

# Ανάπτυξη Σύγχρονων και Καινοτόμων Μεθόδων Ολοκληρωμένης Αντιμετώπισης Εχθρών των Αποθηκευμένων Γεωργικών Προϊόντων

Ηλιόπουλος Π.Α.  
Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων  
ΤΕΙ Θεσσαλίας  
Λάρισα, Ελλάδα  
eliopoulos@teilar.gr

**Abstract**—Περιγράφονται αποτελέσματα του έργου σχετικά με τον εντοπισμό εντόμων αποθηκών και την εκτίμηση της πληθυσμιακής τους πυκνότητας μέσω της βιοακουστικής. Η βιοακουστική αποσκοπεί στον έγκαιρο εντοπισμό εντόμων μέσα στους σωρούς ΑΓΠ, βασιζόμενη στην αρχή ότι κάθε έντομο παράγει ένα ηχητικό σήμα κατά την κίνηση και το μεταβολισμό του. Για τις ανάγκες των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι σημαντικότεροι εχθροί αποθηκευμένων σπόρων σε διάφορες πληθυσμιακές πυκνότητες. Οι ηχητικές εκπομπές των εντόμων καταγράφονταν από ειδική συσκευή με πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα μέσω σύνδεσης με Η/Υ. Η επιβεβαίωση της παρουσίας του εντόμου επιτεύχθηκε μέσω μίας ειδικής ακουστικής ανάλυσης (Hilbert follower). Το γραμμικό μοντέλο ήταν πολύ αποτελεσματικό στην περιγραφή της σχέσης μεταξύ του αριθμού των ήχων και της πληθυσμιακής πυκνότητας του εντόμου, σε όλες τις περιπτώσεις. Το σύστημα ήταν 100% εύστοχο στις αρνητικές προβλέψεις και πολύ επιτυχημένο στις θετικές προβλέψεις. Η πρόβλεψη ύπαρξης προσβολής ήταν εσφαλμένα αρνητική σε ποσοστό 50-70%, 30-60%, 0-20% και 0-10% όταν η πληθυσμιακή πυκνότητα των εντόμων ήταν 0.1, 0.5, 1 και 2 ακμαία/ Kgr, αντίστοιχα, ανεξάρτητα από το είδος του εντόμου. Οι αντίστοιχες τιμές για τις προνύμφες ήταν 60-70%, 30-60%, 0-10% και 0-10%. Από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας αλλά και με την πρόοδο της ακουστικής τεχνολογίας είναι δεδομένο ότι η βιοακουστική θα αποτελέσει ένα πολύ σημαντικό όπλο για την ανίχνευση εντόμων και εκτίμηση των πληθυσμών τους στις αποθήκες γεωργικών προϊόντων.

**Keywords**—βιοακουστική; έντομα αποθηκών; παρασιτοειδή; αποθηκευμένα γεωργικά προϊόντα

## I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αποθηκευμένα γεωργικά προϊόντα (σπόροι σιτηρών, οσπρίων, ξηροί καρποί, αποξηραμένες οπώρες, άλευρα κ.α.) και τρόφιμα (ζυμαρικά, ρύζι, μπισκότα, κ.α.) προσβάλλονται από περισσότερα από 670 είδη επιβλαβών εντόμων. Τα έντομα αυτά προκαλούν σοβαρές ποσοτικές απώλειες με τη διατροφή τους επί του προϊόντος, όπως επίσης και ποιοτική υποβάθμισή του ρυπαίνοντάς το με περιττώματα, νεκρά σώματα εντόμων, σωματικά μέρη κ.α.

Το αντικείμενο του προτεινόμενου έργου αφορά μεταξύ άλλων στην ανάπτυξη (εργαστηριακή μελέτη) της βιοακουστικής ως μέθοδο εντοπισμού και εκτίμησης της πληθυσμιακής πυκνότητας των εντόμων αποθηκών.

