

**4^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΜΕΛΙΣΣΟΚΟΜΙΑΣ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 26-28 ΜΑΡΤΙΟΥ 2022

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ

ΣΥΝΕΔΡΙΑΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΓΕΡΜΑΝΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

19. Αυτοματοποιημένο Σύστημα Καταγραφής, Ανάλυσης και Εκτίμησης Κινδύνων σε Κυψέλες

Ζιώγας Μιχάλης¹, Κανέλης Δημήτριος², Σιώζιος Κωνσταντίνος¹, Λιόλιος Βασίλειος²,
Ροδοπούλου Μαρία Άννα², Σίσκος Στυλιανός¹, Λαόπουλος Θεόδωρος¹, Τανανάκη
Χρυσούλα²

¹Τομέας Ηλεκτρονικής και Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Τμήμα Φυσικής Α.Π.Θ., Σχολή
Θετικών Επιστημών, ΤΚ. 54124

²Εργαστήριο Μελισσοκομίας-Σηροτροφίας Α.Π.Θ., Αγρόκτημα Πανεπιστημίου, ΤΚ. 57001

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μέλισσα έχει τη σημαντικότερη συνεισφορά στην επικονίαση των άνθεων μεταξύ των εντόμων, παίζοντας σημαντικό ρόλο στην ευημερία των οικοσυστημάτων σε όλο τον κόσμο. Αρκετοί παράγοντες μπορούν να τις επηρεάσουν και να συνδράμουν στην απώλεια μελισσών και την ολική εξαφάνιση του μελισσιού. Κρίνεται έτσι επιτακτική η ανάγκη για εντατική παρακολούθηση της δραστηριότητας ολόκληρου του μελισσιού με σκοπό την κατανόηση των προβλημάτων και τις αιτίες θνησιμότητας των μελισσών. Η παρακολούθηση του ήχου των κυψελών και η δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου συστήματος, που θα μπορεί να τους αναγνωρίσει και να τους διακρίνει από άλλους ήχους που μπορεί να αλλοιώνουν το επιθυμητό σήμα, θα μπορούσε να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες στον μελισσοκόμο για τον απομακρυσμένο έλεγχο των κυψελών του. Ο κύριος στόχος του συστήματος παρακολούθησης των μελισσών είναι η αναγνώριση της κατάστασης της κυψέλης, μέσω της ανάλυσης του ακουστικού στίγματος. Τα φαινόμενα που εξετάστηκαν στην παρούσα έρευνα ήταν η παρουσία και η απουσία της βασίλισσας (ορφάνια) και η αρρενοτοκία ενώ ταυτόχρονα καταγράφονταν και οι συνθήκες περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, όταν τα μελίσσια έχουν βασίλισσα η συχνότητα των ήχων τους είναι γύρω από τα 250Hz ενώ οι αρμονικές των ήχων εμφανίζουν μικρό πλάτος. Αντίθετα, στην περίπτωση όπου το μελίσι δεν έχει βασίλισσα υπάρχει μεγάλο πλάτος έντασης στις χαμηλές συχνότητες και το μελίσι γίνεται πιο θορυβώδες, με την συχνότητα να πέφτει στα 240Hz. Το μελίσι, μετά την επιστροφή της βασίλισσας, φαίνεται να επανέρχεται στους φυσιολογικούς του ήχους 5 μέρες μετά την εισαγωγή της βασίλισσας.

ABSTRACT

Honeybee has the most important contribution to the pollination of flowers among the other insects, playing an important role in the prosperity of ecosystems around the world. Several factors can affect them and contribute to the loss of bees and the total extinction of the colonies. Thus, the need for intensive monitoring of the activity of the whole colony is considered urgent, in order to understand the problems and the causes of bee mortality. Monitoring the sounds of the colony and creating an automated system, which will be able to recognize them and distinguish them from other sounds that can distort the desired signal, could provide useful information to the beekeeper for the remote control of his hives. The main purpose of a bee monitoring system is to identify the condition of the hive, through the analysis of the acoustic position. The phenomena examined in the present study were the presence and absence of the queen (queenless colonies) and the workerlaid male eggs, while at the same time the environmental conditions were recorded. According to the results, when bees are in a queen-right colony, the frequency of their sounds is around 250Hz while the harmonic sounds have small amplitude. On the other hand, in the case where the bee does not have a queen there is large amplitude of intensity at low

frequencies and the bee becomes noisier, with the frequency dropping to 240Hz. The bee, after the return of the queen, seems to return to its normal sounds 5 days after the introduction of the queen.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Καταγραφή ήχων μελισσιού, Φαινόμενα μελισσιού και ήχοι, απομακρυσμένος έλεγχος μελισσιού.

Εισαγωγή

Η μέλισσα έχει τη σημαντικότερη συνεισφορά στην επικονίαση των άνθων μεταξύ των εντόμων, παίζοντας σημαντικό ρόλο στην ευημερία των οικοσυστημάτων σε όλο τον κόσμο. Εκτιμάται ότι είναι υπεύθυνη για την επικονίαση πάνω από το 90% των παγκόσμιων εμπορικών υπηρεσιών επικονίασης και περίπου το 35% των παγκόσμιων καλλιεργειών και τροφίμων (Qandour et al., 2014). Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση της θνησιμότητας των μελισσών, λόγω πολλών διαφορετικών παραγόντων. Ένα από τα πιο γνωστά και επικίνδυνα σύνδρομα είναι το Σύνδρομο Κατάρρευσης Μελισσιών (Colony Collapse Disorder / CCD), το οποίο χαρακτηρίζεται από ξαφνική εξαφάνιση μελισσών μέσα από την κυψέλη (Terenzi et al., 2020). Πολλοί επιστήμονες συμφωνούν ότι η κατάρρευση των μελισσιών είναι αποτέλεσμα πολλών αρνητικών παραγόντων που δρουν ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό και επηρεάζουν την υγεία των μελισσών (Van Engelsdorp et al., 2009; Cecchi et al., 2019). Επίσης, πολλοί άλλοι παράγοντες μπορούν να συντελέσουν στην απώλεια μελισσών και την ολική εξαφάνιση του μελισσιού. Κρίνεται έτσι επιτακτική η ανάγκη για εντατική παρακολούθηση της δραστηριότητας ολόκληρου του μελισσιού με σκοπό την κατανόηση των προβλημάτων και τις αιτίες θνησιμότητας των μελισσών. Ένας τρόπος είναι η καταγραφή και η ανάλυση των ήχων που χρησιμοποιούν οι μέλισσες για την επικοινωνία τους μέσα στην κυψέλη. Η ανάλυση του ήχου που παράγεται από τις μέλισσες μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο, όπου η ακριβής ερμηνεία αυτών των ήχων μπορεί να προσδιορίσει και να προβλέψει συγκεκριμένες καταστάσεις. Τα σημαντικότερα φαινόμενα που εξετάζονται συνήθως είναι η παρουσία και η απουσία της βασίλισσας (ορφάνια), η εγκατάλειψη της κυψέλης από το σμήνος με την παλαιά βασίλισσα (σημουργία) και η καταγραφή διάφορων ασθενειών.

