

ΦΟΡΗΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΕΡΓΑΤΗ-ΔΕΝΔΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΦΡΟΝΤΙΔΕΣ ΚΑΙ ΤΗ ΧΕΙΡΟΣΥΛΛΟΓΗ ΣΕ ΟΠΩΡΩΝΕΣ

Ι.Γ. Αμπατζίδης¹ και Σ.Γ. Βουγιούκας²

¹Center for Precision and Automated Agricultural Systems, Washington State University, 99350 Prosser, WA, USA, e-mail: yiannis.ampatzidis@wsu.edu

²Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, 54124 Θεσσαλονίκη. Email: bougis@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συσχέτιση των εργατών με τα δένδρα που επισκέφτηκαν και η καταγραφή των κινήσεών τους, κατά τις καλλιεργητικές φροντίδες και τη χειροσυλλογή των καρπών, μπορεί να παρέχει τη δυνατότητα της εκτίμησης της απόδοσης τόσο της «ποσοτικής» όσο και της «ποιοτικής» τους εργασίας. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα φορητό ηλεκτρονικό σύστημα για την αυτόματη καταγραφή της κίνησης του εργάτη, τη συσχέτιση εργάτη-δένδρων καθώς και τον καθορισμό της σειράς επίσκεψης των δένδρων από τον εργάτη. Επίσης, αναπτύχθηκε ένα λογισμικό σε C++ και Matlab ώστε να καταγράφεται η κίνηση του εργάτη μέσα στον οπωρώνα και να παράγεται η σειρά επίσκεψης στα δένδρα. Το συστήματος αυτό αξιολογήθηκε στον αγρό κατά τη χειροσυλλογή των καρπών.

Λέξεις κλειδιά: καταγραφή θέσης, φορητό σύστημα, χειροσυλλογή, γεωργία ακριβείας

A WEARABLE SYSTEM FOR ASSOCIATING WORKERS TO PRODUCING TREE(S) DURING ORCHARD CANOPY MANAGEMENT AND FRUIT HARVEST OPERATIONS

Y. G. Ampatzidis¹ and S. G. Vougioukas²

¹Center for Precision and Automated Agricultural Systems, Washington State University, 99350 Prosser, WA, USA, e-mail: yiannis.ampatzidis@wsu.edu

²Aristotle University of Thessaloniki, Department of Agricultural Engineering, 54124 Thessaloniki, Greece. E-mail: bougis@agro.auth.gr

ABSTRACT

The association between producing tree(s) and fruit pickers as well as the recording of the pickers relative displacement could provide information on efficiency and working hours of an individual worker. In this paper an automated wearable system was implemented and evaluated in order to establish the association between fruit-producing tree(s) and fruit pickers, as well as the sequence of the trees the picker visited. The system consists of a) a wearable Dead Reckoning Module (Honeywell DRM®) 4000 and b) a portable barcode reader. An algorithm was developed in C++ and Matlab to generate the sequence of visited trees. The accuracy and reliability of the proposed system was evaluated during the picker's movement inside two neighboring orchards. The fruit picker's movement was captured accurately and the association between producing tree(s) and fruit picker was established.

Keywords: position monitoring, wearable system, manual harvesting, precision farming

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ακρίβεια των δεδομένων αγρού που καταγράφονται και επομένως οι αποφάσεις που θα ληφθούν βάσει αυτών για τη διαχείριση του αγροκτήματος εξαρτώνται από την αξιοπιστία και το χρόνο λήψης των δεδομένων. Η δυσκολία συλλογής και καταγραφής των απαραίτητων πληροφοριών, κυρίως σε εργασίες χειρονακτικές, οφείλεται στο πολύπλοκο περιβάλλον των ανοικτών αγροτεμαχίων, με μη δομημένο σχήμα, ποικίλων διαστάσεων και μεγέθους αγροτεμαχίων, άμεσα εξαρτημένων από το περιβάλλον προϊόντων και από χαμηλού μορφωτικού επιπέδου, μη εξειδικευμένους εργάτες (Αμπατζίδης, 2010).

Μία εργασία που πραγματοποιείται κυρίως με εργάτες είναι η συγκομιδή φρούτων και οπωροκηπευτικών, γεγονός που καθιστά δυσχερέστατη την αυτόματη συλλογή δεδομένων αγρού. Πληροφορία όπως: ποιος συνέλλεξε τον καρπό, από ποιο δένδρο, σε ποιο τελάρo τοποθετήθηκε ο καρπός, τι ώρα, κλπ είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για ιχνηλασιμότητα αλλά και χαρτογράφηση ποσότητας και ποιότητας παραγωγής (γεωργία ακριβείας). Η εξέλιξη των αισθητήρων και γενικά των τεχνολογιών καταγραφής πληροφοριών κυρίως για βιομηχανικές εφαρμογές, όπως τα RFID (**R**adio **F**requency **I**dentification), τα MEMS (**M**icro-**E**lectro-**M**echanical Systems) κτλ., μπορεί να προσφέρει μια καινοτόμα προοπτική αναθεώρησης του συστήματος συλλογής πληροφοριών χωρίς να επεμβαίνει και να επηρεάζει το παραδοσιακό σύστημα εκτέλεσης των εργασιών αγρού.

Αρκετά συστήματα έχουν εφαρμοστεί, χρησιμοποιώντας νέες τεχνολογίες, για τη χαρτογράφηση της παραγωγής σε οπωρώνες, στο εξωτερικό, κυρίως για εφαρμογές στη γεωργία ακριβείας, με ενθαρρυντικά αποτελέσματα (Whitney et al., 2001; Schueller et al., 1999). Επίσης, συστήματα για συλλογή περιορισμένων δεδομένων αγρού με χρήση της κινητής τηλεφωνίας (GSM-SMS), έχουν αναπτυχθεί και δοκιμαστεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα (Charvat et al., 2006; Cunha et al., 2010). Συστήματα RFID έχουν συνδυαστεί με GPS για την ανίχνευση των πρέμνων (εμφύτευση παθητικών ετικετών RFID σε πρέμνα) σε αμπελώνες (Luvisi et al., 2010; Bandinelli et al., 2009), για την καταγραφή ασθενειών σε φυτά (Kumagai and Miller, 2006) και για την «εντός αγρού ιχνηλασιμότητα» των προϊόντων (Ampatzidis and Vougioukas, 2009; Ampatzidis et al., 2009).

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται και αξιολογείται ένα φορητό σύστημα για την καταγραφή της κίνησης των εργατών, τη συσχέτιση των εργατών με τα δένδρα τα οποία επισκέφτηκαν, καθώς και τον υπολογισμό της σειρά με την οποία επισκέφτηκαν οι εργάτες τα δέντρα. Παρακάτω αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών και στη συνέχεια παρουσιάζεται η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη συσχέτιση εργάτη με τα δένδρα τα οποία επισκέφτηκε. Τέλος, αξιολογείται το προτεινόμενο σύστημα στον αγρό.

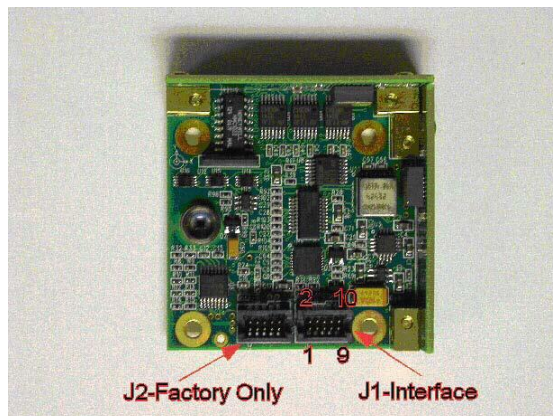
2. ΥΛΙΚΑ-ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Για την παρακολούθηση της πορείας των εργατών κάθε χρονική στιγμή, κατά τη χειροσυλλογή των καρπών και τοποθέτησή τους στα τελάρα (ή το κλάδευμα των δένδρων) χρησιμοποιήθηκαν και συνδυάστηκαν οι τεχνολογίες: i) Dead Reckoning Module (DRM™) 4000 και ii) ένας αναγνώστης γραμμωτών κωδικών (Barcode Reader).

2.1 DEAD RECKONING MODULE (DRM™) 4000

Το DRM 4000 είναι μία μικρή ηλεκτρονική συσκευή η οποία μπορεί να ανιχνεύσει την κίνηση ενός ανθρώπου (βηματισμό) καθώς και τον προσανατολισμό του και επομένως μπορεί να υπολογίσει τη σχετική του θέση από ένα σημεία αναφοράς (σημείο εκκίνησης).

Μπορεί επίσης, να συνδεθεί με ένα GPS και να δεχθεί δεδομένα NMEA για να βελτιώσει την πρόβλεψη της θέσης. Τα δεδομένα από το GPS δεν είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του DRM. Όταν όμως υπάρχουν δεδομένα από ένα GPS, τα οποία είναι καλής ποιότητας, τότε ένα εσωτερικό φίλτρο Kalman «τρέχει» για να βελτιώσει την εκτίμηση της θέσης. Το DRM βασίζει την πρόβλεψη της θέσης στο βηματισμό του χρήστη, στο μαγνητικό Βορρά και στο βαρομετρικό ύψος. Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η πλακέτα του DRM 4000 (διαστάσεις 2" επί 2" επί 0.6", βάρος 2g). Η σύνδεση J1 (10-pin interface) είναι για την επικοινωνία με το GPS, το H/Y και για την τροφοδοσία του (2.8 με 5.5 Volts). Η σύνδεση με H/Y είναι απαραίτητη για την αποθήκευση των δεδομένων του DRM.



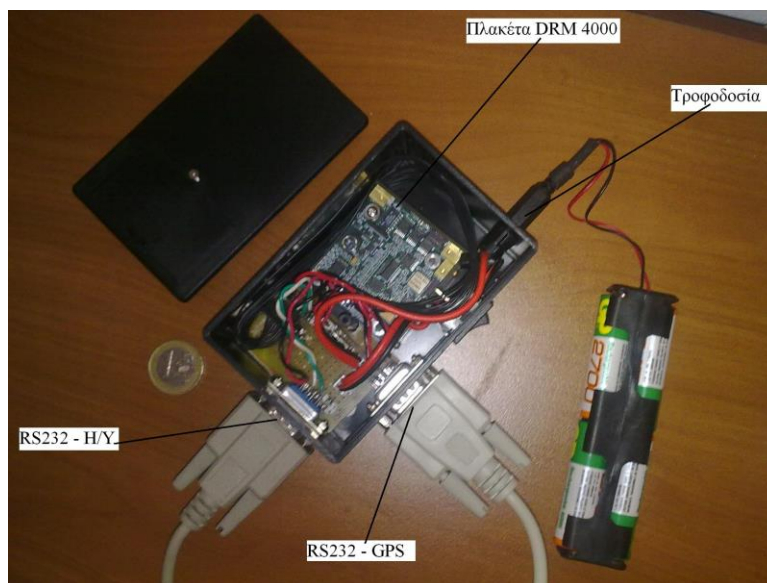
Σχήμα 1. Dead Reckoning Module DRM 4000.

Το DRMTM4000 μετρά τη μετατόπιση του χρήστη από ένα σημείο έναρξης ή από την αφετηρία με τη υπολογισμό της κατεύθυνσης και την μέτρηση της απόστασης που διανύει με κάθε βήμα του. Η κατεύθυνση της πορείας υπολογίζεται με τη χρήση μιας εσωτερικής ηλεκτρονικής πυξίδας και από γυροσκοπία. Η απόσταση που διανύει ο χρήστης υπολογίζεται με τον βηματισμό του χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από επιταχυνσιόμετρα. Εάν το σημείο εκκίνησης είναι γνωστό, η απόσταση και η κατεύθυνση κάθε βήματος μπορεί να υπολογιστεί και επομένως να εκτιμηθεί η θέση του χρήστη οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Όταν υπάρχουν δεδομένα από ένα GPS (δεν είναι ενσωματωμένο με την πλακέτα) διορθώνεται ο υπολογισμός της θέσης και του προσανατολισμού, αφού «τρέξει» το φίλτρο Kalman και βάσει της ποιότητας των δεδομένων του GPS (αριθμός δορυφόρων, HDOP).

Το σφάλμα του DRM (κατασκευαστικά στοιχεία) στον υπολογισμό της θέσης του χρήστη είναι 2%, χωρίς τη βελτίωση της θέσης από το GPS. Το σφάλμα αυτό συσσωρεύεται κατά τη διάρκεια της κίνησης του χρήστη με αποτέλεσμα μετά από κάποιο χρονικό διάστημα ο υπολογισμός της θέσης του χρήστη να μην είναι ακριβής. Επιπλέον, πρέπει να συνυπολογιστεί και το σφάλμα της πυξίδας του DRM ή οποιαδήποτε παρεμβολή (π.χ. μεταλλική) που μπορεί να αυξήσει το σφάλμα στους υπολογισμούς της θέσης. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η διόρθωση στις μετρήσεις του DRM (π.χ. με αξιόπιστα δεδομένα από το GPS) είναι απαραίτητη.

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η τοποθέτηση του DRM 4000 σε ένα κουτί στο οποίο υπάρχουν τρεις θύρες, μία για την αμφίδρομη σειριακή επικοινωνία (RS232) με τον Y/H, μία για τη μονόδρομη σειριακή επικοινωνία (RS232) με το GPS και μία για την τροφοδοσία του DRM. Στο σχήμα αυτό τοποθετήθηκε και ένα κέρμα του ενός ευρώ για να γίνει πιο εύκολα αντιληπτό το μέγεθος τόσο της πλακέτας DRM 4000 όσο και του κουτιού.

Στα σχήμα 4α αναπαριστάται η σύνδεση (επικοινωνία) του DRM4000 με τον Η/Υ και το GPS. Το κουτί και κατά συνέπεια η πλακέτα DRM 4000 προτείνεται να τοποθετηθεί στην πλάτη του χρήστη και μακριά από μεταλλικά αντικείμενα.



Σχήμα 2. Τοποθέτηση της πλακέτας DRM 4000 σε κουτί με τρεις θύρες: i) για τροφοδοσία, ii) επικοινωνία με Η/Υ και iii) επικοινωνία με GPS.

2.2 ΑΝΑΓΝΩΣΤΗΣ ΓΡΑΜΜΩΤΩΝ ΚΩΔΙΚΩΝ (BARCODE READER)

Ο αναγνώστης γραμμωτών κωδικών (barcode reader), μοντέλο TC1100 της εταιρίας Datalogic (σχήμα 3), είναι ένα γραμμικό σκάνερ που διαβάζει γραμμωτούς κώδικες με μία CCD κάμερα (3648 εικονοστοιχείων), το οποίο εκτελεί 270 σκαναρίσματα/s. Ανιχνεύει τους γραμμωτούς κωδικούς σε απόσταση 20-40 cm, κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, ανάλογα με το μέγεθός τους και τη γωνία ανίχνευσης. Λειτουργεί με 5 V dc (+5%), κατανάλωση 1.5 W, με τρεις εναλλακτικούς τρόπους επικοινωνίας με Η/Υ (RS-232, Wedge και Pen Emulation). Το σκάνερ προγραμματίστηκε να λειτουργεί «αυτόματα» ώστε να μπορεί να ανιχνεύει και να καταγράφει κωδικούς συνεχόμενα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει κάποιος κωδικός (barcode) στην ζώνη ανίχνευσης του αναγνώστη, τότε καμία πληροφορία δεν μεταδίδεται από τη σειριακή θύρα.



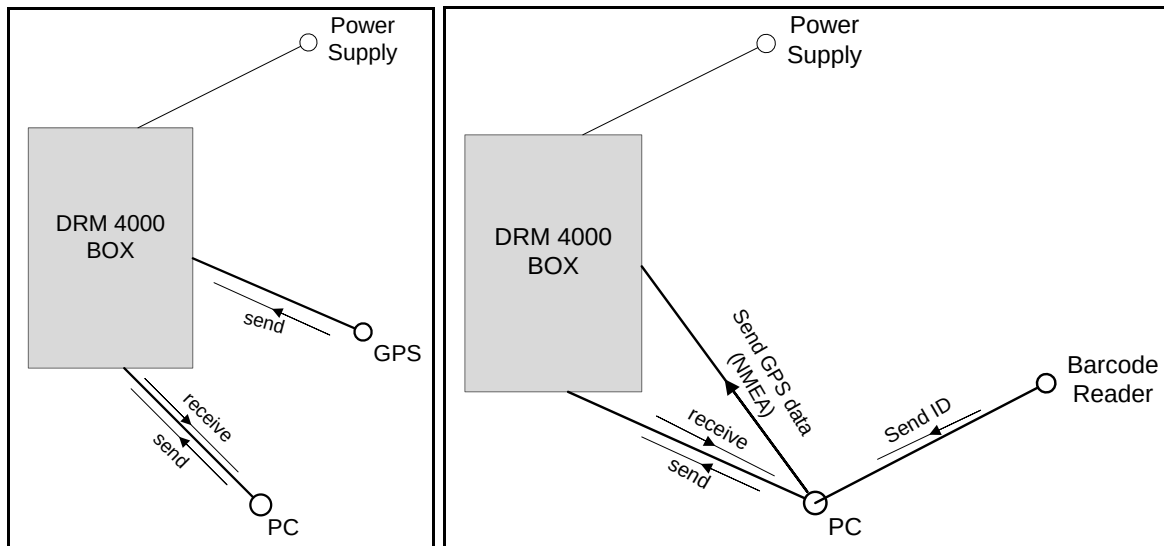
Σχήμα 3. Αναγνώστης γραμμωτών κωδικών, μοντέλο TC1100 της εταιρίας Datalogic.

3. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ: ΣΥΣΤΗΜΑ DRM-BARCODE

Από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στον αγρό βρέθηκε ότι το σφάλμα στον υπολογισμό της θέσης του χρήστη, από το DRM, είναι μεγαλύτερο του 2% (Αμπατζίδης, 2010), στο οποίο πρέπει να συνυπολογιστούν και τυχόν παρεμβολές από μεταλλικά αντικείμενα. Το σφάλμα αυτό κρίνεται πολύ μεγάλο για την παρακολούθηση της κίνησης των εργατών, κατά τη διαδικασία της χειροσυλλογής των καρπών. Στις εφαρμογές αυτές πρέπει να είναι γνωστό σε ποιο δένδρο βρίσκεται (ποιο δένδρο συγκομίζει) ο εργάτης και ένα σφάλμα του μεγέθους αυτού μπορεί να οδηγήσει σε μη ορθή συσχέτιση της θέσης του εργάτη με το δένδρο το οποίο επισκέφτηκε. Επομένως, η διόρθωση του υπολογισμού της θέσης, από το DRM, του χρήστη κατά τακτά χρονικά διαστήματα κρίνεται αναγκαία. Η χρήση ενός διαφορικού DGPS, με σφάλμα στις μετρήσεις περίπου 20 cm, το οποίο θα συνδέονταν με το DRM, θα βοηθούσε στη διόρθωση της θέσης. Αντίθετα, ένα απλό GPS, με σφάλμα στις μετρήσεις περίπου 2 m, θα δημιουργούσε περισσότερα σφάλματα στον υπολογισμό της θέσης του χρήστη. Επειδή ένα διαφορικό DGPS δεν είναι εύκολα φορητό σε έναν εργάτη, λόγω του όγκου και του βάρους του, αλλά και επειδή τα δεδομένα από το DGPS είναι ασυνεχή και χαμηλής ακρίβειας σε οπωρώνες με σχετικά μεγάλα δένδρα, με μεγάλη επιφάνεια φυλλώματος (κόμη), επιλέχτηκε μία διαφορετική προσέγγιση για τη βελτίωση του υπολογισμού της θέσης από το DRM.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε (σύστημα DRM-barcode) για την παρακολούθηση της κίνησης του εργάτη κατά την διάρκεια της χειροσυλλογής των καρπών είναι:

- i. Ετικέτες γραμμωτών κωδικών (barcodes) επικολλήθηκαν σε κάθε δένδρο. Έτσι, δημιουργήθηκε ένας πίνακας (ή μία βάση δεδομένων) L ο οποίος περιέχει τον κωδικό (barcode-ID) του κάθε δένδρου m_j και τη γεωγραφική του θέση $(x_{m_j}, y_{m_j}) = L(m_j)$.
- ii. Το DRM τοποθετήθηκε στην πλάτη του εργάτη, για τον υπολογισμό της θέσης του και συνδέθηκε με τον H/Y (αμφίδρομη επικοινωνία, σχήμα 4β).
- iii. Ένας αναγνώστης barcode, ο οποίος τοποθετήθηκε στο χέρι του εργάτη (χρήστη), συνδέθηκε με τον H/Y, ο οποίος συνδέθηκε με το DRM στη θύρα του GPS (RS-232, σχήμα 4β).
- iv. Αναπτύχθηκε λογισμικό (σε γλώσσα C++) έτσι ώστε κάθε φορά που ο αναγνώστης barcode διαβάζει έναν γραμμωτό κωδικό (m_j), από ένα δένδρο, να ανιχνεύει τις συντεταγμένες του x_{m_j}, y_{m_j} (πίνακας L), να κατασκευάζει μία γραμματοσειρά NMEA (πρωτόκολλο GPS) με τις συντεταγμένες αυτές (με ποιότητα σήματος «άριστη») και να τη στέλνει (σειριακά) στο DRM (σχήμα 4β).
- v. Ο εργάτης θα πρέπει κάθε φορά που επισκέπτεται ένα δένδρο να ανιχνεύει, με τον αναγνώστη barcode, τον κωδικό του δένδρου, έτσι ώστε το λογισμικό να προσομοιώνει και να στέλνει στο DRM ένα σήμα GPS, με τις συντεταγμένες του δέντρου, ώστε να βελτιώνεται ο υπολογισμός της θέσης του χρήστη.



α)

β)

Σχήμα 4. α) Επικοινωνία του DRM 4000 με τον Η/Υ και το GPS. β) Τροποποίηση: σύνδεση του αναγνώστη barcode με τον Η/Υ, όπου μετατρέπεται το ID του δένδρου σε γραμματοσειρά NMEA και στέλνεται στο DRM μέσω της θύρα του GPS.

Με την μεθοδολογία αυτή προσομοιώνονται, ουσιαστικά, τα δεδομένα του GPS με τη χρήση του αναγνώστη barcode και του λογισμικού που αναπτύχθηκε. Η θέση κάθε δέντρου στον αγρό μπορεί να υπολογιστεί, μία φορά, με τη χρήση ενός DGPS και να κατασκευαστεί ο χάρτης των δένδρων. Το λογισμικό διαβάζει, μέσω του αναγνώστη barcode, τον κωδικό του δένδρου m_j (γραμμωτό κωδικό), ανατρέχει στον πίνακα L και βρίσκει τις συντεταγμένες του x_{m_j}, y_{m_j} , κατασκευάζει μία γραμματοσειρά, βάσει του πρωτοκόλλου NMEA, με τις συντεταγμένες αυτές και με ποιότητα σήματος «άριστη» (quality=2 “DGPS signal”, HDOP=0.2, Number of satellites=12) και τέλος στέλνει τη γραμματοσειρά αυτή στο DRM. Στη συνέχεια το DRM «τρέχει» το εσωτερικό φίλτρο Kalman και διορθώνει τη θέση του χρήστη. Επειδή, κάθε φορά που ανιχνεύεται ένας κωδικός barcode στέλνεται και ένα σήμα άριστης ακρίβειας, αφού η θέση κάθε δένδρου έχει μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια, στο DRM, αυτό βασίζεται μόνο στα δεδομένα αυτά (προσομοιωμένα δεδομένα GPS) και διορθώνει τον προσδιορισμό της θέσης. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται κατά πολύ η ακρίβεια του DRM και κατά επέκταση ο προσδιορισμός της θέσης του χρήστη. Τα δεδομένα από το DRM αλλά και από τον αναγνώστη γραμμωτών κωδικών αποθηκεύονται στον Η /Υ, ο οποίος είναι συνδεδεμένος σειριακά (RS-232) με το DRM.

Τέλος, αναπτύχθηκε ένα λογισμικό σε C++ και Matlab το οποίο αναλύει τα δεδομένα του DRM και του barcode reader ώστε να καταγράφεται η κίνηση του εργάτη μέσα στον οπωρώνα και να παράγεται η σειρά επίσκεψης στα δένδρα (συσχέτιση εργάτη-δένδρων).

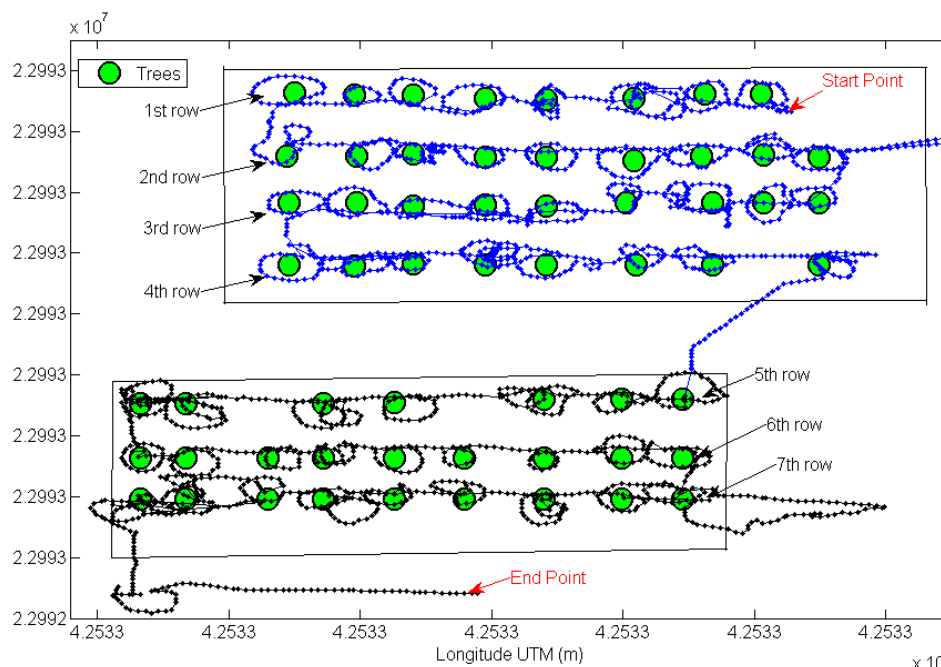
3.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Το σύστημα DRM-Barcode τοποθετήθηκε σε έναν εργάτη-χρήστη για την καταγραφή της πορείας του, κατά την προσομοίωση της διαδικασίας της χειροσυλλογής των καρπών σε δύο γειτονικούς οπωρώνες. Οι οπωρώνες αυτοί βρίσκονται στο αγρόκτημα της γεωπονικής σχολής του Α.Π.Θ. Για τη χαρτογράφηση της θέσης των δέντρων στους

δύο οπωρώνες (σχήμα 5) χρησιμοποιήθηκε ένα διαφορικό DGPS και ένα laser μέτρησης της απόστασης, με ακρίβεια χιλιοστών. Οι αποστάσεις φύτευσης των δέντρων ήταν περίπου 4.5-5 x 5-6 m.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται η καταγραφή της πορείας του εργάτη, από το σύστημα DRM-Barcode, κατά τη διαδικασία της συγκομιδής. Με μπλε χρώμα παρουσιάζεται η κίνηση του εργάτη στον 1^ο οπωρώνα και με μαύρο στο 2^ο (σχήμα 5). Η καταγραφή της πορείας αυτής καθώς και η σειρά επίσκεψης των δένδρων από τον εργάτη συγκρίθηκαν με δεδομένα από οπτική παρατήρηση και βρέθηκε ότι το σύστημα (αλγόριθμος) κατέγραψε τη σειρά επίσκεψης των δένδρων χωρίς σφάλμα (επιτυχία 100%).



Σχήμα 5. Καταγραφή της κίνησης του εργάτη στον 1^ο (μπλε χρώμα) και στο 2^ο (μαύρο χρώμα) οπωρώνα από το σύστημα DRM-Barcode.

Γενικά, με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, σύστημα DRM-Barcode, βελτιώθηκε κατά πολύ η καταγραφή της πορείας του εργάτη και επιτεύχθηκε η συσχέτιση εργάτη-δένδρων. Ο εργάτης δεν είναι απαραίτητο να διαβάσει τους κωδικούς από όλα τα δένδρα. Εάν ένας κωδικός δένδρου δεν ανιχνευτεί, η καταγραφή της θέσης (πορείας) του εργάτη από το DRM4000 καθορίζει την συσχέτιση εργάτη-δένδρου. Είναι όμως επιθυμητό να ανιχνεύονται οι κωδικοί των δένδρων σε τακτά χρονικά διαστήματα, κυρίως όταν ο εργάτης αλλάζει γραμμή δένδρων, έτσι ώστε να διορθώνονται οι μετρήσεις του DRM4000.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μεμονωμένη χρήση της συσκευής καταγραφής της κίνησης του χρήστη (βηματισμός), DRM4000, για την ανίχνευση της πορείας του εργάτη κατά τη χειροσυλλογή των καρπών σε οπωρώνες, δίνει μη ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται στο συσσωρευμένο σφάλμα στις μετρήσεις του DRM4000 και κυρίως στον προσδιορισμό του προσανατολισμού, το οποίο οδηγεί σε εσφαλμένη συσχέτιση εργάτη-δένδρων τα οποία

επισκέφτηκε. Επιπλέον, κατά τη διαδικασία της συγκομιδής μικρές κινήσεις του χρήστη για την αποκοπή των καρπών, οι οποίες δεν είναι βηματισμοί, καταγράφονται από το DRM4000 ως βήματα (μετακίνηση) με αποτέλεσμα να αυξάνεται το σφάλμα στον προσδιορισμό της σχετικής θέσης του χρήστη.

Αντίθετα, η συνδυασμένη χρήση του DRM-Barcode και της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα τόσο για τη συσχέτιση εργάτη-δένδρων τα οποία επισκέφτηκε, όσο και για την καταγραφή της πορείας του εργάτη, κατά τη χειροσυλλογή των καρπών. Ακόμα και εάν ένας κωδικός δένδρου δεν καταγραφεί, η συσχέτιση εργάτη-δένδρου παράγεται από τα δεδομένα του DRM4000. Τα πειράματα αξιολόγησης του συστήματος DRM-Barcode, τα οποία πραγματοποιήθηκαν σε δύο γειτονικούς οπωρώνες κατά τη διαδικασία της συγκομιδής, έδειξαν ότι η βελτίωση του προσδιορισμού της θέσης του εργάτη και η συσχέτιση εργάτη-δένδρων, τα οποία επισκέφτηκε, είναι ικανοποιητική.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αμπατζίδης, Ι.Γ., 2010. *Ανάπτυξη μοντέλων χειρωνακτικής συλλογής οπωροκηπευτικών και τεχνικών αυτόματης καταγραφής δεδομένων για εφαρμογές γεωργίας ακριβείας και ιχνηλασιμότητας*. Διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- Ampatzidis, Y.G., Vougioukas, S.G., 2009. *Field experiments for evaluating the incorporation of RFID and barcode registration and digital weighing technologies in manual fruit harvesting*. Computers and Electronics in Agriculture, 66(2), 166-172.
- Ampatzidis, Y.G., Vougioukas, S.G., Bochtis, D.D., Tsatsarelis, C.A., 2009. *A yield mapping system for hand-harvested fruits based on RFID and GPS location technologies: field testing*. Precision Agriculture 10(1), 63-72.
- Bandinelli, R., Triolo, E., Luvisi, A., Pagano, M., Gini, B. and Rinaldelli, E., 2009. *Employment of radiofrequency technology (RFID) in grapevine nursery traceability*. Advances in Horticultural Science 23 (2), 75-80.
- Charvat, K., Konecny, M., Stanek, K., Horak, P., Kocab, M. and Vanis, P., 2006. *Impact factors for mobile internet applications in the agri-food sectors*. In: Computers in Agriculture and Natural Resources, 4th World Congress Conference, Orlando, FL, USA, July 24-26, 2006.
- Cunha, C. R., Peres, E., Morais, R., Oliveira, A. A., Matos, S. G., Fernandes, M. A., Ferreira, P. J. S. G. and Reis, M. J. C. S., 2010. *The use of mobile devices with multi-tag technologies for an overall contextualized vineyard management*. Computers and electronics in agriculture, 73(2010): 154-164.
- Luvisi, A., Triolo, E., Rinaldelli, E., Bandinelli, R., Paganob, M. and Gini, B., 2009. *Radiofrequency applications in grapevine: From vineyard to web*. Computers and Electronics in Agriculture, 70, 256-259.
- Kumagai, M.H. and Miller, P., 2006. Development of electronic barcodes for use in plant pathology and functional genomics. Plant Molecular Biology 61, 515-523.
- Schueller, J.K., Whitney, J.D., Wheaton, T.A., Miller, W.M. and Turner, A.E., 1999. *Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus*. Computers and Electronics in Agriculture 23(2): 145-154.
- Whitney, J. D., Ling, Q., Wheaton, T. A. and Miller, W. M., 2001b. *A citrus harvesting labor tracking and yield mapping system*. Applied Engineering in Agriculture 17(2): 121-125.

ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Α.Αναστασίου¹, Δ. Σάββας², Κ.Γ. Αρβανίτης¹ και Ν.Α.Συγριμής¹

¹Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Γ.Π.Α.

²Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Γ.Π.Α.

Ιερά Οδός 75, Βοτανικός 11855, Αθήνα

Imac4ana@aua.gr, dsavvas@aua.gr, karvan@aua.gr, ns@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία παρουσιάζει ένα σύστημα διαχείρισης άρδευσης ακριβείας, ιδιαίτερα χρηστικό σε περιπτώσεις νερού περιορισμένης διαθεσιμότητας και ποιότητας. Το υλικό του συστήματος συντίθεται από ένα χαμηλού κόστους και συντήρησης διηλεκτρικό τενσιόμετρο και από ελεγκτές άρδευσης ή λίπανσης. Το λογισμικό περιλαμβάνει ένα πλήρες Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων βασισμένο στον Ιστό, που απαρτίζεται από έναν έμπειρο σχεδιαστή ζωνών καλλιέργειας και έναν προγραμματιστή άρδευσης, βασισμένο σε μοντέλα φυτικών αναγκών σε νερό και σε υπολογισμούς απορρόφησης νερού και λιπασμάτων. Το σύστημα είναι κλιμακούμενου αριθμού ζωνών και αποτελείται από: (1) ένα εργαλείο συλλογής δεδομένων, που αποστέλλει αγρονομικά στοιχεία από τις παρακολουθούμενες καλλιέργειες σε μία κεντρική βάση δεδομένων Ιστού, και (2) από ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων βασισμένο στον Ιστό, που επεξεργάζεται ευφυώς τα δεδομένα της καλλιέργειας και τροφοδοτεί τον ελεγκτή λίπανσης με οδηγίες για τον προγραμματισμό χρήσης του νερού και την τροφοδοσία με λιπάσματα.

Λέξεις κλειδιά: Υποστήριξη αποφάσεων, υδατικές ανάγκες καλλιεργειών, υδροπονία, υπηρεσίες Ιστού.

DECISION SUPPORT FOR OPTIMIZED IRRIGATION SCHEDULING

A.Anastasiou¹, D.Savvas², K.G. Arvanitis¹ and N.A.Sigrimis¹

¹Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering, A.U.A.

²Department of Crop Science, A.U.A.

75 Iera Odos Str., Botanikos 11855, Athens, Greece

Imac4ana@aua.gr, dsavvas@aua.gr, karvan@aua.gr, ns@aua.gr

ABSTRACT

The paper presents a precision irrigation management system, useful in situations where the water availability and quality is limited. The system hardware consists of a maintenance-free low cost dielectric tensionmeter and several low-end irrigation or fertigation controllers. The system software includes a complete, web based, Decision Support System that consists of an expert planner for farm zoning and an irrigation scheduler, based on crop-water stress models and water and nutrient uptake calculations. The system is scalable from one to many zones and consists of: (1) a data gathering tool that uploads agronomic data from monitored crops to a central web DB, and (2) a web based DSS that processes intelligently the data of the crop and downloads to the fertigation controller a command file containing water scheduling and nutrient supply guidelines.

Key words: Decision Support, crop water requirements, hydroponics, Web services.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

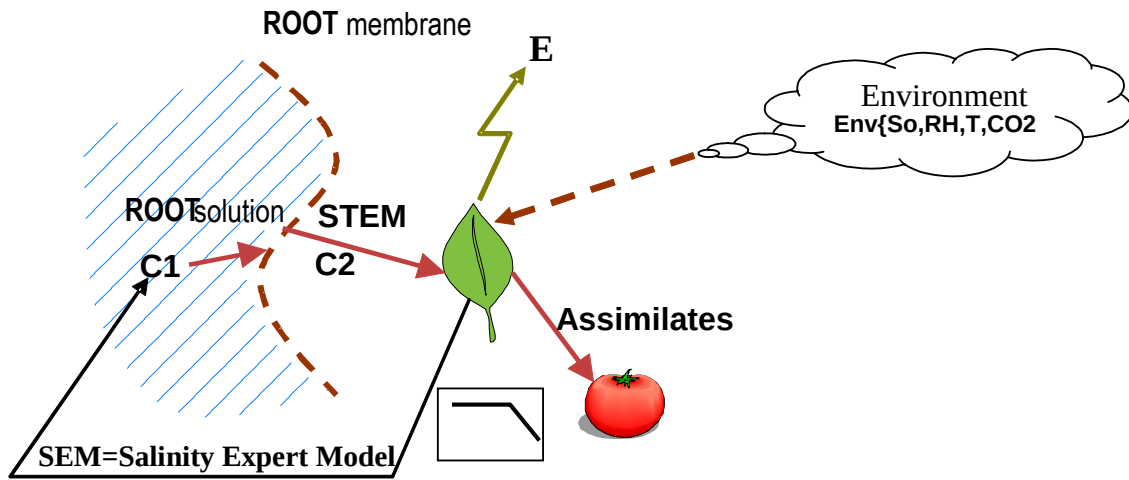
Δεδομένου ότι σήμερα υπάρχουν διαθέσιμα μοντέλα απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά, που επιτρέπουν την καλύτερη προσαρμογή του ανακυκλούμενου διαλύματος λιπασμάτων, είναι πλέον δυνατή η ανάπτυξη ενός Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, βασισμένου σε αυτά τα μοντέλα απορρόφησης λιπασμάτων. Ένα τέτοιο σύστημα προσφέρει ένα εργαλείο για καλύτερη διαχείριση των συστημάτων άρδευσης με στόχο την περιστολή της σπατάλης νερού και λιπασμάτων και την μείωση της επίδρασης στο περιβάλλον (Sigrimis *et al.*, 2001, Ferentinis *et al* 2003, Anastasiou *et al* 2005). Ο στόχος του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων είναι η ανάπτυξη μίας ευαίσθητης στρατηγικής πλαισίου για τη διαχείριση της άρδευσης και της τροφοδοσίας λιπασμάτων σε κλειστά ή ανοικτά συστήματα άρδευσης με περιορισμούς στην ποσότητα και την ποιότητα του διαθέσιμου νερού. Οι οικονομικοί (όπως η ποιότητα και η ποσότητα της απόδοσης της καλλιέργειας) και οι οικολογικοί (όπως η μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα, η διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος) παράγοντες, που επηρεάζουν τις στρατηγικές αποφάσεις λαμβάνονται επίσης υπόψη.

Η παρούσα εργασία εστιάζεται σε μοντέλα απορρόφησης λιπασμάτων, κλειστά συστήματα υδροπονίας και εξειδικευμένες τεχνολογίες για να επιτύχει στιγμιαία προσαρμογή της προσφοράς νερού στις πραγματικές ανάγκες. Υπό συνθήκες αλατότητας (Savvas *et al* 2008, Pardossi *et al* 2008) είναι κρίσιμο να γνωρίζει κάποιος τα χαρακτηριστικά της απόκρισης της απόδοσης στην αλατότητα της ειδικής καλλιέργειας ενδιαφέροντος. Υπό τέτοιες συνθήκες είναι σημαντικό να γνωρίζει κάποιος πώς να διαχειρίζεται της πηγές νερού και την έγχυση λιπασμάτων με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, σε τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιεί την κατανάλωση νερού και λιπασμάτων με ταυτόχρονο σεβασμό του περιβάλλοντος. Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα HORTIMED (www.hortimed.org) ασχολήθηκε επισταμένα με την ανεύρεση του καλύτερου δυνατού τρόπου διαχείρισης ανοικτών και κλειστών συστημάτων άρδευσης (Stanghellini *et al* 2005). Οι μέθοδοι που παρήχθησαν στον εν λόγω πρόγραμμα αναβαθμίστηκαν με το ευρωπαϊκό πρόγραμμα FLOW-AID, συμπεριλαμβάνοντας πειραματισμούς υπο συνθήκες «ελλειμματικής» άρδευσης με στόχο επιπλέον εξοικονόμηση νερού και ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών (όπως ασύρματα δίκτυα αισθητήρων για τη συλλογή κλιματικών δεδομένων, βάσεις δεδομένων Ιστού and εργαλεία συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων) ώστε να βοηθήσει τους αγρότες και να επεκταθεί στην υπηρεσία των εφαρμογών τόσο της προστατευμένης καλλιέργειας όσο και της καλλιέργειας ανοικτού πεδίου. Επιπλέον, μέσα στο πλαίσιο του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων τίθεται προς συζήτηση και η προσέγγιση του “ευφυούς αισθητήρα άρδευσης”.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ

Η μεταφορά των ιόντων (Σχήμα 1) από την συγκέντρωση C_1 (ριζικό διάλυμα) στην συγκέντρωση C_2 (ροή μίσχου) επιτυγχάνεται είτε μέσω ενεργητικών ριζικών διεργασιών μεταφοράς είτε μέσω οσμωτικών φαινομένων που αναπτύσσονται μεταξύ των φύλλων και του ριζικού διαλύματος. Πολυάριθμες βιοτικές διεργασίες και περιβαλλοντικές συνθήκες καθοδηγούν την απορρόφηση στοιχείων. Οι διεργασίες αυτές εμφανίζουν επαρκή προβλεψιμότητα μόνο υπό κανονικές συνθήκες διαβίωσης των φυτών. Για τη δημιουργία ενός μοντέλου απορρόφησης U_x , υποτίθεται ότι το φυτό συμπεριφέρεται με κανονικό τρόπο, υπό ιδανικές συνθήκες παραγωγής και πολύ μακράν από ακραίες συνθήκες ή συνθήκες πίεσης.. Η εξίσωση (4) έχει υιοθετηθεί ώστε



Σχήμα 1. Μεταφορά στοιχείων, συγκέντρωση αλατότητας και μοντέλο διαχείρισης άρδευσης

να εκφράζεται η επίδραση των κυρίαρχων περιβαλλοντικών παραγόντων (Yu *et al* 2001) ενώ η ειδική δυαδική συμπεριφορά απορρόφησης ενός ιόντος από το φυτό εκφράζεται από το κανονικό σημείο λειτουργίας ($k_{x,0}$, C_0 , EC_0 , E_0 , NE_0 , R_0). Ο παράγοντας γενίκευσης $\eta_{x,t}$ συμπεριλαμβάνεται προς ρύθμιση του περιβαλλοντικού φαινομένου υπό ειδικές συνθήκες (όπως το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, η κατάσταση υγείας των φυτών, η θερμοκρασία της ρίζας, η υδατική πίεση). Ο εν λόγω παράγοντας υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας τίθεται ίσος με τη μονάδα. Η τιμή του παράγοντα $\eta_{x,t}$ είναι δυνατόν να αποδίδεται από ειδικές έμπειρες ρουτίνες, όταν τέτοια συμπεράσματα καθίστανται διαθέσιμα μέσω της έρευνας ή της εμπειρίας.

2.2 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

2.2.1 Μετάβαση από ολοκληρωμένες χρονικές μεταβλητές σε χρονικά ανεξάρτητες μεταβλητές

Είναι γεγονός ότι ο παράγοντας $C_{U,x}$ είναι δύσκολο να μετρηθεί όσο συχνά απαιτείται, ακόμη και για πειραματικούς σκοπούς. Η ίδια δυσκολία εμφανίζεται και με τον παράγοντα E_t , εκτός και εάν επιχειρηθεί εκτίμηση μοντέλου. Ο στόχος της εργασίας είναι η ανάπτυξη μίας μεθόδου εν γραμμή προσαρμογής ενός μοντέλου εκτίμησης της στιγμιαίας E_t , με βάση μετρήσεις της συσσωρευμένης διαπνοής, *δηλαδή*, της υδατικής ισορροπίας του συστήματος, μετρώντας το νερό αναπλήρωσης και το νερό αποστράγγισης, σε κάθε κύκλο άρδευσης. Με αυτό το στόχο, η εξίσωση (1) ισχύει για ολοκληρωμένες απορροφήσεις (SU), καθώς μετρώνται κάθε (t_2-t_1) εβδομάδα ή σε μακρύτερες χρονικές περιόδους:

$$SU_{x,t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} [C_{U,x} * E]_t dt \quad (1)$$

Για την αναγκαία εκτίμηση της στιγμιαίας διαπνοής E_t ένα μοντέλο επαρκούς ακρίβειας είναι το ακόλουθο:

$$E_t = [aSo + bVPD + c\sqrt{W_{sp}} + d]_t \quad (2)$$

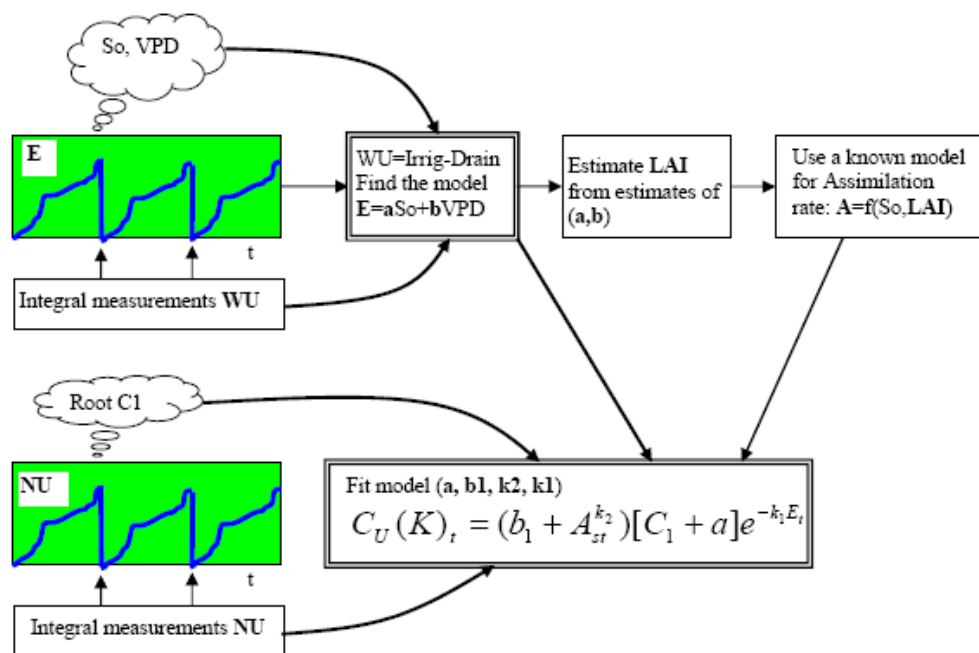
Επισημαίνεται ότι για ένα προστατευμένο περιβάλλον, όπως αυτό της θερμοκηπιακής παραγωγής, ο όρος της ταχύτητας του ανέμου δεν είναι αναγκαίος.

Η μέτρηση της στιγμιαίας διαπνοής είναι συνήθως δυνατή μέσω λυσιμέτρων ή μετρητών της ροής μίσχου ή, υπό ορισμένες υποθέσεις για τον εδαφικό όγκο της ρίζας, μέσω αισθητήρων της ζώνης της ρίζας. Πάντως, στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές, είναι διαθέσιμη μόνο η απορρόφηση νερού ως συσσωρευμένη διαπνοή μεταξύ δύο χρονικών στιγμών, *δηλαδή* μεταξύ δύο κύκλων άρδευσης ή κάθε 24 ώρες. Συνεπώς:

$$SE_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} E_t dt = \int_{t_1}^{t_2} [aSo + bVPD + c]_t dt \cong \sum_{i=n_1}^{n_2} [a\bar{So} + b\overline{VPD} + c]_i \Delta t \quad (3)$$

όπου $t_2 - t_1 = (n_2 - n_1) \Delta t$ και Δt είναι το διάστημα καταγραφής (δηλαδή κάθε 10 min), κατά τη διάρκεια του οποίου οι ποσότητες S_o και VPD καταγράφονται ως μέσα δείγματα. Μία μέθοδος εκτίμησης των παραγόντων (a,b,c) για τα διαθέσιμα δεδομένα εξηγείται λεπτομερειακά στη δημοσίευση των Sigrimis *et al* (2001). Η χρησιμοποιούμενη μέθοδος βαθμίδας είναι παρόμοια με αυτή η οποία δίδεται κατωτέρω για την προσαρμογή μοντέλου της μεταβλητής $C_{U,E}$.

Με ανάλογο τρόπο, οι απορροφήσεις ιόντων μετρώνται μόνο ως συσσωρευμένες (εξίσωση (1)), κάθε μία ή δύο ημέρες, σε καταστάσεις πειραματισμού, ή περίπου κάθε 15 ημέρες σε παραγωγικές μονάδες. Δεδομένου ότι ένα ακριβές μοντέλο της E_t λαμβάνεται με εν γραμμή παλινδρόμηση, κάνοντας χρήση της εξίσωσης (3) και της μεθόδου, η οποία αναλύθηκε ανωτέρω, το μοντέλο αυτό είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για να προσφέρει στιγμιαία δεδομένα για την εξίσωση (3). Κατά συνέπεια, το ίδιο υπολογιστικό εργαλείο είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου απορρόφησης στοιχείων της εξίσωσης (4) (Σχήμα 2). Η μέθοδος αυτή, διευκολύνει ιδιαίτερα την χρησιμότητα των καταγεγραμμένων πειραματικών δεδομένων, στην κατεύθυνση της δόμησης μοντέλων για την παράμετρο $C_{U,E}$.



Σχήμα 2. Από ολοκληρωτικές μετρήσεις σε συναρτήσεις ρυθμού

Επιλογή μοντέλου για το C_U

Η ουσιώδης μορφή $y = \frac{k_1 + k_2 x}{k_2 + x}$, η οποία κανονικοποιείται ως $y = \frac{1 + kx}{k + x}$, έχει

επιλεχθεί (Anastasiou *et al* 2005) για την ποσοτικοποίηση της συγκέντρωσης των απορροφώμενων στοιχείων, και έχει την ικανότητα έκφρασης και των δύο αυξανόμενων αποκρίσεων, δηλαδή, (α) των αυξανόμενων συγκεντρώσεων (C) στη ζώνη της ρίζας και την ένταση του φωτός (R) ή τον ρυθμό αφομοίωσης, και (β) πτωτικές τάσεις όπως αυτές που παρατηρούνται στην περίπτωση αυξανόμενης έντασης διαπνοής E.

Ένα πλήρες μοντέλο της απορροφώμενης συγκέντρωσης δίδεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$C_{U,x} = k_{x,0} \left[\frac{1 + k_{x,C} (C_t / C_0)}{k_{x,C} + (EC_t / EC_0)} \right] \left[\frac{1 + k_{x,E} (E_t / E_0)}{k_{x,E} + (NE_t / NE_0)} \right] \left[\frac{1 + k_{x,P} (R_t / R_0)}{k_{x,P} + (R_t / R_0)} \right] \quad (3)$$

όπου, C είναι η συγκέντρωση στη ζώνη της ρίζας (ppm), C_u είναι η συγκέντρωση στη ροή του χυμού (ppm), E είναι η διαπνοή ($\text{ml s}^{-1} \text{ plant}^{-1}$), NE είναι η ένταση διαπνοής ($\text{ml s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$) και R είναι η φωτοσυνθετικώς ενεργή ακτινοβολία (PAR, W m^{-2}). Οι δείκτες είναι: t για τον χρόνο, 0 για τυπικές (ή γνωστές) συνθήκες και x για το στοιχείο x. Το πλεονέκτημα της επιλεγμένης λογικής έγκειται στο γεγονός ότι ένα τεθεί $k_{x,*}=1$ (όταν δεν γνωρίζουμε την τιμή της), λαμβάνεται μοναδιαίο αποτέλεσμα.

Η αρνητική επίδραση της αλατότητας στην απόδοση των καλλιεργειών είναι δυνατόν να μειωθεί με μείωση της διαπνοής (Li *et al.*, 2001). Πειραματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της απορρόφησης λιπασμάτων και της ανοχής των φυτών σε αλατότητα (Li *et al.*, 2001; Sigrimis *et al.*, 2001). Χρησιμοποιήθηκαν, επίσης τα αποτελέσματα των εργασιών των Yu *et al.* (2001) και Savvas *et al* (2008).

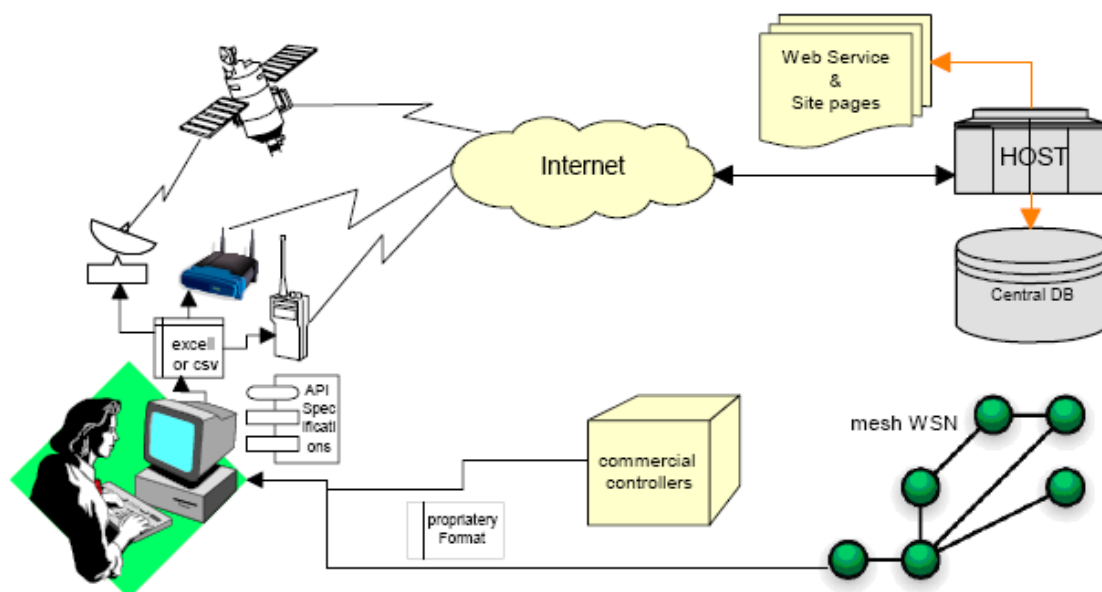
2.3 Ο ΕΥΦΥΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ

Στα πλαίσια της ανάπτυξης ενός προηγμένου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, βρίσκεται στο στάδιο της ανάπτυξης ένα ευφύες σύστημα, το οποίο θα παρακολουθεί όλες τις χρονικές αποκρίσεις από την έναρξη της άρδευσης έως το αποτύπωμα της απόκρισης του αισθητήρα υγρασίας. Η ιδέα ενός τέτοιου συστήματος έχει ως εξής: Το εγκατεστημένο σύστημα θα «μελετά» για ορισμένο χρόνο την «χρονική συμπεριφορά» του αισθητήρα και ειδικότερα τα μεταβατικά φαινόμενα τα οποία μεταφέρουν πληροφορία σχετική με τις ιδιότητες του εδάφους, την κατατομή του νερού της ριζικής ζώνης και το επίπεδο υγρασίας του εδάφους. Αυτή η προσέγγιση ενός εικονικού αισθητήρα ριζικής ζώνης (δύο αισθητήρες σε δύο διαφορετικά βάθη με ενσωματωμένη εν γραμμή ευφυΐα) είναι ένα ευφύες σύστημα για την ανάσυρση συμπερασμάτων σχετικών με τις ιδιότητες του εδάφους, την ζήτηση των φυτών σε νερό και το υδατικό έλλειμμα, το οποίο είναι επαρκές για την επιτυχή διαχείριση του νερού άρδευσης. Το εν λόγω ευφύες σύστημα θα είναι ικανό να αποφασίζει ποιον τύπο “διέγερσης” θα χρησιμοποιεί με στόχο την ασφαλή κατάληξη σε ευσταθείς εκτιμήσεις σχετικές με τις προαναφερθείσες ιδιότητες, και θα αποτελέσει τμήμα του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Το εν λόγω σύστημα συνίσταται από τα ακόλουθα τμήματα (Σχήμα 3):

1. Υλικό παρακολούθησης και ελέγχου (κόμβοι του ελεγκτή άρδευσης)
2. Λογισμικό υποστήριξης αποφάσεων για έναν προσωπικό υπολογιστή (PC)



Σχήμα 3. Διάγραμμα συλλογής δεδομένων του FLOW-AID και πιθανές επικοινωνίες

Το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων είναι μία υπηρεσία βασισμένη στον Ιστό, η οποία εκτελεί καταμερισμούς νερού ώστε να μεγιστοποιεί την αξία του και να αποδίδει προγράμματα στους ελεγκτές άρδευσης. Η υπηρεσία βασίζεται στις ακόλουθες λεπτομέρειες:

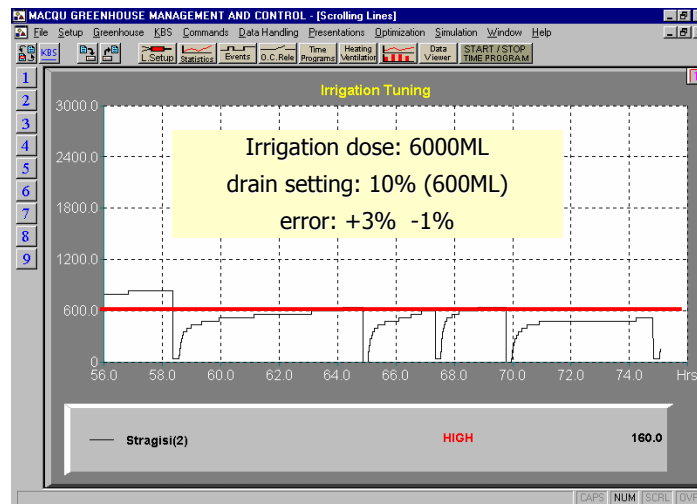
1. Συλλογή/Φόρτωση Δεδομένων. Μία μονάδα λογισμικού συλλογής δεδομένων εφοδιάζει τους αγρότες με εργαλεία εξ αποστάσεως διαχείρισης (βλέπε Σχήμα 3 και <http://143.233.183.205:6500/flowaid>) των ιστοτόπων τους (κόμβοι, κλιμακούμενος αριθμός ζωνών) και των παρακολουθούμενων μεταβλητών για κάθε κόμβο. Ένα εργαλείο φόρτωσης (Flowaid-DUP) μεταφέρει δεδομένα από τον υπολογιστή της καλλιέργειας στην βάση δεδομένων Ιστού μέσω του Διαδικτύου.

2. Διαχείριση Νερού. Ο εν λόγω πυρήνας του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων χρησιμοποιεί την πληροφορία αποτύπωσης της καλλιέργειας από ένα εργαλείο σχεδίασης/ζωνοποίησης της καλλιέργειας (π.χ. το MOPECO (Ortega et al 2004)) και μοντέλα απόκρισης της φυτείας (UNIP) για να προβεί σε καταμερισμό του διαθέσιμου νερού σε διαφορετικές ζώνες, με βάση αποφάσεις πραγματικού χρόνου.

Η αναπτυγμένη εφαρμογή υποστήριξης αποφάσεων βασίζεται σε γενικά μαθηματικά μοντέλα για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής και της απορρόφησης των βασικών λιπασμάτων (μακροστοιχείων) των φυτών. Με βάση την εκτιμώμενη εξατμισοδιαπνοή, την σύνθεση του νερού άρδευσης και την απορρόφηση λιπασμάτων, το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων είναι ικανό να υπολογίζει την ποσότητα νερού στο σύστημα και την σύνθεση του λιπάσματος σε κάθε υποσύστημα (υπόστρωμα, δεξαμενή, απορροή, κλπ.). Ταυτοχρόνως, ενεργοποιεί υπολογισμούς των εισροών και εκροών του νερού και των λιπασμάτων.

Τα προγράμματα νερού διοχετεύονται στους ελεγκτές άρδευσης σε διαφορετικές μορφές, ώστε να υπάρχει συμφωνία με τους περισσότερους εμπορικούς ελεγκτές (δυναμικά εβδομαδιαία προγράμματα, μοντέλα απορρόφησης νερού μιας ή δύο παραμέτρων ή ελεγκτές εικονικού κατωφλίου υγρασίας ριζικής ζώνης). Οι κόμβοι άρδευσης διασφαλίζουν ότι η βέλτιστα καταμερισμένη ποσότητα νερού per plot ανά αγρό εφαρμόζεται και κατανέμεται σύμφωνα με συνθήκες πραγματικού χρόνου.

Το εργαλείο WUM προσφέρει έναν αριθμό παραμέτρων που ο χρήστης μπορεί να



Σχήμα 4. Έλεγχος όγκου αποστράγγισης με ακριβείς εκτιμήσεις της παραμέτρου WU

επιλέξει και να δομήσει το δικό του WUM ενώ παρέχει δυνατότητα εκκίνησης των εκτιμώμενων παραμέτρων. Το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων στον προηγμένο τρόπο λειτουργίας του είναι ικανό να παλινδρομεί στα φορτωμένα δεδομένα του κόμβου (μέσω της βάσης δεδομένων Ιστού ή μέσω της πρωτογενούς “Μεταβλητής x”), και με αυτόν τον τρόπο να καθοδηγεί συχνές προσαρμογές μοντέλου. Σε μία περίπτωση που μελετήθηκε, αυτή η προσαρμογή για την εξίσωση (2) επέτυχε ακρίβεια πρόγνωσης του WU καλύτερη του 3%, υπό μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες, η οποία είναι ισοδύναμη των μετρητών μεγάλης ακρίβειας (Σχήμα 4). Μια τέτοια προσέγγιση διασφαλίζει ευρωστία και ευφυΐα για την ανίχνευση ανώμαλων αποκλίσεων της εξατμισοδιαπνοής, και άμεση κλήση της ρουτίνας των διαγνωστικών εργαλείων του συστήματος.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα ανοικτά υδροπονικά συστήματα, ο κύριος στόχος της διαχείρισης της άρδευσης είναι ο έλεγχος της δόσης ή της συχνότητας άρδευσης σε τρόπο, ώστε η ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού επαρκής να διατηρεί το ριζικό διάλυμα κάτω από ένα ορισμένο κατώφλι αλατότητας ή EC_{max}. Οι συνθήκες της καλλιέργειας τόσο από την άποψη του κλίματος (αερισμός, ακτινοβολία, κλπ.) όσο και από την άποψη της άρδευσης (πίεση των σωληνώσεων, έμφραξη σταλακτήρων, κλπ.) πρέπει να ρυθμίζονται προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται υπερβολικές απαιτήσεις απόπλυσης. Για την επίτευξη «ελάχιστης απόπλυσης» σε ένα ανοικτό ή ημίκλειστο σύστημα άρδευσης, πρέπει να αναπτύσσονται μέθοδοι ακριβούς εκτίμησης της πρόσληψης νερού ή απευθείας παρακολούθησης της ριζικής ζώνης. Στα ανοικτά συστήματα δεν υφίσταται ανάγκη ακριβούς εκτίμησης ή συχνής μέτρησης της πρόσληψης λιπασμάτων, διότι οι αποκλίσεις μεταξύ των προσροφώμενων και των παρεχόμενων λιπασμάτων δεν αυξάνονται ή συσσωρεύονται. Το σύστημα είναι χημικά ασφαλές και μόνο μία καλή συνταγή για εκκίνηση είναι επαρκής.

Στα κλειστά ή ημίκλειστα συστήματα άρδευσης ο βασικός στόχος είναι η διόρθωση του λιπαντικού διαλύματος με βάση την απορρόφηση λιπασμάτων και την συγκέντρωση των αλάτων. Με σωστή διαχείριση του λιπαντικού διαλύματος και του αέριου περιβάλλοντος είναι δυνατόν να επιβραδυνθεί η συσσώρευση αλάτων και συνεπώς η απορροή, γεγονός που συνεπάγεται which means εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων. Το παρόν τεχνολογικό καθεστώς επιτρέπει την παρακολούθηση του κλίματος και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και της οξύτητας (pH), ώστε να ενεργοποιείται η προσαρμογή της EC και του pH του διαλύματος τροφοδοσίας, όπως επίσης και η προσαρμογή ορισμένων μακροστοιχείων (π.χ. N/K), λαμβάνοντας υπόψη

τις ανάγκες ανάπτυξης των φυτών, με βάση έμπειρους κανόνες. Όταν θα είναι διαθέσιμα πιο ακριβή μοντέλα απορρόφησης λιπασμάτων, θα είναι επίσης δυνατή και η πιο λεπτομερής διαχείριση των λιπασμάτων εν γραμμή. Μία εκτίμηση της συσσώρευσης τοξικών στοιχείων είναι επίσης δυνατή ώστε να αποφεύγεται η δηλητηρίαση της φυτείας. Δεδομένου ότι τα κλειστά συστήματα ανακυκλοφορούν το αποστραγγιζόμενο νερό, δεν υφίσταται ανάγκη για ακριβή διαχείριση της ποσότητας άρδευσης, εκτός ίσως από την διατήρηση της κάτω από μια υπερβολική και μη αναγκαία ποσότητα, η οποία απλά υπερφορτώνει τα εξαρτήματα του συστήματος.

