

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ (Ε.Γ.Μ.Ε.)

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

6^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ

ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

**Η Γεωργική Μηχανική και η Μηχανική
Βιοσυστημάτων στην εποχή των βιοκαυσίμων
και των κλιματικών αλλαγών**

Επιμέλεια Έκδοσης

Β. Αντωνόπουλος,

Π. Γεωργίου και Σ. Βουγιούκας

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

8-10 Οκτωβρίου 2009

Πρακτικά του 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής
Η Γεωργική Μηχανική και η Μηχανική Βιοσυστημάτων στην εποχή των
βιοκαυσίμων και των κλιματικών αλλαγών

ISBN 978-960-6865-12-1

Η αναπαραγωγή των εργασιών έχει γίνει με απευθείας φωτοαντιγραφή και την ευθύνη για το υλικό κάθε εργασίας έχουν οι συγγραφείς.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ) ιδρύθηκε τον Ιούλιο του 1993 με έδρα την Αθήνα και είναι μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης Γεωργικών Μηχανικών (EurAgEng). Η ΕΓΜΕ οργανώνει κάθε δύο έτη το Πανελλήνιο Συνεδρίο της.

Ο παρόν τόμος αποτελεί τα πρακτικά του 6^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου της Γεωργικής Μηχανικής, που έλαβε χώρα στην Θεσσαλονίκη από 8-10 Οκτωβρίου 2009. Το θέμα του συνεδρίου ήταν «Η Γεωργική Μηχανική και η Μηχανική Βιοσυστημάτων στην εποχή των βιοκαυσίμων και των κλιματικών αλλαγών». Περιέχει 103 επιστημονικές ανακοινώσεις που παρουσιάστηκαν στο Συνέδριο. Όλες οι εργασίες κρίθηκαν από μέλη της Επιστημονικής Επιτροπής και άλλους ειδικούς επιστήμονες. Το συνέδριο οργανώθηκε υπό την αιγίδα της Γεωπονικής Σχολής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και υποστηρίχθηκε από τα μέλη του Τομέα Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής.

Στο Συνέδριο δόθηκε η ευκαιρία στο Επιστημονικό δυναμικό της χώρας μας να παρουσιάσει την πρόοδο της Επιστήμης και τις νέες μεθόδους προσέγγισης σε αντικείμενα που αφορούν τη διαχείριση των υδατικών και εδαφικών πόρων, τα γεωργικά μηχανήματα, τις αγροτικές κατασκευές, την επεξεργασία γεωργικών προϊόντων, την ενέργεια, τις νέες τεχνολογίες και το περιβάλλον.

Η Γεωργική Μηχανική τα τελευταία χρόνια μετεξελίχθηκε σε Μηχανική Βιοσυστημάτων διεθνώς αλλά και στη χώρα μας. Στη Μηχανική Βιοσυστημάτων αξιοποιούνται οι αρχές της μηχανικής και της βιολογίας για να δοθούν λύσεις σε προβλήματα που αφορούν τους ζωντανούς οργανισμούς και το φυσικό περιβάλλον. Έχει σαν στόχο την εξασφάλιση των απαραίτητων εφοδίων για τη ζωή: ασφαλή και επαρκή τρόφιμα για τη διατροφή, πόσιμο καθαρό νερό, καθαρά καύσιμα και πηγές ενέργειας, ασφαλές και υγιές περιβάλλον για τη διαβίωση.

Οι δύο προκλήσεις των ημερών είναι τα βιοκαύσιμα και η κλιματική αλλαγή. Είναι δύο θέματα που βρίσκονται στο επίκεντρο των ενδιαφερόντων των Μηχανικών Βιοσυστημάτων. Η κλιματική αλλαγή επηρεάζεται από τις δραστηριότητες της Γεωργίας, αλλά και επηρεάζει την παραγωγικότητα φυτών και ζώων. Οι αναμενόμενες μεταβολές στη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση, τη σχετική υγρασία, τα πλημμυρικά φαινόμενα και τη ξηρασία θα επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών και τη διαβίωση των ζώων και του φυσικού περιβάλλοντος, όπου αναπτύσσονται και εκτρέφονται. Η διαχείριση της καλλιέργειας των αγρών ιδιαίτερα σε οργανικά εδάφη και των αποβλήτων των ζώων, επιβάλλεται για την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, N₂O, CH₄). Η παραγωγή και η χρήση των βιοκαυσίμων αυξάνει συνεχώς. Συνδέεται, όμως με τη αύξηση της ζήτησης των προϊόντων ορισμένων καλλιεργειών, όπως αραβοσίτου, γεγονός που έχει επιπτώσεις στις τιμές τους και μερικές φορές στην ενίσχυση του επισιτιστικού προβλήματος και την κατασπατάληση υδατικών και εδαφικών πόρων.

Εκφράζονται θερμές ευχαριστίες προς τα μέλη της Οργανωτικής και Επιστημονικής Επιτροπής του συνεδρίου, τους συγγραφείς και τους κριτές των εργασιών που αφιέρωσαν πολύτιμο χρόνο για την επιστημονικά αρτιότερη οργάνωση του συνεδρίου.

Προς την Επιτροπή Ερευνών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, το ΥΠΕΧΩΔΕ, το ΓΕΩΤΕΕ καθώς και τους άλλους χορηγούς και εκθέτες απευθύνονται ειλικρινείς ευχαριστίες για την οικονομική ενίσχυση που προσέφεραν ώστε να πραγματοποιηθεί με επιτυχία το παρόν συνέδριο.

Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2009
Καθηγητής, Βασίλειος Ζ. Αντωνόπουλος
Πρόεδρος Οργανωτικής Επιτροπής

Οργανωτική Επιτροπή Συνεδρίου

Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ., πρόεδρος ΕΓΜΕ
Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ., αντιπρόεδρος ΕΓΜΕ
Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Παυλάτου-Βε Α., Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Βουγιούκας Σ., Επίκουρος Καθηγητής Α.Π.Θ., γραμματέας ΕΓΜΕ
Γεωργίου Π., Λέκτορας Α.Π.Θ., ταμίας ΕΓΜΕ
Τελόγλου Η., Επίκουρος Καθηγητής Α.Τ.Ε.Ι.Θ.
Ταμβακίδης Σ., Δρ. Γεωπόνος, υπάλληλος ΔΥ-ΠΚΜ
Εσκιάδης Δ., Πρόεδρος Εισαγωγέων-Κατασκευαστών Γεωργικών Μηχανημάτων
Ασχονίτης Β., Γραμματέας συνεδρίου

Επιστημονική Επιτροπή

Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Βουγιούκας Σ., Επικ. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Γέμτος Θ., Καθηγητής Π.Θ.
Γεωργίου Π., Λέκτορας Α.Π.Θ.
Γιαννόπουλος Σ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Δαλέζιος Ν., Καθηγητής Π.Θ.
Ζήσης Θ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Καραμούζης Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Κατσούλας Ν., Λέκτορας Π.Θ.
Κερκίδης Π., Καθηγητής Γ.Π.Α
Κίττας Κ., Καθηγητής Π.Θ.
Λαμπρινός Γ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μαρτζόπουλος Γ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μισοπολινός Ν., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μπριασούλης Δ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Παναγάκης Π., Επικ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παναγιωτόπουλος Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Παπαδάκης Γ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παπαμιχαήλ Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Παρισόπουλος Γ., ΕΘΙΑΓΕ
Παυλάτου-Βε Α., Αν. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.
Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Κριτές Επιστημονικών Εργασιών

Αγγελοπούλου Κ.	Καλμπουρτζή Κ.	Μπόχτης Δ.
Ακριτίδης Κ.	Καλφούντζος Δ.	Μυστριώτης Α.
Αλεξίου Ι.	Κανακούδης Β.	Νάνος Γ.
Αλχανάκης Β.	Καραμούζης Δ.	Νάτσης Α.
Αλεξανδρίδης Θ.	Καραρίζος Π.	Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ.
Αναγνωστόπουλος Π.	Καρπούζος Δ.	Ντιούδης Π.
Αναγνωστοπούλου Χ.	Καρυδάς Χ.	Ξανθόπουλος Γ.
Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε.	Κατσανίδης Ε.	Παναγάκης Π.
Αντωνόπουλος Β.	Κατσούλας Ν.	Παναγιωτόπουλος Κ.
Αραμπατζής Γ.	Κεραμίδας Β.	Παπαδάκης Γ.
Αργυροκαστρίτης Ι.	Κερκίδης Π.	Παπαδόπουλος Α.
Βαρζάκας Θ.	Κίττας Κ.	Παπαμιχαήλ Δ.
Βουγιούκας Σ.	Κολοκυθά Ε.	Παρισόπουλος Γ.
Βουδούρης Κ.	Κουνδουράς Σ.	Πατέρας Δ.
Βύρλας Π.	Κωστοπούλου Σ.	Παυλάτου-Βε Α.
Γέμτος Θ.	Κωτσόπουλος Θ.	Ράπτη Ε.
Γεωργίου Π.	Κωτσόπουλος Σ.	Σαπουντζής Μ.
Γιαννόπουλος Σ.	Λαζαρίδης Χ.	Σέμος Α.
Γιαννούλη Π.	Λαμπρινός Γ.	Ταμβακίδης Σ.
Γράβαλος Ι.	Λουκάς Α.	Τούλιος Λ.
Δαναλάτος Ν.	Μαλάμος Ν.	Τσατσαρέλης Κ.
Δεδούσης Α.	Μαμώλος Α.	Υψηλάντης Ι.
Δέρκας Ν.	Ματσή Θ.	Φερεντίνος Κ.
Δημητριάδης Α.	Μαυρογιαννόπουλος Γ.	Φουντάς Σ.
Διαμαντοπούλου Μ.	Μισοπολινός Ν.	Φράγκος Β.
Ελμαλόγλου Σ.	Μόσχου Δ.	Χατζηγιαννάκης Ε.
Ζαλίδης Γ.	Μπαμπατζιμόπουλος Χ.	Χρήστου-Βαρσακέλης Δ.
Ζήσης Θ.	Μπαρμπαγιάννης Ν.	Ψυχογιού Μ.
Καλαβρουζιώτης Ι.	Μπαρτζάνας Θ.	

Επικοινωνία – αλληλογραφία - πληροφορίες

Αντωνόπουλος Βασίλης

Καθηγητής Α.Π.Θ.

Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
54124 Θεσσαλονίκη

Τηλ. 2310-998745, 2310-998716, 2310-998752

Fax: 2310-998767

E-mail: vasanton@agro.auth.gr, egme2009@gmail.com

Internet: www.egme.gr, www.egme2009.web.auth.gr

EurAgEn: www.eurageng.org

ΧΟΡΗΓΟΙ

Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται από μέρους της Οργανωτικής Επιτροπής του Συνεδρίου στους χορηγούς και τους εκθέτες που βοήθησαν στην υλοποίησή του.



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΡΕΥΝΩΝ



Scientact a.E.



ΑΓΡΕΚ

Κ. ΣΑΜΑΝΤΟΥΡΟΣ Α.Ε.



ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ

Θερμικήτια – Μεταλλικά Κτίρια - Εξοπλισμός
ΒΙ.Π.Ε.Θ ΣΙΝΔΟΥ Τ.Θ. 1144, 570 22 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
TEL. +30-2310-797001/3 FAX :+30-2310-797004
Web. www.geotherm.gr , E.mail : geotherm@otenet.gr

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ



Υδατικοί Πόροι

- ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΝΕΡΟΥ – ΑΠΟΔΟΣΗΣ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ SWBACROS
Χ. Καλλιτσάρη, Π. Γεωργίου και Χ. Μπαμπατζιμόπουλος 3
- ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΟΡΥΖΩΝΩΝ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΤΗΣ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ VAN GENUCHTEN
Β.Γ. Ασχονίτης και Β.Ζ. Αντωνόπουλος..... 11
- Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΙΟΥ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ
ΚΑΙ ΣΤΗ ΒΑΘΙΑ ΔΙΗΘΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΣΤΑΓΔΗΝ
ΑΡΔΕΥΣΗΣ
Ε. Διαμαντόπουλος και Σ. Ελμαλόγλου..... 19
- ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ WAVE ΣΤΙΣ
ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ
Ι.Γ. Αλεξίου, Δ.Μ. Παπαμιχαήλ και Β.Ζ. Αντωνόπουλος 27
- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΑΓΡΟ ΥΠΟ
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ
SWMS_3D
Β.Ζ. Αντωνόπουλος και Σ.Α. Κωτσόπουλος..... 35
- ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SALTMED ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ
ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
Δ. Καλφούντζος, R. Ragab, Π. Βύρλας, Π. Καλφούντζος και Δ. Πατέρας 43
- ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΡΑΚΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΥ
ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΡΤΑΣ
Ι.Α. Τσιρογιάννης και Σ. Τριάντος..... 51
- ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ WET ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ
ΥΓΡΑΣΙΑΣ
Γ. Κάργας και Π. Κερκίδης..... 59
- ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΕΣΣΕΡΕΙΣ ΔΙΑΔΟΧΙΚΟΥΣ ΜΗΝΕΣ ΣΤΗΝ
ΑΘΗΝΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ
ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ
Κ.Π. Μουστρής, Ι.Κ. Λαρίσση και Α.Γ. Παλιατσός..... 67
- ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΓΝΩΣΕΙΣ
ΚΑΙΡΟΥ ΓΙΑ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
Ι. Πυθαρούλης..... 75
- ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΧΕΙΜΩΝΑ
Γ. Δημόκας, Κ. Κίττας και Μ. Tchamitchian 83
- ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ
Χ. Ράπτη, Χ. Ευαγγελίδης και Γ. Αραμπατζής 91
- ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΣΤΙΣ ΒΑΣΙΚΕΣ
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ
Β.Θ. Αμπας, Ε.Α. Μπαλτάς, Δ.Μ. Παπαμιχαήλ και Π.Ε. Γεωργίου..... 99

- ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΙΟΝΗΣΗΣ ΔΥΟ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ
ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
*Ι. Αργυροκαστρίτης, Σ. Φραγκίστα, Χ. Βαμβακούλας, Θ. Δαμιανίδης,
Σ. Αλεξανδρή και Π. Παπαστυλιανού..... 107*
- ΜΙΚΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΟΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΓΙΑ
ΠΑΤΑΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΡΚΑΔΙΑ
Ν. Προύτσος, Α. Λιακατάς, Α. Κοτρώζου και Σ. Αλεξανδρή..... 115
- ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (ΣΥΜΒΙΒΑΣΤΙΚΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ) ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΛΙΒΑΔΙΟΥ ΛΑΡΙΣΗΣ
Π. Καρασαββίδης, Χ. Τζιμόπουλος και Χ. Ευαγγελίδης..... 123
- ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ
ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ
ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΝΕΣΤΟΥ
Χ. Τζιμόπουλος, Σ. Γιαννόπουλος και Χ. Ευαγγελίδης..... 131
- ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ BOUSSINESQ
ΓΙΑ ΤΗ ΜΗ ΜΟΝΙΜΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ
Η. Τελόγλου και Θ. Ζήσης..... 139
- ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ ΤΩΝ
ΔΙΑΣΤΡΩΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ TOKSÖZ - KIRKHAM
Μ.Ε. Θεοχάρης 147
- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΙΚΡΗΣ
ΠΡΕΣΠΙΑΣ ΣΤΗ ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ
Γ. Παρισόπουλος, Μ. Μαλακού, Γ. Σαπουντζάκης και Μ. Γιαμούρη 155
- ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΙΣ
ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΕΣ ΑΠΟΡΡΟΕΣ
Κ. Σούλης, Π. Λόντρα, Δ. Αλωνιστιώτη, Ε. Πολλάλης και Ι. Βαλιάντζας..... 163
- ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ
ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ
Κ. Χατζηπαραδείση, Κ. Τολίκα και Ν. Θεοδοσίου..... 171

Εδαφικοί Πόροι

-
- ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΣΒΕΣΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΝΡΚ ΣΤΗ
ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΦΥΛΛΩΝ ΚΑΠΝΟΥ
(VIRGINIA) ΣΕ ΟΞΙΝΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΗΝ ΘΕΣΣΑΛΙΑ
Ε. Σταυρινός, Α. Δημήτρου, Γ. Ζαλίδης, Ν. Μισσοπολινός, Γ. Μπίλας..... 181
 - ΧΡΗΣΗ ΦΥΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΑΠΟ ΚΑΛΑΜΙΩΝΕΣ (*Phragmites australis*) ΓΙΑ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΟΜΠΟΣΤΑΣ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
Α. Τσιμπέλη, Α. Παυλάτου-Βε, Σ. Κωστοπούλου, Α. Μαμάλος και Κ. Καλμπουρτζή..... 189
 - ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΤΗ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΕΝΟΣ ΑΛΑΤΟΥΧΟΥ-ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
Σ.Κ. Κωστοπούλου και Σ. Τάτσης 197
 - ΔΟΚΙΜΗ ΤΗΣ USLE ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΡΑΚΤΙΚΗΣ
Δ. Πατέρας, Χ. Τερζοπούδη και Θ. Γέμτος 205
 - ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ ΟΞΙΝΑ ΚΑΙ ΑΣΒΕΣΤΩΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ
Β. Αντωνιάδης, Δ. Μπαχτσεβανίδης και Φ. Χαντζής 213

- Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΤΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΟΜΑΛΩΝ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ
Π.Σ. Βαγγελάτου, Θ.Ε. Σιμιτοπούλου και Κ.Χ. Αγγελόπουλος..... 221
- ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΟ ΚΡΙΘΑΡΙ
Χ. Πασχαλίδης, Β. Καββαδίας, Δ. Πετρόπουλος, Α. Κορίκη και Α. Πανδής..... 229
- ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΦΟΡΤΙΟ
Χ. Χαλβατζής και Ι.Κ. Καλαβρουζιώτης 235

Υπολογιστικά Μοντέλα στη Γεωργική Μηχανική

- ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΙΞΩΔΟΥΣ ΡΟΗΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΤΟΞΩΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ
Δ.Α. Κατέρης, Ι.Ν. Ντάντος, Σ. Παπουτσή–Ψυχουδάκη και Β.Π. Φράγκος..... 245
- ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΙΣ ΕΚΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΣΤΡΥΜΟΝΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΑΥΤΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΓΡΑΦΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΔΕΣΜΗΣ (H-ADCP)
Σ. Βουγιούκας, Δ. Παπαμιχαήλ, Π. Γεωργίου και Δ. Παπαδήμος..... 253
- ΔΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΔΥΟ ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ
Ι.Ν. Ντάντος, Δ.Α. Κατέρης, Σ. Παπουτσή–Ψυχουδάκη και Β.Π. Φράγκος..... 261
- ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ & ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΕ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ
Κ. Μπαζεβάνου, Δ. Φεΐδαρος, Δ. Παπαναστασίου, Θ. Μπαρτζάνας και Κ. Κίττας 269
- ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗΣ ΡΟΗΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΕ ΤΥΠΙΚΟ ΤΟΞΩΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ
Θ. Μπαρτζάνας, Δ. Φεΐδαρος, Α. Μπαζεβάνου και Κ. Κίττας..... 277
- ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΜΕ ΦΥΤΕΜΕΝΗ ΟΡΟΦΗ
Δ. Φεΐδαρος, Κ. Μπαζεβάνου, Θ. Μπαρτζάνας και Κ. Κίττας..... 285

Τεχνολογία Περιβάλλοντος

- ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΑΛΓΗ ΚΑΙ ΜΕ ΜΑΚΡΟΦΥΤΑ (DUCKWEED) ΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΒΟΘΡΟΛΥΜΑΤΩΝ
Φ.Η. Παπαδόπουλος και Β.Α. Τσιχριντζής 295
- ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΜΕ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΑΞΙΑΣ
Φ.Δ. Γάλλιον, Δ.Κ. Καρπούζος και Δ. Καραμούζης 303
- ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΕΥΡΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕΓΑΛΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ
Α. Πανώρας, Α. Ηλίας, Ε. Χατζηγιαννάκης, Γ. Αραμπαζής, Α. Ζδράγκας, Α. Παναγόπουλος, Σ. Σωτηράκη, Η. Παρούσης, Γ. Πανώρας, Θ. Μπόγιας, Α. Σουπίλας και Α. Νούλα..... 311
- ΑΖΩΤΟΥΧΟΣ ΛΙΠΑΝΣΗ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕ ΠΑΡΕΜΠΟΔΙΣΤΗ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ
Ν. Δαναλάτος, Σ. Αρχοντούλης, Δ. Μπαρτζιάλης, Α. Σιάνου, Δ. Ζαϊτούδης..... 321
- ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
Δ. Μπριασούλης, Μ. Χισκάκης, Ε. Μπάμπου, Σ. Αντίοχος και Κ. Παπάδη..... 329

- ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΣΤΑ ΦΥΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ
ΓΛΥΚΟΥ ΣΟΡΓΟΥ [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]
Α.Β. Κουβέλας και Κ.Χ. Αγγελόπουλος..... 341
- ΕΠΙΠΕΔΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ
ΣΕ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΣΜΟ
Δ.Κ. Παπαναστασίου, Δ. Φεΐδαρος, Α. Μπαζεβάνου, Θ. Μπαρτζάνας και Κ. Κίττας..... 349
- ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΕΙΦΟΡΙΑΣ ΤΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΟΜΑΛΩΝ ΚΕΦΑΛΟΝΙΑΣ
Θ.Ε. Σιμιτοπούλου, Π.Σ. Βαγγελάτου και Κ.Χ. Αγγελόπουλος..... 357

Οικονομικά Θέματα Γεωργικής Μηχανικής

- ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ
ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ
Α.Γ. Λιάπης, Π.Ε. Γεωργίου και Δ.Μ. Παπαμιχαήλ..... 367
- ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΕΡΩΝ
ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ
Δ. Παγίδης και Δ. Λατινόπουλος..... 375
- ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ
ΑΡΔΕΥΣΗΣ
Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Ε. Μυγδάκος και Χ. Παπανικολάου..... 383
- ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ
ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ
Π. Γεωργίου και Κ. Βουδούρης..... 391
- ΤΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΡΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗ
ΘΕΣΣΑΛΙΑ
Α. Ταγαράκης, Χ. Καραμούτης, Χ. Καβαλάρης, Ε. Μυγδάκος και Θ.Α. Γέμτος..... 399
- ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΛΑΧΑΝΟΥ:
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
Ε. Μυγδάκος, Α. Ρεζίτης, Ι. Σωτηρόπουλος και Μ. Ζώζουλα..... 407
- ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2006-2007
Ε. Μυγδάκος, Α. Ρεζίτης και Χ. Κελεπούρης..... 415

Γεωργικά Μηχανήματα - Εξοπλισμοί

- ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΑΘΙΣΜΑ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΣΕ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ
*Θ. Γιαλαμάς, Δ. Κατέρης, Ι. Γράβαλος, Π. Ξυραδάκης, Ζ. Τσιρόπουλος,
Χ. Δημητριάδης, Κ.Α. Τσατσαρέλης και Θ.Α. Γέμτος*..... 425
- ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL
Ι. Γράβαλος, Ζ. Τσιρόπουλος, Θ. Γιαλαμάς, Δ. Κατέρης και Π. Ξυραδάκης..... 433
- ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ
Ι. Γράβαλος, Θ. Γιαλαμάς, Δ. Κατέρης, Ζ. Τσιρόπουλος και Π. Ξυραδάκης..... 441
- Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΑΙΘΕΡΙΟΥ ΕΛΑΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΒΑΝΤΑ
Χ.Ι. Δημητριάδης, J.L. Brighton, Ι.Φ. Κόκκορας, Μ.Ι. Κόκκορα και Θ. Γιαλαμάς..... 449
- ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ
ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ
Χ.Κ. Κοτσακιώτη και Κ.Α. Τσατσαρέλης..... 457

• ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ <i>Α. Σβέρκου, Α. Νάτσης, Γ. Λαμπρινός και Θ.Α.Γέμτος</i>	465
• ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΑΘΙΣΜΑ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΡΟΣΗΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ <i>Θ.Α. Γιαλαμάς, Ι. Γράβαλος, Δ. Κατέρης, Π. Ξυραδάκης, Ζ. Τσιρόπουλος, Κ.Α. Τσατσαρέλης, Δ. Μόσχου και Θ.Α. Γέμτος</i>	471
• ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΗΛΙΕΛΑΙΟΥ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ & ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΕΓΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ <i>Α. Μπαλαφούτης, Α. Παπαγιαννοπούλου, Α. Γερονικολού, Α. Νάτσης και Γ. Παπαδάκης</i>	479
• ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ <i>Σ. Πασιτόπουλος, Σ. Φουντάς και Θ. Γέμτος</i>	489
• ΟΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ ΠΡΟΩΘΗΤΗ ΓΑΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ <i>Π.Β. Καραρίζος, Ε.Α. Καραγιάννης, Ε.Ν. Λάμπου και Μ.Γ. Καλαϊτζή</i>	497
• ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΣΕ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ <i>Ε.Α. Καραγιάννης, Π.Β. Καραρίζος, Ε.Ν. Λάμπου και Κ.Π. Ζάννης</i>	505
• ΧΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ <i>Ε.Α. Καραγιάννης, Π.Β. Καραρίζος, Ε.Ν. Λάμπου και Μ.Γ. Καλαϊτζή</i>	513
• ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ, ΣΠΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ <i>Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης και Θ.Α. Γέμτος</i>	521
• ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ <i>Ι.Γ. Αμπατζίδης, Ι.Α. Σπανομήτρος και Δ.Χ. Χατζημπεντέλης</i>	531

Αγροτικές Κατασκευές

• ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΤΟΞΩΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ <i>Χ. Παπαϊωάννου, Ν. Κατσούλας και Κ. Κίττας</i>	541
• ΣΥΜΒΟΛΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΩΣ ΥΔΡΟΡΡΟΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ <i>Γ. Ντίνας και Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου</i>	549
• ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΠΙΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ ΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ <i>Α. Γιαννούλης, Α. Μυστριώτης και Δ. Μπριασούλης</i>	557
• ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ ΜΕ ΥΔΡΟΡΡΟΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ <i>Γ. Ντίνας, Ε. Καρανίκας και Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου</i>	567
• ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ <i>Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας, Θ. Μπαρτζάνας, Χ. Λύκας και Μ. Τσετσελίδου</i>	575

- ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΙ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ ΣΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΕΦΑΠΙΑΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ (BATCH DIGESTERS) ΣΤΗ ΜΕΣΟΦΙΛΗ ΖΩΝΗ
Π. Κούγιας, Α. Βέργος, Θ. Κωτσόπουλος και Γ. Μαρτζόπουλος 583

Νέες Τεχνολογίες στη Γεωργική Μηχανική

- ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ
Ι.Γ. Αμπατζίδης και Σ.Γ. Βουγιούκας..... 593
- ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΗΛΙΑΣ ΜΕ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΘΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕΣΩ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
Α.Α. Κουτσοστάθης, Δ. Μπόχτης, Α. Αγγελόπουλου, Σπ. Φουντάς και Θ. Γέμτος 601
- ΒΑΘΜΟΝΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΠΟΡΟΦΥΤΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ
Κ. Πεπονάκης, Ν. Κατσούλας και Κ. Κίττας 609
- ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΝΩΠΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΟΠΩΡΟΦΟΡΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ
Ι.Γ. Αμπατζίδης και Σ.Γ. Βουγιούκας..... 617
- ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΙΑ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ
Σ. Φουντάς, Κ. Μπουλουλή, Κ. Αγγελοπούλου, Ν. Γιαννόπουλος, Θ. Γέμτος, Γ. Νάνος, Α. Παρασκευόπουλος και Μ. Γαλάνης..... 625
- ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΦΥΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΡΑΣΜΟΥ ΠΟΛΥΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
Δ. Μόσχου..... 633
- ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΒΑΣΙΖΟΜΕΝΗ ΣΤΟΝ LGR ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ
Α. Ξενάκης, Α. Περλεπές, Π. Κίκiras και Γ. Σταμούλης..... 641
- ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ Π. ΣΤΡΥΜΟΝΑ ΜΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ
Χ. Καρυδάς, Β. Αντωνόπουλος, Γ. Ζαλίδης, Δ. Παπαμιχαήλ και Ν. Συλλαίος..... 649
- ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΑ
Γ. Στουγιάννης, Α. Περλεπές, Σ. Φουντάς, Θ.Α. Γέμτος και Π. Κίκiras..... 657
- ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ
Δ.Δ. Μπόχτης, S.G. Sørensen, O. Green, A. Klose και K.A. Andersen..... 665
- ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΥΡΩΣΤΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ
Α.Γ. Σολδάτος, Σ.Γ. Σαφαρίδης και Κ.Γ. Αρβανίτης 673
- ΧΡΗΣΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΕΓΓΥΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΦΩΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΡΑΧΙΔΑΣ
Α. Περιστέρόπουλος, Γ. Βελλίδης, Σ. Φουντάς και Θ.Α. Γέμτος..... 681

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Εξοικονόμηση Ενέργειας στη Γεωργία

- ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΡΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ
Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Α. Ταγαράκης και Θ.Α. Γέμτος 691

• Η ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΡΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ <i>Θ.Α. Γέμτος, Χρ. Καβαλάρης, Χρ. Καραμούτης και Σπ. Φουντάς</i>	699
• ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΟΡΓΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ <i>Χ. Παπανικολάου και Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη</i>	707
• ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΓΛΥΚΟΥ ΣΟΡΓΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ <i>Κ.Χ. Αγγελόπουλος, Α.Β. Κούβελας, Α. Καμπράνης, Α.Ν. Θεοδωρακοπούλου</i>	715
• ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΤΥΡΟΓΑΛΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΥΓΡΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ <i>Αν. Κακούρος, Δ. Γεωργακάκης και Β. Φούντα</i>	721
• ΝΕΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ <i>Α. Λεβέντη και Γρ. Λαμπρινός</i>	729
• ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ <i>Μ. Χιονίδης και Γρ. Λαμπρινός</i>	737

Μετασυλλεκτική – Μετασυγκομιστική Τεχνολογία

• Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ «ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗΣ» ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ <i>Α. Χριστόπουλος, Κ. Ρεκούμη και Ε. Μανωλοπούλου</i>	747
• ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΝΩΠΩΝ ΚΑΡΠΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΨΕΥΔΟΚΑΡΠΟΥ <i>Γ.Δ. Νάνος, Στ. Λεοντόπουλος και Θ. Γέμτος</i>	755
• Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΜΗΛΩΝ ΑΠΟ ΜΩΛΩΠΙΣΜΟΥΣ <i>Γ.Δ. Νάνος, Σ. Λεοντόπουλος και Θ. Γέμτος</i>	763
• ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΧΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΘΕΡΜΟ ΑΕΡΑ ΕΔΩΔΙΜΟΥ ΜΑΝΙΤΑΡΙΟΥ <i>AGARICUS BISPORUS</i> <i>Θ. Σωτηριάδης, Ε. Π. Αγγλογάλλος, Γ. Ξανθόπουλος και Γρ. Λαμπρινός</i>	771
• ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΣΕ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΑΛΙΕΥΜΑΤΩΝ <i>Ε.Γ. Χατζής, Κ.Δ. Σιαφαρίκας και Στ. Ψυχογιού</i>	779
• ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ «ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ» ΜΗΛΩΝ <i>GOLDEN DELICIOUS</i> ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ <i>Ε.Γ. Χατζής, Ε. Μανωλοπούλου, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος, Γ. Ξανθόπουλος και Γρ. Λαμπρινός</i>	787
• ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΤΟΜΙΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΑΝΙΤΑΡΙΩΝ <i>AGARICUS BISPORUS</i> <i>Ε-Π. Αγγλογάλλος, Θ. Σωτηριάδης, Γ. Ξανθόπουλος και Γρ. Λαμπρινός</i>	795
• ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΛΑΜΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΩΣ ΒΙΟΜΑΖΑ <i>Α.Ν. Δημητριάδης</i>	805
• ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΤΡΙΩΝ ΣΤΕΛΕΧΩΝ ΜΑΝΙΤΑΡΙΟΥ <i>AGARICUS BISPORUS</i> <i>Α. Κέφη, Γ. Ξανθόπουλος, Ε. Μανωλοπούλου και Γρ. Λαμπρινός</i>	815

- ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ «ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΟΥ ΜΗΛΟΥ»
Delicious Pilafa
Ε. Μανωλοπούλου, Γρ. Λαμπρινός, Γ. Ξανθόπουλος, Ε. Χατζής και
Ε. Αραβαντινός–Καρλάτος..... 823
- ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ
Στ. Ψυχογιού, Α. Κατσογιάννη, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Ξανθόπουλος
Ε. Χατζής και Γρ. Λαμπρινός 831
- ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΜΑΖΑΣ ΝΩΠΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕ ΨΥΞΗ
Στ. Ψυχογιού, Α. Κατσογιάννη, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Ξανθόπουλος και
Γρ. Λαμπρινός..... 841
- ΤΕΧΝΗΤΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΩΝ ΛΕΥΚΩΝ ΜΑΝΙΤΑΡΙΩΝ
AGARICUS BISPORUS ΣΕ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ
Θ. Σωτηριάδης, Π–Ε Αγγλογάλλος, Γ. Ξανθόπουλος και Γρ. Λαμπρινός 849

Ευρετήριο Συγγραφέων **857**

Θεματικό Ευρετήριο **863**

6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο
της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος



**ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ
ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ**

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ

Ι.Γ. Αμπατζίδης* και Σ.Γ. Βουγιούκας

Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Γεωπονική Σχολή,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη

*E-mail: iampatzi@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή αναλύεται και μοντελοποιείται το σύστημα αναμονής που δημιουργείται κατά τη διαδικασία εκφόρτωσης κιβωτίων γεμάτων καρπούς κατά την παραδοσιακή συγκομιδή επιτραπέζιων σταφυλιών όταν χρησιμοποιείται ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ταυτοποίησης και ζύγισης των κιβωτίων στο σημείο εκφόρτωσης. Το μοντέλο που περιγράφει την διαδικασία είναι το μοντέλο «επιδιόρθωση-επιτήρηση μηχανών», με κατάλληλες τροποποιήσεις. Εξετάζεται το σύστημα αναμονής κατά την αξιολόγηση του συστήματος ταυτοποίησης και ζύγισης στον αγρό και αναλύονται σενάρια με χρήση διαφορετικού αριθμού εργατών-μεταφορέων και σημείων εκφόρτωσης, ώστε να εξεταστούν τα χαρακτηριστικά του συστήματος αναμονής και να επιλεγεί ο βέλτιστος αριθμός μονάδων εξυπηρέτησης.