Έχει παρατηρηθεί ότι οι μέλισσες παράγουν μια ποικιλία διαφορετικών ήχων (Fahrenholz et al 1992; Hrnčir et al., 2005) ως μορφή επικοινωνίας μεταξύ τους. Ο ήχος μιας κυψέλης είναι ένα μείγμα από τους επιμέρους ήχους που παράγονται από κάθε μέλισσα, το οποίο γίνεται αντιληπτό ως ένας συνεχής και χαμηλής συχνότητας βουητό (Nolasco & Benetos, 2018). Η εργάτρια παράγει ήχους στον αέρα γύρω από τη συχνότητα των 255 +/- 35 Hz, σύμφωνα με τη μελέτη του Edward Woods (μηχανικός ήχου του BBC και μελισσοκόμος) στα τέλη του 1950 (Lial et al., 2020). Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, οι περισσότεροι ήχοι που παράγονται σε μια κυψέλη κυμαίνονται από τα 100 –1000 Hz με τις αντίστοιχες αρμονικές τους (Bencsik et al., 2011; Perez et al., 2016; Guerrero et al., 2017; Cecchi et al., 2019), με την πλειοψηφία των ήχων να είναι γύρω από τις συχνότητες 300, 410 και 500 Hz (Dietlein, 1985). Διάφοροι ήχοι που προέρχονται από το εσωτερικό της κυψέλης μπορεί να είναι πηγή πολύτιμων πληροφοριών και οι οποίοι μπορεί να αντιστοιχούν σε μια σειρά από ήχους διαφορετικών ακουστικών συχνοτήτων που χρησιμοποιείται από τις μέλισσες για διάφορους λόγους (Qandour et al., 2014). Ο κάθε ήχος καθορίζεται, όχι μόνο από το εύρος των συχνοτήτων (frequency range) που παράγονται, αλλά και από την ακουστική δομή ως προς το μοτίβο του σήματος (signal pattern). Η ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών του εύρους συχνοτήτων και του μοτίβου του σήματος είναι το κλειδί για την ανάπτυξη ενός συστήματος που μπορεί να αναγνωρίσει πιθανές απειλές για την κυψέλη και το μελίσσι (Qandour et al., 2014).

Σε προηγούμενες μελέτες, κατά την προεπεξεργασία του σήματος στο πρώτο στάδιο εφαρμόζεται ένα φίλτρο band-pass το οποίο η συχνότητα αποκοπής των υψηλών συχνοτήτων είναι τα 2kHz, ενώ στη συχνότητα αποκοπής των χαμηλών συχνοτήτων υπήρχαν επιλογές από 20-100Hz (Cejrowski et al., 1998; Liao et al., 2020). Εκτός από τις διάφορες τεχνικές φιλτραρίσματος, εφαρμόζονται τεχνικές απομάκρυνσης θορύβου με μετατροπείς Wavelet (wavelet decomposition) και με αφαίρεση του φάσματος του θορύβου (Spectral subtraction) (Zgank, 2020).

Στη συνέχεια, προτάθηκε αρκετά συχνά η χρήση των συντελεστών MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) όπου εξάγουν τα χαρακτηριστικά του ήχου της κυψέλης για την αναπαράσταση τους (εμπνευσμένοι από την αναγνώριση ομιλίας). Ωστόσο, έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλες τεχνικές για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών του ήχου (feature extraction), όπως με HHT (Hilbert Huang Transform) και Wavelet ανάλυση (Cecchi et al., 2019), με LPC (Linear Predictive Coding) (Cejrowski et al, 2018), καθώς και με STFT (Short Time Fourier Transform), φασματογράφημα Mel (mel spectrogram), φασματική αντίθεση (spectral contrast features) και χρωμογράμματος (chroma - features) (Polyniak et al., 2019).

Μετά την εξαγωγή των χαρακτηριστικών, για την ταξινόμηση (classification) και την αναγνώριση μοτίβου (pattern recognition) υπάρχει ποικιλία αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκε σε προγενέστερες αναλύσεις ήχων σε κυψέλες μελισσών, όπου μερικές από αυτές είναι: SVM (Support Vector Machine) και LDA (Latent Dirichlet Allocation) (Qandour et al., 2014), K-Nearest Neighbor, Random Forest και LR (Logistic Regression) [16], HMM (Hidden Markov Model) και GMM (Gaussian Mixure Model) (Prakhar, 2018), PCA (Principal Component Analysis) (Liao et al., 2020), DTW (Dynamic Time Warping) (Polyniak et al., 2019), CNN (Convolutional Neural Networks) (Nolasco & Benetos, 2018), DNN (Deep Neural Networks).

