

**8^ο ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**



**ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ
ΜΗΧΑΝΙΚΗ**

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΖΩΝΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΕ ΟΠΩΡΩΝΑ ΜΗΛΙΑΣ

Αικατερίνη Αγγελοπούλου¹, Θεοφάνης Γέμος¹, Γεώργιος Νάνος², Annamaria Castrignano³

¹Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, ²Εργαστήριο Δενδροκομίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Νέα Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 384446

³CRA, Research Unit for Cropping Systems in Dry Environments, Bari 70125, Italy

Στην παρούσα εργασία δημιουργήθηκαν ζώνες διαχείρισης σε οπωρώνα μηλιάς έκτασης 50 στρεμμάτων στην περιοχή της Αγιάς Λάρισας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν εδαφικά στοιχεία (μηχανική σύσταση, pH, οργανική ουσία, μακροστοιχεία, ιχνοστοιχεία) η παραγωγή και ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών (μέγεθος, χρώμα, σάκχαρα, σκληρότητα) για τρία συνεχόμενα έτη. Τα αποτελέσματα έδειξαν το πρότυπο της παραλλακτικότητας της παραγωγής αρκετά σταθερό για τα τρία έτη του πειράματος. Η παραγωγή ήταν υψηλή στο κεντρικό και νότιο μέρος του αγρού, χαμηλή στο ανατολικό και δυτικό σύνορο του αγρού και ενδιάμεση στο υπόλοιπο μέρος του αγρού. Η ποιότητα των καρπών ήταν χαμηλή στις περιοχές με υψηλή παραγωγή και αντίστροφα. Ο οπωρώνας χωρίστηκε σε τέσσερις ζώνες διαχείρισης με διαφορετικές ιδιότητες: μια ζώνη υψηλής παραγωγής και χαμηλής ποιότητας, μια ζώνη χαμηλής παραγωγής και υψηλής ποιότητας, μια ζώνη μέτριας παραγωγής και χαμηλής ποιότητας και μία ζώνη πολύ υψηλής παραγωγής και χαμηλής ποιότητας. Στις ζώνες διαχείρισης χρειάζεται να γίνει διαφορετική διαχείριση με στόχο την βελτίωση της ποιότητας των καρπών και την αύξηση του οικονομικού αποτελέσματος του παραγωγού.

Λέξεις κλειδιά: μήλα, χαρτογράφηση παραγωγής, εδαφικές ιδιότητες, χαρτογράφηση ποιότητας

DELINEATION OF MANAGEMENT ZONES IN AN APPLE ORCHARD

Katerina Aggelopoulou¹, Theofanis Gemtos¹, George Nanos², Annamaria Castrignano³

¹Laboratory of Farm Mechanization, Laboratory of Pomology, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytoko Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece

³CRA, Research Unit for Cropping Systems in Dry Environments, Bari 70125, Italy
aggelop@uth.gr, gemtos@uth.gr, gnanos@uth.gr, annamaria.castrignano@entecra.it

In the present study management zones were delineated in an apple orchard, 5 ha area, located in Agia. The data were soil properties (texture, pH, organic matter, macronutrients and minerals), yield and fruit quality characteristics (fruit mass, sugars, flesh firmness) for three consecutive years. The results showed that the pattern of yield variability was quite stable during the three years of the experiment. Yield was high in the central and the south part of the field, low in the eastern and western boarder and moderate in the rest part of the field. Fruit quality was low in the high yielding area and vice versa. The orchard was divided in four management zones: a high yielding zone with low fruit quality, a low yielding zone with high fruit quality, a zone with moderate yield and low fruit quality and a zone with very high yield and low fruit quality. The management zones could be managed in a different manner in order to improve fruit quality and increase the farmer income.

Key words: apples, yield mapping, soil properties, quality mapping, management zones

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαχείριση της παραλλακτικότητας των αγρών γίνεται πιο αποτελεσματικά με τη χρήση ζωνών διαχείρισης. Οι ζώνες διαχείρισης είναι περιοχές του αγρού με παρόμοιες ιδιότητες (Kitchen et al., 2005). Στις ζώνες διαχείρισης μπορεί να γίνει διαφοροποιημένη εφαρμογή εισροών (λίπανση, άρδευση, εφαρμογή φυτοπροστατευτικών) και καλλιεργητικών εργασιών (αραίωμα καρπών, κλάδεμα) ανάλογα με τις ανάγκες των φυτών στην κάθε ζώνη. Η διαφοροποιημένη εφαρμογή των εισροών ονομάζεται γεωργία ακριβείας. Τα οφέλη από την διαφοροποιημένη εφαρμογή των εισροών είναι οικονομικά και περιβαλλοντικά, διότι με αυτό τον τρόπο εφαρμόζονται στοχευμένες ποσότητες εισροών.

Για τη δημιουργία των ζωνών διαχείρισης έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι τύποι δεδομένων όπως παραγωγή (Blackmore et al., 2003, Diker et al., 2004, Ping and Dobermann, 2003, Dobermann et al., 2003), ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (Kitchen et al., 1999, 2003, Perry et al., 2007, Johnson et al.,

2003, Morari et al., 2009), εδαφικές ιδιότητες (Zaman and Schuman, 2006, and Fountas et al., 2010), δείκτες βλάστησης (Mann et al. (2010), αεροφωτογραφίες του αγρού χωρίς βλάστηση (Fleming et al., 2000), τοπογραφικοί χάρτες (Lark and Stafford, 1997) και συνδυασμός αυτών. Στην ελιά οι Lopez-Granados και άλλοι (2004) δημιούργησαν χάρτες διαφοροποιημένης λίπανσης με βάση την φυλλοδιαγνωστική και οι Aggelopoulou et al.(2010) δημιούργησαν χάρτες διαφοροποιημένης λίπανσης στη μηλιά με βάση την ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνονται από το έδαφος με την παραγωγή του προηγούμενου έτους.

Οι στόχοι στην παρούσα εργασία ήταν: 1) να μελετηθεί η χωρική παραλλακτικότητα του εδάφους, της παραγωγής και της ποιότητας των καρπών σε ένα οπωρώνα μηλιάς και 2) να χωριστεί ο αγρός σε ζώνες διαχείρισης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Ο αγρός

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε αγρό που βρίσκεται στην Αγία Λάρισας (22° 45'31'' E, 39°

40'28'' N) και έχει έκταση 50 στρεμματα. Το υψόμετρο είναι 160 μ και το έδαφος αμμοαργιλοπηλώδες. Στον οπωρώνα αυτό υπάρχουν δύο ποικιλίες μήλων, η Red Chief, που είναι η κύρια ποικιλία και η Golden Delicious, που είναι η επικονιάστρια ποικιλία. Η διάταξη των δύο ποικιλιών στον αγρό είναι 1 σειρά της επικονιάστριας ποικιλίας ανά 5 σειρές της κύριας ποικιλίας. Οι αποστάσεις φύτευσης των δένδρων είναι 3,5 μ μεταξύ των γραμμών και 2 μ επί της γραμμής. Το σχήμα διαμόρφωσης των δένδρων είναι ελεύθερη παλμέτα. Οι μετρήσεις στον αγρό αυτό λήφθηκαν τα έτη 2005, 2006 και 2007.

2.2. Μετρήσεις

2.2.1. Χαρτογράφηση παραγωγής

Το Σεπτέμβριο κάθε έτους διεξαγωγής του πειράματος πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της παραγωγής μετρώντας την παραγωγή ανά δέκα δέντρα και καταγράφοντας τη θέση στο κέντρο των δέκα δέντρων με GPS.

2.2.2 Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων

Το Δεκέμβριο του 2005 λήφθηκαν 20 δείγματα εδάφους, σε βάθος 0-30 εκ. προκειμένου να προσδιοριστούν οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Προκειμένου να καθοριστούν οι θέσεις δειγματοληψίας ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: ο αγρός χωρίστηκε σε ζώνες διαχείρισης με βάση την παραγωγή. Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο ασαφούς ομαδοποίησης (fuzzy clustering) χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα MZA (Fridgen et al., 2004). Ο αγρός χωρίστηκε σε τρεις ζώνες: μια υψηλής παραγωγής που καταλάμβανε το 26,6% της επιφάνειας του αγρού, μια μέσης παραγωγής (38,5%) και μια χαμηλής παραγωγής (34,9%). Ο αριθμός των δειγμάτων ήταν σε αναλογία με την επιφάνεια που καταλάμβανε η κάθε ζώνη. Έτσι ληφθήκαν 5 δείγματα από τη ζώνη υψηλής παραγωγής, 8 δείγματα από τη ζώνη μέσης παραγωγής και 7 δείγματα από τη ζώνη χαμηλής παραγωγής. Τα δείγματα αναλύθηκαν για τις εξής ιδιότητες: μηχανική σύσταση του εδάφους, pH, οργανική ουσία (O.Y.), περιεκτικότητα σε φώσφορο (P), ανταλλάξιμα κατιόντα (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺) και ιχνοστοιχεία (Zn, Fe, B, Cu, Mn). Οι θέσεις των δειγμάτων καταγράφηκαν προκειμένου να δημιουργηθούν οι αντίστοιχοι χάρτες.

2.2.3 Χαρτογράφηση ποιότητας καρπών

Για την εκτίμηση της ποιότητας λήφθηκαν 55 δείγματα καρπών σε ένα πλέγμα 30 μ x 30 μ πριν τη συγκομιδή και καταγράφηκαν οι συντεταγμένες των θέσεων λήψης των δειγμάτων με GPS. Τα δείγματα αναλύθηκαν για τα εξής ποιοτικά χαρακτηριστικά: βάρος καρπού, χρώμα φλοιού, σκληρότητα σάρκας, περιεκτικότητα του χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά, pH χυμού και οξύτητα χυμού εκφρασμένη σε περιεκτικότητα του χυμού σε μηλικό οξύ. Από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες ποιότητας.

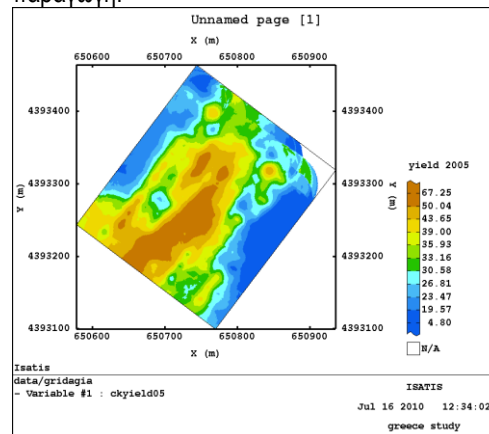
2.2.4 Ανάλυση δεδομένων

Τα δεδομένα χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες στις οποίες εφαρμόστηκε γεωστατιστική ανάλυση. Η πρώτη ομάδα περιελάμβανε τα εδαφικά δεδομένα, η δεύτερη τα δεδομένα παραγωγής και η τρίτη τα δεδομένα ποιότητας των καρπών. Στα δεδομένα της κάθε ομάδας υπολογίστηκαν τα βαριογράμματα (variograms) και τα ετερο-βαριογράμματα (cross-variograms) και στη συνέχεια έγινε χωρική παρεμβολή των δεδομένων με τη μέθοδο ordinary co-kriging (Goonvaerts, 1997) σε ένα πλέγμα 1 μ x 1 μ. Η γεωστατιστική ανάλυση έγινε με το λογισμικό ISATIS (Geostatistics, 2011). Στη συνέχεια έγινε ομαδοποίηση των δεδομένων για να δημιουργηθούν οι ζώνες διαχείρισης. Για την ομαδοποίηση χρησιμοποιήθηκαν οι εκτιμώμενες τιμές που προέκυψαν από την παρεμβολή των αρχικών δεδομένων. Η ομαδοποίηση έγινε με την διαδικασία MODECLUS του λογισμικού SAS/STAT (SAS, 2011, έκδοση 9.2).

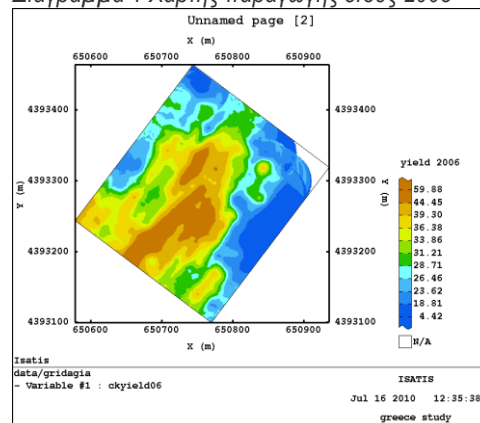
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Χαρτογράφηση παραγωγής

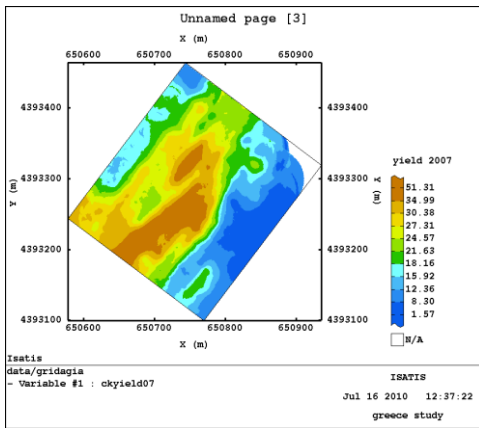
Οι χάρτες παραγωγής για τα τρία έτη του πειράματος παρουσιάζονται στα διαγράμματα 1,2,3 αντίστοιχα. Η παραγωγή κυμάνθηκε από 0-91,2 Mg ha⁻¹ με συντελεστή παραλλακτικότητας περίπου 50% που δείχνει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα. Οι χάρτες παραγωγής είναι παρόμοιοι για τα τρία έτη και δείχνουν μια ζώνη υψηλής παραγωγής στο κεντρικό και νότιο τμήμα του αγρού, ενώ το δυτικό και ανατολικό σύνορο του αγρού έχει χαμηλή παραγωγή.



Διάγραμμα 1 Χάρτης παραγωγής έτους 2005



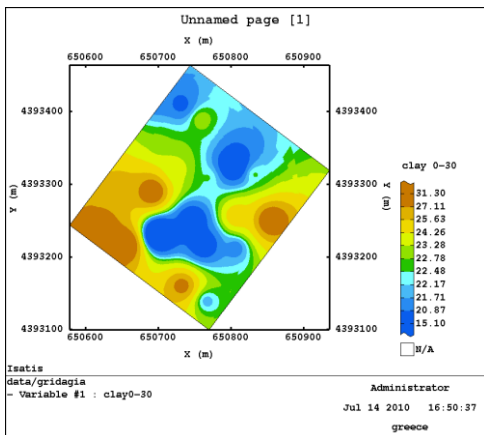
Διάγραμμα 2. Χάρτης παραγωγής έτους 2006



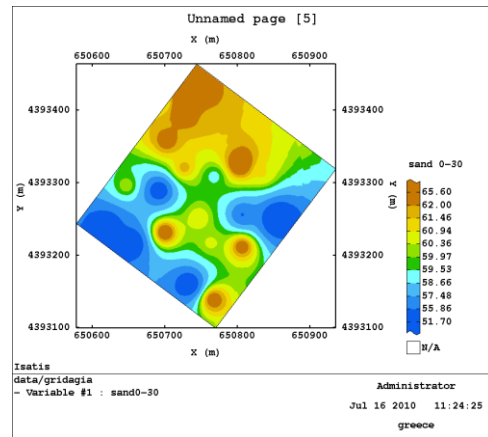
Διάγραμμα 3. Χάρτης παραγωγής έτους 2007

3.2 Χαρτογράφηση εδάφους

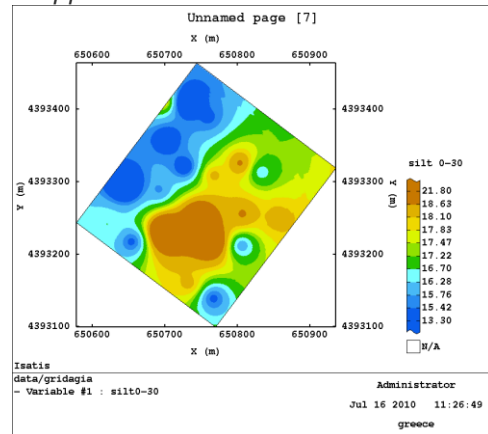
Οι εδαφικές αναλύσεις έδειξαν ότι το έδαφος ήταν αμμοαργιλοπηπλώδες, το pH κυμάνθηκε από 6,9 - 8,1 και η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία ήταν μέτρια (1,1-3,2%). Τα κύρια θρεπτικά στοιχεία που εφαρμόζονται κάθε χρόνο στους σπρωίνες μηλιάς είναι το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε φώσφορο ήταν χαμηλή (0,46–9,2 mg kg⁻¹) ενώ η περιεκτικότητα σε κάλιο ήταν σε καλύτερα επίπεδα (60,4–354,8 mg kg⁻¹). Οι χάρτες της μηχανικής σύστασης του εδάφους δείχνουν ότι η περιεκτικότητα σε άργιλο ήταν χαμηλότερη στο κεντρικό τμήμα του αγρού (διάγραμμα 4), ενώ η περιεκτικότητα σε άμμο ήταν υψηλότερη στο βορειοδυτικό τμήμα (διάγραμμα 5) και η περιεκτικότητα σε ιλύ ήταν υψηλότερη στο νοτιοανατολικό τμήμα του αγρού (διάγραμμα 6).



Διάγραμμα 4. Χάρτης εδάφους (%) περιεκτικότητας σε άργιλο



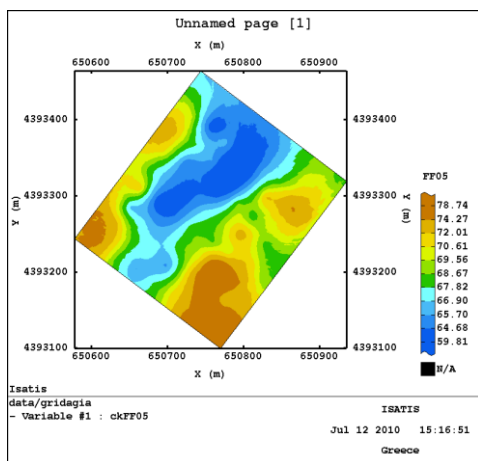
Διάγραμμα 5. Χάρτης εδάφους (%) περιεκτικότητας σε άμμο



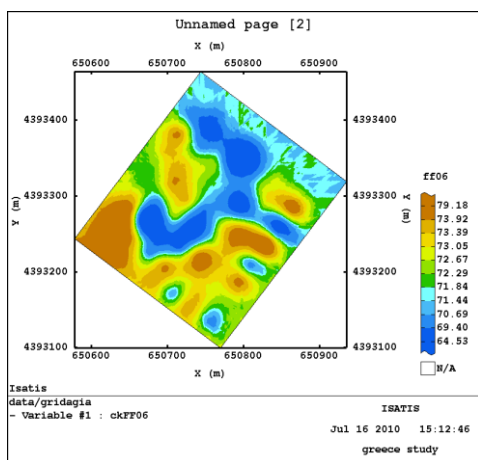
Διάγραμμα 6. Χάρτης εδάφους (%) περιεκτικότητας σε ιλύ

3.3 Χαρτογράφηση ποιότητας καρπών

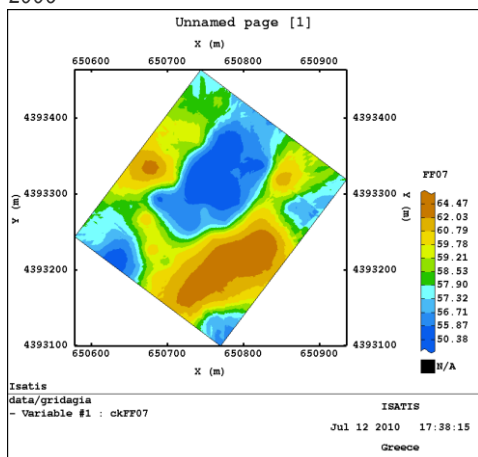
Η ποιότητα των καρπών ήταν καλή με τη σκληρότητα σάρκας να κυμαίνεται από 43,2 – 79,5 N και την περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά από 11,1% - 17,7%. Στα διαγράμματα 7, 8, 9 παρουσιάζονται οι χάρτες ποιότητας για τη σκληρότητα σάρκας στα έτη 2005, 2006 και 2007 αντίστοιχα. Οι χάρτες δείχνουν ότι στο κεντρικό τμήμα του αγρού οι καρποί έχουν μικρότερη σκληρότητα σάρκας και επομένως χαμηλότερη ποιότητα και στα τρία έτη του πειράματος. Το ίδιο παρατηρήθηκε και για τους χάρτες των διαλυτών στερεών συστατικών οι οποίοι δεν παρουσιάζονται στη παρούσα εργασία λόγω έλλειψης χώρου. Συγκρίνοντας τους χάρτες παραγωγής (Διαγράμματα 1,2,3) και ποιότητας (Διαγράμματα 7,8,9) παρατηρείται ότι στις περιοχές του αγρού που η παραγωγή είναι υψηλή, η ποιότητα είναι χαμηλή και αντίστροφα.



Διάγραμμα 7. Χάρτης σκληρότητας σάρκας σε N το 2005



Διάγραμμα 8. Χάρτης σκληρότητας σάρκας σε N το 2006



Διάγραμμα 9. Χάρτης σκληρότητας σάρκας σε N το 2007

3.4 Ζώνες διαχείρισης

Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν τέσσερις ζώνες διαχείρισης του αγρού (Διάγραμμα 10).

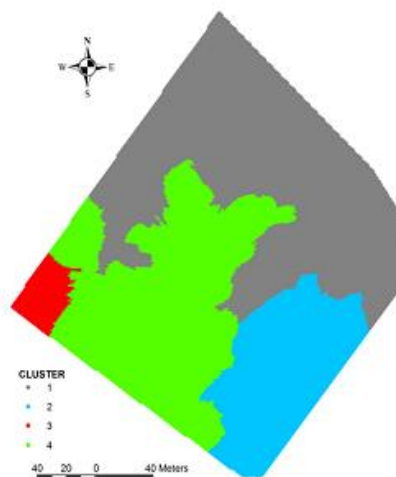
Στη ζώνη 1 από τα εδαφικά στοιχεία το K ήταν σε ικανοποιητικά επίπεδα αλλά ο P και η O.Y. ήταν χαμηλά. Η ζώνη αυτή θα μπορούσε να επωφεληθεί από καλλιέργεια κάλυψης η οποία θα μπορούσε να αυξήσει την O.Y. Η ποιότητα των καρπών ήταν χαμηλή και η παραγωγή μέτρια. Για να αυξηθεί η

παραγωγή της επόμενης χρονιάς χρειάζονται περισσότεροι ανθοφόροι οφθαλμοί, το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με καλύτερο κλάδεμα και χαμηλή διαθεσιμότητα N την άνοιξη και χαμηλή διαθεσιμότητα νερού τον Ιούνιο για να στρεσαριστούν τα δένδρα και να παράγουν περισσότερους οφθαλμούς. Επίσης με μειωμένη διαχείριση των ζιζανίων τον Αύγουστο θα μπορούσε να βελτιωθεί η ποιότητα των καρπών επειδή τα ζιζάνια απορροφούν το πλεονάζον νερό και άζωτο και με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται το κόκκινο χρώμα των καρπών λόγω αυξημένης σχετικής υγρασίας.

Στη ζώνη 2 το έδαφος είχε χαμηλό P, K και O.Y. Η παραγωγή ήταν πολύ χαμηλή αλλά η ποιότητα ήταν καλή με καλό χρώμα καρπών, υψηλά σάκχαρα και υψηλή σκληρότητα σάρκας. Η λίπανση με P, K και O.Y. θα βοηθούσε να αυξηθεί η παραγωγικότητα χωρίς να αυξηθεί η βλαστική ανάπτυξη των δένδρων.

Στη ζώνη 3 το έδαφος ήταν μέτριας ποιότητας (K σχετικά χαμηλό, P χαμηλό και O.Y. σε μέτρια επίπεδα) και για το λόγο αυτό η εφαρμογή P και K θα ήταν χρήσιμη. Η παραγωγή ήταν καλή με χαμηλά σάκχαρα και υψηλή σκληρότητα σάρκας δηλαδή χαμηλή ποιότητα καρπού.

Στη ζώνη 4 το έδαφος ήταν σε καλή κατάσταση από άποψη γονιμότητας και η παραγωγή ήταν η υψηλότερη από όλες τις ζώνες σε όλα τα χρόνια. Η ποιότητα των καρπών ήταν χαμηλή με χαμηλά σάκχαρα και χαμηλή σκληρότητα σάρκας. Στη ζώνη αυτή η παραγωγικότητα μπορεί να διατηρηθεί με την παραδοσιακό τρόπο διαχείρισης αλλά η ποιότητα θα μπορούσε να βελτιωθεί μόνο με μείωση της παραγωγής και κατάλληλο κλάδεμα και αραίωμα καρπών. Επιπλέον η ποιότητα θα μπορούσε να βελτιωθεί με καλλιεργητικές πρακτικές όπως μειωμένο έλεγχο των ζιζανίων ή περιορισμένη άρδευση τον Αύγουστο.



Διάγραμμα 10. Ζώνες διαχείρισης

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι υπήρχε σημαντική χωρική και χρονική παραλλακτικότητα στην παραγωγή, στις εδαφικές

ιδιότητες και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών στον οπωρώνα μηλιάς που μελετήθηκε. Το πρότυπο της χωρικής παραλλακτικότητας ήταν αρκετά σταθερό στη διάρκεια των τριών ετών του πειράματος και έτσι κατέστη δυνατόν, συνδυάζοντας τα παραπάνω δεδομένα, να δημιουργηθούν ζώνες διαχείρισης στον οπωρώνα οι οποίες έχουν παρόμοιες ιδιότητες και στις οποίες η διαχείριση μπορεί να είναι ενιαία. Στις ζώνες διαχείρισης μπορεί να γίνει διαφορετική διαχείριση με στόχο την βελτίωση της ποιότητας των καρπών και την αύξηση του οικονομικού αποτελέσματος του παραγωγού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

- Aggelopoulou, K., Fountas, S., Pateras, D., Nanos, G., Gemtos, T., 2011. Soil spatial variability and site-specific fertilization maps in an apple orchard. *Precision Agriculture* 12 (1): 118–129.
- 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
- Diker, K., Heermann, D.F., Brodahl, M.K., 2004. Frequency analysis of yield for delineating yield response zones. *Precision Agriculture* 5, 435–444.
- Dobermann, A., Ping, J.L., Adamchuk, V.I., Simbahan, G.C., Ferguson, R.B., 2003. Classification of crop yield variability in irrigated production fields. *Agronomy Journal* 95, 1105–1120.
- Fleming, K.L., Westfall, D.G., Wiens, D.W., Brodah, M.C., 2000. Evaluating farmer developed management zone maps for variable rate fertilizer application. *Precision Agriculture* 2: 201–215
- Fountas, S., Aggelopoulou, K., Bouloulis, K., Nanos, G.D., Wulfsohn, D., Gemtos, T.A., Paraskevopoulos, A., Galanis, M., 2010. Site-specific management in an olive tree plantation. *Precision Agriculture*. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-010-9167-4>.
- Giovariances, 2011. *Isatis Technical Ref.*, Ver. 11.01. Geovariances & Ecole Des Mines De Paris, Avon Cedex, France.
- Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York.
- Johnson, C.K., Mortensen, D.A., Wienhold, B.J., Shanahan, J.F., Doran, J.W., 2003. Site-specific management zones based on soil electrical conductivity in a semiarid cropping system. *Agronomy Journal* 95, 303–315.
- Kitchen, N.R., K.A. Sudduth, and S.T. Drummond. 1999. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. *Journal of Production Agriculture*, 12: 607-617.
- Kitchen, N.R., S.T Drummond, E.D. Lund, K.A. Sudduth, and G.W. Buchleiter. 2003. Soil electrical conductivity and topography related to yield for three contrasting soil-crop systems. *Agronomy Journal*, 95: 483-495.
- 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
- Lark, R.M., Stafford, J.V., 1997. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. *Annals of Applied Biology* 130,111–121.
- Lopez-Granados, F., Jurado-Exposito, M., Alamo, S., Garcia-Torres, L, 2004. Leaf nutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive (*Olea europaea* L.) orchards. *European Journal Agronomy* 21: 209-222.
- Mann, K.K., Schumann, A.W., Obreza, T.A., 2010. Delineating productivity zones in citrus grove using citrus production tree growth and temporally stable soil data. *Journal of Precision Agriculture*, 12 (20)
- Morari, F., Castrignano, A., Pagliarin, C., 2009. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. *Computers and Electronics in Agriculture* 69, 97–107.
- Perry, C.D., Sullivan, D.G., Ortiz, B.V., Rucker, K.S., Vellidis, G. 2007. Developing Nematode Management Zones Using Soil EC Data. *ASAE Paper N. 071002*.
- Ping, J.L., Dobermann, A., 2003. Site specific management. Creating spatially contiguous yield classes for site-specific management. *Agronomy Journal* 95,1121–1131.
- SAS Institute Inc., 2011. *SAS/STAT Software Release 9.2*. USA, Cary, NC.
- Zaman, Q., Schuman, W. A., 2006. Nutrient management zones for citrus based on variation in soil properties and tree performance. *Precision Agriculture* 7: 45-63.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΦΥΛΛΩΝ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Ε. Γ. Χατζής¹, Ε. Μανωλοπούλου², Γ. Ξανθόπουλος¹, Γρ. Λαμπρινός¹

¹Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμ. Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855,

Τηλ. 210 5294029–4031, Fax. 210 529 4032, e-mail: refrigenenergy@aua.gr

²ΤΕΙ Καλαμάτας, Σ.Τ.Ε.Γ., Τμ. Φ.Π., Αντικάλamos, 24 100 Καλαμάτα, e-mail: arte_lampr@yahoo.gr

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η μεταβολή του χρώματος συντηρούμενων συσκευασμένων και ασυσκευαστων ολόκληρων φύλλων μαρουλιού (*Lactuca sativa* var. *capitata* L) καθώς και φύλλων μαρουλιού με ελάχιστη επεξεργασία στους 0 και 10 °C, μετρούμενη τόσο με χρωματόμετρο όσο και με ανάλυση ψηφιακών εικόνων. Η βασική χρωματική παράμετρος που χρησιμοποιήθηκε είναι η χροιά h^* . Η νέα μέθοδος προσδιορίζει σε κάθε περίπτωση αποχρώσεις στην περιοχή του πρασίνου ($103.06 \leq h^* \leq 119.77$), όχι μακριά από το διάστημα στο οποίο κυμαίνονται και οι τιμές της χροιάς ($109.14 \leq h^* \leq 118.36$) που εκτιμώνται από το χρωματόμετρο. Επιπλέον τα όρια εμπιστοσύνης (CL) στην περίπτωση της νέας τεχνικής, είναι σημαντικά μικρότερα ($CL < 0.1$) από τα αντίστοιχα της τεχνικής του χρωματομέτρου ($0.59 < CL < 0.85$) το οποίο οφείλεται στο μεγαλύτερο αριθμό μετρήσεων (pixels) (90,000-110,000) στην περίπτωση της νέας μεθόδου. Η διαφορά της γωνίας χροιάς μεταξύ των δυο μεθόδων κυμαίνεται $0.1\% \leq \Delta h \leq 2.2\%$. Τόσο οι χαμηλές τιμές της διαφοράς Δh , όσο και των διαστημάτων εμπιστοσύνης CL των μετρήσεων με ανάλυση ψηφιακών εικόνων, δείχνουν ότι η νέα μέθοδος είναι σημαντικά πιο αξιόπιστη.

Λέξεις κλειδιά: χρώμα, μέτρηση χρώματος, ανάλυση εικόνας, μαρούλι

STUDY OF LETTUCE COLOUR CHANGE BY IMAGE ANALYSIS

E.G. Chatzis¹, H. Manolopoulou², G. Xanthopoulos¹ and Gr. Lamprinos¹

¹Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Development & Agricultural Engineering, 75 Iera Odos Str., 118 55, Athens–Greece, e-mail: refrigenenergy@aua.gr

²Technological Educational Institute of Kalamata, Faculty of Agricultural Technology, Dep. of Crop Science, Antikalamos, 24 100 Kalamata, e-mail: arte_lampr@yahoo.gr

In this work, the colour in terms of hue angle (h^*), of packaged and unpackaged whole and minimal processed lettuce leaves (*Lactuca sativa* var. *capitata* L) at 0 and 10 °C was studied. Chromameter and a new method of image analysis were tested and evaluated. The new method determines in each case shades of green area ($103.06 \leq h^* \leq 119.77$). The values of hue angle resulted from the chromameter are almost of the same range ($109.14 \leq h^* \leq 118.36$). Moreover, the confidence limits (CL) in the case of the proposed technique are significantly lower ($CL < 0.1$) than those of the chromameter technique ($0.59 < CL < 0.85$). The previous trend is attributed to the large number of analysed pixels in the image analysis technique (90,000-110,000). The hue angle difference between these two methods is $0.1\% \leq \Delta h \leq 2.2\%$. The narrow differences of Δh values as well as the image analysis technique low confident limits of hue angle, enforce the credibility of the new proposed method.

Key words: colour, colour measurement, mage analysis, lettuce

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το χρώμα παίζει καθοριστικό ρόλο στην εμπορική αξία των φυτικών οργάνων και μαζί με την υφή προσδιορίζουν τη φρεσκάδα των περισσότερων λαχανικών. Το χρώμα χρησιμοποιείται σαν κριτήριο ωριμότητας ή γήρανσης καθώς και σαν δείκτης φυσιολογικών, μηχανικών ή παθολογικών βλαβών (Kader, 2002).

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της μεταβολής του χρώματος κατά τη διάρκεια της συντήρησης, ολόκληρων και τεμαχισμένων φύλλων μαρουλιού, με την τεχνική ανάλυσης ψηφιακών εικόνων (IA.Cm) καθώς και την παράλληλη χρήση χρωματόμετρου (CHM) έτσι ώστε να εκτιμηθεί η αξιοπιστία της νέας μεθόδου. Αυτό έγινε αποσκοπώντας στην έρευνα ύπαρξης δυνατότητας χρήσης της νέας τεχνικής στον ποιοτικό έλεγχο της φυλλωδών λαχανικών. Το χρωματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το CIELAB (HunterLab,

1996), η δε μεταβολή του χρώματος αποδόθηκε από τη χροιά h^* .

Στη διεθνή βιβλιογραφία, αναφορά στη χρήση τεχνικής ανάλυσης ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση του χρώματος μαρουλιού, γίνεται από τον Zhou et al. (2004). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι δεν βρέθηκε αναφορά παράλληλης χρήσης και σύγκρισης χρωματομέτρου και τεχνικής ανάλυσης ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση χρώματος μαρουλιού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν μαρούλια κεφαλωτού τύπου (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.- Butterhead type) της κατηγορίας 'Looseleaf' γνωστά ως 'γαλλική σαλάτα', των οποίων η συγκομιδή έγινε στο στάδιο της «εμπορικής ωριμότητας» από καλλιέργεια στο Μαραθώνα Αττικής. Αμέσως μετά τη συγκομιδή τους, συντηρήθηκαν στους 0 °C και RH=95%. Την επόμενη ημέρα, υπέστησαν τους

απαραίτητους χειρισμούς για την προετοιμασία των δειγμάτων. Στην αρχή έγινε διαλογή των κεφαλών ώστε αυτές να είναι ομοιόμορφου μεγέθους χωρίς εξωτερικά ελαττώματα. Για την προετοιμασία των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα φύλλα των τριών εξωτερικών σειρών κάθε κεφαλής. Τα φύλλα απολυμάνθηκαν με ειδικές ταμπλέτες σταθεροποιημένου χλωρίου Suma Tab D4 tab (JOHNSONDIVERSEY). Οι ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν περιελάμβαναν α) Πρόπλυση με νερό θερμοκρασίας 14 °C. β) Προσθήκη 1 ταμπλέτας Suma Tab D4 tab (JOHNSON DIVERSEY) σε 20 L νερού, γ) Εμβάπτιση δειγμάτων για 5 min, γ. Ξέβγαλμα με καθαρό νερό, δ) Στέγνωμα δειγμάτων σε φυγόκεντρο μηχανή σαλάτας για την απομάκρυνση του πλεονάζοντος νερού. Τα φύλλα που απολυμάνθηκαν χωρίστηκαν σε δύο ομάδες:

1. Η πρώτη ομάδα περιλάμβανε ολόκληρα φύλλα
2. Η δεύτερη ομάδα περιελάμβανε φύλλα τα οποία τεμαχίστηκαν με ειδικό κοπτικό μηχανήμα.

Για την συσκευασία χρησιμοποιήθηκε διάτρητο φιλμ πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE). Η κάθε συσκευασία περιείχε 6 ολόκληρα φύλλα. Η συσκευασία χρησιμοποιήθηκε μόνο για την προστασία των δειγμάτων από την αφυδάτωση και όχι για τη δημιουργία τροποποιημένης ατμόσφαιρας.

Οι συνθήκες συντήρησης των δειγμάτων ήταν: 0 °C και 10 °C με σχετική υγρασία RH=95%.

Οι ομάδες που σχηματίστηκαν ήταν:

- Ολόκληρα ασυσκευαστα φύλλα στους 0 °C (6 δείγματα με 6 φύλλα/ δείγμα)
- Ολόκληρα συσκευασμένα φύλλα στους 0 °C (6 δείγματα με 6 φύλλα/ δείγμα)
- Ολόκληρα ασυσκευαστα φύλλα στους 10 °C (6 δείγματα με 6 φύλλα/ δείγμα)
- Ολόκληρα συσκευασμένα φύλλα στους 10 °C (6 δείγματα με 6 φύλλα/ δείγμα)
- Τεμαχισμένα ασυσκευαστα φύλλα στους 0 °C (6 δείγματα με μάζα περίπου 120 g/ δείγμα)
- Τεμαχισμένα συσκευασμένα φύλλα στους 0 °C (6 δείγματα με μάζα περίπου 120 g/ δείγμα)
- Τεμαχισμένα ασυσκευαστα φύλλα στους 10 °C (6 δείγματα με μάζα περίπου 120 g/ δείγμα).
- Τεμαχισμένα συσκευασμένα φύλλα στους 10 °C (6 δείγματα με μάζα περίπου 120 g/ δείγμα).

Το πείραμα επαναλήφθηκε τρεις φορές. Το χρώμα μετρήθηκε με χρωματόμετρο (CHM) Minolta CR-300 (Minolta, 1995). Το χρώμα μετρήθηκε σε τέσσερα προεπιλεγμένα δείγματα τεμαχισμένων και ολόκληρων φύλλων μαρουλιού από κάθε δείγμα. Σε κάθε φύλλο ελήφθησαν τέσσερις μετρήσεις με το χρωματόμετρο όπως αυτές παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.

Σε κάθε επιμέρους δείγμα τεμαχισμένου φύλλου πραγματοποιήθηκαν 2 μετρήσεις. Η λήψη των μετρήσεων (σε κάθε μέτρηση εκτιμάται το χρώμα σε επιφάνεια 50.24 mm²) (Minolta, 1995) πραγματοποιήθηκαν με σκοπό να επιτευχθεί η κατά το δυνατό μεγαλύτερη αξιολογούμενη επιφάνεια δειγμάτων.

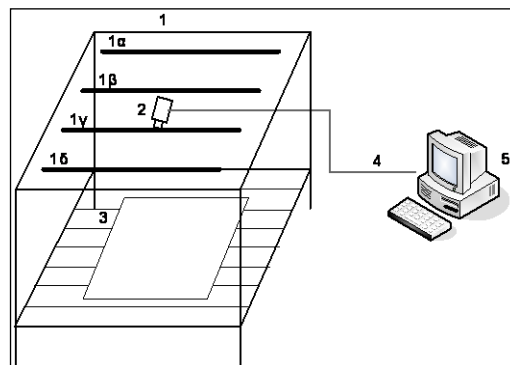


Εικόνα 1. Παρουσίαση σημείων μέτρησης του χρώματος με το χρωματόμετρο Minolta CR-300.

Ο αριθμός των τεσσάρων μετρήσεων επιλέχθηκε με βάση τις διαφορετικές αποχρώσεις της επιφάνειας των δειγμάτων (μείωση σφαλμάτων σε σχέση με την τεχνική ανάλυσης ψηφιακών εικόνων με την οποία μετράται το χρώμα στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων).

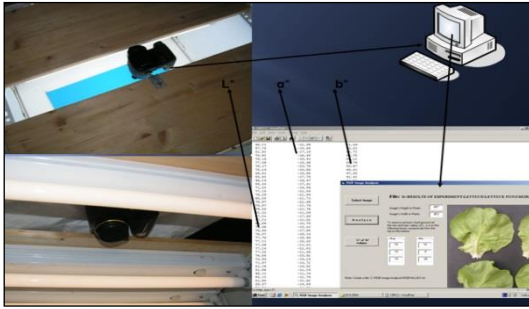
Στη μέθοδο ανάλυσης ψηφιακών εικόνων. (IA.Cm) χρησιμοποιήθηκε ψηφιακή φωτογραφική μηχανή (Εικόνα 2) Konica Minolta Dimage Z2 με προεπιλεγμένες ρυθμίσεις σε ότι αφορά τον χρόνο έκθεσης (ταχύτητα κλείστρου) σε 1/100 s, την φωτεινότητα του φακού f.5, το υψηλότερο επίπεδο ποιότητας εικόνας (High Quality) με διαστάσεις αυτής 640×480 pixel (Clelland and Eismann, 2001). Η οριζόντια και κατακόρυφη ανάλυση ήταν 72 dpi και η λήψη πραγματοποιήθηκε με μηδενική εστίαση (zoom) χωρίς χρήση φλας (Chatzis et al., 2009). Η αρχική απεικόνιση του χρώματος των λαμβανομένων ψηφιακών εικόνων βασίζεται στο χρωματικό μοντέλο sRGB.

Η διάταξη για τη λήψη των ψηφιακών εικόνων και την ανάλυση αυτών για την μέτρηση του χρώματος παρουσιάζεται στο Εικόνα 2 (Χατζής κ.ά 2009).



Εικόνα 2. Διάταξη λήψης ψηφιακών εικόνων δειγμάτων προς ανάλυση για την εκτίμηση του χρώματος σε μικροϋπολογιστή.

Το χρώμα του φόντου επιλέχθηκε μετά από πολλαπλές μετρήσεις (Πίνακας 1) με το χρωματόμετρο σε όλη την επιφάνεια του υλικού με παράλληλη λήψη εικόνων προς ανάλυση από το λογισμικό.



Εικόνα 3. Σχηματική παρουσίαση της διαδικασίας εξαγωγής των αριθμητικών τιμών L^* , a^* και b^* με την τεχνική IA.Cm.

Πίνακας 1. Διαστήματα τιμών L^* , a^* και b^* φόντου (background) και δειγμάτων.

Φόντο background	min	max
L^*	93	99
a^*	-3	2
b^*	-3	3
Δείγματα μαρουλιού	min	max
L^*	45	90
a^*	-16	1
b^*	16	50

Η ανάλυση των ψηφιακών εικόνων για την εξαγωγή των χρωματικών παραγόντων L^* , a^* και b^* , πραγματοποιήθηκε με ειδικό λογισμικό σε περιβάλλον Visual Basic. Το λογισμικό επεξεργασίας εικόνων COREL 12 χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των χρωματικών παραγόντων L^* , a^* και b^* του υπόβαθρου (background) στις δοκιμές επιλογής.

Η χροιά h^* υπολογίστηκε από την παρακάτω εξίσωση:

$$h = [180 + \tan^{-1}(\frac{b^*}{a^*})] \quad (1)$$

Ο παράγοντας a αντιστοιχεί σε αποχρώσεις πράσινου για αρνητικές τιμές (-) έως κόκκινου για θετικές (+). Ο παράγοντας b αντιστοιχεί σε αποχρώσεις μπλε για αρνητικές τιμές (-) έως κίτρινου για θετικές (+). (Yam and Papadakis, 2004).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 1 καταγράφονται οι μέσοι όροι, το τυπικό σφάλμα SE_x και τα όρια εμπιστοσύνης (CL,

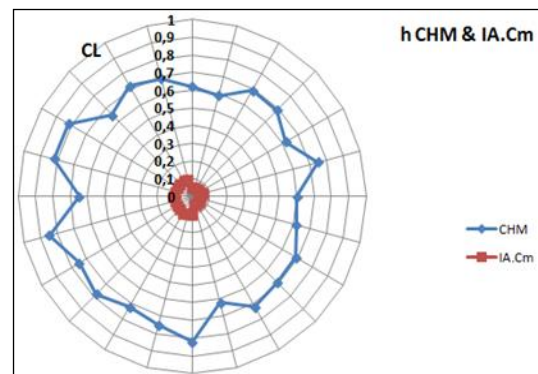
$P \leq 0.05$) του χρωματικού παράγοντα h^* , των ασυσκεύαστων (UF) και συσκευασμένων (PF) ολόκληρων φύλλων μαρουλιού, που προσδιορίστηκαν από τα δεδομένα των δυο τεχνικών CHM και IA.Cm, συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης 0 °C και 10 °C.

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 για την περίπτωση των ασυσκεύαστων (UC) και συσκευασμένων (PC) τεμαχισμένων φύλλων μαρουλιού.

Πίνακας 2. Μέσοι όροι, τυπικό σφάλμα και όρια εμπιστοσύνης CL του h^* από τις τεχνικές CHM και IA.Cm σε ασυσκεύαστα και συσκευασμένα ολόκληρα φύλλα μαρουλιού (0 °C & 10 °C).

$\theta=0\text{ }^\circ\text{C}$, Ασυσκεύαστα φύλλα (UF)						
t_{sp}	h_{CHM}	SE_x	CL	$h_{IA.Cm}$	SE_x	CL
0	117.2	0.32	0.62	108.7	0.03	0.05
4	115.9	0.30	0.59	110.4	0.03	0.05
10	114.8	0.35	0.69	113.7	0.03	0.05
$\theta=10\text{ }^\circ\text{C}$, Ασυσκεύαστα φύλλα (UF)						
t_{sp}	h_{CHM}	SE_x	CL	$h_{IA.Cm}$	SE_x	CL
0	116.7	0.35	0.69	107.4	0.02	0.05
4	118.3	0.32	0.62	108,9	0,03	0.05
10	117.1	0.38	0.75	111.5	0.03	0.06
$\theta=0\text{ }^\circ\text{C}$, Συσκευασμένα φύλλα (PF)						
t_{sp}	h_{CHM}	SE_x	CL	$h_{IA.Cm}$	SE_x	CL
0	115.1	0.31	0.60	108.5	0.03	0.05
4	114.9	0.32	0.62	109.8	0.02	0.04
10	116.1	0.35	0.69	101.2	0.03	0.05
$\theta=10\text{ }^\circ\text{C}$, Συσκευασμένα φύλλα (PF)						
t_{sp}	h_{CHM}	SE_x	CL	$h_{IA.Cm}$	SE_x	CL
0	109.1	0.35	0.69	116.9	0.02	0.05
4	110.6	0.37	0.72	117.5	0.03	0.05
10	114.0	0.32	0.62	117.4	0.03	0.05

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα διαστήματα εμπιστοσύνης CL για όλες τις μετρήσεις και θερμοκρασίες του χρωματικού παράγοντα h^* των δυο τεχνικών CHM & IA.Cm.

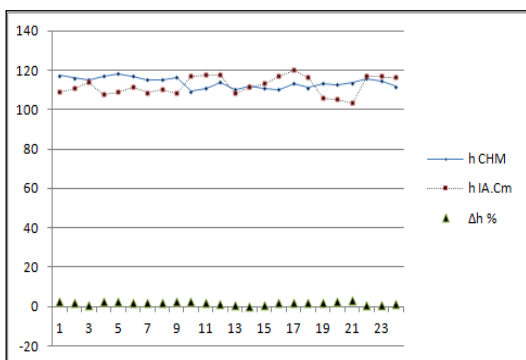


Εικόνα 4. Συγκεντρωτική παρουσίαση διαστημάτων εμπιστοσύνης (CL) των μετρήσεων του χρωματικού παράγοντα h με τις τεχνικές CHM και IA.Cm.

Στην Εικόνα 5 παρουσιάζονται οι τιμές της χροιάς που υπολογίστηκαν με τις τεχνικές CHM και IA.Cm καθώς και το ποσοστό απόλυτης διαφοράς της γωνίας χροιάς αυτών $\Delta h = h_{IA.Cm} - h_{CHM}$, κατ' αντιστοιχία, για κάθε χειρισμό.

Πίνακας 3. Μέσοι όροι, τυπικό σφάλμα και όρια εμπιστοσύνης CL του h^* των τεχνικών CHM και IA.Cm ασυσκευάστα και συσκευασμένα τεμαχισμένα φύλλα μαρουλιού (0 °C & 10 °C).

θ=0 °C, Ασυσκευάστα τεμαχ. φύλλα (UC)						
t_{sp}	h_{CHM}	SE_{-x}	CL	$h_{IA.Cm}$	SE_{-x}	CL
0	115.6	0.42	0.82	108.1	0.05	0.10
4	114.4	0.38	0.75	111.3	0.05	0.10
10	111.6	0.37	0.72	113.1	0.05	0.11
θ=10 °C, Ασυσκευάστα τεμαχ. φύλλα (UC)						
t_{sp}	h_{CHM}	SE_{-x}	CL	$h_{IA.Cm}$	SE_{-x}	CL
0	110.2	0.40	0.78	117.0	0.05	0.10
4	113.3	0.38	0.75	119.7	0.05	0.10
10	111.0	0.43	0.85	116.2	0.05	0.10
θ=0 °C, Συσκευασμένα τεμαχ. φύλλα (PC)						
t_{sp}	h_{CHM}	SE_{-x}	CL	$h_{IA.Cm}$	SE_{-x}	CL
0	113.0	0.33	0.65	105.8	0.05	0.11
4	112.5	0.42	0.82	105.0	0.05	0.10
10	113.5	0.42	0.82	103.0	0.05	0.10
θ=10 °C, Συσκευασμένα τεμαχ. φύλλα (PC)						
t_{sp}	h_{CHM}	SE_{-x}	CL	$h_{IA.Cm}$	SE_{-x}	CL
0	110.0	0.33	0.65	116.8	0.05	0.10
4	111.7	0.37	0.72	116.8	0.05	0.10
10	110.9	0.35	0.69	116.1	0.05	0.10



Εικόνα 5. Τιμές του h^* των τεχνικών IA.Cm και CHM για κάθε περίπτωση και το ποσοστό απόλυτης διαφοράς της γωνίας χροιάς αυτών $\Delta h = h_{IA.Cm} - h_{CHM}$

Στη συνέχεια διενεργήθηκε έλεγχος της γραμμικής ισχύος της παραμέτρου h^* που υπολογίστηκαν από τις δύο τεχνικές, σε συνάρτηση με το χρόνο συντήρησης. Τα αποτελέσματα ελέγχου της ισχύος γραμμικότητας των μεταβολών h_{CHM} , και $h_{IA.Cm}$ των δυο τεχνικών ως προς το χρόνο συντήρησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βάση το συντελεστή συσχέτισης του Pearson (r) αφού πρόκειται για ζεύγη ποσοτικών μεταβλητών.

Πίνακας 4. Συντελεστές της γραμμικής σχέσης $h = \alpha t + \beta$ των παραμέτρων h_{CHM} και $h_{IA.Cm}$ ως προς το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων καθώς και οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης αυτών.

C	0°			10 °C		
	h_{CHM}	$h_{IA.Cm}$		h_{CHM}	$h_{IA.Cm}$	
	α	β	r	α	β	r
U	-	11	0.	0.	10	0.99
F	0.23	7.1	97g	50	8.6	g
U	-	11	0.	0.	10	0.99
C	0.41	5.8	99g	49	8.5	g
P	0.	11	0.	0.	10	0.99
F	10	4.9	81g	40	7.4	g
P	0.	11	0.	-	10	0.99
C	06	2.8	55e	0.27	5.9	g
10 °C	h _{CHM}			h _{IA.Cm}		
	α	β	r	α	β	r
U	0.	11	0.	0.	11	0.95
F	03	7.3	32d	22	1.9	g
U	0.	11	0.	0.	11	0.95
C	04	1.4	14d	11	7.0	g
P	0.	11	0.	0.	10	0.99
F	04	7.2	63e	50	8.9	g
P	0.	11	0.	-	11	0.88
C	08	0.5	45d	0.07	7.0	g

Οι δείκτες d, e, f, g αξιολογούν το βαθμό αξιοπιστίας της γραμμικής συσχέτισης ως εξής (Παπαδόπουλος, 2008):
 $0.3 \leq r < 0.5$ υπάρχει ασθενής γραμμική συσχέτιση: **d**
 $0.5 \leq r < 0.7$ υπάρχει μέση γραμμική συσχέτιση: **e**
 $0.7 \leq r < 0.8$ υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση: **f**
 $0.8 \leq r < 1$ υπάρχει πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση: **g**

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από την ανάλυση διαπιστώθηκε ότι η νέα μέθοδος IA.Cm προσδιορίζει σε όλες τις περιπτώσεις αποχρώσεις στην περιοχή του πράσινου ($103.06 \leq h \leq 119.77$). Στις ίδιες αποχρώσεις, εντός της περιοχής του πράσινου, καταλήγει και η ανάλυση των δεδομένων του χρωματομέτρου ($109.14 \leq h \leq 118.36$) (McGuire, 1992; Minolta, 1995; HunterLab, 2001).

Από την Εικόνα 4 προκύπτει ότι η μέγιστη τιμή του διαστήματος εμπιστοσύνης CL της χρωματικής παραμέτρου h^* στην περίπτωση των μετρήσεων με τη τεχνική CHM είναι 0.85 ενώ στην περίπτωση των μετρήσεων με την τεχνική IA.Cm είναι 0.1. Η διαφορά αυτή οφείλεται στη δυνατότητα της νέας τεχνικής να μετρά το χρώμα σε κάθε εικονοστοιχείο (pixel) της ψηφιακής εικόνας δείγματος, η οποία αναλύεται (περίπου 90,000-110,000 ανά εικόνα).

Η μεγαλύτερη απόλυτη διαφορά της γωνίας χροιάς $\Delta h = 2.2\%$ (Εικόνα 5) εμφανίζεται στην περίπτωση του συσκευασμένου δείγματος

τεμαχισμένων φύλλων μαρουλιού στους 0 °C. Η μικρότερη απόλυτη διαφορά, $\Delta h=0.1\%$ παρουσιάζεται στην περίπτωση των ασυσκεύαστων τεμαχισμένων φύλλων στους 0 °C.

Η ανάλυση προσδιορισμού γραμμικής συσχέτισης του παράγοντα h^* σε συνάρτηση με το χρόνο συντήρησης, έδειξε την ύπαρξη ασθενούς έως πολύ ισχυρής γραμμικότητας στις μεταβολές των παραμέτρων h της τεχνικής CHM. Στην περίπτωση όμως της νέας τεχνικής IA.Cm διαπιστώθηκε ύπαρξη πολύ ισχυρής γραμμικής συσχέτισης για κάθε χειρισμό και θερμοκρασία. Πιθανή εξήγηση της διαφοράς αυτής αποτελεί η δυνατότητα μέτρησης του χρώματος στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων με την τεχνική ανάλυσης ψηφιακών εικόνων IA.Cm

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η γωνία χροιάς $h_{IA.Cm}$ κυμαίνεται σε διαστήματα τιμών πράσινης απόχρωσης όπως και οι αντίστοιχες τιμές h_{CHM} , και στις δύο πειραματικές σειρές. Το αποτέλεσμα αυτό τεκμηριώνει το γεγονός ότι η νέα αντικειμενική μέθοδος δεν παρουσιάζει σημαντικά χρωματικά σφάλματα.
2. Με τη νέα μέθοδο μέτρησης του χρώματος μετράται το χρώμα στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων μαρουλιού (κάθε μέτρηση με χρωματόμετρο προσδιορίζει το χρώμα σε επιφάνεια μόνον 50.24 mm²).
3. Η μέθοδος IA.Cm εξαιτίας του μεγάλου αριθμού δεδομένων κάθε μέτρησης παρουσιάζει σημαντικά μικρότερα διαστήματα εμπιστοσύνης σε σχέση με την τεχνική CHM. Το αποτέλεσμα αυτό ενισχύει σημαντικά την αξιοπιστία της νέας μεθόδου.
4. Βασική αιτία των διαφοροποιήσεων οι οποίες παρατηρούνται στα αποτελέσματα της μεθόδου CHM έναντι αυτών της τεχνικής IA.Cm είναι η κατά πολύ μικρότερη επιφάνεια ανάλυσης

χρώματος που πραγματοποιείται με το χρωματόμετρο.

5. Το ποσοστό απόλυτης διαφοράς του παράγοντα της γωνίας χροιάς, $\Delta h=h_{IA.Cm}-h_{CHM}$ μεταξύ των δύο μεθόδων κυμαίνεται από 0.1% έως 2.2%, διαστήματα τα οποία κρίνονται ιδιαίτερα χαμηλά.
6. Η νέα μέθοδος τέλος είναι χαμηλότερου κόστους και σημαντικά γρηγορότερη σε σχέση με τη μέθοδο του χρωματόμετρου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Clelland D. and Eismann K. 2001. Ψηφιακή φωτογραφία Εκδ. Anubis. Αθήνα. 405 σ.
- HunterLab. 1996. CIE L*a*b* Color Scale. Vol. 8. No.7
- Kader,A., 2002. Maturation and maturity index. Postharvest Technology of Horticultural crops. (ed. A. Kader), University of California Agr and Natural Resources Pub.3311 pp. 55-62.
- Minolta. 1995. Chroma Meter CR – 300. Instruction Manual Minolta. Japan. p. 81
- Yam, L. K. and Papadakis, S. E.. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing colour of food surfaces. Journal of Food Engineering, 61:137-142.
- Παπαδόπουλος, Γ., 2008. Συσχέτιση δύο μεταβλητών. Σημειώσεις παραδόσεων εργαστηρίου μαθηματικών και στατιστικής. ΓΠΑ. www.aua.gr/gpapadopoulos
- Χατζής Γ.Ε., Μανωλοπούλου Ε., Αραβαντινός-Καρλάτος Ε., Ξανθόπουλος Γ. και Λαμπρινός Γρ. 2009. Μελέτη της μεταβολής του χρώματος ελάχιστα επεξεργασμένων μήλων Golden delicious με ανάλυση ψηφιακών εικόνων. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνέδριου Γεωργικής Μηχανικής, σσ. 787-794, 8-10 Οκτωβρίου. Θεσσαλονίκη.
- Χατζής Ε., Ξανθόπουλος Γ. και Λαμπρινός Γρ., 2009. Συσκευή λήψης εικόνων με ψηφιακή κάμερα και μέθοδος μέτρησης του χρώματος φυτικών οργάνων. Αριθμ. Διπλ. Ευρεσ. OBI :1006553, Ημ. Έκδοσης 02/10/2009.

ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ: Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΙΑΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ, ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Δημήτριος Πυρομάλης^{1,2}, Κωνσταντίνος Γ. Αρβανίτης², Δημήτριος Τσελές¹

¹Τμήμα Αυτοματισμού, Τεχνολογικό & Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (Τ.Ε.Ι.) Πειραιά, Οδός Πέτρου Ράλλη & Θηβών 250, Τ.Κ. 12244, Αιγάλεω, email: piromali@teipir.gr

² Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Οδός Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855, Αθήνα, email: karvan@aua.gr

Η πρόοδος της μικροηλεκτρονικής και των επικοινωνιών επέτρεψαν την ραγδαία ανάπτυξη των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων την τελευταία δεκαετία. Η συμβολή των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων στην γεωργία είναι σημαντική διότι επιτρέπουν την ανάπτυξη εφαρμογών μέτρησης, παρακολούθησης και ελέγχου κρίσιμων παραμέτρων του μικροκλίματος στις καλλιέργειες. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η μεθοδολογία σχεδιασμού μιας πλατφόρμας ενός δικτύου ασυρμάτων αισθητήρων για εφαρμογές στη γεωργία. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή, διακρίνονται τρία διαφορετικά είδη χρήσης των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων, ήτοι η έρευνα, η ανάπτυξη, και η εκπαίδευση. Για κάθε ένα είδος χρήσης αναλύονται όλες οι ιδιαιτερότητες και οι απαιτήσεις από την πλευρά του χρήστη, των συστημάτων, και της εφαρμογής. Όλοι οι κρίσιμοι παράγοντες αυτοί κατηγοριοποιούνται σε τεχνολογικούς και οικονομικούς παράγοντες, καθώς και σε παράγοντες σχετικούς με τις ικανότητες και τις δεξιότητες των χρηστών. Στην συνέχεια παρουσιάζονται όλες οι πιθανές επιλογές σχεδιασμού ανά είδος χρήσης και κατηγορία παραγόντων. Στην συνέχεια της εργασίας παρουσιάζεται ένα παράδειγμα χρήσης της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Το παράδειγμα αφορά στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση ενός συστήματος δικτύου ασυρμάτων αισθητήρων για τον έλεγχο του μικροκλίματος καλλιεργειών. Το σύστημα στηρίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4/ZigBee και περιλαμβάνει τους ασύρματους κόμβους αισθητήρων, τον κεντρικό ασύρματο ελεγκτή του δικτύου, την μονάδα διασύνδεσης με το διαδίκτυο μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας, καθώς και την υποδομή για την εξ αποστάσεως παρακολούθηση και τον έλεγχο μέσω διαδικτυακού εξυπηρετητή. Η πλατφόρμα αυτή στοχεύει στην ανάπτυξη εφαρμογών σε υπαίθριες καλλιέργειες αλλά και στην εκπαίδευση των αγροτών στην τεχνολογία των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων. Με την προτεινόμενη μεθοδολογία γίνονται σαφείς οι παράμετροι σχεδιασμού μιας πλατφόρμας δικτύου ασυρμάτων αισθητήρων, διευκολύνεται ο σχεδιαστής στην συσχέτιση επιλογών σχεδιασμού και απαιτήσεων.

Λέξεις κλειδιά: Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, IEEE 802.15.4, ZigBee, Έλεγχος μικροκλίματος, Γεωργία ακριβείας

WIRELESS SENSOR NETWORKS: A RESEARCH, DEVELOPMENT AND EDUCATION PLATFORM DESIGN FOR MICROCLIMATE CONTROL IN AGRICULTURE

Dimitrios Piromalis^{1,2}, Konstantinos G. Arvanitis², Dimitrios Tseles²

¹Department of Automation, Technological & Educational Institute of Piraeus, 250, P. Ralli & Thivon Str., 12244, Aegaleo, Greece, email: piromali@teipir.gr

²Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, 75, Iera Odos Str., 11855, Athens, Greece, email: karvan@aua.gr

Vast progress in microelectronics and data communication technologies has effectively benefited the evolution of the wireless sensors networks technology last decade. Wireless sensors networks is a key technology for implementing applications for controlling microclimatic parameters and supporting precision agriculture. In this paper a method of design and implementing wireless sensors networks is presented. According to this method, there are three distinct activities areas, namely the research, the development, and the training. Each of these areas is characterized by different needs, requirements, users' profiles, inputs and outputs. This method can be used as a basis to justify the use of innovation and control the time as well as the cost parameters of an implementation. As an example of application of this method, the design of a fully functional wireless sensors network for microclimatic parameters control in agriculture based on IEEE 802.15.4/ZigBee and Web applications is presented as well.

Key words: Wireless sensor network, IEEE 802.15.4, ZigBee, Microclimate control, Precision agriculture

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνολογία των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων (WSN: Wireless Sensors Networks) εξελίχθηκε ραγδαία την τελευταία δεκαετία. Σ' αυτό βοήθησε σε μεγάλο βαθμό η ταυτόχρονη πρόοδος στις τεχνολογίες της μικροηλεκτρονικής και των

επικοινωνιών δεδομένων. Για την γεωργία, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν το «κλειδί» για την ανάπτυξη εφαρμογών για την γεωργία ακριβείας (precision agriculture). Όμως μια εφαρμογή ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων για την γεωργία προϋποθέτει την γνώση πολλών επί μέρους

τεχνολογιών από διαφορετικές περιοχές γνώσης. Η εργασία αυτή παρέχει την μεθοδολογία για την αντιμετώπιση μιας τέτοιας ανάπτυξης.