Η βιοακουστική αποσκοπεί στον έγκαιρο εντοπισμό εντόμων μέσα στους σωρούς ΑΓΠ, βασιζόμενη στην αρχή ότι κάθε έντομο παράγει ένα ηχητικό σήμα κατά την κίνηση και το μεταβολισμό του. Το σήμα αυτό είναι μοναδικό για κάθε έντομο και αποτελεί ένα είδος «ηχητικής ταυτότητας» μέσω της οποίας μπορεί να γίνει όχι μόνο αναγνώριση του εντόμου, αλλά ταυτοποίηση του σταδίου ανάπτυξης του και εκτίμηση του πληθυσμού του. Ο εντοπισμός του εντόμου θα γίνει με ειδικούς ακουστικούς αισθητήρες ανίχνευσης (sensors), οι οποίοι εισέρχονται μέσα στο προϊόν (σωρό). Αυτές οι ακουστικές εκπομπές εισάγονται στον υπολογιστή ο οποίος κάνοντας χρήση στατιστικών μεθόδων αποφασίζει αν μέσα στο προϊόν υπάρχει το έντομο ή όχι.

Αναλυτικότερα, θα περιγραφούν τα αποτελέσματα των εργασιών σχετικά με α) την επιτυχία της βιοακουστικής να εκτιμά την πληθυσμιακή πυκνότητα ενός εντόμου σε μία αποθήκη γεωργικών προϊόντων, β) τον εντοπισμό της εντομολογικής προσβολής μέσα στο σωρό αποθηκευμένων σιτηρών μέσω της βιοακουστικής.

## II. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### A. Επιτυχία της βιοακουστικής να εκτιμά την πληθυσμιακή πυκνότητα ενός εντόμου

Χρησιμοποιήθηκαν οι σημαντικότεροι εντομολογικοί εχθροί των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων στα στάδια του ακμαίου ή της προνύμφης (Πίνακας 1). Όλα τα πειραματικά έντομα διατηρούνται σε εκτροφή στο εργαστήριο Φυτοπροστασίας εντός θαλάμων ελεγχόμενων συνθηκών σε σταθερές συνθήκες (25°C, 60%R.H., 16:8 L:D).

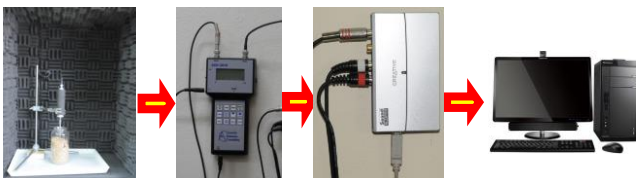
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΤΑ ΕΝΤΟΜΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ<sup>3</sup>.

Είδος Εντόμου	Αποθηκευμένο Προϊόν
<i>Acanthoscelides obtectus</i>	Φασόλια
<i>Callosobruchus maculatus</i>	Κουκιά
<i>Cryptolestes ferrugineus</i>	Σιτάρι
<i>Lasioderma serricorne</i>	Σιτάρι
<i>Oryzaephilus surinamensis</i>	Σιτάρι
<i>Prostephanus truncatus</i>	Καλαμπόκι
<i>Rhyzopertha dominica</i>	Σιτάρι
<i>Sitophilus oryzae</i>	Σιτάρι

<sup>3</sup>Η επιλογή του αποθηκευμένου προϊόντος έγινε με κριτήριο το προϊόν στο οποίο απαντάται συχνότερα το έντομο στις αποθήκες.

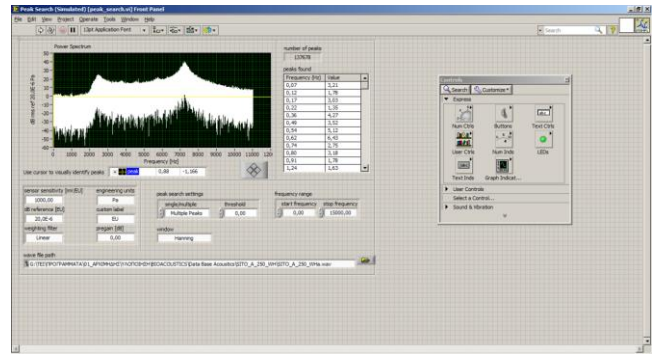
Η πληθυσμιακή πυκνότητα που χρησιμοποιήθηκε ήταν 0.1, 0.5, 1, 2, 10, 50, 200 & 500 έντομα / Kgr προϊόντος). Ως μάρτυρες (control) χρησιμοποιήθηκαν πανομοιότυπες ποσότητες προϊόντος χωρίς προσβολή από έντομα (πληθυσμιακή πυκνότητα = 0).

