντός της κυψέλης	πεδίο	8	2 εβδομάδες	Jones et al. (2004)
Θερμοκρασία, υγρασία	Αισθητήρες εντός της κυψέλης	πεδίο	3	4 ημέρες	Human et al. (2006)
Θερμοκρασία	Αισθητήρες εντός της κυψέλης	πεδίο	14	1 έτος	Stalidzans and Berzonis (2013)
Δόνηση	Αισθητήρες εντός της κυψέλης	πεδίο	2	περίπου 8 μήνες	Bencsik et al. (2011)
Ήχοι, Θερμοκρασία, σχετική υγρασία	Αισθητήρες εντός της κυψέλης	πεδίο	3	270 ώρες	Ferrari et al. (2008)
Ήχοι, Θερμοκρασία,	Αισθητήρες εντός της κυψέλης	πεδίο	10	περίπου 1 έτος	Atauri Mezquida and Llorente Martínez (2009)

Παράμετρος	Μέθοδος	Τοποθεσία διεξαγωγής μελέτης	Αριθμός αποικιών	Διάρκεια ωριαίων δεδομένων	Έρευνα
Κυκλοφορία τροφосуλλεκτριών	Αισθητήρες στην είσοδο της κυψέλης	πεδίο	1	23 ημέρες	Burrill and Dietz (1981)
Κυκλοφορία τροφосуλλεκτριών	Αισθητήρες στην είσοδο της κυψέλης	πεδίο	40	9 ημέρες	Danka and Beaman (2007)
Κυκλοφορία τροφосуλλεκτριών	Κάρτες RFID και αισθητήρες εισόδου	πεδίο	2	10 δοκιμές, μέχρι 48 ώρες έκαστη	Schneider et al. (2012)

Πίνακας 1 : Ιστορικό έρευνας και παρακολούθησης παραμέτρων κυψέλης

Στις μέρες μας οι ερευνητές χρησιμοποιούν το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) για να παρακολουθήσουν τη ζωή της μέλισσας μέσα σε μια αποικία στην προσπάθεια να απαντηθούν μερικά σύγχρονα ερωτήματα:

- Επηρεάζεται η μέλισσα από τις συνθήκες που ζει;
- Η αλλαγή κλίματος πόσο επηρεάζει το μελίσι;
- Τα φυτοφάρμακα πόσο επηρεάζουν το μελίσι;
- Η μέλισσα βοηθά στην επικοινωνία;
- Ποιες είναι οι ασθένειες των μελισσών και πως επηρεάζουν τον πληθυσμό σε ένα μελίσι;

Κάνοντας χρήση σύγχρονων τρόπων παρακολούθησης με πολλούς και διαφορετικούς αισθητήρες (θερμοκρασίας, υγρασίας, βάρους, καταγραφής ήχου, μέτρησης αριθμού πτήσεων ημέρας/ώρας, κ.α), οι ερευνητές προσπαθούν να συλλέξουν δεδομένα για την κάθε κυψέλη και με την ανάλογη επεξεργασία να ενημερώνεται ο μελισσοκόμος για την κατάσταση των κυψελών. Οι αισθητήρες έχουν ομαδοποιηθεί σε τέσσερις κύριους τύπους:

- βάρος (μεταβλητή κατάσταση)
- θερμοκρασία, υγρασία και αέριο (μεταβλητή κατάσταση)
- ήχος και δόνηση (μεταβλητή κατάσταση)
- κυκλοφορία τροφосуλλεκτών (μεταβλητή ρυθμού)

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στη βιομηχανία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) «τρέχουν» με φρενήρεις ρυθμούς και στον αγροτικό τομέα, προσφέροντας νέες λύσεις στον αγρότη και βοηθώντας στη μετατροπή των παραδοσιακών διαδικασιών επίλυσης προβλημάτων σε αυτοματοποιημένες τεχνολογίες. Οι τρέχουσες τάσεις του IoT ευνοούν διεργασίες και αλγόριθμους που υποστηρίζονται από οπτικοποίηση και παρακολούθηση δεδομένων που παρέχεται από το cloud, καθώς και από ανίχνευση, πρόβλεψη και λήψη αποφάσεων με τη χρήση αλγορίθμων εξόρυξης δεδομένων και μοντέλων μηχανικής μάθησης. Το Διαδίκτυο των Πάντων, η επόμενη εξέλιξη του IoT, περιλαμβάνει την έννοια των ολόπλευρων πραγμάτων και τη διαφανή συνδεσιμότητα με το cloud.

Δεν μπορούμε να επηρεάσουμε γεγονότα στο περιβάλλον των μελισσών που συμβαίνουν στη φύση, αλλά μπορούμε να παρακολουθούμε, να μετράμε και να συλλέγουμε δεδομένα. Με τη μεθοδολογική εφαρμογή αλγορίθμων λογισμικού, μπορούμε να δημιουργήσουμε συστήματα πρόβλεψης και να μάθουμε τα μοτίβα τους.

Τα τεχνητά συμβάντα και τα προβλήματα μπορούν να παρακολουθούνται, να μετρούνται και να καταγράφονται, ώστε να μπορούμε να τα επηρεάσουμε για να ελέγξουμε το αποτέλεσμα και να αποτρέψουμε τη ζημιά που προκαλείται από την ανθρώπινη επιρροή.

Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των πλέον πρόσφατων δημοσιεύσεων/άρθρων σχετικά με το θέμα που πραγματεύεται η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή.

Στο άρθρο με τίτλο “IoT-Driven Workflows for Risk Management and Control of Beehives” [20], που δημοσιεύτηκε τον Ιούνιο του 2021, οι Charbel Kady, Anna Maria Chedid, Ingred Kortbawi, Charles Yaacoub, Adib Akl, Nicolas Daclin, François Trouset, François Pfister, και Grégory Zacharewicz,

εκμεταλλεύονται τις μετρήσεις βάρους των μελισσών για να δημιουργήσουν τους κατάλληλους επιχειρηματικούς κανόνες χρησιμοποιώντας δύο όργανα: μια σταθερή ζυγαριά IoT εγκατεστημένη σε μία κυψέλη που λαμβάνει συνεχείς μετρήσεις ως αναφορά και μια φορητή ζυγαριά «νομάδων» που επικοινωνεί με ένα smartphone και χρησιμοποιείται για τις υπόλοιπες κυψέλες. Στη συνέχεια, ενεργοποιούν ένα μοντέλο επιχειρηματικής διαδικασίας που βασίζεται σε μελισσοκομικούς επιχειρηματικούς κανόνες που αντλούνται από την εμπειρία και τα συμβάντα που παρατηρούνται από το σύστημα. Γίνεται συσχέτιση της αυξομείωσης του βάρους κάθε μεμονωμένης κυψέλης με ένα γραφικό διάγραμμα ροής εργασιών που θα εκφράζεται με το μοντέλο επιχειρηματικής διαδικασίας και τη γλώσσα σημειογραφίας BPMN και ενεργοποιούνται γεγονότα που ενημερώνουν τους μελισσοκόμους να ξεκινήσουν σχετικές δράσεις. Τέλος, οι διεργασίες BPMN μετατρέπονται σε εκτελέσιμα μοντέλα για υποστήριξη αποφάσεων βάσει μοντέλου. Έτσι βελτιώνεται η ερασιτεχνική και επαγγελματική εμπειρία χρήστη για την εκτροφή μελισσών και επιτυγχάνεται η διαλειτουργικότητα μεταξύ του προτεινόμενου μοντέλου και άλλων διαθέσιμων προσομοιώσεων (καιρικές συνθήκες, υγρασία, συμπεριφορά αποικίας μελισσών κ.λπ.

Στο άρθρο με τίτλο “IoT Monitoring and Prediction Modeling of Honeybee Activity with Alarm” [21], που δημοσιεύτηκε τον Μάρτιο του 2022, οι Nebojša Andrijević, Vlada Urošević, Branko Arsić, Dejana Herceg and Branko Savić, ανέπτυξαν την εργασία τους βασίζομενοι στη μελισσοκομία ακριβείας που αυξάνει την κλίμακα των αποτελεσμάτων μέτρησης και πρόβλεψης χρησιμοποιώντας το σύστημα που ανέπτυξαν, σχεδιασμένο για να καλύψει το οικοσύστημα της κυψέλης. Ένας αρθρωτός σταθμός βάσης IoT συλλέγει ένα ευρύ φάσμα παραμέτρων από αισθητήρες στην κυψέλη (βάρος, θερμοκρασία, υγρασία) και έναν μετρητή μελισσών στην είσοδο της κυψέλης. Στη συνέχεια, τα δεδομένα αποστέλλονται στο cloud για αποθήκευση, ανάλυση και δημιουργία συναγερμού και μια διαδικτυακή εφαρμογή για παρακολούθηση και πρόβλεψη εμφανίζει παραμέτρους, τιμές μέτρησης και προγνωστικούς και αναλυτικούς συναγερμούς σε περίπτωση αποκλίσεων από τις φυσιολογικές τιμές (όρια ασφαλείας) και σε πραγματικό χρόνο με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης. Μέσω ενός μοντέλου πρόβλεψης χρονοσειρών που έχει την ικανότητα εκτίμησης του όγκου των εξόδων και των εισόδων των μελισσών ανά ώρα, προσομοιώνεται η εξάρτηση μεταξύ των περιβαλλοντικών συνθηκών και της δραστηριότητας των μελισσών. Η σύγκριση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τους αισθητήρες και του μοντέλου έδειξαν ότι το μοντέλο αντιπροσωπεύει τις παρατηρούμενες διαδικασίες.

Στο άρθρο “Bee Sound Detector: An Easy-to-Install, Low-Power, Low-Cost Beehive Conditions Monitoring System” [22], που δημοσιεύτηκε τον Σεπτέμβριο του 2022, οι Dimitrios I. Kiromitis, Christos V. Bellos, Konstantinos A. Stefanou, Georgios S. Stergios, Thomas Katsantas and Sotirios Kontogiannis, προτείνουν ένα νέο σύστημα χαμηλού κόστους, χαμηλής κατανάλωσης και εύκολης εγκατάστασης που ονομάζεται Bee Sound Detector (BeeSD). Το BeeSD είναι μια χαμηλού κόστους, ενσωματωμένη λύση για τον ποιοτικό έλεγχο της κυψέλης. Ενσωματώνει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και το βάρος της κυψέλης, καθώς και παρακολούθηση ήχου σε πραγματικό χρόνο και έτσι μπορεί να εντοπίσει συμβάντα Διαταραχής Κατάρρευσης Αποικίας λόγω πείνας και ακραίων καιρικών φαινομένων, απώλεια βασίλισσας και σμήνη. Επιπλέον, το BeeSD χρησιμοποιεί καταγραφή στο σύννεφο και μια κατάλληλη εφαρμογή για κινητά τηλέφωνα για να προωθήσει ειδοποιησεις ακραίων μετρήσεων στους αγρότες.

Στο άρθρο “Digital Transformation of Beekeeping through the Use of a Decision Making Architecture” [23], που δημοσιεύτηκε τον Νοέμβριο του 2022, οι Jean-Charles Huet, Lamine Bougueroua, Yassine Kriouile, Katarzyna Wegrzyn-Wolska and Corinne Ancourt, εξετάζουν την διευκόλυνση και την συστηματοποίηση της διαδικασίας μετατροπής της παραδοσιακής γεωργίας σε ψηφιακή γεωργία, μέσω IoT. Στο άρθρο, προτείνεται μια νέα προσέγγιση για το σχεδιασμό έξυπνων συστημάτων διαχείρισης και εποπτείας της γεωργίας. Η προτεινόμενη προσέγγιση απεικονίζεται ως παράδειγμα εφαρμογής στον μελισσοκομικό τομέα, με μια αρχιτεκτονική βασισμένη σε αισθητήρες και ανοιχτά δεδομένα για να βοηθήσει τους ερασιτέχνες και επαγγελματίες του χώρου της μελισσοκομίας να λαμβάνουν αποφάσεις, μέσω μιας εφαρμογής που εμφανίζει ειδοποιήσεις στους μελισσοκόμους. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική είναι ευέλικτη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο διαφορετικών επιπέδων τεχνολογικής ωριμότητας.

Τέλος στο άρθρο “Bee colony remote monitoring based on IoT using ESP-NOW protocol” [24], που δημοσιεύτηκε τον Απρίλιο του 2023, οι Armands Kvišis, Vitalijs Komasilovs, Niks Ozols and Aleksejs Zacepins, στη μελέτη τους παρουσιάζουν ένα σύστημα παρακολούθησης μελισσοσμηνών που βασίζεται στην έννοια του IoT και χρησιμοποιεί μικροτσιπ ESP8266 και ESP32. Το σύστημα παρακολούθησης χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο ESP-NOW για την ανταλλαγή δεδομένων εντός του

μελισσοκομείου και μια εξωτερική διασύνδεση GSM (Global System for Mobile communication)/GPRS (General packet radio service) για την επικοινωνία μέσω πακέτων με έναν απομακρυσμένο διακομιστή στο Διαδίκτυο. Το τοπικό δίκτυο αισθητήρων κατασκευάστηκε σε μια λογική τοπολογία τύπου αστέρα με έναν κεντρικό κόμβο. Η χρήση του πρωτοκόλλου ESP-NOW ως τεχνολογίας επικοινωνίας προσέθεσε το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης απόστασης επικοινωνίας μεταξύ των μετρητών.

Η εφαρμογή που αναπτύξαμε είναι παρόμοια με τις εφαρμογές που αναφέρονται παραπάνω, αφού χρησιμοποιήθηκε παρόμοιος εξοπλισμός (ESP 8266, ESP 32 και αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας). Η εφαρμογή, μετά τη σχεδίαση και την παραμετροποίησή της, υλοποιήθηκε και εγκαταστάθηκε σε μια τριάδα κυψελών που φιλοξενούνται στην περιοχή της Γλυφάδας. Οι πραγματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τον Δεκέμβριο του 2022 έως και τον Μάιο του 2023, καλύπτοντας μεγάλο μέρος του κύκλου ζωής της μέλισσας, από την περίοδο του παθητικού χειμώνα έως και την ενεργή περίοδο της άνοιξης που ένα μελίσσι ξυπνάει και πολλαπλασιάζεται (σμηνοουργία). Δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στην καταγραφή των μετρήσεων, στην ανάλυση των αποτελεσμάτων και εξαγωγή των συμπερασμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι πραγματοποιήθηκαν ενέργειες επί του πεδίου για τον έλεγχο και την προστασία των κυψελών, όταν αυτό κρίθηκε αναγκαίο από τις μετρήσεις.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύεται η μέθοδος και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάπτυξη της εφαρμογής μας.

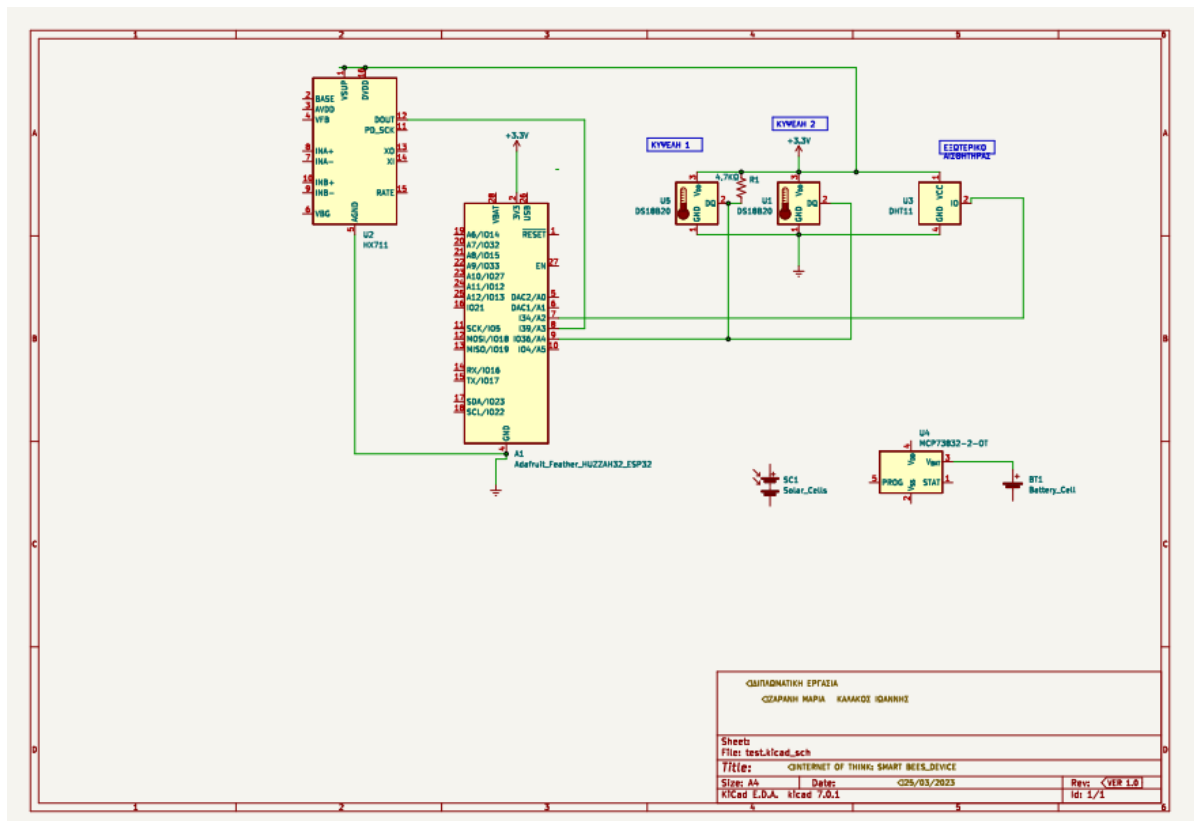
2 Υλικά – μέθοδος

2.1 Υλοποίηση Συστήματος

Το σύστημα IoT έξυπνης μελισσοκομίας που υλοποιήσαμε αποτελείται από:

- Μία μονάδα μικροελεγκτή Node MCUV3 (ESP8266)
- Έναν εσωτερικό αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας
- Έναν εξωτερικό αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας
- Ένα τροφοδοτικό
- Μια μπαταρία με τον φορτιστή της

Το Block διάγραμμα του κυκλώματος που υλοποιήσαμε φαίνεται στην **Εικόνα 6**, που ακολουθεί:



Εικόνα 6: Διάγραμμα του συστήματος έξυπνης μελισσοκομίας που υλοποιήσαμε.

Στην **Εικόνα 7** φαίνονται κάποια στιγμιότυπα από την τοποθέτηση των αισθητηρίων θερμοκρασίας και υγρασίας στις κυψέλες στην περιοχή της Γλυφάδας Αττικής.



Εικόνα 7: Υλοποίηση συστήματος έξυπνης μελισσοκομίας - Τοποθέτηση αισθητηρίων θερμοκρασίας και υγρασίας στις κυψέλες

2.2 Μικροελεγκτής

2.2.1 Μικροελεγκτές - Γενικά

Ένας μικροελεγκτής είναι ένα προγραμματιζόμενο ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο διαθέτει επεξεργαστή, μνήμη, διάφορα περιφερειακά κυκλώματα καθώς επίσης και θύρες εισόδου/εξόδου για επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές. Όπως ακριβώς και ένας μικροϋπολογιστής έτσι κι ένας μικροελεγκτής διαθέτει τα παραπάνω χαρακτηριστικά και μάλιστα ολοκληρωμένα/ενσωματωμένα σε ένα μόνο chip. Το πρόγραμμα που εκτελεί ο μικροελεγκτής αποθηκεύεται μόνιμα στη μνήμη προγράμματος [25]. Οι μικροελεγκτές βρίσκουν εφαρμογή στα παρακάτω πεδία:

- Συστήματα αυτοματισμών
- Κυκλώματα τηλεπικοινωνιών
- Ηλεκτρονικές συσκευές
- Ηλεκτρικές συσκευές
- Συστήματα τηλεματικής
- Συστήματα συλλογής δεδομένων (Data Acquisition)
- Εφαρμογές ηλεκτρονικών ισχύος
- Συστήματα διασύνδεσης
- Εφαρμογές δικτύων.

Γενικότερα, ο μικροελεγκτής χρησιμοποιείται οπουδήποτε απαιτείται έλεγχος συστημάτων, σε όλα τα ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems) ελέγχου, μικρού και μεσαίου κόστους (ψηφιακές κάμερες, ηλεκτρικές συσκευές και αυτοκινούμενα τροχοφόρα οχήματα).

2.2.2 Κατασκευαστές μικροελεγκτών

Υπάρχουν δεκάδες εταιρείες παγκοσμίως που κατασκευάζουν μικροελεγκτές. Οι πιο διαδεδομένες είναι:

- Microchip, www.microchip.com
- Atmel, www.atmel.com
- Texas Instruments, www.ti.com
- Freescale (πρώην Motorola), www.freescale.com
- Intel, www.intel.com
- Analog Devices, www.analog.com

Οι περισσότερες εταιρείες παράγουν μεγάλη γκάμα μικροελεγκτών. Από πολύ μικρούς και φθηνούς για απλές εφαρμογές έως ιδιαίτερα προηγμένους για πολύ απαιτητικές εφαρμογές.

2.2.3 Γλώσσα προγραμματισμού μικροελεγκτών

Οι μικροελεγκτές γενικά προγραμματίζονται σε γλώσσες χαμηλού επιπέδου. Τελευταία όλο και περισσότεροι προγραμματιστές επιλέγουν γλώσσες υψηλότερου επιπέδου.

Γλώσσα χαμηλού επιπέδου ονομάζεται μια γλώσσα η οποία βρίσκεται πιο κοντά στο υλικό (γλώσσα μηχανής, assembly). Χωρίζονται σε πρώτης και δεύτερης γενιάς (π.χ. 1GL, 2GL)

Πλεονεκτήματα γλωσσών χαμηλού επιπέδου:

- Ο προγραμματιστής έχει τον απόλυτο έλεγχο της συμπεριφοράς του μικροελεγκτή.
- Μπορεί να επιτύχει με απόλυτη ακρίβεια διάφορους χρονισμούς.
- Δεν απαιτείται δαπάνη για την αγορά assembler καθώς συνήθως διατίθεται δωρεάν από την κατασκευάστρια εταιρεία.

Μειονεκτήματα γλωσσών χαμηλού επιπέδου:

- Απαιτείται μεγαλύτερος κόπος για την εκμάθηση της συμβολικής γλώσσας του εκάστοτε μικροελεγκτή.

- Τα προγράμματα που δημιουργούνται σε συμβολική γλώσσα δεν είναι ευανάγνωστα και ο προγραμματιστής δυσκολεύεται να θυμηθεί τη λογική που έχει εφαρμόσει όταν χρειάζεται να κάνει τροποποιήσεις εκ των υστέρων.
- Είναι δυσκολότερο να δουλέψουν πολλοί προγραμματιστές στο ίδιο πρόγραμμα.

Γλώσσα υψηλού επιπέδου ονομάζεται μια γλώσσα η οποία είναι αυστηρά δομημένη και υπάρχει συγκεκριμένος compiler ο οποίος μετατρέπει το πρόγραμμα σε γλώσσα μηχανής για το συγκεκριμένο μικροελεγκτή. Ανάλογα με το σκοπό τους, οι γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου διακρίνονται σε γλώσσες ειδικού σκοπού (FORTRAN, COBOL, LISP) και σε γλώσσες γενικής χρήσης (Python, C, Visual Basic, Java).

Πλεονεκτήματα γλωσσών υψηλού επιπέδου:

- Είναι ευκολότερη η ανάπτυξη μεγάλων και σύνθετων προγραμμάτων.
- Μπορούν να δουλέψουν πιο εύκολα πολλοί προγραμματιστές στο ίδιο πρόγραμμα.

Μειονεκτήματα γλωσσών υψηλού επιπέδου:

- Σε εφαρμογές με κρίσιμους χρονισμούς είναι δυσκολότερη η συγγραφή κώδικα που ανταποκρίνεται στους χρονισμούς αυτούς.
- Μερικές φορές η δαπάνη για την αγορά compiler δεν αποτελεί αμελητέο μέγεθος.
- Σε παλιότερους compilers ο κώδικας μηχανής που παραγόταν δεν ήταν βελτιστοποιημένος με αποτέλεσμα να απαιτείται μικροελεγκτής με πολύ περισσότερη μνήμη. Οι compilers που κυκλοφορούν σήμερα διαθέτουν εξελιγμένα εργαλεία για βελτιστοποίηση (optimization) του κώδικα και έχουν κερδίσει την εμπιστοσύνη ακόμα και των πιο δύσπιστων προγραμματιστών.

2.2.4 Εφαρμογές

Ένας μικροελεγκτής έχει πληθώρα εφαρμογών στον σύγχρονο κόσμο του IoT. Ενδεικτικά βρίσκει εφαρμογή στις παρακάτω κατηγορίες έξυπνων ενσωματωμένων συστημάτων:

- Γενικό Hub αισθητήρα IoT χαμηλής κατανάλωσης
- Γενικά καταγραφικά δεδομένων IoT χαμηλής κατανάλωσης
- Κάμερες για ροή βίντεο
- Συσκευές Over-the-top (OTT).
- Αναγνώριση ομιλίας
- Αναγνώριση εικόνας
- Δίκτυο πλέγματος
- Οικιακός αυτοματισμός
- Έξυπνο Κτίριο
- Βιομηχανικός αυτοματισμός
- Έξυπνη Γεωργία
- Εφαρμογές ήχου
- Εφαρμογές Υγείας
- Παιχνίδια με δυνατότητα Wi-Fi
- Φορητά Ηλεκτρονικά
- Εφαρμογές Λιανικής & Εστίασης

2.2.5 Μικροελεγκτής ESP8266

Ο ESP8266 είναι ένα μικροσίπ Wi-Fi χαμηλού κόστους, με ενσωματωμένο λογισμικό δικτύωσης TCP/IP και δυνατότητα μικροελεγκτή, που παράγεται από την Espressif Systems στη Σαγκάη της Κίνας. Το τσιπ έγινε δημοφιλές στην αγγλόφωνη κοινότητα κατασκευαστών τον Αύγουστο του 2014 μέσω της μονάδας ESP-01, που κατασκευάστηκε από έναν τρίτο κατασκευαστή Ai-Thinker. Αυτή η μικρή μονάδα επιτρέπει στους μικροελεγκτές να συνδέονται σε ένα δίκτυο Wi-Fi και να κάνουν απλές συνδέσεις TCP/IP χρησιμοποιώντας εντολές τύπου Hayes [26].