Με βάση τα ανωτέρω συμπεράσματα για τα ανοικτά και κλειστά συστήματα άρδευσης, η προσπάθεια του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων είναι η ελαχιστοποίηση της χρήσης νερού στα ανοικτά και η διαφοροποίηση των προσφερόμενων λιπασμάτων στα κλειστά συστήματα (για τη συντήρηση του ριζικού διαλύματος και την εξοικονόμηση λιπασμάτων και νερού). Καθίσταται όλο και περισσότερο εμφανές ότι η καλύτερη γνώση στην προσρόφηση λιπασμάτων θα είναι το βασικό εργαλείο για μία καλύτερη διαχείριση του νερού και της αλατότητας. Η τεχνολογία προωθεί την δυνατότητα να επωφεληθούμε από δεδομένα πραγματικού χρόνου σχετικά με τη μέτρηση των λιπασμάτων και συνεπώς τη δυνατότητα καλύτερης προσαρμογής μοντέλων εκτίμησης των λιπασμάτων. Η εν λόγω προσέγγιση αποκαλείται “Προσέγγιση εικονικών μετρήσεων ριζικής ζώνης”.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anastasiou, A., Ferentinos, K.P., Arvanitis, K.G. and Sigrimis, N., 2005. *DSS-Hortimed for on-line management of hydroponic systems*. ISHS - Greensys2004, International Conference on Sustainable Greenhouse Systems -Leuven, Belgium, September 12-16, 2004. Acta Horticulturae, 691: 267-274.
- Ferentinos K.P., Anastasiou, A., Pasgianos, G.D., Arvanitis, K.G. and Sigrimis, N., 2003. *A Decision Support System as a Tool to Optimal Water Management under Saline Conditions*. ISHS International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment, Pisa, Italy, July 9-12. Acta Horticulturae, 609: 289-296.
- Li Y.L., Stangellini, C. and Challa, H. 2001. *Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato*. Scientia Horticulturae 88(1): 11-29.
- Ortega, J.F., de Juan, J.A., Tarjuelo, J.M. and López, E., 2004. *MOPECO: An economic optimization model for irrigation water management*. Irrigation Science, 23: 61-75.
- Pardossi A., Incrocci, L., Massa, D., Carmassi, G. and Maggini, R., 2008. *The influence of fertigation strategies on water and nutrient efficiency of tomato grown in closed soilless culture with saline water*. ISHS International Symposium on Strategies towards Sustainability of protected cultivation in Mild Winter Climate. April 6-11, Antalya, Turkey.
- Savvas D., Chatziefstratiou, E., Paschalidis, C. and Sigrimis, V, 2008. *Impact of a progressive Na and Cl accumulation in the root zone on pepper grown in a closed-cycle hydroponic system*. ISHS International Symposium on Strategies towards Sustainability of protected cultivation in Mild Winter Climate. April 6-11, Antalya Turkey.
- Sigrimis N., Arvanitis, K.G., Pasgianos, G.D. and Ferentinos, K.P., 2001. *Hydroponics water management using adaptive scheduling with an on-line optimizer*. Computers and Electronics in Agriculture, 31: 31-46.
- Stanghellini, C., Pardossi, A., Kempkes, F.L.K. and Incrocci, L., 2005. *Closed water loops in greenhouses: effect of water quality and value of produce*. Acta Horticulturae, 691: 233-241.
- Yu Q., Goudriaan J. and Wang T.D., 2001. *Modelling diurnal courses of photosynthesis and transpiration of leaves on the basis of stomatal and non-stomatal responses, including photoinhibition*. Photosynthetica, 39 (1): 43-51.

ΧΡΗΣΗ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΕΣ DIESEL

Θ.Α. Γέμτος, Α. Ταγαράκης, Χρ. Καραμούτης, Χρ. Καβαλάρης, Σπ. Φουντάς
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Οδός
Φυτόκου, 38446 Βόλος, gemtos@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ΕΕ και η χώρα μας πρέπει να καλύψουν μέρος των καυσίμων για τις μεταφορές με βιοκαύσιμα. Τα φυτικά λάδια που μπορούν να παραχθούν και καταναλωθούν στο αγρόκτημα δίνουν μια δυνατότητα υποκατάστασης ορυκτών καυσίμων και ευκαιρία για επί πλέον εισόδημα στο αγρότη. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε γεωργικό ελκυστήρα με ηλιέλαιο σε διάφορα μίγματα με πετρέλαιο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε 85°C. Η λειτουργία του ελκυστήρα είναι δυνατή με τη τροφοδοσία όμως με 75 και 100% ψυχρό λάδι να προκαλεί προβλήματα. Η θέρμανση του λαδιού βελτιώνει τη λειτουργία. Η απόδοση του κινητήρα είναι παρόμοια για όλα τα μίγματα, καθώς και η παραγόμενη ροπή. Η ε.κ.κ. είναι επίσης παρόμοια. Οι εκπομπές αιθάλης αυξάνονται με την αύξηση το ποσοστού ηλιελαίου ενώ οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου δείχνουν τάση μείωσης. Μακροχρόνια χρήση προκαλεί επικαθίσεις κυρίως στους εκτοξευτές.

Λέξεις κλειδιά: φυτικά έλαια, μηχανές Diesel, απόδοση μηχανών, εκπομπές καυσαερίων

DIRECT USE OF VEGETABLE OILS TO DIESEL ENGINES

T.A. Gemtos, A. Tagarakis, Chr. Karamoutis, Chr Cavalaris, Sp. Fountas
Laboratory of Farm Mechanisation, University of Thessaly, Fytoko Street, 38446
Volos, gemtos@agr.uth.gr

ABSTRACT

EU and Greece have to substitute part of the transportation fossil fuel with biofuels. Vegetable oils can be produced and used on a farm substituting fossil fuels and offering additional income to the farmers. Testing of farm tractor were carried out using blends of crude sunflower oil in room temperature and heated to 85°C. Engine was working with all blends but in the 75 and 100% sunflower lends instability of performance were observed. Heating the oil improves performance. Engine power was similar in all blends. PM emissions were increased while NOx presented a decreasing tendency. Long term use of the engine caused injectors coking.

Key words: vegetable oils, Diesel engine, Engine Performance, Engine emissions

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα επόμενα έτη οι χώρες της ΕΕ πρέπει να αυξήσουν ουσιαστικά τη χρήση ΑΠΕ και ιδιαίτερα στα καύσιμα των μεταφορών να καλύψουν το 10% της κατανάλωσης. Σήμερα τα μόνα κατάλληλα καύσιμα είναι η αλκοόλη και τα φυτικά λάδια. Τα τελευταία παράγονται από ελαιούχους σπόρους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μηχανές Diesel είτε αυτούσια με διάφορα επίπεδα καθαρισμού και επεξεργασίας είτε μετά από μετατροπή τους σε βιοντίζελ. Η δυνατότητα άμεσης χρήσης φυτικών λαδιών που μπορούν να παραχθούν στο αγρόκτημα για κίνηση γεωργικών ελκυστήρων παρουσιάζει ενδιαφέρον για τους αγρότες καθώς θα επωφεληθούν οι ίδιοι από την αποφορολόγηση των ΑΠΕ. Επί πλέον μπορούν να δημιουργηθούν ενεργειακά αυτόνομα αγροκτήματα ενισχύοντας την αειφορία της γεωργίας.

Τα φυτικά λάδια έχουν υψηλό ιξώδες και παρουσιάζουν διαφορετικές ιδιότητες και προβλήματα στους κινητήρες, σε σύγκριση με το πετρέλαιο. Το υψηλό ιξώδες δημιουργεί προβλήματα στη ροή του καυσίμου στις σωληνώσεις κυρίως όμως κάνει τη διάσπαση του καυσίμου σε σταγονίδια στο θάλαμο καύσης ανεπαρκή. Επί πλέον τα οξέα που περιέχουν τα λάδια φθείρουν τα υλικά των στεγανωτικών (ελαστικά μέρη) του συστήματος καυσίμου. Η κακή διάσπαση των σταγόνων κάνει ατελή τη καύση στους κυλίνδρους. Παρατηρούνται επικαθήσεις στους κυλίνδρους και κυρίως στους εκτοξευτές (ακροφύσια) του καυσίμου. Μείωση του ιξώδους μπορεί να επιτευχθεί με θέρμανση του καυσίμου, με διάφορα πρόσθετα, με χρήση μιγμάτων με πετρέλαιο και με μετατροπή σε βιοντίζελ. Η σύσταση των ελαίων αποτελεί σημαντικό παράγοντα στη συμπεριφορά τους όταν χρησιμοποιούνται ως καύσιμα (Reid et al., 1989). Οι Johansson et al. (1982), διερεύνησαν τις ιδιότητες καύσης ακατέργαστου ελαίου ελαιοκράμβης σε μίγματα με πετρέλαιο. Έπειτα από 3400 ώρες κανονικής λειτουργίας στον αγρό, δεν παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα προβλήματα στη λειτουργία. Τα φίλτρα αντικαταστάθηκαν σε συντομότερο χρονικό διάστημα. Ανέφεραν απώλεια στην ισχύ των κινητήρων, χωρίς όμως να τη ποσοτικοποιήσουν. Οι McDonnell et al. (2000) χρησιμοποίησαν μερικώς ραφινρισμένο φυτικό λάδι σε μηχανές άμεσου ψεκασμού, διαπίστωσαν μείωση της απόδοσης ισχύος κατά 0,06% για κάθε ποσοστιαία μονάδα αύξησης της περιεκτικότητας του ελαίου στο μίγμα καύσης που αποδόθηκε στη χαμηλότερη ενεργειακή περιεκτικότητα του φυτικού ελαίου. Η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξήθηκε κατά αναλογία με την μεταβολή της πυκνότητας του μίγματος και της ενεργειακής περιεκτικότητας. Κατέληξαν ότι μίγματα καυσίμων με περιεκτικότητα έως 25% σε φυτικά έλαια, είναι κατάλληλα για καύση σε κινητήρες άμεσου ψεκασμού. Τα φυτικά έλαια είναι δυνατό να υποκαταστήσουν το πετρέλαιο Diesel (Nwafor, 2004). Η κατανάλωση φυτικών ελαίων παρουσιάζεται ελαφρώς υψηλότερη ή παρόμοια με το πετρέλαιο. Η παρατεταμένη χρήση όμως, φαίνεται να προκαλεί σοβαρά προβλήματα λόγω επικαθήσεων στον θάλαμο καύσης (Bettis et al., 1982). Οι Bruwer et al. (1982) σε έρευνα με έλαιο ηλίανθου, διαπίστωσαν μετά από 1000 ώρες λειτουργίας μείωση της απόδοσης του κινητήρα κατά 8%. Η απόδοση επανήλθε στα φυσιολογικά επίπεδα, έπειτα από αντικατάσταση των ακροφυσίων και της αντλίας υψηλής πίεσεως. Έπειτα από 1300 ώρες λειτουργίας, οι επικαθήσεις στα διάφορα μέρη του κινητήρα ήταν φυσιολογικές, με εξαίρεση τις άκρες των ακροφυσίων που παρουσίαζαν μεγάλο ποσό άκαυστου υλικού. Οι German et al. (1985) δοκίμασαν μίγμα με περιεκτικότητα 50% και 25% σε ηλιέλαιο ως καύσιμο σε 6 γεωργικούς ελκυστήρες οι οποίοι δούλευαν σε κανονικές συνθήκες στον αγρό. Έπειτα από 1300 ώρες λειτουργίας, διαπιστώθηκε ότι και τα δυο μίγματα δημιούργησαν επικαθήσεις στα διάφορα μέρη του κινητήρα. Κανένα από τα μίγματα δεν κρίθηκε κατάλληλο για μακροχρόνια καύση σε κινητήρες χωρίς να ελαττώσει τη διάρκεια ζωής τους. Οι Yarbrough et al. (1981) ερεύνησαν έξι διαφορετικά έλαια ηλίανθου. Συμπέραναν ότι το ακατέργαστο έλαιο είναι ακατάλληλο

για απευθείας καύση σε κινητήρες, ενώ το ραφιναρισμένο έλαιο αποδείχτηκε ικανοποιητικό.

Εκτός από την απόδοση και τη λειτουργία του κινητήρα, μεγάλο ενδιαφέρον επικεντρώνεται στις εκπομπές καυσαερίων από την καύση φυτικών ελαίων. Οι εκπομπές CO₂ από την καύση σε μίγμα με περιεκτικότητα 25% σε μερικώς ραφιναρισμένο φυτικό έλαιο εμφανίστηκαν μειωμένες, γεγονός που αποδόθηκε στη περιεκτικότητα των ελαίων σε O₂. Μειωμένες ήταν και οι εκπομπές σε αιθάλη (McDonell et al., 2000). Τα φυτικά έλαια (αιθυλεστέρες φυτικών ελαίων) παρουσίαζαν μειωμένες εκπομπές κατά 52,4% σε υδρογονάνθρακες, 47,6% σε CO, το CO₂ αυξήθηκε κατά 0,9%, τα NO_x ελαττώθηκαν κατά 10% (Peterson et al. 1996),. Παρατηρήθηκε αυξημένη θερμοκρασία των καυσαερίων που παράγονται από καύση προθερμασμένου φυτικού ελαίου. Η θέρμανση του καυσίμου ήταν ωφέλιμη στις χαμηλές ταχύτητες κινητήρα και σε λειτουργίες μερικής φόρτισης (Nwafor, 2004). Σε δοκιμές που σιναπέλαιο διαπιστώθηκε ότι οι εκπομπές σε αιθάλη και NO_x ήταν μειωμένες, ενώ οι εκπομπές σε HC δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές σε σύγκριση με το πετρέλαιο (Niemi et al. 1997).

Όλοι οι ερευνητές, αναφέρουν προβλήματα επικαθήσεων στα διάφορα μέρη του κινητήρα. Οι Peterson et al. (1986) έλαβαν εικόνες από τους εγχυτήρες, καθένας από τους οποίους λειτούργησε με διαφορετικό καύσιμο. Από την εικόνα του ακάθαρτου εγχυτήρα, αφαιρέθηκε η επιφάνεια του καθαρού εγχυτήρα, δίνοντας την επιφάνεια των επικαθήσεων. Άλλοι ερευνητές, έχουν αναπτύξει λογισμικό το οποίο υπολογίζει τις επικαθήσεις. Αναφέρεται ότι όσο αυξάνεται ο χρόνος των δοκιμών, ο ρυθμός σχηματισμού επικαθήσεων επιταχύνεται (Reid et al., 1989).

Σειρά μετρήσεων της λειτουργίας μηχανής Diesel με μίγματα ηλιέλαιου και πετρελαίου πραγματοποιήθηκαν για να διαπιστωθούν τα προβλήματα σε κινητήρια γεωργικού ελκυστήρα. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στη παρούσα εργασία.

1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την εκτέλεση των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε γεωργικός ελκυστήρας Massey Ferguson 165 με τετρακύλινδρο κινητήρα Diesel Perkins. Ο κινητήρας αντικαταστάθηκε από καινούριο. Κατασκευάστηκαν δύο δοχεία καυσίμου το ένα 15 l, εξοπλισμένο με αντίσταση και θερμοστάτη ώστε να μπορεί να θερμαίνεται το καύσιμο για μείωση του ιξώδους. Το δεύτερο 25 l για το καθαρό πετρέλαιο. Συνδέονται με το σύστημα τροφοδοσίας με βαλβίδες που καθορίζουν τη ροή από το κάθε ένα. Στο δίκτυο παρεμβάλλεται μετρητής καυσίμου. Για τις μετρήσεις με θερμά μίγματα, διαπιστώθηκε ότι το καύσιμο ψύχεται και φτάνει στην αντλία υψηλής πίεσης σε χαμηλότερη από την επιθυμητή θερμοκρασία. Γι' αυτό, εκτός από τη θέρμανση στο δοχείο καυσίμου, το καύσιμο θερμαίνεται και λίγο πριν εισαχθεί στην αντλία υψηλής πίεσεως του κινητήρα, μέσω ενός εναλλάκτη εμβαπτισμένου σε λάδι θερμοκρασίας 110 °C. Με τον τρόπο αυτό επιτεύχθηκε θερμοκρασία καυσίμου κατά την είσοδο στον κινητήρα 85 – 90 °C.

Για τις μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκε πετρέλαιο κίνησης και μίγματα λαδιού με πετρέλαιο. Το λάδι, προέρχεται από καλλιέργεια ηλίανθου σε πειραματικά αγροτεμάχια του εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Το λάδι εξήχθη με ψυχρή συμπίεση και καθάρισμα με καθίζηση και φιλτράρισμα, που μπορεί να γίνει στο αγρόκτημα. Ραφιναρισμένο ηλιέλαιο προσέφερε η AGROINVEST A.E. Οι μεταχειρίσεις παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 2.

Για τις δυναμομετρήσεις χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρικό δυναμόμετρο για δοκιμή στο δυναμοδότη (PTO) FROMENT, XT 200. Το δυναμόμετρο συνδέεται με τα όργανα και H/Y. Πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του οργάνου μέτρησης της ροής καυσίμου. Η δεξαμενή του πετρελαίου τοποθετήθηκε πάνω σε ηλεκτρονική ζυγαριά.

Πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονη καταγραφή του βάρους του καυσίμου και της ένδειξης κατανάλωσης καυσίμου. Η καμπύλη που προέκυψε είναι γραμμική και η εξίσωση για τη διόρθωση των μετρήσεων είναι:

$$y = 0,5507 x - 0,1381$$

Μετρήθηκε η πυκνότητα του πετρελαίου κίνησης και του ηλιελαίου σε σταθερή θερμοκρασία 25°C (Πίνακας 3).

Πίνακας 1. Περιεκτικότητες των καυσίμων για τα μίγματα που εξετάστηκαν.

Ακατέργαστο ηλιέλαιο	Πετρέλαιο κίνησης	Ονομασία μίγματος	Ραφινάρισμένο ηλιέλαιο	Πετρέλαιο κίνησης	Ονομασία μίγματος
0%	100%	0%	0%	100%	0% ραφ.
10%	90%	10%	10%	90%	10% ραφ.
25%	75%	25%	25%	75%	25% ραφ.
50%	50%	50%	50%	50%	50% ραφ.
75%	25%	75%	75%	25%	75% ραφ.
100%	0%	100%	100%	0%	100% ραφ.

Πίνακας 2. Περιεκτικότητες των καυσίμων για την παρασκευή των θερμών μιγμάτων.

Ακατέργαστο ηλιέλαιο	Πετρέλαιο κίνησης	Ονομασία μίγματος	Ακατέργαστο ηλιέλαιο	Πετρέλαιο κίνησης	Ονομασία μίγματος
50%	50%	50% θερμό	50%	50%	50% θερμό ραφ.
75%	25%	75% θερμό	75%	25%	75% θερμό ραφ.
100%	0%	100% θερμό	100%	0%	100% θερμό ραφ.

Παράλληλα με τις δυναμομετρήσεις, πραγματοποιήθηκε μέτρηση των καυσαερίων και της αιθάλης που εκπέμπονται κατά την καύση των μιγμάτων στον κινητήρα. Για τις μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκε αναλυτής καυσαερίων 'MRU' 'DELTA 1600 V'. Για τις μετρήσεις αιθάλης, χρησιμοποιήθηκε αιθαλόμετρο 'MRU' 'OPTRANS 1600'.

Πίνακας 3. Πυκνότητες των μιγμάτων που εξετάστηκαν στην έρευνα.

Ονομασία μίγματος	Πυκνότητα (kg/l)	Ονομασία μίγματος	Πυκνότητα (kg/l)
0%	0,8248	10% ραφ.	0,8350
10%	0,8332	25% ραφ.	0,8501
25%	0,8458	50% ραφ.	0,8754
50%	0,8667	75% ραφ.	0,9007
75%	0,8876	100% ραφ.	0,9260
100%	0,9085		

Πραγματοποιήθηκε φωτογράφιση του εσωτερικού των κυλίνδρων και των βαλβίδων πριν την έναρξη των μετρήσεων, που ο κινητήρας ήταν καθαρός και έπειτα από 57 ώρες λειτουργίας, οπότε και παρουσιάστηκαν προβλήματα στη λειτουργία του

κινητήρα. Χρησιμοποιήθηκε ενδοσκόπιο 'Olympus IMPLEX MX R'. Για τους κυλίνδρους και τις βαλβίδες δεν ήταν εφικτή η ποσοτικοποίηση των επικαθήσεων. Οι εγχυτήρες αφαιρέθηκαν από τη μηχανή και τοποθετήθηκαν σε στερεοσκόπιο. 'LEICA WILD – M3Z' σε μεγέθυνση 10x. Αρχικά φωτογραφήθηκε ένας καθαρός εγχυτήρας. Τη στιγμή που ο κινητήρας παρουσίασε προβλήματα λειτουργίας και ανοίχτηκε για να φωτογραφηθούν οι κύλινδροι και οι βαλβίδες, πραγματοποιήθηκε και η λήψη εικόνων από τους εγχυτήρες.

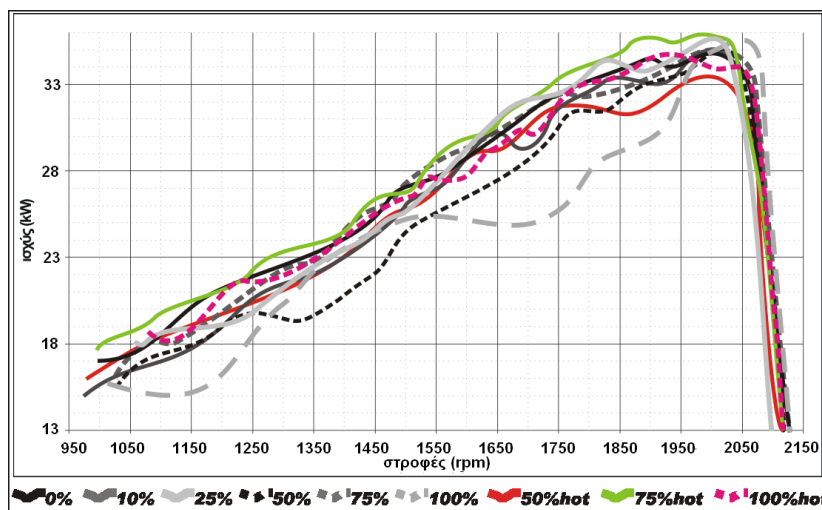
Για τον έλεγχο λειτουργίας κινητήρων Diesel με φυτικά λάδια, ακολουθήθηκε η τυποποίηση του ΟΟΣΑ (OECD, 2007). Έπειτα από το πέρας των μετρήσεων της ημέρας και εφόσον χρησιμοποιήθηκαν μίγματα, ο κινητήρας αφήνονταν να δουλέψει με καθαρό πετρέλαιο για 30 λεπτά ώστε να καθαριστεί. Η μέτρηση ξεκινούσε χωρίς φορτίο με τις στροφές στη μέγιστη τιμή (2150 rpm). Σταδιακά προστίθονταν φορτία και καταγράφονταν η τιμή της ισχύος, της ροπής, της κατανάλωσης και εκτιμάται η ειδική κατανάλωση. Με την προσθήκη φορτίων, οι στροφές του κινητήρα μειώνονται μέχρι που φτάνει σε σημείο να σβήσει. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τρεις φορές για την κάθε μέτρηση.

Για κάθε κύκλο μέτρησης, εισάγονταν στην εξάτμιση οι αισθητήρες θερμοκρασίας και μέτρησης καυσαερίων και λαμβάνονταν μέτρηση μόλις η ένδειξη του αναλυτή καυσαερίων σταθεροποιούνταν με ελάχιστο φορτίο, σε ισχύ 4,2 kW και στο μέγιστο. Στο σημείο αυτό λαμβάνονταν δεύτερη μέτρηση των καυσαερίων.

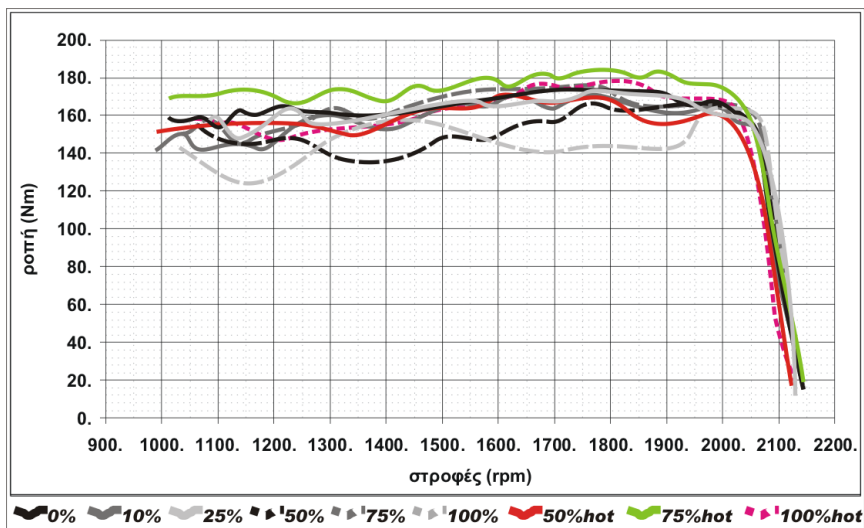
Για τη μέτρηση της αιθάλης, έπειτα από τη λήξη των μετρήσεων για κάποιο μίγμα, εισάγεται στην εξάτμιση ο αισθητήρας του αιθαλομέτρου. Αποσυμπλέκεται ο δυναμοδότης και ξεκινά η μέτρηση της αιθάλης. Ο κινητήρας λειτουργεί στο ρελαντί και μόλις το χειριστήριο του οργάνου μέτρησης δώσει σήμα, ο χειρομοχλός των πετρελαίων οδηγούνται στο τέρμα της διαδρομής μέχρι να αποθηκευτεί η ένδειξη από το όργανο. Η διαδικασία επαναλαμβάνονταν 6 φορές για την κάθε μέτρηση και το όργανο υπολόγιζε τον μέσο όρο από τις 6 τιμές.

2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

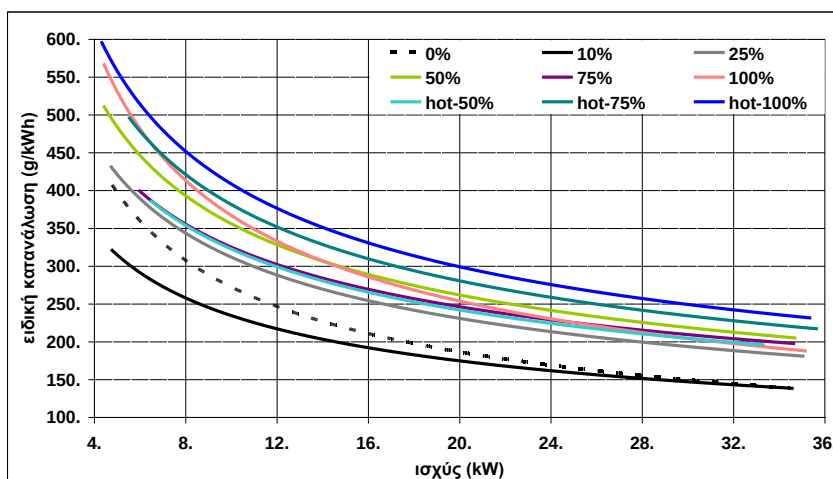
Στα διαγράμματα των σχημάτων 1 έως 3 φαίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες των δοκιμών για τα μίγματα που δοκιμάστηκαν. Οι καμπύλες για καύσιμο με 75 και 100% ψυχρού λαδιού δείχνουν την αστάθεια της μηχανής που παρατηρήθηκε σε αυτά τα επίπεδα λαδιού. Η λειτουργία με θερμό λάδι ήταν σαφώς καλύτερη. Το θερμό λάδι έδωσε υψηλότερη ε.κ.κ προφανώς λόγω χαμηλότερης πυκνότητας.



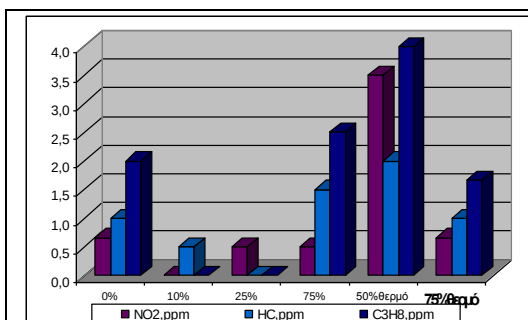
Σχήμα 1. Καμπύλες ισχύος για τα μείγματα που μελετήθηκαν.



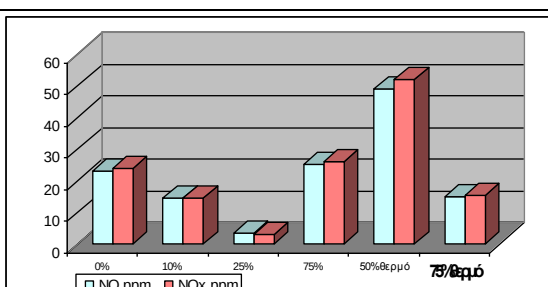
Σχήμα 2. Καμπύλες ροπής για τα μείγματα που μελετήθηκαν.



Σχήμα 2. Καμπύλες ειδικής κατανάλωσης για τα μείγματα που μελετήθηκαν.

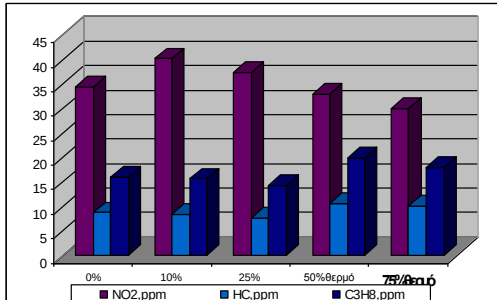


Σχήμα 4. Διάγραμμα εκπομπών NO_2 , HC και C_3H_8 σε ppm για ισχύ 4,2 kW

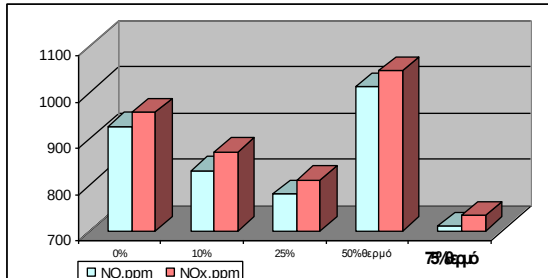


Σχήμα 5. Διάγραμμα εκπομπών NO και NO_x σε ppm για ισχύ 4,2 Kw

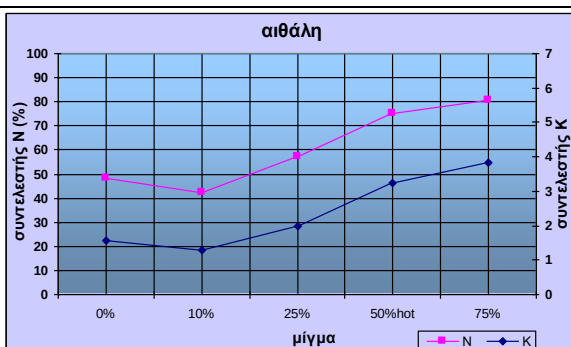
Οι εκπομπές ρύπων χωρίς φορτίο και με τη μέγιστη ισχύ φαίνονται στα Σχήματα 4-7. Είναι εμφανής μια τάση μείωσης των εκπομπών οξειδίων του αζώτου καθώς αυξάνεται το ποσοστό του λαδιού στο μίγμα. Αντίθετη είναι η τάση στην αιθάλη (Σχήμα 8).



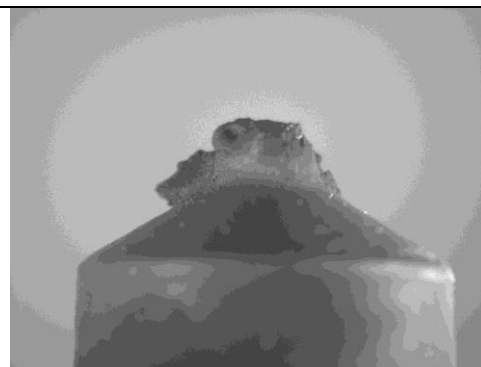
Σχήμα 6 . Διάγραμμα εκπομπών NO₂, HC και C₃H₈ σε ppm για τη μέγιστη ισχύ.



Σχήμα 7 . Διάγραμμα εκπομπών NO και NOx σε ppm για τη μέγιστη ισχύ.



Σχήμα 8. Διάγραμμα εκπομπών αιθάλης



Σχήμα 9. Ακροφύσιο με επικαθίσεις

Στο Σχήμα 9 φαίνονται οι επικαθίσεις στα ακροφύσια μετά από 60 περίπου ώρες λειτουργίας του κινητήρα.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν μπορούμε να συμπεράνουμε ότι:

- Οι αποδόσεις του ηλιελαίου και των μιγμάτων ηλιελαίου με πετρέλαιο, είναι παραπλήσιες με αυτές του πετρελαίου κίνησης εκτός από τα μίγματα 75 και 100% ψυχρού ηλιέλαιο που δημιουργήσαν πρόβλημα στη λειτουργία της μηχανής.
- Η ειδική κατανάλωση στα μίγματα με υψηλή περιεκτικότητα σε έλαιο είναι ελαφρώς αυξημένη, γεγονός που οφείλεται στη χαμηλότερη θερμογόνο δύναμη που παρουσιάζουν τα φυτικά έλαια σε σύγκριση με το πετρέλαιο.
- Τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα, δείχνουν σαφή αύξηση των εκπομπών σε αιθάλη καθώς η περιεκτικότητα του καυσίμου σε ηλιέλαιο αυξάνεται. Για λειτουργία του κινητήρα στο μέγιστο των στροφών χωρίς φορτίο, οι εκπομπές σε NO και NOx παρουσιάζουν αύξηση, ενώ στη μέγιστη ισχύ, οι εκπομπές σε NO₂, NO και NOx δείχνουν μια σχετική τάση μείωσης με την αύξηση της περιεκτικότητας του μίγματος καύσης σε λάδι, ενώ οι εκπομπές σε προπάνιο, και υδρογονάνθρακες, είναι παραπλήσιες για όλα τα μίγματα.
- Ανασταλτικό παράγοντα στη χρησιμοποίηση ακατέργαστου ηλιελαίου για καύση σε μηχανές Diesel, αποτελούν οι επικαθίσεις άκαυστου υλικού στα ακροφύσια. Απαιτείται τακτική αντικατάσταση σε πολύ συντομότερο χρονικό διάστημα σε σύγκριση με το πετρέλαιο κίνησης.
- Θέρμανση του λαδιού βελτιώνει τη λειτουργία της μηχανής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bettis B. L., Peterson C. L., Auld D. L., Driscoll D. J., Peterson E. D., (1982). Fuel characteristics of vegetable oil from oilseed crops in the pacific northwest. *Agronomy J.* 74: 335-339
- Bruwer J. J., Boshoff B. D., Hugo F. J. C., DuPlessis L. M., Fuls J., Hawkins C., WanderWallt A., Engelbert A., (1981). The utilization of sunflower seed oil as renewable fuel in diesel engines. *Agricultural energy*, Vol. 2, Biomass Energy/Crop Protection. ASAE Publication, St Joseph, MI: ASAE.
- German T. J., Kaufman K. R., Pratt G. L., Derry J., (1985). Field evaluation of sunflower oil/diesel fuel blends in diesel engines. ASAE 85-3078, St Joseph, MI: USA
- Johanson E., Nordstum O., (1982). Swedish tests on rapeseed oil as an alternative to diesel fuel. *Proc. Int. conf. on Plant and Vegetable Oils as Fuels*. St. Joseph, Mich.USA
- McDonell K. P., Ward S. M., McNulty P. B., Howard-Hildige R., (2000) Results of Engine and Vehicle Testing of Semirefined Rapeseed Oil. *Trans. of ASAE*, 43(6)1309–1316.
- Niemi S. A., Makinen M. L. K., (1997). Performance and exhaust emissions of a tractor engine using mustard seed oil as fuel. *SAE publications*, No.: 970219
- Nwafor O. M. I., (2004). Emission characteristics of diesel engine running on vegetable oil with elevated fuel inlet temperature. *Elsevier. Biomass and Bioenergy* 27: 507-511
- OECD (2007). OECD STANDARD CODES FOR THE OFFICIAL TESTING OF AGRICULTURAL AND FORESTRY TRACTORS. Code 2. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Peterson C. L., Korus L. A., Mora P. G., Madsen J. P., (1986). Fumigation with Propane and Transesterification Effects on Injector Coking with Vegetable Fuels. ASAE 85-3572.
- Peterson E., (1999). Conference symmary-Commercialization of bio-diesel: Producing a quality fuel, Boise, Idaho.
- Reid J. F., Hansen A. C., Goering C. E., (1989). Quantifying diesel injector coking with computer vision. *Transactions of the ASAE*, 32(5): 1503 – 1506.
- Yarbrough C. M., LePori W. A., Engler C. R., (1981). Compression ignition performance using sunflower seed oil. ASAE 81-3576, St Joseph, MI: ASAE.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ (ΘΟΡΥΒΟΥ) ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΩΝ ΧΕΙΡΙΣΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

Θ. Γιαλαμάς^{1α}, Δ. Κατέρης¹, Μ. Γιαλαμάς², Ι. Γράβαλος¹, Π. Ξυραδάκης¹,
Γ. Μενεξές⁵, Α. Γεωργιάδης¹, Κ. Τσατσαρέλης³, Θ. Γέμτος⁴

¹Εργαστήριο Ασφάλειας και Εργονομίας Γεωργικών Μηχανημάτων. Τομέας Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων Σ.Τ.Ε.Γ. Τ.Ε.Ι.Λάρισας, Τ.Κ.41110 Λάρισα. ^ae-mail: gialamas@teilar.gr

²Ψυχολόγος της Υγείας MSc

³Εργαστήριο Γ. Μηχανολογίας, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ. 54124 Θεσσαλονίκη

⁴Εργαστήριο Γ. Μηχανολογίας Π.Θ. Τ.Γ.Φυτ. Παρ/γης και Αγρ. Περιβάλλοντος Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ.38446

⁵Εργαστήριο Γεωργίας, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ. 54124 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο προσδιορισμός των ακουστικών επιταχύνσεων των δονήσεων (θορύβου), στο θάλαμο χειρισμού των γεωργικών ελκυστήρων πραγματοποιήθηκε με πειραματικές δοκιμές σε τρεις διαφορετικούς ελκυστήρες. Οι συνθήκες των πειραματικών δοκιμών διατηρήθηκαν οι ίδιες κατά τη διάρκεια πορείας των ελκυστήρων σε ασφαλτόδρομο μήκους 700m, για να υπάρχει δυνατότητα σύγκρισής τους. Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών εξήχθησαν με το πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης SPSS, με τη μέθοδο GLM-ANOVA, για να βρεθούν οι συσχετίσεις θορύβου όλων των παραγόντων μεταξύ των ελκυστήρων.

Λέξεις κλειδιά: ακουστικές δονήσεις, κόπωση χειριστών, προβλήματα υγείας

THE EFFECT OF ACOUSTIC VIBRATIONS (NOISE) ON HEALTH OF AGRICULTURAL TRACTOR OPERATORS

Th. Gialamas^{1a}, D. Kateris¹, M. Gialama², I. Gravalos¹, P. Xyradakis¹,
G. Menexes⁵, A. Georgiadis¹, K. Tsatsarelis³, Th. Gemtos⁴

¹Laboratory for Off-Road Equipment, Section of Agricultural Mechanics, Department of Biosystems Engineering, School of Agriculture, Technological Educational Institute of Larissa, 41110, Larissa, Greece. ^ae-mail: gialamas@teilar.gr

²Health Psychologist MSc

³Laboratory for Agricul.Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 54124

⁴Laboratory of Farm Mechanization Dep. Of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, Univ.of Thessaly

⁵Laboratory for Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 54124

ABSTRACT

An experimental investigation was conducted to determine the acoustic vibration (noise) effect into the cab of three different types of agricultural tractors. The treaties during experimental procedure were maintained the same at the duration of tractors course in asphalt length 700m, in order to compare them under the same terms. The results of experimental test were deduced with the program of statistical analysis SPSS, by the method GLM-ANOVA, in order to find the cross-correlations of noise of all factors between all tractors.

Key words: acoustical vibrations, operator fatigue, health problems

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κύρια φυσικά χαρακτηριστικά του ήχου που μετρώνται κατά τη διάρκεια των πειραματικών δοκιμών είναι η συχνότητα και η ένταση του. Ο ήχος είναι μια φυσική πραγματικότητα ενώ ο θόρυβος είναι μια ψυχολογική έννοια και ορίζεται ως μη επιθυμητός ήχος, δηλαδή ο ήχος που το άτομο δεν επιθυμεί να ακούσει.

Η συχνότητα του ήχου ορίζει τον αριθμό των ολοκληρωμένων δονήσεων στη μονάδα του χρόνου και μετράται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή Hertz (Hz). Ο άνθρωπος μπορεί να αντιληφθεί, να αφομοιώσει και κυρίως να ανεχθεί ένα ορισμένο φάσμα ήχων που βρίσκονται μέσα στην περιοχή συχνοτήτων από 16 έως 20.000 Hz.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να προσδιοριστούν, να καταγραφούν και να αναλυθούν σε πραγματικές συνθήκες τα μεγέθη των ακουστικών δονήσεων και των συχνοτήτων που αναπτύσσονται στο θάλαμο χειρισμού των γεωργικών ελκυστήρων και προκαλούν την κόπωση και πολλά άλλα προβλήματα υγείας στους χειριστές κατά τη διάρκεια της κίνησης τους σε ασφαλτόδρομο.

Οι πειραματικές δοκιμές των ακουστικών δονήσεων πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το ISO 9612/1997 και την οδηγία 77/311/ΕΟΚ της 29ης Μαρτίου 1977, η οποία αναφέρεται στο ηχητικό επίπεδο που αντιλαμβάνονται οι χειριστές των τροχοφόρων γεωργικών ή δασικών ελκυστήρων, στο θάλαμο χειρισμού, καθώς και παλαιότερων οδηγίων όπως είναι η οδηγία 74/150/ΕΟΚ-1974.

Η πρόληψη της υγείας των εργαζομένων που εκτίθενται σε ένα επιβαρυνόμενο από θόρυβο εργασιακό περιβάλλον αναπτύσσεται σύμφωνα με τις διατάξεις του Π.Δ. 85/91, τις οδηγίες της ΕΚ 89/391, το ISO 1999/1990 «Προστασία εργαζομένων από τους κινδύνους που διατρέχουν λόγω της έκθεσής τους στο θόρυβο κατά την εργασία» (Φ.Ε.Κ. /38/α/18-3-1991), μέσω δυο ενιαίων φάσεων που στοχεύουν στη διαφύλαξη της υγείας των εργαζομένων:

Το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται και αντιδρά λογαριθμικώς καλύτερα στις μεταβολές της ηχητικής πίεσης, σε σχέση με την κλίμακα Pascal, η οποία συμβολίζεται διεθνώς dB(A) και υπολογίζεται από την εξ.(1).

$$Decibel\ dB(A) = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

όπου: $P_0 = 20 \times 10^{-6}$... στάθμη αναφοράς

P = πίεση του ήχου σε μέσες τετραγωνικές τιμές (RMS).

Σύμφωνα με τον (Broste, 1989) οι επιπτώσεις στην υγεία των χειριστών από το θόρυβο κατά τη διάρκεια της εργασίας τους με τα γεωργικά μηχανήματα και γενικά τα μηχανήματα εκτός δρόμου είναι πολύ σημαντικές και ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες: α) στις επιδράσεις στην ακοή και β) στις μη ακουστικές επιδράσεις. Οι επιδράσεις στην ακοή αναφέρονται κυρίως στη μείωση της ακοής και πολλές φορές στην απώλεια της ακοής. Οι μη ακουστικές επιδράσεις αφορούν κυρίως: α) το νευρικό σύστημα, β) το ενδοκρινικό, γ) το κυκλοφορικό, δ) το γαστρεντερικό και ε) τις ψυχικές λειτουργίες.

Παρατηρούνται ωστόσο επιδράσεις και σε άλλα συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού. Έχει αποδεχθεί ερευνητικά, ότι οι εκτεθειμένοι στο θόρυβο εργαζόμενοι παρουσιάζουν συχνά: α) υπέρταση, β) ταχυκαρδία, γ) διαταραχές στην πέψη, δ) δυσκολία στη συγκέντρωση, ε) πονοκεφάλους, στ) διαταραχές στον ύπνο, ζ) σωματική κόπωση, η) εκνευρισμό, θ) υπερένταση, ι) άγχος καθώς και κ) διαταραχές στη συμπεριφορά με έντονη επιθετικότητα.

Οι παθολογικές διαταραχές από το θόρυβο είναι: α) αύξηση της αρτηριακής πίεσης, β) αγγειακά νοσήματα, γ) γαστρεντερικές διαταραχές, δ) βιοχημικές μεταβολές, ε) αύξηση της χοληστερίνης και στ) της κορτιζόλης. Ο θόρυβος επίσης επιδρά στο κεντρικό νευρικό σύστημα προκαλώντας αλλοιώσεις στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, επιβράδυνση του χρόνου αντίδρασης και αύξηση των λαθών στις ενέργειες χειρισμού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο πειραματικός προσδιορισμός των ακουστικών δονήσεων στο θάλαμο χειρισμού των γεωργικών ελκυστήρων πραγματοποιήθηκε με τους ελκυστήρες του Τμήματος Μηχανικής Βιοσυστημάτων του Τ.Ε.Ι./Λάρισας από το Εργαστήριο Ασφάλειας και Εργονομίας Γεωργικών Μηχανημάτων.

Οι τεχνικές προδιαγραφές των γεωργικών ελκυστήρων που χρησιμοποιήθηκαν στις πειραματικές δοκιμές θορύβου, αναφέρονται, στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τεχνικές Προδιαγραφές Γεωργικών Ελκυστήρων.

Τεχνικές Προδιαγραφές		Γεωργικός Ελκυστήρας A RENAULT 361 ΧΩΡΙΣ ΘΑΛΑΜΟ	Γεωργικός Ελκυστήρας B RENAULT 461 ΜΕ ΘΑΛΑΜΟ ΠΑΛΑΙΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	Γεωργικός Ελκυστήρας Γ LAMBORGHINI R6-130 ΜΕ ΘΑΛΑΜΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ
Τύπος Κινητήρα		D 325-3	D 327-3	12012C
Ονομαστική Ισχύς	kw/hp	26/36	34/46	94/ 126
Έτος Κατασκευής		1974	1974	2006
Ωρες Εργασίας		525	1530	33
Στροφές Κινητήρα max	RPM	2200	2200	2400
Κίνηση στους 2 ή 4, τροχούς		2WD	2WD	4WD
Ρυθμίσεις Καθίσματος		Μηχανικά	Μηχανικά	Πεπιεσμένου Αέρα
Ρυθμιστής Ταχύτητας		Μηχανικός	Μηχανικός	Ηλεκτρονικός
Τύπος Μετάδοσης		Μηχανικό Κιβώτιο	Μηχανικό Κιβώτιο	Πλήρως Συγχρονισμένη
Υδραυλική Ανάρτηση		Μηχανική	Μηχανική	Ηλεκτρονική
Εμπρόσθιος Δυναμοδότης		OXI	OXI	OXI
Εμπρόσθια Αντίβαλα	kg	210	210	600
Κάθισμα Χειριστή		Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό
Διαστάσεις ελαστικών		12,4'' - 28'' 5,5'' - 16''	13,6'' -28'' 6,0'' - 16''	580/70R38- 480/70R24
Πίσω – Εμπρός Διαστάσεις γεωργ. ελκυστήρα	mm	3322 x 1680 x 1540	3450 x 1700 x 2300	4587 x 2304 x 2922
Μήκος x Πλάτος x Ύψος				
Βάση τροχών	mm	1980	1980	2647
Συνολικό βάρος	kg	1775	2120	5460

Οι ελκυστήρες που χρησιμοποιήθηκαν για τις πειραματικές δοκιμές των ακουστικών δονήσεων (θορύβου), φαίνονται στην εικ. 1. και τα χαρακτηριστικά τους στον πίνακα 1.τα οποία είναι: α) Lamborghini R6 -130, διαθέτει σύγχρονο θάλαμο χειρισμού και ηχομόνωση. β) Renault 461, διαθέτει θάλαμο χειρισμού χωρίς απόσβεση κραδασμών παλαιάς τεχνολογίας. γ) Renault 361, δεν διαθέτει θάλαμο χειρισμού.



Εικόνα.1. Ελκυστήρες που χρησιμοποιήθηκαν για τις πειραματικές δοκιμές θορύβου.

Για τη μέτρηση των ακουστικών δονήσεων (θορύβου), στο κάθισμα χειρισμού πλησίον στα αυτιά των χειριστών χρησιμοποιήθηκε το ηχόμετρο της εικ.2. το οποίο είναι τύπου Bruel & Kjaer, Type 2250, και ανταποκρίνεται στα διεθνή Standard IEC 61672-1/2002-05 και καταγράφει τις εντάσεις των δονήσεων και των συχνοτήτων τους όπως το ανθρώπινο αυτί, με την κλίμακα Pascal, dB(A).

Το μικρόφωνο του ηχομέτρου που χρησιμοποιήθηκε για όλες τις πειραματικές δοκιμές ήταν τοποθετημένο σε απόσταση 20 cm, από το δεξιό και αριστερό αυτί του χειριστή στη θέση χειρισμού. Η διεύθυνση του μικροφώνου είχε κλίση περίπου 45^0 προς τα εμπρός, σε σχέση με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του γεωργικού ελκυστήρα, ώστε να παραλαμβάνει όλη την ένταση του θορύβου που φθάνει στα αυτιά του χειριστή χωρίς φυσικά να υπάρχει κάποια παρεμβολή.



Εικόνα 2. Ηχόμετρο τύπου Bruel & Kjaer, Type 2250, για την καταγραφή της έντασης σε dB(A) και της συχνότητας του θορύβου σε Hz.

Για τη στατιστική ανάλυση των πειραματικών δεδομένων εφαρμόστηκε η μέθοδος της Ανάλυσης Διακύμανσης (ANOVA) στο μεθοδολογικό πλαίσιο των Γενικών Γραμμικών Υποδειγμάτων-Μοντέλων. Για τις συγκρίσεις μέσω όρων χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (LSD). Το επίπεδο σημαντικότητας των στατιστικών ελέγχων προκαθορίστηκε σε $\alpha=0,05$. Οι στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με το στατιστικό πακέτο SPSS v.15.0.

3. ΔΟΚΙΜΕΣ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

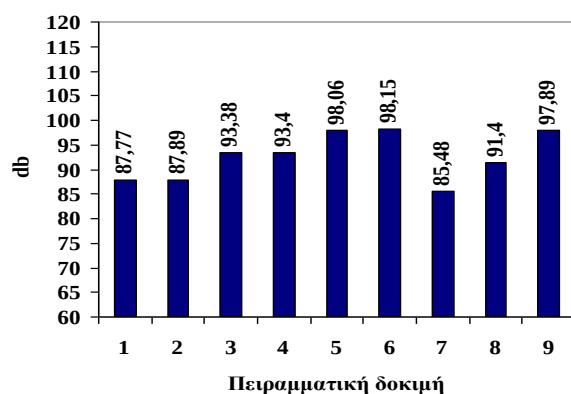
Για τις πειραματικές δοκιμές ακουστικών δονήσεων (θορύβου), (πίνακας 2) χρησιμοποιήθηκαν τρεις ελκυστήρες, ενώ λήφθηκαν υπόψη τα επίπεδα θορύβου που

προέρχονται από παράγοντες όπως: α) ο θάλαμος χειρισμού, β) η κατάσταση και γ) οι στροφές. Στις αναλύσεις διακύμανσης που ακολουθούν δημιουργήθηκαν οι παρακάτω συνδυασμοί: α) ο θάλαμος χειρισμού, περιλαμβάνει τρεις καταστάσεις: 1) χωρίς θάλαμο χειρισμού, 2) με θάλαμο χειρισμού, ο οποίος μελετάται για τις περιπτώσεις με πόρτες: 2α) κλειστές και 2β) ανοιχτές, β) ο παράγοντας κατάσταση που περιλαμβάνει τις καταστάσεις: 1) με κίνηση και 2) σε στάση και γ) ο παράγοντας στροφές που περιλαμβάνει τρεις καταστάσεις: 1) με 1000 RPM, 2) με 1500 RPM και 3) με 2200 RPM.

Πίνακας 2. Μέγιστες τιμές των μέσων όρων δοκιμών θορύβου dB(A) και οι επιτρεπόμενες ώρες ημερήσιας εργασίας των χειριστών γεωργικών ελκυστήρων

Πειραματικές δοκιμές	M.O. db(A) / διάρκεια min	T.A	Πειραματικές δοκιμές	M.O. db(A) /min	T.A	Πειραματικές δοκιμές	M.O. db(A) /min	T.A
11121	93,67/ 90	0,31	21122	87,77/ 4h	0,16	31121	96,25/ 40	0,08
11123	92,68/ 80	0,58	21132	87,89/ 4h	0,96	31123	94,94/ 50	0,11
11131	85,52/ 8h	0,49	21222	93,38/ 80	0,29	31131	96,41/ 40	0,26
11133	95,26/ 50	0,13	21232	93,40/ 70	0,36	31133	96,46/ 40	0,05
11221	104,33/ 6,0	0,32	21322	98,06/ 25	0,18	31221	96,28/ 40	0,33
11223	104,19/ 6,0	0,09	21332	98,15/ 25	0,40	31223	94,85/ 50	1,86
11231	88,08/ 4h	0,09	22112	85,48/ 8h	0,04	31231	100,56/ 15	0,36
11233	105,95/ 3,7	0,47	22212	91,40/ 2h	0,24	31233	98,83/ 20	2,94
11321	94,45/ 1,0h	4,79	22312	97,89/ 25	0,16	31321	104,52/ 5,5	0,23
11323	89,35/ 200	1,00				31323	105,62/ 4,0	0,41
11331	81,91/ 16h	1,24				31331	108,12/ 2,3	0,38
11333	99,23/ 20	5,63				31333	104,67/ 5,5	0,42
12111	76,02/ >16h	0,99				32111	94,52/ 55	0,14
12113	87,35/ 320	1,00				32113	95,45/ 45	0,47
12211	83,96/ 640	0,61				32211	103,47/ 6,0	0,13
12213	99,05/ 20	1,22				32213	99,82/ 17	0,18
12311	82,94/ 800	0,45				32311	108,54/ 2,0	0,71
12313	90,95/ 2h	0,19				32313	104,86/ 5,5	1,54

όπου: Μ.Ο. Μέσος Όρος, Τ.Α. Τυπική Απόκλιση, (1) LAMB R6-130, (2) RENAULT 361, (3) RENAULT 461.



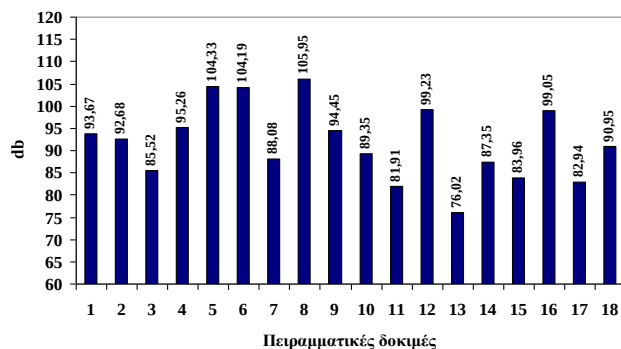
Διάγραμμα 1. Μέγιστες τιμές των μέσων όρων των δοκιμών θορύβου με τον ελκυστήρα RENAULT 361

Ανάλυση διαγράμματος 1.

RENAULT 361 ΧΩΡΙΣ ΘΑΛΑΜΟ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ

όπου:

- 1=21122 ΧΩΡΙΣ ΘΑΛΑΜΟ (Χ.Θ.) ΜΕ ΚΙΝΗΣΗ RPM 1000, 5^η ΣΧΕΣΗ
- 2=21132 Χ.Θ. ΚΙΝΗΣΗ RPM 1000 6^η ΣΧΕΣΗ
- 3=21222 Χ.Θ. ΚΙΝΗΣΗ RPM 1500 5^η ΣΧΕΣΗ
- 4=21232 Χ.Θ. ΚΙΝΗΣΗ RPM 1500 6^η ΣΧΕΣΗ
- 5=21322 Χ.Θ. ΚΙΝΗΣΗ RPM 2200 5^η ΣΧΕΣΗ
- 6=21332 Χ.Θ. ΚΙΝΗΣΗ RPM 2200 6^η ΣΧΕΣΗ
- 7=22112 Χ.Θ. ΣΤΑΣΗ RPM 1000
- 8=22212 Χ.Θ. ΣΤΑΣΗ RPM 1500
- 9=22312 Χ.Θ. ΣΤΑΣΗ RPM 2200



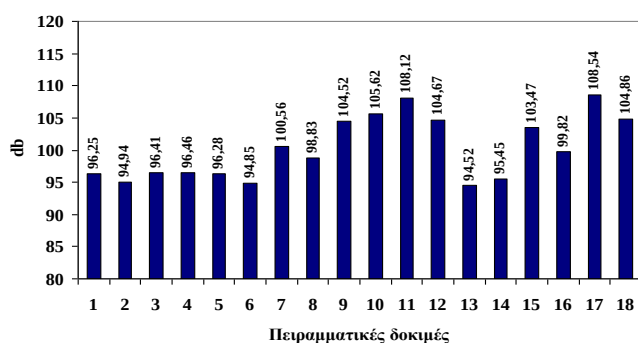
Διάγραμμα 2. Μέγιστες τιμές των μέσων όρων των δοκιμών θορύβου με τον ελκυστήρα **LAMB R6-130**.

Ανάλυση διαγράμματος 2. LAMB R6 -130, όπου:

- 1=11121 ΚΙΝΗΣΗ, R.P.M. 1000, 5^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Κ.)
 2=11123 ΚΙΝΗΣΗ, R.P.M. 1000, 5^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Α.)
 3=11131 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1000, 6^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Κ.)
 4=11133 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1000, 6^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Α.)
 5=11221 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1500, 5^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Κ.)

- 6=11223 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1500, 5^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Α.)
 7=11231 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1500, 6^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Κ.)
 8=11233 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1500, 6^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Α.)
 9=11321 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 2200, 5^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Κ.)
 10=11323 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 2200, 5^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Α.)
 11=11331 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 2200, 6^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Κ.)
 12=11333 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 2200, 6^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Α.)
 13=12111 ΣΤΑΣΗ R.P.M. 1000 (Π.Κ.).
 14=12113 ΣΤΑΣΗ R.P.M. 1000 (Π.Α.).
 15=12211 ΣΤΑΣΗ R.P.M. 1500 (Π.Κ.).
 16=12213 ΣΤΑΣΗ R.P.M. 1500 (Π.Α.).
 17=12311 ΣΤΑΣΗ R.P.M. 2200 (Π.Κ.).
 18=12313 ΣΤΑΣΗ R.P.M. 2200 (Π.Α.).

Όπου: Π.Κ. πόρτες κλειστές, Π.Α. πόρτες ανοιχτές,



Διάγραμμα 3. Μέγιστες τιμές των μέσων όρων των δοκιμών θορύβου με τον ελκυστήρα **RENAULT 461**

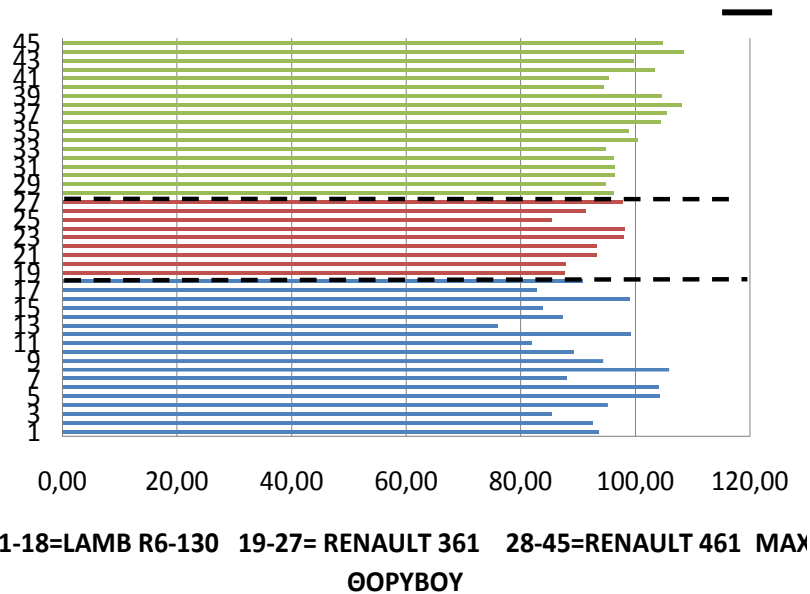
Ανάλυση διαγράμματος 3. RENAULT 461, όπου:

- 1=31121 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1000 5^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Κ.).
 2=31123 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1000 5^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Α.).
 3=31131 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1000 6^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Κ.).
 4=31133 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1000 6^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Α.).

- 5=31221 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1500 5^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Κ.).
 6=31223 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1500 5^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Α.).
 7=31231 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1500 6^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Κ.).
 8=31233 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 1500 6^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Α.).
 9=31321 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 2200 5^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Κ.).
 10=31323 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 2200 5^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Α.).
 11=31331 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 2200 6^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Κ.).
 12=31333 ΚΙΝΗΣΗ R.P.M. 2200 6^η ΣΧΕΣΗ, (Π.Α.).
 13=32111 ΣΤΑΣΗ R.P.M 1000 (Π.Κ.).
 14=32113 ΣΤΑΣΗ R.P.M 1000 (Π.Α.).
 15=32211 ΣΤΑΣΗ R.P.M 1500 (Π.Κ.).
 16=32213 ΣΤΑΣΗ R.P.M 1500 (Π.Α.).
 17=32311 ΣΤΑΣΗ R.P.M 2200 (Π.Κ.).
 18=32313 ΣΤΑΣΗ R.P.M 2200 (Π.Α.).

Όπου: Π.Κ. πόρτες κλειστές, Π.Α. πόρτες ανοιχτές,

Συγκεντρωτικά διαγράμματα δοκιμών θορύβου



Διάγραμμα 4. Μέσοι όροι των **μέγιστων τιμών θορύβου**, των τριών ελκυστήρων. Η οριζόντια έντονη γραμμή (—) αντιστοιχεί στην ελάχιστη σημαντική διαφορά $LSD=4,63\text{db(A)}$

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τους πίνακες των πειραματικών ακουστικών δονήσεων συμπεραίνεται:

α) Ελκυστήρας Lamborghini R6-130

1. Κατά τη διάρκεια της κίνησης με την 5^η σχέση και RPM 1000, 1500, 2200, η ένταση των ακουστικών δονήσεων (θόρυβος), στο θάλαμο χειρισμού με πόρτες κλειστές ήταν μεγαλύτερη, σε σχέση με τις ανοιχτές πόρτες.
2. Κατά τη διάρκεια της κίνησης με την 6^η σχέση και RPM 1000, 1500, 2200, η ένταση των ακουστικών δονήσεων (θόρυβος), στο θάλαμο χειρισμού με πόρτες κλειστές ήταν μικρότερη, σε σχέση με τις ανοιχτές πόρτες.
3. Κατά τη διάρκεια της στάσης και λειτουργίας της μηχανής με RPM 1000, 1500, 2200, η ένταση των ακουστικών δονήσεων (θόρυβος), στο θάλαμο χειρισμού με πόρτες κλειστές ήταν μικρότερη, σε σχέση με τις ανοιχτές πόρτες.

β) Ελκυστήρας Renault 461

1. Κατά τη διάρκεια της κίνησης με την 5^η σχέση και RPM 1000, 1500, 2200, η ένταση των ακουστικών δονήσεων (θόρυβος), στο θάλαμο χειρισμού με πόρτες κλειστές ήταν μεγαλύτερη, σε σχέση με τις ανοιχτές πόρτες.
2. Κατά τη διάρκεια της κίνησης με την 6^η σχέση και RPM 1000, 1500, 2200, η ένταση των ακουστικών δονήσεων (θόρυβος), στο θάλαμο χειρισμού με πόρτες κλειστές ήταν μεγαλύτερες, σε σχέση με τις ανοιχτές πόρτες.
3. Κατά τη διάρκεια της στάσης και λειτουργίας της μηχανής με RPM 1500, 2200, η ένταση των ακουστικών δονήσεων (θόρυβος), στο θάλαμο χειρισμού με πόρτες κλειστές ήταν μεγαλύτερη, σε σχέση με τις ανοιχτές πόρτες.
4. Κατά τη διάρκεια της στάσης και λειτουργίας της μηχανής με RPM 1000, η ένταση των ακουστικών δονήσεων (θόρυβος), στο θάλαμο χειρισμού με πόρτες κλειστές ήταν μικρότερη, σε σχέση με τις ανοιχτές πόρτες.

γ) Ελκυστήρας Renault 361

1. Κατά τη διάρκεια της κίνησης με την 5^η και 6^η σχέση και RPM 1000, 1500, 2200, η ένταση των ακουστικών δονήσεων (θόρυβος), στο θάλαμο χειρισμού, δεν είχε σημαντική διαφορά. Το ίδιο συνέβη για τις RPM 1500, 2200.

2. Με την αύξηση των στροφών της μηχανής με τις σχέσεις 5^η και 6^η παρατηρήθηκε αύξηση της έντασης των ακουστικών δονήσεων.

δ) Σύγκριση μεταξύ των ελκυστήρων που διαθέτουν θάλαμο χειρισμού **Lamborghini R6-130** και **Renault 461**, κατά τη διάρκεια των πειραματικών δοκιμών σε στάση διαπιστώθηκε ότι, σε όλες τις περιπτώσεις η ένταση του θορύβου ήταν μεγαλύτερη στον ελκυστήρα **Renault 461**.