Οι ηχητικές εκπομπές των εντόμων καταγράφονταν από ειδική συσκευή (AED-2010L, Acoustic Emission Consulting, Inc.) με πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα (piezoelectric sensor) μέσω σύνδεσης με H/Y. Όλες οι καταγραφές έλαβαν χώρα εντός ειδικά διαμορφωμένου ηχομονωμένου θαλάμου έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι εξωτερικοί ήχοι (Εικόνα 1). Κάθε καταγραφή διαρκούσε 3 λεπτά και έγιναν 5 επαναλήψεις για κάθε περίπτωση.



Εικόνα 1. Το σύστημα ηχητικής καταγραφής που χρησιμοποιήθηκε

Όλες οι ηχητικές καταγραφές αποθηκεύονταν σε H/Y ως αρχεία wav με χρήση του προγράμματος ακουστικής ανάλυσης Adobe Audition. Η επεξεργασία των αρχείων ήχου (wav files) προκειμένου να καταμετρηθούν οι ήχοι (sound peaks) έγινε μέσω εφαρμογής του περιβάλλοντος Labview v.11 (National Instruments) (Εικόνα 2). Με τη χρήση της εφαρμογής αυτής καταμετρήθηκαν για κάθε αρχείο ήχου οι κορυφές (peaks) στο διάγραμμα έντασης (sound pressure- dB) - συχνότητας (frequency-Hz) του ήχου.



Εικόνα 2. Η εφαρμογή του περιβάλλοντος LabView που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των ηχητικών καταγραφών.

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων (σύγκριση μέσων) έγινε με το SPSS [1].

Για την περιγραφή της σχέσης μεταξύ του αριθμού των ήχων και της πληθυσμιακής πυκνότητας του εντόμου χρησιμοποιήθηκε το γραμμικό μοντέλο της μορφής :

$$y = a + bx \quad (1)$$

όπου (y) είναι ο αριθμός ήχων που παράγονται από ένα είδος εντόμου σε πληθυσμιακή πυκνότητα (x), όπου a και b είναι σταθερές. Οι σταθερές παράμετροι της εξίσωσης (a, b) υπολογίστηκαν με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων με το στατιστικό πακέτο JMP v.7.0 [2].

#### B. Εντοπισμός της εντομολογικής προσβολής μέσα στο σωρό αποθηκευμένων σιτηρών μέσω της βιοακουστικής

Για τις ανάγκες των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι σημαντικότεροι εχθροί αποθηκευμένων σπόρων σε διάφορες πληθυσμιακές πυκνότητες (0.1, 0.5, 1, 2, 10 & 50 / Kgr προϊόντος).

Περιγραφή Συστήματος. Το σύστημα ακουστικής ανίχνευσης (acoustic detector system) περιγράφηκε ανωτέρω (Εικόνα 1). Η επιβεβαίωση της παρουσίας του εντόμου επιτεύχθηκε μέσω μίας ειδικής ακουστικής ανάλυσης που περιγράφεται παρακάτω.

Η ακουστική ανάλυση του σήματος είχε δύο βασικά μέρη: την παραμετροποίηση του σήματος και την κατηγοριοποίηση. Το επίπεδο παραμετροποίησης του σήματος μετατρέπει το ακουστικό σήμα που παρέχεται από τον αισθητήρα σε μια σειρά low-dimensional feature vectors, το καθένα συνοψίζει ένα σύντομο χρονικά τμήμα του ακουστικού σήματος, ώστε να καταστεί δυνατή η αποτελεσματική ταξινόμηση. Το στάδιο της κατάταξης, αποτελείται από ένα σύνολο εκπαιδευμένων πρωτοτύπων για κάθε κατηγορία πρέπει να συγκριθούν σε πιθανολογική λογική με τα χαρακτηριστικά του επιπέδου παραμετροποίησης.

Παραμετροποίηση σήματος (Signal parameterization). Το στάδιο παραμετροποίησης του σήματος αρχίζει με την ανίχνευση των ήχων που έχουν ενσωματωθεί στο θόρυβο.