Λέξεις κλειδιά: συστήματα αναμονής, μοντελοποίηση, συγκομιδή επιτραπέζιων σταφυλιών, ιχνηλασιμότητα.

QUEUEING SYSTEMS ANALYSIS DURING YIELD MEASUREMENT AND IDENTIFICATION OF TABLE GRAPES IN THE FIELD

Y.G. Ampatzidis* and S.G. Vougioukas

Department of Agricultural Engineering,
Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece

*E-mail: iampatzi@agro.auth.gr

ABSTRACT

This paper presents and analyzes a queueing system that simulates the loading procedure of bins full of fruits in manual vine harvesting, using an automated portable bin identification and weighing system. The appropriate model that simulates this procedure is the “machine interference”, with suitable modifications. The queueing model is examined during the evaluation in the field of the developed identification and weighing system. Scenarios with different number of carriers and unloading stations were simulated in order to examine the system’s performance and to select the optimal number of unloading stations.

Key words: queueing systems, simulation, manual vine harvesting, traceability.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι απαιτήσεις για ασφάλεια, ποιότητα και ιχνηλασιμότητα των τροφίμων οδηγούν τους αγρότες-παραγωγούς στην χρήση νέων τεχνολογιών ώστε να ανταποκριθούν στις σύγχρονες απαιτήσεις της κοινωνίας. Ένα τέτοιο αυτοματοποιημένο σύστημα χαμηλού κόστους σχεδιάστηκε για τη μέτρηση και την ταυτοποίηση της παραγωγής επιτραπέζιων σταφυλιών από τους Ampatzidis et al. (2007; 2008). Στην εφαρμογή αυτή ένας αναγνώστης ραβδωτού κώδικα (barcode) και ένας ψηφιακός ζυγός τοποθετήθηκαν σε ειδική κατασκευή (Portable Identification and Weighing Unit - PIWU) στην καρότσα του φορτηγού, μαζί με ένα GPS. Κατά την φόρτωση των γεμάτων κιβωτίων στην καρότσα, οι εργάτες τοποθετούν κάθε κιβώτιο στην ειδική θέση όπου μετριέται το βάρος του από τον ζυγό, καταγράφεται ο κωδικός του από τον αναγνώστη barcode, καθώς και η θέση του αγροτεμαχίου από το GPS, αυτόματα χωρίς εισαγωγή δεδομένων από κάποιον εργάτη. Έτσι, καθορίζεται η συσχέτιση μεταξύ των γεμάτων κιβωτίων και του κάθε αγροτεμαχίου του παραγωγού.

Σε κάποιες περιπτώσεις, η χρήση του PIWU στον αγρό οδηγεί στην δημιουργία ουρών αναμονής, καθώς οι εργάτες που μεταφέρουν τα γεμάτα κιβώτια επάνω σε καρότσια καταφθάνουν για την τοποθέτησή τους στη ειδική θέση. Στην εργασία αυτή η διαδικασία εκφόρτωσης περιγράφεται και αναλύεται με τη χρήση ενός μοντέλου ουρών αναμονής το οποίο χρησιμοποιείται στην επιχειρησιακή έρευνα για μοντελοποίηση επιδιόρθωσης-επιτήρησης μηχανών. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η πρόβλεψη του χρόνου αναμονής αλλά και επιμέρους χαρακτηριστικών του συστήματος ανάλογα με τον αριθμό εργατών – PIWU's. Βασικός σκοπός είναι να καθοριστεί ο κατάλληλος αριθμός μονάδων PIWU, έτσι ώστε ο μέσος χρόνος αναμονής των εργατών με τα καροτσάκια στο σύστημα να είναι αποδεκτός και η πιθανότητα μια μονάδα εξυπηρέτησης-PIWU να είναι ανενεργή να είναι όσο το δυνατό μικρότερη. Προσομοιώνονται σενάρια με χρήση διαφορετικών αριθμών μονάδων εξυπηρέτησης-PIWU και εργατών με καροτσάκια και αναλύονται τα χαρακτηριστικά των συστημάτων αναμονής που προκύπτουν. Επιπλέον, εξετάζεται η ουρά αναμονής που δημιουργήθηκε κατά την αξιολόγηση του PIWU σε ένα αμπελώνα.

2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ

Η συγκομιδή των σταφυλιών πραγματοποιείται σε ένα, δύο ή περισσότερα στάδια (χέρια), ώστε να συλλέγονται μόνο οι ώριμοι καρποί. Κατά την παραδοσιακή συγκομιδή των σταφυλιών με τα χέρια, κάθε παραγωγός ή έμπορος παραλαμβάνει έναν αριθμό κιβωτίων από το συσκευαστήριο στα οποία τοποθετούνται τα σταφύλια από τους εργάτες. Συνήθως, για την ολοκλήρωση της συγκομιδής χρησιμοποιείται μία ομάδα με 30-50 εργάτες. Διακρίνουμε δύο είδη εργατών: “συλλέκτες”, που συλλέγουν τους καρπούς από τα πρέμνα και τους τοποθετούν στα κιβώτια και “μεταφορείς”, που συλλέγουν, τοποθετούν και μεταφέρουν τα γεμάτα καρπούς κιβώτια, με τη βοήθεια καροτσιών σε σημεία συγκέντρωσης ή σε φορτηγά μικρού τύπου.

Η διαδικασία είναι η ακόλουθη: Οι συλλέκτες συλλέγουν τους καρπούς των πρέμνων σε κιβώτια χωρητικότητας περίπου 10kg. Τα γεμάτα κιβώτια αφήνονται δίπλα στα πρέμνα από όπου συγκομίστηκαν οι καρποί. Στη συνέχεια μεταφορείς με καροτσάκια χωρητικότητας 6-8 κιβωτίων, συλλέγουν τα γεμάτα κιβώτια από κάθε πλευρά των σειρών των πρέμνων και τα μεταφέρουν σε φορτηγό μικρού τύπου με καρότσα.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένα αυτοματοποιημένο σύστημα (Σχήμα 1.α) που συνδυάζει: α) ένα αναγνώστη ραβδωτού κώδικα (barcode), β) ένα ψηφιακό ζυγό και γ)

ένα GPS, που τοποθετούνται σε ειδική κατασκευή (Portable Identification and Weighing Unit - PIWU) χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση και την ταυτοποίηση της παραγωγής των επιτραπέζιων σταφυλιών (Αμπατζίδης κ.α., 2007; Ampatzidis et al., 2008).



α

β

Σχήμα 1.α. Αυτοματοποιημένο σύστημα (PIWU), με αναγνώστη ραβδωτού κώδικα, ψηφιακό ζυγό και GPS β. Εκφόρτωση κιβωτίων στην καρότσα φορτηγού.

Στο σημείο εκφόρτωσης των κιβωτίων ο μεταφορέας πρέπει να τοποθετεί ένα-ένα τα κιβώτια στην ειδική θέση στο PIWU, ώστε να καταγραφεί ο κωδικός του κιβωτίου και το βάρος του. Στη συνέχεια άλλος εργάτης παίρνει τα κιβώτια από το PIWU και τα στοιβάζει στην καρότσα του φορτηγού (Σχήμα 1.β). Στη περίπτωση που χρησιμοποιούνται S μονάδες PIWUs τότε S εργάτες θα παραλαμβάνουν τα κιβώτια από αυτά και θα τα στοιβάζουν στην καρότσα. Λόγω της διαδικασίας αυτής είναι πιθανή η δημιουργία ουρών αναμονής, καθώς όλο και περισσότεροι μεταφορείς προσέρχονται στην καρότσα συγκέντρωσης των κιβωτίων. Ο αριθμός των μεταφορέων, το μέγεθος-σχήμα του αμπελώνα και ο αριθμός των PIWUs επηρεάζουν τα μεγέθη των ουρών αναμονής. Επομένως, το κόστος συγκομιδής αυξάνεται όταν οι εργάτες καθυστερούν περιμένοντας σε διάφορες ουρές. Επίσης, ο χρόνος συγκομιδής σχεδόν όλων των καρπών επηρεάζει την ποιότητά τους και συνεπώς την αξία πώλησής τους. Όλα αυτά σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο χρόνος συγκομιδής είναι περιορισμένος λόγω των απρόβλεπτων καιρικών συνθηκών καθώς και λόγω της ανάγκης για έγκαιρη προώθηση και πώληση των προϊόντων στις αγορές, καθιστά απαραίτητη την ανάλυση του παραπάνω συστήματος για την επιλογή του κατάλληλου αριθμού μεταφορέων και μονάδων PIWUs, ώστε ο μέσος χρόνος αναμονής των μεταφορέων στο σύστημα να είναι αποδεκτός και η πιθανότητα ένα PIWU να είναι ανενεργό να είναι όσο το δυνατό μικρότερη.

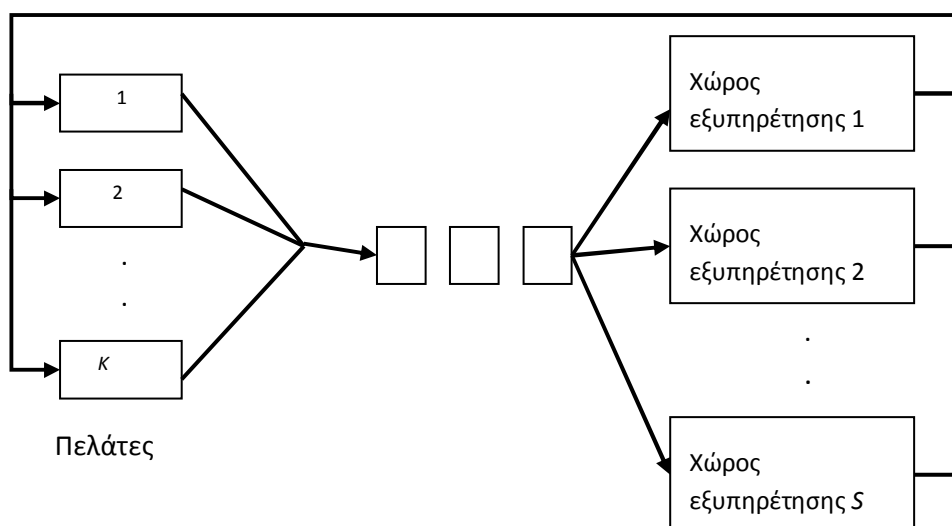
3.1. ΟΥΡΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ($M/M/S$):($GD/K/K$)

Το σύστημα αναμονής αυτό είναι γνωστό ως «Επιτήρηση ή Επιδιόρθωση Μηχανών» (Finite Source Queues ή Machine Interference problem). Σε ένα σύστημα ($A/B/C$):($D/E/F$) το A παριστάνει την κατανομή αφίξεων, το B την κατανομή των εξυπηρετήσεων, το C τον αριθμό των παραλλήλων αριθμών εξυπηρέτησης, το D την πειθαρχία της ουράς, το E το μέγιστο επιτρεπόμενο αριθμό πελατών στο σύστημα και το F το μέγεθος της πηγής από την οποία προέρχονται οι μονάδες που ζητούν εξυπηρέτηση. Στο σύστημα ($M/M/S$):($GD/K/K$) τόσο η κατανομή των αφίξεων των «πελατών» όσο και η κατανομή του χρόνου εξυπηρέτησης είναι εκθετικές (M). Το πλήθος των παράλληλων θέσεων εξυπηρέτησης είναι S και δεν μπορούν, σε

οποιαδήποτε χρονική στιγμή, να υπάρχουν περισσότεροι από K πελάτες. Οι πελάτες που έρχονται σχηματίζουν ουρά με τη σειρά που καταφθάνουν. Μόλις ένας εξυπηρετητής ελευθερωθεί, παίρνει τον πρώτο από την ουρά για να τον εξυπηρετήσει (πειθαρχία ουράς). Στην ουρά $(M/M/S):(GD/K/K)$ οι «πελάτες» είναι πεπερασμένος αριθμός K , συνήθως μηχανών που επιτηρούνται ή επιδιορθώνονται από $S < K$ χειριστές ή τεχνίτες (σταθμοί εξυπηρέτησης). Την ουρά ενός τέτοιου συστήματος αποτελούν οι μηχανές που αναμένουν την επιδιόρθωση από ένα τεχνίτη. Οι μηχανές που λειτουργούν θεωρούνται ότι βρίσκονται εκτός συστήματος αναμονής. Στο σύστημα αυτό η πηγή προέλευσης των «πελατών» (μηχανών) έχει περιορισμένη χωρητικότητα K (Ξηροκώστας, 1991; Shashiashvili, 2007).

Στο πρόβλημα της παραδοσιακής συγκομιδής σταφυλιών τον ρόλο των μηχανών έχουν οι εργάτες με τα καροτσάκια (μεταφορείς), τα οποία γεμίζουν με κιβώτια (“οι μηχανές χαλάνε”) και φτάνουν στο χώρο εκφόρτωσης, όπου υπάρχουν άλλοι εργάτες S , ένας σε κάθε PIWU. Η συγκεκριμένη δομή ταιριάζει στο σύστημά μας, γιατί ο αριθμός των καροτισών είναι πεπερασμένος (K) και μπορούν να υπάρχουν δύο ή περισσότερα PIWU (στο ίδιο φορτηγάκι ή διαφορετικό).

Πιο αναλυτικά θεωρούμε το ακόλουθο σύστημα ουράς: Έστω ότι υπάρχουν S εξυπηρετητές (εργάτες-PIWU's) στο σύστημα, οι οποίοι εργάζονται παράλληλα και ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο και K μεταφορείς. Οι αφίξεις του κάθε μεταφορέα στο σύστημα εμφανίζονται σύμφωνα με τη διαδικασία Poisson με παράμετρο λ και οι χρόνοι εξυπηρέτησης (του εργάτη s - PIWU μαζί με την τοποθέτηση των τελάρων στο φορτηγό-χώρο συγκέντρωσης) είναι ανεξάρτητες και ισόνομες με την εκθετική παράμετρο μ . Επίσης, θεωρούμε ότι δεν μπορούν, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, να υπάρχουν περισσότεροι από K πελάτες (οι εργάτες ξαναγεμίζουν τα καρότσια και επιστρέφουν για να τοποθετήσουν τα τελάρια στο/στα PIWU. Οπότε κάθε φορά ο μέγιστος αριθμός πελατών στην ουρά είναι $K-I$). Οι πελάτες που έρχονται σχηματίζουν ουρά με τη σειρά που καταφθάνουν. Μόλις ένας εξυπηρετητής ελευθερωθεί, εξυπηρετεί τον πρώτο από την ουρά. Ένας πελάτης που καταφθάνει, όταν είναι ελεύθεροι περισσότεροι από ένας εξυπηρετητές, διαλέγει κάποιον στην τύχη (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Διαδικασία συστήματος αναμονής με πεπερασμένο αριθμό K «πελατών» και S εξυπηρετητές (Επιτήρηση ή Επιδιόρθωση μηχανών).

Παρακάτω αναλύονται κάποιες βασικές εξισώσεις του συστήματος αναμονής. Βάσει τη θεωρία γεννήσεων-θανάτων προκύπτουν οι παρακάτω εξισώσεις (Τσάντας και Βασιλείου, 2000; Βασιλείου, 1999; Ξηροκώστας, 1991; Sztrik and Bunday, 1993):

Η πιθανότητα να υπάρχουν n πελάτες στο σύστημα βρίσκεται από τη σχέση:

$$P_n = \begin{cases} \binom{K}{n} \cdot \rho^n \cdot P_0 & 0 \leq n < S \\ \binom{K}{n} \frac{n!}{S!} \cdot \frac{\rho^n}{S^{n-S}} \cdot P_0 & S \leq n \leq K, \text{ όπου } \binom{K}{n} = \frac{K!}{(K-n)! \cdot n!}, \rho = \frac{\lambda}{\mu} \\ 0 & n > K \end{cases} \quad (1)$$

Το P_0 υπολογίζεται από τη συνθήκη $\sum_{n=0}^K P_n = 1$ από όπου προκύπτει:

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{S-1} \binom{K}{n} \cdot \rho^n + \sum_{n=S}^K \binom{K}{n} \cdot \frac{n!}{S!} \cdot \frac{\rho^n}{S^{n-S}} \right]^{-1} \quad (2)$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται το αναμενόμενο μήκος της ουράς L_q (πλήθος μεταφορέων στην ουρά), το μέσο πλήθος μεταφορέων στο σύστημα L (ουρά και εξυπηρέτηση) και το μέσο πλήθος μεταφορέων που εξυπηρετούνται L_s :

$$L_q = \sum_{n=S}^K (n-S) P_n = L - S + P_0 \cdot \sum_{n=0}^{S-1} (S-n) \cdot \binom{K}{n} \cdot \rho^n \quad (3)$$

Και

$$L = \sum_{n=0}^K n P_n = P_0 \left[\sum_{n=0}^{S-1} n \binom{K}{n} \rho^n + \frac{1}{S!} \sum_{n=S}^K n \binom{K}{n} \frac{n!}{S^{n-S}} \rho^n \right] \quad (4)$$

$$L_s = L - L_q \quad (5)$$

Ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά W_q είναι:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda \cdot (K-L)} \quad (6)$$

Ο μέσος χρόνος αναμονής στο σύστημα θα είναι:

$$W = \frac{L}{\lambda \cdot (K-L)} \quad (7)$$

Ορίζουμε βαθμό αξιοπιστίας E ενός μεταφορέα το ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο αυτός εργάζεται εκτός συστήματος (συλλέγει γεμάτα κιβώτια στον αγρό):

$$E = \frac{1/\lambda}{1/\lambda + W_q + 1/\mu} \quad (8)$$

Επίσης, αν A ο μέσος αριθμός των μεταφορέων που λειτουργούν εκτός συστήματος τότε:

$$A = K \cdot E = K \frac{1/\lambda}{1/\lambda + W_q + 1/\mu} \quad (9)$$

Όλες οι παραπάνω εξισώσεις ενσωματώθηκαν σε ένα πρόγραμμα, με χρήση του λογισμικού πακέτου Matlab R2008a, ώστε με την είσοδο των κατάλληλων δεδομένων να υπολογίζονται κατευθείαν τα χαρακτηριστικά του συστήματος αναμονής.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω, υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά του συστήματος αναμονής που δημιουργήθηκε κατά την αξιολόγηση του PIWU στον αγρό για τη χαρτογράφηση της παραγωγής των επιτραπέζιων σταφυλιών. Επιπλέον, προσομοιώνεται ένα σύστημα με χρήση περισσότερων εργατών-μεταφορείς (δέκα αντί για τέσσερις του πειράματος) και υπολογίζεται ο κατάλληλος αριθμός εξυπηρετητών (εργάτης-PIWU).

4.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ

Ο αμπελώνας (0.5 στρέμματα), όπου διεξήχθη το πείραμα με τη χρήση του PIWU, περιέχει 120 πρέμνα (4 γραμμές με 30 πρέμνα ανά γραμμή) με αποστάσεις φύτευσης 2.5m μεταξύ των γραμμών και 1.8m πάνω στις γραμμές.

Κατά τη διαδικασία της συλλογής των κιβωτίων χρησιμοποιήθηκαν 4 μεταφορείς ($K=4$) και ένας εργάτης-PIWU. Οπότε, $K=4$ και $S=1$. Το σύστημα δημιουργεί ουρά αναμονής τύπου $(M/M/1):(GD/K/K)$.

4.1.1. Υπολογισμός της κατανομής των χρόνων αφίξεων και εξυπηρέτησης

Αρχικά επαληθεύθηκε ότι οι χρόνοι των αφίξεων των εργατών όπως και οι χρόνοι εξυπηρέτησης ακολουθούν την κατανομή Poisson, (υπολογίστηκαν εφαρμόζοντας τη δοκιμή X^2 «καλής προσαρμογής»). Ο χρόνος εξυπηρέτησης υπολογίζεται από τη στιγμή που ο μεταφορέας τοποθετεί τον κωδικό της κάθε πλευράς των γραμμών των πρέμνων μπροστά στο αναγνώστη barcode, για να ανιχνευτεί ο κωδικός, μέχρι την τοποθέτηση του τελευταίου κιβωτίου στο PIWU. Ο χρόνος αυτός δεν είναι πάντα σταθερός, γιατί ο εργάτης που βρίσκεται στο φορτηγό, θα πρέπει να παραλαμβάνει τα κιβώτια από το PIWU και να τα τοποθετεί σε στοίβες στην καρότσα. Αυτή η διαδικασία δεν είναι σταθερή από άποψη χρόνου γιατί οι στοίβες αυξάνονται με τον χρόνο, περιορίζεται ο διαθέσιμος χώρος τοποθέτησης των κιβωτίων και επομένως αλλάζει ο χρόνος και που θα χρειαστεί ο εργάτης για να παραλάβει το κιβώτιο από το PIWU και να το τοποθετήσει στις στοίβες. Επιπλέον, στον χρόνο αυτό μπορούν να προστεθούν και καθυστερήσεις λόγω κούρασης του εργάτη ή λόγω άλλων τυχαίων καθυστερήσεων.

Ο μέσος χρόνος για την τοποθέτηση των γεμάτων κιβωτίων στο PIWU και από εκεί στην καρότσα του φορτηγού ήταν 38sec (0.625 min). Δηλαδή, $\mu=1.6$ άτομα το λεπτό και $1/\mu=0.625$. Όταν το σύστημα βρεθεί σε κατάσταση ισορροπίας (περίοδος που απαιτείται να περάσει, ώστε το σύστημα να πάψει να εξαρτάται από τις αρχικές συνθήκες εκκίνησης) μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παραπάνω σχέσεις του συγκεκριμένου συστήματος αναμονής. Κάθε εργάτης με καρότσι καταφθάνει με διαδικασία

Poisson, με μέση τιμή $\lambda = \frac{1}{5.67} = 0.18$ μεταφορείς το λεπτό.

4.1.2. Υπολογισμός των χαρακτηριστικών μεγεθών της ουράς αναμονής

Αρχικά υπολογίστηκε ο λόγος $\rho = \lambda / \mu = 0.1125 < 1$, οπότε το σύστημα είναι ευσταθές και θα βρεθεί σε κατάσταση ισορροπίας. Με χρήση των εξισώσεων 1-9 βρίσκουμε:

Η πιθανότητα να υπάρχουν 0,1,2,3,4 πελάτες (μεταφορείς) στο σύστημα είναι: $P(0)=0.616$, $P(1)=0.272$, $P(2)=0.090$, $P(3)=0.020$ και $P(4)=0.002$.

Το αναμενόμενο μήκος της ουράς βρέθηκε $Lq=0.136$ άτομα και το μέσο πλήθος μεταφορέων στο σύστημα $L=0.519$ άτομα. Ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά υπολογίστηκε $Wq=0.221$ min και ο χρόνος αναμονής στο σύστημα $W=0.846$ min. Επίσης, ο βαθμός αξιοπιστίας είναι $E=0.870$ και μέσος αριθμός των μεταφορέων που λειτουργούν εκτός συστήματος είναι $A=3.480$. Από τα παραπάνω χαρακτηριστικά παρατηρείται ότι δεν δημιουργήθηκε ουρά αναμονής κατά τη διάρκεια του πειράματος, λόγω του μικρού αριθμού μεταφορέων. Επομένως, ο ένας σταθμός εξυπηρέτησης κρίνεται ικανοποιητικός.

4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στα πλαίσια προσομοίωσης αυξήθηκε ο αριθμός των μεταφορέων 10 ($K=10$), αντί για 4. Οι ρυθμοί αφίξεως και εξυπηρέτησεως παραμένουν οι ίδιοι όπως προηγουμένως, δηλαδή, $\mu=1.6$ άτομα το λεπτό και $\lambda=0.18$ μεταφορείς το λεπτό.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του συστήματος στις περιπτώσεις όπου το πλήθος σταθμών εξυπηρέτησης (PIWU-εργάτης) μεταβάλλεται από 1 μέχρι 4 ($S=1-4$). Παρατηρείται, ότι με τη χρήση 2 σταθμών εξυπηρέτησης τα χαρακτηριστικά του συστήματος βελτιώνονται ικανοποιητικά, ώστε ο χρόνος αναμονής αλλά και η ουρά στην αναμονή να είναι σε κάποια επιτρεπτά όρια, χωρίς να απασχολούνται πολλοί εργάτες-PIWU στην εξυπηρέτηση.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά συστήματος αναμονής με χρήση 1 έως 4 εξυπηρετητών.

Αριθμός Εξυπηρετητών Χαρακτηριστικά συστήματος	$S=1, K=10$	$S=2, K=10$	$S=3, K=10$	$S=4, K=10$
Po	0.171	0.330	0.349	0.351
$P(1)$	0.189	0.364	0.385	0.387
$P(2)$	0.187	0.181	0.191	0.192
$P(3)$	0.165	0.080	0.056	0.056
$P(4)$	0.127	0.031	0.014	0.011
Lq (άτομα)	1.654	0.187	0.023	0.002
L (άτομα)	2.482	1.161	1.014	0.995
Wq (min)	1.247	0.120	0.015	0.002
W (min)	1.872	0.745	0.640	0.627
E	0.752	0.884	0.899	0.901
A (άτομα)	7.518	8.893	8.99	9.005

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν τα χαρακτηριστικά μεγέθη ενός συστήματος ουρών αναμονής, το οποίο μοντελοποιεί την διαδικασία εκφόρτωσης κατά την παραδοσιακή συγκομιδή επιτραπέζιων σταφυλιών με τη χρήση ενός

αυτοματοποιημένου συστήματος ταυτοποίησης και ζύγισης των γεμάτων κιβωτίων (PIWU). Το μοντέλο αναμονής το οποίο επιλέχθηκε για την περιγραφή της εκφόρτωσης είναι το μοντέλο «επιδιόρθωση-επιτήρηση μηχανών» στο οποίο θεωρούμε ότι υπάρχουν S εξυπηρετητές (εργάτες-PIWUs), οι οποίοι εργάζονται παράλληλα και ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο και ένας πεπερασμένος αριθμός K μεταφορέων, οι οποίοι αφού εξυπηρετηθούν συνεχίζουν τη συλλογή γεμάτων κιβωτίων και επιστρέφουν στην ουρά αναμονής. Η μελέτη του συστήματος αναμονής μπορεί να οδηγήσει στη κατάλληλη επιλογή του αριθμού των σταθμών εξυπηρέτησης (S -PIWUs), αλλά και των «πελατών» του συστήματος, έτσι ώστε ο μέσος χρόνος αναμονής των μεταφορέων στο σύστημα να είναι αποδεκτός και η πιθανότητα ένας εργάτης - PIWU να είναι ανενεργός να είναι όσο το δυνατό μικρότερη. Προσοχή χρειάζεται στον υπολογισμό της κατανομής τόσο του ρυθμού αφίξεων όσο και του ρυθμού εξυπηρέτησης, οι οποίοι μπορεί να διαφοροποιούνται ανάλογα με το μέγεθος, τη γεωμετρία του χωραφιού, τα «ποιοτικά» χαρακτηριστικά των εργατών κ.α. Οπότε, η τροποποίηση του παραπάνω συστήματος αναμονής είναι αναγκαία βάσει του είδους του κάθε ρυθμού.

Τέλος, μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά μεγέθη τους συστήματος αναμονής που προέκυψε κατά την αξιολόγηση του PIWU στον αγρό και προσομοιώθηκε ένα σύστημα με χρήση περισσότερων εργατών (δέκα αντί για τέσσερις του πειράματος) ώστε να υπολογιστεί ο κατάλληλος αριθμός εξυπηρετητών (εργάτης-PIWU).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αμπατζίδης, Ι.Γ., Τζελέπης, Γ.Σ. και Βουγιούκας Σ.Γ., 2007. *Σύστημα μέτρησης και ταυτοποίησης της παραγωγής επιτραπέζιων σταφυλιών κατά την παραδοσιακή συγκομιδή*. 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (Ε.Γ.Μ.Ε.), Αθήνα.
- Ampatzidis, Y.G., Tzelepis, G.S. and Vougioukas, S.G., 2008. *A Low-Cost identification system for yield mapping during manual vine harvesting*. Proceedings of International Conference on Agricultural engineering and Industry Exhibition (AgEng08), Hersonissos, Grete, Greece.
- Βασιλείου, Π.-Χ.Γ., 1999. *Στοχαστικές μέθοδοι στις επιχειρησιακές έρευνες*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Ξηροκώστας, Δ.Α., 1991. *Επιχειρησιακή έρευνα-εφαρμοσμένη θεωρία αναμονής*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Shashiashvili, M., 2007. *Cost minimization in Economics: maintenance of machines by a team of repairman (machine interference problem)*. Math Track. Vol. 3(2007), pp. 52-55.
- Sztrik, J. and Bunday, B.D., 1993. *Machine interference problem with a random environment*. European Journal of Operational Research, 65(1993), pp. 259-269, North-Holland.
- Τσάντας, Ν.Δ., Βασιλείου, Π.-Χ.Γ., 2000. *Εισαγωγή στην επιχειρησιακή έρευνα*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΗΛΙΑΣ ΜΕ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΘΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕΣΩ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Α.Α. Κουτσοστάθης¹, Δ. Μπόχτης², Α. Αγγελόπουλου¹, Σπ. Φουντάς¹ και Θ. Γέμτος¹

¹Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου., 38446, Βόλος

²Τμήμα Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστήμιο Aarhus,

Blichers Allé 20, 8830 Tjele, Denmark

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία μελετάται η ανάπτυξη και αξιολόγηση αυτοματοποιημένου και ελάχιστων υπολογιστικών απαιτήσεων προγράμματος επεξεργασίας ψηφιακών δεδομένων (ψηφιακών εικόνων) η χρήση του οποίου να καθιστά δυνατή την πρόβλεψη της παραγωγής σε οπωρώνες σε πραγματικό χρόνο και εντός ανεκτών ορίων σφάλματος. Αναπτύχθηκε κώδικας (γλώσσα προγραμματισμού Matlab[®]) ο οποίος με μετατροπή των έγχρωμων φωτογραφιών σε δυαδικές, εκτιμά τον αριθμό των ανθέων και τη χωρική παραλλακτικότητα τους που συσχετίζετε με τη παραγωγή των καρπών. Τα λευκά ψηφία (pixels) κάθε φωτογραφίας αντιπροσωπεύουν τα άνθη των αντίστοιχων δέντρων. Το σφάλμα της μεθόδου αυτής ως προς την πρόβλεψη της παραγωγής και της χωρική παραλλακτικότητας ήταν της τάξης του 13-14%.

Λέξεις κλειδιά: οπωρώνας μηλιάς, επεξεργασία εικόνας, χαρτογράφηση παραγωγής, χωρική και χρονική παραλλακτικότητα.

FORESEE AND SPATIAL VARIABILITY OF PRODUCTION IN APPLE ORCHARD BY ESTIMATING THE NUMBER OF FLOWERS VIA TREATMENT OF DIGITAL PICTURES

A.A. Koutsostathis¹, D. Bochtis², A.D. Aggelopoulou¹, S. Fountas¹ and T.A. Gemtos¹

¹ Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly,
Fytokou Str., 38446 N. Ionia, Volos, Greece

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

ABSTRACT

The objective of this research was to create and assess an automated computing program with minimal calculating requirements for dealing with digital data (digital pictures). The application of this program was to foresee the production in orchards in real time and inside bearable limits of error. Our goals were (i) to study the flower variability in an apple orchard and ii) to examine the correlation between the number of flowers and the yield of the current year. The number of flowers of each tree was estimated from pictures taken during the flowering period in an apple orchard, using image processing (Matlab[®]). The estimated number of flowers was correlated with the yield of the same trees. The model predicted the yield variability from the estimated number of flowers with an error of about 13-14%.

Key words: apple orchard, image processing, yield mapping, spatial and temporal variability.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Γεωργία Ακριβείας (Precision Farming) αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των αγρών, που έχει ως στόχο την ορθολογική χρήση των εισροών (φυτοφάρμακα, λιπάσματα, σπόρος, νερό άρδευσης), τον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, την μεγιστοποίηση της οικονομικής και ποιοτικής απόδοσης των αγροτεμαχίων και την ακριβέστερη εφαρμογή των κανόνων Ορθής Γεωργικής Πρακτικής (Γέμτος, 2006; Whelan and McBratney, 2000).

Στην Ελλάδα η εφαρμογή των τεχνικών της Γεωργίας Ακριβείας καθυστέρησε λόγω της μικρής έκτασης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, της αργοπορημένης υιοθέτησης των τεχνολογικών εξελίξεων και της έλλειψης κατάλληλης τεχνολογίας και γνώσης που αφορούν τις καλλιέργειες φρούτων και λαχανικών (Γέμτος, 2002). Η εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας άρχισε να μελετάται στην Ελλάδα περί το 2001 σε καλλιέργεια βάμβακος. Τα αποτελέσματα από τις πρώτες χαρτογραφήσεις παραγωγής έδειξαν σημαντική παραλλακτικότητα ακόμα και σε μικρές εκτάσεις γης (Γέμτος κ.α., 2005). Τα αποτελέσματα όλων των ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με την χρήση της Γεωργίας Ακριβείας έδωσαν ώθηση στο να ξεκινήσει πρόσφατα η εφαρμογή της σε οπωρώνες μηλιάς όπου μελετήθηκαν η χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής σε συνδυασμό με ποιοτικά χαρακτηριστικά και διάφορες παραμέτρους (εδαφικές ιδιότητες) (Αγγελοπούλου, 2008).