ε) Σύγκριση μεταξύ των τριών ελκυστήρων: α) Η ένταση των δονήσεων κατά τη διάρκεια κίνησης στον ασφαλτόδρομο με την 5^η, 6^η, σχέση και με RPM, 1000, 1500, 2200, διαπιστώθηκε ότι ήταν μικρότερη στον ελκυστήρα **Renault 361** σε σχέση με τον ελκυστήρα **Renault 461**, με πόρτες κλειστές και ανοιχτές. β) Η ένταση των δονήσεων κατά τη διάρκεια κίνησης στον ασφαλτόδρομο με την 5^η, 6^η, σχέση και με RPM, 1000, 1500, 2200, διαπιστώθηκε ότι ήταν μικρότερη στον ελκυστήρα **Renault 361** σε σχέση με τον ελκυστήρα **Lamborghini R6-130**, με πόρτες κλειστές και ανοιχτές. γ) Η μόνη περίπτωση που ο ελκυστήρας **Lamborghini R6-130**, έχει μεγαλύτερη ένταση ακουστικής δόνησης είναι όταν κινείται με την 5^η σχέση με RPM 1500, σε σχέση με την κίνηση του ελκυστήρα **Renault 361**.

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Τα μέτρα που αναφέρονται στην προστασία των χειριστών από το θόρυβο είναι:

- 1) Η τοποθέτηση στους σύγχρονους ελκυστήρες θαλάμων ασφαλείας οι οποίοι να εδράζονται σε υδρ. αποσβεστήρες κραδασμών, για την απόσβεση των μηχανικών δονήσεων.
- 2) Οι θάλαμοι χειρισμού καθώς και τα καθίσματα θα πρέπει να κατασκευάζονται αναρτώμενα, για να μην προκαλούν δομόφερτο θόρυβο στα αυτιά των χειριστών.
- 3) Να υπάρχει πρόβλεψη για μείωση του θορύβου στην πηγή του, δηλαδή να τοποθετούνται υλικά απορρόφησης του θορύβου περιφερειακά από τη μηχανή του ελκυστήρα.
- 4) Στους σύγχρονους θαλάμους χειρισμού, θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για τη μείωση των ακουστικών δονήσεων με ειδικούς ηχομονωτικούς θαλάμους χειρισμού.
- 5) Οι χειριστές θα πρέπει να φορούν ατομικά μέσα προστασίας της ακοής όπως ωτοαπίδες ή ωτοβύσματα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Broste, S. K., Hansen, D. A., Strand, R. L., Stueland, D. T., 1989. *Hearing Loss Among High School Farm Students*. Am. J. Pub. Health. May, pp. 619- 621.
- Choi, K. K., Shim, I., Wang, S., 1997. *Design Sensitivity Analysis of Structure-Induced Noise and Vibration*, Journal of Vibration and Acoustics, 119, 173-179.
- Cordes, D. H. and Rea, D.F., 1991. *Preventive Measures in Agric.Settings*, 15(5): 312-320.
- Franzinelli, A., Maiorano, M., De Capua, D., Masini, M., Vieri, M., Cipolla, G., 1988. *Annual dose of noise absorbed by machine drivers in wine and cereal growing*. G Ital Med Lav, 10(3): 131-4.
- Guul-Simonsen, F. and Madsen P., 2000. *Laboratory measurements of noise from livestock ventilation units*. Applied Engineering in Agriculture, 16(1): 61.
- Holt, J. J., Broste, S. K., Hansen, D. A., 1993. *Noise Exposure in the Rural Setting*. Laryngoscope, 103(3): 258-262.
- Knobloch, M. J., Broste, S. K., 1998. *A hearing conservation program for Wisconsin youth working in agriculture*. J Sch Health, 68(8): 313-318.
- Lague, C. (1992). *Individual Hearing-Protection Devices In Agriculture*. Canadian Agricultural Engineering, 34(3): pp. 287-290.
- Zawieska, W. M. (2004). *Active noise control methods in Poland*. Archives of Acoustics, 29(2): 317.

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΟΠΩΡΩΝΑ ΜΗΛΩΝ ΑΝΑΛΥΟΝΤΑΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΟΔΟ ΠΛΗΡΟΥΣ ΑΝΘΗΣΗΣ

Β. Λιάκος¹, Α. Ταγαράκης¹, Κ. Αγγελοπούλου¹, Σ. Φουντάς¹, Θ. Γέμτος¹

¹Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανικής, Φυτικής Παραγωγής και Φυσικού Περιβάλλοντος,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονίας Φυτόκο 38446, Νέα Ιωνία Μαγνησίας,
bill.406@hotmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της έρευνας ήταν να αναπτυχθεί μια μέθοδος πρόβλεψης ποικιλομορφίας της τελικής παραγωγής και να μελετηθεί η χωρική παραλλακτικότητα σε έναν οπωρώνα μήλων. Κατά τη διάρκεια της πλήρους άνθησης είχαν ληφθεί απλές και πολυφασματικές φωτογραφίες από συγκεκριμένα μέρη των δέντρων. Με τη βοήθεια λογισμικού των λογισμικών GIMP 2.6.8 και ERDAS IMAGINE 8.5, διαχωρίστηκαν τα άνθη από τα υπόλοιπα αντικείμενα των φωτογραφιών και μετρήθηκαν. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι και στις δύο μεθόδους το εκτιμώμενο ποσοστό των ανθέων είχε υψηλή συσχέτιση με την τελική παραγωγή και ότι η χρήση πολυφασματικών φωτογραφιών έδωσε πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα ($r = 0.87$).

Λέξεις κλειδιά: άνθη, παραγωγή, μήλα

PREDICT YIELD VARIABILITY IN A COMMERCIAL APPLE ORCHARD BY ANALYZING IMAGES OF TREES DURING FLOWERING PERIOD

V. Liakos¹, A. Tagarakis¹, K. Aggelopoulou¹, S. Fountas¹, T. Gemtos¹

¹Laboratory of Farm Mechanization, Crop Production and rural environment, University of Thessaly, Department of Agriculture, Fytoko str., 38446 N. Ionia, Magnisias,
bill.406@hotmail.com

ABSTRACT

The target of this study was to develop methods for predicting the variation of the final yield and to study the spatial variability in an apple orchard. RGB and multi-spectral images of the trees were taken during the flowering period. The software GIMP 2.6.8 and ERDAS IMAGINE 8.5 were used to isolate and measure the flowers from the whole images. The results showed that in both methods, the estimated percent of flowers was highly correlated with the final yield and the use of multi-spectral images gave the best results ($r = 0.87$).

Key words: flowers, yield, apples

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργία ακριβείας είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης, το κύριο αντικείμενο της οποίας είναι η αύξηση του κέρδους των παραγωγών και η μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Η γεωργία ακριβείας ξεκίνησε πριν 20-30 χρόνια και εφαρμόστηκε παγκοσμίως σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας καθώς η εκμηχάνιση αυτών των καλλιεργειών ήταν μεγάλη. Μετά το 1990 οι ερευνητές και οι επιχειρήσεις άρχισαν να εφαρμόζουν γεωργία ακριβείας σε καλλιέργειες υψηλής αξίας κυρίως στη λαχανοκομία και σε αμπελώνες (Bramley et al., 2005). Η χαρτογράφηση της παραγωγής σε οπωρώνες είναι πολύ δύσκολη και χρονοβόρα. Στις περισσότερες

περιπτώσεις οι καρποί, οι οποίοι συλλέγονται από τα δέντρα με τα χέρια, τοποθετούνται σε κιβώτια, τα οποία αφήνονται στην άκρη της σειράς για να φορτωθούν στην καρότσα ενός οχήματος. Οι Miller and Whitney (1999) και οι Whitney et al. (2001) επικέντρωσαν την εργασία τους στην αυτοματοποίηση της χαρτογράφησης της παραγωγής σε οπωρώνες. Οι καρποί συλλέγονταν μέσα σε μεγάλες παλέτες που μετά την φόρτωσή τους σε φορτηγό ζυγίζονταν με ένα σύστημα δυνομοκυψελών οι οποίες ήταν τοποθετημένες στο φορτηγό. Η θέση του φορτηγού εντοπίζονταν με ένα σύστημα DGPS που ήταν τοποθετημένο στο όχημα. Οι πληροφορίες της ζύγισης και των θέσεων του φορτηγού αποθηκεύονταν και επεξεργάζονταν με σκοπό τη δημιουργία της χαρτογράφησης της παραγωγής. Οι Molin et al. (2007) χρησιμοποίησαν μια πιο απλή μέθοδο για την χαρτογράφηση της παραγωγής στα πορτοκάλια. Έβαζαν τους καρπούς μέσα σε μεγάλες τσάντες και το ύψος από τις τσάντες το μετρούσαν με ένα χάρακα. Ο χάρακας είχε ταξινομηθεί με κουτιά συνολικής χωρητικότητας 27.2 kg καρπών και με αυτόν τον τρόπο μπορούσαν να εκτιμήσουν το βάρος κάθε τσάντας. Η σύγκριση μεταξύ πραγματικού και εκτιμώμενου βάρους των τσαντών έδειξε ότι υπήρχε ένα σφάλμα 3 με 4%. Οι θέσεις όπου βρίσκονταν οι τσάντες στον οπωρώνα εντοπίζονταν με μια συσκευή GPS και έτσι γινόταν η χαρτογράφηση της παραγωγής.

Πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να εκτιμήσουν την παραλλακτικότητα της παραγωγής των οπωρώνων κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου κάνοντας ανάλυση διαφόρων φωτογραφιών. Οι Stajanko and Cmelik (2004) προσπάθησαν να μοντελοποιήσουν τα βλαστικά στάδια των καρπών σε έναν οπωρώνα μήλων ηλικίας 4 χρόνων. Χρησιμοποίησαν RGB φωτογραφίες των καρπών και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο αριθμός των καρπών που εμφανίζονταν στις φωτογραφίες συσχετιζόταν με την τελική παραγωγή. Παρόμοια έρευνα έγινε από τους Safren (2006) και Alchanatis et al. (2007), οι οποίοι χρησιμοποίησαν πολυφασματικές φωτογραφίες των καρπών. Οι Annamalai & Lee (2003) δημιούργησαν έναν αλγόριθμο, ο οποίος ανέλυε φωτογραφίες. Ο κύριος σκοπός της έρευνάς τους ήταν να μετρήσουν τους καρπούς από πορτοκάλια οι οποίοι εμφανίζονταν στις φωτογραφίες που είχαν πάρει. Ύστερα από ανάλυση 59 φωτογραφιών κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η τυπική απόκλιση μεταξύ των μετρημένων καρπών από τις φωτογραφίες και των καρπών που συγκομίστηκαν με το χέρι ήταν μόλις 0.76. Παρόλο που η έρευνα με την ανάλυση των φωτογραφιών των καρπών σε διάφορα στάδια ανάπτυξης για την εκτίμηση της παραγωγής έδωσε καλά αποτελέσματα, η διαδικασία είναι χρονοβόρα.

Εκτίμηση της παραγωγής σε οπωρώνες μήλων με τη χρήση χαρτών ανθοφορίας έχει πραγματοποιηθεί με καλά αποτελέσματα από την Aggelopoulou et al. (2006, 2009), οι οποίοι χρησιμοποίησαν την μέθοδο της στερεολογίας για να μετρήσουν τα άνθη στον οπωρώνα. Στη συνέχεια σύγκριναν την χωρική κατανομή των ανθέων με την τελική παραγωγή και βρήκαν υψηλή συσχέτιση ($r = 0.82$). Οι Koutsostathis et al. (2009) χρησιμοποίησαν ψηφιακή RGB φωτογραφική μηχανή για να φωτογραφίσουν τα δέντρα κατά την διάρκεια της πλήρους άνθησης. Η επεξεργασία των φωτογραφιών έγινε με το πρόγραμμα Matlab® και διαπιστώθηκε ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των εικονοστοιχείων σε γκρίζο τόνο των εικόνων με την παραγωγή. Αυτή η μέθοδος έδωσε καλή εκτίμηση της παραγωγής από τα πρώιμα στάδια της βλαστικής περιόδου. Το μοντέλο έδωσε μια εκτίμηση της παραλλακτικότητας της παραγωγής με βάση τον αριθμό των ανθέων που υπολογίστηκαν με τις φωτογραφίες έχοντας ένα σφάλμα 13 – 14%.

Αντικείμενο αυτής της έρευνας είναι να επαληθευτεί η έρευνα που έγινε από τον Koutsostathis et al. (2009) σε κάποιον άλλο οπωρώνα και να χρησιμοποιηθεί και η πολυφασματική μηχανή καθώς και εμπορικά προγράμματα επεξεργασίας εικόνων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ

Το πείραμα έγινε σε οπωρώνα μήλων (εικόνα 1) έκτασης 10 στρεμμάτων ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή του Αετολόφου του νομού Λάρισας στην Κεντρική Ελλάδα (22ο 44' 14.28'' E, 39ο 39' 53.20'' N). Στα βόρεια και δυτικά του οπωρώνα υπάρχει ένας άλλος οπωρώνας μήλων, στα νότια υπάρχει φυσική βλάστηση και στα ανατολικά υπάρχει ένα αγροτεμάχιο παραγωγής σιτηρών. Η κύρια ποικιλία του οπωρώνα είναι Fuji και η άλλη ήταν Red Chief η οποία χρησιμοποιείται σαν επικονιάστρια ποικιλία (5 γραμμές με Fuji και 1 με Red Chief). Η απόσταση των δέντρων μεταξύ των σειρών ήταν 3m και η απόσταση των δέντρων πάνω στην γραμμή ήταν 0.60m. Τα δέντρα κλαδεύονταν με μορφή ελεύθερης παλμέτας.



Εικόνα 1. Ο οπωρώνας μήλων

2.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η μέτρηση των ανθέων έγινε κατά την διάρκεια της 3ης εβδομάδας του Απριλίου του 2010. Χρησιμοποιήθηκαν δύο συσκευές λήψης φωτογραφιών. Μια πολυφασματική φωτογραφική μηχανή (Quest Innovations, the Netherlands) η οποία κατέγραφε τα δεδομένα σε 4 κανάλια. Τα πρώτα δύο κανάλια κατέγραφαν σε μήκη κύματος τα οποία ανήκουν στο ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και τα άλλα δύο στο κοντινό υπέρυθρο. Για κάθε πέντε δέντρα επί της γραμμής επιλέγονταν ένα δέντρο για την ανάλυση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της πυκνότητας των δέντρων δεν μπορούσαν τα δέντρα να απομονωθούν εξ ολοκλήρου. Τα επιλεγμένα δέντρα για την ανάλυση φωτογραφίζονταν σε 2 μέρη – δεξιά και αριστερά του κορμού σε ύψος 1.2m από το έδαφος. Η περιοχή που φωτογραφίζονταν κάθε φορά είχε διαστάσεις 300mm x 300mm. Η δεύτερη φωτογραφική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε ήταν μια Olympus E – 420 ανάλυσης 10 megapixels. Σε καθεμία από τις δύο μεθόδους χρησιμοποιήθηκε ένα μαύρο πανί για φόντο (εικόνα 2).



Εικόνα 2. Τα άνθη και το μαύρο ύφασμα που χρησιμοποιήθηκε για φόντο

Στα μέσα Οκτωβρίου του 2010, η συγκομιδή των μήλων έγινε με τα χέρια. Τα μήλα τοποθετούνταν σε πλαστικά τελάρα τα οποία βρίσκονταν κατά μήκος των σειρών. Οι εργάτες γέμιζαν μέχρι επάνω τα τελάρα με μήλα καθώς αυτοί κινούνταν παράλληλα προς τις σειρές καθώς ήταν αδύνατο να μετρηθεί η παραγωγή κάθε δέντρου. Πριν τη συγκομιδή κάθε σειρά χωρίστηκε σε τμήματα των 10m. Όλα τα τελάρα από κάθε τμήμα των 10m τοποθετούνταν μαζί και ζυγίζονταν για να υπολογιστεί η παραγωγή μήλων ανά 10m επί της σειράς για να γίνει η χαρτογράφηση της παραγωγής. Η γεωγραφική θέση του μεσαίου δέντρου των τμημάτων των 10m καταγράφονταν με μια συσκευή GPS (Garmin Etrex Legend H). Ο αριθμός των ανθέων που υπολογίστηκαν από κάθε μέθοδο συσχετίστηκε με την τελική παραγωγή ξεχωριστά.

2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την ανάλυση των RGB φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα GIMP 2.6.8. Τα χρώματα των εικόνων άλλαξαν σε γκριζό τόνο με την λειτουργία του αποκορεσμού, η οποία επιτρέπει τον χρήστη να δίνει γκριζα απόχρωση στα χρώματα της εικόνας. Στη συνέχεια, κάθε εικονοστοιχείο πήρε μια τιμή ανάλογα με την ακτινοβολία η οποία ανακλάται χρησιμοποιώντας τη λειτουργία της αντίστροφης τιμής. Με αυτή την λειτουργία η εικόνα παρουσιάζεται σαν να είναι με αρνητικά χρώματα (εικόνα 3). Για την εξοικείωση με τη μέθοδο της ανάλυσης επιλέχτηκαν τυχαία είκοσι φωτογραφίες, οι οποίες απέδειξαν ότι τα εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύουν τα άνθη είχαν τιμές μεταξύ μηδέν και εκατό. Τέλος με τη χρήση της λειτουργίας πληροφορίες του προγράμματος GIMP 2.6.8 προσδιορίστηκε το ποσοστό των εικονοστοιχείων που είχαν τιμές στο εύρος τιμών από μηδέν μέχρι εκατό.



Εικόνα 3. Μια RGB φωτογραφία μετά την εφαρμογή του γκριζου τόνου

2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Η κύρια ιδέα της χρήσης της πολυφασματικής φωτογραφικής μηχανής ήταν να διακρινουμε τα άνθη από τα άλλα αντικείμενα σε μια εικόνα χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες της επιφάνειάς τους και την αντανάκλαση του φωτός. Η αντανάκλαση λαμβάνεται από την πολυφασματική φωτογραφική μηχανή υπολογίζοντας τον δείκτη NDVI. Σύμφωνα με το USGS (2010) ο δείκτης NDVI χρησιμοποιείται από τους δορυφόρους για να εντοπίζει και να μετρά την ανάπτυξη των φυτών και της βιομάζας. Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται είναι :

$$NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED)$$

Όπου, NIR είναι η αντανάκλαση του φωτός από ένα αντικείμενο σε μήκη κύματος κοντά στο υπέρυθρο και RED είναι η αντανάκλαση του φωτός από ένα αντικείμενο σε μήκη κύματος που αντιστοιχούν στο κόκκινο φάσμα.

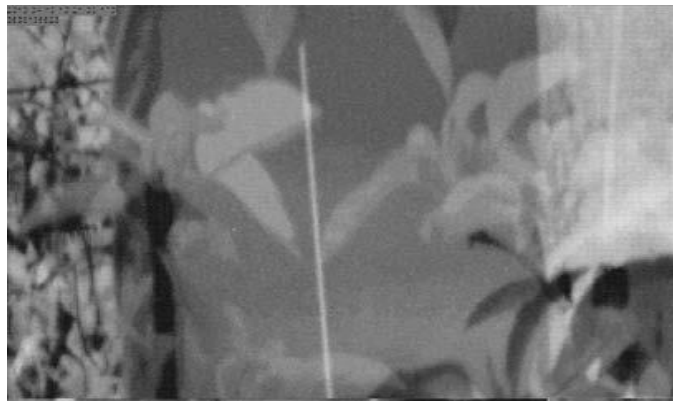
Στη συγκεκριμένη έρευνα για την ανάλυση των φωτογραφιών, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ENVI 4.7. Το πρόγραμμα αυτό επιτρέπει στο χρήστη να κάνει φασματική ανάλυση των εικόνων. Αρχικά επιλέχτηκαν τυχαία 20 φωτογραφίες για να

υπολογιστούν οι τιμές του NDVI. Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία μετατροπή του προγράμματος GIMP 2.6.8 η οποία συνδέεται με έναν αλγόριθμο ο οποίος βασίζεται στην κύρια εξίσωση υπολογισμού του NDVI. Επειδή το 3ο και το 2ο κανάλι της πολυφασματικής φωτογραφικής μηχανής καταγράφει τα δεδομένα στο κοντινό υπέρυθρο και στο κόκκινο αντίστοιχα η εξίσωση η οποία χρησιμοποιήθηκε ήταν η:

$$NDVI = (Band3 - Band2) / (Band3 + Band2)$$

Όπου 3 και 2 είναι οι τιμές από κάθε εικονοστοιχείο στο κοντινό υπέρυθρο και κόκκινο αντίστοιχα.

Από τις επιλεγμένες φωτογραφίες, υπολογίστηκε η τιμή του NDVI των ανθέων ότι είναι μεταξύ 0.002 και 0.004 (εικόνα 4). Βασιζόμενοι σε αυτό το γεγονός κατά την ανάλυση των εικόνων για κάθε εικόνα ξεχωριστά υπολογίστηκε ο αριθμός των εικονοστοιχείων που είχαν τιμές NDVI μεταξύ 0.002 και 0.004. Με αυτό τον τρόπο υπολογίστηκαν τα άνθη, τα οποία συσχετίστηκαν με την τελική παραγωγή.



Εικόνα 4 Πολυφασματική εικόνα από το 130 δέντρο μετά τον υπολογισμό των τιμών του NDVI

2.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η παραγωγή αναλύθηκε με τη χρήση του προγράμματος ARCGIS 9.2 της ESRI. Τα δεδομένα της παραγωγής που ελήφθησαν από τον οπωρώνα εισήχθησαν στο πρόγραμμα για να αναπαρασταθούν τα δεδομένα σε χάρτη. Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε ήταν η παρεμβολή τύπου Kriging:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

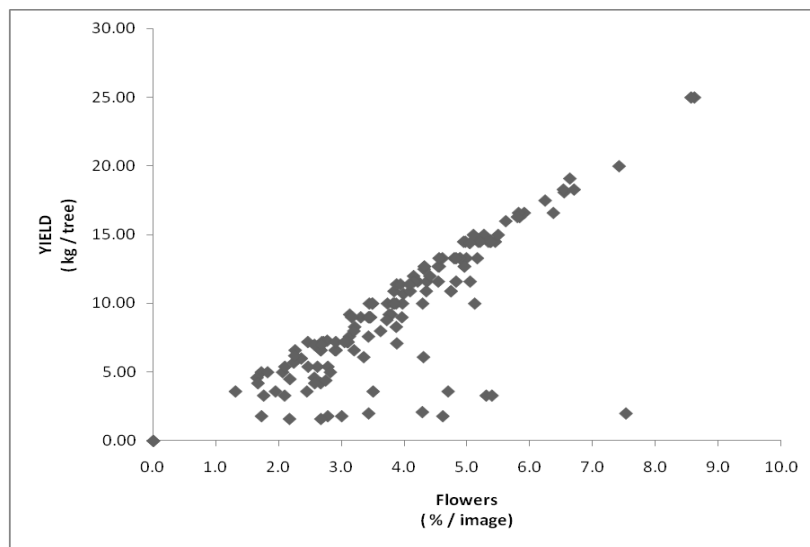
Όπου $Z(s_i)$ = η παραγωγή (kg) στο i σημείο, λ_i = μια άγνωστη μεταβλητή για το i σημείο, s_0 = η τοποθεσία της δειγματοληψίας και N = ο συνολικός αριθμός των περιοχών όπου ζυγίστηκε η παραγωγή.

Για την συσχέτιση των δεδομένων της παραγωγής και των ανθέων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Office Excel 2007. Ο συντελεστής συσχέτισης του αριθμού των ανθέων που υπολογίστηκε από τις φωτογραφίες και της τελικής παραγωγής υπολογίστηκε σαν μέτρηση της σχέσης τους μεταξύ τους. Επιπλέον για να υπολογιστούν οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SPSS 16.0 Winwrap Basic (IBM Corporation, 2007).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

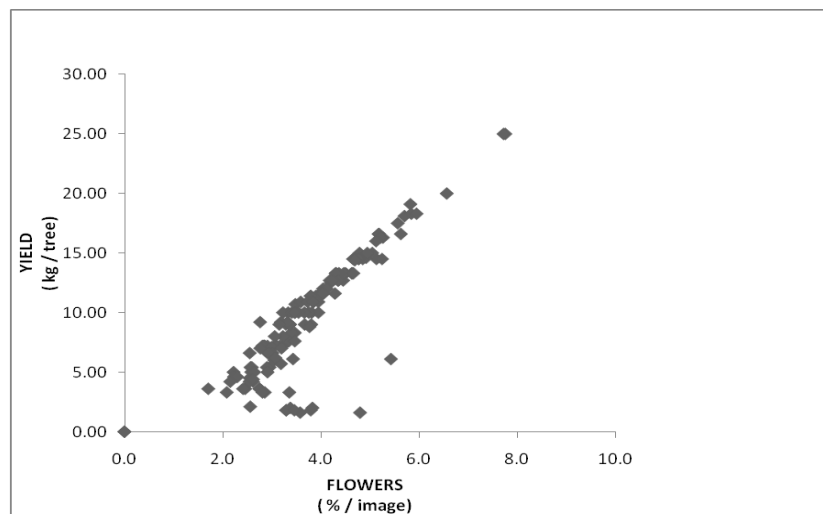
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των RGB φωτογραφιών συγκρίθηκαν με την τελική παραγωγή. Στην εικόνα 5 απεικονίζονται 144 διασκορπισμένα σημεία τα οποία αντιπροσωπεύουν το ποσοστό των ανθέων που υπάρχουν στις φωτογραφίες σε σχέση με την τελική παραγωγή. Ο συντελεστής συσχέτισης r ισούται με 0.82 με στατιστικώς σημαντική διαφορά $p < 0.01$ που σημαίνει

ότι υπάρχει σημαντική συσχέτιση του αριθμού των λουλουδιών με την τελική παραγωγή.



Εικόνα 5 Ανάλυση των RGB φωτογραφιών

Στην εικόνα 6 απεικονίζονται 144 διασκορπισμένα σημεία τα οποία αντιπροσωπεύουν το ποσοστό των ανθέων που βρίσκονται στις πολυφασματικές εικόνες σε σχέση με την τελική παραγωγή. Η συσχέτιση με μεταξύ των ανθέων και της τελικής παραγωγής αποδείχθηκε υψηλή ($r = 0.87$) με στατιστικώς σημαντική διαφορά $p < 0.01$.

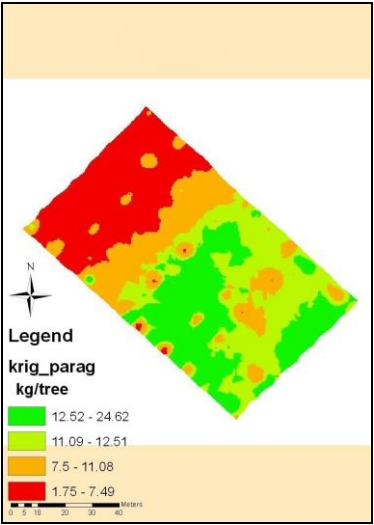


Εικόνα 6 Ανάλυση πολυφασματικών εικόνων

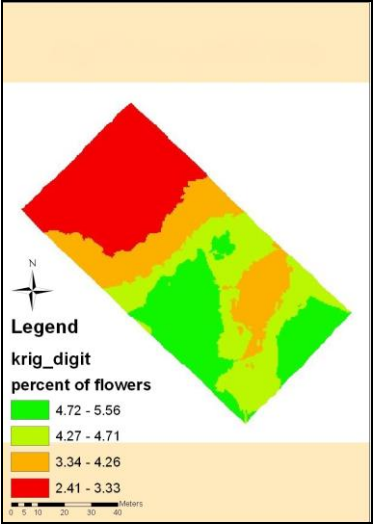
Παρατηρώντας τις εικόνες 5 και 6 διαπιστώνεται ότι υπάρχουν τοποθεσίες στον οπωρώνα όπου τα δέντρα είχαν μεγάλο αριθμό ανθέων, αλλά τα άνθη έπεσαν εξαιτίας ίσως της αδυναμίας του δέντρου. Περαιτέρω έρευνα γι' αυτό το γεγονός θα διεξαχθεί μελλοντικά.

Η εικόνα 7 δείχνει την χαρτογράφηση της παραγωγής. Στο βοριότερο τμήμα του οπωρώνα η παραγωγή ήταν χαμηλή αλλά στο νοτιότερο υψηλή. Στις εικόνες 8 και 9 απεικονίζεται η παραλλακτικότητα των ανθέων, όπως καταγράφηκε με τις RGB φωτογραφίες και με πολυφασματικές φωτογραφίες αντίστοιχα και παρουσιάζουν καθαρά την παραλλακτικότητα της παραγωγής, η οποία προήλθε από την χαρτογράφηση της παραγωγής στην εικόνα 7. Αυτό ήταν αναμενόμενο να συμβεί καθώς υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των ανθέων και της παραγωγής.

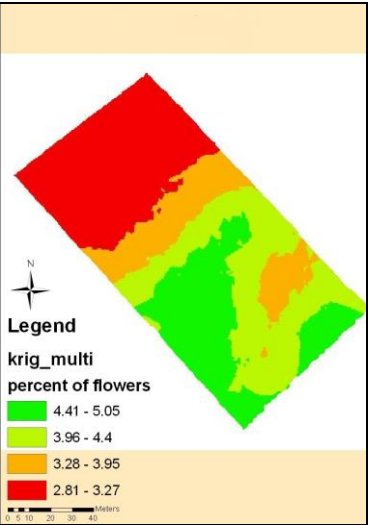
Από τα παραπάνω αποτελέσματα, εάν παραβλέψουμε τα προβλήματα φωτεινότητας των εικόνων κατά την διάρκεια της λήψης των φωτογραφιών μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ παραλλακτικότητας της παραγωγής και της παραλλακτικότητας των ανθέων. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν οι Koutsostathis et al. (2009) και οι Aggeloroulou et al. (2006, 2009). Ο υπολογισμός των λουλουδιών σε πολύ πρώιμο στάδιο της βλαστικής περιόδου μπορεί να αποδειχθεί πολύ σημαντική για τους παραγωγούς και τις επιχειρήσεις (γεωργικές και βιομηχανικές), καθώς μπορούν να προβλέψουν την τελική παραγωγή. Γνωρίζοντας κατά προσέγγιση την τελική παραγωγή ενός οπωρώνα οι παραγωγοί μπορούν να μειώσουν το κόστος παραγωγής εφαρμόζοντας εισροές σε μεταβαλλόμενες δόσεις. Επιπλέον, οι παραγωγοί μπορούν να διαχειριστούν καλύτερα την γεωργική επιχείρησή τους και οι βιομηχανίες μπορούν να σχεδιάσουν τις πωλήσεις των προϊόντων τους.



Εικόνα 7 Παραλλακτικότητα τελικής παραγωγής



Εικόνα 8 Παραλλακτικότητα των ανθέων με βάση τις RGB εικόνες



Εικόνα 9 Παραλλακτικότητα των ανθέων με βάση τις πολυφασματικές εικόνες

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την συγκεκριμένη έρευνα τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι:

Η παραλλακτικότητα των ανθέων των δέντρων συσχετίζεται θετικά με την παραλλακτικότητα της τελικής παραγωγής.

Η μέθοδος υπολογισμού των λουλουδιών η οποία χρησιμοποιεί πολυφασματικές φωτογραφίες εκτιμά καλύτερα την τελική παραγωγή.

Οι τιμές του NDVI των ανθέων των μήλων είναι μεταξύ 0.002 και 0.007.

Η πρόβλεψη της παραλλακτικότητας της παραγωγής με την μέθοδο του υπολογισμού των ανθέων στα δέντρα μπορεί να εφαρμοστεί πολύ νωρίς κατά την βλαστική περίοδο.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aggelopoulou, K.D., Fountas, S., Gemtos, T.A., Nanos, G.D., Wulfsohn, D., 2006. *Precision farming in small apple fields of Greece*. In: Proceedings of the 8th International Conference on Precision Agriculture, July 23-26, Minneapolis, USA. CD-ROM.
- Aggelopoulou, K., Wulfsohn, D., Fountas, S., Gemtos, T., Nanos, G., Blackmore, S., 2009. Spatial variation in yield and quality in a small apple orchard. *Precision agriculture*, 11: 538- 556
- Alchanatis, V., Ostrovsky, V., Levi, O., 2007. *Detection of Green Apples in Hyperspectral Images of Apple-Tree Foliage Using Machine Vision*. Transactions of the ASABE 50 (6): 2303-2313.
- Annamalai, P. and Lee, W.S., 2003. *Citrus yield mapping system using machine vision*. paper number 031002, ASAE, St Joseph, MI, USA.
- Bramley, R.G.V., Proffitt, A.P.B., Hinze, C. J., Pearse, B., Hamilton, R.P., 2005. Generating benefits from Precision Viticulture through selective harvesting. In: J V Stafford (Ed.) Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. pp 891-898.
- IBM Corporation, 2007, SPSS 16.0. Winwrap Basic, Polar Engineering and Consulting, New York, copyright 1993-2007
- Koutsostathis, A., Bohtis, D., Aggelopoulou, A., Fountas, S., Gemtos, T., 2009. Foresee and spatial variability of production in apple orchard by estimating the number of flowers via treatment of digital pictures. In: E.G.M.E. Proceedings 6th Greek Conference of Agricultural Machinery, Thessaloniki, 6-8 October 2009. pp 601-608
- Miller, W. M., and J. D. Whitney. 1999. Evaluation of weighing systems for citrus yield monitoring. *Applied Engineering in Agriculture*, 15(6): 609–614.
- Molin, J.P., Mascarin, L.S., Povh, F. P., Amaral, J.R., Oliveira, A.S. 2007. 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece. Poster Abstracts in CD.
- Safren, O., 2006. *Detection of Green Apples in Hyperspectral Images of Apple-Tree Foliage Using Machine Vision*. ASABE, 50 (6): 2303-2313.
- Stajanko, D., Cmelik, Z., 2004. *Modeling of Apple Fruit Growth by Application of Image Analysis*. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 70 (2) 59-64.
- USGS, 2010 US Department of the Interior. <http://ivm.cr.usgs.gov/> [Accessed on 10/05/11]

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ

Π.Ντογκούλης¹, Δ.Μπόχτης², Π.Γιαννακού¹, Σ.Φουντας¹, Θ.Γέμτος¹

¹Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος,
Αργοναυτών και Φιλελλήνων, Βόλος, Μαγνησία, Ελλάδα

²University of Aarhus, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Biosystems
Engineering, Blichers Allé 20, 8830 Tjele, Denmark

pdogou@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση φυτικών υπολειμμάτων ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας απαιτεί την ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων για τη συλλογή και διάθεσή τους, προκειμένου να εκτελεστούν οι εργασίες αποτελεσματικά και οικονομικά. Η παρούσα εργασία αποτελεί διερεύνηση της απόδοσης των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της συλλογής των φυτικών υπολειμμάτων της καλλιέργειας βαμβακιού. Με τη χρήση δορυφορικών συστημάτων προσδιορισμού θέσης (GPS) συλλέχθηκαν επιχειρησιακά στοιχεία από 40 αγροτεμάχια στην περιοχή της Θεσσαλίας. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψαν βαθμοί απόδοσης, 0.69, 0.68, και 0.61 για τις εργασίες κοπής, χορτοσυλλογής και δεματοποίησης αντίστοιχα.

Λέξεις κλειδιά: Αποδόσεις Μηχανημάτων, υπολείμματα καλλιεργειών, βιομάζα

MONITORING MACHINERY PERFORMANCE IN COTTON RESIDUES COLLECTION

P. Ntogkoulis¹, D.D Bochtis², P.Giannakou¹, S.Fountas¹, T. Gemtos¹

¹ University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Rural
Environment, Argonauton & Filillion, 38221, Volos, Greece

² University of Aarhus, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Biosystems
Engineering, Blichers Allé 20, 8830 Tjele, Denmark

pdogou@gmail.com

ABSTRACT

The use of crop residues as an alternative and renewable energy source requires the development of integrated systems for harvesting, collection and provision in order to run the operations efficiently and cost-effectively. The focus of the present study was to investigate the working efficiency of the machinery involved in the process of cotton crop residues collection. Using geographical positioning systems the operational data from 40 fields were selected. The analysis of the data has shown that the field efficiencies were 0.69, 0.68, and 0.61, for the operations of mowing, raking, and baling, respectively.

Key words: Machinery Efficiency, cotton residues, biomass

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Λόγω της αναμενόμενης αύξησης της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης και της χρήσης ορυκτών καυσίμων, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα συνεχίσουν να αυξάνονται (Grahn, 2007). Η ισχυρή εξάρτηση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων από τα ορυκτά καύσιμα έχει ως αποτέλεσμα περιβαλλοντικά, οικονομικά και πολιτικά προβλήματα (Cherubini et al., 2010). Η ανάγκη για απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα οδήγησε στην ανάπτυξη εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Μία πηγή εναλλακτικής ενέργειας είναι η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα. Ο όρος "βιομάζα" αναφέρεται σε όλες οι ανανεώσιμες οργανικές ύλες, συμπεριλαμβανομένων φυτικών υλών, ζωικών παραπροϊόντων, παραπροϊόντων επεξεργασίας τροφίμων, δασοκομίας και αστικών αποβλήτων (Stout, 1984; Lal, 2005). Ειδικότερα, η αξιοποίηση των φυτικών υπολειμμάτων των καλλιεργειών ως πρώτη ύλη για παραγωγή ενέργειας έχει μειωμένες επιπτώσεις στις περιβαλλοντικές αλλαγές, λόγω του μηδενικού ισοζυγίου εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ενώ από την άλλη προάγει την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. Επιπλέον, η χρήση των φυτικών υπολειμμάτων ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιο-ενέργειας έχει ως πλεονέκτημα ότι δεν ανταγωνίζεται με τις καλλιέργειες για την παραγωγή τροφίμων (Junginger et al., 2008).

1.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ

Η αποτελεσματικότητα του συστήματος της συγκομιδής εξαρτάται από το σύστημα συλλογής, μεταφοράς, και τον τύπο αποθήκευσης. Το σύστημα της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας περιλαμβάνει έναν αριθμό δραστηριοτήτων στο χωράφι. Δυστυχώς, στη γεωργία, σε γενικές γραμμές, οι γεωργικές δραστηριότητες βασίζονται στην παράδοση, οι γεωργοί εκτελούν τις εργασίες οι οποίες γίνονται σύμφωνα με την εμπειρία τους και η διαδικασία λήψης των αποφάσεων βασίζεται στον ίδιο τον παραγωγό (Sørensen και Bochtis, 2010). Συνεπώς χρειάζεται ένα σύστημα για τον προγραμματισμό και τη εκτέλεση των εργασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι πληροφορίες σχετικά με την απόδοση των μηχανημάτων που εμπλέκονται στην αλυσίδα συλλογής στελεχών βαμβακιού είναι απαραίτητες για την διαχείριση των μηχανημάτων. Οι μελέτες των αποδόσεων των μηχανημάτων απαιτούσαν παραδοσιακά τη χρήση των χρονομέτρων (Grisso et al., 2001) και ήταν επίπονες, χρονοβόρες, και γενικά, με χαμηλή ακρίβεια, οδηγώντας σε στατιστικά στοιχεία που δεν μπορούσαν να εφαρμοστούν σε ειδικές περιπτώσεις. Η εισαγωγή των δορυφορικών συστημάτων παρακολούθησης στον τομέα των γεωργικών μηχανημάτων έχει κάνει πιο εύκολη τη συλλογή δεδομένων, και σε συνδυασμό με κατάλληλα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) παρέχουν τη βάση για μια σε βάθος ανάλυση σχετικά με τις εργασίες που συνθέτουν το σύνολο της αλυσίδας (Bochtis and Sørensen, 2010; Bochtis et al. 2009).

1.2. ΥΠΟΛΕΙΜΑΤΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα, μία από τις κύριες πηγές φυτικών υπολειμμάτων είναι η καλλιέργεια του βαμβακιού. Το βαμβάκι σπέρνεται στα μέσα Απριλίου μέχρι τις αρχές του Μαΐου και συγκομίζεται στα μέσα Οκτωβρίου μέχρι τα μέσα Νοεμβρίου. Μετά τη συλλογή των σπόρων και της ίνας τα μέρη του φυτού που παραμένουν στο χωράφι είναι τα στελέχη και οι ρίζες (Gemtos et al., 1999). Οι αγρότες συνήθως τεμαχίζουν και ενσωματώνουν τα στελέχη της καλλιέργειας, προκειμένου να περιοριστούν οι προσβολές των εντόμων, να μειωθούν οι εμπλοκές των μηχανημάτων κατεργασίας του εδάφους και να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά του εδάφους και κυρίως η οργανική ουσία του εδάφους. Μόνο λίγοι αγρότες αφήνουν τα στελέχη στο χωράφι και μετά από αυτό σπέρνουν τα

χειμερινά σιτηρά (Gemtos et al., 1997). Για την συλλογή των υπολειμμάτων χρησιμοποιείται ο ίδιος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την συλλογή χορτοδοτικών φυτών, οπότε δεν υπάρχει πρόβλημα στην κατανόηση της διαδικασίας από τους γεωργούς. Η εποχιακή διαθεσιμότητα των υπολειμμάτων βαμβακιού είναι ο Οκτώβριος μέχρι τα τέλη Νοέμβριου.

Οι Gemtos και Tsirikoglou (1999) ερεύνησαν, μεταξύ άλλων, τη δυνατότητα διάθεσης των υπολειμμάτων βαμβακιού στην Ελλάδα, τις φυσικές ιδιότητες των υπολειμμάτων βαμβακιού, καθώς και ενεργειακά και οικονομικά θέματα. Υπολόγισαν την περιεκτικότητα σε υγρασία των υπολειμμάτων που είναι κατά μέσο όρο 40% στα στελέχη και 60% για τις ρίζες. Για μια ασφαλή συλλογή και αποθήκευση του βαμβακιού θα πρέπει να παραμείνουν στο χωράφι προκειμένου να επιτευχθεί μείωση της υγρασίας στο 20%. Η περίοδος για τη διαδικασία αυτή διαρκεί συνήθως τρεις εβδομάδες. Η διαθεσιμότητα των υπολειμμάτων βαμβακιού εκτιμάται ότι είναι κατά μέσο όρο το 60% του συνολικού δυναμικού των υπολειμμάτων. Τα συμπεράσματα της έρευνας ήταν ότι η όλη εργασία μπορεί να εκπληρωθεί με τον υφιστάμενο εξοπλισμό συλλογής χορτοδοτικών φυτών (μηχανές, πρέσες κ.λπ.).

Επιπλέον στην ίδια εργασία η ενέργεια που υπολογίστηκε να ανακτηθεί από τα υπολείμματα ήταν 37,028 MJ / ha (ισοδυναμεί με 971 λίτρα Diesel, HHV Diesel = 44,08 MJ / kg και η πυκνότητα του Diesel $\approx 0,85$ kg / l), ενώ η συγκομιδή έδειξε να είναι ενεργειακά αποτελεσματική σε ένα ποσό καθαρής ενέργειας ίση με 35,571 MJ/ha. Ο μέσος όρος για την ποσότητα της βιομάζας που είχε εκτιμηθεί ήταν 2007 kg/ha.

Οι Rentizelas et al. (2009) μελέτησαν τα προβλήματα αποθήκευσης των υπολειμμάτων βαμβακιού. Μελέτησαν το υλικοτεχνικό κόστος σε τρία διαφορετικά σενάρια:

- Αποθήκευση χωρίς ξήρανση. Αυτού του είδους η αποθήκευση δεν αποτρέπει τις απώλειες οδηγώντας σε μια απώλεια υλικού της τάξης του 0,5% ανα μήνα.

- Ξήρανση από ρεύμα ζεστού αέρα.

- Αποθήκευση στο ύπαιθρο, που αποτελεί το σενάριο με το υψηλότερο ποσοστό απωλειών.

Τα δύο πρώτα σενάρια συγκρίθηκαν με το τρίτο από την άποψη του κόστους φόρτωσης, του κόστους μεταφοράς, καθώς και αποθήκευσης και κόστους διαχείρισης της όλης διαδικασίας. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η πιο αποδοτική λύση αποθήκευσης είναι το τρίτο σενάριο που οδηγεί σε σημαντική μείωση του κόστους της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας, η οποία υπερβαίνει κατά πολύ το κόστος από τις απώλειες και την αύξηση της διακίνησης. Το τρίτο σενάριο είναι και το απλούστερο σενάριο αποθήκευσης.

Οι Tasiopoulos και Tolis (2003) ερεύνησαν την υλικοτεχνικό κόστος των διαδικασιών συλλογής, διανομής και αποθήκευσης των υπολειμμάτων βαμβακιού της εφοδιαστικής αλυσίδας, εξετάζοντας δύο σενάρια μεταφοράς. Στο πρώτο σενάριο οι αγρότες συμμετείχαν στη συλλογή και τη μεταφορά, ενώ στο δεύτερο εταιρείες χρησιμοποιούν τα δικά τους μηχανήματα για τη διεξαγωγή των εργασιών συλλογής και της μεταφοράς. Σε σχέση με την αποθήκευση διερευνήθηκαν τρία σενάρια, η βιομάζα είναι αποθηκευμένη και αποξηραμένη σε κλειστές αποθήκες, η αποθήκευση σε δέματα και η αποθήκευση pellets. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η πιο αποδοτική στρατηγική μεταφοράς είναι οι γεωργοί να συμμετέχουν στις διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας ενώ σε ό, τι αφορά την αποθήκευση η μέθοδος της δεματοποίησης φαίνεται

να είναι οικονομικά αποδοτική, με την προϋπόθεση ότι η ανάκτηση των δεμάτων να γίνεται με την μέθοδο FIFO (First In First Out).

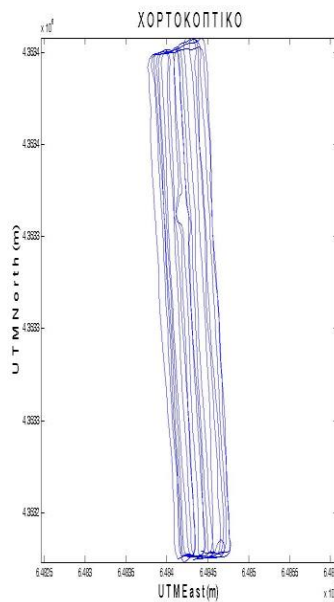
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην παρούσα μελέτη, οι πρακτικές της διαδικασίας συλλογής υπολειμμάτων διερευνώνται από την άποψη αποδοτικότητας. Οι εργασίες των μηχανημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή των υπολειμμάτων βαμβακιού καταγράφηκαν με τη χρήση δεκτών GPS. Οι εργασίες των μηχανημάτων που καταγράφηκαν ήταν η κοπή, η συλλογή σε σωρούς, η δεματοποίηση και η φόρτωση-εκφόρτωση. Το πείραμα έλαβε χώρα στην περιοχή της Θεσσαλίας, στην Ελλάδα, κατά το μήνα Νοέμβριο δεδομένου ότι το βαμβάκι είναι μια καλλιέργεια που η συγκομιδή του γίνεται τον Οκτώβριο. Τα υπολείμματα χρησιμοποιούνται ως εναλλακτική μορφή ενέργειας από βιομηχανία τσιμέντου της οποίας το εργοστάσιο βρίσκεται στην περιοχή της Θεσσαλίας. Η βιομηχανία τσιμέντου στην περιοχή έχει αναπτύξει ένα δίκτυο των εργολάβων για τη συλλογή των υπολειμμάτων των καλλιεργειών.

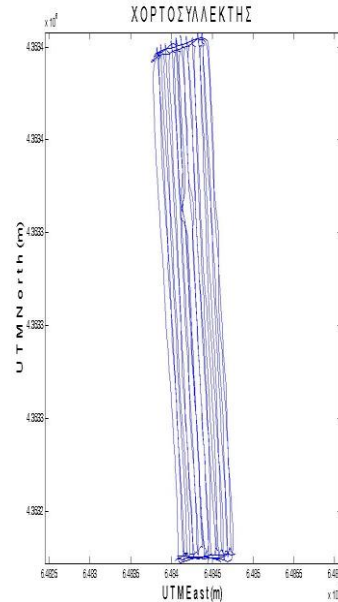
Η πρώτη διαδικασία που έλαβε χώρα στην αλυσίδα της συγκομιδής ήταν η κοπή των υπολειμμάτων. Χρησιμοποιήθηκε χορτοκοπτικό με δίσκους με προδιαγραφές πλάτους εργασίας 2,10 m. Μετά τη διαδικασία κοπής, τα υπολείμματα ήταν διασκορπισμένα σε όλο το χωράφι. Συνήθης πρακτική μετά την κοπή είναι να χρησιμοποιείται ένας χορτοσυλλέκτης ώστε τα υπολείμματα να συγκεντρωθούν σε γραμμικούς σωρούς, για να γίνει η διαδικασία της συλλογής με χορτοδετική κυλινδρικών δεμάτων ποιο αποτελεσματική. Ο χορτοσυλλέκτης που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένας χορτοσυλλέκτης τύπου ελικοπτέρου με προδιαγραφές πλάτους εργασίας 2,8 m. Η μηχανή δεματοποίησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν μια χορτοδετική κυλινδρικών δεμάτων που παράγει δέματα 1,5m διαμέτρου. Η διαδικασία φόρτωσης πραγματοποιείται με έναν φορτωτή σε μια πλατφόρμα μεταφοράς που είναι ικανή να μεταφέρει μέχρι 22 δέματα. Η όλη διαδικασία συλλογής υπολειμμάτων ολοκληρώθηκε σε χρονικό διάστημα ενός μηνά. Οι δέκτες GPS που τοποθετήθηκαν στις εμπλεκόμενες μηχανές παρέχουν όλες τις πληροφορίες για το χρόνο και τις συντεταγμένες που είναι αναγκαίες για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος μετά την ανάλυση των δεδομένων. Τα δεδομένα τα οποία λήφθηκαν με την χρήση των δεκτών GPS αφορούσαν τις συντεταγμένες της κίνησης, την ταχύτητα και τον χρόνο. Για την καταγραφή των κινήσεων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό GPS photo tagger v1.2.3(Eurotronic Products GmbH, Dortmund). Η συχνότητα λήψης των δεδομένων ήταν 0.5 Hz. Η όλη διαδικασία συγκομιδής υπολειμμάτων βαμβακιού έγινε σε 40 χωράφια διαφόρων μεγεθών που κυμαίνονται μεταξύ 0,6 ha και 13,6 ha. Για όλα τα μηχανήματα που εμπλέκονται στην συλλογή του υπολείμματος υπολογιστήκαν ο χρόνος των στροφών, ο χρόνος εργασίας (είναι ο χρόνος που τα μηχανήματα κινούνται και επιχειρούν), ο χρόνος περιφερειακής κίνησης (είναι ο χρόνος που χρειάζεται το μηχάνημα να κινηθεί περιφερειακά του αγροτεμάχιου ειδικά σε χωράφια ακανόνιστου σχήματος πριν ξεκινήσει ο χρόνος εργασίας) και οι καθυστερήσεις. Στην περίπτωση της χορτοδετικής υπολογίστηκε και ο χρόνος που χρειάζεται για την απόθεση της μπάλας. Για τον υπολογισμό των επιμέρους χρόνων δημιουργήθηκε λογισμικό με την χρήση του MATLAB® technical programming language

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

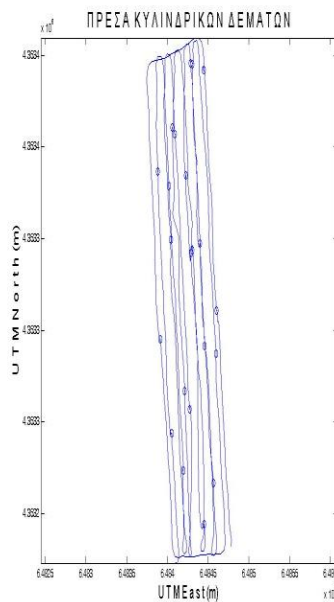
Στα Σχήματα 1, 2, 3, και 4 παρουσιάζονται οι καταγραφές κατά τη λειτουργία του χορτοκοπτικού, του χορτοσυλλέκτη, της πρέσας κυλινδρικών δεμάτων και του συστήματος φόρτωσης στο αγροτεμάχιο 18. Το αγροτεμάχιο 18 είναι έκτασης 20.6 στεμμάτων και η παραγωγή 5100kg/ha σύσπορου βαμβακιού.



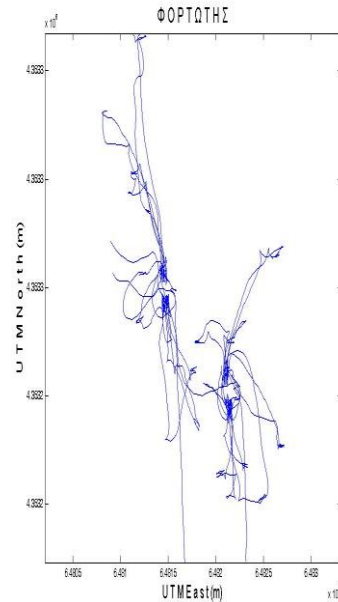
Σχήμα 1. Καταγραφή κίνησης χορτοκοπτικό



Σχήμα 2. Καταγραφή κίνησης χορτοσυλλέκτη



Σχήμα 3. Καταγραφή κίνησης πρέσας



Σχήμα 4. Καταγραφή κίνησης φορτωτή

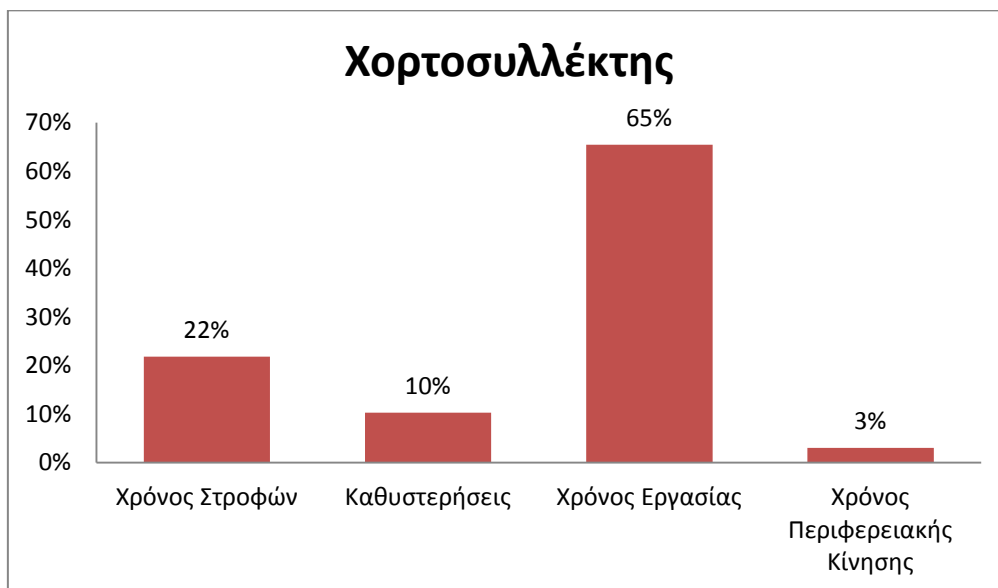
Όπως προαναφέρθηκε ο υπολογισμός των χρόνων έγινε με την χρήση λογισμικού που δημιουργήθηκε με την χρήση του MATLAB® technical programming language. Ο βαθμός απόδοσης είναι η επί της εκατό αναλογία του χρόνου που το μηχάνημα λειτουργεί αποτελεσματικά προς τον συνολικό χρόνο της λειτουργίας (Hunt, 1997).



Σχήμα 5. Κατανομή χρόνου χορτοκοπτικού

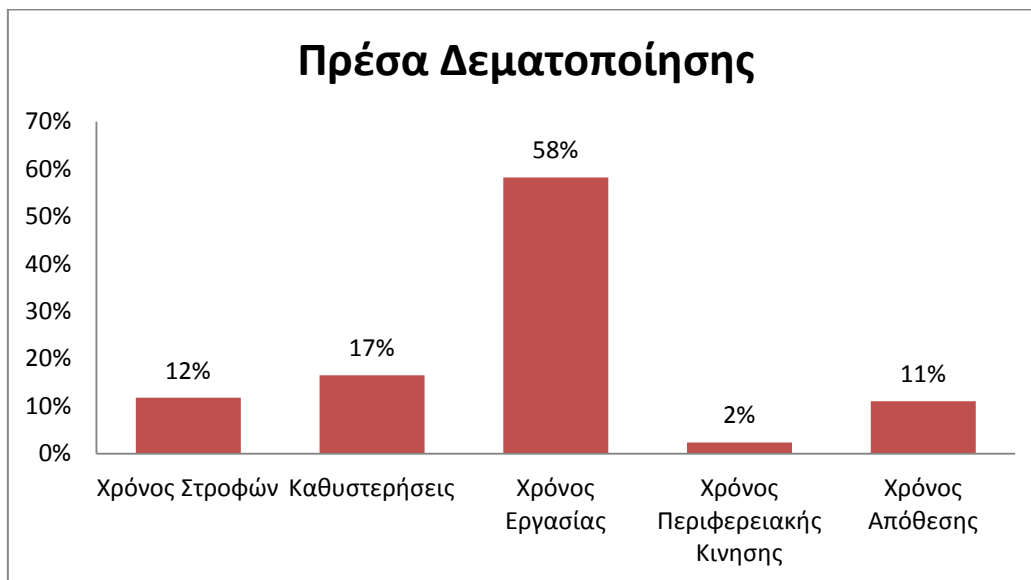
Από τον υπολογισμό των μέσων όρων των επιμέρους χρόνων προκύπτει ότι ο μέσος βαθμός απόδοσης του χορτοκοπτικού στα αγροτεμάχια του πειράματος που είναι $e_m = 69\%$.

Το 3% του συνολικού χρόνου είναι ο χρόνος που χρειάζεται το χορτοκοπτικό για να πάρει την κατάλληλη θέση στο χωράφι. Είναι ο χρόνος εργασιών που χρειάζεται κάποιες φορές, ειδικά σε χωράφια ακανόνιστου σχήματος, να εργαστεί το χορτοκοπτικό περιφερειακά του χωραφιού.



Σχήμα 6. Κατανομή χρόνου χορτοσυλλέκτης

Από την ανάλυση των επιμέρους χρόνων στο χορτοσυλλέκτη υπολογίστηκε ο μέσος βαθμός απόδοσης του χορτοσυλλέκτη $e_r=68\%$.



Σχήμα 7. Κατανομή χρόνου χορτοδετικής πρέσας

Για την πρέσα δεματοποίησης, από την ανάλυση των επιμέρους χρόνων προκύπτει ότι ο μέσος βαθμός απόδοσης της πρέσας κυλινδρικών δεμάτων είναι $e_b=61\%$. Ο χρόνος απόθεσης της μπάλας ήταν το 11% του συνολικού χρόνου.

4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση και η καταγραφή των αποδόσεων των μηχανημάτων στην αλυσίδα συλλογής των υπολειμμάτων βαμβακιού είναι το πρώτο βήμα για την έρευνα κατά την εφαρμογή των βιομηχανικών μεθόδων για τη διαχείριση του συνόλου των διαδικασιών συλλογής και διανομής της εν λόγω ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, για το χορτοκοπτικό και τον χορτοσυλλέκτη η μέση τιμή του βαθμού απόδοσης είναι μικρότερη από αυτή που αναφέρεται στη βιβλιογραφία(ASAE,2006) και αφορά τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στη συλλογή χορτοδοτικών φυτών. Για την πρέσα κυλινδρικών δεμάτων ο βαθμός απόδοσης είναι μικρότερος από την μέση τιμή που αναφέρεται στη βιβλιογραφία αλλά παρ' αυτά εντός του εύρους τιμών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ASAE (2006). Agricultural machinery management.ASABE, St Joseph, Michigan, pp390-398.
- Bochtis D D; Sørensen C G , 2010. *The vehicle routing problem in field logistics: Part II*. Biosystems Engineering, 105(2): 180-188.
- Cherubini F., Ulgiati S., 2010. *Crop residues as raw materials for biorefinery systems A LCA case study*. Applied Energy, 87(1): 47-57.
- Gemtos T., Galanopoulou S., Kavalakis Chr.,1997. *Wheat establishment after cotton with minimal tillage*. European Journal of Agronomy, 8: 137-147
- Gemtos T., Tsirocoglou Th., 1999. *Harvesting of cotton residue for energy production*. Biomass and Bioenergy, 16: 51-59.

- Grahna M.,Ch. Azara,K. Lindgrena,G. Berndes, D. Gielenb, 2007. *Biomass for heat or as transportation fuel? A comparison between two model based studies*. Biomass and Bioenergy, (31): 747-758.
- Grisso R. D., P. J. Jasa, D. E. Rolofson, 2002. *Analysis of traffic patterns and yield monitor data for field efficiency determination*. Applied engineering in agriculture. Asae 18(2): 171–178
- Hunt D. Farm power and machinery management. Iowa State University Press, 1977.
- Junginger M., M.d. Wit, R. Sikkema, A.Faaij, 2008. *International bioenergy trade in the Netherlands*. Biomass and Bioenergy, 32(8): 672-687.
- Lal R., 2005. *World crop residues production and implications of its use as a biofuel*. Environment International, 31(4): 575-584.
- Li Y., H. Liu, 2000. *High-pressure densication of wood residues to form an upgraded fuel*. Biomass and Bioenergy, (19): 177-186.
- Rentizelas A.A., A.J. Tolis, I. P. Tatsiopoulos, 2009. Logistics issues of biomass: *The storage problem and the multi-biomass supply chain*. Renewable and Sustainable Energy Reviews,13(4): 887-894.
- Sorensen C.G., Bochtis D.D., 2010. *Conceptual model of fleet management in agriculture*. Biosystems Engineering, 105(1): 41-50.
- Stout B A.,1984. *Energy use and management in agriculture*. North Scituate, MA7 Breton Publishers.
- Tatsiopoulos I. P., A. J. Tolis, 2003. *Economic aspects of the cotton-stalk biomass logistics and comparison of supply chain methods*. Biomass and Bioenergy, 24(3): 199-214.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

Ε.Ροδιάς¹, Δ.Δ.Μπόχτης², C.G. Sørensen², Γ.Παπαδάκης¹

¹ Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης φυσικών πόρων και γεωργικής μηχανικής, Ιερά οδός 75, 11855, Αθήνα, Ελλάδα, stud12318@aua.gr

² Aarhus University, Faculty of Agricultural Science, Dept. of Biosystems Engineering, Blichers Alle 20, DK-8830, Tjele, Denmark, Dionysis.Bochtis@agrsci.dk

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια αξιολόγηση των επιπτώσεων στο λειτουργικό κόστος της εφαρμογής ψεκαστικών συστημάτων με αυτόματο έλεγχο τμηματικού ψεκασμού. Οι δύο παράγοντες που εξετάστηκαν είναι ο αριθμός των τμημάτων ψεκασμού που το σύστημα μπορεί αυτόματα να ελέγχει και η κατεύθυνση κίνησης του μηχανήματος εντός του χωραφίου. Η συνδυασμένη ανάλυση της αλληλεπίδρασης των παραπάνω είναι πολύ σημαντική για την υποστήριξη των στρατηγικών αποφάσεων σε επίπεδο διαχείρισης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων όπου υιοθετούνται τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας.

Λέξεις κλειδιά : σύστημα στήριξης αποφάσεων, διαχείριση μηχανημάτων, γεωργία ακριβείας

ASSESSMENT OF COMBINED AUTO-STEERING AND AUTO-SECTION SPRAYING TECHNOLOGIES IN FIELD MACHINERY

E. Rodias¹, D.D. Bochtis², C.G. Sørensen², G. Papadakis¹

¹ Agricultural University of Athens, Natural Resources and Agricultural Engineering Department, Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece. stud12318@aua.gr

² Aarhus University, Faculty of Agricultural Science, Dept. of Biosystems Engineering, Blichers Alle 20, DK-8830, Tjele, Denmark, Dionysis.Bochtis@agrsci.dk

SUMMARY

This paper presents an assessment of the effect of the implementation automatic section control spraying systems on the machinery operational cost. The two factors that were examined are the number of the spraying sections that the system can automatically control and the driving direction within the field. An integrated analysis of the interaction of the above mentioned factors with different field geometries is very important for supporting the strategic decision on the farm management level, where precision agriculture technologies are adopted.

Key words: decision support system, machinery management, precision farming

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα συστήματα ψεκασμού με αυτόματο έλεγχο των επιμέρους τμημάτων ενός ψεκαστικού μηχανήματος μπορούν να καταγράφουν τα τμήματα της καλλιεργούμενης έκτασης που καλύπτονται κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής εργασίας. Παράλληλα έχουν τη δυνατότητα να ενεργοποιούν και να απενεργοποιούν αυτόματα τα επιμέρους τμήματα του ψεκαστήρα, προκειμένου να αποφευχθούν επικαλύψεις σε ήδη ψεκασμένες περιοχές. Τα συστήματα αυτά μπορούν να ακολουθούν με ακρίβεια τις διαδρομές αυξάνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα του συνολικού συστήματος. Οι Stombaugh κ.α. (2009) αναφέρουν τη δυνατότητα εξοικονόμησης μέχρι και 25% σε αγροχημικά με τη χρήση αυτόματα ελεγχόμενων τμημάτων. Επιπλέον, η εφαρμογή αυτών των συστημάτων και η περαιτέρω ανάπτυξή τους σε συνδυασμό με συστήματα υποβοήθησης πλοήγησης, όπως το σύστημα αυτόματης διεύθυνσης (auto-steering system) μπορεί να θεωρηθεί ως πολλά υποσχόμενη για τον προγραμματισμό και σχεδιασμό των εργασιών που βασίζεται σε προηγμένα εργαλεία διαχείρισης των γεωργικών εργασιών για τα σύγχρονα γεωργικά μηχανήματα ή ακόμη και για ρομποτικά συστήματα (Bochtis & Sørensen, 2009, Sørensen & Bochtis, 2010).