Το ESP8266 είναι ένας μικροελεγκτής με ενσωματωμένο σύστημα Wi-Fi, που έχει κερδίσει μεγάλη δημοτικότητα λόγω των δυνατοτήτων του και του χαμηλού του κόστους. Η έλλειψη πληροφορίας για το τσιπ και το λογισμικό του προσέλκυσε το ενδιαφέρον χάκερ. Η ανάπτυξη και η διερεύνηση από τους χάκερ αυτών των τεχνολογιών μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων και καινοτόμων εφαρμογών, αλλά παράλληλα μπορεί να έχει και αρνητικές συνέπειες αν δεν χρησιμοποιείται εύλογα. Η μετάφραση της κινεζικής τεκμηρίωσης από τους χάκερ είναι ενδιαφέρουσα, καθώς καθιστά προσβάσιμη την πληροφορία για ανθρώπους που δεν γνωρίζουν την κινεζική γλώσσα.

Η οικογένεια των συσκευών ESP32 αποτελεί μία εξέλιξη των προηγούμενων τσιπ μικροελεγκτών ESP8266. Αυτά τα τσιπ προσφέρουν χαμηλό κόστος και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, ενσωματωμένο Wi-Fi και Bluetooth, έχοντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών από τον τομέα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) μέχρι την ανάπτυξη εφαρμογών με συνδεσιμότητα. Είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε πώς οι τεχνολογικές προηγούμενες γενιές εξελίσσονται για να προσφέρουν βελτιωμένες δυνατότητες και λειτουργίες σε όλο τον τομέα των ενσωματωμένων συστημάτων. Αυτό δημιουργεί ευκαιρίες για την ανάπτυξη πρωτοποριακών εφαρμογών και την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Το ESP32 είναι μια προηγμένη σειρά μικροελεγκτών που προσφέρει ευρεία λειτουργικότητα και δυνατότητες για ενσωματωμένες συνδέσεις Wi-Fi και Bluetooth. Η σειρά αυτή χρησιμοποιεί διάφορους τύπους μικροεπεξεργαστών και παρέχει διάφορες παραλλαγές για να καλύψει διάφορες απαιτήσεις. Ανάλογα με το μοντέλο, η σειρά ESP32 χρησιμοποιεί τους εξής τύπους μικροεπεξεργαστών:

- Tensilica Xtensa LX6 με δύο πυρήνες ή έναν πυρήνα
- Xtensa LX7 με δύο πυρήνες
- RISC-V με ένα πυρήνα

Τα τσιπ ESP32 περιλαμβάνουν ενσωματωμένα υλικά και δυνατότητες για να διαχειρίζονται τη συνδεσιμότητα Wi-Fi και Bluetooth, όπως κεραία RF, ενισχυτές ισχύος, ενισχυτές λήψης με χαμηλό θόρυβο, φίλτρα και μονάδες διαχείρισης ενέργειας. Η Espressif Systems είναι η εταιρεία που αναπτύσσει το ESP32 και η παραγωγή γίνεται από την TSMC χρησιμοποιώντας τη διαδικασία των 40 nm. Αυτό επιτρέπει να προσφέρει αποδοτικό και υψηλής ποιότητας υλικό για τον τομέα των ενσωματωμένων συστημάτων. Η διαδικασία λιθογραφίας 40 νανομέτρων (40 nm) είναι μια διαδικασία κατασκευής ημιαγωγών μισού κόμβου που χρησιμοποιείται ως διακοπή μεταξύ των διεργασιών 45 nm και 32 nm. Η εμπορική κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων με χρήση διαδικασίας 40 nm ξεκίνησε το 2008 από κορυφαίες εταιρείες ημιαγωγών όπως η TSMC. Αυτή η τεχνολογία αντικαταστάθηκε από την εμπορική διαδικασία 32 nm μέχρι το 2010 [28].

2.2.6 NodeMCU V3 (open-source firmware and development kit)

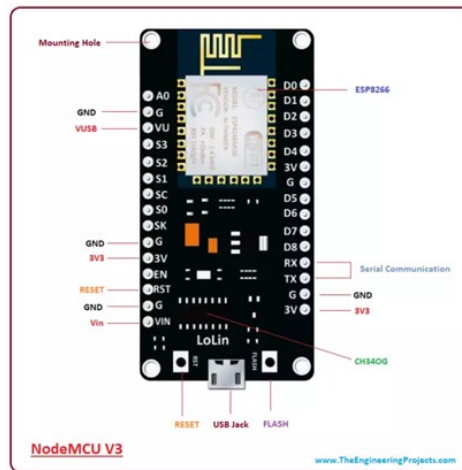
Το NodeMCU V3 είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης εφαρμογών ανοιχτού κώδικα που σχετίζεται με την ανάπτυξη προϊόντων Internet of Things (IoT). Η πλατφόρμα αυτή είναι βασισμένη κυρίως στο μικροτσιπ ESP8266, το οποίο είναι ένας Wi-Fi μικροελεγκτής χαμηλού κόστους, με ενσωματωμένη στοίβα TCP/IP. Το NodeMCU V3 παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη προτύπων και εφαρμογών IoT, καθώς παρέχει μια ευέλικτη πλατφόρμα για την ανάπτυξη και τον προγραμματισμό των συσκευών IoT. Χρησιμοποιεί γλώσσα προγραμματισμού Lua για τον προγραμματισμό του, καθιστώντας τον προγραμματισμό και την ανάπτυξη εφαρμογών IoT πιο προσιτή και ευκολονόητη για νέους προγραμματιστές. Η συνδυασμένη ισχύς του μικροτσιπ ESP8266 με την πλατφόρμα NodeMCU V3 δίνει τη δυνατότητα στους προγραμματιστές να δημιουργούν προηγμένες εφαρμογές IoT που επικοινωνούν μέσω Wi-Fi, επιτρέποντας στις συσκευές να συνδεθούν στο διαδίκτυο και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Το NodeMCU V3, παρουσιάζει πλεονέκτημα έναντι των μονάδων και μικροελεγκτών Arduino, καθώς διαθέτει ενσωματωμένη δυνατότητα WiFi, χωρίς να απαιτείται η προσθήκη εξωτερικού πρωτοκόλλου WiFi για την επίτευξη συμβατότητας με το Διαδίκτυο, παρέχοντας μια εύκολη υλοποίηση για το σχεδιασμό της IoT εφαρμογής μας.

Εισαγωγή στο NodeMCU V3

Ο NodeMCUV3 συνδέεται με άλλες περιφερειακές μονάδες μέσω των πολλαπλών ακίδων GPIO που διαθέτει η πλακέτα του, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 8** και που είναι σε θέση να παράγουν σειριακές επικοινωνίες PWM, I2C, SPI και UART. Η διεπαφή της μονάδας NodeMCU V3 χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη: το Firmware και το Hardware. Ας αναλύσουμε τα δύο αυτά μέρη:

- **Firmware:** Το Firmware είναι το λογισμικό που εκτελείται στο μικροσίπ ESP8266 Wi-Fi SoC. Αυτό το λογισμικό υλοποιεί τις λειτουργίες και τις δυνατότητες της πλατφόρμας NodeMCU. Περιλαμβάνει το υποσύστημα δικτύωσης TCP/IP για την επικοινωνία μέσω Wi-Fi, καθώς και τον προγραμματισμό της λειτουργίας του μικροελεγκτή. Οι προγραμματιστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν γλώσσες προγραμματισμού όπως η Lua για να αναπτύξουν εφαρμογές που θα εκτελούνται στη μονάδα NodeMCU.
- **Hardware:** Το Hardware αφορά τη φυσική δομή και τη σύνθεση της μονάδας NodeMCU V3. Βασίζεται στο μικροσίπ ESP-12, το οποίο είναι μια έκδοση του μικροελεγκτή ESP8266. Το ESP-12 περιλαμβάνει τον μικροεπεξεργαστή, τα κυκλώματα επικοινωνίας Wi-Fi και άλλα ενσωματωμένα εξαρτήματα που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία της μονάδας NodeMCU. Επιπλέον, η μονάδα περιλαμβάνει εξωτερικές συνδέσεις όπως ακροδέκτες GPIO, που επιτρέπουν τη σύνδεση εξωτερικών συσκευών και αισθητήρων.

Συνολικά, το NodeMCU V3 είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης που συνδυάζει τόσο το λογισμικό (software) όσο και το υλικό (hardware) για τη δημιουργία προηγμένων εφαρμογών IoT.



Εικόνα 8 : Ο NodeMCUV3

Το υλικολογισμικό βασίζεται στη Lua, μια γλώσσα με script, εύκολη στην εκμάθηση και παρέχει ένα απλό περιβάλλον προγραμματισμού σε επίπεδα που μας συνδέει με μια γνωστή κοινότητα προγραμματιστών. Δίνει έτσι την ευελιξία επεξεργασίας, τροποποίησης και ανοικοδόμησης της υπάρχουσας μονάδας όσο αυτό απαιτείται ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη λειτουργική απόδοση της εφαρμογής μας.

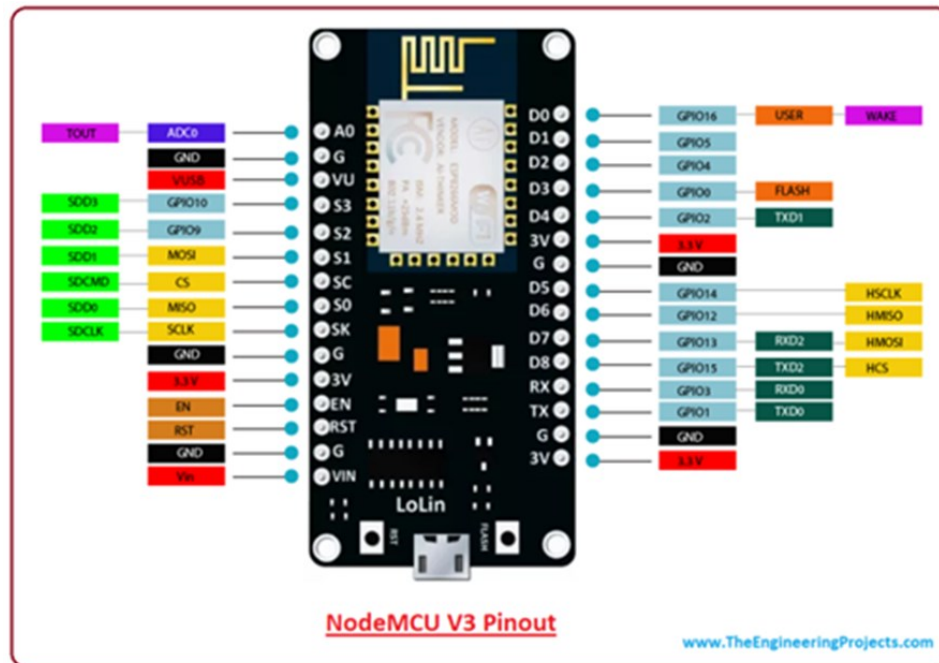
Στη μονάδα προστίθεται μετατροπέας USB σε UART που βοηθά στη μετατροπή δεδομένων USB σε δεδομένα UART για την κατανόηση της γλώσσας σειριακής επικοινωνίας. Αντί για κανονική θύρα USB, η μονάδα περιλαμβάνει θύρα MicroUSB για τη σύνδεσή της με τον υπολογιστή για τον προγραμματισμό και την τροφοδοσία της πλακέτας.

Η πλακέτα ενσωματώνει LED κατάστασης (on/off, run), δίνοντας μια εικόνα της τρέχουσας κατάστασης της μονάδας, για την σωστή λειτουργία της όταν είναι συνδεδεμένη με τον υπολογιστή.

Η ικανότητα της μονάδας να δημιουργεί μια άσπρη σύνδεση WiFi μεταξύ δύο καναλιών την καθιστά ιδανική επιλογή για την ενσωμάτωσή της με άλλες ενσωματωμένες συσκευές, όπως το Raspberry Pi.

NodeMCU V3 Pinout

Το NodeMCU V3 συνοδεύεται από έναν αριθμό GPIO Pin. Ο χαρακτηρισμός των ακροδεκτών του (Pinout) φαίνεται στην **Εικόνα 9** που ακολουθεί παρακάτω:



Εικόνα 9 : Το pinout του NodeMCUV3

Υπάρχει μια ξεκάθαρη διαφορά μεταξύ VIN και VU. Η VIN είναι η ρυθμιζόμενη τάση που μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 7 και 12 V, ενώ η VU είναι η τάση ισχύος για USB που πρέπει να διατηρείται γύρω στα 5 V.

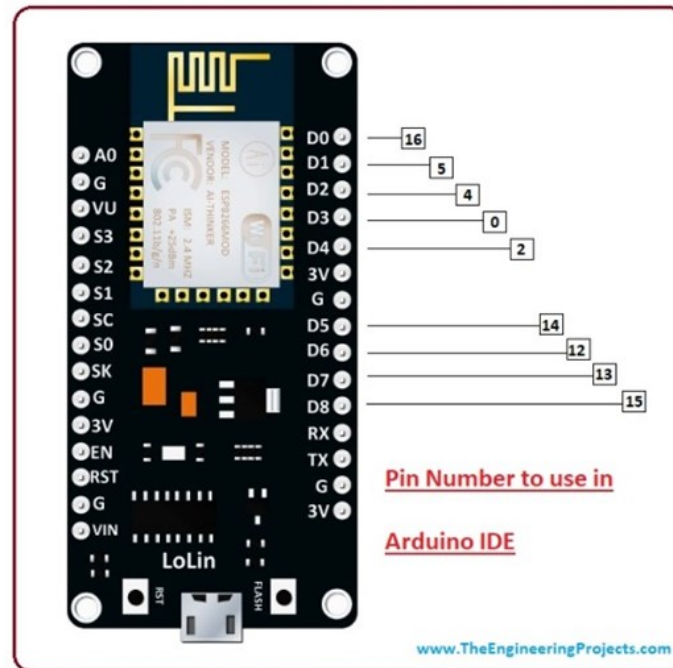
Λειτουργίες NodeMCU V3

Για τη σύνδεση της πλακέτας χρησιμοποιείται ένα καλώδιο που υποστηρίζει θύρα micro USB. Μόλις συνδεθεί η πλακέτα με έναν υπολογιστή, το LED θα ξεκινήσει να αναβοσβήνει. Εάν ο υπολογιστής δεν εντοπίσει την πλακέτα NodeMCU, απαιτείται η εγκατάσταση ορισμένων προγραμμάτων οδήγησης. Για τον προγραμματισμό χρησιμοποιείται λογισμικό Arduino IDE. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαμόρφωση pin που εμφανίζεται στην πλακέτα είναι διαφορετική από τη διαμόρφωση που χρησιμοποιούμε για τον προγραμματισμό της πλακέτας στο λογισμικό, π.χ. όταν γράφουμε κώδικα για τη στόχευση της ακίδας 16 στο Arduino IDE, στην πραγματικότητα θα βοηθήσει στη διαμόρφωση της επικοινωνίας με την ακίδα D0 στη μονάδα.

Οι βασικές λειτουργίες του NodeMCU V3 είναι οι κάτωθι:

- Ανοιχτή πηγή
- Υλικό παρόμοιο με το Arduino
- LED κατάσταση
- Θύρα MicroUSB
- Κουμπιά επαναφοράς/φλας
- Διαδραστικό και Προγραμματιζόμενο
- Χαμηλό κόστος
- ESP8266 με ενσωματωμένο wifi
- Μετατροπείας USB σε UART
- GPIO pins

Η διαμόρφωση των ακροδεκτών (pin) που χρησιμοποιείται στο Arduino IDE φαίνεται στην **Εικόνα 10**, που ακολουθεί:



Εικόνα 10: Διαμόρφωση pin που χρησιμοποιείται στο Arduino IDE.

Τροφοδοσία NodeMCU V3

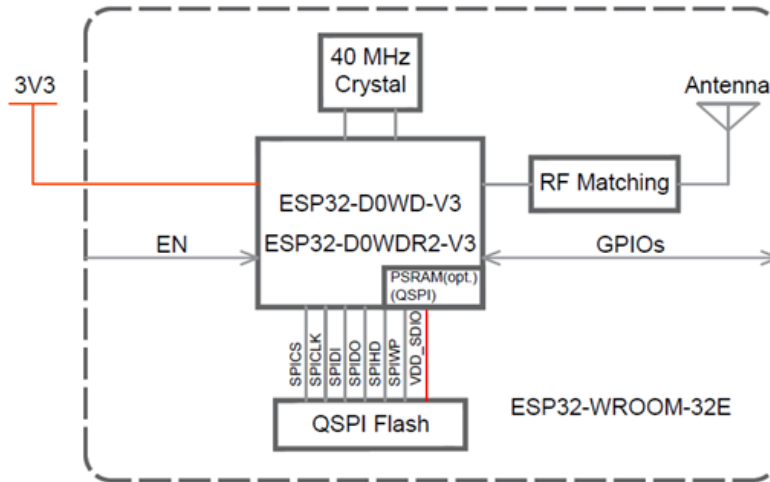
Στην εικόνα pinout παραπάνω, υπάρχουν πέντε ακίδες γείωσης και τρεις ακίδες 3V3 στον πίνακα. Η πλακέτα μπορεί να τροφοδοτηθεί με τους ακόλουθους τρεις τρόπους.

- **Τροφοδοσία USB**, ιδανική επιλογή για τη φόρτωση προγραμμάτων εκτός αν για τις ανάγκες της εφαρμογής απαιτείται ξεχωριστή διασύνδεση, δηλαδή αποσύνδεση από τον υπολογιστή.
- **Τροφοδοσία 3,3V**, εξαιρετική επιλογή για την ενεργοποίηση της μονάδας. Με έναν αυτόνομο ρυθμιστή δημιουργείται μια άμεση πηγή ενέργειας για το kit ανάπτυξης.
- **Τροφοδοσία Vin**. Αυτός είναι ένας ρυθμιστής τάσης που παρέχεται με δυνατότητα υποστήριξης έως και 800 mA. Μπορεί να χειριστεί κάπου μεταξύ 7 και 12 V. (σημείωση: δεν υπάρχει δυνατότητα τροφοδοσίας συσκευών που λειτουργούν στα 3,3 V, καθώς αυτός ο ρυθμιστής δεν μπορεί να παράγει 3,3 V).

Περιγραφή Λειτουργίας – Περιγραφή των pins

Η μονάδα ESP8266 EX επιτρέπει στους μικροελεγκτές να διασυνδέονται σε Wi-Fi (2,4 Ghz), χρησιμοποιώντας το πρότυπο IEEE 802.11 b/g/n. Επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιεί υλικό λογισμικού ESP-AT για συνδεσιμότητα Wi-Fi με εξωτερικές MCU μονάδες [30]. Το ESP8266 έχει πολλές εφαρμογές όσον αφορά το IoT. Μερικές από τις λειτουργίες/εφαρμογές για τις οποίες χρησιμοποιείται είναι στη δικτύωση, στην επεξεργασία δεδομένων, στη συνδεσιμότητα P2P και στο διακομιστή ιστού. Η πλακέτα ανάπτυξης IoT ESP8266 περιλαμβάνει τις κάτωθι λειτουργίες:

- ακροδέκτες εισόδου εξόδου GPIO
- ακροδέκτες μετατροπής ADC
- κεραίες Wi-Fi
- LEDs
- Ηλεκτρομαγνητική θωράκιση (RFI Shielding)
- Flash μνήμη

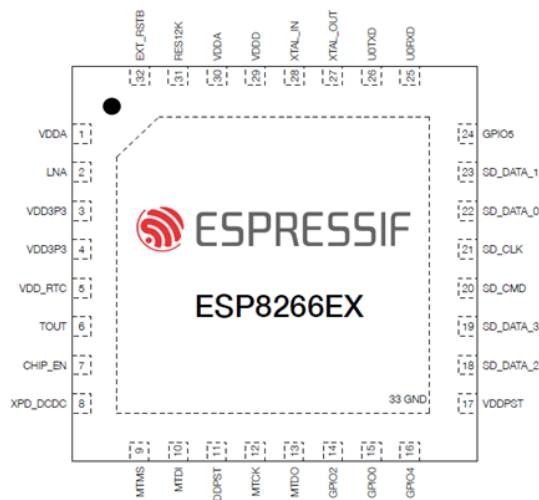


Εικόνα 11: Interface Περιφερειακών Λειτουργιών

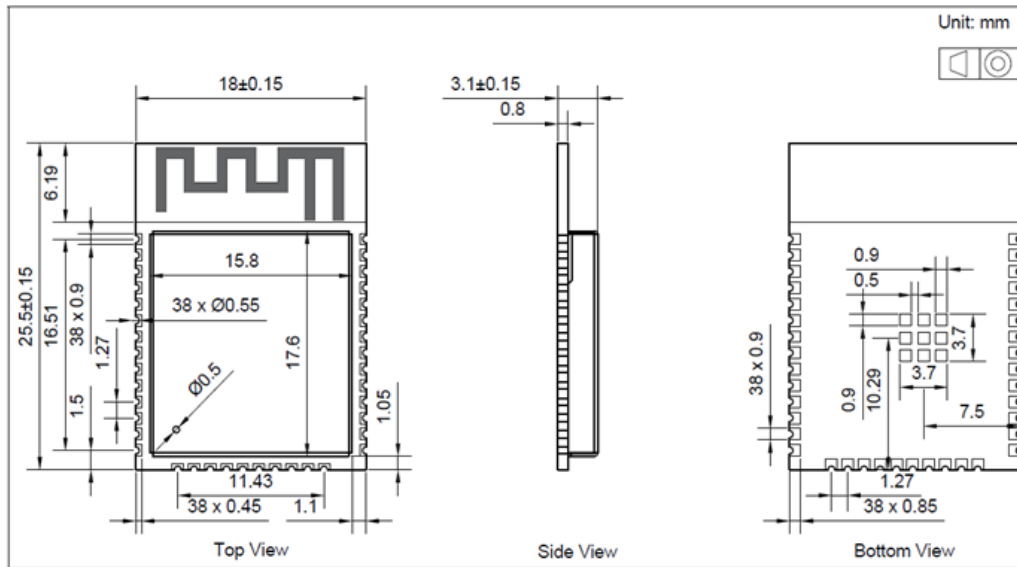
Η πλακέτα ανάπτυξης IoT ESP8266 χρησιμοποιείται στις κάτωθι εφαρμογές:

- Έξυπνες συσκευές προστασίας (κάμερες επιτήρησης και έξυπνες κλειδαριές)
- Έξυπνες συσκευές ενέργειας (HVACs και θερμοστάτες)
- Έξυπνες συσκευές βιομηχανίας (PLCs)
- Έξυπνες συσκευές υγείας (φορητές οθόνες υγείας)

Στις Εικόνες 12 και 13 φαίνονται οι ακροδέκτες του ESP8266EX [31] και οι φυσικές του διαστάσεις.



Εικόνα 12 : Pins.



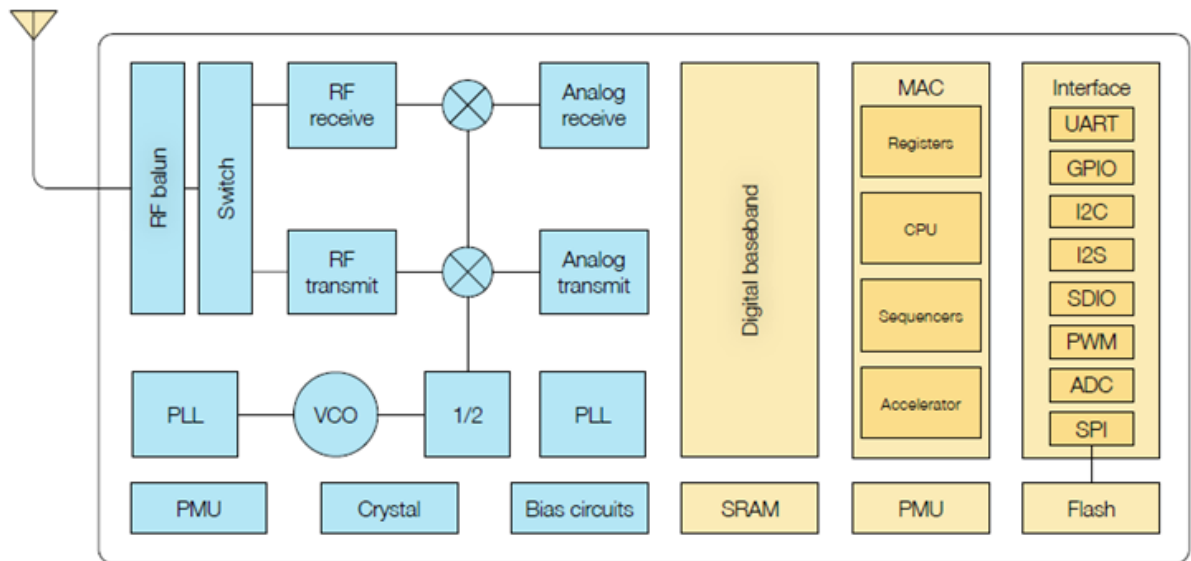
Εικόνα 13: Φυσικές Διαστάσεις του ESP8266EX

Στον Πίνακα 2 που ακολουθεί παρατίθεται η αναλυτική περιγραφή των ακροδεκτών (pins) του ESP8266EX με τις λειτουργίες τους [31]:

4	VDD3P3	P	Amplifier Power 2.5 V – 3.6 V
6	VDD_RTC	P	NC (1.1 V)
6	TOUT	I	ADC pin. It can be used to test the power-supply voltage of VDD3P3 (Pin3 and Pin4) and the input power voltage of TOUT (Pin 6). However, these two functions cannot be used simultaneously.
7	CHIP_EN	I	Chip Enable High: On, chip works properly Low: Off, small current consumed
8	XPD_DCDC	I/O	Deep-sleep wakeup (need to be connected to EXT_RSTB); GPIO16
9	MTMS	I/O	GPIO 14; HSPL_CLK
10	MTDI	I/O	GPIO 12; HSPL_MISO
11	VDDPST	P	Digital/I/O Power Supply (1.8 V – 3.6 V)
12	MTCK	I/O	GPIO 13; HSPL_MOSI; UART0_CTS
13	MTDO	I/O	GPIO 15; HSPL_CS; UART0_RTS
14	GPIO2	I/O	UART TX during flash programming; GPIO2
15	GPIO0	I/O	GPIO0; SPL_CS2
16	GPIO4	I/O	GPIO4
17	VDDPST	P	Digital/I/O Power Supply (1.8 V – 3.6 V)
18	SDIO_DATA_2	I/O	Connect to SD_D2 (Series R: 20 Ω); SPIHD; HSPIHD; GPIO9
19	SDIO_DATA_3	I/O	Connect to SD_D3 (Series R: 200 Ω); SPIWP; HSPIWP; GPIO10
20	SDIO_CMD	I/O	Connect to SD_CMD (Series R: 200 Ω); SPL_CS0; GPIO11
21	SDIO_CLK	I/O	Connect to SD_CLK (Series R: 200 Ω); SPL_CLK; GPIO6
22	SDIO_DATA_0	I/O	Connect to SD_D0 (Series R: 200 Ω); SPL_MISO; GPIO7
23	SDIO_DATA_1	I/O	Connect to SD_D1 (Series R: 200 Ω); SPL_MOSI; GPIO8
24	GPIO5	I/O	GPIO5
25	U0RXD	I/O	UART Rx during flash programming; GPIO3
26	U0TXD	I/O	UART TX during flash programming; GPIO1; SPL_CS1
27	XTAL_OUT	I/O	Connect to crystal oscillator output, can be used to provide BT clock input
28	XTAL_IN	I/O	Connect to crystal oscillator input
29	VDDD	P	Analog Power 2.5 V – 3.6 V
30	VDDA	P	Analog Power 2.5 V – 3.6 V
31	RES12K	I	Serial connection with a 12 kΩ resistor and connect to the ground
32	EXT_RSTB	I	External reset signal (Low voltage level: active)

Πίνακας 2: Περιγραφή των PINS του ESP8266EX

Το Block Διάγραμμα λειτουργίας του ESP8266 EX φαίνεται στην **Εικόνα 14**.