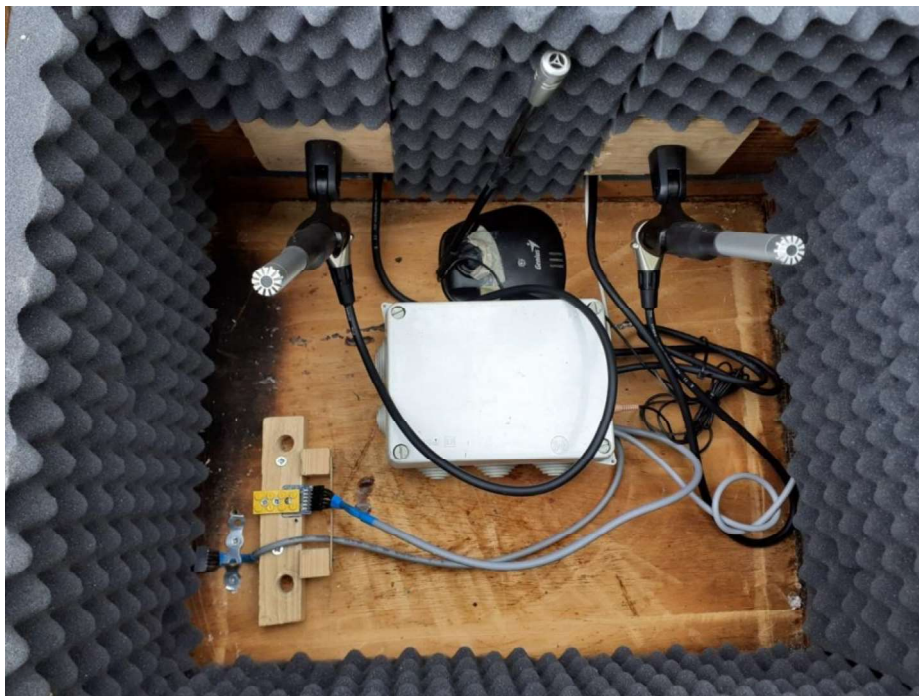
Το πρώτο βήμα για την παρακολούθηση του ήχου των κυψελών είναι η δημιουργία ενός συστήματος που θα μπορεί να τους αναγνωρίσει και να τους διακρίνει από άλλους ήχους που μπορεί να αλλοιώνουν το επιθυμητό σήμα. Αυτοί οι ήχοι σχετίζονται με το περιβάλλον της κυψέλης και μπορεί να είναι αστικοί ήχοι, ζώα, βροχη, κτλ. Στόχος, λοιπόν, είναι μέσω δεδομένων ηχογραφήσεων που λαμβάνονται μέσα στις κυψέλες, να εντοπίζονται αυτόματα οι ήχοι των μελισσών και να διακρίνονται από εξωτερικούς ήχους-θορύβους. Ένας χρήσιμος παράγοντας για τη διάκριση των δύο τάξεων είναι ότι η πλειοψηφία των ήχων εκτός της κυψέλης μπορεί να είναι μικρής διάρκειας σε σύγκριση με τους ήχους εντός (Nolasco & Benetos, 2018). Τα δεδομένα των ηχογραφήσεων μπορούν να περάσουν από ένα στάδιο προεπεξεργασίας, όπου αυτό βοηθά το επόμενο στάδιο της εξαγωγής χαρακτηριστικών του ήχου, στην απομόνωση του ακουστικού στίγματος. Ο κύριος στόχος του συστήματος παρακολούθησης των μελισσών είναι η αναγνώριση της κατάστασης της κυψέλης, μέσω της ανάλυσης αυτού του ακουστικού στίγματος. Έτσι, στο τελευταίο στάδιο της ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκαν διάφορα εργαλεία αλγορίθμων για την ανάλυση και αναγνώριση των δεδομένων.

Υλικά και μέθοδοι

Σύστημα ηχητικής καταγραφής

Η αλυσίδα του συστήματος καταγραφής αποτελείται από μικρόφωνο -> αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα (A/Dconverter) -> Η/Υ. Τοποθετήθηκαν σε 4 κυψέλες από ένα μικρόφωνο ακουστικών μετρήσεων (Behringer ECM 8000) και μέσω εξωτερικής κάρτας ήχου (Focusrite Scarlet 8 i6) έγινε καταγραφή του ήχου με ρυθμό δειγματοληψίας 44100Hz και κωδικοποίηση στα 16bit. Η εικόνα 1 παρουσιάζει το τρόπο με τον οποίο έχουν εγκατασταθεί τα μικρόφωνα σε μια άδεια κυψέλη, η οποία έχει τοποθετηθεί πάνω από τις κυψέλες παρατήρησης (έχει προσαρμοστεί για ένα μικρόφωνο καταγραφής σε κάθε κυψέλη). Τα δεδομένα καταγράφονται και αποθηκεύονται στον υπολογιστή

χρησιμοποιώντας λογισμικό ανοικτού κώδικα και χωρίζονται σε τμήματα των 250MB, 33 min περίπου. Από τα αποθηκευμένα αρχεία πραγματοποιήθηκε επιλογή της επιθυμητής ημέρας και ώρας, για την ανάλυση των ηχητικών σημάτων.



Εικόνα 1: Εγκατάσταση μικροφώνων σε κυψέλες παρατήρησης για την καταγραφή των ηχητικών σημάτων.

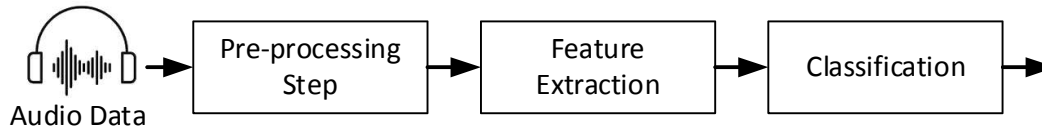
Δημιουργία μελισσοκομικών φαινομένων

Για την μελέτη των ηχητικών σημάτων που παράγουν οι μέλισσες, εφαρμόστηκαν οι αντίστοιχοι μελισσοκομικοί χειρισμοί για την τεχνητή πρόκληση μελισσοκομικών φαινομένων. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε η καταγραφή της συμπεριφοράς των μελισσών πριν την εφαρμογή του φαινομένου και μετά ή κατά τη διάρκεια του. Τα φαινόμενα που δοκιμάστηκαν στην παρούσα φάση ήταν: η απουσία της βασίλισσας (ορφάνια) και της αρρενοτοκίας. Για να επιτευχθούν οι απαιτούμενες καταγραφές σε ένα δυνατό μελίσσι τοποθετήθηκαν οι μικροφωνικές κατασκευές πάνω από μελίσσι με βασίλισσα (μικρόφωνα) όπου κατέγραψαν για μεγάλο χρονικό διάστημα την ηχητική συμπεριφορά του μελισσιού. Ακολούθησε η αφαίρεση της βασίλισσας και η καταγραφή των ήχων το ορφανό μελίσσι. Το μελίσσι αυτό παρέμεινε ορφανό για μεγάλο χρονικό διάστημα προκειμένου να αρρενοτοκήσει. Σε αυτή την κατάσταση παρέμεινε για χρονικό διάστημα 20 ημερών ώστε να ληφθούν οι αντίστοιχες καταγραφές.

Αμέσως μετά την αρρενοτοκία, επιστράφηκαν οι γόννοι στο υπό μελέτη μελίσσι και το μελίσσι επέστρεψε στην κατάσταση της ορφάνιας. Στο τέλος των μετρήσεων επιστράφηκε η βασίλισσα του και ακολούθησαν εκ νέου καταγραφές για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Μετά την ολοκλήρωση ενός κύκλου του φαινομένου της ορφάνιας ακολούθησε ανάλυση των ακουστικών σημάτων που λήφθηκαν σε όλες τις φάσεις από την κυψέλη παρατήρησης και οπτικοποιήθηκαν τα αντίστοιχα ηχητικά σήματα. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και σε άλλα δύο μελίσσια για τον έλεγχο της επαναληψιμότητας του φαινομένου.