Στην βιβλιογραφία δυστυχώς δεν αναφέρονται στοιχεία σχετικά με μεθοδολογίες για τον σχεδιασμό ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων. Στην πράξη, ένας μικρός αριθμός ερευνητικών ομάδων σχεδιάζουν συστήματα ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων τα οποία τις περισσότερες φορές είναι γενικού σκοπού (general purpose). Αυτά τα συστήματα στην συνέχεια υιοθετούνται αυτούσια από άλλες ερευνητικές ομάδες οι οποίες ασχολούνται με την μελέτη της λειτουργίας των δικτύων, ή με την μελέτη συγκεκριμένων εφαρμογών. Τέτοια συστήματα είναι π.χ. τα δημοφιλή Mica και Telos motes. Στον αντίποδα, η βιομηχανία προσφέρει λύσεις ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων για την γεωργία αλλά αυτές οι λύσεις τις περισσότερες φορές στηρίζονται σε «κλειστά» πρωτόκολλα επικοινωνιών (proprietary protocols). Αυτό το τελευταίο χαρακτηριστικό καθιστά τις περισσότερες βιομηχανικές λύσεις ακατάλληλες για χρήση στην έρευνα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Τα μέρη μιας εφαρμογής Ασυρμάτων Δικτύων Αισθητήρων

Μια εφαρμογή ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων αποτελείται από μερικά συγκεκριμένα συστατικά μέρη, τις λειτουργικές υπομονάδες. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι λειτουργικές υπομονάδες μαζί με το λειτουργικό επίπεδο στο οποίο ανήκουν.

Πίνακας 1. Οι λειτουργικές υπομονάδες και τα λειτουργικά επίπεδα μιας εφαρμογής ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.

#	Λειτουργικό Υποσύστημα	Επίπεδο Λειτουργιών
1	WSN Network Protocol	WSN
2	Nodes Hardware	WSN
3	Application Scenario	WSN
4	Transducers	WSN
5	WSN to WEB Gateway	WSN + GPRS + Web
6	Web Services	Web
7	Web Portal	Web
8	Data Base	Web + Data Bases

Τα λειτουργικά επίπεδα είναι τρία, το επίπεδο των ασυρμάτων κόμβων αισθητήρων (WSN), το επίπεδο της σύζευξης του ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων με το διαδίκτυο (gateway), και το επίπεδο της υποδομής για την εξυπηρέτηση της εφαρμογής μέσω του διαδικτύου (Web).

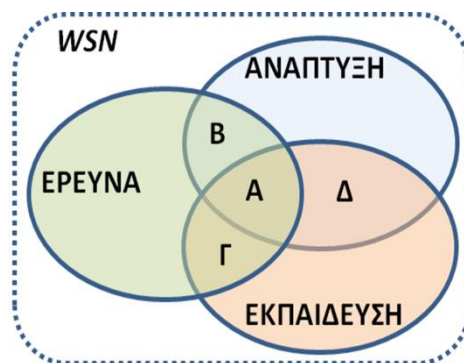
2.2. Παράμετροι σχεδίασης εφαρμογών Ασυρμάτων Δικτύων Αισθητήρων

Οι εφαρμογές των ασυρμάτων δικτύων στην γεωργία μπορούν να μελετηθούν σε μικρό ή μεγάλο βάθος αναλόγως του που απευθύνονται, δηλαδή ποιοί είναι οι τελικοί χρήστες της εφαρμογής. Επίσης, αναλόγως των αναγκών και των απαιτήσεων διακρίνονται τρεις περιοχές

ενασχόλησης με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, η έρευνα, η ανάπτυξη, και η εκπαίδευση. Κάθε περιοχή έχει τα δικά της ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως το προφίλ των χρηστών, το σύνολο των αναγκών σε τεχνολογία, συστήματα και εργαλεία, αλλά και το είδος των παραγόμενων προϊόντων και το είδος των αποδεκτών τους. Ένα συγκεκριμένο σενάριο εφαρμογής μπορεί επομένως να αντιμετωπίζεται με διαφορετικά κριτήρια από τους χρήστες των τριών αυτών διακριτών περιοχών δραστηριότητας.

Στην περιοχή της έρευνας ανήκουν ερευνητές από ιδρύματα και οργανισμούς οι οποίοι έχουν στόχο την επέκταση της υπάρχουσας τεχνολογικής γνώσης. Στην περιοχή της ανάπτυξης ανήκουν οι μηχανικοί της βιομηχανίας και έχουν στόχο την ανάπτυξη λύσεων και προϊόντων για την αγορά. Στην περιοχή της εκπαίδευσης ανήκουν οι τελικοί χρήστες στην γεωργία (αγρότες). Σχετικά με τις απαιτήσεις στην κάθε περιοχή δραστηριότητας, στην έρευνα δίνεται έμφαση σε ανοικτά και τυποποιημένα συστήματα και εργαλεία, στην ανάπτυξη δίνεται έμφαση στην χρήση τεχνολογιών για την μείωση του κόστους και την αύξηση της αξιοπιστίας των συστημάτων, ενώ στην τρίτη περιοχή, την εκπαίδευση, δίνεται έμφαση στην επικοινωνία του τελικού χρήστη με τα συστήματα και την επεξεργασία των δεδομένων και των μετρήσεων.

Στην Εικόνα 1 απεικονίζονται οι τρεις περιοχές δραστηριότητας. Οι τομές που δημιουργούνται μεταξύ των τριών περιοχών, και σημειώνονται με τα γράμματα Α έως και Δ, εκφράζουν την χρήση των ερευνητικών αποτελεσμάτων στην ανάπτυξη και στην εκπαίδευση για την ικανοποίηση των απαιτήσεων και των αναγκών της κάθε μιας από τις δύο αυτές περιοχές δραστηριότητας. Συγκεκριμένα, η υποπεριοχή που υποδηλώνεται με το γράμμα Β εκφράζει τα αποτελέσματα της έρευνας που υιοθετούνται και χρησιμοποιούνται από την ανάπτυξη. Η υποπεριοχή που υποδηλώνεται με το γράμμα Γ εκφράζει τα αποτελέσματα της έρευνας που χρησιμοποιούνται από την εκπαίδευση. Με το γράμμα Α υποδηλώνεται η υποπεριοχή που εκφράζει ταυτόχρονα την χρήση των ερευνητικών αποτελεσμάτων για την κάλυψη των αναγκών της ανάπτυξης και της εκπαίδευσης. Τέλος, με το γράμμα Δ υποδηλώνεται η υποπεριοχή που εκφράζει την ανεξαρτησία από τα ερευνητικά αποτελέσματα (out of state-of-art).

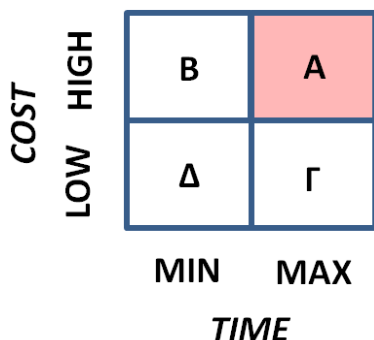


Εικόνα 1. Οι τρεις περιοχές δραστηριότητας για την υλοποίηση εφαρμογών ασυρμάτων δικτύων

αισθητήρων και οι επίδραση της έρευνας στην ανάπτυξη και στην εκπαίδευση.

Η δομή αυτή αναπαριστά το γεγονός πως για την ανάπτυξη μιας δεδομένης εφαρμογής ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων μπορεί είτε να γίνει χρήση υψηλής τεχνολογίας (Β και Γ), πολύ υψηλής τεχνολογίας με μεγάλη καινοτομία (Α), ή τεχνολογίας που βασίζεται σε ώριμες και δοκιμασμένες τεχνολογίες (Δ). Ως ώριμες τεχνολογίες μπορούν να οριστούν αυτές για τις οποίες έχει ξεκινήσει η έρευνα τουλάχιστον μία δεκαετία πριν, υπάρχουν διαθέσιμα εργαλεία ανάπτυξης υλικού και λογισμικού σε χαμηλό κόστος, και υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες εμπορικές εφαρμογές (COTS: Consumer Of The Shelves).

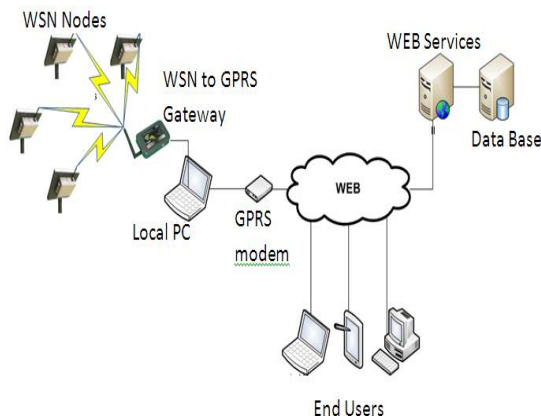
Στην Εικόνα 2 φαίνεται η επίδραση του βαθμού χρήσης της τεχνολογίας και της καινοτομίας (έρευνα) στο κόστος και στο χρόνο υλοποίησης μιας εφαρμογής ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων. Με τα γράμματα Α έως και Δ υποδηλώνονται οι υποπεριοχές που εξηγήθηκαν προηγουμένως (Εικόνα 1).



Εικόνα 2. Η επίδραση στο κόστος και στον χρόνο υλοποίησης μιας εφαρμογής ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων αναλόγως της χρήσης της έρευνας και της καινοτομίας,

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Έχοντας ως στόχο την ανάπτυξη μιας εφαρμογής ελέγχου του μικροκλίματος μέσω ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων για την έρευνα, την ανάπτυξη και την εκπαίδευση, η αρχιτεκτονική που πρέπει να υλοποιηθεί, σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι αυτή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3. Αρχιτεκτονική εφαρμογής ελέγχου μικροκλίματος στην γεωργία μέσω ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.

Οι απαιτήσεις για τον σχεδιασμό που προέρχονται από τις διαφορετικές ομάδες χρηστών είναι αρκετές και διαφορετικές μεταξύ τους. Για τους ερευνητές η έμφαση δίνεται κυρίως σε:

- Πρόσβαση στις λειτουργίες του πρωτοκόλλου επικοινωνίας,
- Ανάπτυξη αλγορίθμων σε κώδικα μικροελεγκτών,
- Επαναπρογραμματισμός των μικροελεγκτών των κόμβων,
- Λειτουργίες εκσφαλμάτωσης κώδικα μικροελεγκτών και μικροεπεξεργαστών εφαρμογών,
- Διασύνδεση με ποικιλία αισθητήρων και ενεργοποιητών
- Έλεγχος των λειτουργιών σε τοπικό επίπεδο
- Έλεγχος εξ' αποστάσεως,
- Δυνατότητα αλλαγής του πρωτοκόλλου επικοινωνίας.

Για τους μηχανικούς της βιομηχανίας η έμφαση δίνεται κυρίως σε:

- Χαμηλό κόστος εξοπλισμού,
- Αξιοπιστία λειτουργίας συστημάτων και εφαρμογής,
- Ανάπτυξη και διαχείριση και διατήρηση δικτύου,
- Έλεγχος εξ' αποστάσεως.

Για τους τελικούς χρήστες η έμφαση δίνεται κυρίως σε:

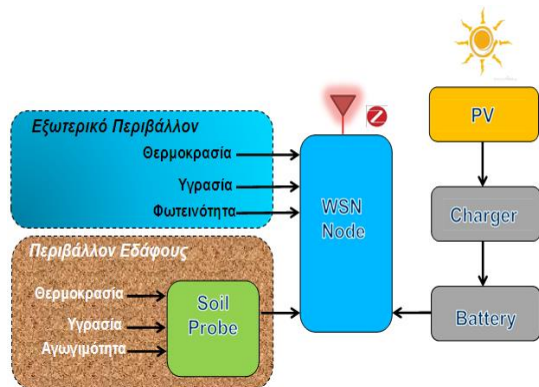
- Μεγάλη ενεργειακή αυτονομία,
- Χαμηλό κόστος απόκτησης,
- Μηδενικό κόστος λειτουργίας,
- Μηδενικός απαιτούμενος χώρος τοποθέτησης,
- Λειτουργίες παρακολούθησης δεδομένων
- Ανθεκτικότητα στην χρήση και στον χρόνο
- Μηδενική εμπλοκή στην διαχείριση και διατήρηση του δικτύου

Στο σύστημα που αναπτύξαμε προσπαθήσαμε να ικανοποιήσουμε όλες τις προαναφερόμενες απαιτήσεις. Στο σύστημα υπάρχουν οι ασύρματοι κόμβοι αισθητήρων, ο κεντρικός ασύρματος κόμβος (Coordinator), ο τοπικός ηλεκτρονικός υπολογιστής, το GPRS modem για την διασύνδεση με το διαδίκτυο, οι διαδικτυακές υπηρεσίες (Web services), η βάση δεδομένων (Data base) και τέλος, η διαδικτυακή εφαρμογή διαχείρισης πρόσβασης χρηστών και ανταλλαγής δεδομένων (Web portal).

Η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε επιλέχθηκε να είναι ώριμη (υποπεριοχή Δ) ώστε να μειωθούν το κόστος και ο χρόνος υλοποίησης. Από την άλλη πλευρά, δώθηκε έμφαση στην υλοποίηση λειτουργιών ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες των χρηστών της κάθε περιοχής δραστηριότητας (έρευνα, ανάπτυξη, εκπαίδευση).

Στην Εικόνα 4 φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα του ασύρματος κόμβου αισθητήρων που σχεδιάστηκε

και υλοποιήθηκε. Συγκεκριμένα, ο ασύρματος κόμβος τροφοδοτείται από μπαταρία η οποία φορτίζεται από φωτοβολταϊκό πάνελ, και έχει διασυνδεδεμένα πάνω του αισθητήρια για την μέτρηση της φωτεινότητας, της υγρασία και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, αλλά και αισθητήρια μέτρησης υγρασίας, θερμοκρασίας και ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους.



Εικόνα 4. Μπλοκ διάγραμμα ασύρματος κόμβου αισθητήρων για τον έλεγχο μικροκλίματος στην γεωργία.

Στην Εικόνα 5 παρουσιάζονται η εμπρός και πίσω όψη του ασύρματος κόμβου όπως αυτός υλοποιήθηκε ειδικά για χρήση στο περιβάλλον της γεωργίας.

Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε για την επικοινωνία των ασυρμάτων κόμβων αισθητήρων είναι το IEEE 802.15.4/ZigBee. Οποιοδήποτε άλλο πρωτόκολλο επικοινωνίας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί όταν αυτό απαιτείται για ερευνητικούς λόγους. Ο τοπικός υπολογιστής έχει τοποθετηθεί για να δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να ελέγχουν τις λειτουργίες του συστήματος σε τοπικό επίπεδο. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής μπορεί να αντικατασταθεί από ενσωματωμένη αυτόνομη συσκευή (Embedded Gateway).

Η διασύνδεση με το διαδίκτυο επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης GPRS modem.

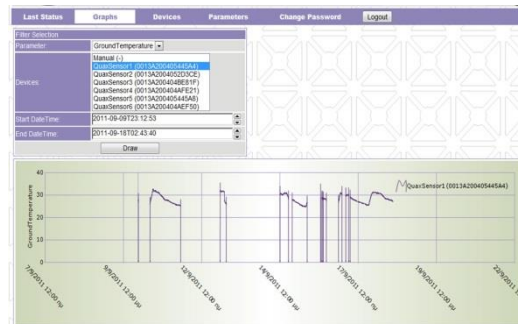


Εικόνα 5. Εμπρός και πίσω όψη του ασύρματος κόμβου αισθητήρων για χρήση στο περιβάλλον της γεωργίας.

Οι χρήστες μπορούν να ελέγχουν τις λειτουργίες, τις παραμέτρους και τα δεδομένα των μετρήσεων μέσω της πρόσβασης στην ηλεκτρονική σελίδα της διαδικτυακής εφαρμογής (Web portal) κάνοντας χρήση του φορητού τους υπολογιστή, του κινητού, ή της ταμπλέτας τους. Τα δικαιώματα κάθε χρήστη

καθορίζονται σύμφωνα με την περιοχή δραστηριότητας που αυτός ανήκει (έρευνα, ανάπτυξη, εκπαίδευση).

Στην Εικόνα 6 φαίνεται μία από τις σελίδες της διαδικτυακής εφαρμογής στην οποία ο χρήστης μπορεί να δει σε μορφή γραφικής παράστασης τις τιμές των μετρήσεων των αισθητήρων των ασυρμάτων κόμβων.



Εικόνα 6. Απεικόνιση σε γραφική παράσταση των τιμών μέτρησης από τους αισθητήρες των ασυρμάτων κόμβων στο πεδίο.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Είναι πολύ χρήσιμο να γίνεται σαφής διαχωρισμός των εμπλεκόμενων ρόλων σε μια υλοποίηση εφαρμογής. Επίσης, η καινοτομία πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένη με τις ανάγκες, τις απαιτήσεις και το ανεκτό κόστος υλοποίησης.

Κατα κύριο λόγο η ευθύνη για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου ανήκει στην περιοχή της ανάπτυξης. Η βιομηχανία δηλαδή, είναι αυτή που οφείλει να λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος μεταξύ των άλλων περιοχών δραστηριοτήτων είτε μέσω της υλοποίησης των αποτελεσμάτων της έρευνας σε μορφή προϊόντων, είτε μέσω της ανάπτυξης εργαλείων για την έρευνα.

Το παράδειγμα του συστήματος που σχεδιάσαμε μας επιβεβαιώνει πως το κόστος και ο χρόνος ανάπτυξης αυξάνονται όσο περισσότερες απαιτήσεις από διαφορετικές περιοχές χρήσης ενσωματώνει το σύστημα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο διαχωρισμός των δραστηριοτήτων σε διακριτές περιοχές μπορεί να βοηθήσει στην υλοποίηση εφαρμογών ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων για την γεωργία.

Με την μέθοδο αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί ευκολότερα η διάκριση των διαφορετικών ρόλων, αναγκών και απαιτήσεων όλων των εμπλεκόμενων μερών στον σχεδιασμό, στην υλοποίηση και στην χρήση εφαρμογών ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων για την γεωργία.

Ακολουθώντας την μέθοδο αυτή, το κόστος και ο χρόνος υλοποίησης μπορούν να ελέγχονται σε σχέση με τον βαθμό καινοτομίας που απαιτείται κατά περίπτωση.

Σημαντική προϋπόθεση για τον σχεδιασμό ενός συστήματος ασύρματος δικτύου αισθητήρων είναι η πολύ καλή γνώση όλων των παραμέτρων

σχεδιασμού. Μία παράμετρος που έχει αγνοηθεί μπορεί να οδηγήσει στην αποτυχία μιας εφαρμογής.

Στο προσεχές μέλλον θα μελετηθούν και θα παρουσιαστούν περισσότερα παραδείγματα χρήσης της προτεινόμενης μεθόδου μέσω εφαρμογών κατά περίπτωση (case studies).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Άρθρα Συνεδριών

Polastre, J., R. Szweczyk, and D. Culler. 2005. Telos: Enabling ultra-low power wireless research. *4th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, IPSN 2005*, art. no. 1440950, pp. 364-369

Brusey, J., E. Gaura, and R. Hazelden. 2011. WSN deployments: Designing with patterns. *Proceedings of IEEE Sensors*, art. no. 6127129, pp. 71-76

Gädeke, T., T. Schwalb, J. Schmid, W. Stork, and K. D. Müller-Glaser. 2012. Hybrid person localization in ad-hoc networks using model-based control and visualization. *2012 IEEE 1st International Symposium on Wireless Systems - Within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, IDAACS-SWS 2012*, art. no. 6377622, pp. 13-18

Peter, S. and P. Langendörfer. 2012. Tool-supported methodology for component-based design of wireless sensor network applications.

Proceedings - International Computer Software and Applications Conference, art. no. 6341630, pp. 526-531

Περιοδικά

Ruiz-Garcia, L., L. Lunadei, P. Barreiro and J.I. Robla. 2009. A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: State of the art and current trends. *Sensors (Switzerland)*, 9(6), pp. 4728-4750.

Wang, N., N. Zhang and M. Wang. 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry - Recent development and future perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50(1), pp. 1-14.

Yu, X., P. Wu, W. Han and Z. Zhang. 2013. A survey on wireless sensor network infrastructure for agriculture. *Computer Standards and Interfaces*, 35(1), pp. 59-64.

Egbogah, E. E. and A. O. Fapojuwo. 2011. A survey of system architecture requirements for health care-based wireless sensor networks. *Sensors* 11, no. 5: 4875-4898,

Κεφάλαια βιβλίων

Suhonen, J., M. Kohvakka, V. Kaseva, T.D. Hämmäläinen and M. Hännikäinen, 2012, *Low-Power Wireless Sensor Networks – Protocols, Services and Applications*, 2012, XIII. 83 p. 83 p. 32, Springer, ISBN: 978-1-4614-2172-6.

ΑΝΑΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΟΜΑΔΕΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Άννα Ορφανού¹, Δημήτριος Παύλου¹, Gareth Edwards¹, Διονύσης Μπόχτης¹

¹Department of Engineering, University of Aarhus, Faculty of Science and Technology, Blichers Allé 20, 8830 Tjele, Denmark

Η τρέχουσα ανάπτυξη πολύπλοκων συστημάτων αγροτικής παραγωγής και διάθεσης των αντίστοιχων προϊόντων, όπως για παράδειγμα, η περίπτωση της παραγωγής βιομάζας που προορίζεται για βιοενέργεια, απαιτεί προηγμένα εργαλεία διαχείρισης για τον προγραμματισμό και το συντονισμό των εμπλεκόμενων μηχανημάτων. Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται μέθοδος ανάθεσης και προγραμματισμού εργασιών σε ομάδες μηχανημάτων για τη συγκομιδή και χειρισμό της βιομάζας. Για την επίλυση του προβλήματος αναπτύχθηκε στοχευμένος αλγόριθμος βελτιστοποίησης. Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη ειδικούς επιχειρησιακούς παράγοντες όπως τη γεωγραφική τοποθεσία και την έκταση των αγρών, το διαθέσιμο μηχανικό εξοπλισμό, τα χαρακτηριστικά των μηχανημάτων και την αναμενόμενη απόδοσή τους. Η έξοδος του αλγόριθμου παρέχει τη βελτιστοποιημένη ανάθεση εργασιών στα διαθέσιμα μηχανήματα και τη βελτιστοποιημένη διαδοχή των εργασιών αυτών. Το κριτήριο βελτιστοποίησης είναι ο χρόνος της συνολικής εργασίας επιχείρησης (μέχρι να ολοκληρωθούν όλες οι επιμέρους εργασίες σε όλους τους αγρούς). Παρουσιάζονται αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου σε περιπτώσεις που αντιστοιχούν στα επιχειρησιακά χαρακτηριστικά της παραγωγής βιομάζας στην Ελλάδα.

Λέξεις κλειδιά: Προγραμματισμός εργασιών, βιομάζα, βελτιστοποίηση, εφοδιαστική αλυσίδα

ASSIGNMENT AND SCHEDULING FOR MACHINERY GROUPS IN BIOMASS SUPPLY CHAIN

Anna Orfanou¹, Dimitrios Pavlou¹, Gareth Edwards¹, Dionysis Bochtis¹

¹Department of Engineering, University of Aarhus, Faculty of Science and Technology, Blichers Allé 20, 8830 Tjele, Denmark

annaorf@yahoo.gr, dmpavlou@gmail.com, gtedwards@hotmail.co.uk, Dionysis.Bochtis@agrsci.dk

The current development of complex agricultural production and provision systems, e.g. the case of biomass for bioenergy use, requires advanced management tools for scheduling and coordination of the involved machinery. This paper presents a method for assignment and scheduling of machinery teams for harvesting and handling of biomass. An optimization algorithm was developed for the solution of the optimisation problem. The algorithm takes into account specific operational factors such as the geographic location and the area of the fields, the available machinery, their features, and their predicted performance. The output of the algorithm provides the optimised assignment of operations to machines and the optimised sequence for the execution of these operations. The optimisation criterion is the completion time of the overall operation. Results are presented from the application of the method in case studies corresponding to the operational characteristics of biomass production in Greece.

Key words: Scheduling, biomass, optimization, supply chain

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

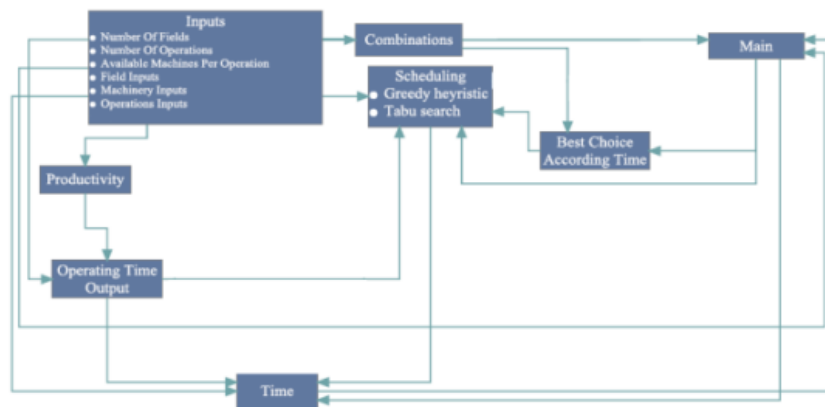
Κατά τη συγκομιδή της βιομάζας πραγματοποιείται ένας αριθμός διαδοχικών εργασιών όπου η διάρκεια κάθε εργασίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως για παράδειγμα, η εμπειρία και η ικανότητα των εργαζομένων, ο διαθέσιμος εξοπλισμός, η μορφολογικές συνθήκες του αγρού, το ακολουθούμενο σχέδιο εργασίας, κτλ. (Basnet et al., 2006). Ως εκ τούτου, ο προγραμματισμός των εργασιών, δηλαδή ο καθορισμός του χρόνου έναρξης της κάθε εργασίας, καθώς και η επιλογή των πόρων από ένα σύνολο διαθέσιμων πόρων (εργατικό δυναμικό, εξοπλισμός κλπ.), είναι κρίσιμα σημεία της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Δυστυχώς, αυτό που συνήθως συμβαίνει στην πραγματικότητα είναι ο προγραμματισμός και η ανάθεση των εργασιών να

γίνεται σύμφωνα με την εμπειρία του διαχειριστή και όχι με βάση εργαλεία στήριξης αποφάσεων.

Γενικά τα κριτήρια που μπορούν να ληφθούν υπόψη στη βελτιστοποίηση της συγκομιδής βιομάζας και αφορούν το μέγεθος του χρόνου είναι (Bochtis, 2010) :

1. Ελαχιστοποίηση της μέγιστης καθυστέρησης
2. Ελαχιστοποίηση της συνολικής σταθμισμένης βραδύτητας
3. Ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου (makespan)
4. Ελαχιστοποίηση συνολικού σταθμισμένου χρόνου ολοκλήρωσης

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης του προγραμματισμού των εργασιών για συγκομιδή βιομάζας με βάση την εξοικονόμηση χρόνου.

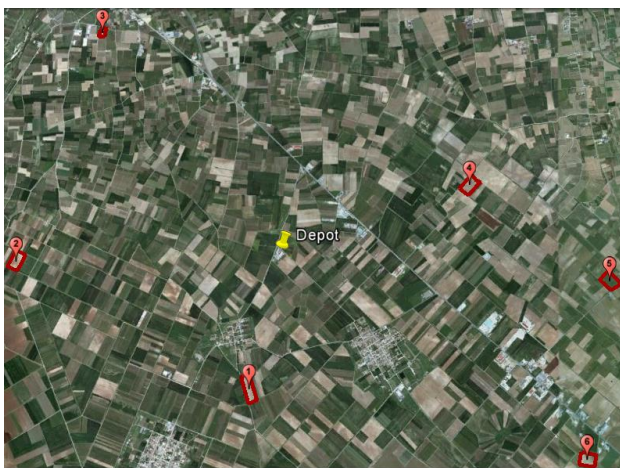


Εικόνα 1. Αρχιτεκτονική απεικόνιση του προγραμματισμού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο αλγόριθμος του προγραμματισμού βασίζεται σε δύο αλγοριθμικές προσεγγίσεις, τις tabu search και greedy heuristic (Εικόνα 1). Ο αλγόριθμος είναι βασισμένος σε τροποποιήσεις της μεθόδου που

αναπτύχθηκε από Basnet et al. (2006). Η είσοδος του αλγορίθμου περιλαμβάνει: α) δεδομένα αγρών, όπως έκταση και αποστάσεις μεταξύ τους, κλπ., β) δεδομένα μηχανημάτων, όπως αριθμός, είδος,



(α)



(β)

Εικόνα 2. Χάρτες των αγρών της μελέτης περίπτωσης οι οποίοι βρίσκονται σε (α) απομακρυσμένες και (β) γειτονικές αποστάσεις

πλάτος εργασίας, κλπ., και γ) λειτουργικά δεδομένα, όπως διαδοχικές εργασίες, ταχύτητα μηχανής κατά την εργασία, κλπ.. Η έξοδος του αλγορίθμου παρέχει: α) τη βέλτιστη ανάθεση εργασιών στα διαθέσιμα μηχανήματα, β) τη βέλτιστη διαδρομή για κάθε μηχανήμα, και γ) το βέλτιστο χρονοδιάγραμμα των εργασιών αυτών με βάση την ελαχιστοποίηση του χρόνου εργασίας (makespan).

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Σε αυτή τη μελέτη έχουν επιλεγεί τρεις διαδοχικές εργασίες στη συγκομιδή βιομάζας για την εφαρμογή του αλγορίθμου του προγραμματισμού. Οι τρεις αυτές εργασίες είναι η κοπή, η δημιουργία γραμμικών σωρών και η δεματοποίηση. Παρουσιάζεται ένα σενάριο (σενάριο Α) όπου έχουν επιλεγεί 6 αγροί σε σχετικά απομακρυσμένες αποστάσεις, με μέση μεταξύ τους απόσταση 5.548 m (Εικόνα 2α), και ένα δεύτερο σενάριο (σενάριο Β) όπου έχουν επιλεγεί 6 αγροί σε σχετικά γειτονικές αποστάσεις, με μέση απόσταση 2.388 m (Εικόνα 2β). Οι αγροί ανήκουν στην περιοχή της Θεσσαλίας. Ο Πίνακας 1 και ο

Πίνακας 2 δίνουν την έκταση των αγρών, τις αποστάσεις μεταξύ των αγρών καθώς και τις αποστάσεις μεταξύ της μονάδας προορισμού και των αγρών.

Πίνακας 1. Σενάριο Α, αποστάσεις μεταξύ των αγρών, αγρών από τη μονάδα προορισμού (Μ.Π.)

	Αποστάσεις (m)						Μ.Π.	Έκταση (ha)
	F1	F2	F3	F4	F5	F6		
F1		4000	5800	4900	6100	5900	1900	3.45
F2			3700	8200	9400	9200	4500	3.02
F3				6000	8400	8500	4500	8.42
F4					2300	4800	3900	3.14
F5						3100	5800	3.21
F6							5600	2.76

Πίνακας 2. Σενάριο Β, αποστάσεις μεταξύ των αγρών, αγρών από τη μονάδα προορισμού (Μ.Π.)

	Αποστάσεις (m)						Μ.Π.	Έκταση (ha)
	F1	F2	F3	F4	F5	F6		
F1								
F2		1100	2100	3400	2900	1500	650	3.23
F3			2800	4500	4000	2600	1700	2.06
F4				2500	2000	3400	1600	3.27
F5					500	2400	3000	1.31
F6						2300	2700	4.03
							2500	1.09

Για την εργασία της κοπής, η αποδοτικότητα του αγρού έχει οριστεί 0.8 για μία (βέλτιστη) ταχύτητα εργασίας 11 km/h (ASAE D497.5, 2006). Για την εργασία της δημιουργίας γραμμικών σωρών, η αποδοτικότητα του αγρού έχει οριστεί 0.8 για μία (βέλτιστη) ταχύτητα εργασίας 10 km/h (ASAE D497.5, 2006). Για την εργασία της δεματοποίησης, η αποδοτικότητα του αγρού έχει οριστεί 0.65 για μία (βέλτιστη) ταχύτητα εργασίας 8 km/h (ASAE D497.5, 2006). Για όλους τους τύπους των μηχανημάτων, η ταχύτητα μεταφοράς από αγρό σε αγρό έχει οριστεί 15 km/h ενώ οι χρόνοι προετοιμασίας έχουν οριστεί σε 15 min για την εργασία κοπής, 15 min για την εργασία δημιουργίας γραμμικών σωρών και 20 min για την εργασία δεματοποίησης (DAAS, 2011).

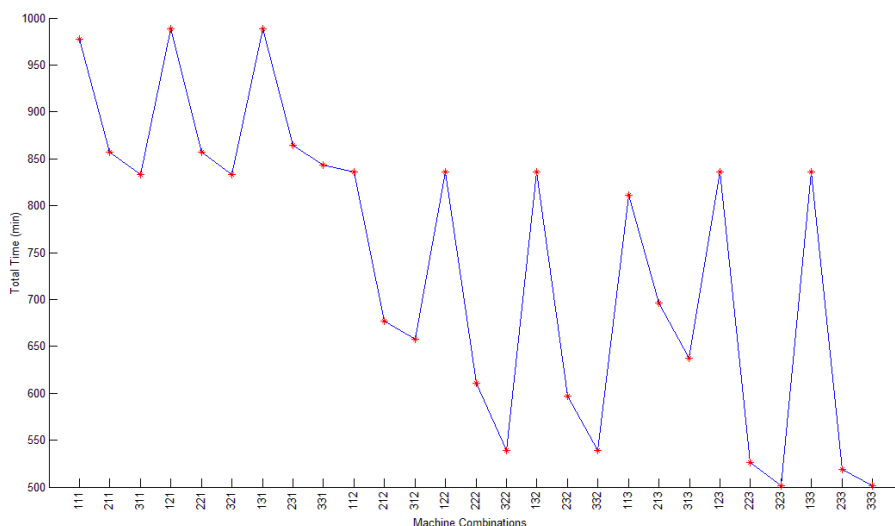
Πίνακας 3. Παράμετροι των επιλεγμένων μηχανημάτων

Μηχανήματα	Πλάτος εργασίας ^β (m)	Παράγοντες επισκευής ^α		Τιμή καταλ. ^β (€)	α(€)
		RF1	RF2		
Γεωρ. Ελκυστ.					
70 kW		0.007	2.0	53,000	2,500
40 kW		0.007	2.0	35,000	2,500
75 kW		0.007	2.0	53,000	2,500
Παρελκόμενα					
Περιστρ. θηριστής	3.10	0.44	2.0	26,857	2,000
Side delivery rake	6.05	0.17	1.4	10,743	2,500
Μεγ. Χορτοδετικό	6.05	0.43	1.8	67,142	1,500

α: ASAE D497.5 (2006). β: DAAS (2011)

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

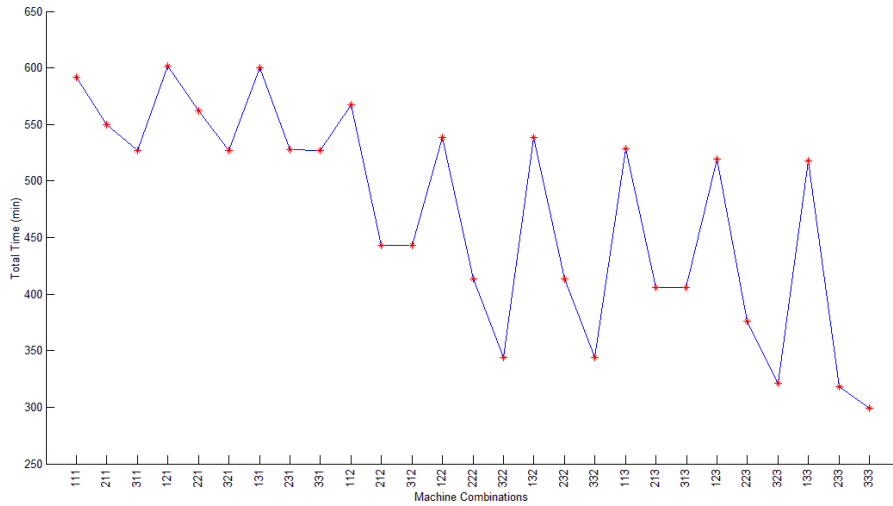
Το Διάγραμμα 1 παρουσιάζει το συνολικό χρόνο (makespan) για όλους τους συνδυασμούς που προκύπτουν για μέγιστο αριθμό μηχανημάτων 3-3-3



(a)

(εργασία κοπής – δημιουργίας γραμμικών σωρών - δεματοποίησης) για (α) το σενάριο A και (β) το σενάριο B. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι διακυμάνσεις στο γράφημα προκύπτουν λόγω της σειράς που οι συνδυασμοί των μηχανημάτων παρουσιάζονται. Όπως φαίνεται οι συνδυασμοί των μηχανημάτων που παρέχουν ελάχιστο χρόνο εργασίας για την περίπτωση των απομακρυσμένων αγρών είναι 3-2-3 και 3-3-3 (8.35 h), και για την περίπτωση των γειτονικών αγρών ο αντίστοιχος συνδυασμός είναι 3-3-3 (4.99 h).

Ο βέλτιστος προγραμματισμός για τις περιπτώσεις με το χαμηλότερο χρόνο εργασίας παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2. Τα χρώματα στις μπάρες των γραφημάτων συμβολίζουν χρονικά στοιχεία, συγκεκριμένα, το καφέ χρώμα αντιπροσωπεύει τους χρόνους μετακίνησης του μηχανήματος μεταξύ των αγρών, το κίτρινο χρώμα δείχνει τους χρόνους προετοιμασίας του μηχανήματος και το πράσινο χρώμα αντιστοιχεί στον εντός αγρού χρόνο εργασίας. Το λευκό χρώμα δείχνει τους χρόνους που το μηχάνημα είναι ανενεργό. Σε αυτόν τον τύπο προγραμματισμού, υπάρχει η παρουσία «περιορισμού προτεραιοτήτων», όπου απαιτείται μία εργασία σε έναν αγρό να έχει ολοκληρωθεί προκειμένου να ξεκινήσει η επόμενη στον ίδιο αγρό (Bochtis, 2010). Οι χρόνοι αναμονής είναι αποτέλεσμα αυτού του περιορισμού.



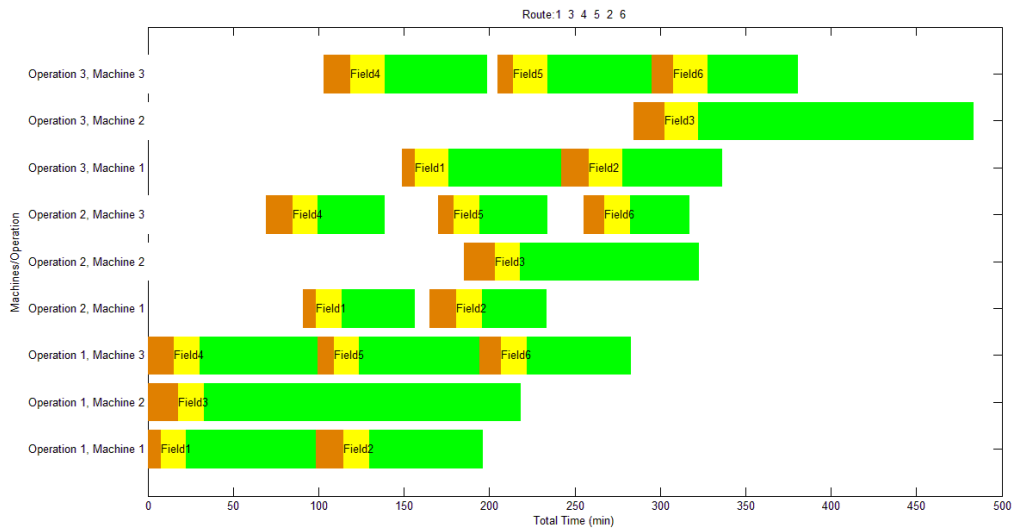
(β)

Διάγραμμα 1. Συνολικός χρόνος για κάθε συνδυασμό μηχανημάτων για (α) απομακρισμένους και (β) γειτονικούς αγρούς

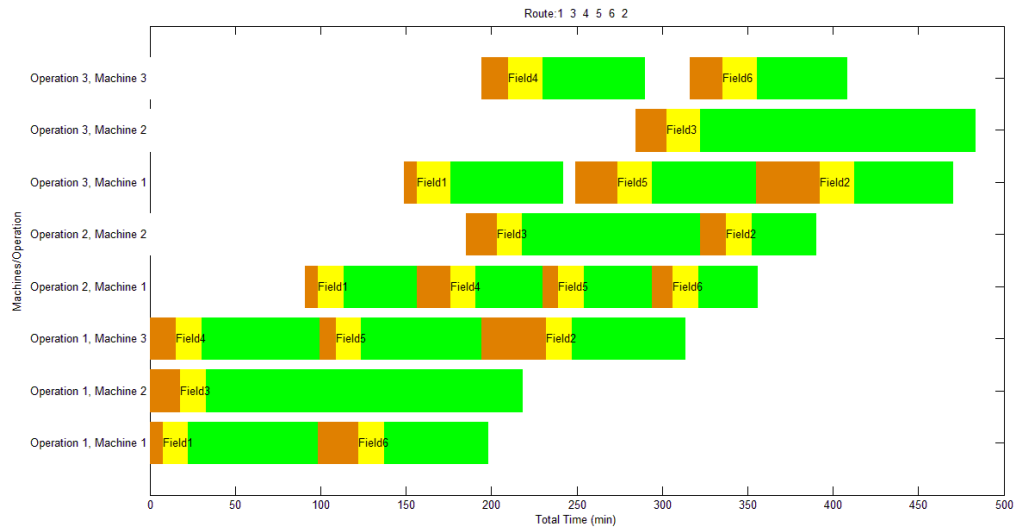
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε μία προσέγγιση του προβλήματος προγραμματισμού και ανάθεσης μηχανημάτων των διαδοχικών εργασιών (κοπής, δημιουργίας γραμμικών σωρών,

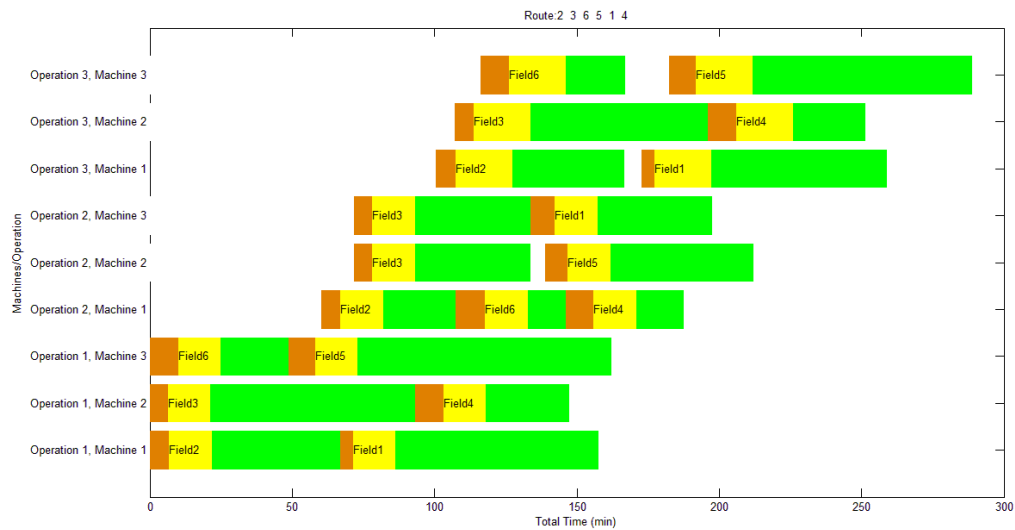
δεματοποίηση) για τη συγκομιδή βιομάζας η οποία περιλαμβάνει τον υπολογισμό του συνολικού χρόνου εργασίας. Στόχος της ανάπτυξης της μεθόδου αυτής είναι η περαιτέρω ενσωμάτωσή της σε ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας βιομάζας.



(α)



(α)



(β)

Διάγραμμα 2: Βέλτιστος προγραμματισμός εργασιών με βάση το κριτήριο ελαχιστοποίησης του συνολικού χρόνου για τα δύο σενάρια που εξετάστηκαν (α₁, α₂) απομακρυσμένους αγρούς και (β) γειτονικούς αγρούς

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ASAE D497.6, 2009. Agricultural machinery management data. In ASABE STANDARD 2009. (Ed.), ASABE, Vol. I (pp. 360e367). St. Joseph, MI, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Basnet, C. B., L. R. Foulds and J. M. Wilson, 2006. Scheduling contractors' farm-to-farm crop harvesting operations. *International Transactions in Operational Research* 13, 1 – 5.

Bochtis, D.D., 2010. Machinery management in bio-production systems: planning and scheduling

aspects. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 12, (2) 55-63.

Bochtis, D. D. and C. G. Sørensen, 2010. The vehicle routing problem in field logistics: Part II. *Biosystems Engineering*, 105(2), 180-188.

DAAS. (2011). Danish field database. The Danish Agricultural Advisory Service. <http://www.landscentret.dk>

Sokhansanj, S., 2006. Cost benefit of biomass supply and pre – processing. University of British Columbia.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΔΙΚΤΥΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Χρήστος – Σπυρίδων Καραβάς, Σωτήριος Αλεξάκης, Γεώργιος Κυριακαράκος, Κωνσταντίνος Αρβανίτης, Γεώργιος Παπαδάκης

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα τηλ. 210 5294046, *e-mail: ckarav@aua.gr

Αυτή η εργασία παρουσιάζει τις δυνατότητες των αυτόνομων μικροδικτύων που βασίζονται σε τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με σκοπό την κάλυψη αναγκών σε απομακρυσμένες περιοχές με έμφαση στο στοιχείο της αποθήκευσης ενέργειας. Στην εργασία παρουσιάζονται οι διαθέσιμες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Από την ανασκόπηση αυτή αναδεικνύονται δυνατότητες και προοπτικές συνδυασμού περισσότερων από μία μεθόδους αποθήκευσης σε ένα μικροδίκτυο. Η ταυτόχρονη χρήση πολλαπλών τεχνολογιών αποθήκευσης μπορεί να γίνει λειτουργική μόνο με τη χρήση εξελιγμένων αλγορίθμων διαχείρισης. Σαν παράδειγμα παρουσιάζεται ένα σύστημα πολλαπλής αποθήκευσης της ενέργειας αποτελούμενο από τυπικούς συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης σε συνδυασμό με υβριδικούς υπερπυκνωτές. Το μικροδίκτυο ελέγχεται από έναν εξελιγμένο αλγόριθμο διαχείρισης και διασφαλίζει τόσο την συνεχή παροχή ισχύος στις καταναλώσεις όσο και ότι ο συσσωρευτής δεν θα υποστεί βαθιά εκφόρτιση.

Λέξεις Κλειδιά : ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μικροδίκτυο ηλεκτροπαραγωγής, αποθήκευση

COMPARATIVE REVIEW ABOUT THE METHODS OF ENERGY STORAGE IN GRID POWER NETWORKS

Christos – Spyridon Karavas, Sotiris Alexakis, George Kyriakarakos, Konstantinos Arvanitis, George Papadakis

Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos street, GR 11855 Athens, Greece Tel. +30 210 5294046; Fax +30 210 5294032, *e-mail: ckarav@aua.gr

This paper intends to highlight the capabilities of the autonomous microgrids that incorporate renewable energy sources in order to cover the energy needs in remote areas. The aspect of energy storage is crucial in autonomous microgrids. This paper presents the available energy storage technologies and corresponding technical aspects. The autonomous microgrids must include control and load management systems and the use of multiple storage units requires advanced control algorithms. As an example a multi-storage system consisting of a hybrid ultra capacitor and a typical deep discharge solar battery is presented. The micro grid is controlled by an advanced control algorithm that ensures the continuous supply of power to the consumption and ensures no deep discharging of the batteries.

Key words: renewable energy sources, micro grid, energy storage

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας εντάσσεται στο γενικότερο ερευνητικό πεδίο των συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και μονάδων αποθήκευσης ενέργειας. Τα περισσότερα μέρη που δεν είναι διασυνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο παραγωγής και διανομής ενέργειας χρησιμοποιούν κυρίως συμβατικές μονάδες παραγωγής με ορυκτά καύσιμα για την ηλεκτροπαραγωγή. Η λειτουργία των μονάδων αυτών έχει ως αποτέλεσμα τη παραγωγή υψηλής ισχύος αλλά δημιουργεί σήμερα σημαντικούς προβληματισμούς. Είναι γνωστό ότι η καύση ορυκτών καυσίμων έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή αερίων (CO₂), οι οποίοι είναι ρυπογόνοι για το περιβάλλον με διάφορα αρνητικά αποτελέσματα όπως την υπερθέρμανση του πλανήτη. Επίσης οι σταθερά αυξανόμενες τιμές του πετρελαίου, το μεγάλο κόστος για τη μεταφορά των καυσίμων, καθώς και το κόστος για την αγορά δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ καθιστούν ολοένα και πιο ανοικονομική τη λειτουργία των συμβατικών σταθμών. Μία πρώτη αντιμετώπιση αυτού του

προβλήματος αποτελεί η δημιουργία αυτόνομων συστημάτων ενέργειας περιλαμβανομένου από ανανεώσιμες μονάδες παραγωγής ενέργειας. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό της χρήσης των συμβατικών μονάδων και συνεπώς την οικονομικότερη και πιο φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία. Για την δημιουργία ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος πρέπει να υπάρχει ταυτόχρονη αξιοποίηση του διαθέσιμου δυναμικού ΑΠΕ και αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαθέσιμη περίσσεια ΑΠΕ που διαφορετικά θα απορριπτόταν, για να μην προκαλέσει αστάθεια στο σύστημα, μπορεί να αποθηκευτεί και να επαναχρησιμοποιηθεί όταν η παραγωγή των μονάδων ΑΠΕ είναι μειωμένη. Οι κύριες τεχνολογίες αποθήκευσης είναι οι συσσωρευτές διαφόρων τύπων (πχ. μολύβδου-οξέως, λιθίου, μετάλλου-αέρα, νατρίου-θείου, ροής κλπ), οι πυκνωτές (κυρίως υπερπυκνωτές και υβριδικοί πυκνωτές), τα συστήματα αντλησιοταμίευσης, τα συστήματα αποθήκευσης με συμπιεσμένο αέρα, οι σφόνδυλοι, τα υπό-συστήματα υδρογόνου καθώς και τεχνολογίες υπεραγωγίμης μαγνητικής ενεργειακής

αποθήκευσης. Αυτές οι τεχνολογίες απαντώνται τόσο μόνες τους, όσο και σε συνδυασμούς (Baker and Collinson 1999; Barton and Infield 2004; Chen, Cong et al. 2009; Beaudin, Zareipour et al. 2010; Ibrahim, Beguenane et al. 2012). Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται μια ανασκόπηση των σύγχρονων καινοτόμων τεχνολογιών αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας και γίνεται η μεταξύ τους σύγκριση τόσο η τεχνική όσο και οικονομική. Στη περίπτωση όπου υπάρχει συνδυασμός των ανωτέρων μονάδων αποθήκευσης ενέργειας τότε απαιτείται η ύπαρξη εξελιγμένων αλγορίθμων ελέγχου. Στην εργασία παρουσιάζεται ακόμα ένα σύστημα αυτόματου ευφυούς ελέγχου για τη διαχείριση υβριδικού συστήματος υπερπυκνωτή – συσσωρευτή μολύβδου οξέως.

2. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Η ΑΝΑΓΚΗ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το μικροδίκτυο που χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κάνει επιτακτική την ανάγκη αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας και τη χρήση αυτών για κάλυψη της ζήτησης όταν είναι αναγκαίο. Επίσης η ενεργειακή αποθήκευση είναι απαραίτητη και για την αξιοπιστία ενός αυτόνομου μικροδικτύου αλλά και σε διασυνδεδεμένα συστήματα αποτελεί ένα βελτιωτικό παράγοντα για την ποιότητα της ισχύος του παραγόμενου ρεύματος.

2.2 ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται η μετατροπή της σε άλλη μορφή ενέργειας ώστε να είναι ευκολότερη η αποθήκευσή της. Η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας προς αποθήκευση μπορεί να γίνει στις ακόλουθες μορφές:

- Χημική (συσσωρευτές)
- Μηχανική ή κινητική ενέργεια (σφόνδυλοι)
- Ηλεκτροστατικού πεδίου (πυκνωτές)
- Πεπιεσμένου αέρα
- Υδραυλική (αντλιοταμιευτές)
- Υδρογόνου (κυψέλες καυσίμου)

Τα μέσα αποθήκευσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο που θέλουμε να εκμεταλλευτούμε την αποθηκευμένη ενέργεια. Οι δύο κατηγορίες είναι:

- Βραχυπρόθεσμα μέσα αποθήκευσης
- Μακροπρόθεσμα μέσα αποθήκευσης

Η πρώτη κατηγορία χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις που απαιτείται υψηλή ενεργειακή ισχύ για μικρό χρονικό διάστημα (δευτερόλεπτα ή λίγα λεπτά) ή για να σταθεροποιηθεί η αυζομείωση της τάσης. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν οι υπερπυκνωτές (ultra capacitors), οι σφόνδυλοι και τα υπεραγώγιμα μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης (Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES). Η δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις όπου απαιτείται υψηλή χωρητικότητα ενέργειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα (ώρες ή ημέρες). Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν οι συσσωρευτές, οι αντλιοταμιευτές, τα

συστήματα πεπιεσμένου αέρα και τα συστήματα αποθήκευσης υδρογόνου (fuel cells) (Semadeni 2004; Hadjipaschalis, Poullikkas et al. 2009). Η κατάλληλη επιλογή του κάθε μέσου αποθήκευσης, ανάλογα με τις ανάγκες της εγκατάστασης, βασίζεται σε βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά.

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά είναι :

- Πυκνότητα Ενέργειας (energy density) (Wh / kg)
- Ειδική Ισχύς (W / kg)
- Αποθηκευτική Ικανότητα (storage capacity) (Ah)
- Ενεργειακή Απόδοση
- Ρυθμός Εκφόρτισης (discharge rate) ($Q / \Delta t$)
- Αυτοεκφόρτιση (self – discharge) (% per day or % per hour)
- Διάρκεια ζωής (lifetime)
- Κόστος ($€ / kWh$)
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

2.2.1 Συσσωρευτές

Ένας συσσωρευτής κατασκευάζεται από δύο ή περισσότερα ηλεκτρικά στοιχεία που συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους. Τα στοιχεία μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε dc ηλεκτρική ενέργεια. Τα ομαδοποιημένα στοιχεία τοποθετούνται σε μια κατάλληλη θήκη για να δημιουργήσουν ένα συσσωρευτή. Ο συσσωρευτής είναι ο παράλληλος ή σε σειρά συνδυασμός των μονάδων αυτών έτσι ώστε να παρέχει την κατάλληλη τάση, ένταση και ενέργεια στο ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος. Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα συσσωρευτή είναι η διαφορά ενέργειας ανάμεσα στην κατάσταση φόρτισης και την κατάσταση εκφόρτισης. Αυτή η διαθέσιμη χημική ενέργεια σε ένα κελί μετατρέπεται, όταν απαιτείται, σε ηλεκτρική ενέργεια με χρήση των βασικών συστατικών του στοιχείου που είναι τα ηλεκτρόδια (θετικό και αρνητικό), οι διαχωριστές και οι ηλεκτρολύτες. Τα ηλεκτροχημικά ενεργά συστατικά του θετικού ή του αρνητικού ηλεκτροδίου ονομάζονται ενεργό υλικό. Οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στα δύο ηλεκτρόδια έχουν ως αποτέλεσμα τη δέσμευση και απελευθέρωση ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόδια πρέπει να είναι ηλεκτρικά αγώγιμα και τοποθετούνται σε διαφορετικές περιοχές διαχωριζόμενα από ένα διαχωριστή. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συσσωρευτή, οι χημικές αντιδράσεις προκαλούν τη ροή ηλεκτρονίων από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο. Όταν κάποιο ηλεκτρικό κύκλωμα συνδέει τα δύο ηλεκτρόδια τότε “κλείνει κύκλωμα” και είναι δυνατή η κίνηση των ηλεκτρονίων. Τα σημεία σύνδεσης ανάμεσα στα ηλεκτρόδια και το εξωτερικό κύκλωμα ονομάζονται πόλοι του συσσωρευτή. Πρέπει να σημειωθεί ότι μόνο σε ένα ιδανικό συσσωρευτή ισχύει ότι η κίνηση των ηλεκτρονίων παρατηρείται μόνο με την παρουσία εξωτερικού κυκλώματος. Δυστυχώς, πολλοί συσσωρευτές επιτρέπουν μια μικρή εκφόρτιση εξαιτίας φαινομένων διάχυσης. Γι’

αυτό και δε θεωρούνται ιδιαίτερα καλές για μακροχρόνια αποθήκευση ενέργειας. Αυτή η μικρή εκφόρτιση με πόλους ανοιχτού κυκλώματος είναι γνωστή ως αυτό-εκφόρτιση και χρησιμοποιείται, επίσης, ως παράμετρος ποιότητας του συσσωρευτή. Σήμερα χρησιμοποιούνται πολλά είδη συσσωρευτών ενώ η τεχνολογία τους εξελίσσεται συνεχώς.

Οι πιο σημαντικοί τύποι συσσωρευτών είναι :

- Μολύβδου οξέος (lead acid)
- Νικελίου σιδήρου (nickel iron)
- Νικελίου καδμίου (nickel cadmium)
- Νικελίου μετάλλου υβριδίου (nickel metal hybrid)
- Λιθίου πολυμερούς (lithium polymer)
- Ιόντων λιθίου (lithium ion)
- Θειούχου νατρίου (sodium sulphur)

Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας ενός συσσωρευτή και η συγκριτική μελέτη των διαφόρων τύπων μεταξύ τους επιτυγχάνεται με τη θέσπιση συγκεκριμένων παραμέτρων οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι:

- Τάσεις στοιχείων συσσωρευτή
- Χωρητικότητα συσσωρευτή
- Ρυθμός εκφόρτισης (Discharge Rate)
- Κατάσταση φόρτισης (State of Charge)
- Κατάσταση εκφόρτισης (State of Discharge)
- Βάθος φόρτισης (Depth of Discharge)
- Ειδική Ενέργεια (Specific Energy)
- Ειδική Ισχύς (Specific Power)
- Ενεργειακή Απόδοση

2.2.2 Υπερπυκνωτής

Οι υπερπυκνωτές ή εξελεγμένοι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές βασίζουν την λειτουργία τους στον απλό πυκνωτή (EC capacitor) με τη διαφορά ότι προσφέρουν πολύ υψηλές χωρητικότητες σε μικρότερο μέγεθος. Σε ένα απλό πυκνωτή η χωρητικότητα εξαντλείται σε κάποια milli-farad ενώ στους υπερπυκνωτές σε κάποια kilo-farad. Ο υπερπυκνωτής (ultra-capacitor, super-capacitor) χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλότερη ειδική ισχύ και πολύ χαμηλότερη ειδική ενέργεια σε σχέση με τους χημικούς συσσωρευτές. Συγκεκριμένα, η ειδική του ενέργεια είναι της τάξης μερικών Wh/kg ενώ η ειδική του ισχύς μπορεί να φτάσει ακόμη και τα $3kW/kg$. Εξαιτίας της πολύ χαμηλής τους ειδικής ενέργειας και της εξάρτησης της τάσης εξόδου από την κατάσταση φόρτισης (*SOC*) είναι πολύ δύσκολο να χρησιμοποιηθούν οι υπερπυκνωτές ως η μόνη πηγή ενέργειας. Ωστόσο, προκύπτουν σημαντικά πλεονεκτήματα από τη χρήση των υπερπυκνωτών ως βοηθητική πηγή ενέργειας. Ο συνδυασμός συσσωρευτή και υπερπυκνωτή επιτρέπει την αποσύνδεση της απαίτησης για υψηλή ειδική ισχύ από την απαίτηση για υψηλή ειδική ενέργεια και μεγάλο κύκλο ζωής. Έτσι, επικεντρώνεται η σχεδίαση του συσσωρευτή μόνο στην υψηλή ειδική ενέργεια και το μεγάλο κύκλο ζωής. Επίσης, τα υψηλά ρεύματα φόρτισης και εκφόρτισης μπορούν να συσχετισθούν με τον

υπερπυκνωτή αυξάνοντας έτσι τη διαθέσιμη ενέργεια και τον κύκλο ζωής του συσσωρευτή. Πρέπει, επίσης, να τονιστεί το γεγονός ότι οι υπερπυκνωτές δεν έχουν το πρόβλημα της υπερφόρτισης καθώς φορτίζονται μόνο μέχρι η τάση στα άκρα τους να φτάσει την τάση της πηγής που τους φορτίζει. Μία σημαντική παράμετρος των υπερπυκνωτών είναι ο πολύ υψηλός βαθμός απόδοσής τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην πράξη δεν μπορεί να αξιοποιηθεί στο σύνολό της η ενέργεια στον υπερπυκνωτή εξαιτίας της πολύ χαμηλής ισχύος σε χαμηλές τιμές της κατάστασης φόρτισης (μικρή τάση). Ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους οι υπερπυκνωτές, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Ηλεκτροχημικοί πυκνωτές διπλού στρώματος (electrochemical double layer capacitors, ECDL)
2. Ψευδοπυκνωτές (pseudo capacitors)
3. Υβριδικό πυκνωτές (hybrid capacitors)

2.2.3 Συστήματα Αντλησιοταμίευσης

Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης (ΑΥΣ) είναι συστήματα κλειστού βρόγχου. Η λειτουργία των συστημάτων αυτών στηρίζεται στη βαρυντική δύναμη του νερού. Αποτελούνται από δύο δεξαμενές (ταμιευτήρες) με υψομετρική διαφορά μεταξύ τους και όταν υπάρχει περίσσεια ενέργειας στο δίκτυο τότε μέσω αντλίας ή συστοιχία αντλιών μεταφέρεται νερό από τη κάτω δεξαμενή στην άνω. Όταν υπάρχει έλλειψη ισχύος τότε μεταφέρεται μέσω της βαρυντικής δύναμης νερό από την άνω δεξαμενή στον υδροστρόβιλο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η δυναμική ενέργεια του νερού να μετατρέπεται σε κινητική και μετά σε ηλεκτρική. Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης χρησιμοποιούνται κυρίως όταν υπάρχει χαμηλή ζήτηση ισχύος. Οπότε και μπαίνουν σε λειτουργία με αποτέλεσμα να κρατάνε σταθερή τη συχνότητα του δικτύου, αλλά έχουν παρουσιαστεί και εφαρμογές τους σε αυτόνομα συστήματα.

2.2.4 Σφόνδυλοι

Οι σφόνδυλοι είναι μηχανικά μέσα αποθήκευσης οι οποίοι αποθηκεύουν την ενέργεια υπό τη μορφή κινητικής ενέργειας (περιστροφική κίνηση). Ο σφόνδυλος είναι μια κυλινδρική μάζα που περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα, η ενέργεια που απαιτείται για να περιστραφεί αυτή η μάζα, αποθηκεύεται υπό τη μορφή κινητικής ενέργειας ενώ επιστρέφει πίσω στο σύστημα με την επιβράδυνση του κυλίνδρου. Ο σφόνδυλος λειτουργεί σαν ένα μηχανικό συσσωρευτή που μπορεί να αποθηκεύσει μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής της μάζας. Οι σφόνδυλοι αποκτούν τη μέγιστη ταχύτητα μέσα σε λίγα λεπτά κάτι που τους κάνει ανταγωνιστικούς έναντι των συσσωρευτών που χρειάζονται ώρες για να επαναφοριστούν. Οι σφόνδυλοι μπορούν να εκφορτιστούν γρήγορα και να προσφέρουν μεγάλη ισχύ κάτι που τους καθιστά ιδανικούς σε περιπτώσεις άμεσης ζήτησης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Η ενεργειακή απόδοση στους σύγχρονους σφονδύλους φτάνει το 90% ενώ η καλύπτουν

πάρα πολλούς κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης, η διάρκεια ζωής τους φτάνει τα 20 χρόνια και εξαρτάται κυρίως από την αντοχή των υλικών. Μειονεκτήματα των σφονδύλων είναι το υψηλό κόστος και οι υψηλές απώλειες κατά την κατάσταση αναμονής. Το ποσοστό αυτό-εκφόρτισης των σφονδύλων είναι υψηλό και ανέρχεται περίπου 20% ανά ώρα αναμονής. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των σφονδύλων είναι αμελητέες από την στιγμή που για την λειτουργία δεν απαιτείτε εκτεταμένη χρήση χημικών υλικών. Τέλος, πρέπει να δίνεται προσοχή στον χειρισμό των σφονδύλων από την στιγμή που μεγάλες μάζες περιστρέφονται σε μεγάλες ταχύτητες, υπάρχει κίνδυνος υλικών ή σωματικών βλαβών.