Εικόνα 14: Διάγραμμα λειτουργίας

CPU (Επεξεργαστής), Μνήμη και Flash

A..CPU

Το ESP8266EX είναι ένα μικροτσιπ που προσφέρει αρκετά χαρακτηριστικά για την ανάπτυξη εφαρμογών IoT. Ας αναλύσουμε μερικά από τα βασικά του χαρακτηριστικά:

- **Επεξεργαστής RISC Tensilica L106:** Το ESP8266EX ενσωματώνει έναν επεξεργαστή RISC 32-bit Tensilica L106. Αυτός ο επεξεργαστής λειτουργεί σε μέγιστη ταχύτητα ρολογιού 160 MHz και προσφέρει εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, ιδιαίτερα σημαντική για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρίες ή χωρίς παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.
- **Λειτουργικό Σύστημα σε Πραγματικό Χρόνο (RTOS):** Το ESP8266EX υποστηρίζει λειτουργικό σύστημα σε πραγματικό χρόνο (RTOS). Αυτό επιτρέπει στις εφαρμογές να εκτελούνται με συγχρονισμό και προγραμματισμό πραγματικού χρόνου, καθιστώντας το εφικτό να διαχειρίζονται πολλές διαδικασίες και εργασίες ταυτόχρονα.
- **Στοιβα Wi-Fi:** Το ESP8266EX διαθέτει ενσωματωμένη στοίβα Wi-Fi, η οποία του επιτρέπει να συνδέεται με δίκτυα Wi-Fi για ασύρματη επικοινωνία. Αυτό είναι κρίσιμο για εφαρμογές IoT που απαιτούν ασύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο.
- **Διεπαφές Μνήμης:** Το μικροτσιπ διαθέτει πολλαπλές διεπαφές μνήμης:
 - ✓ **Προγραμματιζόμενες διεπαφές RAM/ROM (iBus):** Αυτές οι διεπαφές μπορούν να συνδεθούν με ελεγκτές μνήμης και χρησιμοποιούνται για πρόσβαση σε μνήμη κατά τον προγραμματισμό και την εκτέλεση.
 - ✓ **Διασύνδεση RAM δεδομένων (dBus):** Αυτή η διεπαφή συνδέεται με ελεγκτή μνήμης και χρησιμοποιείται για πρόσβαση σε δεδομένα μνήμης.
 - ✓ **Διασύνδεση AHB:** Αυτή η διεπαφή χρησιμοποιείται για πρόσβαση στο μητρώο.

Το ESP8266EX και οι παρεχόμενες δυνατότητες το καθιστούν μια ισχυρή πλατφόρμα για την ανάπτυξη εφαρμογών IoT.

B. Μνήμη

Το ESP8266EX Wi-Fi SoC ενσωματώνει διάφορες μονάδες μνήμης και ελεγκτή μνήμης, που επιτρέπουν στη μονάδα να αποθηκεύει και να έχει πρόσβαση στα δεδομένα που χρειάζεται για τη λειτουργία της. Ας εξετάσουμε αυτά τα χαρακτηριστικά αναλυτικότερα:

- **SRAM (Static Random Access Memory):** Το ESP8266EX διαθέτει SRAM για την αποθήκευση δεδομένων που απαιτούνται για την εκτέλεση του προγράμματος. Η μονάδα μνήμης SRAM μπορεί να προσπελαστεί από τον επεξεργαστή μέσω διεπαφών iBus, dBus και AHB.
- **ROM (Read-Only Memory):** Αν και δεν υπάρχει προγραμματιζόμενη ROM στο SoC, το πρόγραμμα χρήστη πρέπει να αποθηκεύεται σε εξωτερική flash μνήμη SPI. Αυτό σημαίνει ότι ο χώρος για το πρόγραμμα και τα δεδομένα που αποθηκεύονται σε flash μνήμη θα πρέπει να είναι επαρκής για τις ανάγκες της εφαρμογής.
- **Ελεγκτής Μνήμης:** Ο ελεγκτής μνήμης διαχειρίζεται την προσπέλαση και την αποθήκευση δεδομένων στις διάφορες μονάδες μνήμης, όπως το SRAM και την εξωτερική flash μνήμη SPI. Εξασφαλίζει την αποτελεσματική και αξιόπιστη πρόσβαση στις μνήμες, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής.
- **Διεπαφές iBus, dBus και AHB:** Αυτές οι διεπαφές επιτρέπουν στον επεξεργαστή να αλληλοεπιδρά με τις μονάδες μνήμης. Ο iBus χρησιμοποιείται για προγραμματισμένη πρόσβαση σε μνήμη κατά τον προγραμματισμό και την εκτέλεση. Ο dBus χρησιμοποιείται για πρόσβαση σε δεδομένα μνήμης. Το AHB είναι μια διασύνδεση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επίσκεψη στο μητρώο.

Ο χώρος SRAM που είναι διαθέσιμος για τους χρήστες εξαρτάται από τη λειτουργία του ESP8266EX. Στη λειτουργία Station, όπου η μονάδα συνδέεται με ένα δρομολογητή Wi-Fi, ο μέγιστος προγραμματιζόμενος χώρος που είναι προσβάσιμος στην ενότητα Heap + Data είναι περίπου 50 kB. Η εξωτερική flash μνήμη SPI χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του προγράμματος χρήστη.

Γ. Εξωτερικό Flash

Το ESP8266EX χρησιμοποιεί εξωτερική flash μνήμη SPI για την αποθήκευση προγραμμάτων των χρηστών και μπορεί να υποστηρίξει θεωρητικά χωρητικότητα μνήμης έως 16 MB.

Όσον αφορά την ελάχιστη μνήμη flash που απαιτείται για το ESP8266EX ανάλογα με το αν η OTA (Over-The-Air) αναβάθμιση είναι ενεργοποιημένη ή απενεργοποιημένη, ισχύουν τα εξής:

- Όταν η OTA είναι απενεργοποιημένη, απαιτείται τουλάχιστον 512 kB ελεύθερης μνήμης flash για να φιλοξενήσει το πρόγραμμα χρήστη.
- Όταν η OTA είναι ενεργοποιημένη, απαιτείται τουλάχιστον 1 MB ελεύθερης μνήμης flash. Αυτό συμβαίνει επειδή η διαδικασία OTA απαιτεί ένα επιπλέον χώρο για την αποθήκευση των νέων εκδόσεων του προγράμματος, προτού γίνει η αναβάθμιση.

Επομένως, ανάλογα με τις ανάγκες μας και εάν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε τη λειτουργία OTA, θα πρέπει να επιλέξουμε μια εξωτερική flash μνήμη με επαρκή χωρητικότητα για τις απαιτήσεις του προγράμματός μας.

Ρολόι (clock)

A. Ρολόι υψηλής συχνότητας (High Frequency Clock)

Το ρολόι υψηλής συχνότητας στο ESP8266EX παίζει σημαντικό ρόλο στην οδήγηση των διαδικασιών μετάδοσης και λήψης στη συσκευή. Αυτό το ρολόι παράγεται από έναν εσωτερικό κρυσταλλικό ταλαντωτή και εξωτερικό κρυστάλλο. Η εσωτερική βαθμονόμηση στον εσωτερικό ταλαντωτή κρυστάλλων επιτρέπει τη χρήση ενός ευρέος φάσματος κρυστάλλων με διάφορες συχνότητες, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Ωστόσο, η ποιότητα του κρυστάλλου είναι σημαντική για να εξασφαλιστεί ότι το ρολόι λειτουργεί με ακρίβεια και σταθερότητα, προκειμένου να διατηρηθεί ο λογικός θόρυβος φάσης (phase noise significance) σε χαμηλά επίπεδα και να διατηρηθεί η καλή ευαισθησία Wi-Fi της συσκευής. Η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν διάφοροι κρυστάλλοι σε αυτό το ευρύ φάσμα συχνοτήτων βοηθά στην

προσαρμογή της συσκευής σε διάφορα περιβάλλοντα και απαιτήσεις. Επιλέγοντας τον κατάλληλο κρύσταλλο μπορεί να επιτευχθεί βέλτιστη απόδοση της συσκευής σε όρους επικοινωνίας Wi-Fi και λειτουργίας γενικά. Ο πίνακας που ακολουθεί βοηθάει στην μέτρηση της μετατόπισης συχνότητας.

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Frequency	FXO	24	52	MHz
Loading capacitance	CL	-	32	pF
Motional capacitance	CM	2	5	pF
Series resistance	RS	0	65	Ω
Frequency tolerance	Δ FXO	-15	15	ppm
Frequency vs temperature (-25 °C - 75 °C)	Δ FXO.Temp	-15	15	ppm

Πίνακας 3: Μέτρηση μετατόπισης συχνότητας

B.External Clock Requirements

Ένα ρολόι που δημιουργείται εξωτερικά είναι διαθέσιμο με συχνότητα που κυμαίνεται από 24 MHz έως 52 MHz. Παρακάτω είναι κάποια χαρακτηριστικά που συνήθως συμβάλλουν στην καλή απόδοση εκπομπής - λήψης σήματος (radio performance) σε συσκευές όπως το ESP8266EX:

- **Σταθερή και Ακριβής Συχνότητα Ταλαντώσεων:** Η σταθερότητα και η ακρίβεια της συχνότητας ταλαντώσεων (crystal frequency) είναι κρίσιμα, καθώς επηρεάζει τον ρυθμό της μετάδοσης και λήψης σήματος.
- **Χαμηλός Θόρυβος Φάσης:** Ο χαμηλός θόρυβος φάσης στο ρολόι και στη συσκευή γενικά βελτιώνει την ποιότητα του σήματος και την ευαισθησία της συσκευής στην ανίχνευση και λήψη των επικοινωνιακών σημάτων.
- **Ελάχιστοι Παράγοντες Παρεμπόδισης:** Ο σχεδιασμός της πλακέτας και η τοποθέτηση των εξαρτημάτων θα πρέπει να μην επιτρέπει παρεμπόδιση ή παραμόρφωση εκπομπής - λήψης του σήματος.
- **Επαρκής Ισχύς Εκπομπής/Λήψης:** Η συσκευή πρέπει να παρέχει επαρκή ισχύ για την αποτελεσματική μετάδοση και λήψη σήματος, εξασφαλίζοντας την επικοινωνία ακόμα και σε δύσκολες συνθήκες.
- **Καλό Φιλτράρισμα Σήματος:** Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται για τον χειρισμό του ραδιοφωνικού σήματος θα πρέπει να εξασφαλίζουν την επιθυμητή περιοχή συχνοτήτων και να αποκλείουν ανεπιθύμητες παρεμβολές.
- **Σωστή Κεραία:** Η κεραία παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση της επικοινωνίας, πρέπει να είναι σχεδιασμένη για τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται και να έχει κατάλληλη απόδοση στη μετάδοση και λήψη.
- **Διαχείριση Θερμοκρασίας:** Η συσκευή πρέπει να διαχειρίζεται αποτελεσματικά τη θερμοκρασία για να εξασφαλίζει σταθερή απόδοση εκπομπής - λήψης του σήματος.

Αυτά τα χαρακτηριστικά, μαζί με τη σωστή σχεδίαση της πλακέτας, την κατάλληλη επιλογή εξαρτημάτων και τη βελτιστοποίηση του λογισμικού, συνδράμουν στην επίτευξη καλής απόδοσης εκπομπής - λήψης του σήματος σε συσκευές όπως το ESP8266EX.

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Clock amplitude	V _{CO}	0.8	1.5	V _{pp}
External clock accuracy	ΔFXO,EXT	-15	15	ppm
Phase noise @1-kHz offset, 40-MHz clock	-	-	-120	dBc/Hz
Phase noise @10-kHz offset, 40-MHz clock	-	-	-130	dBc/Hz
Phase noise @100-kHz offset, 40-MHz clock	-	-	-138	dBc/Hz

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά για βέλτιστη απόδοση Radio

Radio

Το radio του ESP8266EX αποτελείται από τις ακόλουθες μονάδες:

- Δέκτης 2,4 GHz
- Πομπός 2,4 GHz
- Γεννήτριες ρολογιού υψηλής ταχύτητας και κρυσταλλικός ταλαντωτής
- Bias and regulators
- Διαχείριση ενέργειας

A. Συχνότητες καναλιών

Ο πομποδέκτης RF υποστηρίζει τα ακόλουθα κανάλια σύμφωνα με τα πρότυπα IEEE802.11 b/g/n.

Channel No.	Frequency (MHz)	Channel No.	Frequency (MHz)
1	2412	8	2447
2	2417	9	2452
3	2422	10	2457
4	2427	11	2462
5	2432	12	2467
6	2437	13	2472
7	2442	14	2484

Πίνακας 5: Κανάλια πομποδέκτη RF

B. Δέκτης 2.4 GHz

Ο δέκτης 2,4 GHz μετατρέπει τα σήματα RF σε σήματα τετραγωνικής ζώνης βάσης (quadrature baseband), στον ψηφιακό τομέα με υψηλή ταχύτητα υψηλής ανάλυσης ADCs 2. Για προσαρμογή σε διαφορετικές συνθήκες καναλιού σήματος, στο ESP8266EX είναι ενσωματωμένα φίλτρα RF, αυτόματο έλεγχο απολαβής (AGC), κυκλώματα ακύρωσης μετατόπιση DC και φίλτρα ζώνης βάσης.

Γ. Πομπός 2.4 GHz

Ο πομπός 2,4 GHz μετατρέπει τα σήματα της βασικής ζώνης τετραγωνισμού σε 2,4 GHz και οδηγεί την κεραία με έναν ενισχυτή ισχύος CMOS υψηλής ισχύος. Η λειτουργία της ψηφιακής βαθμονόμησης

βελτιώνει περαιτέρω τη γραμμικότητα του ενισχυτή ισχύος, επιτρέποντας μια κορυφαία απόδοση με +19,5 dBm μέση ισχύ TX για μετάδοση 802,11b και +18 dBm για μετάδοση 802,11n (MSC0).

Πρόσθετες βαθμονομήσεις έχουν ενσωματωθεί για να αντισταθμίσουν τυχόν ατέλειες του ραδιοφώνου, όπως:

- Διαρροή φορέα
- Ταίριασμα φάσης I/Q
- Μη γραμμικότητες βασικής ζώνης

Αυτές οι ενσωματωμένες λειτουργίες βαθμονόμησης μειώνουν τον χρόνο δοκιμής του προϊόντος και καθιστούν περιττό τον εξοπλισμό δοκιμής.

Δ.Γεννήτρια ρολογιού

Η γεννήτρια ρολογιού παράγει σήματα ρολογιού τετραγωνισμού 2,4 GHz για τον δέκτη και τον πομπό. Όλα τα εξαρτήματα της γεννήτριας ρολογιού είναι ενσωματωμένα στο τσιπ, συμπεριλαμβανομένων όλων των πηνίων, των βαλβίδων, των φίλτρων βρόχου, των γραμμικών ρυθμιστών τάσης και των διαχωριστών. Η γεννήτρια ρολογιού έχει ενσωματωμένα κυκλώματα βαθμονόμησης και αυτοελέγχου. Οι φάσεις του τετραγωνικού ρολογιού και ο θόρυβος φάσης βελτιστοποιούνται στο τσιπ με πατενταρισμένους αλγόριθμους βαθμονόμησης για να διασφαλίζεται η καλύτερη απόδοση του δέκτη και του πομπού.

E.Wi-Fi

Το ESP8266EX εφαρμόζει πρωτόκολλο TCP/IP και πλήρες πρωτόκολλο WLAN MAC 802.11 b/g/n. Υποστηρίζει λειτουργίες STA και SoftAP Basic Service Set (BSS) υπό τη Λειτουργία Κατανεμημένου Ελέγχου (DCF). Η διαχείριση ενέργειας γίνεται με ελάχιστη αλληλεπίδραση κεντρικού υπολογιστή για την ελαχιστοποίηση της περιόδου ενεργού λειτουργίας.

Στ.Wi-Fi Radio και Baseband

Το Wi-Fi του radio και η ζώνη βάσης ESP8266EX υποστηρίζουν τις ακόλουθες δυνατότητες:

- 802.11 b and 802.11 g
- 802.11 n MCS0-7 in 20 MHz bandwidth
- 802.11 n 0.4 μs guard-interval
- up to 72.2 Mbps of data rate
- Receiving STBC 2 x 1
- Up to 20.5 dBm of transmitting power
- Adjustable transmitting power

Z.Wi-Fi MAC

Το ESP8266EX Wi-Fi MAC εφαρμόζει αυτόματα λειτουργίες πρωτοκόλλου χαμηλού επιπέδου, ως εξής:

- 2 × virtual Wi-Fi interfaces
- Infrastructure BSS Station mode/SoftAP mode/Promiscuous mode
- Request To Send (RTS), Clear To Send (CTS) and Immediate Block ACK
- Defragmentation
- CCMP (CBC-MAC, counter mode), TKIP (MIC, RC4), WEP (RC4) and CRC
- Automatic beacon monitoring (hardware TSF)
- Dual and single antenna Bluetooth co-existence support with optional simultaneous receive (Wi-Fi/Bluetooth) capability

H.Power Management

Το ESP8266EX έχει σχεδιαστεί με προηγμένες τεχνολογίες διαχείρισης ενέργειας και προορίζεται για κινητές συσκευές, φορητές ηλεκτρονικές συσκευές και εφαρμογές IoT.

Η αρχιτεκτονική χαμηλής κατανάλωσης λειτουργεί με τις ακόλουθες λειτουργίες:

- **Ενεργή λειτουργία:** Η μονάδα εκπομπής/λήψης είναι ενεργοποιημένος και μπορεί να λάβει, να μεταδώσει ή να ακούσει.
- **Modem-sleep mode:** Η CPU είναι σε λειτουργία. Το Wi-Fi και η εκπομπή/λήψη είναι απενεργοποιημένα.
- **Λειτουργία Light-Sleep:** Η CPU και όλα τα περιφερειακά έχουν τεθεί σε παύση. Οποιαδήποτε συμβάντα αφύπνισης (MAC, κεντρικός υπολογιστής, χρονόμετρο RTC ή εξωτερικές διακοπές) θα αφυπνίσουν τη μονάδα εκπομπής/λήψης
- **Λειτουργία Deep-Sleep:** Μόνο το RTC είναι σε λειτουργία και όλα τα άλλα μέρη της μονάδας είναι απενεργοποιημένα.

Power Mode	Description	Power Consumption
Active (RF working)	Wi-Fi TX packet	Please refer to Table 5-2.
	Wi-Fi RX packet	
Modem-sleep ^①	CPU is working	15 mA
Light-sleep ^②	-	0.9 mA
Deep-sleep ^③	Only RTC is working	20 μ A
Shut down	-	0.5 μ A

Πίνακας 6: Κατανάλωση ενέργειας ανά κατάσταση λειτουργίας του ESP8266EX

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Στον Πίνακα 7 που ακολουθεί αναγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ESP8266EX:

Επεξεργαστές:	<ul style="list-style-type: none"> • CPU: Xtensa διπλοπύρηνος (ή μομοπύρηνος) μικροεπεξεργαστής 32-bit LX6, λειτουργεί στα 160 ή 240 MHz και με απόδοση έως και 600 DMIPS Ultra • Μικρής ισχύος (ULP) συνεπεξεργαστής
Μνήμη:	<ul style="list-style-type: none"> • 520 KiB SRAM, 448 KiB ROM
Ασύρματη συνδεσιμότητα:	<ul style="list-style-type: none"> • Wi-Fi: 802.11 b/g/n • Bluetooth: v4.2 BR/EDR και BLE (μετάδοση με Wi-Fi)
Περιφερειακές διεπαφές:	<ul style="list-style-type: none"> • 34 \times programmable GPIOs • 12-bit SAR ADC μέχρι και 18 κανάλια • 2 \times 8-bit DACs • 10 \times αισθητήρες αφής (χωρητική αίσθηση GPIOs) • 4 \times SPI • 2 \times I²S interfaces • 2 \times I²C interfaces • 3 \times UART • SD/SDIO/CE-ATA/MMC/eMMC host controller • SDIO/SPI slave controller • Ethernet MAC interface with dedicated DMA and IEEE1588 Precision Time Protocol support

	<ul style="list-style-type: none"> • CAN bus 2.0 • Infrared remote controller (TX/RX, up to 8 channels) • Motor PWM • LED PWM (up to 16 channels) • Hall effect sensor • Ultra low power analog pre-amplifier
<u>Ασφάλεια:</u>	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE 802.11 standard security features all supported, including WPA, WPA/WPA2 and WAPI • Secure boot • Flash encryption • 1024-bit OTP, up to 768-bit for customers • Cryptographic hardware acceleration: AES, SHA-2, RSA, elliptic curve cryptography (ECC), random number generator (RNG)
<u>Διαχείριση ισχύος:</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Internal low-dropout regulator • Individual power domain for RTC • 5 μA deep sleep current • Wake up from GPIO interrupt, timer, ADC measurements, capacitive touch sensor interrupt

Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά ενός ESP8266EX

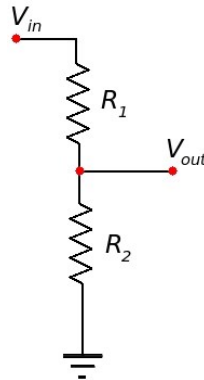
Προγραμματισμός ESP32

Οι παρακάτω γλώσσες προγραμματισμού, πλαίσια, πλατφόρμες και περιβάλλοντα που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό ESP32:

- Arduino IDE
- Espruino
- MicroPython (CircuitPython)
- Lua Network/IoT toolkit
- Mongoose OS
- mruby for the ESP32
- NodeMCU – Lua
- PlatformIO
- Visual Studio Code
- Zerynth

2.3 Αισθητήρες

Η λειτουργία των διάφορων αισθητήρων στα ηλεκτρονικά κυκλώματα βασίζεται στο Διαιρέτη Τάσης.

Διαιρέτης τάσης**Εικόνα 15: Διαιρέτης Τάσης**

Το κυκλωματικό διάγραμμα ενός διαιρέτη τάσης [32]:

V_{in} : Τάση εισόδου

V_{out} : Τάση εξόδου

R_1 , R_2 : Ηλεκτρικές αντιστάσεις

Ο διαιρέτης τάσης ή αλλιώς διαιρέτης δυναμικού είναι μια απλή διάταξη (κύκλωμα) που αποτελείται από δύο αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σειρά, στα άκρα των οποίων εφαρμόζεται μια τάση εισόδου. Η τάση εξόδου που λαμβάνεται είναι η διαφορά δυναμικού (τάσης) μεταξύ των ακροδεκτών τη μίας εκ των αντιστάσεων. Η τάση εξόδου παίρνει τιμές που κυμαίνονται από 0 έως την τιμή της τάσης εισόδου.

Η ανάλυση του κυκλώματος ενός διαιρέτη τάσης είναι αρκετά απλή. Σύμφωνα με την θεωρία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα των δύο αντιστάτων εν σειρά προκύπτει από την διαίρεση της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του κυκλώματος προς το άθροισμα των τιμών των εν σειρά αντιστάσεων. Η τάση εξόδου είναι ουσιαστικά η τάση που αναπτύσσεται στα άκρα της δεύτερης αντίστασης. Η τάση αυτή μπορεί να βρεθεί εάν πολλαπλασιάσουμε το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση επί την τιμή της. Ο συλλογισμός αυτός μπορεί να δοθεί μαθηματικά εφαρμόζοντας τον νόμο του Ωμ [33]:

$$\text{Ρεύμα κυκλώματος: } I = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2}$$

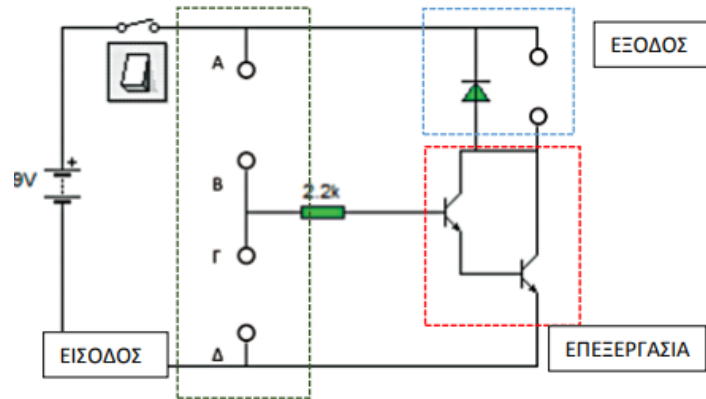
$$\text{Τάση εξόδου: } V_{out} = I \cdot R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in}$$

Η σχέση αυτή δείχνει ότι ο λόγος της πτώσης τάσης V_2 στο R_2 προς τη συνολική τάση V_{in} είναι πανομοιότυπος με τον λόγο της αντίστασης R_2 προς τη συνολική αντίσταση των R_1 και R_2 . Συνεπώς, με κατάλληλη εκλογή των ηλεκτρικών αντιστάσεων του κυκλώματος, μπορούμε να πάρουμε στην έξοδο οποιαδήποτε τιμή τάσης ανάμεσα στο 0 και την τάση εισόδου.