Ανάλυση ακουστικών σημάτων

Η διαδικασία της ανάλυσης των ακουστικών σημάτων που έχουν ληφθεί από τις κυψέλες των μελισσών περιλαμβάνει τρία βήματα, όπως αυτή παρουσιάζεται και στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Διάγραμμα διαδικασίας ανάλυσης δεδομένων μετά την παραλαβή τους από την κυψέλη

Το πρώτο στάδιο είναι η *προεπεξεργασία (pre-processing)* των δεδομένων, όπου επιλέχθηκε η διάρκεια του προς ανάλυση σήματος και εφαρμόστηκαν στο επιλεγέν κομμάτι τεχνικές φιλτραρίσματος και αποθορυβοποίησης. Υπήρχε επίσης και η δυνατότητα από την εξαγωγή κάποιων low-level χαρακτηριστικών του ήχητικού σήματος να αποκλειστούν αρχεία ή μέρος αυτών, ώστε να αποφευχθεί η ανάλυση και η ανίχνευση μη χρήσιμων πληροφοριών.

Το επόμενο στάδιο είναι η *εξαγωγή των χαρακτηριστικών (feature extraction)* του προεπεξεργασμένου ηχητικού σήματος. Κατά την εξαγωγή των χαρακτηριστικών του ήχου επιλέχθηκαν από μια αρκετά μεγάλη λίστα τα χαρακτηριστικά που εξυπηρετούσαν τον σκοπό για την ανάλυση του ήχου της κυψέλης. Οι κύριες κατηγορίες είναι τα χαρακτηριστικά στο πεδίο του χρόνου (amplitude envelope, RMSenergy, ZCR), όπου έγινε η εξαγωγή μέσω της κυματομορφής, στο πεδίο της συχνότητας (band energy ratio, spectral centroid, spectral flux), όπου ακολούθησε εξαγωγή μετά την εφαρμογή του FFT και στο πεδίο χρόνου – συχνότητας (Spectrogram, Mel-spectrogram, Constant-Qtransform, MFCC, GFCC), όπου γίνεται η εξαγωγή μετά την εφαρμογή του STFT.

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο γίνεται η *ταξινόμηση των δεδομένων (classifying)*. Από την εξαγωγή των χαρακτηριστικών του ήχου δημιουργήθηκαν διάφορα μοτίβα (patterns) σε αντιστοιχία με φαινόμενα που παρατηρήθηκαν στις κυψέλες των μελισσών. Αυτά ταξινομήθηκαν με βάση τα φαινόμενα, δημιουργώντας μια αρχαιοθήκη για αναγνώριση των ήχων της κυψέλης. Στην συνέχεια εισήχθησαν καινούργια αρχεία ήχου, όπου εξάχθηκαν τα χαρακτηριστικά τους σε καινούργια μοτίβα τα οποία συγκρίνονται με αυτά που έχουν αποθηκευτεί για να επαληθευτεί η σωστή λειτουργία του συστήματος.

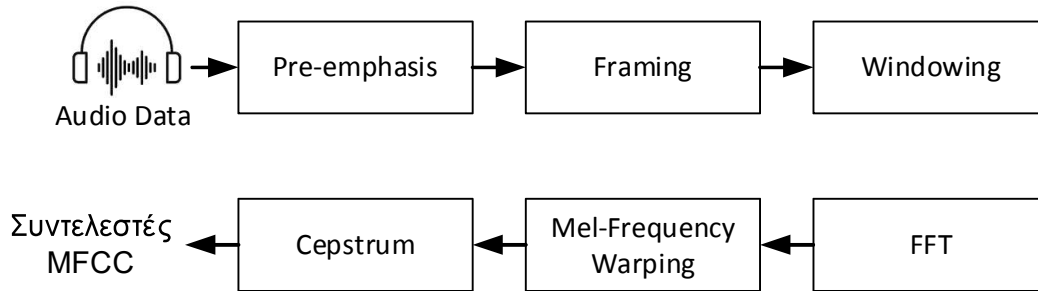
Προεπεξεργασία (Pre-processing)

Η διάρκεια του ηχητικού σήματος που εισήχθηκε για ανάλυση εντοπίστηκε στα 15sec. Επιλέχθηκε ένα ζωνοπερατό φίλτρο με εύρος ζώνης από 80 – 3000 Hz, για να απομονωθούν περιττές πληροφορίες του σήματος. Χρησιμοποιώντας την τεχνική αποθορυβοποίησης median-filtering διαχωρίστηκαν οι ήχοι σε αρμονικούς και κρουστικούς, έχοντας τις πιο χρήσιμες πληροφορίες του σήματος για να ολοκληρωθεί η εξαγωγή των χαρακτηριστικών του ήχου της κυψέλης.

Εξαγωγή Χαρακτηριστικών ήχου (Feature extraction)

Για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών ήχου των κυψελών επιλέχθηκε η χρήση φασματογραφημάτων του STFT (shorttime Fourier transform) και των συντελεστών MFCC (Mel frequency cepstral coefficients). Ο STFT είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται πολύ συχνά για ανάλυση και επεξεργασία ήχου και περιγράφει το συχνотικό φάσμα στην πάροδο του χρόνου. Χωρίζοντας το σήμα σε μικρότερα τμήματα (frames), γίνεται εστίαση στις ιδιότητες ενός σήματος σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Με τη λήψη του DFT (discrete

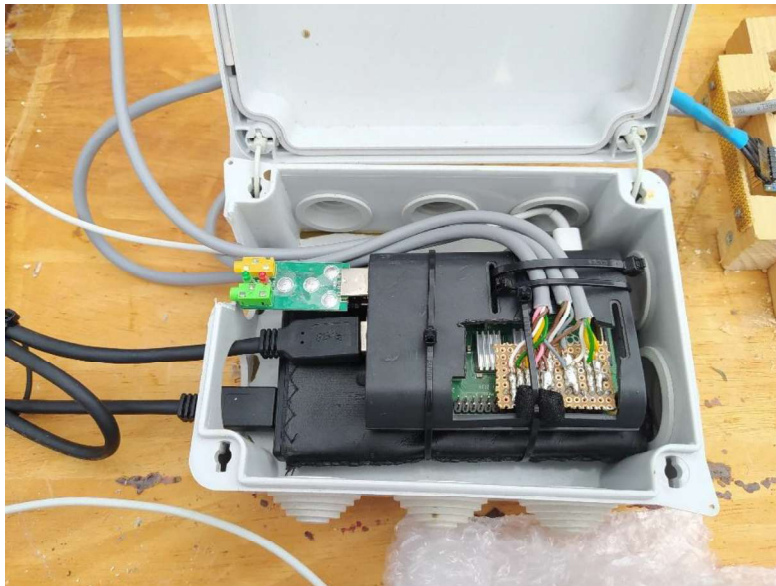
Fourier transform) για κάθε frame, λαμβάνεται ο STFT. Οι συντελεστές MFCC είναι μια στιβαρή και δυναμική τεχνική που χρησιμοποιείται στην ανάλυση ήχων με αρκετά μεγάλη χρήση στην αναγνώριση ομιλίας. Παρακάτω φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα για την εξαγωγή των συντελεστών MFCC (Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Σχηματική απεικόνιση εξαγωγής συντελεστών MFCC.