Πέρα από τις οικονομικές πτυχές σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης, υπάρχουν και περιβαλλοντικά κίνητρα για τη μείωση των εισροών από φυτοφάρμακα ή άλλα αγροχημικά. Έρευνες έχουν δείξει τη σημαντική δυνατότητα για μείωση των εισροών αυτών μέσω της μείωσης των εισροών από την εφαρμογή στις περιοχές των επικαλύψεων (Batte & Ehsani, 2006). Επίσης, μπορεί να σημειωθεί ότι οι επικαλύψεις επηρεάζονται άμεσα από τη διεύθυνση κίνησης του ψεκαστικού μηχανήματος. Η επίδραση της κατεύθυνσης θα πρέπει ιδιαίτερα να εξεταστεί στην περίπτωση των συστημάτων ελεγχόμενης κυκλοφορίας (CTF), δεδομένου ότι οι διάδρομοι κυκλοφορίας είναι μόνιμοι και δεν επιτρέπονται τροποποιήσεις.

Οι Bochtis et al. (2010) ανέπτυξαν μια προσέγγιση για την ανάλυση διαφορετικών διευθύνσεων κίνησης, από την άποψη του λειτουργικού κόστους των μηχανημάτων σε ετήσια βάση. Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι στο σύστημα CTF ο κανόνας ότι η βέλτιστη κατεύθυνση κίνησης πρέπει να είναι παράλληλη προς το μακρύτερο πλευρά του χωραφιού δεν ισχύει. Αυτή η απόκλιση από το συμβατικό κανόνα οφείλεται στους γενικούς περιορισμούς που επιβάλλονται σε ένα σύστημα CTF και στις επακόλουθες διαφορές στους παράγοντες που επηρεάζουν το λειτουργικό κόστος και περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τη προκύπτουσα αλληλεπικαλυπτόμενη περιοχή στο ψεκασμό. Ωστόσο, στην εργασία αυτή, όσον αφορά στις επικαλύψεις κατά τον ψεκασμό, είχε ληφθεί υπόψη μόνο το συμβατικό σύστημα ψεκασμού. Η χρήση ενός συστήματος ψεκασμού εξοπλισμένο με αυτόματο έλεγχο ανά τμήματα της ψεκαστικής μηχανής μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές μειώσεις στην επικαλυπτόμενη περιοχή. Έτσι, θεωρείται πολύ σημαντική μια περαιτέρω ανάλυση η οποία περιλαμβάνει την περίπτωση μονάδων αυτόματου ελέγχου του ψεκασμού. Μια τέτοια ανάλυση μπορεί να υποστηρίξει στρατηγικές αποφάσεις του διαχειριστή των εργασιών για την απόκτηση συστημάτων που θα είναι εξοπλισμένα με αυτόματο έλεγχο των επιμέρους τμημάτων του ψεκαστικού, δεδομένων των ιδιαίτερων παραμέτρων κάθε καλλιεργούμενης έκτασης (μέγεθος, σχήμα, και κατεύθυνση κίνησης).

Στη παρούσα εργασία, αναλύεται εκτενέστερα το σύστημα που περιγράφεται στην εργασία των Bochtis κ.α., (2010) και στοχεύει κυρίως στην περίπτωση του εξοπλισμού για ψεκασμό με αυτόματο έλεγχο ανά τμήματα του ψεκαστικού. Επίσης, αξιολογείται η επιρροή της διεύθυνσης κίνησης (διαμόρφωση των διαδρομών κυκλοφορίας) σε σχέση με το λειτουργικό κόστος των γεωργικών εργασιών ψεκασμού για διαφορετικές εναλλακτικές του ελέγχου ανά τμήματα του ψεκαστικού.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Όσον αφορά στο σύστημα που εξετάζεται στη παρούσα εργασία, η κινητή μονάδα αποτελείται από ένα δικίνητο (2WD) ελκυστήρα και το ψεκαστικό μηχανήμα. Το ψεκαστικό

μηχάνημα ήταν εξοπλισμένο με έναν 18-μετρο, αυτόματα ελεγχόμενο βραχίονα ο οποίος χωρίζεται σε οκτώ επιμέρους υπό-τμήματα. Οι αντίστοιχες 8 αυτόματες βαλβίδες ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται ανάλογα με τη συγκεκριμένη θέση που βρισκόταν ο ψεκαστήρας κάθε στιγμή μέσα στον αγρό. Οι πληροφορίες θέσης της κινητής μονάδας αντλούνται από ένα σύστημα πλοήγησης εντοπισμού θέσης πραγματικού χρόνου (RTK-GPS), με το οποίο ήταν εξοπλισμένη η κινητή μονάδα και χρησιμοποιήθηκε για τη πλοήγηση της. Εκτός από την αποφυγή των επικαλύψεων εντός της καλλιεργήσιμης έκτασης, ο ελεγκτής του ψεκαστήρα αποφεύγει τον ψεκασμό εκτός των ορίων του χωραφιού ή σε συγκεκριμένες περιοχές του χωραφιού που χαρακτηρίζονται ως εμπόδια.

Η προαναφερθείσα έρευνα πραγματοποιήθηκε στη πλατφόρμα πληροφοριακών και επικοινωνιακών τεχνολογιών (ICT-platform) του Τμήματος Biosystems Engineering του Πανεπιστημίου Aarhus στη Δανία. Η ερευνητική πλατφόρμα βασίζεται σε μια εκτεταμένη χρήση των τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών (ICT) συνδυασμένου με συστήματα αυτοματισμού, παρέχοντας τη δυνατότητα για ακριβή πειραματική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Χρησιμοποιήθηκαν δύο πειραματικές εκτάσεις ως βάση για την αξιολόγηση. Η Έκταση Α επιφάνειας 6,25 ha (εκτάρια) και η Έκταση Β επιφάνειας 14,45 ha. Τόσο η Έκταση Α όσο και η Β βρίσκονται στο Κέντρο Έρευνας στο Foulum της Δανίας και καλλιεργούνται για σιτάρι.

Το ψεκαστικό μηχάνημα ελέγχθηκε για διαφορετικές κατευθύνσεις καλλιέργειας και για τις δύο εκτάσεις, προκειμένου να επιλεγθούν οι καλύτερες διευθύνσεις κίνησης του ψεκαστικού από άποψη λειτουργικού κόστους συμπεριλαμβανομένου του κόστους των απωλειών στα αγροχημικά λόγω των επικαλύψεων. Το αγροχημικό κόστος αφορά τα φυτοφάρμακα και τα αγροχημικά που σε ετήσια βάση εφαρμόζονται στον αγρό. Για κάθε μια από τις δύο εκτάσεις επιλέχθηκαν 3 διαφορετικές κατευθύνσεις κίνησης για να αξιολογηθεί πώς η χρήση πολλαπλών αυτόματων υπό-τμημάτων στον βραχίονα του ψεκαστικού μηχανήματος μπορεί να μειώσει το λειτουργικό κόστος.

Οι κύριες παράμετροι του επιλεγμένου συστήματος μηχανημάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 και οι παράμετροι για τα κόστη στον Πίνακα 2, αντίστοιχα.

Πίνακας 1 : Παράμετροι του επιλεγμένου συστήματος μηχανημάτων

Μηχανήματα	Ελκυστήρας (80 KW)	Ψεκαστικό Μηχάνημα
Επαναλήψεις	-	3
Πλάτος (m)	-	18
Ταχύτητα (m/s)	-	2,91
Τιμή Κτίσης (€)	53,333	37,333
Χρήση (h)	2500	375
RF1	0,007	0,41
RF2	2	1,3
Ταχύτητα Στροφής (m/s)	-	1,39

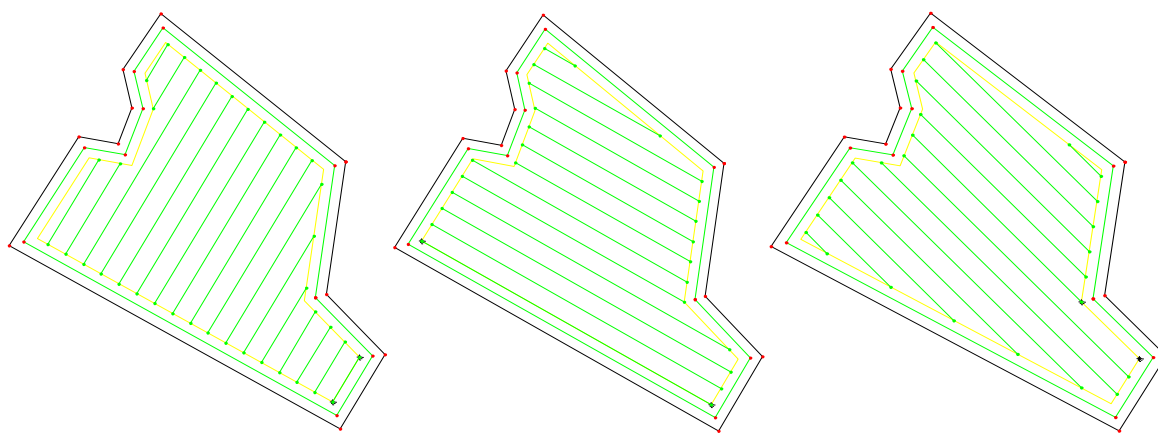
Πίνακας 2 : Παράμετροι για τα κόστη

Κόστη (€)		
Εργατικό κόστος (€/h)	Κόστος καυσίμων (€/l)	Αγροχημικό κόστος (€/ha)
26,7	0,53	104,53

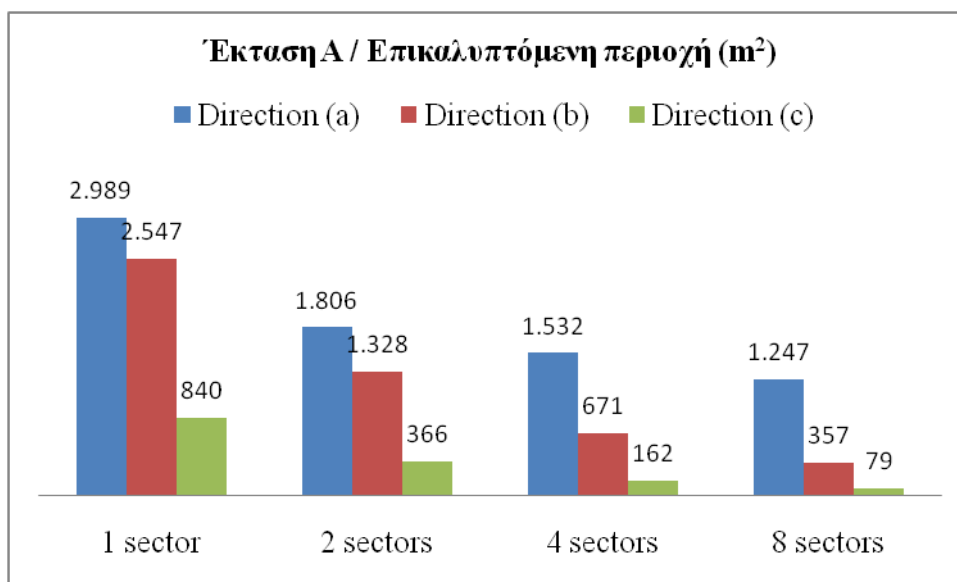
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Παρουσιάζεται η επίδραση της χρήσης πολλαπλών αυτόματα ελεγχόμενων υπό-τμημάτων στο βραχίονα του ψεκαστικού μηχανήματος όσον αφορά στην επικαλυπτόμενη περιοχή και, κατά συνέπεια, στο ετήσιο κόστος για κάθε επιλεγμένη κατεύθυνση κίνησης στους δύο επιλεγμένους πειραματικούς αγρούς.

Για την Έκταση Α, οι τρεις διαφορετικές διευθύνσεις κίνησης του ψεκαστικού (a), (b) και (c) παρουσιάζονται στο Σχήμα 1. Η επικαλυπτόμενη περιοχή σε κάθε μια από αυτές τις τρεις διευθύνσεις για τις περιπτώσεις χρήσης 1, 2, 4 και 8 υπό-τμημάτων απεικονίζεται στο Σχήμα 2. Είναι προφανές ότι όσο ο αριθμός των αυτόματα ελεγχόμενων υπό-τμημάτων αυξάνει, τόσο μειώνεται η επικαλυπτόμενη περιοχή.

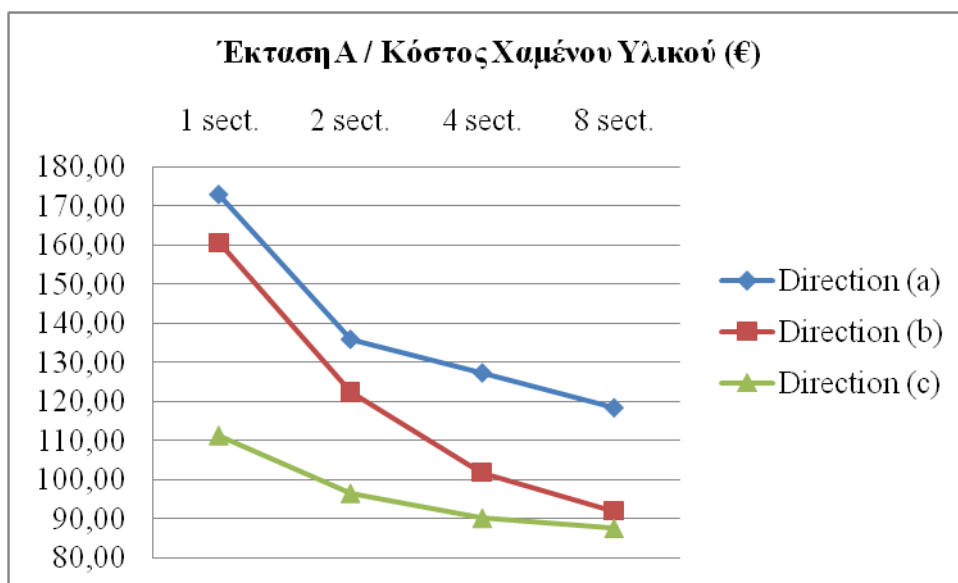


Σχήμα 1 : Έκταση Α (3 διαφορετικές διευθύνσεις κίνησης του ψεκαστικού (a), (b) και (c))

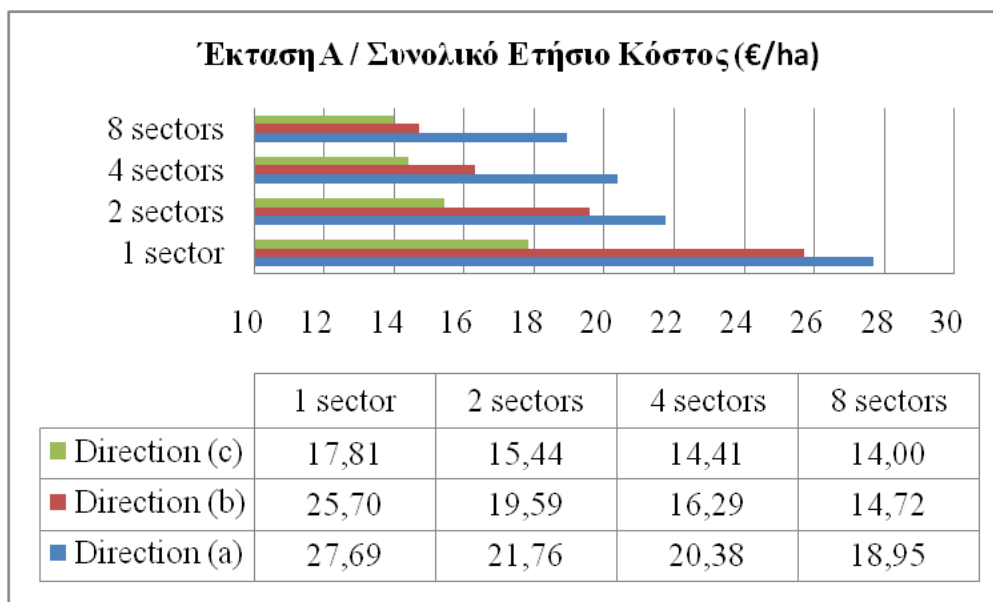


Σχήμα 2 : Επικαλυπτόμενη περιοχή (m^2) για 1, 2, 4 και 8 τμήματα σε 3 διαφορετικές διεθύνσεις για την Έκταση Α

Στο Σχήμα 3 φαίνεται το κόστος χαμένου υλικού για την Έκταση Α κάνοντας χρήση 1, 2, 4, ή 8 υπό-τμημάτων του ψεκαστικού μηχανήματος. Τέλος, στο Σχήμα 4 απεικονίζεται το συνολικό κόστος ανά έτος και ανά εκτάριο για την Έκταση Α.



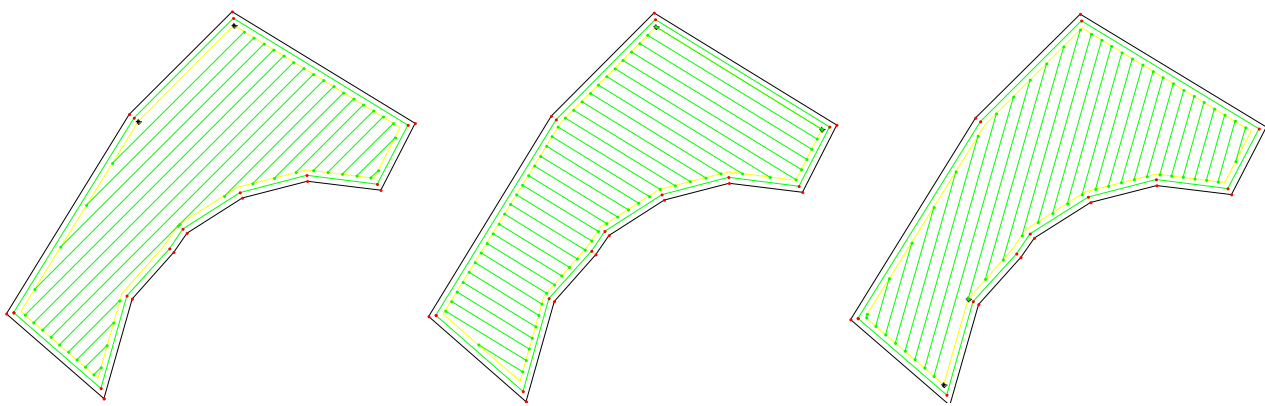
Σχήμα 3 : Κόστος χαμένου υλικού για 1, 2, 4 και 8 τμήματα για 3 διευθύνσεις στην Έκταση Α



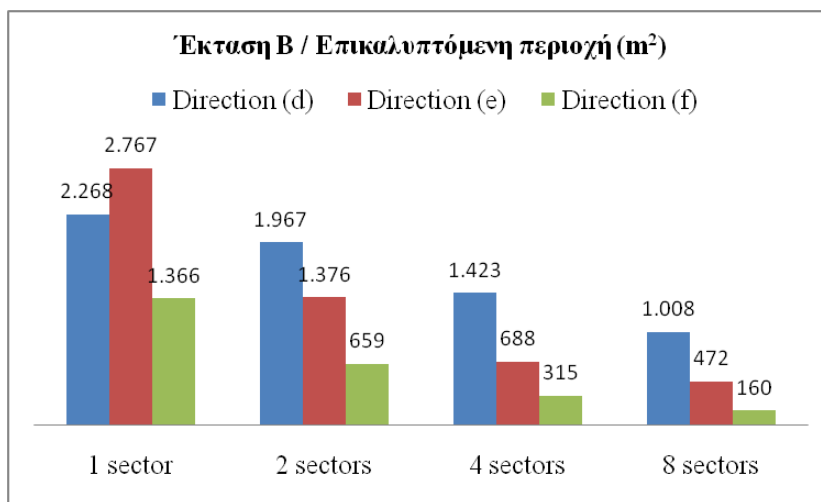
Σχήμα 4 : Συνολικό ετήσιο κόστος ανα εκτάριο για την Έκταση Α

Ως αποτέλεσμα των ανωτέρω, στην Έκταση Α, η διεύθυνση καλλιέργειας (a) παρουσιάζει μια μείωση στην επικαλυπτόμενη περιοχή 58% περίπου και στο συνολικό ετήσιο κόστος ανα εκτάριο περίπου 31,5% στη περίπτωση που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ψεκαστικό 8 υπό-τμημάτων σε σύγκριση με τη περίπτωση ψεκαστικού ενός ενιαίου τμήματος. Στη διεύθυνση καλλιέργειας (b), η επικαλυπτόμενη περιοχή υφίσταται μια μείωση της τάξης του 86% και το συνολικό ετήσιο κόστος ανά εκτάριο μειώνεται, επίσης, κατά 43%. Εν τέλει, όσον αφορά στη διεύθυνση κίνησης (c), εμφανίζεται η υψηλότερη μείωση στην επικαλυπτόμενη περιοχή που είναι 91% περίπου και για το συνολικό ετήσιο κόστος ανα εκτάριο έχουμε μια ηπιότερη μείωση της τάξης του 21%.

Όσον αφορά στην Έκταση Β, στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται οι τρεις διαφορετικές διευθύνσεις κίνησης (d), (e) και (f). Η επικαλυπτόμενη περιοχή για κάθε μία από τις τρεις διευθύνσεις με τη χρήση 1, 2, 4 και 8 τμημάτων του ψεκαστικού μηχανήματος φαίνεται στο Σχήμα 6.

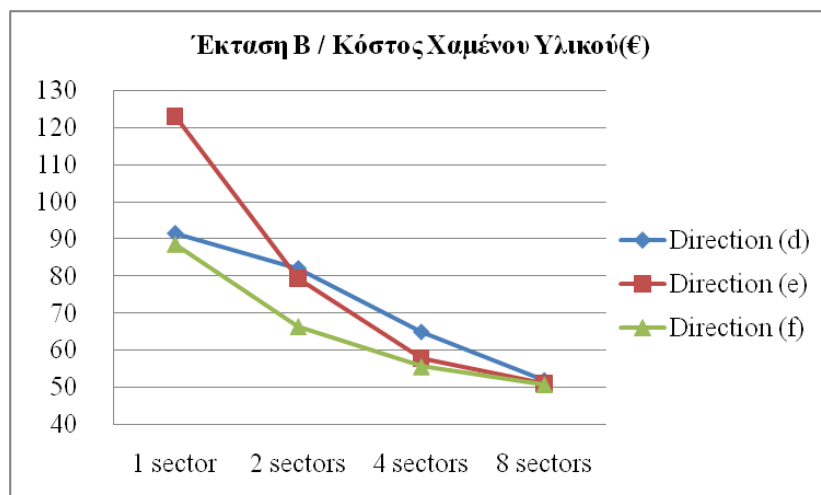


Σχήμα 5: Έκταση Β (3 διαφορετικές διευθύνσεις κίνησης (d), (e) και (f))

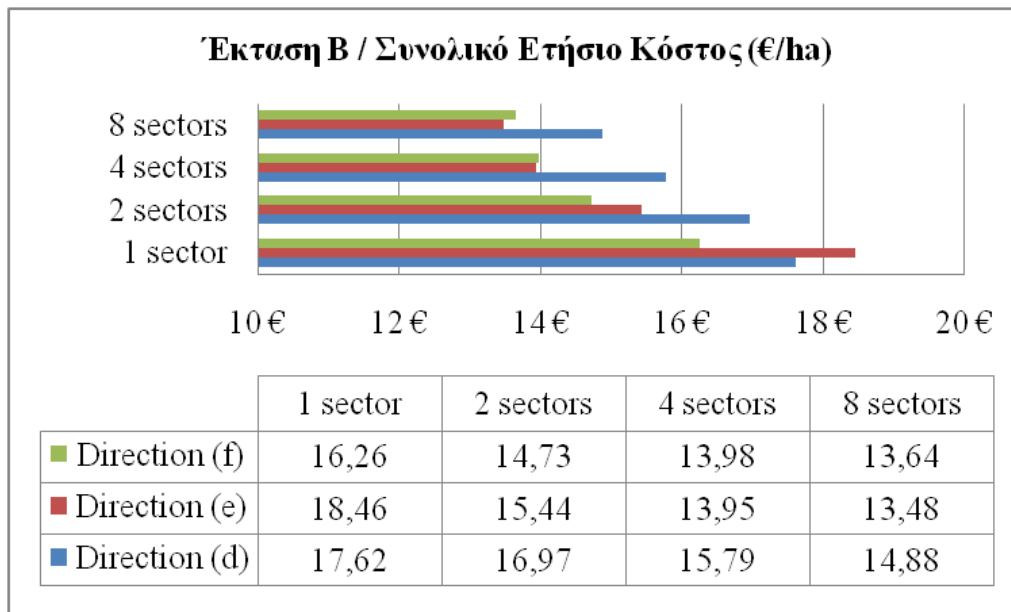


Σχήμα 6 : Επικαλυπτόμενη περιοχή σε m² για την Έκταση Β για 1, 2, 4 και 8 τμήματα σε 3 διαφορετικές διευθύνσεις κίνησης

Στο Σχήμα 7 απεικονίζεται το κόστος χαμένου υλικού για την Έκταση Β με τη χρήση 1, 2, 4, ή 8 τμημάτων του ψεκαστικού. Εν τέλει, το Σχήμα 8 περιγράφει το συνολικό ετήσιο κόστος ανά εκτάριο για τον ψεκασμό της Έκτασης Β.



Σχήμα 7 : Κόστος χαμένου υλικού για 1, 2, 4 και 8 τμήματα για 3 διευθύνσεις στην Έκταση Β



Σχήμα 8 : Συνολικό ετήσιο κόστος ανα εκτάριο για την Έκταση Β

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη περίπτωση της Έκτασης Α, με τη χρήση ψεκαστικού μηχανήματος 8 υπό-τμημάτων η μείωση στο συνολικό ετήσιο κόστος (€/ha) συγκρινόμενη με ένα συμβατικό ψεκαστικό μηχάνημα ανέρχεται σε 31,6%, 42,8%, και 21,3% για τις διευθύνσεις καλλιέργειας (a), (b) και (c), αντιστοίχα.

Από την άλλη, για την Έκταση Β, η μείωση στο ετήσιο κόστος (€/ha) όταν γίνεται χρήση ψεκαστικού 8 τμημάτων συγκρινόμενη με ένα συμβατικό ψεκαστικό μηχάνημα αντιστοιχεί σε 16,8%, 24,8, και 16,1% για τις διευθύνσεις κίνησης (d), (e) και (f), αντίστοιχα.

Όσον αφορά στη βέλτιστη διεύθυνση κίνησης, στη περίπτωση της Έκτασης Α η διεύθυνση (c) αποδεικνύεται ότι είναι η πιο συμφέρουσα οικονομικά για όλων των ειδών ψεκαστικά. Πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη διεύθυνση κίνησης δεν είναι παράλληλη με καμία από τις κύριες πλευρές του συγκεκριμένου αγρού. Στην Έκταση Β, η βέλτιστη διεύθυνση κίνησης εξαρτάται από τον τύπο του ψεκαστικού μηχανήματος. Για παράδειγμα, στη περίπτωση του συμβατικού ψεκαστικού η διεύθυνση (f) είναι η πιο συμφέρουσα οικονομικά, ενώ στη περίπτωση που έχουμε ψεκαστικό με 8 υπο-τμήματα η διεύθυνση (e) είναι η ιδανικότερη.

Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι στη παρούσα εργασία έχει ληφθεί υπόψιν μόνο το άμεσο κόστος παραγωγής. Ωστόσο, η προηγούμενη ανάλυση είναι πολύ σημαντική για τη στήριξη της στρατηγικής απόφασης του καλλιεργητή στην απόκτηση ενός ψεκαστικού συστήματος εξοπλισμένου με δυνατότητα αυτόματου ελέγχου των υπο-τμημάτων, δεδομένης της γεωμετρίας του αγρού και των διαχειρισιακών παραμέτρων όπως μέγεθος και διεύθυνση καλλιέργειας. Ασφαλώς, η αξιολόγηση της αφομοίωσης τέτοιων τεχνολογιών είναι πολύ πιο πολύπλοκη εφόσον είναι στενά συνδεδεμένη με την γενικότερη αφομοίωση των τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας όπως και περιβαλλοντικών και νομοθετικών θεμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Batte, M. T., Ehsani, M. R. (2006). The economics of precision guidance with auto-boom control for farmer-owned agricultural sprayers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 53: 28-44.
- Bochtis, D. D., Sørensen, C. G. (2009). The vehicle routing problem in field logistics part I. *Biosystems Engineering*, 104(4): 447-457.

- Bochtis D D; Sørensen C G; Busato P; Hameed I A; Rodias E; Green O; Papadakis G (2010) Tramlines establishment in controlled traffic farming based on operational machinery cost. *Biosystems Engineering*, 107: 221-231.
- Sørensen, C.G., Bochtis D.D. (2010). Conceptual model of fleet management in agriculture. *Biosystems Engineering*, 105: 41-50.
- Stombaugh T. S., Zandonadi R. S., & Dillon C R. (2009). Assessing the potential of automatic section control. In E. J. Van Henten, D. Goense, & C. Lokhorst (Eds.) *Proceedings joint international agricultural conference, JIAC 2009, precision agriculture 09* (pp 759-766), Wageningen, Netherlands.

ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΩΝ ΣΕ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΣΕΧΙΑ

V. Poulek¹, M. Libra², I. Γράβαλος³, Θ. Γιαλαμάς³, Δ. Μόσχου⁴,
Π. Ξυραδάκης³, Δ. Κατέρης⁴, Ζ. Τσιρόπουλος³, Θ. Λέλλης³

¹Poulek Solar Ltd., Velvarska 9, 16000 Prague 6, Czech Republic

²Czech University of Life Sciences Prague, 16521 Prague 6, Czech Republic

³Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, ΤΕΙ Λάρισας, 41100 Λάρισα

⁴Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,
Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη

gravalos@teilar.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει τα αποτελέσματα από την αποτίμηση της παραγόμενης ενέργειας δύο διαφορετικών τύπων Φ/Β συστημάτων: (α) ενός άξονα με μηχανισμό παρακολούθησης του ήλιου και χρήση ανακλαστήρων και (β) σταθερής στήριξης, τα οποία εγκαταστάθηκαν σε Λάρισα (Ελλάδα) και Πράγα (Τσεχία). Η παραγόμενη ενέργεια των Φ/Β συστημάτων μετρήθηκε σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση κάτω από τις μεταβλητές κλιματολογικές συνθήκες των δύο περιοχών. Η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας του συστήματος παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου που μετρήθηκε στην περιοχή της Πράγας ήταν 37.6% υψηλότερη σε σχέση με εκείνη του συστήματος σταθερής στήριξης. Σε παρόμοια συμπεράσματα καταλήγουμε με βάση τα πρώτα αποτελέσματα των δοκιμών που διενεργούνται στις κλιματολογικές συνθήκες της Λάρισας.

Λέξεις κλειδιά: ηλιακή ενέργεια, φωτοβολταϊκό σύστημα, ηλιακός ιχνηλάτης

A STUDY ON EVALUATION OF PRODUCING ENERGY ON PV SYSTEMS INSTALLED IN GREECE AND CZECH REPUBLIC

V. Poulek¹, M. Libra², I. Gravalos³, Th. Gialamas³, D. Moschou⁴,
P. Xyradakis³, D. Kateris⁴, Z. Tsiropoulos³, Th. Lellis³

¹Poulek Solar, Ltd., Velvarska 9, 16000 Prague 6, Czech Republic

²Czech University of Life Sciences Prague, 16521 Prague 6, Czech Republic

³Department of Biosystems Engineering, TEI of Larissa, Greece

⁴Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering,
Aristotle University, 54124 Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

The objective of this paper is to present the results of the produced energy evaluation by two different types of PV systems: (a) one-axle sun tracking system with reflecting mirrors and (b) a fixed system, which have been installed in Larissa (Greece) and Prague (Czech Republic). The measured produced energy of the PV systems has been further evaluated at daily, monthly and annual basis under different climatological conditions of these areas. The average annual produced energy of a sun tracking system measured in Prague was 37.6% higher in comparison to a fixed system. According to the tests that were provided in the area of Larissa, we concluded to the same results.

Key words: solar energy, photovoltaic system, sun tracker

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αναλυσκόμενη ενέργεια πάνω στη γη αυξάνεται εκθετικά. Εάν η τάση αυτή συνεχιστεί, εκτιμάται ότι σε 100 χρόνια θα προσεγγίσει τις 10^{17} kWh ανά έτος. Επομένως, η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι καθοριστικής σημασίας για την αντιμετώπιση των οξυμένων ενεργειακών και περιβαλλοντικών προβλημάτων του πλανήτη μας (Quaschnig, 2003; Gueymard, 2004). Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν και να λειτουργήσουν αρμονικά σε οποιοδήποτε περιβάλλον, αστικό και μη (Novotný et al., 2009). Σήμερα η Ελλάδα, στον τομέα των Φ/Β, υπολείπεται των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Salas and Olías, 2009).

Ανάλογα με τον τρόπο στήριξης των Φ/Β συλλεκτών και τον προσανατολισμό τους διακρίνονται: α) σταθερής στήριξης, β) εποχιακά ρυθμιζόμενης, και γ) συνεχούς παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου (sun tracking systems) (Klotz, 1995). Επίσης, τα συστήματα παρακολούθησης του ήλιου διακρίνονται σε: α) παθητικά και β) ενεργητικά (Abdallah, 2004; Agee et al., 2007).

Τα παθητικά συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου βασίζονται στη θερμική διαστολή/συστολή ενός ρευστού μέσου (συνήθως οργανικού ρευστού) ή ενός κράματος. Το είδος αυτού του ηλιακού ιχνηλάτη αποτελείται από ένα ζεύγος ενεργοποιητών, που λειτουργούν ο ένας ενάντια στον άλλο και διορθώνουν τη θέση των συλλεκτών ως προς τον ήλιο. Οι Clifford και Eastwood (2004) παρουσίασαν έναν παθητικό ηλιακό ιχνηλάτη, ο οποίος ενσωματώνει δύο διμεταλλικά στοιχεία κατασκευασμένα από αλουμίνιο και χάλυβα, και τα οποία είναι τοποθετημένα πάνω σε ένα ξύλινο πλαίσιο, διατεταγμένα συμμετρικά από την κάθε πλευρά ενός κεντρικού κάθετου άξονα. Ο Poulek (1994) ανέπτυξε έναν παθητικό ηλιακό ιχνηλάτη ενός άξονα, ο οποίος βασίζεται σε ενεργοποιητές κραμάτων μνήμης (NiTi).

Οι ενεργητικοί ηλιακοί ιχνηλάτες μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής: α) σε αυτούς που βασίζονται σε μικροεπεξεργαστές και οπτο-ηλεκτρονικούς αισθητήρες, β) σε αυτούς που ελέγχονται από PC με βάση την ημερομηνία και το χρόνο, γ) σε αυτούς που βασίζονται σε φωτοστοιχεία διπλής όψεως (φωτομετρικές διατάξεις), και δ) σε συνδυασμούς των τριών προηγούμενων συστημάτων. Πρόκειται για συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου, με υψηλή ακρίβεια, που προορίζονται κυρίως για συγκεντρωτικά Φ/Β συστήματα (concentrator PV systems). Αυτοί οι ιχνηλάτες είναι σύνθετοι, υψηλού κόστους αγοράς, και μικρότερης αξιοπιστίας. Οι Abdallah και Nijmeh (2004), Mamlook et al. (2006) σχεδίασαν και κατασκεύασαν ένα σύστημα παρακολούθησης του ήλιου, δύο-αξόνων, το οποίο ελέγχεται από έναν PLC. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο μαθηματικό προσδιορισμό της θέσης των συλλεκτών πάνω στην επιφάνεια της γης από δύο γωνίες: τη γωνία κλίσης των συλλεκτών, και τη γωνία αζιμουθίου. Από τη συγκριτική ενεργειακή μελέτη που διεξήγαγαν μεταξύ του ηλιακού ιχνηλάτη και ενός Φ/Β συστήματος σταθερής στήριξης με γωνία κλίσης 32° κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι ο ηλιακός ιχνηλάτης των δύο-αξόνων έδωσε μια αύξηση στη συνολική ημερήσια παραγωγή της τάξεως του 41.34%. Παρόμοια συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν από τους Zogbi και Laplaze (1984), Kalogirou (1996), Zeroual et al. (1998), Aiuchi et al. (2006), Huang και Sun (2007), Canada et al. (2007), Abu-Khader et al. (2008).

Μία φωτομετρική διάταξη αποτελούμενη από δύο βοηθητικά Φ/Β πλαίσια, συνδεδεμένα άμεσα με έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος και κατάλληλα προσαρμοσμένα στον άξονα περιστροφής, μπορούν ταυτόχρονα να ανιχνεύουν τη θέση του ήλιου και να το τροφοδοτούν με ηλεκτρική ισχύ τον ηλιακό ιχνηλάτη. Οι Poulek και Libra (2000) περιέγραψαν έναν πολύ απλό και αξιόπιστο ηλιακό ιχνηλάτη για

διαστημικές και επίγειες εφαρμογές. Η αρχή λειτουργίας αυτού του ηλιακού ιχνηλάτη δε βασίζεται σε υψηλούς κόστους δομικά στοιχεία, όπως συσσωρευτές και ηλεκτρονικές διατάξεις οδήγησης. Ένα βοηθητικό Φ/Β πλαίσιο διπλής όψεως επιτρέπει την παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου από οποιαδήποτε θέση (γωνία ανίχνευσης 360°). Η επιφάνεια του βοηθητικού Φ/Β πλαισίου είναι περίπου το 1% της συνολικής επιφάνειας των Φ/Β συλλεκτών. Επίσης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο ιχνηλάτης που ακολουθεί τον ήλιο με μία απόκλιση $\pm 5^\circ$, δεν παρουσιάζει καμία μείωση της συλλεγόμενης ενέργειας. Το σύστημα αυτό συλλέγει περίπου το 95% της ενέργειας ενός ιδανικού ηλιακού ιχνηλάτη.

Η απόδοση ενός Φ/Β συστήματος είναι από τις σημαντικότερες παραμέτρους, που δίνουν μία πλήρη εικόνα για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στην έξοδό του, προς την προσπίπτουσα σε αυτό ηλιακή ενέργεια, κάτω από τις εκπεφρασμένες κλιματολογικές περιστάσεις και μεταβλητές καιρικές συνθήκες των διαφόρων περιοχών. Η απόδοση ενός Φ/Β συστήματος μπορεί να είναι τυποποιημένη κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες ενός εργαστηρίου (Standard Test Conditions) όπου έχουμε σταθερή ηλιακή ακτινοβολία, μάζα και θερμοκρασία του αέρα, όμως κάτω από συνθήκες πραγματικής ηλιακής ακτινοβολίας και με μεταβολές στη μάζα και στη θερμοκρασία του αέρα, η απόδοση στις περισσότερες περιπτώσεις είναι πολύ μικρότερη από το 1 kW/m^2 (Makrides et al., 2007). Επομένως, η απόδοση ενός Φ/Β συστήματος σε συνθήκες πεδίου δεν είναι μια σταθερή παράμετρος.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η αποτίμηση της παραγόμενης ενέργειας από διαφορετικού τύπου Φ/Β συστήματα, στις διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε Ελλάδα και Τσεχία.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Δύο διαφορετικοί τύποι Φ/Β συστημάτων εγκαταστάθηκαν σε Λάρισα (Ελλάδα) και Πράγα (Τσεχία) (Σχήματα 1 & 2) για να μελετηθεί η παραγωγή ενέργειας κάτω από τα διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη και τις διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες των δύο αυτών περιοχών. Η παρακολούθηση της παραγόμενης ενέργειας των δύο Φ/Β συστημάτων άρχισε από την περιοχή της Πράγας τον Οκτώβριο του 2009 και συνεχίζεται πλέον και στην περιοχή της Λάρισας από τον Δεκέμβριο του 2010. Στο πρόγραμμα αυτό συμμετέχουν: α) Faculty of Engineering-Czech University of Life Sciences Prague, β) Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων-Τ.Ε.Ι. Λάρισας, γ) Poulek Solar Ltd, και δ) Όμιλος Επιχειρήσεων BIOKAPPIET.



Σχήμα 1. Φ/Β συστήματα εγκατεστημένα στον προαύλιο χώρου του Ομίλου επιχειρήσεων BIOKAPPIET στην περιοχή της Λάρισας (Ελλάδα)



Σχήμα 2. Φ/Β συστήματα εγκατεστημένα στο Czech University of Life Sciences Prague (Τσεχία)

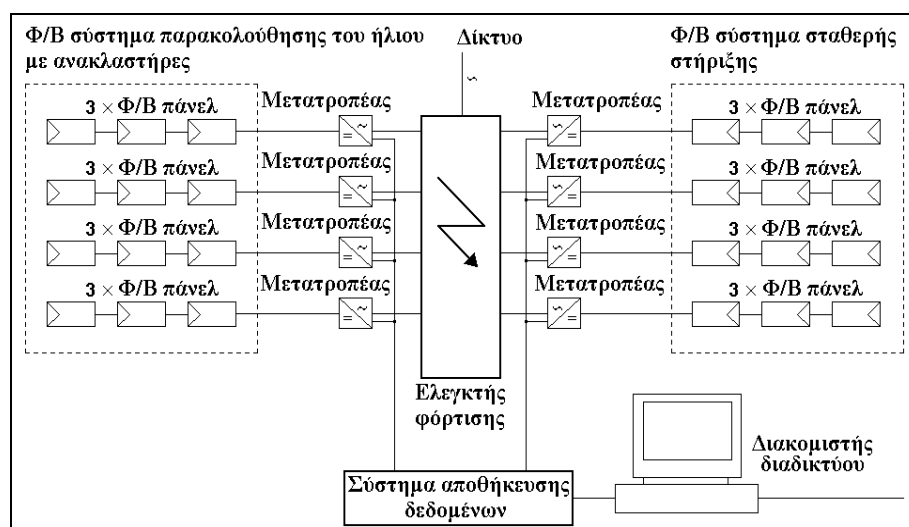
Πρόκειται για (α) ένα Φ/Β σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου με φωτομετρικό μηχανισμό, ενός άξονα και ανακλαστήρες διατεταγμένους σε σχήμα τριγώνου στο μέσον του συστήματος (TRAXLE™) και (β) ένα σύστημα σταθερής στήριξης. Το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου TRAXLE™ έχει αναπτυχθεί από την Poulek Solar Ltd σε συνεργασία με το Czech University of Life Sciences Prague και προστατεύεται από διεθνές δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (Poulek, 2000). Η διάταξη των ανακλαστήρων σε σχήμα τριγώνου στο μέσον του Φ/Β συστήματος αυξάνουν τη συνολική πυκνότητα ισχύος του ηλιακού φωτός στα Φ/Β πλαίσια, αλλά σε επίπεδα που δεν επηρεάζεται η αποδοτικότητα των Φ/Β στοιχείων (συντελεστής συγκέντρωσης $c=1.6-1.7$).

Ο μηχανισμός παρακολούθησης του Φ/Β συστήματος TRAXLE™ είναι απλός και περιλαμβάνει ένα μικρό πλαίσιο, στις δύο όψεις του οποίου έχουν τοποθετηθεί αντιστοίχως ΦΒ στοιχεία (φωτομετρική διάταξη). Η όψη που είναι προσανατολισμένη προς τη δύση θεωρείται κύρια, ενώ η όψη που βλέπει προς την ανατολή θεωρείται δευτερεύουσα. Το πλαίσιο αυτό είναι στερεωμένο επί του κοίλου άξονα περιστροφής, σχηματίζοντας γωνία κλίσης $\beta=15-20^\circ$ ως προς το κάθετο επίπεδο, με κατεύθυνση την ανατολή του ήλιου. Τα ΦΒ στοιχεία του πλαισίου είναι αντι-παράλληλα συνδεδεμένα με έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος, με δυνατότητα αναστροφής της φοράς του, ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται με τη βοήθεια ενός ατέρμονα κοχλία με τον κοίλο άξονα περιστροφής. Η γωνία β επιλέχθηκε με σκοπό: α) η δύναμη του ηλεκτροκινητήρα να είναι μικρότερη της απαιτούμενης δύναμης προσανατολισμού της συσκευής, όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει υπό γωνία προσπτώσεως $\varphi \geq 90^\circ - \beta$ και β) η δύναμη του ηλεκτροκινητήρα να είναι μεγαλύτερη της απαιτούμενης δύναμης προσανατολισμού της συσκευής, όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει υπό γωνία προσπτώσεως $\varphi \leq 90^\circ - \beta$. Επομένως, τα ΦΒ στοιχεία του πλαισίου, επί των οποίων η ακτινοβολία προσπίπτει

υπό γωνία $\varphi \geq 90^\circ - \beta$, παράγουν ισχυρότερο σήμα σε σχέση με εκείνα της αντίθετης όψεως, με αποτέλεσμα να περιστρέφεται ο ηλεκτροκινητήρας προς την κατεύθυνση που η προσπίπτουσα γωνία φ αυξάνει. Πριν την ανατολή του ήλιου, το σύστημα παρακολούθησης είναι προσανατολισμένο προς τη δύση, δηλαδή στη θέση που ολοκληρώθηκε η λειτουργία παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου το απόγευμα της προηγούμενης ημέρας. Με την ανατολή του ήλιου, αρχίζει η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει επί των ΦΒ στοιχείων της μίας πλευράς του πλαισίου, που είναι προσανατολισμένη στην ανατολή. Ο ηλεκτροκινητήρας περιστρέφει αμέσως τα ΦΒ πάνελ προς την ανατολή του ήλιου έως ότου $\varphi = 90^\circ - \beta$. Στη συνέχεια, καθώς ο ήλιος μετακινείται επί του ουράνιου θόλου με κατεύθυνση τη δύση αρχίζει η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει επί της κύριας όψης του πλαισίου. Ο ηλεκτροκινητήρας περιστρέφει βαθμιαία το ΦΒ πλαίσιο προς τη δύση ακολουθώντας την τροχιά του ήλιου. Το εύρος αυτόματης περιστροφής των ΦΒ πάνελ είναι περίπου 120° . Μεγαλύτερο εύρος παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου δεν έχει πρακτικά καμία σημασία όσον αφορά τη μεγιστοποίηση της ημερήσιας συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας. Επομένως, πρόκειται για ένα μηχανισμό παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου, ο οποίος είναι ευφυής ως ιδέα σύλληψης, απλός στην κατασκευή, ενεργειακά αυτόνομος, χαμηλού κόστους και αξιόπιστος στη λειτουργία του.

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν Φ/Β πάνελ από μονοκρυσταλλικές, πολυ-κρυσταλλικές κυψέλες και κυψέλες άμορφου πυριτίου, από διαφορετικούς κατασκευαστές (Kyocera, Sanyo, Canadian Solar, Trina Solar, κ.ά.) με διαφορετικά ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά.

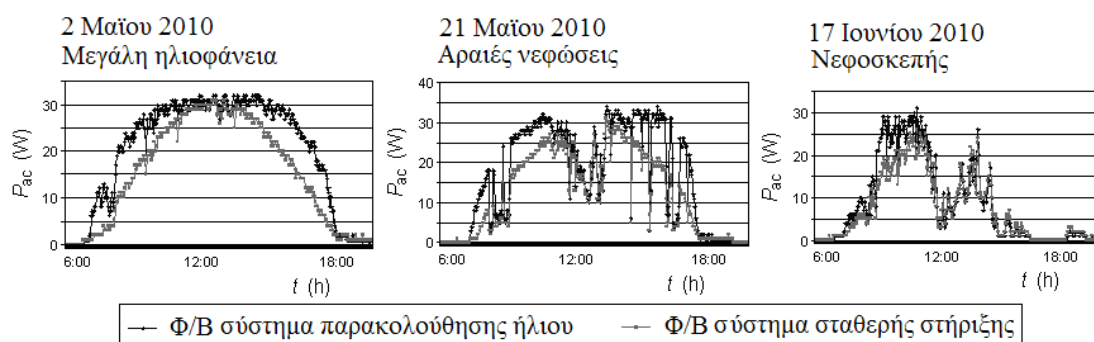
Τόσο το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου όσο και το σύστημα σταθερής στήριξης ήταν συνδεδεμένα στο δίκτυο με τη βοήθεια μετατροπέων συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα (inverters) και έναν ελεγκτή φόρτισης. Για κάθε τρία πάνελ αντιστοιχούσε ένας μετατροπέας, ώστε να επιτύχουμε βελτιστοποίηση της απόδοσης των δύο Φ/Β συστημάτων. Χρησιμοποιήθηκαν οι μετατροπείς Sunny Boy 700/1100U της εταιρείας SMA Solar Technology AG. Τέλος, με τη βοήθεια της συσκευής Sunny WebBox και του λογισμικού Sunny Portal της ίδιας εταιρείας τα δεδομένα ήταν προσιτά μέσω διαδικτύου και στις δύο ερευνητικές ομάδες σε Ελλάδα και Τσεχία. Το γραμμικό ηλεκτρολογικό διάγραμμα αυτής της συνδεσμολογίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.



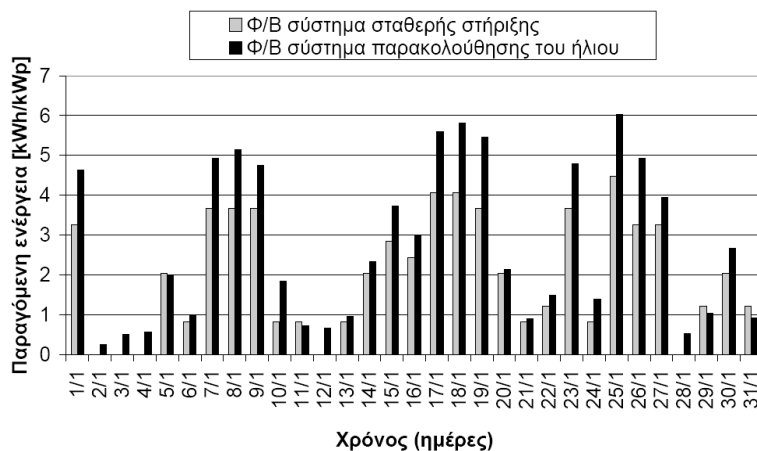
Σχήμα 3. Γραμμικό ηλεκτρολογικό διάγραμμα σύνδεσης των δύο Φ/Β συστημάτων με το δίκτυο και το σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης των δεδομένων

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο σχήμα 4 παρατίθενται καμπύλες ημερήσιας μεταβολής της παραγόμενης ισχύος από τους δύο τύπους Φ/Β συστημάτων, κάτω από διαφορετικά επίπεδα ακτινοβολίας στην περιοχή της Πράγας. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις από δύο συστήματα μικρής ισχύος, οι συλλέκτες των οποίων ήταν από φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου με μέγιστη ισχύ $P_p=40$ W. Είναι προφανές ότι την ημέρα με τη μεγάλη ηλιοφάνεια, η παραγωγή ενέργειας του Φ/Β συστήματος παρακολούθησης του ήλιου ήταν υψηλότερη περίπου κατά 30% σε σχέση με εκείνη του συστήματος σταθερής στήριξης. Αντιθέτως, στις 17 Ιουνίου όπου υπήρχαν έντονες νεφώσεις δεν παρατηρείται ουσιαστικά καμία διαφορά ανάμεσα στους δύο τύπους Φ/Β συστημάτων. Στο σχήμα 5 παρατίθεται το διάγραμμα σύγκρισης της ημερήσιας παραγωγής ενέργειας μεταξύ των δύο τύπων Φ/Β συστημάτων για τον Ιανουάριο του 2011 στην περιοχή της Λάρισας, όπου χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις από δύο συστήματα μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος των $P_p=2.82$ kW, οι συλλέκτες των οποίων ήταν από κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Επίσης, από το διάγραμμα αυτό επιβεβαιώνεται το γεγονός ότι τα συστήματα παρακολούθησης του ήλιου παράγουν περισσότερη ενέργεια μόνο τις ημέρες με μεγάλη ηλιοφάνεια. Η παραγωγή ενέργειας του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου ήταν υψηλότερη κατά 31.8% σε σύγκριση με το σύστημα σταθερής στήριξης. Στην περιοχή της Πράγας, η αντίστοιχη αύξηση στην παραγωγή ενέργειας του Φ/Β συστήματος παρακολούθησης του ήλιου σε σχέση με το σύστημα σταθερής στήριξης ήταν 26.2% τον Ιανουάριο του 2010.

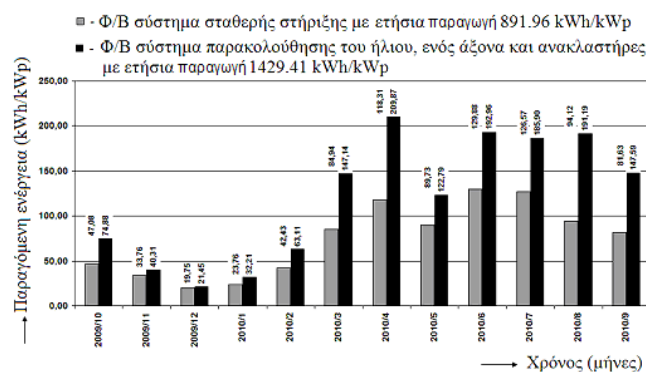


Σχήμα 4. Καμπύλες ημερήσιας μεταβολής της παραγόμενης ισχύος κάτω από διαφορετικά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της Πράγας



Σχήμα 5. Διάγραμμα σύγκρισης της ημερήσιας παραγωγής ενέργειας μεταξύ των δύο τύπων Φ/Β συστημάτων τον Ιανουάριο 2011 στην περιοχή της Λάρισας

Στο σχήμα 6 παρατίθεται το ιστόγραμμα σύγκρισης της μηνιαίας παραγόμενης ενέργειας μεταξύ των δύο τύπων Φ/Β συστημάτων στην Πράγα. Το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου έδωσε μία ετήσια παραγωγή της τάξεως των 1429.41 kWh/kWp, ενώ το σύστημα σταθερής στήριξης έδωσε 891.96 kWh/kWp, πρόκειται για μία διαφορά του 37.6% υπέρ του πρώτου Φ/Β συστήματος. Επίσης, θα πρέπει να τονιστεί ότι τους χειμερινούς μήνες με τη μικρότερη ηλιοφάνεια αυτή η διαφορά γίνεται συγκριτικά κατά πολύ μικρότερη. Η μικρότερη διαφορά μηνιαίας παραγωγής παρατηρήθηκε το Δεκέμβριο του 2009. Αντιθέτως, οι μεγαλύτερες διαφορές μηνιαίας παραγωγής παρατηρήθηκαν τον Απρίλιο και τον Αύγουστο του 2010, που ήταν της τάξεως του 43.6% και 50.8% αντιστοίχως. Στη Λάρισα, το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου έδωσε αυξημένη παραγωγή κατά 31.8%, 34.3%, 42.9% και 57.6% τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο αντιστοίχως. Είναι φανερό με βάση τα πρώτα αποτελέσματα, ότι το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου είναι εξίσου παραγωγικό στις κλιματολογικές συνθήκες της Ελλάδας.



Σχήμα 6. Διάγραμμα σύγκρισης της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας μεταξύ των δύο τύπων Φ/Β συστημάτων στην περιοχή της Πράγας

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το Φ/Β σύστημα παρακολούθησης του ήλιου προσανατολίζει με αυτόματο τρόπο τους συλλέκτες σε σχέση με την τροχιά του ήλιου, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη συλλογή της ηλιακής ενέργειας.
- Σύμφωνα με μετρήσεις πεδίου στην Τσεχία, που πραγματοποιήθηκαν ανάμεσα στο Φ/Β σύστημα παρακολούθησης του ήλιου και σε ένα άλλο σταθερής στήριξης, προέκυψε ότι η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας από το πρώτο σύστημα ήταν κατά 37.6% υψηλότερη σε σχέση με το δεύτερο. Με βάση τα πρώτα αποτελέσματα που βασίζονται σε μετρήσεις πεδίου στη Λάρισα αναμένεται η παραγωγή του Φ/Β συστήματος παρακολούθησης του ήλιου να είναι ακόμη υψηλότερη.
- Το υπό μελέτη Φ/Β σύστημα παρακολούθησης του ήλιου παρουσιάζει και άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα όπως είναι η απλότητα στην κατασκευή, η αξιόπιστη λειτουργία και το σχετικά χαμηλό κόστος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές στη γεωργία, όπως για παράδειγμα στα απομακρυσμένα συστήματα άντλησης νερού.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Quaschnig, V., 2003. *Technology fundamentals: The sun as an energy resource*. Renewable Energy World, 6(5): 90-93.
- Gueymard, C.A., 2004. *The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models*. Solar Energy, 76: 423-453.

- Novotný, R., Libra, M., Poulek, V., Gravalos, I. and Mares, J., 2009. *Electric energy production in the small on-grid PV system*. Proceedings of International Scientific Conference on Physics - Research and Education, Nitra, Slovakia, pp. 1-7.
- Salas, V. and Olias, E., 2009. *Overview of the photovoltaic technology status and perspective in Spain*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13: 1049-1057.
- Klotz, F.H., 1995. *PV systems with V-trough concentration and passive tracking concept and economic potential in Europe*. Proceedings of 13th European PV Solar Energy Conference, Nice, France, pp.1060-1063.
- Abdallah, S., 2004. *The effect of using sun tracking systems on the voltage-current characteristics and power generation of flat plate PV*. Energy Conversion and Management, 45: 1671-1679.
- Agee, J.T., Obok-Opok, A. and Lazzer, M.D., 2007. *Solar tracker technologies: market trends and field applications*. Advanced Materials Research, 18(19): 339-344.
- Clifford, M.J. and Eastwood, D., 2004. *Design of a novel passive solar tracker*. Solar Energy, 77: 269-280.
- Poulek, V., 1994. *Testing the new solar tracker with shape memory alloy actors*. Proceedings of the 24th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp.1131-1133.
- Abdallah, S. and Nijmeh, S., 2004. *Two axes sun tracking system with PLC control*. Energy Conversion and Management, 45: 1931-1939.
- Mamlook, R., Nijmeh, S. and Abdallah, S.M., 2006. *A programmable logic controller to control two axis sun tracking system*. Information Technology Journal, 5(6): 1083-1087.
- Zogbi, R. and Laplaze, D., 1984. *Design and construction of a sun tracker*. Solar Energy, 33(3/4): 369-372.
- Kalogirou, S.A., 1996. *Design and construction of a one-axis sun-tracking*. Solar Energy, 57(6): 465-469.
- Zeroual, A., Raoufi, M., Ankrim, M. and Wilkinson, A.J., 1998. *Design and construction of a closed loop sun-tracker with microprocessor management*. Solar Energy, 19(4): 263-274.
- Aiuchi, K., Yoshida, K., Onozaki, M., Katayama, Y., Nakamura, M. and Nakamura, K., 2006. *Sensor-controlled heliostat with an equatorial mount*. Solar Energy, 80: 1089-1097.
- Huang, B.J. and Sun, F.S., 2007. *Feasibility study of one-axis three positions tracking solar PV with low concentration ratio reflector*. Energy Conversion and Management, 48: 1273-1280.
- Canada, J., Utrillas, M.P., Lozano, J.A.M., Pedros, R., Amo, J.L.G. and Maj, A., 2007. *Design of a sun tracker for the automatic measurement of spectral irradiance and construction of an irradiance database in the 330-1100 nm range*. Renewable Energy, 32: 2053-2068.
- Abu-Khader, M.M., Badran, O.O. and Abdallah, S., 2008. *Evaluating multi-axes sun-tracking system at different modes of operation in Jordan*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12: 864-873.
- Poulek, V. and Libra, M., 2000. *A very simple solar tracker for space and terrestrial applications*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 60: 99-103.
- Makrides, G., Zinsser, B., Georghiou, G.E. and Werner, J., 2007. *Temperature Behaviour of Different Photovoltaic Systems Installed in Cyprus and Germany*. Proceedings of PVSEC-17 Conference, Fukuoka, Japan, pp. 385-386.
- Poulek, V., 2000. *Apparatus for orientation of solar radiation collectors*. United States Patent No 6,089,224.

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ: ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΤΗ ΓΡΑΜΜΗ ΣΠΟΡΑΣ

Α. Π. Δεδούσης^{1,2}, Α. Θ. Μπαλαφούτης¹, Α. Ε. Νάτσης¹

¹Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και
Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας. Ιερά Οδός 75,
Βοτανικός, Αθήνα, Τ.Κ. 11855,

²Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογίας Θεσσαλίας, Ινστιτούτο Τεχνολογίας και Διαχείρισης
Αγρο-οικοσυστημάτων, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανικής και Περιβάλλοντος, Τ.Κ.
38500, Βόλος, e-mail: dedousis@cereteth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον για την μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων λόγω της ανησυχίας για την περιβαλλοντική υποβάθμιση των εδαφών και υδάτων καθώς επίσης και της αυξημένης ζήτησης από τους καταναλωτές για οργανικά τρόφιμα. Η εργασία αυτή κάνει μια ανασκόπηση στα καινοτόμα μηχανήματα που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια για την μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς.

Λέξεις κλειδιά: μηχανική καταπολέμηση, ζιζάνια, γραμμή σποράς, σύστημα καθοδήγησης

REVIEW: MECHANICAL INTRA-ROW WEED CONTROL

A. P. Dedousis^{1,2}, A. T. Balafoutis¹, A. E. Natsis¹

¹Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources
Management and Agricultural Engineering, Agricultural Engineering
Laboratory. Iera Odos 75, Votanikos, 11855, Athens, Greece

²Centre of Research and Technology Thessaly, Institute of Technology and
Management of Agricultural Ecosystems, Agricultural Engineering and
Environment Laboratory, 38500, Volos, Greece, e-mail: dedousis@cereteth.gr

ABSTRACT

In recent years there has been an increasing interest in the use of mechanical intra-row weeders because of concern over environmental degradation and a growing demand for organically produced food. This paper reviews the novel intra-row mechanical weed control developments of the last decades.

Key words: weed control, inter-row, intra-row, non-chemical

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα βιώσιμα συστήματα παραγωγής η γονιμότητα του εδάφους έχει μεγάλη σημασία. Το έδαφος και οι βιολογικές δραστηριότητές του είναι τα κύρια συστατικά που πρέπει να βελτιωθούν σε σχέση με τη βλάστηση των σπόρων της προβλεπόμενης καλλιέργειας. Στόχος του οργώματος είναι η κατεργασία του εδάφους και δευτερεύον στόχος είναι ο έλεγχος των ζιζανίων.

Η μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων με καλλιεργητικά εργαλεία αυξάνει τον αερισμό του εδάφους και τη διηθητικότητα του νερού συμπεριλαμβανομένων όλων των θετικών ενεργειών που έχουν αυτές. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον για την μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων, λόγω της ανησυχίας για την περιβαλλοντική υποβάθμιση των εδαφών και των υδάτων και των απαιτήσεων των καταναλωτών, για ασφαλή τρόφιμα (Fogelberg and Kritz, 1999; Bond and Grundy, 2001; Griepentrog and Dedousis, 2010).

Η μηχανική καταπολέμησης των ζιζανίων έχει μακρά παράδοση. Ένας οδηγός πίσω από την καινοτομία για την εποχή γραμμική σπαρτική σιτηρών ήταν η αιτία χρησιμοποίησης σκαλιστηριών ανάμεσα στις γραμμές σποράς. Σήμερα η χρήση αυτού του είδους εργαλείων ανάμεσα στις γραμμές σποράς (inter-row) έχει μεγάλη χρήση και η απόδοσή τους είναι αποδεκτή από τους καλλιεργητές. Η πρόκληση στη μηχανική καταπολέμηση ζιζανίων είναι η χρήση καλλιεργητικών εργαλείων για τον έλεγχο των ζιζανίων στη γραμμή σποράς (intra-row).

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η ανασκόπηση των τεχνολογιών, μηχανημάτων που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια στη μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς. Μέσω των τεχνολογικών αυτών εξελίξεων στην καταπολέμηση ζιζανίων χωρίς χημικά, είναι δυνατόν να ελεγχθούν τα ζιζάνια έτσι ώστε να ικανοποιούν τις περιβαλλοντικές και καταναλωτικές ανάγκες.

2. ΚΑΙΝΟΤΟΜΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗΣ ΖΙΖΑΝΙΩΝ

Παρακάτω περιγράφονται καινοτόμα μηχανήματα καταπολέμησης των ζιζανίων στη γραμμή σποράς με την υποβοήθηση H/Y τα οποία καλλιεργούν ανάμεσα από τα φυτά με ασφάλεια από την αδιατάραχτη επιφάνεια κοντά στα ωφέλιμα φυτά (untreated area). Τα μηχανήματα αυτά βασίζονται σε γεωχωρικές πληροφορίες και εικόνες σε πραγματικό χρόνο από κάμερες.

2.1 ROTATING DISC TINE

Στο πανεπιστήμιο Wageningen, κατασκευάστηκε ένα μηχανήμα για την καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς το οποίο αποτελείται από ένα δίσκο διαμέτρου 300 mm, κάθετο στην επιφάνεια του εδάφους, στο οποίο είναι συνδεδεμένα μα ελατήρια δύο ή παραπάνω μαχαίρια κοπής (Lampens et al., 1996).