Η μηλοκαλλιέργεια είναι η τέταρτη σε σημασία δενδρώδης καλλιέργεια στην Ελλάδα μετά από την ελιά, τα εσπεριδοειδή και τη ροδακινιά (Βασιλακάκης, 2004). Η μηλιά είναι δένδρο των ψυχρών και υγρών κλιμάτων. Η ποιότητα των φρούτων εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες το έδαφος, τα χαρακτηριστικά των δέντρων, και τις καλλιεργητικές πρακτικές. Στην Ευρώπη οι αλλαγές στις καλλιεργητικές τεχνικές αποτέλεσαν τη βάση πάνω στην οποία στηρίχθηκε η μετάβαση στα εντατικά πρότυπα παραγωγής κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 40 ετών ικανοποιώντας τη ζήτηση της αγοράς για βελτίωση της ποιότητας και αύξηση της παραγωγής.

Όπως σε όλες τις καλλιέργειες έτσι και στη μηλιά το κυριότερο πρόβλημα είναι η χωρική και χρονική διαφοροποίηση της παραγωγής και της ποιότητας των μήλων. Η παραγωγή επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους που τη διαφοροποιούν από έτος σε έτος. Τα ιστορικά στοιχεία βοηθούν σημαντικά στο σχεδιασμό των καλλιεργητικών πρακτικών αλλά η χρονική παραλλακτικότητα πολλές φορές δεν επιτρέπει τον ορθό σχεδιασμό. Γι' αυτό είναι σημαντικό να βρούμε μεθόδους προσδιορισμού της παραγωγής νωρίς στη καλλιεργητική περίοδο. Τότε μπορούμε να διαχωρίσουμε τον αγρό σε τμήματα ομοιόμορφης διαχείρισης και να διαφοροποιήσουμε τις εισροές στα τμήματα αυτά με βάση τα χαρακτηριστικά τους επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και ασφάλεια εφαρμογής. Αυτό μπορεί να μας το προσφέρουν μέθοδοι όπως η τηλεπισκόπηση κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου αλλά και άλλες μέθοδοι όπως η εκτίμηση της ανθοφορίας που παρουσιάζει ισχυρή συσχέτιση με τη παραγωγή.

Πολλοί ερευνητές έκαναν προσπάθεια εκτίμησης της παραγωγής κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου σε οπωρώνες χρησιμοποιώντας την επεξεργασία εικόνων και την τεχνολογία των αισθητήρων. Όλες οι μελέτες αφορούσαν την εκτίμηση της παραγωγής με επεξεργασία εικόνων των δέντρων σε διάφορα στάδια της καρπώδεσης (Stajanko et al., 2004; Safren, 2006; Alchanatis et al., 2007; Annamalai & Lee, 2003). Η εκτίμηση της παραγωγής με εικόνες των καρπών φαίνεται να δίνει καλά αποτελέσματα αλλά γίνεται σχετικά αργά στη καλλιεργητική περίοδο. Λαμβάνοντας υπόψη την θετική συσχέτιση που παρουσιάζουν οι χάρτες ανθοφορίας και παραγωγής σε οπωρώνες (Αγγελοπούλου, 2006) μπορούμε, εξετάζοντας φωτογραφίες δέντρων στην πλήρη άνθηση, να κάνουμε πρόβλεψη της παραγωγής αρκετά νωρίς στη καλλιε-

γητική περίοδο κάτι που επιτρέπει την έγκαιρη αντιμετώπιση προβλημάτων ή το σχεδιασμό της διαχείρισης του οπωρώνα αρκετά νωρίς. Η μελέτη του πειράματος που προαναφέρθηκε αποτέλεσε την βάση για την έρευνα που πραγματοποιήσαμε. Η μέτρηση των ανθέων χειρονακτικά ακόμα και με τη χρήση της στερεολογίας είναι διαδικασία επίπονη και απαιτητική σε ανθρώπινη εργασία.

Στην παρούσα εργασία μελετάται η ανάπτυξη και αξιολόγηση κώδικα (γλώσσα προγραμματισμού Matlab[®]), με ελάχιστες υπολογίσιμες απαιτήσεις και με σφάλμα εντός ανεκτών ορίων, ο οποίος μετατρέπει έγχρωμες φωτογραφίες σε δυαδικές. Με δεδομένη την παραγωγή κάποιων (τυχαίων) δέντρων, συσχετίζει την παραγωγή των τελευταίων με τον αριθμό των «λευκών ψηφίων»^{*} των αντίστοιχων φωτογραφιών. Με βάση τη συσχέτιση αυτή, προβλέπει την παραγωγή των υπόλοιπων δέντρων.

Η βελτίωση του κώδικα που σχεδιάσαμε, μπορεί να δώσει την δυνατότητα στο μέλλον, να εκτιμάται η παραγωγή σε οποιονδήποτε οπωρώνα σχεδόν ταυτόχρονα με την λήψη των δεδομένων (ψηφιακές φωτογραφίες). Με αυτόν τον τρόπο καθιστά δυνατή την εφαρμογή αυτόνομων συστημάτων γεωργίας ακριβείας σε πραγματικό χρόνο π.χ. σχεδόν ταυτόχρονη λήψη φωτογραφίας, εκτίμηση της παραγωγής και επιλεκτικό ψεκασμό ή διαμόρφωση στρατηγικής διαχείρισης του οπωρώνα για το υπόλοιπο της καλλιεργητικής περιόδου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΓΙΑΣ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε αγρό που βρίσκεται στον Αετόλοφο Αγιάς (22° 45'31'' E, 39° 40'28'' N) και έχει έκταση 50 στρεμμάτων. Το υψόμετρο είναι 160μ 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 3,5μ μεταξύ των γραμμών και 2μ επί της γραμμής. Το σχήμα διαμόρφωσης των δένδρων είναι ελεύθερη παλμέτα. Οι μετρήσεις στον αγρό αυτό λήφθηκαν το έτος 2007.

Τον Απρίλιο του 2007 όταν τα δέντρα ήταν σε πλήρη ανθοφορία ελήφθησαν 250 φωτογραφίες (δέντρων) σε ένα πλέγμα 20μ × 7μ. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν χρησιμοποιώντας μια φορητή εμπορική ψηφιακή κάμερα, Canon® 3.2. Mega-Pixels. Πίσω από τα δέντρα τοποθετήθηκε ένα μαύρο ύφασμα (παραβάν) διαστάσεων (1,93μ × 3,40μ) με σκοπό να εξασφαλιστεί η αντίθεση με το άσπρο χρώμα των λουλουδιών και επίσης να αποφευχθεί η επίδραση από το φως του ήλιου. Από το σύνολο των 250 φωτογραφιών, ένας αριθμός εικόνων αλλοιώθηκε και κάποιες άλλες δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν λόγω της χαμηλής αντίθεσης που οφειλόταν στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας του ήλιου. Συνολικά 180 φωτογραφίες χρησιμοποιήθηκαν για την περαιτέρω ανάλυση και από μια τυχαία επιλογή 118 (φωτογραφίες) χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση επεξεργασίας εικόνας. Η θέση αυτών των δέντρων καταγράφηκε χρησιμοποιώντας έναν φορητό υπολογιστή με GPS.

Το Σεπτέμβριο του 2007 πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της παραγωγής μετρώντας την παραγωγή ανά δέκα δέντρα και καταγράφοντας τη θέση στο κέντρο των δέκα δέντρων. Ο αριθμός των λουλουδιών κάθε δέντρου συσχετίστηκε με το μέγεθος της λευκής επιφάνειας των φωτογραφιών των αντίστοιχων δέντρων και υπολογίστηκε

^{*} Τα λευκά ψηφία κάθε φωτογραφίας συσχετίζονται με τον αριθμό των ανθέων των δέντρων που αντιστοιχούν σε κάθε φωτογραφία.

χρησιμοποιώντας τεχνικές της επεξεργασίας εικόνας. Ο κατ' εκτίμηση αριθμός λουλουδιών στη συνέχεια συσχετίστηκε με την παραγωγή των ίδιων δέντρων.

2.1. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

Εφόσον δεν υπάρχουν δεδομένα από διαφορετικές χρονιές, θα πρέπει από το σύνολο των φωτογραφιών ένα μέρος να αποτελεί τα δείγματα με βάση τα οποία θα δημιουργούνται οι παράμετροι της μεθόδου και ένα μέρος θα χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της μεθόδου. Από τις 118 φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμά μας οι 65 αποτέλεσαν τη βάση εκμάθησης του αλγορίθμου και οι 53 για την αξιολόγησή του.

Για την εργασία ορίστηκαν τα παρακάτω σύνολα:

- F το σύνολο των διαθέσιμων φωτογραφιών ($F = 118$).
- S το σύνολο των φωτογραφιών που θα χρησιμοποιηθούν ως δείγματα ανάπτυξης της μεθόδου (δηλ. θεωρούμε ότι γνωρίζουμε την απόδοση των τομέων που αντιπροσωπεύουν) ($S = 65$).
- E το σύνολο των φωτογραφιών που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της μεθόδου όσον αφορά στην πρόβλεψη της απόδοσης των τομέων του οπωρώνα που αντιπροσωπεύουν (δηλ. θεωρούμε ότι δεν γνωρίζουμε την απόδοση των τομέων αυτών) ($E = 53$).

Η αξιολόγηση πρέπει να γίνει με βάση τυχαίες συνθέσεις των συνόλων S και E . Εφόσον αρχικά οριστούν (από το χρήστη) το πλήθος $\|S\|$ και το πλήθος $\|E\|$, δημιουργούνται από το πρόγραμμα τυχαία οι δύο πληθυσμοί. (Για τα παραπάνω σύνολα ισχύουν: $S \subseteq F, E \subseteq F, S \cap E \equiv \emptyset$)

Για τις αποδόσεις χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τρεις συμβολισμοί:

- $y_m(i), i \in S$ για τις μετρημένες (measured) αποδόσεις των τομέων που αντιπροσωπεύουν οι φωτογραφίες του συνόλου S
- $y_p(i), i \in E$ για τις προβλεπόμενες (predicted) αποδόσεις των τομέων που αντιπροσωπεύουν οι φωτογραφίες του συνόλου E).

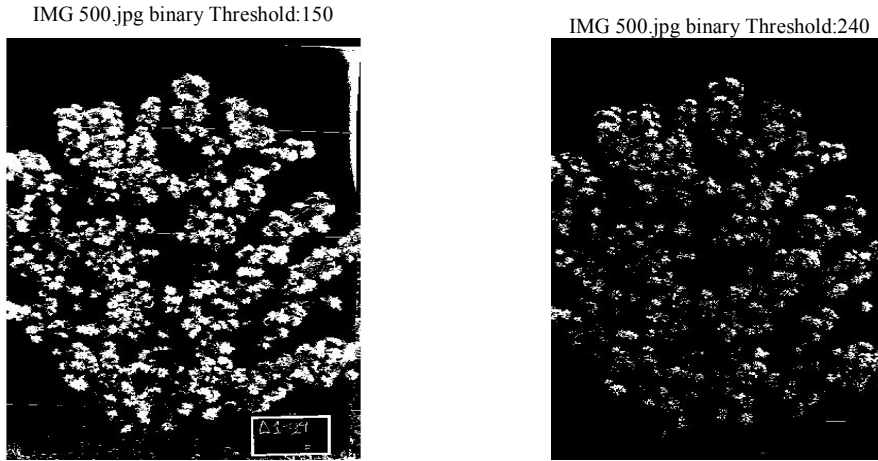
2.1.1. Στάδιο Προεπεξεργασίας

Αρχικά κάθε φωτογραφία μετατρέπεται (μέσα στο πρόγραμμα μέσω εντολής) σε φωτογραφία τύπου grayscale. Έτσι σε κάθε φωτογραφία $i \in F$ αντιστοιχείται ένας πίνακας $P_i \rightarrow [x_i \times y_i]$. Το γινόμενο $x_i \cdot y_i$ δίνει τον αριθμό των pixels της συγκεκριμένης φωτογραφίας. Εφόσον οι φωτογραφίες έχουν μετατραπεί σε τύπου grayscale, για τα στοιχεία του πίνακα ισχύει:

$$0 \leq p_i[j, k] \leq 255 \quad (1)$$

Εφόσον τα άνθη είναι λευκά, το μέγεθος το οποίο θέλουμε να μετρήσουμε στην κάθε φωτογραφία είναι η λευκή επιφάνεια. Όμως, στη grayscale φωτογραφία πρέπει να οριστεί η τιμή πάνω από την οποία το στοιχείο του πίνακα P θεωρείται ότι αντιστοιχεί σε λευκό δηλαδή σε άνθος και κάτω από την οποία δεν αντιστοιχεί σε άνθος (αλλά σε φύλλα κλαδιά κτλ.). Θέτουμε ένα κατώφλι θ για το οποίο όταν η τιμή ενός στοιχείου του πίνακα της φωτογραφίας είναι μικρότερη από αυτό τότε η τιμή του στοιχείου αυτού τίθεται ίση με 0 (μαύρο pixel) ενώ αντίθετα, εάν η τιμή του στοιχείου του πίνακα είναι πάνω από το κατώφλι η τιμή του στοιχείου αυτού τίθεται ίση με 255 (λευκό pixel). Συνεπώς, σε κάθε φωτογραφία αντιστοιχεί ένας νέος πίνακας $B_i \rightarrow [x_i \times y_i]$ όπου για τα στοιχεία του ισχύει:

$$b_i(j,k) = \begin{cases} 255 & p_i(j,k) \geq \theta \\ 0 & p_i(j,k) < \theta \end{cases} \quad (2)$$



Σχήμα 1. Η φωτογραφία IMG 500.jpg όπως μετατρέπεται σε δυαδική για δύο τιμές του θ (threshold).

Η ποσοτική μεταβλητή που συσχετίζεται με την παραγωγή δίνεται:

$$w(i) = |\{b_i(j,k) \in B_i / b_i(j,k) = 255\}|. \quad (3)$$

Για μία δεδομένη εικόνα, αυτή η μεταβλητή καθορίζεται συναρτήσει της τιμής κατωφλίου θ . Αυτό το γεγονός απεικονίζεται σαφώς στο σχήμα 2-1, όπου φαίνονται οι 2 παρουσιάσεις της ίδιας αρχικής εικόνας. Αυτές οι δυαδικές εικόνες δημιουργήθηκαν για δύο διαφορετικές τιμές θ .

Για κάθε τιμή κατωφλίου θ μεταξύ 150 ως 255, χρησιμοποιώντας την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων γίνεται συσχέτιση των διανυσμάτων:

$$\langle w_{1,\theta}, w_{2,\theta}, \dots, w_{|S|,\theta} \rangle \text{ και } \langle y_m(1), \dots, y_m(|S|) \rangle \quad (4)$$

Υπολογίζονται οι συντελεστές του πολωνύμου (πρώτου βαθμού για γραμμική προσέγγιση που θέλουμε) που προσεγγίζει τα στοιχεία του πρώτου διανύσματος στον δεύτερο. Αυτή η διαδικασία οδηγεί στον καθορισμό του βέλτιστου διανύσματος $(a,b,\theta)^*$, όπου τα a και b αντιπροσωπεύουν τους συντελεστές του πολωνύμου για το οποίο ελαχιστοποιείται το μέσο σφάλμα μεταξύ της προβλεπόμενης και της πραγματικής παραγωγής. Τυπικά το ακόλουθο πρόβλημα βελτιστοποίησης (υπολογισμός του βέλτιστου διανύσματος) λύνεται:

$$(a,b)^* = \arg \min_{(a,b)} \sum_{i=1}^{|S|} [(aw(i) + b) - y_m(i)]^2 \quad (5)$$

Έπειτα από πολλές εφαρμογές (περισσότερες από 100) του προγράμματος για τις διάφορες τιμές του θ υπολογίστηκε η βέλτιστη τιμή κατωφλίου η οποία ελαχιστοποιεί το σφάλμα και η οποία είναι: $\theta^* = 240$.

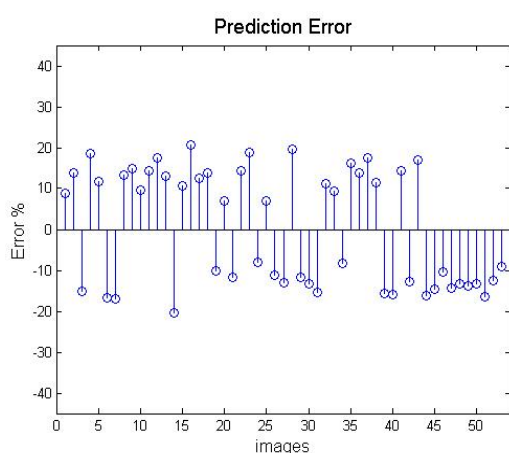
2.1.2. Στάδιο Πρόβλεψης

Το στάδιο της πρόβλεψης, αναφέρεται στην εκτίμηση της παραγωγής των δέντρων, των φωτογραφιών του συνόλου $E = 53$ μέσω της επεξεργασίας των αντίστοιχων φωτογραφιών. Ακολουθώντας ακριβώς την διαδικασία του σταδίου της προεπεξεργασίας η προβλεπόμενη παραγωγή των δέντρων κάθε φωτογραφίας του συνόλου E υπολογίζεται:

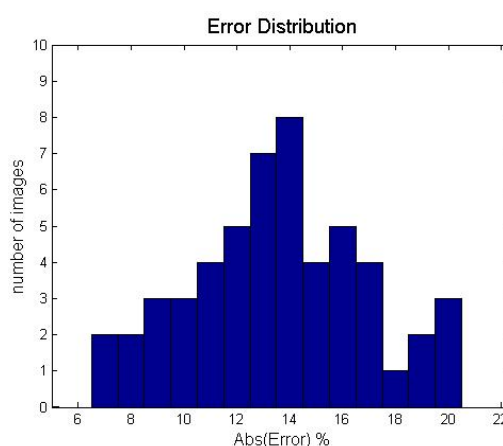
$$y_p(i) = a^*w(i) + b^* \quad (6)$$

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται το ποσοστιαίο σφάλμα (%) στην πρόβλεψη της απόδοσης και στο σχήμα 3 παρουσιάζεται η κατανομή της απόλυτης τιμής του ποσοστιαίου σφάλματος για τις 53 φωτογραφίες:



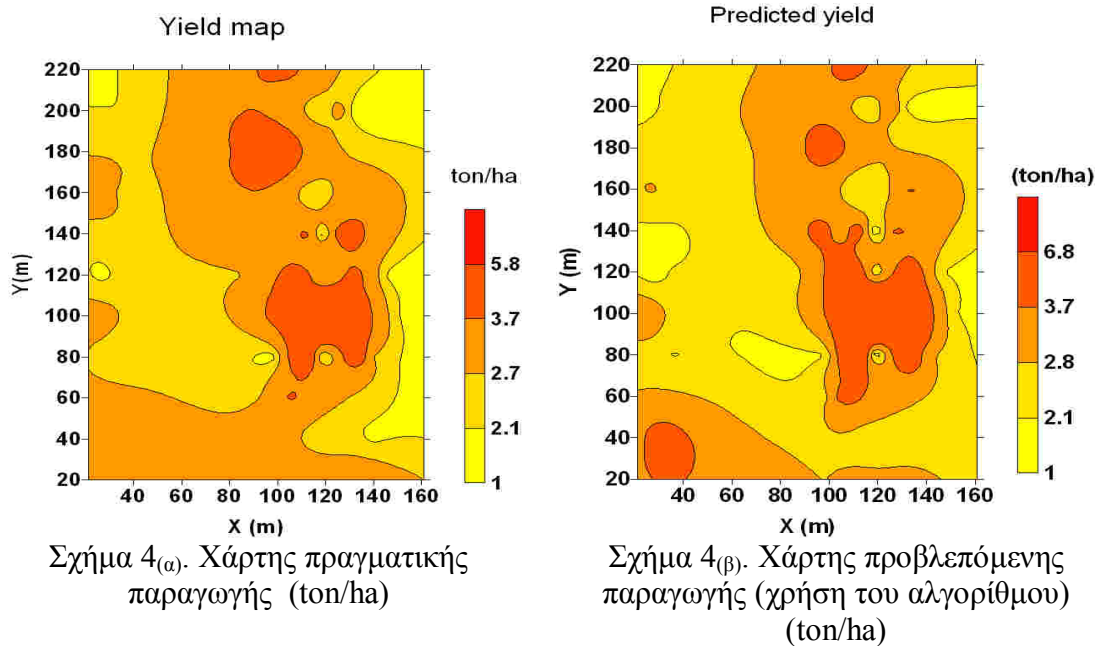
Σχήμα 2. Σφάλμα (%) προβλεπόμενης παραγωγής.



Σχήμα 3. Ιστόγραμμα κατανομής ποσοστιαίου σφάλματος.

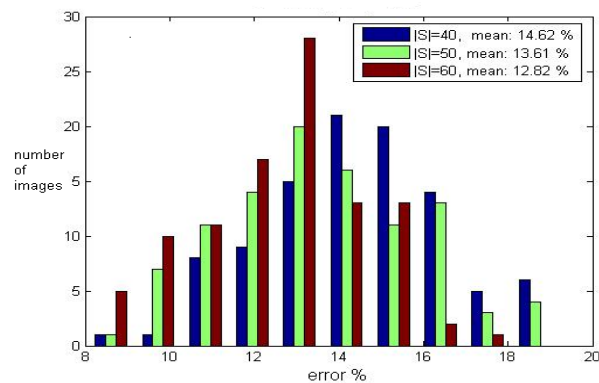
Οι χάρτες που παρουσιάζουν την πραγματική παραγωγή (όπως μετρήθηκε) και τη προβλεπόμενη παραγωγή (όπως υπολογίστηκε με την εφαρμογή του αλγορίθμου) για τα δέντρα των 53 φωτογραφιών, φαίνονται στο σχήμα 4_(α), 4_(β). Η χαρτογράφηση της παραγωγής έγινε με την χρήση του προγράμματος Surfer.

Για τη πραγματική μετρούμενη παραγωγή των δέντρων όπως φαίνεται στο χάρτη του Σχήματος 4_(α) η μέση απόδοση ήταν 3,03 ton/ha. Για τις εκτιμώμενες αποδόσεις με βάση την εφαρμογή του αλγορίθμου ισχύουν ότι το μέσο σφάλμα ήταν 13,6% και η τυπική απόκλιση ήταν 1,11 ton/ha. Όπως φαίνεται καθαρά από τους χάρτες υπάρχει μια σημαντική συσχέτιση μεταξύ της εκτιμώμενης παραγωγής που προκύπτει από την εφαρμογή του αλγορίθμου και της μετρημένης παραγωγής. Από την ανάλυση των δεδομένων υπολογίστηκε ότι ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ προβλεπόμενης παραγωγής που προέκυψε από την εφαρμογή του αλγορίθμου και της πραγματικής παραγωγής είναι $r = 0.92$.



Αξίζει να σημειωθεί ότι όσο μεγαλύτερο είναι το δείγμα $|S|$ των φωτογραφιών που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία κατασκευής και εκμάθησης του αλγορίθμου τόσο πιο αξιόπιστη γίνεται η μέθοδος, όπως και ήταν αναμενόμενο. Με την αύξηση του δειγματικού χώρου $|S|$ το μέσο σφάλμα και η τυπική απόκλιση του σφάλματος μειώνονται και η κατανομή του σφάλματος γίνεται πιο ομοιόμορφη.

Στο ακόλουθο ιστόγραμμα δίνεται η κατανομή του εκατοστιαίου σφάλματος σε 100 επαναλήψεις για τρεις διαφορετικές τιμές του πλήθους του δειγματικού χώρου $|S|$. Το πλήθος των δειγματικών χώρων είναι: 40, 50 και 60 αντίστοιχα. Από την μελέτη του συγκεκριμένου ιστογράμματος γίνεται εύκολα αντιληπτή η μείωση του σφάλματος στην πρόβλεψη της παραγωγής με την αύξηση του συνόλου των φωτογραφιών που χρησιμοποιούνται ως δείγμα για την εκπαίδευση του προγράμματος.



Σχήμα 5. Ποσοστιαία κατανομή του για 100 επαναλήψεις σε τρεις διαφορετικές τιμές του πλήθους του δειγματικού χώρου $|S|$ ($|S|=40$, $|S|=50$, $|S|=60$).

Το μέσο σφάλμα για κάθε μια από τις τρεις περιπτώσεις είναι: 14.62 %, 13.61 % και 12.82 % αντίστοιχα. Η τυπική απόκλιση: 1.87, 1.66, και 1.37 αντίστοιχα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα του πειράματός που παρουσιάστηκαν προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Ο αριθμός των άσπρων ψηφίων ανά φωτογραφία που αντιπροσωπεύει τα λουλούδια των δέντρων συσχετίστηκε θετικά με την πραγματική παραγωγή. Ο συντελεστής συσχέτισης ανθοφορίας και παραγωγής είναι $r = 0.92$

2. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των φωτογραφιών που χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία εκμάθησης του αλγορίθμου, τόσο λιγότερο είναι το σφάλμα του συστήματος.

3. Ο αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της περιόδου άνθησης για την εκτίμηση της παραγωγής του έτους, προκειμένου να διαχωριστεί των οπωρώνων σε ζώνες διαχείρισης και η εφαρμογή της τεχνολογίας διαφοροποιούμενης δόσης στις εισροές κάθε ζώνης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aggelopoulou, K.D., Fountas, S., Gemtos, T.A., Nanos, G.D., Wulfsohn, D., 2006. *Precision farming in small apple fields of Greece*. 8th International Conference of Precision Agriculture, July 23-26, Minneapolis, USA. In CD.
- Aggelopoulou, K.D., 2008. *Precision agriculture in apple orchards*. PhD Thesis. University of Thessaly, Greece.
- Alchanatis, V., Ostrovsky, V., Levi, O., 2007. *Detection of Green Apples in Hyperspectral Images of Apple-Tree Foliage Using Machine Vision*. Transactions of the ASABE 50 (6): pp 2303-2313.
- Annamalai, P. and Lee, W.S., 2003. *Citrus yield mapping system using machine vision*. ASAE paper number 031002, ASAE, St Joseph, MI, USA.
- Gemtos, T., Fountas, S., Blackmore, S. and Griepentrog, H.W. 2002. *Precision Farming in Europe and the Greek potential*. In: HAICTA 2002, Proceedings of the 1st Greek Conference on Information and Communication Technology in Agriculture, edited by A. Sideridis and C. Yialouris (Agricultural University of Athens, Athens, Greece) p. 45-55.
- Gemtos, T.A., Markinos, A. and 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 Publishers, Wageningen, The Netherlands), pp. 361-368.
- Lakso, A.N. and Robinson, T.L., 1997. *Principles of orchard systems management optimizing supply, demand and partitioning in apple trees*. Proceedings of the 6th International Symposium on Integrating Canopy, Rootstocks and Environmental Physiology in Orchard Systems, Acta Horticultura 451, 405-415.
- Safren, O., 2006. *Detection of Green Apples in Hyperspectral Images of Apple-Tree Foliage Using Machine Vision*.
- Stajanko, D., Cmelik, Z., 2004. *Modelling of Apple Fruit Growth by Application of Image Analysis*. Agriculturae Conspectus Scientificus, Vol. 70 (2005). No. 2. pp. 59-64.
- Vasilakakis, M., 2004. *General and Specialized Pomology*. (Gartaganis Publications, Thessaloniki, Greece) 721 pp.
- Whelan, B.M., McBratney, A.B., 2000. *The Null Hypothesis of Precision Agriculture Management*. Journal, Precision Agriculture, Volume 2 (3), November 2000, pp. 265-279.
- Wulfsohn, D., Maletti G.M. and Todam-Andersen, T.B., 2006. *Unbiased estimator of the number of flowers per tree*. Acta Horticulturae, 707: 245-252.

ΒΑΘΜΟΝΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΠΟΡΟΦΥΤΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ

Κ. Πεπονάκης¹, Ν. Κατσούλας² και Κ. Κίττας³

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωπονίας,
Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,
Οδός Φυτόκου, Νέα Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 384446
E-mail: ¹kopepona@uth.gr, ²nkatsoul@uth.gr, ³ckittas@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση βέλτιστου ελέγχου στη διαχείριση του κλίματος είναι γνωστό ότι μπορεί να μειώσει το κόστος παραγωγής. Απουσία ωστόσο αξιόπιστων προσομοιωμάτων ανάπτυξης καλλιεργειών σπορόφυτων, στα σύγχρονα φυτώρια η διαχείριση του κλίματος είναι εμπειρική. Το προσομοίωμα καλλιέργειας σπορόφυτων τομάτας TOMSEED βαθμονομήθηκε και επαληθεύτηκε με βάση αποτελέσματα σχετικών πειραμάτων. Το προσομοίωμα που αναπτύχθηκε προσομοιώνει ικανοποιητικά το μήκος και πάχος του βλαστού, τον αριθμό των φύλλων και την κατανομή της ξηράς ουσίας σε φύλλα, βλαστούς και ρίζες, αλλά δεν προσομοιώνει ικανοποιητικά το ξηρό βάρος των φύλλων, του βλαστού και της ρίζας, όπως και τη φυλλική επιφάνεια. Αν και τα αποτελέσματα δεν κρίνονται πλήρως ικανοποιητικά, αποτελεί μία πρώτη προσπάθεια προσομοίωσης καλλιέργειας σπορόφυτων τομάτας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την ανάπτυξη ενός περισσότερο αξιόπιστου προσομοιώματος.

Λέξεις κλειδιά: θερμοκήπιο, έλεγχος, φωτισμός, μηχανιστικό, αύξηση, ανάπτυξη.

CALIBRATION AND VALIDATION OF A TOMATO SEEDLINGS CROP MODEL

C. Peponakis, N. Katsoulas, C. Kittas

Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, Department of
Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly
Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece
E-mail: ¹kopepona@uth.gr, ²nkatsoul@uth.gr, ³ckittas@uth.gr

ABSTRACT

Application of optimal climate control in seedlings production greenhouses could reduce production cost, if reliable seedlings crop models were existed. However, no seedlings growth models exist and therefore, climate management in modern nurseries remains empirical. A tomato seedlings crop model (TOMSEED) was developed and validated based on experimental data. TOMSEED modelled purely the dry weight of leaves, shoot and roots, as well the leaf area. Shoot length and characteristics well associated with seedlings quality such as shoot thickness, the number of leaves and dry matter partitioning were well modelled. Though the model has not been perfectly calibrated, it constitutes a base upon a more reliable tomato seedlings crop model could be developed.

Key words: greenhouse, climate control, lightening, mechanistic, growth, development.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια οι παραγωγοί κηπευτικών, αναγνωρίζοντας την αξία του καλής ποιότητας και ομοιόμορφου πολλαπλασιαστικού υλικού, προμηθεύονται σπορόφυτα και εμβολιασμένα φυτά από εμπορικές φυτωριακές μονάδες. Οι μονάδες αυτές λόγω και υψηλής αξίας του παραγόμενου προϊόντος, διαθέτουν σύγχρονα και καλά εξοπλισμένα θερμοκήπια. Η διαχείριση ωστόσο του κλίματος και κατά συνέπεια ο έλεγχος της ανάπτυξης των σπορόφυτων, γίνεται με βάση την εμπειρία των επιστημονικών υπεύθυνων της μονάδας.

Η εφαρμογή βέλτιστου ελέγχου για τη διαχείριση του κλίματος είναι γνωστό ότι μπορεί να μειώσει το κόστος παραγωγής (Van Henten et al., 1997; Gutman et al., 1993). Για τη βελτιστοποίηση του ελέγχου της αύξησης/ανάπτυξης σπορόφυτων τομάτας απαιτείται η ύπαρξη κάποιων προσομοιωμάτων με επαρκή ακρίβεια και η γνώση της τιμής κάποιων εξωτερικών μεταβλητών (καιρός, τιμές). Για την προσομοίωση του κλίματος του θερμοκηπίου έχει πραγματοποιηθεί αξιόλογη έρευνα (Boulard et al. 2002, Roy et al. 2002). Οι τιμές πώλησης των σπορόφυτων είναι γνωστές, ενώ οι τιμές των εισροών είναι σχετικά σταθερές στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Η μακροχρόνια πρόβλεψη του καιρού πέραν της εβδομάδας είναι αβέβαιη, ωστόσο η σύντομη διάρκεια της καλλιέργειας μειώνει την αβεβαιότητα λόγω του καιρού σε σχέση με ανάλογες εφαρμογές σε καλλιέργειες στον παραγωγικό στάδιο. Ωστόσο δεν υπάρχει διαθέσιμο κάποιο προσομοίωμα καλλιέργειας σπορόφυτων τομάτας.