Καταγραφή περιβαλλοντικών παραμέτρων στο εσωτερικό της κυψέλης

Συμπληρωματικά με την καταγραφή ήχου, έχει αναπτυχθεί και ένα σύστημα καταγραφής περιβαλλοντικών παραμέτρων στο εσωτερικό της κυψέλης. Για τη συνεχή καταγραφή μετρήσεων δεδομένων και την παρακολούθησή τους σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιείται ένα κεντρικό σύστημα επεξεργασίας με κατάλληλες επιλογές διασύνδεσης και δικτύωσης και τους αισθητήρες που θα εκτελέσουν τις απαιτούμενες μετρήσεις. Ως κεντρικό σύστημα επεξεργασίας χρησιμοποιήθηκε το Raspberry Pi, το οποίο διαθέτει πρωτόκολλα επικοινωνίας UART, I2C, I2S, SPI και USB που είναι χρήσιμα για τη διασύνδεση με τους αισθητήρες μέσω Ethernet και Wi-Fi. Η σύνδεση Ethernet προσέφερε τη δυνατότητα λήψης δεδομένων και με ενεργή την απομακρυσμένη πρόσβαση ήταν εφικτή και η αποσφαλμάτωση. Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται το Raspberry Board τοποθετημένο εσωτερικά στην κορυφή της κυψέλης.



Εικόνα 2: Διάταξη Raspberry Board στο εσωτερικό της κυψέλης για την καταγραφή περιβαλλοντικών συνθηκών.

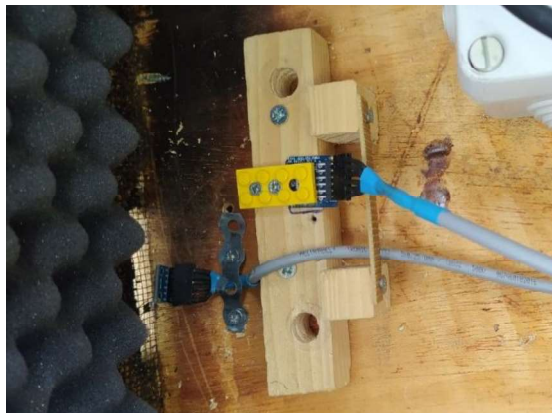
Για την μέτρηση περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν οι αισθητήρες BME280. Συνολικά τοποθετήθηκαν 7 τέτοιοι αισθητήρες οι οποίοι τοποθετήθηκαν για την παρακολούθηση 2 ζευγάρια κυψελών. Οι αισθητήρες εγκαταστάθηκαν έτσι ώστε να γίνεται εσωτερική καταγραφή σε κάθε μία εκ του ζεύγος των κυψελών και εξωτερική καταγραφή τοπικά στο χώρο μεταξύ τους με ένα σύνολο 3 αισθητήρων για το κάθε ζεύγος. Ένας επιπλέον αισθητήρας τοποθετήθηκε εσωτερικά σε άδεια κυψέλη για παρατήρηση της επίδρασης του υλικού κατασκευής στις τιμές των μετρήσεων. Οι αισθητήρες BME280 που έχουν χρησιμοποιηθεί, καταγράφουν:

- θερμοκρασία με ακρίβεια $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ στο εύρος 0°C έως 65°C
- υγρασία με ακρίβεια $\pm 3\%$ επί της σχετικής υγρασίας
- πίεση με σφάλμα ευαισθησίας $\pm 0.25\%$

Κατά τη διαδικασία της καταγραφής μετρήσεων από τον αισθητήρα BME280 πραγματοποιείται:

- Μέτρηση ανά δευτερόλεπτο
- Αποθήκευση των μετρήσεων σε ημερήσια αρχεία database ξεχωριστά για θερμοκρασία, υγρασία, πίεση
- Online αποστολή μιας μέτρησης ανά λεπτό

Η τοποθέτηση του αισθητήρα BME280 στην κυψέλη, έγινε όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.