2.2.5 Συστήματα αποθήκευσης με συμπιεσμένο αέρα

Στα συστήματα συμπιεσμένου αέρα (CAES - Compressed Air) είναι μια μέθοδος μακροχρόνιας αποθήκευσης της ενέργειας που εφαρμόζονται σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες παραγωγής και μας δίνουν την δυνατότητα να αποθηκεύσουμε μεγάλες ποσότητες ενέργειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Έχουν υπάρξει και υλοποιήσεις μικρότερης κλίμακας που μπορούν να αξιοποιηθούν σε αυτόνομα μικροδίκτυα.

2.2.6 Υπεραγώγιμη μαγνητική ενεργειακή αποθήκευση

Τα συστήματα υπεραγώγιμης μαγνητικής αποθήκευσης (Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES) αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια στο μαγνητικό πεδίο ενός πηνίου. Αποτελούνται από ένα υπεραγώγιμο πηνίο, ένα σύστημα κλιματισμού ισχύος, ένα σύστημα ψύξης του δοχείου και ένα κρουστάτη κενού. Το πηνίο ψύχεται με υγρό ήλιο στους -260°C , στη θερμοκρασία αυτή η αντίσταση του υλικού εξαφανίζεται και επιτρέπει υψηλές αποδόσεις άνω του 97% και τη δυνατότητα αποθήκευσης επ' αόριστον. Οι χρόνοι απαλλαγής είναι εξαιρετικά μικροί (~1 s) και καθιστά το σύστημα χρήσιμο όπου απαιτείται εξαιρετικά μεγάλη ισχύ εξόδου υψηλής ποιότητας. Επίσης μπορούν να φορτιστούν και να αποφορτιστούν στιγμιαία χωρίς να μειώνεται η διάρκεια ζωής τους. Στα βασικά μειονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα και το υψηλό κόστος που οφείλεται κυρίως στις χαμηλές.

2.2.7 Υποσυστήματα Υδρογόνου

Το υδρογόνο είναι ένα άφθονο χημικό στοιχείο του σύμπαντος και αποθηκεύεται σε ειδικές συσκευές (ειδικές δεξαμενές ή μεταλλικά υβρίδια ή σε νανοσωλήνες άνθρακα) είτε ως συμπιεσμένο αέριο είτε σε υγροποιημένη μορφή και χρησιμοποιείται ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Ο κύριος λόγος που αποθηκεύεται σε αυτές τις δύο μορφές είναι γιατί το υδρογόνο έχει χαμηλή ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα. Η παραγωγή του υδρογόνου γίνεται με διάφορες μεθόδους αλλά η συνηθέστερη

είναι η ηλεκτρολυτική μέθοδος. Οι συσκευές ηλεκτρόλυσης χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα για να διαχωρίσουν το νερό σε υδρογόνο και σε οξυγόνο. Εν συνεχεία, η κυψέλη καυσίμου μετατρέπει τη χημική ενέργεια (υδρογόνο) σε ηλεκτρική ισχύς.

3. Έλεγχος ενός μικροδικτύου

Τα αυτόνομα δίκτυα περιλαμβάνουν διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας και συστήματα ελέγχου και διαχείρισης φορτίου. Ο ελεγκτής διασφαλίζει τη συνεχή τροφοδότηση φορτίου στη κατανάλωση και την ενεργειακή διαχείριση. Ο καθορισμός της διαχείρισης ενέργειας σε κάθε μικροδίκτυο είναι διαφορετικός.

Η διαχείριση της ενέργειας περιλαμβάνει τους ακόλουθους τομείς :

1. Παραγωγή και αποθήκευση
2. Διανομή
3. Κατανάλωση

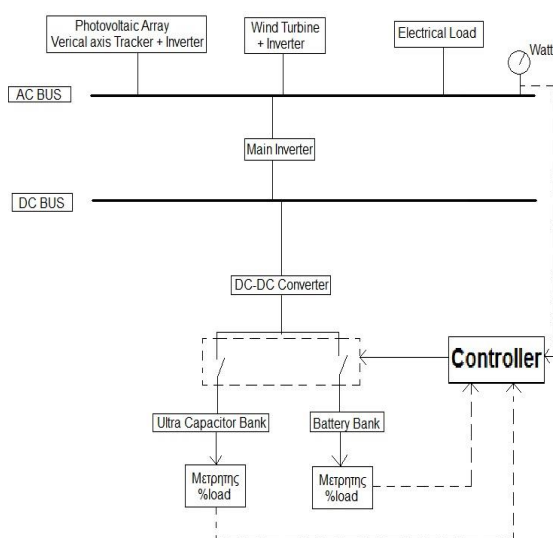
4. Υβριδική αποθήκευση

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκαν διάφορες μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Για τη δημιουργία ενός μικροδικτύου είναι αναγκαίο η ύπαρξη μίας τουλάχιστον μονάδας αποθήκευσης ενέργειας. Όταν αξιοποιούνται περισσότερες μονάδες αποθήκευσης ενέργειας απαιτούνται εξελιγμένοι αλγόριθμοι ελέγχου. Η σημασία των μεθόδων ελέγχου είναι υψηλή καθώς βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση με την αξιόπιστη και οικονομική ηλεκτροδότηση και την σωστή αξιοποίηση του διαθέσιμου εξοπλισμού.

Ένα παράδειγμα μιας υβριδικής αποθήκης ενέργειας είναι ο συνδυασμός μιας συστοιχίας υβριδικών υπερπυκνωτών μαζί με συμβατικούς συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης. Καρδιά μιας τέτοιας προσέγγισης είναι ο ελεγκτής που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και τη διασφάλιση συνεχούς τροφοδότησης φορτίου στη κατανάλωση. Ο ελεγκτής διασφαλίζει την ενεργειακή διαχείριση και τη μη εμφάνιση βαθιάς αποφόρτισης στους συσσωρευτές, που θα είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή τους. Ένας τέτοιος ελεγκτής παρουσιάζεται στην Εικόνα 1. Για το σχεδιασμό τέτοιων ελεγκτών αξιοποιούνται συχνά προσεγγίσεις υπολογιστικής νοημοσύνης όπως η ασαφής λογική, τα δίκτυα Petri, οι ασαφείς γνωσιακοί χάρτες κλπ.

Πίνακας 1. Σύγκριση μεθόδων αποθήκευσης

	Ενεργειακή Πυκνότητα (Wh/kg)	Ενεργειακή Απόδοση	Διάρκεια Ζωής	Κόστος (€) ανά kWh	Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις
Συσσω/τες Μολύβδου – Οξέος	25-45	60-95	1500 κύκλους	50-150	Χρήζει Προσοχής
Συσσω/τες Αλκαλίων – Νικελίου	20-120	60-91	2000 κύκλους	200-750	Χρήζει προσοχής
Συσσω/τες Λιθίου	80-150	90-100	600 κύκλους	150-250	Ελάχιστες
Συσσω/τες Ροής	37	75	>14000 κύκλους	1.8εκ. €/ 2 MWh, 1280 €/kW	Ελάχιστες
Συσσω/Μετάλλου – Αερίου	110-420	~ 50	-	160	Ελάχιστες
Συσσω/τες Νατρίου – Θείου	150-240	>86	2500-5400 κύκλους	170	Χρήζει Προσοχής
Υπερπυκνωτές	0,1 – 5	85-98	~15 χρόνια	200 – 1000	Ελάχιστες
Συστήματα Ανλιοταμίευσης	-	75-85	-	140εκ. – 680εκ.€ για 1000MW	Μεγάλες
Συμπιεσμένος Αέρας	-	80	-	400	Χρήζει Προσοχής
Σφόνδυλοι	100	90	~15χρόνια	3000-10000	Ελάχιστες
Υδρογόνο	-	25-58 (PAFC)	-	6000-30000	Χρήζει Προσοχής
Υπεραγωγίμη Μαγνητική Αποθήκευση	-	97-98	~15χρόνια	350	Χρήζει Προσοχής



Εικόνα 1 : Σχηματική Παράσταση λειτουργίας του ελεγκτή

5. Αποτελέσματα - Συζήτηση

Ο Πίνακας 1 συνοψίζει και παρουσιάζει τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά όλων των μέσων αποθήκευσης που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 2.

Όπως γίνεται φανερό πολλές αρκετά μέσα αποθήκευσης παρουσιάζουν συμπληρωματικότητα στα χαρακτηριστικά τους. Σε εκείνες τις περιπτώσεις αξίζει να διερευνηθούν υβριδικές προσεγγίσεις. Λόγω της περιπλοκότητας στη διαχείριση τέτοιων διατάξεων προτείνεται η χρήση τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης που μπορούν να ανταπεξέλθουν αποδοτικά σε αυτό το ρόλο.

6. Βιβλιογραφία

- Bajpai, P. and V. Dash (2012). "Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16**(5): 2926-2939.
- Baker, J. N. and A. Collinson (1999). "Electrical energy storage at the turn of the Millennium." *Power Engineering Journal* **13**(3): 107-112.
- Barton, J. P. and D. G. Infield (2004). "Energy storage and its use with intermittent renewable energy." *IEEE Transactions on Energy Conversion* **19**(2): 441-448.
- Beaudin, M., H. Zareipour, et al. (2010). "Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: An updated review." *Energy for Sustainable Development* **14**(4): 302-314.
- Chen, H., T. N. Cong, et al. (2009). "Progress in electrical energy storage system: A critical review." *Progress in Natural Science* **19**(3): 291-312.
- Hadjipaschalis, I., A. Poullikkas, et al. (2009). "Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **13**(6-7): 1513-1522.
- Ibrahim, H., R. Beguenane, et al. (2012). Technical and financial benefits of electrical energy storage.
- Manwell, J. F. (2004). *Hybrid Energy Systems*. Encyclopedia of Energy. J. C. Editor-in-Chief: Cutler. New York, Elsevier: 215-229.
- Semadeni, M. (2004). *Storage of Energy, Overview*. Encyclopedia of Energy. J. C. Editor-in-Chief: Cutler. New York, Elsevier: 719-738.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ ΣΥΚΙΑΣ ΣΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΚΑΡΠΟΦΟΡΙΑΣ

Ιωάννης Γράβαλος

Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας,
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Λάρισα, Τ.Κ. 41110

Ένα αντικείμενο σε μία εικόνα μπορεί να περιγραφεί είτε με βάση την περιοχή που καταλαμβάνει είτε με βάση το περίγραμμά του. Η αναγνώριση, που βασίζεται στην περιοχή την οποία καταλαμβάνει το αντικείμενο, απαιτεί κατάτμηση της εικόνας σε ομοιογενείς περιοχές, δηλαδή περιοχές που έχουν ομοιογενή χαρακτηριστικά (όπως ένταση, υφή). Αντικείμενο της εργασίας αυτής αποτελεί η μελέτη διαφορετικών απλών τεχνικών κατάτμησης εικόνων δέντρων συκιάς στο στάδιο της καρποφορίας. Οι τεχνικές κατάτμησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: i) με χρήση φίλτρου ενδιάμεσης τιμής και μορφολογικούς τελεστές, ii) με μετασχηματισμό Watershed, iii) με μετασχηματισμό απόστασης, iv) με ομαδοποίηση k-μέσων και v) με τη μέγιστη εντροπία. Οι τεχνικές αυτές υλοποιήθηκαν με τη βοήθεια της πλατφόρμας Matlab. Συνολικά, χρησιμοποιήθηκαν 120 εικόνες δέντρων συκιάς στο στάδιο της καρποφορίας, που ελήφθησαν με μία απλή ψηφιακή φωτογραφική μηχανή από διαφορετικές οπτικές γωνίες, αποστάσεις λήψης και με διαφορετική ένταση φωτεινότητας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασίας, οι τεχνικές κατάτμησης των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν, έδειξαν ότι είναι δυνατόν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, εάν η ποιότητα των εικόνων είναι καλή.

Λέξεις κλειδιά: αυτοματοποίηση, επεξεργασία εικόνας, κατάτμηση, δέντρο συκιάς

IMAGE SEGMENTATION OF FICUS CARICA TREES DURING THE HARVESTING SEASON

Ioannis Gravalos

Department of Biosystems Engineering, School of Agricultural Technology,
Technological Educational Institute of Larissa, GR-41110 Larissa, Greece
gravalos@teilar.gr

An object in an image can be described either by the area occupied or by its contour. The recognition, based on the area occupied by the object requires segmentation of the image into homogeneous regions, i.e. regions which have homogeneous characteristics (such as intensity, texture). Object of this work is the study of different simple segmentation techniques of ficus carica trees images at the harvesting season. The segmentation techniques used were: i) with the use of intermediate value filter and morphological operators, ii) with Watershed transformation, iii) with distance transformation, iv) with k-means clustering and v) with the max entropy. These techniques were implemented using Matlab. In total, 120 images of ficus carica trees were used at the stage of fruiting, obtained with a simple digital camera from different angles, distances and with different brightness intensity. According to the results, the segmentation techniques of images used, showed that it is possible to give satisfactory results if the image quality is good.

Key words: automation, image processing, segmentation, ficus carica tree

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία εικόνα στην αναλογική της μορφή ορίζεται ως μία συνάρτηση δύο διαστάσεων $f(x,y)$, όπου x , y οι ορθογώνιες συντεταγμένες του επιπέδου, και η τιμή της f για κάθε ζευγάρι συντεταγμένων (x,y) καλείται φωτεινότητα της εικόνας στο σημείο αυτό (Sonka et al., 1995). Για την ψηφιοποίηση μίας αναλογικής εικόνας, με σκοπό την επεξεργασία της, απαιτείται η μετατροπή των συντεταγμένων και των τιμών φωτεινότητας σε διακριτές. Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας ασχολείται με την αλλαγή των χαρακτηριστικών μιας εικόνας και περιλαμβάνει διάφορες προσεγγίσεις, όπως το ψηφιακό φιλτράρισμα, την ανίχνευση των περιγραμμάτων, την κατάτμηση σε περιοχές, την περιγραφή των σχημάτων, την ανάλυση της υφής, κ.ά. (Πήτας, 1996).

Μία σημαντική διαδικασία της ψηφιακής επεξεργασίας και ανάλυσης σε μία εικόνα είναι η αναγνώριση των περιοχών. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται κατάτμηση εικόνας (image segmentation)

σε ομοιογενείς περιοχές (δηλαδή η εικόνα χωρίζεται στα αντικείμενα από τα οποία αποτελείται και στο φόντο της). Η κατάτμηση εικόνας εκτός του ότι είναι μία σημαντική προσέγγιση της τεχνητής όρασης για μεγάλο πλήθος εφαρμογών, αποτελεί ταυτόχρονα μία δύσκολη περιοχή της επεξεργασίας εικόνας (επειδή δεν υπάρχει πρότερη γνώση για το περιεχόμενο της εικόνας) και είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία ή μη της τελικής ανάλυσης. Η ανομοιομορφία έντασης φωτεινότητας του φόντου και η συσσωμάτωση των αντικειμένων μιας εικόνας έχουν σαν αποτέλεσμα να εμφανίζονται προβλήματα στη διαδικασία κατάτμησης των εικόνων (Haralick and Shapiro, 1992; Lulio, et al., 2011).

Για την αυτόματη κατάτμηση των εικόνων έχει αναπτυχθεί μεγάλο πλήθος τεχνικών, οι οποίες συνοψίζονται στις ακόλουθες τρεις βασικές κατηγορίες: α) κατάτμηση με βάση τα εικονοστοιχεία, β) κατάτμηση με βάση τις περιοχές και γ) κατάτμηση με βάση τις ακμές. Η πιο απλή από τις τεχνικές

κατάτμησης εικόνας είναι αυτή της κατωφλίωσης (thresholding). Η κατωφλίωση βασίζεται στη σωστή επιλογή μίας τιμής κατωφλίου για την μετατροπή μίας εικόνας επιπέδων του γκρι σε ασπρόμαυρη. Μία άλλη προσέγγιση είναι αυτή της πολυκατωφλίωσης. Επίσης, υπάρχουν και άλλες εξίσου δημοφιλείς τεχνικές όπως είναι της μέγιστης εντροπίας και η τεχνική Otsu. Η κατάτμηση εικόνας με κατωφλίωση είναι επιτυχής στην περίπτωση που δεν υφίστανται μεγάλες διακυμάνσεις στην φωτεινότητα και τα αντικείμενα είναι λιγοστά και μεγάλα (Haralick and Shapiro, 1992).

Η κατάτμηση εικόνας με βάση τις περιοχές είναι η πιο διαδεδομένη κατηγορία τεχνικών κατάτμησης. Χρησιμοποιείται ευρέως σε όλες τις περιπτώσεις κατάτμησης, αλλά ειδικότερα στην κατάτμηση των έγχρωμων εικόνων (Costa and de Souza, 2011). Πρόκειται για τεχνικές ομαδοποίησης δεδομένων με κοινά χαρακτηριστικά. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται: τεχνικές διαίρεσης, συνένωσης και αύξησης περιοχών. Στις τεχνικές αύξησης περιοχών, η επεξεργασία βασίζεται στον καθορισμό κάποιων αρχικών εικονοστοιχείων της εικόνας. Κάθε εικονοστοιχείο προσδιορίζει μία περιοχή, η οποία μπορεί να επεκταθεί προσθέτοντας γειτονικά σημεία με κριτήρια ομοιογένειας και γεωμετρικής αμεσότητας. Η επέκταση αυτή διακόπτεται όταν δεν μπορούν να προστεθούν άλλα εικονοστοιχεία. Μία άλλη σημαντική τεχνική κατάτμησης εικόνας είναι ο μετασχηματισμός Watershed (Biswas and Lovell, 2008). Ο μετασχηματισμός Watershed δημιουργεί αρκετά τοπικά ελάχιστα που οδηγούν στην υπερ-σηματοποίηση της εικόνας. Είναι δυνατόν να βελτιωθούν τα αποτελέσματα του μετασχηματισμού αυτού, εάν προηγηθεί ένα φίλτράρισμα της εικόνας.

Οι τεχνικές κατάτμησης εικόνας με βάση τις ακμές βρίσκουν εφαρμογή σε περιπτώσεις εικόνων, που περιλαμβάνουν κυρίως γεωμετρικά αντικείμενα. Τα όρια των περιοχών και οι ακμές βρίσκονται σε στενή σχέση. Όμως, οι ακμές περιέχουν συνήθως ασυνέχειες και επομένως είναι δύσκολο να ανιχνευτεί ένα αντικείμενο μέσα σε μία εικόνα. Λόγω αυτής της βασικής αδυναμίας έχουν αναπτυχθεί τεχνικές κατάτμησης, που δίνουν κλειστά περιγράμματα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται συνήθως σε δύο φάσεις: στην πρώτη φάση ανιχνεύονται τα άκρα του αντικειμένου και στην δεύτερη φάση συνδέονται με συνεχή περιγράμματα (Jain et al., 1995).

Τα τελευταία χρόνια, ένα από τα πεδία εφαρμογής της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, είναι αυτό, της αυτόματης διαδικασίας αναγνώρισης των καρπών στα οπωροφόρα δέντρα. Οι Plá et al. (1993) παρουσίασαν έναν αλγόριθμο κατάτμησης έγχρωμων εικόνων, για την αναγνώριση και τον εντοπισμό των καρπών στα εσπεριδοειδή. Ο αλγόριθμος βασίζονταν σε ένα διχρωματικό μοντέλο ανάκλασης του φωτός. Σύμφωνα με το διχρωματικό μοντέλο ανάκλασης, η συνιστώσα ανάκλασης επιφάνειας και η συνιστώσα ανάκλασης αντικειμένου, δημιουργούν δύο υποχώρους. Με τον τρόπο αυτό διαχωρίζονται επιτυχώς οι δύο

συνιστώσες και επιτυγχάνεται η ανάκτηση των αντικειμένων. Οι Stajko et al. (2004) ανέπτυξαν και δοκίμασαν με επιτυχία μια νέα μέθοδο εκτίμησης του αριθμού των μήλων και μέτρησης της διαμέτρου των καρπών αυτών στον αγρό. Η προτεινόμενη μέθοδος βασιζόταν στην ανάλυση των λήψεων μίας θερμικής κάμερας. Οι Qiang et al. (2010) παρουσίασαν μία μελέτη, η οποία αναφέρεται στην εξαγωγή χαρακτηριστικών των καρπών με σχεδόν σφαιρική μορφή. Για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών των καρπών χρησιμοποίησαν τέσσερις διαφορετικές τεχνικές: α) cluster barycentre (CB), β) edge barycentre (EB), γ) circular Hough transform (CHT) και δ) least square circle fitting (LSCF).

Αντικείμενο της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη εφαρμογής διαφορετικών απλών τεχνικών κατάτμησης σε εικόνες δέντρων συκιάς, τα οποία βρίσκονταν στο στάδιο της καρποφορίας με στόχο την αναγνώριση των καρπών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Δειγματοληψία εικόνων

Οι εικόνες ελήφθησαν από έναν σχετικά νέο συκεύνα, ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή του Μαρκόπουλου Αττικής, με αποστάσεις φύτευσης 4 έως 5 m επί της γραμμής και 6 έως 7 m μεταξύ των γραμμών. Το κλάδεμα διαμόρφωσης των δένδρων είναι ανοιχτού κυπέλλου, ώστε να επιτυγχάνεται ο σωστός αερισμός του δένδρου αλλά παράλληλα να διευκολύνεται η συγκομιδή των καρπών. Η ωρίμανση των καρπών αρχίζει από τα τέλη Ιουλίου και ολοκληρώνεται τα μέσα Οκτωβρίου.

Με τη βοήθεια μίας ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής Sony DSC-W310 με ανάλυση 12.1 MP, οπτικό zoom 4x, ελήφθησαν συνολικά 120 εικόνες, κάτω από διαφορετικές οπτικές γωνίες, αποστάσεις λήψης και με διαφορετική ένταση φωτεινότητας. Οι εικόνες στη συνέχεια μεταφέρθηκαν σε έναν Η/Υ, όπου αναλύθηκαν με τη βοήθεια της πλατφόρμας MATLAB v.R2012a.

2.2. Ανάλυση εικόνων

Για την ανάλυση των εικόνων χρησιμοποιήθηκαν συνολικά πέντε διαφορετικοί αλγόριθμοι. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν: i) αλγόριθμος κατάτμησης με μορφολογικούς τελεστές, ii) αλγόριθμος κατάτμησης με μετασχηματισμό Watershed, iii) αλγόριθμος κατάτμησης με μετασχηματισμό απόστασης, iv) αλγόριθμος κατάτμησης με ομαδοποίηση k-μέσων και v) αλγόριθμος κατάτμησης μέγιστης εντροπίας.

Σε αρκετές περιπτώσεις επεξεργασίας εικόνων επιπέδου του γκρι ή δυαδικών χρησιμοποιούνται μορφολογικοί τελεστές. Η μαθηματική μορφολογία είναι μία αποτελεσματική μη γραμμική μεθοδολογία επεξεργασίας εικόνων που στοχεύει στην ποσοτική περιγραφή της γεωμετρικής δομής των αντικειμένων της εικόνας. Η ανάλυση μίας εικόνας γίνεται με τη χρήση ενός απλού συνόλου (π.χ. ενός κύκλου, τετραγώνου) που ονομάζεται δομικό στοιχείο (structuring element). Οι κυριότεροι μορφολογικοί τελεστές είναι: της συστολής (erosion), της διαστολής (dilation), του ανοίγματος (opening), και του κλεισίματος (closing). Έστω ότι το αντικείμενο X μίας

δυναμική εικόνας είναι υποσύνολο του E, και B ένα δομικό στοιχείο (σύνολο), ενώ το συμμετρικό του συνόλου ως προς την αρχή (0,0) είναι το B' (Soille, 2004):

$$B' = \{-b : b \in B\} \quad (1)$$

Το B' λαμβάνεται με περιστροφή του B κατά 180°. Οι μορφολογικοί μετασχηματισμοί της διαστολής και της συστολής δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$X \oplus B' = \bigcup_{b \in B} X_{-b} = \{m \in E : B_m \cap X = 0\} \quad (2)$$

$$X \square B' = \bigcap_{b \in B} X_{-b} = \{m \in E : B_m \subset X\} \quad (3)$$

Οι μορφολογικοί τελεστές επενεργούν σε μία εικόνα, την επεξεργάζονται, και την αποδίδουν μετά την επεξεργασία της στις ίδιες διαστάσεις με την αρχική. Η μέθοδος της μαθηματικής μορφολογίας μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες μη γραμμικές προσεγγίσεις φίλτραρίσματος. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ένα φίλτρο ενδιάμεσης τιμής (median filter). Πρόκειται για μία τεχνική εξομάλυνσης και μείωσης του θορύβου, σύμφωνα με την οποία οι τιμές των εικονοστοιχείων μίας γειτονιάς ταξινομούνται και η τιμή του κάθε εικονοστοιχείου της νέας εικόνας λαμβάνει μία ενδιάμεση (διάμεση) τιμή (Arias-Castro and Donoho, 2009).

Ο μετασχηματισμός Watershed αντιμετωπίζει μία εικόνα σαν μία επιφάνεια αποτελούμενη από βουνά και κοιλάδες. Επομένως, εάν σε μία εικόνα που υπάρχουν τοπικά ελάχιστα εφαρμοστεί ο μετασχηματισμός Watershed, τότε το "νερό" θα πλημμυρίσει τα τοπικά ελάχιστα της εικόνας και θα φτάσει στα υψηλότερα τμήματα αυτής, δηλαδή στις ακμές των αντικειμένων. Για να μην επιτρέψουμε στο "νερό" που έρχεται από δύο διαφορετικά τοπικά ελάχιστα να συναντηθεί, δημιουργούμε φράγματα κάθε φορά που υπάρχει αυτός ο κίνδυνος. Τελικά, το μόνο που θα μπορούμε να δούμε στην εικόνα είναι τα φράγματα, τα οποία ονομάζονται γραμμές Watershed. Με την τεχνική αυτή, αρχικά υπολογίζεται μία μάσκα ακμών, επιλέγονται τα σημεία εκκίνησης (markers), και ακολουθεί η διαδικασία του "πλημμυρίσματος" (Gonzalez et al., 2004). Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε μία εικόνα που έχει βελτιωμένες ακμές ή έχει ειδικά παραμορφωθεί. Δίνει διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με την ποιότητα της εικόνας και τη σχέση συμπίεσης. Παρουσιάζει μειωμένη διακριτική ικανότητα στις μεταβολές της φωτεινότητας.

Ο μετασχηματισμός απόστασης ονομάζεται και χάρτης απόστασης. Ο μετασχηματισμός αυτός χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του χάρτη των αποστάσεων από το εξωτερικό περίγραμμα ενός αντικειμένου (Borgefors, 1986). Πρόκειται για τον υπολογισμό της απόστασης κάθε εικονοστοιχείου από το πλησιέστερο μη μηδενικό (μη μαύρο) εικονοστοιχείο. Επομένως, σε μία εικόνα μαύρου φόντου και λευκού περιγράμματος του αντικειμένου, ο πίνακας μετασχηματισμού απόστασης θα λαμβάνει την τιμή 1 πλησίον των ακμών του περιγράμματος του αντικειμένου (Maurer et al., 2003). Με την τεχνική αυτή μετατρέπεται μία δυαδική

(ασπρόμαυρη) εικόνα σε μία άλλη, όπου κάθε εικονοστοιχείο της έχει τιμή προσεγγιστική της απόστασής του από το κοντινότερο σημείο του περιγράμματος.

Στις διαχωριστικές τεχνικές (partitional techniques) κατάτμησης εικόνας ακολουθείται μία προσέγγιση με βάση το κέντρο βάρους μίας περιοχής (centroid) (Ng and Han, 2002). Στις τεχνικές αυτές αποδίδονται σημεία σε μία περιοχή, όταν ελαχιστοποιείται η απόστασή τους από το κέντρο βάρους της περιοχής αυτής. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι των k-μέσων (k-means), σύμφωνα με την οποία επιλέγονται N τυχαίες περιοχές και στη συνέχεια σε κάθε μία από αυτές αποδίδονται τα σημεία με βάση το κριτήριο αυτό (Gose et al., 1996):

$$E = \sum_{i=1}^N (\vec{x}_i - \vec{\mu}_k)^2 \quad (4)$$

όπου μ_k είναι το κέντρο βάρους της περιοχής, που βρίσκεται πιο κοντά στο άνωμα των δεδομένων x_i .

Μία άλλη τεχνική για την κατάτμηση της εικόνας είναι η μέθοδος Karour, η οποία βασίζεται στην έννοια της εντροπίας. Ειδικότερα, αναζητούμε την τιμή κατωφλίου για την οποία μεγιστοποιείται η εντροπία ($E = E_1 + E_2$). Τα εικονοστοιχεία μίας εικόνας χωρίζονται σε κλάσεις. Οι κλάσεις αυτές περιγράφονται από τις ακόλουθες σχέσεις (Συμεωνίδης, 2008):

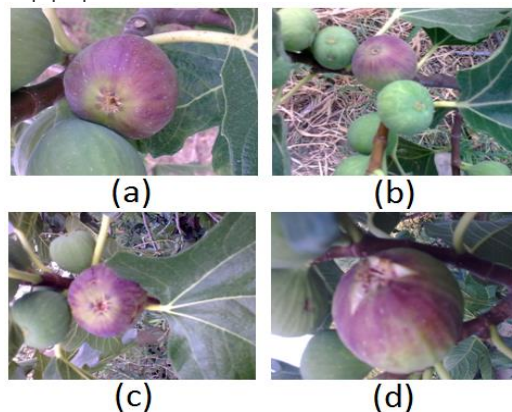
$$E_1 = \log(p_1) - \frac{1}{p_1} \sum_{g=0}^{T-1} H(g) \log(H(g)) \quad (5)$$

$$E_2 = \log(1 - p_1) - \frac{1}{1 - p_1} \sum_{g=T}^{255} H(g) \log(H(g)) \quad (6)$$

όπου E_1 είναι η μέση πληροφορία (εντροπία) της πρώτης κλάσης, E_2 είναι η μέση πληροφορία της δεύτερης κλάσης, p_1 είναι η πιθανότητα ένα εικονοστοιχείο να ανήκει E_1 , $H(g)$ είναι η τιμή του κανονικοποιημένου ιστογράμματος που αντιστοιχεί στην χρωματική συνιστώσα g , και T είναι η ζητούμενη τιμή κατωφλίου.

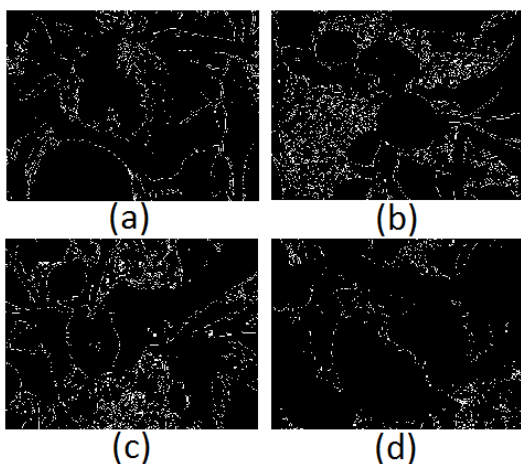
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κατάτμησης των αρχικών εικόνων δέντρων συκιάς στο στάδιο της καρποφορίας (Εικόνα 1), με τη βοήθεια των πέντε ανωτέρω αλγορίθμων.



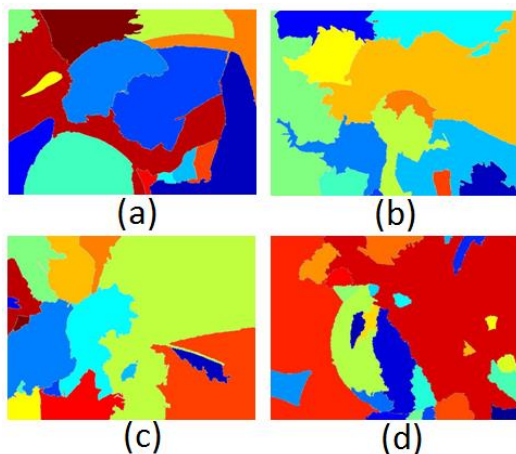
Εικόνα 1. Αρχικές εικόνες δέντρων συκιάς στο στάδιο της καρποφορίας

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης των αρχικών εικόνων μετά την εφαρμογή φίλτρου ενδιάμεσης τιμής και στη συνέχεια των μορφολογικών τελεστών της διαστολής και συστολής. Όπως προκύπτει από τις εικόνες, η κατάτμηση είναι ικανοποιητική.



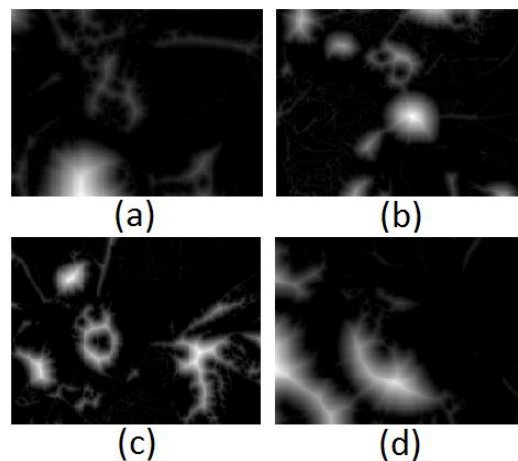
Εικόνα 2. Κατάτμηση εικόνων με χρήση φίλτρων ενδιάμεσης τιμής και μορφολογικούς τελεστές

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης των αρχικών εικόνων με τη μέθοδο του μετασχηματισμού Watershed. Στις εικόνες αυτές παρατηρείται μία υπερκατάτμηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι η αρχική επεξεργασία των εικόνων, έδωσε αρκετά εικονοστοιχεία με τιμές που πλησιάζουν την μονάδα (λευκό), στις περιοχές που αυξάνεται η εναλλαγή στην φωτεινότητα.



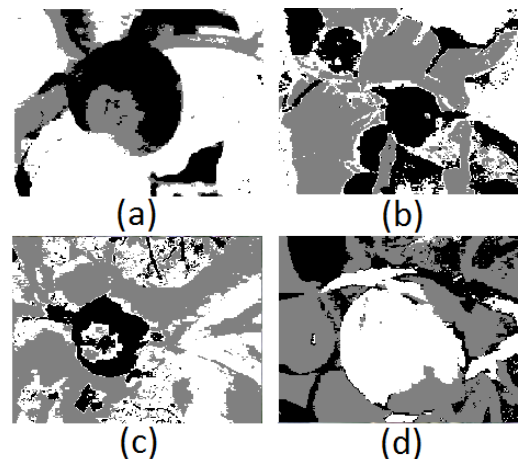
Εικόνα 3. Κατάτμηση εικόνων με τη μέθοδο του μετασχηματισμού Watershed

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης των αρχικών εικόνων με τη μέθοδο του μετασχηματισμού απόστασης. Η μέθοδος αυτή, φαίνεται να δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις δύο προηγούμενες. Ο μετασχηματισμός απόστασης δίνει την τιμή ένα (1) στα εικονοστοιχεία των αντικειμένων (καρπών) των δυαδικών εικόνων, σύμφωνα με τον ορισμό του. Όμως, είναι δύσκολο να εξαχθούν ικανοποιητικά συμπεράσματα για το μέγεθος και το σχήμα των καρπών.



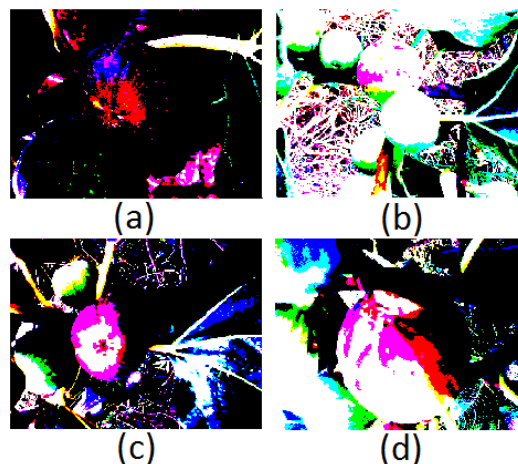
Εικόνα 4. Κατάτμηση εικόνων με μετασχηματισμό απόστασης

Στην Εικόνα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης των αρχικών εικόνων με τη μέθοδο της ομαδοποίησης k-μέσων. Ο βασικός στόχος να διαχωριστούν τα αντικείμενα (οι καρποί) από το φόντο, επετεύχθη στις Εικόνες 5 (a, b, c).



Εικόνα 5. Κατάτμηση εικόνων με ομαδοποίηση k-μέσων

Στην Εικόνα 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης των αρχικών εικόνων με τη μέθοδο της μέγιστης εντροπίας. Οι κατωφλιωμένες εικόνες δίνουν παρόμοια αποτελέσματα με την προηγούμενη μέθοδο της ομαδοποίησης k-μέσων.



Εικόνα 6. Κατάτμηση εικόνων με βάση την εντροπία

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η κατάτμηση των εικόνων παίζει σημαντικό ρόλο σε πολλές εφαρμογές. Στην εργασία αυτή εξετάζονται πέντε απλοί αλγόριθμοι κατάτμησης, οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί με ορισμένες παραλλαγές στην επεξεργασία και ανάλυση σκηνών εξωτερικών χώρων, βιοϊατρικών εικόνων κ.ά. (Νάννος, 2011). Στην προκειμένη περίπτωση, οι πέντε αλγόριθμοι χρησιμοποιήθηκαν στην κατάτμηση εικόνων δέντρων συκιάς στο στάδιο της καρποφορίας. Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν περιελάμβαναν εκτός των καρπών και άλλα τμήματα του φόντου με σχεδόν συνεχή ένταση, όπως: φύλλα, νευρώσεις φύλλων, ξερά κλαδιά, τμήμα του ουρανού. Επίσης, οι καρποί ήταν σε διαφορετικό στάδιο ωριμότητας, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν σημαντικές χρωματικές αποκλίσεις. Επομένως, η επιτυχής έκβαση κατάτμησης της κάθε εικόνας ήταν συνδεδεμένη με τα αντικείμενα που περιλάμβανε και τις συνθήκες ομαλότητας των περιγραμμάτων τους.

Οι τεχνικές κατάτμησης των εικόνων με βάση τα εικονοστοιχεία τους, όπως για παράδειγμα είναι η μέθοδος της κατωφλίωσης, έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο στις περιπτώσεις που δεν υπήρχαν μεγάλες διακυμάνσεις στην φωτεινότητα, ενώ τα αντικείμενα ήταν λιγοστά και μεγάλα. Για την επιτυχή εφαρμογή του αλγορίθμου με μετασχηματισμό Watershed θα έπρεπε οι περιοχές των αντικειμένων να είναι πιο σκοτεινές. Για το λόγο αυτό, θα έπρεπε να προηγηθεί μία καλύτερη προεπεξεργασία των εικόνων. Οι τεχνικές κατάτμησης των εικόνων που βασίζονται στην ομαδοποίηση των δεδομένων με βάση τα κοινά χαρακτηριστικά τους, όπως η μέθοδος των k-μέσων, έδωσαν σε άλλες περιπτώσεις ικανοποιητικά αποτελέσματα και σε άλλες όχι. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ίδιων των εικόνων. Συνεπώς, η ποιότητα των εικόνων, σε όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις που εξετάστηκαν, παίζει σημαντικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή των πέντε αλγορίθμων στην κατάτμηση εικόνων δέντρων συκιάς στο στάδιο της καρποφορίας, έδειξε ότι είναι δυνατόν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, εάν η ποιότητα των εικόνων είναι καλή. Στο μέλλον, οι αλγόριθμοι αυτοί θα μπορούσαν να εξελιχθούν περισσότερο, για να παρέχουν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος και το σχήμα των καρπών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arias-Castro, E., Donoho, D.L., 2009. Does median filtering truly preserve edges better than linear filtering? *The Annals of Statistics*, 37(3):1172-1206.
Biswas, S., Lovell, B.C., 2008. *Bézier and Splines in image processing and machine vision*. Springer, 213-233.
Borgefors, G., 1986. Distance transformations in digital images. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 34:344-371.

Costa, J.A.F., de Souza, J.G., 2011. Image segmentation through clustering based on natural computing techniques. Edited by Pei-Gee Peter Ho, INTECH Open Access Publisher, 57-82.
Gonzalez, R.C., Woods, R.E., 1993. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Publishing Company, 483-569.
Gose, E., Johnsonbaugh, R., Jost, S., 1996. *Pattern Recognition and Image Analysis*. Prentice Hall PTR, 329-417.
Jain, R., Kasturi, R., Shunck, B.G., 1995. *Machine vision*. McGraw-Hill Inc., 140-223.
Lulio, L.C., Tronco, M.L., Porto, A.J.V., 2011. JSEG algorithm and statistical ANN image segmentation techniques for natural scenes. Edited by Pei-Gee Peter Ho, INTECH Open Access Publisher, 243-364.
Maurer, Jr.C.R., Qi, R., Raghavan, V., 2003. A linear time algorithm for computing exact euclidean distance transforms of binary images in arbitrary dimensions. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 25(2):285-270.
Νάννος, N., 2011. Ανάπτυξη εξελιγμένων αλγορίθμων για την ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση κυτταροπαθολογικών εικόνων με χρήση πλατφόρμας MATLAB. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 11-130.
Ng,R.T., Han, J., 2002. CLARANS: A method for clustering objects for spatial data mining. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 14(5): 1003-1016.
Ojala, T., Pietikäinen, M., 1999. Unsupervised texture segmentation using feature distributions. *Pattern Recognition*, 32:477-486.
Haralick, R.M., Shapiro L.G., 1992. *Computer and robot vision*. Addison-Wesley Publishing Company, 13-56.
Πήτας, Ι., 1996. Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη, 103-183.
Plá, F., Juste, F., Ferri, F., Vicens, M., 1993. Colour segmentation based on a light reflection model to locate citrus fruits for robotic harvesting. *Computers and Electronics in Agriculture*, 9:53-75.
Qiang, L., Huazhu, L., Jianrong, C., Jiewen, Z., YongPing, L., Fang, Z., 2010. Feature extraction of near-spherical fruit with partial occlusion for robotic harvesting. *Maejo Int. J. Sci. Technol.*, 4(03):435-445.
Soille, P., 2004. *Morphological image analysis*. Springer, 63-135.
Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R., 1995. *Image processing, analysis and machine vision*. Chapman and Hall, 1-39.
Stajanko, D., Lakota, M., Hočevar, M., 2004. Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 42:31-42.
Συμεωνίδης, Α., 2008. *Digital image processing with MATLAB (Διδακτικές Σημειώσεις)*. ΤΕΙ Σερρών, 13-14.

ΝΕΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Ιωάννης Τριπαναγνωστόπουλος, Μανώλης Σουλιώτης
Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Φυσικής, Τ.Κ. 26500, Πάτρα

Προτείνονται βελτιωμένης απόδοσης θερμικές ηλιακές συσκευές, οι οποίες είναι κατάλληλες για εφαρμογή σε διατάξεις για αφαλάτωση νερού καθώς επίσης και για καθαρισμό και απολύμανση νερού. Βασική καινοτομία των νέων αυτών διατάξεων είναι ο συνδυασμός των θερμικών ηλιακών συλλεκτών με ενισχυτικούς ανακλαστήρες, με τους οποίους αυξάνεται η προσλαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία από τους θερμικούς συλλέκτες και οδηγεί στην αύξηση της αποδιδόμενης θερμότητας. Αυτή η αύξηση αντικαθιστά σε κάποιο βαθμό θερμικές απώλειες των συλλεκτών και επιτρέπει την αποδοτική λειτουργία τους σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Με την βελτίωση αυτή οι θερμικοί συλλέκτες μπορούν να συμβάλουν σε αποδοτική λειτουργία θερμικές μηχανές και επίτευξη μεγαλύτερης παρεχόμενης θερμικής ή ηλεκτρικής ισχύος. Δοκιμάστηκαν δύο τύποι θερμικών ηλιακών συλλεκτών, ο επίπεδος συλλέκτης και ο συλλέκτης σωλήνα κενού, με ανακλαστήρες μπροστά από τους συλλέκτες. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά και για τους δύο τύπους συλλεκτών και ιδιαίτερα ενθαρρυντικά για τους συλλέκτες σωλήνα κενού. Με τις συσκευές αυτές επιτυγχάνεται ικανοποιητική θέρμανση ρευστών, ιδιαίτερα την θερινή περίοδο, όπου οι απαιτήσεις σε πόσιμο νερό είναι περισσότερες και έτσι βελτιώνεται η απόδοση των θερμικών μηχανών και καθιστά την διεργασία της αφαλάτωσης περισσότερο αποδοτική και οικονομική.

Λέξεις κλειδιά: ηλιακή ενέργεια, θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες, συλλέκτες σωλήνα κενού, ηλιακή αφαλάτωση

NEW SOLAR ENERGY SYSTEMS FOR EFFECTIVE DESALINATION

Yiannis Tripanagnostopoulos, Manolis Souliotis

University of Patras, Department of Physics, Patra 26500, Greece, e-mail: yiantrip@physics.upatras.gr

Improved performance solar thermal collectors are suggested, which are suitable for solar desalination, water treatment and water detoxification. The basic innovation of these collector systems is their effective combination with booster reflectors, which contribute to add solar radiation on collector surface and therefore to increase their thermal energy output. This increase of solar radiation absorption overcomes partially collector thermal losses and can result to effective operation at higher temperatures. In this way, the collector can adapt effectively heat requirements for the efficient operation of Rankine or other type engine for work or electricity, providing it with higher temperature working fluid. Test results were obtained from flat plate and also evacuated tube, solar thermal collectors, where booster reflectors were installed in front of them. The results were positive, especially for the evacuated tube system, showing that the suggested combination collector plus reflector is effective and practical. The combined system is more efficient during summer, due to higher sun altitude and this adapts well with the higher demand of potable water during this period. Thus, the suggested system can be considered cost effective for solar desalination.

Key words: solar energy, solar thermal collectors, evacuated tube collectors, solar desalination

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα πάνω από 1.5 δις άνθρωποι έχουν πρόβλημα στην πρόσβαση καθαρού και πόσιμου νερού και η κατάσταση θα χειροτερέψει στα επόμενα χρόνια λόγω της περαιτέρω αύξησης του ανθρωπίνου πληθυσμού και της επιδείνωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για καθαρισμό και αφαλάτωση νερού απαιτούν την κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας, η οποία αποτελεί ένα άλλο σημαντικό παγκόσμιο πρόβλημα. Τελευταία, υπάρχει μείωση των νέων κοιτασμάτων πετρελαίου και σε λίγα χρόνια πιθανόν να υπάρξει παρόμοια κατάσταση και για το φυσικό αέριο, καύσιμα που επηρεάζουν δυσμενώς την ατμόσφαιρα με την έκλυση CO₂.

Οι τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας είναι σε θέση να προσφέρουν λύσεις στις ενεργειακές απαιτήσεις της αφαλάτωσης και τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική πρόοδος στις τεχνολογίες αυτές και έχουν προταθεί νέες και αποτελεσματικές διατάξεις ηλιακής ενέργειας θερμικών συλλεκτών, φωτοβολταϊών και υβριδικών φβ/θ συσκευών. Ακόμη, έχουν αναπτυχθεί

νέα υβριδικά συστήματα μικρών ανεμογεννητριών με φωτοβολταϊκά, για λειτουργία κυρίως συστημάτων αφαλάτωσης με τεχνολογίες αντίστροφης όσμωσης (Manolakos et al, 2001).

Μια διαφορετική μέθοδος για την επίτευξη αφαλάτωσης είναι η χρήση θερμικών συλλεκτών οι οποίοι να παρέχουν την απαραίτητη θερμότητα για λειτουργία π.χ. μηχανών Rankine, σε σύζευξη πάλι με διατάξεις αντίστροφης όσμωσης. Οι θερμικοί αυτοί συλλέκτες είναι οι βελτιωμένοι επίπεδοι συλλέκτες με επιλεκτικό απορροφητή και ένα ή δύο διαφανή καλύμματα καθώς και οι συλλέκτες σωλήνων κενού, οι οποίοι είναι αποδοτικοί σε θερμοκρασίες λειτουργίας 100 °C -150 °C.

Στο Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας του Παν/μίου Πατρών (ΕΗΕ-ΠΠ) έχουν γίνει πειράματα σχετικά με τους συλλέκτες αυτούς, με σκοπό την βελτίωση της αποδοτικότητάς τους στις θερμοκρασίες αυτές ή και στην επίτευξη αποδοτικής λειτουργίας τους σε υψηλότερες θερμοκρασίες, που να βρίσκονται στην περιοχή των 150 °C - 250 °C (Tripanagnostopoulos et al 2000a).

Μέχρι τώρα, έχουν μελετηθεί θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες με διαφορετικές τιμές του συντελεστή απορρόφησης της απορροφητικής τους επιφάνειας (Tripanagnostopoulos et al 2000b) σε συνδυασμό με ενισχυτικά κάτοπτρα. Επίσης, έχει γίνει πειραματική μελέτη διάταξης επίπεδων θερμικών ηλιακών συλλεκτών με ενισχυτικά κάτοπτρα για την εξαγωγή πειραματικών αποτελεσμάτων σε ετήσια χρονική περίοδο (Tripanagnostopoulos and Souliotis, 2000).

Για την υλοποίηση ερευνητικού προγράμματος με αντικείμενο την αφαλάτωση νερού με θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες, μηχανή Rankine και μέθοδο αντίστροφης όσμωσης, υπήρξε ανάγκη για βελτίωση της αποδοτικότητας των θερμικών συλλεκτών σωλήνων κενού και γι' αυτό επιλέχθηκε η αξιοποίηση των ενισχυτικών ανακλαστήρων. Στο πρόγραμμα απαιτείται η θέρμανση εργαζόμενου ρευστού για τη λειτουργία μηχανής Rankine στους 130 °C - 140 °C, για την βελτίωση της απόδοσης της μηχανής. Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στις μεθόδους βελτίωσης της αποδοτικότητας των επίπεδων συλλεκτών και των συλλεκτών σωλήνων κενού, για να επιτύχουν καλύτερες αποδόσεις στην αφαλάτωση και δίνονται πειραματικά αποτελέσματα σχετικά με την αποδοτική τους λειτουργία.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Διατάξεις αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας

Οι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες χαρακτηρίζονται από την οπτική απόδοση και τις θερμικές απώλειες. Κάθε θερμικός συλλέκτης παρουσιάζει μείωση της απόδοσής του με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του επειδή αυξάνει παράλληλα και η θερμότητα απωλείων από τον συλλέκτη προς το περιβάλλον.

Οι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν θερμοκρασία ρευστού 130 °C - 140 °C, ώστε να ανταποκρίνονται στις θερμοκρασιακές απαιτήσεις αποδοτικής λειτουργίας της μηχανής Rankine, είναι είτε συλλέκτες σωλήνων κενού είτε συγκεντρωτικοί συλλέκτες γεωμετρίας CPC (Υ. Tripanagnostopoulos and P. Yianoulis, 1996, Tripanagnostopoulos et al 2000a). Οι επίπεδοι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες απλής μαύρης βαφής αδυνατούν να λειτουργήσουν αποδοτικά σ' αυτό το θερμοκρασιακό εύρος, ενώ οι επίπεδοι συλλέκτες με επιλεκτικό απορροφητή (έχουν χαμηλό συντελεστή εκπομπής), αν και είναι πιο οικονομικοί σε σχέση με τους θερμικούς συλλέκτες σωλήνων κενού, εντούτοις έχουν σχετικά μικρότερη ενεργειακή απόδοση για τις θερμοκρασίες αυτές.

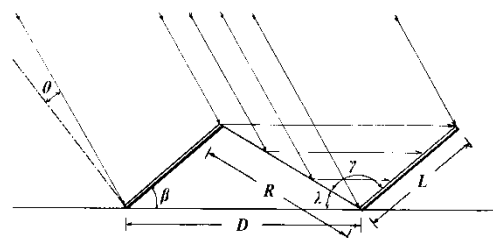
Εκτός από την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων θερμικής βελτίωσης των ηλιακών συλλεκτών, κυρίως με καλύτερη θερμομόνωση, στο Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας έχει αναπτυχθεί και η μέθοδος της προσθήκης επίπεδων κατόπτρων έμπροσθεν των συλλεκτών, τα οποία λειτουργώντας ως ενισχυτικοί ανακλαστήρες της ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να προσθέσουν ποσότητα ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια ανοίγματος των θερμικών ηλιακών συλλεκτών. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της

αποδιδόμενη θερμότητα για λειτουργία σε μια δεδομένη θερμοκρασία, ή η αποδοτική λειτουργία του συλλέκτη σε υψηλότερη θερμοκρασία.

2.2. Μέθοδος ενισχυτικών ανακλαστήρων

Η μέθοδος των ενισχυτικών κατόπτρων μπορεί να εφαρμοστεί στις εγκαταστάσεις παράλληλων σειρών θερμικών ηλιακών συλλεκτών σε έδαφος ή σε οριζόντια οροφή κτιρίων. Η τοποθέτηση των επίπεδων συλλεκτών σε παράλληλες σειρές γίνεται με τρόπο που να αξιοποιείται στο μέγιστο η διαθέσιμη επιφάνεια και με τους συλλέκτες να έχουν την κατάλληλη κλίση για το χρονικό διάστημα που απαιτείται κυρίως η αυξημένη αποδιδόμενη θερμότητα και σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας εγκατάστασης. Τα κάτοπτρα που θα τοποθετηθούν μεταξύ των σειρών συλλεκτών συμβάλλουν στην αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην απορροφητική επιφάνεια των συλλεκτών, «αντικαθιστώντας» σε κάποιο βαθμό τις θερμικές απώλειες των συλλεκτών, οι οποίες μεταδίδονται στο περιβάλλον λόγω της αυξημένης διαφοράς θερμοκρασίας.

Η επίδραση των κατόπτρων στην αποδιδόμενη θερμότητα της διάταξης με σταθερά κάτοπτρα και για λειτουργία των συλλεκτών σε χαμηλές θερμοκρασίες, είναι 20%-25% ετησίως. Η αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του συλλέκτη, έχει ως αποτέλεσμα η αποδιδόμενη θερμότητα να φτάνει το 100%, ή και ακόμη να το ξεπερνά, για λειτουργία του θερμικού συλλέκτη σε υψηλές θερμοκρασίες και πλησίον της θερμοκρασίας στασιμότητας (μέγιστη θερμοκρασία του συλλέκτη). Στην περίπτωση εφαρμογής της διάταξης για αφαλάτωση νερού, τα ενισχυτικά κάτοπτρα μπορούν να εξασφαλίσουν μεγαλύτερη ποσότητα θερμού ρευστού ή ακόμη και θερμό ρευστό υψηλότερης θερμοκρασίας, ιδιαίτερα την περίοδο από την άνοιξη έως το φθινόπωρο.



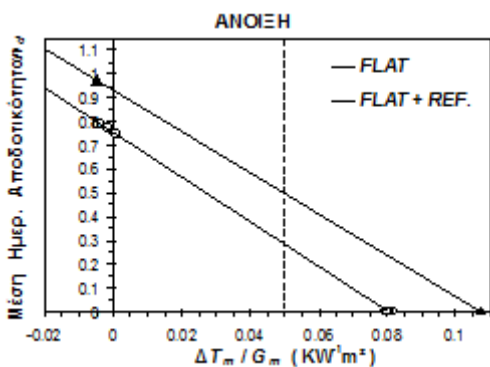
Εικόνα 1 Διάταξη θερμικών ηλιακών συλλεκτών με προσθήκη ενισχυτικών ανακλαστήρων

Η προσθήκη ενισχυτικών κατόπτρων τόσο σε επίπεδους συλλέκτες όσο και σε συλλέκτες κενού μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοσή τους στις θερμοκρασίες, 130 °C - 140 °C καθιστώντας τους κατάλληλους για την εν λόγω εφαρμογή. Στην Εικ.1 παρατίθεται η πειραματική διάταξη που προτείνεται, σύμφωνα με την οποία στην επιφάνεια εμπρός και μεταξύ των σειρών του πεδίου των συλλεκτών μπορούν να τοποθετηθούν ενισχυτικά κάτοπτρα. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην απορροφητική επιφάνεια των συλλεκτών, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας τους. Η

απόσταση μεταξύ της σειράς των συλλεκτών (D), το μήκος του ενισχυτικού κατόπτρου (R) και η γωνία κλίσης των συλλεκτών (β) καθορίζονται από το γεωγραφικό πλάτος και της εποχής κύριας λειτουργίας της εγκατάστασης. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας καθορίζει τελικά το ποσοστό της επιπρόσθετης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο πεδίο των συλλεκτών, καθώς η κάθετη επιφάνεια στο επίπεδο των ηλιακών ακτίνων διαφοροποιείται ανάλογα με την εποχή του έτους. Επιλέγεται συνήθως κλίση ηλιακών συλλεκτών ίση με το γεωγραφικό πλάτος β του τόπου εγκατάστασης (για την Πάτρα είναι $\beta = 38.25^\circ$), γωνία κατόπτρου λ ίση με το μέγιστο ύψος του ήλιου για το χειμερινό ηλιοστάσιο του τόπου εγκατάστασης ($\lambda = 28.3^\circ$ για την Πάτρα) και έτσι προκύπτει η γωνία γ μεταξύ συλλέκτη - κατόπτρου ($\gamma=113.45^\circ$). Στα πειράματα που έγιναν στο ΕΗΕ-ΠΠ χρησιμοποιήθηκαν επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες πλάτους $L = 0.6$ m, μήκους κατόπτρου $R = 0.78$ m και η απόσταση μεταξύ των δύο σειρών συλλεκτών ήταν $D = 1.16$ m. Με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διάταξης που αναφέρθηκε προηγουμένως έγιναν πειράματα στο πεδίο δοκιμών του ΕΗΕ-ΠΠ με την πειραματική διάταξη να είναι κατάλληλη για αποδοτική λειτουργία όλο το έτος. Τα μετρούμενα μεγέθη ήταν: η θερμοκρασία εισόδου του νερού στους συλλέκτες T_i ($^\circ\text{C}$), θερμοκρασία εξόδου του νερού από τους συλλέκτες T_o ($^\circ\text{C}$), θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a ($^\circ\text{C}$), θερμοκρασία της επιφάνειας του απορροφητή των συλλεκτών, η ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη G (Wm^{-2}), η ταχύτητα του πνέοντος ανέμου V_w (ms^{-1}) και η ροή της μάζας του νερού dm/dt (~ 0.005 kgs^{-1}).

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

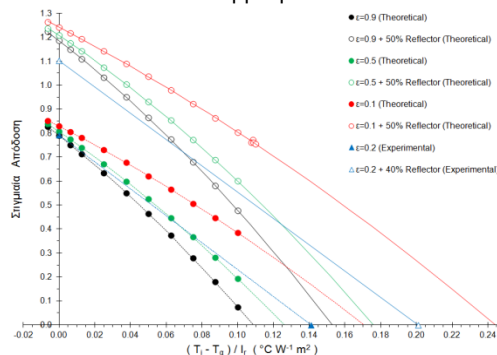
3.1 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες



Εικόνα 2 Διάγραμμα της μέσης ημερήσιας αποδοτικότητας θερμικών συλλεκτών, χωρίς και με ενισχυτικό κάτοπτρο

Επιδιώχθηκαν και λήφθηκαν μετρήσεις για όλο το έτος και στην Εικ. 2 δείχνεται ενδεικτικά η αποδοτικότητα των θερμικών συλλεκτών χωρίς και με τη χρήση του ενισχυτικού κατόπτρου για την ΑΝΟΙΞΗ. Από τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται ότι για λειτουργία των συλλεκτών σε $\Delta T/l=0.05$ KW^{-1}m^2 , που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία λειτουργίας περί τους 50 $^\circ\text{C}$, η βελτίωση είναι στο 80%. Η χρήση των ενισχυτικών κατόπτρων μπορεί να οδηγήσει σε αποδοτική λειτουργία πάνω από τις θερμοκρασίες

ZNX, δηλαδή σε 80 $^\circ\text{C}$, σε 120 $^\circ\text{C}$, ή υψηλότερες, για εφαρμογές ηλιακής ψύξης, αφαλάτωση, βιομηχανική θερμότητα, κλπ. Η σύζευξη συλλεκτών και κατόπτρων βελτιώνει κατά 30% την αποδιδόμενη θερμότητα μιας εγκατάστασης για λειτουργία της γύρω στους 50 $^\circ\text{C}$. Η βελτίωση θα είναι ακόμη μεγαλύτερη για υψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας των συλλεκτών, οπότε η χρήση των ενισχυτικών ανακλαστήρων ενδείκνυται για διατάξεις ηλιακών συλλεκτών που απαιτείται λειτουργία τους σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, ή για διατάξεις που η λειτουργία τους είναι πιο σημαντική την περίοδο από άνοιξη έως και φθινόπωρο, όπως είναι η αφαλάτωση και η ηλιακή ψύξη. Οι διατάξεις αυτές μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορους τύπους συλλεκτών (επίπεδους συλλέκτες, συλλέκτες σωλήνα κενού, συλλέκτες αέρα, κλπ), με την προϋπόθεση πως οι συλλέκτες έχουν αντοχή στην θέρμανση της συσκευής για προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία 1500 - 2000 W/m^2 και θερμοκρασία 200 $^\circ\text{C}$ - 250 $^\circ\text{C}$.



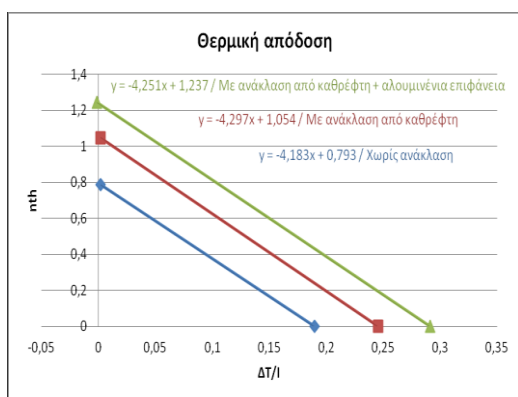
Εικόνα 3. Διάγραμμα της στιγμιαίας αποδοτικότητας των θερμικών συλλεκτών χωρίς και με ενισχυτικό κάτοπτρο.

Στην Εικ. 3 παρουσιάζονται τα θεωρητικά και πειραματικά αποτελέσματα της στιγμιαίας θερμικής αποδοτικότητας επίπεδων συλλεκτών απλής μαύρης βαφής ($\epsilon=0.9$) και επιλεκτικής επίστρωσης του απορροφητή ($\epsilon=0.5$ και $\epsilon=0.1$) χωρίς τη χρήση ενισχυτικού κατόπτρου αλλά και με τη χρήση του. Από το διάγραμμα αυτό παρατηρείται μια σημαντική αύξηση της αποδιδόμενης θερμότητας από τη χρήση των ενισχυτικών ανακλαστήρων. Από τα αποτελέσματα αυτά γίνεται αντιληπτό ότι η θερμική αποδοτικότητα των συλλεκτών βελτιώνεται σημαντικά ιδιαίτερα στις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας. Αυτό κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό για το ερευνητικό έργο, καθώς παρατηρείται διπλασιασμός της αποδιδόμενης θερμότητας των συλλεκτών στο θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας της μηχανής Rankine. Στην ίδια Εικόνα παρουσιάζονται επίσης πειραματικά αποτελέσματα από επίπεδο συλλέκτη επιλεκτικής επίστρωσης απορροφητικής επιφάνειας ($\epsilon=0.2$). Κάποιες διαφορές που παρουσιάζονται μεταξύ των θεωρητικών και των πειραματικών τιμών οφείλονται στις θεωρητικές προσεγγίσεις που έγιναν για το διαφανές κάλυμμα (θεωρήθηκε υψηλής διαπερατότητας) και για την συμβολή του κατόπτρου (θεωρήθηκε λίγο μεγαλύτερη, στο 40 %).