Τυπικό κύκλωμα ελέγχου

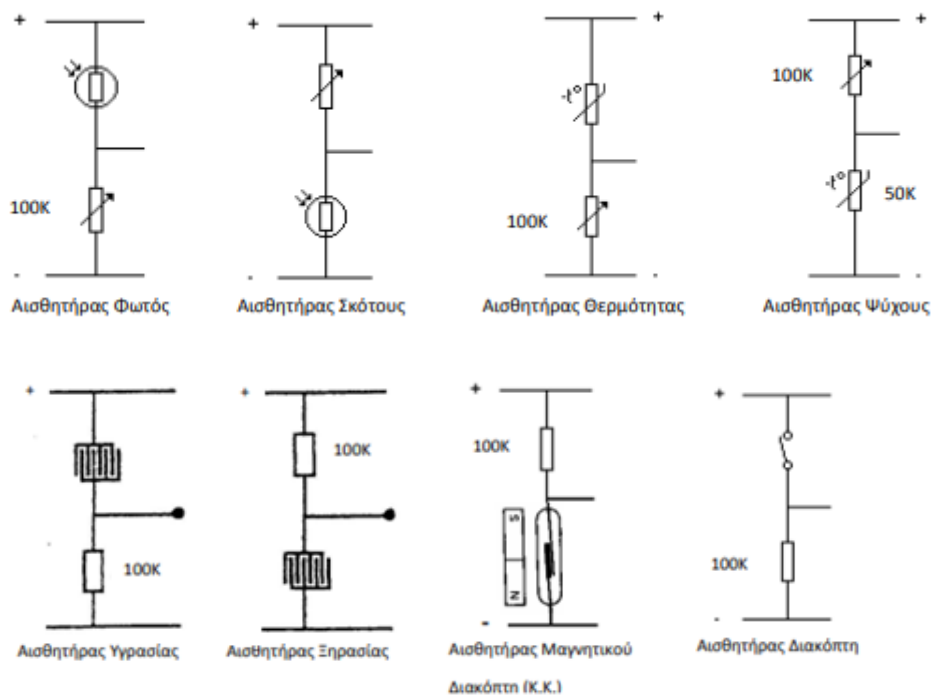
Ο Διαιρέτης Τάσης αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία στηρίζουν τη λειτουργία τους οι διάφοροι αισθητήρες στα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Ένας αισθητήρας δημιουργείται όταν αντικαταστήσουμε έναν από τους δύο αντιστάτες του διαιρέτη τάσης με ένα υλικό (ημιαγωγό) που μεταβάλλει την αντίστασή του, σε συνάρτηση με έναν παράγοντα του περιβάλλοντος, π.χ. με ένα θερμοαντιστάτη που μεταβάλλει την

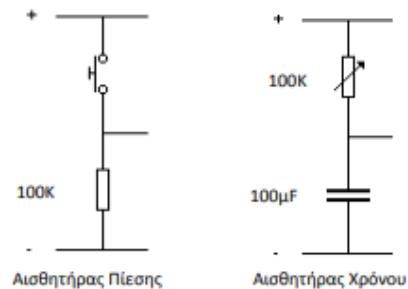
αντίσταση του με τη μεταβολή της θερμοκρασίας στον χώρο που βρίσκεται.



Εικόνα 16: Τυπικό κύκλωμα ελέγχου

Στα σημεία Α-Β και Γ-Δ του πιο πάνω κυκλώματος θα τοποθετηθούν οι πιο κάτω αισθητήρες. Όταν ένας αισθητήρας έχει μεγάλη αντίσταση τοποθετείται πάντοτε στο κάτω μέρος. Για παράδειγμα ο φωτοαντιστάτης έχει μεγάλη αντίσταση στο σκοτάδι και ο θερμοαντιστάτης στο ψύχος και για το λόγο αυτό τοποθετούνται στο μέρος Γ-Δ. Σκοπός είναι το ρεύμα να οδηγηθεί προς τη βάση του τρανζίστορ, ώστε να το ενεργοποιήσει προκειμένου να έχουμε κάποιο αποτέλεσμα (ένδειξη) στην έξοδο.





Εικόνα 17: Διάφοροι τύποι αισθητήρων

2.3.1 Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας

Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας βασίζεται στη θεωρία του διαιρέτη τάσης, όπως προαναφέρθηκε. Στην υλοποίηση του κυκλώματος στο πρακτικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι αισθητήρων:

- Ο DS18B20 ως εσωτερικός (εντός κυψέλης) και
- DHT11, ως εξωτερικός (περιβάλλοντος)

Εσωτερικός αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DS18B20

A.Γενικές προδιαγραφές του αισθητήρα θερμοκρασίας DS18B20

Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DS18B20 έχει τις παρακάτω γενικές προδιαγραφές:

- Επικοινωνεί μέσω διαύλου ενός καλωδίου (1-wire)
- Εύρος τροφοδοσίας: 3,0V έως 5,5V
- Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας: -55°C έως +125°C
- Ακρίβεια +/-0,5 °C (μεταξύ -10°C έως 85°C)

B.Δυνατότητες – Λειτουργία

Το ψηφιακό θερμόμετρο DS18B20 παρέχει μετρήσεις θερμοκρασίας Κελσίου από 9 έως 12 ψηφία και διαθέτει λειτουργία συναγερμού, με άνω και κάτω σημεία ενεργοποίησης, προγραμματιζόμενη από το χρήστη. Το DS18B20 επικοινωνεί μέσω ενός διαύλου 1 καλωδίου που εξ ορισμού απαιτεί μόνο μία γραμμή δεδομένων (και γείωση/GND) για επικοινωνία με έναν κεντρικό μικροεπεξεργαστή (ESP8266) [34].



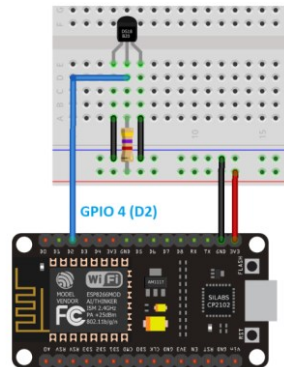
Εικόνα 18: Ψηφιακό θερμόμετρο DS18B20

GND: Γείωση

VDD: Τροφοδοσία 3,0V έως 5,5V

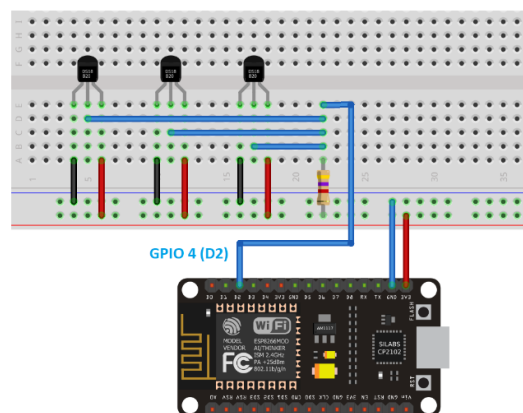
DQ: Δεδομένα (BUS) για εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας από -55°C έως +125°C

Επιπλέον, το DS18B20 μπορεί να αντλήσει ισχύ απευθείας από τη γραμμή δεδομένων (parasite power), εξαλείφοντας την ανάγκη για εξωτερική παροχή ρεύματος. Για την υλοποίησή μας ο αισθητήρας αντλεί την απαιτούμενη ισχύ από τη γραμμή δεδομένων του NodeMCU V3.



Εικόνα 19: Υλοποίηση κυκλώματος με ένα ψηφιακό θερμόμετρο DS18B20 με NodeMCU V3

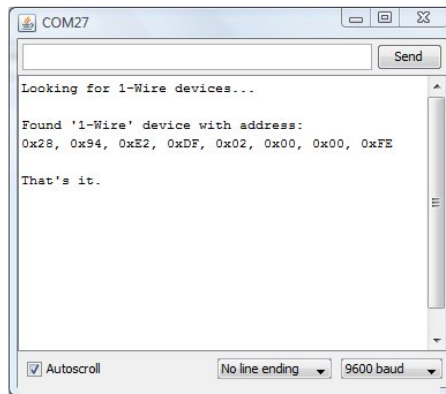
Κάθε αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20 έχει έναν μοναδικό σειριακό κωδικό 64 ψηφίων. Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα της ταυτόχρονης σύνδεσης πολλών αισθητήρων στον ίδιο διάυλο μεταφοράς δεδομένων [35]. Με αυτόν τον τρόπο, χρειάζεται ένας μικροεπεξεργαστής για τον έλεγχο πολλών αισθητήρων θερμοκρασίας DS18B20, ώστε να λαμβάνουμε θερμοκρασία από πολλά σημεία καταμετρημένα σε μια μεγάλη περιοχή. Κατά την υλοποίηση έχουν χρησιμοποιηθεί ένας αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20 ανά κυψέλη, σε δύο κυψέλες, σε παράλληλη σύνδεση, στην αδιάβροχη έκδοσή τους. Ωστόσο η επιθυμητή φιλοσοφία υλοποίησης είναι τρεις αισθητήρες ανά κυψέλη (πάνω μέρος, μέση και κάτω μέρος), για τέσσερις συνολικά κυψέλες, σύνολο δώδεκα (12) αισθητήρων. Σημειώνεται ότι ο αριθμός των συνδεδεμένων αισθητήρων περιορίζεται μόνο για λόγους τροφοδοσίας και ωμικής αντίστασης του καλωδίου. Ενδεικτικά, παρατίθεται η υλοποίηση σύνδεσης τριών αισθητήρων με την παρακάτω συνδεσμολογία, με χρήση μιας αντίστασης 4.7 KΩ, μεταξύ BUS (DATA) και +5V:



Εικόνα 20: Υλοποίηση κυκλώματος με τρεις αισθητήρες DS18B20

Τα καλώδια α) κόκκινο/VCC καλώδιο και το β) μαύρο/γείωση του DS18B20, θα πρέπει να συνδεθούν στα α) 3V και β) G του NodeMCU, αντίστοιχα. Το μπλε καλώδιο/καλώδιο δεδομένων (DQ) πρέπει να συνδεθεί στο D2 (στον κωδικό αυτό θα περιγραφεί ως Pin 2).

Κάνοντας χρήση ενός προγράμματος Find_Adress [36] βρίσκουμε τις διευθύνσεις του κάθε αισθητήρα 64bit.



Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούμε τον παρακάτω κώδικα:

```
#include <OneWire.h>
OneWire ds(2); // Connect your 1-wire device to pin 2
void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  discoverOneWireDevices();
}
void discoverOneWireDevices(void) {
  byte i;
  byte present = 0;
  byte data[12];
  byte addr[8];
  Serial.print("Looking for DS18b20\n\r");
  while(ds.search(addr)) {
    Serial.print("\n\rFound '1-Wire' device with address:\n\r");
    for( i = 0; i < 8; i++) {
      Serial.print("0x");
      if (addr[i] < 16) {
        Serial.print('0');
      }
      Serial.print(addr[i], HEX);
      if (i < 7) {
        Serial.print(", ");
      }
    }
  }
}
```

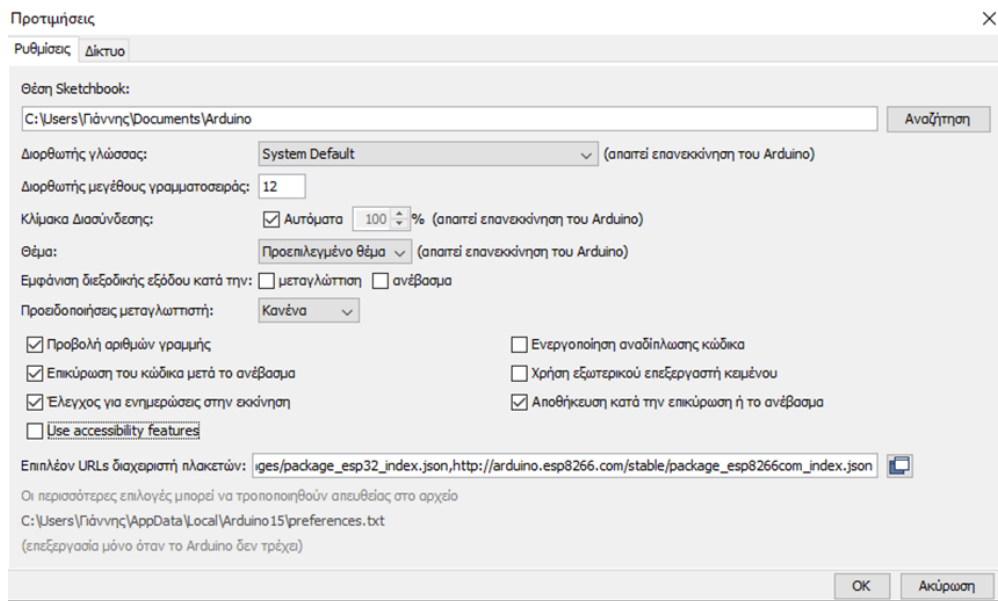
```

if ( OneWire::crc8( addr, 7) != addr[7]) {
  Serial.print(" not valid!\n");
  return;
}

```

Γ.Λογισμικό

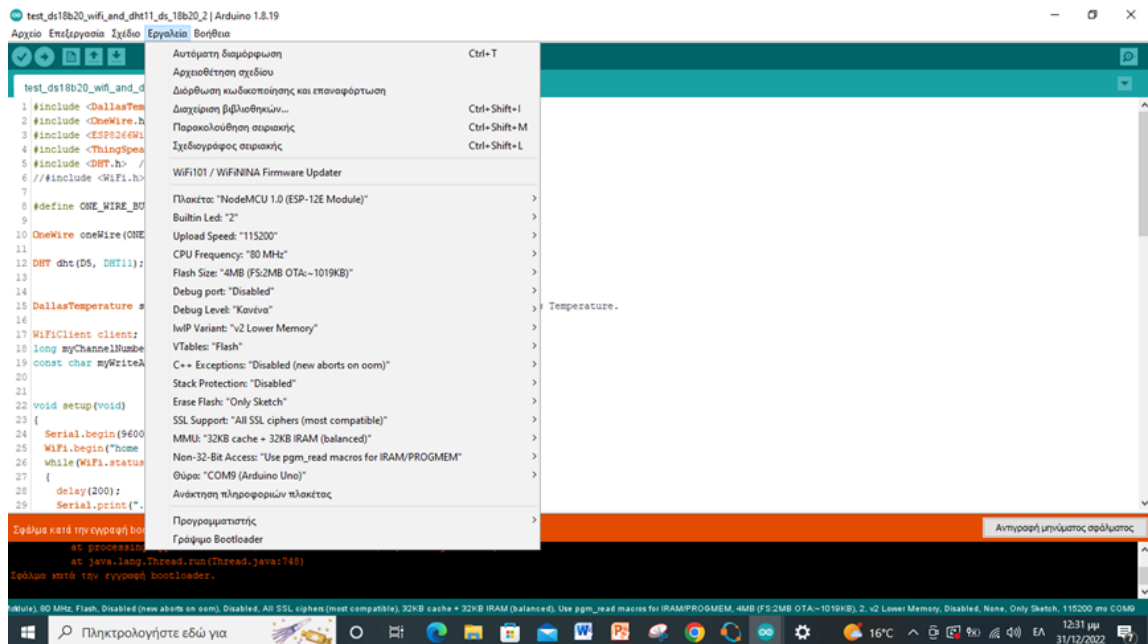
Για τον προγραμματισμό του κόμβου χρησιμοποιούμε το Arduino IDE [37].



Εικόνα 21: Στιγμιότυπο οθόνης υπολογιστή από το Arduino IDE

Μετά τη λήψη αυτού του λογισμικού, μεταβαίνουμε στο Tools>Boards>Board Manager και βρίσκουμε και εγκαθιστούμε τον οδηγό “ESP8266 Boards”. Στη συνέχεια επιλέγουμε στο Tools> Boards το NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module).

Μεταπτυχιακή Διατριβή



Εικόνα 22: Στιγμιότυπο οθόνης υπολογιστή για τον ορισμό της πλακέτας Node MCU 1.0

Οι βιβλιοθήκες που θα χρειαστούμε για την εκτέλεση του κώδικα είναι οι ESP8266WiFi , PubSubClient , DallasTemperature και OneWire [38].

Για να κατεβάσουμε τις τρεις πρώτες πηγαίνουμε στο Sketch>Include Library>Manage Libraries και τις εγκαθιστούμε. Για την τέταρτη κατεβάζουμε την OneWire Library από τον σύνδεσμο

<https://cdn.instructables.com/ORIG/F65/7JFL/IXGFU7J4/F657JFLIXGFU7J4.zip>

και κατόπιν πλοηγούμαστε στο Sketch>Include Library>Add .Zip Library.

4.Κώδικας

Αφού συμπεριλάβουμε τις απαραίτητες βιβλιοθήκες, όπως αναφέρονται παραπάνω, ρυθμίζουμε πρώτα την είσοδο OneWire. Επισημαίνεται ότι όταν χρησιμοποιείται το NodeMCU, το D4 υποδεικνύεται ως 2.

Χρησιμοποιούμε τον παρακάτω κώδικα:

```

#include <DallasTemperature.h>
#include <OneWire.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ThingSpeak.h>
#include <DHT.h> // Including library for dht
//#include <WiFi.h>
#define ONE_WIRE_BUS 4 //D2 pin of nodemcu
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DHT dht(D5, DHT11);
DallasTemperature sensors(&oneWire); // Pass the oneWire reference to Dallas
Temperature.
WiFiClient client;
long myChannelNumber = 1710907;

```

```
const char myWriteAPIKey[] = "CUE58061AH4RCRON";
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  WiFi.begin("home J&M", "9616507Jm");
  while(WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(200);
    Serial.print("..");
  }
  Serial.println();
  Serial.println("NodeMCU is connected!");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  dht.begin();
  ThingSpeak.begin(client); //Initialize ThingSpeak
  Serial.println();
  Serial.println("Starting...");
  sensors.begin();
}
void loop(void)
{
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  if (isnan(h) || isnan(t))
  {
    Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
    return;
  }
  {
    sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
    float c = sensors.getTempCByIndex(0);
    float c1 = sensors.getTempCByIndex(1);
    if ((c == -127.00) || (tempF == -196))
    {
      Serial.println("Failed to read from sensor!");
      delay(1000);
    }
  }
  else
  // Serial.println("Temperature is: ");
  Serial.println("c:"+(String)c); // Why "byIndex"? You can have more than one IC on the
  same bus. 0 refers to the first IC on the wire
  Serial.println("Humidity: " + (String) h);
  Serial.println("Temperature: " + (String) t);
  Serial.println("c1:"+(String)c1);
```



```
//ThingSpeak.writeField(myChannelNumber,1, c, myWriteAPIKey);
//ThingSpeak.writeField(myChannelNumber,2, h, myWriteAPIKey);
//ThingSpeak.writeField(myChannelNumber,3, t, myWriteAPIKey);
ThingSpeak.setField(1,c);
ThingSpeak.setField(2,h);
ThingSpeak.setField(3,t);
ThingSpeak.setField(4,c1);
int x = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber,myWriteAPIKey);
if(x==200){
    Serial.println("Channel update successful.");
}
else{
    Serial.println("Problem updating channel. HTTP error code " + String(x));
}
delay(10000);
// lastTime = millis();
}
}
```

Εξωτερικός αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT 11

A.Γενικές προδιαγραφές του αισθητήρα θερμοκρασίας DHT 11

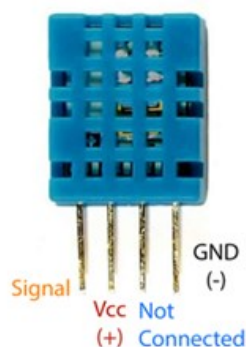
Οι γενικές προδιαγραφές ενός αισθητήρα θερμοκρασίας DHT11 είναι οι κάτωθι:

- Εύρος μετρήσεων: 20-90%RH /0-50° C
- Ακρίβεια μέτρησης υγρασίας: ± 5% RH
- Ακρίβεια μέτρησης θερμοκρασίας: ± 2° C
- Ανάλυση: 1
- Πακέτο: 4 pin single row

Ειδικότερα, στον Πίνακα 8 αναφέρονται αναλυτικά οι γενικές τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας DHT 11:

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Humidity				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
Repeatability			8 Bit	
			± 1%RH	
Accuracy	25°C		± 4%RH	
	0-50°C			± 5%RH
Interchangeability	Fully Interchangeable			
Measurement Range	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%)25°C, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			± 1%RH	
Long-Term Stability	Typical		± 1%RH/year	
Temperature				
Resolution		1°C	1°C	1°C
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
Repeatability			± 1°C	
Accuracy		± 1°C		± 2°C
Measurement Range		0°C		50°C
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S		30 S

Πίνακας 8: Γενικές προδιαγραφές αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας DHT 11

B.Δυνατότητες – Λειτουργία

Εικόνα 23: Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT 11

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11 (Εικόνα 23) διαθέτει ένα σύμπλεγμα αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας με βαθμονομημένη έξοδο ψηφιακού σήματος. Χρησιμοποιώντας την αποκλειστική τεχνική λήψης ψηφιακού σήματος και την τεχνολογία ανίχνευσης θερμοκρασίας και υγρασίας, εξασφαλίζει υψηλή αξιοπιστία και εξαιρετική μακροπρόθεσμη σταθερότητα. Αυτός ο αισθητήρας περιλαμβάνει:

- ένα εξάρτημα μέτρησης υγρασίας τύπου αντίστασης, αυστηρά βαθμονομημένο σε εξειδικευμένο εργαστήριο βαθμονόμησης υγρασίας, με τους συντελεστές βαθμονόμησης αποθηκευμένους ως προγράμματα στη μνήμη OTP, ώστε να χρησιμοποιούνται στην εσωτερική διαδικασία ανίχνευσης σήματος του αισθητήρα· ο DHT11 ανιχνεύει τους υδρατμούς μετρώντας την ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, που εφαρμόζονται στην επιφάνεια. Το υπόστρωμα απορροφά τους υδρατμούς

απελευθερώνοντας ιόντα και αυξάνοντας την αγωγιμότητα μεταξύ των ηλεκτροδίων. Η μεταβολή της αντίστασης μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων είναι ανάλογη της σχετικής υγρασίας. Η υψηλότερη σχετική υγρασία μειώνει την αντίσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων, ενώ η χαμηλότερη σχετική υγρασία αυξάνει την αντίσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων και

- ένα στοιχείο μέτρησης θερμοκρασίας NTC και συνδέεται με έναν μικροελεγκτή 8-bit υψηλής απόδοσης.

Ο DHT 11 προσφέρει εξαιρετική ποιότητα, γρήγορη απόκριση, ικανότητα κατά των παρεμβολών και οικονομική απόδοση. Η σειριακή διεπαφή ενός καλωδίου καθιστά την ενοποίηση του συστήματος γρήγορη και εύκολη. Το μικρό του μέγεθος, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η μετάδοση σήματος έως και 20 μέτρα το καθιστούν την καλύτερη επιλογή για διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των πιο απαιτητικών. Το εξάρτημα είναι πακέτο καρφίτσας μονής σειράς 4 ακίδων και βολικό στη σύνδεση.

Η μορφή δεδομένων ενός διαύλου χρησιμοποιείται για επικοινωνία και συγχρονισμό μεταξύ του αισθητήρα MCU και DHT11. Μία διαδικασία επικοινωνίας είναι περίπου 4ms. Τα δεδομένα αποτελούνται από δεκαδικά και αναπόσπαστα μέρη. Μια πλήρης μετάδοση δεδομένων είναι 40 bit και ο αισθητήρας στέλνει πρώτα υψηλότερα bit δεδομένων.

Μορφή δεδομένων: Ολοκληρωμένα δεδομένα RH 8 bit + Δεκαδικά δεδομένα RH 8 bit + Ολοκληρωμένα δεδομένα T 8 bit + Δεκαδικά δεδομένα T 8 bit + άθροισμα ελέγχου 8 bit. Εάν η μετάδοση δεδομένων είναι σωστή, το άθροισμα ελέγχου θα πρέπει να είναι το τελευταίο 8 bit

"Ολοκληρωμένα δεδομένα RH 8 bit + Δεκαδικά δεδομένα RH 8 bit + Δεκαδικά δεδομένα T 8 bit + Δεκαδικά δεδομένα T 8 bit".

DATA=16 bits RH data+16 bits Temperature data+8 bits check-sum

Example: MCU has received 40 bits data from AM2302 as

0000 0010 1000 1100 0000 0001 0101 1111 1110 1110
16 bits RH data 16 bits T data check sum

Here we convert 16 bits RH data from binary system to decimal system,

0000 0010 1000 1100 → 652
Binary system Decimal system

RH=652/10=65.2%RH

Here we convert 16 bits T data from binary system to decimal system,

0000 0001 0101 1111 → 351
Binary system Decimal system

T=351/10=35.1°C

When highest bit of temperature is 1, it means the temperature is below 0 degree Celsius.

Example: 1000 0000 0110 0101, T= minus 10.1°C

16 bits T data

Sum=0000 0010+1000 1100+0000 0001+0101 1111=1110 1110

Check-sum=the last 8 bits of Sum=1110 1110

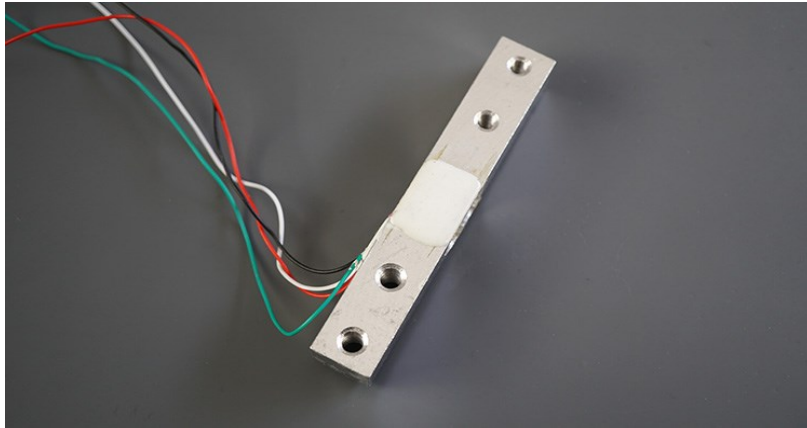
Εικόνα 24: Ψηφιακή μετάδοση πληροφορίας (bit) θερμοκρασίας, υγρασίας και ελέγχου

2.3.2 Αισθητήρας βάρους - Ψηφιακή ζυγαριά

Ένας αισθητήρας βάρους βασίζει την λειτουργία του στη χρήση ενός μετρητή καταπόνησης ή τάσης. Ο μετρητής τάσης είναι μεταλλοηλεκτρικό στοιχείο μέτρησης που μετράει με ακρίβεια δυνάμεις, φορτία, ροπή κ.λπ., ιδιαίτερα σε στατικές διεργασίες. Λειτουργεί με βάση το φυσικό αποτέλεσμα με το οποίο η ηλεκτρική αντίσταση ενός σύρματος αλλάζει αναλογικά με την τάση που ασκείται στο σύρμα όταν τεντώνεται ή συμπιέζεται. Χρησιμοποιείται μεταξύ άλλων και για την κατασκευή αισθητήρων φορτίου (ζυγαριές) και τοποθετείται σε σώματα μέτρησης κατασκευασμένα από υλικό υψηλής αντοχής. Για την υλοποίηση της συσκευής της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, δημιουργήσαμε μια ψηφιακή ζυγαριά

με το Arduino χρησιμοποιώντας μια κυψέλη φόρτωσης (μετρητή καταπόνησης/τάσης) και τον ενισχυτή HX711.