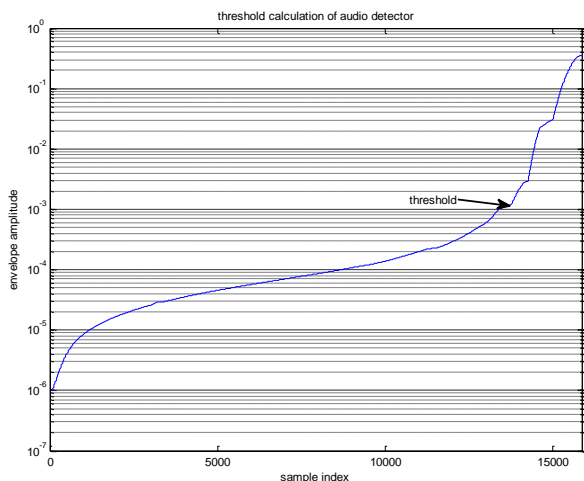
Ανίχνευση του ήχου των εντόμων. Θεωρούμε ότι  $x(n)$  είναι το διακριτό σήμα στο πεδίο του χρόνου που ασκεί την αρχική καταγραφή, όπου  $n$  είναι ο δείκτης διακριτού χρόνου. Στα επόμενα βήματα περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο το  $x(n)$  μετασχηματίζεται σε ένα σύνολο χαμηλών διαστάσεων περιγραφών (low dimensional descriptors) που στη συνέχεια τροφοδοτούνται στο στάδιο αναγνώρισης των μοτιβών.

Τα καταγεγραμμένα δεδομένα (ήχοι) είναι διάρκειας ενός δευτερόλεπτου με το χρήσιμο σήμα να τοποθετείται περίπου στο κέντρο τους. Το SNR δεν είναι υψηλό, καθώς υπάρχουν ηλεκτρονικές παρεμβολές και η ενέργεια των παλμών που παράγονται από τα έντομα είναι αρκετά χαμηλή. Μια πολύ μικρή παρεμβολή 60 Hz από την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος φιλτράρεται σε μεταγενέστερο στάδιο επεξεργασίας. Για να εξαγάγετε το χρήσιμο συμβάν ήχου από τους υπόλοιπους ήχους (background) έχουμε εφαρμόσει το μοντέλο του Hilbert (Hilbert follower). Το μοντέλο αυτό ακολουθεί το χαρακτηριστικό σχήμα του ήχου των εντόμων. Περιγράψουμε συνοπτικά τη λειτουργία του:

Εστω ότι  $xh(n) = \text{Hilbert}(x(n))$  καθορίζει μία σύνθετη ακολουθία που ονομάζεται αναλυτικό σήμα  $x(n)$ . Το αναλυτικό σήμα  $xh(n) = x(n) + j\chi(n)$  έχει ένα πραγματικό τμήμα  $x(n)$  το οποίο είναι το ζητούμενο ηχητικό σήμα, και ένα θεωρητικό τμήμα,  $\chi(n)$ , το οποίο περιέχει τη μεταμόρφωση κατά Hilbert του  $x(n)$ . Ο φάκελος  $y(n)$  του δείγματος χρόνου – πεδίου υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$y(n) = (xh(n) \times xh(n))^2 \quad (2)$$

Ο φάκελος της εξίσωσης (2) συγκρίνεται με το όριο  $\theta$ . Όταν  $y(n) > \theta$  το δείγμα  $x(n)$  κατηγοριοποιείται ως δράση (activity) αλλιώς ως απουσία δράσης (non-activity) (Διάγραμμα 1). Το όριο υπολογίζεται χωριστά για κάθε ηχητική καταγραφή. Ο φάκελος  $y(n)$  ταξινομείται ανά τιμή και υπολογίζεται το όριο  $\theta = 8 * \theta_1$  όπου  $\theta_1$  είναι ο μέσος του 90% των χαμηλότερων τιμών του φακέλου. Εάν η ανίχνευση του ήχου επιστρέψει ένα κενό σήμα τότε το όριο χαμηλώνει στο  $\theta = 4 * \theta_1$  και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Όπου  $x(n)$  είναι η τιμή της ακολουθίας όταν  $y(n) > \theta$ .



Διάγραμμα 1. Δυναμικός υπολογισμός του ορίου. Οι τιμές Hilbert ταξινομούνται ανά καταγραφή και το όριο καθορίζεται σύμφωνα με το μέσο των χαμηλότερων τιμών (οι οποίες υποθετικά αποτελούν «θόρυβο»).