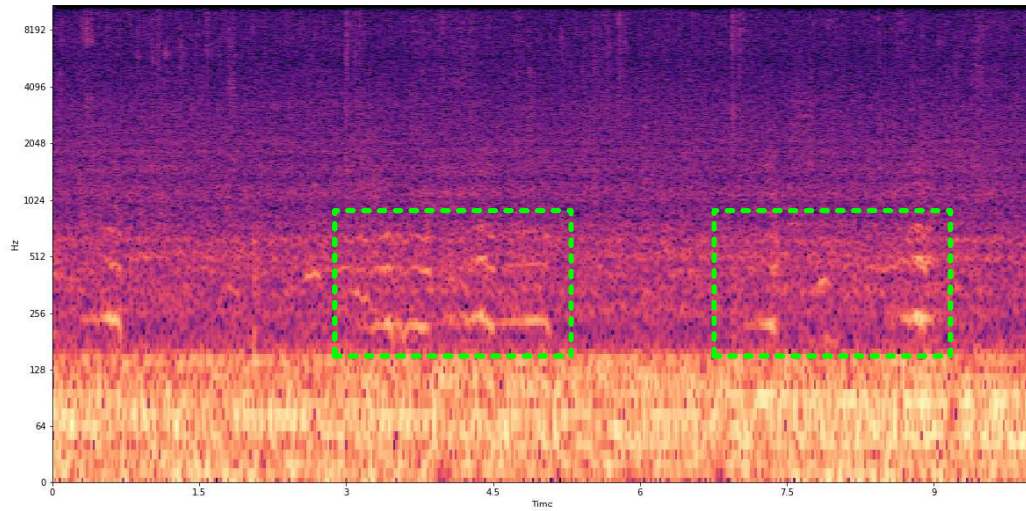


Εικόνα 3: Αισθητήρας BME280 εντός της κυψέλης

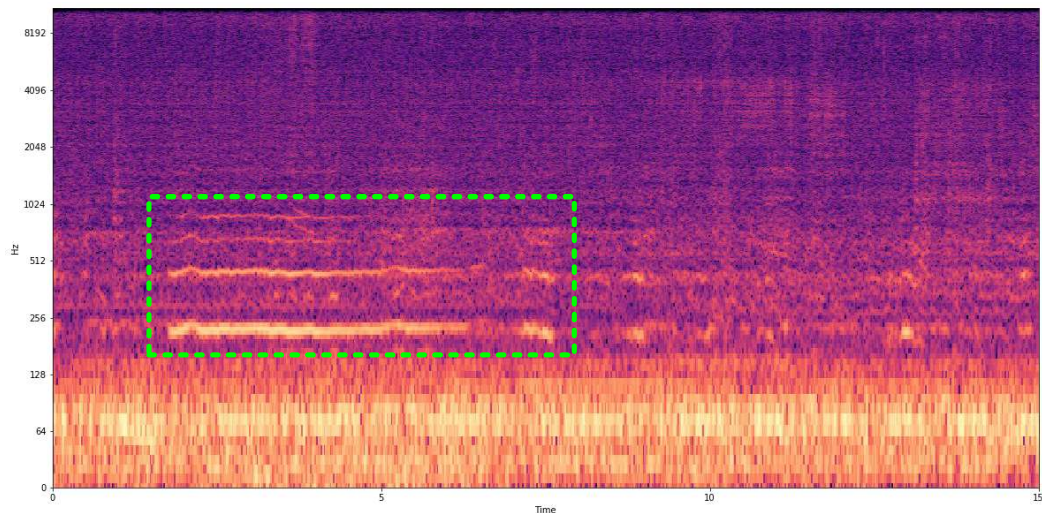
Αποτελέσματα

Ανάλυση ήχου

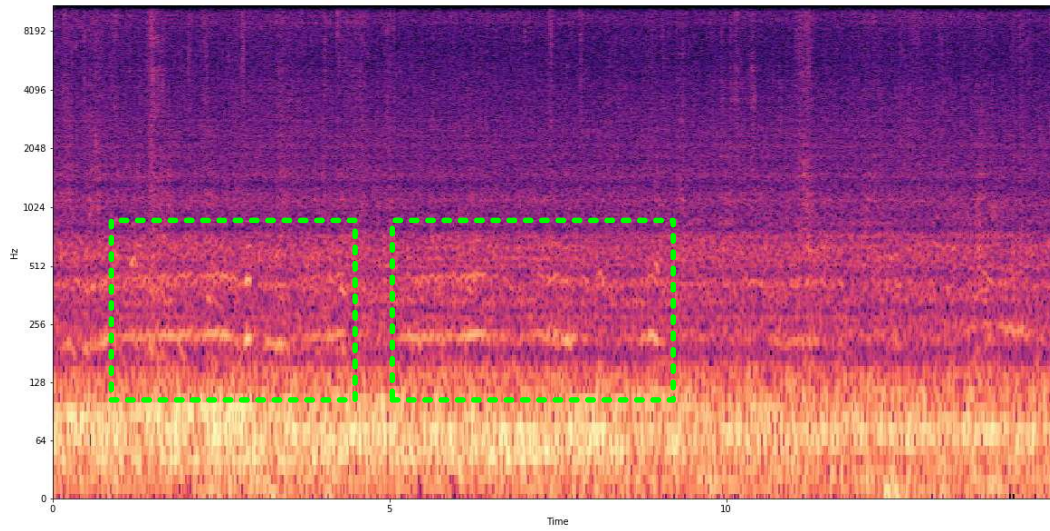
Τα ηχητικά δεδομένα που ηχογραφήθηκαν περιέχουν δραστηριότητες των μελισσών από ένα διάστημα 6 μηνών περίπου. Σε αυτό το διάστημα καταγράφηκαν οι φυσιολογικές δραστηριότητες των μελισσών, καθώς και κάποια φαινόμενα που δημιουργήθηκαν τεχνητά για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας. Από τα ηχητικά δεδομένα παρατίθενται κάποια δείγματα της ανάλυσης που ακολουθήθηκαν σε αυτή την εργασία. Αυτά είναι, δύο από κάθε φαινόμενο που εξετάστηκε και αναλύθηκε ο ήχος που ηχογραφήθηκε σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας, όπου η επιλογή της ώρας έγινε με κριτήριο την μεγαλύτερη κίνηση μελισσών γύρω από την κυψέλη, ώστε να λαμβάνεται ισχυρότερο καταγεγραμμένο σήμα. Η επιλογή της ημέρας είναι τυχαία, αλλά μέσα στο διάστημα του φαινομένου που εξετάστηκε κάθε φορά.



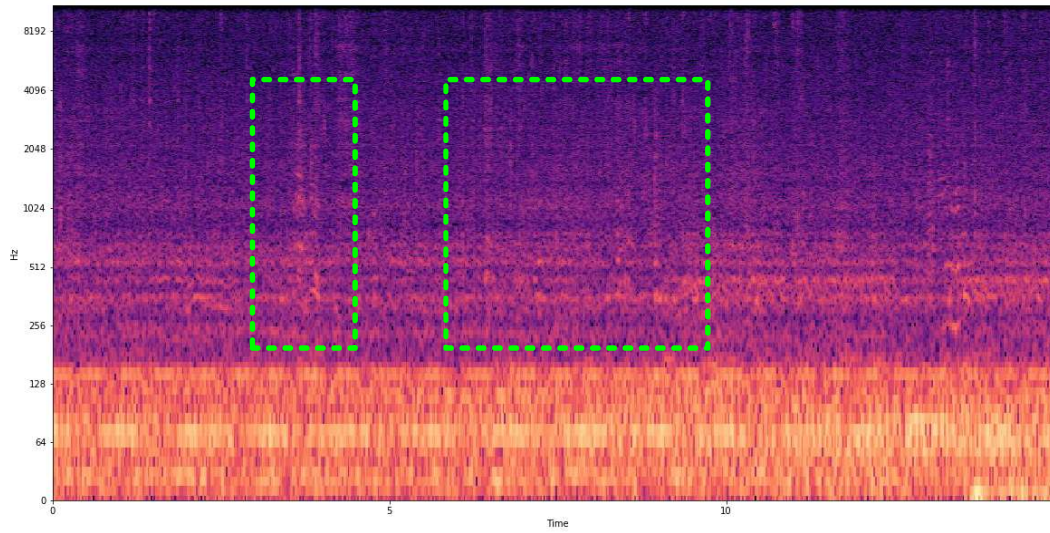
Σχήμα 3: Οπτικοποίηση ηχητικών σημάτων σε μελίσι με παρουσία βασίλισσας