Ο περιστροφικός καλλιεργητής (Εικόνα 1) περιστρέφεται με 850 rpm και τα μαχαίρια εξέρχονται λόγω της φυγόκεντρου δύναμης, η οποία είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη του ελατηρίου. Όταν ανιχνεύεται το φυτό η ταχύτητα περιστροφής μειώνεται στις 700 rpm και λόγω της αδράνειας τα μαχαίρια εισέρχονται στο δίσκο, έτσι ώστε να αφήσουν ανέγγιχτο το φυτό (Bontsema et al., 1998; Cavalieri et al., 2001).

Το σύστημα ανίχνευσης των φυτών τοποθετείται μπροστά από τον δίσκο και αποτελείται από τρία ζεύγη αισθητήρων υπέρυθρων ακτινών. Το σήμα στη συνέχεια στέλνεται για επεξεργασία σε έναν ψηφιακό επεξεργαστή σήματος (DSP).

Το μηχανήμα αυτό δεν εμποροποιήθηκε εξαιτίας πολλών περιορισμών. Η καταπολέμηση των ζιζανίων γίνεται με την κοπή τους, πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι μελέτες του Jones et al., (1995) υποδεικνύουν ότι η αποδοτικότητα

καταπολέμησης των ζιζανίων μειώνεται όταν μια μόνο δράση καταπολέμησης λειτουργεί από τις τρεις κύριες που είναι, κοπή, επικάλυψη με χώμα και εκρίζωση. Επίσης το σύστημα ανίχνευσης των φυτών δεν μπορεί να διαχωρίσει τα φυτά από τα ζιζάνια, έτσι το σύστημα αυτό θα μπορούσε να δουλέψει μόνο σε φυτά από μεταφύτευση.



Εικόνα 1. Rotating disc tine

2.2 CYCLOID HOE

Το πανεπιστήμιο του Osnabruck σε συνεργασία με την εταιρεία κατασκευής μηχανημάτων Amazon Werke ανέπτυξε ένα μηχάνημα για την καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς, για την καλλιέργεια του αραβοσίτου (Cavalieri et al., 2001).

Τα ζιζάνια ανάμεσα από τις γραμμές καταπολεμούνται από ένα συμβατικό καλλιεργητή. Κάθε ρότορας του μηχανήματος (Εικόνα 2) φέρει οχτώ καλλιεργητικές λεπίδες οι οποίες είναι τοποθετημένες κυκλικά σε διάμετρο 234 mm (Griepentrog et al., 2006). Ο ρότορας περιστρέφεται όπως και οι λεπίδες σε κυκλική κίνηση. Ο συνδυασμός της κυκλικής κίνησης των λεπίδων και της πλευρικής μετακίνησης του μηχανήματος (lateral shift) δημιουργεί ένα κυκλικό διάδρομο, όπου είναι η περιοχή δράσης των λεπίδων. Κάθε μία από τις λεπίδες στο ρότορα κινείται με τη βοήθεια ενός ηλεκτρομαγνητικού κυκλώματος έτσι ώστε να αποφευχθούν τα ωφέλιμα φυτά. Το μηχάνημα έχει δοκιμαστεί σε ταχύτητες μέχρι $1,44 \text{ km h}^{-1}$ και καταγράφηκαν εκτεταμένες ζημιές στα φυτά και χαμηλή απόδοση στην καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς (Griepentrog et al., 2007). Το μηχάνημα αυτό έχει αρκετά μειονεκτήματα και είναι πολύ δύσκολο να φτάσει στην αγορά, κυρίως λόγω του πολύπλοκου σχεδιασμού και του υψηλού κόστους αγοράς και συντήρησης.



Εικόνα 2. Cycloid hoe

2.3 RADIS MOVING TINE

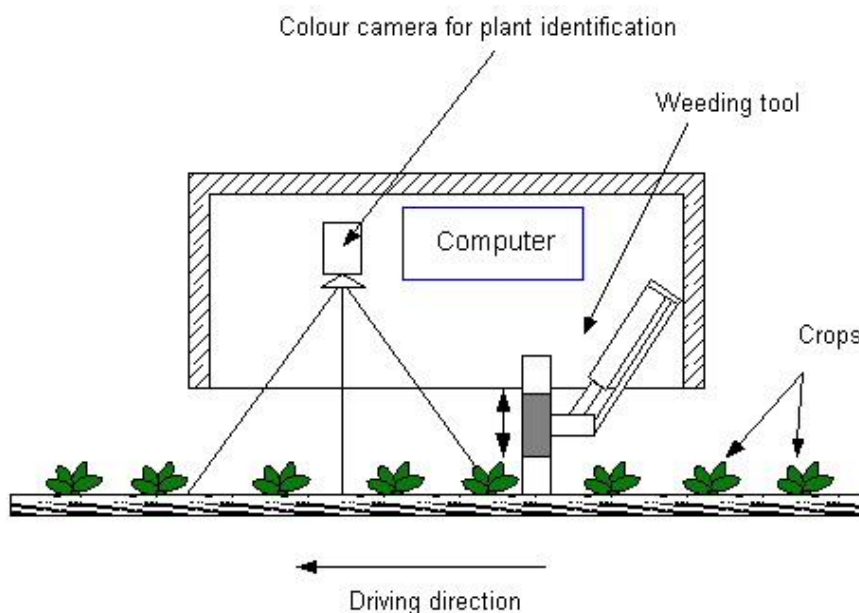
Η εταιρεία Radis ανέπτυξε ένα σύστημα για την καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς βασισμένο σε μετακινούμενους βραχίονες που φέρουν τα καλλιεργητικά εργαλεία (Εικόνα, 3). Αισθητήρες σαν αυτούς που αναφέρονται στη παράγραφο 3.1 χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των φυτών. Όταν δεν ανιχνεύεται φυτό στη γραμμή σποράς ο μετακινούμενος βραχίονας του καλλιεργητή κινείται μεταξύ των φυτών. Ο Bakker (2003) αναφέρει ότι για ταχύτητες των 5 km h^{-1} καταπολεμήθηκαν ζιζάνια μέχρι 20 mm από τα φυτά. Σε εκτεταμένες έρευνες που έκανε ο Bleeker (2005) αναφέρει ότι η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να εργαστεί το μηχάνημα είναι 3 km h^{-1} εξαιτίας του χρόνου που απαιτείται για την μετακίνηση στη γραμμή σποράς του καλλιεργητή. Το μηχάνημα αυτό είναι σχεδιασμένο για ελάχιστη απόσταση μεταξύ των φυτών, 220 mm . Τα μειονεκτήματα αυτού του μηχανήματος είναι το σύστημα ανίχνευσης των φυτών και η χαμηλή ταχύτητα εργασίας.



Εικόνα 3. Radis moving tine

2.4 ROTATING WHEEL

Το πανεπιστήμιο Halmstad ανέπτυξε ένα μηχάνημα για την καταπολέμηση των ζιζανίων με τη χρήση ενός περιστρεφόμενου τροχού, ο οποίος ενεργεί κάθετα στη γραμμή σποράς (Εικόνα, 4).

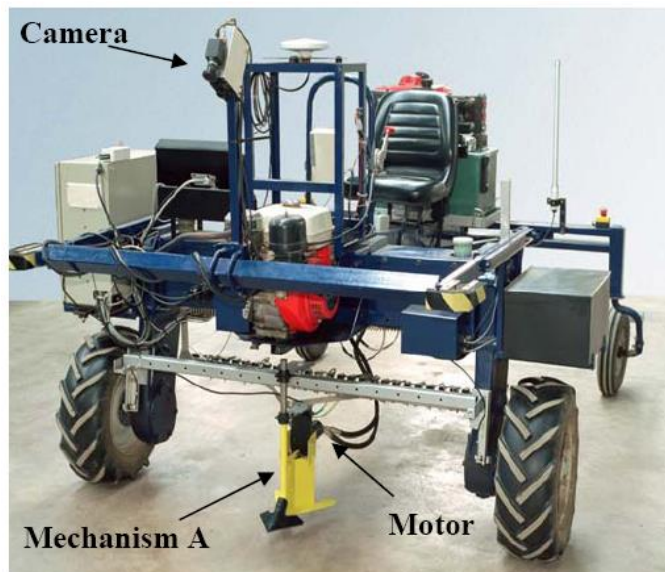


Εικόνα 4. Rotating wheel

Όταν ανιχνεύεται το φυτό με τη χρήση καμερών (Aastrand and Baerveldt, 2005) ο περιστρεφόμενος τροχός ανυψώνεται με τη βοήθεια ενός πνευματικού κυλίνδρου και επανατοποθετείται στη γραμμή σποράς μόλις αποφύγει το φυτό. Το μηχάνημα δοκιμάστηκε σε πειράματα σε ελεγχόμενο περιβάλλον, θερμοκήπιο σε φυτά ζαχαρότευτλων με απόσταση μεταξύ αυτών 170 mm και κατέγραψαν ότι το ρομπότ ήταν σε θέση να αναγνωρίσει όλα τα φυτά και ότι ο μηχανισμός καταπολέμησης των ζιζανίων είχε καλή απόδοση. Δεν δίνονται περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα εργασίας και την ποσοτική απόδοση στην καταπολέμηση των ζιζανίων του μηχανήματος.

2.5 INTRA-ROW CULTIVATOR

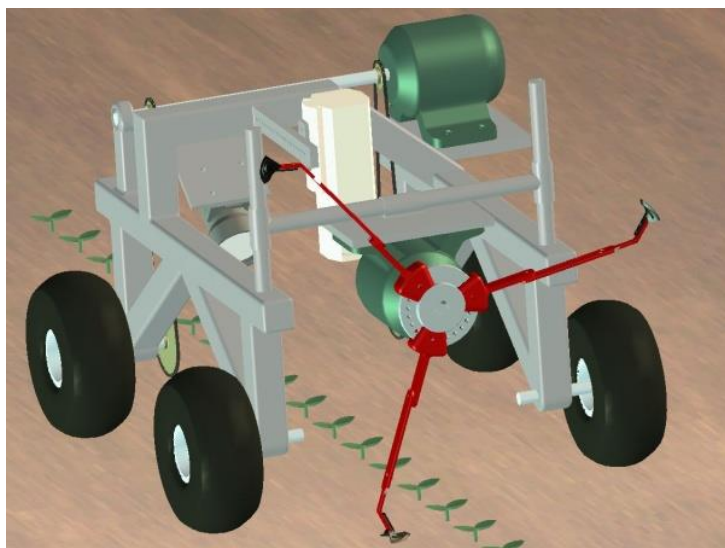
Το πανεπιστήμιο Cranfield σε συνεργασία με το ερευνητικό κέντρο Silsoe ανέπτυξε ένα μηχάνημα για την καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς με τη χρήση παλινδρομικών μαχαιριών (Εικόνα, 5). Τα φυτά ανιχνεύονται με τη χρήση καμερών και μπορούν να διαχωριστούν από τα ζιζάνια. Όταν ανιχνεύονται τα φυτά τα μαχαίρια είναι κλειστά και όταν δεν υπάρχουν φυτά τα μαχαίρια εξέρχονται στη γραμμή σποράς (reciprocating blades). Ο Home (2003) πραγματοποίησε εκτεταμένες έρευνες και πειράματα στο αγρό σε διάφορες ταχύτητες εργασίας και αποστάσεις μεταξύ των φυτών. Σε αποστάσεις μεταξύ των φυτών 300 mm τα μαχαίρια απέφυγαν τα φυτά για ταχύτητες μέχρι 4 km h^{-1} , αλλά σε ταχύτητες των 8 km h^{-1} καταγράφηκε ζημιά στα ωφέλιμα φυτά, 17%. Καθώς η απόσταση μεταξύ των φυτών μειώνεται σε 250 mm και η ταχύτητα αυξάνεται παρατηρείται 70% ζημιά στα φυτά.



Εικόνα 5. Intra-row cultivator

2.6 ROTARY HOE

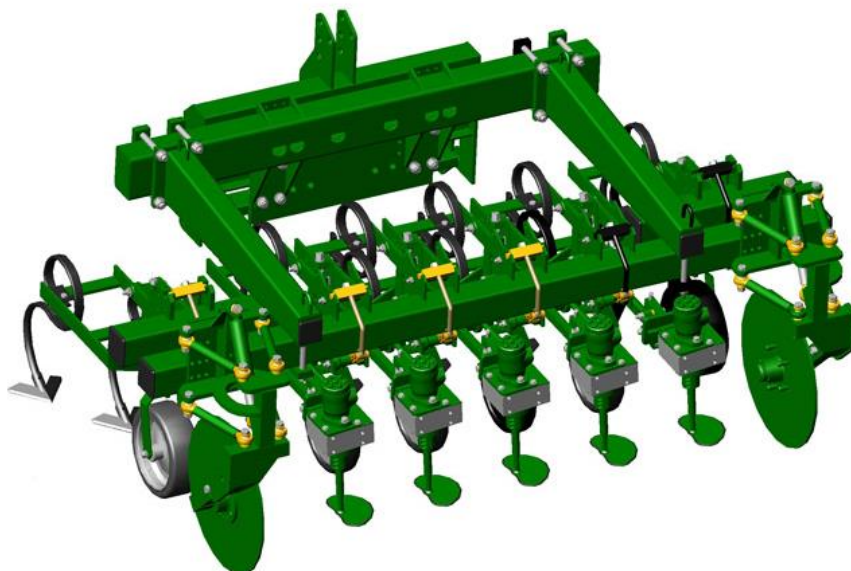
Το πανεπιστήμιο της Βόννης ανέπτυξε ένα μηχάνημα για την καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς το οποίο αποτελείται από έναν περιστροφικό καλλιεργητή που περιστρέφεται σε έναν οριζόντιο άξονα πάνω από τη γραμμή σποράς (Εικόνα, 6). Ο μηχανισμός αποτελείται από μια βάση που φέρει τρεις ή παραπάνω βραχίονες, οι οποίοι περιστρέφονται πάνω από τα φυτά (Gabor and Lammers, 2007). Ο καλλιεργητικός μηχανισμός είναι συνδεδεμένος με έναν κινητήρα και το βάθος εργασίας του μηχανήματος μπορεί να ρυθμιστεί. Το μηχάνημα έχει δοκιμασθεί μόνο σε πειράματα προσομείωσης μέσω H/Y και δεν αναφέρονται αποτελέσματα για την απόδοση στην καταπολέμηση των ζιζανίων.



Εικόνα 6. Rotary hoe

2.7 ROTATING DISC HOE

Το πανεπιστήμιο Cranfield σε συνεργασία με τις εταιρείες Garford Farm Machinery και Tillett & Hague Technology ανέπτυξαν ένα μηχάνημα για την μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς με τη χρήση δίσκων οι οποίοι περιστρέφονται (Dedousis, 2007; O'Dogherty et al., 2007). Η θέση των φυτών και της φάσης προσέγγισής τους σχετικά με τον περιστρεφόμενο δίσκο ανιχνεύεται χρησιμοποιώντας κάμερες καθοδήγησης. Ο αλγόριθμος εντοπισμού των φυτών είναι βασισμένος σε μήκη κύματος δύο διαστάσεων και παρέχει χωροταξικές πληροφορίες για τη θέση κάθε φυτού ξεχωριστά. Η τοποθέτηση του φίλτρου ανίχνευσης (Mexican hat) βασίζεται στις προβλέψιμες θέσεις των φυτών χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο Kalman. Το λογισμικό έχει δοκιμαστεί με επιτυχία σε πειράματα στο αγρό σε μια σειρά αποστάσεων μεταξύ των φυτών στη γραμμή σποράς καθώς επίσης και σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης αυτών (Tillett et al., 2008). Δοκιμές του μηχανήματος σε λαχανικά με αποστάσεις μεταξύ των φυτών 500 mm έδειξαν ότι η κάλυψη της περιοχής ανάμεσα στα φυτά ήταν 95% και η καταστροφή των ζιζανίων που επιτεύχθηκε με μια μόνο μεταχείριση ήταν 87%.



Εικόνα 7. Rotating disc hoe

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα στην καταπολέμηση των ζιζανίων στη γραμμή σποράς και τα μηχανήματα ακριβείας με τη χρήση συστημάτων ανίχνευσης των φυτών και των ζιζανίων έχουν μέχρι και σήμερα πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα. Περαιτέρω πειράματα και δοκιμές είναι απαιτητές για να βελτιωθεί η λειτουργικότητα, η αξιοπιστία και η απόδοση αυτών των μηχανημάτων για την καταπολέμηση των ζιζανίων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aastrand B. & Baerveldt A.J. 2005. *A vision based row-following system for agricultural field machinery*. Mechatronics, 15 (2), 251-269.
- Bakker T. 2003. *Autonomous weeding literature review*. SCO Report 03-01, Wageningen University: Systems and Control Group.
- Bleeker P. 2005. *First experiments with intra-row weed control with a camera*. In: Proceedings of the Spatial and dynamic weed measurements and innovative weeding technologies, Bygholm, Denmark, European Weed Research Society,
- Bond W. & Grundy A.C. 2001. *Non-chemical weed management in organic farming systems*. Weed Research, 41 (5), 383-405.
- Bontsema J., Asselt van C.J., Lempens P.W.J. & Straten van G. 1998. *Intra-row weed control: A mechatronics approach*. In: Proceedings of the Control Applications and Ergonomics in Agriculture, Athens, Greece,
- Cavaliere A., Janssen S., Smithson A. & Buisman T. 2001. *Economic viability of weeding strategies in organically grown sugar beets*. KVL The Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark.
- Dedousis A. P. 2007. *An investigation into the design of precision weeding mechanisms for inter and intra-row weed control*. PhD thesis. Cranfield University, Silsoe.
- Dedousis A.P., Godwin R. J., O'Dogherty M. J., Tillett N.D. & Grundy A.C. 2007. *Inter and intra-row mechanical weed control with rotating discs*. In: Precision Agriculture 07. Editor J. V. Stafford, Wageningen Academic Publishers, 493-498.
- Fogelberg F. & Kritz G. 1999. *Intra-row weeding with brushes on vertical axes-factors influencing in-row soil height*. Soil & Tillage Research, 50, 149-157.
- Gobor Z. & Lammers P. S. 2007. *Mechanical weeding of the intra-row area in row crops with rotary hoe*. In: Proceedings of the 7th European Weed Research Society workshop on physical and cultural weed control, Salem, Germany,
- Griepentrog H. W., Dedousis A. P. 2010. *Mechanical weed control*. In: Soil Engineering. Editor Dedousis A. P. and Bartzanas T. Springer Verlag.
- Griepentrog HW, Norremark M, Nielsen J, Soriano Ibarra J. 2007. *Autonomous inter-row hoeing using GPS based side-shift control*. Agricultural Engineering International - The CIGR Ejournal IX (Manuscript ATOE 07 005)
- Griepentrog, H. W.; Norremark, M.; Nielsen, J. 2006. *Autonomous intra-row rotor weeding based on GPS*. In: Proceedings CIGR World Congress - Agricultural Engineering for a Better World, 9.2006 Bonn, Germany, VDI, Düsseldorf, Germany
- Home M. 2003. *An investigation into the design of cultivation systems for inter- and intra-row weed control*. EngD Thesis, Cranfield University, Silsoe, UK
- Jones P.A., Blair A.M. & Orson J.H. 1995. *The effect of different types of physical damage to four weed species*. In: Proceedings of the Brighton crop protection conference-weeds.
- Lempens P.W.J., Bontsema J., Asselt C.J. & Straten van G. 1996. *Actuator for use in an agricultural machinery for cultivation of crops growing in rows*. The Netherlands. OA 1004479.
- O'Dogherty M.J., Godwin R.J., Dedousis A.P., Brighton J.L. & Tillett N.D. 2007. *A mathematical model of the kinematics of a rotating disc for inter- and intra-row hoeing*. Biosystems Engineering, 96 (2), 169-179.
- Tillett N.D., Hague T., Grundy A.C., Dedousis A.P. 2008. *Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision*. Biosystems Engineering 99 (2) p.171-178

ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ‘FUZZY CLUSTERING’ ΓΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΖΩΝΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΕ ΑΜΠΕΛΙΑ

Α. Ταγαράκης¹, Β. Λιάκος¹, Σπ. Φουντάς¹, Στ. Κουνδουράς², Κ. Αγγελοπούλου¹, Θ.Α. Γέμτος¹

¹Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Οδός Φυτόκου, 38446 Βόλος, atagarak@uth.gr

²Εργαστήριο Αμπελουργίας, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Περίληψη

Στην παρούσα έρευνα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής γεωργίας ακριβείας σε αμπελώνα έκτασης 10 στρεμμάτων στη Θεσσαλία για τα έτη 2009 και 2010. Με τη χρήση αισθητήρων και του κατάλληλου εξοπλισμού πραγματοποιήθηκαν χαρτογραφήσεις των σημαντικότερων παραμέτρων (υψόμετρο, φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα ECa, ιδιότητες του φυλλώματος σε διάφορα στάδια, παραγωγή και ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών). Εφαρμόστηκε η ανάλυση ‘fuzzy clustering’ για το διαχωρισμό των δεδομένων σε ζώνες. Για όλες τις παραμέτρους που μετρήθηκαν τα δεδομένα χωρίστηκαν σε δυο ή τρεις ζώνες. Συγκρίνοντας τους χάρτες των ζωνών των παραμέτρων αποδείχτηκε ότι ένα μεγάλο ποσοστό των σημείων των χαρτών ανήκαν στην ίδια ζώνη. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει τη βάση για επιτυχή δημιουργία ζωνών διαχείρισης και κατά συνέπεια τη βελτίωση της διαχείρισης των αμπελώνων.

Λέξεις κλειδιά: αμπελουργία ακριβείας, ζώνες διαχείρισης, fuzzy clustering, NDVI

USING FUZZY CLUSTERING TECHNIQUES TO DELINEATE MANAGEMENT ZONES IN VINES.

A. Tagarakis¹, V. Liakos¹, S. Fountas¹, S. Koundouras², K. Aggelopoulou¹, T. Gemtos¹

¹ *Laboratory of Farm Mechanization, Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Department of Agriculture, Fytoko str., 38446 N. Ioinia Magnisia*

² *Laboratory of Viticulture, School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki*
atagarak@uth.gr

Abstract

This paper presents the results of applying precision agriculture in a 1 ha commercial vineyard in Greece in 2009 and 2010. A field elevation map was produced using RTK-GPS. Soil electrical conductivity was measured using EM-38 sensor. Crop Circle sensor was used to measure canopy properties during the growth period. Yield and grape quality (sugar content) mapping was carried out at harvest. Yield and ECa showed high spatial variability. Management zones for the measured parameters were defined using the MZA software. For all measured parameters two and three zones were delineated. Comparison between the zone maps for the measured parameters showed that high percentage of pixels belonged to the same zones. This could be the basis for successful management zone delineation and subsequent improved vineyard management.

Keywords: Precision viticulture, management zones, fuzzy clustering, NDVI

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αμπελουργία ακριβείας ορίζεται ως εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας σε αμπελώνες. Πρωτοεφαρμόστηκε στην Αυστραλία το 1999 πραγματοποιώντας χαρτογράφηση παραγωγής (Bramley, 2001). Τα τελευταία έτη πολλές εταιρείες και επιστημονικά ιδρύματα που δραστηριοποιούνται στη γεωργία ακριβείας έχουν ασχοληθεί με την αμπελουργία ακριβείας. Η εξέλιξη και εξάπλωση της αμπελουργίας ακριβείας βοηθήθηκε από την εμπορική διάθεση αισθητήρων καταγραφής της παραγωγής. Στο Montpellier (Γαλλία), αναπτύχθηκε αισθητήρας παραγωγής και ποιότητας (Tisseyre et al, 2001). Στη Χιλή, πειράματα εκτίμησης της χωρικής παραλλακτικότητας της παραγωγής και ποιότητας των καρπών ξεκίνησαν από το 2001 (Ortega et al, 2003). Στην Ισπανία, η χαρτογράφηση της παραγωγής έλαβε χώρα από το 2002 (Arnó et al, 2005). Στην Ελλάδα (Τύρναβος, Θεσσαλία) πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της παραγωγής και ποιότητας σε αμπελώνα το 2006 (Tagarakis et al, 2006).

Οι ζώνες διαχείρισης παράγονται από την επεξεργασία δεδομένων ποικίλων μετρήσεων. Χρονικά σταθερότερες ζώνες δημιουργούνται με τη χρησιμοποίηση μετρήσεων ιδιοτήτων του εδάφους. Χαρτογράφηση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) χρησιμοποιείται εκτεταμένα για το σκοπό αυτό (Fraisie et al, 2001; Kitchen et al, 2005; Molin and Castro 2008; Moral et al, 2010). Οι μετρήσεις παρέχουν τη δυνατότητα ανάλυσης της χωρικής παραλλακτικότητας για ιδιότητες του εδάφους όπως η αλατότητα, εδαφική σύσταση (Editorial, 2005) και περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Shaner et al, 2008). Σε πρόσφατες έρευνες η ECa χρησιμοποιήθηκε για την χαρτογράφηση της αποστράγγισης του εδάφους (Liu et al, 2008).

Παρόλα ταύτα οι μετρήσεις ECa δε συσχετίζονται πάντοτε καλά με την παραγωγή, Συνεπώς είναι απαραίτητες επιπρόσθετες μετρήσεις για την εξήγηση της χωρικής παραλλακτικότητας της παραγωγής (Editorial, 2005). Οι δείκτες φυλλώματος χρησιμοποιούνται συνήθως ως μέσο για την εκτίμηση της φυσιολογίας και ανάπτυξης του φυτού. Μεταξύ των δεικτών βλάστησης, ο NDVI (Normalized Vegetation Index) είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος καθώς συσχετίζεται με τις ιδιότητες του φυλλώματος όπως την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, τη βιομάζα, την φυλλική επιφάνεια και τη φυτική κάλυψη (Hansen and Schoerring, 2003).

Μια από τις σημαντικότερες μεθόδους ανάλυσης δεδομένων για καθορισμό ζωνών διαχείρισης είναι η ανάλυση ανά ομάδες ‘cluster analysis’. Είναι η ομαδοποίηση ξεχωριστών στοιχείων τα οποία έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά και ιδιότητες, σε ξεχωριστές κλάσεις που ονομάζονται “clusters” (Fridgen et al., 2004).

Οι Kitchen και άλλοι (2005) χρησιμοποίησαν τεχνικές ‘fuzzy c-means clustering’ για τη δημιουργία ζωνών παραγωγικότητας αναλύοντας δεδομένα φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) και υψομέτρου. Εξήγαγαν χάρτες ζωνών χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από κάθε παράμετρο ξεχωριστά. Σύγκριναν τα pixels των χαρτών με αυτόν της παραγωγής ένα προς ένα και εκτίμησαν το ποσοστό pixels που ανήκαν στην ίδια ζώνη παρέχοντας τη δυνατότητα συσχέτισης δεδομένων διαφορετικών παραμέτρων.

Στη Βραζιλία, τεχνικές ασαφούς ομαδοποίησης (fuzzy clustering) εφαρμόστηκαν για τον καθορισμό ζωνών διαχείρισης σε αροτραίες καλλιέργειες (Molin και Castro, 2008). Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και αναλύσεις εδάφους. Οι ερευνητές συμπέραναν ότι η ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιώντας ‘principal component analysis’ και ‘fuzzy logic’ οδηγεί σε καθορισμό αξιόπιστων ζωνών διαχείρισης.

Τα τελευταία χρόνια η έρευνα στον τομέα της αμπελουργίας ακριβείας έχει επικεντρωθεί στη βελτίωση της ποιότητας. Οι Best και άλλοι (2005) χρησιμοποίησαν αισθητήρες εδάφους και εργαλεία τηλεπισκόπησης για να εκτιμήσουν την επίδραση των

ιδιοτήτων του εδάφους, του φυλλώματος και του υδατικού δυναμικού στην παραγωγή και την ποιότητα.

Στόχος της παρούσας έρευνας ήταν η συλλογή και ανάλυση δεδομένων χρησιμοποιώντας αισθητήρες εδάφους και φυσιολογίας του φυτού. Τελικός σκοπός ήταν η διερεύνηση για εύρεση πιθανών συσχετίσεων με την παραγωγή και την ποιότητα ώστε να είναι δυνατός ο καθορισμός ζωνών διαχείρισης, στοχεύοντας στην υποβοήθηση των παραγωγών για καλύτερη διαχείριση των αμπελώνων τους.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε αμπελώνα έκτασης 10 στεμμάτων στην αγροτική περιοχή των Μικροθηβών του Νομού Μαγνησίας (Latitude: 39.26°, Longitude: 22.73°). Ο πειραματικός αμπελώνας, ήταν εγκατεστημένος σε πλαγιά με αρκετά μεγάλη κλίση με την ποικιλία Αγιωργήτικο εμβολιασμένη σε υποκείμενο 1103P. Το ανώτερο τμήμα του αγρού το έδαφος ήταν ελαφρύτερο, με μικρό βάθος και αυξημένη περιεκτικότητα σε σχέση με το χαμηλότερο τμήμα. Οι γραμμές του αμπελώνα ήταν εγκατεστημένες κατά μήκος της πλαγιάς. Η μεταξύ τους απόσταση ήταν 2,6m ενώ η απόσταση μεταξύ των αμπελιών στη γραμμή ήταν στα 0,7 m.

Για τη χαρτογράφηση του ανάγλυφου του αμπελώνα χρησιμοποιήθηκε RTK-GPS (Ag-GPS 252, Trimble Ltd., USA). Το GPS τοποθετήθηκε σε γεωργικό ελκυστήρα ο οποίος ακολούθησε διαδρομή μεταξύ των γραμμών ανά 4 μέτρα.

Η μέτρηση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρείχε μια πρώτη εκτίμηση της παραλλακτικότητας του εδάφους. Πραγματοποιήθηκε το φθινόπωρο του 2009 χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα EM-38 (EM38 RT, Geonics LTD, Ontario Canada). Ακολουθήθηκε διαδρομή ανάμεσα από τις γραμμές των αμπελιών ανά δυο διαδρόμους. Χρησιμοποιήθηκε D-GPS (Differential-GPS 106, Trimble Ltd., USA) για τη γαιοδαισία των τιμών του αισθητήρα. Ένα καταγραφικό (data logger) (Allegro CX, Jupiner Systems Inc., Logan Utah, USA) χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των μετρήσεων. Ρυθμίστηκε να καταγράφει τιμές ανά δευτερόλεπτο.

Οι ιδιότητες του φυλλώματος χαρτογραφήθηκαν σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης των αμπελιών χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα 'Crop Circle' (ACS-210, Holland Scientific Inc., Lincoln, NE). Για τη γαιοδαισία των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκε ένα D-GPS (Differential-GPS 106, Trimble Ltd., USA). Το καταγραφικό (data logger, GeoSCOUT GLS-400, Holland Scientific Inc., Lincoln, NE) που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή και αποθήκευση των δεδομένων ρυθμίστηκε να αποθηκεύει δυο μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο. Ο εξοπλισμός τοποθετήθηκε σε ειδική βάση που συνδέθηκε στο γεωργικό ελκυστήρα.

Η χαρτογράφηση της παραγωγής πραγματοποιήθηκε το Σεπτέμβριο του 2009 και 2010, κατά τη διάρκεια της συγκομιδής. Η συγκομιδή των σταφυλιών έγινε παραδοσιακά με το χέρι και τα σταφύλια τοποθετούνταν σε πλαστικές κλούβες οι οποίες αφήνονταν ακριβώς στο σημείο στο οποίο γέμιζε η κάθε μια. Πριν απομακρυνθούν οι γεμάτες κλούβες από τον αμπελώνα, πραγματοποιήθηκε ζύγιση χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικό ζυγό και γαιοδαισία χρησιμοποιώντας D-GPS (Differential-GPS 106, Trimble Ltd., USA). Η παραγωγή υπολογίστηκε σε βάρος παραγωγής ανά μονάδα επιφάνειας. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία σε πλέγμα (10×20 m) για ανάλυση ποιοτικών χαρακτηριστικών των σταφυλιών. Συλλέχθηκαν τυχαία από το κάθε δοχείο μερικά σταφύλια τα οποία τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες σύμφωνα με το πλέγμα δειγματοληψίας. Το περιεχόμενο συμπίεστηκε για την εξαγωγή του χυμού. Χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό διαθλασίμετρο για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας του χυμού σε σάκχαρα (brix).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων επεξεργάστηκαν από το λογισμικό Surfer® (Golden software, Inc. Colorado) για την πραγματοποίηση παρεμβολής. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος

Kriging για να τεθούν τα δεδομένα όλων των μετρήσεων σε πλέγμα διαστάσεων 5×5 m. Καλύτερη εφαρμογή στα δεδομένα είχαν τα σφαιρικά και εκθετικά μοντέλα στα βαριογράμματα. Για τη δημιουργία των αρχικών χαρτών και των χαρτών των τελικών ζωνών διαχείρισης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS (ESRI, Inc., USA).

Για την κατηγοριοποίηση των δεδομένων σε ομοιογενείς ζώνες, χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι 'Fuzzy clustering' από το λογισμικό MZA (ARS, University of Missouri).

Για τον καθορισμό του βέλτιστου αριθμού ζωνών χρησιμοποιήθηκαν δυο δείκτες, FPI (Fuzziness Performance Index) και NCE (Normalized Classification Entropy), οι οποίοι υπολογίστηκαν από το λογισμικό MZA. Καθώς η τιμή των δεικτών πλησιάζει το 0 οι ζώνες γίνονται πιο σαφείς και ομοιογενείς. Συνεπώς ο βέλτιστος αριθμός ζωνών επιτυγχάνεται όταν οι δυο δείκτες ελαχιστοποιούνται. Σχεδόν όλα τα δεδομένα έδωσαν τον καλύτερο συνδυασμό για κατηγοριοποίηση σε 2 και 3 ζώνες.

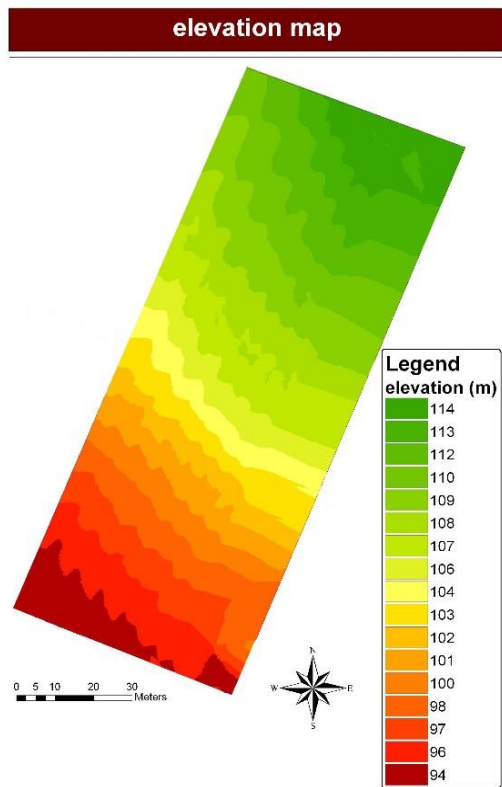
Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε για όλες τις μετρήσεις ξεχωριστά, τα δεδομένα των οποίων χωρίστηκαν σε 2, 3 και 4 ζώνες καταλήγοντας σε χάρτες ζωνών για την κάθε μέτρηση. Οι χάρτες αυτοί συγκρίθηκαν μεταξύ τους ανά ζεύγη. Το κάθε σημείο του πλέγματος (2×2 και 5×5) για την κάθε μέτρηση συγκρίθηκε με το αντίστοιχο σημείο όλων των υπόλοιπων μετρήσεων για το αν ανήκουν στην ίδια ή σε διαφορετική ζώνη. Τέλος υπολογίστηκε το ποσοστό των σημείων που ανήκαν στην ίδια ζώνη (ποσοστό ταύτισης).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

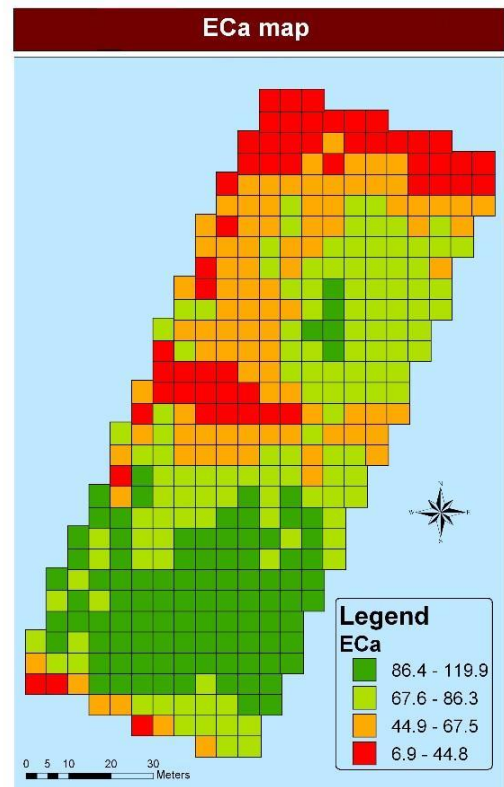
Αρκετοί χάρτες εξήχθησαν (χάρτης υψομέτρου, χάρτης ECa, χάρτες NDVI, χάρτες παραγωγής και χάρτες ποιότητας (περιεκτικότητα του χυμού σε σάκχαρα) παρέχοντας οπτική απεικόνιση της παραλλακτικότητας της κάθε μέτρησης κατά μήκος του αμπελώνα. Παρατηρώντας τον χάρτη υψομέτρου (Εικόνα 1), διαπιστώνεται ότι στο άνω τμήμα του αμπελώνα υπάρχει κλίση 4.5° . Στο κέντρο η πλαγιά γίνεται πιο απότομη φτάνοντας σε κλίση 12° , ενώ στο κάτω τμήμα η πλαγιά ομαλοποιείται με κλίση 5° .

Η παραγωγή παρουσίασε υψηλή χωρική παραλλακτικότητα (Εικόνες 3 και 4). Συγκρίνοντας τον χάρτη ECa (Εικόνα 2) με τους χάρτες παραγωγής, ήταν εμφανής η συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων αυτών. Οι χάρτες περιεκτικότητας σε σάκχαρα δεν έδειξαν να συσχετίζονται με την ECa και την παραγωγή.

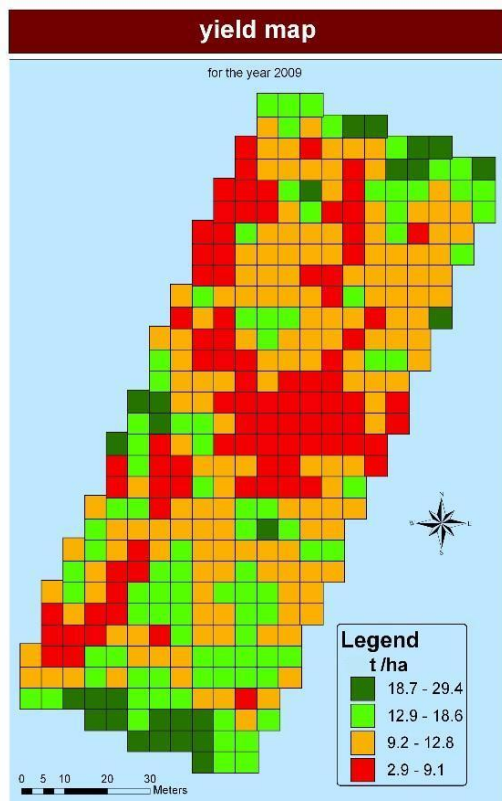
Τα δεδομένα από κάθε μέτρηση τέθηκαν σε πλέγμα κελιών διαστάσεων 5×5 m χρησιμοποιώντας την μέθοδο παρεμβολής 'kriging'. Για κάθε μία από τις παραμέτρους που μετρήθηκαν, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος fuzzy clustering για τη δημιουργία ζωνών. Ο αριθμός των ζωνών καθορίστηκε σύμφωνα με τους δείκτες FPI και NCE. Σύμφωνα με τους δείκτες ο διαχωρισμός σε δυο ή τρεις ζώνες είναι ο ιδανικότερος. Συνεπώς στην ανάλυση των δεδομένων εξετάστηκαν 2 σενάρια, για δύο και για τρεις ζώνες.



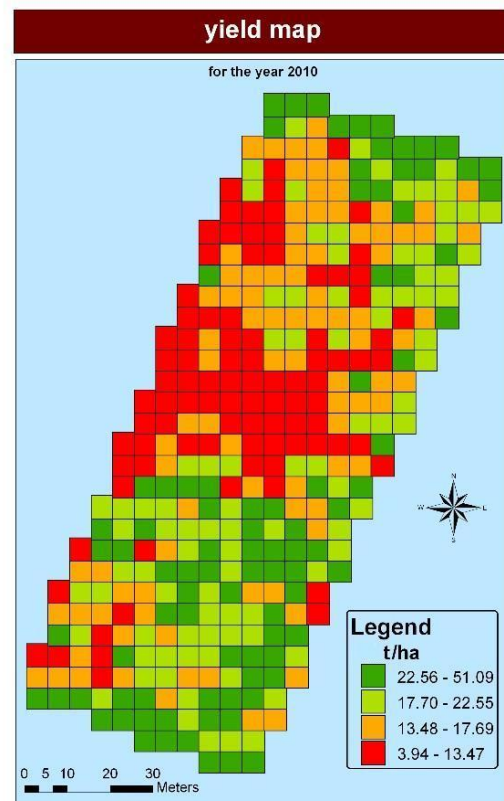
Εικόνα 1. Χάρτης υψομέτρου.



Εικόνα 2. Χάρτης φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa).



Εικόνα 3. Χάρτης παραγωγής για το έτος 2009.



Εικόνα 4. Χάρτης παραγωγής για το έτος 2010.

Τα δυο σενάρια εξετάστηκαν ξεχωριστά. Οι χάρτες ζωνών για κάθε σενάριο εξετάστηκαν μεταξύ τους ανά δύο. Κάθε κελί του χάρτη ζωνών για μια από τις παραμέτρους συγκρίθηκε με το αντίστοιχο κελί του χάρτη ζωνών από τις άλλες παραμέτρους. Με τον τρόπο αυτό, υπολογίστηκε το ποσοστό ταύτισης των ζωνών για τις παραμέτρους που μετρήθηκαν. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τα δεδομένα του έτους 2009 παρατίθενται στον πίνακα 1 για το σενάριο των δυο ζωνών και στον πίνακα 2 για το σενάριο των τριών ζωνών.

Πίνακας 1. Ποσοστό ταύτισης (%) μεταξύ των συγκρινόμενων παραμέτρων για το πρώτο σενάριο (διαχωρισμός σε δυο ζώνες) για το έτος 2009.

2 ζώνες	ECa υψόμετρο	ECa	NDVI 15.5.09	NDVI 25.5.09	NDVI 15.6.09	NDVI 20.7.09	NDVI 17.9.09	παραγωγή	σάκχαρα
ECa υψόμετρο	100								
ECa	Μ.Δ.*	100							
NDVI 15.5.09	73.37	66.85	100						
NDVI 25.5.09	70.38	63.32	Μ.Δ.*	100					
NDVI 15.6.09	73.91	65.22	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	100				
NDVI 20.7.09	70.38	63.32	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	100			
NDVI 17.9.09	63.32	57.88	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	100		
παραγωγή	61.41	55.43	71.74	72.55	71.74	64.40	52.45	100	
σάκχαρα	54.08	50.27	50.82	50.54	52.45	58.70	54.35	54.62	100

* Μη διαθέσιμες συσχετίσεις

Η σύγκριση μεταξύ των μετρήσεων NDVI δεν πραγματοποιήθηκε καθώς η ανάλυση στόχευε στην εύρεση συσχετίσεων με την παραγωγή, την περιεκτικότητα σε σάκχαρα, την ECa και το υψόμετρο.

Η ταύτιση μεταξύ των παραγόντων ECa-υψόμετρο και NDVI ήταν υψηλή, φτάνοντας το 73.9% (για τη μέτρηση στις 15.6.09) για το πρώτο σενάριο (2 ζώνες) και 52.7% για το δεύτερο σενάριο (3 ζώνες). Το ποσοστό ταύτισης μεταξύ παραγόντων ECa-υψόμετρο και παραγωγής ήταν επίσης υψηλό (61.41% για το πρώτο σενάριο και 51.63% για το δεύτερο). Το ποσοστό ταύτισης μεταξύ παραγόντων ECa-υψόμετρο ή παραγωγή με το NDVI ήταν υψηλότερο για τις μετρήσεις του NDVI που πραγματοποιήθηκαν νωρίς στην καλλιεργητική περίοδο γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στο ότι οι διαφορές στα χαρακτηριστικά του φυλλώματος τείνουν να αμβλύνονται στα τελευταία στάδια.

Πίνακας 2. Ποσοστό ταύτισης (%) μεταξύ των συγκρινόμενων παραμέτρων για το δεύτερο σενάριο (διαχωρισμός σε τρεις ζώνες) για το έτος 2009.

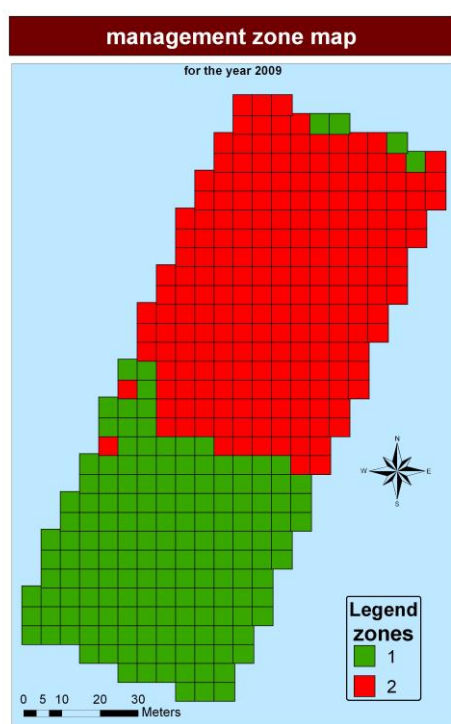
3 ζώνες	ECa υψόμετρο	ECa	NDVI 15.5.09	NDVI 25.5.09	NDVI 15.6.09	NDVI 20.7.09	NDVI 17.9.09	παραγωγή	σάκχαρα
ECa υψόμετρο	100								
ECa	Μ.Δ.*	100							
NDVI 15.5.09	44.57	37.77	100						
NDVI 25.5.09	41.85	42.66	Μ.Δ.*	100					
NDVI 15.6.09	50.00	45.11	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	100				
NDVI 20.7.09	42.66	42.66	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	100			
NDVI 17.9.09	45.92	38.32	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	100		
παραγωγή	51.63	35.87	46.74	48.91	48.10	52.72	38.32	100	
σάκχαρα	39.13	36.68	38.32	43.75	43.21	42.12	43.75	38.59	100

* Μη διαθέσιμες συσχετίσεις

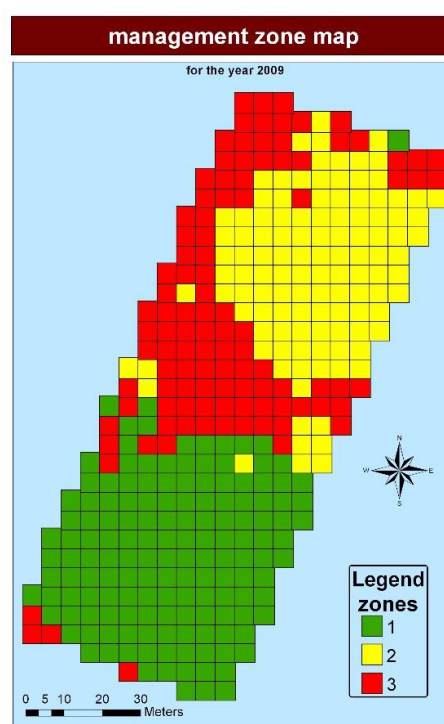
Το ποσοστό ταύτισης μεταξύ της περιεκτικότητας σε σάκχαρα και των άλλων παραμέτρων για το ήταν αρκετά χαμηλό, 50.3% – 58.7% για το πρώτο σενάριο και 36.7% - 43.8% για το δεύτερο σενάριο.

Η ανάλυση των δεδομένων από τις μετρήσεις του 2010 έδωσε παρόμοια αποτελέσματα (τα δεδομένα δεν παρουσιάζονται). Η ταύτιση μεταξύ των παραγόντων ECa-υψόμετρο, NDVI και παραγωγή, έφτασε το 71.74% για το πρώτο σενάριο και 51.36% για το δεύτερο σενάριο. Το ποσοστό ταύτισης μεταξύ της περιεκτικότητας σε σάκχαρα και των άλλων παραμέτρων για το έτος 2010 ήταν 51.36% – 67.12% για το πρώτο σενάριο και 36.68% - 48.1% για το δεύτερο.

Η ανάλυση των δεδομένων οδήγησε στις τελικές ζώνες διαχείρισης για τα δυο έτη 2009 και 2010). Υψηλό ποσοστό ταύτισης παρουσίασαν οι παράγοντες ECa, παραγωγή, NDVI και υψόμετρο. Οι τελικές ζώνες διαχείρισης που παράχθηκαν σύμφωνα με τις επιλεγμένες παραμέτρους παρουσιάζονται στις εικόνες 5 και 6.



Εικόνα 5. Χάρτης τελικών ζωνών διαχείρισης για το έτος 2009. Πρώτο σενάριο (2 ζώνες).



Εικόνα 6. Χάρτης τελικών ζωνών διαχείρισης για το έτος 2009. Δεύτερο σενάριο (3 ζώνες).

Οι χάρτες με τις τελικές ζώνες διαχείρισης για το έτος 2009 ήταν όμοιες με αυτούς για το έτος 2010. Το ποσοστό ταύτισης μεταξύ των τελικών ζωνών διαχείρισης για τα έτη 2009 και 2010 ήταν εξαιρετικά υψηλό για τα δυο σενάρια, 95.65% για τις δυο ζώνες και 88.59% για τις τρεις ζώνες, (Πίνακας 3). Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι πιθανότατα οι ζώνες διαχείρισης είναι χρονικά σταθερές αλλά για να διαπιστωθεί με βεβαιότητα απαιτείται η ανάλυση δεδομένων και για άλλα έτη.

Πίνακας 3. Ποσοστό ταύτισης μεταξύ των τελικών ζωνών του 2009 και 2010 για τα δυο σενάρια (2 και 3 ζώνες).

	2009 2 ζώνες	2010 2 ζώνες	2009 3 ζώνες	2010 3 ζώνες
2009 2 ζώνες	100.00			
2010 2 ζώνες	95.65	100.00		
2009 3 ζώνες	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	100.00	
2010 3 ζώνες	Μ.Δ.*	Μ.Δ.*	88.59	100.00

* Μη διαθέσιμες συσχετίσεις

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων της έρευνας μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Η παραγωγή και η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους παρουσίασαν σημαντική χωρική παραλλακτικότητα παρά το μικρό μέγεθος του αμπελώνα (C.V. = 0.367 για την παραγωγή του 2009, C.V. = 0.473 για την παραγωγή του 2010 και C.V. = 0.302 για την ECa).
- Ο συνδυασμός παραγόντων ECa-υψόμετρο συσχετίζεται με τις ιδιότητες του φυλλώματος (NDVI) και την παραγωγή. Αναλύοντας τα δεδομένα των μετρήσεων αυτών των παραμέτρων είναι δυνατό να εξαχθούν σταθερές ζώνες διαχείρισης.
- Η σύγκριση χαρτών ζωνών οι οποίες παράγονται εφαρμόζοντας ‘fuzzy clustering’ στα δεδομένα των παραμέτρων που μετρήθηκαν, οδήγησε σε δημιουργία τελικών ζωνών διαχείρισης για το κάθε έτος. Συσχετίσεις μεταξύ παραμέτρων είναι δυνατό να ποσοτικοποιηθούν συγκρίνοντας τους αρχικούς χάρτες ζωνών των παραμέτρων κελί προς κελί. Το σύνολο των κελιών που ταυτίζονταν εκφρασμένο ως ποσοστό του συνόλου των κελιών των χαρτών, παρείχε ένα δείκτη ταύτισης μεταξύ των συγκρινόμενων παραγόντων. Η παραπάνω ανάλυση οδήγησε σε ζώνες διαχείρισης σταθερές για τα δύο έτη της έρευνας.
- Οι τελικές ζώνες διαχείρισης θα χρησιμοποιηθούν για εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών (άρδευση, λίπανση).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arnó J., Bordes X., Ribes-Dasi M., Blanco R., Rosell J.R., Esteve J., (2005) Obtaining grape yield maps and analysis of within-field variability in Raimat (Spain). Proceedings of fifth European Conference on Precision Agriculture, pp. 899-906.
- Best S., León L., Claret M., (2005). Use of Precision Viticulture Tools to Optimize the Harvest of High Quality Grapes. Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production, FRUTIC 05, 12-16 September, Montpellier, France.
- Bramley R.G.V., (2001) Progress in the development of Precision Viticulture - Variation in Yield, Quality and Soil Properties in Contrasting Australian Vineyards, In: L.D. Currie and P. Loganathan (eds). Precision tools for improving land management, Occasional report No. 14, Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North.
- Editorial (2005). Applications of apparent soil electrical conductivity in precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, 46, pp. 1–10.
- Fridgen J. J., Kitchen N. R., Sudduth K. A., Drummond S. T., Wiebold W. J., C. W. Fraisse, (2004). Management Zone Analyst (MZA): Software for Subfield Management Zone Delineation . Agronomy Journal, 96, pp. 100–108.
- Hansen P. M., Schjoerring J. K., (2003). Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. Remote sensing Environ., 86, pp. 542-553.

- Kitchen N.R., Sudduth K.A., Myers D.B., Drummond S.T., Hong S.Y., (2005) Delineating productivity zones on claypan soil fields apparent soil electrical conductivity, *Computers and Electronics in Agriculture*, 46, pp.285-308.
- Liu J., Pattey E., Nolin M. C., Miller J. R., Ka O., (2008). Mapping within-field soil drainage using remote sensing, DEM and apparent soil electrical conductivity. *GEODERMA*, 143, pp. 261-272.
- Molin J. P., Castro C. N., (2008). Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. *Sci. Agric.*, 65 (6), November/December 2008, pp. 567-573.
- Moral F.J., Terrón J.M., Marques da Silva J.R., (2010). Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil and Tillage Research*, 106 (2), pp. 335-343.
- Ortega R.A., Esser A., Santibanez O., (2003). Spatial variability of wine grape yield and quality in Chilean vineyards: economic and environmental impacts. In: J.V. Stafford and A. Werner (eds), *Proceedings of the Fourth European Conference on Precision Agriculture*, June 15-19, 2003, Berlin, Germany, pp.499-506.
- Shaner D. L., Khosla R., Brodahl M. K., Buchleiter G. W., Farahani H. J., (2008). How Well Does Zone Sampling Based on Soil Electrical Conductivity Maps Represent Soil Variability. *Agronomy Journal*, 100 (5), pp. 1472-1480.
- Tagarakis A., Xatzinikos A., Fountas S., Gemtos T. (2006). Delineation of management zones in precision viticulture. *International Conference on: Information Systems in Sustainable Agriculture, Agroenvironment and Food Technology*, Volos, Greece, pp.547-554.
- Tisseyre B., Mazzoni C., Ardoin N., Clipet C., (2001) Yield and harvest quality measurement in precision viticulture - Application for a selective vintage. In: G. Grenier and S. Blackmore (eds.), *Proceedings of the Third European Conference on Precision Agriculture*, June 18-20, 2001, Montpellier, France, pp.133-138.



Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής

Μηχανικής

Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

Τηλ: +30210.52.94.046, Fax: +30210.52.94.023

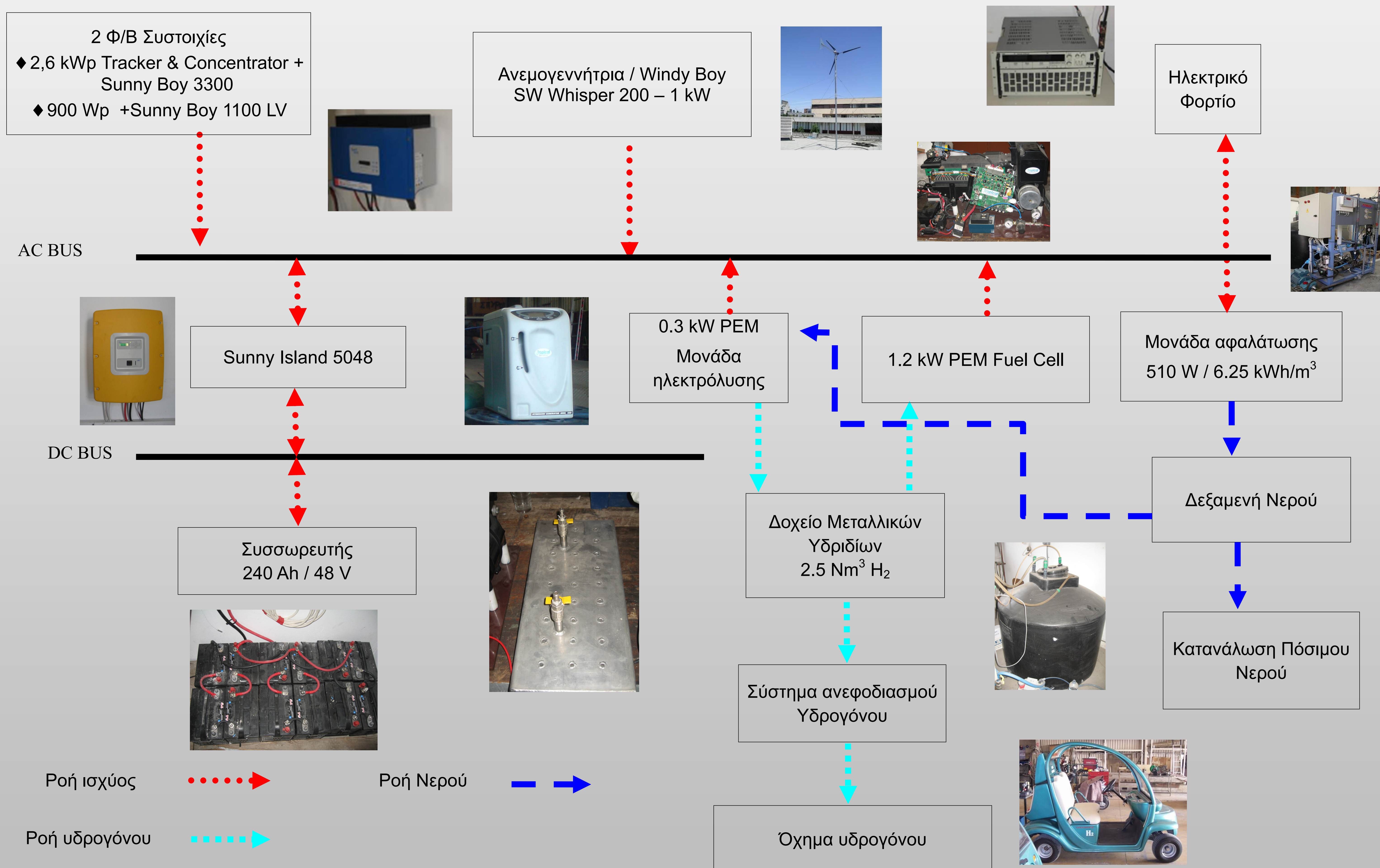
Email: gk@aua.gr

ΕΞΥΠΝΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ ΠΟΛΥΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Γεώργιος Κυριακάρκος, Αναστάσιος Ντούνης,
Κωνσταντίνος Αρβανίτης, Γεώργιος Παπαδάκης

Ακόμη και σήμερα υπάρχουν πολλές περιοχές στη γη που δεν έχουν πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι περισσότερες από αυτές είναι αγροτικές και βρίσκονται μακριά από τα αστικά κέντρα. Για να μπορέσει να επιτευχθεί ανάπτυξη είναι απαραίτητο να καλυφθούν βασικές ανάγκες τους, όπως η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, πόσιμου νερού και καυσίμου. Μια προσέγγιση στην αντιμετώπιση αυτών των αναγκών είναι και τα έξυπνα αυτόνομα μικροδίκτυα τα οποία μπορούν μέσω κατακεντρωμένης παραγωγής να παράξουν την απαραίτητη ισχύ για να καλυφθούν οι εκάστοτε ανάγκες.

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η ανάπτυξη, η θεωρητική και πειραματική αξιολόγηση ενός τέτοιου αυτόνομου έξυπνου μικροδικτύου.



Σχηματική αναπαράσταση του μικροδικτύου

Αποτελέσματα - Συμπεράσματα

- ♦ Έχει εγκατασταθεί ένα τέτοιο μικροδίκτυο στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- ♦ Έχει αναπτυχθεί μια πλατφόρμα προσομοίωσης τέτοιων μικροδικτύων βασισμένη στο TRNSYS και το Matlab. Με τη χρήση του λογισμικού GenOpt μπορεί να γίνει βελτιστοποίηση τέτοιων μικροδικτύων.
- ♦ Έχει αναπτυχθεί και ελεγχθεί θεωρητικά ένας ελεγκτής ON/OFF
- ♦ Έχει αναπτυχθεί και βελτιστοποιηθεί ένας εξελιγμένος ελεγκτής βασισμένος σε ασαφή λογική
- ♦ Είναι υπό ανάπτυξη ελεγκτής βασισμένος στα ασαφή γνωστικά δίκτυα.
- ♦ Μελλοντική εργασία αποτελεί ο έλεγχος των ελεγκτών στο πειραματικό μικροδίκτυο

ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ ΤΗΣ ΣΚΑΦΙΔΑΣ ΙΣΟΠΕΔΩΣΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ LASER

M. Γ. Καλαϊτζή, Ε.Α. Καραγιάννης, Π.Β. Καραρίζος
Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας
Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη
e-mail: xeniakal@for.auth.gr, eakarag@for.auth.gr, pkarariz@for.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενσωμάτωση νέας και προηγμένης τεχνολογίας (διάφορες ηλεκτρονικές διατάξεις) στα σύγχρονα μηχανήματα είχε σαν αποτέλεσμα αυτά να γίνουν αποδοτικότερα, ποιοτικότερα και οικονομικότερα. Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η απόδοση της σκαφίδας ισοπέδωσης εξοπλισμένης με ηλεκτρονικές διατάξεις και με υδραυλικό σύστημα κίνησης σε πειραματική επιφάνεια δυόμιση (2,5) στρεμμάτων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Διαχωρίστηκαν οι κινήσεις του ελκυστήρα με την ελκόμενη σκαφίδα σε διαδρομές κατά μήκος (X) και κατά πλάτος (Y) της πειραματικής επιφάνειας και στα επίπεδα 1 (μονή διαδρομή του μηχανήματος) και 2 (διπλή διαδρομή του μηχανήματος). Με τη μέθοδο των χρονικών σπουδών προέκυψε ότι ο χρόνος που απαιτήθηκε στις δύο διαδρομές ήταν κατά μήκος $X=28\text{min}$ και κατά πλάτος $Y=32\text{min}$.

Λέξεις κλειδιά: σκαφίδα ισοπέδωσης, καθοδήγηση, ηλεκτρονικές διατάξεις (Laser)

LEVELING BLADE GUIDANCE WITH ADJUSTABLE LASER SYSTEMS

M.G.Kalaitzi, P.V.Kararizos and E.A.Karagiannis
Department of Forest Engineering and Surveying
School of Forestry and Natural Environment
Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki
xeniakal@for.auth.gr, pkarariz@for.auth.gr, eakarag@for.auth.gr

ABSTRACT

The new integrating and advanced technology (various electronic settings) in modern machinery, has been resulted to become more efficient, having a higher and cheaper quality. In this paper, the efficiency of the leveling blade equipped with electronic settings has been studied, in an experimental site of 2,5 stremmata in Thessaloniki. The movements of the tractor with hauled blade were separated in two routes, length (X) and width (Y), in the experimental location and in level 1 (single route of machinery) and in level 2 (double route of machinery). By the methods of time study it was shown that the time required for both Routes was (X) 28 minutes and (Y) 32 minutes.

Key words: leveling blade, guidance, electronic settings

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ισοπέδωση με τη χρήση οργανωμένων μηχανικών μέσων, ως τεχνική αύξησης της απόδοσης, άρχισε να εφαρμόζεται τη δεκαετία του 1920 στις Η.Π.Α. Το 1935 παρουσιάστηκε το πρώτο μηχάνημα ισοπέδωσης στις Η.Π.Α, ενώ μεταπολεμικά και ως το 1960, όταν ξεκίνησε η μαζική χρήση της ισοπέδωσης, αυτή συνέχισε να είναι πρωταρχικής σημασίας. Ως τότε η διαδικασία της ισοπέδωσης ήταν χρονοβόρα και με ιδιαίτερα υψηλό κόστος αφού απαιτούσε μεγάλο αριθμό ανειδίκευτων εργατών, έναν μηχανικό και έναν χειριστή (Williams J., 2004).

Η επανάσταση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ηλεκτρονικών διατάξεων και κυρίως όταν το 1970 στις Η.Π.Α έκανε την πρώτη εμφάνιση του το Laser σε μηχανισμούς ισοπέδωσης. Μέσα σε λίγα χρόνια εξαπλώθηκε και στην Ευρώπη, ενώ πλέον στις μέρες μας χρησιμοποιείται ευρύτατα, κυρίως ως “ Ισοπέδωση ακριβείας”, λόγω της ακρίβειας της εργασίας που προσφέρει (Fangmeier, D., Clemmens Aj. 1999).

Σε πειράματα που έγιναν μεταξύ διαφορετικών μεθόδων ισοπέδωσης βρέθηκε ότι η μέση διακύμανση της ισοπέδωσης που πραγματοποιήθηκε με Laser είναι +/- 10mm, ενώ αντίστοιχα της ισοπέδωσης με κλασσικά μέσα +/- 28,6 mm.