Η τομάτα είναι η σημαντικότερη εκ των κηπευτικών καλλιεργειών στην Ελλάδα. Η εγκατάσταση της καλλιέργειας γίνεται κατά κανόνα με μεταφύτευση φυταρίων. Για την καλλιέργεια της τομάτας έχουν αναπτυχθεί δύο προσομοιώματα, τα TOMGRO (Dayan et al., 1993) και TOMSIM (Heuvelink, 1996). Για τους παραπάνω λόγους η ερευνητική ομάδα του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Τμ. Γεωπονίας Φυτικής Π. και Α.Π. του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας ανέπτυξε ένα προσομοίωμα σπορόφυτων τομάτας (TOMSEED) με στόχο τη χρήση του για εφαρμογή βέλτιστου ελέγχου του κλίματος του θερμοκηπίου μέχρι το στάδιο της μεταφύτευσης των φυτών. Η ανάπτυξη του βασίστηκε σε αποτελέσματα πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν από την παραπάνω ομάδα (αδημοσίευτα) και στη σχετική διεθνή βιβλιογραφία. Στην παρούσα εργασία γίνεται βαθμονόμηση και επιβεβαίωση του προσομοιώματος αυτού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

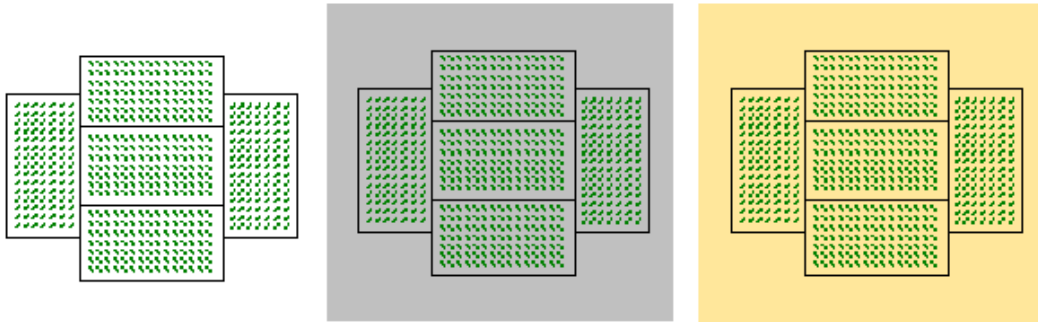
Τα πειράματα έγιναν στα θερμοκήπια του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους. Σε κάθε περίοδο εφαρμόζονταν τρία επίπεδα φωτισμού (σκίαση, φυσικός, τεχνητός-πρόσθετος φωτισμός).

Για τη μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας το πείραμα επαναλήφθηκε σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους (Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2007 και Δεκέμβριος 2007-Ιανουάριος 2008) με διατήρηση διαφορετικών επιπέδων θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου. Στην πρώτη περίοδο η θερμοκρασία κυμαίνονταν από 18 έως 23°C ενώ στη δεύτερη περίοδο από 15 έως 20°C.

Για την επίτευξη διαφορετικών επιπέδων φωτισμού χρησιμοποιήθηκαν λάμπες για την παροχή πρόσθετου φωτισμού και δίχτυ σκίασης για μείωση των επιπέδων του φωτισμού. Οι λάμπες που επιλέχθηκαν ήταν HPS (High Pressure Sodium – Υψηλής Πίεσης Νατρίου). Τα φυτά και των τριών μεταχειρίσεων βρίσκονταν στον ίδιο χώρο και δέχονταν τις ίδιες καλλιεργητικές φροντίδες. Η διάταξη τους και η μεταξύ τους απόσταση ήταν τέτοια που ο φωτισμός της κάθε μεταχείρισης να μην επηρεάζεται από τις άλλες δύο μεταχειρίσεις (Εικόνα 1). Ο πρόσθετος φωτισμός που παρέχονταν ήταν 20%

επιπλέον του φυσικού, ενώ η σκίαση είχε ως αποτέλεσμα τα φυτά στη μεταχείριση της σκίασης να δέχονται αθροιστικά 20% λιγότερο φωτισμό.

Χρησιμοποιήθηκε το υβρίδιο τομάτας *Belladonna*. Σε κάθε μεταχείριση χρησιμοποιήθηκαν πέντε δίσκοι φυτών (διαστάσεις 66 cm x 33 cm, 128 θέσεων, πυκνότητα 587 φυτών/m²), ο ένας ήταν τοποθετημένος στο κέντρο και οι τέσσερις περιμετρικά (Εικόνα 1). Μετρήσεις γίνονταν μόνο σε φυτά του κεντρικού δίσκου. Οι άλλοι τέσσερις δίσκοι χρησιμοποιήθηκαν ως περιθώρια.



Εικόνα 1. Διάταξη των μεταχειρίσεων εντός του θερμοκηπίου. Αριστερά ο φυσικός φωτισμός, στο μέσο η σκίαση και δεξιά ο πρόσθετος φωτισμός.

Σε όλες τις μεταχειρίσεις καταγράφονταν ανά 10 λεπτά η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο φάσμα από 300-3000nm, η θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία. Κάθε μία εβδομάδα λαμβάνονταν τυχαίο δείγμα 25 φυτών από κάθε μεταχείριση και μετρούνταν το ύψος του φυτού, το πλάτος, το μήκος και το πάχος του βλαστού, το μήκος του υποκοτύλιου και των μεσογονάτιων διαστημάτων, ο αριθμός των πραγματικών φύλλων, η φυλλική επιφάνεια και το χλωρό και ξηρό βάρος του ριζικού συστήματος, του βλαστού και των φύλλων. Προκειμένου να μην επηρεαστεί το μικροκλίμα όπου αναπτύσσονταν τα φυτά του μεσαίου δίσκου, τα φυτά που αφαιρούνταν αντικαθιστούνταν από φυτά που προέρχονταν από τους περιμετρικούς δίσκους της ίδιας μεταχείρισης. Προσοχή δίνονταν ώστε τα φυτά που μεταφέρονταν προς τον μεσαίο δίσκο να είχαν παρόμοια ανάπτυξη με αυτά που αφαιρέθηκαν. Οι θέσεις από όπου είχαν ληφθεί φυτά σημαίνονταν και τα φυτά αντικαταστάτες δεν λαμβάνονταν για μέτρηση.

Η βαθμονόμηση του προσομοιώματος έγινε με χρήση γενετικών αλγόριθμων (Βλαχάβας κ.α., 2006). Για την αποφυγή τοπικών ελαχίστων ενσωματώθηκαν στον αλγόριθμο βαθμονόμησης μηχανισμοί για την αύξηση της παραλλακτικότητας της γενετικής δεξαμενής όταν υπήρχε σύγκλιση των λύσεων. Ως κριτήριο αξιολόγησης της κάθε λύσης χρησιμοποιήθηκε η μέση επί της εκατό απόκλιση υπολογισμένων – μετρημένων τιμών του ξηρού βάρους των φύλλων, του βλαστού και της ρίζας, του αριθμού των φύλλων, και του LAI. Η αξιολόγηση των λύσεων γινόταν όχι μόνο με τις τελικές μετρήσεις τις κάθε περιόδου, αλλά με χρήση και ενδιάμεσων τιμών. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση προέρχονται από τις μεταχειρίσεις της σκίασης και του πρόσθετου φωτισμού της πρώτης πειραματικής περιόδου (Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2007) και τις μεταχειρίσεις του πρόσθετου και του φυσικού φωτισμού της δεύτερης πειραματικής περιόδου (Δεκέμβριος 2007 – Ιανουάριος 2008).

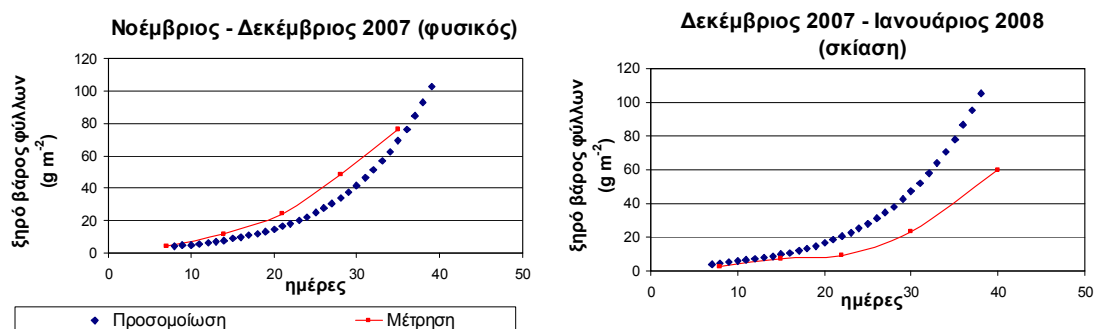
Για την επαλήθευση του προσομοιώματος χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τη μεταχείριση του φυσικού φωτισμού της πρώτης πειραματικής περιόδου και της σκίασης της δεύτερης πειραματικής περιόδου.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

Η βαθμονόμηση ολοκληρώθηκε με τη βοήθεια των γενετικών αλγορίθμων μετά από 60 γενεές, επιτυγχάνοντας μέση απόκλιση πραγματικών-υπολογισμένων τιμών ίση με 16%. Από τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης φαίνεται ότι στις ελληνικές συνθήκες και σε καλλιέργεια υπό κάλυψη, η αναπνοή διατήρησης είναι μικρή σε σχέση με τη φωτοσύνθεση, ακόμη και σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα η τιμή του συντελεστή μεταβολής της αναπνοής για μεταβολή θερμοκρασίας κατά 10°C να μην επηρεάζει σημαντικά το αποτέλεσμα της προσομοίωσης. Στη βιβλιογραφία έχει αναφερθεί ότι η αναπνοή διατήρησης αντιστοιχεί στο 30% των προϊόντων της φωτοσύνθεσης για καλλιέργεια τομάτας σε θερμοκήπιο στις συνθήκες της Ολλανδίας (Marcelis et al., 1998). Στη βιβλιογραφία η τιμή του συντελεστή αυτού έχει αναφερθεί από 1,4 έως 2 για την τομάτα (Bertin and Heuvelink, 1993; Dayan et al., 1993). Οι τιμές των υπόλοιπων βαθμονομημένων σταθερών εκτός της μέγιστης και της ελάχιστης ειδικής φυλλικής επιφάνειας, ήταν εντός του αναμενόμενου εύρους τιμών με βάση τις πειραματικές παρατηρήσεις και τη σχετική βιβλιογραφία. Ο σωστός υπολογισμός της φυλλικής επιφάνειας συνδέεται με τον σωστό υπολογισμό της SLA (ειδική φυλλική επιφάνεια). Βελτιώσεις στον υπολογισμό της SLA στο TOMGRO είχαν ως αποτέλεσμα βελτίωση της συμπεριφοράς του προσομοιώματος (Bertin and Gary, 1998).

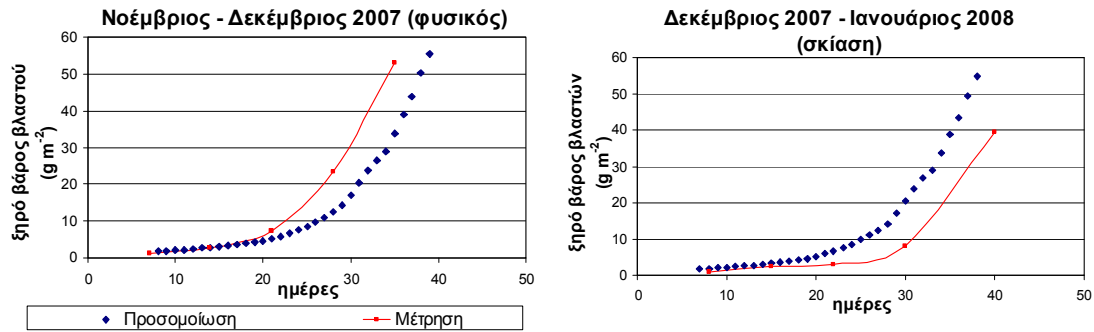
3.2. ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ



Διάγραμμα 2. Ξηρό βάρος φύλλων

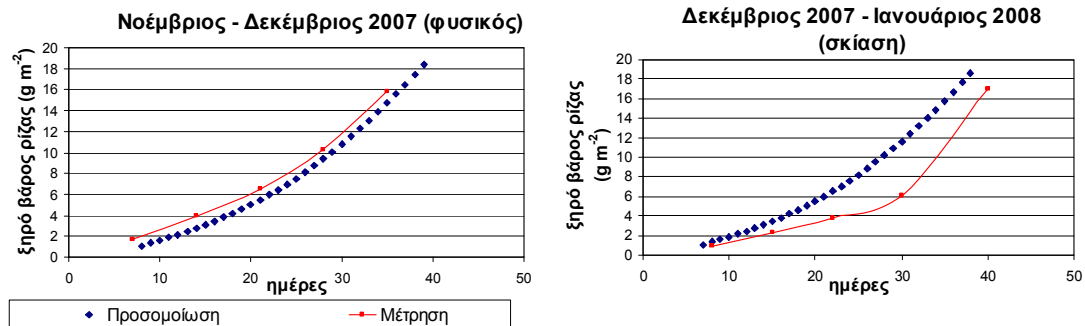
Κατά την πρώτη πειραματική περίοδο [Νοέμβριος – Δεκέμβριος 2007 (Φυσικός φωτισμός)], η προσομοίωση του ξηρού βάρους των φύλλων (Διάγραμμα 2) εμφανίζει μέση απόκλιση από την πραγματική τιμή έως και 25% κατά τα ενδιάμεσα στάδια της ανάπτυξης. Η προσομοίωση πάντα υποεκτιμά την πραγματική τιμή. Στη δεύτερη περίοδο [Δεκέμβριος 2007-Ιανουάριος 2008 (Σκίαση)] η προσομοίωση του ξηρού βάρους των φύλλων εμφανίζει αρκετά μεγάλη απόκλιση από την πραγματική τιμή. Η απόκλιση προσομοιωμένης και πραγματικής τιμής είναι σημαντική σε όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών και σταδιακά αυξάνεται. Σε αντίθεση με την πρώτη περίοδο, το ξηρό βάρος των φύλλων συνεχώς υπερεκτιμάται από το προσομοίωμα.

Παρόμοια με το ξηρό βάρος των φύλλων είναι και τα αποτελέσματα που αφορούν το ξηρό βάρος των βλαστών (Διάγραμμα 3). Στην πρώτη περίοδο το ξηρό βάρος του βλαστού υποεκτιμάται, με εξαίρεση την πρώτη περίπου εβδομάδα, ενώ στη δεύτερη περίοδο υπερεκτιμάται. Η απόκλιση προσομοιωμένων και πραγματικών τιμών κατά την πρώτη περίοδο φτάνει μέχρι το 45%, ενώ κατά τη δεύτερη φτάνει έως το 15%. Συνεπώς, σε αντίθεση με το ξηρό βάρος των φύλλων, το ξηρό βάρος του βλαστού προσομοιώνεται καλύτερα στη δεύτερη περίοδο.

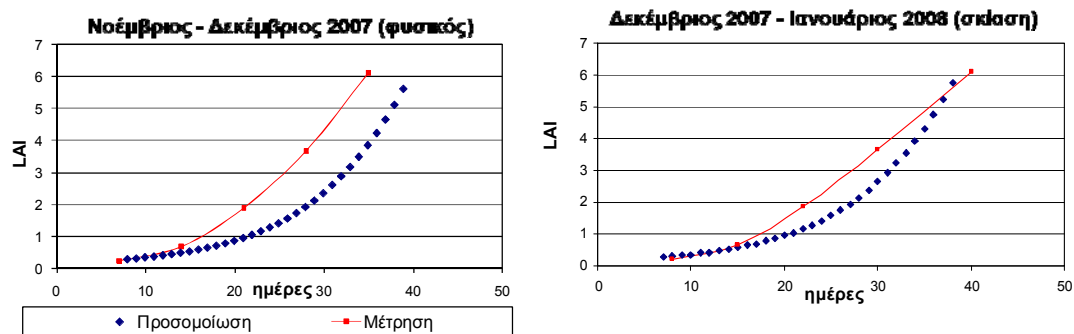


Διάγραμμα 3. Μετρημένες και υπολογισμένες τιμές ξηρού βάρους βλαστών κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου.

Η προσομοίωση του ξηρού βάρους της ρίζας (Διάγραμμα 4) κατά την πρώτη περίοδο είναι πολύ ικανοποιητική, καθώς η απόκλιση είναι 35%, κατά τις πρώτες ημέρες και μειώνεται στο 2-8% για το υπόλοιπο της περιόδου. Αντίθετα, κατά τη δεύτερη πειραματική περίοδο, αν και αρχικά η απόκλιση είναι στο 46%, σταδιακά αυξάνεται στο 92% και μόνο στο τέλος απότομα μειώνεται στο 10%. Το ξηρό βάρος της ρίζας μονίμως υπερεκτιμάται.



Διάγραμμα 4. Μετρημένες και υπολογισμένες τιμές ξηρού βάρους ρίζας κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου.



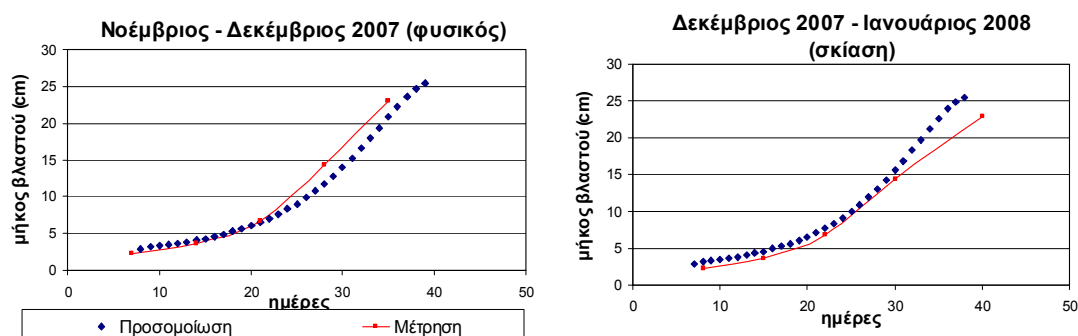
Διάγραμμα 5. Μετρημένες και υπολογισμένες τιμές δείκτη φυλλικής επιφάνειας κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου.

Η εκτίμηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) (Διάγραμμα 5) κατά την πρώτη περίοδο, αρχικά είναι σχετικά καλή με την απόκλιση υπολογισμένων – μετρημένων τιμών να μην υπερβαίνει το 20-30%, ωστόσο σταδιακά αυξάνεται και η απόκλιση είναι μεταξύ 37-45% για την πρώτη περίοδο και 30-70%, για την δεύτερη περίοδο.

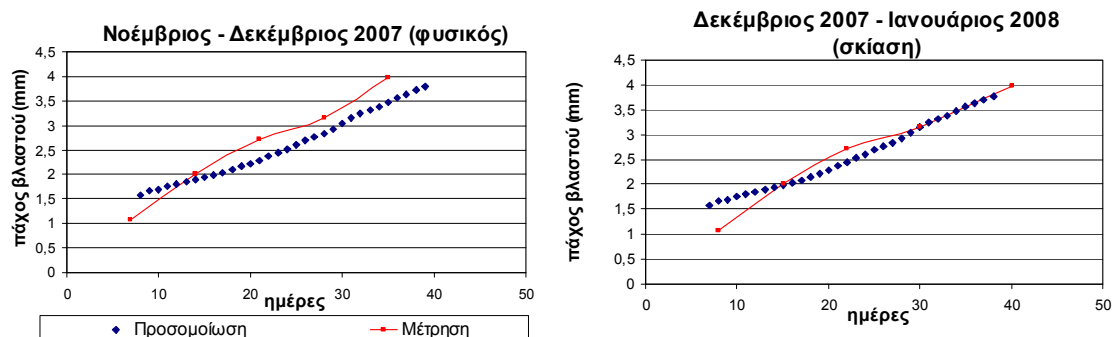
Κατά την πρώτη περίοδο η απόκλιση υπολογισμένου-μετρημένου μήκους βλαστού (Διάγραμμα 6) δεν υπερβαίνει το 25% κατά τις πρώτες ημέρες. Σταδιακά η απόκλιση μειώνεται περίπου στο 10%. Κατά τη δεύτερη περίοδο, αν και αρχικά η απόκλιση είναι 11-27%, μετά την δεύτερη μέτρηση αυξάνεται και φτάνει μέχρι το 74%, για να μειωθεί

τελικά και πάλι στο 28%. Η αύξηση του σφάλματος μετά τη δεύτερη μέτρηση οφείλεται στη μη σημαντική αύξηση του ύψους μεταξύ της δεύτερης και τρίτης μέτρησης, ένα σημείο στο οποίο και η αύξηση του ξηρού βάρους του βλαστού ήταν μικρή. Η λάθος προσομοίωση του ξηρού βάρους του βλαστού στο σημείο εκείνο οδήγησε και σε λάθος προσομοίωση του μήκους του βλαστού. Στην περίοδο αυτή το προσομοίωμα πάντοτε υπερεκτιμά το μήκος του βλαστού.

Το πάχος του βλαστού (Διάγραμμα 7) κατά την πρώτη περίοδο προσομοιώνεται σχετικά ικανοποιητικά καθώς, με εξαίρεση την πρώτη μέτρηση, η απόκλιση υπολογισμένων-μετρημένων τιμών δεν υπερβαίνει το 12%. Κατά τη δεύτερη περίοδο και πάλι κατά τη πρώτη μέτρηση, η απόκλιση είναι σημαντική, ωστόσο στη συνέχεια μειώνεται και κυμαίνεται μεταξύ 15-30%. Για μεν την πρώτη περίοδο το πάχος του βλαστού υποεκτιμάται, με εξαίρεση τις πρώτες ημέρες, για δε τη δεύτερη περίοδο το πάχος του βλαστού υπερεκτιμάται. Ο ρυθμός αύξησης του πάχους του βλαστού, τόσο για τη προσομοίωση όσο και για τις μετρημένες τιμές, είναι σχεδόν γραμμικός.



Διάγραμμα 6. Μετρημένες και υπολογισμένες τιμές μήκους βλαστών κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου.

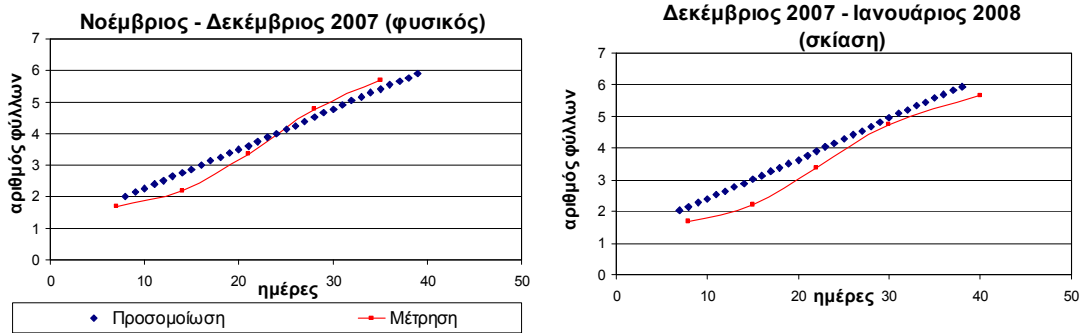


Διάγραμμα 7. Μετρημένες και υπολογισμένες τιμές πάχους βλαστών κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου.

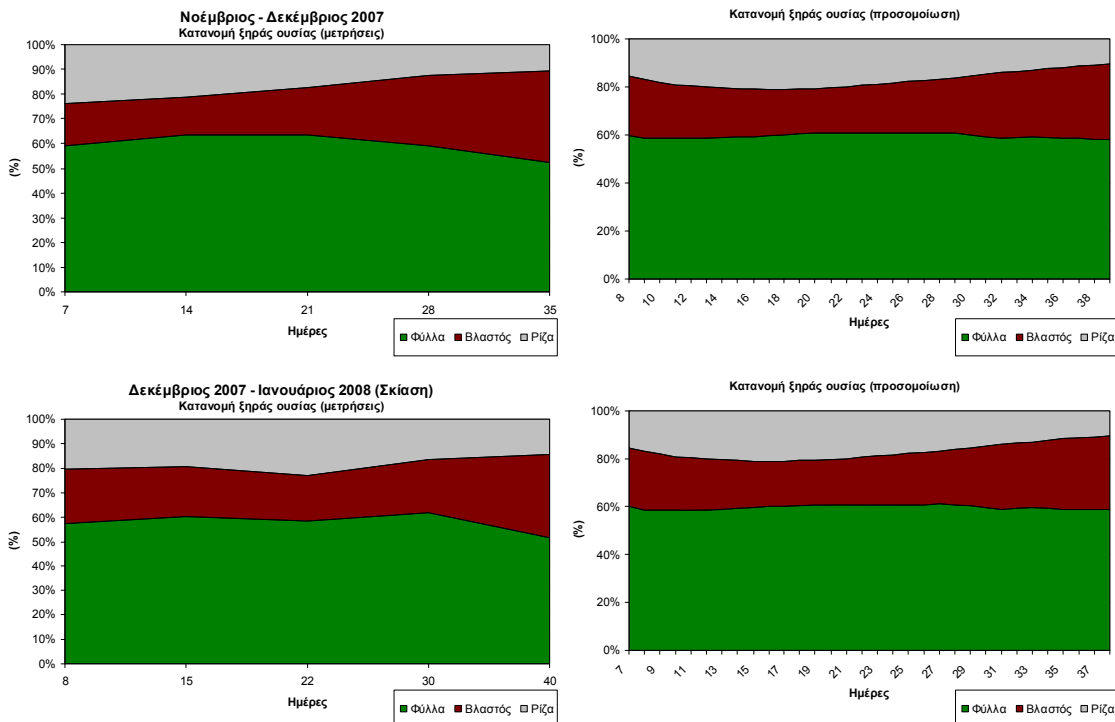
Ο αριθμός των φύλλων (Διάγραμμα 8) είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο προσομοιώνεται αρκετά καλά κατά τη διάρκεια και των δύο περιόδων, αν και στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης η απόκλιση υπολογισμένων και πραγματικών τιμών φτάνει το 50%. Ο αριθμός των φύλλων κατά κανόνα υπερεκτιμάται με εξαίρεση το τέλος της πρώτης περιόδου. Επίσης η προβλεπόμενη από το προσομοίωμα αύξηση του αριθμού των φύλλων είναι σχεδόν γραμμική. Ωστόσο η τάση αυτή δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα όπου παρατηρούνται αυξομειώσεις και μία ασαφής τάση αύξησης του αριθμού των φύλλων.

Το προσομοίωμα καταφέρνει να προσεγγίσει ικανοποιητικά τα πραγματικά ποσοστά της ξηράς ουσίας που κατανέμεται σε κάθε τμήμα του φυτού (Διάγραμμα 8), καθώς η απόκλιση μεταξύ μέτρησης και προσομοίωσης δε ξεπερνά σε κανένα σημείο το 30% ενώ συνήθως κυμαίνεται στο 5%. Το ποσοστό της ξηράς ουσίας που κατανέμεται στη

ρίζα αρχικά ελαφρώς υποεκτιμάται, γρήγορα όμως αυτή η τάση διορθώνεται και οι προσομοιωμένες τιμές ταιριάζουν με τις πραγματικές. Αντίθετα το ποσοστό της ξηράς ουσίας που κατανέμεται στο βλαστό υπερεκτιμάται, αργότερα όμως διορθώνεται. Σε κάθε περίπτωση το ποσοστό της ξηράς ουσίας που κατανέμεται προς το βλαστό δε προσομοιώνεται τόσο καλά όσο το ποσοστό της ξηράς ουσίας που κατανέμεται στα άλλα δύο μέρη του φυτού.



Διάγραμμα 8. Μετρημένες και υπολογισμένες τιμές αριθμού φύλλων κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου.



Διάγραμμα 9. Μετρημένες και υπολογισμένες τιμές κατανομής ξηράς ουσίας κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου.

Το ποσοστό της ξηράς ουσίας που κατανέμεται στα φύλλα προσομοιώνεται πολύ καλύτερα, καθώς η απόκλιση προσομοιωμένων και μετρημένων τιμών δεν αποκλίνει περισσότερο από 5%. Το ποσοστό της ξηράς ουσίας που υπολείπεται από τα φύλλα κατανέμεται από το προσομοίωμα προς το βλαστό, κάτι το οποίο δημιουργεί και τις σημαντικές αποκλίσεις προσομοιωμένων-πραγματικών τιμών στο ποσοστό της ουσίας που κατανέμεται στο βλαστό. Η κατανομή της ξηράς ουσίας προς τη ρίζα προσομοιώνεται καλύτερα από ότι η κατανομή ξηράς ουσίας προς τα άλλα όργανα. Το προσομοίωμα δηλαδή κατανέμει σωστά την ξηρά ουσία μεταξύ υπόγειων και υπέργειων οργάνων.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το TOMSEED δεν προσομοιώνει ικανοποιητικά όλα τα χαρακτηριστικά των σπορόφυτων τομάτας. Χαρακτηριστικά όπως το μήκος και το πάχος του βλαστού, καθώς και ο αριθμός των φύλλων προσομοιώνονται ικανοποιητικά, ωστόσο για το ξηρό βάρος των φύλλων, του βλαστού και της ρίζας, καθώς και το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, η προσομοίωση δεν είναι απόλυτα ικανοποιητική. Η κατανομή της ξηράς ουσίας επίσης προσομοιώνεται ικανοποιητικά, αν και υπάρχει περιθώριο βελτίωσης ιδιαίτερα προς το τέλος της περιόδου. Το γεγονός ότι συστηματικά υποεκτιμά ή υπερεκτιμά κάποια μεγέθη, ανάλογα και με την εποχή, δείχνει ότι υπάρχουν κάποια σφάλματα τα οποία δεν έχουν ακόμα εντοπισθεί.

Σημεία όπου απαιτούνται βελτιώσεις είναι η εκτίμηση του ρυθμού αύξησης της φυλλικής επιφάνειας και της ρίζας και της αύξησης του αριθμού των φύλλων. Η εσφαλμένη εκτίμηση της ελάχιστης και μέγιστης SLA (ειδική φυλλική επιφάνεια) κατά τη βαθμονόμηση καταδεικνύει την ανάγκη βελτιώσεων στον υπολογισμό της SLA, συμβάλλοντας παράλληλα στην καλύτερη εκτίμηση της φυλλικής επιφάνειας. Το προσομοίωμα αυτό ωστόσο αποτελεί μία πρώτη προσπάθεια και τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bertin, N. and Heuvelink, E., 1993. *Dry-matter production in a tomato crop: comparison of two simulation models*. J. Hort. Sci. 68(6) 995-1011.
- Bertin, N. and Gary, C., 1998. *Short and long term fluctuations of the leaf mass per area of tomato plants – Implications for growth models*, Annals of Botany 82: 71-81
- Βλαχάβας, Ι., Κεφαλάς, Π., Βασιλειάδης, Ν., Κόκκορας, Φ., Σακελλαρίου, Η., 2006. *Τεχνητή Νοημοσύνη*. Γ' Έκδοση, Β. Γκιούρδας Εκδοτική, 101-120.
- Boulard, T., Kittas, C., Roy, J.C. and Wang S., 2002. *Convective and ventilation transfers in greenhouses, part 2: determination of the distributed greenhouse climate*. Bios. Eng. 83 (2) 129-147.
- Dayan, E., Van Keulen, H., Jones, J.W., Zipori, I., Shmuel, D. and Challa, H., 1993. *Development, calibration and validation of a greenhouse tomato growth model: i. Description of the model*. Agricultural Systems 43 145-163.
- Dayan E., van Keulen, H., Jones, J.W., Zipori, I., Shmuel D. and Challa, H., 1993. *Description of the model*. In: H. van Keulen and E. Dayan (Editors), TOMGRO – a greenhouse-tomato simulation model, Wageningen Agricultural University, pp. 3-14.
- Gutman, O.P., Lindberg, P.O., Ioslovich, I. and Seginer, I., 1993. *A non-linear optimal greenhouse control problem solved by linear progr.* J. Agr. Engng Res. 55: 335-351.
- Heuvelink, E., 1996. *Dry Matter Partitioning in Tomato: Validation of a Dynamic Simulation Model*. Annals of Botany 77: 71-80, 1996.
- Marcelis, L.F.M., Heuvelink, E. and Goudriaan, J., 1998. *Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review*. Sci. Hort. 74 83-111.
- Roy, C.J., Boulard, T., Kittas, C. and Wang S., 2002. *Convective and Ventilation Transfers in Greenhouses, Part 1: the Greenhouse considered as a Perfectly Stirred Tank*. Bios. Eng. 83 (1), 1-20.
- Van Henten, E.J., Bontsema, J. and Van Straten, G., 1997. *Improving the efficiency of greenhouse climate control: an optimal control approach*. N. J. Agr. Sc. 45: 109-125.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΝΩΠΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΟΠΩΡΟΦΟΡΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ

Ι.Γ. Αμπατζίδης* και Σ.Γ. Βουγιούκας

Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Γεωπονική Σχολή,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη

*E-mail: iampatzi@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μοντελοποίηση της παραδοσιακής διαδικασίας της συγκομιδής των νωπών καρπών με τα χέρια είναι καθοριστικής σημασίας, ώστε να είναι δυνατή η επιλογή των απαραίτητων τεχνολογιών για την καταγραφή δεδομένων αγρού για κάθε στάδιο της και για τη βέλτιστη διαχείριση τόσο του ανθρώπινου δυναμικού όσο και του στόλου των μηχανημάτων. Στην εργασία αυτή αναλύεται η διαδικασία της συγκομιδής και παρουσιάζεται ένα λογισμικό που την προσομοιώνει. Τέλος, εξετάζονται σενάρια συγκομιδής σε οπωρώνα, με διαφορετικό αριθμό εργατών και αναλύονται τα αποτελέσματα.

Λέξεις κλειδιά: μοντελοποίηση, προσομοίωση, συγκομιδή νωπών καρπών, ιχνηλασιμότητα.