3.2 Ηλιακοί συλλέκτες σωλήνων κενού

Τα ενισχυτικά κάτοπτρα, εκτός από την βελτίωση που επιφέρουν στους επίπεδους συλλέκτες, έχουν σημαντική συμβολή και στους συλλέκτες σωλήνων κενού. Για την πειραματική μελέτη των συλλεκτών αυτών εξετάστηκαν τρεις περιπτώσεις: (α) απλοί σωλήνες κενού, (β) σωλήνες κενού με κάτοπτρο πίσω από τους σωλήνες και (γ) σωλήνες κενού με πίσω κάτοπτρο και πρόσθετο εμπρόσθιο κάτοπτρο. Οι τρεις αυτές περιπτώσεις περιλαμβάνουν τα τρία διαφορετικά ενδεχόμενα εφαρμογής των συλλεκτών σωλήνων κενού.

Οι σωλήνες κενού έχουν το βασικό πλεονέκτημα των μειωμένων θερμικών απωλειών, που παρέχει τη δυνατότητα επίτευξης υψηλότερων θερμοκρασιών αποδοτικής λειτουργίας, σε σχέση με τους ηλιακούς θερμικούς επίπεδους συλλέκτες. Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογής τους είναι του απλού τύπου, ενώ η χρήση του πίσω κατόπτρου εφαρμόζεται κυρίως στους θερμοσιφωνικού τύπου συλλέκτες σωλήνων κενού μέχρι τώρα.



Εικόνα 4. Διάγραμμα της στιγμιαίας αποδοτικότητας των θερμικών συλλεκτών σωλήνων κενού απλών, με πίσω κάτοπτρο και πρόσθετο εμπρόσθιο κάτοπτρο.

Η προτεινόμενη διάταξη της παρούσας εργασίας είναι η (γ), όπου περιλαμβάνεται και η προσθήκη ενισχυτικού ανακλαστήρα μπροστά από το σύστημα του συλλέκτη σωλήνα κενού. Από τα πειράματα σταθερής κατάστασης που έγιναν στο ΕΗΕ-ΠΠ (Αποστολοπούλου, 2013) παρουσιάζεται (Εικ. 4) μια αύξηση στην μέγιστη απόδοση (για λειτουργία σε συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος) κατά 25% της περίπτωσης (β) με το πίσω κάτοπτρο, σε σχέση με τον απλό τύπο συλλέκτη σωλήνων κενού (α) και αύξηση περί το 20% της περίπτωσης (γ) με την προσθήκη και εμπρόσθιου κατόπτρου σε σχέση με την περίπτωση (β). Παρόμοια αυξητικά ποσοστά παρουσιάζονται και στην περίπτωση της λειτουργίας της διάταξης στην μέγιστη θερμοκρασία, όπου η απόδοση είναι μηδενική.

Οι θερμοκρασίες που επιτεύχθηκαν στα πειράματα που έγιναν ήταν αντίστοιχα για τις τρεις περιπτώσεις: (α) 193 °C, (β) 238 °C, και (γ) 285 °C, με την θερμοκρασία περιβάλλοντος να είναι περί τους 21 °C και την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στους συλλέκτες, περί τα 900 Wm⁻².

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αύξηση της αποδιδόμενης θερμότητας ή/και της θερμοκρασίας των θερμικών απορροφητών των επιπέδων συλλεκτών και συλλεκτών σωλήνων κενού με την χρήση πρόσθετων ενισχυτικών κατόπτρων, θα διευρύνει την χρήση τους τόσο στη θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, σε ξενοδοχεία, νοσοκομεία, αθλητικά κέντρα, κλπ, όσο και σε άλλες εφαρμογές που ακόμη δεν είναι ακόμη οικονομικά αποδοτικές επιλογές, όπως είναι η ψύξη χώρων, η αφαλάτωση, η βιομηχανική θερμότητα, κλπ. Όσον αφορά την πειραματική μελέτη των θερμικών συλλεκτών με την απλή μαύρη βαφή, διαπιστώνεται ότι με τη χρήση του ενισχυτικού κατόπτρου θερμοκρασία 150 °C και πλέον βαθμών μπορεί εύκολα να επιτευχθεί. Στην περίπτωση των θερμικών συλλεκτών με επιλεκτικό απορροφητή παρατηρήθηκε ένα ακόμη καλύτερο αποτέλεσμα για την μέγιστη θερμοκρασία, που μετρήθηκε στο ύψος των 180 °C - 200 °C. Όσον αφορά τέλος τους θερμικούς συλλέκτες σωλήνων κενού, η χρήση κατόπτρου πίσω από τους σωλήνες κενού και εμπρόσθιου ενισχυτικού ανακλαστήρα, το αποτέλεσμα ήταν πολύ ενθαρρυντικό τόσο στην αύξηση της αποδιδόμενης θερμότητας όσο και στην επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών. Αυτά τα δεδομένα δείχνουν ότι οι συλλέκτες σωλήνων κενού με χρήση ενισχυτικών κατόπτρων είναι αποδοτικές ηλιακές συσκευές για τις διατάξεις αφαλάτωσης με μηχανές Rankine και διαδικασίες αντίστροφες όσμωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Manolakos D., Papadakis G., Papantonis D., Kyritsis S. 2001. A simulation-optimisation programme for designing hybrid energy systems for supplying electricity and fresh water through desalination to remote areas: Case study: the Mersini village, Donoussa island, Aegean Sea, Greece. *Energy* 26 (7), 679-704.
- Tripanagnostopoulos Y. and Yianoulis P. 1996. CPC solar collectors with multichannel absorber. *Solar Energy* 58 (1-3), 49-61,
- Tripanagnostopoulos Y. and Souliotis M. 2005. Booster Reflector Contribution to Performance Improvement of Solar Collectors. Proc. in CD, Int. Conf. WREC 2005: 63-68, Aberdeen, Scotland, UK, 22-27 May 2005.
- Tripanagnostopoulos Y., Souliotis M., Nousia, Th. 2000b. Solar Collectors with Colored Absorbers. *Solar Energy* 68, No 4, 343-356
- Tripanagnostopoulos Y., Yianoulis P., Papaefthimiou S. and Zafeiratos S. 2000a. CPC solar collectors with flat bifacial absorbers. *Solar energy* 69 (3), 191-203.
- Αποστολοπούλου Αντιγόνη. 2013. «Σύνθετες Διατάξεις Φωτοβολταϊκών και Θερμικών Ηλιακών Συσκευών». Διπλωματική-Ερευνητική Εργασία Μεταπτυχιακού Προγράμματος στην Ενέργεια και Περιβάλλον, Τμήμα Φυσικής Παν/μιο Πατρών.



ΧΡΗΣΗ ΣΑΡΩΤΗ ΛΕΙΖΕΡ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

A. Χατζηνίκος, Θ. Γέμτος, Σ. Φουντάς

Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38334

Αναπτύχθηκε πειραματική διάταξη με σαρωτή λέιζερ για τη συλλογή δεδομένων από το χωράφι για την εκτίμηση της βιομάζας και του ύψους φυτών σε τρεις καλλιέργειες (σόγια, ηλιάνθο και σκληρό σιτάρι). Η πειραματική διάταξη έδινε τη δυνατότητα για μεταβλητό ύψος και γωνίας μέτρησης του σαρωτή και συνδέονταν στο υδραυλικό σύστημα ενός ελκυστήρα. Οι σχετικοί παράμετροι μετρήθηκαν στο χωράφι και συγκρίθηκαν με τις τιμές που εκτιμήθηκαν από τις μετρήσεις του αισθητήρα. Η συσχέτιση ήταν υψηλή και για την εκτίμηση του ύψους (0,90-0,94), ενώ εξίσου υψηλή για την εκτίμηση της βιομάζας ήταν εξίσου υψηλός (0,88-0,82).

Λέξεις κλειδιά: Σαρωτής λέιζερ, παράμετροι καλλιέργειας, ηλιάνθος, σόγια, σκληρό σιτάρι.

THE USE OF A LASER SCANNER FOR MEASURING CROP PROPERTIES IN THREE CROPS

A. Chatzinikos, T.A. Gemtos, S. Fountas

Laboratory of Farm Mechanisation, Department of Agriculture Crop Production and Rural Development, University of Thessaly, Fytokou str., 38334 Volos, Greece
ahatzin@agr.uth.gr

A platform with a laser scanner mounted on it was developed for crop data collection in the field. Biomass and crop height of three crops (sunflower, soybeans and winter wheat) was measured. The sensing platform was mounted on a tractor, ran along the crop and measured the crop height and biomass. The relevant crop parameters were measured manually and compared to the values estimated based on instrument measurements. High correlation coefficients were generally observed and varied according to the growth stage of the crop. The correlation was both high for estimating crop height ($r^2=0.94$ to $r^2=0.90$) and for biomass mass ($r^2=0.88$ to $r^2=0.82$).

Keywords: Laser scanner, crop properties, sunflower, soybeans, winter wheat

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση νέων τεχνολογιών στη γεωργία επιτρέπει σε αγρότες και ερευνητές να συλλέγουν σημαντικές πληροφορίες από το χωράφι για να εκτιμήσουν την κατάσταση μιας καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Μία από τις νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό είναι οι τηλε-αισθητήρες. Οι αισθητήρες αυτοί έχουν την ιδιότητα να ανιχνεύουν την ιδιότητα ενός αντικειμένου χωρίς τη φυσική επαφή του και διακρίνονται με βάση το μέσο ανίχνευσης που είναι το μαγνητικό πεδίο, πίεση αέρα, φως και υπέρηχοι (Kanade & Sommer, 1983). Στη γεωργία και τη δασοκομία έχουν συστηματικά χρησιμοποιηθεί τα τελευταία χρόνια οι τηλε-αισθητήρες και κυρίως υπέρηχοι και σαρωτές λέιζερ, για τη εκτίμηση παραμέτρων της φυτείας.

Σε δασικά δένδρα έγινε η μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, του ύψους και της διαμέτρου της κόμης με τη χρήση επίγειων αισθητήρων λέιζερ (Bienert et al., 2007; Riaño et al., 2004).

Αισθητήρες υπέρηχων χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση ζιζανίων και κενών κηλίδων μέσα σε καλλιέργεια βατόμουρων (Swain et al., 2009).

Σε τρεις διαφορετικές καλλιέργειες (ελαιοκράμβη, σκληρό σιτάρι και σίκαλη) το ύψος των φυτών είχε υψηλή συσχέτιση ($r^2=0.75$ to $r^2=0.99$) με μετρήσεις της βιομάζας με τα χέρια (Ehlert et al., 2009).

Στατικές και δυναμικές μετρήσεις ύψους του μίσχανθου έγιναν με τη χρήση σαρωτή λέιζερ και συσχετίστηκαν με πραγματικές μετρήσεις ύψους με

μέσο σφάλμα 5,08% (στατικές) και 3,8% (δυναμικές) μετρήσεις (Zhang & Grift, 2012).

Σαρωτές λέιζερ χρησιμοποιήθηκαν για εκτίμηση παραμέτρων σε οπωρώνες όπως ο Δείκτης Φυλλικής επιφάνειας, ύψος δένδρων και πυκνότητα φυλλώματος (Arno et al., 2009). Σε οπωρώνες λεμονιών στη Φλόριντα, Η.Π.Α., μετρήθηκε η κώμη των δένδρων με σαρωτή λέιζερ και συσχετίστηκαν με πραγματικές μετρήσεις με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού ($r^2=0.85$) (Tumbo et al., 2002). Ο Moorthy et al. (2011) χρησιμοποίησε ένα διδιάστατο σαρωτή λέιζερ για την εκτίμηση του ύψους δένδρων, ύψους και πλάτους της κόμης ελαιόδενδρων. Οι μετρήσεις του αισθητήρα παρουσίασαν υψηλή συσχέτιση σε σχέση με τις πραγματικές μετρήσεις και στις τρεις παραμέτρους ($r^2=0.97$, $r^2=0.99$ and $r^2=0.76$ αντίστοιχα).

Στις αχλαδιές, ο όγκος της κόμης και η πυκνότητα του φυλλώματος μετρήθηκε με σαρωτή λέιζερ και συσχετίστηκε με το ύψος και τη μισή τομή της κόμης ($r^2=0.86$) (Escola et al., 2009).

Οι μετρήσεις από τους σαρωτές λέιζερ χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων σε αμπέλια και οπωρώνες, με βάση την παραλλακτικότητα στη κώμη τους (Gil et al., 2006; Llorens et al., 2011).

Σε αυτή την έρευνα κατασκευάστηκε μία πειραματική διάταξη με αισθητήρα απόστασης (επίγειος σαρωτής λέιζερ) για τη μέτρηση παραμέτρων καλλιέργειας (βιομάζα και ύψος) κατά

τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Στόχος της έρευνας ήταν να υπολογιστεί σε ποιο στάδιο ανάπτυξης και γωνία μέτρησης επιτυγχάνεται καλύτερη εκτίμηση του ύψους και της βιομάζας τριών διαφορετικών καλλιεργειών (σκληρό σιτάρι, σόγια και ηλιάνθος).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Αγρός

Η έρευνα διεξήχθη στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011-12 σε καλλιέργειες σκληρού σίτου, σόγιας και ηλιάνθου. Το σκληρό σιτάρι σπάρθηκε στις 1/12/2011 και οι δύο εαρινές καλλιέργειες (σόγια, ηλιάνθος) στις 1/5/2012. Οι δύο πειραματικοί αγροί των εαρινών καλλιεργειών είχαν μήκος 60 μέτρα και πλάτος 3 μέτρα, που αντιστοιχεί στο πλάτος εργασίας της σπαρτικής και για το σκληρό σιτάρι είχε διαστάσεις 70 μέτρα μήκος και πλάτος όσο το πλάτος της σπαρτικής (2,85μ.) Κάθε πειραματικός αγρός χωρίστηκε σε 24 πειραματικά τεμάχια, όπου έγιναν οι μετρήσεις ύψους και χλωρής βιομάζας. Το μήκος του κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν 2 μέτρα και το πλάτος 2 μέτρα. Ανάμεσα στα πειραματικά τεμάχια υπήρχε διάκενο χωρίς φυτά μήκους 0,5 μέτρου στις εαρινές καλλιέργειες και 1 μέτρο στο σκληρό σιτάρι.

2.2. Σαρωτής λέιζερ

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των παραμέτρων της καλλιέργειας ήταν ο σαρωτής λέιζερ SICK LMS 200 (SICK AG, Germany). Ο σαρωτής λέιζερ είναι ένας οπτικός δισδιάστατος αισθητήρας που η λειτουργία του βασίζεται στην αρχή του «χρόνου πτήσης» (Time-of-flight, TOF), όπου για τη μέτρηση της απόστασης μετριέται ο χρόνος που κάνει το φως να ταξιδέψει έως το κοντινότερο εμπόδιο και να επιστρέψει στο σημείο εκπομπής του. Η δέσμη λέιζερ που εκπέμπει ο αισθητήρας είναι στο κοντινό υπέρυθρο (905nm). Η δέσμη λέιζερ ανακλάται πάνω σε ένα περιστρεφόμενο κάτοπτρο και αυτό επιτρέπει τη σάρωση μιας επιφάνειας καθώς μετράει την απόσταση σε πολλές γωνίες. Η γωνιακή ανάλυση της μέτρησης μπορεί να ρυθμιστεί από 1° ως 0,25°, ενώ το βεληνεκές μέτρησης φτάνει στα 80 μέτρα. Η ακρίβεια στη μέτρηση του αισθητήρα για εύρος μέτρησης από 1 μέτρο ως 8 μέτρα είναι 15 χιλιοστά, ενώ η ανάλυση της μέτρησης είναι 10 χιλιοστά.

2.3 Πλαίσιο σαρωτή λέιζερ

Ο σαρωτής λέιζερ προσαρμόστηκε πάνω σε ειδική κατασκευή που έδινε τη δυνατότητα μεταβολής της γωνίας και ύψους μέτρησης. Το ύψος μέτρησης καθορίζονταν με βάση το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας και του ύψους της. Το ύψος μέτρησης ρυθμιζονταν από 90 ως 180 εκατοστά από την επιφάνεια του εδάφους. Το μέγιστο επιλέχθηκε στα τελευταία στάδια ανάπτυξης του ηλιάνθου, ενώ το ελάχιστο ύψος επιλέχθηκε για τις πρώτες μετρήσεις όλων των καλλιεργειών.

Η κοιλοδοκός πάνω στην οποία στηρίζεται ο αισθητήρας μπορούσε να λάβει τέσσερις θέσεις-γωνίες μέτρησης (45°, 60°, 75° και 90°). Η γωνία μέτρησης είναι αυτή σχηματίζεται από τη δέσμη λέιζερ του αισθητήρα ως προς την επιφάνεια του εδάφους.

Η ειδική κατασκευή τοποθετήθηκε πάνω σε πλαίσιο που είχε τη δυνατότητα να έλκεται από τον γεωργικό ελκυστήρα. Η σύνδεση του πλαισίου γινόταν στα τρία σημεία του υδραυλικού συστήματος του γεωργικού ελκυστήρα για να μπορεί να μεταφέρεται σε εκτός του χωραφιού διαδρομές. Η κατασκευή είχε 2 ρόδες με τις οποίες περιορίζονταν οι μετρήσεις από τις ανωμαλίες του εδάφους είχε 2 ρόδες.

Η ταχύτητα που κινούνταν ο γεωργικός ελκυστήρας μέσα στο χωράφι ήταν με τη μικρότερη δυνατή ταχύτητα του ελκυστήρα (περίπου 0.32 μέτρα το δευτερόλεπτο). Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε αυτή η ταχύτητα ήταν για τη μείωση του σφάλματος της μέτρησης του αισθητήρα από τις αναπηδήσεις του γεωργικού ελκυστήρα που οφείλονται στις ανωμαλίες του εδάφους.



Εικόνα 1. Η πειραματική διάταξη με το σαρωτή λέιζερ σε γωνία μέτρησης 0°.

2.4 Μετρήσεις και ρυθμίσεις αισθητήρα

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου έγιναν για κάθε μία από τις καλλιέργειες 6 συνολικά σαρώσεις. Η πρώτη σάρωση της καλλιέργειας έγινε ως μέτρηση αναφοράς πριν το φύτευμα του σπόρου, ενώ οι υπόλοιπες μετρήσεις έγιναν ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας των φυτών.

Σε κάθε ημέρα έγιναν 5 μετρήσεις, ανάλογα με τη γωνία μέτρησης. Οι δύο πρώτες σαρώσεις γίνονταν σε γωνία μέτρησης 90° και οι υπόλοιπες τρεις στις αντίστοιχες τρεις γωνίες μέτρησης (45°, 60° και 75°).

Πριν από κάθε μέτρηση της φυτείας, γινόταν μέτρηση αναφοράς σε σταθερό επίπεδο δάπεδο τσιμέντου. Η μέτρηση αυτή γινόταν για να γίνει η διόρθωση των μετρήσεων αποστάσεων.

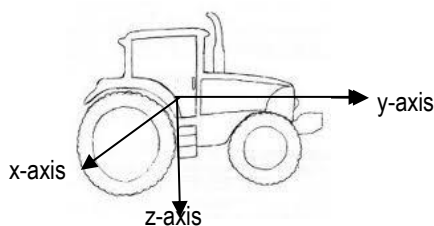
Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των δεδομένων καθώς και τη ρύθμιση της ταχύτητας λήψης δεδομένων και εύρους γωνιών μέτρησης ήταν το LMS-400 (Sick AG). Τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν σε μορφή csv που μπορούσε να εισαχθεί για επεξεργασία στο Microsoft Excel. Η ταχύτητα καθορίστηκε στη μέγιστη δυνατή με σειριακή θύρα τύπου RS-232 (38400 kbps). Το εύρος της γωνίας μέτρησης καθορίστηκε στις 100° (40-140°) με γωνιακή ανάλυση 1°. Οι μετρήσεις

γίνονταν σε χιλιοστά με ανάλυση μέτρησης 10 χιλιοστών.

Με τις ρυθμίσεις που επιλέχθηκαν ο αισθητήρας κατέγραφε 101 μετρήσεις σε κάθε σάρωση. Η κάθε μέτρηση περιέχει τρεις τιμές, τη γωνία μέτρησης με τιμές από 40° ως 140°, την απόσταση του αισθητήρα από το αντικείμενο καθώς και την πραγματική ώρα της λήψης των δεδομένων (ώρα υπολογιστή).

2.5. Σύστημα συντεταγμένων

Όλες οι τιμές των αποστάσεων αποτυπώθηκαν σε ένα επίπεδο αναφοράς καρτεσιανών συντεταγμένων. Ως αρχή του ορίζεται το σημείο όπου ο αισθητήρας βρίσκεται στην αρχή του πειραματικού αγρού. Στην εικόνα 2 οι άξονες του συστήματος συντεταγμένων ορίζονται πάνω στο γεωργικό ελκυστήρα, όπου ως ο άξονας x ήταν κάθετος προς την κατεύθυνση του γεωργικού ελκυστήρα και αποτελεί το πλάτος του πειραματικού αγρού, ο άξονας y ήταν παράλληλος προς την κατεύθυνση του ελκυστήρα και ορίζει το μήκος του πειραματικού αγρού και άξονας z ήταν ο νοητός άξονας του ύψους των φυτών. Οι τιμές των συνιστωσών των αξόνων x και z προκύπτουν απευθείας από την τριγωνομετρία βάση των εξισώσεων 1 και 3, ενώ η τιμή της συνιστώσας του άξονα y προκύπτει από το ρυθμό λήψης των δεδομένων (εξίσωση 2). Οι άξονες y και z έχουν πάντα θετικό πρόσημο ενώ ο άξονας x αποκτά και αρνητικές τιμές.



Εικόνα 2. Σύστημα συντεταγμένων αναφοράς

$$x = \cos(a) \cdot R \quad (1)$$

$$y = L/t \cdot b \cdot c \quad (2)$$

$$z = \sin(a) \cdot R \quad (3)$$

Όπου x, y και z, οι τιμές της κάθε συνιστώσας, a ήταν η γωνία μιας απλής μέτρησης ($40 < a < 140$), R είναι η μετρούμενη απόσταση ανάμεσα στο αντικείμενο και τον αισθητήρα, L ήταν το μήκος του πειραματικού αγρού, t ήταν ο συνολικός χρόνος που απαιτούνταν για να σαρωθεί ολόκληρος ο πειραματικός αγρός, b ήταν οι μετρήσεις που λάμβανε ο αισθητήρας ανά δευτερόλεπτο και c ήταν ο αριθμός σειρών σάρωσης.

Για τον υπολογισμό του ύψους χρησιμοποιείται η διαφορά της τιμής του άξονα z από τη τιμή του άξονα z της μέτρησης αναφοράς χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$H = z_{ref} - z \quad (4)$$

Όπου z_{ref} ήταν η απόσταση του αισθητήρα από το επίπεδο αναφοράς και z ήταν η τιμή της

απόστασης του αισθητήρα από το αντικείμενο που εντοπίζει.

Για την εκτίμηση της χλωρής βιομάζας χρησιμοποιήθηκε ο όγκος που δημιουργείται από τις συνεχόμενες σαρώσεις. Ο όγκος υπολογίστηκε από την ολοκλήρωση των επιφανειών που δημιουργούνται από τις παρεμβολές δύο σημείων με τη μέθοδο του τραπέζιου με την ακόλουθη εξίσωση:

$$A = (z_2 - z_1) / 2 \cdot (x_2 - x_1) \quad (5)$$

Όπου z_1, z_2, x_1, x_2 είναι οι τιμές των αξόνων x και z

2.6. Δεδομένα αγρού

Μέτρηση του ύψους φυτών των εαρινών καλλιεργειών έγινε με τη χρήση χάρακα που είχε ανάλυση 1 χιλιοστού. Τα φυτά που επιλέχθηκαν για τη μέτρηση του ύψους ήταν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο αυτά που αντιστοιχούν στα πρώτα πενήντα εκατοστά κάθε σειράς. Ο λόγος που επιλέχθηκαν αυτά τα φυτά ήταν για τη εύκολη διάκριση τους κατά το στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων του αισθητήρα. Στα σιτηρά λόγω του αδερφώματος των φυτών και της μικρής απόστασης των σειρών σποράς δεν ήταν εφικτή η διάκριση των φυτών για τη συσχέτιση του ύψους.

Για τη μέτρηση της χλωρής βιομάζας επιλέχθηκε η καταστροφική μέθοδος της κοπής φυτών. Στην κάθε καλλιέργεια και μέτρηση, επιλέχθηκαν 10 τυχαία δείγματα με μέγεθος για σιτηρά στα 50 x 50 εκατοστά, όπου αντιστοιχούσαν σε τρεις σειρές καλλιέργειας και στις εαρινές 50 x 75 εκατοστά, που αντιστοιχούσαν σε μία σειρά καλλιέργειας. Μετά την κοπή των φυτών ζυγίζονταν αμέσως η χλωρή βιομάζα, έτσι ώστε η υγρασία των δειγμάτων να μην επηρεαστεί από τις κλιματικές συνθήκες. Η ζυγαριά που χρησιμοποιήθηκε είχε ανάλυση 1 γραμμαρίου.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στους πίνακες 1, 2 και 3 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές κάθε μέτρησης του ύψους φυτών και της χλωρής βιομάζας για σόγια, ηλιάνθο και σκληρό σιτάρι αντίστοιχα. Στη κάθε μέτρηση των διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης για την κάθε μία καλλιέργεια. Οι τιμές της χλωρής βιομάζας είναι ανηγμένα σε κιλά το στρέμμα.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα από τις μετρήσεις αγρού του ύψους και της βιομάζας στη σόγια.

Ημερομηνία Μέτρησης	Μέρες μετά τη σπορά	Ύψος φυτών (cm)	Βιομάζα (kg/στρ)
19/6/12	50	24	227
25/6/12	56	30	387
5/7/12	66	42	533
19/7/12	80	51	720
31/7/12	92	55	760

Πίνακας 2. Αποτελέσματα από τις μετρήσεις αγρού του ύψους και της βιομάζας στον ηλιάνθο.

Ημερομηνία Μέτρησης	Μέρες μετά τη σπορά	Ύψος φυτών (cm)	Βιομάζα (kg/στρ)
8/6/12	39	48	645
13/6/12	44	66	1141
19/6/12	50	95	1483
25/6/12	56	115	4035
5/7/12	66	135	4627

Πίνακας 3. Αποτελέσματα από τις μετρήσεις αγρού της βιομάζας στο σκληρό σιτάρι.

Ημερομηνία Μέτρησης	Μέρες μετά τη σπορά	Βιομάζα (kg/στρ)
21/3/12	112	248
27/3/12	118	696
4/4/12	126	1684
24/4/12	146	1752
5/5/12	158	1856

Πίνακας 4. Συντελεστές προσδιορισμού μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων και αισθητήρα του ύψους στη σόγια

Ημερομηνία Μέτρησης	Γωνία μέτρησης				
	0° 1η	0° 2η	15°	30°	45°
19/6/12	0.566*	0.592*	0.503*	0.503*	0.404*
25/6/12	0.535*	0.750*	0.703*	0.700*	0.636*
5/7/12	0.872*	δ/δ	0.837*	δ/δ	0.765*
19/7/12	0.913*	0.929*	0.870*	0.865*	0.885*
31/7/12	0.853*	0.894*	0.896*	0.825*	0.845*

Όπου δ/δ σημαίνει ότι η μέτρηση δεν λήφθηκε
Όπου * σημαίνει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικός για $p < 0.05$

Οι πίνακες 4 και 5 παρουσιάζουν τους συντελεστές προσδιορισμού μεταξύ των μετρούμενων παραμέτρων με τον αισθητήρα και των πραγματικών μετρήσεων στην καλλιέργεια της σόγιας. Στην καλλιέργεια της σόγιας παρατηρείται αύξηση του συντελεστή προσδιορισμού και στις δύο παραμέτρους, όσο αυξάνεται το ύψος του φυτού, με τη μέγιστη τιμή να την αποκτά όταν φτάνει στο τέλος της ανάπτυξης. Αυτό παρατηρείται γιατί όπως αναφέρθηκε στις πρώτες μετρήσεις η απόσταση ανάμεσα στον αισθητήρα και στην καλλιέργεια είναι μεγάλη και αυτό σε συνδυασμό με τις ανωμαλίες του εδάφους αυξάνουν σημαντικά το σφάλμα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Πίνακας 5. Συντελεστές προσδιορισμού μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων και αισθητήρα της βιομάζας στη σόγια

Ημερομηνία Μέτρησης	Γωνία μέτρησης				
	0° 1η	0° 2η	15°	30°	45°
19/6/12	0.310	0.408	0.250	0.274	0.244
25/6/12	0.332	0.565	0.381	0.489	0.422
5/7/12	0.868*	n/a	0.838*	n/a	0.559*
19/7/12	0.800*	0.503	0.822	0.689	0.730
31/7/12	0.811*	0.842*	0.870*	0.879*	0.784*

Όπου δ/δ σημαίνει ότι η μέτρηση δεν λήφθηκε
Όπου * σημαίνει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικός για $p < 0.05$

Πίνακας 6. Συντελεστές προσδιορισμού μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων και αισθητήρα του ύψους στον ηλιάνθο

Ημερομηνία Μέτρησης	Γωνίες μέτρησης				
	0° 1η	0° 2η	15°	30°	45°
8/6/12	0.832*	0.889*	0.918*	0.784*	0.832*
13/6/12	0.920*	0.912*	0.898*	0.880*	0.857*
19/6/12	0.893*	0.917*	0.872*	0.934*	0.700*
25/6/12	0.811*	δ/δ	0.834*	0.888*	δ/δ
5/7/12	0.469*	δ/δ	0.749*	0.795*	δ/δ

Όπου δ/δ σημαίνει ότι η μέτρηση δεν λήφθηκε
Όπου * σημαίνει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικός για $p < 0.05$

Πίνακας 7. Συντελεστές προσδιορισμού μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων και αισθητήρα της βιομάζας στον ηλιάνθο

Ημερομηνία Μέτρησης	Γωνία μέτρησης				
	0° 1η	0° 2η	15°	30°	45°
8/6/12	0.713*	0.850*	0.832*	0.704*	0.682*
13/6/12	0.722*	0.798*	0.512*	0.601*	0.655*
19/6/12	0.603*	0.055	0.663*	0.735*	0.055
25/6/12	0.365	n/a	0.512	0.686	n/a
5/7/12	0.132	n/a	0.301	0.408	n/a

Όπου δ/δ σημαίνει ότι η μέτρηση δεν λήφθηκε
Όπου * σημαίνει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικός για $p < 0.05$

Σε αντίθεση με τη σόγια, ο ηλιάνθος λόγω της μεγαλύτερης βιομάζας που παράγει, δείχνει σε όλα τα στάδια υψηλή συσχέτιση του ύψους εκτός από την τελευταία μέτρηση (πίν. 6). Αυτό συμβαίνει κυρίως στην μεγαλύτερη ανάπτυξη σε ύψος και βιομάζα που έχει ο ηλιάνθος σε σχέση με τη σόγια, ενώ αντίθετα στην τελευταία μέτρηση παρατηρείται πολύ χαμηλή συσχέτιση στη μέτρηση στις 0° καθώς ο αισθητήρας δεν μπορεί να κάνει καλή εκτίμηση των μετρήσεων των ακραίων σειρών λόγω του μεγάλου ύψους της καλλιέργειας κάτι που οφείλεται στην πολύ μικρή απόσταση ανάμεσα στην καλλιέργεια του ηλιάνθου και του αισθητήρα και δεν μπορεί να αποτυπωθεί σωστά ολόκληρο το φυτό. Στην περίπτωση συσχέτισης μόνο της κεντρικής σειράς παρατηρείται σημαντική αύξηση του συντελεστή προσδιορισμού. Αντίθετα στη βιομάζα (πίν. 7), η συσχέτιση μειώνεται σημαντικά από την εμφάνιση της ταξιανθίας η οποία αλλοιώνει την εικόνα του πραγματικού όγκου που καταλαμβάνει η καλλιέργεια.

Τέλος στο σκληρό σιτάρι (πίν.8), οι συσχετίσεις ήταν ιδιαίτερα υψηλές στις τρεις πρώτες μετρήσεις, ενώ στις δύο τελευταίες μετρήσεις έδειξε χαμηλή συσχέτιση. Στις δύο τελευταίες μετρήσεις, η βιομάζα επηρεάστηκε σημαντικά από την αύξηση του βάρους του στάχυ, ενώ αντίστοιχα ο όγκος δεν επηρεάστηκε σημαντικά.

Πίνακας 8. Συντελεστές προσδιορισμού μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων και αισθητήρα της βιομάζας στο σκληρό σιτάρι

Ημερομηνία Μέτρησης	Γωνίες μέτρησης				
	0° 1η	0° 2η	15°	30°	45°
21/3/12	0.570	0.795*	0.691*	0.332	0.317
27/3/12	0.587*	0.560*	0.677*	0.554*	0.306
4/4/12	0.760*	0.823*	0.637*	0.793*	0.727*
24/4/12	0.455	0.432	0.515*	0.533*	0.485
5/5/12	0.102	0.155	0.132	0.221	0.091

Όπου δ/δ σημαίνει ότι η μέτρηση δεν λήφθηκε

Όπου * σημαίνει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικός για $p < 0.05$

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας λέιζερ για την εκτίμηση χλωρής βιομάζας και ύψους καλλιέργειας. Και στις δύο παραμέτρους καλλιέργειας παρατηρήθηκε υψηλή συσχέτιση κάτι που επιτρέπει να αξιοποιηθούν οι μετρήσεις από τους γεωπόνους και τους αγρότες για αξιολόγηση.

Σε όλες τις γωνίες μέτρησης παρουσιάστηκε ισχυρή συσχέτιση, με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται στις γωνίες μέτρησης 0° και στις 15°. Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρέασε σημαντικά τις μετρήσεις ήταν το στάδιο ανάπτυξης του φυτού. Στον ηλιάνθο λόγω της σημαντικής βιομάζας που παρουσιάζει σημείωσε σημαντική συσχέτιση σε όλες τις μετρήσεις εκτός από την τελευταία, όπου επηρεάστηκε από τη διαμόρφωση της ταξιανθίας. Στη σόγια η εκτίμηση των παραμέτρων αυξάνεται με την ανάπτυξη του φυτού, ενώ στο σκληρό σιτάρι παρατηρήθηκε σημαντική συσχέτιση στα ενδιάμεσα στάδια ανάπτυξης, ενώ σημαντική απόκλιση από τις μετρήσεις παρατηρήθηκαν κυρίως στα πρώτα στάδια ανάπτυξής τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arnó, J., Escolà, A., Vallès, J.M., Sanz, R., Masip, J., Palacín, J. and Rosell, J.R. 2009. Use of a ground-based LIDAR scanner to measure leaf area and canopy structure variability of grapevines. In C. Lokhorst, J. Huijmans & R. de Louw [Eds] Proceedings of 7th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, pp.177-184.

Bienert, , Scheller, S., Keane, E., Mohan, A. and Nugent, C. 2007. Tree detection and diameter

estimations by analysis of forest terrestrial Laser Scanner point clouds. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, September 12-14, 2007, Finland

Ehlert, D., Adamek, R. and Horn, H-J. 2009. Laser rangefinder-based measuring of crop biomass under field conditions. Precision Agriculture 10, 395-408.

Escolà, A., Arnó, J., Sanz, R., Camp, F., Masip, J., Solanelles, F. and Rosell, J.R. 2009. Sensing tree canopy parameters in real time for precision fructiculture/horticulture applications: methodology set-up and first results. In: C. Lokhorst, J. Huijmans & R. de Louw [Eds] Proceedings of 7th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, pp.185-191.

Gil, E., Escola, A., Rosell, J., Planas S. and Vald, L. 2006. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. Crop Protection 26, 1287–1297.

Kanade, T. and Sommer, T. 1983. An optical proximity sensor for measuring surface position and orientation for robot manipulation Robotics Institute. Paper 512. <http://repository.cmu.edu/robotics/512>.

Llorens, J., Gil, E., Llop, J. and Queraltó, M. 2011. Georeferenced LiDAR 3D Vine Plantation Map Generation. Sensors 11, 6237-6256.

Moorthy, I., Millera, J., Jimenez J., Zarco-Tejadac, P., Hub, B. and Chend, J. 2011. Field characterization of olive (*Olea europaea* L.) tree crown architecture using terrestrial laser scanning data. Agricultural and Forest Meteorology 151, 204–214.

Riaño, D., Valladares, F., Condés, S. and Chuvieco, E. 2004. Estimation of leaf area index and covered ground from airborne laser scanner (Lidar) in two contrasting forests. Agricultural and Forest Meteorology 124, 269–275.

Swain, K.C., Zaman, Q.U.Z., Schumann A.W. and Percival, D.C. 2009. Detecting Weed and Bare-spot in Wild Blueberry Using Ultrasonic Sensor Technology. Paper No 096879, ASABE, St Joseph, MI, USA.

Tumbo, S. D., Salyani, M., Whitney, J., Wheaton T. and Miller W. 2002. Investigation of Laser and ultrasonic ranging sensors for measurements of citrus canopy volume. Applied Engineering in Agriculture. 18(3), 367–372.

Zhang, L. and Grift, T. 2012. A LIDAR-based crop height measurement system for *Miscanthus giganteus*. Computers and Electronics in Agriculture 85, 70–76

ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ

Ζήσης Τσιρόπουλος¹, Σπύρος Φουντάς², Ιωάννης Γράβαλος³, Θεοφάνης Γέμτος¹, Αυγουστίνος Αυγουστής³, Δημήτριος Κατέρης⁴, Παναγιώτης Ξυραδάκης⁴, Βασίλειος Λιάκος¹

¹Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Νέα Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446

²Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Αθήνα, Τ.Κ. 11185

³Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Λάρισας, Τ.Κ. 41110

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

Οι πρόσφατες αυξήσεις του κόστους των καυσίμων οδήγησαν τους παραγωγούς να ψάχνουν τρόπους για την ελαχιστοποίηση του κόστους και την αύξηση της παραγωγικότητας. Οι σύγχρονοι γεωργικοί ελκυστήρες με την χρήση της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου (Electronic Control Unit – ECU) και του ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών, μπορούν να αποδώσουν την μέγιστη ροπή σε ένα πολύ μεγάλο εύρος των στροφών του κινητήρα. Η μέθοδος "σχέση επάνω - τροφοδοσία κάτω" (Gear-Up Throttle-Down – GUTD) είναι μία μέθοδος για την λειτουργία ενός ελκυστήρα διατηρώντας τις στροφές του κινητήρα χαμηλότερα από τις ονομαστικές, που βελτιώνει την απόδοση του κινητήρα διατηρώντας υψηλό το φορτίο του. Παρ' όλα αυτά, η ορθή εφαρμογή της μεθόδου GUTD απαιτεί μεγάλη εμπειρία από τον χειριστή του ελκυστήρα.

Μέσω των πρωτοκόλλων SAE J1939 (διάλογος CAN) και ISO 11783 (ISOBUS), που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία της γεωργικής μηχανικής, έχει γίνει δυνατή η λήψη των δεδομένων λειτουργίας ενός ελκυστήρα καθώς και των παρελκόμενων μηχανημάτων του. Η δυνατότητα συλλογής και παρακολούθησης των δεδομένων λειτουργίας του ελκυστήρα, μπορεί να βοηθήσει στην λήψη αποφάσεων και να οδηγήσει στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

Το λογισμικό χαρτογράφησης της κατανάλωσης καυσίμου γεωργικού ελκυστήρα, έχει κατασκευαστεί με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C# και έχει την δυνατότητα καταγραφής και χαρτογράφησης της κατανάλωσης καυσίμου ενός γεωργικού ελκυστήρα, σε πραγματικό χρόνο, μέσω της επικοινωνίας του με την ECU του ελκυστήρα διαμέσου των πρωτοκόλλων SAE J1939 και ISO 11783.

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής έδειξαν ότι μπορεί να γίνει μείωση της κατανάλωσης καυσίμου έως και 40% με την χρήση του λογισμικού και την κατάλληλη επιλογή σχέσης και στροφών του κινητήρα.

Λέξεις κλειδιά: λογισμικό χαρτογράφησης, κατανάλωση καυσίμου, ISOBUS, διάλογος CAN

MAPPING SOFTWARE FOR TRACTOR'S FUEL CONSUMPTION

Zisis Tsiropoulos¹, Spyros Fountas², Ioannis Gravalos³, Theofanis Gemtos¹, Augoustinos Augoustis³, Dimitrios Kateris⁴, Panagiotis Xyradakis⁴, Vasileios Liakos¹

¹Agricultural Engineering Lab, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece

²Agricultural Engineering Lab, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, GR-11855 Athens, Greece

³Department of Biosystems Engineering, School of Agricultural Technology, Technological Educational Institute of Larissa, GR-41110 Larissa, Greece

⁴Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, Aristotle University, GR-54124 Thessaloniki, Greece

tsiropoulos@teilar.gr, sfountas@uth.gr, gravalos@teilar.gr, gemtos@agr.uth.gr, augoustis@teilar.gr, dkateris@agro.auth.gr, xyradakis@gmail.com, bill.406@hotmail.com

Due to the recent rises in fuel cost, producers search for ways to minimize cost and increase productivity. Modern agricultural tractors with the use of the electronic control unit (ECU) and the electronic speed governor can render the maximum torque in a very wide range of engine speeds. The method Gear-Up Throttle-Down (GUTD) is a method for operating a tractor with engine speed less than the nominal, which improves engine performance while maintaining the high load. Nevertheless, the correct application of the method GUTD requires great experience of the tractor operator.

Through protocols SAE J1939 (CAN Bus) and ISO 11783 (ISOBUS), which are used in the industry of agricultural engineering, it's possible to obtain tractor's operating data. The ability to collect and monitor data performance of the tractor, can help in decision making and lead to lower fuel consumption.

Mapping software for tractor's fuel consumption was built using the C# programming language and is capable of recording and mapping the fuel consumption of an agricultural tractor in real time, through the protocols SAE J1939 and ISO 11783.

The results showed that fuel consumption reduction up to 40% can be achieved with the use of mapping software and the proper gear selection and engine speed.

Key words: mapping software, fuel consumption, ISOBUS, CAN Bus

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την ανάπτυξη των πρώτων μικροϋπολογιστών στις αρχές της δεκαετίας του 1980, έγιναν και οι πρώτες προσπάθειες για την καταγραφή των δεδομένων λειτουργίας των γεωργικών ελκυστήρων όπως η κατανάλωση καυσίμου, η ταχύτητα κινήσεως, η ροπή και η ολίσθηση (Harter & Kaufman, 1979; Grevis-James et al., 1983). Σήμερα, η λήψη των δεδομένων λειτουργίας των γεωργικών ελκυστήρων είναι δυνατή μέσω των πρωτόκολλων επικοινωνίας για τα γεωργικά μηχανήματα SAE J1939 (Society of Automotive Engineers, 1995) και ISO 11783 ή ISOBUS (International Organization for Standardization, 1997). Τα πρωτόκολλα αυτά έχουν εξέχουσα σημασία για την ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας, διότι επιτρέπουν την αποτελεσματική ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων μεταξύ των αισθητήρων, των ελεγκτών και των πακέτων λογισμικού από διαφορετικούς κατασκευαστές για τον ίδιο ελκυστήρα (Stafford, 2000).

Με τις πρόσφατες αυξήσεις του κόστους των καυσίμων, οι παραγωγοί ψάχνουν τρόπους για την ελαχιστοποίηση του κόστους και την αύξηση της παραγωγικότητας. Η μέθοδος Gear-up throttle-down (GUTD), είναι μία μέθοδος λειτουργίας του γεωργικού ελκυστήρα με γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα σε στροφές μικρότερες των ονομαστικών που βελτιώνει την απόδοση του κινητήρα, διατηρώντας υψηλό το φορτίο του με την γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα να είναι στο 60 έως 80% των ονομαστικών στροφών (Grogan et al., 1987). Μελέτες έδειξαν ότι με την χρήση της μεθόδου GUTD μπορούσε να επιτευχθεί εξοικονόμηση καυσίμου ως και 20% (Schrock et al., 1982; Chancellor & Thai, 1984). Παρ' όλα αυτά, η ορθή εφαρμογή της μεθόδου GUTD απαιτεί μεγάλη εμπειρία από τον χειριστή του γεωργικού ελκυστήρα, έτσι ώστε να είναι ικανός να αντιληφτεί την ελάχιστη ζώνη κατανάλωσης καυσίμου για ένα συγκεκριμένο φορτίο, και να επιλέξει την κατάλληλη σχέση ώστε να διατηρηθεί υψηλός ο ρυθμός εργασίας (Mondal & Rao, 2005).

Με τη χρήση του ανάλογου λογισμικού, η τεράστια ποσότητα δεδομένων που δημιουργείται από τις αγροτικές δραστηριότητες μπορεί να διαχειριστεί αποτελεσματικά οδηγώντας στην λήψη καλύτερων αποφάσεων σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης (Fountas et al., 2006). Η δυνατότητα παρακολούθησης, συλλογής και καταγραφής των δεδομένων λειτουργίας ενός γεωργικού ελκυστήρα, μπορεί να βοηθήσει στην λήψη αποφάσεων για την εξοικονόμηση καυσίμου.

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός λογισμικού ικανού να καταγράψει την κατανάλωση του καυσίμου και να δημιουργεί χωρικούς χάρτες κατανάλωσης, με στόχο την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Σχεδιασμός του λογισμικού

Το λογισμικό αποτελείται από 2 υποεφαρμογές: μία εφαρμογή για λειτουργικό σύστημα Windows, και μία διαδικτυακή εφαρμογή.

Έχει γραφτεί σε γλώσσα προγραμματισμού C# και διαθέτει 2 MS – SQL 2012 βάσεις δεδομένων, μία για την Windows εφαρμογή και μία για την διαδικτυακή εφαρμογή, οι οποίες συγχρονίζονται μεταξύ τους.

Η εφαρμογή για Windows έχει 4 βασικά εργαλεία. Αυτά είναι: ο καταγραφέας δεδομένων (data logger), στον οποίο καταγράφονται και αποθηκεύονται τα δεδομένα από τον γεωργικό ελκυστήρα και ένα εξωτερικό GPS, το εργαλείο χωρικής ανάλυσης (spatial analyst), στο οποίο δημιουργούνται οι χάρτες κατανάλωσης, το εργαλείο της στατιστικής ανάλυσης (statistics tools), στο οποίο μπορούν να προβληθούν τα δεδομένα με μορφή πινάκων και γραφημάτων, και το εργαλείο συγχρονισμού (synchronization tool) που είναι υπεύθυνο για τον συγχρονισμό μεταξύ των 2 βάσεων δεδομένων.

Η διαδικτυακή εφαρμογή έχει 3 βασικά εργαλεία. Αυτά είναι: το εργαλείο πληροφοριών αγροτεμαχίων, στο οποίο καταχωρούνται τα δεδομένα των αγροτεμαχίων, το εργαλείο προβολής των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (real time tool), και το εργαλείο της στατιστικής ανάλυσης (statistics tools) όπου μπορούν να προβληθούν τα δεδομένα με μορφή πινάκων και γραφημάτων.

2.2. Εξοπλισμός

Το λογισμικό λαμβάνει και επεξεργάζεται δεδομένα από τρεις διαφορετικές πηγές: Την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του γεωργικού ελκυστήρα (ECU) μέσω των πρωτόκολλων επικοινωνίας ISOBUS και CAN Bus τα οποία δίνουν τα δεδομένα λειτουργίας των γεωργικών ελκυστήρων και των παρελκόμενων μηχανημάτων τους, έναν δέκτη GPS και ένα δυναμόμετρο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση των ασκούμενων δυνάμεων στα παρελκόμενα γεωργικά μηχανήματα.

Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε γεωργικός ελκυστήρας Lamborghini R6.130 και τα δεδομένα που αντλούνταν από την ECU ήταν: η ταχύτητα κινήσεως, η κατανάλωση καυσίμου, η γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα, η ροπή και η ολίσθηση. Για την καταγραφή της γεωγραφικής θέσης χρησιμοποιήθηκε το DGPS Trimble AgGPS-252 Receiver, και για την μέτρηση των ασκούμενων δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε δυναμόμετρο με 6 δυναμοκυψέλες, ικανό να μετρήσει τις δυνάμεις σε 3 διαστάσεις (Γέμος & Τσιρίκογλου, 1995).

Τα δεδομένα των 3 αυτών πηγών μεταφέρονταν σε ένα Acer Aspire One 756-887BCkk notebook μέσω 3 θυρών USB με ρυθμό δειγματοληψίας 4Hz.

Το σύστημα δοκιμάστηκε κατά τη διάρκεια κατεργασίας εδάφους με βαρύ καλλιεργητή για την μελέτη της επίδραση της αντίστασης εδάφους στην κατανάλωση του καυσίμου.

2.3. Πειράματα υπαίθρου

Τα πειράματα διενεργήθηκαν σε αγροτεμάχιο 4 στρεμμάτων στο αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι. Λάρισας. Το αγροτεμάχιο χωρίστηκε σε 12 υποτεμάχια μήκους 50m και πλάτους 3m. Σε κάθε υποτεμάχιο γίνονταν τροποποίηση των διάφορων παραμέτρων λειτουργίας του γεωργικού ελκυστήρα. Αυτές ήταν τρεις διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5, 7 και 9 km/h) και 2 διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες του κινητήρα (1800 και 2200rpm) και παρουσιάζονται στο Πίνακα 1. Για κάθε ρύθμιση χρησιμοποιήθηκαν 2 υποτεμάχια για την επαλήθευση των δεδομένων. Οι γωνιακές ταχύτητες του κινητήρα επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να έχουμε μία τιμή εντός και μία τιμή εκτός του ιδανικού 60-80% των μέγιστων στροφών που απαιτούνται για την βέλτιστη απόδοση του κινητήρα.

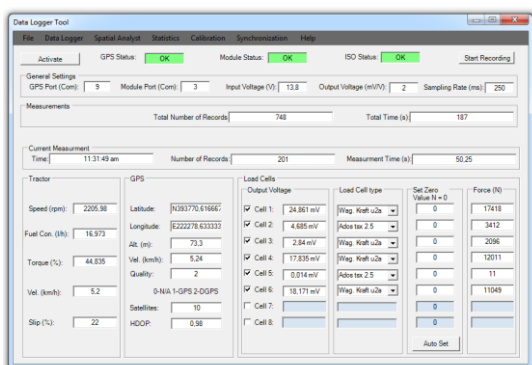
Πίνακας 1. Παράμετροι λειτουργίας γεωργικού ελκυστήρα για κάθε γεωργικό μηχάνημα.

Υποτεμάχιο	Στροφές Κινητήρα (rpm)	Ταχύτητα (km/h)
a	1800	5
b	1800	7
c	1800	9
d	2200	5
e	2200	7
f	2200	9

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Λογισμικό

Η επικοινωνία μεταξύ του λογισμικού και των πηγών των δεδομένων γίνεται μέσω του καταγραφέα δεδομένων (Εικόνα 1). Στην αρχή ο χρήστης κάνει κάποιες βασικές ρυθμίσεις, όπως η ρύθμιση των θυρών επικοινωνίας μεταξύ του λογισμικού και των πηγών δεδομένων (COM ports) και του ρυθμού δειγματοληψίας.

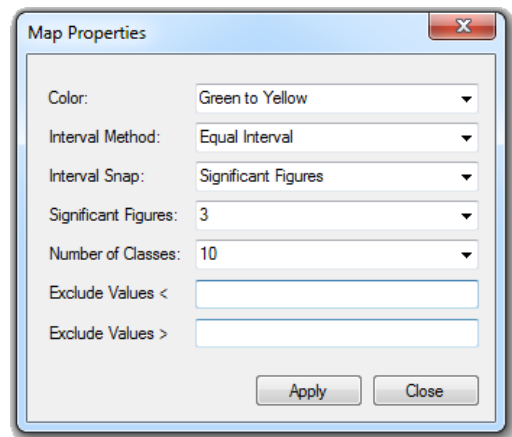


Εικόνα 1. Εργαλείο καταγραφής δεδομένων.

Μετά τις βασικές ρυθμίσεις, το εργαλείο καταγραφής των δεδομένων προβάλλει σε πραγματικό χρόνο τις τιμές όλων των παραμέτρων. Τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν στην τοπική βάση δεδομένων με την χρήση του κουμπιού «Έναρξη εγγραφής». Εάν υπάρχει διαθέσιμη σύνδεση με το διαδίκτυο και ο συγχρονισμός μεταξύ της εφαρμογής των Windows και της διαδικτυακής

εφαρμογής είναι ενεργοποιημένος, τότε το εργαλείο καταγραφής των δεδομένων αποστέλλει τα δεδομένα εκτός από την τοπική βάση δεδομένων και στην διαδικτυακή βάση δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό, τα δεδομένα μπορούν να προβληθούν σε πραγματικό χρόνο μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής.

Το εργαλείο χωρικής ανάλυσης χρησιμοποιείται για την δημιουργία των χαρτών κατανάλωσης καυσίμου και χρησιμοποιεί την μέθοδο Inverse Distance Weighted (IDW), η οποία υπολογίζει τις τιμές των κελιών με το μέσο όρο των τιμών των στοιχείων του δείγματος σημείων στη περιοχή του κάθε κελιού επεξεργασίας. Οι προκαθορισμένες τιμές για την δημιουργία των χαρτών είναι $p=2$ και number of neighbours = 12 με τύπο ταξινόμησης ίσου διαστήματος (Equal Interval). Οι χρήστες του λογισμικού έχουν την δυνατότητα για αλλαγή των παραμέτρων δημιουργίας των χαρτών όπως της μεθόδου ταξινόμησης, των αριθμών των κλάσεων, των απορριπτόμενων τιμών, των χρωμάτων κτλ (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Ιδιότητες χαρτών.

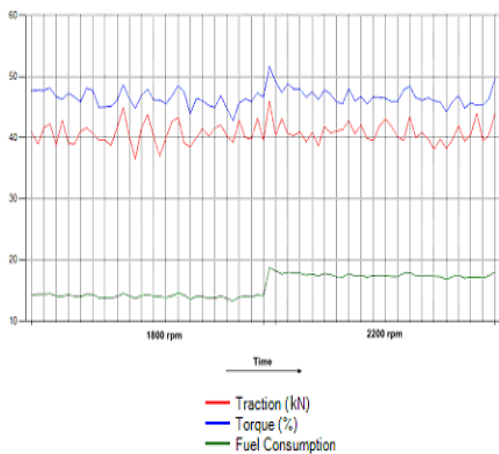
Το εργαλείο της στατιστικής ανάλυσης (και για τις 2 υποεφαρμογές) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία γραφημάτων και πινάκων από τα καταγεγραμμένα δεδομένα.

Το εργαλείο του συγχρονισμού χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό μεταξύ των 2 βάσεων δεδομένων του λογισμικού. Ο συγχρονισμός μπορεί να επιτευχθεί κατά την διάρκεια των γεωργικών εργασιών σε πραγματικό χρόνο, ή μετά την λήξη αυτών ώστε τα δεδομένα να είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο μέσω της διαδικτυακής υποεφαρμογής. Επιπρόσθετα μέσω του εργαλείου συγχρονισμού είναι δυνατό το ανέβασμα των χαρτών της κατανάλωσης καυσίμου στην διαδικτυακή εφαρμογή.

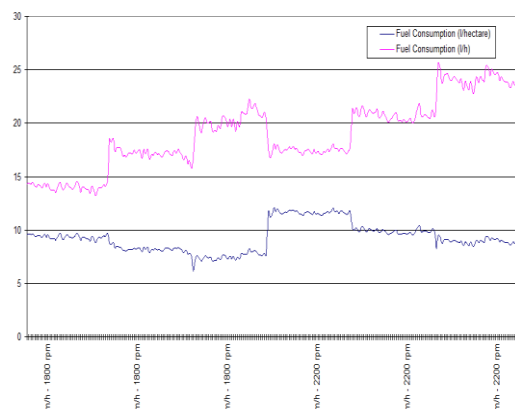
Όλα τα δεδομένα μπορούν να εξαχθούν σε διάφορες μορφές αρχείων, όπως μορφή πλέγματος (π.χ. GeoTIFF, IMG), διανυσματική μορφή (π.χ. Shape files, AutoCAD DXF), μορφή εικόνας (π.χ. BMP, JPG), μορφή πίνακα δεδομένων (π.χ. XLS, CSV) κλπ για περαιτέρω επεξεργασία.

3.2. Αποτελέσματα πειραμάτων

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κατανάλωση του καυσίμου και η ροπή συσχετίζονται με την γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα και την ταχύτητα κινήσεως του ελκυστήρα. Η κατανάλωση καυσίμου είναι 20% μεγαλύτερη στις 2200 στροφές το λεπτό σε σχέση με τις 1800 στροφές το λεπτό σε όλες τις ταχύτητες κινήσεως, και 25% μεγαλύτερη στα 5km/h σε σχέση με τα 9km/h και στις 2 γωνιακές ταχύτητες. Η Εικόνα 3 δείχνει την ροπή, την κατανάλωση και την ελκτική δύναμη σε ταχύτητα 5km/h σε 2 διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες (1800 και 2200rpm), ενώ η Εικόνα 4 δείχνει την κατανάλωση καυσίμου σε λίτρα ανά εκτάριο (l/ha) και λίτρα ανά ώρα (l/h) για διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5 - 7 - 9km/h) και διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες (1800 και 2200rpm).



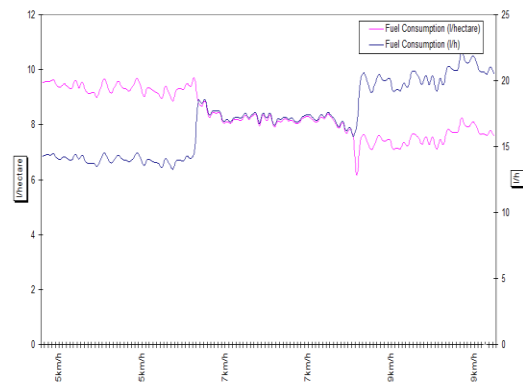
Εικόνα 3. Κατανάλωση καυσίμου, ροπή και έλξη σε ταχύτητα 5km/h και γωνιακή ταχύτητα 1800 και 2200rpm.



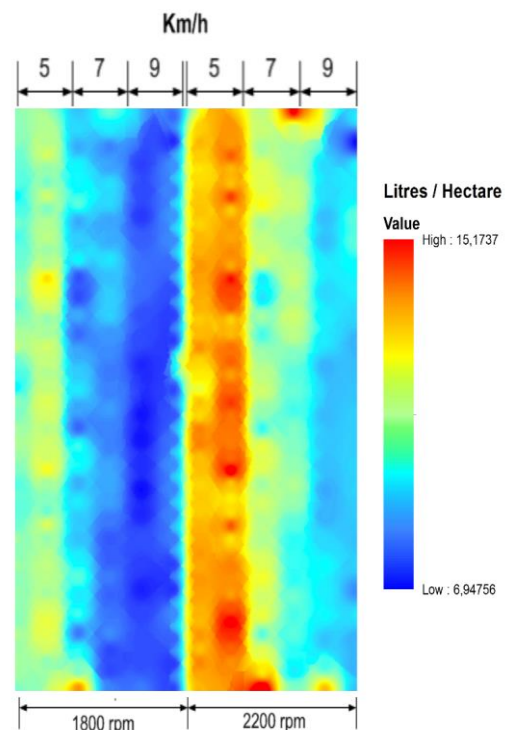
Εικόνα 4. Κατανάλωση καυσίμου σε διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5 - 7 - 9km/h) και διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες (1800 και 2200rpm).

Η Εικόνα 5 απεικονίζει την κατανάλωση του καυσίμου στις 1800 στροφές το λεπτό σε διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5 - 7 - 9km/h), και η Εικόνα 6 απεικονίζει τον χωρικό χάρτη με τη κατανάλωση καυσίμου στα 12 υποτεμάχια του πειράματος σε λίτρα ανά εκτάριο (l/ha) για διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5 - 7 - 9km/h) και

διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες (1800 και 2200rpm).



Εικόνα 5. Κατανάλωση καυσίμου (l/ha και l/h) στις 1800 στροφές το λεπτό σε διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5 - 7 - 9km/h).



Εικόνα 6. Κατανάλωση καυσίμου σε λίτρα ανά εκτάριο (l/ha) για διαφορετικές ταχύτητες κινήσεως (5 - 7 - 9km/h) και διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες (1800 και 2200rpm).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η σημερινή τεχνολογία στην βιομηχανία των γεωργικών μηχανημάτων προσφέρει ένα τεράστιο αριθμό εργαλείων και δυνατοτήτων. Η εκτεταμένη χρήση των αισθητήρων και οι ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου είναι μέρος σχεδόν κάθε νέου γεωργικού μηχανήματος, και η χρήση των πρωτόκολλων επικοινωνίας όπως τα SAE J1939 (CAN Bus) και ISO 11783 (ISOBUS), δίνουν την δυνατότητα παρακολούθησης και συλλογής των δεδομένων λειτουργίας των γεωργικών μηχανημάτων. Αυτό, μπορεί να οδηγήσει σε σωστότερη λήψη

αποφάσεων και στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

Το συνολικό κόστος του συστήματος ήταν 350€ (GPS 50€, notebook 300€), ενώ με την προσθήκη του δυναμόμετρου το κόστος φτάνει τα 1500€, και εξαρτάται από το κόστος των επιλεγμένων εξαρτημάτων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι υπάρχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ της ροπής, της κατανάλωσης και της ελκτικής δύναμης, και ότι μπορεί να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου έως 40% με την επιλογή της κατάλληλης ταχύτητας κινήσεως του ελκυστήρα και της κατάλληλης γωνιακής ταχύτητας του κινητήρα. Η επιλογή της μέγιστης ταχύτητας κινήσεως για την εκτέλεση της εργασίας πρέπει να πραγματοποιείται με μεγάλη προσοχή, ώστε το παρελκόμενο γεωργικό μηχάνημα να παράγει το αναμενόμενο έργο. Δοκιμές που έγιναν πριν το πείραμα, έδειξαν ότι με τον βαρύ καλλιεργητή ο οποίος χρησιμοποιήθηκε, η μέγιστη ταχύτητα που μπορούσε να εκτελεστεί με επιτυχία η εργασία ήταν τα 9km/h, καθώς σε ταχύτητες άνω των 9km/h καταγράφηκαν στο δυναμόμετρο πολλές αναπηδήσεις με αποτέλεσμα ο καλλιεργητής να μην φτάνει στο επιθυμητό βάθος, και να μην παράγεται το αναμενόμενο έργο.

Νέα πειράματα με περισσότερες παραμέτρους λειτουργίας πραγματοποιούνται ήδη για ακόμη μεγαλύτερη ανάλυση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων.