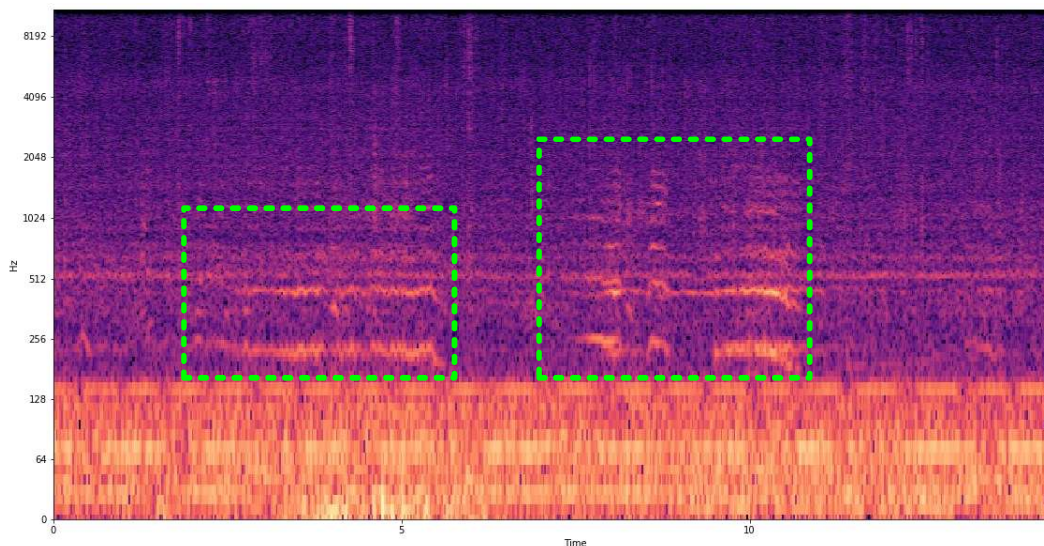
Σχήμα 4: Οπτικοποίηση ηχητικών σημάτων σε ορφανό μελίσι



Σχήμα 5: Οπτικοποίηση ηχητικών σημάτων σε αρρενοτόκο μελίσσι



Σχήμα 6: Οπτικοποίηση ηχητικών σημάτων σε μελίσσι με βασίλισσα την πρώτη μέρα μετά την εισαγωγή της

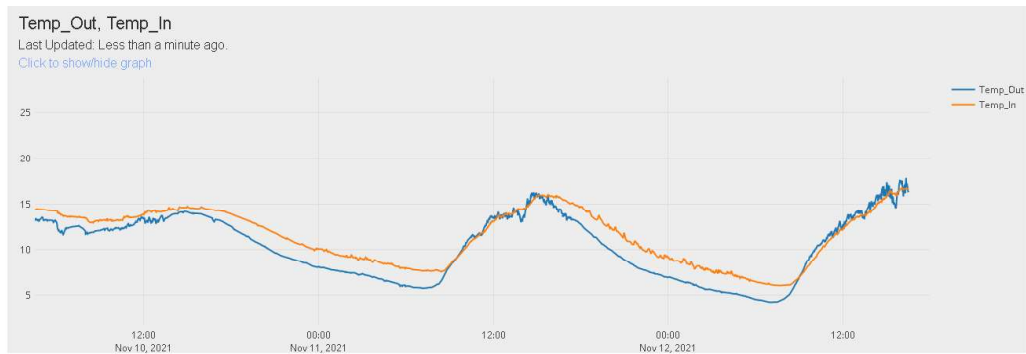


Σχήμα 7: Οπτικοποίηση ηχητικών σημάτων σε μελίσι με βασίλισσα την πέμπτη μέρα μετά την εισαγωγή της

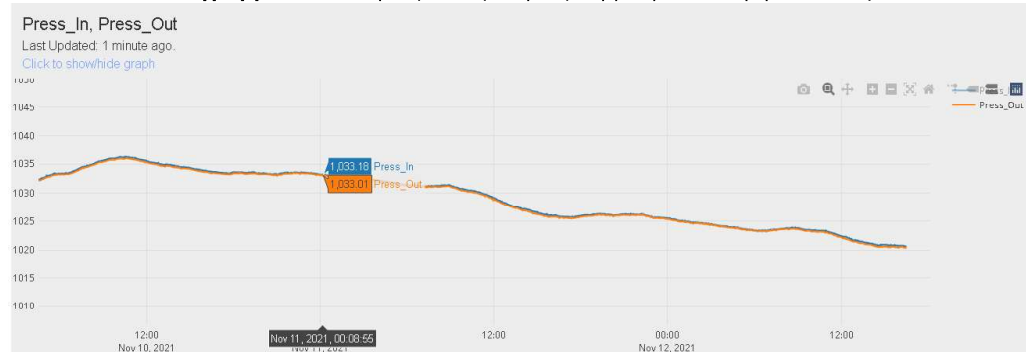
Το πρώτο φασματογράφημα (Σχήμα 3) είναι από τον ήχο της κυψέλης σε φυσιολογικές συνθήκες πριν υπάρξει κάποια επέμβαση στο μελίσι και έχει θεμελιώδη συχνότητα γύρω από τη συχνότητα των 250Hz με τις αντίστοιχες αρμονικές, οι οποίες φαίνεται να μην έχουν μεγάλο πλάτος και δεν φτάνουν σε πολύ υψηλές συχνότητες. Στα επόμενα φασματογραφήματα παρουσιάζεται ο ήχος της κυψέλης αφού έχει αφαιρεθεί η βασίλισσα από το μελίσι. Παρατηρείται ακόμα ότι υπάρχει μεγαλύτερο πλάτος και στη θεμελιώδη συχνότητα, αλλά και στις αρμονικές της, κατά την απουσία βασίλισσας (Σχήμα 4). Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η καταγραφή για το φαινόμενο της αρεννοτοκίας στη κυψέλη (Σχήμα 5), όπου γίνεται αντιληπτό το μεγάλο πλάτος έντασης στις χαμηλές συχνότητες και γενικότερα ο ήχος της κυψέλης είναι πιο θορυβώδης. Η θεμελιώδης συχνότητα έχει πέσει γύρω από τα 240 Hz. Τέλος, τα Σχήματα 6 και 7 αντιστοιχούν στην παρουσία της βασίλισσας ξανά μέσα στην κυψέλη, όπου απευθείας από τη εισαγωγή της (στα πρώτα λεπτά) παρατηρούμε ότι η θεμελιώδης συχνότητα του ήχου της κυψέλης επανέρχεται κοντά στην τιμή των 250 Hz ενώ στην συνέχεια της 1^η μέρας της εισαγωγής το μελίσι παράγει παραπάνω «θόρυβο», όπου φαίνεται να εξασθενεί την 5^η μέρα, όπου πλησιάζει κοντά στην αρχική συχνοτική συμπεριφορά της κυψέλης.