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR THE MANUAL FRUIT HARVESTING SIMULATION

Y.G. Ampatzidis* and S.G. Vougioukas

Department of Agricultural Engineering,
Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece

*E-mail: iampatzi@agro.auth.gr

ABSTRACT

In this paper presents the analysis and modeling of the manual fruit harvesting, which is necessary in order to select the appropriate technologies for field data acquisition and for the optimal human and machinery management. Software is developed to simulate each stage of the harvesting procedure and two case studies of harvesting in an orchard, with different number of workers, are presented.

Key words: modeling, simulation, manual fruit harvesting, traceability.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συγκομιδή των νωπών καρπών είναι μία κύρια εργασία, η οποία επηρεάζει σε βαθμό καθοριστικό την ποιότητα των καρπών και κατά συνέπεια την οικονομική τους αξία. Επιπλέον, το γεγονός ότι τα φρούτα για νωπή κατανάλωση συγκομίζονται, όπως όλοι οι ευαίσθητοι σε κρούσεις καρποί, με εργάτες έχει ως αποτέλεσμα το κόστος συγκομιδής να είναι πολύ υψηλό. Οι δυνατότητες για μηχανική συγκομιδή είναι ελάχιστες γιατί, παρά τα πλεονεκτήματα που αυτή παρουσιάζει, έχει σοβαρά μειονεκτήματα όπως υποβάθμιση της ποιότητας, δυσκολία συγκομιδής όλων των καρπών (μεγάλες απώλειες), συγκομιδή ταυτόχρονα ώριμων και άγουρων καρπών κ.α. (Τσατσαρέλης, 2003). Η εμπλοκή του ανθρώπινου παράγοντα στην εργασία αυτή συνεπάγεται υψηλό κόστος και απαιτεί την επιλογή του κατάλληλου αριθμού εργατών καθώς και τον σχεδιασμό για την ανάθεση των επιμέρους εργασιών σε κάθε εργάτη με στόχο την έγκαιρη και ποιοτική εκτέλεση της εργασίας με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

Επιπλέον, η χρήση νέων συστημάτων και τεχνολογιών για την χαρτογράφηση της παραγωγής και την ιχνηλασιμότητα των προϊόντων εντός αγρού (Ampatzidis et al., 2009; Ampatzidis et al., 2008; Αμπατζίδης κ.α., 2007), προϋποθέτει την σε βάθος ανάλυση της εργασίας της συγκομιδής και την πρόβλεψη των χρονικών σταδίων της, ώστε τα παραπάνω συστήματα να υλοποιηθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια και ευχρηστία.

Στην εργασία αυτή αναλύεται και περιγράφεται μαθηματικά η διαδικασία της χειροσυλλογής των καρπών στην Ελλάδα, και δίνεται μια σύντομη παρουσίαση ενός λογισμικού που προσομοιώνει την εργασία αυτή. Βασικός στόχος της αναλυτικής προσομοίωσης της διαδικασίας συγκομιδής είναι η λεπτομερής καταγραφή της ροής πληροφορίας κατά τη συλλογή και μεταφορά των καρπών ώστε να μελετηθούν στη συνέχεια οι δυνατότητες και τα όρια τεχνολογιών ιχνηλασιμότητας εντός αγρού. Το σύστημα προσομοίωσης λαμβάνει υπόψη την δυναμική φύση της εργασίας συγκομιδής ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο ρεαλιστικά και να είναι δυνατή η πρόβλεψη κάθε χρονικού σταδίου της εργασίας αυτής. Βάσει των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης είναι δυνατή η βέλτιστη επιλογή κάποιων παραμέτρων της διαδικασίας, κάτι το οποίο όμως δεν αποτελεί κύριο στόχο της παρούσας εργασίας. Τέλος, εξετάζονται σενάρια συγκομιδής σε οπωρώνα, με διαφορετικό αριθμό εργατών και αναλύονται τα αποτελέσματα. Το πρόγραμμα προσομοίωσης αναπτύχθηκε με χρήση της γλώσσας τεχνικού προγραμματισμού MATLAB®.

2. ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΝΩΠΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΜΕ ΧΕΡΙΑ

Με τα χέρια συγκομίζονται κυρίως οι ευαίσθητοι καρποί για νωπή επιτραπέζια χρήση. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η άριστη ποιότητα των καρπών, καθώς οι τραυματισμοί των καρπών αλλά και των δένδρων περιορίζονται στο ελάχιστο (Τσατσαρέλης, 2003). Αντίθετα, μειονεκτήματα μπορούν να θεωρηθούν το αυξημένο κόστος, που μπορεί να φτάσει το 1/2 ή 2/3 του συνολικού κόστους παραγωγής, καθώς και η απαίτηση πολλών εργατικών χεριών σε κρίσιμες περιόδους, που δύσκολα ανευρίσκονται (O'Brien, 1969). Επίσης, άλλα μειονεκτήματα είναι η μακρά διάρκεια της συγκομιδής και η κόπωση των εργατών (Conlan et al., 1995).

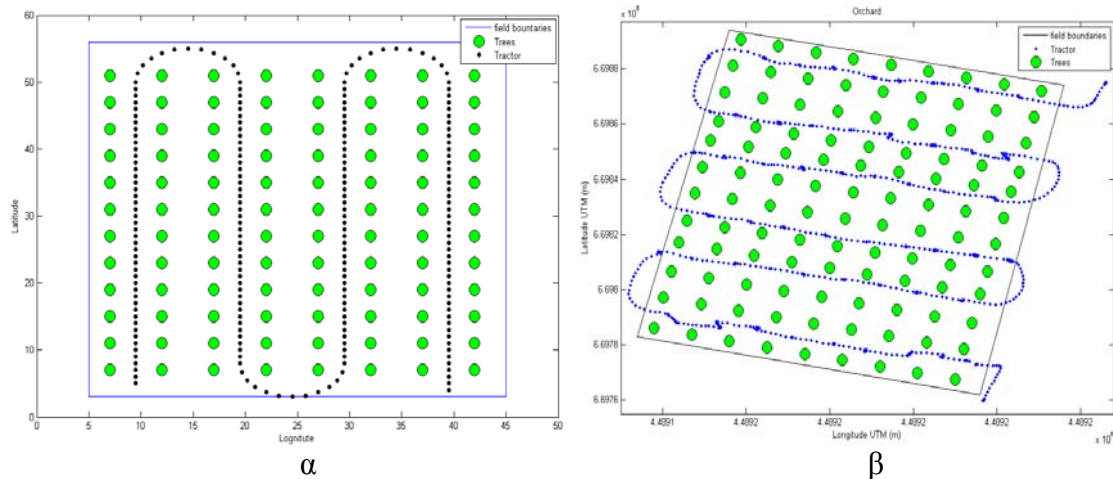
2.1. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Λόγω της διαφορετικής διαμόρφωσης του σχήματος των δένδρων (κύπελλο, παλμέττα κ.α.), η διαδικασία της συγκομιδής μπορεί να διαφοροποιείται από καλλιέργεια σε καλλιέργεια. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών είναι τέτοιες ώστε να μπορεί να κινηθεί ένας δενδροκομικός ελκυστήρας μέσα στον οπωρώνα. Έτσι, τα δέντρα σε έναν οπωρώνα φυτεύονται σε σταθερές αποστάσεις από τα γειτονικά τους, σε ένα προκαθορισμένο σχέδιο (grid pattern), το οποίο είναι σταθερό

για ένα δεδομένο αγροτεμάχιο.

Η συγκομιδή των φρούτων πραγματοποιείται σε ένα, δύο ή περισσότερα στάδια (χέρια), ώστε να συλλέγονται μόνο οι ώριμοι καρποί, βάσει κυρίως του χρώματος του καρπού και της εμπειρίας κάθε εργάτη. Κατά την συγκομιδή των καρπών, ένας αριθμός εργατών, εφοδιασμένος με τα κατάλληλα βοηθητικά μέσα (σκάλες, σκαλάκια, κλούβες-τελάρια), συλλέγει τους καρπούς από τα δέντρα. Οι εργάτες αυτοί έρχονται σε άμεση επαφή με τους καρπούς για την απόσπαση και συλλογή τους. Συνήθως οι καρποί ενός δέντρου συλλέγονται από έναν μόνο εργάτη και τοποθετούνται σε κλούβες (κιβώτια) των 20 kg περίπου. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να συλλέξουν περίπου 50 kg καρπών/εργάτη την μία ώρα (Τσατσαρέλης, 2003).

Οι γεμάτες καρπούς κλούβες παραμένουν κάτω από τα δένδρα και μετά το τέλος τις συγκομιδής ελκυστήρας με πλατφόρμα μεταφοράς μετακινείται στο χωράφι και οι κλούβες συλλέγονται από εργάτες. Καθώς ο ελκυστήρας κινείται σε μία γραμμή, οι κλούβες συλλέγονται από δύο σειρές δέντρων, αριστερά και δεξιά της πλατφόρμας (Σχήμα 1). Τυπικά, ο ελκυστήρας σταματά μερικά μέτρα μετά από κάθε ζευγάρι δέντρων, έτσι ώστε τα κιβώτια να μπορούν να φορτωθούν στην πλατφόρμα. (Σχήμα 1β). Κάποιες φορές εργάτες συλλέγουν τις κλούβες και τις τοποθετούν σε σημεία συγκέντρωσης ή σε πλατφόρμα μεταφοράς.



Σχήμα 1. Κίνηση του ελκυστήρα στον οπωρώνα για τη συλλογή των γεμάτων καρπών κιβωτίων. α) Προσομοίωση της κίνησης, β) Κατά τη συλλογή των κιβωτίων στον αγρό (Αμπατζίδης κ.α., 2007).

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της χειροσυλλογής οποιουδήποτε φρούτου που ακολουθεί την παραπάνω διαδικασία.

Τα δεδομένα εισόδου τα οποία παρέχονται στον προσομοιωτή είναι τα ακόλουθα:

Γεωμετρία αγροτεμαχίου: Σημεία που ορίζουν την περίμετρο του αγροτεμαχίου.

Χάρτης δέντρων (Tree Map): Δομή δεδομένων που περιέχει τον μοναδικό κωδικό δέντρου m_j , τη θέση (x_{m_j}, y_{m_j}) και το ύψος του.

Παραγωγή κάθε δέντρου (Yield Map): δομή δεδομένων που περιλαμβάνει για οποιαδήποτε χρονική στιγμή t το σύνολο $C(m_j, t)$ των καρπών κάθε δέντρου με κωδικούς φ_i , $1 \leq i \leq \|C(m_j, t)\|$ που αντιστοιχούν στο δέντρο m_j , τη χωρική κατανομή τους επάνω στο δέντρο $(x_{\varphi_i}, y_{\varphi_i}, z_{\varphi_i})$, το βάρος τους $w(\varphi_i, t)$ καθώς και κάποια ποιοτικά στοιχεία των καρπών.

Δεδομένα εργατών (Worker Data): Περιλαμβάνει τον κωδικό n_i κάθε εργάτη, ($1 \leq i \leq |\Delta_k|$), όπου Δ_k το σύνολο των εργατών κατά το στάδιο συγκομιδής k , την ταχύτητα μετακίνησής του, το ρυθμό συγκομιδής κατά το στάδιο k : $a(n_i, k)$ (s/φρούτο), το ρυθμό συλλογής τελάρων, το ρυθμό εκφόρτωσης των τελάρων, καθώς και άλλες παραμέτρους που εμπλέκονται στη διαδικασία. Για την καλύτερη ανάλυση του συστήματος χωρίζουμε τους εργάτες σε δύο βασικές κατηγορίες-σύνολα Δ_{1k} και Δ_{2k} ($\Delta_{1k} \cup \Delta_{2k} = \Delta_k$). Στο Δ_{1k} ανήκουν αυτοί που συγκομίζουν καθ'όλη τη διάρκεια της μέρας, ενώ στο Δ_{2k} ανήκουν αυτοί που συγκομίζουν μέχρι να συγκεντρωθεί ο απαραίτητος αριθμός τελάρων ή μέχρι κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και στη συνέχεια συλλέγουν τα γεμάτα κιβώτια και τα τοποθετούν στην πλατφόρμα του ελκυστήρα.

Δεδομένα Μηχανημάτων (Machine Data): η είσοδος αυτή αφορά τον κωδικό d_i^1 του δένδροκομικού ελκυστήρα με πλατφόρμα μεταφοράς, ($1 \leq i \leq |R|$), όπου R το σύνολο των δένδροκομικών ελκυστήρων και τη χωρητικότητα της πλατφόρμας (αριθμός κιβωτίων) του δένδροκομικού ελκυστήρα $\omega(d_i^1)$. Επίσης, ορίζεται κωδικός ελκυστήρα με μεγάλη πλατφόρμα μεταφοράς d_j^2 , ($1 \leq j \leq |E|$), όπου E το σύνολο των ελκυστήρων για τη μεταφορά των γεμάτων καρπών κιβωτίων στο συσκευαστήριο. Χωρητικότητα πλατφόρμας (αριθμός κιβωτίων) του μεγάλου ελκυστήρα μεταφοράς ορίζεται $\omega(d_j^2)$.

Αρχική κατάσταση του συστήματος: Τα δεδομένα αυτά αφορούν στις αρχικές θέσεις των εργατών και των ελκυστήρων. Επίσης, αρχικές τιμές δίνονται σε όλες τις παραπάνω παραμέτρους του συστήματος, οι περισσότερες από τις οποίες είναι στοχαστικές.

Το πρόγραμμα προσομοίωσης έχει αναπτυχθεί με τη χρήση της γλώσσας τεχνικού προγραμματισμού MATLAB[®]. Χρησιμοποιεί τέσσερις βασικές συναρτήσεις: `pickup`, `next_tree`, `load` και `unload`, οι οποίες περιγράφουν α) την συγκομιδή των καρπών από τα δέντρα για κάθε εργάτη, β) την επιλογή του επόμενου δέντρου για κάθε εργάτη, γ) τη συλλογή των γεμάτων τελάρων και τοποθέτησή τους στην πλατφόρμα του ελκυστήρα, και δ) την εκφόρτωση των τελάρων από την πλατφόρμα σε μεγαλύτερη πλατφόρμα ή σε κάποιο σημείο συγκέντρωσης, αντίστοιχα. Στις συναρτήσεις αυτές υπολογίζεται και η μετακίνηση του εργάτη ή/και των μηχανημάτων κατά τις παραπάνω εργασίες. Αν τα δεδομένα εισόδου δεν υπάρχουν τότε δημιουργούνται με χρήση κατάλληλων συναρτήσεων, π.χ. τυχαία κατανομή των καρπών πάνω στα δέντρα κ.α.

Ως έξοδο του συστήματος και κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δημιουργούνται πίνακες που συσχετίζουν κάθε εργάτη με τα φρούτα που συγκόμισε (ID φρούτων, ID δέντρων), με τα γεμάτα τελάρα στα οποία τοποθέτησε τους καρπούς και τα τελάρα που σύλλεξε και τοποθέτησε στην πλατφόρμα μεταφοράς. Οι πίνακες αυτοί ενημερώνονται σε κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Επίσης, οι θέσεις των εργατών και η συσχέτιση δέντρων και γεμάτων τελάρων, που περιέχουν τους καρπούς τους, καταγράφεται κάθε χρονική στιγμή. Γενικά, καταγράφεται κάθε χρονική στιγμή της συγκομιδής και συλλογής-εκφόρτωσης των γεμάτων τελάρων.

Με βάση τα δεδομένα αυτά προκύπτει το σύστημα κυκλοφορίας των εργατών και των μηχανημάτων. Για παράδειγμα:

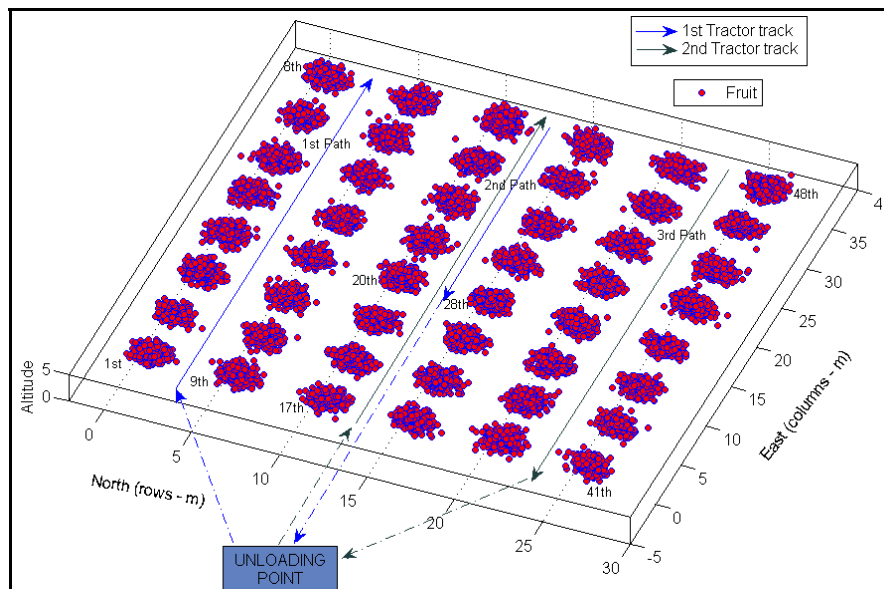
Για κάθε έναν εργάτη n_i ορίζεται μία συνάρτηση η οποία για κάθε δέντρο $j \in N(n_i, k)$, όπου $N(n_i, k)$ το σύνολο των δέντρων που συγκόμισε ο εργάτης n_i στο στάδιο k , επιστρέφει την σειρά με την οποία ο εργάτης επισκέπτεται το j -οστό δέντρο. Η συνάρτηση αυτή είναι ένα προς ένα, επί, και αντιστρέπτη (injective, surjective,

bijective): $b_i(\cdot): N(n_i, k) \rightarrow \{1, \dots, \|N(n_i, k)\|\}$ (ο δείκτης i δείχνει τον αριθμό του κάθε εργάτη). Για παράδειγμα, εάν ο εργάτης n_i επισκεφτεί πρώτα το 7^ο δέντρο και μετά το 17^ο, τότε $b_i(7)=1$ και $b_i(17)=2$. Η αντίστροφη συνάρτηση $b_i^{-1}(\cdot): \{1, \dots, \|N(n_i, k)\|\} \rightarrow N(n_i, k)$ δίνει τη σειρά με την οποία επισκέφτηκε ο εργάτης τα δέντρα. Δηλαδή, $b_i^{-1}(1)=7$, σημαίνει ότι το πρώτο δέντρο που επισκέφτηκε ο εργάτης είναι το 7^ο δέντρο. Έτσι, η σειρά με την οποία ο εργάτης επισκέπτεται τα δέντρα δίνονται από την απαρίθμηση $\sigma_i = \langle b_i^{-1}(1), b_i^{-1}(2), \dots, b_i^{-1}(\|N(n_i, k)\|) \rangle$.

Αντίστοιχα δημιουργείται και ένα **σύνολο διαδρομών** (σειρών μεταξύ δέντρων) αγρού $A(d_r^1, k)$ που πέρασε κάθε ελκυστήρας d_r^1 κατά το στάδιο συγκομιδής k .

4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η διαδικασία μίας συγκομιδής (ένα «χέρι») προσομοιώθηκε σε οπωρώνα με 48 δέντρα, 6 δέντρα ανά γραμμή και 8 δέντρα ανά στήλη, σε αποστάσεις φύτευσης 5m x 5m. Η κατανομή των φρούτων (μόνο τον ώριμων) ανά δέντρο, οι κωδικοί των δέντρων (αρίθμηση) και οι διαδρομές του ελκυστήρα (με πλατφόρμα μεταφοράς) για τη συλλογή των γεμάτων τελάρων παρουσιάζονται στο Σχήμα 2. Περίπου 250 ώριμα φρούτα (50 kg), έτοιμα για συγκομιδή, αντιστοιχούν σε κάθε δέντρο.



Σχήμα 2. Προσομοίωση της κατανομής των φρούτων σε οπωρώνα.

Η αρχική θέση του δενδροκομικού ελκυστήρα και το σημείο εκφόρτωσης των γεμάτων κιβωτίων σε μεγαλύτερο ελκυστήρα (με πλατφόρμα μεταφοράς) ορίζονται στο ίδιο σημείο (Σχήμα 2 – Unloading point). Οι μέσες τιμές των στοχαστικών παραμέτρων του συστήματος παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Οι τιμές αυτές αν και βασίζονται σε μικρής κλίμακας πειράματα (Ampatzidis et al., 2009; Τσατσαρέλης, 2003) χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις ως υποθετικά στοιχεία. Ο αρχικός χρόνος προετοιμασίας της συγκομιδής (διανομή άδειων κιβωτίων κτλ.) θεωρείται αμελητέος. Ως μέγιστη χωρητικότητα των τελάρων ορίζονται τα 100 φρούτα, περίπου 20 kg.

Πίνακας 1. Μέσες τιμές των στοχαστικών παραμέτρων του συστήματος.

Στοχαστικές παραμέτροι συστήματος	Ταχύτητα εργάτη	Ρυθμός συγκομιδής φρούτων	Ρυθμός συλλογής κιβωτίων	Ρυθμός εκφόρτωσης κιβωτίων	Ταχύτητα ελκυστήρα	Χωρητικότητα πλατφόρμας
Τιμές/μονάδες	1 m/s	12 s/φρούτο	6 s/τελάρο	5 s/τελάρο	1 m/s	75-78 τελάρα

Στην συγκεκριμένη προσομοίωση κάθε τελάρο γεμίζει με φρούτα από ένα μόνο δέντρο, για λόγους ιχνηλασιμότητας και επομένως κάποια τελάρα περιέχουν περίπου 70-80 φρούτα (αντί για περίπου 100). Παρακάτω, εξετάζονται δύο σενάρια στα οποία χρησιμοποιείται ένας ελκυστήρα για τη συλλογή των γεμάτων τελάρων και δύο διαφορετικοί αριθμοί εργατών για τη συγκομιδή των καρπών: α) 6 εργάτες, β) 7 εργάτες. Αρχική χρονική στιγμή θεωρείται το μηδέν ($t=0$) και η προσομοίωση τρέχει με χρονικό βήμα ενός δευτερολέπτου.

4.1 ΠΡΩΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ: 6 ΕΡΓΑΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ

Το σύστημα κυκλοφορίας των εργατών είναι το εξής: κάθε εργάτης συγκομίζει τους καρπούς από κάθε στήλη δέντρων, χωρίς να εμπλέκονται δύο εργάτες ανά δέντρο. Η συγκομιδή των καρπών, για κάθε εργάτη, ξεκινάει από το τελευταίο δέντρο της στήλης προς το πρώτο (π.χ. από το 8^ο προς το 1^ο κτλ.), ώστε όταν τουλάχιστον 2 εργάτες ολοκληρώσουν την συγκομιδή να ξεκινήσει η συλλογή των γεμάτων τελάρων και αν κάποιο δέντρο δεν συγκομιστεί στο χρονικό διάστημα αυτό να μπορούν να μεταφερθούν τα εναπομείναντα τελάρα με τα χέρια στο σημείο συγκέντρωσης (Σχήμα 2 - Unloading point). Έτσι, η σειρά με την οποία οι εργάτες επισκέπτονται τα δέντρα (σ_i) και ορισμένα συνοπτικά στοιχεία της προσομοίωσης παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Ενδεικτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης με 6 εργάτες

Κωδικός Εργάτη	Αριθμός τελάρων	Σειρά επίσκεψης δέντρων σ_i	Αριθμός δέντρων	Χρόνος συγκομιδής καρπών (min)	Μέσος χρόνος συγκομιδής ανά δέντρο (min)	Τυπική απόκλιση (min)
1	23	8→7→6→5→4→3→2→1	8	385,6	48,2	5,3
2	24	16→15→14→13→12→11→10→9	8	387,7	48,5	6,6
3	24	24→23→22→21→20→19→18→17	8	406,2	50,8	4,6
4	24	32→31→30→29→28→27→26→25	8	399,8	50,0	5,0
5	24	40→39→38→37→36→35→34→33	8	406,9	50,9	3,1
6	23	48→47→46→45→44→43→42→41	8	405,0	50,6	4,9
ΣΥΝΟΛΟ	142		48	-	-	-

Στο σενάριο αυτό οι εργάτες που αποκλειστικά συγκομίζουν καρπούς είναι $\Delta_1=\{3,5,6\}$, ενώ αυτοί που συγκομίζουν και στην συνέχεια συλλέγουν τα τελάρα είναι $\Delta_2=\{1,2,4\}$. Η συλλογή των τελάρων ξεκίνησε όταν 2 εργάτες ολοκλήρωσαν τη συγκομιδή (ο ν.1 και ο ν.2, $t=387,7$ min) και στη συνέχεια προστέθηκε και ο ν.4 ($t=399,8$ min). Καθώς ο ελκυστήρας κινείται σε μία γραμμή, τα τελάρα συλλέγονται από δύο σειρές δέντρων, αριστερά και δεξιά της πλατφόρμας (Σχήμα 2 - διαδρομές 1,2,3). Η πλατφόρμα γεμίζει μία φορά όταν συλλεχθούν 77 τελάρα ($t=393,3$ min), οπότε και κατευθύνεται στο σημείο εκφόρτωσης (Σχήμα 2 - μπλε γραμμή). Αφού ολοκληρωθεί η εκφόρτωση, συνεχίζεται η συλλογή των γεμάτων τελάρων από τη 2^η διαδρομή (στα εναπομείναντα δέντρα) στη 3^η (Σχήμα 2 - πράσινη γραμμή), όπου και συλλέγονται 62 τελάρα ($t=403,6$ min). Ο συνολικός χρόνος συλλογής και εκφόρτωσης των γεμάτων τελάρων ήταν $\Delta t=18,3$ min (ολοκληρώθηκε όταν $t=406,3$ min). Τρία τελάρα μεταφέρονται με τα χέρια επειδή δεν είχε ολοκληρωθεί η συγκομιδή τριών δέντρων (17^ο, 33^ο και 41^ο) από τους εργάτες ν. 3, 5 και 6, κατά τη συλλογή των τελάρων. Από τον πίνακα 3 παρατηρείται ότι οι χρόνοι συλλογής-εκφόρτωσης των γεμάτων τελάρων της 2^{ης} διαδρομής είναι πολύ μικρότεροι από τους αντίστοιχους της 1^{ης} γιατί στην αρχή της 2^{ης} προστέθηκε ένας ακόμα εργάτης (ο ν.4) στη διαδικασία συλλογής-εκφόρτωσης. Επίσης,

οι χρόνοι εκφόρτωσης είναι υψηλοί σε σχέση με τους χρόνους συλλογής (πίνακας 3), γιατί κατά την εκφόρτωση ένας εργάτης χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση των τελάρων στη μεγαλύτερη πλατφόρμα με αποτέλεσμα να μειώνεται η ταχύτητα εκφόρτωσης.

Πίνακας 3. Σενάριο 1^ο: χρόνοι συλλογής-εκφόρτωσης των γεμάτων τελάρων.

Χρόνοι (min) Πορείες	Συλλογής τελάρων	Μετάβασης στο χώρο εκφόρτωσης	Εκφόρτωσης	Επιστροφής για συλλογή τελάρων	ΣΥΝΟΛΟ
1 ^η πορεία	5,3	0,3	6,4	0,4	12,4
2 ^η πορεία	3,1	0,2	2,6	0,0	5,9
ΣΥΝΟΛΟ	8,4	0,5	9,0	0,4	18,3

4.2 ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ: 7 ΕΡΓΑΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ

Το σύστημα κυκλοφορίας των εργατών είναι: οι εργάτες συγκομίζουν από μία γραμμή δέντρων, ξεκινώντας από την 2^η προς την 8^η, και στη συνέχεια όποιος τελειώσει πρώτος επισκέπτεται το 1^ο δέντρο της 1^{ης} γραμμής (ν. 1), όποιος τελειώσει δεύτερος το δεύτερο (ν. 17) κ.ο.κ.. Η σειρά με την οποία οι εργάτες επισκέφτηκαν τα δέντρα (σ_i) παρουσιάζεται στον πίνακα 4, μαζί με ορισμένα συνοπτικά στοιχεία της προσομοίωσης.

Πίνακας 4. Ενδεικτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης με 7 εργάτες

Κωδικός Εργάτη	Αριθμός τελάρων	Σειρά επίσκεψης δέντρων σ	Αριθμός δέντρων	Χρόνος συγκομιδής καρπών (min)	Μέσος χρόνος συγκομιδής ανά δέντρο (min)	Τυπική απόκλιση (min)
1	18	2→10→18→26→ 34→42	6	313,2	52,2	4,9
2	19	3→11→19→27→ 35→43→1	7	338,3	48,3	7,5
3	21	4→12→20→28→ 36→44→41	7	366,0	51,1	4,4
4	21	5→13→21→29→ 37→45→17	7	352,8	50,4	4,2
5	21	6→14→22→30→ 38→46→33	7	353,5	50,5	3,4
6	21	7→15→23→31→ 39→47→25	7	354,9	50,7	4,6
7	21	8→16→24→32→ 40→48→9	7	333,2	47,6	6,0
ΣΥΝΟΛΟ	142		48	-	-	-

Ο εργάτης 1 ολοκληρώνει την συγκομιδή της 2ης γραμμής τελευταίος και επειδή όλα τα δέντρα είδη συγκομίζονται από άλλους εργάτες συνεχίζει στην συλλογή των γεμάτων τελάρων μόνος του ($t=313,2$ min). Όταν οι δύο επόμενοι εργάτες ολοκληρώσουν τη συγκομιδή (ο ν.7 -μετά την 1^η εκφόρτωση- $t= 333,2$ min και ο ν.2 -κατά τη 2^η πορεία του ελκυστήρα- $t=338,3$ min) συνεχίζουν στη συλλογή των τελάρων. Οπότε $\Delta_1=\{3,4,5,6\}$ και $\Delta_2=\{1,2,7\}$. Κατά την 1^η εκφόρτωση μόνο ένας εργάτης (ο ν.1) συμμετείχε στη διαδικασία, για αυτό και ο χρόνος είναι πολύ υψηλός (πίνακας 5). Ο ελκυστήρας κινήθηκε όπως στο προηγούμενο σενάριο (Σχήμα 2). Την 1^η φορά η πλατφόρμα γέμισε με 75 τελάρα ($t=322,4$ min) και κατά την ολοκλήρωση της συλλογής με 62 τελάρα ($t=339,6$ min). Ο συνολικός χρόνος συλλογής και εκφόρτωσης των γεμάτων τελάρων ήταν $\Delta t=28,6$ min (ολοκληρώθηκε όταν $t=342,4$ min). Πέντε τελάρα μεταφέρονται με τα χέρια επειδή δεν είχε ολοκληρωθεί η συγκομιδή πέντε δέντρων (1^ο, 9^ο, 17^ο, 23^ο και 33^ο) από τους εργάτες ν. 2,3,4,5 και 6, κατά τη συλλογή των τελάρων.

Πίνακας 5. Σενάριο 2^ο: χρόνοι συλλογής-εκφόρτωσης των γεμάτων τελάρων.

Χρόνοι (min) Πορείες	Συλλογής τελάρων	Μετάβασης στο χώρο εκφόρτωσης	Εκφόρτωσης	Επιστροφής για συλλογή τελάρων	ΣΥΝΟΛΟ
1 ^η πορεία	8,6	0,3	12,9	0,4	22,2
2 ^η πορεία	3,6	0,2	2,6	0,0	6,4
ΣΥΝΟΛΟ	12,2	0,5	15,5	0,4	28,6

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η παραδοσιακή χειρονακτική συγκομιδή νωπών φρούτων και αναλύθηκαν τα επιμέρους στάδιά της. Αναπτύχθηκε λογισμικό για την προσομοίωση κάθε σταδίου της διαδικασίας και για τον έλεγχο του ανθρώπινου και μηχανικού δυναμικού. Με τη χρήση του λογισμικού μπορεί ο διαχειριστής να αξιολογήσει το σύστημα εκτέλεσης εργασιών ανάλογα με τον αριθμό των εργατών-μηχανμάτων και του συστήματος κυκλοφορίας. Επιπλέον, μπορεί να εξετάσει νέα συστήματα και να επιλέξει το κατάλληλο. Έτσι, μπορεί να υπολογίσει τον απαιτούμενο χρόνο συγκομιδής και τον αριθμό των φρούτων-τελάρων που συγκόμισε κάθε εργάτης. Επίσης, είναι δυνατή η συσχέτιση κάθε φρούτου-δέντρου με τον εργάτη που τα συγκόμισε, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα να υπολογιστεί και η «ποιότητα» της εργασίας κάθε εργάτη. Η ανάλυση της ροής πληροφορίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν «οδηγός» για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας για την αυτοματοποιημένη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων σε συστήματα ιχνηλασιμότητας και γεωργίας ακριβείας.

Τέλος, εξετάστηκαν δύο σενάρια συγκομιδής, το πρώτο με 6 εργάτες και το δεύτερο με 7. Το σύστημα εκτέλεσης εργασιών των εργατών διαφοροποιούνταν σε κάθε σενάριο. Ενδεικτικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται στην εργασία, όπως οι χρόνοι κάθε σταδίου της διαδικασίας συγκομιδής. Όπως είναι αναμενόμενο, ο τελικός χρόνος συγκομιδής στο δεύτερο σενάριο ήταν κατά 49,2 min μικρότερος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αμπατζίδης, Ι.Γ., Βουγιούκας, Σ.Γ. και Μπόχτης, Δ.Δ., 2007. *Ιχνηλασιμότητα Εντός Αγρού Κατά την Παραδοσιακή Συγκομιδή Οπωροφόρων Δέντρων με Χρήση RFID*. Πρακτικά 5^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Λάρισα, 18-20 Οκτωβρίου.
- Ampatzidis, Y.G. and Vougioukas, S.G., 2009. *Field experiments for evaluating the incorporation of RFID and barcode registration and digital weighing technologies in manual fruit harvesting*. Computers and Electronics in Agriculture, 66(2), 166-172.
- Ampatzidis, Y.G., Vougioukas, S.G., Bochtis, D.D. and Tsatsarelis, C.A., 2009. *A yield mapping system for hand-harvested fruits based on RFID and GPS location technologies: field testing*. Precision Agriculture 10(1), 63-72.
- Conlan, T.M., Miles, J.A. and Steinke, W.E., 1995. *Static lower back stress analysis in citrus harvesting*. Transaction of the ASAE 38(3): 929-936.
- O'Brien, M., 1969. *Deciduous tree fruits-apples*. In: Fruit and vegetable harvest mechanization. Edit. Cargill B.F., G.E. Rossmiller. ASAE. St. Joseph. MI: 625-626.
- Τσατσαρέλης, Κ.Α., 2003. *Μηχανική Συγκομιδή Γεωργικών Προϊόντων*. Εκδόσεις Γιαχούδη.

ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΙΑ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Σ. Φουντάς^{1*}, Κ. Μπουλουλής², Κ. Αγγελοπούλου¹, Ν. Γιαννόπουλος¹, Θ. Γέμτος¹, Γ. Νάνος¹, Α. Παρασκευόπουλος³ και Μ. Γαλάνης⁴

¹Εργ. Γεωργικής Μηχανολογίας, Παν. Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, 38446 Ν. Ιωνία,

²Διάνθους ΕΠΕ, 24400 Γαργαλιάνοι Μεσσηνίας

³Τομέας Φυτοπροστασίας, Δ/νση Γεωργίας, 24200 Κυπαρισσία Μεσσηνίας

⁴Μονσάντο Ελλάς ΕΠΕ, Μιχαλακοπούλου 29, 11528 Αθήνα

E-mail: sfountas@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε έναν ελαιώνα 91 στρεμμάτων στην περιοχή Γαργαλιάνων Μεσσηνίας τις καλλιεργητικές περιόδους 2007 και 2008. Πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της παραγωγής, εδαφοληψία ακριβείας όπως και μέτρηση αντίστασης στη διείδυση. Στα 2/3 του χωραφιού πραγματοποιείται χημική ζιζανιοκτονία με χορτοκοπή, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα μηχανική καταστροφή των ζιζανίων με φρέζα. Το επίπεδο οργανικής ουσίας για τα τμήματα που χρησιμοποιήθηκε η χημική ζιζανιοκτονία ήταν κατά 22% μεγαλύτερη αυτής της μηχανικής καταστροφής, ενώ η αντίσταση στη διείδυση ήταν μέχρι και 26% μικρότερη για τα αντίστοιχα τμήματα. Η οικονομική μελέτη έδειξε πως το κόστος ανά στρέμμα χωρίς τον υπολογισμό της απόσβεσης μηχανημάτων ήταν 6,02 ευρώ/στρ. για τη χημική ζιζανιοκτονία και 8,83 ευρώ/στρ. για τη μηχανική καταστροφή.

Λέξεις κλειδιά: χαρτογράφηση, αντίσταση στη διείδυση, ζιζανιοκτονία.

WEED CONTROL IN OLIVES: APPLICATION OF PRECISION AGRICULTURE

S. Fountas^{1*}, C. Bouloulis², K. Aggelopoulou¹, N. Giannopoulos¹, T. Gemtos¹, G. Nanos¹, A. Paraskevopoulos³ and M. Galanis⁴

¹Farm Mechanization lab, University of Thessaly, Fytoko str., 38446 N. Ionia,

²Dianthous ltd, 24400 Gargalianoi Messinias

³Division of Plant Protection, Prefecture of Messinia, 24500 Kyparissia Messinias

⁴Monsanto Hellas, Michalakopoulou 29, 11528 Athens

*E-mail: sfountas@uth.gr

ABSTRACT

In a 9.1 ha olive farm in Garalianoi Messinias yield, soil and penetration maps were carried out in the growing seasons 2007 and 2008. In about 2/3 of the field chemical weed control was used, while in the remaining field mechanical control with rotary cultivator. The results indicated that organic matter was 22% higher in the areas with no rotary cultivator, while the soil resistance was up to 26% lower in the same field. The economical analysis of the two weed control treatments showed that with the fixed costs of the farm machinery, chemical weed control was 6,02 euros/0,1 ha, while 8,83 euros/0,1ha for the mechanical weed control

Key words: mapping, soil penetration resistance, weed control.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καλλιέργεια της ελιάς σε παγκόσμιο επίπεδο αντιμετωπίζεται με ιδιαίτερη σοβαρότητα γιατί αφ' ενός μεν το ίδιο το ελαιόλαδο είναι πολύτιμη και εξαιρετικά υγιεινή τροφή αφ' ετέρου διότι οι εδαφοκλιματικές απαιτήσεις της καλλιέργειας δεν ευνοούν την απεριόριστη εξάπλωση της για παραγωγή ποιοτικών προϊόντων. Στις μεσογειακές χώρες που κατ' εξοχήν ευδοκμεί η ελιά η καλλιέργεια της εξελίσσεται με γνώμονα δύο βασικούς παράγοντες που είναι η ποιοτική-ποσοτική βελτίωση της παραγωγής και η προστασία του περιβάλλοντος. Στην χώρα μας όπου η ελιά καλύπτει το 23,5% του συνόλου των καλλιεργουμένων εκτάσεων ιδιαίτερα στην Κρήτη, την Πελοπόννησο και την Στερεά Ελλάδα, η ελαιοκαλλιέργεια έχει μπροστά της μεγάλα περιθώρια ανάπτυξης, λαμβάνοντας υπόψιν ότι η ενίσχυση από την Ευρωπαϊκή Ένωση συνεχίζεται, η κατανάλωση ελαιολάδου αυξάνεται και η τιμή του παρά τις διακυμάνσεις υπάρχουν προοπτικές να βελτιωθεί.

Μία από τις πλέον σημαντικές φροντίδες στην καλλιέργεια της ελιάς είναι και η αντιμετώπιση των ζιζανίων (Μονσάντο Ελλάς, προσωπική επικοινωνία). Από τις πλέον δημοφιλείς μεθόδους αντιμετώπισης των ζιζανίων στη χώρα μας στην ελιά είναι με μηχανική κατεργασία του εδάφους. Η μέθοδος όμως αυτή οδηγεί σε ανεπιθύμητες παρενέργειες σε ό,τι αφορά τη διάβρωση των εδαφών και τη συγκράτηση της υγρασίας στους ελαιώνες ιδιαίτερα σε επικλινείς περιοχές. Απεναντίας η μή κατεργασία του εδάφους, όπως αυτό έχει τεκμηριωθεί από πολυετείς μελέτες στην Ισπανία από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και οι οποίες έχουν δημοσιευθεί στο επίσημο περιοδικό του Διεθνούς Συμβουλίου Ελιάς και Ελαιολάδου (OLIVAE), αποτρέπει ή περιορίζει στο ελάχιστο τις δυσμενείς αυτές επιπτώσεις (PastorMunoz-Cobo, 1990). Η μέθοδος αυτή της μη κατεργασίας του εδάφους στην Ισπανία εφαρμόζεται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 60%, ιδιαίτερα δε είναι διαδεδομένη στους ελαιώνες σε επικλινή εδάφη. Στην Ιταλία, ιδιαίτερα στις ελαιοπαραγωγικές περιοχές της Νοτίου Ιταλίας στις επαρχίες του Μπάρι και Λέτσε η μέθοδος αυτή καταλαμβάνει ποσοστό μεγαλύτερο του 40%.

Για την συγκριτική μελέτη της διαχείρισης της ζιζανιοχλωρίδας με κατεργασία του εδάφους, μηχανική καταστροφή (χορτοκοπή) και χημική ζιζανιοκτονία στην καλλιέργεια της ελιάς και των επιπτώσεων τους εγκαταστάθηκε ένα πολυετές πείραμα μεγάλης έκτασης σε καλλιέργεια ελιάς. Για την αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκαν συστήματα Γεωργίας Ακριβείας. Η Γεωργία Ακριβείας γενικώς είναι ένα σύστημα διαχείρισης αγροτεμαχίων σύμφωνα με το οποίο μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικά επίπεδα εισροών σε περιοχές του αγρού ανάλογα με το δυναμικό παραγωγής και τις εδαφοκλιματικές συνθήκες (Gemtos et al., 2002). Η γεωργία ακριβείας μπορεί επίσης να βοηθήσει στην εκτίμηση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής ζιζανιοκτονίας όπως και της κατεργασίας του εδάφους. Η γεωργία ακριβείας έχει εφαρμοστεί κυρίως σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας όπου υπάρχει πλήρης εκμηχάνιση των καλλιεργειών. Στις δενδρώδεις καλλιέργειες έχουν αρχίσει κάποιες εφαρμογές τα τελευταία χρόνια σε εσπεριδοειδή (Zaman & Schumann, 2006; Whitney et al., 2001), στα μήλα (Αγγελοπούλου, 2008, Manfrini et al., 2009) και στα ακτινίδια (Taylor et al., 2007). Στην ελιά οι Granados et al., (2004) δημιούργησαν χάρτες εφαρμογής θρεπτικών στοιχείων με βάση την παραλλακτικότητα των θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα της ελιάς. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι με την εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων ανάλογα με τις ανάγκες των δένδρων μπορεί να επιτευχθεί σημαντική οικονομία στα λιπάσματα για το άζωτο, το κάλιο και το βόριο.

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι να εκτιμηθούν το αποτέλεσμα της εφαρμογής μηχανικής καταστροφής και μεταφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων στη γονιμότητα των εδαφών σε σύγκριση με συστήματα μηχανικής κατεργασίας, χρησιμοποιώντας πρακτικές γεωργίας ακριβείας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε έναν ελαιώνα 91 στρεμμάτων στην περιοχή Γαργαλιάνων Μεσσηνίας τις καλλιεργητικές περιόδους 2007 και 2008. Η χαρτογράφηση της παραγωγής πραγματοποιήθηκε με καταγραφή των θέσεων και του βάρους των ελαιόσακων με ένα σύστημα GPS MIO 350 από τον ίδιο τον παραγωγό. Στους ελαιόσακους συγκεντρώνονταν η παραγωγή από τα γειτονικά δένδρα και το μέσο βάρος κάθε σακιού ήταν περίπου 58 κιλά. Η κάθε ομάδα σάκων θεωρήθηκε ότι αντιπροσώπευε τη παραγωγή των γύρω δένδρων. Παρόμοια τεχνική εφαρμόστηκε για τη χαρτογράφηση της συγκομιδής πορτοκαλιών στη Φλοίδα (Zaman & Schumann, 2006; Whitney et al., 2001). Η περίοδος συγκομιδής κράτησε 40 μέρες από τα μέσα Νοεμβρίου μέχρι και το τέλος Δεκεμβρίου.

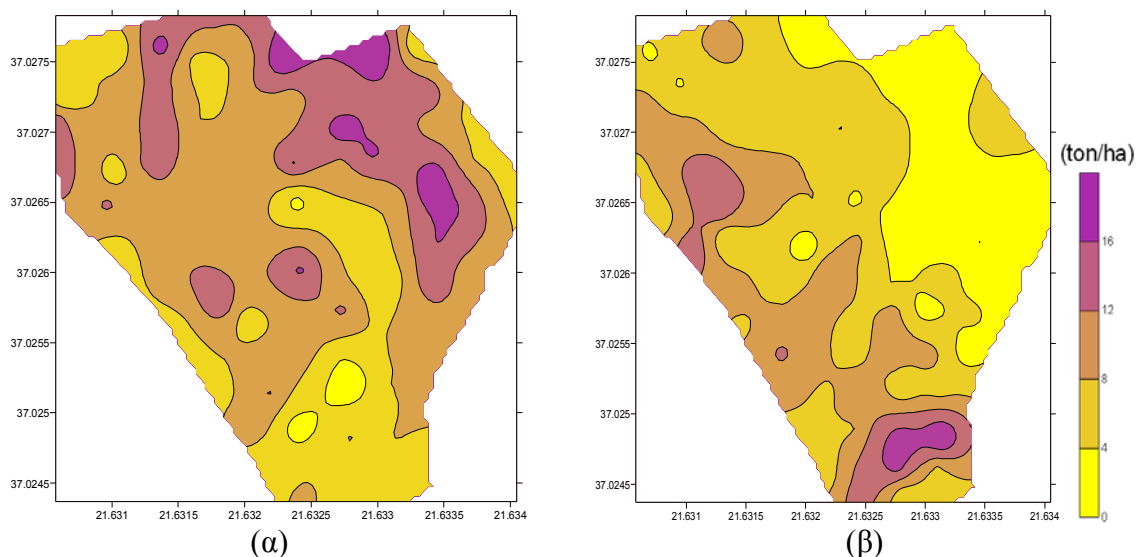
Πριν τη συγκομιδή του 2007 δημιουργήθηκε ένα κανονικό πλέγμα 91 κελιών (30X30μ) από όπου λήφθηκαν δείγματα εδάφους (ένα δείγμα ανά στρέμμα) και αναλύθηκε η μηχανική σύσταση τους εδάφους, η οργανική ουσία, N, P, K και άλλα ιχνοστοιχεία. Η ανάλυση των δειγμάτων έγινε από το εργαστήριο της AGROLAB. Επίσης μετρήθηκε στα ίδια σημεία η αντίσταση στη διείσδυση με ένα ηλεκτρονικό διεισδυσιόμετρο Bush μέχρι βάθος 50 εκ. Χημική ζιζανιοκτονία σε συνδυασμό με χορτοκοπή, πραγματοποιείται στα 2/3 του αγροκτήματος τα τελευταία 3 χρόνια (Σχήμα 1). Στο υπόλοιπο τμήμα γίνεται μηχανική καταστροφή των ζιζανίων με κατεργασία του εδάφους με φρέζα. Η ανάλυση δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Surfer (version 8, Golden Software, Colorado, USA) για τη δημιουργία θεματικών χαρτών. Η επίδραση των δύο καλλιεργητικών τεχνικών στη γονιμότητα του εδάφους (κυρίως περιεκτικότητα σε οργανική ουσία) για τις 2 πρακτικές προσδιορίστηκε με τη χαρτογράφηση των εδαφικών χαρακτηριστικών και της παραγωγής με αντίστοιχους θεματικούς χάρτες. Χάρτες διαφοροποιούμενης λίπανσης εφαρμόστηκαν για το K, P και το pH αμέσως μετά τη συγκομιδή του 2007 και εφαρμόστηκαν με βάση τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον τρίτο χρόνο εφαρμογής των δύο ανωτέρω περιγραφέντων συστημάτων διαχείρισης της ζιζανιοχλωρίδας στο εν λόγω ελαιοπερίβολο τα αποτελέσματα έδωσαν διαφοροποιήσεις στην παραγωγή (Σχήμα 2). Όπως φαίνεται από τα δύο έτη της παραγωγής, εκεί που το 2007 είχε υψηλή παραγωγή το 2008 η παραγωγή ήταν μικρή. Αυτό δικαιολογείται από την περεννιαιότητα στην ελιά.



Σχήμα 1. Ελαιοπερίβολο 91 στρεμμάτων. Χημική ζιζανιοκτονία πραγματοποιείται στις περιοχές με το κίτρινο, ενώ εντός του κόκκινου μηχανική κατεργασία με φρέζα.

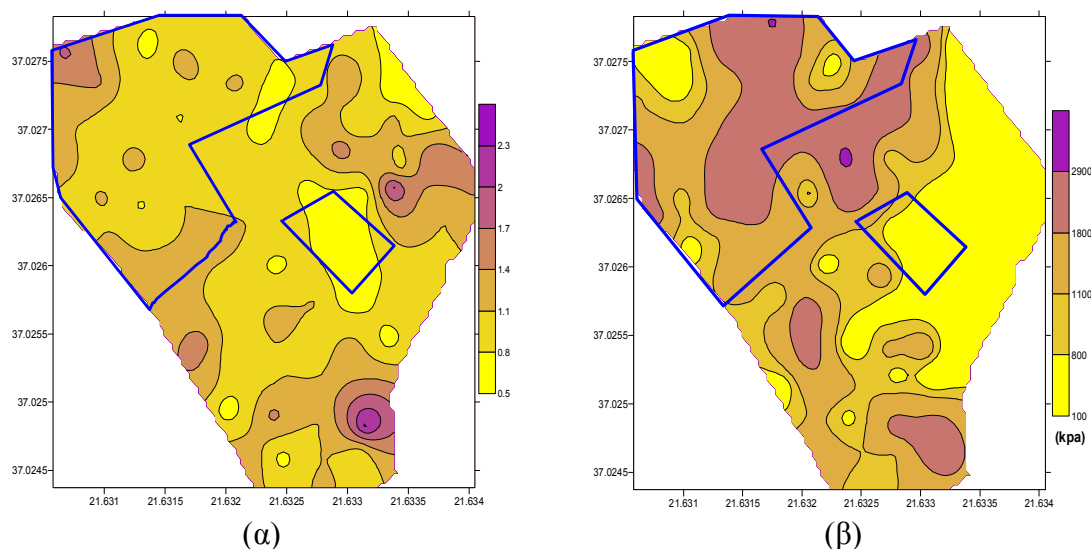


Σχήμα 2. Χάρτης παραγωγής και καταμέτρηση παραγωγής με GPS από τον παραγωγό, (α) 2007 και (β) 2008.

Το επίπεδο οργανικής ουσίας για τα τμήματα που χρησιμοποιήθηκε η χημική ζιζανιοκτονία ήταν μέχρι και 22% μεγαλύτερη αυτής της μηχανικής κατεργασίας (Σχήμα 3α). Επίσης παρατηρήθηκε αύξηση της αντίστασης στην διείσδυση σε βάθος 5 έως 20 εκατοστών στα τμήματα που έγινε μηχανική κατεργασία δηλαδή στην περιοχή ανάπτυξης των επιφανειακών ριζών της ελιάς, από 15-26%. Στα βάθη από 20-50 εκ. τα στοιχεία δεν αναλύθηκαν, επειδή δεν ελήφθησαν μετρήσεις από όλα τα σημεία επειδή υπήρχαν στο έδαφος πολλές πέτρες με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν αρκετές μετρήσεις για τις δύο επεμβάσεις (Πίνακας 1). Στο σχήμα 3β φαίνεται η αντίσταση στη διείσδυση σε βάθος 5 εκ.

Πίνακας 1. Αντίσταση στη διείσδυση (kPa) για τις δύο επεμβάσεις

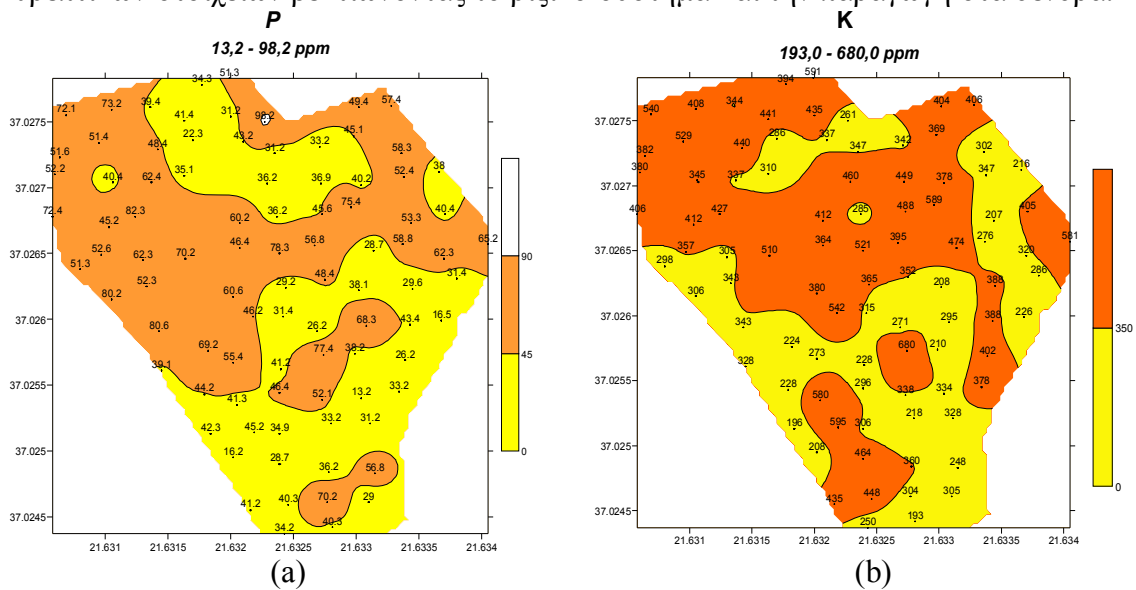
	5 εκ	10 εκ	15 εκ	20 εκ
Χημική ζιζανιοκτονία	1114	1559	1907	1881
Μηχανική καταπολέμηση	1511	1975	2256	2239
Διαφορά (%)	26%	21%	15%	16%



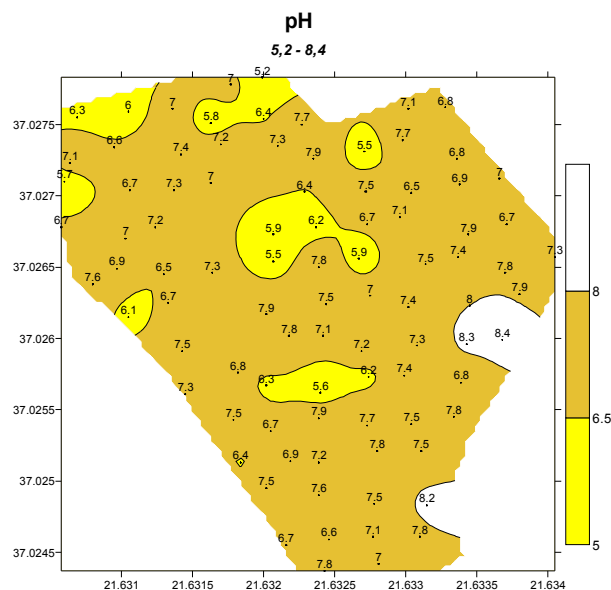
Σχήμα 3. (α) Θεματικός χάρτης οργανικής ουσίας, (β) θεματικός χάρτης αντίστασης στη διείσδυση στα 5 cm. Με μπλε οι περιοχές που πραγματοποιείται μηχανική καταστροφή ζιζανίων με φρέζα.

Χάρτες διαφοροποιούμενης δόσης δημιουργήθηκαν για το P, K και δολομίτη (για ρύθμιση pH) και εφαρμόστηκαν στον αγρό το χειμώνα του 2008. Η εφαρμογή του λιπάσματος έγινε με το χέρι σε κάθε δένδρο. Ο παραγωγός μπορούσε να προσθέτει ένα ή δύο δοχεία με λίπασμα ανάλογα με την περιεκτικότητα του εδάφους σε P και K. Οι ζώνες διαφοροποιημένης παραγωγής χαράχθηκαν με τον γεωργικό εκλυστήρα ακολουθώντας τις ισοϋψείς του κάθε χάρτη λίπανσης. Για να είναι πιο εφικτή η εφαρμογή του λιπάσματος από τον παραγωγό, δημιουργήθηκαν 2 ζώνες για την εφαρμογή του φωσφόρου και του καλίου (Σχήμα 4). Ο δολομίτης εφαρμόστηκε μόνο στα σημεία του χάρτη όπου το pH ήταν κάτω από 6.5 (Σχήμα 5)

Για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής διαφοροποιούμενων δόσεων λίπανσης, 13 δείγματα εδάφους λήφθηκαν στα σημεία όπου εφαρμόστηκε ο δολομίτης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το pH ανέβηκε από 5.9 σε 7.0 στις περιοχές αυτές. Αυτή η διόρθωση στο pH μπορεί να συμβάλλει θετικά στη διαθεσιμότητα των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων βελτιώνοντας το ριζικό σύστημα και την παραγωγή στα δένδρα.



Σχήμα 4. Ζώνες διαχείρισης για διαφοροποιούμενη λίπανση (α) Φώσφορος (P) με διαχωριστικό όριο τα 45 ppm και (β) Κάλιο (K) με διαχωριστικό όριο τα 350 ppm.



Σχήμα 5. Χάρτης pH. Στις κίτρινες περιοχές όπου το pH είναι κάτω από 6.5 εφαρμόστηκε δολομίτης.

Η οικονομική ανάλυση (Πίνακας 2) έδειξε πως το κόστος ανά στρέμμα με υπολογισμό μόνο του κόστους χρήσης των μέσων ζιζανιοκτονίας ήταν 6,02 ευρώ/στρ. για τη χημική ζιζανιοκτονία και 8,83 ευρώ/στρ. για τη μηχανική κατεργασία, ενώ με τον υπολογισμό και της απόσβεσης των γεωργικών μηχανημάτων οι τιμές ήταν 19,3 ευρώ/στρ. για την χημική ζιζανιοκτονία και 28,7 ευρώ/στρέμμα για την καταστροφή με μηχανική κατεργασία, λόγω των λίγων ωρών εργασίας των γεωργικών μηχανημάτων που αυξάνουν το τελικό κόστος.

Τα οικονομικά αυτά στοιχεία δείχνουν πέρα από το χαμηλότερο κόστος χρήσης της χημικής ζιζανιοκτονίας και το πολύ υψηλό κόστος χρήσης των γεωργικών μηχανημάτων, αφού ο συνολικός χρόνος χρήσης και του γεωργικού ελκυστήρα αλλά και των παρελκομένων μηχανημάτων είναι μικρός ένα γενικό πρόβλημα της μικρού κλήρου γεωργίας της χώρας.

Πίνακας 2. Ανάλυση κόστους καταπολέμησης ζιζανίων των δύο μεταχειρίσεων.

Χημική ζιζανιοκτονία	Μηχανική κατεργασία
2 εφαρμογές Roundup το χρόνο 2 εφαρμογές καταστροφέα	2 εφαρμογές φρέζας 1 εφαρμογή καταστροφέα 1 εφαρμογή Roundup
Κόστος το στρέμμα: 6,02 ευρώ (χωρίς κόστος χρήσης μηχανημάτων) 19,3 ευρώ (με το κόστος χρήσης μηχανημάτων)	Κόστος το στρέμμα: 8,83 ευρώ (χωρίς κόστος χρήσης μηχανημάτων) 28,7 ευρώ (με το κόστος χρήσης μηχανημάτων)

Κόστος Roundup: 60 ευρώ/5λίτρο, Κόστος καυσίμου: 1 ευρώ/λίτρο

Χρήση φρέζας

- Απόδοση: 4 στρέμματα/ώρα
- Κατανάλωση: 7 λίτρα/ώρα
- Service: αλλαγή 36 μαχαιριών ανά 50 στρέμματα (1,80 ευρώ το μαχαίρι)

Χρήση καταστροφέα

- Απόδοση: 6 στρέμματα/ώρα
- Κατανάλωση: 5 λίτρα/ώρα

Χρήση ψεκαστικού

- Απόδοση: 50 στρέμματα/ώρα
- Κατανάλωση: 2 λίτρα/ώρα
- Roundup: 5 λίτρα/1000 λίτρα διαλύματος/25 στρέμματα
- Χρήση προσκολλητικού

Η μελέτη αυτή θα συνεχιστεί και τις επόμενες δύο χρονιές με χαρτογράφηση της παραγωγής, κατευθυνόμενη εδαφοληψία και μέτρηση της αντίστασης του εδάφους στη διεύθυνση για την επαλήθευση των μέχρι τώρα αποτελεσμάτων αλλά και για να ληφθεί υπ' όψιν και η παρεννιαυτοφορία της ελιάς.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη αυτή έδειξε τη συμβολή που μπορεί να έχει η γεωργία ακριβείας στην καλλιέργεια της ελιάς. Με τη γεωργία ακριβείας έγινε δυνατό να ποσοτικοποιηθεί η παραλλακτικότητα δύο διαφορετικών μεταχειρίσεων για τον έλεγχο ζιζανίων στην ελιά που διαφορετικά δεν θα ήταν εφικτή. Οι δύο μεταχειρίσεις που εξετάστηκαν ήταν η χημική ζιζανιοκτονία και η μηχανική καταστροφή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ένα σημαντικό πλεονέκτημα υπέρ της χημικής ζιζανιοκτονίας, αφού η οργανική ουσία ήταν

κατά 22% μεγαλύτερη και η αντίσταση στη διείδυση κατά 26% μικρότερη. Η οικονομικότητα των δύο μεταχειρίσεων έδειξε ότι η μηχανική καταστροφή με φρέζα είναι πιο δαπανηρή λόγω της υψηλής κατανάλωσης καυσίμου και της μικρότερης απόδοσης σε σύγκριση με τη χημική ζιζανιοκτονία.

Η δυνατότητα εφαρμογής μεταβλητής λίπανσης μπορεί να συμβάλει στην μείωση του κόστους παραγωγής και στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των χημικών στο περιβάλλον.

Η εργασία θα συνεχιστεί για δύο ακόμη έτη για να καλύψει το πρόβλημα που προκύπτει από τη παρεννιαυτοφορία της ελιάς.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον παραγωγό κ. Παναγιώτη Παγάνη για την ουσιαστική συμβολή του σ' αυτή τη μελέτη και την εταιρεία Μονσάντο Ελλάς για τη χρηματοδότηση αυτής της έρευνας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αγγελοπούλου, Κ., 2008. *Γεωργία Ακριβείας στην καλλιέργεια μήλων*. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Gemtos, T., Fountas, S., Blackmore S., and Griepetong, H.W., 2002. *Precision Farming in Europe and the Greek potential*. 1st Greek Conference on Information and Communication Technology in Agriculture, Athens, Greece, June 4-7, 2002.
- 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.
- Manfrini, L., Taylor, J., Grappadelli, L., 2009. *Spatial analysis of the effect of fruit thinning on apple crop load*. European Journal of Hort. Science, 74(2), 54-60.
- PastorMunoz-Cobo, M., 1990. *Non-tillage and Other Methods of Reduced Tillage in Olive Cultivation* (last part). Olivae 34, 18-30.
- Taylor, J., Praat, J., Frank Bollen, A. 2007. *Spatial Variability of Kiwifruit Quality in Orchards and its Implication with sampling and Mapping*. HortScience 42(2), 246-250.
- Whitney, J.D., Ling, Q., Miller, W.M. and Adair Wheaton, T., 2001. *A DGPS yield monitoring system for Florida citrus*. Applied Engineering in Agriculture, 17(2): 115-119.
- 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.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΦΥΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΡΑΣΜΟΥ ΠΟΛΥΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Δ. Μόσχου

Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,
Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη
E-mail: dmoshou@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος αυτής της έρευνας ήταν να αναπτυχθεί ένα επίγειο σύστημα τηλεπισκόπησης πραγματικού χρόνου για την ανίχνευση ασθενειών σε καλλιέργειες σιταριού και σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης της ασθένειας. Αυτό επιτεύχθηκε με σύντηξη δεδομένων υπερφασματικών αισθητήρων αντανάκλασης μεταξύ 450 και 900 nm και απεικόνισης φθορισμού. Η παρούσα εργασία χρησιμοποίησε την ασθένεια κίτρινης σκουριάς (striiformis Puccinia) και Septoria Tritici του χειμερινού σίτου ως πρότυπο σύστημα για την ανάπτυξη των προτεινόμενων τεχνολογιών. Με σύντηξη δεδομένων των δύο τύπων αισθητήρων επιτεύχθηκε διάκριση 94,5%. Η σύντηξη δεδομένων εκτελέστηκε επίσης με τη χρήση νευρωνικών δικτύων που οδήγησε σε μείωση του σφάλματος ταξινόμησης σε 1%. Παρόμοια αποτελέσματα επιτεύχθηκαν για την Septoria Tritici.

Λέξεις κλειδιά: σύντηξη δεδομένων, νευρωνικά δίκτυα, τηλεπισκόπηση πραγματικού χρόνου, γεωργία ακριβείας.

SYSTEM FOR AUTOMATIC CROP DISEASE DETECTION BASED ON MULTISENSOR DATA FUSION

D. Moshou

Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering,
School of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki 54124, Greece
E-mail: dmoshou@agro.auth.gr

ABSTRACT

The objective of this research was to develop a ground based real-time remote sensing system for detecting diseases in arable crops under field conditions and in an early stage of disease development. This was achieved through sensor fusion of hyper-spectral reflection information between 450 and 900nm and fluorescence imaging. The work reported here used the diseases of yellow rust (striiformis Puccinia) and Septoria Tritici of winter wheat as a model system for testing the featured technologies. Data fusion using data originating from the two approaches achieved an overall discrimination of 94.5% (error of 5.5%). Data fusion was also performed using neural networks which decreased the overall classification error to 1%. Similar results were obtained in the case of Septoria Tritici.

Key words: data fusion, neural networks, real-time remote sensing, precision agriculture.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υπερβολική χρήση των φυτοφαρμάκων για τη θεραπεία ασθενειών φυτών αυξάνει τον κίνδυνο τοξικών υπολειμμάτων στα γεωργικά προϊόντα που φθάνουν στους καταναλωτές. Επειδή τα φυτοφάρμακα ανήκουν στο υψηλότερο τμήμα δαπανών στις δαπάνες παραγωγής των συγκομιδών και έχουν προσδιοριστεί ως σημαντικός συνεισφέρων παράγοντας στην μόλυνση του υπόγειου νερού, η χρήση τους πρέπει να μειωθεί σημαντικά. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη εφαρμογή των φυτοφαρμάκων σε εκείνες τις θέσεις όπου απαιτείται η χρήση τους. Μια λύση είναι να χρησιμοποιηθεί η τηλεπισκόπηση.