### III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### A. Επιτυχία της βιοακουστικής να εκτιμά την πληθυσμιακή πυκνότητα ενός εντόμου

Ο αριθμός των ήχων (sound peaks) αυξήθηκε με την αύξηση της πληθυσμιακής πυκνότητας των εντόμων σε όλες τις περιπτώσεις ανεξαρτήτως είδους εντόμου. Οι διαφορές στον αριθμό των παραγόμενων ήχων μεταξύ των πληθυσμιακών πυκνοτήτων ήταν σημαντικές σε όλα τα είδη των πειραματικών εντόμων (Sitophilus oryzae : F10,44=171.88, P<0.0001, Acanthoscelides obtectus : F10,44=53.13, P<0.0001, Rhizophorthera dominica : F10,44=73.93, P<0.0001, Cryptolestes ferruginneus : F10,44=59.49, P<0.0001, Lasioderma serricorne : F10,44=52.15, P<0.0001, Callosobruchus maculatus : F10,44=72.41, P<0.0001, Oryzaephilus surinamensis : F10,44=27.43, P<0.0001, Prostaphanus truncatus : F10,44=51.55, P<0.0001). Τα πειραματικά έντομα παρουσίασαν σημαντικές διαφορές και στον αριθμό παραγόμενων ήχων σε όλες τις πληθυσμιακές πυκνότητες (0.1 : F7,32=3.94, P=0.0033, 0.5 : F7,32=11.33, P<0.0001, 1 : F7,32=13.16, P<0.0001, 2 : F7,32=14.53, P<0.0001, 10 : F7,32=3.13, P=0.0123, 20 : F7,32=10.31, P<0.0001, 50 : F7,32=40.92, P<0.0001, 100 : F7,32=51.45, P<0.0001, 200 : F7,32=100.74, P<0.0001, 500 : F7,32=100.81, P<0.0001).

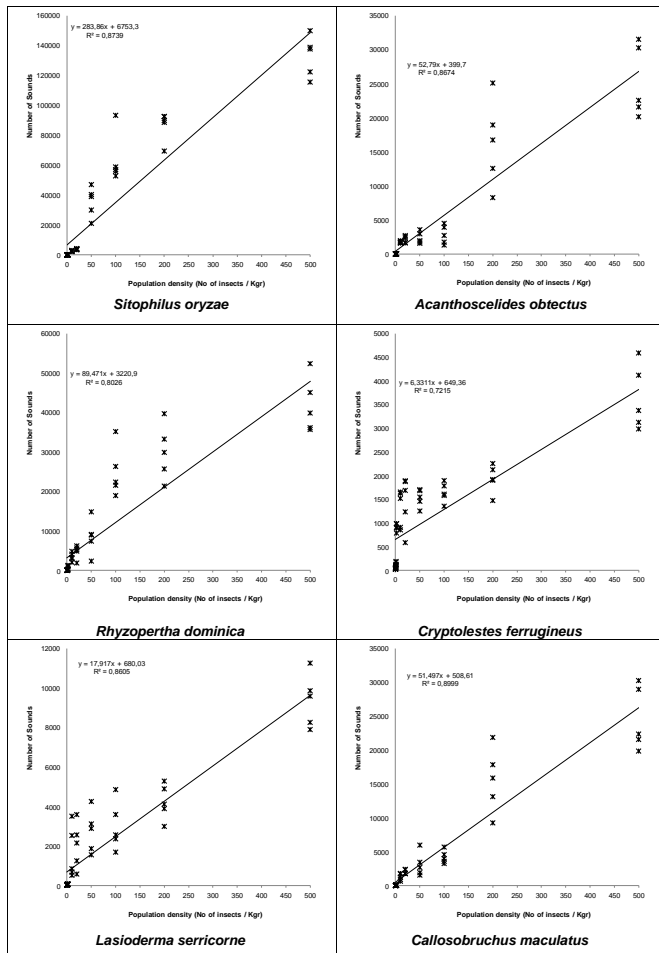
Ο υψηλότερος αριθμός ήχων καταγράφηκε από το S. oryzae, ενώ το C. ferruginneus παρήγαγε τους λιγότερους.