Υπολογίστηκε ότι η ευαισθησία ενός συστήματος ισοπέδωσης με Laser είναι 10-50 φορές πιο ακριβής από ότι η οπτική εκτίμηση ενός πεπειραμένου χειριστή και τα απαιτούμενα προσόντα του χειριστή λιγότερο σημαντικά, ως προς το αποτέλεσμα της εργασίας.

Όσον αφορά το κόστος, η ισοπέδωση ακριβείας με Laser απαιτεί τα μισά εργατικά σε σχέση με την κλασσική μέθοδο ισοπέδωσης. (Laughlin, 2000).

Στην χώρα μας οι πρώτοι ισοπεδωτικοί μηχανισμοί με τη χρήση Laser έκαναν την εμφάνιση τους στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης το 1990 και από τότε χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλες τις χωματουργικές εργασίες (Τσατσαρέλης 2000, Karagiannis E., Kararizos P., Karagiannis A., 2006)

Ένα συγκρότημα ισοπέδωσης με ακτίνες Laser περιλαμβάνει :

- α. τον ελκυστήρα
- β. το ελκόμενο χωματουργικό μηχάνημα
- γ. το σύστημα ελέγχου με ακτίνες Laser.

Η υποδύναμη του ελκυστήρα που απαιτείται, εξαρτάται από το μέγεθος του χωματουργικού μηχανήματος και τις συνθήκες λειτουργίας του.

Για τον υπολογισμό της απόδοσης των σύγχρονων χωματουργικών μηχανημάτων η λήψη των στοιχείων χρονικών σπουδών μπορεί να γίνει και με τη χρήση συστημάτων G.P.S. , τα οποία εκτός της ευκολίας που παρέχουν, δίνουν δεδομένα υψηλής ακρίβειας που μπορούν να επεξεργαστούν με ανάπτυξη ειδικών λογισμικών και να αξιολογηθούν είτε χρησιμοποιούμενες πρακτικές εργασίας ή νέες προτεινόμενες μέθοδοι (Benson et. al. 2002).

Στην εργασία αυτή συγκεντρώθηκαν, μελετήθηκαν και αναλύθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία με σκοπό τον υπολογισμό της απόδοσης της λεπίδας ισοπέδωσης εξοπλισμένης με ηλεκτρονικές διατάξεις, σε πειραματική επιφάνεια δυόμιση (2,5) στρεμμάτων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

Την άνοιξη του 2009 ήταν σε εξέλιξη εργασίες ισοπέδωσης σε δασικό φυτώριο στην περιοχή της Θεσσαλονίκης.

2.1 ΥΛΙΚΑ

Τα υλικά που απαιτήθηκαν για τις ανάγκες της έρευνας και τον υπολογισμό της ωριαίας πραγματικής απόδοσης της σκαφίδας ισοπέδωσης ήταν:

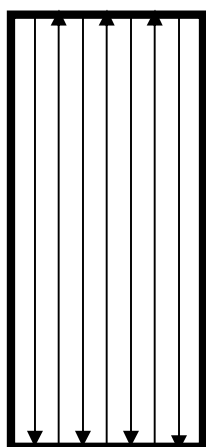
- ✓ Πειραματική επιφάνεια εκτάσεως 2,5 στρεμμάτων
- ✓ Ελκυστήρας τύπου Massey Ferguson 6290, ισχύος 135Hp μαζί με την σκαφίδα ισοπέδωσης μήκους 4 m, η οποία φέρει ηλεκτρονικό δέκτη ακτίνων Laser, τύπου MIKROFYN
- ✓ Διαβιβαστής ακτίνων Laser, τύπου MIKROLASER ML – 4
- ✓ Δύο χρονόμετρα χειρός
- ✓ G.P.S. ακριβείας τύπου Garmin-etrex συνδεδεμένο με φορητό H/Y για την πλήρη καταγραφή των φάσεων ισοπέδωσης
- ✓ Τέσσερα ακόντια και ταινία οριοθέτησης
- ✓ Γαιώδη υλικά για ισοπέδωση, τα οποία μεταφέρθηκαν από άλλες περιοχές.

2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

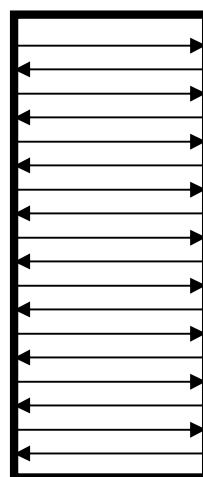
Οριοθετήθηκε η πειραματική επιφάνεια με διαστάσεις $25 \times 100 = 2500\text{m}^2$ όπου η τελική κλίση της επιφάνειας έπρεπε να είναι 1% μετά την εργασία ισοπέδωσης.

Εφαρμόστηκε η μέθοδος χρονικών σπουδών κατά την οποία χρησιμοποιήθηκαν τα συστήματα καταγραφής με G.P.S. και χρονόμετρα.

Ο διαχωρισμός των διαδρομών ισοπέδωσης έγινε με βάση τη διεύθυνση κίνησης του ελκυστήρα, ο οποίος σάρωνε παράλληλα, είτε κατά μήκος (X) είτε κατά πλάτος (Y) και κατά ορθογώνιες λωρίδες το σύνολο της επιφάνειας, κατά τα πρότυπα των σχημάτων 1 και 2. Και στις δύο διαδρομές X και Y ο ελκυστήρας κινήθηκε 2 φορές αντίστοιχα και καταγράφηκαν οι διαδρομές ως επίπεδα. Έτσι είχαμε στη διαδρομή (X), X,1 και X,2 επίπεδα και αντίστοιχα στη διαδρομή (Y), Y,1 και Y,2 επίπεδα. Η τελική διαμόρφωση συνολικά περιλάμβανε τέσσερα (4) επίπεδα. Κάθε επίπεδο κωδικοποιήθηκε και χρονομετρήθηκε χωριστά με τη χρήση G.P.S. χειρός και χρονομέτρου. Επιπλέον χρονομετρήθηκε ο συνολικός χρόνος των καθυστερήσεων. Όλοι οι χρόνοι καταχωρήθηκαν στις πινακίδες καταγραφής με τους αντίστοιχους κωδικούς.



Σχήμα 1. Κίνηση του ελκυστήρα στη διαδρομή (X)



Σχήμα 2. Κίνηση του ελκυστήρα στη διαδρομή (Y)

Μερικά στοιχεία (συνταγμένες των κινήσεων X και Y) που καταγράφηκαν από το G.P.S., φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1 Συντεταγμένες αποτύπωσης πειραματικής επιφάνειας

α/α	Κίνηση X	Κίνηση Y
1	x=412254 y=4497754	x=412173 y=4497817
2	x=412252 y=4497759	x=412178 y=4497819
3	x= 412251 y=4497765	x=412182 y=4497820
4	x=412248 y=4497769	x=412188 y=4497823
5	x=472245 y=4497778	x=412192 y=4497824

Η συλλογή και η καταγραφή των στοιχείων, με τη χρήση G.P.S. και χρονομέτρου στην πειραματική επιφάνεια ήταν συνεχής. Με τη μέθοδο αυτή μετρήθηκαν ο αριθμός των παράλληλων διαδρομών, ο απαιτούμενος χρόνος καθώς και η συνολική διανυόμενη απόσταση κατά επίπεδο. Με βάση τα ανωτέρω δεδομένα υπολογίστηκε με τη βοήθεια του H/Y η ταχύτητα ισοπέδωσης στις διαδρομές X και Y καθώς και η απόδοση της λεπίδας ισοπέδωσης (στρ/h).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την επεξεργασία των στοιχείων που καταγράφηκαν με το G.P.S. και τα χρονόμετρα για τον υπολογισμό της πραγματικής απόδοσης Q (στρ/h), της ελκόμενης από ελκυστήρα λεπίδας ισοπέδωσης προέκυψαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στους Πίνακες 2 και 3.

Πίνακας 2 Κίνηση του ελκυστήρα με σκαφίδα ισοπέδωσης στη διαδρομή X και στα δύο επίπεδα

Επίπεδα	Αριθμός διαδρομών	Συνολικά τρέχοντα μέτρα	Απαιτούμενος χρόνος σε min	Ταχύτητα ελκυστήρα km/h
1	7	700	12	3,5
2	7	700	10	4
Καθυστερήσεις			6	
Σύνολο	14	1400	28*	

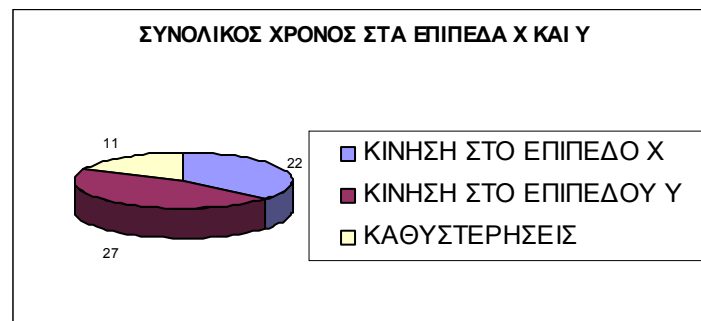
*Ο συνολικός χρόνος που απαιτήθηκε για την ισοπέδωση 2,5 στρεμμάτων στη διαδρομή X και στα δύο επίπεδα ανήλθε στα 28 λεπτά.

Πίνακας 3 Κίνηση του ελκυστήρα με σκαφίδα ισοπέδωσης στη διαδρομή Υ και στα δύο επίπεδα

Επίπεδα	Αριθμός διαδρομών	Συνολικά τρέχοντα μέτρα	Απαιτούμενος χρόνος σε min	Ταχύτητα ελκυστήρα km/h
1	25	625	15	2,5
2	25	625	12	3
Καθυστερήσεις			5	
Σύνολο	54	1250	32*	

*Ο συνολικός χρόνος που απαιτήθηκε για την ισοπέδωση 2,5 στρεμμάτων στη διαδρομή Υ και στα δύο επίπεδα ανήλθε στα 32 λεπτά

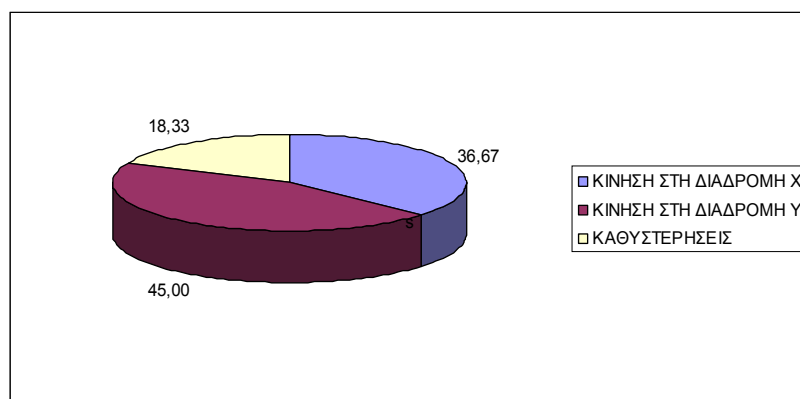
Από τον απαιτούμενο συνολικό χρόνο (χρόνος εργασίας και καθυστερήσεις), στις διαδρομές Χ (28 λεπτά) και Υ (32 λεπτά), του μηχανήματος που φαίνονται στους Πίνακες 2 και 3 και στο σχήμα 3 προκύπτει ότι η μέση απόδοση είναι 2,5 στρ/ h.



Σχήμα 3. Συνολικός χρόνος (min) κίνησης του ελκυστήρα στις διαδρομές Χ και Υ

Παρατηρήθηκε ότι η ταχύτητα κίνησης (km/h) ήταν μεγαλύτερη στο επίπεδο 2 στις διαδρομές Χ και Υ. Αυτό έγινε γιατί στο δεύτερο επίπεδο είχαμε την προεργασία του εδάφους η οποία έγινε στο πρώτο επίπεδο.

Οι ταχύτητες στην διαδρομή Χ είναι σαφώς μεγαλύτερες από αυτές της διαδρομής Υ. Οι μικρότερες ταχύτητες στην διαδρομή Υ ήταν αποτέλεσμα των πολλών παράλληλων κινήσεων του ελκυστήρα και των μικρών αποστάσεων. Στο σχήμα 4 φαίνεται η ποσοστιαία αναλογία του συνολικού χρόνου κίνησης του ελκυστήρα στις διαδρομές Χ και Υ. Φαίνεται καθαρά ότι ο ελκυστήρας “ανάλωσε” περισσότερο χρόνο (45%) του συνολικού χρόνου στη διαδρομή Υ από ότι στη διαδρομή Χ (36,67%).



Σχήμα 4. Ποσοστιαία (%) αναλογία του συνολικού χρόνου κίνησης του ελκυστήρα στις διαδρομές Χ και Υ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα μηχανήματα ισοπέδωσης που είναι εξοπλισμένα με προχωρημένη τεχνολογία (Laser), έχουν σημαντικό πλεονέκτημα στην παραγωγικότητα και στην ακρίβεια ισοπέδωσης, σε σχέση με τα μηχανήματα που δεν διαθέτουν την τεχνολογία αυτή.

Η απόδοση τους είναι ικανοποιητική, οι ταχύτητες μεγάλες με αποτέλεσμα το κόστος να είναι μειωμένο. Σημαντικό πλεονέκτημα της λεπίδας είναι ότι επιτυγχάνει ασύγκριτα καλύτερη ποιότητα, ανεξάρτητα από την επιδεξιότητα του χειριστή. Μεγάλο πλεονέκτημα επίσης είναι ότι η λεπίδα είναι ελκόμενο μηχανήμα και αφήνει “ελεύθερο” τον ελκυστήρα που μπορεί να απασχοληθεί και με άλλες εργασίες και κατά συνέπεια να έχουμε μείωση των εξόδων απόσβεσης. Ειδικά η λεπίδα ισοπέδωσης που προσαρμόζεται σε ελκυστήρα προτείνεται να χρησιμοποιηθεί και μπορεί να ανταποκριθεί άριστα σε χωματουργικές εργασίες διάνοιξης του δάσους, όπως ισοπέδωση γηπέδων, ευθύγραμμων καταστρωμάτων δασικού δρόμου καθώς και διάνοιξης τάφρων αποστράγγισης. Επιπλέον η χρησιμοποίηση της λεπίδας ισοπέδωσης είναι οικονομικά συμφέρουσα λόγω του χαμηλού κόστους αγοράς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Benson, E.R., Hansen, A.C., Reid, Warman, B.L., M.A. Brand, 2002. *Development of an in-field grain handling simulation in ARENA*. ASAE paper 02-3104. St. Joseph, Mich. ASAE.
- Fangmeier, D.D., Clemmens, A.J., El-Ansary, M., 1999. *Influence of land leveling precision on level – Basin advance and Performance Transactions of the ASAE* 42(4):1019-1025.
- Karagiannis, E.A, P.V. Kararizos and A.E. Karagiannis, 2006. *Application of modern automated machines in forest opening-up works*. International Conference “Sustainable Management and Development of Mountainous and Island Areas” in Naxos island, Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources, Proceedings Volume 2, P.241-246, Orestiada, Greece.
- Laughlin, D., 2000. *Rice Planning budgets* Agric. Econ. Rep 118, Mississippi Agric and Forestry Exp., Mississippi State.
- Τσατσαρέλης, Κ., 2000. *Αρχές μηχανικής κατεργασίας και σπορά*. Εκδόσεις: Γιαχούδη – Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη
- Williams, J., 2004. *Rice Land Formation*, California Rice Production, Workshop, January 2004.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΩΝ ΔΑΣΩΝ ΜΕ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

Μ.Γ.Καλαϊτζή, Π.Β. Καραρίζος, Ε. Α. Καραγιάννης

Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας
Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη
xeniakal@for.auth.gr, pkarariz@for.auth.gr, eakarag@for.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επιλογή των κατάλληλων μηχανημάτων που θα περιορίζουν τις ζημιές με την ελάχιστη δυνατή οικονομική επιβάρυνση για την ολοκλήρωση της δασικής διάνοιξης στις ευαίσθητες παραγωγικές και ορεινές περιοχές είναι ένα δύσκολο και αρκετά πολύπλοκο πρόβλημα. Η επιλογή αυτή εξαρτάται από διάφορους μεταβλητούς και αλληλοεξαρτώμενους παράγοντες όπως η εγκάρσια κλίση, η κατηγορία του εδάφους και η προστασία του περιβάλλοντος.

Στην εργασία αυτή μετά τη λήψη των απαραίτητων στοιχείων από την διάνοιξη δρόμου στο δασικό σύμπλεγμα Σαμαρίνας Γρεβενών, υπολογίσθηκαν η απόδοση και το κόστος δύο μηχανημάτων (ερπυστριοφόρου προωθητή και εκσκαφέα ανεστραμμένου πτύου) σε κλίσεις γαιώδους εδάφους 40% - 80%, σε συνάρτηση με τη μέθοδο εφαρμογής για περιβαλλοντική κατασκευή.

Λέξεις κλειδιά: Περιβαλλοντική διάνοιξη, μηχανήματα, μέθοδος εφαρμογής

ENVIRONMENTAL FOREST OPENING – UP WITH MACHINERY

M.G.Kalaitzi, P.V.Kararizos and E.A.Karagiannis

Department of Forest Engineering and Surveying
School of Forestry and Natural Environment
Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki
xeniakal@for.auth.gr, pkarariz@for.auth.gr, eakarag@for.auth.gr

ABSTRACT

The selection of the appropriate machinery that they will limit the damages with the less financial burden for the completion of the forest opening-up in the sensitive mountainous productive areas is a difficult and perplexing problem. This selection depends on various and interdependent factors such as transverse slope, type of soil, and protection of the environment. In this paper, after the collection of all the appropriate measurements from the road's opening-up in the forest of Samarina Prefecture of Grevena, were estimated the efficiency, and the operation cost of two machinery (crawler earth remover and excavator of reverse shovel) in earthy soil's slopes 40% - 80% depending to the application method for the environmental construction.

Key words: Environmental opening – up, machinery, application method

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διάνοιξη των ορεινών παραγωγικών δασών ήταν και είναι ένα δύσκολο πρόβλημα. Η κατασκευή των δασικών δρόμων πρέπει να γίνει στις περισσότερες περιπτώσεις σε ισχυρώς κεκλιμένα και βραχώδη εδάφη (Kuonen, 1982, Kuonen, 1984, Εσκίογλου, 2009, Καραγιάννης, 2008). Κατά κανόνα στη χώρα μας αλλά και εν μέρει στην Ευρώπη, οι δύσβατες ορεινές περιοχές, οι απότομες και βραχώδεις πλαγιές και τα προστατευτικά δάση παραμένουν χωρίς διάνοιξη κατά 40%-90%.

Το προστατευτικό δάσος όμως μπορεί να εκπληρώσει τους σκοπούς του, μόνο όταν διαχειρίζεται. Σύμφωνα με τις νεότερες απόψεις της Επιστήμης της Δασολογίας και τα προστατευτικά δάση θα πρέπει να εκμεταλλεύονται για να διατηρήσουν την προστατευτική λειτουργία τους. Απαραίτητη προϋπόθεση όμως για την εκμετάλλευσή τους είναι ότι θα πρέπει και το προστατευτικό δάσος να διανοιχθεί με δρόμους. Η κατασκευή δασικών δρόμων σε τέτοιες περιοχές απαιτεί πιο ευαίσθητες επεμβάσεις στη φύση και εκμετάλλευση όλων των τεχνικών και βιολογικών δυνατοτήτων για να κρατηθούν σε ανεκτά όρια οι ζημιές που θα προκύψουν (Neuber, 1977, Neuber., 1980, Στεργιάδης – Pestal, 1977) Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο να γνωρίζει κανείς πως, με ποια μέσα και μηχανήματα θα εργασθεί σε βραχώδη ημιβραχώδη, απότομα και ισχυρών κλίσεων εδάφη, ώστε να επιτευχθεί το άριστο αποτέλεσμα (Στεργιάδης κ.α., 1992). Είναι επιτακτική ανάγκη λοιπόν να γίνει εκλογή των κατάλληλων μηχανημάτων που θα περιορίζουν τις ζημιές με την ελάχιστη δυνατή οικονομική επιβάρυνση για την ολοκλήρωση της δασικής διάνοιξης στις ευαίσθητες και παραγωγικές ορεινές περιοχές.

Οι ερπυστριόφοροι προωθητές γαιών προσέφεραν αλλά και συνεχίζουν να προσφέρουν σημαντικές υπηρεσίες στην κατασκευή της βασικής διάνοιξης. Η κατασκευή όμως των δασικών δρόμων με προωθητές σε απότομο και βραχώδες έδαφος προκαλεί πάντα ζημιές και έτσι δίνει αφορμή για αρνητική κριτική από πλευράς κοινού και ειδικών. Με γνώμονα τη φιλική προς το περιβάλλον κατασκευή των δασικών δρόμων άρχισαν να χρησιμοποιούνται από το 1974, πρώτα στα δυτικά ομοσπονδιακά κρατίδια και ύστερα σε όλη την Αυστρία, αντί για προωθητές γαιών, υδραυλικοί εκσκαφείς ανεστραμμένου πτύου (Bagger) για την κατασκευή των δασικών δρόμων σε εγκάρσια κλίση εδαφών μεγαλύτερα από 55% (Gorton, 1985, Becker, Στεργιάδης, 1988, Kararizos, 1991).

Στην Ελλάδα άρχισαν να χρησιμοποιούνται οι εκσκαφείς ανεστραμμένου πτύου τις δύο τελευταίες δεκαετίες με σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά την απόδοση, το κόστος και την προστασία του περιβάλλοντος.

Η επιλογή των μηχανημάτων και μεθόδων εφαρμογής είναι ένα πολύπλοκο και δυσχερές πρόβλημα, δεδομένου ότι εξαρτάται από διάφορους μεταβλητούς και αλληλοεξαρτώμενους παράγοντες, όπως η εγκάρσια κλίση, η κατηγορία του εδάφους καθώς και η προστασία του περιβάλλοντος.

Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία με σκοπό να προσδιορισθούν η απόδοση δύο μηχανημάτων, το κόστος λειτουργίας τους καθώς και η προστασία του περιβάλλοντος κατά τη διάνοιξη δασικών δρόμων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τον Ιούνιο του 2010 ήταν σε εξέλιξη εργασίες κατασκευής δασικού δρόμου στο δασικό σύμπλεγμα Σαμαρίνας Γρεβενών.

2.1 ΥΛΙΚΑ

1. Για την λήψη των γεωμετρικών στοιχείων των κατά πλάτος διατομών χρησιμοποιήθηκαν κλισίμετρο (meridian) και μετροταινία.

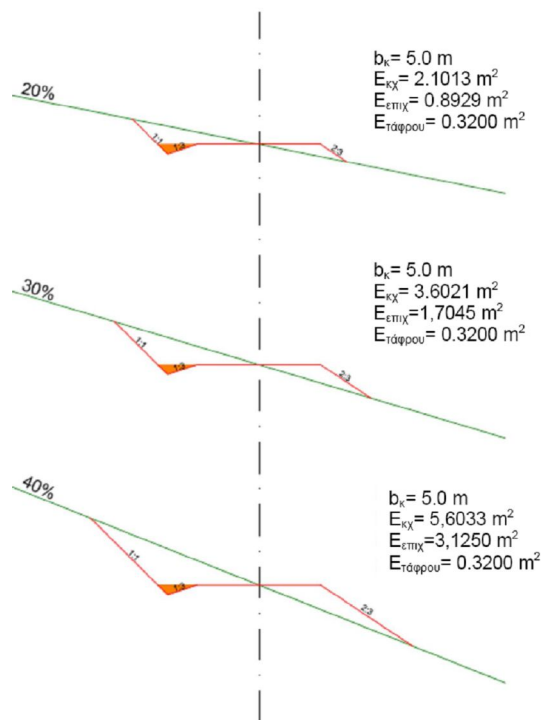
2. Το πρόγραμμα AutoCAD για τον σχεδιασμό των κατά πλάτος διατομών.
3. Τιμολόγιο υλικών και εργασιών οδοποιίας για το Α τρίμηνο του 2010.
4. Δύο (2) μηχανήματα (ερπυστριοφόρος προωθητής γαιών και εκσκαφέας ανεστραμμένου πτύου), τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οποίων φαίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τεχνικά στοιχεία μηχανημάτων

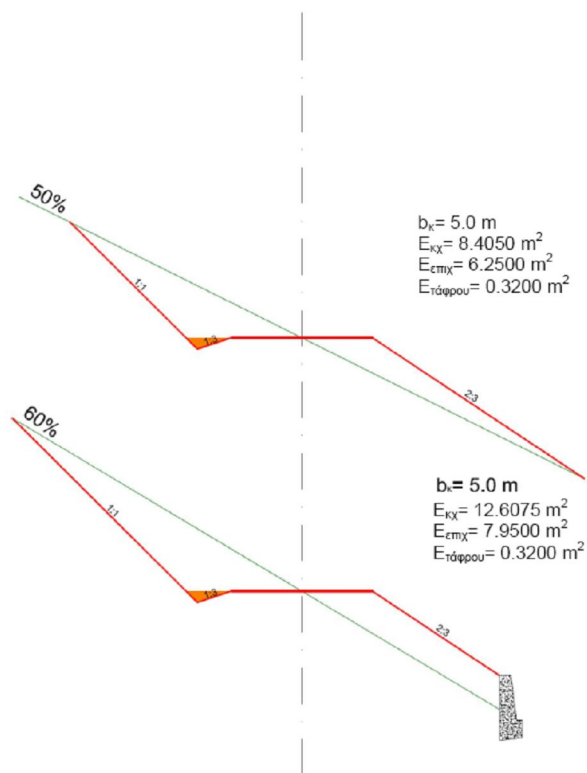
Τεχνικά χαρακτηριστικά	Προωθητής Caterpillar D8	Εκσκαφέας Caterpillar 225 DLC
Ισχύς στο σφόνδυλο (HP)	300	225
Λειτουργικό βάρος, (Power Shift), (Kg)	31.980	28.980
Πλάτος standard πεδίλου (mm)	560	560
Μήκος ερπύστριας στο έδαφος (mm)	3.150	3.150
Μήκος λεπίδας τύπου S, (mm)	4.040	-
Χωρητικότητα κάδου m ³	-	0,76

2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

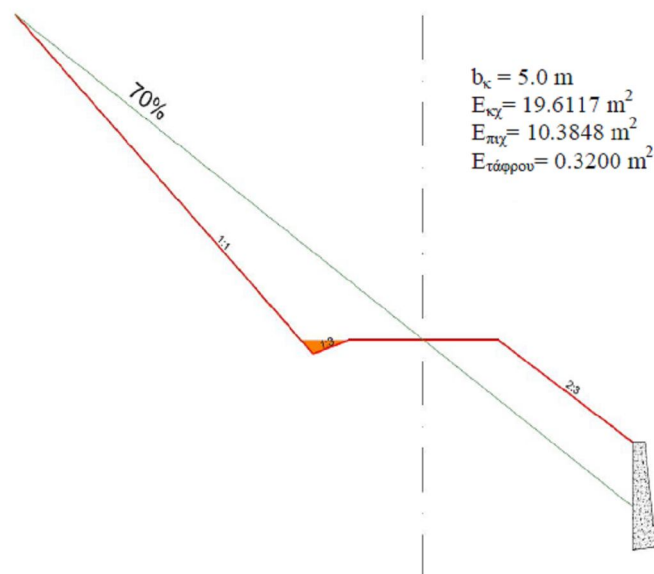
Σχεδιάσθηκαν με το πρόγραμμα AutoCAD οι κατά πλάτος διατομές για γαιώδη εδάφη στις κλίσεις 20%, 30% , 40%, 50%, 60%, 70% και 80% όπως φαίνονται στα σχήματα 1, 2, 3 και 4, μαζί με τα γεωμετρικά στοιχεία όπως πλάτος καταστρώματος, εμβαδόν των εκχωμάτων, των επιχωμάτων και των τάφρων. Οι διατομές 20%, 30% και 40% σχεδιάσθηκαν με κλίμακα 1:100 ενώ οι άλλες δύο με κλίση 50%, 60%, 70% και 80% με κλίμακα 1:200. Υπολογίσθηκαν με βάση το εμβαδόν οι όγκοι των εκχωμάτων ανά τρέχον μέτρο καθώς και το κόστος κατασκευής ανά μ³ και τρ.μ των δύο (2) μηχανημάτων.



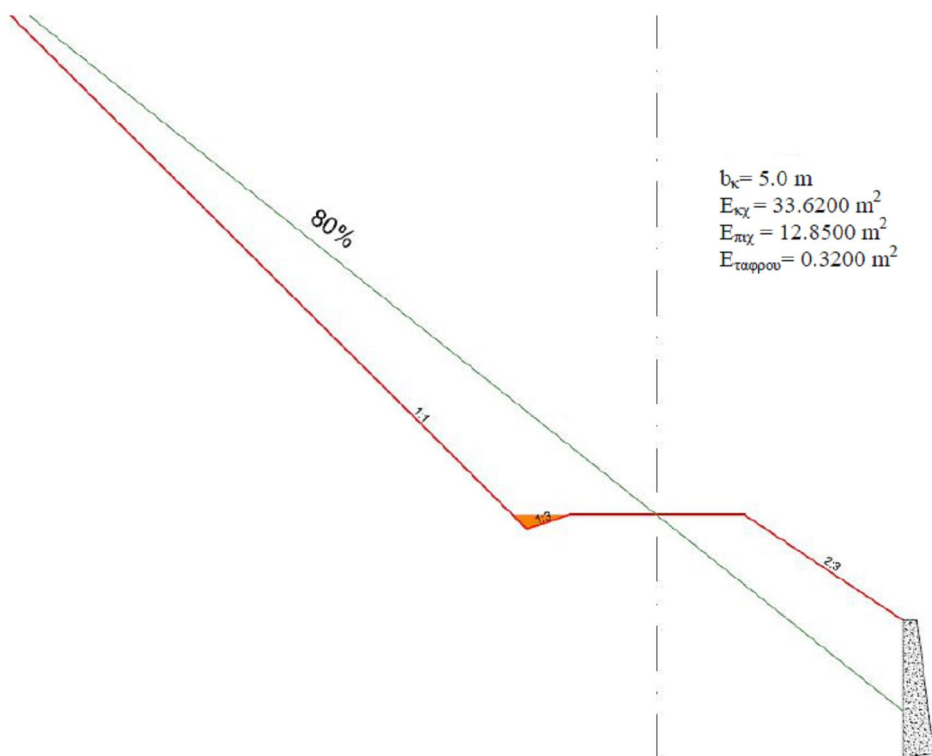
Εικόνα 1. Κατά πλάτος διατομές σε εγκάρσιες κλίσεις εδάφους 20%, 30% και 40%



Εικόνα 2. Κατά πλάτος διατομές σε εγκάρσιες κλίσεις εδάφους 50% και 60%



Εικόνα 3. Κατά πλάτος διατομή σε εγκάρσια κλίση εδάφους 70%



Εικόνα 4. Κατά πλάτος διατομή σε εγκάρσια κλίση εδάφους 80%

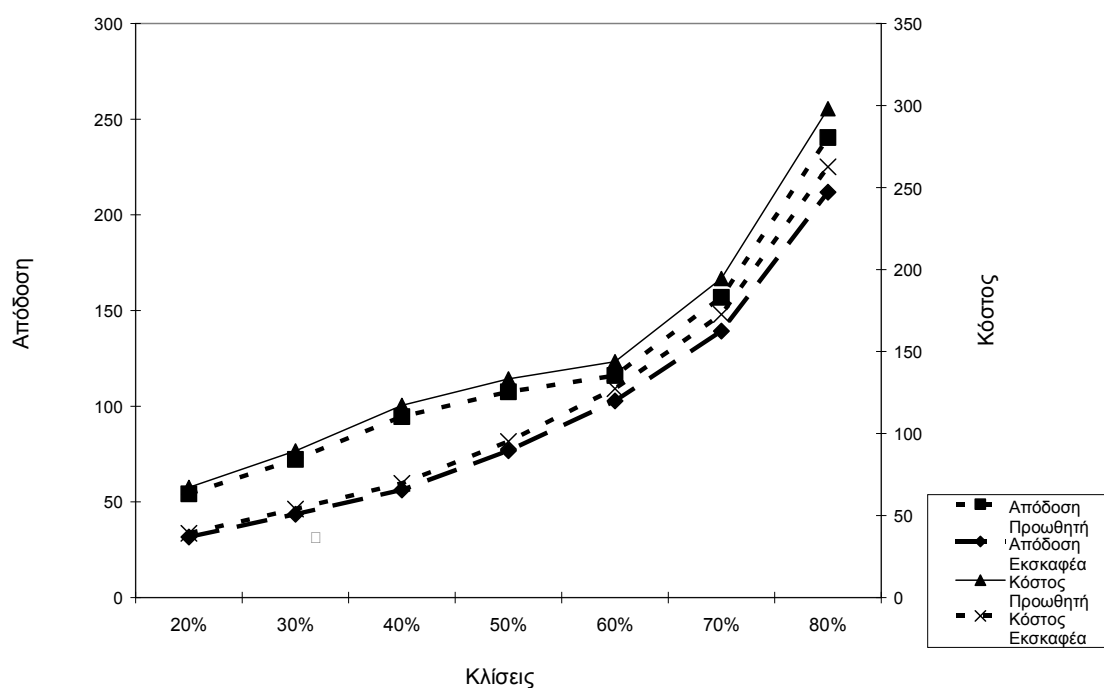
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση και την επεξεργασία των στοιχείων προέκυψε ο πίνακας 2 και η εικόνα 5:

Πίνακας 2. Απόδοση προωθητή γαιών και εκσκαφέα και κόστος εκσκαφής € κατά την κατασκευή δασικών δρόμων σε διάφορες κλίσεις

α/α	Εγκάρσια κλίση	Απόδοση μηχανημάτων				Τιμές κόστους εκσκαφής €	
		Προωθητής γαιών		Εκσκαφέας		Προωθητής γαιών	Εκσκαφέας
		m/h	m ³ /h	m/h	m ³ /h		
1	20%	25,80	54,21	15,05	31,62	67,22	39,20
2	30%	20,03	72,15	12,08	43,51	89,46	53,95
3	40%	16,87	94,52	10,03	56,2	117,20	69,68
4	50%	12,80	107,5	9,13	76,73	133,3	95,14
5	60%	9,20	115,98	8,15	102,75	143,81	127,41
6	70%	8,00	156,89	7,10	139,24	194,54	172,65
7	80%	7,15	240,35	6,30	211,80	298,03	262,63

Οι όγκοι (m³/ h) υπολογίσθηκαν βάσει των m² των κατά πλάτος διατομών ανά κλίση χωρίς να ληφθούν υπόψη οι όγκοι των τάφρων.



Εικόνα 5. Απόδοση και κόστος λειτουργίας του προωθητή γαιών και του εκσκαφέα ανεστραμμένου πτύου

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την επεξεργασία των στοιχείων του Πίνακα 2 και της Εικόνας 5 φαίνεται ότι ο προωθητής υπερέχει αισθητά του εκσκαφέα στην απόδοση (m/h) στις κλίσεις 20% έως 40%. Στις κλίσεις 50% και ιδιαίτερα από την κλίση 60% έως 80% είναι σχεδόν όμοια η απόδοση και στα δύο μηχανήματα. Όσον αφορά το κόστος των εκσκαφών ο προωθητής κοστίζει περισσότερο στις μικρές κλίσεις αλλά κατασκευάζει περισσότερα μέτρα ενώ στην κλίση 60% οι τιμές είναι σχεδόν όμοιες. Εξάλλου απαραίτητο είναι να χρησιμοποιηθεί ο εκσκαφέας ανεστραμμένου πτύου σε κλίσεις μεγαλύτερες από 50% για φιλοπεριβαλλοντική κατασκευή. Το πιο χρήσιμο συμπέρασμα είναι το γεγονός ότι με τον εκσκαφέα επιτυγχάνεται μια σχεδόν πλήρης εξίσωση των γαιών με αποτέλεσμα να προκύπτει το κατάστρωμα όπου βρίσκεται το μισό σε έκχωμα και το άλλο μισό στο επίχωμα. Με τον προωθητή η αναλογία είναι 2/3 έκχωμα, 1/3 επίχωμα. Όταν το πλάτος του καταστρώματος είναι το ίδιο για τον προωθητή και τον εκσκαφέα ο τελευταίος κατασκευάζει μικρότερο έκχωμα, μικρότερο ύψος πρανούς και κατά συνέπεια μικρότερη “επιπονούμενη” εδαφική επιφάνεια, πράγμα που είναι ιδιαίτερα πλεονεκτικό σε μεγάλες εγκάρσιες κλίσεις.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι σε ισχυρές κλίσεις (> 50%), η διάνοιξη των δασών απαιτεί πιο ευαίσθητες επεμβάσεις στη φύση, με κατάλληλα μηχανήματα, γι' αυτό πρέπει να εξαντληθούν όλες οι τεχνικές και βιολογικές δυνατότητες για να κρατηθούν σε ανεκτά όρια οι ζημιές που θα προκύψουν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- A.T.E.O., 2010. *Ανάλυση Τιμών Έργων Οδοποιίας Α τριμήνου*, Αθήνα
- Becker, G., Στεργιάδης, Γ., 1988. *Τεχνικές και οικονομικές απόψεις για τη δαπάνη του δάσους στη Δασοπονία της Γερμανίας*.
- Gorton, F. 1985. *Praxis und Kosten einer landschaftsconenden Bauausführung von Forststrassen*. Allgemeine Forstzeitung, 96(9), S. 241-243, Wien.
- Εσκίογλου, Π., 2009. *Δασική Οδοποιία*, Εκδόσεις Σταύρος Αντ. Σαρτίνας.
- Καραγιάννης, Ε., 2008. *Αξιολόγηση της οδικής διάνοιξης των ελληνικών δασών*. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Τόμος MB/2, προς τιμή του Ομότιμου Καθηγητή Δημητρίου Κωτούλα, σελ. 714-727, Θεσσαλονίκη.
- Kararizos, P., 1991. *Baggerbau ein exzellentes werkzeug zur verjurgung des forstingenieurs fur den forstrassenbau*. Scientific annals of the department of Forestry and Natural Environment. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού περιβάλλοντος, Τόμος ΛΔ/2, 1991.
- Kuonen, V., 1982. *Obersicht und Wahl der Maschinen für den Bau von Wald-und Guterstraßen*. In Schweizer Baublatt, 68
- Kuonen, V., 1984. *Wald-und Guterstrassen Cmaschinen Fur den Bau von Wald-und Guterstrassen* Zurich.
- Neuber, B., 1973. *Praktische Erfahrungen bien “mechanisierten Felsvortrieb”* Allg Forstzeitung, 84 3: 72-74.
- Neuber, B., 1976. *Der mechanisierte Felsvortrieb im Forstwegebau*, Allgem. Forst. 80 (9), S. 241- 243 Wien.
- Neuber, B., 1977. *Pfleglicher Forstwegebau im steilen und felsigen Terrain*. In: AFZ- Wien, 8/1977.
- Neuber, B., 1980. *Landschaftsgerechter Forststraßenbau im Gebirge*. Internationaler Holzmarkt, 11/1980.
- Pestal, E., 1974. *“Schnelltrassierung von Forststraben mittels Nullebene”* Allg Forstzeitschrft Munchen, Nr.14 v. 6.4.

Στεργιάδης, Γ., Pestal, E., 1997. *Νέες μέθοδοι δασικής οδοποιίας στην Αυστρία με έμφαση στην εξόρυξη βράχων*. Περιοδικό «Το δάσος», σελ. 75-78, Αθήνα

Στεργιάδης, Γ., 1982. *Δασική οδοποιία*, Μέρος I, Θεσσαλονίκη.

ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΙΤΗΡΩΝ

A. Δ. Αγγελοπούλου¹, S. Blackmore², Σ. Φουντάς¹, Θ. Α. Γέμτος¹

1 Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας
Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία

Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446, e-mail:aggelop@agr.uth.gr

2 Harper Adams University College, Shropshire, UK

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα από την ανάλυση της χρονικής τάσης της παραγωγής σε καλλιέργειες σιτηρών. Έγινε συλλογή δεδομένων παραγωγής και χαρτογράφηση παραγωγής για έξι έτη σε τέσσερις αγρούς με σιτηρά. Στη συνέχεια υπολογίστηκε για κάθε έτος σε ποιές περιοχές του αγρού η παραγωγή ήταν πάνω από τον μέσο όρο και σε ποιες περιοχές ήταν κάτω από το μέσο όρο της χρονιάς και δημιουργήθηκαν χάρτες χρονικής σταθερότητας. Οι χάρτες αυτοί δείχνουν σε ποιες περιοχές του αγρού η παραγωγή είναι σταθερά υψηλή, σταθερά χαμηλή και ασταθής (μερικά χρόνια υψηλή και μερικά χρόνια χαμηλή).

Λέξεις κλειδιά: χρονική σταθερότητα, ζώνες παραγωγής, σιτηρά

TEMPORAL TRENDS IN YIELD IN CEREALS

A.D. Aggelopoulou¹, S. Blackmore², S. Fountas¹, T.A. Gemtos¹

1 University of Thessaly, Sc. of Agricultural Sciences, Dept. of Crop Production &
Rural Environment, Fytokou Str., 38446, N. Ionia, Magnesia, aggelop@agr.uth.gr

2 Harper Adams University College, Shropshire, UK

ABSTRACT

In the present study, the results of the analysis of temporal variability of yield in cereals crops, are presented. Data collection and yield mapping was performed for six years in four cereal fields, over six years. For each year it was calculated in which areas of the field yield was above the year's average and below the year's average and the temporal stability maps were created. These maps show the areas of the fields that yield is high and stable, low and stable, unstable (other years high and other years low).

Keywords: temporal stability, yield zones, cereals

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στους αγρούς παρατηρείται παραλλακτικότητα, η οποία μπορεί να διακριθεί σε χωρική και χρονική. Η χωρική παραλλακτικότητα δείχνει τις διαφορές στα χαρακτηριστικά του εδάφους και της καλλιέργειας στις διάφορες περιοχές του αγρού και οφείλεται κυρίως στις διαφορές του εδάφους στον αγρό. Θα περίμενε κανείς μερικά μέρη του αγρού να έχουν σταθερά υψηλή παραγωγή και άλλα μέρη σταθερά χαμηλή παραγωγή στη διάρκεια των ετών, εφόσον οι ιδιότητες του εδάφους παραμένουν σταθερές. Παρόλα αυτά παρατηρείται παραλλακτικότητα στην παραγωγή από χρονιά σε χρονιά στις διάφορες περιοχές του αγρού. Η παραλλακτικότητα αυτή ονομάζεται χρονική παραλλακτικότητα και οφείλεται στην αλληλεπίδραση καλλιέργειας εδάφους και κλίματος. Επειδή οι κλιματικές συνθήκες αλλάζουν από χρονιά σε χρονιά, παρουσιάζεται η χρονική παραλλακτικότητα. Επομένως ένας τύπος εδάφους μπορεί να δώσει μια χρονιά υψηλή παραγωγή και μια άλλη χρονιά χαμηλή παραγωγή ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν. Αυτό το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο σε μη αρδευόμενες καλλιέργειες.

Η γεωργία ακριβείας είναι η διαχείριση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των αγρών. Στοχεύει στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης, οι οποίες είναι περιοχές του αγρού με παρόμοιες ιδιότητες (Kitchen et al, 2005). Στις ζώνες διαχείρισης εφαρμόζονται οι εισροές (λιπάσματα, φυτοπροστατευτικές ουσίες, νερό άρδευσης) με μεταβλητές δόσεις, ανάλογα με τις ανάγκες των φυτών στην κάθε ζώνη. Με την εφαρμογή των εισροών με μεταβλητές δόσεις είναι δυνατόν να επιτευχθούν οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Η χαρτογράφηση παραγωγής είναι η πιο κοινά χρησιμοποιούμενη τεχνική στη Γεωργία Ακριβείας. Οι χάρτες παραγωγής είναι πολύ χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση της παραλλακτικότητας των αγρών. Η ανάλυση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας της παραγωγής μπορεί να βοηθήσει στην δημιουργία ζωνών διαχείρισης, με σκοπό την αποδοτικότερη διαχείριση των αγρών.

Στις περισσότερες έρευνες έχει μελετηθεί η χωρική παραλλακτικότητα σε διάφορες καλλιέργειες, ενώ η βιβλιογραφία για την ανάλυση της χρονικής παραλλακτικότητας είναι περιορισμένη.

Οι Blackmore και άλλοι (2003) έκαναν συνδυασμό του χάρτη χωρικής τάσης με τον χάρτη χρονικής παραλλακτικότητας για να δημιουργήσουν ένα χάρτη με τέσσερις κλάσεις για την παραγωγή : α) παραγωγή σταθερά υψηλή, β) παραγωγή σταθερά χαμηλή, γ) παραγωγή ασταθής και υψηλή, δ) παραγωγή ασταθής και χαμηλή. Αρκετοί ερευνητές χρησιμοποίησαν την παραπάνω μέθοδο για την ανάλυση της χρονικής παραλλακτικότητας της παραγωγής και της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος (Xu και άλλοι 2006, Bocchi και άλλοι 2007, Serrano και άλλοι 2010). Οι Boydell και McBratney (2002) δημιούργησαν σταθερές ζώνες παραγωγής στο βαμβάκι χρησιμοποιώντας δεδομένα τηλεπισκόπισης για 11 συνεχόμενα χρόνια. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι χρειάζονται 5 ± 2 χρόνια δεδομένα για να δημιουργηθούν σταθερές ζώνες παραγωγής στο βαμβάκι. Σε φοινικόδενδρα, οι Anuar και άλλοι (2008) μελέτησαν την χρονική παραλλακτικότητα της παραγωγής με σκοπό να δημιουργήσουν σταθερές ζώνες διαχείρισης για εφαρμογή λιπασμάτων με μεταβλητές δόσεις.

Στην παρούσα εργασία προτείνεται μια νέα μέθοδος για την ανάλυση της χρονικής τάσης της παραγωγής. Αρχικά γίνεται υπολογισμός σε ποιες περιοχές του αγρού η παραγωγή είναι πάνω από το μέσο της ετήσιας παραγωγής, για κάθε έτος που υπάρχουν δεδομένα. Στην συνέχεια με συνδυασμό των δεδομένων για όλα τα έτη δημιουργείται ο χάρτης χρονικής σταθερότητας που δείχνει σε ποιες περιοχές του

αγρού η παραγωγή είναι υψηλή για τα περισσότερα έτη, σε ποιες περιοχές είναι χαμηλή για τα περισσότερα έτη και σε ποιες είναι ασταθής, δηλαδή άλλοτε υψηλή και άλλοτε χαμηλή. Η μέθοδος εφαρμόστηκε σε δεδομένα παραγωγής σιτηρών που συλλέχθηκαν από τέσσερεις αγρούς για έξι συνεχόμενα έτη.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα δεδομένα παραγωγής συλλέχθηκαν από τέσσερεις αγρούς στη Αγγλία (Trend, Onion, Far Sweetbrier, Twelve Acres). Στον αγρό Trend καλλιεργήθηκε κριθάρι για έξι συνεχόμενα έτη (1995-2000). Στον αγρό Onion καλλιεργήθηκε κριθάρι για όλα τα έτη (1995-2000), στον αγρό Twelve Acres καλλιεργήθηκε σιτάρι για 5 έτη (1995-1996, 1998-2000) και στον αγρό Far Sweetbrier καλλιεργήθηκε σιτάρι για 5 έτη (1993, 1995, 1996, 1998, 2000). Τα δεδομένα παραγωγής λήφθηκαν με θεριζοαλωνιστική μηχανή εφοδιασμένη με αισθητήρα μέτρησης παραγωγής. Έγινε επεξεργασία των δεδομένων για να αφαιρεθούν λάθη και στη συνέχεια έγινε παρεμβολή των δεδομένων σε πλέγμα 20 m. Η μέθοδος συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων περιγράφεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην εργασία των Blackmore και άλλοι (2003).

Για την ανάλυση των δεδομένων ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: α) υπολογίστηκαν αρχικά τα περιγραφικά στατιστικά (ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, μέση τιμή και συντελεστής παραλλακτικότητας) για να διαπιστωθεί το μέγεθος της χωρικής παραλλακτικότητας της παραγωγής β) στη συνέχεια υπολογίστηκε η χρονική σταθερότητα σε κάθε σημείο του αγρού και γ) δημιουργήθηκαν οι χάρτες χρονικής σταθερότητας των αγρών που δείχνουν σε ποια σημεία του αγρού είναι σταθερά υψηλή, σταθερά χαμηλή ή ασταθής κατά τη διάρκεια των χρόνων διεξαγωγής του πειράματος.

Η χρονική σταθερότητα υπολογίστηκε από την παρακάτω σχέση:

$$TS_i = \frac{\sum_{t=1}^{t=n} \frac{Y_{t,i} - \bar{Y}_t}{|Y_{t,i} - \bar{Y}_t|}}{n}$$

Όπου, TS_i είναι η χρονική σταθερότητα της παραγωγής στο σημείο i , n είναι ο αριθμός των ετών, $Y_{t,i}$ είναι η παραγωγή στο χρόνο t και στο σημείο i , and $\bar{Y}_t$ είναι η μέση τιμή της παραγωγής του αγρού στο χρόνο t .

Η TS_i παίρνει τιμές από -1 to 1, οι οποίες έχουν την παρακάτω σημασία: -1 σημαίνει ότι η παραγωγή όλα τα χρόνια είναι κάτω από το μέση τιμή της ετήσιας παραγωγής, -0.5 σημαίνει ότι στο 75% των ετών η παραγωγή είναι κάτω από την μέση τιμή, 0 σημαίνει ότι στα μισά έτη η παραγωγή είναι κάτω από το μέσο όρο και στα άλλα μισά πάνω από το μέσο όρο, 0.5 σημαίνει ότι στο 75% των ετών η παραγωγή είναι πάνω από τη μέση τιμή και 1 σημαίνει ότι η παραγωγή όλα τα έτη είναι πάνω από την μέση τιμή.

Αρνητικές τιμές της TS_i δείχνουν ότι η παραγωγή είναι κάτω από την μέση τιμή για τα περισσότερα έτη, και θετικές τιμές της TS_i δείχνουν ότι η παραγωγή είναι πάνω από την μέση τιμή για τα περισσότερα έτη. Χαμηλές τιμές της TS_i δείχνουν ότι η παραγωγή είναι σταθερά χαμηλή, ενδιάμεσες τιμές της TS_i δείχνουν ότι η παραγωγή είναι ασταθής (μερικά έτη χαμηλή και μερικά έτη υψηλή) και υψηλές τιμές της TS_i δείχνουν ότι η παραγωγή είναι σταθερά υψηλή. Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο

αγρός μπορεί να χωριστεί σε τρεις ζώνες ανάλογα με τις τιμές της χρονικής σταθερότητας: α) μια ζώνη χαμηλής παραγωγής όταν $-1 \leq TS_i \leq -0.5$, που σημαίνει ότι η παραγωγή είναι κάτω από την μέση τιμή τουλάχιστον για το 75% των ετών, β) μια ζώνη που η παραγωγή είναι ασταθής, όταν $-0.5 < TS_i < 0.5$, που σημαίνει ότι η παραγωγή είναι μερικά έτη πάνω από την μέση ετήσια τιμή και μερικά έτη πάνω από την μέση ετήσια τιμή και γ) μια ζώνη υψηλής παραγωγής, όταν $TS_i \geq 0.5$, που σημαίνει ότι η παραγωγή είναι πάνω από την μέση τιμή τουλάχιστον για το 75% των ετών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, μέση τιμή και συντελεστής παραλλακτικότητας (CV)) για τους αγρούς με τα σιτηρά. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 1, η παραγωγή ήταν υψηλή το 1996 σε όλους τους αγρούς ενώ το 1997 η παραγωγή ήταν χαμηλή στον αγρό Trent. Η παραγωγή έδειξε σημαντική χωρική παραλλακτικότητα σε όλα τα έτη με συντελεστές παραλλακτικότητας μεταξύ 6 και 24.4%.

Πίνακας 1. Περιγραφικά στατιστικά της παραγωγής στους αγρούς, σε $t\ ha^{-1}$

Field		Trent			Onion	
Year	Min-Max	Average	CV(%)	Min-Max	Average	CV(%)
1995	4.2-6.8	5.8	9.3	6-9.6	8.1	8.5
1996	5.2-9.7	7.3	11.8	3.5-10.1	9.0	7.5
1997	2.3-7	4.3	19.6	2-8.6	6.2	15.3
1998	5.2-9.9	7.5	8.4	4.2-7.6	5.8	10.7
1999	3.8-7.9	5.7	14.6	3.3-7.7	6.1	11.9
2000	3.6-9.5	6.9	15.5	3.2-7.9	6.3	12.2
Field		12 Acres			Far Sweetbrier	
Year	Min-Max	Average	CV(%)	Min-Max	Average	CV(%)
1993	-	-	-	5-9.2	7.4	10.7
1995	3.2-6.4	4.9	9.9	6.2-11.1	8.7	8.1
1996	6.4-11.8	8.3	11.4	7-11.4	9.5	6.0
1998	4.7-8.2	7.0	8.1	5.7-8.9	7.7	8.2
1999	5.1-9	7.3	7.8	3.3-8.4	6.0	24.4
2000	3.6-7.2	5.3	11	1.9-9.6	6.4	23.3

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζονται οι χάρτες χρονικής σταθερότητας της παραγωγής στους τέσσερεις αγρούς. Στον αγρό Trent, η παραγωγή είναι σταθερά

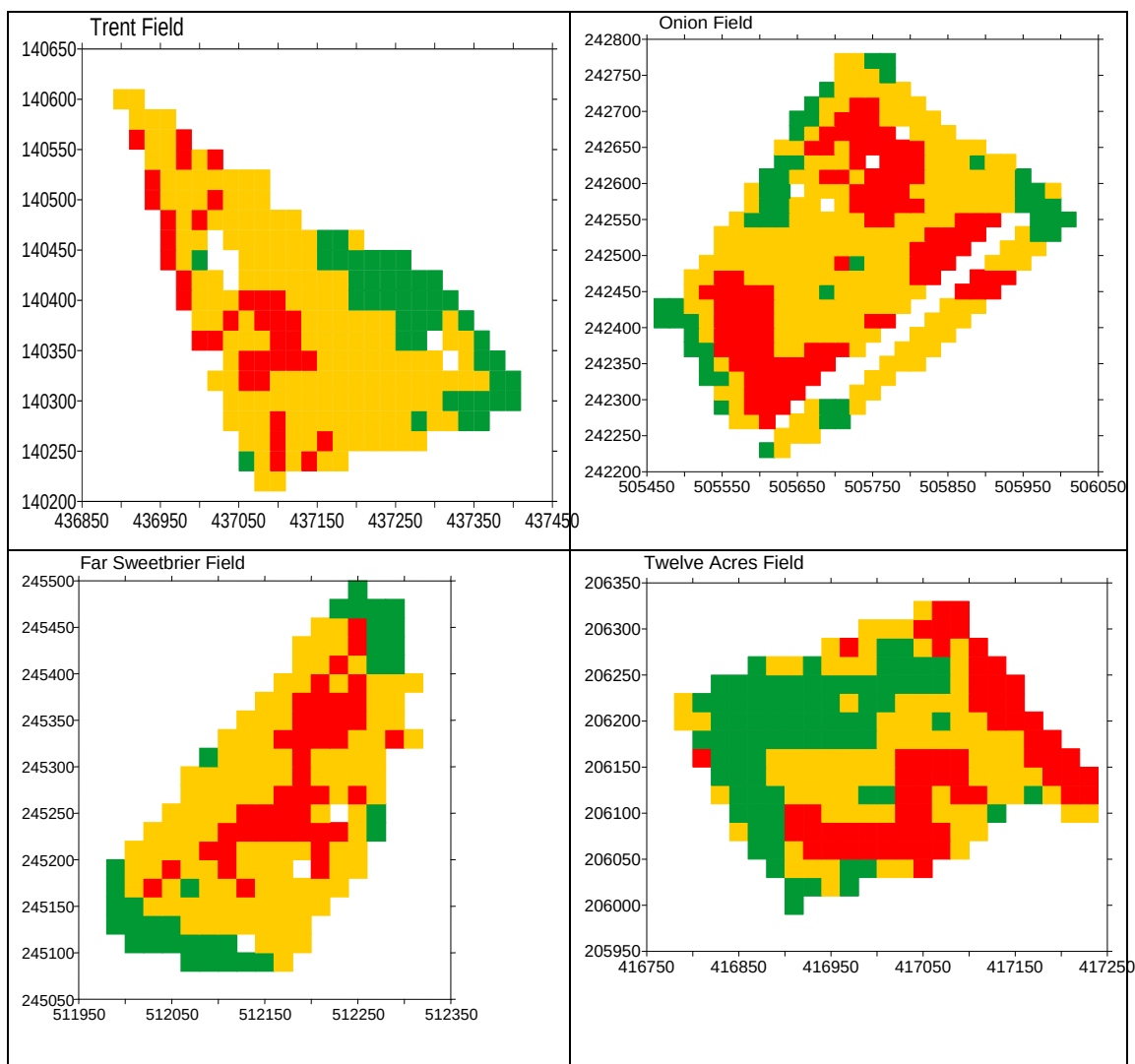
χαμηλή στο νοτιοανατολικό μέρος του αγρού που αντιπροσωπεύει το 18.3% της συνολικής έκτασης του αγρού. Η παραγωγή είναι σταθερά υψηλή στο δυτικό τμήμα του αγρού που καλύπτει το 15.7% της επιφάνειας του. Άρα το τμήμα του αγρού που η παραγωγή είναι σταθερή είναι το 34% της συνολικής του έκτασης, που είναι περίπου το 1/3 της επιφάνειας του. Στο υπόλοιπο τμήμα του αγρού που καλύπτει το κεντρικό του τμήμα και είναι το πιο μεγάλο μέρος του (66%), η παραγωγή είναι άλλα έτη χαμηλή και άλλα έτη υψηλή.

Στον αγρό Twelve Acres η παραγωγή είναι σταθερή στα όρια του αγρού και ασταθής στο κεντρικό τμήμα του. Στα βόρεια και δυτικά όρια του αγρού η παραγωγή είναι σταθερά χαμηλή, στα ανατολικά όρια και στο νότιο τμήμα του αγρού η παραγωγή είναι σταθερά υψηλή και στο υπόλοιπο τμήμα η παραγωγή είναι ασταθής. Η ζώνη χαμηλής παραγωγής καλύπτει το 34.2% της επιφάνειας του, η ζώνη υψηλής παραγωγής καλύπτει το 28.1% της επιφάνειας του και το υπόλοιπο 33.7% είναι η ασταθής ζώνη. Οι τρεις αυτές ζώνες είναι καλά καθορισμένες και επομένως θα μπορούσε να γίνει διαχείριση του αγρού με βάση το μοντέλο παραλλακτικότητας που αποτυπώνεται σε αυτές.

Στον αγρό Onion υπάρχουν δύο ζώνες υψηλής παραγωγής, από τις οποίες η μια βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα του και η άλλη στο βορειοανατολικό τμήμα του. Η συνολική τους επιφάνεια καλύπτει το 29.4% της έκτασης του αγρού. Υπάρχουν μερικά μεμονωμένα τμήματα του αγρού με χαμηλή παραγωγή που βρίσκονται στα νοτιοδυτικά όρια, στα βορειοδυτικά όρια και στην βορειοανατολική γωνία του αγρού, καλύπτοντας συνολικά ένα μικρό μέρος της έκτασης του (13.5%). Στο υπόλοιπο τμήμα, που είναι και το μεγαλύτερο (57.1%), η παραγωγή είναι ασταθής.

Στον αγρό Far Sweetbrier υπάρχει μια ζώνη υψηλής παραγωγής στο κεντρικό τμήμα του αγρού καλύπτοντας το 22.5% της συνολικής του έκτασης. Υπάρχουν επίσης δύο ζώνες χαμηλής παραγωγής, η μια στο βόρειο τμήμα και η άλλη στο νότιο τμήμα του αγρού και αντιπροσωπεύουν το 17.8% της επιφάνειας του. Η παραγωγή είναι ασταθής στο υπόλοιπο μέρος του αγρού.

Από τους χάρτες χρονικής σταθερότητας παρατηρούμε ότι η παραγωγή είναι ασταθής στο μεγαλύτερο τμήμα των αγρών, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατόν να δημιουργηθούν σταθερές ζώνες διαχείρισης στο χρόνο. Η μεγάλη χρονική παραλλακτικότητα που παρουσιάζει η παραγωγή υποδεικνύει ότι η διαχείριση των αγρών αυτών είναι καλύτερο να γίνεται με βάση τα δεδομένα της κάθε χρονιάς. Η έρευνα θα συνεχιστεί και για πολυετείς καλλιέργειες για να διερευνηθεί αν υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν σταθερές ζώνες παραγωγής που βοηθήσουν στην ορθότερη διαχείριση των αγρών.



Εικόνα 1. Χάρτες χρονικής σταθερότητας της παραγωγής στους τέσσερεις αγρούς

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος για την ανάλυση της χρονικής τάσης στην παραγωγή. Η μέθοδος είναι απλή και συνίσταται στον υπολογισμό της χρονικής σταθερότητας της παραγωγής στην διάρκεια του χρόνου. Η χρονική σταθερότητα δείχνει το ποσοστό των ετών που η παραγωγή είναι πάνω ή κάτω από την μέση ετήσια παραγωγή σε κάθε σημείο του αγρού. Με βάση τα παραπάνω ο αγρός μπορεί να χωριστεί σε τρεις ζώνες παραγωγής: α) ζώνη υψηλής παραγωγής όπου η παράγωγη είναι πάνω από τη μέση ετήσια τιμή για τουλάχιστο το 75% των ετών, β) ζώνη χαμηλής παραγωγής όπου η παράγωγη είναι κάτω από τη μέση ετήσια τιμή για τουλάχιστο το 75% των ετών και γ) ζώνη που η παραγωγή είναι ασταθής (άλλα έτη πάνω από την μέση τιμή και άλλα έτη κάτω από την μέση τιμή). Στις τρεις αυτές ζώνες θα μπορούσε να γίνει διαφορετική διαχείριση, ανάλογα με το δυναμικό παραγωγής της κάθε ζώνης. Η μέθοδος εφαρμόστηκε σε δεδομένα παραγωγής σιτηρών που συλλέχθηκαν από τέσσερεις αγρούς για έξι έτη. Από τους χάρτες χρονικής σταθερότητας φάνηκε ότι η παραγωγή ήταν ασταθής στο μεγαλύτερο τμήμα των αγρών, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατόν να

δημιουργηθούν σταθερές ζώνες διαχείρισης στο χρόνο. Η μεγάλη χρονική παραλλακτικότητα που παρουσιάζει η παραγωγή υποδεικνύει ότι η διαχείριση των αγρών αυτών είναι καλύτερο να γίνεται με βάση τα δεδομένα της κάθε χρονιάς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdul Rahim Anuar, Kah Joh Goh, Tee Bee Heoh and Osumanu Haruna Ahmed. 2008. Transforming Spatio-Temporal Yield Maps to Classified Management Zone Maps for Efficient Management of Oil Palm. *American Journal of Applied Sciences*, 5 (10): 1392-1396, 2008
- Blackmore S., Godwin R. J., Fountas S., 2003. The Analysis of Spatial and Temporal Trends in Yield Map Data over Six Years. *Biosystems Engineering* 84(4), 455-466
- Stefano Bocchi and Annamaria Castrignanò. 2007. Identification of different potential production areas for corn in Italy through multitemporal yield map analysis. *Field Crops Research*, Volume 102, Issue 3, 185-197
- Boydell, B., and A.B. McBratney. 1999. Identifying potential withinfield management zones from cotton yield estimates. p. 331-341. In J.V. Stafford (ed.) *Precision agriculture '99*. Proc. European Conf. on Precision Agric.. 2nd. Odense Congress Cent., Denmark. 11-15 July 1999. SCI, London.
- Kitchen, N. R., Sudduth, K.A., Myers, D. B., Drummond, S.T., Hong, S.Y. 2005. Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46: 285-308
- Joaõ M. Serrano, José O. Pereira, José R. Marques da Silva, Shakib Shahidian. Spatial and temporal stability of soil phosphate concentration and pasture dry matter yield. *Precision agriculture*, Volume 12, Number 2, 214-232, DOI: 10.1007/s11119-010-9170-9
- Xu, H.-W., Wang, K., Bailey, J., Jordan, C., & Withers, A. (2006). Temporal stability of sward dry matter and nitrogen yield patterns in a temperate grassland. *Pedosphere*, 16, 735–744. doi:10.1016/S1002-0160(06)60109-4.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΙΣΟΠΕΔΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Π.Β. Καραρίζος¹, Ε.Α. Καραγιάννης¹, Μ.Γ. Καλαϊτζή²

¹Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας

Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη

² Δασολόγος, Msc, Υπ. Διδάκτωρ Α.Π.Θ. Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας, Θεσσαλονίκη
e-mail: pkarariz@for.auth.gr, eakarag@for.auth.gr, xeniakal@for.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις εργασίες κατεργασίας του εδάφους, όπως είναι η ισοπέδωση, όπου οι απαιτήσεις των καλλιεργειών είναι αυξημένες, είναι εξαιρετικά χρήσιμο να γίνεται αυστηρός έλεγχος της ακρίβειας εργασίας, των κατάλληλων μηχανημάτων και των μεθόδων εφαρμογής. Στην εργασία αυτή υπολογίσθηκε η ακρίβεια της ισοπέδωσης του εδάφους σε δύο (2) πειραματικές επιφάνειες, στην περιοχή Σκουτάρεως του Νομού Σερρών, με δύο διαφορετικές μεθόδους εφαρμογής (κλασσική, σύγχρονη). Από την επεξεργασία των στοιχείων προέκυψε ότι, κατά την ισοπέδωση με laser (σύγχρονη μέθοδος), το 84% των σημείων που καταγράφηκαν (υψόμετρα και συντεταγμένες) παρουσίασε απόκλιση της τάξης των ± 1 έως ± 3 cm από το επιθυμητό επίπεδο ισοπέδωσης, ενώ κατά την κλασσική μέθοδο ισοπέδωσης το ποσοστό, για την ίδια απόκλιση, ήταν μόνο 62% .