Το λογισμικό χαρτογράφησης της κατανάλωσης καυσίμου γεωργικού ελκυστήρα πρόκειται να αναπτυχθεί περαιτέρω, προσθέτοντας νέες δυνατότητες και νέες πληροφορίες για τη λειτουργία του συστήματος ελκυστήρας – παρελκόμενο έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα το οποίο θα παρέχει χρήσιμες πληροφορίες και χωρικούς χάρτες στους παραγωγούς για την καλύτερη διαχείριση του γεωργικού τους εξοπλισμού και την βελτιστοποίηση των γεωργικών εργασιών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

- Chancellor, W.J. and Thai, N.C., 1984. Automatic control of tractor transmission ratio and engine speed. *Transactions of the ASABE*, 27(3):642-646
- Fountas, S., Wulfsohn, D., Blackmore, S., Jacobsen, H. L., Pedersen, S.M., 2006. A model of decision making and information flows for information-intensive agriculture. *Agricultural Systems*, 87:192-210
- Γέμος Θ.Α., Τσιρίκογλου Θ., 1995. Ο Σχεδιασμός και η Διαμόρφωση ενός Γεωργικού Ελκυστήρα για Μέτρηση και Καταγραφή των Αναπτυσσόμενων Δυνάμεων σε Αναρτόμενα Παρελκόμενα στον Χώρο. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα* 4:89-96
- Greis-James, I.W., DeVoe, D.R., Bloome, P.D., Batchelder, D.G., Lambert, B.W., 1983. Microcomputer-based data acquisition for tractors. *Transactions of the ASABE*, 26(3):692-695
- Grogan, J.D., Moris, A., Searcy, S.W., Stout, B.A., 1987. Microcomputer based tractor performance monitoring and optimization system. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 38:227-243
- Harter, D. D., Kaufman, K. R., 1979 Microprocessor based data acquisition system for tractor tillage measurements. Paper No. 79-5026, ASAE, St Joseph, MI, USA.
- Mondal, P., Rao, P.N., 2005. Digital throttle gear optimizer for better fuel economy of tractors. SAE paper no 2005-26-066.
- Schrock, M.D., Matteson, D.K. and Thompson, J.G., 1982. A gear selection aid for agricultural tractors. Paper 82-5515, ASAE, St Joseph, MI, USA.
- Sørensen, G.C., Fountas, S., Nash, E., Pesonen, L., Bochtis, D., Pedersen, S.M., Basso, B., Blackmore, S.B., 2010. Conceptual model of a future farm management information system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 72:37-47
- Stafford, J.V., 2000. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76:267-275

Κεφάλαια βιβλίων

- International Organization for Standardization (ISO), 1997. Tractors, machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network, parts 1 to 5
- Society of Automotive Engineers (SAE), 1995. Surface Vehicle Recommended Practice J1939-7x

ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΕΜΠΛΕΚΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ

Ντογκούλης Παναγιώτης¹, Μπόχτης Διονύσης², Νάκας Χρήστος¹, Φουντάς Σπύρος¹, Γέμτος Θεοφάνης¹

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

²University of Aarhus, Faculty of Science and Technology, Department of Engineering, Blichers Allé 20, 8830 Tjele, Denmark

Στη έρευνα για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων δίνεται μεγάλη σημασία στη βιομάζα. Η βιομάζα είναι μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με αυξανούσα σημαντικότητα. Στον αγροτικό τομέα σημαντικές ποσότητες βιομάζας προέρχονται από τα υπολείμματα καλλιεργειών. Το κύριο πρόβλημα είναι το κόστος της διαχείρισης και της συλλογής τους. Σε αυτή την εργασία μελετήθηκε η συγκομιδή υπολειμμάτων βάμβακος και δημιουργήθηκαν μοντέλα για την πρόβλεψη του χρόνου λειτουργίας των μηχανημάτων που εμπλέκονται στη συγκομιδή των υπολειμμάτων. Με την χρήση δεκτών GPS που τοποθετήθηκαν στους ελκυστήρες, που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε μία από τις εργασίες, καταγράφηκαν τα επιχειρησιακά στοιχεία για κάθε μία από τις εργασίες συλλογής για 41 αγροτεμάχια. Στη συνέχεια με την χρήση του εργαλείου regression analysis του SPSS 20.0 (SPSS Inc., Chicag, IL), προσδιορίστηκαν μοντέλα για την πρόβλεψη του χρόνου λειτουργίας των μηχανημάτων σε κάθε αγροτεμάχιο. Συγκεκριμένα, ο χρόνος λειτουργίας των μηχανημάτων προβλέπεται με στοιχεία όπως το εμβαδό, η πολυπλοκότητα του σχήματος του αγροτεμαχίου, η παραγωγή του αγροτεμαχίου και ο αριθμός δεμάτων ανά στρέμμα.

Λέξεις κλειδιά: βιομάζα, εφοδιαστική αλυσίδα, βιο-ενέργεια, logistics, υπολείμματα βαμβακιού

Field Time Prediction Models of Machinery in the Cotton Residues Harvesting for Energy Purposes

Ntogkoulis P.A¹; Bochtis D.D²; Nakas Ch.T.¹ Fountas S¹; Gemtos T.A¹

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

2) University of Aarhus, Faculty of Science and Technology, Department of Engineering, Blichers Allé 20, 8830 Tjele, Denmark;

pdogou@gmail.com, dionysis.bochtis@agrsci.dk, cnakas@uth.gr, sfountas@uth.gr, gemtos@agr.uth.gr

In the research of the alternative energy sources to replace fossil fuels, considerable attention focuses on biomass. Biomass is a renewable energy source with increasing importance. Crop residues are significant energy sources which can be used to produce energy. The main problem in crop residues handling is the cost of residues harvesting. Harvesting logistics counts for the largest part of the total cost of the process. In this study, cotton crop residues harvesting is described and a field time prediction model was created for the machines involved in the process. The movement of the machinery was monitored by GPS receivers placed on the tractor. Data from 41 fields was collected. The prediction models were created using with the regression analysis on SPSS 20.0 (SPSS Inc., Chicag, IL). The results showed that the field time of the machinery which was used in cotton residue harvesting can be predicted according to parameters as the area of the field, the shape of the field, the yield of the cotton fiber and the number of the bales of the cotton residue per surface unit.

Key words: biomass, supply chain management, bio-energy, logistics, cotton residues

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ραγδαία χρήση των ορυκτών καυσίμων κατά την διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, σηματοδότηκε από την επιβάρυνση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Κύριος λόγος για τις επιπτώσεις στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον είναι η υψηλή συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα που προέρχεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων (McKendry, 2002). Τις προηγούμενες δεκαετίες υπήρξε ένα παγκόσμιο ενδιαφέρον για την μείωση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα, και προτάθηκε η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

Μια πηγή εναλλακτικής ενέργειας είναι η βιομάζα (Voivontas, 2001). Η βιομάζα είναι ένα καύσιμο με μηδενικό ισοζύγιο έκλυσης CO₂ και αποτελεί λύση για την μείωση της συγκέντρωσης του

CO₂ στην ατμόσφαιρα (Gemtos and Tsirocoglou, 1999). Η βιομάζα που προέρχεται από την αγροτική παραγωγή διακρίνεται στα προϊόντα των ενεργειακών καλλιεργειών, όπως π.χ σπόροι ελαιοκράμβης, και στα παραπροϊόντα των καλλιεργειών όπως τα υπολείμματα, που είναι ότι απομένει στο χωράφι μετά την συγκομιδή του κύριου προϊόντος.

Τα υπολείμματα είναι μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που μπορούν κυρίως με την μέθοδο της καύσης να χρησιμοποιηθούν και να ανακτηθεί περιεχόμενη σε αυτά ενέργεια (Sumner, 1984).

Σε προηγούμενες εργασίες διαπιστώθηκε ότι η διαχείριση των υπολειμμάτων, δηλαδή η συγκομιδή και η μεταφορά είναι το κλειδί για το αν η χρήση για ενεργειακούς σκοπούς είναι συμφέρουσα ή όχι (Liu et al, 2013). Δυστυχώς, έχει διαπιστωθεί ότι η

συγκομιδή και η διαχείριση των υπολειμμάτων βασίζεται κυρίως στη εμπειρία του παραγωγού-εργολάβου που αναλαμβάνει την συγκομιδή. Στην αγροτική παραγωγή δεν υπάρχει συνήθως πρακτική για τη λήψη αποφάσεων βάσει ορθολογικών μεθόδων, βασισμένη σε εργαλεία αντίστοιχα με αυτά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία με αποτέλεσμα να γίνονται λάθη στη διαχείριση που οδηγούν στην αύξηση του κόστους (Bochtis and Sørensen, 2009; Bochtis and Sørensen et al. 2010). Η εφαρμογή και η ανάπτυξη συστημάτων λήψης αποφάσεων για την μείωση του κόστους κρίνεται επιβεβλημένη (Bochtis, 2010).

Σε αυτή την εργασία μελετήθηκε η διαδικασία της συγκομιδής του υπολείμματος καλλιέργειας βαμβακιού.

Στην Ελλάδα έγιναν πειράματα σε αγρούς και προσδιορίστηκαν στοιχεία για τα υπολείμματα βάμβακος που παραμένουν στο χωράφι καθώς και τη διαθεσιμότητα των υπολειμμάτων αυτών. Έτσι πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι το υπόλειμμα από στελέχη βάμβακος κυμαίνεται από 210,7 kg έως 336,6 kg, και η διαθεσιμότητα είναι 60% (Gemtos, 1992; Gemtos and Tsirocoglou, 1999).

Η συγκομιδή των υπολειμμάτων βάμβακος από τον αγρό είναι όμοια με τη συγκομιδή χόρτου και διεκπεραιώνεται σε τέσσερις διαδικασίες. Η πρώτη διαδικασία είναι η κοπή του υπολείμματος, η οποία διεκπεραιώνεται από ένα χορτοκοπτικό μηχάνημα. Την διαδικασία της κοπής, ακολουθεί η διαδικασία της χορτοσυλλογής. Η εργασία της χορτοσυλλογής διεκπεραιώνεται από έναν χορτοσυλλέκτη. Η αμέσως επόμενη εργασία είναι η δεματοποίηση του υπολείμματος. Η εργασία αυτή διεκπεραιώνεται από μία πρέσα κυλινδρικών δεμάτων. Τελευταία διαδικασία είναι η φόρτωση των δεμάτων από το χωράφι. Η διαδικασία αυτή διεκπεραιώνεται με έναν ελκυστήρα που στο πρόσθιο υδραυλικό σύστημα τοποθετείται ένα περονοφόρο σύστημα φόρτωσης.

Για τις παραπάνω εργασίες δημιουργήθηκαν μοντέλα πρόβλεψης για το χρόνο λειτουργίας των επιμέρους μηχανημάτων που εμπλέκονται στη συγκομιδή. Αυτή η διαδικασία είναι το πρώτο στάδιο για την ανάπτυξη συστήματος λήψης αποφάσεων για την μείωση του χρόνου λειτουργίας του στόλου της συγκομιδής του υπολείμματος. Η πρόβλεψη του χρόνου λειτουργίας των μηχανημάτων στην εργασία μελετήθηκε σε σχέση με σταθερές παραμέτρους που αφορούν στον αγρό και το υπόλειμμα της καλλιέργειας (σχήμα, επιφάνεια, παραγωγή ίνας βάμβακος και αριθμός δεμάτων υπολείμματος).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πείραμα

Το πείραμα συλλογής υπολειμμάτων βάμβακος διεξήχθη στην περιοχή της Θεσσαλίας κατά το μήνα Νοέμβριο, αφού όπως είναι γνωστό το βαμβάκι συλλέγεται κατά το μήνα Οκτώβριο. Συλλέχτηκαν στοιχεία από 41 αγροτεμάχια.

2.3. Καταγραφή των στοιχείων.

Η καταγραφή των κινήσεων όλου του στόλου των μηχανημάτων έγινε με την χρήση δεκτών GPS. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν GPS Blumax Bluetooth GPS-4044 Datalogger (Eurotronic Products GmbH, Dortmund). Η παρακολούθηση της εργασίας έγινε για χρονικό διάστημα ενός μήνα. Η συχνότητα λήψης μετρήσεων ήταν 0,5Hz (μέτρηση ανά 2s). Τα αποτελέσματα που καταγράφονται στους δέκτες ανακτώνται για επεξεργασία σε MS Excel (Microsoft Corp., Redmond, WA).

2.4. Μετρήσεις

2.4.1. Προσδιορισμός του χρόνου εργασίας του μηχανήματος.

Ως συνολικός χρόνος εργασίας του μηχανήματος στο χωράφι ορίζεται ο χρόνος από την είσοδο του μηχανήματος στο αγροτεμάχιο μέχρι την έξοδο.

Ο συνολικός χρόνος εργασίας του κάθε μηχανήματος προσδιορίστηκε με την χρήση των δεκτών GPS και υπολογίστηκε ως το γινόμενο του συνόλου των σημείων από το σημείο εισόδου του μηχανήματος στο αγροτεμάχιο μέχρι το σημείο εξόδου, επί την συχνότητα λήψης μετρήσεων (2 s).

2.4.2. Προσδιορισμός αριθμού δεμάτων.

Ο προσδιορισμός του αριθμού των δεμάτων στο πείραμα έγινε με τη χρήση δεκτών GPS. Συγκεκριμένα, μετά τη διαδικασία της δεματοποίησης με ένα δέκτη GPS γινόταν ο προσδιορισμός της θέσης κάθε δέματος στο αγροτεμάχιο συνεπώς προέκυπτε και ο συνολικός αριθμός των δεμάτων στο αγροτεμάχιο.

2.4.3. Προσδιορισμός εμβαδού επιφάνειας και περιμέτρου του σχήματος του αγροτεμαχίου

Οι συντεταγμένες των κορυφών του σχήματος του αγροτεμαχίου για τον προσδιορισμό της επιφάνειας και της περιμέτρου του αγροτεμαχίου προσδιορίστηκε με δέκτες GPS.

Η περίμετρος του αγροτεμαχίου προσδιορίστηκε με αλγόριθμο που αναπτύχθηκε σε Matlab *er.* 2012a (Mathworks Inc., Natick, MA). Ως δεδομένα στον αλγόριθμο δίνονταν οι συντεταγμένες των κορυφών του αγροτεμαχίου και ως αποτέλεσμα η περίμετρος του αγροτεμαχίου.

Η επιφάνεια του αγροτεμαχίου προσδιορίστηκε με αλγόριθμο που αναπτύχθηκε σε Matlab *er.* 2012a (Mathworks Inc., Natick, MA). Ως δεδομένα στον αλγόριθμο χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες των κορυφών του αγρού και αποτέλεσμα ήταν το εμβαδό της επιφάνειας του αγρού.

2.4.4. Προσδιορισμός πολυπλοκότητας σχήματος του αγρού

Για τον προσδιορισμό της πολυπλοκότητας ενός σχήματος πρέπει να ορισθεί η έννοια της κυρτότητας, του κυρτού περιβλήματος (convexhull) ενός σχήματος του αγροτεμαχίου και του πίνακα συνδιακύμανσης των τιμών των κορυφών του σχήματος του αγροτεμαχίου.

Κυρτό είναι ένα σχήμα αγροτεμαχίου που όλες οι γωνίες του είναι μικρότερες από 180°.

Κυρτό περίβλημα (convexhull) ενός σχήματος αγροτεμαχίου είναι το ελάχιστο σύνολο σημείων που περιβάλλει ένα μη κυρτό σχήμα αγροτεμαχίου.

Όσον αφορά τον πίνακα συνδιακύμανσης, έστω ότι (X,Y) είναι οι συντεταγμένες μιας κορυφής του σχήματος του αγροτεμαχίου. Τότε, ο πίνακας των τιμών των συντεταγμένων π.χ. για ένα τετράγωνο αγροτεμάχιο θα είναι:

$$\Pi = \begin{bmatrix} X1 & Y1 \\ X2 & Y2 \\ X3 & Y3 \\ X4 & Y4 \end{bmatrix}$$

Ο πίνακας συνδιακύμανσης είναι ένας πίνακας 2X2 που στην κύρια διαγώνιο έχει ως στοιχεία την διακύμανση των μεταβλητών X,Y και στις άλλες θέσεις του πίνακα την συνδιακύμανση μεταξύ κάθε ζεύγους μεταβλητών. Ο πίνακας συνδιακύμανσης υπολογίστηκε με αλγόριθμο που είναι διαθέσιμος στο Matlab ver. 2012a (Mathworks Inc., Natick, MA). Για τον προσδιορισμό της πολυπλοκότητας του σχήματος προσδιοριστήκαν οι παρακάτω συντελεστές: α) συντελεστής κυρτότητας β) συντελεστής αναλογίας των κυρίων αξόνων γ) συντελεστής του συμπαγούς του σχήματος του αγροτεμαχίου δ) συντελεστής πολυπλοκότητας του Brinkhoff. Στον παρακάτω πίνακα προσδιορίζονται τα σύμβολα που χρησιμοποιήθηκαν για να γίνουν κατανοητοί οι μαθηματικοί τύποι των συντελεστών.

Πίνακας 1. Ορισμοί συμβόλων των τύπων πολυπλοκότητας του σχήματος του αγροτεμαχίου

Pconvexhull	Η περίμετρος του σχήματος convexhull του αγροτεμαχίου.
P	Η περίμετρος του σχήματος.
X,Y	Συντεταγμένες των κορυφών του περιγράμματος του αγροτεμαχίου.
A	εμβαδό σχήματος αγροτεμαχίου.
N	γωνίες του σχήματος του αγροτεμαχίου που είναι >180°
V	αριθμός των γωνιών ενός σχήματος αγροτεμαχίου.
Aconvexhull	Το εμβαδό του σχήματος convexhull του αγροτεμαχίου.

Συντελεστής κυρτότητας είναι η αναλογία της περιμέτρου του convexhull σχήματος προς την πραγματική περίμετρο του αγροτεμαχίου.

$$conv = \frac{Pconvexhull}{P}$$

Οι κύριοι άξονες ενός σχήματος είναι οι άξονες που διασταυρώνονται στο κέντρο βάρους ορθογώνια (Peura et al., 1997). Το μήκος των κυρίων αξόνων δίνεται από τον πίνακα διακύμανσης των τιμών των κορυφών του σχήματος.

Ο πίνακας διακύμανσης των κορυφών του περιγράμματος του αγροτεμαχίου είναι:

$$C = \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} \\ C_{yx} & C_{yy} \end{bmatrix}$$

Η αναλογία των κυρίων αξόνων μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$p_{max} = \frac{C_{yy} + C_{xx} - \sqrt{(C_{yy} + C_{xx})^2 - 4 * (C_{xx}C_{yy} - C_{xy}^2)}}{C_{yy} + C_{xx} + \sqrt{(C_{yy} + C_{xx})^2 - 4 * (C_{xx}C_{yy} - C_{xy}^2)}}$$

Το συμπαγές ενός αγροτεμαχίου ορίζεται ως η αναλογία του τετραγώνου της περιμέτρου του σχήματος προς το εμβαδό του σχήματος (Peura et al., 1997).

$$comp = \frac{P^2 / A}{4\pi}$$

Επίσης, ο συντελεστής πολυπλοκότητας του σχήματος είναι ο λόγος του εμβαδού προς το τετράγωνο της περιμέτρου (Gonzales et al, 2007; Amiama et al, 2008).

$$SI = \frac{A}{P^2}$$

Τέλος, ένας άλλος συντελεστής για να περιγράψει την πολυπλοκότητα ενός πολυγώνου είναι ο συντελεστής CI που αναπτύχθηκε από τους Brinkhoff et al.(2007).

$$CI = 0.8Feq * Amp + Dev$$

και βασίζεται στη σύνθεση τριών άλλων περιγραφικών παραγόντων σχήματος για ένα πολύγωνο.

- Την συχνότητα των κοίλων περιοχών ενός σχήματος

$$Feq = 16 * (Nnorm - 0.5)^4 - 8(Nnorm - 0.5)^2 + 1$$

$$Nnorm = \frac{N}{V - 3}$$

- Την απόκλιση του πολυγώνου από το convexhull πολύγωνο

$$Dev = \frac{A - Aconvexhull}{A}$$

- Το πλάτος των κοίλων περιοχών.

$$Amp = \frac{P - P_{convexhull}}{P}$$

Ο προσδιορισμός των συντελεστών για την πολυπλοκότητα του σχήματος του αγροτεμαχίου υπολογίστηκε με αλγόριθμο ο οποίος αναπτύχθηκε σε Matlab er. 2012a (Mathworks Inc., Natick, MA). Ως δεδομένα στον αλγόριθμο χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες των κορυφών του αγροτεμαχίου και αποτέλεσμα ήταν οι τιμές των συντελεστών πολυπλοκότητας του σχήματος.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για τον προσδιορισμό των μοντέλων πρόβλεψης του χρόνου λειτουργίας για τα μηχανήματα που εμπλέκονται στη συγκομιδή του υπολείμματος καθώς και για τον αριθμό των δεμάτων του υπολείμματος χρησιμοποιήθηκαν διαδικασίες ανάλυσης συσχέτισης (regression analysis) του στατιστικού πακέτου SPSS 20.0 (SPSS Inc., Chicag, IL). Αφού προσδιορίστηκε το μοντέλο, εξετάστηκε η σχέση του χρόνου λειτουργίας για κάθε περίπτωση μηχανήματος, αν είναι γραμμική με κάθε έναν από τους συντελεστές που συμμετέχουν στο μοντέλο.

3.1. Μοντέλο χρόνου λειτουργίας χορτοκοπτικού

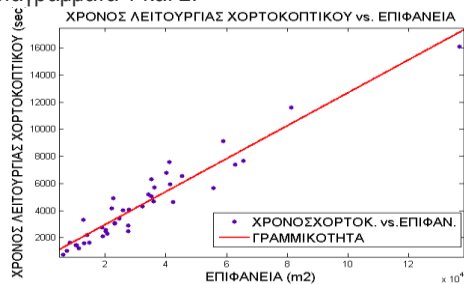
Για τον προσδιορισμό μοντέλου πρόβλεψης του συνολικού χρόνου λειτουργίας του χορτοκοπτικού σε ένα αγροτεμάχιο εισήχθησαν σε ένα πολυμεταβλητό μοντέλο ως ανεξάρτητες μεταβλητές η παραγωγή ίνας (yield), ο SI, ο conp, ο comp, ο CI και ο prax και ο συνολικός χρόνος λειτουργίας του χορτοκοπτικού σε κάθε χωράφι από τα πειραματικά δεδομένα ως εξαρτημένη μεταβλητή.

Το μοντέλο που πρόεκυψε από την διαδικασία της regression analysis είναι:

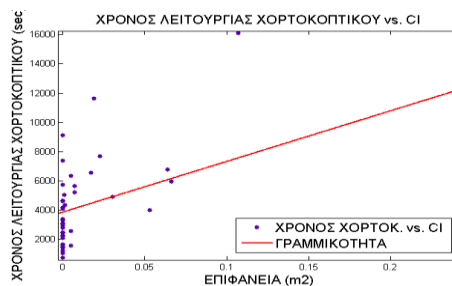
$$Field\ Time\ Mower = 0.115 * area + 9381.656 * CI + 581.667$$

Το μοντέλο βαθμονομήθηκε και οι προσομοιωμένες τιμές από τις πραγματικές παρουσιάζουν μία απόκλιση 7%.

Η απεικόνιση της γραμμικής συσχέτισης του χρόνου λειτουργίας με την επιφάνεια και του χρόνου λειτουργίας με το συντελεστή CI δίνεται στα διαγράμματα 1 και 2.



Διάγραμμα 1. Χρόνος λειτουργίας χορτοκοπτικού vs. Επιφάνεια Αγροτεμαχίου



Διάγραμμα 2. Χρόνος λειτουργίας χορτοκοπτικού vs. CI

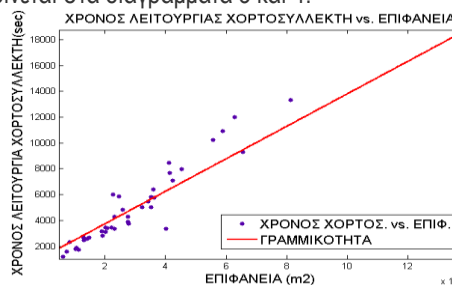
3.2. Μοντέλο χρόνου λειτουργίας χορτοσυλλέκτη

Για το συνολικό χρόνο λειτουργίας του χορτοσυλλέκτη εισήχθησαν σε ένα πολυμεταβλητό μοντέλο ως ανεξάρτητες μεταβλητές η παραγωγή ίνας (yield), ο SI, ο conp, ο comp, ο CI και ο prax και ο χρόνος ως εξαρτημένη μεταβλητή.

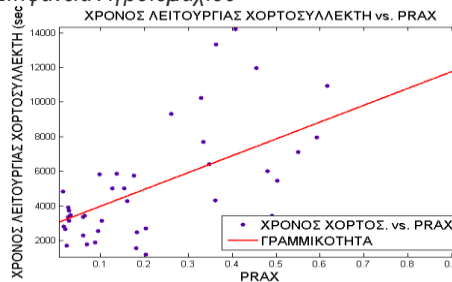
Το μοντέλο που πρόεκυψε από την διαδικασία της regression analysis είναι:

$$Field\ Time\ Rake = 0.110 * area + 3980.44 * prax + 809.84.$$

Το μοντέλο βαθμονομήθηκε και οι προσομοιωμένες τιμές από τις πραγματικές παρουσιάζουν μία απόκλιση 6%. Η απεικόνιση της γραμμικής συσχέτισης του χρόνου λειτουργίας του χορτοσυλλέκτη με το εμβαδό της επιφάνειας του αγροτεμαχίου και του χρόνου λειτουργίας του χορτοσυλλέκτη με το συντελεστή του σχήματος prax δίνεται στα διαγράμματα 3 και 4.



Διάγραμμα 3. Χρόνος λειτουργίας χορτοσυλλέκτη vs. Επιφάνεια Αγροτεμαχίου



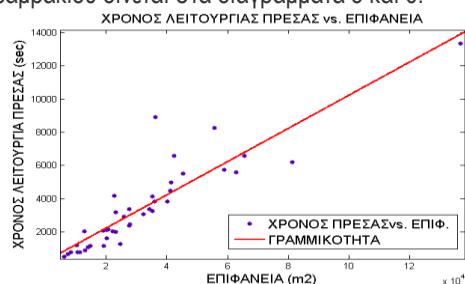
Διάγραμμα 4. Χρόνος λειτουργίας χορτοσυλλέκτη vs. prax

3.3. Μοντέλο χρόνου λειτουργίας πρέσας

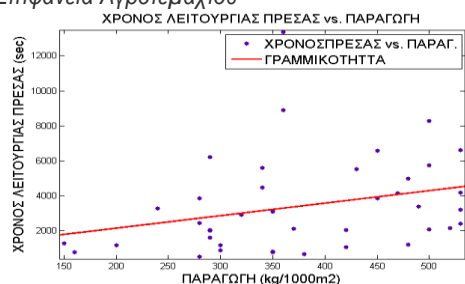
Για τον προσδιορισμό μοντέλου για το χρόνο λειτουργίας της πρέσας κυλινδρικών δεμάτων εισήχθησαν σε πολυμεταβλητό μοντέλο οι συντελεστές παραγωγή (yield), ο SI, ο conp, ο comp, ο CI και ο prax. Το μοντέλο για τον προσδιορισμό του χρόνου λειτουργίας είναι:

$$Field\ Time\ Baler = 0.097 * area + 4.645 * yield - 1447.2$$

Το μοντέλο βαθμονομήθηκε και οι προσομοιωμένες τιμές από τις πραγματικές παρουσιάζουν μία απόκλιση 8%. Η απεικόνιση της γραμμικής συσχέτισης του χρόνου λειτουργίας της πρέσας κυλινδρικών δεμάτων με την επιφάνεια του αγροτεμαχίου και με την παραγωγή της ίνας του βαμβακιού δίνεται στα διαγράμματα 5 και 6.



Διάγραμμα 5. Χρόνος λειτουργίας πρέσας vs. Επιφάνεια Αγροτεμαχίου



Διάγραμμα 6. Χρόνος λειτουργίας πρέσας vs. Παραγωγή ίνας

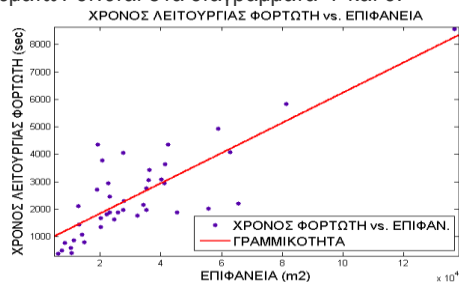
3.4. Μοντέλο χρόνου λειτουργίας φορτωτή δεμάτων

Για τον προσδιορισμό του χρόνου λειτουργίας του φορτωτή εισήχθησαν στο πολυμεταβλητό μοντέλο οι συντελεστές παραγωγή (yield), ο SI, ο copn, ο comp, ο CI και ο gmax και ο αριθμός των δεμάτων ανά στρέμμα.

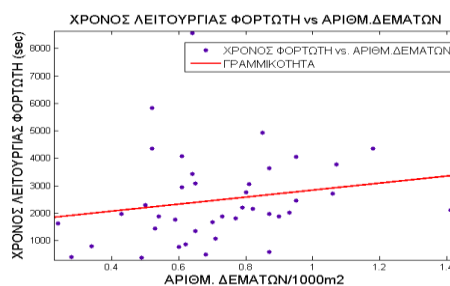
Συνεπώς το μοντέλο για τον προσδιορισμό του χρόνου λειτουργίας είναι:

$$\text{Field Time Forklift} = 0.055 * \text{area} + 1309.599 * \text{numberbales} - 258.161$$

Το μοντέλο βαθμονομήθηκε και οι προσομοιωμένες τιμές από τις πραγματικές παρουσιάζουν μία απόκλιση 15%. Η απεικόνιση της γραμμικής σχέσης του χρόνου λειτουργίας του φορτωτή με την επιφάνεια του αγροτεμαχίου και του χρόνου λειτουργίας του φορτωτή με τον αριθμό των δεμάτων δίνεται στα διαγράμματα 7 και 8.



Διάγραμμα 7. Χρόνος λειτουργίας φορτωτή vs. Επιφάνεια Αγροτεμαχίου



Διάγραμμα 8. Χρόνος λειτουργίας φορτωτή vs. Αριθμός δεμάτων

3.5. Προσδιορισμός αριθμού δεμάτων

Προσδιορισμός αριθμού δεμάτων έγινε σε σχέση με την παραγωγή ίνας βάμβακος. Για την πρόβλεψη του αριθμού των δεμάτων εφαρμόστηκαν διαδικασίες regression analysis. Το γραμμικό μοντέλο είναι:

$$\text{Number Bales} = 0.018 * \text{yield} + 0.02$$

Το μοντέλο βαθμονομήθηκε και οι προσομοιωμένες τιμές από τις πραγματικές παρουσιάζουν μία απόκλιση 1%.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης του χρόνου λειτουργίας των μηχανημάτων που συμμετέχουν στην συγκομιδή των υπολειμμάτων του βάμβακος επιτρέπουν να γίνουν προβλέψεις σε σχέση με σταθερές παραμέτρους του αγροτεμαχίου και της καλλιέργειας. Οι εξισώσεις που παρουσιάστηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη προτύπων λειτουργίας και οργάνωσης της συγκομιδής στελεχών βάμβακος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Amiama, C., J. Bueno, and C. J. Alvarez. 2008. Influence of the physical parameters of fields and of crop yield on the effective field capacity of a self-propelled forage harvester. *Biosystems Engineering*, 100(2):198-205.
- Bochtis, D.D., 2010. Machinery management in bio-production systems: definitions and classifications of planning and scheduling aspects. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*, 12(2), 55-63.
- 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.. 2010. The vehicle routing problem in field logistics: Part II. *Biosystems Engineering*, 105(2): 180-188.
- Brinkhoff, T., Kriegel, H., Schneider, R., Braun, A., 1995. Measuring the Complexity of Polygonal Objects, *Proceedings of ACM International Workshop on Advances in Geographic Information Systems*, Baltimore, MD, USA.
- Gemtos, T.A, Tsirocglou T., 1999. Harvesting of cotton residue for energy production. *Biomass and Bioenergy*, 16(1): 51-59.
- Gemtos, T.A, 1992. Crop residues production and use. *Applied Research Review* 1(1):216-233

- Liu J., Grisso R.J., Cundiff J. 2013. Harvest Systems and Analysis for Herbaceous Biomass. *Biomass Now - Cultivation and Utilization*, 44408
- McKendry, P. 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1):37-46.
- González, X.P., Marey M.F., Álvarez C.J. 2007. Evaluation of productive rural land patterns with joint regard to the size, shape and dispersion of plots. *Agricultural Systems*, 92(1-3):52-62.
- Peura, M., Iivarinen J. 1997. Efficiency of Simple Shape Descriptors. In *Aspects of Visual Form*, 443-451
- Sumner, H.R., Hellwig, R.E., Monroe, G.E. 1984. Harvesting cotton plant residue for fuel. *Trans ASAE* 27: 968 – 972.
- Voivontas, D., Assimacopoulos D., Koukios E.G. 2001. Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. *Biomass and Bioenergy*, 20(2): 101-112

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΔΟΣΕΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΟΠΩΡΩΝΑ ΜΗΛΩΝ

Βασίλειος Λιάκος¹, Αριστοτέλης Ταγαράκης¹, Άννα Νάνος², Θεοφάνης Γέμτος¹, Ζήσης Τσιρόπουλος¹, Σπύρος Φουντάς¹, Γεώργιος Νάνος², Θεοφάνης Γέμτος¹

¹Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446, bill.406@hotmail.com

² Εργαστήριο Δενδροκομίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Τμ. Γεωπονίας, Φυτικής Παρ/γής και Αγρ. Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446

Η χωρική παραλλακτικότητα που παρουσιάζουν η παραγωγή και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μήλων είναι πολύ μεγάλη μέσα σε ένα οπωρώνα εξαιτίας της παραλλακτικότητας των ιδιοτήτων του εδάφους και της επίδρασης του περιβάλλοντος στα δέντρα. Η ομοιόμορφη εφαρμογή των εισροών στους οπωρώνες δεν είναι αποδοτική καθώς δεν λαμβάνεται υπ' όψιν η παραλλακτικότητα των χαρακτηριστικών του εδάφους. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να περιγράψει πώς η εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις μπορεί να επηρεάσει το κέρδος του παραγωγού. Οι δόσεις λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν για την λίπανση των δέντρων βασίστηκε στην παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς και στην βιβλιογραφία η οποία αναφέρει ότι από την παραγωγή 44.8 t/ha αφαιρούνται 110 kg/ha άζωτο (IFA 1992). Για την εφαρμογή του λιπάσματος χρησιμοποιήθηκε μια σέσουλα η οποία βαθμονομήθηκε για να παίρνει συγκεκριμένες ποσότητες λιπάσματος. Η σύγκριση της ποσότητας λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή διαφοροποιημένης λίπανσης με την ποσότητα που χρησιμοποίησε ο παραγωγός έδειξε ότι στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε 32.4% λιγότερο λίπασμα σε σχέση με την ομοιόμορφη λίπανση. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση των εξόδων για την εφαρμογή της λίπανσης κατά 21%. Επιπλέον η σύγκριση της παραγωγής των δύο ετών έδειξε ότι την δεύτερη χρονιά του πειράματος η παραγωγή ήταν μικρότερη εξαιτίας κακών καιρικών συνθηκών κατά την περίοδο της γονιμοποίησης των ανθέων.

Λέξεις κλειδιά: μήλα, λίπανση, γεωργία ακριβείας, μεταβλητές δόσεις, πλεονεκτήματα

VARIABLE RATE APPLICATION OF FERTILIZER IN A COMMERCIAL APPLE ORCHARD

Vasileios Liakos¹, Aristotelis Tagarakis¹, Anna Vatsanidou¹, Zisis Tsiropoulos¹, Spyros Fountas¹, Georgios Nanos², Theofanis Gemtos¹

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

² Laboratory of Pomology, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytoko str., 38446 N. Ionia Magnesias

The spatial variability of yield in an apple orchard is high due to the inherent soil variability and the impact of the environment on the trees. A uniform application of inputs within a field is inefficient, as it does not take into consideration field variability. The objective of the present study was to demonstrate how the use of variable rate fertilization in an apple orchard can change the farmer's profit. The VRA (variable rate application) rates of nitrogen were based on the literature which suggests that for every t/ha of yield, 2.45 kg/ha of N are removed from the soil at one growing season. The results of the yield after applying VRA showed that there was a decrease at the second year. Additionally, the comparison of the results between VRA and reference treatments showed that the amount of fertiliser used at VRA treatments was reduced by 32.4%, while the farmer's profit increased by 21%. Moreover the comparison of the yield of both years showed that there was a decrease of the yield at the second year because of adverse weather conditions during the pollination period.

Key words: apples, fertilization, precision agriculture, variable rates, advantages

1. Εισαγωγή

Η πρώτη εφαρμογή γεωργίας ακριβείας έγινε σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας λόγω της ύπαρξης εξελιγμένων αισθητήρων που μπορούσαν να χαρτογραφήσουν την παραγωγή. Στην Ελλάδα άρχισε να εφαρμοστεί η γεωργία ακριβείας εξαιτίας της μικρής έκτασης των αγροκτημάτων και της πολύ αργής υιοθέτησης της νέας τεχνολογίας. Παρόλα αυτά η πρώτη εφαρμογή γεωργίας ακριβείας στην Ελλάδα έγινε σε καλλιέργεια βαμβακιού το 2001. Η έρευνα έδειξε ότι ακόμη και σε μικρά αγροκτήματα η

χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής ήταν πολύ μεγάλη (Gemtos et al., 2005). Η γεωργία ακριβείας χρησιμοποιεί σύγχρονα συστήματα που προσαρμόζουν τις δόσεις των εισροών που εφαρμόζονται στους αγρούς σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες των φυτών. Η ομοιόμορφη εφαρμογή λιπάσματος δεν είναι αποδοτική καθώς δε λαμβάνει υπ' όψιν την παραλλακτικότητα της παραγωγής. Την τελευταία δεκαετία οι εφαρμογές μεταβλητών δόσεων εισροών έχουν γίνει πολύ δημοφιλείς καθώς δίνουν την ευκαιρία στους

παραγωγούς να διαχειριστούν κατάλληλα την παραλλακτικότητα της παραγωγής.

Τα συστήματα μεταβλητών δόσεων εισροών αναπτύχθηκαν με σκοπό να αυξήσουν την απόδοση των λιπασμάτων, να μειώσουν την περιβαλλοντική ρύπανση και να βοηθήσουν τους παραγωγούς να αυξήσουν το κέρδος τους. Υπάρχουν μερικές έρευνες που αποδεικνύουν ότι η λίπανση με μεταβλητές δόσεις μπορεί να αυξήσει την παραγωγή του σόργου (Yang et al., 1999; Yang et al., 2001) και του καλαμποκιού (Wittery and Mallarino, 2004). Από την άλλη μεριά πειράματα που έκαναν οι Lowenberg-DeBoer and Aghib (1999) σε καλαμπόκι και σιτάρι έδειξαν ότι η παραγωγή δεν αυξήθηκε σημαντικά ενώ οι English et al. (2001) κατέληξαν πως η αύξηση της παραγωγής εξαρτάται από την παραλλακτικότητα που εμφανίζεται στον αγρό.

Η καλλιέργεια των μήλων είναι η τέταρτη πιο σημαντική καλλιέργεια για την ελληνική παραγωγή μετά την καλλιέργεια ελιάς, παρτοκαλιού και ροδάκινου (Vasilakakis, 2004). Παρόλα αυτά οι οπωρώνες διαχειρίζονται με τον παραδοσιακό τρόπο. Η εφαρμογή του λιπάσματος γίνεται με τα χέρια σε ομοιόμορφες δόσεις καθώς η αποστάσεις μεταξύ των σειρών είναι πολύ μικρές και δεν υπάρχει χώρος για την κίνηση των μηχανημάτων. Το άζωτο είναι πολύ σημαντικό μακροθρεπτικό για τα δέντρα. Συνήθως εφαρμόζεται σε δύο χρονικές στιγμές: την άνοιξη, δύο εβδομάδες πριν την άνθιση και το καλοκαίρι. Υπερδοσολογία αζώτου μπορεί να προκαλέσει πολύ υψηλά δέντρα και χαμηλή παραγωγή. Οι Weinbaum et al. (1992) και Hueft, (1996) κατέληξαν ότι το άζωτο επηρεάζει την ευρωστία των δέντρων αλλά συμβάλλει στη μόλυνση των υπόγειων νερών (Sanchez et al. 2003).

Παρά την σπουδαιότητα της διαχείρισης του αζώτου στους οπωρώνες δεν υπάρχουν πολλές δημοσιευμένες εργασίες σε αυτόν τον τομέα. Οι Lopez-Grannados et al. (2004) πρότειναν τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης με βάση τη χωρική παραλλακτικότητα των θρεπτικών συστατικών στα φύλλα, ενώ οι Zaman και Schuman (2006) διαχώρισαν ζώνες διαχείρισης σε οπωρώνα παρτοκαλιού σύμφωνα με τα εδαφικά χαρακτηριστικά. Οι Fountas et al. (2010) εφάρμοσαν λίπανση φωσφόρου και καλίου σε έναν ελαιώνα ενώ οι Aggeloroulou et al. (2010) δημιούργησαν χάρτες για αζωτούχο λίπανση σε οπωρώνα μηλιάς με βάση την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με αυτή τη μεθοδολογία η χρησιμοποιούμενη ποσότητα λιπάσματος μειώνεται κατά 38%. Το αντικείμενο της παρούσας έρευνας είναι να παρουσιάσει τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής λίπανσης με μεταβλητές δόσεις σε οπωρώνα μηλιάς καθώς και τα προβλήματα τα οποία προκύπτουν.

2. Υλικά και μέθοδοι

2.1 Ο πειραματικός οπωρώνας

Το πείραμα έγινε σε έναν οπωρώνα μήλων στην περιοχή Αετόλοφος της Κεντρικής Ελλάδας (39.6653401° N, 22.7340308° E). Το μέγεθός του

ήταν 1.96 ha και υπήρχαν δύο ποικιλίες. Η κύρια ποικιλία ήταν η cv. Granny Smith ενώ η cv. Red Chief χρησιμοποιούνταν σαν επικονιάστρια. Οι αποστάσεις μεταξύ των σειρών στον οπωρώνα ήταν 4 m ενώ οι μεταξύ των δέντρων επί των σειρών ήταν 1 m. Η έρευνα έγινε τα έτη 2010 και 2011. Το 2010 ήταν ένα κανονικό έτος για τις καλλιέργειες των μήλων χωρίς προβλήματα και οι καιρικές συνθήκες ήταν ιδανικές για την καρπώδεση. Από την άλλη μεριά το 2011 δεν υπήρχαν προβλήματα με ασθένειες αλλά ο καιρός δεν ήταν ιδανικός την περίοδο της καρπώδεσης καθώς επικρατούσε υψηλή σχετική υγρασία, χαμηλές θερμοκρασίες και οι βροχοπτώσεις ήταν αυξημένες. Στα μέσα Οκτωβρίου 2010 και αρχές Νοεμβρίου 2011 μετρήθηκε η παραγωγή των μήλων και δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες. Τα δεδομένα της παραγωγής του 2010 χρησιμοποιήθηκαν για δημιουργηθεί ο χάρτης εφαρμογής του λιπάσματος το 2011.

2.2 Καιρικά δεδομένα

Η ημερήσια σχετική υγρασία του αέρα και η θερμοκρασία ελήφθησαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία ενώ το ημερήσιο ύψος βροχής λήφθηκε από έναν μετεωρολογικό σταθμό κοντά στον οπωρώνα. Τα δεδομένα καιρού αναλύθηκαν στο λογισμικό Microsoft Office Excel 2007. Η ανάλυση επικεντρώθηκε στον υπολογισμό της μέσης τιμής της σχετικής υγρασίας, της θερμοκρασίας και του ύψους βροχής ανά 5 ημέρες από την 1^η Απριλίου μέχρι τα μέσα Μαΐου και για τις δύο χρονιές, καθώς αυτοί οι μήνες είναι πολύ σημαντικοί για την καρπώδεση (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Καιρικά δεδομένα για τις δύο χρονιές.

Ημέρες	Μέση σχετική υγρασία (%)		Μέση θερμοκρασία (°C)		Μέσο ύψος βροχής (mm)	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
1 - 5 / 4	71.3	78.6	13.3	12.8	0.04	0.88
6 - 10 / 4	61.3	60.8	12.6	15.5	0	0.04
11 - 15 / 4	75.0	62	13.0	13.2	0.28	0.44
16 - 20 / 4	77.6	80	15.6	10.3	1.48	2
21 - 25 / 4	64.3	73.2	16.2	11.8	0	0
26 - 30 / 4	56.3	88.2	15.3	12.9	0.04	1.76
1 - 5 / 5	61.4	87.8	18.7	16.4	0	1.16
6 - 10 / 5	58.2	74.4	18.9	13.6	0	0.64
11 - 15 / 5	55.1	62.4	22.3	16.9	0.46	0.04

2.3 Συγκομιδή

Στα μέσα Οκτωβρίου 2010 και αρχές Νοεμβρίου 2011 τα μήλα μαζεύονταν με τα χέρια. Τοποθετούνταν μέσα σε πλαστικά τελάρα των 20 κιλών τα οποία είχαν αφαιρεθεί κατά μήκος των σειρών. Πριν τη συγκομιδή κάθε σειρά είχε χωριστεί σε διαστήματα των 15 μέτρων. Όλα τα γεμάτα τελάρα που αντιστοιχούσαν σε διάστημα των 15m συγκεντρώνονταν μαζί και ζυγίζονταν για να γίνει

μετέπειτα η χαρτογράφηση της παραγωγής. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του μέσου κάθε διαστήματος καταγράφονταν σε μια συσκευή GPS (Garmin Etrex Legend H). Τα καταγεγραμμένα δεδομένα της παραγωγής εισήχθησαν στη συνέχεια στο λογισμικό Farmwork™ v.2010.2.438 (Trimble Navigation Limited, USA) ενώ για την ταξινόμησή τους χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος quantile κατά την οποία σε κάθε κλάση αντιστοιχεί ο ίδιος αριθμός δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο η ύπαρξη προβληματικών δέντρων δεν μπορεί να επηρεάσει την ολική ταξινόμηση. Τέλος, για την παρουσίαση των δεδομένων αποφασίστηκε να δημιουργηθούν τρεις κλάσεις (χαμηλή, μέση, υψηλή παραγωγή).

2.4.Χάρτες εφαρμογής

Το πειραματικό σχέδιο αποτελούνταν από μια στρατηγική εφαρμογής μεταβλητής λίπανσης και μια ομοιόμορφης. Ο οπωρώνας αποτελούνταν από 25 σειρές δένδρων και επέτρεπε την χρήση 13 σειρών για εφαρμογή μεταβλητών δόσεων λιπάσματος και 12 για ομοιόμορφη χρήση του. Το λίπασμα που χρησιμοποιήθηκε το 2011 ήταν 11-15-15 (N-P-K). Οι δόσεις του λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης προήλθαν από την ποσότητα των θρεπτικών που αφαιρέθηκαν από τον οπωρώνα με την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς. Σύμφωνα με το IFA (1992) για κάθε t/ha παραγωγής αφαιρούνται από το έδαφος 2.4 Kg/ha αζώτου. Στη μεταχείριση όπου έγινε ομοιόμορφη λίπανση χρησιμοποιήθηκαν οι δόσεις που χρησιμοποιεί ο παραγωγός κάθε χρόνο. Για τον υπολογισμό των δόσεων για τη μεταβλητή λίπανση λήφθηκε υπ' όψιν η μέγιστη παραγωγή κάθε κλάσης. Στον Πίνακα 2 φαίνονται οι δόσεις που χρησιμοποιήθηκαν (σε kg/plot) τον Μάρτιο του 2011. Για την εφαρμογή της μεταβλητής λίπανσης χρησιμοποιήθηκε μια σέσουλα η οποία είχε βαθμονομηθεί να γεμίζει 0.5 kg, 0.1 kg και 1 kg από το συγκεκριμένο λίπασμα.

Πίνακας 2. Δόσεις λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν

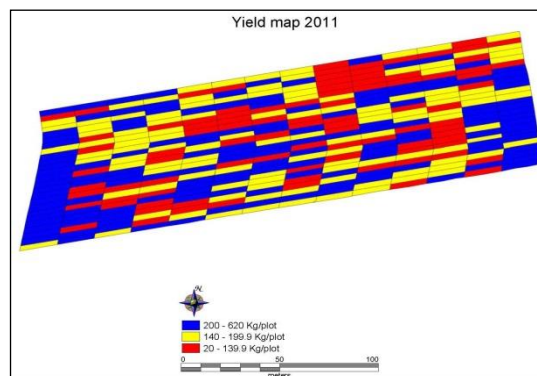
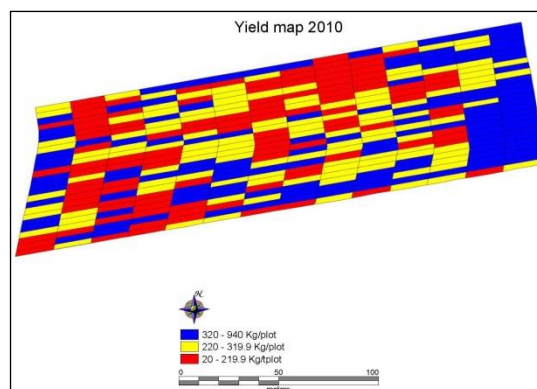
Μέθοδος	Εφαρμοσμένες δόσεις (kg/64 m ²)		
	Παραγωγή		
	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή
Μεταβλητή λίπανση	4	7	20.9
Ομοιόμορφη λίπανση	16		

3. Αποτελέσματα και συζήτηση

3.1 Παραγωγή

Η χωρική και χρονική παραλλακτικότητα της παραγωγής ήταν μεγάλη και τα δύο χρόνια (Εικόνα 1). Το 2010 οι τιμές της παραγωγής ήταν μεταξύ 20 kg/plot και 940 kg/plot ενώ το 2011 ήταν από 20 kg/plot μέχρι 620 kg/plot. Είναι φανερό ότι το 2011 η παραγωγή μειώθηκε σε σχέση με την παραγωγή του προηγούμενου έτους. Αυτό συνέβη καθώς οι καιρικές συνθήκες δεν ήταν ιδανικές κατά την επικονίαση των

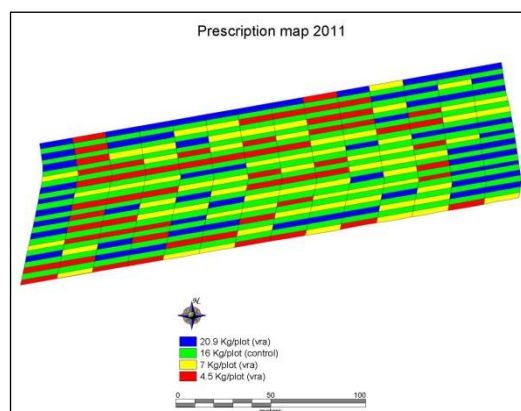
ανθέων όπως αναφέρθηκε προηγουμένως με αποτέλεσμα την μειωμένη καρπώδεση.



Εικόνα 1. Χάρτες παραγωγής για τα έτη 2010 και 2011.

3.2 Χάρτες εφαρμογής λιπάσματος

Ο χάρτης εφαρμογής λιπάσματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2. Χάρτης εφαρμογής λιπάσματος με μεταβλητές δόσεις.

3.3 Σύγκριση μεθόδων λίπανσης

Αρχικά έγινε σύγκριση της παραγωγής του 2010 και 2011 για να ερευνηθεί εάν είχε εκδηλωθεί το φαινόμενο της παρενιαυτοφορίας κατά τα 2 έτη. Παρά τη χαμηλή παραγωγή το 2011 δεν φάνηκε να υπάρχει το φαινόμενο της παρενιαυτοφορίας καθώς η μείωση της παραγωγής δεν ήταν μεγαλύτερη του 50% σε σχέση με το 2010.

Η χαμηλή παραγωγή το 2011 ίσως προκλήθηκε από τη μη αποδοτική επικονίαση των ανθέων και καρπόδεση. Σύμφωνα με τον Πίνακα 1, το 2010 η σχετική υγρασία του αέρα μειώθηκε (10%) σταδιακά κατά την επικονίαση των ανθέων και την καρπόδεση (21 Απριλίου – 15 Μαΐου 2010). Η θερμοκρασία του αέρα ήταν ικανοποιητική για την κινητικότητα των επικονιαστών αλλά το 2011 η σχετική υγρασία και το ύψος βροχής ήταν αυξημένα ενώ η θερμοκρασία του αέρα ήταν χαμηλή. Όταν η σχετική υγρασία και το ύψος βροχής είναι αυξημένα και η θερμοκρασία του αέρα είναι κάτω από 15°C κατά την περίοδο της επικονίασης, τότε οι επικονιαστές (συνήθως μέλισσες) δεν πετάνε πολύ μακριά από τις φωλιές κάτι που προκαλεί μειωμένη επικονίαση στα άνθη (Childers et al., 1995). Επιπλέον η υψηλή σχετική υγρασία σε συνδυασμό με χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του Απριλίου και στις αρχές του Μαΐου 2011 δεν επέτρεψαν τη σωστή δημιουργία του γυρεοσωλήνα με αποτέλεσμα η καρπόδεση να είναι μειωμένη (Childers et al., 1995).

Ο πίνακας 3 παρουσιάζει την συνολική παραγωγή κάθε σειράς του σπρωώνα και τη συνολική ποσότητα λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε περίπτωση. Επίσης θεωρώντας ότι η τιμή του λιπάσματος ήταν 0.7 ευρώ/kg και ότι η τιμή πώλησης των μήλων ήταν 0.3 ευρώ/kg, υπολογίστηκε το κέρδος του παραγωγού και η μείωση του χρησιμοποιούμενου λιπάσματος που επήλθε από τη χρήση μεταβλητής λίπανσης σε σχέση με την ομοιόμορφη.

Πίνακας 3. Διαφορές που παρουσιάστηκαν μεταξύ των δύο μεθόδων λίπανσης.

Σειρά	Μέθοδο	Παραγωγή 2011 (Kg/σειρά)	Λίπασμα (Kg/σειρά)	Κέρδος (%)	Μεταβολή λιπάσματος (%)	Μεταβολή κέρδους (%)
1	M*	2620	83	91.8	-62.9	8.6
2	O**	4240	224	84.5		
3	M*	2710	185.3	79.2	-17.3	2.1
4	O**	2700	224	77.6		
5	M*	2380	190.3	80.9	-15.0	0.1
6	O**	3140	224	80.8		
7	M*	2330	127.2	86	-43.2	9.8
8	O**	2800	224	78.3		
9	M*	2420	139.1	85.1	-37.9	15.9
10	O**	2530	224	73.4		
11	M*	2940	173.9	85.1	-22.4	2.7
12	O**	3320	224	82.9		
13	M*	2900	110.8	91	-50.5	46.5
14	O**	2040	224	62.1		
15	M*	2540	195.3	81.4	-12.8	0.1
16	O**	3000	224	81.3		
17	M*	2180	105.8	88.4	-52.8	17.2

18	O**	2660	224	75.4		
19	M*	2020	96.9	78.8	-56.7	36.3
20	O**	2040	224	57.8		
21	M*	2740	160	85.2	-28.6	30.5
22	O**	1920	224	65.3		
23	M*	2660	168.9	85.5	-24.6	33.0
24	O**	1680	224	64.3		
25	M*	2420	232	76.9	3.6	19.6
Μέση τιμή					-32.4	21.0

*Μεταβλητή λίπανση

**Ομοιόμορφη λίπανση

Η ανάλυση του κέρδους του παραγωγού που προκύπτει από την εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις έδειξε ότι αυτό είναι αυξημένο κατά 21% σε σχέση με την εφαρμογή ομοιόμορφης λίπανσης ενώ η χρησιμοποιούμενη ποσότητα του λιπάσματος παρουσιάζεται μειωμένη κατά 32.4% στη μεταβλητή λίπανση. Σε παρόμοιο αποτέλεσμα (38%) κατέληξε και η έρευνα των Aggelopoulou et al., (2010). Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί πώς το 2010 η παραγωγή στις περιοχές όπου θα εφαρμόζονταν μεταβλητή λίπανση το 2011 ήταν μειωμένη κατά 38% σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές του σπρωώνα ενώ το 2011 μετά την εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης αυτή η διαφορά ήταν 20%. Αυτό σημαίνει ότι η λίπανση με μεταβλητές δόσεις επηρέασε θετικά την παραγωγή των μήλων.

4. Συμπεράσματα

- Η επιλογή των δόσεων λιπάσματος βασισμένη στα θρεπτικά συστατικά που αφαιρούνται από τον σπρωώνα με την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς είναι αποδοτική.
- Η χρήση λίπανσης με μεταβλητές δόσεις μπορεί να βελτιώσει την παραγωγή μήλων.
- Τα δεδομένα μιας χρονιάς έδειξαν ότι η λίπανση με μεταβλητές δόσεις μπορεί να αυξήσει το κέρδος του παραγωγού κατά 21% και να μειώσει τη χρησιμοποιούμενη ποσότητα λιπάσματος κατά 32.4%.

Βιβλιογραφία

- Aggelopoulou, K., Pateras, D., Fountas, S., Gemtos, T., Nanos, G., 2010. Soil spatial variability and site-specific fertilization maps in an apple orchard. Precision Agriculture. 12:118–129.
- Childers, N. F., Morris, J. R., & Sibbett, G. S., 1995. Modern Fruit Science Horticultural Publications, Gainesville, Florida, Chapter VI.
- English, B., Mahajanashetti, S., Roberts, R., 2001. Assessing spatial break-even variability in fields with two or more management zones. J. Agric. Appl. Econ., 33:551–565.
- Fountas, S., Aggelopoulou, K., Bouloulis, C., Nanos, G., Wulfsohn, D., Gemtos, T., Paraskevopoulos, A.,

- Galanis, M., 2011. Site-specific management in an olive tree plantation. *Precision agriculture*, 12(2):179-195.
- Gemtos, T. A., Markinos, A., & Nassiou, T., 2005. Cotton lint quality spatial variability and correlation with soil properties and yield. In: *Precision Agriculture '05: Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*, edited by J. V. Stafford, Wageningen Academic Press, Wageningen, The Netherlands, pp. 361-368.
- Huett, D.O., 1996. Prospects for manipulating the vegetative-reproductive balance in horticultural crops through nitrogen nutrition: a review. *Aust. J. Agric. Res.* 47:47-66.
- IFA. 1992. International Fertilizer Association. *World Fertilizer Use Manual*. Available at <http://www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/LIBRARY/World-Fertilizer-Use-Manual/by-common-names>, last accessed September 2012.
- Lopez-Granados, F., Jurado-Exposito, M., Alamo, S., & Garcia-Torres, L., 2004. Leaf nutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive *Olea europaea* L. orchards. *European Journal of Agronomy*, 21:209-222.
- Lowenberg-DeBoer, J., Aghib, A., 1999. Average return and risk characteristics of site specific P and K management: Eastern Corn Belt on-farm trial results. *Journal of Production in Agriculture*, 122:276-282.
- Sanchez-Perez, J., Vervier, P., Garabétian, F., Sauvage, S., Loubet, M., Rols, J., Bariac, T., Weng, P., 2003 Nitrogen dynamics in the shallow groundwater of a riparian wetland zone of the Garonne, SW France: nitrate inputs, bacterial densities, organic matter supply and denitrification measurements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 71:97-107.
- Vasilakakis, M., 2004. General and specialized pomology pp. 276-311. Thessaloniki, Greece: Gartaganis Publications in Greek.
- Weinbaum, S.A., R.S. Johnson, and T.M. DeJong. 1992. Causes and consequences of overfertilization in orchards. *HortTech*. 2:112-121.
- Wittery, D., Mallarino, A., 2004. Comparison of uniform and variable rate phosphorus fertilization for corn-soybean rotations. *Am. Soc. Agron. J.*, 96:26-33.
- Yang, C., Everitt, J.H., Bradford, J.M., 1999. Comparison of Uniform and Variable Rate Fertilizer Application using a Variable Rate Liquid Applicator. ASAE, No. 99-1145, ASAE, St. Joseph, MI.
- Yang, C., Everitt, J., Bradford, J., 2001. Comparison of uniform and variable rate nitrogen and phosphorus fertilizer application for grain sorghum. *Trans. ASAE*, 44(2):201-209.
- Zaman, Q., & Schuman, W. A., 2006. Nutrient management zones for citrus based on variation in soil properties and tree performance. *Precision Agriculture*, 7:45-63.

ΜΗΧΑΝΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΖΩΝΙΚΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΝΕΑΡΩΝ ΚΟΤΟΠΟΥΛΩΝ ΣΕ ΜΙΚΡΟ ΑΕΡΙΖΟΜΕΝΟ ΘΑΛΑΜΟ

Β. Ανέστης, Α. Γιούσσεφ, Β. Εξαδάκτυλος, Ντ. Μπέρκμανς

Division M3-BIORES: Measure, Model & Manage Bioresponses KU Leuven, Kasteelpark Arenberg 30-3001, Leuven, Belgium

Ο έλεγχος της κινητικότητας των κοτόπουλων θα μπορούσε να αποτελέσει ένα χρήσιμο και χαμηλού κόστους εργαλείο για την βελτίωση της διαβίωσής τους. Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση της Μηχανιστικής Μοντελοποίησης Δεδομένων (DBM Modelling) ώστε να εξηγηθούν η κινητικότητα και η επικάλυψη επιφανείας από κοτόπουλα 4 και 5 ημερών ως απόκριση σε βηματικές μεταβολές της ηλεκτρικής ισχύος θέρμανσης και του ρυθμού αερισμού, μέσα σε ένα μικρό θάλαμο. Οι βηματικές μεταβολές επιλέχθηκαν με σκοπό να οδηγήσουν τα κοτόπουλα σε κατάσταση θερμικής δυσφορίας (καταπόνηση λόγω ζέστης και λόγω κρύου) κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Για τις ανάγκες της δυναμικής μοντελοποίησης της εργασίας αυτής η επιφάνεια του θαλάμου χωρίστηκε σε 9 ίσες φανταστικές ζώνες και εφαρμόστηκε η θεωρία μοντελοποίησης Συναρτήσεων Μεταφοράς (TF) διακριτού χρόνου. Βρέθηκε ότι κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρύου, ο αθροιστικός δείκτης κινητικότητας στην ολική επιφάνεια του θαλάμου ως απόκριση στη μέση θερμοκρασία του θαλάμου και στο ρυθμό αερισμού μπορεί να μοντελοποιηθεί με μοντέλα Συνάρτησης Μεταφοράς πρώτης τάξης με συντελεστές προσδιορισμού R^2 0.983 και 0.960, αντίστοιχα. Τα μοντέλα αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αυτόματο Έλεγχο Προβλεπτικού Μοντέλου (MPC) της κινητικότητας των κοτόπουλων μέσα σε αυτόν το μικρό θάλαμο κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρύου.

Λέξεις κλειδιά: κινητικότητα, επικάλυψη επιφανείας, DBM, μοντελοποίηση, MPC, TF, διακριτός χρόνος

DATA-BASED MECHANISTIC MODELLING OF YOUNG CHICKENS' ZONAL ACTIVITY AND OCCUPATION IN A SMALL VENTILATED CHAMBER

V. Anestis, A. Youssef, V. Exadaktylos, D. Berckmans

Division M3-BIORES: Measure, Model & Manage Bioresponses KU Leuven, Kasteelpark Arenberg 30-3001, Leuven, Belgium

Daniel.Berckmans@biw.kuleuven.be

Control of broilers' activity could be potentially used as one of the existing inexpensive tools for improving their welfare. In the present work, the Data-based Mechanistic (DBM) modelling approach was used to explain the activity and occupation responses of 4 and 5 days old broilers to applied step-wise changes in electrical power and in ventilation rate inside a small chamber. These step-wise changes were applied with the purpose to create conditions of thermal discomfort for the broilers (either heat stress or cold stress) during the experiments. For the dynamic modelling purposes of this work the chamber area was separated into 9 equal imaginary zones and the discrete-time Transfer Function (TF) modelling theory was applied. It was found that the cumulative sum of broilers' activity index in the total chamber as a response to the average chamber temperature and to the ventilation rate under cold stress conditions can be modelled by a first order TF model with coefficients of determination R^2 0.983 and 0.960, respectively. These models can be potentially used for Model-based predictive control (MPC) of the chickens' activity inside this small chamber under cold stress conditions.