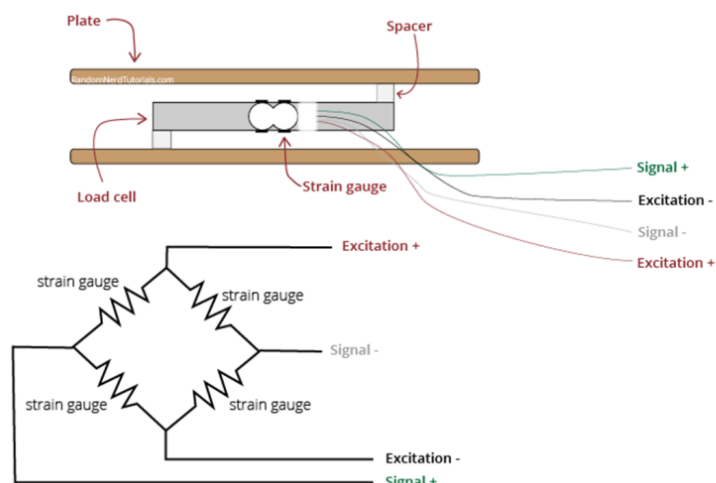
Αισθητήρας Βάρους



Εικόνα 25: Αισθητήρας βάρους

Ένας αισθητήρας βάρους (μετρητών καταπόνησης) αποτελείται από μια μεταλλική ράβδο που έχει κάτω από τη λευκή κόλλα προσαρτημένους μετρητές τάσης (όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ένας μετρητής τάσης είναι ένας ηλεκτρικός αισθητήρας που μετρά τη δύναμη ή την καταπόνηση σε ένα αντικείμενο. Η αντίσταση του μετρητή καταπόνησης μεταβάλλεται όταν ασκείται εξωτερική δύναμη σε ένα αντικείμενο, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση του σχήματος του αντικειμένου (στην περίπτωση αυτή, της μεταλλικής ράβδου). Η αντίσταση του μετρητή καταπόνησης είναι ανάλογη με το φορτίο που εφαρμόζεται, γεγονός που μας επιτρέπει να υπολογίσουμε το βάρος των αντικειμένων.

Συνήθως, οι κυψέλες φορτίου έχουν τέσσερις μετρητές καταπόνησης συνδεδεμένους σε μια γέφυρα Wheatstone (όπως φαίνεται παρακάτω) που μας επιτρέπουν να λαμβάνουμε ακριβείς μετρήσεις αντίστασης.



Εικόνα 26: Μετρητές καταπόνησης σε συνδεσμολογία γέφυρας Wheatstone

Τα καλώδια που προέρχονται από την κυψέλη φορτίου έχουν συνήθως τα ακόλουθα χρώματα:

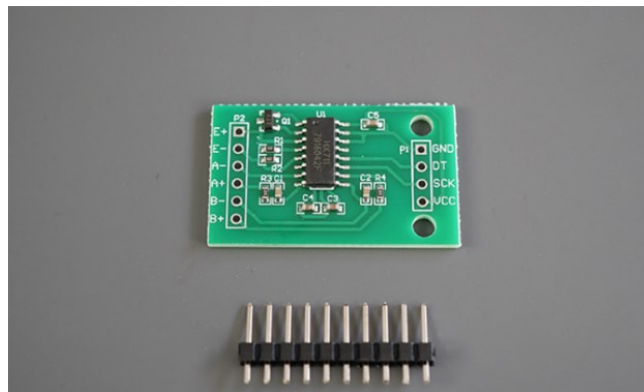
Κόκκινο:	VCC (E+)
Μαύρο:	GND (E-)
Άσπρο:	Έξοδος – (A-)
Πράσινο:	Έξοδος + (A+)

Οι κυψέλες φορτίου αυτού του τύπου (με μετρητές καταπόνησης) βρίσκουν ποικίλες εφαρμογές, με μερικές από αυτές να είναι οι κάτωθι:

- Έλεγχος μεταβολής του βάρους ενός αντικειμένου με τον χρόνο.
- Μέτρηση του βάρους ενός αντικειμένου.
- Ανίχνευση της παρουσίας ενός αντικειμένου.
- Υπολογισμός της στάθμης υγρού ενός δοχείου.

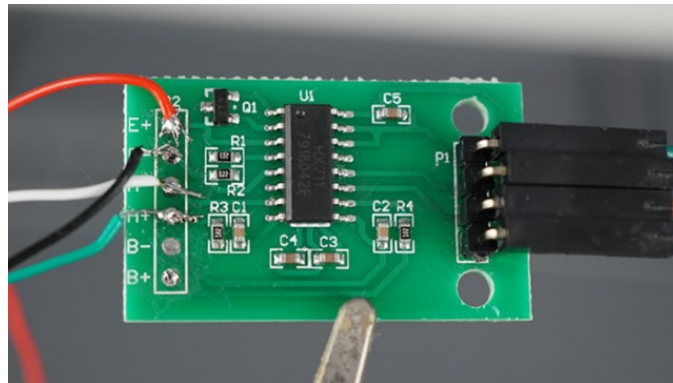
Όταν ζυγίζονται αντικείμενα με αυτή τη μέθοδο, οι μεταβολές στην καταπόνηση (τάση) είναι πολύ μικρές, της τάξεως μερικών mV και ως εκ τούτου είναι απαραίτητη η χρήση ενός ενισχυτή. Η κυψέλη φορτίου που χρησιμοποιούμε πωλείται συνήθως μαζί με έναν ενισχυτή HX711, που είναι και ο ενισχυτής που θα χρησιμοποιήσουμε.

Ενισχυτής HX711.



Εικόνα 27: Ενισχυτής HX711

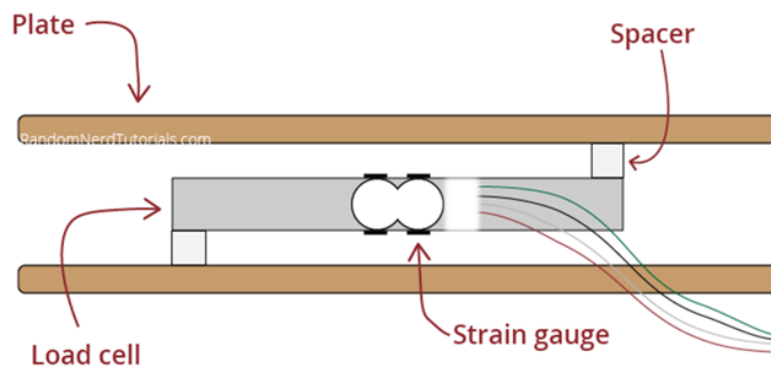
Ο ενισχυτής HX711 είναι μια πλακέτα που μας επιτρέπει να διαβάζουμε εύκολα τις κυψέλες φορτίου για να μετράμε το βάρος. Συνδέουμε τα καλώδια της κυψέλης φόρτωσης στη μία πλευρά και τον μικροελεγκτή από την άλλη πλευρά. Το HX711 επικοινωνεί με τον μικροελεγκτή, χρησιμοποιώντας διεπαφή δύο καλωδίων (Ρολόι και δεδομένα). Κολλάμε τις ακίδες κεφαλίδας στις ακίδες GND, DT, SCK και VCC για να συνδεθούμε στο Arduino και έπειτα τα καλώδια της κυψέλης φόρτωσης απευθείας στις ακίδες E+, E-, A- και A+. Καθώς τα καλώδια της κυψέλης φόρτωσης είναι πολύ λεπτά και εύθραυστα, προσέχουμε κατά τη συγκόλληση να μην τα καταστρέψουμε.



Εικόνα 28: Ενισχυτής HX711 – Κολλήσεις

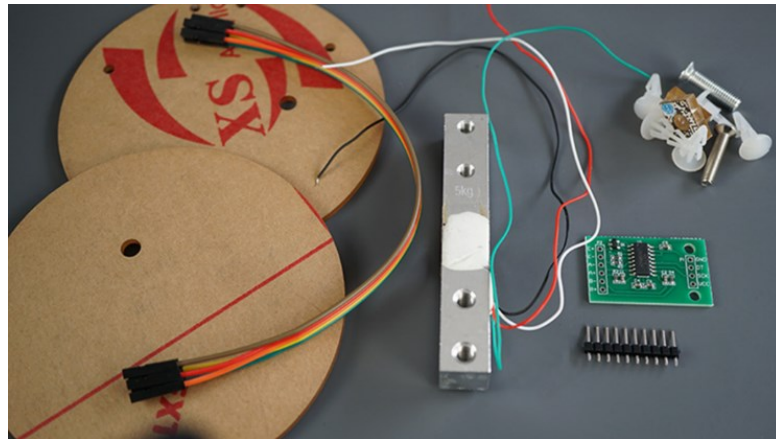
Ρύθμιση του Load Cell

Το κιτ κυψελών φόρτωσης συνοδεύεται από δύο ακρυλικές πλάκες και μερικές βίδες για τη ρύθμιση της κυψέλης φόρτωσης ως ζυγαριάς (Εικόνα 29).



Εικόνα 29: Απεικόνιση κυψελών φόρτωσης

Στερεώνουμε τις πλάκες στην φόρτωση με τρόπο που να δημιουργείται τάση μεταξύ των απέναντι άκρων της μεταλλικής ράβδου (Εικόνα 30). Η κάτω πλάκα συγκρατεί το κελί φόρτωσης και η επάνω πλάκα είναι εκεί που τοποθετούμε τα αντικείμενα.



Εικόνα 30: Kit κυψελών φόρτωσης

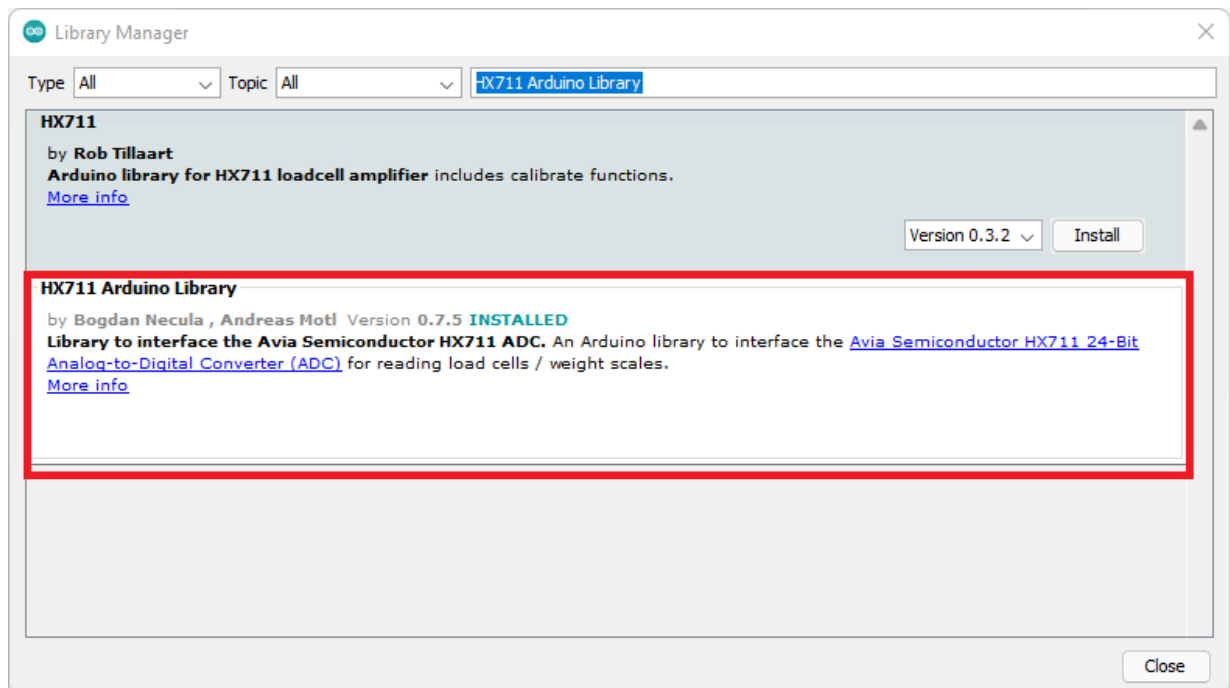
Εγκατάσταση της βιβλιοθήκης HX711

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές βιβλιοθήκες για τη λήψη μετρήσεων από μια κυψέλη φόρτωσης χρησιμοποιώντας τον ενισχυτή HX711. Εμείς χρησιμοποιήσαμε τη βιβλιοθήκη HX711 by bodge, που είναι συμβατή με τα ESP32, ESP8266 και Arduino.

Arduino IDE

Ακολουθήσαμε τις οδηγίες που ακολουθούν για να εγκαταστήσουμε τη βιβλιοθήκη.

1. Ανοίγουμε το Arduino IDE και μεταβαίνουμε στο **Sketch > Include Library > Manage Libraries**.
2. Αναζητάμε "**HX711 Arduino Library**" και εγκαθιστούμε τη βιβλιοθήκη του Bogdan Necula.



Εικόνα 31: Στιγμιότυπο οθόνης από την εγκατάσταση της βιβλιοθήκης HX711 Arduino

A.Βαθμονόμηση της κλίμακας (Arduino με Load Cell)

Συνδέουμε το load cell στον ενισχυτή HX711 και τον ενισχυτή στην πλακέτα Arduino. Ρυθμίζουμε τη ζυγαριά μας, έχοντας τις δύο πλάκες καλωδιωμένες σε αντίθετα άκρα στην κυψέλη φόρτωσης και να έχουμε ήδη εγκαταστήσει τη βιβλιοθήκη HX711.

Πριν ξεκινήσουμε την ζύγιση αντικειμένων, πρέπει πρώτα να έχουμε βαθμονομήσει την κυψέλη φόρτωσης, λαμβάνοντας υπόψη τον παράγοντα βαθμονόμησης. Ακολούθηθηκε η παρακάτω διαδικασία:

1. Ετοιμάσαμε ένα αντικείμενο με γνωστό βάρος. Στην περίπτωσή μας έγινε χρήση μιας συσκευής ζύγισης κουζίνας, για τη ζύγιση ενός ποτηριού νερό (107 gr).
2. Κατόπιν ανεβάσαμε τον παρακάτω κώδικα στην πλακέτα Arduino.

```

/*
  Rui Santos
  Complete project details at https://RandomNerdTutorials.com/arduino-load-cell-hx711/

  Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy of this
  software and associated documentation files.

  The above copyright notice and this permission notice shall be included in all copies or
  substantial portions of the Software.

  */

// Calibrating the load cell
#include "HX711.h"

```



```
// HX711 circuit wiring
const int LOADCELL_DOUT_PIN = 2;
const int LOADCELL_SCK_PIN = 3;

HX711 scale;

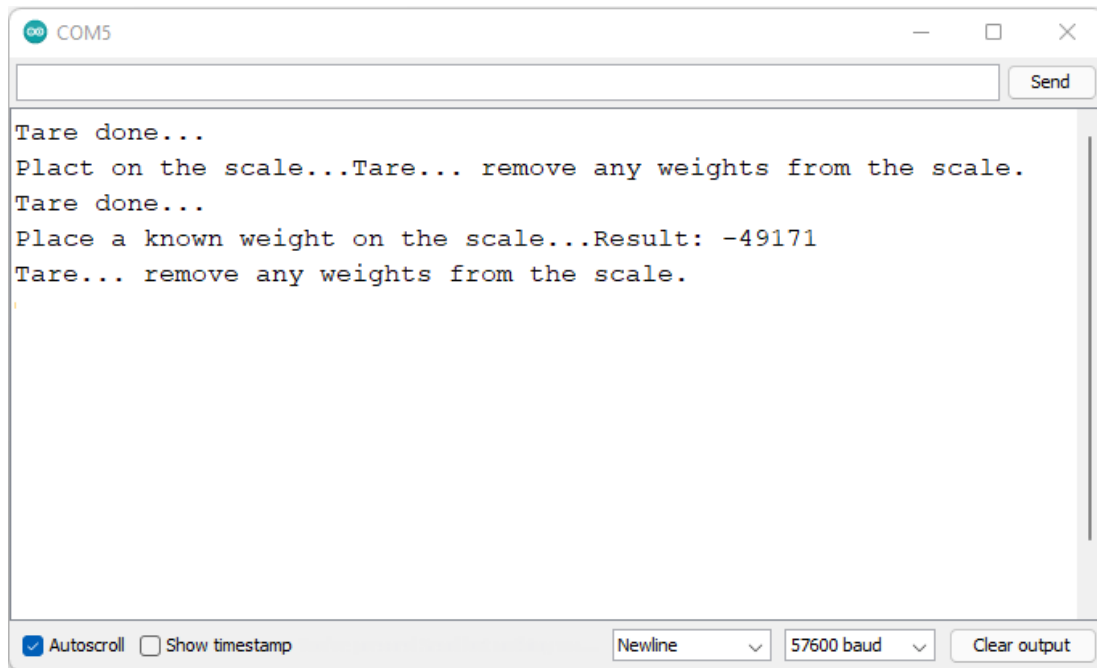
void setup() {
  Serial.begin(57600);
  scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN);
}

void loop() {

  if (scale.is_ready()) {
    scale.set_scale();
    Serial.println("Tare... remove any weights from the scale.");
    delay(5000);
    scale.tare();
    Serial.println("Tare done...");
    Serial.print("Place a known weight on the scale...");
    delay(5000);
    long reading = scale.get_units(10);
    Serial.print("Result: ");
    Serial.println(reading);
  }
  else {
    Serial.println("HX711 not found.");
  }
  delay(1000);
}

//calibration factor will be the (reading)/(known weight)
```

3. Μετά τη μεταφόρτωση, ανοίξαμε τη σειριακή οθόνη με ρυθμό **baud 57600** και, στη συνέχεια, πατήσαμε το κουμπί **RESET** του Arduino.
4. Ακολουθήσαμε τις οδηγίες στη σειριακή οθόνη: αφαιρέσαμε τυχόν βάρη από τη ζυγαριά (η ένδειξη θα μειωθεί αυτόματα). Στη συνέχεια, τοποθετήσαμε ένα αντικείμενο με γνωστό βάρος στη ζυγαριά και περιμέναμε μέχρι να πάρουμε μια τιμή.
5. Υπολογίσαμε τον συντελεστή βαθμονόμησης χρησιμοποιώντας τον τύπο:
calibration factor = (reading)/(known weight)



Εικόνα 32: Στιγμιότυπο οθόνης από την βαθμονόμηση του αισθητήρα βάρους (κυψέλη φόρτωσης)

Στην περίπτωσή μας, η ένδειξη είναι -49171. Το γνωστό βάρος είναι 107 g, οπότε ο συντελεστής βαθμονόμησης θα είναι: $-49171/107 = -459,542$.

calibration factor = $-49171/107 = -459.542$

Αποθηκεύουμε τον παράγοντα βαθμονόμησης γιατί θα τον χρειαστούμε αργότερα, αφού ο παράγοντας αυτός διαφέρει για κάθε αισθητήρα. Η έξοδος ενός αισθητήρα είναι ανάλογη με τη δύναμη που ασκείται στο δυναμικό στοιχείο.

Στάθμιση αντικειμένων (Arduino με Load Cell)

Τώρα που γνωρίζουμε τον παράγοντα βαθμονόμησής μας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την κυψέλη φόρτωσης για να ζυγίσουμε αντικείμενα. Ξεκινάμε ζυγίζοντας αντικείμενα με γνωστό βάρος και επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία βαθμονόμησης εάν οι τιμές δεν είναι ακριβείς.

Αντιγράφουμε τον παρακάτω κώδικα στο Arduino IDE μας. Πριν το ανεβάσουμε στον πίνακα μας, δεν ξεχνάμε να εισαγάγουμε τον συντελεστή βαθμονόμησης στη γραμμή 43/44 του κώδικα. Ο παρακάτω κώδικας είναι το παράδειγμα που παρέχεται από τη βιβλιοθήκη που δείχνει τη χρήση των περισσότερων από τις λειτουργίες της.

```
/**
 * Complete project details at https://RandomNerdTutorials.com/arduino-load-cell-hx711/
 *
 * HX711 library for Arduino - example file
 * https://github.com/bogde/HX711
 *
 * MIT License
 * (c) 2018 Bogdan Necula
 *
 */
```

```
#include <Arduino.h>
#include "HX711.h"

// HX711 circuit wiring
const int LOADCELL_DOUT_PIN = 2;
const int LOADCELL_SCK_PIN = 3;

HX711 scale;

void setup() {
  Serial.begin(57600);
  Serial.println("HX711 Demo");
  Serial.println("Initializing the scale");

  scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN);

  Serial.println("Before setting up the scale:");
  Serial.print("read: \t\t");
  Serial.println(scale.read()); // print a raw reading from the ADC

  Serial.print("read average: \t\t");
  Serial.println(scale.read_average(20)); // print the average of 20 readings from the ADC

  Serial.print("get value: \t\t");
  Serial.println(scale.get_value(5)); // print the average of 5 readings from the ADC minus the
  tare weight (not set yet)

  Serial.print("get units: \t\t");
  Serial.println(scale.get_units(5, 1)); // print the average of 5 readings from the ADC minus
  tare weight (not set) divided
  // by the SCALE parameter (not set yet)

  scale.set_scale(-459.542);
  //scale.set_scale(-471.497); // this value is obtained by calibrating the scale with
  known weights; see the README for details
  scale.tare(); // reset the scale to 0

  Serial.println("After setting up the scale:");

  Serial.print("read: \t\t");
  Serial.println(scale.read()); // print a raw reading from the ADC

  Serial.print("read average: \t\t");
```

```
Serial.println(scale.read_average(20)); // print the average of 20 readings from the ADC

Serial.print("get value: \t\t");
Serial.println(scale.get_value(5)); // print the average of 5 readings from the ADC minus the
tare weight, set with tare()

Serial.print("get units: \t\t");
Serial.println(scale.get_units(5), 1); // print the average of 5 readings from the ADC minus
tare weight, divided
// by the SCALE parameter set with set_scale

Serial.println("Readings:");
}

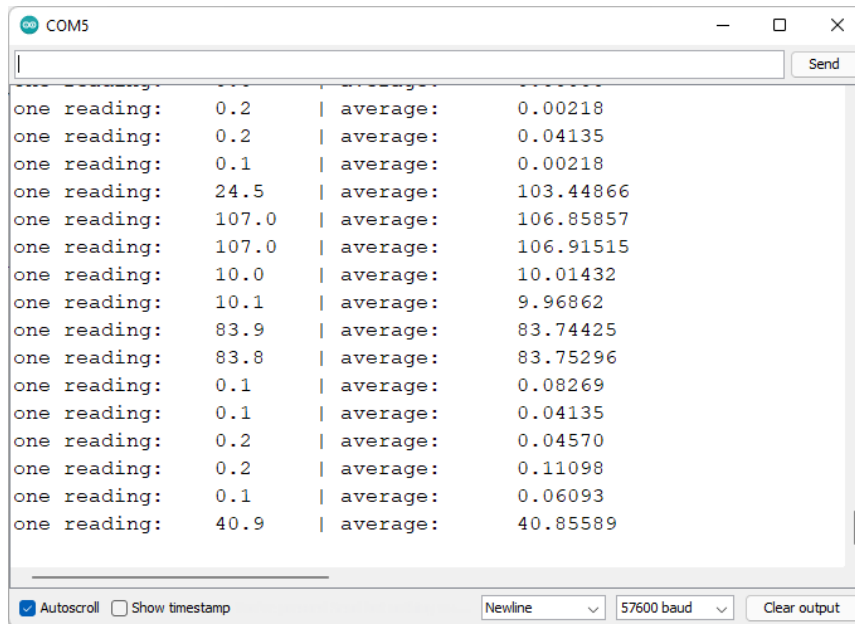
void loop() {
Serial.print("one reading:\t");
Serial.print(scale.get_units(), 1);
Serial.print("\t| average:\t");
Serial.println(scale.get_units(10), 5);

delay(5000);
}
```

Επίδειξη

Ανεβάζουμε τον κωδικό στην πλακέτα Arduino. Μετά τη μεταφόρτωση, ανοίγουμε τη σειριακή οθόνη με ρυθμό baud 115200.

Αφήνουμε τον κωδικό να τρέξει μερικά δευτερόλεπτα, ώστε να έχει χρόνο να ρυθμίσει την κλίμακα (βλέπουμε το μήνυμα στη Σειριακή οθόνη). Στη συνέχεια, τοποθετούμε οποιοδήποτε αντικείμενο στη ζυγαριά για να το μετρήσουμε και λαμβάνουμε τα αποτελέσματα στη σειριακή οθόνη.



Εικόνα 33: Στιγμιότυπο οθόνης από αποτελέσματα ζύγισης

Στην περίπτωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, προβήκαμε στην ζύγιση ικανού αριθμού αντικειμένων με τη ζυγαριά που χρησιμοποιήσαμε στην υλοποίηση. Στη συνέχεια προκειμένου να επαληθεύσουμε την ακρίβεια της ζυγαριάς μας προβήκαμε σε ζύγιση των ίδιων αντικειμένων με μια συσκευή ζύγισης κουζίνας για την σωστή βαθμονόμηση.