Το γραμμικό μοντέλο ήταν πολύ αποτελεσματικό στην περιγραφή της σχέσης μεταξύ του αριθμού των ήχων και της πληθυσμιακής πυκνότητας του εντόμου, σε όλες τις περιπτώσεις (Διάγραμμα 2). Ο συντελεστής συσχέτισης (R2) κυμάνθηκε από 0.72 έως 0.90, ανεξαρτήτως είδους εντόμου, καταδεικνύοντας ότι η σχέση αριθμού ήχων και εντόμων είναι σε μεγάλο βαθμό γραμμική.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βιοακουστική μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο στην προσπάθεια εκτίμησης της πληθυσμιακής πυκνότητας των εντόμων στις αποθήκες γεωργικών προϊόντων.

Αυτό αποδεικνύεται από τη στενή σχέση μεταξύ αριθμού εντόμων και ήχων στα δείγματα όπου πραγματοποιήθηκαν οι καταγραφές. Ιδιαίτερα από τη στιγμή που η σχέση αυτή περιγράφεται ικανοποιητικά από το γραμμικό μοντέλο, δίνεται η δυνατότητα της άμεσης εκτίμησης του αριθμού των εντόμων με βάση τον αριθμό των ήχων μέσω ενός απλού μαθηματικού μοντέλου. Βάσει του συντελεστή συσχέτισης το γραμμικό μοντέλο περιγράφει με ακρίβεια 72-90% τη σχέση αριθμού ήχων και αριθμού εντόμων. Η ακρίβεια αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των σημερινών μεθόδων εκτίμησης πληθυσμιακής πυκνότητας εντόμων σε αποθήκες γεωργικών προϊόντων.

Οι μελέτες που έχουν ασχοληθεί με το ίδιο αντικείμενο είναι ελάχιστες και σε γενικές γραμμές συμφωνούν με τα συμπεράσματα της παρούσας. Η ακριβής σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών των μελετών με την παρούσα είναι αδύνατη καθώς οι συνθήκες καταγραφής των ήχων ήταν από διαφορετικά όργανα και σε διαφορετικές συνθήκες.



Διάγραμμα 2. Συσχέτιση αριθμού εντόμων και παραγόμενων ήχων.

Ένα σύστημα ακουστικής παρακολούθησης θα μπορούσε να τοποθετηθεί μόνιμα σε μία αποθήκη (silo) ώστε να γίνεται καθημερινή εκτίμηση της πληθυσμιακής πυκνότητας των εντόμων μέσα στον αποθηκευμένο σωρό, χωρίς να χρειάζεται η χρονοβόρα δειγματοληψία και το κοσκίνισμα των δειγμάτων για την εξαγωγή των εντόμων [3].

Η βιοακουστική εντόπισε την παρουσία εντόμων 16-31 ημέρες νωρίτερα από ότι η δειγματοληψία [4]. Επιπρόσθετα, για κάθε αύξηση της πληθυσμιακής πυκνότητας κατά 0,3 έντομο/ Kgr παρατηρήθηκε μέση αύξηση των ήχων κατά μία μονάδα. Τέλος, επιβεβαιώθηκε η γραμμική σχέση μεταξύ αριθμού ήχων και αριθμού εντόμων, το οποίο συμφωνεί και με τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης.

Παρόμοιες προσπάθειες ακουστικής παρακολούθησης των εντόμων μέσα σε αποθήκες σιτηρών έχουν γίνει και στο παρελθόν [5,6,7,8]. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης αλλά και των προγενέστερων μελετών είναι σαφές ότι η βιοακουστική αποτελεί μία αξιόπιστη μέθοδο εκτίμησης της πληθυσμιακής πυκνότητας των εντόμων μέσα στους σωρούς αποθηκευμένων προϊόντων. Εκτός της ευκολίας εφαρμογής της, υπερτερεί των κλασικών μεθόδων (δειγματοληψία, κοσκίνισμα) στο ότι έχει σαφώς

μικρότερο όριο δυνατότητας ανίχνευσης των εντόμων, μεγαλύτερη ευαισθησία και μεγαλύτερη ακρίβεια. Όπως διαπιστώθηκε και από την παρούσα μελέτη, σε ορισμένες περιπτώσεις εντοπίστηκαν έντομα σε πολύ χαμηλές πληθυσμιακές πυκνότητες (0.1-0.5 έντομα / Kgr), το οποίο θα ήταν αδύνατο με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο εντοπισμού. Δεδομένου ότι η διεθνής πρακτική ορίζει ότι ένα προϊόν θεωρείται «προσβεβλημένο» («infested») όταν η πληθυσμιακή πυκνότητα των εντόμων σε αυτό είναι  $> 1$  έντομο / Kgr προϊόντος, είναι προφανές ότι η μεθοδολογία της παρούσας μελέτης μπορεί με ακρίβεια να εκτιμήσει εάν ένα προϊόν είναι ή όχι προσβεβλημένο από έντομα.