Καταγραφές Δεδομένων

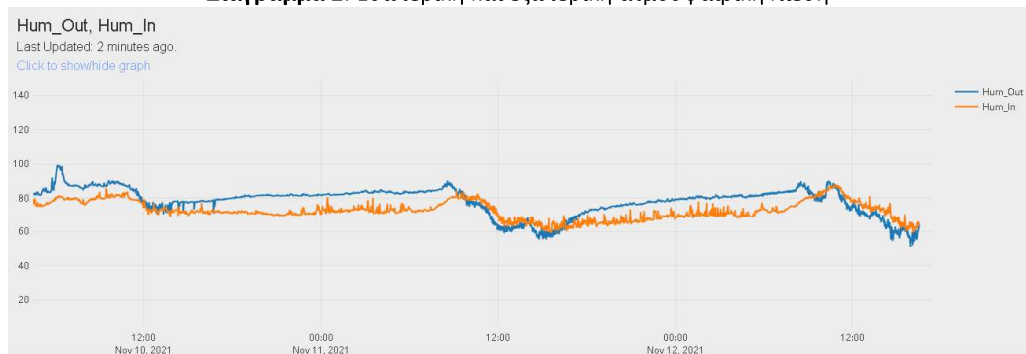
Μέσω της σύνδεσης Ethernet γίνεται online αποστολή δεδομένων, όπως χαρακτηριστικά παρουσιάζεται στα ακόλουθα διαγράμματα. Τα διαγράμματα 1 έως 3 παρουσιάζουν τις καταγραφές θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης, στο εσωτερικό και εξωτερικό της κυψέλης. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις θα συσχετιστούν με τις καταγραφές ήχου, προκειμένου να καταστεί αρχικά εφικτή η μελέτη των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στο μελίσι και εν συνεχεία, να υλοποιηθεί ένας μηχανισμός εκτίμησης κινδύνων σε αυτό, προκειμένου να ενημερώνεται έγκαιρα ο μελισσοκόμος για να προβεί σε διορθωτικές ενέργειες.



Διάγραμμα 1: Εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος



Διάγραμμα 2: Εσωτερική και εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση



Διάγραμμα 3: Εσωτερική και εξωτερική υγρασία περιβάλλοντος

Βιβλιογραφία

Bencsik M., Bencsik J., Baxter M., Lucian A., Romieu J., Millet M.(2011). Identification of the honey bee swarming process by analysing the time course of hive vibrations, *Computers and Electronics in Agriculture*, 76 (1) : 44-50.

Cecchi, S., Terenzi, A., Orcioni, S., Piazza, F. (2019). Analysis of the Sound Emitted by Honey Bees in a Beehive, In *Proceedings of the 147th Audio Engineering Society Convention*, New York, NY, USA, 16–19 October.

Cejrowski, T., Szymanski, J., Mora, H., Gil, D. (2018). Detection of the bee queen presence using sound analysis, In *Proceedings of the Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*, Dong Hoi City, Vietnam, 19–21 March 2018; pp. 297–306.

Dietlein D. (1985). A Method for Remote Monitoring of Activity of Honeybee Colonies by Sound Analysis. *Journal of Apicultural Research*, 24:3, 176-183.

- Fahrenholz L., Lamprecht I., Schrickler B. (1992). Calorimetric investigations of the different castes of honey bees, *apis mellifera carnica*. *Journal of Comparative Physiology B*, vol.162 (2), pp. 119–130.
- Ferrari S., Silva M., Guarino M., Berckmans D.(2008). Monitoring of swarming sounds in beehives for early detection of the swarming period. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 64 (1), 72-77.
- Guerrero A. P., Tonatiuh S.A., Ramirez E. G., Tejada C. E. (2017). Frequency analysis of honey bee buzz for automatic recognition of health status: A Preliminary Study, *Research in Computing Science*, 142 : 89-98.
- Hrncir M., Friedrich B., Juergen D. (2005). Vibratory and Airborne-Sound Signals in Bee Communication (Hymenoptera). *Insect Sounds and Communication: Physiology, Behaviour, Ecology, and Evolution*.
- Liao, Y., McGuirk, A., Biggs, B., Chaudhuri, A., Langlois, A., & Deters, V. (2020). Noninvasive Beehive Monitoring through Acoustic Data Using SAS® Event Stream Processing and SAS® Viya.
- Zacepins A., Kvisis A., Stalidzans E. (2016). Remote detection of the swarming of honey bee colonies by single-point temperature monitoring. *Biosystems Engineering*, 148 : 76-80.
- Nolasco I., Benetos E. (2018). To bee or not to bee: Investigating machine learning approaches for beehive sound recognition. *Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events*.
- Perez N. (2016). Continuous monitoring of beehives' sound for environmental pollution control. *Ecological Engineering*, 90 : 326-330.
- Polyniak Yu., Fedasyuk D., Marusenkova T. (2019). Identification of Bee Colony Acoustic Signals using the Dynamic Time Warping Algorithm, *ECONTECHMOD : An International Quarterly Journal on Economics of Technology and Modelling Processes*, Vol. 8, No. 4, pp. 19-27.
- Prakhar A. (2018) Standard Machine Learning Techniques in Audio Beehive Monitoring: Classification of Audio Samples with Logistic Regression, K-Nearest Neighbor, Random Forest and Support Vector Machine.
- Qandour A., Ahmad I., Habibi D., Leppard M. (2014). REMOTE BEEHIVE MONITORING USING ACOUSTIC SIGNALS.
- Terenzi A., Cecchi S., Spinsante S. (2020). On the Importance of the Sound Emitted by Honey Bee Hives. *Veterinary Sciences*, 7.
- Van Engelsdorp, D., Hayes, J. J., Underwood, R., and J.S., P., (2010). A survey of honey bee colony losses in the United States, fall 2008 to spring 2009. *J Apic Res.*, 49 : 7–14.
- Winston M. L., "The biology of the honey bee", Harvard University Press, 1991.
- Zgank A. (2020). Bee Swarm Activity Acoustic Classification for an IoT-Based Farm Service. *Sensors* **2020**, 20: 21.