2.4 Τροφοδοσία – Αυτονομία συστήματος

Για την επίτευξη αυτονομίας της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε μια διάταξη τροφοδοσίας με ενσωματωμένο τον φορτιστή, με δυνατότητα μελλοντικής σύνδεσης με φωτοβολταϊκό (για απομακρυσμένες θέσεις) και μία μπαταρία [41].

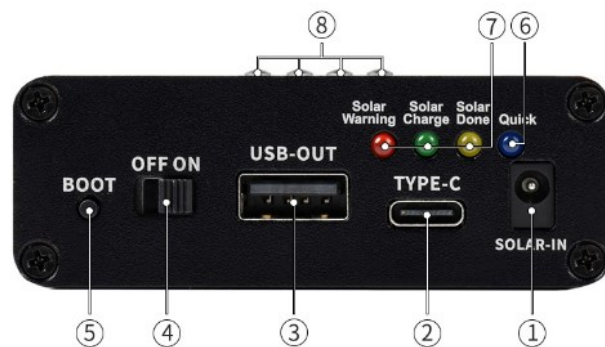
Για την υλοποίηση μας επιλέξαμε μια μονάδα φόρτισης μπαταρίας λιθίου, το Solar Power Manager (C) είναι συμβατό με γενικούς ηλιακούς συλλέκτες 6V~24V. Μπορεί να επαναφορτίσει τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες Li-ion 18650 μέσω ηλιακού πάνελ ή σύνδεσης USB TYPE-C και παρέχει ρυθμιζόμενη έξοδο 5V / 3A (με υποστήριξη πολλαπλών πρωτοκόλλων, συμπεριλαμβανομένων PD/QC/FCP/PE/SFCP).



Εικόνα 34: Μονάδα Φόρτισης μπαταρίας λιθίου Solar Power Manager - C

Η μονάδα διαθέτει λειτουργία MPPT (Maximum Power Point Tracking) και κυκλώματα πολλαπλής προστασίας, επομένως, είναι σε θέση να συνεχίσει να λειτουργεί με υψηλή απόδοση, σταθερότητα και ασφάλεια. Είναι κατάλληλο για έργα ηλιακής ενέργειας, IoT χαμηλής κατανάλωσης και άλλα έργα προστασίας του περιβάλλοντος.

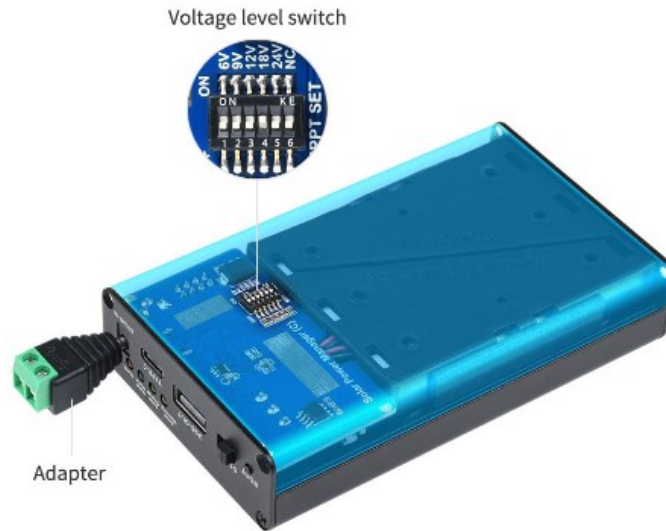
- Υποστηρίζει τη λειτουργία MPPT (Maximum Power Point Tracking), μεγιστοποιώντας την απόδοση του ηλιακού πάνελ
- Ευέλικτη επαναφόρτιση μπαταρίας: από ηλιακό πάνελ ή τροφοδοτικό USB TYPE-C
- Συμβατό με ηλιακά πάνελ 6V~24V, είσοδο jack DC-002 ή είσοδο βιδωτού ακροδέκτη
- Ενσωματωμένος διακόπτης MPPT SET, επιλέξτε το επίπεδο κλειστό στο επίπεδο εισόδου για να βελτιώσετε την απόδοση επαναφόρτισης
- Ενσωματωμένος ηλεκτρολυτικός πυκνωτής αλουμινίου και κεραμικός πυκνωτής SMD, μειώνοντας τον κυματισμό, σταθερή απόδοση
- Ενσωματωμένη βάση μπαταρίας, υποστηρίζει 3x 18650 επαναφορτιζόμενες μπαταρίες Li-ion
- Αρκετές ενδείξεις LED, για την παρακολούθηση της κατάστασης του ηλιακού πάνελ και της μπαταρίας
- Κυκλώματα πολλαπλής προστασίας: υπερφόρτιση / υπερφόρτιση / αντίστροφη προστασία / υπερθέρμανση / υπερβολικό ρεύμα, σταθερό και ασφαλές στη χρήση



- 1. Είσοδος ηλιακού πάνελ**
επαναφόρτιση μέσω του βύσματος DC-002 ή του βιδωτού ακροδέκτη
- 2. Η θύρα επαναφόρτισης/εξόδου TYPE-C**
υποστηρίζει τροφοδοτικό 5V για επαναφόρτιση
υποστηρίζει πρωτόκολλο PD Προσαρμογέας γρήγορης φόρτισης
υποστηρίζει έξοδο πολλαπλών πρωτοκόλλων PD/QC/FCP/PE/SFCP
- 3. Θύρα εξόδου USB**
5V/3A ρυθμιζόμενη έξοδος
υποστηρίζει έξοδο πολλαπλών πρωτοκόλλων PD/QC/FCP/PE/SFCP
- 4. Διακόπτης on/off μπαταρίας**
- 5. Κουμπί BOOT**
- 6. Ένδειξη γρήγορης φόρτισης**
- 7. Ενδείξεις κατάστασης ηλιακού πάνελ**
Ηλιακή Προειδοποίηση: ανάβει εάν αντιστραφεί ο ηλιακός πίνακας
Ηλιακή φόρτιση: ανάβει κατά την επαναφόρτιση από ηλιακό πάνελ
Solar Done: ανάβει όταν η μπαταρία επαναφορτιστεί πλήρως
- 8. Ενδείξεις διάρκειας ζωής μπαταρίας**

Εικόνα 35: Οπτική περιγραφή λειτουργίας Waveshare Solar Power Manager C

Όπως ειπώθηκε, υποστηρίζει ηλιακούς συλλέκτες 6V~24V, με τη χρήση ενός διακόπτη τάσης 5 επιπέδων, για ρύθμιση τάσης εισόδου ηλιακού πάνελ για βελτίωση της απόδοσης



Εικόνα 36: Υποστήριξη ηλιακών συλλεκτών 6V-24V

Επιπλέον έχει τη δυνατότητα υποστήριξης μπαταριών 3x 18650, με μία ενσωματωμένη βάση μπαταρίας για επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ιόντων λιθίου.



Εικόνα 37: Επαναφόρτιση μπαταριών λιθίου

Στο επόμενο κεφάλαιο καταγράφονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της εφαρμογής που αναπτύξαμε.

3 Αποτελέσματα

3.1 Καταγραφή αποτελεσμάτων

Τα αισθητήρια θερμοκρασίας και υγρασίας συνδέθηκαν με το ThingSpeak, το οποίο είναι ένα εργαλείο MATLAB, αποθήκευσης, επεξεργασίας και απεικόνισης δεδομένων.

Δημιουργήσαμε δύο κανάλια:

- το python bee που συλλέγονται και αποθηκεύονται τα δεδομένα των μετρήσεων από τις κυψέλες και
- το result που συλλέγει τις μετρήσεις αφύπνισης, πραγματοποιεί την επεξεργασία τους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποστολή sms ή email ευαισθητοποίησης.

The screenshot shows the ThingSpeak web interface. At the top, there is a navigation bar with 'Channels', 'Apps', 'Devices', and 'Support' menus. Below the navigation bar, the main content area is divided into two sections: 'My Channels' and 'Help'. The 'My Channels' section features a 'New Channel' button and a search bar. Below the search bar is a table listing two channels:

Name	Created	Updated
\make\python bee	2022-04-21	2023-04-18 17:14
result	2023-04-18	2023-06-03 19:35

The 'Help' section contains instructions on how to collect data, create channels, and sort table entries. Below the help text, there are 'Examples' and 'Upgrade' sections.

Εικόνα 38: Στιγμιότυπο οθόνης από την εφαρμογή ThingSpeak που φαίνονται τα δύο κανάλια

Συνδέσαμε τα αισθητήρια όπως περιγράφηκε παραπάνω και κατόπιν πήραμε διάφορες μετρήσεις, όπως ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία κυψέλης, ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία και ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη εξωτερική υγρασία.

The screenshot displays the ThingSpeak web interface. At the top, there is a navigation bar with 'Channels', 'Apps', 'Devices', and 'Support' menus, along with 'Commercial Use' and 'How to Buy' links. Below the navigation bar, the 'Name' field contains 'Calculate high and low temperatures 10'. The 'MATLAB Code' section contains the following code:

```

1 % Read temperature data from a ThingSpeak channel over the past 24 hours
2 % to calculate the high and low temperatures and write to another channel.
3
4 % Channel 12397 contains data from the MathWorks Weather Station, located
5 % in Natick, Massachusetts. The data is collected once every minute. Field
6 % 4 contains temperature data.
7
8 % Channel ID to read data from
9 readChannelID = 1710907;
10 % Temperature Field ID
11 TemperatureFieldID = 4;
12
13 % Channel Read API Key
14 % If your channel is private, then enter the read API Key between the '' below:
15 readAPIKey = 'KFR1UQG0X4NU586J';
16
17 % Read temperature data for the last 24 hours from the MathWorks weather
18 % station channel. Learn more about the thingSpeakRead function by going to
19 % the Documentation tab on the right side pane of this page.
20
21 [tempF,timeStamp] = thingSpeakRead(readChannelID,'Fields',TemperatureFieldID,...
22                                 'numDays',1,'readkey',readAPIKey);
23
24 % Calculate the maximum and minimum temperatures
25 [maxTempF,maxTempIndex] = max(tempF);
26 [minTempF,minTempIndex] = min(tempF);
27
28 % Select the timestamps at which the maximum and minimum temperatures were measured
29 timeMaxTemp = timeStamp(maxTempIndex);
30 timeMinTemp = timeStamp(minTempIndex);
31
32 display(maxTempF,'Maximum Temperature for the past 24 hours is');
33 display(minTempF,'Minimum Temperature for the past 24 hours is');
34
35 fprintf(['Note: To write data to another channel, assign the write channel ID \n',...
36         'andAPI Key to ''writeChannelID'' and ''writeAPIKey'' variables. Also \n',...
37         'uncomment the line of code containing ''thingSpeakWrite'' \n',...
38         '(remove ''%%'' sign at the beginning of the line.)']);
39
40 % To store the maximum temperature, write it to a channel other than
41 % the one used for reading data. To write to a channel, assign the write
42 % channel ID to the 'writeChannelID' variable, and the write API Key to the
43 % 'writeAPIKey' variable below. Find the write API Key in the right side pane
44 % of this page.
45
46 % Replace the [] with channel ID to write data to:
47 writeChannelID = [2111819];
48 % Enter the Write API Key between the '' below:
49 writeAPIKey = 'SCDD8HYDS7QBKSL5';
50
51 % Learn more about the thingSpeakWrite function by going to the Documentation tab on
52 % the right side pane of this page.
53
54 %thingSpeakWrite(writeChannelID,maxTempF,'timeStamp',timeMaxTemp,'writeKey',writeAPIKey);
    
```

At the bottom of the code editor, there are 'Save and Run' and 'Save' buttons. On the right side of the interface, there are tabs for 'My Channels' and 'Documentation'. Below these tabs is a 'New Channel' button. The 'Most recent channels' section lists two channels:

- Channel 1:** Name: result, Channel ID: 2111819, Access: Private, Read API Key: PRM2GA6XG4UR867L, Write API Key: SCDD8HYDS7QBKSL5, Fields: 1: Field Label 1, 2: Field Label 2.
- Channel 2:** Name: \make\python bee, Channel ID: 1710907, Access: Public, Read API Key: KFR1UQG0X4NU586J, Write API Key: CUE58061AH4RCRON, Fields: 1: cell_1_"c", 2: outdoor_"h", 3: Field Label 3, 4: cell_2_"c".

Εικόνα 39: Στιγμιότυπα οθόνης από την εφαρμογή ThingSpeak με τις μετρήσεις

```
Output

Maximum Temperature for the past 24 hours is =

    35.8750

Minimum Temperature for the past 24 hours is =

    34.3750

Note: To write data to another channel, assign the write channel ID
andAPI Key to 'writeChannelID' and 'writeAPIKey' variables. Also
uncomment the line of code containing 'thingSpeakWrite'
```

Εικόνα 40: Στιγμιότυπο οθόνης από την εφαρμογή ThingSpeak με την μέγιστη και ελάχιστη μέτρηση θερμοκρασίας 24ώρου

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

4 Ανάλυση – Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Όπως έχουμε αναφέρει στα προηγούμενα κεφάλαια μπορούμε με τεχνολογία IoT να έχουμε μια «εικόνα» για την κατάσταση μέσα σε μια οποιαδήποτε μελισσοκομική κυψέλη και εάν χρειάζεται επέμβαση/επίσκεψη για κάτι που δεν είναι σε φυσιολογικά πλαίσια.

Με το παρόν σύστημα μπορούμε να ανιχνεύσουμε και να βγάλουμε ένα αρκετά αξιόπιστο συμπέρασμα για το εάν μέσα στην κυψέλη υπάρχει γόνος, μέσω των μετρήσεων θερμοκρασίας που λαμβάνουμε.

Το πείραμα που πραγματοποιήθηκε ήταν παρακολούθηση της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από Δεκέμβριο 2022 έως και Μάιος 2023, σε δύο κυψέλες καθώς και της εξωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας.

Τα αισθητήρια ήταν τοποθετημένα στο κέντρο κάθε κυψέλης.

Τα συμπεράσματα που εξαγάγαμε ήταν τα κάτωθι:

4.1 Δεκέμβριος 2022

Το μήνα Δεκέμβριο του 2022, πραγματοποιήθηκαν 4.211 μετρήσεις.

Η μέση θερμοκρασία στην κυψέλη Α ήταν 29,53 °C και στην κυψέλη Β 30,98 °C.

Η μέση εξωτερική θερμοκρασία ήταν 13,16 °C.

Η μέση εξωτερική υγρασία ήταν 72,89 %.

Η δραστηριότητα στις κυψέλες κατά το μήνα Δεκέμβριο 2022 ήταν ελάχιστη και ο γόνος λιγοστός.

Ακολουθεί η συνολική καταγραφή μηνός Δεκεμβρίου 2022 μέσω της εφαρμογής ThingSpeak.

Months: 12 - 12

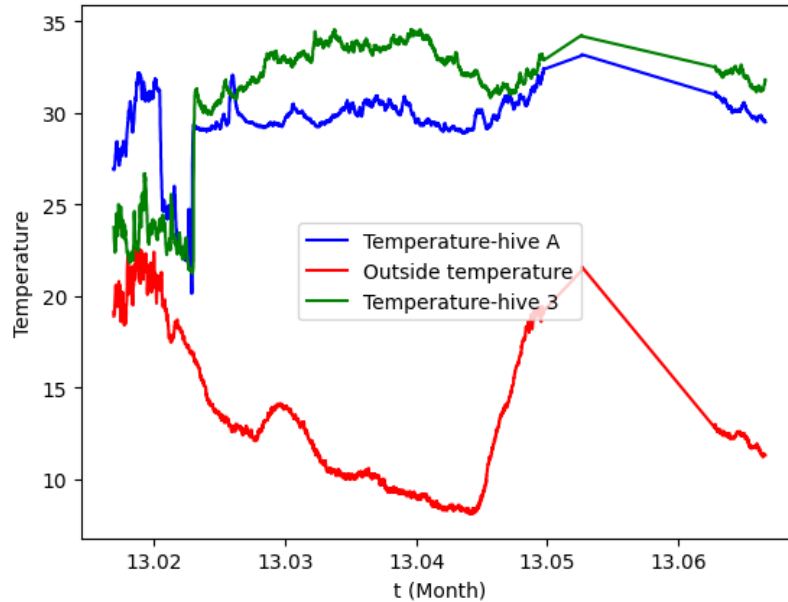
Time: 0:0 - 23:59

number of used rows: 4211

		Variance	Std	Mean	MinValue	MaxValue
Temperature-hive A	3.04	1.74	29.53	20.13	33.19	
External humidity	96.62	9.83	72.89	50.00	86.10	
Outside temperature	14.82	3.85	13.16	8.10	22.80	
Temperature-hive 3	13.09	3.62	30.98	21.25	34.56	

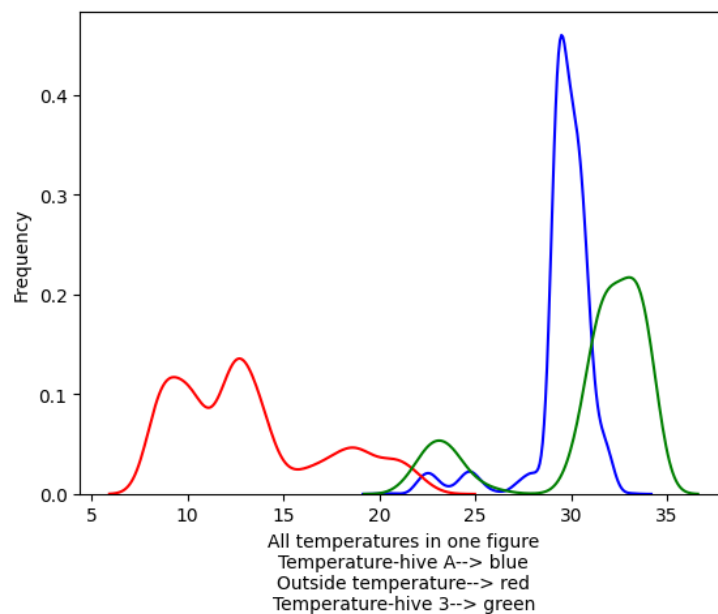
Εικόνα 41: Πίνακας μετρήσεων Δεκεμβρίου 2022 της εφαρμογής ThingSpeak

Η εικόνα 42 παρουσιάζει την μεταβολή της θερμοκρασίας στην κυψέλη Α και Β και στο περιβάλλον κατά τον μήνα Δεκέμβριο 2022.



Εικόνα 42: Γραφική παράσταση μεταβολής θερμοκρασιών μηνός Δεκεμβρίου 2022 με την εφαρμογή ThingSpeak

Η Εικόνα 43 παρουσιάζει τη συχνότητα εμφάνισης (διακύμανση) των θερμοκρασιών κατά το μήνα Δεκέμβριο 2022.



Εικόνα 43: Γραφική παράσταση διακύμανσης θερμοκρασιών μηνός Δεκεμβρίου 2022 με την εφαρμογή ThingSpeak

4.2 Ιανουάριος 2023

Το μήνα Ιανουάριο του 2023, πραγματοποιήθηκαν 112.485 μετρήσεις.

Η μέση θερμοκρασία στην κυψέλη A ήταν 26,82 °C και στην κυψέλη B 28,67 °C.

Η μέση εξωτερική θερμοκρασία ήταν 66,83 °C.

Η μέση εξωτερική υγρασία ήταν 72,89 %.

Η δραστηριότητα στις κυψέλες κατά το μήνα Ιανουάριο 2023 ήταν ελάχιστη και ο γόνος λιγοστός.

Ακολουθεί η συνολική καταγραφή μηνός Ιανουαρίου 2023 μέσω της εφαρμογής ThingSpeak.

Months: 1 - 1

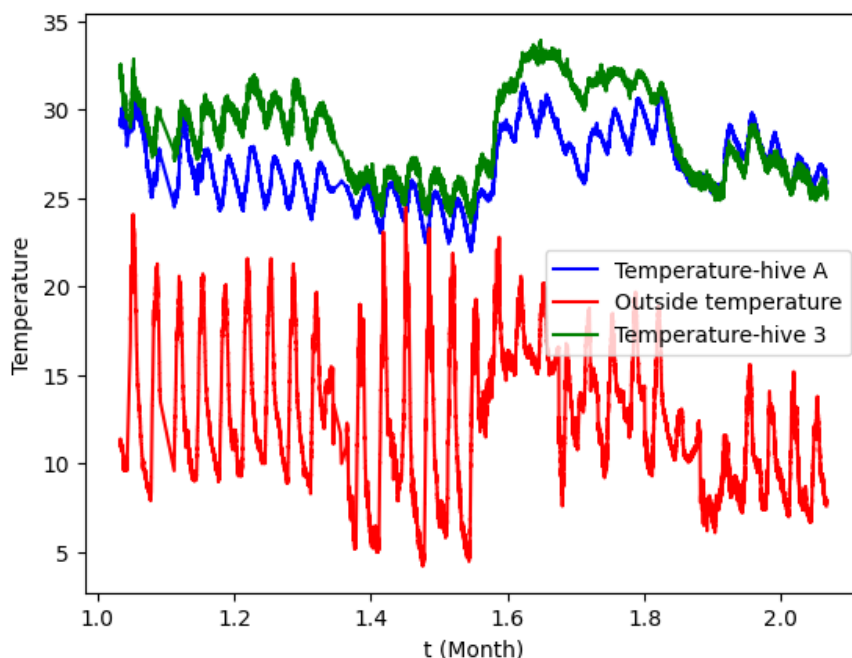
Time: 0:0 - 23:59

number of used rows: 112485

	Variance	Std	Mean	MinValue	MaxValue
Temperature-hive A	3.83	1.96	26.82	31.50	
External humidity	135.82	11.65	66.83	39.00	99.90
Outside temperature	15.53	3.94	12.52	4.20	24.50
Temperature-hive 3	6.43	2.54	28.67	23.63	33.94

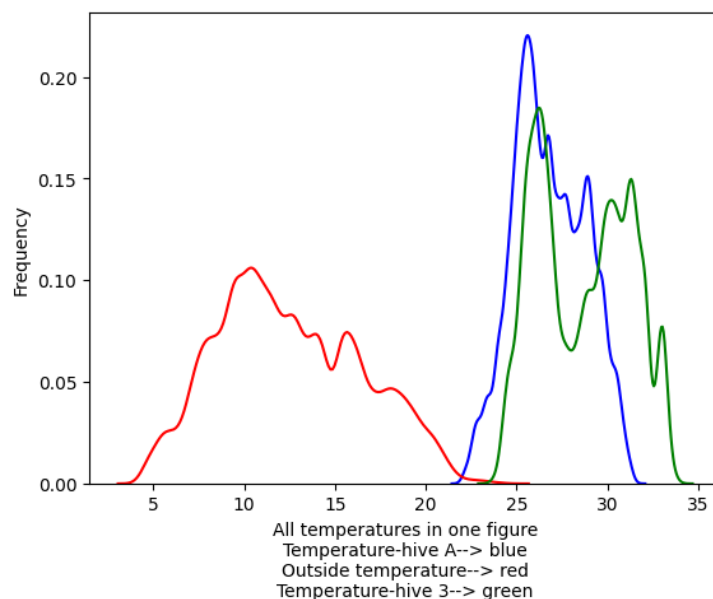
Εικόνα 44: Πίνακας μετρήσεων Ιανουαρίου 2023 της εφαρμογής ThingSpeak

Η εικόνα 45 παρουσιάζει την μεταβολή της θερμοκρασίας στην κυψέλη A και B και στο περιβάλλον κατά τον μήνα Ιανουάριο 2023.



Εικόνα 45: Γραφική παράσταση μεταβολής θερμοκρασιών μηνός Ιανουαρίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak

Η Εικόνα 46 παρουσιάζει τη συχνότητα εμφάνισης (διακύμανση) των θερμοκρασιών κατά το μήνα Ιανουάριο 2023.



Εικόνα 46: Γραφική παράσταση διακύμανσης θερμοκρασιών μηνός Ιανουαρίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak

4.3 Φεβρουάριος 2023

Το μήνα Φεβρουάριο του 2023, πραγματοποιήθηκαν 98.987 μετρήσεις.

Η μέση θερμοκρασία στην κυψέλη A ήταν 29,61 °C και στην κυψέλη B 29,73 °C.

Η μέση εξωτερική θερμοκρασία ήταν 11,0 °C.

Η μέση εξωτερική υγρασία ήταν 59,48 %.

Υπάρχει λίγος γόνος στην κυψέλη προς το τέλος του μήνα. Ο πληθυσμός στην κυψέλη αναπτύσσεται και η θερμοκρασία ανεβαίνει.

Ακολουθεί η συνολική καταγραφή μηνός Φεβρουαρίου 2023 μέσω της εφαρμογής ThingSpeak.

Months: 2 - 2

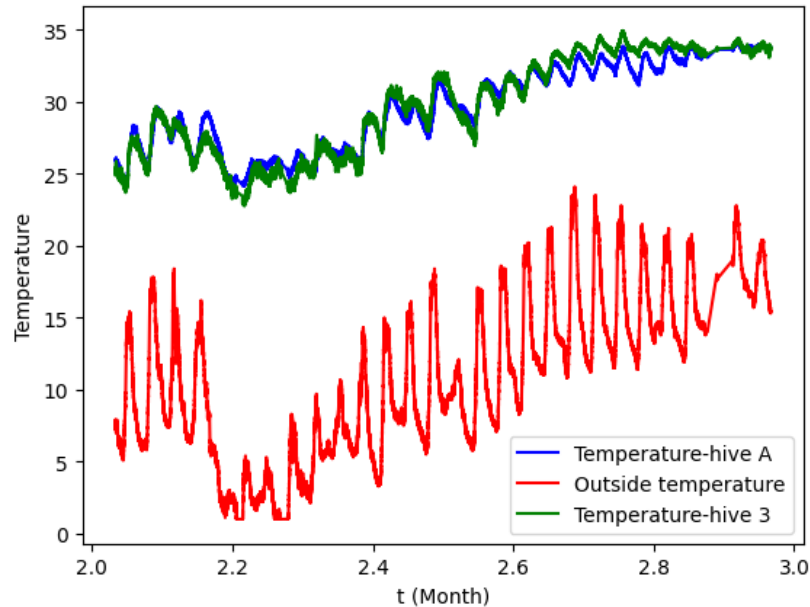
Time: 0:0 - 23:59

number of used rows: 98987

		Variance	Std	Mean	MinValue	MaxValue
Temperature-hive A	8.38	2.89	29.61	24.13	34.13	
External humidity	139.53	11.81	59.48	35.90	93.10	
Outside temperature	29.44	5.43	11.08	1.00	24.10	
Temperature-hive 3	11.61	3.41	29.73	22.75	34.94	

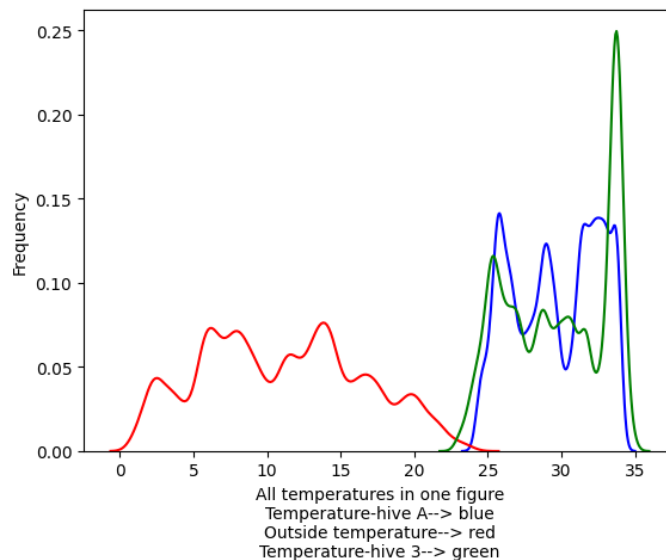
Εικόνα 47: Πίνακας μετρήσεων Φεβρουαρίου 2023 της εφαρμογής ThingSpeak

Η εικόνα 48 παρουσιάζει την μεταβολή της θερμοκρασίας στην κυψέλη Α και Β και στο περιβάλλον κατά τον μήνα Φεβρουάριο 2023.