Λέξεις κλειδιά: Ισοπέδωση εδάφους, έλεγχος βαθμού ακρίβειας, απόκλιση ισοπέδωσης, μέθοδοι ισοπέδωσης

PB Kararizos¹, EA Karagiannis¹, MG Kalaitzi²

¹Department of Forest Engineering and Surveying

School of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki,
54124 Thessaloniki, ²PhD School of Forestry and Natural Environment

CONTROL OF THE WORK PRECISION IN THE LAND LEVELING MACHINERY

ABSTRACT

In the earth moving procedures, such as land leveling, where crops requirements are increased, strict control of the work precision, of the appropriate machinery and the methods applied is required. In this paper is calculated the leveling precision in two experimental plots, in the area Skoutari in Serrers, with two different application methods (classical and modern). The results has shown that during the land leveling with laser (modern method), the 84% of the recorded readings (elevations and coordinates) presented deviation within ± 1 to ± 3 cm from the desired grade level, whereas during the conventional land leveling, was only 62% during the same deviation.

Key words: land levelling, control of the work precision, grade deviation, land leveling methods

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ακρίβεια της εργασίας των χωματουργικών μηχανημάτων γενικά είναι ένας από τους σπουδαιότερους παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά, την απόδοση, την ποιότητα και το χαμηλό κόστος παραγωγής. Ειδικότερα στις εργασίες κατεργασίας του εδάφους, όπως είναι η ισοπέδωσή του, είναι εξαιρετικά χρήσιμο να γίνεται αυστηρός έλεγχος της ακρίβειας εργασίας, των κατάλληλων μηχανημάτων και μεθόδων εφαρμογής, για την εκμετάλλευση όλων των πλεονεκτημάτων της σύγχρονης τεχνολογίας, ώστε να εξασφαλισθεί η επιθυμητή ακρίβεια ισοπέδωσης (Τσατσαρέλης, 2006)

Τα τελευταία χρόνια για την ισοπέδωση ακριβείας του εδάφους στις Η.Π.Α και στην Ευρώπη χρησιμοποιούνται ευρύτατα σύγχρονα μηχανήματα εξοπλισμένα με laser, (Fangmier, et al., 1999) ενώ λειτουργούν παράλληλα και τα κλασσικά μηχανήματα (Grader). Οι διαφορές, όσον αφορά την ακρίβεια, μεταξύ των δύο μεθόδων είναι σημαντικές, με τις σύγχρονες μεθόδους (laser) να παρουσιάζουν περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις κλασσικές μεθόδους. Ειδικότερα στην άρδευση με κατάκλιση (επιφανειακή άρδευση), όπου διοχετεύεται ελεγχόμενη ποσότητα ύδατος σε επίπεδες γαιώδεις επιφάνειες, η ισοπέδωση ακριβείας είναι απαραίτητη για την επίτευξη ισομερούς κατανομής του ύδατος (Dedrick, 1979).

Κατά την ισοπέδωση ακριβείας (laser) προκύπτουν σημαντικά πλεονεκτήματα αλλά και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως:

α. Πλεονεκτήματα

- Ο βαθμός της ακρίβειας ισοπέδωσης επηρεάζει σημαντικά τη στρεμματική απόδοση (Williams 2004).
- Καλλιεργείται μεγαλύτερη έκταση, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη παραγωγή μεταξύ των αναχωμάτων στις καλλιέργειες (Ellis, 1982).
- Επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση ύδατος με αποτέλεσμα τη μείωση του μέσου κόστους παραγωγής κατά 6,3% – 15,4% για όλες τις καλλιέργειες (El-Saharigi, et al. 1993). Η μείωση του κόστους, ως αποτέλεσμα της ισοπέδωσης ακριβείας, προέρχεται από την μικρότερη απαιτούμενη ποσότητα ύδατος και από την αποτελεσματικότερη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων λόγω της ορθολογικότερης εφαρμογής τους (Cooke et al., 1996).
- Η ισοπέδωση ακριβείας βελτιώνει την ομοιομορφία της σποράς και την ωριμότητα των φυτών, ενώ συγχρόνως αυξάνει και την παραγωγικότητα των φυτών, συγκρινόμενη με την κλασσική ισοπέδωση (Hinz, 1978).

β. Μειονεκτήματα

Τα μειονεκτήματα που εμφανίζονται ισχύουν και για την κλασσική μέθοδο ισοπέδωσης, όπως:

- Παρατηρείται μείωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία όπως K, Na, P, Zn, Mg, Mn και Ca τα οποία βρίσκονται στα πρώτα 10cm του εδάφους, στα βαθύτερα στρώματά του, ενώ συγχρόνως ελαττώνεται το pH και το ποσοστό της οργανικής ουσίας. Η μείωση του συνολικού N είναι αποτελέσματα της μείωσης της οργανικής ουσίας στην επιφάνεια του εδάφους (De Sousa, 1993).
- Η συμπίκνωση του υπεδάφους, που παρατηρείται από την χρήση βαρέων μηχανημάτων (laser), λόγω των πολλών διαδρομών που κάνουν μέσα στο χωράφι, περιορίζει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος με αποτέλεσμα τη δυσκολία προσρόφησης θρεπτικών στοιχείων, γεγονός που επηρεάζει την απόδοση των φυτών (Kundu et al., 1997).

Στην εργασία αυτή υπολογίσθηκε και συγκρίθηκε η ακρίβεια ισοπέδωσης του εδάφους σε δύο (2) πειραματικές επιφάνειες στην περιοχή Σκουτάρεως του Νομού Σερρών με δύο διαφορετικές μεθόδους εφαρμογής (κλασσική και σύγχρονη).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

Τον Οκτώβριο του 2010 οριοθετήθηκαν και εγκαταστάθηκαν δύο (2) πειραματικές επιφάνειες εκτάσεως 26 και 28 στρεμμάτων αντίστοιχα στην περιοχή Σκουτάρεως του Νομού Σερρών, όπου ήταν σε εξέλιξη εργασίες ισοπέδωσης.

2.1 Υλικά

Στην πρώτη πειραματική επιφάνεια των 26 στρεμμάτων, χρησιμοποιήθηκε η σύγχρονη μέθοδος (laser) με ισοπεδωτή εξοπλισμένο με ηλεκτρονικές διατάξεις, ενώ στη δεύτερη των 28 στρεμμάτων, η κλασσική μέθοδος με τον ίδιο ισοπεδωτή.

Για την τοπογράφιση και των δύο επιφανειών, χρησιμοποιήθηκε G.P.S. συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή, καθώς και ηλεκτρονικές διατάξεις, όπως τρίποδας με συσκευή εκπομπής laser και δέκτης προσαρμοσμένος στο μηχάνημα.

2.2 Μέθοδος

Με τη βοήθεια του G.P.S. και των ηλεκτρονικών διατάξεων οριοθετήθηκαν και καταγράφηκαν (συντεταγμένες και υψόμετρα) 65 σημεία στην πρώτη επιφάνεια, και 70 σημεία στη δεύτερη.

Για τις μετρήσεις, ο χειριστής με τη χρήση G.P.S., που ήταν συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή, κατέγραφε τις συντεταγμένες ενώ για τα υψόμετρα, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα όπου η συσκευή εκπομπής laser τοποθετήθηκε σε τρίποδα εκτός της πειραματικής επιφάνειας και σε ύψος 1,50cm από το έδαφος και ο ιστός με το δέκτη προσαρμόστηκε στο μηχάνημα στο ίδιο ύψος. Το Grader με το laser κινούνταν σταυροειδώς εντός του αγρού, λαμβάνοντας σημεία ανά 20 μέτρα. Από τα σχετικά υψόμετρα των σημείων που μετρήθηκαν με τη βοήθεια του laser, αφαιρέθηκε το ύψος του οργάνου και έτσι προέκυψε η υψομετρική διαφορά των σημείων από το επίπεδο αναφοράς. Από τη στατιστική ανάλυση των υψομετρικών διαφορών προέκυψε ο μέσος όρος τους.

Μετά την ισοπέδωση των πειραματικών επιφανειών με τις δυο μεθόδους (σύγχρονη, κλασσική) καταγράφηκαν με τη βοήθεια του G.P.S. και του laser οι υψομετρικές αποκλίσεις των σημείων που είχαν καταγραφεί πριν την ισοπέδωση, από το μέσο όρο των υψομετρικών διαφορών, από το επίπεδο αναφοράς. Για την ασφάλεια και την ακρίβεια της καταγραφής των υψομετρικών αποκλίσεων, χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος τρίποδας με τον πομπό laser εκτός των πειραματικών επιφανειών και εντός των επιφανειών ο ιστός με το δέκτη.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο συνολικός αριθμός των σημείων που καταγράφηκαν στην πρώτη επιφάνεια (26 στρέμματα) πριν την ισοπέδωση με τη σύγχρονη μέθοδο, ήταν 65 και το άθροισμα των υψομετρικών διαφορών ήταν 330,04cm. Ο μέσος όρος των υψομετρικών διαφορών θα ισούται: $330,04:65 = 5,49\text{cm}$ (Σχήμα 1). Κατά τον ίδιο τρόπο καταγράφηκαν τα σημεία και στη δεύτερη επιφάνεια (28 στρέμματα) πριν την ισοπέδωση με την κλασσική μέθοδο, όπου ο συνολικός αριθμός των σημείων ήταν 70 και το άθροισμα των υψομετρικών διαφορών ήταν 384,25cm. Ο μέσος όρος των υψομετρικών διαφορών ήταν $384,25:70=5,48\text{cm}$ (Σχήμα 2). Σκιαγραφώντας όλα τα σημεία που

βρίσκονται πάνω από το μέσο όρο (Σχήματα 1 και 2), βοηθάτε ο χειριστής να καθορίσει τον πιο αποτελεσματικό τρόπο ισοπέδωσης, με τις κατάλληλες διαδρομές.

5.55	5.52	5.54	5.47	5.47	5.38	5.46	5.54	5.57	5.46	5.47	5.48	5.57
5.62	5.50	5.47	5.52	5.53	5.39	5.49	5.52	5.51	5.53	5.41	5.49	5.52
5.57	5.59	5.66	5.51	5.48	5.45	5.57	5.49	5.43	5.42	5.46	5.47	5.48
5.47	5.45	5.58	5.50	5.53	5.57	5.64	5.59	5.39	5.35	5.39	5.44	5.45
5.59	5.54	5.49	5.47	5.42	5.48	5.59	5.67	5.38	5.44	5.50	5.56	5.57
27,80	27,60	27,74	27,47	27,43	27,27	27,75	27,51	27,28	27,20	27,23	27,44	27,59

Σχήμα 1: Υψομετρικές διαφορές (cm) των σημείων, από το επίπεδο αναφοράς, πριν την ισοπέδωση της επιφάνειας με laser

5.58	5.64	5.36	5.51	5.52	5.56	5.54	5.40	5.50	5.54	5.48	5.43	5.51	5.53
5.53	5.53	5.42	5.40	5.50	5.52	5.61	5.46	5.48	5.40	5.53	5.37	5.47	5.60
5.49	5.59	5.47	5.63	5.46	5.44	5.56	5.35	5.44	5.46	5.50	5.41	5.42	5.56
5.44	5.40	5.59	5.55	5.57	5.38	5.47	5.57	5.51	5.60	5.38	5.49	5.46	5.59
5.56	5.42	5.51	5.44	5.65	5.30	5.58	5.34	5.46	5.42	5.45	5.52	5.54	5.36
27,60	27,58	27,35	27,53	27,70	27,20	27,76	27,12	27,39	27,42	27,34	27,22	27,40	27,64

Σχήμα 2: Υψομετρικές διαφορές (cm) των σημείων, από το επίπεδο αναφοράς, πριν την ισοπέδωση της επιφάνειας με Grader.

Στα σχήματα 3 και 4 φαίνονται οι υψομετρικές αποκλίσεις (με τις δύο μεθόδους) από το μέσο όρο των υψομετρικών διαφορών, από το επίπεδο αναφοράς, των ιδίων σημείων που είχαν καταγραφεί

+3.2	+1.0	-1.5	+1.4	-1.0	+1.0	+0.8	-1.5	-1.0	-1.6	-1.1	-1.5	+1.5
+1.6	+2.3	-1.0	-0.9	-1.0	+0.8	+1.3	-1.8	-1.0	+0.7	+0.5	-3.2	+1.7
+1.5	+2.3	-1.0	+1.3	-1.5	+1.0	+0.6	-2.1	-1.0	+1.5	+2.3	-2.1	+1.2
-1.1	+3.3	+1.5	-2.3	-1.2	+1.0	+1.0	-0.7	-1.8	+3.3	+1.0	-3.8	-3.1
-3.6	+3.2	+1.8	+1.3	+2.3	+1.2	-2.1	-1.1	+3.9	+1.5	+1.3	-3.6	-1.5

Σχήμα 3. Υψομετρικές αποκλίσεις από το μέσο όρο των υψομετρικών διαφορών, στην επιφάνεια που ισοπεδώθηκε laser.

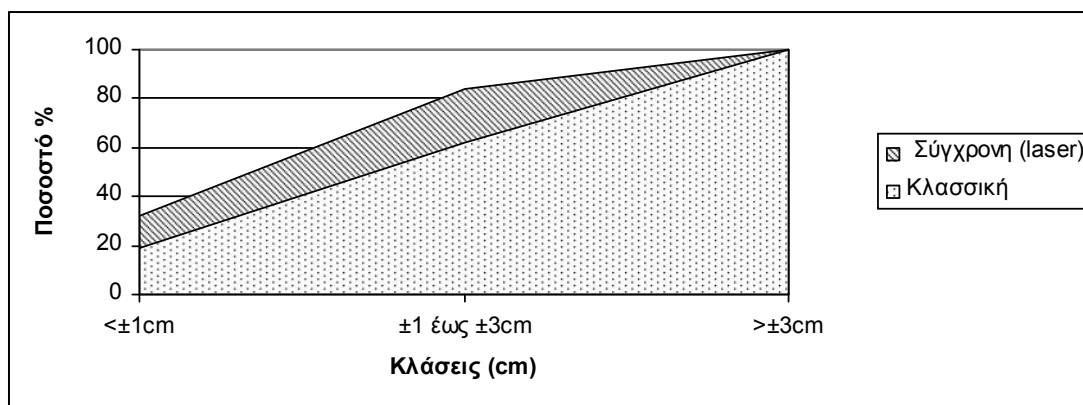
+1.5	+2.2	-1.0	-1.0	-0.9	-1.7	-1.0	+2.9	-1.0	-1.9	-1.9	+3.3	+1.1	+1.0
+3.7	+1.9	-3.6	+3.7	+3.8	-3.5	-3.5	+1.5	-3.4	-3.7	+1.5	-3.2	+3.3	+1.5
-3.6	-3.2	+1.7	+1.6	-3.7	+3.1	-1.8	+2.7	-1.3	-1.8	+3.2	-2.1	+1.0	-1.0
-2.5	-3.6	+3.6	+1.5	-1.0	-3.5	+2.6	+1.3	+0.7	+0.7	-3.2	-1.5	+3.7	-3.5
-1.8	-1.0	+1.3	-1.6	+1.4	+1.5	+1.0	+1.5	-3.8	-3.3	-3.8	+2.6	-2.6	+3.2

Σχήμα 4. Υψομετρικές αποκλίσεις των σημείων από το μέσο όρο των υψομετρικών διαφορών στην επιφάνεια που χρησιμοποιήθηκε η κλασσική μέθοδος ισοπέδωσης.

Για τη σύγκριση της ακρίβειας των δύο μεθόδων καθορίστηκαν τρεις (3) κλάσεις αποκλίσεων ($<\pm 1\text{cm}$, ± 1 έως $\pm 3\text{cm}$, $>\pm 3\text{cm}$). Από τη μελέτη των στοιχείων των σχημάτων 3 και 4 προέκυψε ο πίνακας 1 και το σχήμα 5.

Πίνακας 1. Ποσοστό (%) ακρίβειας των δύο μεθόδων ισοπέδωσης στις τρεις (3) κλάσεις υψομετρικών αποκλίσεων

Ποσοστό (%) ακριβείας στις 3 κλάσεις			
Μέθοδος ισοπέδωσης	$<\pm 1\text{cm}$	± 1 έως $\pm 3\text{cm}$	$\geq \pm 3\text{cm}$
Σύγχρονη (laser)	32	84	100
Κλασσική	19	62	100



Σχήμα 5. Ποσοστό (%) ακρίβειας των δύο μεθόδων ισοπέδωσης σε σχέση με την υψομετρική απόκλιση.

Από την μελέτη των στοιχείων του πίνακα 1 και του σχήματος 5, φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ακρίβειας (100%), εμφανίζεται και στις δύο μεθόδους ισοπέδωσης στην τρίτη κλάση, όπου η απόκλιση είναι $>\pm 3\text{cm}$ από το μέσο όρο των υψομετρικών διαφορών των σημείων προς ισοπέδωση. Το μικρότερο ποσοστό (19%) εμφανίζεται στην πρώτη κλάση της κλασσικής μεθόδου, όπου η απόκλιση είναι $<\pm 1\text{cm}$ από το μέσο όρο των υψομετρικών διαφορών των σημείων προς ισοπέδωση.

Από το σχήμα 5 φαίνεται ότι η διαφορά του ποσοστού ακριβείας της σύγχρονης μεθόδου σε σχέση με την κλασσική μέθοδο είναι 13% και 22% για την πρώτη ($<\pm 1\text{cm}$)

και τη δεύτερη κλάση (± 1 έως $\pm 3\text{cm}$) αντίστοιχα. Με βάση τη διεθνή πρακτική για την ελάχιστη αποδεκτή ποιότητα ισοπέδωσης, πρέπει το 80% των σημείων των ισοπεδωμένων επιφανειών να ανήκουν στη δεύτερη κλάση (απόκλιση ± 1 έως $\pm 3\text{cm}$). Από τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτει ότι η ακρίβεια της ισοπέδωσης με τη σύγχρονη μέθοδο ανταποκρίνεται σε αυτόν τον κανόνα, ενώ η ακρίβεια της ισοπέδωσης με την κλασσική μέθοδο δεν ανταποκρίνεται.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η σύγχρονη μέθοδος ισοπέδωσης με laser, λόγω της μεγάλης ακρίβειας, έχει πολλά πλεονεκτήματα κυρίως γιατί βελτιώνει την αποδοτικότητα των συντελεστών παραγωγής, όπως νερού, εργατικού δυναμικού και την ενέργεια που καταναλώνεται.
- Η ευαισθησία του laser είναι αρκετά πιο ακριβής σε σχέση με τον οπτικό και χειροκίνητο υδραυλικό έλεγχο του χειριστή στην κλασσική μέθοδο και κατά συνέπεια χειριστές με λιγότερα προσόντα και εμπειρίες μπορούν να έχουν πολύ καλά αποτελέσματα.
- Η ακρίβεια της ισοπέδωσης εξαρτάται από την μέθοδο εφαρμογής, από την διασπορά των σημείων στην επιφάνεια πριν ισοπέδωση και το μέγεθος της διακύμανσης των υψομετρικών διαφορών. Όμως σε καμία περίπτωση δεν μειώνεται το ποσοστό της ακρίβειας της μεθόδου laser έστω και αν η διακύμανση των υψομετρικών διαφορών είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή της κλασσικής μεθόδου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Cooke, D.R., McPhail, D.C., and Bloom, M.S., 1996, Epithermal gold mineralization, Acupan, Baguio district, Philippines: Geology, mineralization, alteration, and the thermochemical environment of ore deposition: ECONOMIC GEOLOGY, v. 91, p. 243–272.
- Dedrick, A.R. 1979. Land – Leveling Precision Attained with Laser – Controlled Drag Scrapers. ASAE paper 79 – 2565.
- De Sousa P.L., Dedrick A.R., Clemmens A.J and Pereira L.S., 1993. Benefits and costs of laser – controlled leveling. A case study in water management in the Next Century Trans of the 15th congress on Irrigation and Drainage, ICID New Delhi, India, Vol 1-10, Q44, R97: 1237 -1247.
- Ellis, A.W. (1982). Spelling and Writing (and Reading and Speaking). In Ellis, A.W. (Ed.), Normality and Pathology in Cognitive Functions. London: Academic Press.
- El-Sahrigi, A. F., N. S. El-yazal, and A. M. El-Gindy. 1993. On farm improved irrigation management using laser technology, farm mechanization and irrigation systems. Dokki, Egypt: Agric. Engng. Res. Inst., Agric. Res. Center, Ministry of Agriculture.
- Fangmeier D.D., A.J. Clemmens, M. El-Ansary., 1999. Influence of land leveling precision on level – Basin advance and Performance Transactions of the ASAE 42(4):1019-1025.
- Hinz, W. W., Halderman A.D., 1978. “ Laser beam land leveling costs and benefits”. Bull. No A 114. COOP. Ext. Ser, Tuscan Arizona.
- Kundu D.K., Ladha J.K., 1997. Effect of growing rice on nitrogen mineralization in flooded soil. Soil Sci. Soc. Am, J. 61, 839-845
- Τσατσαρέλης, Κ.Α. 2006. Διαχείριση Γεωργικών Μηχανημάτων. Εκδόσεις: Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.

Williams J., 2004. Rice Land Formation, California Rice Production, Workshop, January 2004.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ: ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΔΙΟΥ 2011

Δ.Β. Αναγνωστόπουλος¹, Σπ. Φουντάς¹, Θ.Α. Γέμτος¹

¹Παν. Θεσσαλίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός
Φυτόκου, 38446 Ν. Ιωνία. Email: dvanagnosto@yahoo.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η εργασία παρουσιάζει τα αποτελέσματα μιας έρευνας πεδίου που πραγματοποιήθηκε την άνοιξη του 2011. Η έρευνα επικεντρώθηκε στη διαχείριση του γεωργικού εξοπλισμού στην ελληνική γεωργία με έμφαση το γεωργικό ελκυστήρα. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 180 προσωπικές συνεντεύξεις σε δεκαέξι νομούς της Ελλάδας. Κύριο συμπέρασμα της έρευνας είναι ότι η κακή διαχείριση και ο παλαιωμένος γεωργικός στόλος διαμορφώνουν υψηλό κόστος παραγωγής. Ωστόσο η δεκτικότητα των παραγωγών για παρακολούθηση σεμιναρίων που αφορούν την ορθολογική χρήση των γεωργικών ελκυστήρων και την χρήση νέων τεχνολογιών είναι ενθαρρυντικά στοιχεία για την διαμόρφωση μια καινούργιας αντίληψης που θα οδηγήσει σε βελτίωση της κατάστασης.

Λέξεις Κλειδιά: Γεωργικός ελκυστήρας, διαχείριση, εξοπλισμός, έρευνα πεδίου

FARM MACHINERY MANAGEMENT IN GREECE: FIELD RESEARCH 2011

D.V. Anagnostopoulos¹, Sp. Fountas¹, T.A. Gemtos¹

¹University of Thessaly, Department of Crop Production and Rural Environment,
Fytoko street, 38446 N. Ionia. Email: dvanagnosto@yahoo.gr

ABSTRACT

The paper presents research that took place in the spring of 2011. The project was concentrated on farm machinery management with the main focus on tractors. About, 180 personal interviews have been taken place at sixteen prefectures of Greece. The main outcome of this study was that the bad management and the old agricultural machinery result in high production costs. However, the willingness of the farmers to follow seminars related to the rational use of agricultural tractors and implements and the use of new technologies in agriculture, are encouraging evidence and indication for the transition into a new era.

Key words: Agricultural tractor, management, equipment, research

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το υψηλό κόστος παραγωγής αποτέλεσε μεγάλη τροχοπέδη για την ανάπτυξη του αγροτικού τομέα στον Ελλαδικό χώρο. Ένας από τους παράγοντες που συμβάλουν σ' αυτό το κόστος είναι η χρήση του γεωργικού εξοπλισμού που δημιουργείται κυρίως λόγω λανθασμένης διαχείρισης. Η προσέγγιση του προβλήματος προϋποθέτει αρχικά την εκτίμηση των συνθηκών που επικρατούν στο Ελλαδικό χώρο και έπειτα προτάσεις επίλυσης.

Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΣΥΕ του 2007 στην Ελλάδα καλλιεργείται ένα σύνολο εκτάσεων 35.439 χιλ. στρεμμάτων και 851.683 γεωργικές εκμεταλλεύσεις, άρα έχουμε περίπου 43 στρέμματα/ εκμετάλλευση. Το 78,5% των εκτάσεων είναι αρδευόμενο. Το 76% του γεωργικού δυναμικού είναι κατά κύριο επάγγελμα αγρότες. Οι εκμεταλλεύσεις που έχουν μόνιμους εργάτες απασχολούν κατά μέσο όρο 1,53 εργάτες ανά εκμετάλλευση ενώ αυτές που έχουν και εποχικό απασχολούν 3,16 εργάτες. Τέλος, σε έρευνα που έγινε από τους Παστόπουλος και άλλοι (2008) σε δείγμα αγροτικού πληθυσμού ο μέσος όρος ηλικίας ήταν 48,7 ετών .

Στην Ελλάδα , σύμφωνα με στοιχεία της ΕΣΥΕ του 2006 εκτιμάται ότι υπάρχουν 259.603 διαξονικοί και 134.085 μονοαξονικοί ελκυστήρες σε περίπου 230.000 και 78.500 εκμεταλλεύσεις αντίστοιχα. Υπάρχει αναλογία περίπου σε 75 στρέμματα ένας διαξονικός ελκυστήρας και σε 24 στρέμματα ένας μονοαξονικός. Στην Ε.Ε. των 25 ο αριθμός των γεωργικών εκμεταλλεύσεων είναι 10.745.757 και αντιστοιχεί ένας ελκυστήρας ανά 120 στρ. (FAO, 2006). Ο βαθμός εκμηχάνισης της χώρας δεν είναι ιδιαίτερα υψηλός αν κρίνουμε από τους 0,5 ελκυστήρες/εκμετάλλευση σε σχέση με άλλες χώρες της Ε.Ε. που έχουν έναν μέσο όρο 2,8 (Βεντούρης και Τσακανίκας, 2011). Αν όμως απομονώσουμε μόνο τις εκμεταλλεύσεις που έχουν ελκυστήρα διαμορφώνεται 1,11 ελκυστήρας/εκμετάλλευση (ΕΣΥΕ,2006).

Οι ελκυστήρες σύμφωνα με στοιχεία των Βεντούρης και Τσακανίκας (2011) είναι παλαιωμένοι έτσι διαμορφώνεται ένας μέσος όρος ηλικίας 22,4 έτη. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με το μισό του γεωργικού στόλου είναι ανενεργό και αν συνυπολογίσουμε ότι την τελευταία δεκαπενταετία έχουν αγοραστεί 40500 ελκυστήρες που αντιστοιχεί στο 31% του ενεργού στόλου μπορούμε να πούμε ότι ο στόλος σιγά σιγά ανανεώνεται. Ακόμα και έτσι όμως η ανανέωση δεν είναι σημαντική και πρέπει να δοθούν περαιτέρω κίνητρα .

Με στοιχεία από τους Βεντούρης και Τσακανίκας (2011) έχει εκτιμηθεί ότι ο μέσος όρος ισχύος των ελκυστήρων πλέον έχει διαμορφωθεί στους 77 ίππους. Σύμφωνα με τους Παστόπουλος και άλλοι (2008) η μέση ετήσια λειτουργία ενός ελκυστήρα είναι 566,51 ώρες σε έρευνα που διεξήχθη ενώ αντίστοιχες παλιότερες έρευνες από τους Τσατσαρέλης (2006) και Γέμτος και άλλοι (1998) αναφέρουν 420 ώρες και 355,8(χωρίς χρήση για πότισμα) αντίστοιχα. Για τις μειωμένες ώρες λειτουργίας του ελκυστήρα λύση μπορεί να αποτελέσει η ενοικίαση αγροτικών μηχανημάτων. Ωστόσο, σύμφωνα με τους Παστόπουλος και άλλοι (2008) το μεγαλύτερο μέρος των αγροτών (79,4%) δεν ενοικιάζει ξένα μηχανήματα ούτε νοικιάζει δικό του εξοπλισμό σ' άλλες εκμεταλλεύσεις. Ακόμα, από τους Παστόπουλος και άλλοι (2008) εκτιμήθηκε περίπου 1240 ευρώ κόστος λειτουργίας για συντήρηση και φθορές ανά ελκυστήρα.

Σκοπός της έρευνας αυτής είναι να καταγραφεί η υφιστάμενη κατάσταση σε θέματα διαχείρισης του γεωργικού εξοπλισμού στον Ελλαδικό χώρο, να γίνει μια προσπάθεια προσδιορισμού των λόγων που συμβάλουν στο πρόβλημα και των κριτηρίων με βάση των οποίων ενεργεί ο αγροτικός κόσμος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα διεξάχθηκε από τους φοιτητές του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με την μέθοδο της προσωπικής συνέντευξης σε 180 τυχαίους παραγωγούς από 16 διαφορετικούς νομούς με τους περισσότερους να προέρχονται από την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας. Συνολικά υπήρχαν 38 ερωτήσεις, 19 κλειστού (πολλαπλών επιλογών) και 19 ανοικτού τύπου. Οι τομείς που καλύφθηκαν ήταν, δημογραφικά στοιχεία, ο τύπος της εκμετάλλευσης, ο διαθέσιμος εξοπλισμός γεωργικών μηχανημάτων και τέλος η διαχείριση του. Οι Νομοί είναι αρκετά αντιπροσωπευτικοί της Ελληνικής επικράτειας. Η συμπλήρωση των ερωτηματολογίων έγινε την Άνοιξη του 2011. Οι παραγωγοί είχαν ποικιλία καλλιεργειών. Έπειτα τα ερωτηματολόγια συγκεντρώθηκαν και τα δεδομένα αναλύθηκαν με το πρόγραμμα SPSS 15 for Windows και Excel 2007, Microsoft office.

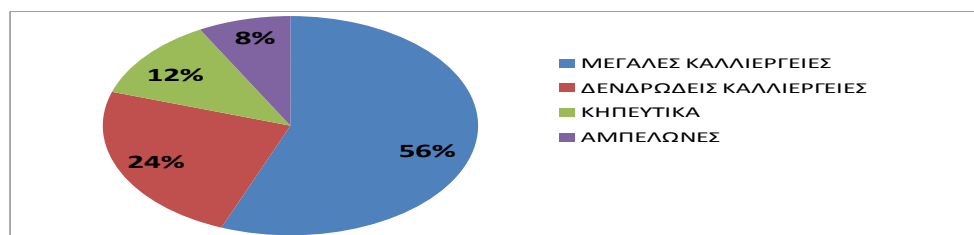
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Όλοι οι παραγωγοί που μετείχαν είχαν γεωργικό ελκυστήρα και εξοπλισμό. Ο μέσος όρος ηλικίας των παραγωγών ήταν 48,87 ετών και δεν διαφέρει πολύ από προηγούμενες αναφορές που είχε εκτιμηθεί στο 48,7 (Παστόπουλος και άλλοι, 2008). Το 75% ήταν κατά κύριο επάγγελμα αγρότης, ποσοστό που δεν διαφέρει από το αντίστοιχο της ΕΣΥΕ (2007). Ο συνδυασμός του υψηλού μέσου όρου ηλικίας, ότι υπάρχει ένα ποσοστό 25% που δεν έχει ως κύριο επάγγελμα αυτό του αγρότη αλλά και της εκτίμησης που έγινε στην έρευνα ότι το 55,5 % των ερωτηθέντων δεν έχει διάδοχο επιβεβαιώνουν το γηρασμό και την ανησυχία για τον σημαντικό περιορισμό του αγροτικού πληθυσμού τα επόμενα έτη. Ακόμη να αναφέρουμε ότι στις εκμεταλλεύσεις της έρευνας απασχολούνται μόνιμα περίπου 1,46 άτομα, δεδομένο λίγο μεγαλύτερο από το αντίστοιχο της ΕΣΥΕ.

3.2 ΔΟΜΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ

Ο κάθε παραγωγός είχε 11,44 αγροτεμάχια κατά μέσο όρο και κάτι τέτοιο φανερώνει το πρόβλημα του κατακερματισμού της ελληνικής γης αλλά και την αποτυχία των αναδασμών. Η μέση έκταση είναι 178 στρέμματα, ποσό που διαφέρει σημαντικά από το αντίστοιχο της ΕΣΥΕ (2007) και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκμεταλλεύσεων καλλιεργούνταν με μεγάλες καλλιέργειες (Σχήμα 1) αλλά και από το γεγονός ότι το 55,55% των παραγωγών ενοικιάζει επιπλέον εκτάσεις. Συγκεκριμένα στην έρευνα προέκυψαν 1.054 στρέμματα αμπελώνες (27,73 στρέμματα/εκμετάλλευση), 28.929 στρέμματα δενδρώδεις καλλιέργειες (258,29 στρέμματα/εκμετάλλευση), 102.102 στρέμματα μεγάλες καλλιέργειες (380,97 στρέμματα/εκμετάλλευση) και 2451 στρέμματα κηπευτικά (41,54 στρέμματα/εκμετάλλευση).



Σχήμα 1: Η ποσοστιαία αναλογία των κατηγοριών καλλιέργειας που είχαν οι εκμεταλλεύσεις τις έρευνας.

3.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ

Η μέση ηλικία του ελκυστήρα εκτιμήθηκε ότι είναι 19 έτη , μικρότερος από τα 22,4 έτη που παρουσιάστηκε από τους Βεντούρης και Τσακανίκας (2011). Έστω και έτσι όμως ο στόλος θεωρείται γερασμένος. Αντιστοιχεί περίπου 1,37 ελκυστήρες/παραγωγό, εκτίμηση που προσεγγίζει το αριθμό που παρουσιάστηκε από την ΕΣΥΕ (2006) και είναι 1,11.

Η μέση ιπποδύναμη είναι 82,38 HP, αριθμός μεγαλύτερος από την αντίστοιχη εκτίμηση από τους Βεντούρης και Τσακανίκας (2011) που αναφέρουν 77 HP .

Ακόμη, έγινε συσχέτιση μεταξύ της ηλικίας των παραγωγών και της ηλικίας του ελκυστήρα για να δούμε αν ο στόλος ανανεώνεται. Χωρίστηκαν τρία εύρη ηλικιών των παραγωγών, 20-40 , 41-55 και >55 και μελετήθηκε η επίδραση τους στην ηλικία των ελκυστήρων που κατέχουν. Οι ηλικίες 20-40 είχαν μέσο όρο ελκυστήρες 16,52 ετών , οι 41-55 είχαν ελκυστήρες 18,8 ετών και οι >55 είχαν ελκυστήρες 22,74 ετών. Μάλιστα οι διαφορές αυτές χαρακτηρίστηκαν σημαντικές δείχνοντας ότι οι νέες ηλικίες ανανεώνουν το στόλο αλλά και πάλι η ηλικία των ελκυστήρων χαρακτηρίζεται υψηλή (16,52 έτη).

Όσον αφορά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την κατοχή των παρελκόμενων τα μηχανήματα που τα έχουν οι περισσότεροι είναι κατά σειρά το άροτρο, το ψεκαστικό, ο λιπασματοδιανομέας και η φρέζα (Σχήμα 1). Γενικά, οι παραγωγοί έχουν επαρκή μηχανήματα κατεργασίας και καλλιεργητικής φροντίδας δείχνοντας να τους ενδιαφέρει η έγκαιρη εκτέλεση αυτών των εργασιών.



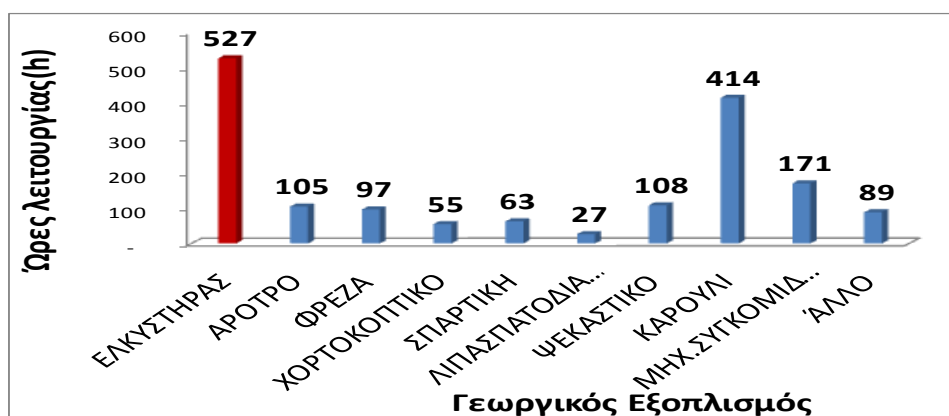
Σχήμα 1: Ποσοστιαία κατοχή των παρελκόμενων.

Τέλος, σύμφωνα με ερώτηση που έγινε οι παραγωγοί θεωρούν ως το σημαντικότερο παρελκόμενο που έχουν την φρέζα, ακολουθούν το ψεκαστικό και το άροτρο. Η επιλογή αυτή πιθανόν διαμορφώθηκε γιατί στο σύνολο σχεδόν για όλες τις δενδροκομικές καλλιέργειες η φρέζα αποτελεί το σημαντικότερο παρελκόμενο διότι με αυτό πραγματοποιείται η κατεργασία του εδάφους και ο έλεγχος των ζιζανίων. Αντίθετα για τις μεγάλες καλλιέργειες οι επιλογές είναι ποικίλες.

3.4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Έγινε προσπάθεια να εκτιμηθούν οι ώρες λειτουργίας του ελκυστήρα και των παρελκόμενων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν 526,63 ώρες εργασίας για τον ελκυστήρα, αριθμός που είναι ρεαλιστικός αν το συγκρίνουμε με προηγούμενες αναφορές (Γέμτος και άλλοι, 1998 και Τσατσαρέλης, 2006). Στο σχήμα 2 δίνονται συγκεντρωμένα οι ετήσιες ώρες χρήσης για το κάθε παρελκόμενο και τον ελκυστήρα.

Με βάση τις τιμές που παρουσιάζουμε διακρίνουμε ότι η ετήσια χρήση του εξοπλισμού είναι χαμηλή και δεν αξιοποιείται όσο θα έπρεπε.



Σχήμα 2: Ώρες λειτουργίας ελκυστήρα και παρελκόμενων.

Ο κάθε ελκυστήρας ανάλογα με την ισχύ του πρέπει να ικανοποιεί κάποιες ώρες λειτουργίας. Έτσι, έγινε μια μελέτη επίδρασης της ισχύος στις ώρες λειτουργίας για να δούμε αν οι ελκυστήρες δικαιολογούν το μέγεθος τους. Χωρίστηκαν τρεις ομάδες ιπποδύναμης (0-70, 71-100 και >100) και είδαμε πως διαμορφώνονται οι ώρες λειτουργίας τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ώρες λειτουργίας αυξάνονται με την αύξηση της ιπποδύναμης και μάλιστα αυξάνονται σημαντικά ($\text{Sig. } 0,019 < 0,05$).

Ένα άλλο στοιχείο διαχείρισης που προέκυψε από την έρευνα είναι το κόστος συντήρησης και φθορών διαμορφώνεται στα 1430,41 ευρώ, ποσό μεγαλύτερο από προηγούμενες αναφορές (Παστόπουλος και άλλοι, 2008).

Ενδιαφέρουσα συσχέτιση ήταν να δούμε πως επιδρούν τα χρόνια ηλικίας του ελκυστήρα στο κόστος συντήρησης του. Διαχωρίσαμε τέσσερα εύρη ηλικιών 0-8, 9-16, 16-22 και >22 ετών ελκυστήρα και μελετήσαμε τα κόστη τους. Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι όσο ο ελκυστήρας είναι σχετικά καινούργιος ο παραγωγός ενδιαφέρεται περισσότερο για την συντήρηση του ενώ όσο μεγαλώνει δεν δαπανά τόσο μεγάλα ποσά για συντήρηση. Οι διαφορές αυτές ωστόσο δεν αποδείχτηκαν σημαντικές ($\text{Sig. } 0,699 > 0,05$). Αντίστοιχη έρευνα, έγινε και για την επίδραση της ηλικίας του ελκυστήρα στο κόστος επισκευών και τις μεγαλύτερες δαπάνες για επισκευές τις παρουσίασαν οι ελκυστήρες πάνω από 22 έτη και τις μικρότερες οι ελκυστήρες από 0 ως 8 έτη. Ωστόσο, οι διαφορές που προέκυψαν δεν ήταν σημαντικές ($\text{Sig. } 0,974 > 0,05$).

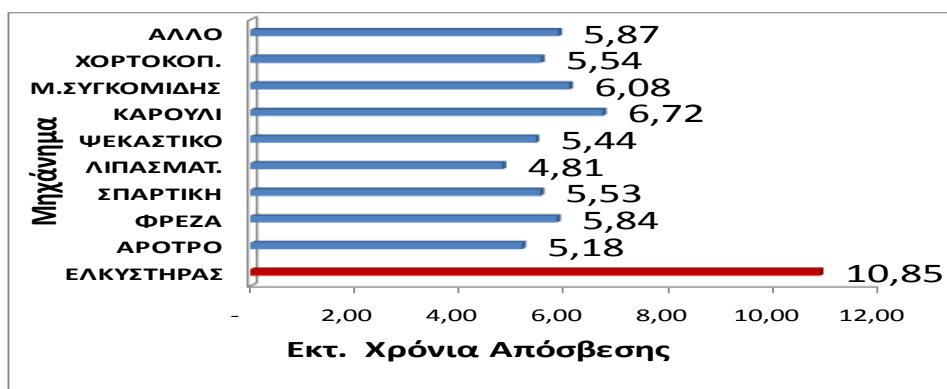
Μια ακόμα συσχέτιση που έγινε ήταν της ισχύος με το κόστος συντήρησης. Διαχωρίσαμε τρία διαστήματα ιπποδύναμης, 0-70, 70-100 και >100 ίππους και μελετήθηκε η επίδραση αυτών στο κόστος συντήρησης. Παρατηρήσαμε ότι όσο αυξάνει η ισχύς, αυξάνει και το κόστος συντήρησης και μάλιστα οι διαφορές στο κόστος που καταγράφηκαν θεωρούνται σημαντικές ($\text{Sig. } 0,02 < 0,05$). Αντίστοιχη μελέτη έγινε και για το κόστος επισκευών στις ίδιες κατηγορίες ισχύος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το κόστος επισκευών σχεδόν διπλασιάζεται μετά τους 70 ίππους ενώ στην συνέχεια παραμένει σταθερό στις δύο κατηγορίες. Μάλιστα αυτές οι διαφορές ήταν σημαντικές ($\text{Sig. } < 0,01 < 0,05$). Συμπερασματικά, καταλήγουμε ότι για άλλη μια φορά ότι η επιλογή του ελκυστήρα σε ιπποδύναμη κρίνει σημαντικά το κόστος συντήρησης και επισκευών και κατ' επέκταση το κόστος παραγωγής.

Για τη επιδιόρθωση των επισκευών οι παραγωγοί εμπιστεύονται κυρίως τον τοπικό μηχανικό και έπειτα τον εαυτό τους. Οι λόγοι είναι κυρίως οικονομικοί και

εμπιστοσύνης αλλά ίσως το υψηλό ποσοστό της επιδιόρθωσης από τους ίδιους τους παραγωγούς να συμβάλει σημαντικά στο υψηλό κόστος επισκευών που προέκυψε παραπάνω. Επίσης, το 91% των παραγωγών δήλωσαν ικανοποιημένοι από το σέρβις και ο λόγος κυρίως ήταν η συνέπεια και η σωστή υπηρεσία που παρέχει.

Οι παραγωγοί αλλάζουν λάδια και φίλτρα στον ελκυστήρα κάθε 137,5 ώρες και κυρίως γίνεται από τους ίδιους σε ποσοστό 80%, σε 13,89% από μηχανικό και σε 6,11% από την αντιπροσωπεία. Όσο αφορά την μετέπειτα αξιοποίηση των λαδιών υπάρχουν δύο επιλογές που διαμορφώθηκαν, από την μια ενθαρρυντικό είναι ότι οι περισσότεροι (40%) τα ανακυκλώνουν δείχνοντας σεβασμό προς το περιβάλλον ενώ υπάρχει και ένα σημαντικό ποσοστό (32%) που τα πετάει.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η άποψη των παραγωγών για την εκτιμώμενη οικονομική απόσβεση σε χρόνια του εξοπλισμού τους. Τον ελκυστήρα δήλωσαν ότι τον αποσβένουν σε περίπου 10,85 έτη ενώ τα παρελκόμενα σε 5-6 χρόνια (Σχήμα 3). Παρά την χαμηλή ετήσια χρήση τους οι παραγωγοί φαίνεται ότι τα αποσβένουν σχετικά γρήγορα τα μηχανήματα τους.



Σχήμα 3: Εκτιμώμενος χρόνος απόσβεσης του ελκυστήρα και των παρελκόμενων που προέκυψε.

Σε ερώτηση τι θα έκαναν το παλιό τους ελκυστήρα το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγωγών απάντησε ότι θα το πουλούσε περίπου σε 28,83 έτη, το 23,89% δήλωσε ότι θα τον αντάλλαζε σε 28,6 έτη, το 20% θα το χρησιμοποιούσε για βοηθητικές εργασίες σε 42,6 έτη, το 17,78% θα το έδινε για ανταλλακτικά σε 29,46 έτη και το 12,78% θα το ακινητοποιούσε σε 30,3 έτη. Από αυτά τα αποτελέσματα συμπεράνουμε ότι για να θεωρηθεί ένας ελκυστήρας παλαιωμένος για τους παραγωγούς πρέπει να είναι τουλάχιστον περίπου 29 ετών, αριθμός που θεωρείται πολύ μεγάλος.

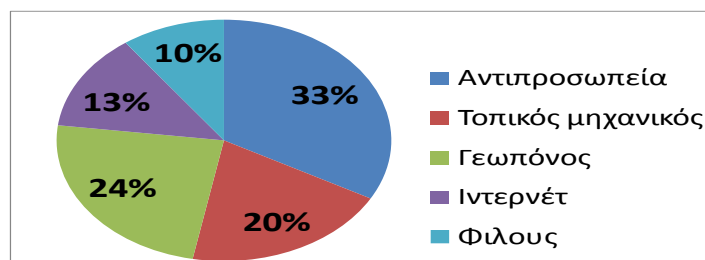
Σημαντική λύση στις λίγες ετήσιες ώρες λειτουργίες του εξοπλισμού είναι η ενοικίαση. Το 50,55 % των παραγωγών ενοικιάζει ξένα μηχανήματα για κάλυψη εργασιών με τις πιο βασικές εργασίες να είναι η συγκομιδή και η σπορά. Αυτό είναι λογικό καθώς οι περισσότεροι παραγωγοί δεν κατέχουν τέτοια μηχανήματα. Το 98,88% πιστεύει ότι συμφέρει να έχουν δικά τους μηχανήματα. Οι κύριοι λόγοι είναι ότι το κόστος αυξάνεται σημαντικά αν νοικιάσουν ξένα μηχανήματα και ότι μπορούν να έχουν έγκαιρες επεμβάσεις με δικά τους μηχανήματα. Αντίθετα, μόλις το 11,11% πιστεύει ότι συμφέρει να ενοικιάζει μηχανήματα.

3.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Σε ερώτηση που αφορά με βάση ποια κριτήρια επιλέγουν το εξοπλισμό που θα αγοράσουν ως πρώτο κριτήριο επιλέχθηκε η καλλιέργεια, δεύτερο η αξιοπιστία

του, τρίτο το κόστος, τέταρτο η κατανάλωση καυσίμου, πέμπτο το service , έκτο οι προσφορές, έβδομο οι τεχνολογικές εξελίξεις και τελευταίο η δυνατότητα ενοικίασης. Στα αποτελέσματα διακρίνουμε άλλο ένα στοιχείο έλλειψης διαχείρισης αφού παρά τις χαμηλές ώρες εργασίες του ήδη υπάρχοντος εξοπλισμού δεν επιλέγουν σημαντικά με βάση το κριτήριο της ενοικίασης ενώ στοιχεία κόστους δεν είναι πρώτες επιλογές.

Ως πρώτο κριτήριο για την πηγή πληροφοριών για την αγορά εξοπλισμού οι παραγωγοί επέλεξαν την αντιπροσωπεία, ως δεύτερο η επιλογή του γεωπόνου , ως τρίτο ο τοπικός μηχανικός, ως τέταρτο το ιντερνέτ και ως πέμπτο φίλους (Σχήμα 2). Τα αποτελέσματα μοιάζουν με αντίστοιχη έρευνα από τους Παστόπουλος και άλλοι (2008).



Σχήμα 2: Ποσοστιαία έκφραση των κριτηρίων για πηγές πληροφοριών εξοπλισμού.

Τέλος, όσον αφορά ποια κριτήρια θεωρούν σημαντικά για μια εταιρεία που εμπορεύεται γεωργικό εξοπλισμό είναι πρώτο η αξιοπιστία της, δεύτερο η φερεγγυότητα της, τρίτο η γκάμα των προϊόντων της, τέταρτο η εγγύηση, πέμπτο η ανταπόκριση σε βλάβες, έκτο οι καινοτομίες που παρουσιάζει, έβδομο ο τρόπος πληρωμής, όγδοο η κατανάλωση καυσίμου και ένατο η οργάνωση του δικτύου συντήρησης. Προβληματισμό και πάλι δημιουργεί η χαμηλή κατάταξη σε στοιχεία διαχείρισης όπως η συντήρηση και το κόστος καυσίμου.

3.6 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ

Το 36,7% των παραγωγών δήλωσε ότι θα άλλαζε καλλιέργεια και ο μόνος λόγος που θα το έκανε αυτό ήταν να του παρεχόταν ένα υψηλότερο κέρδος. Το 63,3% αντίθετα δήλωσε ότι δεν θα άλλαζε καλλιέργεια κυρίως λόγω του διαθέσιμου εξοπλισμού διότι δεν έχουν την δυνατότητα να αγοράσουν νέο, λόγω ηλικίας αλλά και λόγω έλλειψης ενημέρωσης. Ακόμη, ήταν λίγοι παραγωγοί που έδειξαν ικανοποιημένοι από την υπάρχουσα καλλιέργεια τους.

Το 71,1% δήλωσε ότι ενδιαφέρεται για χρήση νέων τεχνολογιών το 13,9 % μπορεί να ενδιαφερόταν ενώ το 15% δεν ενδιαφέρεται. Κοντά στο 91% των νέων (ηλικίες 20-35) δήλωσε ότι ενδιαφέρεται ωστόσο το μεγαλύτερο ποσοστό για ενδιαφέρον χρήσης το έδειξαν οι ηλικίες 35 με 45 ενώ σε παραπάνω ηλικίες το ενδιαφέρον έπεφτε. Όσο αφορά τις συγκεκριμένες τεχνολογίες που θα επιθυμούσαν αυτές κυρίως είναι απλές όπως καμπίνα ασφαλείας , 4x4, αυτοματισμούς στο κιβώτιο ταχυτήτων, κλιματισμό, αθόρυβη λειτουργία , ηλεκτρικά-υδραυλικά συστήματα ενώ μόνο ένα 10% αναφέρθηκε σε μεθόδους γεωργίας ακριβείας. Όσον αφορά τις τεχνολογίες που έχει ο ελκυστήρας τους το 55% δεν απάντησε ενώ αυτοί που ανταποκρίθηκαν αναφέρθηκαν κυρίως σε αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων, καμπίνα ασφαλείας και υδραυλικά-ηλεκτρονικά συστήματα γενικά. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι παρόλο που οι παραγωγοί έχουν την διάθεση να ασχοληθούν με

την τεχνολογία, οι προτιμήσεις τους παρουσιάζουν ελλιπή ενημέρωση για τις τελευταίες εξελίξεις της τεχνολογίας στους γεωργικούς ελκυστήρες.

Ενθαρρυντικό είναι ότι το 85% των παραγωγών ενδιαφέρεται για παρακολούθηση σεμιναρίων. Τέλος, το 86,6% ενδιαφέρεται για χρηματοδότηση με σκοπό την αγορά νέου ελκυστήρα.

Ενδιαφέρον	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΜΠΟΡΕΙ
Σεμινάρια	85%	15%	-
Νέες Τεχνολογίες	71,1%	15%	13,9%
Χρηματοδότηση	86,6%	13,4%	-

Πίνακας 1: Ενδιαφέρον παραγωγών σε ποσοστιαία έκφραση για σεμινάρια, νέες τεχνολογίες και χρηματοδότηση για αγορά νέου εξοπλισμού.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την έρευνα αυτή προέκυψε και επιβεβαιώθηκε το πρόβλημα της κακής διαχείρισης του γεωργικού εξοπλισμού. Τα δύο κύρια αίτια που διαμορφώνουν αυτή την κατάσταση είναι ο απαρχαιωμένος στόλος και η λανθασμένη διαχείριση του. Η λανθασμένη διαχείριση οφείλεται κυρίως στις λίγες ώρες εργασίας του εξοπλισμού και στην αρνητική αντίληψη για την ενοικίαση των μηχανημάτων που θα αξιοποιούσε σε μεγαλύτερο βαθμό τον ήδη υπάρχοντα στόλο. Ακόμη, σε θέματα επιλογής και αγοράς μηχανημάτων, κριτήρια που επιδρούν στο κόστος παραγωγής άμεσα όπως κατανάλωση και συντήρηση δεν συνυπολογίζονται σημαντικά από τους παραγωγούς και αυτό φανερώνει ξανά της αδυναμία ορθής διαχείρισης. Το αγροτικό δυναμικό της χώρας ωστόσο έχει ανάγκη και επιζητά την ενημέρωση με σεμινάρια και έτσι είναι ένας καλός τρόπος για να μεταδοθούν στον παραγωγό γνώσεις διαχείρισης και τεχνολογίας. Επίσης, οι παραγωγοί έδειξαν ότι θα ανταποκρινόντουσαν σε πρόγραμμα χρηματοδότησης για αγορά νέου ελκυστήρα και έτσι και αυτό θα ήταν μια ευκαιρία να καταρτιστεί ένα πρόγραμμα απόσυρσης και ανανέωσης του στόλου. Ωστόσο, η ενημέρωση σε θέματα διαχείρισης πρέπει να προηγείται για να καταλήξουν οι παραγωγοί σε πιο ορθολογικές επιλογές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- Παστόπουλος Σ., Φουντάς Σ, Γέμτος Θ..2008. *Έρευνα Πεδίου διαχείρισης Γεωργικού Εξοπλισμού*. 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, Οκτώβριος 2009, Θεσσαλονίκη
- Γέμτος Θ.Α., Ν. Μπλάνας, Αθ. Νικάκης, Ε. Εξάρχου (1998) *Σύνθεση του Γεωργικού Εξοπλισμού Γεωργικών Εκμεταλλεύσεων του Ν. Λαρίσης και Στοιχεία Αξιοποίησής του: Μελέτη σε Γεωργικές Εκμεταλλεύσεις που εντάχθηκαν στο Κανονισμό 797/85*. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, τόμος 9 (2), 20-31.
- Βεντούρης Ν., Τσακανίκας Α..2011. *Αγροτικά Μηχανήματα και Ανταγωνιστικότητα του Πρωτογενούς τομέα*. IOBE. Αθήνα
- Τσατσαρέλης, Κ., 2006. *Διαχείριση γεωργικών μηχανημάτων*. Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
- Εθνική Στατιστική Υπηρεσία, 2007. *Διάρθρωση Γεωργικών-Κτηνοτροφικών Εκμεταλλεύσεων*. Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας και Οικονομικών.
- Food and Agriculture Organization – FAO, 2006. *Agricultural Statistics*. www.fao.org

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ, ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΤΗΝ ΣΥΝΤΗΞΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ

Δ. Κατέρης¹, Δ. Μόσχου¹, Ι. Γράβαλος², Ν. Sawalhi³, Θ. Γιαλαμάς²,
Π. Ξυραδάκης², Ζ. Τσιρόπουλος²

¹Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονική Σχολή,
Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη, dkateris@agro.auth.gr

²Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τεχνολογικό
Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας (Τ.Ε.Ι. Λ), 41110, Λάρισα

³School of Mechanical and Manufacturing Engineering, University of New South Wales,
Sydney 2052, Australia.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ρουλεμάν αποτελούν ουσιώδες τμήμα των μηχανικών υποσυστημάτων των γεωργικών μηχανημάτων και τα σφάλματά τους είναι μία από τις πιο συχνές αιτίες βλαβών στις μηχανές. Επομένως, προκειμένου να αυξηθεί η αξιοπιστία και να μειωθεί η απώλεια της παραγωγής, η παρακολούθηση της κατάστασης των ρουλεμάν έχει γίνει όλο και πιο σημαντική τα τελευταία χρόνια. Η ανάλυση των δονήσεων βασίζεται στις μετρήσεις που λαμβάνονται από επιταχυνσιόμετρα σε ρουλεμάν προκειμένου να εκτιμηθεί η κατάσταση τους. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει ένα διαγνωστικό σύστημα βασισμένο σε ένα νευρωνικό δίκτυο για τον έλεγχο της τοπολογίας των εκτεταμένων σφαλμάτων στα ρουλεμάν. Ένα πολυστρωματικό νευρωνικό δίκτυο (MLP-ARD), χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση συντηγμένων δεδομένων τα οποία ελήφθησαν από επιταχυνσιόμετρα.

Λέξεις κλειδιά: ρουλεμάν, δονήσεις, νευρωνικά δίκτυα, σύντηξη αισθητήρων.

CONDITION MONITORING OF MECHANICAL SUBSYSTEMS OF AGRICULTURAL VEHICLES BASED ON FUSION OF VIBRATION FEATURES

D. Kateris¹, D. Moshou¹, I. Gravalos², N. Sawalhi³, Th. Gialamas²,
P. Xyradakis², Z. Tsiropoulos²

¹ Department of Hydraulics Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture,
Aristotle University, 54124, Thessaloniki, dkateris@agro.auth.gr

²Technological Educational Institute of Larissa, School of Agricultural Technology,
Department of Biosystems Engineering, Larissa 41110, Greece

³School of Mechanical and Manufacturing Engineering, University of New South
Wales, Sydney 2052, Australia.

ABSTRACT

Bearings form an essential part of the mechanical subsystems of agricultural machinery and their failure is one of the most common causes of machine breakdowns. Accordingly, in order to increase reliability and reduce loss of production, condition monitoring of bearings has become more and more important in recent years. The use of vibration signals is quite common in the field of condition monitoring and fault diagnosis of bearings. Vibration analysis is based on the use of acceleration measurements from bearings in order to assess their health status. The presented work presents a neural network based diagnostic system for monitoring the topology of extended faults in bearings. A Multilayer Perceptron (MLP-ARD) has been used to map time series of feature data produced by acceleration sensors.

Key words: bearings, vibrations, neural networks, sensor fusion.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

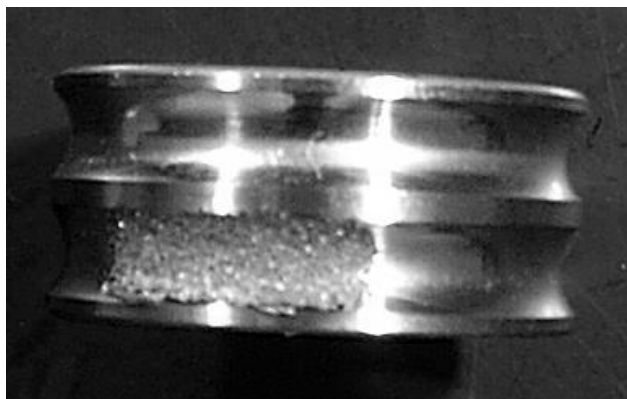
Σήμερα στην βιομηχανία χρησιμοποιούνται εξαιρετικά περίπλοκες περιστροφικές μηχανές, μερικές εκ των οποίων διαθέτουν υψηλά κριτήρια επιδόσεων. Συνεπώς, η αύξηση της αξιοπιστίας και η μείωση των απωλειών της παραγωγής με τη χρήση συστημάτων ελέγχου κατάστασης των ρουλεμάν, γίνονται όλο και πιο σημαντικές τα τελευταία χρόνια.

Τα ρουλεμάν αποτελούν τα πιο βασικά στοιχεία των περιστροφικών μηχανημάτων και παίζουν τον πιο σημαντικό ρόλο στις βιομηχανικές εφαρμογές. Η εμφάνιση σφαλμάτων κατά τη διάρκεια λειτουργία τους, μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη ολόκληρης της μηχανής, με συνέπεια προγραμματίστες διακοπές της παραγωγής και κατ' επέκταση οικονομικές ζημιές.

Τα ρουλεμάν συχνά εμφανίζουν σφάλματα λόγω των σημειακών και εκτεταμένων αλλοιώσεων τόσο στις σφαίρες τους όσο και στον εσωτερικό ή εξωτερικό δακτύλιο. Η διάγνωση σφαλμάτων σε αυτά τα συστήματα είναι συνήθως δύσκολο και επίπονο έργο τόσο για τους χειριστές όσο και για τους συντηρητές τους. Η μηχανική βλάβη μπορεί να οδηγήσει σε οικονομικές απώλειες και προβλήματα ασφάλειας καθώς και σε απρόσμενες και ξαφνικές διακοπές της παραγωγής. Στις περιστροφικές μηχανές η κύρια αιτία σφαλμάτων είναι συχνά τα ελαττωματικά ρουλεμάν. Ένας τρόπος για να αυξηθεί η λειτουργική αξιοπιστία και συνεπώς η διαθεσιμότητα του μηχανήματος είναι ο έλεγχος κατάστασης αυτών των ρουλεμάν.

Ως εκ τούτου, για να αυξηθεί η αξιοπιστία και να μειωθεί η απώλεια της παραγωγής, ο έλεγχος κατάστασης στα ρουλεμάν γίνεται όλο και πιο σημαντική παράμετρος τα τελευταία χρόνια. Η χρήση σημάτων δόνησης είναι αρκετά καθιερωμένη στα πεδία τόσο του ελέγχου κατάστασης όσο και της διάγνωσης σφαλμάτων στα ρουλεμάν (Xu et al., 2009). Προκειμένου να διερευνηθούν πρωτογενή σήματα δονήσεων μια μεγάλη ποικιλία από τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο βασικές ομάδες: στην κλασική επεξεργασία σήματος (McFadden and Smith, 1984) και στα ευφυή συστήματα (Paya et al., 1997).

Η χρήση των σημάτων δόνησης είναι αρκετά κοινή στο πεδίο του ελέγχου κατάστασης των περιστροφικών μηχανών. Συγκρίνοντας τα σήματα που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια λειτουργίας μιας μηχανής κάτω από φυσιολογικές και ελαττωματικές συνθήκες, ανιχνεύτηκαν σφάλματα όπως, προβλήματα ζυγοστάθμισης, αλλοιώσεις του ρότορα λόγω τριβής, αξονική μετατόπιση, σφάλματα γραναζιών και ελαττωματικά ρουλεμάν (Samanta et al., 2003). Αυτά τα σήματα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη ανίχνευση σφαλμάτων στα στοιχεία των μηχανών με την χρήση συστημάτων ελέγχου κατάστασης σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση αυτή μειώνει την πιθανότητα καταστροφικών βλαβών λόγω έγκαιρης επέμβασης και συνεπώς την απώλεια χρόνου εξαιτίας αυτών.



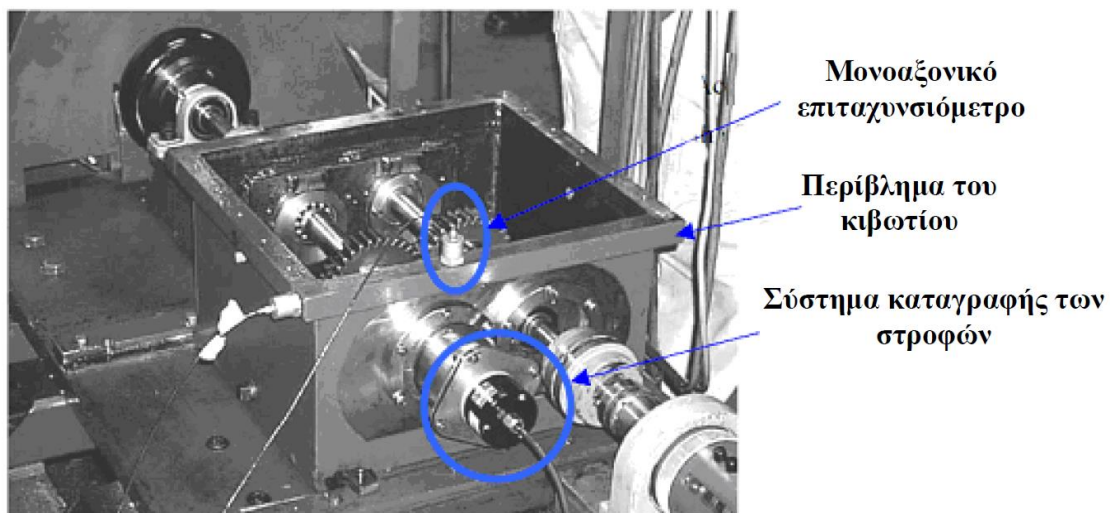
Σχήμα 1. Παράδειγμα εκτεταμένης φθοράς στον εσωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν.