Έχει αποδειχτεί ότι χαρακτηριστικές παράμετροι της φασματικής ανάκλασης των φύλλων σχετίζονται με την χημική τους σύσταση. Στην εργασία των Carter and Knapp (2001) συζητείται η επίδραση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης στην φασματική υπογραφή των φύλλων. Η φασματική ανάκλαση στα 700nm έχει ευρεθεί ότι συσχετίζεται ισχυρά με την ποσότητα χλωροφύλλης. Επίσης διερεύνησαν την επίδραση άλλων παραγόντων όπως η παρουσία ασθένειας. Η οπτική αντίδραση σε πιέσεις όσον αφορά τα 700nm, όπως και οι σχετικές φασματικές μεταβολές στις περιοχές φάσματος που αντιστοιχούν στο πράσινο-κίτρινο, εξηγήθηκαν από την γενική τάση της πίεσης να προκαλεί μείωση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης.

Ένα μικρό ποσοστό από το υπεριώδες και ορατό φως που έχει απορροφηθεί από τις χρωστικές του φυτού επανεκπέμπεται σε μακρότερα μήκη κύματος σαν φθορισμός στα μήκη κύματος του κυανού, του πράσινου και του ερυθρού. Επειδή αυτή η διαδικασία είναι σε ανταγωνισμό με τη φωτοσύνθεση, η αποτελεσματικότητα της φωτοχημείας του φυτού, δηλαδή η φυσιολογική του κατάσταση, μπορεί να διερευνηθεί με αισθητήρες φθορισμού χλωροφύλλης, που επιτρέπουν τη διάκριση μεταξύ υγιούς και ασθενούς κατάστασης όπως παρουσιάζεται στις εργασίες των Ceronic et al. (1999) και McMurtray et al. (2001). Τα συστήματα απεικόνισης φθορισμού (Fluorescence Imaging System - FIS) επιτρέπουν την απόκτηση λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με τη τοπική διακύμανση του φθορισμού σε ολόκληρη την έκταση του δείγματος και έχουν εφαρμοστεί σε συνθήκες εργαστηρίου σε μικροσκοπική κλίμακα, σε κλίμακα φύλλου και φυτού με σκοπό την διερεύνηση ευρέος φάσματος συμπτωμάτων πίεσης.

Ο στόχος αυτής της έρευνας ήταν να αναπτυχθεί ένα επίγειο σύστημα τηλεπισκόπησης πραγματικού χρόνου για ανίχνευση ασθενειών σε καλλιέργειες χειμερινού σίτου και σε ένα πρώιμο στάδιο ανάπτυξης της ασθένειας. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω σύντηξης αισθητήρων υπερφασματικών πληροφοριών αντανάκλασης μεταξύ 450 και 900 nm και σημάτων φθορισμού (κινητικής και απεικόνισης). Η παρούσα εργασία χρησιμοποίησε την ασθένεια κίτρινης σκουριάς (*striiformis Puccinia*) και *Septoria Tritici* του χειμερινού σίτου ως πρότυπο σύστημα για την ανάπτυξη των προτεινόμενων τεχνολογιών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ - ΦΑΣΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων αποτελείτο από μια μονοχρωματική κάμερα Digiteyes στην οποία ήταν συνδεδεμένος ένας φασματογράφος V9 της Specim. Ο φασματογράφος παράγει φάσμα ανάκλασης για κάθε σημείο σε μια στενή γραμμική λωρίδα στην επιφάνεια του στόχου (Herrala et al., 1994). Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε αποτελείτο από τρία μέρη: ένα αντικειμενικό φακό, έναν φασματογράφο απεικόνισης, και μια φωτογραφική μηχανή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν σχεδιασμένο και εμπορικά διαθέσιμο από την Specim (Herrala et al., 1994).



Σχήμα 1. Ο φασματογράφος Specim V9 τοποθετημένος σε μονοχρωματική κάμερα Digiteyes.

Ο εξοπλισμός ήταν στερεωμένος σε αμαξίδιο, ώστε να διατηρείται σταθερή η απόσταση μεταξύ των φακών και του προς εξέταση φυτού. Οι μετρήσεις έγιναν σε καλλιέργειες σιταριού και σε συνθήκες φυσικού φωτισμού. Οι οπτικές συσκευές ήταν τοποθετημένες σε ύψος αρμού ψεκαστήρα (περίπου 1 μέτρο από το έδαφος). Μετά την απόκτηση δεδομένων, οι εικόνες αποθηκεύθηκαν ως πίνακες 8 bit με φασματική και χωρική διάσταση.

2.2. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ - ΦΘΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Το πολυφασματικό σύστημα απεικόνισης φθορισμού (MSFI) βασίστηκε σε CCD κάμερα με ψηφιακή έξοδο και ανάλυση 1300x1000 pixels, που συνδεόταν με ένα διαχωριστή οπτικής δέσμης τεσσάρων ζωνών. Αυτή η οπτική συσκευή χρησιμοποιήθηκε για να διαχωρίσει το πεδίο όψης της κάμερας σε τέσσερις πανομοιότυπες επιμέρους εικόνες, κάθε μία ανεξάρτητα φιλτραρισμένη με φίλτρα διέλευσης ζώνης (450nm, 550nm, 690nm και 740nm, όλα με απόκλιση 10 νανομέτρων). Ο φθορισμός χλωροφύλλης διεγέρθηκε από έναν φανό τόξου ξένου (xenon arc lamp) συνεχούς εκπομπής (ILC Technology LX175 με ισχύ 175 Watt) εξοπλισμένο με φίλτρο αποκοπής υπέρυθρου και χαμηλοπερατό φίλτρο με μήκος κύματος κατωφλίου στα 420nm που οδηγούσε στον περιορισμό της εκπομπής μόνο στην φασματική περιοχή 350–420 nm. Ο φανός ήταν ελεγχόμενος μέσω σήματος ενεργοποίησης TTL από ένα φορητό υπολογιστή, που αποκτούσε και αποθήκευε τις εικόνες.

Δεδομένου ότι η ένταση του σήματος φθορισμού ήταν εξαιρετικά χαμηλή σε σύγκριση με το ανακλώμενο φυσικό φως, η συγκεκριμένη διαταραχή μειώθηκε με μια αδιαφανή ασπίδα, η οποία καλυπτε το δείγμα και τις συσκευές. Κατά τη διάρκεια των αρχικών πειραμάτων, σε κάθε μέτρηση αποκτήθηκαν δύο συνεχόμενες εικόνες: πρώτα, μια εικόνα φόντου με το τόξο ξένου σβηστό και αμέσως μετά, μια δεύτερη εικόνα, όπου το δείγμα φωτιζόταν τόσο από το φυσικό φως όσο και από το φως του τόξου ξένου. Το MSFI ήταν τοποθετημένο σε αμαξίδιο και λειτουργούσε σε απόσταση περίπου 0.8 m από το φυτό και η περιοχή διέγερσης φθορισμού από το τόξο ξένου είχε μια τυπική διάμετρο 0,5-0.6 m. Λήφθηκαν εικόνες φθορισμού στα 450nm, 550nm, 690nm και 740nm από περιοχές φυτών διαμέτρου 0.2 m, που βρίσκονταν στη μέση του πεδίου φωτισμού, καταλήγοντας σε μια τυπική ανάλυση των 0.3 mm/pixel.

2.3. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

Ο φθορισμός φυτών μολυσμένων με *Septoria Tritici* καταγράφηκε με το PEA (Plant Efficiency Analyser) μετρητή φθορισμού της Hansatech (εικόνα 2). Ο φθορισμός είχε διεγερθεί από τις υπέρλαμπρες διόδους LED, με αιχμή το μήκος κύματος των 650 nm. Τα σήματα φθορισμού χλωροφύλλης ανιχνεύθηκαν με χρήση φωτοκύτταρου. Ο

χρόνος εγγραφής κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν 1 δευτερόλεπτο, με ανάλυση 10 μsec κατά τη διάρκεια των πρώτων 2 msec και μετά με ανάλυση 1 msec (Σχήμα 2). Ένα κλιπ φύλλου χρησιμοποιήθηκε για να αποφευχθεί η είσοδος του φυσικού φωτός στην φωτοκύτταρο.



Σχήμα 2. Ο μετρητής φθορισμού PEA της Hansatech

2.4. ΣΥΝΤΗΞΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΛΛΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Τα συστήματα σύντηξης δεδομένων συνδυάζουν δεδομένα από αισθητήρες για να επάγουν συμπεράσματα που δεν είναι δυνατό να εξαχθούν από ένα μόνο αισθητήρα (Hall, 1992; Dam et al., 1996). Σχετικές εφαρμογές αφορούν αμυντικά συστήματα (προσδιορισμός στόχων, αξιολόγηση της απειλής), τηλεπισκόπηση (θέση ορυκτών πόρων), ιατρική διάγνωση, έλεγχο πολύπλοκων μηχανημάτων, αυτόνομα ρομπότ (Dam et al., 1996) και αυτοματοποιημένη βιομηχανική παραγωγή. Η σύντηξη δεδομένων είναι ανάλογη με τη συνεχιζόμενη γνωστική διαδικασία που χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο, για την συνεχή ενσωμάτωση δεδομένων από τις αισθήσεις ώστε να κάνει εκτιμήσεις σχετικά με τον εξωτερικό κόσμο. Οι τεχνικές ανάπτυξης συστημάτων σύντηξης δεδομένων εξαρτώνται από τα φαινόμενα που παρατηρούνται, το είδος των χρησιμοποιούμενων αισθητήρων, και τα συμπεράσματα που ζητούνται. Γενικά, τα συμπεράσματα που στοχεύουν σε υψηλότερα επίπεδα απαιτούν τεχνικές από την τεχνητή νοημοσύνη όπως έμπειρα συστήματα, πρότυπα αντιστοίχισης, νευρωνικά δίκτυα και ασαφή λογική.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. ΦΑΣΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΣΘΕΝΕΙΑΣ

3.1.1. Επιλογή περιοχών φάσματος

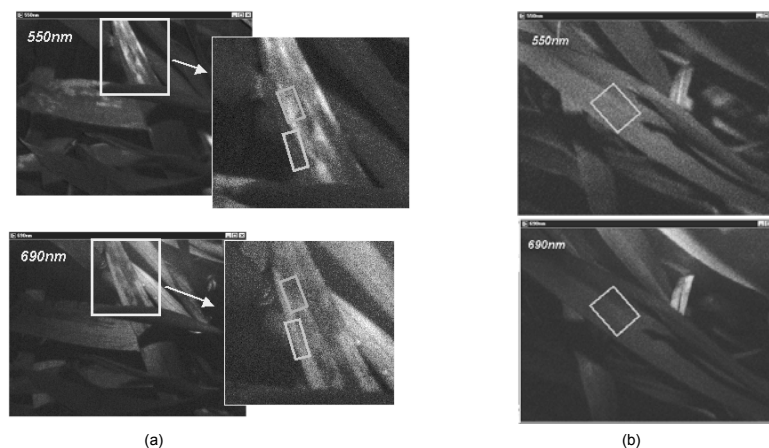
Για την εξεύρεση των βέλτιστων περιοχών φάσματος για διάκριση μεταξύ φασμάτων ασθενών και υγιών φυτών, έγινε χρήση κλιμακωτής επιλογής μεταβλητών. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στα ακόλουθα: μια ζώνη συχνοτήτων επιλέγεται μόνο όταν η προσθήκη στο υπάρχον σύνολο επιλεγμένων περιοχών συχνοτήτων φάσματος αυξάνει σημαντικά την διακριτική ικανότητα του νέου συνόλου περιοχών, όπως καθορίζεται από ένα F-test. Και πριν μία νέα ζώνη συχνοτήτων επιλεγεί, οι ήδη επιλεγμένες περιοχές ερευνούνται για τη σημασία της παρουσίας τους στο επιλεγμένο σύνολο. Η τελική επιλογή χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την κατασκευή του μοντέλου διακρίσεων. Η επιλογή περιοχών συχνοτήτων έχει το πλεονέκτημα ότι μόνο τρεις περιοχές συχνοτήτων χρειάζονται επεξεργασία από κάθε εικόνα οπότε μειώνεται σημαντικά η υπολογιστική επιβάρυνση και μπορεί το όλο σχήμα να εφαρμοστεί σε πραγματικό χρόνο.

3.1.2. Ανάλυση Τετραγωνικής Διακρίνουσας (QDA)

Μετά την επιλογή περιοχών φάσματος, χρησιμοποιήθηκε μία απλή μέθοδος ταξινόμησης. Το κριτήριο αυτό, που καλείται κανόνας τετραγωνικής ταξινόμησης, υπολογίστηκε με βάση την απόσταση Mahalanobis μιάς μόνο παρατήρησης (μέσος όρος κανονικοποιημένων φασμάτων) από τον μέσο όρο της τάξης (υγιή ή ασθενή φυτά). Η παρατήρηση ταξινομούνταν ανάλογα με τη μικρότερη απόσταση Mahalanobis από τον μέσο όρο της τάξης. Τα δεδομένα αποτελούνταν από 9800 φάσματα από υγιή φυτά και 15700 φάσματα από άρρωστα φυτά. Το κριτήριο είχε εκπαιδευτεί με το 75% των δεδομένων. Η διακριτική ικανότητα του ταξινομητή εξακριβώθηκε στην συνέχεια με χρήση του υπόλοιπου 25% του συνόλου των δεδομένων. Τα αποτελέσματα ανίχνευσης ασθενειών με τη χρησιμοποίηση τριών περιοχών με εύρος 20 nm (680, 725, 750 nm) ήταν ικανοποιητική, διότι το 90,23% των υγιών ήταν ορθώς ταξινομημένα, ενώ το 87,25% των νοσούντων ταξινομήθηκαν επίσης σωστά.

3.2. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΣΘΕΝΕΙΑΣ ΜΕ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

Οι εικόνες φθορισμού έδειξαν τυπικά ορατά συμπτώματα νόσου (Σχήμα 3). Παρατηρήθηκε ότι οι αλλοιώσεις που επέφερε η νόσος χαρακτηρίζονταν από υψηλή ένταση εκπομπών στα 550 nm και χαμηλή στα 690 nm, ενώ σε μια υγιή περιοχή η ένταση του φθορισμού ήταν αρκετά ομοιογενής στις δύο περιοχές συχνοτήτων.



Σχήμα 3. Εικόνες φθορισμού στα 550 nm και 690 nm φύλλων με συμπτώματα λοίμωξης (3a) και υγιών φύλλων (3b).

Με βάση αυτή την παρατήρηση, χρησιμοποιήθηκαν εικόνες και στις δύο ζώνες φθορισμού 550nm και 690nm ενώ για κάθε εικονοστοιχείο ορίστηκε ένας δείκτης τραυμάτων ως η σχετική ένταση ανάμεσα στις δύο ζώνες, f_G και δίνεται από την σχέση:

$$f_G = \frac{I_{550nm}}{I_{550nm} + I_{690nm}} \quad (1)$$

Σε διφασματικές (550 και 690 nm) εικόνες φθορισμού, μια μολυσμένη περιοχή σε ένα υγιές φυτό εμφανίζεται ως χωρική ασυνέχεια του λόγου f_G , σε ένα περίπου ομοιόμορφο φόντο. Ποσοτικά, αυτό σημαίνει ότι το f_G σε περίπτωση νόσου αποκλίνει από την τιμή 0,5, τυπική για μια υγιή περιοχή, προς υψηλότερες τιμές ενδεικτικές συμπτωμάτων ($f_G \approx 0,7$) ή σε χαμηλότερη τιμή για νεκρωτικό ιστό ($f_G \approx 0,3$).

Εφαρμόστηκε ο ακόλουθος αλγόριθμος ανίχνευσης της νόσου με βάση την εικόνα φθορισμού:

1. Εφαρμόζεται στην εικόνα μια διαδικασία προσαρμοστικού κατωφλίου στα 690 nm για να τμηματοποιηθεί η εικόνα σε καλά φωτισμένες περιοχές και περιοχές υποβάθρου (συμπεριλαμβανομένου του χώματος, νεκρά φύλλα, σκιά κλπ.). Η διαίρεση αυτή βασίζεται στο κατωφλι του επιπέδου του γκριζού και υπολογίζεται αυτόματα από μια επαναληπτική ανάλυση ιστογράμματος.
2. Οι περιοχές που διατηρούνται στη συνέχεια φιλτράρονται χωρικά για την εξάλειψη των σημείων θορύβου και για να καλυφθούν πιθανές "τρύπες" σε κλειστές περιοχές, έτσι ώστε τελικά να καθοριστεί η περιοχή βλάστησης που πρόκειται να ελεγχθεί.
3. Η εξ. (1) εφαρμόζεται ανα pixel στις περιοχές που προέκυψαν από το βήμα 2, για να υπολογισθεί για κάθε σημείο η τιμή της συνάρτησης f_G και να παραχθεί ένας "χάρτης" τιμών της f_G . Τα εικονοστοιχεία που χαρακτηρίζονται από $f_G > 0,65$ ταξινομούνται ως ύποπτες περιοχές. Τελικά ο λόγος των ύποπτων προς το σύνολο των εικονοστοιχείων θεωρείται ότι είναι μια ένδειξη του βαθμού σοβαρότητας της νόσου στο συγκεκριμένο δείγμα εικόνας.

Για σκοπούς ταξινόμησης ένα εικονοστοιχείο υποτίθεται ότι ήταν "άρρωστο" όταν ο δείκτης f_G υπερέβαινε το 0,65. Ένας δείκτης τραυμάτων (LI), που ορίστηκε ως το κλάσμα των εικονοστοιχείων που ήταν "άρρωστα" ($f_G > 0,65$), και εκπροσωπούσε την περιοχή εκδήλωσης της νόσου, υπολογίστηκε για κάθε εικόνα. Για όλες τις μετρήσεις LI οι σχετικές τιμές προσδιορίστηκαν και αποθηκεύτηκαν σε κατάλληλη μορφή ώστε να διευκολυνθεί η σύντηξη με φασματικές μετρήσεις που προέρχονταν από τα ίδια φυτά. Τυπικές τιμές που λαμβάνονταν ήταν: LI = 0 - 0,07 για μια υγιή περιοχή, LI = 0,05 - 0,20 για μια ελαφρά μολυσμένη και LI = 0,35 - 0,60 για εστία ασθένειας. Τα αποτελέσματα της QDA βασισμένα στους χάρτες LI δεν ήταν τόσο ικανοποιητικά, επειδή μόνο το 71,43% των υγιών ταξινομήθηκαν ως υγιή, ενώ το 95,65% των νοσούντων ταξινομήθηκαν ως νοσούντα.

3.3. ANIXNEYΣH YELLOW RUST ME ΣΥΝΤΗΞΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Για να σχεδιάσουμε ένα πρακτικό οπτικό αισθητήρα που να μπορεί να διακρίνει μεταξύ υγιών και νοσούντων φυτών είναι σημαντικό να μειωθεί ο αριθμός των επιλεγμένων περιοχών φάσματος στο ελάχιστο, διατηρώντας παράλληλα υψηλή διακριτική απόδοση. Η QDA χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση της νόσου με βάση τρεις περιοχές συχνοτήτων εύρους 20 nm (680, 725, 750 nm) που έδωσαν την καλύτερη διάκριση. Χρησιμοποιήθηκε ένα σύνολο τεσσάρων παραμέτρων σύντηξης: τρεις τιμές φασματικής ανάκλασης και η παράμετρος φθορισμού, LI. Τα σχετικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Ο αυτοοργανούμενος χάρτης SOM (Kohonen, 1982) χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση και διάκριση μεταξύ παραμέτρων σύντηξης από υγιή και ασθενή φυτά. Χρησιμοποιήθηκε ένα σύνολο τεσσάρων παραμέτρων σύντηξης που αποτελείται από τρεις τιμές φασματικής ανάκλασης και μία τιμή φθορισμού όπως και στην περίπτωση της QDA. Παρομοίως με την QDA που είχε χρησιμοποιηθεί για σύντηξη, ο SOM εκπαιδεύτηκε χρησιμοποιώντας το 75% των δεδομένων. Στην συνέχεια η απόδοσή του δοκιμάστηκε με το 25% του συνόλου των δεδομένων (πίνακας 1).

Πίνακας 1. Αποτελέσματα ταξινόμησης που προκύπτουν από τη σύντηξη δεδομένων μετρήσεων. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από δοκιμαστικό σύνολο δεδομένων με τη χρήση SOM και QDA (σε παρένθεση).

Ποσοστό παρατηρήσεων σε κάθε κατηγορία			
Κατάσταση	Ταξινομημένο υγιές	Ταξινομημένο άρρωστο	Σύνολο
Υγιές	98,7 % (97,78 %)	1,3 % (2,22 %)	100 %
Άρρωστο	0,6 % (8,86 %)	99,4 (91,14 %)	100 %

3.4. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ SEPTORIA ΜΕ ΣΥΝΤΗΞΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Για τη σύντηξη αισθητήρων, φασματικά αποτελέσματα προστέθηκαν σε μετρήσεις κινητικής φθορισμού. Αναπαράχθηκαν τέσσερις διαφορετικές συνθήκες με σκοπό να ανιχνευθούν διαφορετικές καταστάσεις πίεσης. Οι τέσσερις συνθήκες παράχθηκαν σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

1. Ομάδα ελέγχου: υγιή και με καλή υδροδότηση
2. Μολυσμένα με *Septoria tritici*, με καλή υδροδότηση
3. Υγιή φυτά, ανεπαρκής υδροδότηση
4. Μολυσμένα με *Septoria tritici*, ανεπαρκής υδροδότηση

Σε ένα πρώτο βήμα δεδομένα φθορισμού και φασματικά διερευνήθηκαν χωριστά. Τα φασματικά δεδομένα αποτελούνταν από 6 μεταβλητές (6 περιοχές φάσματος) που βρέθηκαν σαν ο καλύτερος συνδυασμός παραμέτρων με τη χρήση ενός F-test. Ο "καλύτερος" συνδυασμός παραμέτρων προέκυψε από χρήση κλιμακωτής επιλογής μεταβλητών αντίστοιχα με την μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην παράγραφο 3.1.1 και αποτελείτο από δύο περιοχές συχνοτήτων στο κοντινό υπέρυθρο, δύο στο ερυθρό, μια στο πράσινο και μια στο κυανό. Ο συνδυασμός αυτός χρησιμοποιεί το μεγαλύτερο μέρος της μεταβολής του συνόλου του φάσματος, γεγονός που εξηγεί την ικανότητά του να διαχωρίζει ασθένειες με βάση το στάδιο ανάπτυξης της νόσου.

Περαιτέρω, τα φασματικά χαρακτηριστικά αυτά συνδυάστηκαν μαζί με τα χαρακτηριστικά του φθορισμού για να επιτευχθεί σύντηξη δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκαν δύο παράμετροι φθορισμού, η αρχική τιμή φθορισμού F_0 στα 0.05 ms και ο λόγος F_v/F_m (efficiency of the primary photochemistry).

Οι 8 παράμετροι σύντηξης χρησιμοποιήθηκαν σαν παράμετροι εισόδου σε ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο. Ένας αντιληπτήρας πολλαπλών επιπέδων (Multilayer Perceptron-MLP) με ένα κρυφό στρώμα που αποτελείτο από 10 νευρώνες και δύο εξόδους χρησιμοποιήθηκε για την σύντηξη δεδομένων. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική προέκυψε με την χρήση της μεθόδου κανονικοποίησης κατά Bayes (Bayesian regularisation). Τα αποτελέσματα της σύντηξης δεδομένων ήταν αρκετά ικανοποιητικά (πίνακας 2).

Πίνακας 2. Οι επιδόσεις της σύντηξης που βασίστηκε σε ταξινομητή MLP για την ανίχνευση της Septoria.

	Ταξινομημένο άρρωστο	Ταξινομημένο υγιές
Άρρωστο	98,4	1,6
Υγιές	1,15	98,85

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο στόχος αυτής της έρευνας ήταν να αναπτυχθεί ένα επίγειο σύστημα τηλεπισκόπησης πραγματικού χρόνου για ανίχνευση ασθενειών σε καλλιέργειες σιταριού και σε ένα πρώιμο στάδιο ανάπτυξης της ασθένειας. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω σύντηξης αισθητήρων υπερφασματικών πληροφοριών αντανάκλασης μεταξύ 450 και 900nm και απεικόνισης φθορισμού. Η παρούσα εργασία χρησιμοποίησε την ασθένεια κίτρινης σκουριάς (*striiformis Puccinia*) και *Septoria Triticici* του χειμερινού σίτου ως πρότυπο σύστημα για την ανάπτυξη των προτεινόμενων τεχνολογιών. Υπερφασματικές εικόνες υγιών και μολυσμένων φυτών λήφθηκαν με έναν φασματογράφο απεικόνισης σε συνθήκες φυσικού φωτισμού. Πολυφασματικές εικόνες φθορισμού λήφθηκαν από τα ίδια φυτά. Μέσω της σύγκρισης εικόνων φθορισμού, ήταν δυνατό να ανιχνευθεί η παρουσία ασθενειών. Το κλάσμα εικονοστοιχείων σε μια εικόνα, αναγνωρισμένα ως ασθενή, τέθηκε ως τελική μεταβλητή ασθενειών φθορισμού και ορίστηκε σαν δείκτης τραυμάτων. Αναπτύχθηκε μια μέθοδος φασματικής ανάκλασης, βασισμένη σε τρία μήκη κύματος. Η μέθοδος που βασίστηκε στο φθορισμό ήταν λιγότερο ακριβής. Με την σύντηξη δεδομένων των δύο προσεγγίσεων επιτεύχθηκε διάκριση 94,5% με τη χρήση QDA (σφάλμα 5,5%). Η σύντηξη δεδομένων εκτελέστηκε επίσης με τη χρήση νευρωνικών δικτύων που μείωσε το γενικό λάθος ταξινόμησης σε 1%. Παρόμοια αποτελέσματα επιτεύχθηκαν για την *Septoria Triticici*. Με τις προτεινόμενες προσαρμογές το σύστημα ανίχνευσης ασθενειών με τη χρήση σύντηξης αισθητήρων μπορεί να εφαρμοστεί στην ανίχνευση ασθενειών φυτών σε αγρούς.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Carter, G.A. and Knapp, A.K., 2001. *Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration*. American Journal of Botany, 88(4): 677-684.
- Cerovic, Z., Samson, G., Morales, F., Tremblay, N. and Moya, I., 1999. *Ultraviolet induced fluorescence for plant monitoring: present state and prospects*. Agronomie 1999, 19: 543-578.
- Dam, J. van, Krösse B. and Groen, F., 1996. *Neural network applications in sensor fusion for an autonomous mobile robot*, In: Dorst, L., Lambalgen, M. van, Voorbaak, F., (Editors), Reasoning with uncertainty in Robotics. Springer, pp. 263-277.
- Hall, D.L., 1992, *Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion*. Artech House, Boston-London.
- Herrala, E., Okkonen, J., Hyvarinen, T., Aikio, M. and Lammasniemi, J., 1994. *Imaging spectrometer for process industry applications*. SPIE, 2248, pp. 33-40.
- Kohonen, T., 1982. *Self-Organized formation of topographically correct feature maps*. Biological Cybernetics, 43: 59-69.
- McMurtrey, J., Corp, L., Kim, M., Chappelle, E., Daughtry, C. and DiBenedetto, J., 2001. *Fluorescence techniques for agriculture applications*. In: De Shazer, J., Meyer, G., (Editors), Optics in agriculture: 1990-2000, SPIE, Bellingham (USA).

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΒΑΣΙΖΟΜΕΝΗ ΣΤΟΝ LGR ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

Α. Ξενάκης¹, Λ. Περλεπές², Π. Κίκiras³ και Γ. Σταμούλης⁴

Εργαστήριο Ασυρμάτων Δικτύων Αισθητήρων, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ,
Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων, Πολυτεχνική Σχολή, Π.Θ., Ιάσονος 10, Βόλος, TK 38221
E-mails: ¹axenakis@inf.uth.gr, ²leperlep@inf.uth.gr,
³kikirasp@inf.uth.gr, ⁴georges@inf.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος τοποθέτησης αισθητήρων, ο οποίος με βάση τις ζώνες διαχείρισης που έχουν παραχθεί από τη μέτρηση της αγωγιμότητας σε ένα χωράφι, αρχικά τοποθετεί κόμβους στα κεντροειδή των ζωνών αυτών και μετά με βάση τον υπολογισμό του συνόλου και των τοποθεσιών των πιθανών πατέρων του κάθε κόμβου που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός spanning tree, προτείνει το τελικό πλήθος και την τελική τοποθεσία των κόμβων που θα αποτελούν ουσιαστικά έναν άκυκλο γράφο. Έτσι, με λιγότερους κόμβους από όσους θα απαιτούνταν σε μία grid τοπολογία λαμβάνουμε εφάμιλλες ποιοτικές και ποσοτικές μετρήσεις, εξοικονομώντας ενέργεια και μειώνοντας το κόστος της λύσης.

Λέξεις κλειδιά: Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων, Logical Grid Routing, Αλγόριθμος Εύρεσης Βέλτιστης Τοπολογίας.

TOPOLOGY CONTROL METHODOLOGY IN WIRELESS SENSOR NETWORK FOR PRECISION AGRICULTURE APPLICATIONS BASED ON LGR

A. Xenakis¹, L. Perlepes², P. Kikiras³ and G. Stamoulis⁴

Wireless Sensor Networks Lab, Department of Computer and Communications
Engineering, School of Engineering, University of Thessaly, Volos 38221, Greece
E-mails: ¹axenakis@inf.uth.gr, ²leperlep@inf.uth.gr,
³kikirasp@inf.uth.gr, ⁴georges@inf.uth.gr

ABSTRACT

Aim of this study is to present a topology control algorithm for wireless sensor networks. We take into account the managements zones that derived from the electrical conductivity measurements in the field and propose a method that places sensor nodes on the centroids of the zones. Afterwards, depending on the total number and the placements of the potential parents of each node, according to the LGR rules for the spanning tree topology formation, our algorithm suggests the final total number of nodes and their placement in the field in order to produce a connected graph. Consequently, with less number of nodes according to a grid placement, we can get approximately the same measurements which leads to less total energy consumption and less production cost.

Key words: Wireless Sensor Network, Logical Grid Routing, Topology Control Algorithm

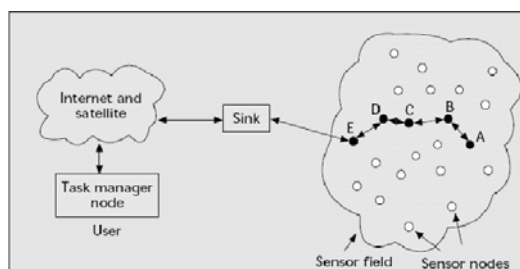
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Γεωργία Ακριβείας είναι μία μέθοδος διαχείρισης αγρών η οποία λαμβάνει υπόψη τη χωρική παραλλακτικότητα προκειμένου να εφαρμοστούν διαφορετικά επίπεδα εισροών (Τανός, 2007; Baggio, 2005). Επίσης η χρήση της προϋποθέτει την εφαρμογή νέων τεχνολογιών πληροφοριακών συστημάτων και αυτοματισμών για την αποτελεσματικότερη διαχείριση του αγρού. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι από τις μετρήσεις ουσιών εδάφους που λαμβάνει ένας γεωπόνος από ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων εντός αγρού, μπορεί να προσθέσει την κατάλληλη ποσότητα, στην κατάλληλη χρονική στιγμή και για τα αγροτεμάχια που πρέπει λίπασμα και άλλα χημικά. Η μέθοδος της Γεωργίας Ακριβείας δίνει στους γεωπόνους τη δυνατότητα για συνεχή εφαρμογή νέων τεχνολογιών όπως GPS, GIS, Smart Sensor Arrays και Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων (Kahn, 2002; Vellidis, 2005).

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παρουσιάσει αλγοριθμικά έναν τρόπο τοποθέτησης των κόμβων, που θα λαμβάνουν τις μετρήσεις, ο οποίος διαφέρει από την κλασσική τοποθέτησή τους σε μορφή πλέγματος. Όλες σχεδόν πρόσφατες μελέτες σε τοποθέτηση κόμβων σε αγρούς αφορούν τοποθέτηση πλέγματος. Εμείς με τον τρόπο που προτείνουμε δείχνουμε ότι με λιγότερους κόμβους τοποθετημένους σε στρατηγικό σημείο έχουμε την ίδια ποιοτική πληροφορία στις μετρήσεις με το λιγότερο ενεργειακό κόστος και κατ'επέκταση λιγότερο κόστος υλοποίησης.

1.1. ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από κόμβους οι οποίοι τοποθετούνται σε όλο το εύρος της περιοχής λήψης των μετρήσεων είτε με τυχαίο τρόπο είτε με μεθόδους καθορισμού διαχείρισης τοπολογίας (Kahn et al., 2002). Οι κόμβοι αυτοί προγραμματίζονται για να λαμβάνουν μετρήσεις θερμοκρασίας, υγρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας, χημικών ουσιών κτλ. Η εντός του αγρού τοποθέτηση των κόμβων, μπορεί να είναι σε συστάδες, (clusters) σε κάθε μία από τις οποίες επιλέγεται με κάποια κριτήρια ένας κόμβος-αρχηγός που θα συγκεντρώνει όλες τις μετρήσεις της περιοχής του. Κατόπιν όλες οι μετρήσεις από όλες τις υπο-περιοχές εντός του αγρού θα πρέπει να συγκεντρωθούν σε ένα κόμβο-συλλέκτη μέσω του οποίου μπορούν να μεταφερθούν μέσω internet σε άλλη τοποθεσία για ανάλυση. Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται η από απόσταση διαχείριση του αγρού. Μία απεικόνιση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι η ακόλουθη:



Εικόνα 1. Αρχιτεκτονική ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων.