Εικόνα 48: Γραφική παράσταση μεταβολής θερμοκρασιών μηνός Φεβρουαρίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak

Η Εικόνα 49 παρουσιάζει τη συχνότητα εμφάνισης (διακύμανση) των θερμοκρασιών κατά το μήνα Φεβρουάριο 2023.



Εικόνα 49: Γραφική παράσταση διακύμανσης θερμοκρασιών μηνός Φεβρουαρίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak

4.4 Μάρτιος 2023

Το μήνα Μάρτιο του 2023, πραγματοποιήθηκαν 118.518 μετρήσεις.

Η μέση θερμοκρασία στην κυψέλη Α ήταν 34 °C και στην κυψέλη Β 34,03 °C.

Η μέση εξωτερική θερμοκρασία ήταν 15,56 °C.

Η μέση εξωτερική υγρασία ήταν 56,63 %.

Υπάρχει γόνος στην κυψέλη και η θερμοκρασία πλέον είναι στο φυσιολογικό της εποχής
Ακολουθεί η συνολική καταγραφή μηνός Μαρτίου 2023 μέσω της εφαρμογής ThingSpeak

Months: 3 - 3

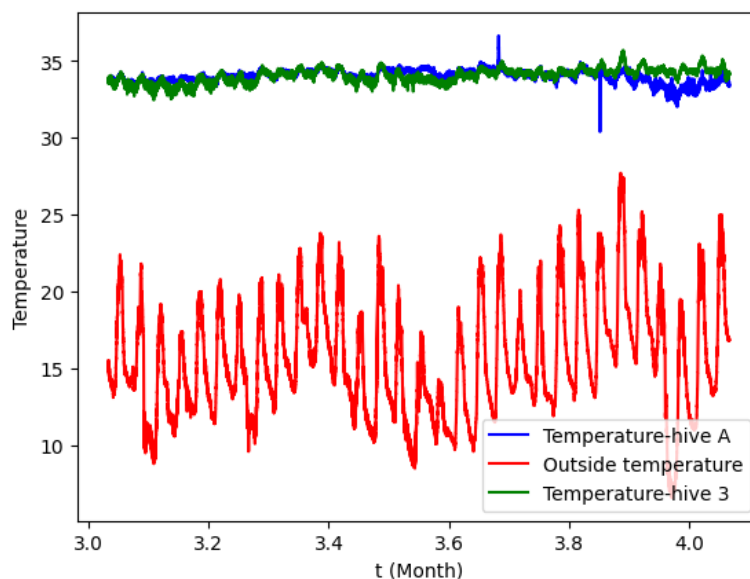
Time: 0:0 - 23:59

number of used rows: 118518

	Variance	Std	Mean	MinValue	MaxValue
Temperature-hive A	0.16	0.41	34.00	30.63	36.63
External humidity	160.70	12.68	56.63	35.00	88.80
Outside temperature	14.12	3.76	15.56	6.60	27.70
Temperature-hive 3	0.20	0.45	34.03	32.44	35.69

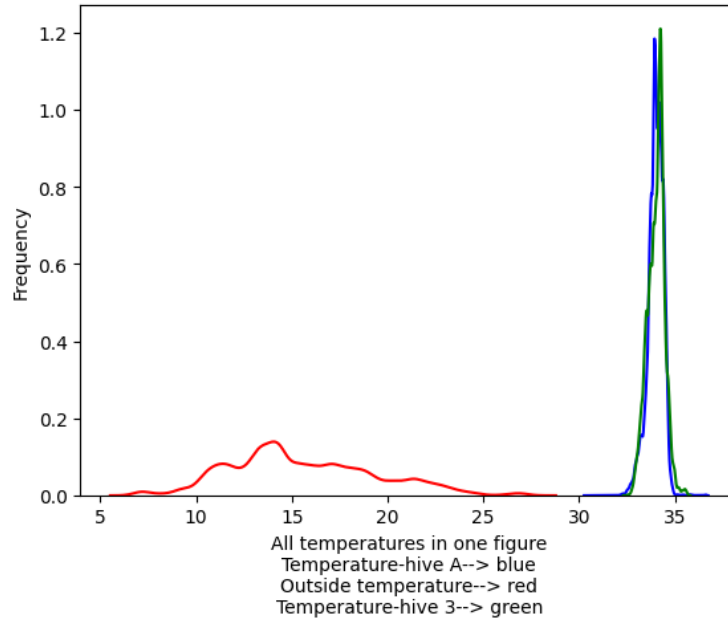
Εικόνα 50: Πίνακας μετρήσεων Μαρτίου 2023 της εφαρμογής ThingSpeak

Η εικόνα 51 παρουσιάζει την μεταβολή της θερμοκρασίας στην κυψέλη Α και Β και στο περιβάλλον κατά τον μήνα Μάρτιο 2023.



Εικόνα 51: Γραφική παράσταση μεταβολής θερμοκρασιών μηνός Μαρτίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak

Η Εικόνα 52 παρουσιάζει τη συχνότητα εμφάνισης (διακύμανση) των θερμοκρασιών κατά το μήνα Μάρτιο 2023.



Εικόνα 52: Γραφική παράσταση διακύμανσης θερμοκρασιών μηνός Μαρτίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak

4.5 Απρίλιος 2023

Το μήνα Απρίλιο του 2023, πραγματοποιήθηκαν 118.518 μετρήσεις.

Η μέση θερμοκρασία στην κυψέλη Α ήταν 32,76 °C και στην κυψέλη Β 31,94 °C.

Η μέση εξωτερική θερμοκρασία ήταν 18,04 °C.

Η μέση εξωτερική υγρασία ήταν 54,95 %.

Υπάρχει λίγος γόνος και συγκεκριμένα στα γειτονικά πλαίσια. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισκεφθεί τις κυψέλες ο μελισσοκόμος και ιδιαίτερα την κυψέλη Β.

Ακολουθεί η συνολική καταγραφή μηνός Απριλίου 2023 μέσω της εφαρμογής ThingSpeak.

Months: 4 - 4

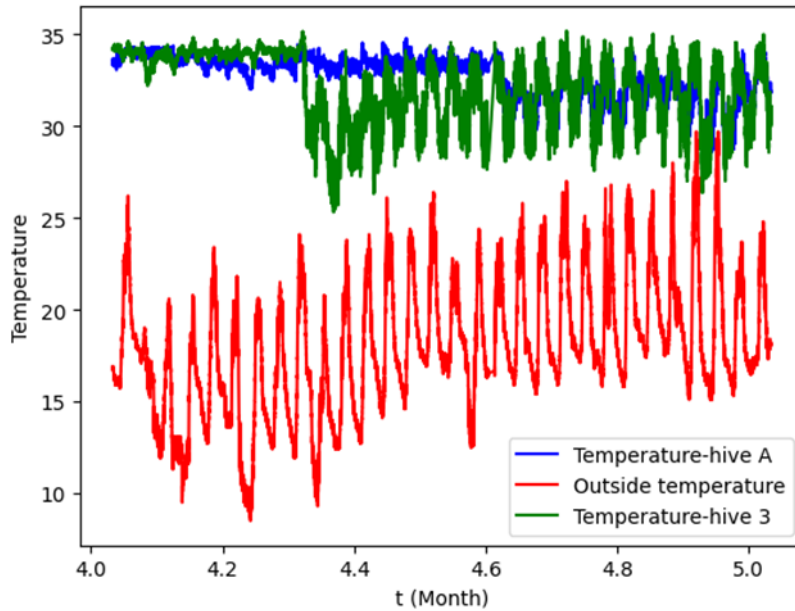
Time: 0:0 - 23:59

number of used rows: 113446

		Variance	Std	Mean	MinValue	MaxValue
Temperature-hive A	1.56	1.25	32.76	28.19	34.75	
External humidity	153.21	12.38	54.95	32.40	89.20	
Outside temperature	13.31	3.65	18.04	8.50	29.70	
Temperature-hive 3	4.33	2.08	31.94	25.31	35.19	

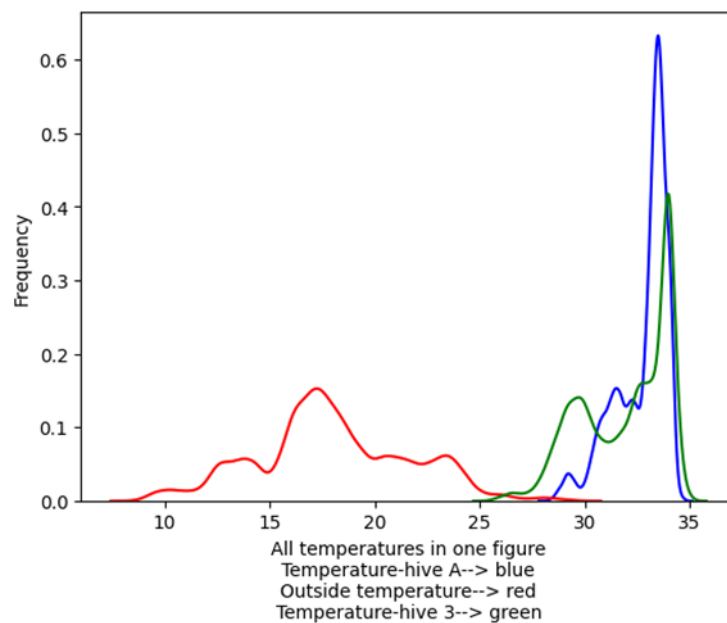
Εικόνα 53: Πίνακας μετρήσεων Απριλίου 2023 της εφαρμογής ThingSpeak

Η εικόνα 54 παρουσιάζει την μεταβολή της θερμοκρασίας στην κυψέλη Α και Β και στο περιβάλλον κατά τον μήνα Απρίλιο 2023.



Εικόνα 54: Γραφική παράσταση μεταβολής θερμοκρασιών μηνός Απριλίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak

Η Εικόνα 55 παρουσιάζει τη συχνότητα εμφάνισης (διακύμανση) των θερμοκρασιών κατά το μήνα Μάρτιο 2023.



Εικόνα 55: Γραφική παράσταση διακύμανσης θερμοκρασιών μηνός Απριλίου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak

4.6 Μάιος 2023

Το μήνα Μάιο του 2023, πραγματοποιήθηκαν 42.853 μετρήσεις.

Η μέση θερμοκρασία στην κυψέλη Α ήταν 34,2 °C και στην κυψέλη Β 31,49 °C.

Η μέση εξωτερική θερμοκρασία ήταν 20,77 °C.

Η μέση εξωτερική υγρασία ήταν 52,80 %.

Υπάρχει γόνος στην κυψέλη Α ενώ στην κυψέλη Β υπάρχει γόνος στα γειτονικά πλαίσια. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισκεφθεί τις κυψέλες ο μελισσοκόμος και ιδιαίτερα την κυψέλη Β.

Ακολουθεί η συνολική καταγραφή μηνός Μαΐου 2023 μέσω της εφαρμογής ThingSpeak.

Months: 5 - 5

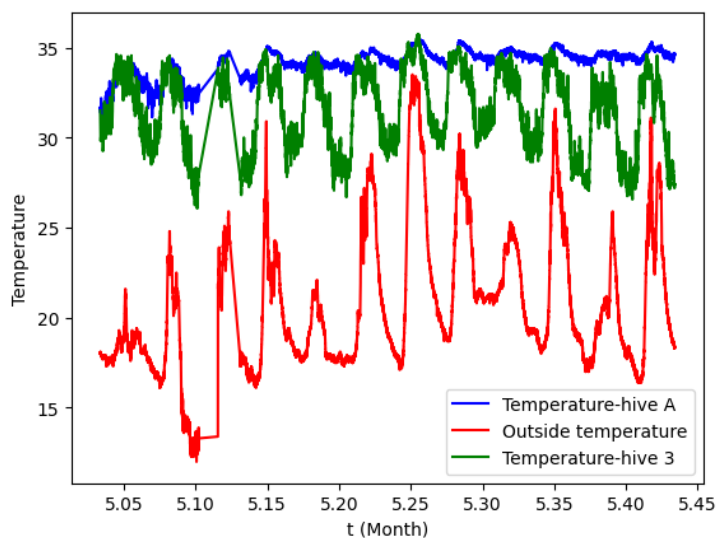
Time: 0:0 - 23:59

number of used rows: 42853

	Variance	Std	Mean	MinValue	MaxValue
Temperature-hive A	0.52	0.72	34.20	30.81	35.44
External humidity	127.77	11.30	52.80	31.50	89.50
Outside temperature	15.29	3.91	20.77	12.00	33.50
Temperature-hive 3	4.93	2.22	31.49	26.06	35.75

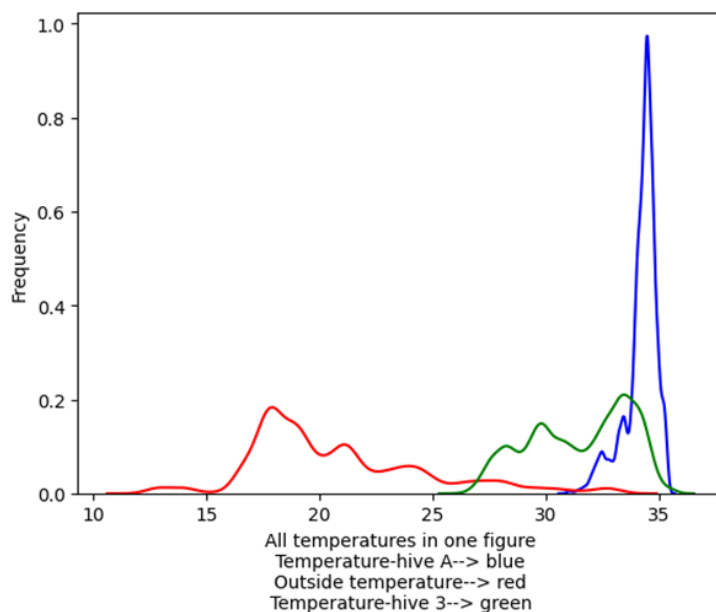
Εικόνα 56: Πίνακας μετρήσεων Μαΐου 2023 της εφαρμογής ThingSpeak

Η εικόνα 57 παρουσιάζει την μεταβολή της θερμοκρασίας στην κυψέλη Α και Β και στο περιβάλλον κατά τον μήνα Μάιο 2023.



Εικόνα 57: Γραφική παράσταση μεταβολής θερμοκρασιών μηνός Μαΐου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak

Η Εικόνα 58 παρουσιάζει τη συχνότητα εμφάνισης (διακύμανση) των θερμοκρασιών κατά το μήνα Μάιο 2023.



Εικόνα 58: Γραφική παράσταση διακύμανσης θερμοκρασιών μηνός Μαΐου 2023 με την εφαρμογή ThingSpeak

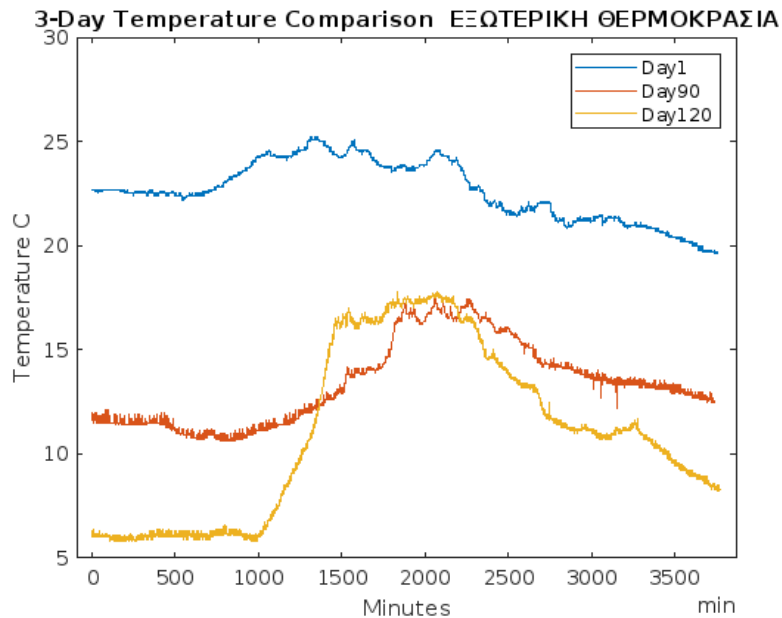
Στα γραφήματα που ακολουθούν παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία σε κάθε κυψέλη παραμένει σχετικά σταθερή ανάλογα με την εποχή, εφόσον βέβαια πληρούνται κάποιες συνθήκες στο εσωτερικό της κυψέλης. Μερικά από αυτά είναι η τοποθεσία της κυψέλης, η τροφή που έχει ο πληθυσμός, πόσο καλά έχει προετοιμάσει την κυψέλη ο μελισσοκόμος κ.α. Η εξωτερική υγρασία μειώνεται όσο αυξάνει η εξωτερική θερμοκρασία. Ένας μελισσοκόμος με μια εφαρμογή IoT, όπως αυτή που αναπτύξαμε, μπορεί να προλάβει κάποιες δυσάρεστες καταστάσεις και να βελτιώσει έτσι την απόδοση τις κυψέλης. Η εφαρμογή δίνει την ευκαιρία παρατήρησης και λήψης αποφάσεων για την κατάσταση του μελισσιού από απόσταση.

Ο Πίνακας 9 που ακολουθεί παρουσιάζει την αντιστοίχιση της εσωτερικής θερμοκρασίας των κυψελών Α και Β και των αποφάσεων που πρέπει να πάρει κατά αναλογία ο μελισσοκόμος.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΥΨΕΛΗΣ Α (°C)	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΥΨΕΛΗΣ Β (°C)	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΥΓΡΑΣΙΑ %
02/2023	11	29,61 °C	Φυσιολογική	29,73 °C	Φυσιολογική	59,48
03/2023	15,56 °C	34 °C	Φυσιολογική	34,03 °C	Φυσιολογική	56,63
05/2023	20,77 °C	34,2 °C	Φυσιολογική	31,49 °C	Πρέπει να γίνει επίσκεψη	52,80

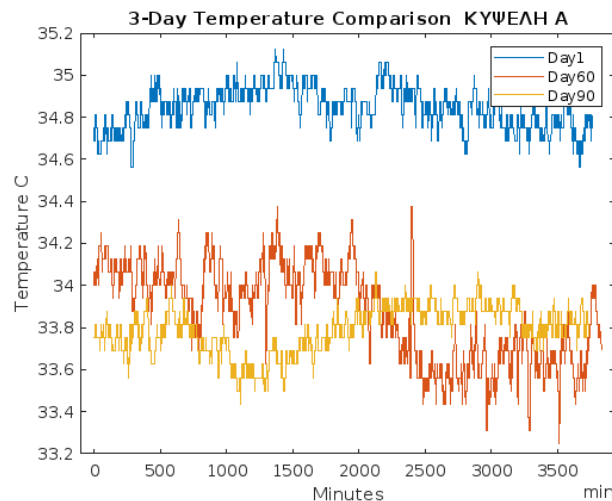
Πίνακας 9: Αντιστοίχιση Θερμοκρασίας και Αποφάσεων

Στο γράφημα που ακολουθεί παρατηρούμε την μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος σε βάθος τεσσάρων και τριών μηνών και σήμερα. Συγκεκριμένα, πριν 120 ημέρες (Φεβρουάριος 2023) ήταν χαμηλή, δηλ. από 5 °C έως 18 °C, πριν 90 ημέρες (Μάρτιος 2023) ήταν λίγο υψηλότερη, δηλ. από 10 °C έως 17 °C και τέλος στις 4/6/2023 ήταν αισθητά υψηλότερη, δηλ. από 19 °C έως 25 °C.



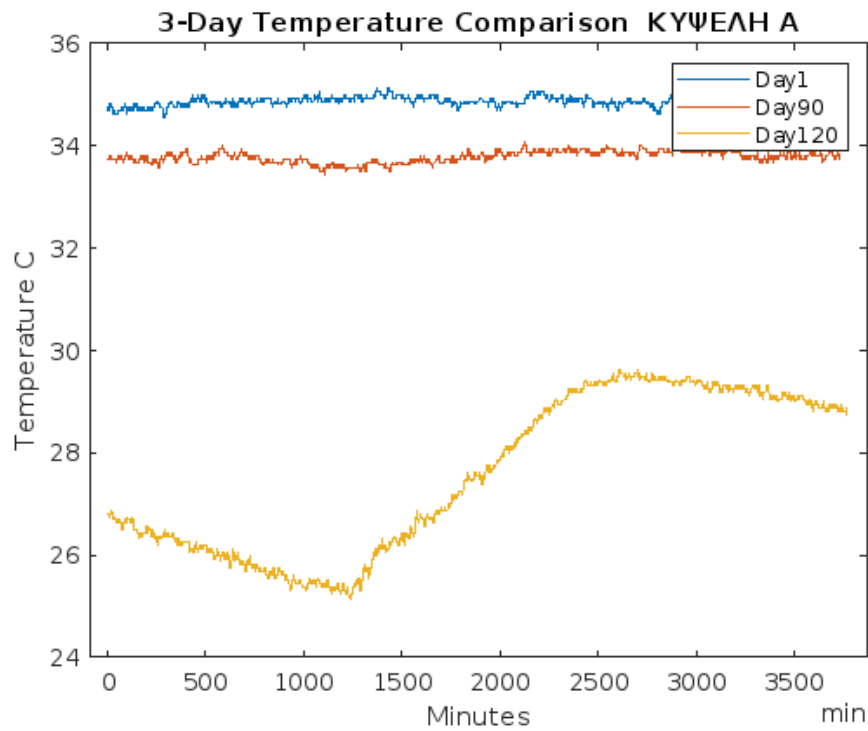
Εικόνα 59: Μεταβολή θερμοκρασίας περιβάλλοντος τριών και τεσσάρων μηνών και σήμερα

Στο γράφημα που ακολουθεί παρατηρούμε την ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας της Κυψέλης Α σε βάθος τριών και δύο μηνών και σήμερα. Συγκεκριμένα, η μεταβολή της θερμοκρασίας ήταν ίδια, δηλαδή 1-2 °C τόσο σήμερα 04/06/2023, όσο και πριν 60 ημέρες (Απρίλιος 2023) ή 90 ημέρες (Μάρτιος 2023) και κυμάνθηκε σε περίπου 35 °C, γεγονός που μεταφράζεται σε ύπαρξη γόνου εντός της κυψέλης.



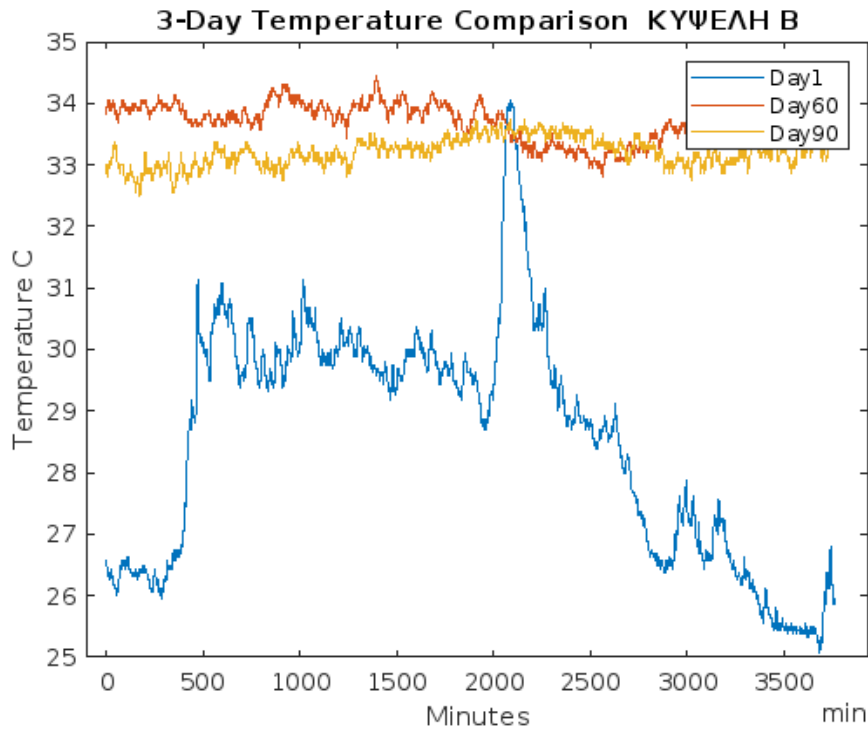
Εικόνα 60: Ημερήσια μεταβολής θερμοκρασίας Κυψέλης Α τριών και δύο μηνών και σήμερα

Αντίθετα στην αντίστοιχη καταγραφή στις 120 ημέρες πριν (Φεβρουάριος 2023), όπου η θερμοκρασία ήταν χαμηλότερη των 35 οC, από 25 – 29 οC, η εικόνα φανερώνει έλλειψη γόνου, γεγονός απόλυτα φυσιολογικό, δεδομένης της εποχής. Η εξωτερική θερμοκρασία σύμφωνα με το προηγούμενο γράφημα κυμάνθηκε από 5 οC έως 18 οC.