Key words: activity, occupation, DBM, modelling, MPC, TF, discrete-time

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο έλεγχος της κινητικότητας των κοτόπουλων μέσα σε πυκνοκατοικημένες φάρμες θα μπορούσε να αποτελέσει ένα χρήσιμο και χαμηλού κόστους εργαλείο για τον έλεγχο της καλής τους διαβίωσης (Kristensen *et al.*, 2006).

Ο επιτυχημένος αυτόματος έλεγχος του φυσικού μικροπεριβάλλοντος των κοτόπουλων σε πραγματικό χρόνο είναι ιδιαίτερης σημασίας για τον έλεγχο της κινητικότητάς τους, εφόσον αποκρίνονται (και κινούνται) με συγκεκριμένο τρόπο σε μεταβολές παραμέτρων που βιώνουν όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα και ο ρυθμός αερισμού (Prayitno *et al.*, 1997; Bizeray *et al.*, 2002; Kristensen *et al.*, 2006). Μία εξελιγμένη μέθοδος για τον αυτόματο έλεγχο σε πραγματικό χρόνο είναι η θεωρία Ελέγχου

Προβλεπτικού Μοντέλου (Model-based Predictive Control, MPC) (Aerts *et al.*, 2003b). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, αυξημένη προσοχή δίνεται στους αισθητήρες που μετρούν τις μεταβλητές ελέγχου εξόδου (π.χ. κινητικότητα κοτόπουλων, θερμοκρασία αέρα, υγρασία αέρα) και στο μοντέλο της βιο-διεργασίας το οποίο συσχετίζει τις μεταβλητές ελέγχου εξόδου με τις μεταβλητές ελέγχου εισόδου (π.χ. ρυθμός αερισμού, ρυθμός θέρμανσης/ ψύξης, ρυθμός ύγρανσης/ αφύγρανσης). Ένας λειτουργικός τρόπος μέτρησης της κινητικότητας των κοτόπουλων είναι με χρήση τεχνικών επεξεργασίας εικόνας (Leroy *et al.*, 2008). Εφόσον οι αποκρίσεις των κοτόπουλων στο μικροπεριβάλλον τους είναι πολύπλοκες, χρονικά εξαρτώμενες και συγκεκριμένες για κάθε ζώο ξεχωριστά, είναι πιθανότερο να χρειάζονται τεχνικές

δυναμικής μοντελοποίησης σε πραγματικό χρόνο για την ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου της διεργασίας (Aerts *et al.*, 2003a). Ενδιαφέρουν τρεις κατηγορίες μοντέλων: α) τα μοντέλα Δεδομένων (Data-based), β) τα Μηχανιστικά μοντέλα (Mechanistic) και γ) τα Μηχανιστικά μοντέλα Δεδομένων (Data-based Mechanistic, DBM). Από τη μία μεριά, η πολυπλοκότητά τους έχει θέσει τα Μηχανιστικά μοντέλα ακατάλληλα για στόχους ελέγχου, από την άλλη όμως, λόγω της υψηλής τους ακρίβειας, αποτελούν ένα εξαιρετικό εργαλείο για την ανταλλαγή επιστημονικών πληροφοριών και για τη μελέτη της συμπεριφοράς της διεργασίας εμμέσως (off line) και μέσω προσομοιώσεων (Aerts *et al.*, 2000). Τα μοντέλα δεδομένων, δεν απαιτούν a priori υποθέσεις για το βιολογικό σύστημα, είναι πολύ απλούστερα από τα μηχανιστικά μοντέλα και μπορούν συνεπώς να χρησιμοποιηθούν καλύτερα για Έλεγχο Προβλεπτικού Μοντέλου (MPC) ενός βιοσυστήματος (Kristensen *et al.*, 2006). Τέλος, στη μηχανιστική μοντελοποίηση δεδομένων (DBM), το μοντέλο που σχηματίζεται μετά την ανάλυση των διαθέσιμων πειραματικών δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστο μόνο εάν μπορεί να έχει φυσική ερμηνεία σύμφωνα με τη φύση του βιολογικού συστήματος (Young, 2006).

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να εφαρμόσει την προσέγγιση της μηχανιστικής μοντελοποίησης δεδομένων (DBM) για να συσχετίσει τους δείκτες δυναμικής κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας νεαρών κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής οι οποίοι προκύπτουν από την επεξεργασία εικόνας, ως απόκριση σε:

α) μία μεταβολή (αύξηση και μείωση) της μέσης θερμοκρασίας που προκλήθηκε από βηματική μεταβολή (αύξηση και μείωση) της ηλεκτρικής ισχύος των θερμικών στοιχείων και για σταθερή τάση του ανεμιστήρα και

β) μία βηματική αύξηση της εφαρμοζόμενης ροής αερισμού καθώς τα κοτόπουλα βίωναν θερμοκρασία αυξημένη σε υψηλά επίπεδα (καταπόνηση λόγω ζέσης) καθώς και θερμοκρασία μειωμένη σε χαμηλά επίπεδα (καταπόνηση λόγω κρύου).

Υπάρχει η πρόθεση τα μοντέλα που προκύπτουν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για Έλεγχο Προβλεπτικού Μοντέλου (MPC) της κινητικότητας νεαρών κοτόπουλων κάτω από συνθήκες θερμικής δυσφορίας χρησιμοποιώντας ως μεταβλητές ελέγχου εισόδου το ρυθμό αερισμού και την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνεται από τα θερμικά στοιχεία και ως μεταβλητές ελέγχου εξόδου τους δείκτες κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας των κοτόπουλων και τις μετρούμενες θερμοκρασίες.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

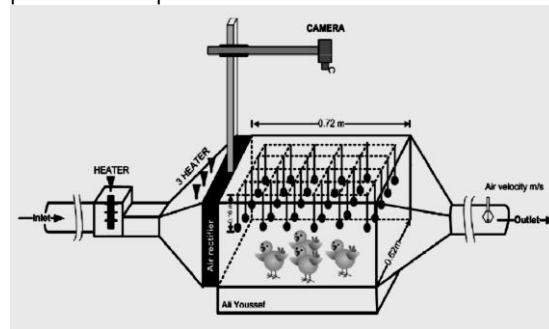
2.1. Πειραματική Διάταξη

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας έναν μικρής κλίμακας θάλαμο εξοπλισμένο με όργανα μέτρησης που βρίσκεται στο Κέντρο Μηχανικής Αγροτικών και Βιολογικών Συστημάτων της Leuven (LABEC) του Τμήματος Βιοσυστημάτων

του Καθολικού Πανεπιστημίου της Leuven (KU Leuven), στο Βέλγιο.

Ο πειραματικός θάλαμος (Εικόνα 2.1.) είχε τις ακόλουθες εσωτερικές διαστάσεις: μήκος=0.72m, πλάτος=0.62m και ύψος=0.385m. Οι πλευρές και το πάνω μέρος του θαλάμου ήταν κατασκευασμένες από διάφανο πlexiglas μέσα σε πλαίσιο αλουμινίου. Επίσης διαφορετικά είδη συστημάτων αγωγών ήταν συνδεδεμένα στην είσοδο και έξοδο του θαλάμου με σκοπό να διευκολύνουν την είσοδο και έξοδο του αέρα μέσα σε αυτόν.

Τόσο οι αισθητήρες όσο και οι ενεργοποιητές ήταν εγκατεστημένοι στη διάταξη για την πραγματοποίηση του ελέγχου της θερμοκρασίας μέσα στο θάλαμο.



Εικόνα 2.1. Σχηματική αναπαράσταση του θαλάμου για την παρακολούθηση της κινητικότητας των κοτόπουλων.

Όσον αφορά στους ενεργοποιητές, τέσσερα ηλεκτρικά στοιχεία θέρμανσης και δύο αξονικοί ανεμιστήρες είχαν εγκατασταθεί. Όλα τα θερμαντικά στοιχεία και ο ένας αξονικός ανεμιστήρας ήταν τοποθετημένα στην είσοδο του αέρα στο θάλαμο, ενώ ο άλλος αξονικός ανεμιστήρας ήταν τοποθετημένος στην έξοδο του αέρα από το θάλαμο για να υποχρεώνει τον αέρα σε έξοδο. Η συνολική μέγιστη θερμαντική ισχύς ήταν 2040W, ενώ η μέγιστη ισχύς κατανάλωσης των ανεμιστήρων ήταν 15W. Τόσο ο ρυθμός θέρμανσης όσο και ο ρυθμός αερισμού μπορούσαν να ελεγχθούν τόσο χειροκίνητα μέσω κουτιών ελέγχου (FANCOM, The Netherlands) όσο και αυτόματα μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή μετά την εγκατάσταση κατάλληλου λογισμικού ή του MATLAB.

Όσον αφορά στους αισθητήρες, δύο είδη είχαν συνδεθεί στο σύστημα: 30 αισθητήρες θερμοκρασίας και ένας αισθητήρας για την ταχύτητα αέρα. Οι 30 αισθητήρες θερμοκρασίας (LM35 semiconductors) είχαν τοποθετηθεί ομοιόμορφα μέσα στο θάλαμο σε ένα 6x5 διδιάστατο πλέγμα με τέτοιο τρόπο ώστε να αιωρούνται 0.16m κάτω από την οροφή του και μέσα στον άδειο χώρο του. Ο αισθητήρας ταχύτητας αέρα (EE70-VT3) είχε εγκατασταθεί στην έξοδο του αέρα σε τέτοια θέση ώστε να διασφαλίζεται η ακριβής μέτρηση της μέγιστης ταχύτητας του αέρα.

Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε μία συσκευή (National Instrument) τύπου NIDAG USB-6225 Pinout στην οποία είχαν συνδεθεί τόσο οι αισθητήρες (analogue input) όσο και τα κουτιά ελέγχου για τους ενεργοποιητές (analogue output).

Με τη χρήση ενός κώδικα MATLAB γινόταν μετατροπή των αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά χρησιμοποιώντας τη συσκευή ως διασύνδεση.

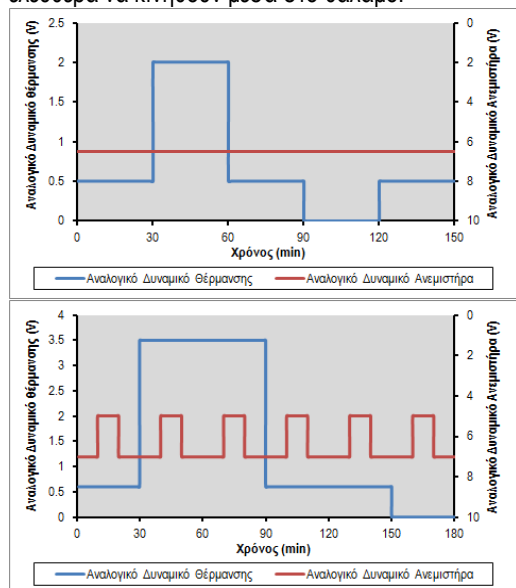
Τέλος, μία κάμερα Sony HDR-CX560VE χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της κινητικότητας των κοτόπουλων ως απόκριση στις μεταβολές στο ρυθμό θέρμανσης και αερισμού. Η κάμερα είχε εγκατασταθεί 0.85m πάνω από την οροφή του θαλάμου και λειτουργούσε με συχνότητα 25 frames per second και ανάλυση 1440x1080 pixels.

2.2. Πειράματα

Πραγματοποιήθηκαν δύο τύποι πειραμάτων. Στον πρώτο, στόχος ήταν να εξετασθούν οι αποκρίσεις κινητικότητας σε βηματικές μεταβολές στη ηλεκτρική ισχύ για σταθερό ρυθμό αερισμού (Διάγραμμα 2.1.).

Στο δεύτερο, στόχος ήταν να εξετασθούν οι αποκρίσεις κινητικότητας σε βηματικές μεταβολές στη θερμική ισχύ για διαφορετικές βηματικές μεταβολές στο ρυθμό αερισμού (Διάγραμμα 2.1.). Έτσι, η κινητικότητα των κοτόπουλων μπορούσε να εξετασθεί κάτω από συνθήκες θερμικής άνεσης, καταπόνησης λόγω ζέστης και καταπόνησης λόγω κρύου.

Τα πειράματα έγιναν πάνω σε διαφορετικές ομάδες 9 κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής (εκτροφή: Ross 308). Οι ηλικίες που εξετάστηκαν ήταν 4 και 5 ημερών. Κάθε πειραματική εκτέλεση λάμβανε χώρα με διαφορετική ομάδα πτηνών τα οποία ήταν ελεύθερα να κινηθούν μέσα στο θάλαμο.



Διάγραμμα 2.1. Οι βηματικές μεταβολές του αναλογικού δυναμικού θέρμανσης και του αναλογικού δυναμικού του ανεμιστήρα για τις δύο πειραματικές εκτελέσεις.

2.3. Μέθοδοι Ανάλυσης

2.3.1. Επεξεργασία εικόνων

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν το σύστημα EyeNamic που αναπτύχθηκε από τους Leroy et al. (2008). Δύο παράμετροι εισήχθησαν για τη μέτρηση της αντίδρασης των κοτόπουλων στους

παράγοντες θέρμανσης και αερισμού: ο δείκτης κινητικότητας και ο δείκτης επικάλυψης επιφανείας. Ο δείκτης κινητικότητας αποτελεί μία μέτρηση του πώς οι εντάσεις των pixels διαφέρουν μεταξύ διαδοχικών λήψεων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της κινητικότητας. Ο δείκτης επικάλυψης επιφανείας αντιπροσωπεύει το ποσοστό της επιφανείας του θαλάμου που καλύπτεται από τα κοτόπουλα. Και οι δύο δείκτες ορίζονται για κάθε χρονική στιγμή και για τις ανάγκες υπολογισμού τους η επιφάνεια του θαλάμου χωρίστηκε σε 9 ίσες φανταστικές ζώνες

2.3.2. Προσέγγιση Μηχανιστικής Μοντελοποίησης Δεδομένων (DBM)

Η στρατηγική της μηχανιστικής μοντελοποίησης δεδομένων (DBM) μπορεί να χωριστεί σε διαφορετικές φάσεις οι οποίες εξετάζονται από τον Young (2011). Το πρώτο και σημαντικότερο βήμα είναι ο καθορισμός των στόχων της ανάλυσης καθώς και του τύπου μαθηματικού μοντέλου που είναι κατάλληλο για την πραγματοποίηση των στόχων αυτών.

Πρώτος στόχος ήταν ο συσχετισμός των ζωνικών και ολικών δεικτών κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας με μεταβολές στη μέση ζωνική και ολική θερμοκρασία του θαλάμου που προκλήθηκαν από βηματικές μεταβολές (αύξηση και μείωση) στην καταναλωμένη ηλεκτρική ισχύ. Κατά τη βηματική αύξηση στην ηλεκτρική ισχύ, υπήρχε η πρόθεση τα κοτόπουλα να βιώσουν καταπόνηση λόγω ζέστης. Για κοτόπουλα 3 ημερών, αυτό συμβαίνει όταν αισθάνονται θερμοκρασίες υψηλότερες των 36°C (Cangar, 2011). Κατά τη βηματική μείωση στην ηλεκτρική ισχύ, υπήρχε η πρόθεση να βιώσουν καταπόνηση λόγω κρύου. Για κοτόπουλα 3 ημερών, αυτό συμβαίνει όταν αισθάνονται θερμοκρασίες χαμηλότερες των 33°C (Cangar, 2011).

Δεύτερος στόχος ήταν ο συσχετισμός των ζωνικών και ολικών δεικτών κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας με μία βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού τόσο όταν τα κοτόπουλα βίωναν κατάσταση καταπόνησης λόγω ζέστης όσο και κατάσταση καταπόνησης λόγω κρύου.

Τα δείγματα εικόνας και δεδομένων καταγράφονταν κάθε δευτερόλεπτο ή σε διακριτές χρονικές στιγμές υποδηλώνοντας ότι μία ιδανική κατηγορία μαθηματικών μοντέλων για την περιγραφή της συμπεριφοράς του συστήματος είναι τα μοντέλα Συναρτήσεων Μεταφοράς Διακριτού Χρόνου (Discrete-Time Transfer Function). Τα μοντέλα αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικά για αυτή την προσέγγιση μοντελοποίησης καθώς και για τον Έλεγχο Προβλεπτικού Μοντέλου (MPC) ενός συστήματος (Pedregal et al., 2007). Για τις ανάγκες της παρούσας ανάλυσης χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί ο τύπος μοντέλων μίας εισόδου, μίας εξόδου (SISO).

Η μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες συναρτήσεις του CAPTAIN Toolbox (Pedregal et al., 2007) σε περιβάλλον εργασίας MATLAB. Για τον 1^ο στόχο, η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας (ζωνικής και

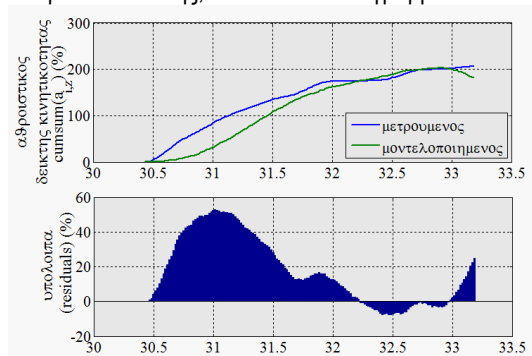
ολικής) τέθηκε ως μεταβλητή εισόδου, ενώ σαν μεταβλητές εξόδου τέθηκαν ο αθροιστικός δείκτης κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας. Για την εκπλήρωση του 2^{ου} στόχου, η βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού τέθηκε ως μεταβλητή εισόδου, ενώ ξανατέθηκαν ως μεταβλητές εξόδου ο αθροιστικός δείκτης κινητικότητας και επικάλυψης επιφανείας. Δύο στατιστικά κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν για την ταυτοποίηση των κατάλληλων μοντέλων, ο Συντελεστής Προσδιορισμού R^2 και το Κριτήριο Ταυτοποίησης του Young (YIC). Επιπλέον, για την εγκυρότητα των μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν τα διαγράμματα των εκτιμώμενων υπολοίπων των μοντέλων σε συνάρτηση του χρόνου. Περισσότερες πληροφορίες για την εκτίμηση των παραμέτρων των μοντέλων αυτών, τα κριτήρια ταυτοποίησής τους, καθώς και για την εγκυρότητά τους είναι διαθέσιμες στο βιβλίο του Young (2011).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μεταβλητή αθροιστικός δείκτης κινητικότητας $cumsum(a_i(k))$ (και ο αντίστοιχος δείκτης για την επικάλυψη επιφανείας, $cumsum(o_i(k))$ λόγω του ορισμού της αντιπροσωπεύει τη χρονική εξέλιξη του δείκτη κινητικότητας και η χρήση της σαν μεταβλητή εξόδου είναι ισοδύναμη με τη χρήση του δείκτη κινητικότητας.

3.1. Βηματική αύξηση και μείωση στην ηλεκτρική ισχύ

Για την χρονική περίοδο βηματικής αύξησης της ηλεκτρικής ισχύος που εξετάστηκε, παρατηρήθηκε ότι τα πηγάδι κινούνται μόνο στις φανταστικές ζώνες κοντά στην πηγή θερμότητας. Παρόλα αυτά, η κινητικότητά τους ήταν χαμηλή. Το προσαρμοσμένο μοντέλο για μία από αυτές τις ζώνες και τα υπόλοιπα του μοντέλου αυτής, δίνονται στο Διάγραμμα 3.1.



Διάγραμμα 3.1. Ο μετρούμενος και ο μοντελοποιημένος αθροιστικός δείκτης κινητικότητας και το αντίστοιχο διάγραμμα υπολοίπων για μία από τις ζώνες κοντά στην πηγή θερμότητας.

Παρότι η προσαρμογή του μοντέλου είναι ικανοποιητική ($R^2=89.43\%$), το μοντέλο δεν είναι έγκυρο εφόσον τα υπόλοιπα δε φαίνονται να κατανέμονται κανονικά γύρω από το μηδέν. Το ίδιο παρατηρήθηκε και για τις άλλες δύο ζώνες, όπως και στην περίπτωση του αθροιστικού δείκτη επικάλυψης επιφανείας $cumsum(o_i(k))$. Το γεγονός ότι τα μοντέλα αυτά δεν είναι έγκυρα μπορεί να αποδοθεί στην πολύ μικρή χρονική περίοδο για την οποία έγινε η

μοντελοποίηση, μέσα στην οποία τα κοτόπουλα δεν μπορούν αποκριθούν ξεκάθαρα στην αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό πιθανώς συμβαίνει λόγω της χαμηλής θερμορυθμιστικής τους δυνατότητας που οφείλεται στο μικρό της ηλικίας τους (Cangar, 2011). Έτσι, πιθανώς να χρειάζονται περισσότερο χρόνο έκθεσης σε συνθήκες καταπόνησης λόγω ζέστης για να ανταποκριθούν.

Για τη χρονική περίοδο βηματικής μείωσης της ηλεκτρικής ισχύος, παρατηρήθηκε ότι στις ζώνες κοντά στην πηγή θερμότητας υπήρχε αυξητική τάση της κινητικότητας των κοτόπουλων για τα πρώτα 4-5 λεπτά μετά την εφαρμογή της μεταβολής και τάση μείωσης από εκεί και μετά. Επιπλέον, όλες οι ζώνες ήταν ομοιόμορφα καλυμμένες αλλά κοντά στο τέλος της περιόδου μοντελοποίησης παρατηρήθηκε συγκέντρωση των κοτόπουλων στις ζώνες κοντύτερα στην εισροή αέρα, συμπεριφορά που αναμενόταν. Σχεδόν όλα τα μοντέλα έδειξαν δυναμική απόκριση 1^{ης} τάξης (αλλά διαφορετικές δομές μοντέλων) τόσο για τον αθροιστικό δείκτη κινητικότητας όσο και για αυτόν της επικάλυψης επιφανείας και σχεδόν όλα βρέθηκαν έγκυρα. Το έγκυρο μοντέλο που αντιστοιχεί στον ολικό αθροιστικό δείκτη κινητικότητας μπορεί να γραφεί ως εξής ($R^2 = 0.983$):

$$y(k) = -a_1 \cdot y(k-1) + b_3 \cdot u(k-3) + b_4 \cdot u(k-4) \quad (3.1.)$$

Στην εξίσωση (3.1.), $y(k)$ είναι η μεταβλητή εξόδου του συστήματος (ολικός αθροιστικός δείκτης κινητικότητας) και $u(k)$ η μεταβλητή εισόδου του συστήματος (μέση θερμοκρασία θαλάμου). Η τιμή της παραμέτρου a_1 αντιπροσωπεύει την επίδραση της κινητικότητας των κοτόπουλων, την προηγούμενη χρονική στιγμή, στην επιθυμία τους να μεταβάλουν τη κινητικότητά τους μέσα στο θάλαμο, την τρέχουσα χρονική στιγμή. Η τιμή της παραμέτρου b_3 αντιπροσωπεύει την επίδραση της μέσης θερμοκρασίας θαλάμου, 3 χρονικές στιγμές νωρίτερα, στην επιθυμία τους να μεταβάλουν τη κινητικότητά τους στο θάλαμο, την τρέχουσα χρονική στιγμή. Όμοια εξήγηση μπορεί να δοθεί και για την τιμή της παραμέτρου b_4 .

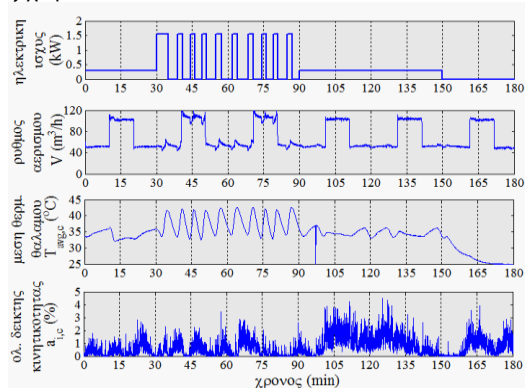
3.2. Βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού

Κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω ζέστης, μετά την εφαρμογή της βηματικής αύξησης, δε φάνηκε να μεταβάλλεται η κινητικότητά τους σε καμία από τις ζώνες. Ήταν λοιπόν λογικό το γεγονός ότι κανένα από τα μοντέλα συσχέτισης τόσο του αθροιστικού δείκτη κινητικότητας όσο και αυτού της επικάλυψης επιφανείας με την βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού, δεν ήταν έγκυρο. Ξανά η μικρή περίοδος έκθεσης στο συνδυασμό αυξημένου ρυθμού αερισμού και υψηλής θερμοκρασίας μπορεί να θεωρηθεί ως μία σημαντική αιτία για την μη-εγκυρότητα των μοντέλων (Διάγραμμα 3.2).

Κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρύου, τα περισσότερα μοντέλα που συσχετίζουν τον αθροιστικό δείκτη κινητικότητας με τη βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού είναι συναρτήσεις μεταφοράς 1^{ης} τάξης, με υψηλούς R^2 και έγκυρα. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του ολικού

αθροιστικού δείκτη κινητικότητας ($R^2 = 0.960$). Παρόλα αυτά η βηματική αύξηση του ρυθμού αερισμού δε φάνηκε να επιρρεάζει το δείκτη επικάλυψης επιφανείας (μη-έγκυρα μοντέλα), αλλά υπήρχε η τάση τα πτηνά να κινούνται για να έρθουν όσο το δυνατόν πιο κοντά, πιθανόν για να ελαττώσουν όσο το δυνατό περισσότερο την επιφάνεια του σώματός τους σε επαφή με τον αέρα.

Στην πράξη, έγινε ένα πρώτο βήμα πρόβλεψης της κινητικότητας από την ηλεκτρική ισχύ θέρμανσης και το ρυθμό αερισμού, ξεχωριστά, κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρούς και για τις συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες. Σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής, είναι απαραίτητη η συνεχής και ταυτόχρονη μέτρηση σε πραγματικό χρόνο και με αξιόπιστους αισθητήρες όλων των παραγόντων από τους οποίους εξαρτάται η κινητικότητα όπως και η συνεχής αναπροσαρμογή των μοντέλων πρόβλεψης, σύμφωνα με τις ανάγκες της διεργασίας που έχει ως κέντρο κάθε ζώο ξεχωριστά.



Διάγραμμα 3.2. Η χρονική εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας θαλάμου ($T_{avg,c}$) και του ολικού δείκτη κινητικότητας ($a_{i,c}$) σε σχέση με τις βηματικές μεταβολές της ηλεκτρικής ισχύος και του ρυθμού αερισμού.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για τις περιόδους μοντελοποίησης κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω ζέστης βρέθηκαν μοντέλα μη-έγκυρα, τόσο για την ηλεκτρική ισχύ όσο και για ρυθμό αερισμού ως μεταβλητές εισόδου. Αυτό αποδόθηκε στη μικρή χρονική περίοδο έκθεσης και στη χαμηλή θερμορυθμιστική ικανότητα των κοτόπουλων τόσο μικρής ηλικίας. Για τις περιόδους μοντελοποίησης κάτω από συνθήκες καταπόνησης λόγω κρούς βρέθηκαν 1ης τάξης συναρτήσεις μεταφοράς συσχέτισης του ολικού αθροιστικού δείκτη κινητικότητας τόσο με την ηλεκτρική ισχύ όσο και με τη ρυθμό αερισμού ως μεταβλητές εισόδου. Τα μοντέλα αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς Ελέγχου Προβλεπτικού Μοντέλου της κινητικότητας μέσα στον μικρό αυτό θάλαμο, λόγω του ότι είναι απλά και έχουν φυσική ερμηνεία. Παρόλα αυτά, πρόσθετα πειράματα στα οποία τα κοτόπουλα θα εκτίθενται σε μεγαλύτερες χρονικές περιόδους καταπόνησης λόγω ζέστης είναι απαραίτητα για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Η προσαρμογή των πειραμάτων σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής και η ενδεχόμενη προσθήκη επιπλέον παραμέτρων (π.χ. σχετική υγρασία, πυκνότητα ζωικού κεφαλαίου), θα μπορούσε να οδηγήσει σε μοντέλα πρόβλεψης βάσει των οποίων η καταγραφή της κινητικότητας και της επικάλυψης επιφανείας θα κινητοποιεί αυτόματο σύστημα ρύθμισης των παραμέτρων αυτών με στόχο τη συνεχή θερμική άνεση των πτηνών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aerts, J.M., Berckmans, D., Saevels, P., Decuypere, E., Buyse, J., 2000. Modelling the static and dynamic responses of total heat production of broiler chickens to step changes in air temperature and light intensity. *British Poultry Science* 41, 651-659.
- Aerts, J.M., Van Buggenhout, S., Vranken, E., Lippens, M., Buyse, J., Decuypere, E., Berckmans, D., 2003a. Active control of the growth trajectory of broiler chickens based on online animal responses. *Poultry Science* 82, 1853-1862.
- Aerts, J.M., Wathes, C.M., Berckmans, D., 2003b. Dynamic data-based modelling of heat production and growth of broiler chickens: Development of an integrated management system. *Biosystems engineering* 84, 257-266.
- Bizeray, D., Estevez, I., Leterrier, C., Faure, J.M., 2002. Influence of increased environmental complexity on leg condition, performance, and level of fearfulness in broilers. *Poultry Science* 81, 767-773.
- Cangar, Ö., 2011. Monitoring and control applications in determination of health and welfare related behavioural aspects of livestock. Department of Biosystems. Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, p. 244.
- Kristensen, H.H., Aerts, J.M., Leroy, T., Wathes, C.M., Berckmans, D., 2006. Modelling the dynamic activity of broiler chickens in response to step-wise changes in light intensity. *Appl Anim Behav Sci* 101, 125-143.
- Leroy, T., Borgonovo, F., Costa, A., Aerts, J.M., Guarino, M., Berckmans, D., 2008. Real-time measurement of pig activity in practical conditions. *Livestock Environment VIII : ASABE 8. International Symposium. ASABE*, pp. 12 - 12.
- Pedregal, D.J., Taylor, C.J., Young, P.C., 2007. System Identification, Time Series Analysis and Forecasting. *The Captain Toolbox*. Lancaster University, Lancaster, United Kingdom.
- Prayitno, D.S., Phillips, C.J.C., Stokes, D.K., 1997. The effects of color and intensity of light on behavior and leg disorders in broiler chickens. *Poultry Science* 76, 1674-1681.
- Young, P.C., 2006. The data-based mechanistic approach to the modelling, forecasting and control of environmental systems. *Annual Reviews in Control* 30, 169-182.
- Young, P.C., 2011. Recursive Estimation and Time-Series Analysis. *An Introduction for the Student and Practitioner*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΥΠΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΒΕΝΖΙΝΗΣ – ΒΙΟΑΛΚΟΟΛΩΝ ΣΕ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Ξανθούλα-Ειρήνη Πανταζή¹, Δημήτριος Μόσχου¹, Δημήτριος Κατέρης¹, Ιωάννης Γράβαλος², Παναγιώτης Ξυραδάκης¹

¹Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Εγνατίας ΡΟ 275 ,Τ.Κ 54124, Θεσσαλονίκη

²Τ.Ε.Ι. Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Τ.Κ 41110, Λάρισα

Στην παρούσα μελέτη, περιγράφεται αναλυτικά η πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς των δονήσεων ενός μονοκύλινδρου τετράχρονου κινητήρα εσωτερικής καύσης τροφοδοτούμενου με μίγματα βενζίνης, αιθανόλης και μεθανόλης με εφαρμογή Ταξινομητών Προτύπου (Pattern Classifiers). Χρησιμοποιήθηκαν οι τρεις παρακάτω τύποι μίγματος καυσίμου: αμόλυβδη βενζίνη ως βασικό καύσιμο για τη σύγκριση μίγματος των δύο αλκοολών, αιθανόλη και μεθανόλη σε ανάμιξη με βενζίνη σε ποσοστό αναλογίας της τάξεως 10%, 20% και 30%. Στον κινητήρα πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στα 1000, 1300, 1600 και 1900 rpm. Η συλλογή των μετρήσεων έγινε από τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο. Χαρακτηριστικά στοιχεία ως προς το χρόνο και τη συχνότητα υπολογίστηκαν από τα σήματα τα οποία ελήφθησαν. Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις ταξινομητές (Γραμμική Διακρίνουσα, Τετραγωνική Διακρίνουσα, Ταξινομητής τύπου Bayes, Ταξινομητής Πλησιέστερης Γειτνίασης). Οι ταξινομητές είχαν τη δυνατότητα να αναγνωρίσουν το τύπο του μίγματος σε τρεις κατηγορίες ως εξής: το διαχωρισμό της αμόλυβδης βενζίνης από το μίγμα καυσίμου αμόλυβδης βενζίνης-μεθανόλης και του μίγματος αμόλυβδης βενζίνης-αιθανόλης αντίστοιχα. Επιπλέον, κατέστη δυνατή η διάγνωση της αναλογίας του μίγματος ως προς το ποσοστό αναλογίας πρόσμιξης αμόλυβδης βενζίνης –βιοαλκοόλης με διαχωρισμό σε επτά κατηγορίες. Ο Διαχωρισμός σε τρεις κατηγορίες έδωσε καλύτερα αποτελέσματα σε ό,τι αφορούσε την αναγνώριση της αμόλυβδης βενζίνης, ενώ από την άλλη, ο Διαχωρισμός σε επτά κατηγορίες ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματικός ως προς την αναγνώριση του ποσοστού των αναλογιών πρόσμιξης.

Λέξεις κλειδιά: δόνηση, μίγμα καυσίμου, βιοκαύσιμο, μηχανική εκμάθηση

AUTOMATIC IDENTIFICATION OF GASOLINE- BIOALCOHOL MIXTURE TYPE IN FOUR STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINES USING PATTERN CLASSIFIERS

Xanthoula-Eirini Pantazi¹, Dimitrios Moshou¹, Dimitrios Kateris¹, Ioannis Gravalos², Panagiotis Xyradakis¹

¹Aristotle University of Thessaloniki, School of Department of Hydraulics, Soil Science and Agriculture Engineering, Laboratory of Agricultural Engineering, P.O 275 54 124, Thessaloniki, Greece

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

renepantazi@gmail.com, dmoshou@auth.gr

In this study, detailed experimental investigation of the vibrational behavior of a single-cylinder four-stroke internal combustion engine fueled with blends of gasoline, ethanol and methanol by applying Pattern Classifiers is carried out. Three types of the fuel were utilized: unleaded gasoline base fuel as compared to the mixture of the two alcohols, ethanol and methanol in admixture with gasoline as a percentage ratio of around 10%, 20% and 30%. The motor tests were performed at 1000, 1300, 1600 and 1900 rpm. The measurements were received by a triaxial accelerometer. Features related to time and frequencies were calculated from the recorded signals. Four Pattern Classifiers were used (Linear Discriminant Classifier, Quadratic Discriminant Classifier, Naive Bayes Classifier, and Nearest-Neighbor Classifier). These Classifiers were capable of recognizing the mixture type into three categories as follows: the separation of unleaded gasoline from the unleaded gasoline-methanol mixture and the mixture of unleaded gasoline and ethanol respectively. The separation in three categories gave better results concerning the recognition of unleaded gasoline, while the separation in seven categories was particularly effective regarding the percentage ratio of alcohol-gasoline admixture.

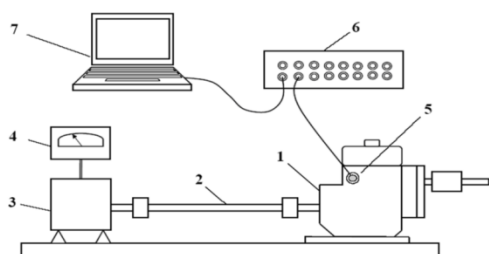
Keywords: vibration, fuel blend, biofuel, machine learning

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βιοκαύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε έναν αριθμό τρόπων. Μία δυνατότητα που υπάρχει αφορά την παραγωγή υγρών ή αέριων βιοκαυσίμων τα οποία μπορούν να τροφοδοτηθούν σε κινητήρες που χρησιμοποιούν συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Τα βιοκαύσιμα περιλαμβάνουν επίσης αλκοόλες, όπως αιθανόλη και μεθανόλη. Η σακχαρόζη και το άμυλο μπορούν να μετατραπούν σε αιθανόλη με υδρόλυση και ζύμωση. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα μετατροπής ζάχαρης σε αιθανόλη με ζύμωση είτε

από τυρόγαλο και άμυλο, ή ζάχαρη από απόβλητα (Prasad et al., 2007). Η μεθανόλη μπορεί να παραχθεί με αποδεκτό κόστος ενέργειας μέσω αερίου σύνθεσης από syngas ή βιομάζα η οποία παράγεται από γλυκερίνη (Huber et al., 2006). Επιπλέον, το μεθάνιο μπορεί να μετατραπεί απευθείας σε μεθανόλη (Cantrell et al, 2008). Τα μίγματα βενζίνης-αλκοολών αποτέλεσαν αντικείμενο έρευνας στη δεκαετία του 1980 και έχει αποδειχθεί ότι τα μίγματα αιθανόλης και μεθανόλης και βενζίνης ήταν τεχνικά αποδεκτά για την υπάρχουσα τεχνολογία κινητήρων SI. Οι Abdel-Rahman και

Osman (1997) διεξήγαγαν δοκιμές απόδοσης χρησιμοποιώντας διαφορετικά ποσοστά αιθανόλης έχοντας ως βασικό καύσιμο βενζίνη, μέχρι 40% κατ'όγκο, υπό μεταβλητές αναλογίες συμπίεσης. Ο Al-Hasan (2002) έδειξε ότι η ανάμιξη αμόλυβδης βενζίνης με αιθανόλη αύξησε την ισχύ πέδησης, τη ροπή, την ογκομετρική και θερμική απόδοση υπό πέδηση και την κατανάλωση καυσίμου, ενώ μειώθηκε το φρένο ειδικής κατανάλωσης του καυσίμου και της ισοδυναμίας του ποσοστού αναλογίας μεταξύ αέρα-καυσίμου. Αν και οι επιπτώσεις από τη χρήση αλκοολών για την απόδοση του κινητήρα ανάφλεξης με σπινθήρα και των εκπομπών αυτού έχουν διερευνηθεί διεξοδικά, έχει γίνει πολύ λίγη έρευνα όσο αφορά συμπεριφορά των δονήσεων του κινητήρα. Οι Othmanetal. (Othman et al., 1998) διερεύνησαν τις δονήσεις που παράγονται από διάφορους τύπους καυσίμου, όπως η κηροζίνη, το φυσικό αέριο, το μείγμα ελαίου, η μεθανόλη, και το μίγμα μεθανόλης-κηροζίνης, χρησιμοποιώντας ένα απλό μηχανισμό αεροσυμπίεστη και φόρτιση δυναμόμετρο. Τα μοτίβα δόνησης για όλο το εύρος των συνθηκών λειτουργίας λήφθηκαν με ένα αναλυτή φάσματος πραγματικού χρόνου. Ακόμα, διαπιστώθηκε ότι οι ταλαντώσεις καύσης αυξήθηκαν με την αναλογία άνθρακα-υδρογόνου στο καύσιμο. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι η συχνότητα και το πλάτος των θεμελιωδών αρμονικών μειώθηκαν με την αύξηση του φορτίου. Απεδείχθη ότι τα επίπεδα δονήσεων που επάχθηκαν από την καύση σε μια μηχανή θα μπορούσαν να προβλεφθούν για ταχύτητες και καύσιμα εκτός σχεδιασμού. Αυτό θα μπορούσε να είναι χρήσιμο για σχεδιασμό και διαγνωστικούς σκοπούς. Ο Keskin (2010), ερεύνησε τα αποτελέσματα των μιγμάτων αιθανόλης-βενζίνης-ελαίου σχετικά με τα χαρακτηριστικά δόνησης του κινητήρα ανάφλεξης με σπινθήρα, καθώς και τις εκπομπές του θορύβου. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι όταν χρησιμοποιήθηκαν μίγματα καυσίμων, τα πλάτη δόνησης και οι εκπομπές θορύβου του κινητήρα έδειξαν μια αυξανόμενη τάση ειδικά στα 1500 και 2500 rpm. Ο συγγραφέας συμπέρανε ότι τα αποτελέσματα πιθανόν οφείλονται στην περιεκτικότητα οξυγόνου



Εικόνα 1: Πειραματική Διάταξη (Gravalos et al. 2013): (1) Κινητήρας, (2) Άξονας, (3) Υδραυλικό Δυναμόμετρο, (4) Μονάδα Ελέγχου Δυναμόμετρου, (5) Τριαξονικό Πιεζοηλεκτρικό Επιταχυνσιόμετρο, (6) Αναλυτής Δονήσεων, (7) Φορητός Υπολογιστής.

και στην υψηλότερη λανθάνουσα θερμότητα εξαμίσσεως της αιθανόλης, λόγω της οποίας η αύξηση του συντελεστή πίεσης και οι μέγιστες τιμές πίεσης στον κύλινδρο αυξάνονται κατά τις διαδικασίες καύσης. Στους Gravalos et al. (2013) γίνεται αναγνώριση μίγματος αμόλυβδης βενζίνης από μίγμα βενζίνης με αλκοόλες (μεθανόλη και αιθανόλη) με βάση τη συμπεριφορά των δονήσεων. Κατά τους Gravalos et al. (2013) η προκαταρκτική ανάλυση χρονοσειρών έδειξε ότι μεταξύ των περιπτώσεων μιγμάτων που εξετάστηκαν σημαντικές διαφορές σημάτων λαμβάνονται μόνο κατά τη διεύθυνση του κάθετου άξονα (z). Διαφορές σημάτων κατά τη διεύθυνση του στροφαλοφόρου ελαπώνονται δραστικά ενώ οι διαφορές κατά τον άξονα των y (κάθετα στις παρειές) είναι σχεδόν ανύπαρκτες. Κύριος στόχος της παρούσας εργασίας, είναι η αναγνώριση του τύπου του καυσίμου μεταξύ αμόλυβδης βενζίνης, μεθανόλης και αιθανόλης και αναγνώρισης τόσο της καθαρής αμόλυβδης βενζίνης όσο και της αναλογίας πρόσμιξης αυτής με τις δύο αλκοόλες, μεθανόλη και αιθανόλη (σε αναλογία πρόσμιξης 10, 20 και 30%) κάνοντας χρήση Ταξινομητών Προτύπου (Pattern Classifiers).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πειραματική Διάταξη

Η πειραματική διάταξη η οποία χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη αποτελούνταν από μια μηχανή εσωτερικής καύσης με ανάφλεξη σπινθήρα, ένα υδραυλικό δυναμόμετρο και έναν αισθητήρα δονήσεων συνδεδεμένο σε ένα υλικό απόκτησης σημάτων. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε. Αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν από τις δονήσεις που κατέγραψε το επιταχυνσιόμετρο κατά τη λειτουργία του κινητήρα και αφορούσαν την σύντηξη δεδομένων και ως προς τους τρεις άξονες. Η επιλογή αυτή πραγματοποιήθηκε διότι τα δεδομένα που προέκυπταν από τον κάθε άξονα του επιταχυνσιόμετρου, δεν ήταν δυνατόν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σχετικά με την ταυτόχρονη αναγνώριση της αμόλυβδης βενζίνης και των δύο αλκοολών με επιτυχή τρόπο.

Χρησιμοποιήθηκαν οι τρεις παρακάτω τύποι μίγματος καυσίμου: αμόλυβδη βενζίνη ως βασικό καύσιμο για τη σύγκριση μίγματος των δύο αλκοολών, αιθανόλη και μεθανόλη σε ανάμιξη με βενζίνη σε ποσοστό αναλογίας της τάξεως 10%, 20% και 30%. Στον κινητήρα πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στα 1000, 1300, 1600 και 1900 rpm. Η συλλογή των μετρήσεων έγινε από τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα τα οποία κάλυπταν τους τρεις άξονες x,y,z. Χαρακτηριστικά στοιχεία ως προς το χρόνο και τη συχνότητα υπολογίστηκαν από τα σήματα τα οποία ελήφθησαν.

2.2. Επεξεργασία Σήματος

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν είκοσι τέσσερις (24) χαρακτηριστικές παράμετροι,

εκ των οποίων οι δώδεκα σχετίζονται με τη διάσταση του χρόνου (T1-T12), οι υπόλοιποι δώδεκα με τη

2.3. Ταξινόμηση κατά Bayes

Ο ταξινομητής προτύπων (pattern classifier) κατατάσσει το διάνυσμα μέτρησης στην τάξη που αποδοθεί στο αντικείμενο. Αυτό επιτυγχάνεται από την αποκαλούμενη συνάρτηση απόφασης $\hat{\omega}(\cdot)$ η οποία απεικονίζει το χώρο μετρήσεων στο χώρο πιθανών τάξεων. Αφότου το z είναι ένα N -διάστατο διάνυσμα η συνάρτηση απεικονίζει το R^N στο Ω . Όμως, πρώτα θα πρέπει να εξαχθεί μια άλλη πιθανότητα. Η εκ των υστέρων πιθανότητα $P(\omega_k|z)$ είναι η πιθανότητα του να ανήκει ένα αντικείμενο στην τάξη k , δεδομένου ότι το διάνυσμα μέτρησης που συνδέεται με αυτό το αντικείμενο είναι το διάνυσμα μέτρησης z . Σύμφωνα με το θεώρημα Bayes για δεσμευμένες πιθανότητες έχουμε:

$$P(\omega_k | z) = \frac{p(z | \omega_k)P(\omega_k)}{p(z)} \quad (1)$$

Εάν ένας τυχαίος ταξινομητής απονέμει μια τάξη σε ένα διάνυσμα μέτρησης το οποίο προέρχεται από ένα αντικείμενο με πραγματική τάξη ω_k τότε προκύπτει ένα κόστος $C(\hat{\omega}_i | \omega_k)$. Η εκ των υστέρων πιθανότητα ύπαρξης ενός τέτοιου αντικείμενου είναι $P(\omega_k|z)$. Οπότε η αναμενόμενη τιμή θα είναι:

$$R(\hat{\omega}_i | z) = E[C(\hat{\omega}_i | \omega_k) | z] = \sum_{k=1}^K [C(\omega_i | \omega_k) | z] \quad (2)$$

Αυτή η ποσότητα αποκαλείται δεσμευμένο ρίσκο. Εκφράζει το αναμενόμενο κόστος $\hat{\omega}_i$ της αποδιδόμενης τάξης σε ένα αντικείμενο του οποίου το διάνυσμα μέτρησης είναι z . Το δεσμευμένο ρίσκο μιας συνάρτησης απόφασης $\hat{\omega}(z)$ είναι $R(\hat{\omega}(z) | z)$. Το συνολικό ρίσκο μπορεί να βρεθεί παίρνοντας το μέσο όρο του δεσμευμένου ρίσκου από όλα τα πιθανά διανύσματα μέτρησης.

$$R = E[R(\hat{\omega}(z) | z)] = \int_z R(\hat{\omega}(z) | z) p(z) dz \quad (3)$$

Ο βέλτιστος ταξινομητής είναι αυτός που έχει ελάχιστο ρίσκο R . Η συνάρτηση απόφασης που ελαχιστοποιεί το συνολικό ρίσκο είναι η ίδια που ελαχιστοποιεί το δεσμευμένο ρίσκο. Άρα ο ταξινομητής Bayes (Naïve Bayesian Classifier - Naivebc) παίρνει τη μορφή:

$$\hat{\omega}_{BAYES}(z) = \hat{\omega}_i \quad (4)$$

Αυτό μπορεί να εκφραστεί πιο περιληπτικά ως εξής:

$$\hat{\omega}_{BAYES}(x) = \arg \min_{\omega \in \Omega} \{R(\omega | z)\} \quad (5)$$

Η έκφραση $\arg \min\{\}$ παρέχει το στοιχείο ω που ελαχιστοποιεί το $R(\omega|z)$.

2.4. Μέθοδος του Πλησιέστερου Γείτονα (Nearest neighbor method)

Η δεύτερη μέθοδος είναι η μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα (Duda and Hart, 1973), η

διάσταση της συχνότητας (F1-F12) (Lei, He & Zi, 2008; Moshou, Kateris, Gravalos et al., 2010).

επονομαζόμενη και ως NN-d (Tax, 2001) ή KNNC (K-nearest neighbor classifier). Μπορεί να προέρχεται από μια τοπική εκτίμηση πυκνότητας από τον ταξινομητή του πλησιέστερου γύρω από ένα αντικείμενο προς δοκιμή z . Ο όγκος αυτού του χωρικού τομέα διογκώνεται μέχρι να συλλάβει k αντικείμενα από το σύνολο εκπαίδευσης. Η τοπική πυκνότητα υπολογίζεται κατόπιν από (Tax, 2001):

$$P_{NN}(z) = \frac{k / N}{V_k (|| z - NN_k^r(z) ||)} \quad (6)$$

Η μέθοδος αποφεύγει τη ρητή εκτίμηση πυκνότητας και χρησιμοποιεί μόνο αποστάσεις προς τον πρώτο πλησιέστερο γείτονα. Στην εκτίμηση πυκνότητας του πλησιέστερου γείτονα ένας χωρικός τομέας ο οποίος είναι συχνά μια υπερσφαίρα σε d διαστάσεις, επικεντρώνεται Όπου το NN_R^t είναι ο πλησιέστερος γείτονας k στο σύνολο εκπαίδευσης z και V_k είναι ο όγκος του χωρικού τομέα ο οποίος περιέχει το αντικείμενο.

2.5 Συναρτήσεις Γραμμικής Διάκρισης

Μια υπόθεση που διατυπώνεται συχνά είναι ότι τα δείγματα στο σύνολο εκπαίδευσης που μπορούν να ταξινομηθούν σωστά με γραμμικά όρια απόφασης. Στην περίπτωση αυτή, οι συναρτήσεις διάκρισης έχουν τη μορφή:

$$g_k(z) = w_k^T z + w_k \quad (7)$$

Οι συναρτήσεις του τύπου αυτού ονομάζονται γραμμικές συναρτήσεις διάκρισης (linear discriminant functions) και προκύπτει ο Linear Discriminant Classifier (LDC).

2.6 Τετραγωνική Διακριτική Ανάλυση (Quadratic Discriminant Analysis (QDA))

Η τετραγωνική διακριτική ανάλυση (QDA), βασίζεται στον κανόνα απόφασης του Bayes. Ένα αντικείμενο ταξινομείται στην τάξη, η οποία μεγιστοποιεί την εκ των υστέρων πιθανότητα. Κάθε τάξη έχει ένα μοναδικό πίνακα συν-διακύμανσης και επιπλέον διαφορετικές πιθανότητες πυκνότητας τάξης (class density probabilities). Η πιθανότητα κατάταξης P_c για την τάξη c μεγέθους n_c ορίζεται μέσα από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$P_c = (x_{i,c} - \bar{x}_c)^T \sum_c^{-1} (x_{i,c} - \bar{x}_c) + \ln(|\sum_c|) - 2 \ln(p_c)$$

$$\bar{x}_c = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} x_i, \quad \sum_c = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} (x_i - \bar{x}_c)(x_i - \bar{x}_c)^T$$

$$p_c = \frac{n_c}{n} \quad (8)$$

Όπου το \bar{x}_c αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή της μεταβλητής i για τις τάξεις c , p είναι η εκ των προτέρων πιθανότητα και Σ ο πίνακας διακύμανσης.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) παρατίθενται τα ποσοστά επιτυχούς αναγνώρισης των τριών κατηγοριών καυσίμου.

Πίνακας 1. Επιτυχής Αναγνώρισης της αμόλυβδης βενζίνης, μεθανόλης και αιθανόλης από διαφορετικούς Ταξινομητές

Ταξινομητής	Επιτυχής Αναγνώριση Αμόλυβδης Βενζίνης (%)	Επιτυχής Αναγνώριση Μεθανόλης (%)	Επιτυχής Αναγνώριση Αιθανόλης (%)
LDC	76	67,2	62,2
QDC	82	62	56,7
NAIVEBC	64	68,8	13,8
KNNC	45,3	69,4	56,4

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται ποσοστιαίες εκτιμήσεις επιτυχούς αναγνώρισης της αμόλυβδης βενζίνης και του ποσοστού πρόσμιξης των μιγμάτων της μεθανόλης και της αιθανόλης με την αμόλυβδη βενζίνη σε ποσοστά αναλογίας 10, 20 και 30%. Στον πίνακα παρατίθενται τα ποσοστά επιτυχούς αναγνώρισης των τριών κατηγοριών καυσίμου.

Πίνακας 2. Επιτυχής Αναγνώρισης της καθαρής αμόλυβδης βενζίνης και των μιγμάτων αμόλυβδης βενζίνης-μεθανόλης και αμόλυβδης βενζίνης-αιθανόλης σε ποσοστά πρόσμιξης 10,20 και 30% αντίστοιχα από διαφορετικούς Ταξινομητές

Ταξινομητής	Επιτυχής Αναγνώριση αμόλυβδης Βενζίνης (%)	Επιτυχής Αναγνώριση αμ. βενζίνης-μεθανόλης 10(%)	Επιτυχής Αναγνώριση αμ. βενζίνης-μεθανόλης 20(%)	Επιτυχής Αναγνώριση αμ. βενζίνης-μεθανόλης 30(%)
LDC	73	55,64	44,73	11,4
QDC	71,65	48,22	46,86	11,61
NAIVEBC	50,42	37,87	62,56	3,14
KNNC	52,83	39,85	42,83	9,93

Ταξινομητής	Επιτυχής Αναγνώριση αμ. βενζίνης-αιθανόλης 10(%)	Επιτυχής Αναγνώριση αμ. βενζίνης-μεθανόλης 20(%)	Επιτυχής Αναγνώριση αμ. βενζίνης-μεθανόλης 30(%)
LDC	29,5	46,45	27,8
QDC	11,92	51,36	50,63
NAIVEBC	2,62	9,73	7,85
KNNC	19,87	29,81	18,93

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην εργασία Gravalos et al. (2013) γίνεται χρήση μόνο του άξονα z ενώ στην παρούσα εργασία γίνεται χρήση και των τριών αξόνων μέσω σύντηξης δεδομένων. Επίσης, στην εργασία Gravalos et al. (2013), σε σύγκριση με την παρούσα εργασία δεν γίνεται ταξινόμηση με βάση τα ποσοστά μιγμάτων σε 7 κατηγορίες αλλά ούτε και γίνεται αναφορά σε ποσοτικά αποτελέσματα για τον διαχωρισμό των μιγμάτων από την καθαρή αμόλυβδη βενζίνη.

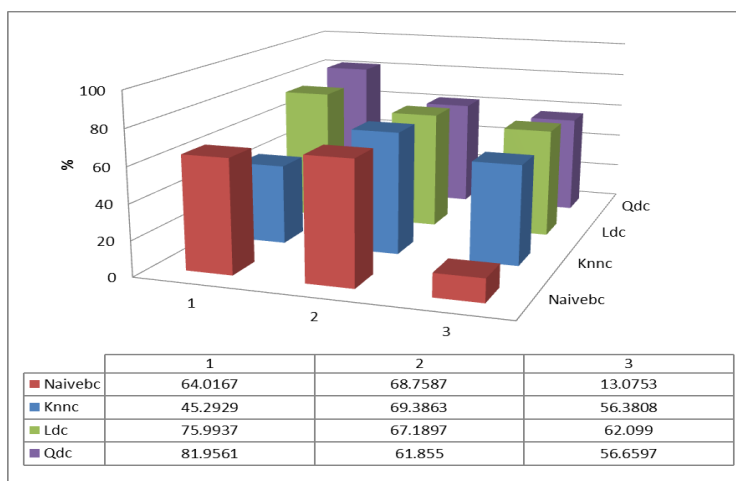
Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 2) η Στήλη με τον αριθμό 1, αντιπροσωπεύει την καθαρή αμόλυβδη βενζίνη και οι Στήλες με τους αριθμούς 2 και 3 την μεθανόλη και αιθανόλη αντίστοιχα. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του παραπάνω διαγράμματος συμπεραίνουμε ότι ο ταξινομητής Qdc και αναγνωρίζει αρκετά καλά και τους τρεις τύπους καυσίμου. Επιπλέον παρατηρείται ότι ο ταξινομητής Naivebc αδυνατεί να αναγνωρίσει την αιθανόλη, ενώ

οι ταξινομητές Ldc και Qdc αναγνωρίζουν την καθαρή αμόλυβδη βενζίνη σε αρκετά ικανοποιητικό ποσοστό. Τέλος, ο ταξινομητής Knc θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μέτριος ταξινομητής και αυτό γιατί αναγνωρίζει σε μέτριο βαθμό τους τρεις τύπους καυσίμου.

Τα αποτελέσματα όσο αφορά την καλύτερη ταξινόμηση της καθαρής αμόλυβδης βενζίνης είναι αναμενόμενα για τον Qdc και Ldc επειδή ως τάξη η καθαρή αμόλυβδη βενζίνη παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιογένεια σε σχέση με τα μίγματα βενζίνης-μεθανόλης, βενζίνης- αιθανόλης. Τα μίγματα βενζίνης-μεθανόλης, βενζίνης-αιθανόλης παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά χαρακτηριστικών επειδή σχηματίζονται από την ομοιοποίηση δεδομένων από τρία διαφορετικά δείγματα που περιέχουν διαφορετικό ποσοστό αλκοολών. Αυτό σημαίνει ότι ο διαχωρισμός αυτών των τάξεων είναι πιο απαιτητικός, δηλαδή ένας μη γραμμικός

διαχωρισμός όπως αυτός της τετραγωνικής διακρίνουσας θα αναμενόταν να δώσει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με το γραμμικό. Η παρουσία της καθαρής αμόλυβδης βενζίνης και ως

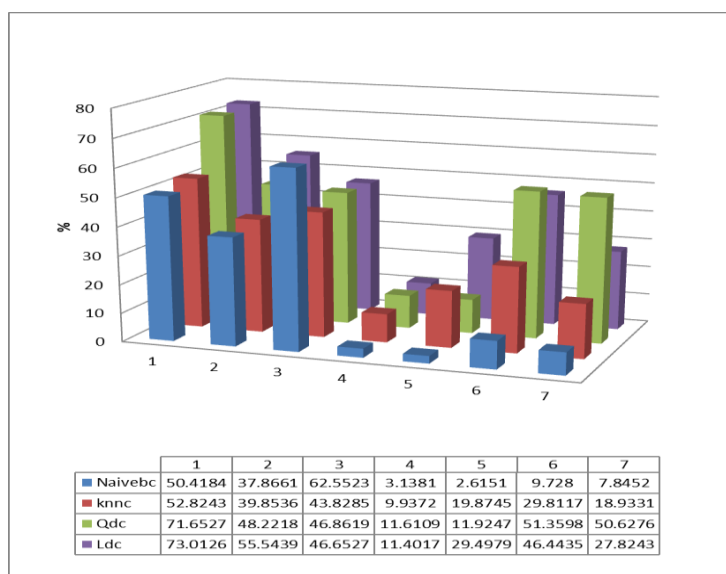
χωριστή τάξη και ως συστατικό των μιγμάτων έχει ως συνέπεια η καλύτερη ταξινόμηση της βενζίνης από τον ταξινομητή Qdc να ελαττώνει τα ποσοστά στα μίγματα βενζίνης.



Εικόνα 2: Γραφική Απεικόνιση των ποσοστών επιτυχούς αναγνώρισης τύπου καυσίμου αμόλυβδης βενζίνης, μεθανόλης και αιθανόλης με εφαρμογή της Μεθόδου Αναγνώρισης Προτύπων με τρεις τάξεις (Pattern Recognition).

Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 3) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις 7 κατηγορίες μιγμάτων του Πίνακα 2. Παρατηρούμε ότι οι Μέθοδοι αναγνώρισης προτύπων παρουσιάζουν πολύ χαμηλή απόδοση στα μίγματα καθαρής αμόλυβδης βενζίνης-μεθανόλης σε αναλογία πρόσμιξης 30% και καθαρής αμόλυβδης βενζίνης-αιθανόλης σε αναλογία πρόσμιξης 10%. Αν εξαιρέσουμε αυτή την αστοχία ο ταξινομητής Qdc εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τους υπόλοιπους ταξινομητές. Από την άλλη, ο ταξινομητής Naivebc παρουσιάζει την χειρότερη απόδοση. Τα ποσοστά ταξινόμησης στην περίπτωση των 7 τάξεων μπορεί να είναι χαμηλά αλλά παρόλα αυτά χρήσιμα διότι δεν

ντιπροσωπεύουν την ταξινόμηση διακριτών δειγμάτων αλλά προέρχονται από την ταξινόμηση δειγμάτων χρονοσειράς δονήσεων από συγκεκριμένο μίγμα οπότε αρκεί να προσδιοριστεί η τάξη στην οποία ανήκουν τα περισσότερα δείγματα ως ένδειξη της μέγιστης πιθανότητας να ανήκει το συγκεκριμένο δείγμα σε αυτή την τάξη. Συνεπώς μας ενδιαφέρει να προσδιορίσουμε την τάξη με την μεγαλύτερη πιθανότητα και να υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ της τάξης αυτής και των υπολοίπων.



Εικόνα 3: Γραφική Απεικόνιση των ποσοστών αναγνώρισης του τύπου καυσίμου (αμόλυβδη βενζίνη, μεθανόλη, αιθανόλη) και της αναλογίας πρόσμιξης με εφαρμογή Αναγνώρισης Προτύπων με επτά τάξεις (Pattern Recognition)

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κύριος στόχος της παρούσας εργασίας, είναι η αναγνώριση του τύπου του καυσίμου μεταξύ αμόλυβδης βενζίνης, μεθανόλης και αιθανόλης και αναγνώρισης τόσο της καθαρής αμόλυβδης βενζίνης όσο και της αναλογίας πρόσμιξης αυτής με τις δύο αλκοόλες, μεθανόλη και αιθανόλη (σε αναλογία πρόσμιξης 10, 20 και 30%) κάνοντας χρήση Ταξινομητών Προτύπου (Pattern Classifiers). Έγινε χρήση και επεξεργασία σημάτων δονήσεων από τα οποία εξήχθησαν χαρακτηριστικές στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας έτσι ώστε να γίνει δυνατή η ταξινόμηση από ταξινομητές προτύπων. Οι ταξινομητές προτύπων έκαναν δυνατή τη διάγνωση της αναλογίας του μίγματος ως προς το ποσοστό αναλογίας πρόσμιξης αμόλυβδης βενζίνης – βιοαλκοόλης με διαχωρισμό σε επτά κατηγορίες. Ο Διαχωρισμός σε τρεις κατηγορίες έδωσε καλύτερα αποτελέσματα σε ό,τι αφορούσε την αναγνώριση της αμόλυβδης βενζίνης, ενώ ο Διαχωρισμός σε επτά κατηγορίες ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματικός ως προς την αναγνώριση του ποσοστού των αναλογιών πρόσμιξης. Μελλοντικά σχέδια έρευνας αφορούν τη χρήση του συστήματος που παρουσιάστηκε για τη βελτιστοποίηση κινητήρων όσον αφορά την κατανάλωση και τις εκπομπές και την εφαρμογή σε πλατφόρμα πραγματικού χρόνου (μικροελεγκτή) για χρήση σε διαφορετικούς τύπους οχημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

Abdel-Rahman, A.A., Osman, M.M., 1997.

Experimental investigation on varying the compression ratio of SI engine working under different ethanol-gasoline fuel blends, *Int. J. Energy Res.* 21:31-40.

Al-Hasan, M., 2002. Effect of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission, *Energy Conversion & Management.* 44(9):1547–1561.

Cantrell, K.B., Ducey, T., Ro, K.S., Hunt, P.G., 2008. Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities, *Bioresource Technol.* 99:7941-7953.

Gravalos, I., Loutridis, S., Moshou, D., Gialamas, T., Kateris, D., Tsiropoulos, Z., Xyradakis, P., 2013. Detection of fuel type on a spark ignition engine from engine vibration behavior. *Applied Thermal Engineering,* 54(1):171-175.

Huber, G.W., Iborra, S., Corma, A., 2006. Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts, and engineering, *Chem. Rev.* 106:4044-4098.