Η διαδικασία διάγνωσης της βλάβης ξεκινάει με τη λήψη των δεδομένων, ακολουθεί η εξαγωγή των χαρακτηριστικών, η ανίχνευσή της βλάβης και η ταυτοποίηση αυτής. Η εξαγωγή χαρακτηριστικών είναι ένα κρίσιμο σημείο για την επιτυχία της διαδικασίας διάγνωσης. Εκτεταμένες αλλοιώσεις στον εσωτερικό και εξωτερικό δακτύλιο είναι αρκετά συχνές σε ρουλεμάν (Σχήμα1).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση ενός διαγνωστικού συστήματος βασισμένο σε ένα νευρωνικό δίκτυο για τον έλεγχο της τοπολογίας των εκτεταμένων σφαλμάτων στα ρουλεμάν. Ένα πολυστρωματικό νευρωνικό δίκτυο (MLP-ARD), χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση συντηγμένων δεδομένων τα οποία λαμβάνονται από επιταχυνσιόμετρα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ένα εργαστηριακό κιβώτιο στο οποίο ελήφθησαν σήματα προσομοιώνοντας διαφορετικού τύπου βλάβες. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι θέσεις στις οποίες τοποθετήθηκαν τα επαχυνσιόμετρα και το σύστημα καταγραφής των στροφών στον άξονα εξόδου. Πραγματοποιήθηκε συλλογή σημάτων από δύο μονοαξονικά επιταχυνσιόμετρα τα οποία ήταν τοποθετημένα στο περίβλημα του κιβωτίου, επάνω από το ελαττωματικό ρουλεμάν (κατακόρυφο επιταχυνσιόμετρο) και στο πλάγιο μέρος αντίστοιχα (οριζόντιο επιταχυνσιόμετρο). Δοκιμάστηκαν δύο τύποι σφαλμάτων στο ρουλεμάν στο οποίο ελήφθησαν οι μετρήσεις. Προσομοιώθηκε ρωγμή στον εσωτερικό και εξωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν με φορτίο στον άξονα εξόδου 50 Nm και με ταχύτητα περιστροφής 10 Hz (600 rpm). Ελήφθησαν σήματα διάρκειας 1,35 δευτερολέπτων (65536 σημεία) με συχνότητα δειγματοληψίας 48 kHz. Ένας φωτοανακλαστικός αισθητήρας ήταν τοποθετημένος κοντά στο άξονα εξόδου του κιβωτίου για την μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής του παρέχοντας ένα σήμα ταχομέτρου. Η ροπή στρέψης για κάθε περίπτωση μετρήθηκε στον άξονα εισόδου του κιβωτίου (Sawalhi, 2007).



Σχήμα 2. Η εργαστηριακή πειραματική διάταξη στις οποία ελήφθησαν οι μετρήσεις.

Για τα πειράματα της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένα πολυστρωματικό νευρωνικό δίκτυο (MLP-ARD) με ένα κρυφό επίπεδο το οποίο είχε 20 νευρώνες. Ένα μέρος των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ως επαλήθευση για τον έλεγχο της απόδοσης του νευρωνικού δικτύου. Συγκεκριμένα για να δοκιμαστεί η αποτελεσματικότητα του MLP-ARD, το 75% των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση του, ενώ το 25% για να δοκιμαστεί η απόδοση του. Στην εφαρμογή χρησιμοποίησε το Neural Net Matlab Toolbox (MathWorks). Ο αριθμός των νευρώνων στο επίπεδο εισόδου ήταν ίσος με τον αριθμό των χαρακτηριστικών που επιλέχθηκαν.

2.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Ένα σήμα δόνησης αποτελείται από τρία μέρη, τη στάσιμη δόνηση, την τυχαία δόνηση και τον θόρυβο. Για να διερευνηθούν τα πρωτεύοντα σήματα δονήσεων, μια μεγάλη ποικιλία από τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί. Οι τεχνικές αυτές θα μπορούσαν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες: α) στην κλασική επεξεργασία σήματος και β) στα ευφυή συστήματα. Στην κατηγορία των κλασσικών μεθόδων επεξεργασίας σήματος ανήκει ο μετασχηματισμός Fourier (FFT), η κατανομή Wigner–Ville, η μέθοδος των κυματιδίων (wavelets), η μέθοδος του τυφλού διαχωρισμού πηγής (blind source separation), η στατιστική ανάλυση του σήματος (statistical signal analysis) καθώς και ο συνδυασμός τους. Στην κατηγορία των ευφύων συστημάτων ανήκουν τα Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks), οι γενετικοί αλγόριθμοι (Genetic algorithms), η ασαφής λογική (Fuzzy logic), έμπειρα συστήματα (Expert systems) και οι υβριδικοί αλγόριθμοι (Hybrid algorithms). Στις μέρες μας οι βιομηχανικές εφαρμογές των ευφύων συστημάτων παρακολούθησης έχουν αυξηθεί λόγω της προόδου των ευφύων συστημάτων.

Η εξαγωγή χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας επτά χαρακτηριστικές. Οι πρώτες έξι χαρακτηριστικές οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί και από τους Lei et al., (2009) είναι: Kurtosis, Skewness, Crest, Clearance, Shape και Impulse Indicators. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται και μια νέα χαρακτηριστική η οποία προκύπτει από το γραμμικό ολοκλήρωμα του σήματος που ελήφθη από τα επιταχυνσιόμετρα. Όλες οι χρησιμοποιούμενες χαρακτηριστικές παρέχουν στατιστικές πληροφορίες σχετικά με τη φύση των δεδομένων, και διαπιστώθηκε ότι ήταν αρκετά καλές για την ανίχνευση σφαλμάτων.

Οι πρώτες έξι χαρακτηριστικές δίνονται από τις εξισώσεις που ακολουθούν:

$$Kurtosis = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^4}{N\sigma_x^4} \quad (1)$$

$$Skewness = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^3}{N\sigma_x^3} \quad (2)$$

$$Crest\ Indicator = \frac{\max |x_i|}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i)^2}} \quad (3)$$

$$\text{Clearance Indicator} = \frac{\max |x_i|}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{|x_i|} \right)^2} \quad (4)$$

$$\text{Shape Indicator} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i)^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i|} \quad (5)$$

$$\text{Impulse Indicator} = \frac{\max |x_i|}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i|}} \quad (6)$$

όπου μ_x και σ_x η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση αντίστοιχα.

Η νέα χαρακτηριστική Line Integral για το κινούμενο παράθυρο των N σημείων του σήματος δίνεται από την σχέση (7):

$$\begin{aligned} LI &= \int_a^b ds \approx \sum_{i=1}^N \|\vec{r}(t_i + T_s) - \vec{r}(t_i)\| = \sum_{i=1}^N \sqrt{(x(t_i + T_s) - x(t_i))^2 + T_s^2} \\ &\approx \sum_{i=1}^N |x(t_i + T_s) - x(t_i)| \end{aligned} \quad (7)$$

όπου: N είναι ο αριθμός των σημείων δειγματοληψίας (ίσος με το 500) στο παράθυρο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της Kurtosis, των άλλων χαρακτηριστικών και της νέας προτεινόμενης χαρακτηριστικής Line Integral ενώ T_s είναι το διάστημα της δειγματοληψίας. Δεδομένης της υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας των 48 kHz και της κυριαρχίας του σήματος από υψηλές συχνότητες (κυρίως λόγω της παρουσίας των βλαβών), η τελική προσέγγιση περιέχει μόνο τιμές επιτάχυνσης. Στη συνέχεια τα διανύσματα των χαρακτηριστικών τροφοδοτούν το νευρωνικό δίκτυο MLP-ARD (Multilayer Perceptron Model σε συνδυασμό με την μέθοδο Automatic Relevance Determination) για εκπαίδευση.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα σενάρια που δοκιμάστηκαν περιλάμβαναν την εκτέλεση του νευρωνικού δικτύου με διαφορετικό αριθμό νευρώνων στο κρυφό επίπεδο, 14 εισόδους (χαρακτηριστικές) και τρεις εξόδους (υγιής κατάσταση – σφάλμα στον εσωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν – σφάλμα στον εξωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν). Ο αριθμός των νευρώνων κυμάνθηκε από 5 έως 25 ανά 5 (5,10,15,20,25 νευρώνες ανά σενάριο). Καλύτερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν στην περίπτωση που το κρυφό επίπεδο του νευρωνικού δικτύου χρησιμοποιούσε 20 νευρώνες.

Τα κρυμμένα επίπεδα και το επίπεδο εξόδου του MLP-ARD είχαν σιγμοειδή νευρώνες. Ο αλγόριθμος εκπαίδευσης έχει το πλεονέκτημα να μην χρειάζεται υπερβολική εκπαίδευση κάτι που βελτίωσε σημαντικά την απόδοση του δικτύου. Η προσθήκη περισσότερων νευρώνων στο κρυφό επίπεδο δεν βελτίωσε το αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας τον συγκεκριμένο αλγόριθμο εκπαίδευσης, επειδή τα βάρη που δεν χρησιμοποιήθηκαν παρέμεναν μικρά με αποτέλεσμα οι επιπλέον κρυφοί νευρώνες να

καθίσταντο ανενεργοί. Ως εκ τούτου, η προτιμώμενη διαμόρφωση του νευρωνικού δικτύου ήταν αυτή με τη χαμηλότερη πολυπλοκότητα η οποία δεν έθετε σε κίνδυνο τις επιδόσεις του δικτύου.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι επτά χαρακτηριστικές του ίδιου τύπου για κάθε επιταχυνσιόμετρο, σύμφωνα με σειρά παρουσίασης στο νευρωνικό δίκτυο MLP-ARD. Η ίδια διάταξη χρησιμοποιήθηκε και για το οριζόντιο επιταχυνσιόμετρο, προκειμένου να δημιουργηθεί το διάνυσμα της σύντηξης. Η προσέγγιση με τη μέθοδο της σύντηξης δεδομένων συνδυάζει δεδομένα από πολλαπλούς αισθητήρες (και τις συναφείς βάσεις δεδομένων ανάλογα με την περίπτωση) για να επιτευχθεί βελτίωση της ακρίβειάς τους και πιο συγκεκριμένα για να εξαχθούν συμπεράσματα που δεν μπορούσαν να εξαχθούν με τη χρήση ενός μόνο αισθητήρα (Hall, 1992).

Πίνακας 1. Οι επτά χαρακτηριστικές για κάθε επιταχυνσιόμετρο όπως παρουσιάστηκαν στο νευρωνικό δίκτυο MLP-ARD.

1	2	3	4	5	6	7
Kurtosis	Line integral	Crest	Clearance	Shape	Impact	Skewness

Η σύντηξης των 14 χαρακτηριστικών της δόνηση τόσο από το κατακόρυφο όσο και από το οριζόντιο επιταχυνσιόμετρο, λόγω του συμπληρωματικού χαρακτήρα της, είχε ως αποτέλεσμα έναν πιο ακριβή διαχωρισμό των κλάσεων όσον αφορά το σημείο της βλάβης όπως αυτό φαίνεται στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους πίνακες 2 έως 4 οι οποίοι δείχνουν την ανωτερότητα της σύντηξης.

Πίνακας 2. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης των σφαλμάτων ανάλογα με τη θέση τους, χρησιμοποιώντας κάθετο επιταχυνσιόμετρο.
(Για τον έλεγχο χρησιμοποιήθηκε το 25% των δεδομένων)

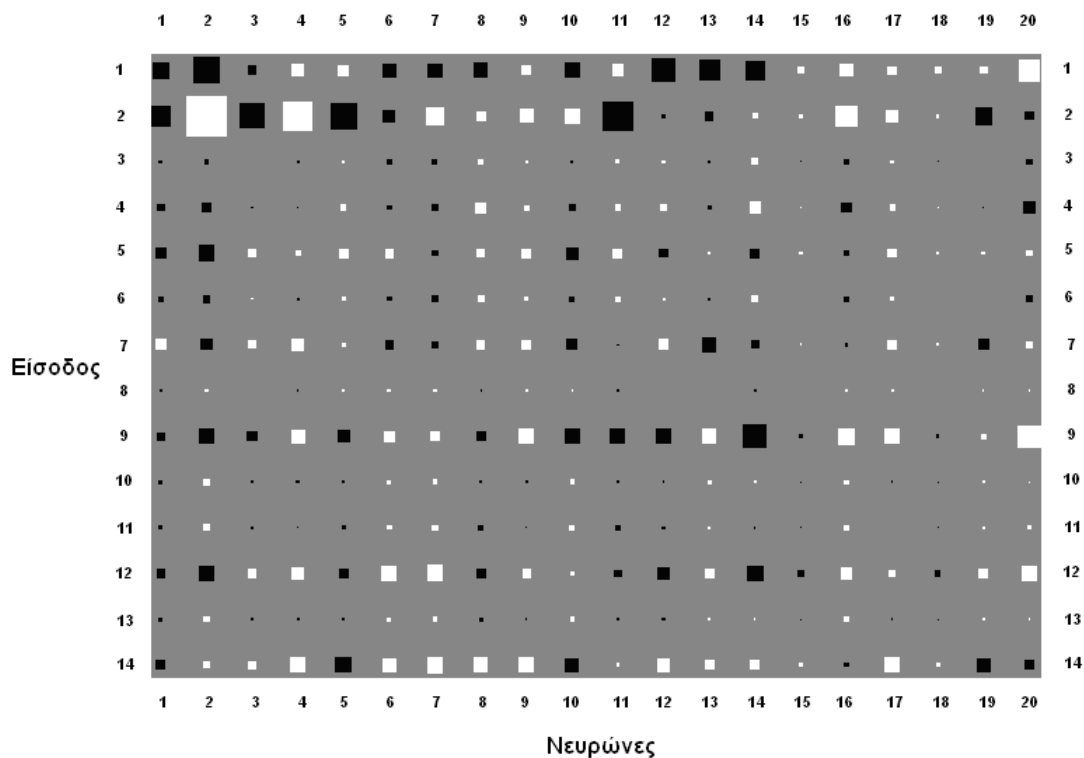
Κατακόρυφος άξονας (% σωστή εκτίμηση κατηγορίας σφάλματος από νευρωνικό δίκτυο)			
Πραγματική βλάβη	Υγιές ρουλεμάν κατά MLP-ARD	Εσωτερικός δακτύλιος κατά MLP-ARD	Εξωτερικός δακτύλιος κατά MLP-ARD
Υγιές ρουλεμάν	100	0	0
Εσωτερικός δακτύλιος	0,3922	97,2549	2,3529
Εξωτερικός δακτύλιος	0,3922	1,9608	97,6471

Πίνακας 3. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης των σφαλμάτων ανάλογα με τη θέση τους, χρησιμοποιώντας το οριζόντιο επιταχυνσιόμετρο.
(Για τον έλεγχο χρησιμοποιήθηκε το 25% των δεδομένων)

Οριζόντιος άξονας (% σωστή εκτίμηση κατηγορίας σφάλματος από νευρωνικό δίκτυο)			
Πραγματική βλάβη	Υγιές ρουλεμάν κατά MLP-ARD	Εσωτερικός δακτύλιος κατά MLP-ARD	Εξωτερικός δακτύλιος κατά MLP-ARD
Υγιές ρουλεμάν	85,8824	13,7255	0,3922
Εσωτερικός δακτύλιος	10,1961	89,0196	0,7843
Εξωτερικός δακτύλιος	0,3922	0,7843	98,8235

Πίνακας 4. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης των σφαλμάτων ανάλογα με τη θέση τους χρησιμοποιώντας το κατακόρυφο και το οριζόντιο επιταχυνσιόμετρο.
(Για τον έλεγχο χρησιμοποιήθηκε το 25% των δεδομένων)

Σύντηξη (% σωστή εκτίμηση κατηγορίας σφάλματος από νευρωνικό δίκτυο)			
Πραγματική βλάβη	Υγιές ρουλεμάν κατά MLP-ARD	Εσωτερικός δακτύλιος κατά MLP-ARD	Εξωτερικός δακτύλιος κατά MLP-ARD
Υγιές ρουλεμάν	100	0	0
Εσωτερικός δακτύλιος	0,3922	99,6078	0
Εξωτερικός δακτύλιος	0	0	100



Σχήμα 3. Το διάγραμμα Hinton δείχνει τις τιμές των βαρών τα οποία συνδέουν τις χαρακτηριστικές των δονήσεων και τους κριμένους νευρώνες. Με λευκό χρώμα αποτυπώνεται το θετικό βάρος ενώ με μαύρο το αρνητικό.

Η σημασία της κάθε χαρακτηριστικής μπορεί να προσδιοριστεί ποιοτικά με τη βοήθεια ενός διαγράμματος Hinton στο οποίο παρουσιάζονται οι τιμές των βαρών (Σχήμα 3). Η συνεισφορά της Kurtosis και του Line Integral για το κατακόρυφο επιταχυνσιόμετρο (χαρακτηριστικές 1 and 2) και του Line Integral για το οριζόντιο (χαρακτηριστική 9) είναι σημαντική σε σύγκριση με τις άλλες χαρακτηριστικές. Επίσης, η Shape Indicator και η Skewness και των δύο επιταχυνσιόμετρων (χαρακτηριστικές 5, 7, και 12, 14) συμβάλουν στη διέγερση των κρυφών νευρώνων και στη συνέχεια στην προκύπτουσα ταξινόμηση. Συνολικά, η Line Integral δείχνει την μεγαλύτερη συμβολή και για τα δύο επιταχυνσιόμετρα ενώ το είδος της συμβολής είναι διαφορετικό για κάθε επιταχυνσιόμετρο δείχνοντας ένα συμπληρωματικό στοιχείο δόνησης για κάθε διεύθυνση.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχει αποδειχθεί ότι το νευρωνικό δίκτυο MLP-ARD μπορεί να εκτελέσει δεδομένα επιταχυνσιόμετρων μετά από σύντηξη, συνδυάζοντας τις χαρακτηριστικές των δονήσεων. Οι χαρακτηριστικές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για την ανίχνευσή σφαλμάτων σε ρουλεμάν όσο και για τον προσδιορισμό του σημείου στο οποίο εμφανίζεται το σφάλμα. Συνεπώς μπορούν να αποβούν ένα ισχυρό εργαλείο για την παρακολούθησης της κατάστασης των ρουλεμάν. Διαφορετικά σφάλματα σε ρουλεμάν μπορούν να ανιχνευτούν με μεγάλη ακρίβεια, είτε χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που προσφέρουν συλλογικά αρκετές χαρακτηριστικές είτε με την σύντηξη των δεδομένων από διαφορετικούς αισθητήρες πράγμα που μπορεί να μην είναι εφικτό επεξεργάζοντας τα δεδομένα με τη βοήθεια άλλων τεχνικών. Η χρήση της Kurtosis και της νέο-προτεινομένης χαρακτηριστικής Line Integral δίνει υποσχόμενα αποτελέσματα στην ανίχνευσή της θέσεως των σφαλμάτων σε ρουλεμάν. Η εξαγωγή των χαρακτηριστικών μετά από την σύντηξη των σημάτων που λαμβάνονται από τα επιταχυνσιόμετρα στον κατακόρυφο και τον οριζόντιο άξονα αυξάνει την ακρίβεια της ανίχνευσης του σφάλματος φτάνοντας σε ποσοστό 99% για διαφορετικούς τύπους βλαβών. Το αποτέλεσμα αυτό αποτελεί μια σημαντική αύξηση της απόδοσης του συστήματος τουλάχιστον κατά 10% σε ορισμένα τύπους βλαβών. Έχει προγραμματιστεί η έρευνα επάνω στο αντικείμενο αυτό να επεκταθεί ούτως ώστε να περιλαμβάνει περισσότερα δεδομένα από διαφορετικούς αισθητήρες, διαφορετικές χαρακτηριστικές και μεγέθη σφαλμάτων σε ρουλεμάν κιβωτίων σχέσεων ή σε άλλους μηχανισμούς.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Hall, D. L., 1992. *Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion*, Artech House, UK.
- Lei, Y., He, Z., Zi, Y., 2009. *Application of an intelligent classification method to mechanical fault diagnosis*. *Expert Systems and Applications* [36], 9941-9948.
- McFadden, P. D., Smith, J. D., 1984. *Vibration monitoring of rolling element bearings by the high-frequency resonance technique – A review*. *Tribology International* [17(1)], 3–10.
- Paya, B. A., Esat, I. I., Badi, M. N. M., 1997. *Artificial neural network based fault diagnostics of rotating machinery using wavelet transforms as a preprocessor*. *Mechanical Systems and Signal Processing* [11(5)], 751–765.
- Samanta, B., Al-Balushi, K.R., Al-Araimi, S.A., 2003. *Artificial neural networks and support vector machines with genetic algorithm for bearing fault detection*. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* [16], 657-665.
- Sawalhi, N., 2007. *Diagnostics, Prognostics and Fault Simulation for Rolling Element Bearings*, PhD Thesis, University of New South Wales, Australia.
- Xu, Z., Xuan, J., Shi, T., Wu, B., Hu, Y., 2009. *Application of a modified fuzzy ARTMAP with feature-weight learning for the fault diagnosis of bearing*. *Expert Systems with Applications* [36], 9961-9968.

ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΙΟΝΕΚΤΟΥΣΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Αγγελική Στεφοπούλου¹ και Δαμιανός Δαμιανάκος²

¹Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής

Ιερά Οδός 75, 118 55, Τηλ. 210-5294074

²Università degli studi di Parma

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία αποτελεί μέρος της Δράσης COST C27 με τίτλο “Sustainable development policies for minor deprived urban communities”. Στόχος της δράσης ήταν να ερευνήσει, να αξιολογήσει και να βελτιώσει τις διάφορες πολιτικές επιλογές που απευθύνονται στις μειονεκτούσες κοινότητες των χωρών που συμμετείχαν (Βέλγιο, Δανία, Ελβετία, Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία, Κύπρος, Λετονία, Νορβηγία, Ουγγαρία, Πολωνία, Πορτογαλία, Σουηδία, Τουρκία, Τσεχία, Φινλανδία) και σχετίζονται με την αειφόρο ανάπτυξη.

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η εφαρμογή μιας κοινής μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό και την περιγραφή της έννοιας «μειονεκτούσες κοινότητες» (deprived communities). Μεταξύ των επιμέρους στόχων ήταν η εφαρμογή της κοινής μεθοδολογίας στο πλαίσιο διαφορετικών εθνικών αλλά και τοπικών ιδιαιτεροτήτων. Βάσει της μεθοδολογίας αυτής και άλλων παραγόντων επιλέχθηκαν οι περιοχές μελέτης για την Ελλάδα, δηλαδή αντιπροσωπευτικές μειονεκτούσες περιοχές.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας στις ελληνικές συνθήκες. Παρουσιάζονται επίσης οι μειονεκτούσες περιοχές που επιλέχθηκαν τελικά για την Ελλάδα βάσει των επιμέρους δεικτών που παρουσιάζονται παρακάτω και άλλων παραγόντων.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τον προσδιορισμό των δεικτών χρησιμοποιήθηκαν τα διαθέσιμα δεδομένα των δύο τελευταίων απογραφών, και συγκεκριμένα των απογραφών που πραγματοποιήθηκαν το 1991 και το 2001.

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι μεταξύ των δύο απογραφών, πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα η διοικητική μεταρρύθμιση γνωστή με το όνομα «Καποδίστριας» (Νόμος 2539/97) που είχε ως αποτέλεσμα την ενοποίηση τοπικών κοινοτήτων σε ευρύτερες διοικητικές μονάδες.

Συνέπεια της διοικητικής μεταρρύθμισης ήταν η αλλαγή των διοικητικών ορίων στην ελληνική επικράτεια. Έτσι, δεν ήταν εφικτό να χρησιμοποιηθούν αυτούσια τα δεδομένα των δύο απογραφών και γι αυτό προηγήθηκε η ανάλυσή τους και η επεξεργασία τους ώστε να αφορούν τις ίδιες γεωγραφικές περιοχές και να χρησιμοποιηθούν τελικά για τον προσδιορισμό των επιμέρους δεικτών (Stefopoulou and Damianakos, 2008).

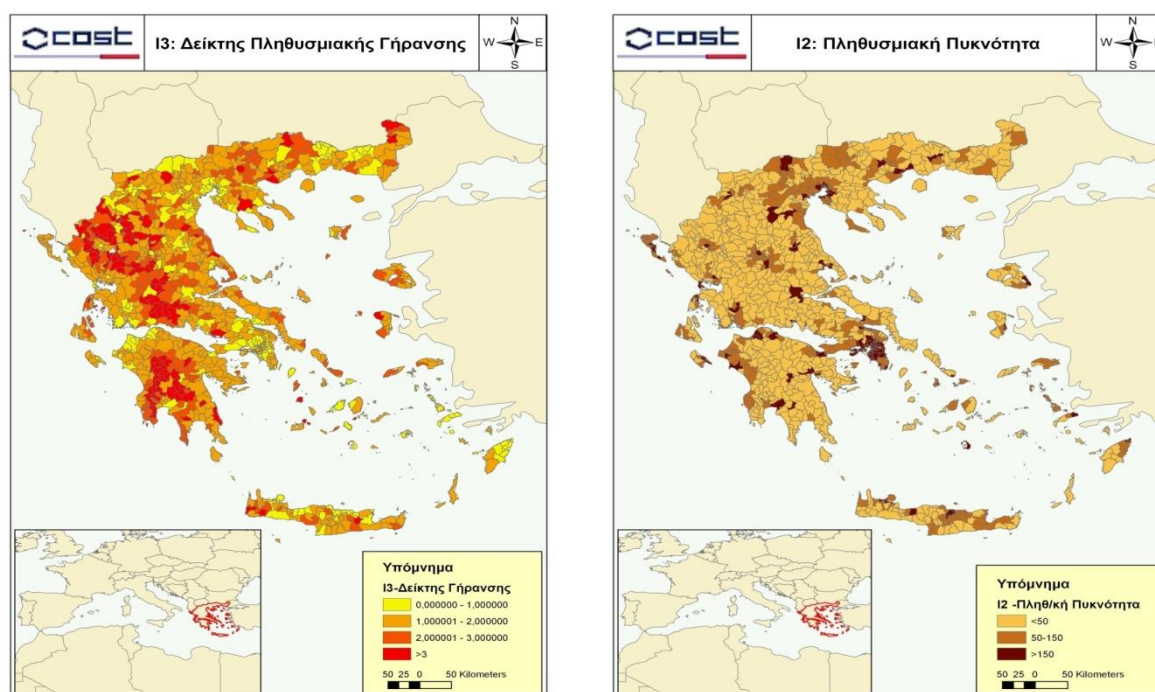
Στη συνέχεια περιγράφονται οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν και οι ταξινόμηση της χώρας με βάση τους δείκτες αυτούς:

Πληθυσμιακή Πυκνότητα (I2): Είναι το πηλίκο του πληθυσμού P προς την έκταση E που καταλαμβάνει η διοικητική περιοχή.

$$I2 = \frac{P}{E} \text{ [κάτοικοι/km}^2\text{]} \quad (1)$$

Δείκτης πληθυσμιακής γήρανσης (I3): Ορίζεται από το πηλίκο του πληθυσμού άνω των 65 ετών προς τον πληθυσμό κάτω των 15 ετών.

$$I3 = \frac{P_{>65\epsilon\tau}}{P_{<15\epsilon\tau}} \quad (2)$$



Εικόνα 1: Γεωγραφική απεικόνιση του δείκτη πληθυσμιακής γήρανσης και του δείκτη πληθυσμιακής πυκνότητας

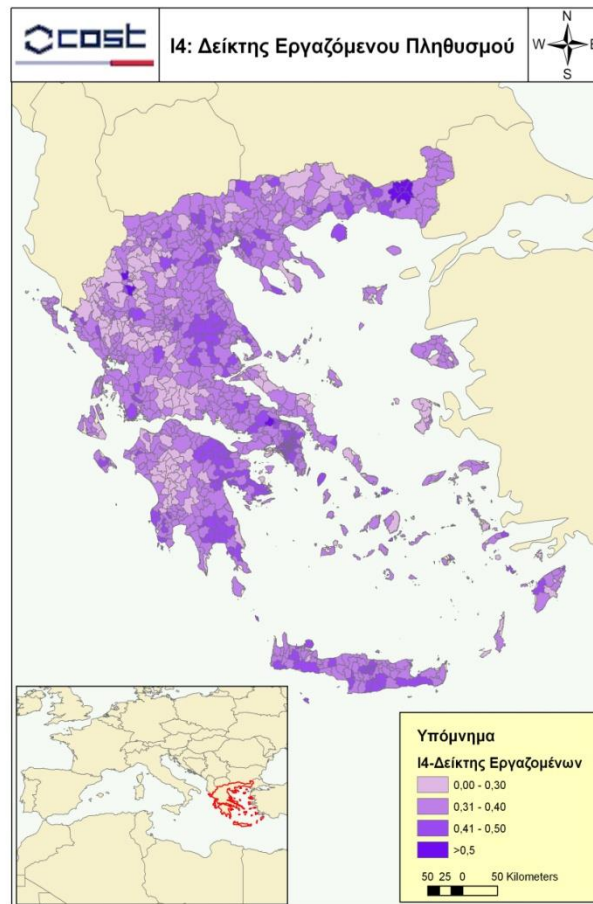
Δείκτης εργαζόμενου πληθυσμού (I4): Ορίζεται από το πηλίκο του εργαζόμενου πληθυσμού προς το συνολικό πληθυσμό.

$$I4 = \frac{P_{\text{εργαζόμενα}}}{P_{\text{σύνολο}}} \quad (3)$$

Βασιζόμενοι στην ταξινόμηση βάσει των δεικτών που περιγράφονται παραπάνω, αλλά και άλλων παραγόντων όπως είναι η διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων, η ιστορική εξέλιξη, το ποσοστό μόνιμης μετανάστευσης ή προσωρινής μετανάστευσης του πληθυσμού, και η εισροή κονδυλίων από εθνικούς ή ευρωπαϊκούς πόρους, επιλέχθηκαν τρεις αντιπροσωπευτικές περιοχές μελέτης (Karantounias and Damianakos, 2006):

Μάνη/Πελοπόννησος: Οι περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής αυτής καθώς και η γεωμορφολογία της συνθέτουν έναν ιδιαίτερο χαρακτήρα και δυσχεραίνουν την παραμονή του μόνιμου πληθυσμού. Οι βασικότεροι παράγοντες που συντελούν σ' αυτό είναι η ανεπάρκεια φυσικών πόρων (νερού και φυσικής βλάστησης). Επιπλέον το κλίμα και η γεωμορφολογία της περιοχής δυσχεραίνουν τις

καλλιεργητικές πρακτικές και αποτελούν έναν ακόμα λόγω εγκατάλειψης της περιοχής.



Εικόνα 2: Γεωγραφική κατανομή του δείκτη εργαζόμενου

Ζαγόρια-Βίκος-Αώος/Ηπειρος: Πρόκειται για ορεινές περιοχές με πλούσια δασική βλάστηση. Η έντονη εσωτερική αλλά εξωτερική μετανάστευση του τοπικού πληθυσμού από τη δεκαετία του '50 και μετά οδήγησε την περιοχή σε μια περίοδο βαθιάς ύφεσης. Τελευταία, η αύξηση του οικο-τουρισμού στην περιοχή αυτή έχει αναστρέψει το κλίμα στην περιοχή βελτιώνοντας σημαντικά το κατά κεφαλήν εισόδημα των κατοίκων.

Λαύριο-Σούνιο/Αττική: Οι περιοχές αυτές αποτελούσαν το μεταλλευτικό κέντρο της αρχαίας Αθήνας. Τα μεταλλεία του Λαυρίου εγκαταλείφθηκαν από τον 5ο αιώνα ΜΧ έως το 1865. Από το 1980 και μετά ξεκίνησε μια περίοδος παρακμής για τα μεταλλεία της περιοχής που οδήγησαν ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού να μεταναστεύσει στα μεγάλα αστικά κέντρα και κυρίως στην Αθήνα.





Εικόνα 3: Οι αντιπροσωπευτικές περιοχές μελέτης που επιλέχθηκαν τελικά (Μάνη/Πελοπόννησος, Λαύριο-Σούνιο/Αττική, Ζαγόρι-Βίκος-Αώος/Ηπειρος

Η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε στόχευε στην ταξινόμηση των επιμέρους διοικητικών μονάδων της χώρας σύμφωνα με το επίπεδο «στέρησης» (deprivation) και την επιλογή αντιπροσωπευτικών περιοχών μελέτης για την Ελλάδα.

Για να γίνει αυτό ήταν απαραίτητη η εισαγωγή ποσοτικών μεγεθών που να περιγράφουν το επίπεδο της «στέρησης» κάθε κοινότητας με αριθμητικούς και κατά συνέπεια συγκρίσιμους όρους, δηλαδή η εισαγωγή των αντίστοιχων δεικτών.

Στους παραπάνω χάρτες φαίνεται η ταξινόμηση των νομών της Ελλάδας σύμφωνα με την κανονικοποιημένη κλίμακα που ορίστηκε για τους τρεις δείκτες που εξετάστηκαν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Νόμος Καποδίστρια (2539/97). (1997), Συγκρότηση της Πρωτοβάθμιας Τοπικής Αυτοδιοίκησης, ΦΕΚ Α244/4-12-97.

Damianakos, D., Karantounias, G., Migiros, G., Argyros, N. (2008), “*The Greek case study: Mani, a peculiar area between deprivation and sustainable development*”, in: Antounes, A., (ed.), *Sustainable Development Policies for Minor Deprived Urban Communities. Problems and Opportunities*, Estudos de Engenharia Civil, Coimbra, Portugal, pp. 163 – 174.

Karantounias, G., Damianakos, D., Serelis, K., Papazoglou, E. (2011), “*An Eco-industrial and Natural Park. Lavrion City and Sounion National Park, Attica-Greece*”, in: Damianakos, D., Ventura, P., Zavrides, N. (eds.), *Minor Communities and Natural and Cultural Heritage: an Asset or a Liability?* McGrawHill, Milano, 2011, pp. 195-205, ISBN:9788838672637.

Karantounias, G., Damianakos, D. (2011), *Critical remarks on the Hellenic Case Studies*, paper presented on the Cost Action C27 International Final Conference "Sustainable Development Policies for Minor Deprived Urban Communities" Parma, 22-23 February 2011.

Stefopoulou, A. (2008), *Greek case studies selection and analysis*, *Short Term Scientific Mission Final Report*, COST C27 Young Researchers Meeting “Case study selection and analysis”, Brescia, 29-31 October 2008.

Stefopoulou, A. Damianakos, D., (2008). *The Greek case studies*, Working paper presented on the International Young Researchers Meeting “Case study selection and analysis”, COST-University of Brescia, Faculty of Engineer, Brescia, 29-31 October 2008.

Tiboni, M., Fumagalli, I., Garlanda, F. (2007), *A measure of the deprivation level in minor urban communities: a methodological approach*, in Proc. of XXVIII Conferenza AISRe - Bolzano, 26-28 September 2007

Βιο-δυλιστήρια για Αειφόρο, Αξιοπίστη και Οικονομική Παραγωγή Βιοκαυσίμων από Βιομάζα

Θ.Α. Κωτσόπουλος¹ και Γ.Γ. Μαρτζόπουλος¹

¹Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη
mkotsop@agro.auth.gr, martzopo@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι εντεινόμενες ανησυχίες για την υπερθέρμανση του πλανήτη, οι αυξανόμενες ανάγκες σε ενέργεια, η αύξηση της τιμής του πετρελαίου, η αποδοτικότερη αξιοποίηση της βιομάζας για παραγωγή βιοκαυσίμων, οδήγησαν στην διερεύνηση μιας σύνθετης καινοτόμου τεχνολογίας παραγωγής βιοκαυσίμων από βιομάζα φυτικής προέλευσης. Η καινοτόμος αυτή τεχνολογία, που ονομάζεται βιο-δύλιση, όπως και κατά τη δύλιση του αργού πετρελαίου, αξιοποιεί το σύνολο του φυτού για την παραγωγή βιοκαυσίμων και προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας (χημικών, λιπασμάτων κ.α.). Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στους κυριότερους τύπους βιο-δυλιστηρίων και αναφέρονται πιθανοί τρόποι αξιοποίησης της φυτικής βιομάζας.

Λέξεις κλειδιά: βιο-δύλιση, βιοκαύσιμα, βιώσιμη ανάπτυξη

Biorefinery for Sustainable Reliable Economical Bio-Fuel Production from Biomass

T.A. Kotsopoulos¹ and G.G. Martzopoulos¹

¹Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki 54124, Greece
mkotsop@agro.auth.gr, martzopo@agro.auth.gr

ABSTRACT

The increased concerns over global warming, the world's rise of the energy needs combined with the increasing oil prices, the even better exploitation of biomass for biofuels production, aiming to the elimination of the risk for reduced food production, led to the investigation of modern innovative technologies for a second generation biofuels production. The innovative technology, that is called bio-refinement, is similar to the crude oil refinement, but instead of oil utilizes the whole plant for the production of biofuels as well as high added value products (chemicals, fertilizers, etc.). This work describes and evaluates the main types of bio-refineries, indicating possible ways of a sustainable use of biomass.

Keywords: bio-refinery, biofuels, sustainable development

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αειφόρος ανάπτυξη, μεταξύ άλλων προϋποθέτει και τη στήριξη της οικονομίας σε ανανεώσιμους πόρους, όπως είναι η βιομάζα (Van Dam κ.α., 2005). Η ζήτηση σε τρόφιμα, σε ενέργεια και σε πρώτες ύλες θα αυξάνεται σταθερά καθώς αυξάνεται ο πληθυσμός της γης και οι υφιστάμενοι τρόποι αξιοποίησης της βιομάζας δεν επαρκούν για την κάλυψη αυτών των αναγκών. Η αύξηση της παραγωγής των βιοκαυσίμων με την υπάρχουσα τεχνολογία θεωρείται ότι θα έχει πληθωριστικό αντίκτυπο στις τιμές βασικών πρώτων υλών, όπως ο σίτος, ο αραβόσιτος, οι ελαιούχοι σπόροι, τα ζαχαρότευτλα κ.α.π. (OECD and FAO, 2010). Η καινοτόμος ολοκληρωμένη αξιοποίηση της βιομάζας, με τη βιο-διύλιση, θα ενισχύσει την αγροτική οικονομία και θα προσφέρει επενδυτικές ευκαιρίες μέσω της πράσινης ανάπτυξης. Παράλληλα θα μειωθεί η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα μειώνοντας ταυτόχρονα τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και θα αυξηθεί η παραγωγή των βιοκαυσίμων μειώνοντας σημαντικά τις επιπτώσεις στην παραγωγή των τροφίμων. Με τους παραδοσιακούς τρόπους αξιοποίησης των φυτών, ένα μέρος τους χρησίμευε είτε ως τρόφιμο είτε ως βιομηχανική πρώτη ύλη ή για την παραγωγή ενέργειας. Αντίθετα, στην περίπτωση της ολοκληρωμένης αξιοποίησης της βιομάζας με τη χρήση ενός βιο-δυλιστηρίου, το σύνολο ενός φυτού ή μιας καλλιέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα για την αειφορική παραγωγή βιοκαυσίμων, τροφίμων και χημικών εφοδίων υψηλής προστιθέμενης αξίας.

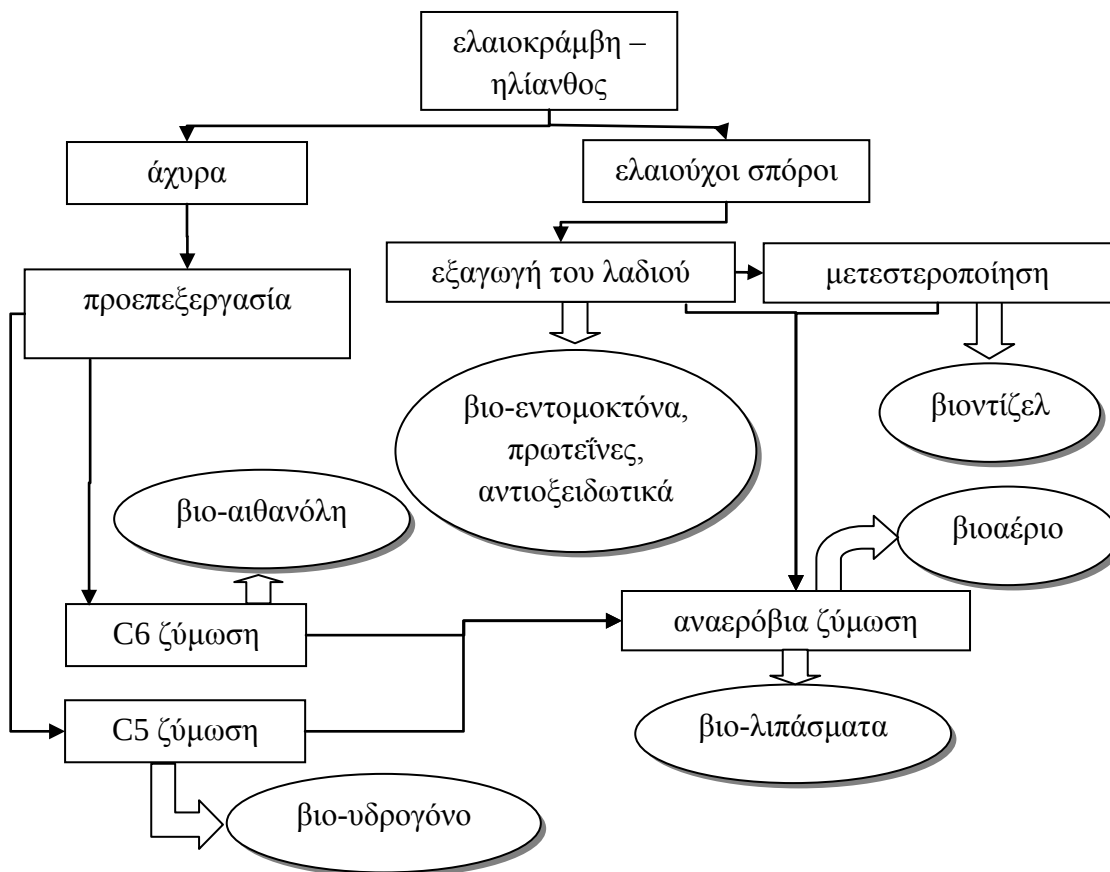
Η λειτουργία του βιο-δυλιστηρίου βασίζεται στη διύλιση της βιομάζας σε διαφορετικά προϊόντα, όπως ακριβώς συμβαίνει στα συμβατικά δυλιστήρια, με τη διαφορά ότι αντί αργού πετρελαίου χρησιμοποιείται φυτική βιομάζα (Liou κ.α., 2011). Αρχικά, ο αραβόσιτος χρησιμοποιούνταν για τον καρπό του ή για την παραγωγή ενσιρώματος, τα ελαιούχα φυτά (ηλιάνθος, ελαιοκράμβη) για την παραγωγή κραμβέλαιου ή ηλιέλαιου, το σιτάρι για την παραγωγή σταριού και σταχυών, τα ζαχαρότευτλα για την παραγωγή ζάχαρης και τα χορτοδοτικά φυτά για ζωοτροφή. Με την ανάπτυξη των βιοκαυσίμων 1^{ης} γενιάς τα προϊόντα αυτά που προορίζονταν, κυρίως, για τη σίτιση ανθρώπων και ζώων, άρχισαν να χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοαιθανόλης (αμυλούχοι σπόροι, σάκχαρα) και βιοντίζελ (φυτικά έλαια) για να καλύψουν τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες σε υγρά καύσιμα. Ωστόσο, τα βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς προκάλεσαν κάποιες ανησυχίες ως προς την περιορισμένη εξοικονόμηση αερίων του θερμοκηπίου, τον ανταγωνισμό με τα τρόφιμα και τις ζωοτροφές και γενικά κατά πόσο ο τρόπος παραγωγής τους είναι αειφόρος (Cherubini κ.α., 2009). Με την έλευση των βιοκαυσίμων 2^{ης} γενιάς αναπτύχθηκε η δυνατότητα χρήσης διαφορετικής πρώτης ύλης (λιγνοκυτταρινούχες ουσίες κ.α.) για την παραγωγή των βιοκαυσίμων, περιορίζοντας έτσι τον ανταγωνισμό μεταξύ βιοκαυσίμων και τροφίμων. Παράλληλα, εξελίχθηκαν οι τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας σε χρήσιμα προϊόντα, δημιουργώντας ένα ιδανικό περιβάλλον για τη δημιουργία βιώσιμων συστημάτων βιο-δυλιστηρίων.

Ένα βιώσιμο βιο-δυλιστήριο δεν περιορίζεται μόνο στην ανάπτυξη των επιμέρους διαδικασιών μετατροπής της βιομάζας στα προαναφερθέντα προϊόντα, αλλά επεκτείνεται και στην όλη διαδικασία παραγωγής της βιομάζας, ώστε να διασφαλίζεται ο αειφόρος εφοδιασμός του βιο-δυλιστηρίου με πρώτη ύλη. Κάτω από το πρίσμα αυτό, ο ρόλος του γεωργικού μηχανικού είναι ιδιαίτερα σημαντικός, αφού καλείται να συμμετάσχει ενεργά τόσο στο σχεδιασμό και στις διαδικασίες του συνόλου της παραγωγικής και εφοδιαστικής αλυσίδας των βιο-δυλιστηρίων με βιομάζα, όσο και στις διαδικασίες της βιο-διύλισης. Στην παρούσα εργασία, γίνεται αναφορά στους κυριότερους τύπους βιο-δυλιστηρίων που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη φυτά της

ελληνικής υπαίθρου, όπως ελαιούχα φυτά, σιτηρά, αραβόσιτο, ζαχαρότευτλα και, χορτοδοτικά φυτά.

2. ΒΙΟ-ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΙΟΥΧΩΝ ΦΥΤΩΝ

Ένα βιο-δυλιστήριο που θα χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη ελαιούχα φυτά (ελαιοκράμβη, ηλίανθο) για την παραγωγή βιοντίζελ, θεωρείται αναγκαίο για τις Ευρωπαϊκές συνθήκες, διότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση πετρελαίου κίνησης και εισάγονται σημαντικές ποσότητες, κυρίως από τη Ρωσία, ενώ έχει περίσσεια βενζίνης, η οποία εξάγεται, κυρίως προς τις Η.Π.Α. (Kutas κ.α., 2007). Επί του παρόντος, η Ευρώπη διαθέτει πλεόνασμα 29Mt σε βενζίνη και έλλειμμα της τάξεως του 23Mt σε πετρέλαιο ανά έτος, λόγω της υφιστάμενης ανισορροπίας στην παραγωγή βενζίνης και πετρελαίου (Commission of the European Communities (α), 2007). Το βιο-δυλιστήριο των ελαιούχων φυτών παράγει όλα τα είδη των βασικών βιοκαυσίμων (βιο-υδρογόνο, βιοντίζελ, μεθάνιο και βιο-αιθανόλη) καθώς και πληθώρα άλλων προϊόντων (Σχήμα 1).



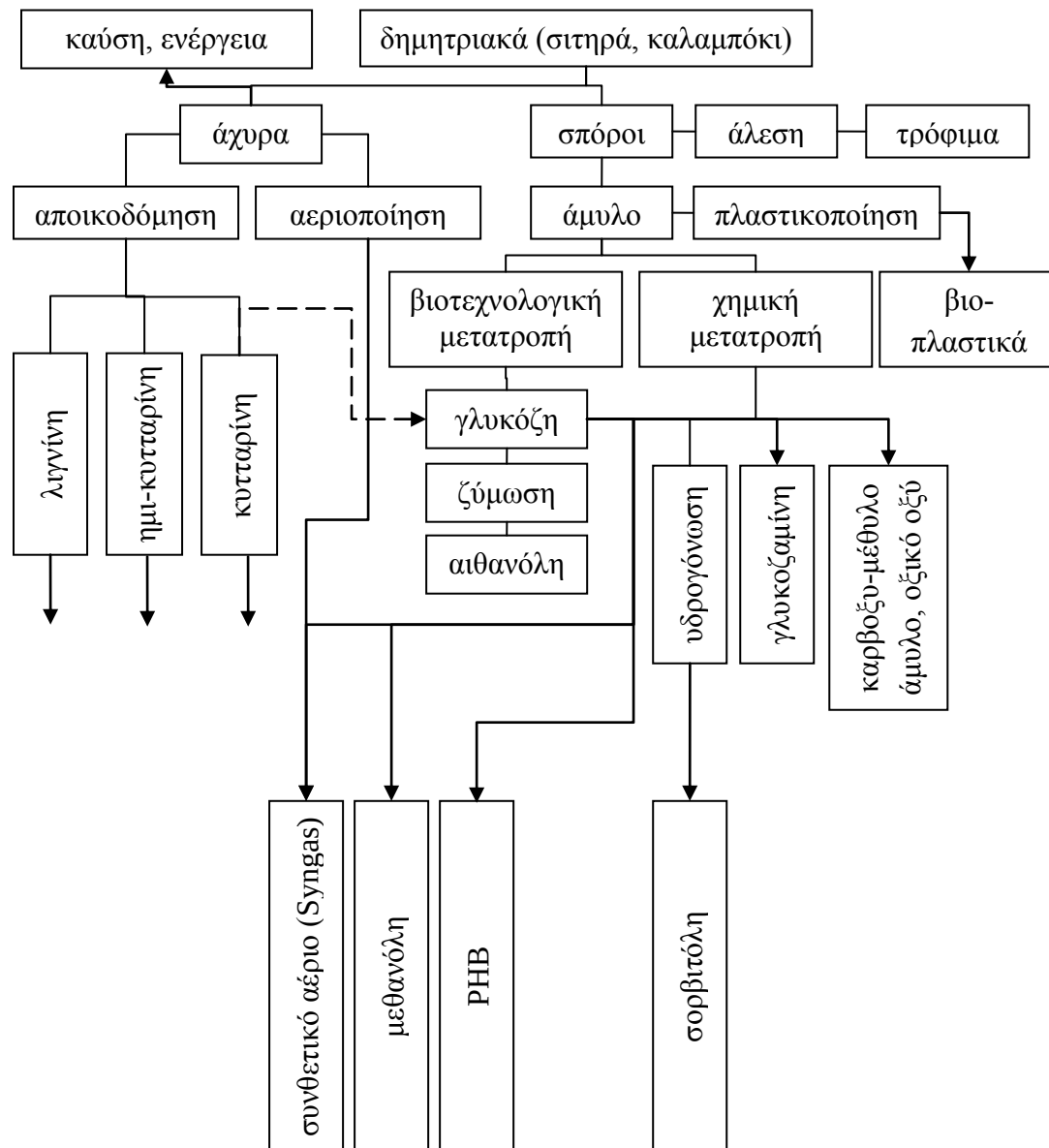
Σχήμα 1. Βιο-δυλιστήριο ελαιούχων φυτών.

Αρχικά, το φυτό χωρίζεται μηχανικά σε σπόρους και άχυρο. Το άχυρο, το οποίο είναι πλούσιο σε λιγνοκυτταρινούχες ουσίες, υφίσταται θερμική επεξεργασία, παρουσία οξέων που δρουν καταλυτικά, προκειμένου να διαχωριστούν οι ημι-κυτταρίνες (C5) και οι κυτταρίνες (C6) από την λιγνίνη. Η λιγνίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είτε ως στερεό καύσιμο, είτε ως βελτιωτικό του εδάφους. Από τις κυτταρίνες παράγεται βιο-αιθανόλη, με ζύμωση, ενώ από τις ημι-κυτταρίνες μπορεί να παραχθεί υδρογόνο, με αναερόβιες συνθήκες επεξεργασίας. Με μηχανικό ή ενζυματικό τρόπο γίνεται η

εξαγωγή του λαδιού από τους σπόρους. Το λάδι που λαμβάνεται από τους σπόρους των ελαιούχων φυτών αποτελεί ιδανικό υπόστρωμα για την παραγωγή βιοντίζελ και άλλων προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας. Στα υπολείμματα όλων των επιμέρους διαδικασιών γίνεται αναερόβια επεξεργασία και λαμβάνεται μεθάνιο και βιο-λίπασμα.

3. ΒΙΟ-ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ ΣΙΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

Στο Σχήμα 2, παρουσιάζεται μία αντιπροσωπευτική γραμμή παραγωγής διαφορετικών προϊόντων από ένα βιο-δυλιστήριο σιτηρών και αραβόσιτου (Kamm and Kamm, 2004).



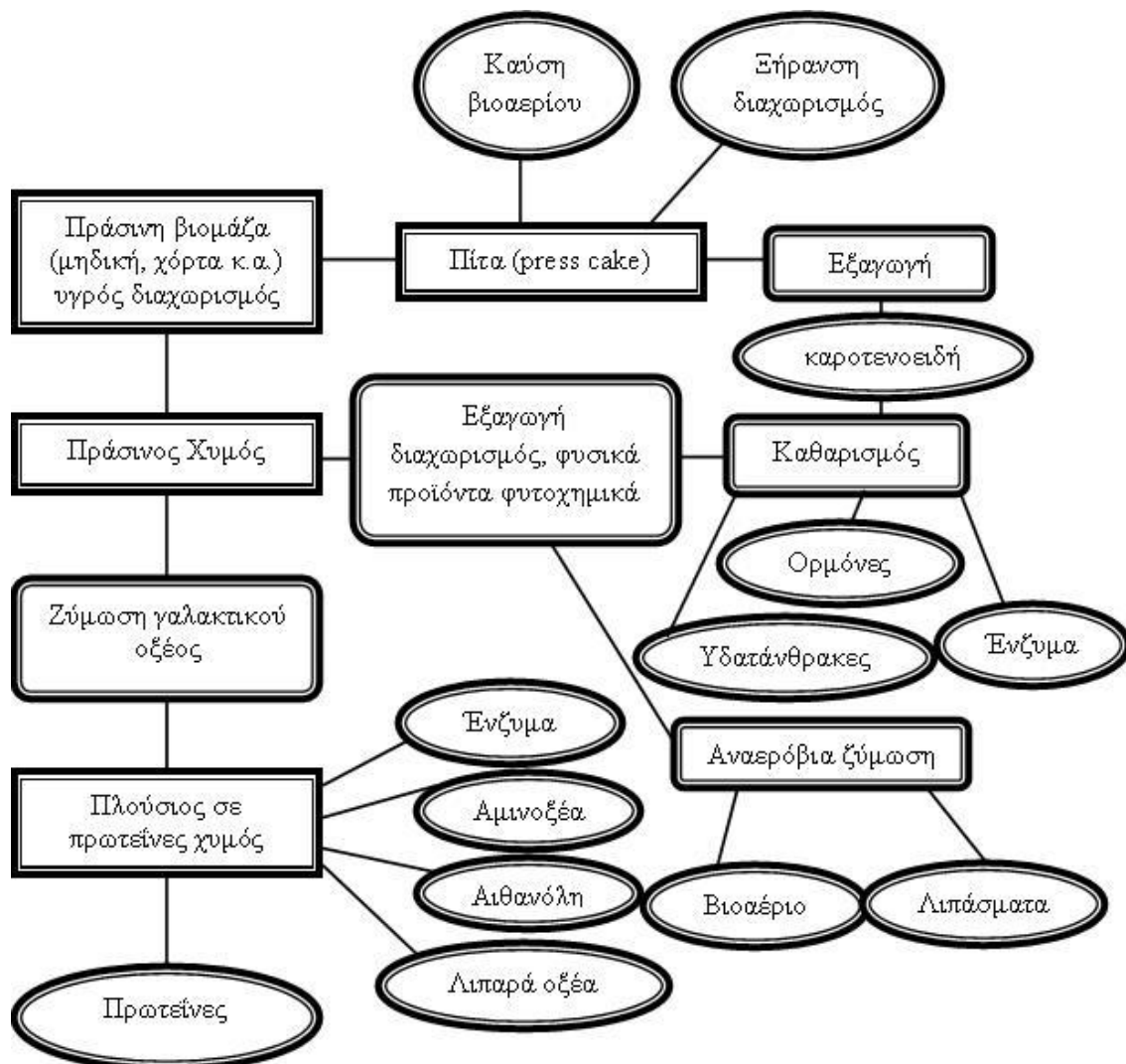
Σχήμα 2. Βιο-δυλιστήριο σιτηρών - αραβόσιτου

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει και εδώ το μηχανικό διαχωρισμό του φυτού σε άχυρα και σε σπόρο. Το άχυρο αποτελείται κυρίως από λιγνο-κυτταρινούχες ουσίες οι οποίες μπορούν να διαχωριστούν σε λιγνίνη, κυτταρίνη και ημι-κυτταρίνη. Τα άχυρα, γενικώς μπορούν να επεξεργαστούν με τη μέθοδο που αναφέρθηκε προηγουμένως, στο βιο-δυλιστήριο ελαιούχων φυτών. Οι σπόροι περιέχουν κυρίως αμυλούχες ουσίες οι

οποίες μπορούν να αποτελέσουν την βάση για την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Βασικό πλεονέκτημα του βιο-δυλιστηρίου σιτηρών-αραβόσιτου είναι ότι η τεχνογνωσία της παραγωγής της πρώτης ύλης (σιτάρι, κριθάρι, βρώμη, αραβόσιτος κ.α) είναι ευρέως γνωστή στους αγρότες. Ακόμη, υπάρχουν πολλές ποικιλίες και υβρίδια των παραπάνω καλλιεργειών και κατάλληλος μηχανολογικός εξοπλισμός που απαιτείται για τις καλλιεργητικές φροντίδες και τη συγκομιδή. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι το πλήθος των προϊόντων που μπορούν να παραχθούν.

4. ΠΡΑΣΙΝΟ ΒΙΟ-ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ

Τα πράσινα βιο-δυλιστήρια χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη χορτοδοτικά φυτά όπως η μηδική, το τριφύλλι, το κοινό χορτάρι κ.α. (Andersen and Kiel, 2000).



Σχήμα 3. Πράσινο Βιο-δυλιστήριο.

Πλεονέκτημα του πράσινου βιο-δυλιστηρίου αποτελεί το γεγονός ότι οι απαιτήσεις της καλλιέργειας σε λίπανση είναι μηδενικές, καθώς η πλειοψηφία των φυτών που χρησιμοποιούνται ανήκουν στα ψυχανθή. Η ανάλυση του κύκλου ζωής, των ψυχανθών (LCA: Life Cycle Assessment), αποδεικνύει ότι η διαδικασία μετατροπής της βιομάζας σε χρήσιμα προϊόντα είναι περιβαλλοντικά φιλική, μειώνοντας σημαντικά την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από αέρια του θερμοκηπίου. Επιπλέον,

πλεονεκτήματα του πράσινου βιο-διυλιστηρίου είναι η αυξημένη στρεμματική απόδοση σε βιομάζα, η χαμηλή τιμή της πρώτης ύλης και η δυνατότητα παραγωγής πολλών και διαφορετικών χημικών προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας. Κύριο μειονέκτημα του είναι η μειωμένη απόδοση του στην παραγωγή βιοκαυσίμων. Τα βιοκαύσιμα που μπορούν να παραχθούν είναι κυρίως το βιοαέριο και η βιοαιθανόλη 2^{ης} γενιάς. Η διαδικασία του πράσινου βιο-διυλιστηρίου περιλαμβάνει αρχικά τον διαχωρισμό του πράσινου χυμού (πλούσιου σε θρεπτικά στοιχεία) από το στερεό υπόλειμμα (την πίτα, πλούσια σε φυτικές ίνες). Ο υγρός διαχωρισμός πραγματοποιείται συνήθως μηχανικά με πίεση, μπορεί όμως να πραγματοποιηθεί και με άλλους τρόπους, π.χ. ενζυματικά. Η πίτα περιέχει κυτταρίνη, άμυλο, χρωστικές ουσίες και άλλες οργανικές ενώσεις, ενώ ο πράσινος χυμός περιλαμβάνει πρωτεΐνες, ελεύθερα αμινοξέα, λιπαρά οξέα, χρωστικές ουσίες, ένζυμα, ορμόνες, άλλες οργανικές ουσίες και μέταλλα (Naik κ.α., 2010). Η πίτα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ζωοτροφών και για την παραγωγή των προαναφερθέντων βιοκαυσίμων. Μία αντιπροσωπευτική σχηματική παράσταση του πράσινου βιο-διυλιστηρίου και των προϊόντων που παράγονται εμφανίζεται στο Σχήμα 3 (Starke κ.α., 2000).

5. ΒΙΟ-ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ

Το βιο-διυλιστήριο ζαχαροτεύτλων λειτουργεί όπως οι προηγούμενοι τύποι βιο-διυλιστηρίων. Αρχικά, το τεύτλο διαχωρίζεται από τα φύλλα του, συνήθως κατά τη συγκομιδή. Το τεύτλο επεξεργάζεται με το συνήθη τρόπο, από τις βιομηχανίες ζάχαρης, για την παραγωγή της κρυσταλλικής ζάχαρης. Τα φύλλα των τεύτλων καθώς και η πούλπα είναι πλούσια σε λιγνο-κυτταρινούχες ουσίες και μπορούν να επεξεργαστούν με τη μέθοδο που αναφέρθηκε προηγουμένως στο βιο-διυλιστήριο ελαιούχων φυτών. Η πούλπα εναλλακτικά χρησιμοποιείται και ως ζωοτροφή. Τα υγρά λύματα όλων των διαδικασιών μπορούν να αποικοδομηθούν αναερόβια και να παράγουν βιοαέριο (μεθάνιο και βιο-υδρογόνο). Με την αναβάθμιση των βιομηχανιών ζάχαρης σε βιο-διυλιστήρια ζαχαρότευτλων, πιστεύεται ότι τα οφέλη τόσο για τη βιομηχανία, όσο και για τους παραγωγούς θα είναι σημαντικά.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΒΙΟ-ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΩΝ

Οι θετικές επιπτώσεις από τη λειτουργία των βιο-διυλιστηρίων συνίστανται:

- στην αύξηση του εισοδήματος των αγροτών και
- στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στην ύπαιθρο

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα βιο-διυλιστήρια για να είναι λειτουργικά θα πρέπει να βρίσκονται κοντά στον τόπο παραγωγής της πρώτης ύλης (το κόστος μεταφοράς της βιομάζας σε μεγάλες αποστάσεις είναι οικονομικά ασύμφορο).

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις της βιο-διύλισης στο περιβάλλον και στην αειφορική ανάπτυξη είναι:

- Η μείωση των εκπομπών σε CO₂,
- Η περιβαλλοντικά φιλική παραγωγή βιοκαυσίμων,
- Η παραγωγή βιο-λιπασμάτων και γενικώς βιο-υλικών με πράσινη τεχνολογία,
- Η μείωση του ανταγωνισμού μεταξύ των βιοκαυσίμων και των τροφίμων καθώς η διαθέσιμη βιομάζα για παραγωγή βιοκαυσίμων επεκτείνεται και στη χρήση άλλων μορφών βιομάζας π.χ. λιγνοκυτταρινούχα,
- Η μακροπρόθεσμη ασφάλεια στον εφοδιασμό ενέργειας, καθώς παράγεται πλήθος διαφορετικών βιοκαυσίμων (Commission of the European Communities (β), 2007) και

- Η βελτίωση της ανταγωνιστικότητας μεταξύ των υπαρχόντων βιομηχανιών τροφίμων και βιοκαυσίμων

Η βιο-διύλιση είναι μια πολύ καινούργια μέθοδος αξιοποίησης της βιομάζας και για τον λόγο αυτόν απαιτείται περεταίρω έρευνα τόσο στις διαδικασίες μετατροπής της βιομάζας, όσο και στον τομέα του εφοδιασμού των βιο-δυλιστηρίων, με πρώτη ύλη. Επιπλέον, δεν πρέπει να αμελείται ότι πολλές διαφορετικές επιστήμες θα πρέπει να συνεργαστούν προκειμένου να συνθέσουν με τα επιμέρους στοιχεία-γνώσεις τους ένα βιώσιμο και αειφόρο βιο-δυλιστήριο.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Andersen, M. and Kiel, P., 2000. *Integrated utilisation of green biomass in the green biorefinery*. Industrial Crops and Products, 11(2-3): 129-137.
- Cherubini, F., Bird, N.D., Cowie, A., Jungmeier, G., Schlamadinger, B. and Woess-Gallasch, S., 2009. *Energy- and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations*. Resources, Conservation and Recycling, 53(8): 434-447.
- Commission of the European Communities, (α), 2007. *Impact Assessment of a Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council modifying Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels*. COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT, SEC(2007) 55.
- Commission of the European Communities (β), 2007. *Biofuels Progress Report. Report on the progress made in the use of biofuels and other renewable fuels in the Member States of the European Union*, SEC(2006) 1721.
- Kamm, B. and Kamm, M., 2004. *Principles of biorefineries*. Applied Microbiology and Biotechnology, 64: 137-145.
- Kutas, G., Lindberg, C. and Steenblik, R., 2007. *Biofuels: At What Cost? Government Support for Ethanol and Biodiesel in the European Union*. One of a series of reports addressing subsidies for biofuels in selected OECD countries. The Global Subsidies Initiative (GSI) of the International Institute for Sustainable Development (IISD) Geneva, Switzerland.
- Liu, S., Abrahamson, L.P. and Scott, G.M., 2011. *Biorefinery: Ensuring biomass as a sustainable renewable source of chemicals, materials, and energy*. Biomass and Bioenergy, In Press, Corrected Proof, Available online 20 January 2011, ISSN 0961-9534.
- Naik, S.N., Goud, V.V., Rout, P.K. and Dalai, A.K., 2010. *Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(2): 578-597.
- OECD-FAO, 2010. *Agricultural Outlook 2010 – The outlook in Brief*. www.oecd.org/dataoecd/31/4/45453906.pdf
- Starke, I., Holzberger, A., Kamm, B. and Kleinpeter, E., 2000. *Qualitative and quantitative analysis of carbohydrates in green juices (wild mix grass and alfalfa) from a green biorefinery by gas chromatography / mass spectrometry*. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, 367(1): 65-72.
- Van Dam, J.E.G., De Klerk-Engels, B., Struik, P.C. and Rabbinge, R., 2005. *Securing renewable resource supplies for changing market demands in a bio-based economy*. Industrial Crops and Products, 21(1): 129-144.