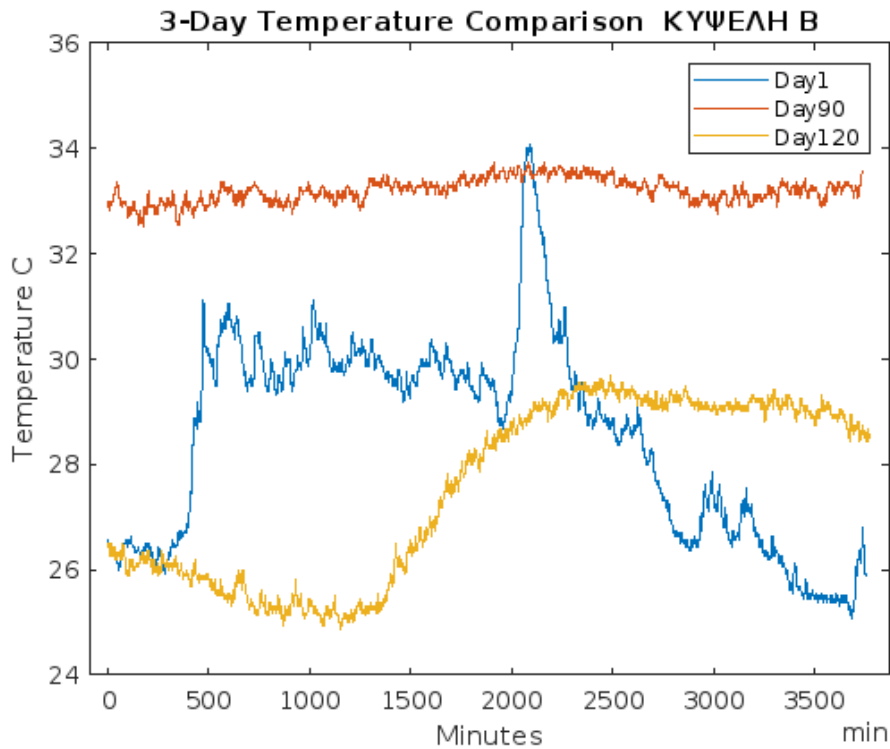
Εικόνα 61: Ημερήσια μεταβολής θερμοκρασίας Κυψέλης Α τεσσάρων και τριών μηνών και σήμερα

Στο γράφημα που ακολουθεί παρατηρούμε την ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας της Κυψέλης B σε βάθος τριών και δύο μηνών και σήμερα. Συγκεκριμένα, πριν 60 ημέρες (Απρίλιος 2023) ή 90 ημέρες (Μάρτιος 2023), η μεταβολή της θερμοκρασίας ήταν ίδια, δηλαδή 2 °C και κυμάνθηκε σε περίπου 35 °C, γεγονός που μεταφράζεται σε ύπαρξη γόνου εντός της κυψέλης. Σήμερα η έντονη διακύμανση της θερμοκρασίας δηλώνει έλλειψη γόνου, που ενδεχομένως να σημαίνει αλλαγή θέσης της βασίλισσας στην κυψέλη και απαιτείται επίσκεψη από τον μελισσοκόμο.



Εικόνα 62: Ημερήσια μεταβολής θερμοκρασίας Κυψέλης B τριών και δύο μηνών και σήμερα

Επιπλέον στην αντίστοιχη καταγραφή στις 120 ημέρες πριν (Φεβρουάριος 2023), όπου η θερμοκρασία ήταν χαμηλότερη των 35 °C, από 25 – 29 °C, η εικόνα φανερώνει έλλειψη γόνου, γεγονός απόλυτα φυσιολογικό, δεδομένης της εποχής. Η εξωτερική θερμοκρασία σύμφωνα με το προηγούμενο γράφημα κυμάνθηκε από 5 °C έως 18 °C.

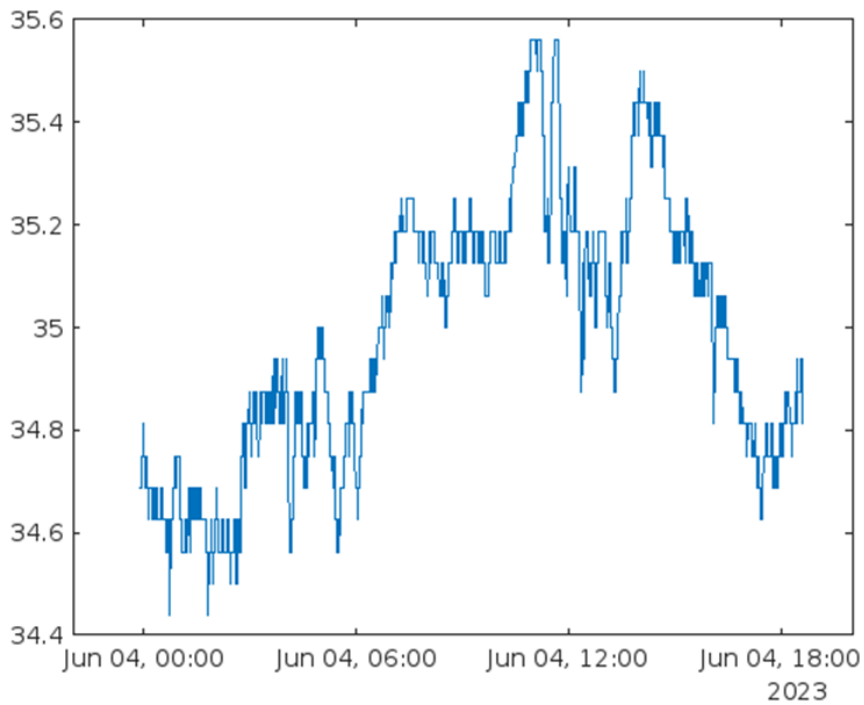


Εικόνα 63: Ημερήσια μεταβολής θερμοκρασίας Κυψέλης Β τεσσάρων και τριών μηνών και σήμερα

4.7 Παραδείγματα ημερήσιας καταγραφής/ απεικόνισης

Κυψέλη Α:

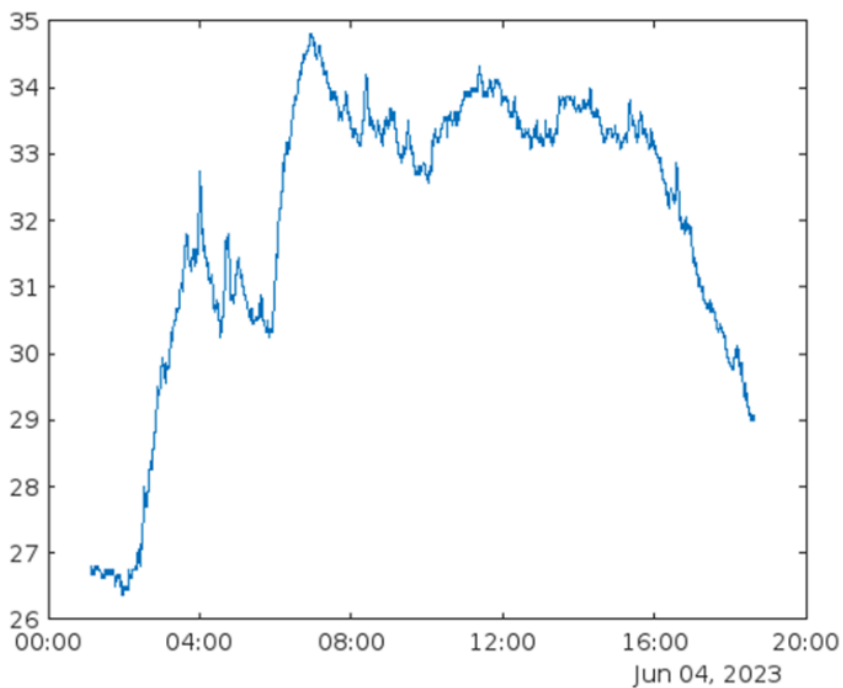
Η ημερήσια μεταβολή θερμοκρασίας στην κυψέλη Α στις 04/06/2023 ήταν 1 °C. Όλα είναι φυσιολογικά.



Εικόνα 64: Κυψέλη Α - Ημερήσια μεταβολή θερμοκρασίας 4/6/2023

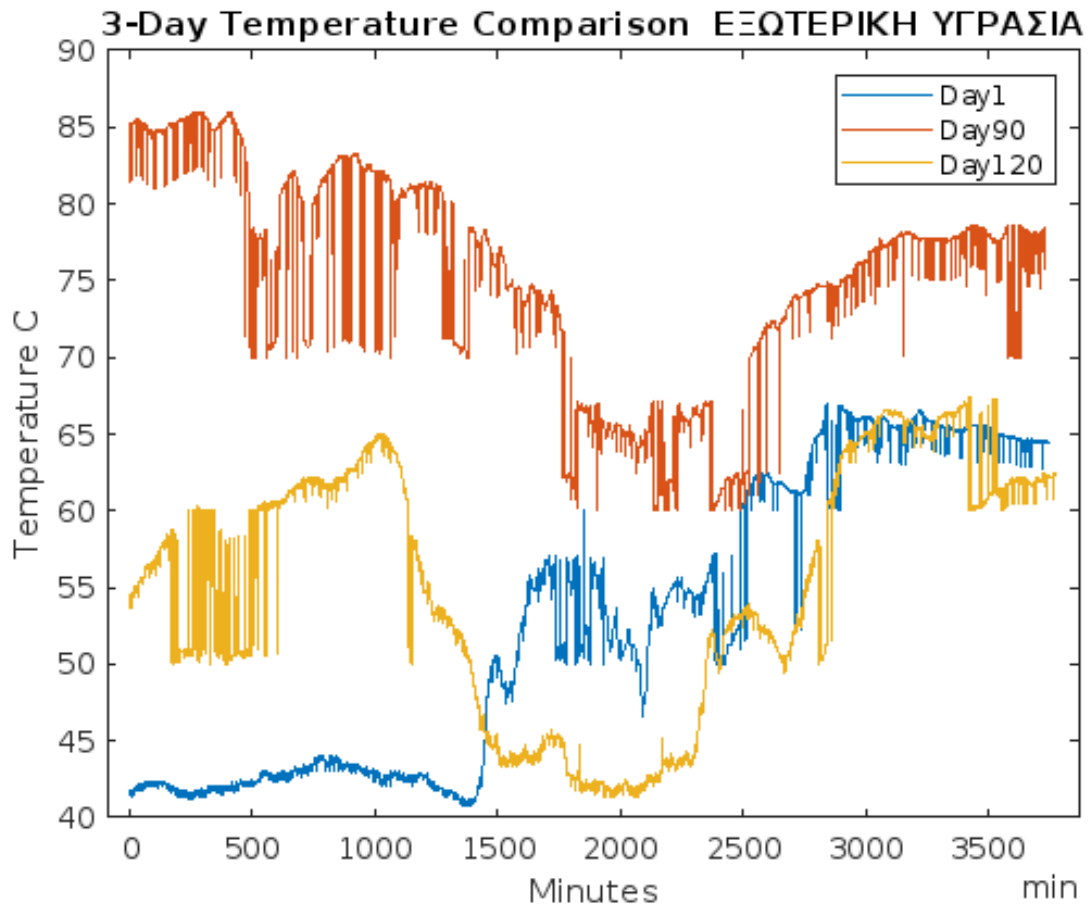
Κυψέλη Β:

Η ημερήσια μεταβολή θερμοκρασίας στην κυψέλη Β στις 04/06/2023 ήταν 9 °C. Η κυψέλη χρήζει επίσκεψης από τον μελισσοκόμο.



Εικόνα 65: Κυψέλη Β - Ημερήσια μεταβολή θερμοκρασίας 4/6/2023

Στο γράφημα που ακολουθεί παρατηρούμε την ημερήσια μεταβολή της υγρασίας σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία. Παρατηρούμε ότι η υγρασία μειώνεται όσο η θερμοκρασία αυξάνει.



Εικόνα 66: Μεταβολή υγρασίας σε σχέση με την θερμοκρασία για τέσσερις και τρεις μήνες και σήμερα

Συμπερασματικά λοιπόν ο μελισσοκόμος, με την μέτρηση και την επεξεργασία, μπορεί να έχει μια πολύ καλή εικόνα για την κατάσταση της κάθε κυψέλης και εάν τοποθετηθούν επιπλέον αισθητήρες σε κάθε κυψέλη το αποτέλεσμα θα είναι αρτιότερο. Πιο συγκεκριμένα, η κάθε κυψέλη θα μπορούσε να έχει τρεις αισθητήρες θερμοκρασίας, έναν υγρασίας και μια ζυγαριά. Το αποτέλεσμα θα ήταν εντυπωσιακό.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται μια προσπάθεια να συναχθούν γενικά συμπεράσματα για τη συμπεριφορά της κυψέλης.

5 Συμπεράσματα

5.1 Συμπεράσματα

Η υλοποίηση - σχεδιασμός, εκτέλεση και εγκατάσταση - της εφαρμογής έξυπνης μελισσοκομίας IoT που αναπτύξαμε, μας βοήθησε να διαπιστώσαμε ότι η θερμοκρασία σε μια κυψέλη διατηρείται σχετικά σταθερή ανάλογα με την εποχή και τη φυσική της κατάσταση, καθώς όπως αναλύθηκε στα παραπάνω κεφάλαια η κυψέλη αποτελεί ένα σύστημα ζωντανού οργανισμού.

Κατόπιν προσεκτικής μελέτης τόσο της σχετικής βιβλιογραφίας όσο και του ηλεκτρονικού εξοπλισμού IoT που είναι διαθέσιμος αυτή τη στιγμή στην αγορά, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μια εφαρμογή που αποτελείται από:

- Μία μονάδα μικροελεγκτή Node MCUV3 (ESP8266)
- Έναν εσωτερικό αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας ds18d20
- Έναν εξωτερικό αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11
- Ένα τροφοδοτικό με μπαταρία με τον φορτιστή της

Πιο συγκεκριμένα, αφού συλλέξαμε και αναλύσαμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων από την εφαρμογή, καταλήξαμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- όταν υπάρχει γόνος, η θερμοκρασία εντός της κυψέλης κυμαίνεται μεταξύ 33 και 34 βαθμών Κελσίου (°C), όλο το 24ώρο, ακόμα και με την εξωτερική θερμοκρασία να κυμαίνεται από 5 έως 18 βαθμούς Κελσίου (°C).
- όταν δεν υπάρχει γόνος αλλά μόνο πληθυσμός που εργάζεται για την επεξεργασία του μελιού ή της γύρης, η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 30 και 31 βαθμών Κελσίου (°C).
- κατά την περίοδο του χειμώνα που η εξωτερική θερμοκρασία είναι λίγο κάτω από το μηδέν, δεν υπάρχει πληθυσμός και γόνος και οι μέλισσες προσπαθούν να παραμείνουν ζεστές για να επιβιώσουν και να περάσουν τον χειμώνα, η θερμοκρασία μέσα στην κυψέλη πέφτει λίγο πάνω από τους 20 βαθμούς Κελσίου (°C). Εάν δε η ποσότητα τροφής (μελιού, γύρης, κτλ) δεν επαρκεί, τότε το μελίσι αδυνατεί να επιβιώσει και καταλήγει. Χαρακτηριστικά, παρατηρήσαμε ότι κατά την διάρκεια του χειμώνα αμέσως μετά την τροφοδοσία (τάισμα), η θερμοκρασία της κυψέλης στο χώρο που είναι οι μέλισσες ανέβηκε άμεσα κατά τουλάχιστον 2 βαθμούς Κελσίου (°C).

Είναι αξιοσημείωτο ότι με την εφαρμογή έξυπνης μελισσοκομίας IoT που αναπτύξαμε και με την παρακολούθηση μίας και μόνον μεταβλητής (θερμοκρασίας), μπορέσαμε να βγάλουμε πολλά συμπεράσματα τόσο για τη συμπεριφορά όσο και για την κατάσταση μιας κυψέλης/μελισσοστάσιου. Εξήχθησαν συμπεράσματα για την ύπαρξη τροφής, πληθυσμού και γόνου που έχουν άμεση σχέση με την κατάσταση της κυψέλης, χωρίς να χρειαστεί να γίνει παρέμβαση (άνοιγμα) στην κυψέλη.

Ειδικά το χειμώνα, που με τις χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούν ο μελισσοκόμος έχει πολύ λίγες ευκαιρίες να ανοίξει την κυψέλη, αφού πρέπει να επικρατούν πολύ ειδικές συνθήκες για να το πράξει (ηλιοφάνεια, σχετικά όχι πολύ χαμηλή θερμοκρασία, άπνοια, χαμηλή υγρασία, συγκεκριμένες ώρες της ημέρας), γίνεται αντιληπτό ότι η εφαρμογή έξυπνης μελισσοκομίας IoT που αναπτύξαμε παρέχει στον μελισσοκόμο τη δυνατότητα:

- της άμεσης εικόνας της κατάστασης μιας κυψέλης 24/7/365 για τον απομακρυσμένο έλεγχο
- της εφαρμογής μη παρεμβατικής στο μικροκλίμα μιας κυψέλης μελισσοκομίας,
- της λήψης αποφάσεων για τις δια ζώσης παρεμβάσεις,
- της εξοικονόμησης πόρων (ανθρώπινους, καύσιμα, κτλ), αν δεν υφίσταται ουσιαστική ανάγκη,
- της αξιολόγησης και της βελτιστοποίησης του τρόπου άσκησης της μελισσοκομίας, όσον αφορά την **επιλογή τοποθεσίας, την τροφοδοσία των κυψελών, την αντιμετώπιση ασθενειών, την δυνατότητα να προβλέπει τη σηνοουργία, την ανθοφορία κ.α.**, κάνοντας χρήση των **στατιστικών στοιχείων** που προκύπτουν από την **εφαρμογή**.
- της τοποθέτησης ενός μεγάλου αριθμού αισθητήρων σε αντίστοιχο αριθμό κυψελών, καθώς ιδανικά για ένα αρτιότερο αποτέλεσμα, η κάθε κυψέλη μπορεί να έχει τέσσερις (4) αισθητήρες θερμοκρασίας (επάνω, και κατά το πλάτος), έναν αισθητήρα υγρασία και έναν αισθητήρα βάρους (ζυγαριά).

5.2 Μελλοντική βελτίωση εφαρμογής

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε και προκειμένου αφενός να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον απομακρυσμένο έλεγχο μεγαλύτερου αριθμού κυψελών και αφετέρου να είναι φιλικότερο και άμεσα προσβάσιμη από τον μελισσοκόμο όπου υπάρχει διαδίκτυο, μπορεί να βελτιωθεί στο μέλλον, ως ακολούθως:

- Τοποθέτηση και παρακολούθηση μεγαλύτερου αριθμού αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας, ώστε να επιτυγχάνεται ο απομακρυσμένος έλεγχος μεγάλου αριθμού κυψελών.
- Αποστολή μηνυμάτων sms ή email ευαισθητοποίησης.
- Τοποθέτηση αισθητήρων βάρους σε κάθε κυψέλη
- Πειραματισμός με άλλες εφαρμογές μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας και σύγκριση των αποτελεσμάτων
- Ανάπτυξη Android Εφαρμογής με χρήση του MIT App Inventor
- Τοποθέτηση των αισθητήρων σε απομακρυσμένη τοποθεσία και διασύνδεση τους με την εφαρμογή στο cloud με ασύρματη σύνδεση με τεχνολογία WiFi.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παραθέτουμε τις πηγές μας (βιβλιογραφία).

6 Βιβλιογραφία Αναφορές

1. IEEE: “Towards a Definition of the Internet of Things (IoT)”, published 27 May 2015
https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf β
2. Διαδίκτυο των πραγμάτων Βικιπαιδεία: (Βικιπαίδεια)
3. «Τι Είναι Το Internet Of Things (IoT) Και Πώς Αλλάζει Ήδη Τη Ζωή Μας» (pcsteps), <https://www.pcsteps.gr/213103-%CF%84%CE%B9-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%BF-internet-of-things-iot-smart-home/>
4. Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *Int. J. Eng. Sci. Comput*, 6(5), pp. 6122–6131.
5. Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *Int. J. Eng. Sci. Comput*, 6(5), pp. 6122–6131.
6. Li, Shancang, Tryfonas, Theo και Li, Honglei. *The Internet of Things: A Security Point of View*. Internet Research. Emerald Group Publishing, 2016, Τόμ. 26.
7. “Ambient Intelligence Viable future or dangerous illusion?” Jan Gerrit Schuurman, Ferial Moelaert El-Hadidy, André Krom, Bart Walhout/ Rathenau Instituut 2009 (p.25-27),
https://www.researchgate.net/publication/272176260_Ambient_Intelligence_viable_future_or_dangerous_illusion/link/54de1090cf23bf20439fa63/download
8. «Έξυπνες πόλεις» – Κεντρική πολιτική επιλογή η ψηφιακή αναβάθμιση των πόλεων, 03/2018, <https://ecopress.gr/exyprnes-polis-kentriki-politiki-e/>
9. «Έξυπνες πόλεις – Η πρόκληση του 21ου αιώνα για την Τοπική Αυτοδιοίκηση», 2017, <https://www.nubigroup.gr/smart-cities-challenge-for-local-governments/>
10. «Το Μέλλον της Ενέργειας είναι η Έξυπνη Ενέργεια», 2017, <https://www.energia.gr/article/121986/to-mellon-ths-energeias-einai-h-exyprnh-energeia>
11. «Καθολική εξοικονόμηση ενέργειας σε μία «έξυπνη» πόλη», 2014, <https://www.4green.gr/news/data/diafora/101857.asp>
12. Smart Grids, 2022, <https://www.e-mc2.gr/el/vivliothiki/eidikes-tehnologies-kai-efarmoges-special-technologies-and-innovative-applications-3>
13. «Σύγχρονη Μελισσοκομία», HENRY CLEMENT, Editions Rustica, Paris 2002, Ελληνική έκδοση 2007 ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΨΥΧΑΛΟΥ
14. «Επίτομη Μελισσοκομία», Γεωργίου Β.Σελλιανάκη, 2008, NEMESIS A.E.
15. Application of continuous monitoring of honeybee colonies, W. G. MEIKLE, N. HOLST, *Apidologie* (2015) 46:10–22
16. Φαινολογία, <https://polarpedia.eu/el/phenology-%CF%86%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1/>

17. APPLICATION OF TEMPERATURE MEASUREMENTS FOR BEE COLONY MONITORING: A REVIEW, 24.05.2013, Aleksejs Zacepins, Toms Karasha, Latvia University of Agriculture, ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT
18. «Υγρασία στη κυψέλη: Μουχλιασμένα πλαίσια, ασθένειες: 5 πρακτικοί τρόποι αντιμετώπισης», <https://www.orinimelissa.com/2020/10/5.html>
19. Zacepins A. et al. Application of information technologies in precision apiculture. “The 13 International Conference on Precision Agriculture”. Indianapolis, USA. Paper 1023
20. “IoT-Driven Workflows for Risk Management and Control of Beehives”, Charbel Kady, Anna Maria Chedid, Ingrid Kortbawi, Charles Yaacoub, Adib Akl, Nicolas Daclin, François Trouset, François Pfister, Grégory Zacharewicz, Article, Ιούνιος 2021
21. “IoT Monitoring and Prediction Modeling of Honeybee Activity with Alarm”, Nebojša Andrijević, Vlada Urošević, Branko Arsić, Dejana Herceg και Branko Savić, Μάρτιος 2022
22. “Bee Sound Detector: An Easy-to-Install, Low-Power, Low-Cost Beehive Conditions Monitoring System”, Dimitrios I. Kiromitis, Christos V. Bellos, Konstantinos A. Stefanou, Georgios S. Stergios, Thomas Katsantas and Sotirios Kontogiannis, Σεπτέμβριος 2022
23. “Digital Transformation of Beekeeping through the Use of a Decision Making Architecture”, Jean-Charles Huet, Lamine Bougueroua, Yassine Kriouile, Katarzyna Wegrzyn-Wolska and Corinne Ancourt, Article, Νοέμβριος 2022
24. “Bee colony remote monitoring based on IoT using ESP-NOW protocol”, Armands Kvišis, Vitalijs Komasilovs, Niks Ozols and Aleksejs Zacepins, Article, Απρίλιος 2023
25. ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΕΣ ΤΕΙ ΛΑΜΙΑΣ, <http://www.eln.teilam.gr/sites/default/files/Lesson03.pdf>
26. Μικροελεγκτής ESP8266, <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP8266>
27. Μικροελεγκτής ESP32, <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP32>
28. “40 nm lithography process”, https://en.wikichip.org/wiki/40_nm_lithography_process
29. Kit Nodemcu-v3, <https://www.theengineeringprojects.com/2018/10/introduction-to-nodemcu-v3.html>
30. ESP8266 for IoT: A Complete Guide, <https://www.nabto.com/esp8266-for-iot-complete-guide/>
31. 0a-esp8266ex_datasheet_en, https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
32. Διαιρέτης τάσης,
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%AD%CF%84%CE%B7%CF%82_%CF%84%CE%AC%CF%83%CE%B7%CF%82
33. Νόμος του Ωμ,
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CF%8C%CE%BC%CE%BF%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%A9%CE%BC

34. “ESP8266 DS18B20 Temperature Sensor with Arduino IDE (Single, Multiple, Web Server)”, <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-ds18b20-temperature-sensor-web-server-with-arduino-ide/>
35. “How many DS18B20 temperature sensors can I connect to one bus arduino?”, <https://electronics.stackexchange.com/questions/242816/how-many-ds18b20-temperature-sensors-can-i-connect-to-one-bus-arduino>
36. “Arduino 1 Wire Address Finder”, https://www.hacktronics.com/code/one_wire_address_finder.zip
37. “Download and install Arduino IDE”, <https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/360019833020-Download-and-install-Arduino-IDE>
38. DS18B20 Temperature Sensor and NodeMCU to Thingspeak - Libraries, <https://medium.com/@chardorn/ds18b20-temperature-sensor-and-nodemcu-to-thingspeak-c3e7ecb1add1>
39. “DHT11 Humidity & Temperature Sensor”, <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>
40. “Digital relative humidity & temperature sensor AM2302/DHT22”, <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Digital+humidity+and+temperature+sensor+AM2302.pdf>
41. “Waveshare Solar Power Manager (C) - 3x 18650”, <https://grobotronics.com/waveshare-solar-power-manager-c-3x-18650.html?sl=en>