Keskin, A., 2010. The influence of ethanol–gasoline blends on spark ignition engine vibration characteristics and noise emissions. *Energy Sources, Part A, Recovery, Utilization, and Environmental Effects.* 32:1851-1860.

Othman, M., Najjar, Y.S.H., Abou-Arab T.W., 1998. Fuel effect on induced vibration in gas turbine engines, *Fuel.* 69:321–326.

Prasad, S., Singh, A., Joshi H.C., 2007. Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues, *Res. Conserv. Rec.* 50:1–39.

Κεφάλαια βιβλίων

Duda, R. and Hart, P., 1973. *Pattern Classification and Scene Analysis.* John Wiley & Sons, New York.

Tax, D.M.J., 2001. *One-Class Classification, Concept-learning in the absence of counter-examples,* Ph.D. thesis Delft University of Technology, ISBN: 90-75691-05-x.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ ΥΠΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ευάγγελος Δημητρίου*, Essam Mohamed, Γεώργιος Κυριακάρκος, Γεώργιος Παπαδάκης
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά οδός 75,
118 55 Αθήνα, τηλ. 210 5294046 *email: vdimt@aua.gr

Τα συστήματα αφαλάτωσης με Αντίστροφη Ωσμωση (ΑΩ) αποτελούν μια πετυχημένη προσέγγιση στη λύση του προβλήματος της λειψυδρίας κυρίως σε απομακρυσμένες νησιωτικές ή παραθαλάσσιες περιοχές. Τα συστήματα αυτά πολλές φορές διασυνδέονται με συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες παράγουν την ενέργεια που καταναλώνεται από τη μονάδα αφαλάτωσης. Οι μονάδες που βρίσκονται στην αιχμή της τεχνολογίας συνδυάζονται, πολλές φορές, και με συστήματα ανάκτησης της ενέργειας, που μπορούν να μειώσουν δραστικά την καταναλισκόμενη ενέργεια από τη μονάδα αφαλάτωσης. Στην βιβλιογραφία, επίσης, υπάρχουν αναφορές ότι η λειτουργία μιας μονάδας αφαλάτωσης σε μερικό φορτίο μπορεί να παρουσιάσει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τη λειτουργία της στην ονομαστική ισχύ.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε πειραματική αξιολόγηση της μονάδας αφαλάτωσης που υπάρχει εγκατεστημένη στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών σε λειτουργία μερικού φορτίου. Η πειραματική λειτουργία της μονάδας σε μερικό φορτίο επιτυγχάνεται μέσω μεταβαλλόμενων παραμέτρων (στροφών, πιέσεων και παροχών) της μονάδας ΑΩ. Για τον σκοπό αυτό ο κινητήρας, εναλλασσομένου ρεύματος εφοδιάστηκε με μετατροπέα συχνότητας, για τον έλεγχο των στροφών του.

Κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης σε μερικό φορτίο με παραγωγή νερού 60 l/h, αποδεκτής ποιότητας (<600 $\mu\text{S}/\text{cm}$) και με ειδική κατανάλωση ενέργειας κάτω από 6.5 kWh/m³.

Εν γένει καταδεικνύεται ότι, σε μία απομακρυσμένη περιοχή, όπου οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας και πόσιμου νερού καλύπτονται από ένα μικροδίκτυο πολυπαραγωγής, η μονάδα ΑΩ, με κατάλληλο σχεδιασμό και διαχείριση, θα μπορούσε να λειτουργήσει σε μερικό τις ώρες αιχμής της ηλεκτρικής ενέργειας και σε πλήρες φορτίο τις υπόλοιπες ώρες, κατά τις οποίες η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την περιοχή είναι περιορισμένη.

Λέξεις Κλειδιά: Αφαλάτωση, Αντίστροφη Ωσμωση, μεταβλητές συνθήκες λειτουργίας.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF A REVERSE OSMOSIS DESALINATION UNIT OPERATING UNDER VARIABLE CONDITIONS

Evangelos Dimitriou, Essam Mohamed, Georgios Kyriakarakos, Georgios Papadakis
Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos
Street, Athens 118 55, Greece. Tel. +30 210 5294046
vdimt@aua.gr, esamsh@aua.gr, gk@aua.gr, gpap@aua.gr

Reverse Osmosis (RO) desalination units constitute a successful technology for covering the potable water needs of islands and coastal regions. RO units can be combined with Renewable energy sources. Photovoltaic and Wind generators produce the energy consumed by the Desalination Unit. Conventional small scale RO units are not often combined with energy recovery devices; however, these devices can decrease drastically the energy consumption of the RO unit. Furthermore, in the literature there are references which prove that the operation of a desalination unit in part-load conditions can result in lower specific energy consumption compared to a full-load operation.

In the current paper, an experimental evaluation of an existing RO desalination unit, installed in the Laboratory of Agricultural Engineering of AUA, is realized in part-load operation. The experimental operation of the RO unit in part-load conditions is achieved via variable operation parameters such as the speed of the motor – pump assembly, the pressure and the feed water supply. In order for this to be achieved, the motor of the unit was equipped with a frequency converter to control its rotational speed.

During the evaluation of the measurements results, an optimum operational window (25 – 45 Hz) was drawn regarding the operation of a Desalination Unit in part-load conditions. More specifically, in this area the average value of fresh water production was 60 l/h with an acceptable fresh water electrical conductivity (< 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$), and with a specific energy consumption below 6.5 kWh/m³.

In general, it is proven that, in remote areas, where the needs of electrical energy and potable water are satisfied by polygeneration microgrids, a RO Desalination Unit could operate periodically under a suitable planning and management program in full-load and in part-load conditions.

Key words: Desalination, Reverse Osmosis, variable operating conditions.

1. Εισαγωγή

Στην σημερινή εποχή, που η μείωση του διαθέσιμου νερού είναι έντονη, ιδιαίτερα σε πολλές περιοχές στον πλανήτη, εξ αιτίας της συνεχόμενης αύξησης του πληθυσμού, την χαμηλή ποιότητα, την αύξηση της ζήτησης φρέσκου νερού και την περιορισμένη διαθεσιμότητα από τις συμβατικές πηγές (ποτάμια και υπόγεια ύδατα) (Δεληγιάννη and Μπελεσιώτης 1995), η αφαλάτωση θαλασσινού νερού αναδεικνύεται σαν μια λύση στην αντιμετώπιση του προβλήματος, παρέχοντας πόσιμο νερό υψηλής ποιότητας. Όταν οι διεργασίες της αφαλάτωσης διασυνδεθούν με τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), τότε τα συστήματα γίνονται φιλικά προς το περιβάλλον και μπορούν να βοηθήσουν την ανάπτυξη αυτών των περιοχών.

Όλες οι συμβατικές μέθοδοι αφαλάτωσης, οι οποίες απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία τους, είναι ενεργοβόρες και συχνά πρέπει να εγκατασταθούν σε απομακρυσμένες περιοχές, οι οποίες αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην παροχή ηλεκτροδότησης (Τζέν 2008). Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα σε νησιά και σε απομακρυσμένες περιοχές. Συστήματα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση ΑΩ που τροφοδοτούνται από φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις περιοχές αυτές, για την παραγωγή πόσιμου νερού. Τα κύρια πλεονεκτήματα της ΑΩ είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και οι λίγες απαιτήσεις για συντήρηση. Η προσέγγιση αυτή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις υφάλμυρου νερού (Δημητρίου 2012).

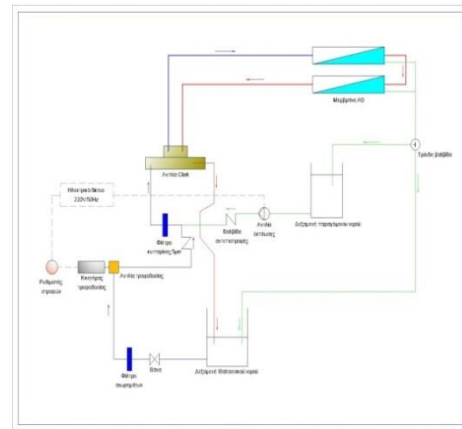
Επομένως, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κυρίως τα φωτοβολταϊκά, που έχουν σχετικά χαμηλό κόστος και συγχρόνως δε ρυπαίνουν το περιβάλλον, δίνουν λύση στο πρόβλημα. Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αφαλάτωση είναι τεχνικά εφικτή και εφαρμόζεται όλο και περισσότερο σε παγκόσμιο επίπεδο (Τζέν 2010).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να πραγματοποιηθεί πειραματική αξιολόγηση μιας μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού αντίστροφης ώσμωσης που λειτουργεί σε μερικό φορτίο με σκοπό την βέλτιστη ενσωμάτωσή της σε τοπολογία μικροδικτύου πολυπαραγωγής (Kyriakarakos, Dounis et al. 2011). Με τη χρήση μετατροπέα συχνότητας γίνεται εφικτός ο έλεγχος της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα τροφοδοσίας και τελικά της αντλίας τροφοδοσίας. Κατά αυτό τον τρόπο μπορεί να διερευνηθεί η επίδραση των διαφόρων μεγεθών και παραμέτρων της μονάδας αφαλάτωσης (πίεση, παροχή και ηλεκτρική αγωγιμότητα αφαλατωμένου νερού καθώς και η ειδική κατανάλωση ενέργειας) σε διάφορες συχνότητες λειτουργίας του κινητήρα τροφοδοσίας. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της πειραματικής διερεύνησης της μονάδας αφαλάτωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σκοπό τον βέλτιστο προγραμματισμό του εποπτικού συστήματος διαχείρισης της ενέργειας το οποίο ελέγχει το σημείο

λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης στην τοπολογία αυτή (Kyriakarakos, Dounis et al. 2012).

2. Περιγραφή πειραματικής διάταξης

Η μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης (ΑΩ), η οποία είναι εγκατεστημένη στο εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, ήταν εφοδιασμένη με κινητήρα συνεχούς ρεύματος (Mohamed 2009). Αρχικά έγινε αντικατάσταση του κινητήρα με κινητήρα εναλλασσομένου ρεύματος, ο οποίος εφοδιάστηκε με μετατροπέα συχνότητας για τον έλεγχο των στροφών του. Στην συνέχεια έγινε συντήρηση της μονάδας καθώς και έλεγχος ή αντικατάσταση στα διάφορα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε σύστημα καταγραφής δεδομένων από το οποίο έγινε αξιολόγηση της λειτουργίας της μονάδας σε μερικό φορτίο. Το σχηματικό διάγραμμα της μονάδας απεικονίζεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Σχηματικό διάγραμμα της μονάδας ΑΩ

2.1 Δεξαμενή Τροφοδοσίας

Η δεξαμενή τροφοδοσίας είναι κατασκευασμένη από μαύρο πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, χωρητικότητας 1 m³. Στη δεξαμενή αυτή παρασκευάζεται το τεχνητό θαλασσινό νερό τροφοδοσίας αγωγιμότητας μS/cm, διαλύοντας χλωριούχο νάτριο (NaCl) στο νερό του δικτύου της πόλης.

2.2 Αντλία τροφοδοσίας

Η αντλία τροφοδοσίας αντλεί το νερό από την δεξαμενή τροφοδοσίας και το οδηγεί προς την μονάδα Α.Ω. διαμέσου των φίλτρων και επίσης παρέχει την πίεση που απαιτείται στην είσοδο της αντλίας Clark. Ο κινητήρας της αντλίας είναι μονοφασικός, ασύγχρονος, τετραπολικός, ισχύος 0.75 kW. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας και του κινητήρα φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του κινητήρα και της αντλίας τροφοδοσίας

Αντλία τροφοδοσίας	
Τύπος αντλίας	Περιστροφική
Μοντέλο	Fluid - o - tech PO700
Μέγιστη πίεση	16 bar
Παροχή σε 1450 rpm	800 L/h
Κινητήρας τροφοδοσίας	
Τύπος κινητήρα	CEG 80b - 4
Φάσεις κινητήρα	AC Μονοφασικός ασύγχρονος
Τάση κινητήρα	220 V
Ονομαστική ισχύς	750 W

2.3 Σύστημα προ-επεξεργασίας

Το σύστημα προ-επεξεργασίας αποτελείται από τρία φίλτρα, από τα οποία το πρώτο είναι φίλτρο κυτταρίνης άνθρακα για την απομάκρυνση του ελεύθερου χλωρίου που υπάρχει στο νερό της πόλης. Το δεύτερο φίλτρο είναι ένα 25μm φίλτρο αιωρημάτων για την συγκράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων. Τέλος για την τελική φίλτραση του νερού, πριν αυτό οδηγηθεί στην μονάδα Α.Ω., χρησιμοποιήθηκε ένα φίλτρο κυτταρίνης 5μm.

2.4 Ανακτητής υδραυλικής ενέργειας

Ο ανακτητής υδραυλικής ενέργειας της άλμης τύπου εναλλάκτη πίεσεως (Clark Pump), αντικαθιστά την αντλία υψηλής πίεσης σε μία συμβατική μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης. Ο ανακτητής ενέργειας είναι μια εμβολοφόρος αντλία που ανυψώνει την πίεση του νερού στην κατάλληλη τιμή για να εισέλθει στην μεμβράνη. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας Clark παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας Clark

Μοντέλο	Eco systems E - 25/590
Ονομαστική παροχή τροφοδοσίας	760 L/h
Ονομαστική παραγωγή νερού	90 L/h
Ονομαστική πίεση λειτουργίας	50 bar
Ονομαστική πίεση τροφοδοσίας	12 bar

2.5 Μεμβράνες

Η μονάδα αντίστροφης ώσμωσης Α.Ω. αποτελείται από δύο στοιχεία μεμβρανών σπειροειδούς περιέλιξης συνδεδεμένα σε σειρά με σκοπό την αύξηση του ποσοστού ανάκτησης του αφαλατωμένου νερού. Η μεμβράνη είναι η καρδιά της μονάδας αφαλάτωσης ΑΩ και διαχωρίζει το εισερχόμενο νερό σε δύο ρεύματα, το αφαλατωμένο

και το απορριπτόμενο (άλμη) νερό. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών ΑΩ φαίνονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών

Τύπος μεμβρανοθήκης	Code line
Τύπος μεμβράνης	Filmtec SW 30-2540
Μέγιστη πίεση	69 bar
Μέγιστη θερμοκρασία νερού	45 °C
Μέγιστη παροχή τροφοδοσίας	1.4 m ³ /h
Παροχή παραγόμενου νερού	83 L/h
Ικανότητα απόρριψης αλάτων	99.2%
Ανάκτηση ενός στοιχείου	8%

Πίνακας 4: Τεχνικά χαρακτηριστικά του ρυθμιστή στοφών

Ονομαστική ισχύς	1500 W
Ονομαστική Τάση	200 ~ 230 V
Ένταση ρεύματος	7 A
Μέγιστη συχνότητα	400 Hz

2.6 Ρυθμιστής στροφών (frequency converter)

Ο ρυθμιστής στροφών είναι ένας μικρής τάσης αναλογικός μετατροπέας ο οποίος μεταβάλλει την συχνότητα και κατ' επέκταση τις στροφές λειτουργίας του κινητήρα της αντλίας τροφοδοσίας. Ο ρυθμιστής στροφών είναι συνδεδεμένος παράλληλα με τον κινητήρα τροφοδοσίας έτσι ώστε η συχνότητα λειτουργίας να μεταβάλλεται στο επιθυμητό επίπεδο. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ρυθμιστή στροφών φαίνονται στον Πίνακα 4.

3. Πειραματική διερεύνηση

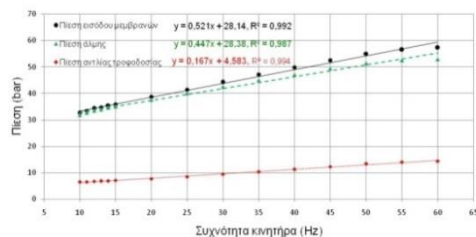
Σκοπός της πειραματικής διερεύνησης ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της μεταβολής της συχνότητας λειτουργίας του κινητήρα της περιστροφικής αντλίας τροφοδοσίας στις διάφορους παραμέτρους της μονάδας ΑΩ (παροχή αφαλατωμένου νερού, ηλεκτρική αγωγιμότητα του παραγόμενου νερού, πίεση εισόδου - εξόδου μεμβρανών και ειδική κατανάλωση ενέργειας του κινητήρα της αντλίας τροφοδοσίας). Η συχνότητα λειτουργίας είναι μια χαρακτηριστική παράμετρος σε μονάδες ΑΩ που τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια απευθείας από πηγές που χαρακτηρίζονται με διακυμάνσεις όπως είναι τα συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και πιο συγκεκριμένα τα υβριδικά συστήματα καθώς και σε τοπολογίες μικροδικτύου πολυπαραγωγής.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με την χρήση του ρυθμιστή στροφών που περιγράφηκε παραπάνω. Το πείραμα ξεκίνησε με συχνότητα λειτουργίας υπό πλήρες φορτίο στα 60 Hz και ακολούθησαν μετρήσεις με μειωμένες, σταδιακά τιμές συχνότητας ανά 5 Hz μέχρι την συχνότητα των 10 Hz.

3.1 Πιέσεις της μονάδας αφαλάτωσης ΑΩ

Τα πειραματικά δεδομένα έδειξαν μία γραμμική σχέση μεταξύ της συχνότητας του κινητήρα και της πίεσης της αντλίας τροφοδοσίας με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης 99.4% (Εικόνα 2). Στην ίδια εικόνα, επίσης, απεικονίζονται οι γραμμικές σχέσεις μεταξύ της συχνότητας του κινητήρα και της πίεσης στην είσοδο των μεμβρανών καθώς και της πίεσης της άλμης με συντελεστές γραμμικής συσχέτισης 99.2% και 98.7% αντίστοιχα.

Στην Εικόνα 2 παρατηρείται ότι η πίεση της αντλίας τροφοδοσίας μαζί με την πίεση της άλμης αυξάνουν την πίεση στην είσοδο των μεμβρανών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην παρουσία του ανακτητή υδραυλικής ενέργειας (Clark pump), κατά την λειτουργία του οποίου, η πίεση του νερού στη είσοδο των μεμβρανών ανυψώνεται με την βοήθεια της άλμης.

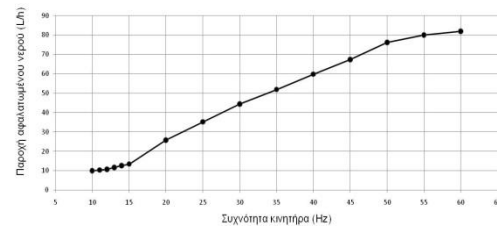


Εικόνα 2: Επίδραση της συχνότητας του κινητήρα στις πιέσεις της μονάδας ΑΩ

3.2 Παροχή αφαλατωμένου νερού

Η αύξηση της πίεσης στην είσοδο της μεμβράνης επηρεάζει την ροή του αφαλατωμένου νερού και η επίδραση της ασκούμενης πίεσης στην ροή του αφαλατωμένου νερού είναι γραμμική.

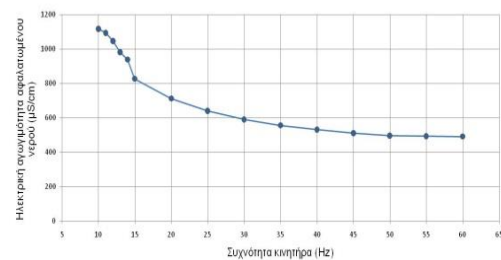
Στην Εικόνα 3 απεικονίζεται η επίδραση της μεταβολής της συχνότητας του κινητήρα στην παροχή του αφαλατωμένου νερού. Στην εικόνα αυτή φαίνεται ότι η παροχή του αφαλατωμένου νερού ακολουθεί μια γραμμική μεταβολή μέχρι την συχνότητα των 50 Hz, το οποίο ήταν αναμενόμενο όπως προαναφέρθηκε.



Εικόνα 3: Επίδραση της μεταβολής της συχνότητας του κινητήρα στην παροχή του αφαλατωμένου νερού

3.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα αφαλατωμένου νερού

Η αύξηση της πίεσης στην είσοδο της μεμβράνης αυξάνει την απόρριψη των αλάτων και μειώνει συνακόλουθα την ηλεκτρική αγωγιμότητα του αφαλατωμένου νερού. Επομένως όπως παρατηρείται στην Εικόνα 4 η αύξηση της συχνότητας του κινητήρα της αντλίας τροφοδοσίας και κατ' επέκταση η αύξηση της ασκούμενης πίεσης αυξάνει την απόρριψη των αλάτων, δηλαδή μειώνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του αφαλατωμένου νερού.



Εικόνα 4: Επίδραση της μεταβολής της συχνότητας του κινητήρα στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του αφαλατωμένου νερού

3.4 Ειδική κατανάλωση ενέργειας

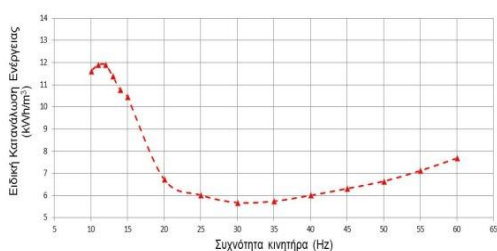
Η ειδική κατανάλωση ενέργειας υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση 1.

$$S_{EC} = \frac{E_m}{Q_p} \quad (1)$$

Όπου, S_{EC} είναι η ειδική κατανάλωση ενέργειας (kWh/m^3), E_m είναι η καταναλισκόμενη ενέργεια από τον κινητήρα τροφοδοσίας (kWh) και Q_p είναι παραγόμενη ποσότητα αφαλατωμένου νερού (m^3).

Στην Εικόνα 5 απεικονίζεται η ειδική κατανάλωση ενέργειας της μονάδας ΑΩ. Στην Εικόνα 5 παρατηρείται ότι η ειδική κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει ελάχιστο στην περιοχή των 25 έως 45 Hz. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η παροχή του αφαλατωμένου νερού στο συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων εμφανίζει ανοδική πορεία, ενώ οι αντίστοιχες καταναλώσεις της αντλίας τροφοδοσίας δεν είναι υψηλές. Κατά συνέπεια η περιοχή αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως βέλτιστη για την

λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης υπό μερικό φορτίο.



Εικόνα 5: Επίδραση μεταβολής της συχνότητας του κινητήρα στην ειδική κατανάλωση ενέργειας

4. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία, θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν ως προς την δυνατότητα των συνθηκών, ποιότητας παραγομένου νερού και της απόδοσης λειτουργίας μιας μονάδας ΑΩ, με στόχο την σκοπιμότητα ένταξης της σε ένα μικροδίκτυο.

- Η λειτουργία της μονάδας ΑΩ σε απομακρυσμένες περιοχές, οι οποίες εξυπηρετούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή από συνδυασμό αυτών, όπως μία τοπολογία μικροδικτύου πολυπαραγωγής, ενδείκνυται να γίνεται υπό μερικό φορτίο με την χρήση ρυθμιστή στρωφών.
- Κατά την λειτουργία υπό μερικό φορτίο της μονάδας ΑΩ, η οποία τροφοδοτείται από ένα μικροδίκτυο, παρατηρείται μια βέλτιστη περιοχή λειτουργίας, κατά την οποία το παραγόμενο νερό είναι αποδεκτής ποιότητας (<1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) και ταυτόχρονα απαιτείται μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Η βέλτιστη αυτή περιοχή κυμαίνεται από 25 έως 45 Hz. Οι πιέσεις στην περιοχή αυτή κυμαίνονται από 41 έως 52 bar αντίστοιχα.
- Η χρήση ενός πιο σύγχρονου κινητήρα στην αντλία τροφοδοσίας μπορεί να μειώσει την καταναλισκόμενη ενέργεια (φαινόμενη ισχύ), μειώνοντας ταυτόχρονα και το κόστος του παραγομένου νερού, λόγω του καλύτερου συντελεστή ισχύος που θα επιτευχθεί (~0.95).

- Σε μία απομακρυσμένη περιοχή που οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας και πόσιμου νερού καλύπτονται από ένα μικροδίκτυο, η μονάδα ΑΩ θα μπορεί να λειτουργεί σε μερικό φορτίο (25 ~ 45 Hz) τις ώρες αιχμής της ηλεκτρικής ενέργειας και σε πλήρες φορτίο τις υπόλοιπες ώρες που η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την περιοχή είναι περιορισμένη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Kyriakarakos, G., A. I. Dounis, K. G. Arvanitis and G. Papadakis (2012). "A fuzzy cognitive maps-petri nets energy management system for autonomous polygeneration microgrids." *Applied Soft Computing* **12**(12): 3785-3797.
- Kyriakarakos, G., A. I. Dounis, S. Rozakis, K. G. Arvanitis and G. Papadakis (2011). "Polygeneration microgrids: A viable solution in remote areas for supplying power, potable water and hydrogen as transportation fuel." *Applied Energy* **88**(12): 4517-4526.
- Mohamed, E. S. (2009). Διερεύνηση Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για Αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Αντίστροφη Ώσμωση, Διαδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα.
- Δεληγιάννη, E. and B. Μπελεσιώτης (1995). Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης - Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης. Αθήνα.
- Δημητρίου, E. (2012). Πειραματική διερεύνηση μονάδας αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης υπό μεταβλητές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας νερού τροφοδοσίας, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα.
- Τζέν, E. (2008) "Τεχνολογίες αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού." *The Economist Tech Bang*, 55, 92 - 93.
- Τζέν, E. (2010). Αφαλάτωση η λύση στη λειψυδρία. Ημερίδα "Αειφόρος Ανάπτυξη των νησιών του Αιγαίου: Βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων". Σύρος.

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ ΧΕΙΜΕΡΙΝΟΥ ΞΥΛΟΥ ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΑΡΩΤΗ ΛΕΙΖΕΡ

A. Ταγαράκης¹, Β. Λιάκος¹, Αθ. Χατζηνίκος¹, Σπ. Φουντάς¹, Στ. Κουνδουράς² και Θ.Α. Γέμτος¹

¹Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, 38446 Βόλος

² Εργαστήριο Αμπελουργίας, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Η χαρτογράφηση της ζωηρότητας των φυτών της αμπέλου παρέχει τη δυνατότητα αποτύπωσης της χωρικής παραλλακτικότητας του αμπελώνα στα πλαίσια εφαρμογής της Αμπελουργίας Ακριβείας. Στην παρούσα μελέτη, διερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης σαρωτή λέιζερ ως μία αυτοματοποιημένη, εύκολη και γρήγορη μέθοδος για τη χαρτογράφηση του χειμερινού ξύλου του αμπελώνα. Η μελέτη διεξήχθη κατά τη διάρκεια του 2010 και 2011, σε αμπελώνα 10 στρεμμάτων στη Θεσσαλία, εγκατεστημένο με την ποικιλία Αγιωργίτικο (*Vitis vinifera* L.). Αρχικά μετρήθηκε το τοπογραφικό ανάγλυφο χρησιμοποιώντας RTK-GPS (GPS-Ag 252, Trimble Ltd). Επίσης μετρήθηκαν το βάθος εδάφους και οι ιδιότητες του φυλλώματος με τη μέτρηση του δείκτη βλάστησης NDVI κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα CropCircle (ACS-210, Holland Scientific Inc.). Η χαρτογράφηση της παραγωγής πραγματοποιήθηκε κατά τη συγκομιδή με τη ζύγιση και γεωαναφορά των δοχείων τοποθέτησης των σταφυλιών κατά μήκος του αμπελώνα. Ένας σαρωτής λέιζερ (LMS 200 30106, SIC AG) χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση του χειμερινού ξύλου πριν από το κλάδεμα. Επιπλέον, ζυγίστηκε και χαρτογραφήθηκε το βάρος του ξύλου κλαδέματος. Οι μετρήσεις του σαρωτή λέιζερ έδειξαν σημαντική συσχέτιση με το βάρος των κληματίδων ($r = 0,809$ για το 2010 και $r = 0,829$ για το 2011, $p < 0,001$), τις μετρήσεις NDVI ($r = 0,510$ και $r = 0,504$, αντίστοιχα, $p < 0,001$) και την παραγωγή ($r = 0,617$ για το 2010 και $r = 0,718$ για το 2011, $p < 0,001$). Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι οι σαρωτές λέιζερ είναι πολλά υποσχόμενοι για το χαρακτηρισμό της παραλλακτικότητας της ζωηρότητας της αμπέλου.

Λέξεις κλειδιά: σαρωτή λέιζερ, αμπελουργία ακριβείας, χαρτογράφηση χειμερινού ξύλου

MAPPING OF PRUNING CANES IN GRAPEVINES USING LASER SCANNER

A. Tagarakis¹, V. Liakos¹, T.Chatzinikos¹, S. Fountas¹, S. Koundouras², T. Gemtos¹

¹ Laboratory of Farm Mechanization, School of Agricultural Sciences, University of Thessaly, Fytoko str., 38446 N. Iolnia Magnisia, Greece

² Laboratory of Viticulture, School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece
atagarak@uth.gr, bill.406@hotmail.com, sfountas@uth.gr, skoundou@agro.auth.gr, gemtos@agr.uth.gr

Mapping of grapevine vigour provides the ability to describe the spatial variability of vineyards in the framework of Precision Viticulture. In this study, we investigated the possibility of using a laser scanner as an automated, easy and fast method for mapping pruning wood in vineyards. The study was conducted during 2010 and 2011, in a 10 ha vineyard located in Thessaly planted with Agiorgitiko variety (*Vitis vinifera* L.). Field topography was initially measured using RTK-GPS (GPS-Ag 252, Trimble Ltd). Additionally, soil depth was estimated and canopy properties were assessed during the growing season by NDVI measurements using CropCircle sensor (ACS-210, Holland Scientific Inc.). Yield mapping was performed at harvest by weighing and georeferencing all plastic bins used to place the grapes along the vineyard. A laser scanner (LMS 200 30106, SIC AG) was used to map the winter canes prior to pruning. Moreover, pruning weight was recorded and mapped immediately after pruning. The laser scanner measurements showed significant correlation with pruning weight ($r = 0.809$ for 2010 and $r = 0.829$ for 2011, $p < 0.001$), the NDVI measurements ($r = 0.510$ and $r = 0.504$ respectively, $p < 0.001$) and yield ($r = 0.617$ for 2010 and $r = 0.717$ for 2011, $p < 0.001$). These results indicate that laser scanners are a promising tool for characterizing the variability of vine vigor.

Key words: laser scanner, precision viticulture, pruning canes mapping

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αμπελοργία ακριβείας είναι μια συνεχής κυκλική διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει την παρακολούθηση της χωρικής παραλλακτικότητας των φυσικών, χημικών και βιολογικών μεταβλητών που σχετίζονται με την απόδοση της καλλιέργειας της αμπέλου (Bramley et al., 2003). Η χαρτογράφηση της παραλλακτικότητας των ιδιοτήτων του φυλλώματος αποτελεί ευρέως εφαρμοζόμενη πρακτική στην αμπελοργία ακριβείας. Η παραλλακτικότητα της ζωηρότητας της αμπέλου οφείλεται κυρίως στις μεταβολές της διαθεσιμότητας νερού και θρεπτικών (Tardaguila et al., 2011) και επηρεάζει την ποσότητα και την ποιότητα της παραγωγής, μεταβάλλοντας την κατανομή του ηλιακού φωτός και των προϊόντων της φωτοσύνθεσης στο φυτό (Hall et al., 2011). Η εκτίμηση δεικτών βλάστησης χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα στα πλαίσια εφαρμογής γεωργίας ακριβείας με τη βοήθεια αισθητήρων αντανάκλασης ακτινοβολίας (Stamatiadis et al., 2006). Μεταξύ των δεικτών βλάστησης, ο NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) είναι ο πιο διαδεδομένος και σχετίζεται με ιδιότητες του φυλλώματος όπως η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, η συνολική βιομάζα και η φυλλική επιφάνεια (Hansen & Schoerring 2003).

Μια από τις σημαντικότερες ιδιότητες του φυλλώματος είναι το μέγεθος και η πυκνότητα του. Πρόσφατες μελέτες επικεντρώθηκαν στην αξιολόγηση της γεωμετρίας της κόμης με τη χρήση συστημάτων σάρωσης με λέιζερ, με υπερήχους ή φασματικές κάμερες. Οι σαρωτές λέιζερ (laser scanners) παρέχουν τη δυνατότητα μέτρησης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των φυτών με ακρίβεια. Τελευταία, είναι εμπορικά διαθέσιμοι σαρωτές λέιζερ χαμηλού κόστους και υψηλής ανάλυσης οι οποίοι είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί στην εκτέλεση μετρήσεων αναρτώμενοι σε γεωργικά μηχανήματα (Rosell Polo et al., 2009).

Οι Van der Zande και άλλοι (2006) χρησιμοποίησαν LiDAR (Light Detection And Ranging) σαρωτή λέιζερ (SICK LMS 200) σε τεχνητά δέντρα καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι ήταν η καταλληλότερη μέθοδος για τη μέτρηση από το πλάι της κόμης. Σαρωτές λέιζερ έχουν χρησιμοποιηθεί σε δενδρώδεις καλλιέργειες για την εκτίμηση του ύψους δένδρων, της πυκνότητας και του όγκου της κόμης (Wei & Salyani, 2004). Στην αμπελοργία, σαρωτής λέιζερ LiDAR σε συνδυασμό με GPS έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των γεωμετρικών ιδιοτήτων της κόμης σε διαφορετικές ποικιλίες, με στόχο τον καθορισμό της κατάλληλης ροής ψεκαστικού υγρού για ψεκασμό σε μεταβλητές δόσεις (Llorens et al., 2011).

Σε πολυετείς γεωργικές καλλιέργειες όπως οι δενδρώδεις και η άμπελος, η μέτρηση του ξύλου κλαδέματος είναι σημαντικός δείκτης εκτίμησης της παραγόμενης βιομάζας και του κύκλου του άνθρακα. Στην αμπελοργία, η καταμέτρηση και ζύγιση του ετήσιου ξύλου κατά το κλάδεμα, αποτελεί μία πολύ αξιόπιστη μέθοδο για την εκτίμηση της ζωηρότητας

των πρέμων (Smart & Robinson, 1991). Η συνολική παραγωγή ξύλου έχει επίσης αναφερθεί ότι συσχετίζεται με τους δείκτες ανάκλασης σε αμπελώνες (Stamatiadis et al., 2006). Ωστόσο, η μέτρηση της βιομάζας ξύλου με καταστροφικές μεθόδους είναι δύσκολη και χρονοβόρα. Ως εκ τούτου, η δυνατότητα μιας ταχείας και άμεσης εκτίμησης του βάρους του χειμερινού ξύλου θα μπορούσε να προσφέρει μία εναλλακτική μέθοδο για την εκτίμηση της ζωηρότητας της αμπέλου στα πλαίσια εφαρμογής αμπελοργίας ακριβείας.

Οι Keightley και Badwen (2010) πραγματοποίησαν εργαστηριακές μετρήσεις με σαρωτή λέιζερ (terrestrial laser scanning - TLS), για την εκτίμηση της μόνιμης βιομάζας της αμπέλου (κορμό και βραχίονες) και επαλήθευσαν τα αποτελέσματα με αναλογικές μετρήσεις. Οι Grocholsky και άλλοι (2011) βρήκαν σημαντική συσχέτιση μεταξύ του βάρους του ξύλου κλαδέματος και της μέτρησης του όγκου της κόμης με χρήση σαρωτή λέιζερ σε αμπελώνα.

Σε προηγούμενες μελέτες έχει χρησιμοποιηθεί η καταγραφή του αριθμού των προσκρούσεων της δέσμης λέιζερ στη μετρούμενη βλάστηση, ως ένας απλός και εύκολος τρόπος για την ποσοτικοποίηση της μέτρησης με σαρωτή λέιζερ (Sanz-Cortiella et al., 2011).

Στην παρούσα μελέτη ερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης της τεχνολογίας σαρωτή λέιζερ ως ένας αυτοματοποιημένος, εύκολος και γρήγορος τρόπος για την πραγματοποίηση χαρτογράφησης του χειμερινού ξύλου σε όλη την έκταση του αμπελώνα. Χρησιμοποιήθηκε σαρωτής λέιζερ (LiDAR) σε συνδυασμό με GPS και τα αποτελέσματα συσχέτιστηκαν με τις μετρήσεις του βάρους των κληματίδων, το δείκτη NDVI, τις ιδιότητες του εδάφους και την παραγωγή.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Ο πειραματικός αμπελώνας

Η μελέτη διεξήχθη σε ένα εμπορικό αμπελώνα με έκταση 10 στρεμμάτων, στη Θεσσαλία (39.26° N, 22.73° E), κατά τα έτη 2010 και 2011. Ο αμπελώνας ήταν εγκατεστημένος με την ελληνική ερυθρή οينوποιήσιμη ποικιλία Αγιωργίτικο (*Vitis vinifera* L.). Βρίσκεται σε πλαγιά με βορειοανατολικό προσανατολισμό. Στο άνω τμήμα του αμπελώνα το έδαφος παρουσιάζεται φτωχότερο (ελαφριάς σύστασης, πιο πετρώδες, ρηχό) σε σύγκριση με το κάτω μέρος όπου το έδαφος ήταν βαθύτερο και πιο εύφορο.

2.2. Μετρήσεις

Αρχικά χαρτογραφήθηκε το τοπογραφικό ανάγλυφο του αμπελώνα χρησιμοποιώντας RTK-GPS (Ag-GPS 252, Trimble Ltd, USA), τοποθετημένο σε γεωργικό ελκυστήρα. Ο ελκυστήρας ακολούθησε σιγμοειδή διαδρομή σαρώνοντας όλη την επιφάνεια του αμπελώνα κάθε δεύτερη γραμμή (5,2 m). Το αμπέλι χωρίστηκε σε πλέγμα 48 κελιών (το μέγεθος κάθε κελιού ήταν 10 x 20 m) για την μέτρηση του βάθους του εδάφους με τη χρήση εδαφολήπτη. Το

βάθος του εδάφους σε κάθε σημείο δειγματοληψίας θεωρήθηκε εκείνο όπου ο εδαφολήπτης αποσπούσε μητρικό υλικό από το έδαφος. Για την χαρτογράφηση του δείκτη βλάστησης NDVI χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας CropCircle (ACS-210, Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, USA). Ο NDVI μετρήθηκε σε τέσσερα βασικά στάδια ανάπτυξης της αμπέλου: ανθοφορία, καρπόδεση (αρχή της ανάπτυξης της ράγας), περκασμός (έναρξη της ωρίμανσης) και συγκομιδή. Οι μετρήσεις του δείκτη NDVI πραγματοποιήθηκαν σε συνδυασμό με DGPS (Differential GPS-106, Trimble Ltd, USA) για τον καθορισμό των σημείων μέτρησης. Για την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το καταγραφικό GeoSCOUT (GLS-400, Holland Scientific Inc., Lincoln, NE). Ο εξοπλισμός τοποθετήθηκε σε ειδικά κατασκευασμένη βάση η οποία αναρτήθηκε στο πίσω μέρος του γεωργικού ελκυστήρα σε ύψος 1,2 m από την επιφάνεια του εδάφους και 1,2 m από τα αμπέλια μετρώντας την πλάγια όψη του φυλλώματος.

Η χαρτογράφηση της παραγωγής έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια της συγκομιδής η οποία πραγματοποιήθηκε τον Σεπτέμβριο του 2010 και 2011. Όλα τα δοχεία συλλογής των σταφυλιών ζυγίστηκαν και γεωαναφέρθηκαν στο ακριβές σημείο συγκομιδής. Η διαδικασία περιγράφεται λεπτομερώς στο Tagarakis et al. (2013).

Ένας σαρωτής λέιζερ δύο διαστάσεων (LMS 200 30106, SIC AG, Germany) χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση των κληματίδων κατά μήκος του αμπελώνα πριν από το κλάδεμα το Φεβρουάριο του 2010 και 2011 αντίστοιχα. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς από ερευνητές για την εκτίμηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και των διαστάσεων σε δενδροκομικές καλλιέργειες (Van der Zande et al., 2006; Lee & Ehsani 2008; Llorens et al., 2011; Rosell Polo et al., 2009). Παρέχει εύρος γωνιακής μέτρησης 180 μοιρών σε απόσταση έως 10 μέτρα. Λειτουργεί βασισμένο στην αρχή του χρόνου-πίησης, εκπέμπει ένα παλμικό λέιζερ που αντανακλάται μόλις προσκρούσει σε ένα αντικείμενο. Ο χρόνος που απαιτείται για να επιστρέψει η δέσμη λέιζερ εξαρτάται από την απόσταση του αισθητήρα από το στόχο. Ο σαρωτής λέιζερ τοποθετήθηκε σε βάση στο πίσω μέρος του γεωργικού ελκυστήρα στοχεύοντας προς τις σειρές του αμπελώνα κάθετα προς το φυλλικό τείχος. Κατά τη μέτρηση πραγματοποιούνταν μία σάρωση ανά δευτερόλεπτο. Η ταχύτητα του ελκυστήρα ήταν 0,5m/sec παρέχοντας δύο σαρώσεις ανά μέτρο. Το γωνιακό εύρος σάρωσης επιλέχτηκε στις 100° με γωνιακή ανάλυση 1° παρέχοντας 100 μετρήσεις σε κάθε σάρωση της κάθετης επιφάνειας των αμπελών (ύψους 1,4m), με τα σημεία πρόσκρουσης στην επιφάνεια των σαρωμένων κλαδιών να απέχουν μεταξύ τους 1,4cm. Ο αριθμός των προσκρούσεων που λαμβάνονταν από τις κληματίδες της αμπέλου ανά μέτρο μήκους της επιφάνειας σάρωσης, μετρήθηκε και γεωαναφέρθηκε με χρήση GPS (eTrex Legend H, Garmin Ltd). Επιπλέον, εκτιμήθηκε με απευθείας

ζύγιση και γεωαναφορά το βάρος των κληματίδων αμέσως μετά το κλάδεμα (βάρος ξύλου κλαδέματος) ανά κελί μέτρησης (10×20m, 48 κελιά συνολικά).



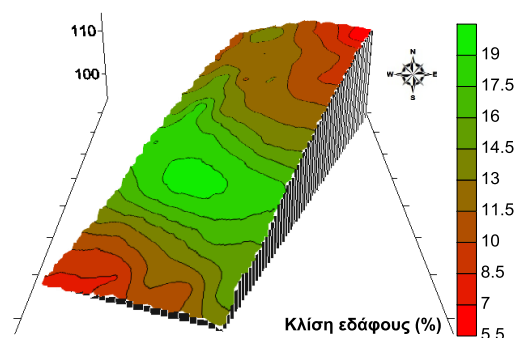
Εικόνα 1. Σάρωση των κληματίδων με το laser scanner LMS200.

2.3. Ανάλυση των δεδομένων

Όλες οι παράμετροι αναφέρθηκαν στο πλέγμα 10 x 20 m (48 κελιά συνολικά) που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του βάθους του εδάφους και για τη ζύγιση των κληματίδων. Αρχικά υπολογίστηκαν τα περιγραφικά στατιστικά χρησιμοποιώντας το λογισμικό SPSS (SPSS Inc, Chicago, IL, USA). Επίσης υπολογίστηκε η συσχέτιση κατά Pearson μεταξύ των μεταβλητών που μετρήθηκαν. Τα δεδομένα του σαρωτή λέιζερ αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν με το βάρος του ξύλου κλαδέματος, τις μετρήσεις NDVI και την παραγωγή. Οι χάρτες δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό χαρτογράφησης Surfer 9 (Golden Software Inc., Colorado, USA).

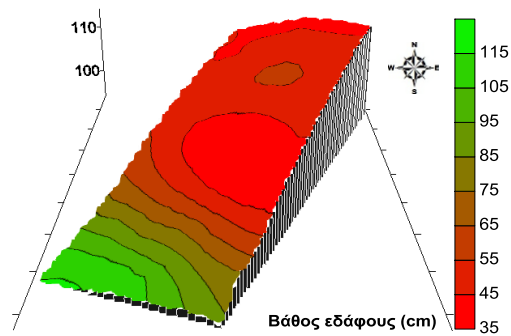
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι χάρτες τοπογραφικού ανάγλυφου, κλίσης και βάθους του εδάφους παρέχουν μια οπτική αναπαράσταση της παραλλακτικότητας των εδαφικών ιδιοτήτων του αμπελώνα.



Εικόνα 2. Χάρτης κλίσης εδάφους προβαλλόμενος πάνω σε τρισδιάστατη απεικόνιση του ανάγλυφου του εδάφους.

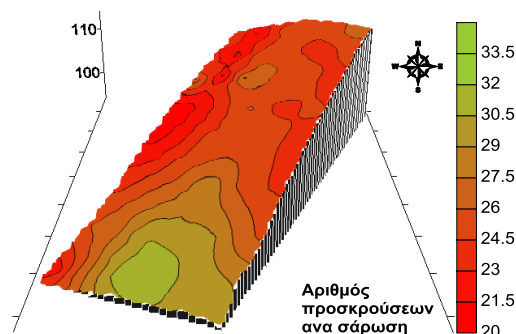
Η κλίση της επιφάνειας του εδάφους ήταν 5,8% στο βορειοανατολικό μέρος του αμπελώνα, 19,7% στο κέντρο και 6,0% στο νοτιοδυτικό (Εικόνα 2).



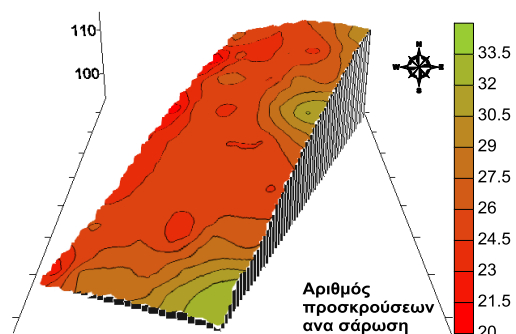
Εικόνα 3. Χάρτης βάθους εδάφους προβαλλόμενος πάνω σε τρισδιάστατη απεικόνιση του ανάγλυφου του εδάφους.

Το υψόμετρο κυμάνθηκε μεταξύ 94,5 m και 113,3 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, ενώ το βάθος του εδάφους κυμάνθηκε μεταξύ 35 cm και της 113 cm. Η υψηλή διακύμανση επιβεβαιώθηκε από τα περιγραφικά στατιστικά (CV = 0,363 για το βάθος του εδάφους, CV = 0,253 για την κλίση).

Ο αριθμός των προσκρούσεων που καταγράφηκαν κατά τη μέτρηση με τον σαρωτή λέιζερ πριν από το κλάδεμα χαρτογραφήθηκε και παρουσιάζεται στις εικόνες 4 και 5.



Εικόνα 4. Χάρτης του αριθμού προσκρούσεων κατά τη σάρωση με το laser scanner LMS200 για το 2010, προβαλλόμενος πάνω σε τρισδιάστατη απεικόνιση του ανάγλυφου του εδάφους.



Εικόνα 5. Χάρτης του αριθμού προσκρούσεων κατά τη σάρωση με το laser scanner LMS200 για το 2011, προβαλλόμενος πάνω σε τρισδιάστατη απεικόνιση του ανάγλυφου του εδάφους.

Σύμφωνα με τα περιγραφικά στατιστικά, το βάρος του ξύλου κλαδέματος και η παραγωγή παρουσίασαν υψηλή παραλλακτικότητα (C.V. = 0.19

και C.V. = 0.21 για το βάρος κλαδέματος του 2010 και 2011 αντίστοιχα ενώ για την παραγωγή C.V. = 0.27 και C.V. = 0.26 για το 2010 και 2011 αντίστοιχα) σε αντίθεση με τις μετρήσεις του δείκτη βλάστησης NDVI (C.V. <0,05 και για τα δύο έτη).

Η στατιστική ανάλυση ανέδειξε σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων του σαρωτή λέιζερ και του βάρους του ξύλου κλαδέματος, τόσο το 2010 όσο και το 2011 ($r = 0,809$ και $r = 0,829$ αντίστοιχα, $p < 0,001$). Εξίσου σημαντική συσχέτιση προέκυψε μεταξύ του αριθμού των προσκρούσεων του σαρωτή λέιζερ και της παραγωγής ($r = 0.617$ για το 2010 και $r = 0.718$ για το 2011, $p < 0.001$) αλλά και μεταξύ του βάρους του ξύλου κλαδέματος και της παραγωγής ($r = 0,585$ για 2010 και $r = 0.725$ για το 2011, $p < 0.001$).

Ο δείκτης NDVI βρέθηκε να συσχετίζεται θετικά στην αρχή (άνθιση) και στο τέλος (συγκομιδή) της καλλιεργητικής περιόδου με τις μετρήσεις του σαρωτή λέιζερ ($r = 0,388$, $p < 0,001$ και $r = 0,338$, $p < 0,005$ κατά το 2010, ενώ για το 2011 $r = 0,340$ και $r = 0.354$, $p < 0,005$ για άνθιση και παραγωγή αντίστοιχα), το βάρος του ξύλου κλαδέματος ($r = 0,297$ και $r = 0,331$, $p < 0,005$ κατά το 2010, ενώ για το 2011 $r = 0,412$ και $r = 0.510$, $p < 0,001$ για άνθιση και παραγωγή αντίστοιχα) και την παραγωγή ($r = 0,285$, $p < 0,005$ και $r = 0,396$, $p < 0,001$ κατά το 2010, ενώ για το 2011 $r = 0,405$ και $r = 0,434$, $p < 0,001$ για άνθιση και παραγωγή αντίστοιχα).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τους χάρτες εδαφικών ιδιοτήτων παρατηρήθηκε ότι το βάθος του εδάφους παρουσίασε παρόμοια χωρική μεταβολή με την κλίση του εδάφους και το τοπογραφικό ανάγλυφο. Κατά συνέπεια τα σημεία με μεγάλη κλίση έχουν την τάση να είναι ρηχότερα λόγω διάβρωσης και έκπλυσης του εδάφους με το νερό της βροχής. Σε γενικές γραμμές, όταν κλίση είναι ο κυρίαρχος παράγοντας του σχηματισμού του εδάφους, το κάτω μέρος της πλαγιάς χαρακτηρίζεται από εδάφη με βαθύτερη ζώνη ανάπτυξης των ριζών (Bramley & Hamilton 2005).

Σύμφωνα με τους χάρτες του σαρωτή λέιζερ, το νότιο τμήμα του αμπελώνα παρουσίασε μεγαλύτερο αριθμό προσκρούσεων και για τα δύο έτη γεγονός που υποδηλώνει ότι τα αμπέλια εκεί είχαν σταθερά αυξημένη ζωηρότητα. Το βορειοανατολικό τμήμα του αμπελώνα παρουσιάστηκε υψηλής ζωηρότητας κατά το 2011 σε αντίθεση με το 2010 που η παραγωγή βλαστών ήταν μειωμένη στο συγκεκριμένο σημείο, γεγονός που συμφωνεί με τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης της παραγωγής και του βάρους κλαδέματος. Αντίθετα, οι πρώτες σειρές δυτικά παρουσίασαν σταθερά σημαντικά χαμηλότερες τιμές και για τα δύο έτη.

Η υψηλή συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων του σαρωτή λέιζερ και του βάρους του ξύλου κλαδέματος υποδεικνύει τη δυνατότητα του σαρωτή λέιζερ για γρήγορη και ακριβή χαρτογράφηση της βλάστησης της αμπέλου στα πλαίσια εφαρμογής της Αμπελουργίας Ακριβείας.

Αντίθετα, ο δείκτης βλάστησης NDVI, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρύτατα για το χαρακτηρισμό της ζωηρότητας της αμπέλου, παρουσίασε σημαντικά χαμηλή παραλλακτικότητα κυρίως λόγω του μικρού εύρους των τιμών των μετρήσεων και της πραγματοποίησης τακτικών κορυφολογημάτων που τείνουν να ομαλοποιούν τη χωρική παραλλακτικότητα των ιδιοτήτων του φυλλώματος (Hall et al., 2011). Για το λόγο αυτό, ο δείκτης NDVI έδειξε τα συσχετίζεται με τις παραμέτρους της βλάστησης και της παραγωγής μόνο στην αρχή και στο τέλος της περιόδου.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, υπάρχει προοπτική για την υιοθέτηση αισθητήρων LIDAR για γρήγορη και ακριβή χαρτογράφηση του χειμερινού ξύλου σε αμπελώνες. Οι παραγόμενοι χάρτες μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση της χωρικής παραλλακτικότητας της ζωηρότητας της αμπέλου με σκοπό τη στοχευόμενη εφαρμογή των εισροών (άρδευση, λίπανση) και των αμπελοκομικών τεχνικών ανάλογα με τις ανάγκες κάθε διαχειριστικής ζώνης. Έτσι, η χαρτογράφηση το ξύλου κλαδέματος με σαρωτές λέιζερ μπορεί να είναι ένα βασικό βήμα ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης στα πλαίσια εφαρμογής αμπελοαγωγίας ακριβείας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bramley, R. G. V., and Hamilton, R. P. 2005. Hitting the zone—making viticulture more precise. In: Proceedings of the 12th Australian wine industry technical conference, edited by R. J. Blair, P. J. Williams, and I. S. Pretorius, Adelaide: Winetitles, pp. 57–61.
- Bramley, R., Pearse, B., and Chamberlain, P. 2003. Being profitable precisely - a case study of precision viticulture from Margaret River. *Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker* 473(a) 84-87.
- Grocholsky, B., Nuske, S., Aasted, M., Achar, S., Bates, T. 2011. A camera and laser system for automatic vine balance assessment. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 7 5530-5544.
- Hall, A., Lamb, D. W., Holzzapfel, B. P. and Louis, J. P. 2011. Within-season temporal variation in correlations between vineyard canopy and winegrape composition and yield. *Precision Agriculture* 12 103-117.
- Hansen, P. M., and 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 Environment* 86 542-553.
- Keightley, K. E. and Bawden, G. W. 2010. 3D volumetric modeling of grapevine biomass using Tripod LiDAR. *Computers and Electronics in Agriculture* 74 305–312.
- Lee, K. H. and Ehsani, R. 2008. Comparison of two 2D laser scanners for sensing object distances, shapes, and surface patterns. *Computers and electronics in agriculture* 60 250–262.
- Llorens, J., Gil, E., Llop, J. and Queraltó, M. 2011. Georeferenced LiDAR 3D Vine Plantation Map Generation. *Sensors* 11 6237-6256.
- Rosell Polo, J. R., Sanz, R., Llorens, J., Arno, J., Escola, A., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Camp, F., Gracia, F., Solanelles, F., Palleja, T., Val, L., Planas, S. Gil, E. and Palacin, J. 2009. A tractor-mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: A comparison with conventional destructive measurements. *Biosystems Engineering* 102 128–134.
- Sanz-Cortiella, R., Llorens-Calveras, J., Escolà, A., Arnó-Satorra, J., Ribes-Dasi, M., Masip-Vilalta, J., Camp, F., Gràcia-Aguilá, F., Solanelles-Battle, F., Planas-DeMartí, S., Pallejà-Cabré, T., Palacin-Roca, J., Gregorio-Lopez, E., Del-Moral-Martínez, I. and Rosell-Polo, J.R. 2011. Innovative LIDAR 3D dynamic measurement system to estimate fruit-tree leaf area. *Sensors* 11(6) 5769-5791.
- Smart, R. and Robinson, M. 1991. *Sunlight into Wine: A Handbook for winegrape and Canopy Management*. Winetitles, Adelaide.
- Stamatiadis, S., Taskos, D., Tsalidas, C., Christoforides, C., Tsalida, E., and Schepers, J. S. 2006. Relation of Ground-Sensor Canopy Reflectance to Biomass Production and Grape Color in Two Merlot Vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture* 57 415-422.
- Tagarakis, A., Liakos, V., Fountas, S., Koundouras, S. and Gemtos, T. 2013. Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. *Precision Agriculture*, 14(1) 18-39.
- Tardaguila, J., Baluja, J., Arpon, L., Balda, P. and Oliveira, M. 2011. Variations in soil properties affect the vegetative growth and yield components of "Tempranillo" grapevines. *Precision Agriculture* 12 762-773.
- Van der Zande, D., Hoet, W., Jonckheere, I., van Aardt, J. and Coppin, P. 2006. Influence of Measurement Set-Up of Ground-Based LiDAR for Derivation of Tree Structure. *Agricultural and Forest Meteorology* 141 147-160.
- Wei, J. and Salyani, M., 2004. Development of a laser scanner for measuring tree canopy characteristics: phase 1. Prototype development. *Transactions of the ASAE* 47 (6) 2101–2107.

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΣΤΑΔΙΩΝ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΣΕ ΦΥΤΑ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ

Ξ.Ε. Πανταζή¹, Δ. Κασαμπαλής², Π. Τσουβαλτζής², Δ. Μόσχου¹, Δ. Κατέρης¹

¹ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, ΡΟ 275 ,Τ.Κ 54124, Θεσσαλονίκη, email: renepanantazi@gmail.com

² Εργαστήριο Λαχανοκομίας, , Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τ.Κ 54124, Θεσσαλονίκη

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και θρεπτικά στοιχεία φυτών μαρουλιού διαφέρουν σημαντικά, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης. Στην παρούσα εργασία, φυτά μαρουλιού των υβριδίων Mastamar, Atoll και Starfighter, τύπου Batavia, καθώς και Bacio, Picos CLX και Picos FM, τύπου Romana καλλιεργήθηκαν στο έδαφος γυάλινου, θερμαινόμενου θερμοκηπίου κατά την περίοδο 15/10-27/12/2012. Η καλλιέργεια των φυτών έγινε σύμφωνα με τις συνήθειες καλλιεργητικές πρακτικές. Στις 46, 60 και 70 ημέρες από τη μεταφύτευση, τα φυτά συγκομίστηκαν και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Λαχανοκομίας του Α.Π.Θ. όπου προσδιορίστηκαν οι παράμετροι του φθορισμού της χλωροφύλλης σε 2 μεσαία φύλλα από 3 φυτά κάθε υβριδίου, διαφορετικού σταδίου συγκομιδής, με τη χρήση του οργάνου FluorPen FP 100-MAX-LM. Το συγκεκριμένο όργανο έχει τη δυνατότητα της μέτρησης κινητικής φθορισμού χλωροφύλλης με την μέθοδο OJIP και αφορά το μεταβατικό στάδιο φθορισμού (fluorescence transient). Από τις μετρήσεις παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα στάδια συγκομιδής. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε ανάλυση τύπου ANOVA (Analysis of Variance) προκειμένου να καθοριστούν οι πιο σημαντικές παράμετροι κινητικής φθορισμού τα οποία σχετίζονται με το στάδιο συγκομιδής του μαρουλιού. Οι παράμετροι κινητικής φθορισμού χρησιμοποιήθηκαν σαν είσοδοι προκειμένου να τροφοδοτήσουν Ταξινομητές Προτύπων (Pattern Classifiers) οι οποίοι είχαν ως στόχο την πρόβλεψη του σταδίου συγκομιδής. Παρατηρήθηκε ότι ο εντοπισμός των διαφορετικών σταδίων συγκομιδής είναι πιο ακριβής με τη χρήση μη γραμμικών ταξινομητών λόγω της μη γραμμικότητας του προβλήματος η οποία οφείλεται στην ετερογένεια των χαρακτηριστικών κινητικής χλωροφύλλης.

Λέξεις κλειδιά: νευρωνικά δίκτυα, εξόρυξη δεδομένων, συσταδοποίηση, λαχανοκομία, μετασυλλεκτική ποιότητα

AUTOMATIC DETECTION OF DIFFERENT HARVESTING STAGES IN LETTUCE PLANTS USING CHLOROPHYLL FLUORESCENCE

X.E. Pantazi¹, D.Kasampalis², P. Tsouvaltzis², D.Moshou¹, D. Kateris¹

¹ Aristotle University of Thessaloniki, School of Agriculture, Department of Hydraulics, Soil Science and Agriculture Engineering, Laboratory of Agricultural Engineering, P.O 275 54 124, Thessaloniki, Greece

²Aristotle University of Thessaloniki, School of Agriculture Department of Horticulture and Viticulture, Laboratory of Vegetable Crop Production, P.O 275 54 124, Thessaloniki, Greece

The nutritional quality components of lettuce differ significantly in relation to the growth stage at harvest. In the current study, lettuce plants (cvs. Mastamar, Atoll and Starfighter) of Batavia type and (cvs. Bacio, Picos CLX and Picos FM) of type Romana were grown on soil in heated greenhouse, during 15/10-27/12/2012 following usual agricultural practices. On 46th, 60th and 70th day after transplanting, lettuce plants were harvested at the and then transferred to the Lab of Vegetable Crops, Aristotle University Thessaloniki. The parameters of chlorophyll fluorescence were determined in two middle leaves of 3 plants of each hybrid, in each of the three growing stages, using the FluorPen FP 100-MAX-LM. This instrument is capable of measuring chlorophyll fluorescence kinetics by the OJIP method which concerns the OJIP transition fluorescence (fluorescence transient). From the measurements significant differences between the harvesting stages were indicated. Specifically, an analysis type, under the name ANOVA (Analysis of Variance) was utilized so as to determine the most important parameters kinetic fluorescence which are related to the growing stage of lettuce. The fluorescence kinetic parameters were used as inputs to feed Classifiers Standards (Pattern Classifiers) in order to predict the growing stage at harvest. It was found that the discrimination of growing stages was more accurate by using nonlinear classifiers due to the nonlinearity of the problem which is related to the heterogeneity of the chlorophyll kinetic characteristics.

Keywords: neural networks, data mining, clustering, horticulture, postharvest quality

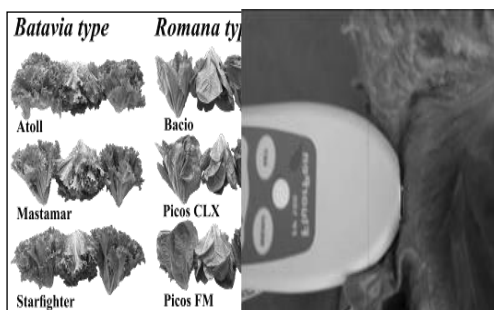
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα σημαντικό θέμα σχετικά με την ποιότητα των κηπευτικών αφορά το στάδιο της συγκομιδής τους, το οποίο σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την περιεκτικότητα τους σε θρεπτικά συστατικά.. Συγκεκριμένα την περίπτωση του μαρουλιού, , το περιεχόμενο σε βιταμίνη C μειώνεται με την ηλικία. .

Επί του παρόντος, δεν υπάρχει αντικειμενική μέθοδος για τον προσδιορισμό της φυσιολογικής ηλικίας των φυτών του μαρουλιού και ως εκ τούτου δεν υπάρχει κάποιο πρότυπο σύμφωνα με το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί το στάδιο της ανάπτυξης εκτός από το μέγεθος της κεφαλής μαρουλιού. Αλλά μεταξύ των διαφόρων υβριδίων το μέγεθος του

κεφαλιού του μαρουλιού ποικίλει, μη αποτελώντας έτσι αξιόπιστο κριτήριο για τον προσδιορισμό του σταδίου ανάπτυξης. Για το λόγο αυτό, ζητείται ένα πιο αντικειμενικό κριτήριο όσον αφορά τον προσδιορισμό του σταδίου ανάπτυξης, το οποίο να σχετίζεται με το επίπεδο της ωρίμανσης. Μια τεχνική που εφαρμόζεται συχνά προκειμένου να καθορίσει την ωρίμανση του μαρουλιού αφορά την οπτική τηλεπισκόπηση, είτε φασματοσκοπική ή αυτή της χρήσης φθορισμού (Brach et al., 1974). Ο φθορισμός της χλωροφύλλης έχει χρησιμοποιηθεί για πολλά χρόνια προκειμένου να παρατηρηθεί η φωτοσυνθετική απόδοση των φυτών χωρίς επέμβαση. Πιθανές ειδικές εφαρμογές του φθορισμού της χλωροφύλλης περιλαμβάνουν την εξέταση των φυτών όσον αφορά την ανοχή τους σε διάφορες περιβαλλοντικές καταπονήσεις και πιθανές βελτιώσεις σε επίπεδο καλλιέργειας στο θερμοκήπιο καθώς και μετασυλλεκτικά. Είναι ήδη γνωστό ότι όταν ένα φύλλο προσαρμοσμένο σε σκοτάδι (dark adapted) εκτίθεται στο φως, παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές στο φθορισμό της χλωροφύλλης. Οι ταχείες μεταβολές στον φθορισμό που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της ταχείας επαγωγής έως ένα σημείο κορεσμού, είναι ιδιαίτερα ελκυστικές για την ανίχνευση διαφορών όσον αφορά τη φωτοσυνθετική απόδοση μεταξύ των φυτών. Η φωτεινή ενέργεια που απορροφάται από τα φυτά μετατρέπεται σε χημική ενέργεια (φωτοσύνθεση), θερμότητα και φθορισμό. Κύριος στόχος της παρούσας εργασίας είναι να διαφοροποιηθούν οι χαρακτηριστικές φθορισμού χλωροφύλλης βάσει σταδίου συγκομιδής ανεξάρτητα από την ποικιλία.