Ιδιαίτερα θα μπορούσε να ενσωματωθεί στις υπάρχουσες μεθόδους καταγραφής διαφόρων παραμέτρων που υπάρχουν σήμερα σε πολλές αποθήκες γεωργικών προϊόντων όπως είναι η καταγραφή της θερμοκρασίας του προϊόντος και της αποθήκης, της υγρασίας του προϊόντος, της συγκέντρωσης O<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub> στο χώρο της αποθήκης κ.α. Ένα τέτοιο ολοκληρωμένο σύστημα θα μπορούσε να επιτύχει ακριβή και αξιόπιστη συνεχή παρακολούθηση της πυκνότητας των εντόμων σε μία αποθήκη χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης (συλλογή δειγμάτων, κοσκίνισμα, καταμέτρηση εντόμων κ.α.).

### B. Εντοπισμός της εντομολογικής προσβολής μέσα στο σωρό αποθηκευμένων σιτηρών μέσω της βιοακουστικής

Το σύστημα μας ήταν 100% εύστοχο στις αρνητικές προβλέψεις (πρόβλεψη μη ύπαρξης εντόμου όταν πραγματικά δεν υπήρχαν έντομα) και πολύ επιτυχημένο στις θετικές προβλέψεις (πρόβλεψη ύπαρξης έστω ενός εντόμου όταν πραγματικά υπήρχαν έντομα). Αναλυτικότερα, η πρόβλεψη ύπαρξης προσβολής ήταν εσφαλμένα αρνητική σε ποσοστό 50-70%, 30-60%, 0-20% και 0-10% όταν η πληθυσμιακή πυκνότητα των εντόμων ήταν 0.1, 0.5, 1 και 2 ακμαία/ Kgr, αντίστοιχα, ανεξάρτητα από το είδος του εντόμου. Οι αντίστοιχες τιμές για τις προνύμφες ήταν 60-70%, 30-60%, 0-10% και 0-10%. (Πίνακας 2)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΕΠΙΤΥΧΗΜΕΝΕΣ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ (% ΘΕΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ) ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΕΝΤΟΜΩΝ ΣΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΟ ΣΙΤΑΡΙ.

		Adults						Larvae			
		<i>S. oryzae</i>	<i>R. dominica</i>	<i>T. confusum</i>	<i>Q. surinamensis</i>	<i>T. granarium</i>	<i>L. serricorne</i>	<i>C. ferrugineus</i>	<i>T. confusum</i>	<i>T. granarium</i>	<i>E. kuehniella</i>
Insect Density (insects / Kgr wheat)	0,1 <sup>a</sup>	40%	30%	50%	30%	30%	30%	40%	40%	30%	30%
	0,5 <sup>b</sup>	70%	60%	70%	70%	60%	60%	40%	60%	40%	70%
	1	100%	100%	90%	100%	90%	100%	90%	90%	90%	100%
	2	100%	100%	100%	100%	90%	100%	100%	100%	90%	100%
	10	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	50	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

n = 10, a Ένα έντομο σε 10 Kgr σιταριού, b Ένα έντομο σε 2 Kgr σιταριού

Το σύστημα ήταν πολύ αποτελεσματικό (90-100%) στον εντοπισμό ενός εντόμου σε 1 Kgr σπόρων σιταριού. Το όριο αυτό είναι και πρακτικά το πιο σύνηθες όριο που θέτουν οι παραγωγοί για τον χαρακτηρισμό ενός προϊόντος ως προσβεβλημένο ή μη. Το πιο εντυπωσιακό από τα αποτελέσματα ήταν το γεγονός ότι έγινε εντοπισμός εντόμων ακόμα και σε πολύ χαμηλές πληθυσμιακές πυκνότητες (0.1-0.5 insects/ Kgr grain). Κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό με τις σημερινές μεθόδους ανίχνευσης εντόμων σε αποθηκευμένα προϊόντα (κοσκίνισμα, οπτικός έλεγχος, παγίδες, κ.α.) [12].