Ένας από τους κύριους στόχους στον τομέα της γεωργίας είναι να προσδιοριστούν οι τρόποι με τους οποίους ο φθορισμός της χλωροφύλλης μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για τη βελτίωση των διαδικασιών επιλογής των φυτών και της ταχείας αξιολόγησης της απόδοσης τους σε γεωργικά και κηπευτικά προγράμματα βελτίωσης των καλλιεργειών. Ειδικά, στην περίπτωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του μαρουλιού και των θρεπτικών του συστατικών φαίνεται να ποικίλουν έντονα σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης.



Εικόνα (α) Υβρίδια τύπου *Batavia* (*Atoll*, *Mastamar* and *Starfighter*) και *Romana* (*Bacio*, *Picos CLX*, *Picos FM*). **(β)** *FluorPen FP 100-MAX-LM*.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

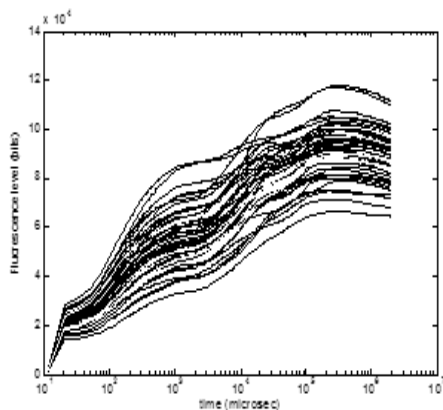
2.1 Πειραματικές Μετρήσεις

Στην τρέχουσα έρευνα, φυτά μαρουλιού των υβριδίων *Mastamar*, *Atoll* και *Starfighter* του τύπου *Batavia* καθώς και των υβριδίων *Bacio*, *Picos CLX* και *Picos FM* του τύπου *Romana* (Εικ. 1(α)) καλλιεργήθηκαν σε έδαφος γυάλινου, θερμαινόμενου θερμοκήπιου κατά την περίοδο 15/10-27/12/2012. Την 46η, 60η και 70η ημέρα από τη μεταφύτευσή τους, τα φυτά συγκομίστηκαν ενώ βρίσκονταν σε διαφορετική φυσιολογική ηλικία. Στη συνέχεια, οι παράμετροι του φθορισμού της χλωροφύλλης προσδιορίστηκαν σε δύο μεσαία φύλλα σε 3 φυτά από κάθε υβρίδιο και σταδίου ηλικίας κατά τη συγκομιδή με τη χρήση της κινητικής φθορισμού της χλωροφύλλης που αφορά την μελέτη των ταχέων μεταβολών φθορισμού.

Από τα αποτελέσματα προέκυψαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταδίων συγκομιδής χρησιμοποιώντας το όργανο *FluorPen FP 100-MAX-LM* του *SCI* (Εικ. 1 (β)) το οποίο είναι ικανό να μετρήσει την κινητική φθορισμού της χλωροφύλλης μέσω της μεθόδου *OJIP* που αφορά την καμπύλη απόσβεσης φθορισμού (Strasser et al., 2000). Πραγματοποιήθηκε *ANOVA* (*Analysis of Variance*) προκειμένου να καθοριστούν οι πιο σημαντικές παράμετροι κινητικής φθορισμού τα οποία σχετίζονται με το στάδιο συγκομιδής του μαρουλιού. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν παράμετροι κινητικής φθορισμού ως είσοδοι προκειμένου να τροφοδοτήσουν τους διάφορους στατιστικούς ταξινομητές οι οποίοι είχαν ως στόχο την πρόβλεψη του σταδίου συγκομιδής. Οι Ταξινομητές οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, ήταν οι: Γραμμική Διακρίνουσα, Τετραγωνική Διακρίνουσα, Ταξινομητής τύπου *Bayes*, Ταξινομητής *Parzen* και Ταξινομητής Πλησιέστερης Γειτνίασης).

2.2 Παράμετροι φθορισμού

Πολλές παράμετροι φθορισμού έχουν ήδη προταθεί. Οι ταχείες μεταβολές στον φθορισμό που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της επαγωγής της φωτοσύνθεσης, όταν ένα φύλλο προσαρμοσμένο στο σκοτάδι (*dark adapted*) εκτίθεται στο φως, έχουν προταθεί εδώ και καιρό ως ιδιαίτερα ελκυστικές για την ανίχνευση των διαφορών στην φωτοσυνθετική απόδοση μεταξύ των φυτών (Εικ.2).



Εικόνα 2 Καμπύλες Kautsky που προέρχονται από το φθοροόμετρο.

Με το όργανο αυτό, ο φθορισμός διαχέεται μέσω εξαιρετικά φωτεινών διόδων εκπομπής φωτός (LED), μήκους κύματος 650nm. Τα σήματα φθορισμού της χλωροφύλλης ανιχνεύθηκαν χρησιμοποιώντας ένα φωτοκύτταρο μετά το πέρασμα μέσα από ένα υπεριώδες φίλτρο (50% μετάδοση στα 720 nm). Ο χρόνος καταγραφής κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν 1 δευτερόλεπτο με ανάλυση της τάξεως των 10 μs κατά τη διάρκεια των πρώτων 2 μs και μετά από αυτό με ανάλυση της τάξεως 1 μικροδευτερόλεπτο, με αποτέλεσμα 1200 τιμές ανά μέτρηση. Τα φυτά μαρουλιού δεν ήταν προσαρμοσμένα στο σκοτάδι (dark adapted) και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν υπό συνθήκες κανονικού τεχνητού φωτισμού. Οι καμπύλες επαγωγής παρουσιάζονται στην Εικ.2. Το φθοροόμετρο υπολογίζει αυτόματα ορισμένες γεωμετρικές παραμέτρους των καμπυλών Kautsky (PSI Εγχειρίδιο Fluorpen 100).

2.3 Ταξινόμηση κατά Bayes

Ο ταξινομητής προτύπων (pattern classifier) κατατάσσει το διάνυσμα μέτρησης στην τάξη που αποδοθεί στο αντικείμενο. Αυτό επιτυγχάνεται από

την αποκαλούμενη συνάρτηση απόφασης $\omega(\cdot)$ η οποία απεικονίζει το χώρο μετρήσεων στο χώρο πιθανών τάξεων. Αφότου το z είναι ένα N -διάστατο διάνυσμα η συνάρτηση απεικονίζει το \square^N στο Ω . Όμως, πρώτα θα πρέπει να εξαχθεί μια άλλη πιθανότητα. Η εκ των υστέρων πιθανότητα $P(\omega_k|z)$ είναι η πιθανότητα του να ανήκει ένα αντικείμενο στην τάξη k δεδομένου ότι το διάνυσμα μέτρησης που συνδέεται με αυτό το αντικείμενο είναι το διάνυσμα μέτρησης z . Σύμφωνα με το θεώρημα Bayes για δεσμευμένες πιθανότητες έχουμε:

$$P(\omega_k | z) = \frac{p(z | \omega_k)P(\omega_k)}{p(z)} \quad (1)$$

Εάν ένας τυχαίος ταξινομητής απονέμει μια τάξη σε ένα διάνυσμα μέτρησης το οποίο προέρχεται από

ένα αντικείμενο με πραγματική τάξη ω_k τότε προκύπτει ένα κόστος $C(\hat{\omega}_i | \omega_k)$. Η εκ των υστέρων πιθανότητα ύπαρξης ενός τέτοιου αντικειμένου είναι

$$P(\omega_k | z)$$

Οπότε η αναμενόμενη τιμή θα είναι :

$$R(\hat{\omega}_i | z) = E[C(\hat{\omega}_i | \omega_k) | z] = \sum_{k=1}^K [C(\omega_k | \omega_k) | z] \quad (2)$$

Αυτή η ποσότητα αποκαλείται δεσμευμένο ρίσκο. Εκφράζει το αναμενόμενο κόστος $\hat{\omega}_i$ της αποδιδόμενης τάξης σε ένα αντικείμενο του οποίου το διάνυσμα μέτρησης είναι z . Το δεσμευμένο ρίσκο μιας συνάρτησης απόφασης $\hat{\omega}(z)$ είναι $R(\hat{\omega}(z) | z)$. Το συνολικό ρίσκο μπορεί να βρεθεί παίρνοντας το μέσο όρο του δεσμευμένου ρίσκου από όλα τα πιθανά διανύσματα μέτρησης.

$$R = E[R(\hat{\omega}(z) | z)] = \int_{\mathcal{Z}} R(\hat{\omega}(z) | z) p(z) dz \quad (3)$$

Ο βέλτιστος ταξινομητής είναι αυτός που έχει ελάχιστο ρίσκο R . Η συνάρτηση απόφασης που ελαχιστοποιεί το συνολικό ρίσκο είναι η ίδια που ελαχιστοποιεί το δεσμευμένο ρίσκο. Άρα ο ταξινομητής Bayes παίρνει τη μορφή :

$$\hat{\omega}_{BAYES}(z) = \hat{\omega}_i \quad (4)$$

Αυτό μπορεί να εκφραστεί πιο περιληπτικά ως εξής:

$$\hat{\omega}_{BAYES}(x) = \arg_{\omega \in \Omega} \min \{R(\omega | z)\} \quad (5)$$

Η έκφραση $\arg \min \{ \}$ παρέχει το στοιχείο Ω που ελαχιστοποιεί το $R(\omega|z)$.

2.4 Τετραγωνική Διακριτική Ανάλυση (Quadratic Discriminant Analysis (QDA))

Η τετραγωνική διακριτική ανάλυση (QDA), βασίζεται στον κανόνα απόφασης του Bayes. Ένα αντικείμενο ταξινομείται στην τάξη, η οποία μεγιστοποιεί την εκ των υστέρων πιθανότητα (posterior probability). Κάθε τάξη έχει ένα μοναδικό πίνακα συνδιακύμανσης, και επιπλέον διαφορετικές πιθανότητες πυκνότητας τάξης (class density probabilities). Η πιθανότητα κατάταξης P_c για την τάξη c μεγέθους n_c ορίζεται μέσα από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$P_c = (x_{i,c} - \bar{x}_c)^T \sum_c^{-1} (x_{i,c} - \bar{x}_c) + \ln \left(\prod_c c \right) - 2 \ln(p_c)$$

$$\bar{x}_c = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} x_i, \quad \sum_c = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} (x_i - \bar{x}_c)(x_i - \bar{x}_c)^T$$

$$P_c = \frac{n_c}{n} \quad (6)$$

Όπου το $x_{i,c}$ αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή της μεταβλητής i για τις τάξεις c , p είναι η εκ των προτέρων πιθανότητα και Σ ο πίνακας διακύμανσης.

2.5 Μέθοδος του Πλησιέστερου Γείτονα (Nearest neighbor method)

Η δεύτερη μέθοδος είναι η μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα, η επονομαζόμενη και ως NN-d. Μπορεί να προέρχεται από μια τοπική εκτίμηση πυκνότητας από τον ταξινομητή του πλησιέστερου γύρω από ένα αντικείμενο προς δοκιμή z. Ο όγκος αυτού του χωρικού τομέα διογκώνεται μέχρι να συλλάβει k αντικείμενα από το σύνολο εκπαίδευσης. Η τοπική πυκνότητα υπολογίζεται κατόπιν από:

$$p_{NN}(z) = \frac{k/N}{V_k(\|z - NN_k^r(z)\|)} \quad (7)$$

γείτονα (Duda and Hart, 1973). Η μέθοδος αποφεύγει τη ρητή εκτίμηση πυκνότητας και χρησιμοποιεί μόνο αποστάσεις προς τον πρώτο πλησιέστερο γείτονα. Στην εκτίμηση πυκνότητας του πλησιέστερου γείτονα ένας χωρικός τομέας ο οποίος είναι συχνά μια υπερσφαίρα σε d διαστάσεις, επικεντρώνεται Όπου το NN_k^r είναι ο πλησιέστερος γείτονας k στο σύνολο εκπαίδευσης z και V_k είναι ο όγκος του χωρικού τομέα ο οποίος περιέχει το αντικείμενο αυτό.

2.6 Μέθοδος εκτίμησης πυκνότητας Parzen (Parzen density method)

Η μέθοδος εκτίμησης πυκνότητας Parzen είναι τις περισσότερες φορές, ένα μίγμα από πυρήνες Gauss (kernel) οι οποίοι επικεντρώνονται σε επιμέρους αντικείμενα εκπαίδευσης.

$$p_p(x) = \frac{1}{N} \sum_i p_N(x; x_i, hI) \quad (8)$$

Όπου p_N είναι οι πυρήνες Gauss, x_i είναι τα κέντρα των πυρήνων (επι μέρους αντικείμενα

εκπαίδευσης), h είναι το διάνοιγμα του πυρήνα Gauss και x το νέο διάνυσμα προς ταξινόμηση.

Το ίσο διάνοιγμα h προς κάθε κατεύθυνση στο χώρο χαρακτηριστικών σημαίνει ότι ο εκτιμητής πυκνότητας Parzen υποθέτει ισοζυγισμένες χαρακτηριστικές οπότε και θα είναι ευαίσθητος στην κλιμάκωση των τιμών των χαρακτηριστικών ειδικά για μικρό αριθμό δειγμάτων. Η εκπαίδευση της πυκνότητας Parzen βασίζεται στον καθορισμό μιας και μοναδικής παραμέτρου του διανοίγματος h. Μια καλή περιγραφή εξαρτάται εξ ολοκλήρου από την αντιπροσωπευτικότητα του συνόλου εκπαίδευσης. Το υπολογιστικό κόστος εκπαίδευσης ενός εκτιμητή πυκνότητας Parzen, είναι σχεδόν μηδενικό αλλά οι δοκιμές είναι ακριβές (λόγω υψηλού υπολογιστικού κόστους). Όλα τα αντικείμενα εκπαίδευσης πρέπει να αποθηκευτούν και κατά τη διάρκεια των δοκιμών οι αποστάσεις προς όλα τα αντικείμενα εκπαίδευσης πρέπει να υπολογιστούν και να ταξινομηθούν κατά σειρά μεγέθους. Αυτό μπορεί να περιορίσει σοβαρά την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου ειδικά για μεγάλα σύνολα δεδομένων (Tax., 2001).

2.7 Συναρτήσεις Γραμμικής Διάκρισης

Μια υπόθεση που διατυπώνεται συχνά είναι ότι τα δείγματα στο σύνολο εκπαίδευσης που μπορούν να ταξινομηθούν σωστά με γραμμικά όρια απόφασης. Στην περίπτωση αυτή, οι συναρτήσεις διάκρισης έχουν τη μορφή:

$$g_k(z) = w_k^T z + w_k \quad (9)$$

Οι συναρτήσεις του τύπου αυτού ονομάζονται γραμμικές συναρτήσεις διάκρισης (linear discriminant functions).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πίνακας 1 Αποτελέσματα ANOVA

	M₀	Φ_{P0}	Ψ₀	Φ_{E0}	Φ_{D0}
1ο στάδιο συγκομιδής	1351a	0.75b	0.51a	0.38b	0.25a
2ο στάδιο συγκομιδής	1341a	0.73b	0.472b	0.35b	0.27a
3ο στάδιο συγκομιδής	1098b	0.76a	0.57a	0.44a	0.23b
	PI_{ABS}	ABS / RC	TR₀ / RC	ET₀ / RC	DI₀ / RC
1ο στάδιο συγκομιδής	0.93b	3706a	2761a	1410a	0.95a
2ο στάδιο συγκομιδής	0.90b	3489b	2542b	1201b	0.95a
3ο στάδιο συγκομιδής	1.48c	3290c	2543b	1446a	0.76b
	V_J	V_i	F_M / F₀	F_V / F₀	F_V / F_M
1ο στάδιο συγκομιδής	0.49a	0.84a	3951b	2951b	0.75b
2ο στάδιο συγκομιδής	0.53a	0.83a	3812b	2812b	0.73b
3ο στάδιο συγκομιδής	0.43b	0.78b	4454a	3454a	0.78a

Τα αποτελέσματα των συσχετισμών αυτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Οι Ταξινομητές Προτύπου εκπαιδεύτηκαν με τις παραμέτρους οι οποίες βασίζονται στην κινητική φθορισμού προκειμένου να διαχωριστούν τα φυτά μαρουλιού ανάλογα με τη φυσιολογική τους ηλικία. Προκειμένου να ελεγχθεί η ικανότητα γενίκευσης των Ταξινομητών εφαρμόστηκε διασταυρωτική επικύρωση (cross validation) χωρίζοντας την

περιοχή εκπαίδευσης σε τέσσερις ομάδες, εκπαιδεύοντας σε τρεις ενώ παράλληλα ελέγχοντας στην τέταρτη ομάδα. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των τριών ομάδων και καταχωρήθηκε το μέσο αποτέλεσμα. Τα αποτελέσματα των διαφορετικών Ταξινομητών Προτύπου που αφορούν στην ποσοστιαία επιτυχή αναγνώριση των τριών σταδίων συγκομιδής, φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Επιτυχής Αναγνώριση της πραγματικής ανάπτυξης στα στάδια 1, 2 και 3 από διαφορετικούς Ταξινομητές

Ταξινομητής	Επιτυχής Αναγνώριση 1 ^{ου} σταδίου Συγκομιδής (%)	Επιτυχής Αναγνώριση 2 ^{ου} σταδίου συγκομιδής (%)	Επιτυχής Αναγνώριση 3 ^{ου} σταδίου συγκομιδής (%)
LDC	80	73,33	82,22
QDC	46	100	60
NAIVEBC	75	51,67	71,11
PARZENC	91,67	83,33	96,67
KNNC	75	46,67	78,89

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σημαντικές διαφορές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 5% εκδηλώνονται μεταξύ των μέσων όρων των παραμέτρων των σταδίων συγκομιδής ανά δυάδες ή τριάδες όπου με το ίδιο γράμμα τα δύο στάδια δεν διαφέρουν σημαντικά ενώ το τρίτο διαφέρει σε επίπεδο εμπιστοσύνης 5%. Επιπλέον για ορισμένες παραμέτρους διακρίνεται σημαντική διαφορά και για τα τρία στάδια, όπως για παράδειγμα η παράμετρος ABS / RC. Επίσης στον Πίνακα 1 φαίνεται ότι οι πιο σημαντικές παράμετροι για διαχωρισμό τύπου μαρουλιού Batavia και Romana είναι οι ABS / RC και TR₀/RC. Για το λόγο ότι οι παράμετροι φθορισμού εμφανίζουν δυνατότητα διαχωρισμού δύο σταδίων αλλά όχι και των τριών ταυτόχρονα, κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν όλες οι παράμετροι έτσι ώστε να έχουμε το όφελος της μέγιστης συνέργειας όσον αφορά το διαχωρισμό των σταδίων συγκομιδής. Μια κοινή παρατήρηση με βάση τον Πίνακα 2 είναι ότι Ταξινομητής PARZENC εμφανίζει καλύτερη απόδοση ταξινόμησης ενώ ο γραμμικός Ταξινομητής Διάκρισης (LDC) εμφανίζει ελαφρά χειρότερη απόδοση καθώς μπορεί να διακρίνει με επιτυχία μόνο το 1^ο και το 3^ο στάδιο συγκομιδής ενώ υστερεί προς την αναγνώριση του 2^{ου} σταδίου (Πίνακας 1). Επιπλέον διαπιστώνεται ότι οι ταξινομητές LDC, NAIVEBC και KNNC αδυνατούν να παρουσιάσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε όλα τα στάδια συγκομιδής και πιο συγκεκριμένα δίνουν μέτρια αποτελέσματα μεταξύ 71 και 82% για την αναγνώριση του 1^{ου} και 3^{ου} σταδίου συγκομιδής και απογοητευτικά αποτελέσματα μεταξύ 46 και 73% για το δεύτερο στάδιο συγκομιδής. Η εφαρμογή του ταξινομητή Parzen σε ένα πρακτικό σύστημα πρόβλεψης του σταδίου συγκομιδής είναι προφανής γιατί εμφανίζει μηδενικό υπολογιστικό κόστος

εκπαίδευσης και μπορεί να περικλείει καινούρια δείγματα εκπαίδευσης προσθέτοντας στην ήδη υπολογισμένη συνάρτηση πυκνότητας την συνάρτηση πυκνότητας του δείγματος.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση τύπου ANOVA (Analysis of Variance) προκειμένου να καθοριστούν οι πιο σημαντικές παράμετροι κινητικής φθορισμού τα οποία σχετίζονται με τη φυσιολογική ηλικία των φυτών μαρουλιού. Στη συνέχεια, οι παράμετροι κινητικής φθορισμού χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι προκειμένου να τροφοδοτήσουν Ταξινομητές Προτύπων οι οποίοι είχαν ως στόχο την πρόβλεψη της ηλικίας των φυτών. Παρατηρήθηκε ότι ο Ταξινομητής Parzen εμφανίζει καλύτερη απόδοση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτόματη διάγνωση της ηλικίας στο μαρούλι με βάση μη καταστροφική μέτρηση των παραμέτρων φθορισμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Brach E. J., Molnar J. M., Jasmin J. J. Detection of Lettuce Maturity and Variety by Remote Sensing Techniques. Journal of agricultural Engineering Research 22, 45-54, (1977).
- Strasser R., Srivastava A.Tsimilli-Michael M (2000).The fluorescence transient as a tool to characterise and screen photosynthetic samples. In: Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation (Yunus M; Pathre U; Mohanty P, eds), pp 445-483. Taylor & Francis, London.
- Tax D.M.J, One-Class Classification, Concept-learning in the absence of counter-examples, ISBN: 90-75691-05-x, 2001.

TRAFFIC MONITORING of an AGRICULTURAL TRAFFIC CROSS-ROAD by IMAGE and VIDEO PROCESSING TECHNIQUES

Ventzas, D¹, Panagiotidi, E, Balabekou I, Vagelas J¹, Zavrakas G¹, Adam, G¹
¹TEI of Larissa, Dpt of Informatics and Telecommunications, e-mail: ventzas@teilar.gr

Image processing techniques are used in traffic monitoring and control for better environment understanding. We expanded these techniques to agricultural cross roads that exist in critical agricultural activities areas and agricultural industries traffic monitoring. These techniques involve, car/vehicles counting, long vehicles identifications, agricultural vehicles recognition, traffic accident, parking conditions monitoring, geometrical measurements, texture analysis, overloading, driving behaviour, etc. We use image and video processing techniques such as: colour / grayscale / binary images, edge detection, colour, point operations, segmentation, morphological image processing, linear image filtering and correlation, image transforms, eigen-images, multi-resolution image processing, wavelets, noise reduction and restoration, feature extraction and recognition tasks, image registration and fusion. Simulation and experimental results are promising especially for educational purposes.

Keywords: Traffic monitoring, lane, object detection, dynamic scene analysis.

Τεχνικές επεξεργασίας εικόνας χρησιμοποιούνται σε καταγραφή και έλεγχο κυκλοφοριακού φορτίου. Επεκτείνουμε αυτές τις τεχνικές σε αγροτικά σταυροδρόμια με αγροτοβιομηχανικές δραστηριότητες. Οι τεχνικές αυτές συμπεριλαμβάνουν απαρίθμηση οχημάτων, ταυτοποίηση μεγάλων οχημάτων, καταγραφή ατυχημάτων και ελιγμών, γεωμετρικές μετρήσεις, ανάλυση υφής, υπερφόρτωσης, συμπεριφοράς οδηγού, κ.λ.π. Χρησιμοποιούμε τεχνικές επεξεργασίας εικόνας και video, όπως: έγχρωμη / γκριζα / ασπρόμαυρη εικόνα, ανίχνευση ακμών, τελεστές σημείου / μορφολογικούς, τμηματοποίηση, γραμμικών φίλτρων και συσχέτισης, μετασχηματισμούς, ιδιοεικόνες, επεξεργασία πολλαπλής διακριτικής ικανότητας, wavelets, μείωση θορύβου, αποκατάσταση εικόνας, εξαγωγή χαρακτηριστικών ιδιοτήτων αναγνώρισης, χαρακτηρισμός εικόνων και σύντηξη εικόνων και δεδομένων. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης και on site μετρήσεων είναι ενθαρρυντικά ιδιαίτερα για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Λέξεις Κλειδιά: Καταγραφή κυκλοφοριακής κίνησης, λεωφορειολωρίδες, ανίχνευση εμποδίων, δυναμική ανάλυση σκηνής.

1. INTRODUCTION

This paper provides a review of video analysis tools in agricultural traffic applications. Video processing techniques is a modern research topic in traffic applications due to their fast response, ease of installation, operation and maintenance, and their ability to monitor wide areas; it is feature-driven, area-driven or model-based and the domains of processing are spatial and temporal. Traffic application data collection include traffic flow, turning junctions, road geometry, speed measurement and distribution, multiple point vehicle counts, vehicle classification, shape, patterns, poses, forms, dimensions, symmetry, luminosity, bounding box indicator, vehicle and obstacle detection, vehicle presence (Xie et al, 1994), number of vehicles, highway congestion, incident detection, flows at intersections, queue-lengths, space and time occupancy rates, detection of the lanes, road boundaries, etc (A. Rourke et al, 1989), (Ventzas, 1996, 1986), (Yokogawa, 1987). Traffic monitoring under difficult varying visual conditions includes shadows, lighting, weather, motion, noise, interactions that need improved algorithms (N.

Hoose, 1991). Each scene frame represents a non-invertible projection of the dynamically changing 3D world onto the camera plane. By limiting the ROI video processing is minimized.

2. AGRICULTURAL TRAFFIC PROBLEMS

Tractors on the road, see fig. 1, 2, 3, should obey traffic rules and general or specific regulations, e.g. maximum speed. When mud drops by tractors on the road, fatal accidents can occur; improper use or not well serviced trailer lights and direction indicator lights cause serious accidents; impatient drivers in a traffic tailback risk to overtake and cause accidents (Postaire et al, 1986). Special braking, suspension and other driving features qualify for a modern tractor classification with higher speed limits. Exceeding the weight limit i.e. the maximum gross train weight of tractor + trailer + load total weight, is a common illegal behaviour of farmers and drivers. Weight could be "estimated" by volumetric measurements or agricultural vehicle mask deformation. When farming machine size exceeds the lane width limit, (Soumelidis et al, 1997), the police must be in advance notified before tractors enter a road.



Fig. 1. Tractor traffic manoeuvres



Fig. 2. Problems of agricultural traffic monitoring



Fig. 3. Agricultural scenes

3. VISION SYSTEM

A visual traffic monitoring system must be fast with short processing time, low processing cost and high reliability, with robust techniques to tolerate inaccuracies in the 3D reconstruction of the scene. Moving or translating camera enhances the traffic scene changes, which is piecewise planar or composed of image segments at different depths, layers including other moving items; noise includes motion effect decomposed into planar and parallax

motion effect. The texture of the road (gradient operator on a high-resolution and a low-resolution smoothed image) is different than that of the environment and is classified by pattern recognition techniques. The direction of edges at each pixel can be computed based on the phase of the gradient and a curvature of line segments, (Badenas et al, 2001) (Zhang, 1994).

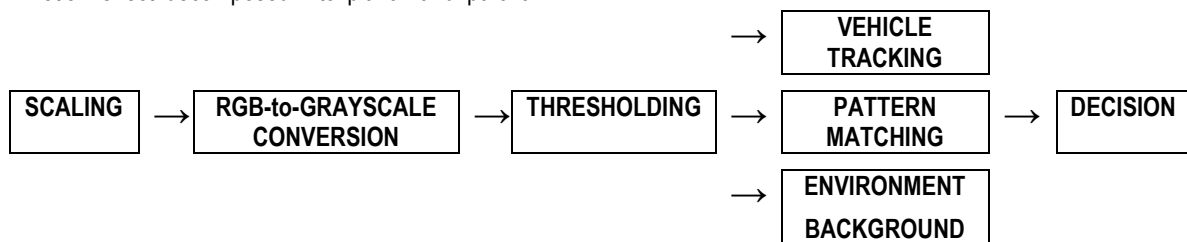


Fig. 4. Image / Frame Processing Chain

4. IMAGE & VIDEO PROCESSING

Brightness, illumination discontinuities reveal edges and lane markings; width and direction detection (Bertozi et al, 1997, Broggi, 1995), road intersections tracking, road boundaries and curvature are revealed by morphological operators. Shadow edges appear affecting the line tracking approach. Kalman filters estimate the near and far-range road geometry ahead of the vehicle. Simple linear models are used for road boundaries and lane markings. Object detection include thresholding, see fig. 4, textured or colour segmentation and multigrid

identification of ROI; a hierarchy of different (coarse to fine) resolutions images, distinguishes objects in the low resolution image, whereas noise is minimal, see fig. 5.

Histogram analysis and Hough transform improves the shape of object regions by extracting consistent contour lines while morphological operations restore small breaks on the detected contours; symmetry is an additional feature for vehicles, while edge information persists in variations of ambient lighting. Techniques are given in Table 1.



Fig. 5. Image / Frame Processing Techniques for Environment Understanding

4.1. Error Analysis

Noise effects are irrelevant feature of other vehicles on the highway, shadows or cracks in the roadway, features that are not part of the lane structure, etc. The intensity variations do not provide sufficient information to completely determine magnitude and direction of the optical flow field with constant or linearly distributed intensities (Horn et al 1981). Background changes significantly with buildings shadows, clouds, lighting conditions. Detection is achieved by subtracting the background image from the current image and separating moving objects; background is a manually acquired scene without vehicles or by exponential average of successive images and selective updating at regions with no motion. Sensor noise includes quantization, algorithmic disturbances, perspective distortions and occlusion due to camera positions and it affects accuracy. Noise is caused by vehicle movement and calibration drifts in the acquisition system. At low-resolution levels object structures and a crude estimate of the motion field are computed; the motion vector field is refined hierarchically at higher

resolution levels. The optical flow field encodes the temporal displacement of observable gray-scale structures within an image sequence with information about the relative displacement of pixels and the spatial structure of the scene based on gradient-based, correlation based, feature-based and multigrid methods.

Video sensors in traffic measurements are efficient, low cost, non-intrusive, low maintenance, installation and operation cost, wide area viewing and emulate conventional sensors (Michalopoulos et al, 1993, 1997). Traditional image processing techniques employ either similarity or edge information to detect roads and vehicles and separate them from background environment, see fig. 6. A vision-based system finds the road geometry and detects and avoids obstacles. Basic traffic management measurements are approach queue length, approach flow profile, ramp queue length, vehicle deceleration, automatic measurement of turning movements and information regarding the environment (Mammar et al, 1994).

Table 1. Major Image / Video Processing Techniques, Tools and Applications		
Time domain process	Spatial domain process	Spatial constraints
Temporal estimation	Temporal tracking of features	Temporal-domain differences
Edge detection	Edges orientation	Thinning operators
Object templates	Color and deformable templates	Similar pixel-intensities in objects
	color classification	local texture classification
Interframe differencing	correlation techniques	Tracking on epipolar plane
Time signature	template matching	Optical flow field
Histogram analysis	multiresolution techniques	localized features
Thresholding	Road skeletal lines	Morphological processing
Background updating	Background removal	Background frame differencing
Spatio-temporal processing	forward perspective mapping	inverse perspective mapping
spatio-temporal signature	image / ground plane	pattern recognition
vehicle segmentation	image / area segmentation	texture classification
Color road detection	color classification	color segmentation
Optical flow field	Next frames edges produce a list of flow vectors	
wavelet domains	spatial smoothness constraints	spatial and temporal gradients
Feature-driven approach	Model-driven approach	Feature tracking
	Autonomous vehicle guidance	Vehicle guidance assistance
3D road-geometry	frame-to-world coordinates	Scene depth
3D to 2D reconstruction	2D to 3D reconstruction	Kalman filter depth estimation
estimation and projection	estimation of range observations	Morphological operators
Tools		
Neural networks	3D object modelling	RLS fitting
Vehicle's state variable	State-variable estimation	Strong constraints
Applications		
Lane detection	Lane following	Lane width
Prior road geometry knowledge	Lanes location and orientation	2 lane road model (3 lane markings)
Dynamically changing environment	smooth road curvature	
Object detection	Vehicle following	Vehicle accurate localization
Vehicle recognition and tracking	Projection	Human perception
Structured / unstructured road geometry reconstruction		
curvature	Hill-and-dale model	local road parameters
Camera		
Static camera	Moving camera	auto-calibration
eliminate motion noise		
Model-driven	Feature-driven	Soft computing techniques
	templates	edge matching
Spatial signature	Spatial-processing	multiresolution estimation
lane position and orientation	lane markings and borders	object discontinuities
Vehicle following	Vehicle recognition and tracking	Motion parallax
Stereo images	Projection of 3D on 2D stereo images	Stereo matching of object lines
Hough transform estimate line model for object edges		

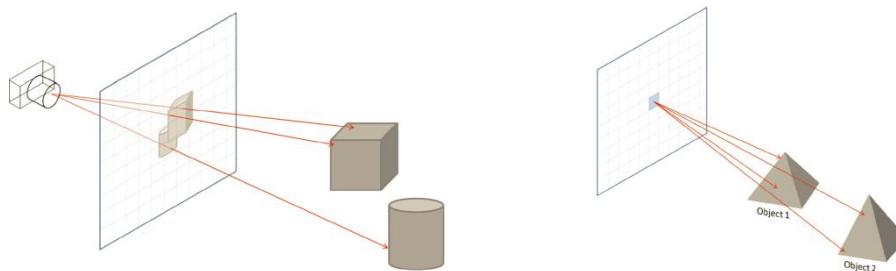


Fig. 6. Optical problems associated with object monitoring

5. DISCUSSION

Our research team implements projects to develop and certify algorithms of image and video processing for low cost monitoring, recognition and control of agricultural vehicles traffic in rural areas, see fig. 7. Computational complexity is a major parameter for real-time traffic monitoring computing. Subsampling of the image speeds up the computation at the cost of resolution and computes the motion field at fewer image points.

6. CONCLUSIONS

In traffic monitoring and especially in agricultural scenes traffic monitoring video processing discrimination ability is promising depending on the image quality, definition and relative vehicle camera position, the complexity of the traffic application scenes and the level of abstraction.

Further work is needed to maximize use and social outcomes from existing traffic monitoring schemes

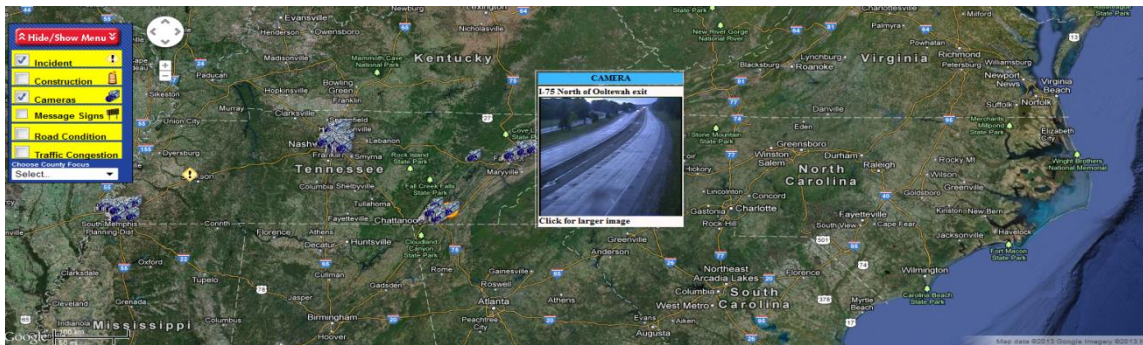


Fig. 7. Traffic monitoring system with video cameras embedded on Google Earth

REFERENCES

- J. Badenas, M. Bober, F. Pla, Segmenting traffic scenes from grey level and motion information, *Pattern Analysis and Applications* 4 (2001) 28–38
- M. Bertozzi, A. Broggi, S. Castelluccio, A real-time oriented system for vehicle detection, *Journal of System Architecture* 43 (1997) 317–325
- A. Broggi, Parallel and local feature extraction: a real-time approach to road boundary detection, *IEEE Transaction on Image Processing* 4 (2) (1995) 217–223
- N. Hoose, *Computer Image Processing in Traffic Engineering*, Taunton Research Studies Press, UK, 1991
- B.K.P. Horn, B.G. Schunck, Determining optical flow, *Artificial Intelligence* 17 (1981) 185–203
- S. Mammar, J.M. Blosseville, *Traffic variables recovery*, IFAC Transportation Systems, Tianjin, (1994)
- P.G. Michalopoulos, R.D. Jacobson, C.A. Anderson, T.B. DeBruycker, *Automatic Incident Detection Through Video Image Processing*, *Traffic Engineering Control* February (1993) 66–75
- P.G. Michalopoulos, D.P. Panda, Derivation of advanced traffic parameters through video imaging, IFAC Transportation Systems Chania, Greece (1997)
- J.G. Postaire, P. Stelmaszyk, P. Bonnet, A visual surveillance system for traffic collision avoidance control, IFAC Transportation Symposium International Federation of Automatic Control, Laxenburg, Austria (1986)
- A. Rourke, M.G.H. Bell, Applications of low cost image processing technology in transport, *Proceedings of the World Conference on Transport Research*, Japan (1989) 169–183
- A. Soumelidis, G. Kovacs, J. Bokor, P. Gaspar, L. Palkovics, L. Gianone, Automatic detection of the lane departure of vehicles, IFAC Transportation Systems Chania, Greece (1997)
- Ventzas D.E, *Industrial Electronic Measurements and Technology*, Lecture Notes, TEI Lamia, Dpt. Electronics Eng, Lamia, Greece, 1996
- Ventzas, D, *A Microprocessor-Based Low Cost GreenHouse controller Scheme*, ISMM International Symposium on Mini and Microcomputers and Microcomputers Applications, Texas, 10-12/11, 1986, ISMM
- M. Xie, L. Trassoudaine, J. Alizon, J. Gallice, Road obstacle detection and tracking by an active and intelligent sensing strategy, *Machine Vision and Applications* 7 (1994) 165–177
- Yokogawa Hokushin Electric Co, *Skyfarm*, 1987, Tokyo, Japan
- J. Zhang, H. Nagel, Texture-based segmentation of road images, *Proceedings of IEEE, Symposium on Intelligent Vehicles* 94, IEEE Press, Piscataway, NJ, 1994

The research is implemented through the Operational Program "Education and Lifelong Learning" and is co-financed by the European Union (European Social Fund) and Greek national funds, under the Research Project Archimedes III with title « INTELLIGENT MONITORING of TRAFFIC LOAD and FLOW of VEHICULAR CROSSROADS with IMAGE and VIDEO PROCESSING TECHNIQUES ».



ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΤΑ ΑΧΛΑΔΙΑ: ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ NDVI ΚΑΙ ΑΝΘΟΦΟΡΙΑ

A. Ζάχου, Β. Λιάκος, Α. Βατσανίδου, Σ. Φουντάς και Θ. Γέμτος

Εργαστήριο Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Τμ. Γεωπονίας, Φυτικής Παρ/γής και Αγρ. Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα μονοετούς έρευνας που πραγματοποιήθηκε το 2011 σε οπωρώνα αχλαδιάς πέντε στρεμμάτων στην περιοχή του Τυρνάβου στην Κεντρική Ελλάδα. Η έρευνα εστίασε στην εκτίμηση της συσχέτισης που μπορεί να έχει η παραγωγή με διάφορα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας. Πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της παραγωγής, καθώς θεωρείται το βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη ενός συστήματος Γεωργίας Ακριβείας. Επίσης, αποτυπώθηκε η ανθοφορία των δένδρων σε ψηφιακές φωτογραφίες, όπως επίσης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI) στην κόμη των δένδρων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους που αντιστοιχούσαν σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης του καρπού. Για το σκοπό της έρευνας δημιουργήθηκαν διαγράμματα συσχέτισης, ώστε να βρεθεί πιθανή σχέση ανάμεσα στην ανθοφορία και το NDVI με την παραγωγή. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε σημαντική παραλλακτικότητα σε παράγοντες όπως η παραγωγή και το NDVI, πιθανών λόγω της μεγάλης παραλλακτικότητας των ιδιοτήτων των εδαφών. Συγκεκριμένα, ο συντελεστής παραλλακτικότητας για την παραγωγή ήταν 32% που είναι υψηλός αν ληφθεί υπόψη η έκταση του οπωρώνα. Ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα στην παραγωγή και την ανθοφορία ήταν $r=0,6$ και η τιμή του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και NDVI κυμαίνονταν μεταξύ 0,2 και 0,3 αποδεικνύοντας μια γενική τάση για θετική συσχέτιση ανάμεσα στις παραμέτρους που μελετήθηκαν και την παραγωγή. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην εύρεση μεθόδων για βελτιωμένη διαχείριση της καλλιέργειας αχλαδιών, όπως επίσης και για μια έγκαιρη πρόβλεψη της παραγωγής που είναι πολύ σημαντικό για τους αγρότες και την αγορά.

Λέξεις κλειδιά: αχλαδιά, Γεωργία Ακριβείας, παραγωγή, ανθοφορία, NDVI, παραλλακτικότητα, συσχέτιση

PRECISION AGRICULTURE IN PEARS: CORRELATIONS OF YIELD WITH VEGETATION INDEXES AND FLOWERING

A. Zachou, V.Liakos, A.Vatsanidou, S.Fountas and T.Gemtos

Laboratory of Agricultural Machinery, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece
alicia_z285@hotmail.com, bill.406@hotmail.com, vatsanidou@gmail.com, sfountas@uth.gr, gemtos@uth.gr

The present study presents the results of a one year research which was carried out in 2011 at a five acre pear orchard at the area of Timnavos in the Central Greece. The research focuses on the evaluation of the correlation that may exist between the yield production and some characteristics of the pear cultivation. Yield mapping was accomplished, as it is considered to be the primary element for the development of a Precision Agriculture system. Also, the tree flowering was captured by digital cameras, as well as the normalised difference vegetation index (NDVI) was measured at different fruit development stages. For the purpose of the research correlation diagrams were made, so that potential correlation between flowering and yield and NDVI and yield to be found. The analysis of the results showed significant variability in factors like yield and NDVI, probably because of the significant variability of the soil characteristics. Specifically, the variability coefficient of the yield was 32% which is high if we take into consideration the extent of the orchard. The correlation coefficient between the yield and the flowering was $r=0,6$ whereas the value of the correlation coefficient between the yield and the NDVI varies between 0,2 and 0,3 confirming one general trend of positive correlation between the parameters which were studied and the yield. In conclusion, the results could help to find methods for the improvement of the pear management, as well for an in time yield prediction which is very important for the farmers and the market.

Key words: pears, Precision Agriculture, yield, flowering, NDVI, variability, correlation

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα οι παραγωγοί, για να επιβιώσουν στο διεθνή ανταγωνισμό, θα πρέπει να παράγουν προϊόντα υψηλής ποιότητας και χαμηλής τιμής, χρησιμοποιώντας μεθόδους φιλικές προς το περιβάλλον. Οι νέες εφαρμογές της τεχνολογίας και της ηλεκτρονικής φαίνεται να έχουν μεγάλη δυνατότητα να αντιμετωπίσουν αυτά τα θέματα. Η νέα τεχνολογία παρέχει τη δυνατότητα για αύξηση της παραγωγικότητας στη γεωργία καθώς οι διαθέσιμοι πόροι περιορίζονται αρκετά. Συγκεκριμένα, στη συμβατική γεωργία, θεωρώντας τον αγρό σε μια ομοιόμορφη περιοχή με σταθερές φυσικές, χημικές και μορφολογικές ιδιότητες, αυξάνεται το κόστος παραγωγής και προκαλείται υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Με την ανάπτυξη των αισθητήρων παραγωγής στη δεκαετία του 90 αποκαλύφθηκε ότι η υπόθεση του ομοιογενούς χωραφιού ήταν λάθος. Μια νέα τάση που φαίνεται να κερδίζει συνεχώς έδαφος είναι η Γεωργία Ακριβείας. Το χαρακτηριστικό είναι ότι αντί να γίνονται οι καλλιεργητικές φροντίδες με βάση τις μέσες τιμές παραγωγής και γονιμότητας του εδάφους είναι δυνατή η εφαρμογή διαφορετικών για κάθε τμήμα του αγρού.

Από την εισαγωγή φαίνεται ότι η Γεωργία Ακριβείας έχει εφαρμοστεί κυρίως σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας όπου η καλλιέργεια είναι εκμηχανισμένη. Είναι πολύ ενδιαφέρον να δούμε τα αποτελέσματα της εφαρμογής των τεχνικών της Γεωργίας Ακριβείας σε υψηλής αξίας καλλιέργειες όπως για παράδειγμα τα φρούτα, έτσι ώστε να βελτιώσουμε την παραγωγή και την ποιότητά τους και να ελαχιστοποιήσουμε τις αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Οι δενδρώδεις καλλιέργειες όπως η αχλαδιά είναι από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες για τη χώρα μας. Παρόλα αυτά δεν έχει διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στην καλλιέργεια της αχλαδιάς στη χώρα μας.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθεί η χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής και του NDVI καθώς και η σχέση της παραγωγής με το NDVI και την ανθοφορία σε έναν οπωρώνα αχλαδιών με στόχο να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στον οπωρώνα αυτό.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Ο οπωρώνας

Τα πειράματα έγιναν σε έναν εμπορικό οπωρώνα που βρίσκεται στην περιοχή του Τύρναβου της Λάρισας. Πρόκειται για μια περιοχή που τα τελευταία 30 χρόνια έχουν αναπτυχθεί έντονες αγροτικές εκμεταλλεύσεις αποτελούμενες κυρίως από δενδρώδεις καλλιέργειες (κυρίως αχλαδιές, ροδακινιές), αμπέλια, καλαμπόκι, μηδική και βαμβάκι.

Ο οπωρώνας που μελετήθηκε έχει έκταση 5 στρέμματα και περιλαμβάνει την ποικιλία *Coscia* σε 10 γραμμές. Η καλλιέργεια έχει διαμόρφωση ελεύθερης παλμέτας. Στο πείραμα αυτό λήφθηκαν μετρήσεις για το έτος 2011.

2.2 Η καλλιέργεια

Η ποικιλία που μελετήθηκε στην εργασία αυτή και έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την πατρίδα μας είναι η *Coscia*.

Η ποικιλία *Coscia* έχει καρπούς καλής γεύσης, πιο γλυκούς και λιγότερο στιφούς από άλλες καλοκαιρινές ποικιλίες. Δέντρο μέσης ζωρότητας, παράγει καρπούς μεσαίου μεγέθους, κίτρινου χρώματος, μέτριας γεύσης, δε συντηρείται στο ψυγείο. Ωριμάζει το δεύτερο 15νήμερο του Ιουλίου. Καλός επικονιαστής των ποικιλιών Τσακωνική και Κοντούλα. Είναι αυτόστειρη ποικιλία, χρειάζεται επικονιαστή. Οι ποικιλίες που αναφέρθηκαν την επικονιάζουν. Σχετικά ανθεκτική στο βακτήριο *Erwinia amylovora* που προκαλεί την ασθένεια βακτηριακό κάψιμο.

2.3 Μετρήσεις

2.3.1 Χαρτογράφηση ανθοφορίας

Τον Απρίλιο του 2011 έγινε εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δέντρο. Με τη χρήση μιας ψηφιακής φωτογραφικής κάμερας Olympus E-420 λαμβάνονταν φωτογραφίες της ανθισμένης κόμης σειρά ανά σειρά, δέντρο ανά δέντρο. Έπειτα, οι φωτογραφίες επεξεργάστηκαν με ειδικό πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων GIMP έτσι ώστε να διακριθούν καλύτερα τα άνθη για να καταμετρηθούν. Η παραγωγή των δέντρων στα οποία εκτιμήθηκε η ανθοφορία μετρήθηκε τον Αύγουστο με σκοπό να γίνει συσχέτιση της ανθοφορίας με την παραγωγή του τρέχοντος έτους.



Εικόνα 2.1. Εκτίμηση του αριθμού των ανθέων

2.3.2 Χαρτογράφηση παραγωγής

Η χαρτογράφηση παραγωγής πραγματοποιήθηκε με ζύγιση των κιβωτίων που περιείχαν τους καρπούς και ταυτόχρονη καταγραφή της θέσης τους. Τα αχλάδια συλλέγονταν με το χέρι και τοποθετούνταν σε πλαστικά κιβώτια τα οποία τοποθετούνταν σε πλατφόρμα η οποία κινούνταν κατά μήκος της γραμμής των δέντρων. Σε κάθε σειρά δέντρων ζυγίστηκε η παραγωγή ανά πέντε δέντρα και έγινε καταγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων στο κέντρο της πεντάδας των δέντρων. Έτσι, σε κάθε σημείο του χάρτη παραγωγής αντιστοιχεί η παραγωγή από πέντε συνεχόμενα δέντρα πάνω στη γραμμή. Η χαρτογράφηση παραγωγής πραγματοποιήθηκε για το έτος 2011 στις αρχές Αυγούστου.

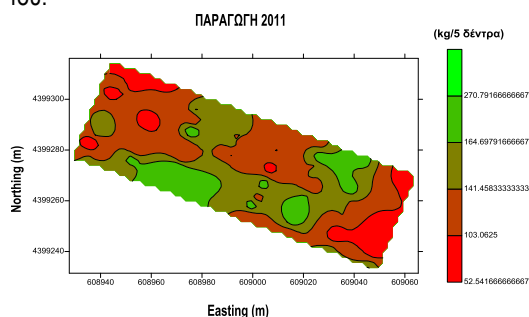
2.3.3 Μέτρηση NDVI

Από το Μάιο έως τον Ιούλιο του 2011 λήφθηκαν τέσσερις μετρήσεις NDVI με Crop Circle σε δύο ύψη της κόμης του δέντρου, στην κορυφή και στη μέση της κόμης. Η πρώτη μέτρηση λήφθηκε στις 15/5 με σκοπό να συμπίπτει με την πλήρη άνθηση της καλλιέργειας. Η δεύτερη μέτρηση έγινε στις 29/5 κατά το στάδιο ανάπτυξης 7, όπου ο μέσος όρος διαμέτρου των καρπών είναι 2,6 cm. Η τρίτη μέτρηση στις 17/6 έγινε κατά το στάδιο ανάπτυξης T-stage, όπου ο μέσος όρος διαμέτρου των καρπών είναι 3,8 cm και η τέταρτη και τελευταία μέτρηση ήταν στο στάδιο ανάπτυξης όπου ο καρπός είχε φτάσει στο 60% του τελικού του μεγέθους και ο μέσος όρος διαμέτρου του είναι 4,41 cm, στις 1/7.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Χαρτογράφηση Παραγωγής

Η ποικιλία Coscia είχε κατά μέσο όρο για το έτος 2011 παραγωγή 134,36 κιλά/5 δέντρα. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας ήταν γύρω στο 32% που είναι υψηλός αν ληφθεί υπόψη η έκταση του οπωρώνα που είναι μόλις 5 στρέμματα. Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται ο χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Coscia για το έτος 2011 του πειράματος. Από το χάρτη αυτό φαίνεται η χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή. Η παραγωγή το έτος 2011 κυμάνθηκε από 52-270 κιλά/5 δέντρα και φαίνεται μια τάση στο νότιο τμήμα του οπωρώνα να έχει χαμηλότερη παραγωγή από το βόρειο τμήμα του.

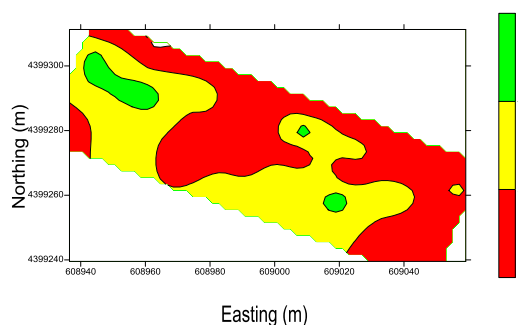


Εικόνα 3.1. Χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Coscia για το έτος 2011

3.2 Χαρτογράφηση Ανθοφορίας

Την Άνοιξη του έτους 2011 έγινε εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δέντρο με τη μέθοδο της ανάλυσης εικόνων. Η παραγωγή των δέντρων στα οποία εκτιμήθηκε η ανθοφορία μετρήθηκε το επόμενο καλοκαίρι με σκοπό να γίνει συσχέτιση της ανθοφορίας με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι ο αριθμός των ανθέων είχε θετική συσχέτιση με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν $r=0,6$. Ο χάρτης ανθοφορίας για την ποικιλία Coscia παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2. Αυτό είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον διότι η αρχική ανθοφορία φαίνεται να επηρεάζει την τελική παραγωγή ανεξάρτητα από τις ενδιάμεσες καλλιεργητικές φροντίδες όπως αραίωμα κλπ.

ΑΝΘΟΦΟΡΙΑ 2011 %/2 δέντρα



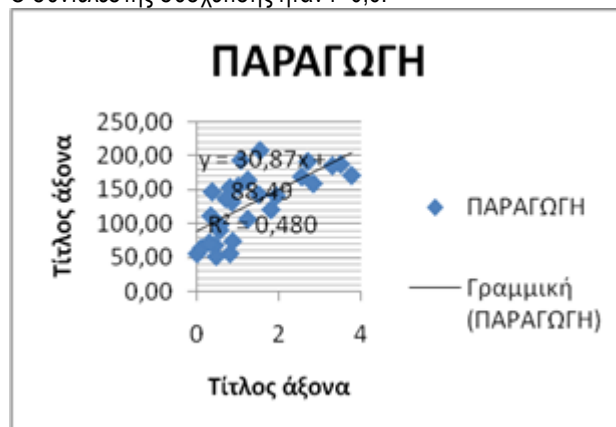
Εικόνα 3.2. Χάρτης ανθοφορίας έτους 2011 για την ποικιλία Coscia

3.3 Συσχετίσεις παραγωγής και NDVI

Για την πρώτη ημέρα μετρήσεων του NDVI μέσα στο Μάιο δηλαδή στις 15/5/2011 βρέθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και NDVI που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η παραγωγή ανά δέντρο αυξάνεται και η τιμή του NDVI. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν και για την άνω και για τη μέση κόμη $r=0,3$. Μέσα στο Μάιο πάρθηκε ακόμα μία μέτρηση NDVI στις 29/5/2011. Η συσχέτισή της με την παραγωγή βρέθηκε και αυτή θετική με συντελεστή συσχέτισης για την άνω κόμη $r=0,3$ και για την μέση κόμη $r=0,3$. Επίσης θετική βρέθηκε και η συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής και του NDVI το οποίο μετρήθηκε στις 17/6/2011 με συντελεστή συσχέτισης για την άνω και τη μέση κόμη $r=0,3$ και $r=0,3$ αντίστοιχα. Τέλος, παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση με την παραγωγή και με τις μετρήσεις του NDVI στις 1/7/2011 με συντελεστή συσχέτισης $r=0,2$ για την άνω και $r=0,3$ για τη μέση κόμη.

3.4 Συσχετίσεις παραγωγής και ανθοφορίας

Παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ανθοφορίας για το έτος 2011 που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό της ανθοφορίας ανά δέντρο αυξάνεται και η παραγωγή. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν $r=0,6$.



Εικόνα 3.3. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ανθοφορίας

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παραλλακτικότητα που παρουσιάστηκε στην παραγωγή σημαίνει ότι η μέθοδος διαχείρισης που εφαρμόζεται στον οπωρώνα μελέτης δεν παρέχει τις κατάλληλες καλλιεργητικές τεχνικές σε όλες τις περιοχές του αγρού. Δεδομένου ότι ο οπωρώνας είναι επίπεδος θεωρούμε ότι η τοπογραφία του δεν επηρεάζει την παραγωγή. Αντίθετα, οι ιδιότητες του εδάφους είναι πολύ πιθανό να αλλάζουν από σημείο σε σημείο του αγρού με αποτέλεσμα να επηρεάζουν και την παραγωγή. Επίσης, οι καλλιεργητικές φροντίδες όπως λίπανση και άρδευση αν δεν εφαρμόζονται σωστά παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην τελική παραγωγή. Τέλος, τυχόν παρασιτισμοί σε συγκεκριμένα δέντρα ή σημεία του αγρού έχουν ως αποτέλεσμα την επιρροή στην παραγωγή και κατ' επέκταση στη χωρική κατανομή της παραγωγής. Έτσι, η μεγάλη παραλλακτικότητα στην παραγωγή μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η περιοχή που βρίσκεται ο οπωρώνας είναι πεδινή και οι εδαφοκλιματικές συνθήκες ίσως δεν είναι οι κατάλληλες για επίτευξη υψηλής παραγωγής.

Στους χάρτες NDVI φαίνεται η χωρική παραλλακτικότητα στο NDVI. Παρατηρούμε μια τάση στο βόρειο τμήμα του οπωρώνα να έχει χαμηλότερες τιμές NDVI από το νότιο τμήμα του. Οι διαφορετικές τιμές NDVI σε συγκεκριμένα τμήματα του οπωρώνα και κατ' επέκταση η χωρική παραλλακτικότητα του NDVI δείχνει διαφορές στην πυκνότητα βλάστησης του αγρού και στην κατάσταση της υγείας των δέντρων κάτι που οφείλεται κατά κύριο λόγο στις καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται στον οπωρώνα. Ένας λόγος της χωρικής παραλλακτικότητας στο NDVI θα μπορούσε να ήταν το γεγονός ότι αρκετά δέντρα είχαν αντικατασταθεί και στη θέση τους είχαν φυτευτεί καινούργια. Όσον αφορά τη συσχέτιση της παραγωγής με το NDVI από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι οι τιμές του NDVI σε όλα τα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας είχαν θετική συσχέτιση με την παραγωγή. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν σχεδόν για όλες τις ημερομηνίες $r=0,3$. Αυτή είναι μια χαμηλή τιμή η οποία καθιστά την ανάγκη λήψης περισσότερων δεδομένων από περισσότερες χρονιές και περισσότερα αγροκτήματα για την ισχυροποίηση των αποτελεσμάτων.

Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι ο αριθμός των ανθέων είχε θετική συσχέτιση με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν $r=0,6$. Ο χάρτης ανθοφορίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να γίνει πρόβλεψη της παραγωγής αλλά και της χωρικής κατανομής της από την Άνοιξη που είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό και την αγορά. Επίσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή λίπανσης και χημικού αραιώματος καρπών με μεταβλητές δόσεις, με σκοπό να επιτευχθεί οικονομία χρημάτων και μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη χρήση χημικών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από το ένα έτος του πειράματος παρατηρήθηκε ότι υπάρχει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή και στο NDVI, παρόλο το μικρό μέγεθος του οπωρώνα. Η ύπαρξη αυτής της παραλλακτικότητας υποδηλώνει ότι μπορούν να εφαρμοστούν συστήματα Γεωργίας Ακριβείας στον οπωρώνα.

Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της παραγωγής και της ανθοφορίας ήταν $r=0,6$. Το αποτέλεσμα αυτό είναι πολύ ενδιαφέρον διότι μας δείχνει ότι η ανθοφορία φαίνεται να επηρεάζει την παραγωγή ανεξάρτητα από τις ενδιάμεσες καλλιεργητικές φροντίδες.

Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ της παραγωγής και του NDVI στα διάφορα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας ήταν μικρότεροι από τον συντελεστή συσχέτισης μεταξύ της παραγωγής και της ανθοφορίας και κυμάνθηκαν από 0,2-0,3. Το αποτέλεσμα αυτό είναι πολύ ενδιαφέρον διότι μας δείχνει ότι παρόλο που η τιμή συσχέτισης ήταν χαμηλή ο δείκτης NDVI φαίνεται να μπορεί να συσχετιστεί με την παραγωγή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περιοδικά

- Guijarro, M., Pajares, G., Riomoros, I., Herrera, P., Burgos-Artizzu, X., Ribeiro, A., 2010. Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. *Computers and Electronics in Agriculture* 75 (2011) 75-83.
- Lee, W., Alchanatis, V., Yang, C., Hirafuji, M., Moschou, D., Li, C., 2010. Sensing technologies for precision specialty crop production. *Computers and Electronics in Agriculture* 74 (2010) 2-33.
- Panda, S., Hoogenboom, G., Paz, J., 2010. Remote Sensing and geospatial technological applications for site-specific management of fruit and nut crops: A review. *Remote Sensing* 2010, 2, 1973-1997.
- Perry, E., Dezzani, R., Seavert, C., Pierce, F., 2010. Spatial variation in tree characteristics and yield in a pear orchard. *Precision Agric* (2010) 11:42-60.
- Veltman, R., Kho, R., van Schaik, ., Sanders, M., Oosterhaven, J., 2000. Ascorbic acid and tissue browning in pears (*Pyrus communis* L. cvs Rocha and Conference) under controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biology and Technology* 19 (2000) 129 – 137

Κεφάλαια Βιβλίων

- Μηνοπούλου, Χ., 2007. Ανάπτυξη καρπών μηλιάς και αχλαδιάς και φυσιολογικές μεταβολές τους. Πτυχιακή εργασία-Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας-Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, 2007.

Πρακτικά Συνεδρίων

- Aggelopoulou, K., Rapos, E., Markinos, A., Nanos, G., Gemtos, T., 2005. Precision farming in apple orchard: correlating yield maps and quality. 5th European Conference for Precision Agriculture, June 2005, Upsala, Sweden. Book of abstracts, p 23-24.

- Fountas, S., Blackmore, S., Gemtos, T., Markinos, A., 2004. Trend yield maps in Greece and the UK. 2nd HAICTA Conference Proceedings. Vol 2 p 309-319, Thessaloniki.
- Hellebrand, H., Umenda, M., 2004. Soil and plant sensing for precision agriculture. 1st Asian Conference on Precision Agriculture, Kuala Lumpur Malaysia, 11-13 May 2004
- Meuleman, K., Coppin, P., Debacker, S., Debruyn, W., Nackaerts, K., Scheunders, P., Sterckx, S., 2003. Optimal hyperspectral indicators for stress detection in orchards. Presented at the 3rd EARSEL Workshop on Imaging Spectroscopy, Herrsching, 13-16 May 2003.
- Paris, J., 2005. Precision Remote Sensing and image processing for Precision Agriculture. Presented to Colorado State University, Fort Collins, CO, October 20, 2005.
- Pokrajac, D., Lazarevic, A., Vucetic, S., Fiez, T., Obradovic, Z., 1999. Image Processing in Precision Agriculture. Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services, 1999. 4th International Conference on 13-15 Oct. 1999, pp. 616 - 619 vol.2.
- Snyder, R.L., Spano, D., Cesaraccio, C., Duce, P. 2002. Phenological responses of pear trees to heat units. Proc. of the 16th International Congress on Biometeorology, Kansas City, Missouri, USA, 28 October – 1 November 2002, 384-385.
- Γέμτος, Θ., Φουντάς, Σ., Μαρκινός, Α., Blackmore, S., 2003. Γεωργία Ακριβείας: Προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα και στη Νότια Ευρώπη. Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Μάιος 29-31, 2003.
- Καρυδάς, Χ. και Συλλαίος, Ν., 2000. Γεωργία Ακριβείας: Περιγραφή της μεθοδου – Υφισταμενη κατασταση και προοπτικες. 2ο ειδικό συνέδριο “Πληροφορικά συστήματα στον Αγροτικό Τομέα” της Ελληνικής Εταιρείας Επιχειρησιακών Ερευνών, Χανιά, 10/2000, Πρακτικά: σελ. 134-146.