Επιπρόσθετα, το σύστημα ήταν πάντα επιτυχημένο (100%) όταν η πληθυσμιακή πυκνότητα ήταν  $> 2$  άτομα / Kgr ανεξάρτητα από το είδος εντόμου ή το στάδιο ανάπτυξης (Πίνακας 2).

Παρόμοια συστήματα ακουστικής ανίχνευσης έχουν αναπτυχθεί στο παρελθόν [5,6,9,10]. Τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα περιγράφονται σε μία πρόσφατη ανασκόπηση [11]. Υπάρχει μεγάλη παραλλακτικότητα όσον αφορά στην ακρίβεια μεταξύ των συστημάτων αυτών, έκαστος έχοντας διαφορετικά μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα. Με την πρόοδο όμως της ακουστικής τεχνολογίας και όσο αυξάνονται οι δυνατότητες και μειώνεται το κόστος των ακουστικών εξαρτημάτων, η βιοακουστική θα αποτελέσει ένα πολύ σημαντικό όπλο για την ανίχνευση εντόμων και εκτίμηση των πληθυσμών τους στις αποθήκες γεωργικών προϊόντων.

#### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ ΙΙΙ. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] SPSS Inc. (2006) SPSS for windows, version 15.0. SPSS Inc., Chicago, IL
- [2] SAS Institute Inc., 2007. JMP User's Guide, Version 7. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- [3] Hagstrum D.W. 1991. Automated acoustical detection of stored-grain insects and its potential in reducing insect problems. Proceedings of the 5th International Working Conference on Stored-Product Protection Bordeaux, France, 1341-1350pp
- [4] Hagstrum D.W. 1991. Automated acoustical detection of stored-grain insects and its potential in reducing insect problems. Proceedings of the 5th International Working Conference on Stored-Product Protection Bordeaux, France, 1341-1350pp
- [5] Hagstrum, D. W.; Flinn, P.W. ; Shuman, D. 1994. Acoustical monitoring of stored-grain insects: An automated system Highley, E.; Wright, E.J.; Banks, H.J.; Champ, B.R. (Eds.), Stored Product Protection, Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-Product Protection, 17-23 April 1994, Canberra, Australia. CAB International, Wallingford, United Kingdom, 403-405p
- [6] Hagstrum, D. W.; Flinn, P.W. ; Shuman, D. 1996. Automated Monitoring Using Acoustical Sensors for Insects in Farm-Stored Wheat J. Econ.Entomol.89(1): 211-217
- [7] Leblanc, G., & F. Fleurat-Lessard. 2009. Experimental study of acoustic equipments for real-time insect detection in grain bins – Assessment of their potential for infestation risk prediction during long term storage periods. Integrated protection of stored products - Campobasso, Italy, 29 June – 2 July 2009
- [8] Fleurat-Lessard F, B.Tomasini, L. Kostine, and B. Fuzeau. 2006. Acoustic detection and automatic identification of insect stages activity in grain bulks by noise spectra processing through classification algorithms, pp. 476-486. In I. Lorini, B. Bacaltchuk, H. Beckel, D. Deckers, E. Sundfeld, J. P. Dos Santos, J. D. Biagi, J. C. Celaro, L. R. D'A Faroni, L. de., and O. F. Bortolini (eds.), Proc. 9th International Working Conference on Stored Product Protection, October 15-18, 2006, Sao Paulo Brazil 2006.
- [9] Vick, K.W., J.C. Webb, D.W. Hagstrum, B.A. Weaver and C.A. Litzkow. 1988. A Sound-Insulated Room Suitable for Use with an Acoustic Insect Detection System and Design Parameters for a Grain Sample Holding Container Fl. Ent., 71: 478-484
- [10] Webb, J.C., D.C. Slaughter, and C.A. Litzkow. 1988. Symposium on Agroacoustics: Acoustical System to Detect Larvae in Infested Commodities . Fl. Ent., 71: 492-504
- [11] Mankin, R.W., D.W. Hagstrum, M.T. Smith, A.L. Roda and M.T.K. Kairo. 2011. Perspective and Promise: a Century of Insect Acoustic Detection and Monitoring Am.Ent. 57: 30-44
- [12] Neethirajan, S. C. Karunakaran, D.S. Jayas & N.D.G. White 2007. Detection techniques for stored-product insects in grain. Food Control, 18: 157–162