Από το παραπάνω σχήμα είναι ευδιάκριτος ο τρόπος ροής της πληροφορίας από τους κόμβους εντός της περιοχής παρακολούθησης προς τον κόμβο-συλλέκτη. Στη συνέχεια μέσω δικτύου τηλεφωνίας ή internet οι μετρήσεις μεταφέρονται σε πραγματικό χρόνο σε όποιο υπολογιστή επιθυμούμε.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η Γεωργία Ακριβείας αναφέρεται στη διαχείριση της παραλλακτικότητας του

εδάφους με τη χρήση νέων τεχνολογιών. Η παραλλακτικότητα του εδάφους οφείλεται στα διαφορετικά επίπεδα σε οργανική ουσία, άργιλο, νερό κτλ. Για να γίνει σωστή η διαχείριση πρέπει να διαθέτουμε λεπτομερείς χάρτες στους οποίους απεικονίζεται αυτή η παραλλακτικότητα. Από τους χάρτες αυτούς προκύπτουν οι ζώνες διαχείρισης είτε παραγωγής είτε ηλεκτρικής αγωγιμότητας, που λειτουργούν ως κριτήριο βάση του οποίου μπορούμε να μεταβούμε από την κλασσική τοποθέτηση κόμβων σε πλέγμα σε μία βέλτιστη με λιγότερους σε πλήθος κόμβους.

2.1. ΖΩΝΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Οι ζώνες διαχείρισης είναι μικρότερα μέρη του αγρού που μεταξύ τους έχουν σαφείς διαφορές αλλά εντός της ίδιας ζώνης οι μετρήσεις παρουσιάζουν υψηλό βαθμό συσχέτισης. Το κριτήριο για την παραγωγή ζωνών δεν είναι μοναδικό και όχι πάντως πλήρως καθορισμένο. Ανάλογα με το τι θέλουμε να μετρήσουμε και πώς να διαχειριστούμε την παραλλακτικότητα οι γεωπόνοι μας διαθέτουν ζώνες διαχείρισης βάση χαρτών παραγωγής, ποιοτικών χαρακτηριστικών και ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Στη δική μας πρόταση δεν εξετάζουμε πώς προέκυψαν οι ζώνες, τι μέγεθος έχουν και το συνολικό τους πλήθος. Το μέγεθος των ζωνών αυτών εξαρτάται από την ικανότητα των γεωπόνων να διαφοροποιήσουν τις ζώνες μεταξύ τους.

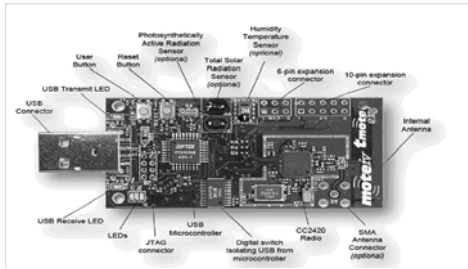
Στόχος μας είναι να πάρουμε ως εισερχόμενη πληροφορία το πλήθος και την έκταση των ζωνών αυτών σε έναν αγρό και να παράγουμε την τοπολογία των ασύρματων κόμβων μας η οποία θα είναι ένας άκυκλος γράφος στο χώρο των 2 διαστάσεων. Επειδή παρόλα αυτά συνήθως με τις εφαρμογές που ασχοληθήκαμε οι μετρήσεις αφορούν υγρασία θα ήταν πιο βολικό οι ζώνες να προκύψουν από μετρήσεις αγωγιμότητας εδάφους (με τη μέθοδο σάρωσης αγρού με το veris 3100) επειδή ένας από τους κύριους παράγοντες καθορισμού τιμών αγωγιμότητας είναι και το νερό, άρα οι μετρήσεις υγρασίας ανά ζώνη θα παρουσιάζουν υψηλό βαθμό συσχέτισης.

2.2. ΔΕΙΚΤΕΣ FPI / NCI

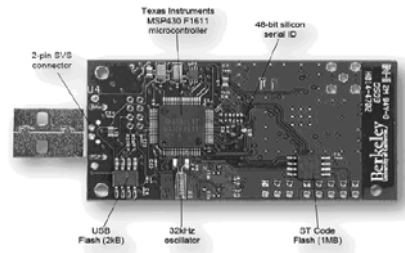
Το μέγεθος και το πλήθος των ζωνών προκύπτει με βάση στατιστικών μεθόδων όπως η ασαφής συσταδοποίηση (fuzzy clustering), που στηρίζεται στη θεωρία των ασαφών συνόλων και η οποία ταξινομεί τα χαρακτηριστικά από τις καλλιέργειες σε κλάσεις. Συγκεκριμένα ο αριθμός των ζωνών καθορίστηκε με βάση τους δείκτες FPI (fuzziness performance index) και NCE (normalized classification entropy). Ο πρώτος δείκτης δείχνει το βαθμό διαχωρισμού των κλάσεων και κυμαίνεται από 0...1. Τιμές κοντά στο 0 δείχνουν ευδιάκριτες ζώνες, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τιμές κοντά στο 1. Ο δεύτερος δείκτης κάνει εκτίμηση του ποσοστού της ασάφειας που δημιουργείται από έναν ορισμένο αριθμό κλάσεων. Τιμές κοντά στο 0 δείχνουν μεγαλύτερη οργάνωση ενώ τιμές κοντά στο 1 ασάφεια. Ο βέλτιστος αριθμός των ζωνών προκύπτει όταν έχουμε ελάχιστη τιμή και από τους δύο δείκτες (Τανός, 2005).

2.3. Tmote Sky KOMBOI

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούμε σε πραγματικές εφαρμογές είναι οι Tmote Sky (Moteiv Corp). Οι Tmote Sky είναι από τους πιο διαδεδομένους ασύρματους αισθητήρες σήμερα. Το Tmote Sky είναι ένας ασύρματος αισθητήρας χαμηλής ενέργειας για χρήση σε δίκτυα αισθητήρων και σε εφαρμογές ελέγχου. Είναι εφοδιασμένο με αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας, υγρασίας, καθώς και ηλιακής ακτινοβολίας (*Photosynthetically Active Radiation*, και *Total Solar Radiation*). Ακόμα φέρει διάφορα βιομηχανικά πρότυπα, όπως είναι η USB και το IEEE 802.15.4 (IEEE 802.15.4), έτσι ώστε να έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί άμεσα με άλλες συσκευές. Το εμπρός και το πίσω μέρος του κόμβου φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν:



Εικόνα 2. Εμπρός μέρος Tmote Sky.



Εικόνα 3. Πίσω μέρος Tmote Sky.

3. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΟΜΒΩΝ

3.1. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΕ ΠΛΕΓΜΑ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Με βάση την ανάλυση των μετρήσεων των δεικτών FPI/NCE και δεδομένης της έκτασης σε στρέμματα μίας έκτασης, υπολογίζουμε καταρχήν το συνολικό αριθμό των κόμβων που τοποθετούνται σε αυτή εάν τους τοποθετήσουμε σε πλέγμα. Για τον καθορισμό της απόστασης των σημείων του πλέγματος λαμβάνουμε υπόψη το κατώφλι θορύβου που μας επιτρέπει να αποστέλουμε και να λαμβάνουμε σήματα των 2.4 GHz έτσι ώστε ο σηματοθορυβικός λόγος $SNR \geq 0.1$. Το πιο απλό μοντέλο ραδιοεπικοινωνίας εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

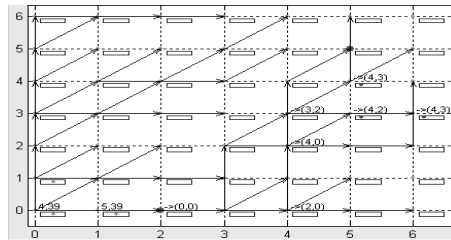
$$P_{rec,ideal}(d) = P_{transmit} / (1 + d^\gamma) \quad (1)$$

με $2 \leq \gamma \leq 4$ και το γ να εκφράζει το μέγεθος εξασθένησης σήματος ανάλογα με το μέσο μετάδοσης και εμπόδια στο signal path.

Υποθετικά εξετάζουμε τοποθέτηση κόμβων σε μία έκταση περίπου 100-110 στρέμματα. Επίσης υποθέτουμε ότι ο αγρός είναι ένα τετράγωνο οπότε υπολογίζουμε την κάθε πλευρά του ως $X = Y = 331m$ περίπου. Εάν ο αγρός έχει διαφορετικό σχήμα τότε λαμβάνοντας υπόψη την αναλογία X και Y πλευράς μπορούμε να καθορίσουμε πάλι το μήκος της κάθε μίας. Οι κόμβοι που χρησιμοποιούμε μπορούν να επικοινωνήσουν σε εμβέλεια $\sim 30m$ σε εξωτερικό χώρο χωρίς εμπόδια. Δεδομένου ότι θα πρέπει στις περιπτώσεις οργάνωσης ad hoc τοπολογίας να υπάρχει $\sim 10\%$ επικάλυψη στην ακτίνα εκπομπής του κάθε κόμβου για να υπάρχει επικοινωνία και όχι αισθητή μείωση του ρυθμού μεταφοράς δεδομένων, ο παρακάτω τύπος θα μας δώσει τις αποστάσεις των κέντρων των κόμβων και άρα τις αποστάσεις των κόμβων στο πλέγμα (Katsalis and Xenakis 2007).

$$\left(1 - \frac{d_{c1c2} - R}{R}\right) * 100 \geq 10 \quad (2)$$

Όπου $R = 30m$, d_{c1c2} η απόσταση των κέντρων των κύκλων διασκορπισμού του σήματος από τον κάθε κόμβο με ακτίνα R , και επικάλυψη ακτίνας σήματος $\sim 10\%$. Λύνοντας την (2) ως προς d_{c1c2} προκύπτει περίπου 53m. Συνεπώς σε τοποθέτηση πλέγματος $N*N$ κόμβων το $N = 7$. Άρα το σύνολο των κόμβων είναι 49. Στην ακόλουθη εικόνα που προκύπτει από τον προσωμοιωτή μας φαίνεται η τοποθέτηση των 49 κόμβων σε πλέγμα. Για την τοποθέτηση των κόμβων σε πραγματικό σενάριο μπορούμε να υπολογίσουμε τις ακριβείς θέσεις τους με GPS.

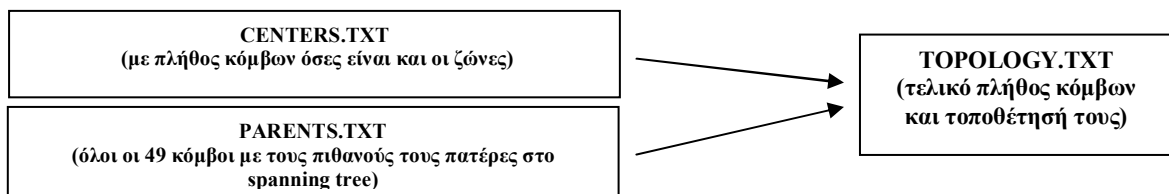


Εικόνα 4. Τοποθέτηση κόμβων σε πλέγμα.

3.2. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ LGR - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

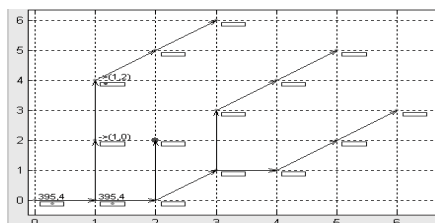
Ο LGR αλγόριθμος προτείνει διαδρομές για δρομολόγηση δεδομένων, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένας συνδεδεμένος γράφος ροής δεδομένων προς τον κόμβο συλλέκτη. Στον LGR αλγόριθμο δρομολόγησης οι κόμβοι τοποθετούνται σε $M \times N$ πλέγμα σε περιοχή 2 διαστάσεων (Young, 2002). Ο κάθε κόμβος στην τοποθεσία (x,y) έχει ένα μοναδικό ID και συνδέεται με έναν νέο κόμβο (i,j) . Εάν ισχύει $i \geq x$ και $j \geq y$ τότε ο (i,j) κόμβος είναι πλησιέστερα στον κόμβο συλλέκτη ο οποίος βρίσκεται στη λογική τοποθεσία $(0,0)$. Ο (i,j) είναι υποψήφιος κόμβος-πατέρας του (x,y) στον άκυκλο γράφο δρομολόγησης. Με βάση τους κανόνες του LGR κάθε κόμβος εκτός του συλλέκτη έχει ένα πιθανό σύνολο 3 πατέρων. Όταν όλοι οι κόμβοι σε κάθε χρονική στιγμή επικοινωνούν με κάποιον από τους πιθανούς πατέρες τους, τότε σχηματίζεται ο άκυκλος γράφος. Σε περίπτωση που ένας κόμβος-πατέρας δεν μπορεί για κάποιο λόγο να δρομολογήσει ένα πακέτο ή η επικοινωνία μεταξύ παιδιού-πατέρα δεν υφίσταται, τότε ο κόμβος-παιδί με κάποιους κανόνες επιλέγει έναν νέο κόμβο-πατέρα από το σύνολο των πατέρων του. Έτσι μειώνεται η πιθανότητα της διακοπής ροής πληροφορίας στο γράφο. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της δυναμικής εναλλαγής μεταξύ συνδέσεων πατέρων-παιδιών είναι η πλεονάζουσα επιλογή μονοπατιών δρομολόγησης καθώς επίσης και η ομοιόμορφη σπατάλη ενέργειας των κόμβων.

Βασίζόμενοι στους κανόνες επιλογής πατέρων του LGR δημιουργούμε για κάθε κόμβο του $N \times N$ πλέγματος ένα αρχείο με το όνομα **parents.txt** το οποίο περιέχει για κάθε κόμβο τους 3 πιθανούς πατέρες του. Επίσης λαμβάνοντας υπόψη τις ζώνες διαχείρισης που έχουνε παραχθεί από την ανάλυση των γεωπόνων, χωρίζουμε ευδιάκριτες περιοχές στο πλέγμα μας και τοποθετούμε στα κεντροειδή της κάθε περιοχής ένα κόμβο – επικεφαλή για την περιοχή αυτή. Οι κόμβοι αυτοί, που είναι σε πλήθος όσες και οι ζώνες, με τις συντεταγμένες τους σε ορθοκανονικό σύστημα κρατούνται στο αρχείο **centers.txt**. Στη συνέχεια ο αλγόριθμος τοποθέτησης που προτείνουμε συγκρίνει τα δύο αυτά αρχεία και προσπαθεί κρατώντας τους κόμβους στα κεντροειδή, να τους ενώσει με τους πιθανούς πατέρες τους έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα μονοπάτι από όλους τους κόμβους προς τον κόμβο συλλέκτη στο $(0,0)$. Με τον τρόπο αυτό είμαστε βέβαιοι ότι ο LGR θα συγκλίνει και θα έχουμε πάντα μονοπάτι προώθησης πληροφορίας. Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου μας είναι ένα αρχείο **topology.txt** στο οποίο θα υπάρχουν οι κόμβοι με τις συντεταγμένες τους προς τοποθέτηση. Προφανώς το πλήθος M κόμβων που προκύπτει από το **topology.txt** είναι μικρότερο το πλήθος $N \times N$ κόμβων του πλέγματος. Σχηματικά λοιπόν:



Σχήμα 3. Διαδικασία προτεινόμενης τελικής τοπολογίας κόμβων.

Αποτέλεσμα της διαδικασίας επιλογής κόμβων είναι τελικά να επιλεγθούν 15 από τους 49 κόμβους.



Εικόνα 5. LGR Προτεινόμενη Τοπολογία Κόμβων.

Σημειώνεται μία μείωση του πλήθους κόμβων της τάξης του 65%. Το πλήθος των κόμβων που προκύπτουν προκειμένου να συγκλίνει ο LGR δίνει μία εκτίμηση του κάτω ορίου σε πλήθος κόμβων που μπορούν να τοποθετηθούν έτσι ώστε να έχουμε ποιοτικά σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα σε μετρήσεις. Αυτό είναι συνέπεια της μεγάλης συσχέτισης των μετρήσεων ανά ζώνη διαχείρισης. Έχουμε βέβαια την ελευθερία να προσθέσουμε και άλλους κόμβους στην τοπολογία της εικόνας 4 προκειμένου να διασφαλίσουμε μικρή πιθανότητα διακοπής ροής πληροφορίας σε περίπτωση καταστροφής κόμβου ή κάποιου άλλου συμβάντος.

4. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ GRID ΚΑΙ LGR

4.1. ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Επειδή έχουν αναπτυχθεί μία πληθώρα ad-hoc αλγορίθμων δρομολόγησης για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και ο κάθε αλγόριθμος έχει το δικό του σενάριο, είναι δύσκολο να συγκριθούν όλοι αυτοί μεταξύ τους. Η λύση δώθηκε από τον πιθανοκρατικό εξομοιωτή σεναρίων Prowler, που έχει δημιουργηθεί για να συγκρίνει διαφορετικούς αλγορίθμους, να προσομοιώνει σενάρια εκτέλεσης και να χρησιμοποιείται για προτυποποίηση. Το Rmaze, το οποίο είναι υλοποιημένο σε Matlab κώδικα, είναι η κύρια εφαρμογή του Prowler. Χρησιμοποιείται για ανάπτυξη νέων αλγορίθμων και ανάλυση των επιδόσεων τους σε γραφικό περιβάλλον. Οι εξομοιώσεις που ακολουθούν δημιουργήθηκαν αποκλειστικά στον Prowler.

Το μοντέλο ραδιοεπικοινωνίας που εισάγαμε στον εξομοιωτή είναι πιο σύνθετο από αυτό της σχέσης (1) επειδή θέλουμε να απεικονίσουμε και αλλαγές στην ποιότητα του σήματος από την αλλαγή στον καιρό. Η παρακάτω σχέση ορίζει το μοντέλο ως:

$$P_{rec}(i, j) = P_{rec, ideal}(d_{i,j})(1 + a(i, j))(1 + b(t)) \quad (3)$$

Όπου $P_{rec, ideal}(d_{i,j})$ το σήμα που λαμβάνεται από απόσταση d και a , b τυχαίες μεταβλητές με κανονικές κατανομές οι οποίες απεικονίζουν τυχαία φαινόμενα αποδυνάμωσης του σήματος.

4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ

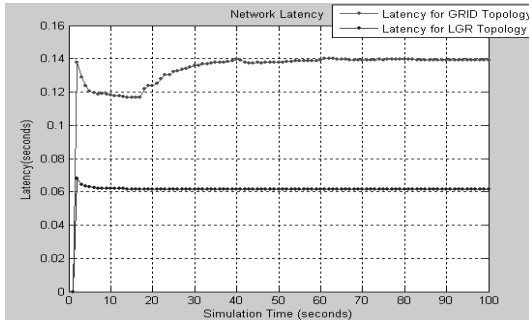
Οι εξομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούν μετρικές απόδοσης της συμπεριφοράς του ασύρματου δικτύου οι οποίες ορίζονται ως ακολούθως:

- Καθυστέρηση Παράδοσης: Χρόνος που απαιτείται για αποστολή n πακέτων από την πηγή προς τον προορισμό. Για τον υπολογισμό της λαμβάνουμε μέσους όρους των καθυστερήσεων για κάθε κόμβο.
- Ρυθμός Απόδοσης: Πλήθος των πακέτων που φτάνουν στον προορισμό στη μονάδα του χρόνου. Υπολογίζεται επί του συνόλου όλων των προορισμών.
- Επιτυχία/Αποτυχία παράδοσης: Συνολικός αριθμός πακέτων που παραλήφθησαν/χάθηκαν από τους προορισμούς προς συνολικό αριθμό πακέτων

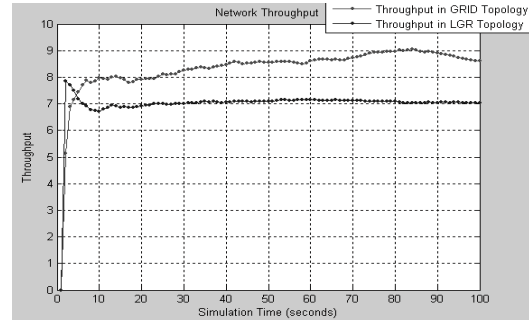
που στάλθηκαν από τις πηγές.

- Αποτυχία παράδοσης: Συνολικός αριθμός πακέτων που χάθηκαν σε αντιδιαστολή με τον αριθμό πακέτων που αναμενόταν για τον προορισμό.
- Κατανάλωση ενέργειας: Σύνολο της ενέργειας που δαπάνησαν όλοι οι κόμβοι για την επικοινωνία τους (αποστολή, παραλαβή) καθώς και για τις περιόδους που ήταν αδρανείς.

Ο χρόνος εξομοίωσης είναι 100 sec.

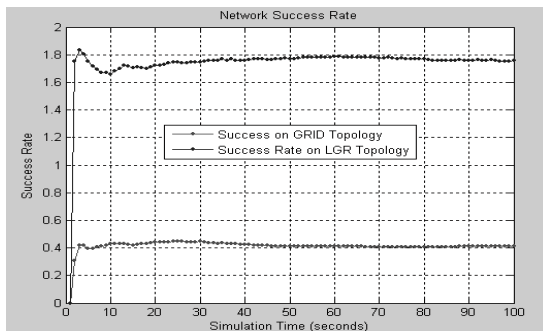


Εικόνα 6. Καθυστέρηση Παράδοσης.

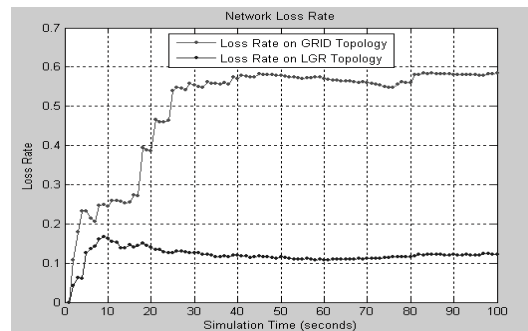


Εικόνα 7. Ρυθμαπόδοση Δικτύου.

Όπως παρατηρούμε από την εικόνα 5 η τοπολογία GRID (πλέγματος) έχει μεγαλύτερη καθυστέρηση από την τοπολογία LGR(προτεινόμενη) λόγω του ότι στην πρώτη οι κόμβοι είναι κατά 2/3 περισσότεροι και τα μονοπάτια ροής πακέτων είναι πολλαπλά. Στην εικόνα 6 η ρυθμαπόδοση στο GRID είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από το LGR λόγω του αυξημένου πλήθους πακέτω γέννησης και αποστολής, αλλά παρουσιάζει διακυμάνσεις. Στην LGR συγκλίνει η τιμή της νωρίς στο 7. Πρέπει να σημειώσουμε ότι ο αριθμός γέννησης πακέτων είναι αναλογικός με το πλήθος των κόμβων τοπολογίας. Άρα στο GRID έχουμε περίπου 1180 πακέτα ενώ στην LGR περίπου 396.



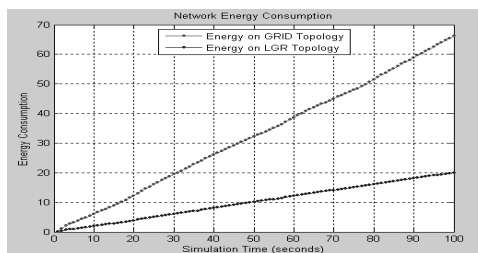
Εικόνα 8. Επιτυχία Παράδοσης.



Εικόνα 9. Αποτυχία Παράδοσης.

Με βάση την εικόνα 7 η GRID τοπολογία έχει μεγαλύτερη επιτυχία παράδοσης. Αυτό συμβαίνει διότι στην GRID υπάρχει πλεονασμός σε κόμβους και διακίνηση περισσότερων πακέτων από ότι στην LGR. Αντίθετα όμως στην εικόνα 8 παρατηρούμε ότι η αποτυχία παράδοσης στην GRID είναι κλιμακούμενη ανοδική σε σχέση με την μικρότερη σε ποσοστό της LGR διότι όσοι περισσότεροι κόμβοι υπάρχουν τόσες περισσότερες συγκρούσεις πακέτων μπορούν να σημειωθούν σε ένα ασύρματο περιβάλλον που όλοι εκπέμπουν και λαμβάνουν στην ίδια συχνότητα.

Τέλος στην εικόνα 9 παρατηρούμε ότι λόγω του μικρότερου αριθμού κόμβων στην LGR η κατανάλωση ενέργειας έχει μικρότερη κλίση και κλιμακώνεται ανοδικά με μικρότερο ρυθμό από αυτή της GRID.



Εικόνα 10. Κατανάλωση Ενέργειας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάσαμε ένα τρόπο υπολογισμού του πλήθους κόμβων και τοποθέτησής τους σε μία περιοχή 2 διαστάσεων με βάση τον LGR αλγόριθμο δρομολόγησης πακέτων ώστε να δημιουργείται ένας άκυκλος γράφος από τους κόμβους-πηγές προς τον κόμβο προορισμού ο οποίος συγκλίνει. Αποδείξαμε με προσομοιώσεις ότι στις περισσότερες περιπτώσεις σεναρίων είναι συμφερότερος του τρόπου τοποθέτησης σε πλέγμα τόσο σε εξοικονόμηση ενέργειας όσο και οικονομικά ως τελική τεχνολογική λύση. Περαιτέρω στόχος μας είναι η δοκιμή της λύσης μας σε περιοχή με εμπόδια και η παραγωγή τοπολογιών που προκύπτουν από διαφορετικούς αλγορίθμους δρομολόγησης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Baggio, A., 2005. *Wireless sensor networks in precision agriculture*. Delft University of Technology – The Netherlands
- IEEE 802.15.4, http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4.
- Kahn, K. et al., 2002. *Ad Hoc Sensor Networks. A New Frontier for Computing Applications*. Intel Corporate Technology Group
- Katsalis, K., Xenakis, A., Kikiras, P. and Stamoulis, G., 2007. *Topology Optimization in Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture Applications*. SENSORCOMM 2007, Valencia
- Moteiv Corp, <http://www.moteiv.com>.
- Τανός, Α., Αγγελουπούλου, Α., Φουντάς, Σ., Γέμπτος, Θ., Νάνος, Γ., Χατζηνίνος, Α., 2007. *Ζώνες Διαχείρισης Βάση Χαρτών Παραγωγής, Ποιοτικών Χαρακτηριστικών και Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας*, ΕΓΜΕ 2007.
- Vellidis, G., 2005. *A Real-Time Smart Sensor Array for Scheduling Irrigation in Cotton*. NESPAL – National Environmentally Sound Production Agriculture Lab.
- Young, C., Gouda, M., Hongwei, Z. and Arora, A., 2002. *Routing on a Logical Grid in Sensor Networks*. Supported by DARPA.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ Π. ΣΤΡΥΜΟΝΑ ΜΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

X. Καρυδάς¹, B. Αντωνόπουλος², Γ. Ζαλίδης³, Δ. Παπαμιχαήλ⁴ και Ν. Συλλαίος⁵

Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,

Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη

E-mails: ¹xkarydas@agro.auth.gr, ²vantonop2002@yahoo.com, ³zalidis@agro.auth.gr,
⁴papamich@agro.auth.gr, ⁵silleos@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας ήταν να εκτιμηθούν τα υδρολογικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης απορροής ποταμού με χρήση αντικειμενοστρεφούς γεωγραφικής ανάλυσης. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε το Ελληνικό τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Στρυμόνα. Χαρτογραφήθηκαν οι κλίσεις, το υδρογραφικό δίκτυο μέχρι 5^{ης} τάξης και οι υπολεκάνες απορροής, ενώ υπολογίσθηκε ο όγκος και η κατανομή της βροχής και της επιφανειακής απορροής σε μηνιαία διαστήματα και ετήσια βάση για κάθε υπολεκάνη, αλλά και τη συνολική λεκάνη. Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση επέτρεψε τη συγκρότηση σχέσεων μεταξύ των υδρολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής και με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα για ολοκληρωμένη και διαχρονική παρακολούθηση της επιφανειακής υδρολογικής κατάστασης σε κλίμακα υπολεκάνης απορροής.

Λέξεις κλειδιά: λεκάνη απορροής Στρυμόνα, αντικειμενοστρεφής γεωγραφική ανάλυση.

ESTIMATION OF HYDROLOGICAL PROPERTIES OF THE STRYMONAS RIVER WATERSHED WITH OBJECT-BASED GEOGRAPHICAL ANALYSIS

C. Karydas¹, V. Antonopoulos², G. Zalidis³, D. Papamichail⁴ and N. Silleos

Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering,

School of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki 54124, Greece

E-mails: ¹xkarydas@agro.auth.gr, ²vantonop2002@yahoo.com, ³zalidis@agro.auth.gr,
⁴papamich@agro.auth.gr, ⁵silleos@agro.auth.gr

ABSTRACT

Aim of the study was to estimate the hydrological properties of a river basin using object-based geographical analysis. The Greek portion of Strymonas river basin was selected as the study area. Slope, a 5th order drainage network and the sub-basins of the area were mapped, while the volume and distribution of rainfall and the surface runoff were calculated on a monthly and annual basis. The object-based analysis allowed for establishing relations between the hydrological properties of the river basin and through them the possibility for an integrated and diachronic monitoring of the hydrological status on a catchments scale is given.

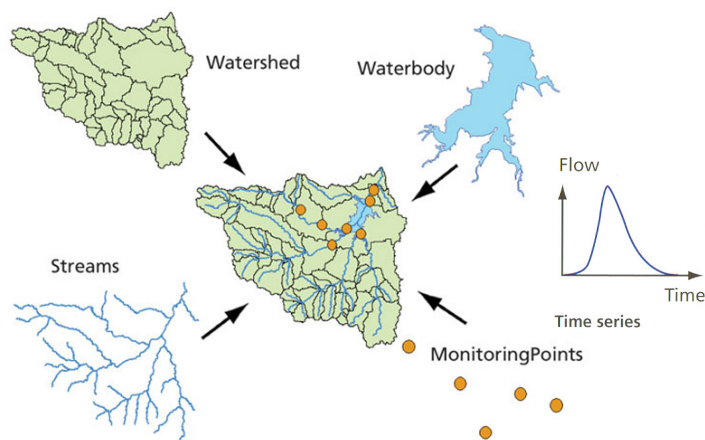
Key words: Strymonas river basin, object-based geographical analysis.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τις δεκαετίες 1960 και 1970 τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π., Geographical Information Systems ή GIS) και η υδρολογική προσομοίωση αναπτύχθηκαν σε παράλληλες πορείες με πολύ λίγη αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Η πρώτη σύνθεση ήρθε μόλις στα τέλη του 1980, ως μέρος των προσπαθειών της κοινότητας των επιστημόνων της γεωγραφικής πληροφορίας για την αναβάθμιση των αναλυτικών δυνατοτήτων των Γ.Σ.Π. (Goodchild et al., 1992; Fotheringham and Rogerson, 1994) και της απαίτησης των υδρολόγων για ψηφιακή αναπαράσταση του φυσικού ανάγλυφου με περισσότερη ακρίβεια και πιστότητα (Clark, 1998). Στις μέρες μας τόσο οι επιστήμονες της υδρολογίας όσο και της γεωγραφικής ανάλυσης έχουν αναγνωρίσει την ανάγκη για περισσότερη όσμωση μεταξύ υδρολογίας και Γ.Σ.Π.

Για τους υδρολόγους είναι ουσιώδες να αποτυπώσουν την απορροή του νερού τόσο χωρικά (δηλαδή επάνω στο γήινο ανάγλυφο) όσο και χρονικά (π.χ. σε ένα ετήσιο κύκλο ή κατά τη διάρκεια των ετών) και ακόμη περισσότερο να συνθέσουν το χώρο και το χρόνο σε ενιαίο σύνολο δεδομένων για την περιγραφή της υδρολογικής κατάστασης (DeVantier και Feldman, 1993; Moore, 1996). Η ανάγκη αυτή για τον καθορισμό σχέσεων ανάμεσα στα υδρολογικά χαρακτηριστικά, που χρειάζονται για την αποτύπωση της κίνησης του νερού διαμέσου του φυσικού ανάγλυφου, οδηγεί στην αντικειμενοστρεφή ανάλυση των δεδομένων.

Η ιδέα της αντικειμενοστρεφούς βάσης δεδομένων (object-oriented data base) βρίσκεται στην οργάνωση της πληροφορίας σε κλάσεις αναγνωρίσιμων ολολοτήτων. Σε μια τέτοια βάση ο πραγματικός κόσμος τυποποιείται ως μια συλλογή οντοτήτων και σχέσεων μεταξύ αυτών. Μια συλλογή οντοτήτων του ίδιου τύπου καλείται κλάση. Όταν ο επιστήμονας δημιουργεί ένα αντικειμενοστρεφές πρότυπο δεδομένων, δημιουργεί και τις κλάσεις του και τις σχέσεις μεταξύ αυτών (Molenaar, 1998). Η εφαρμογή του προτύπου αυτού στην υδρολογία οδηγεί σε ένα υδρολογικό σύστημα πληροφοριών, δηλαδή σε μια δομημένη βάση δεδομένων υδατικών πόρων, χωρικής και χρονικής διάστασης, συνδυασμένη με εργαλεία για την επεξεργασία των πληροφοριών, ώστε να υποστηρίξει: 1) την υδρολογική ανάλυση, 2) την υδρολογική προσομοίωση και 3) τη λήψη αποφάσεων. Η ανάλυση και προσομοίωση μπορεί να εκπληρωθεί με πολλούς τρόπους, όπως π.χ. με τη χρήση λογισμικού Γ.Σ.Π., με τη χρήση προγραμμάτων λογιστικών φύλλων επεξεργασίας, με τη χρησιμοποίηση μιας διαθέσιμης επαναλαμβανόμενης διαδικασίας σε μια δυναμικά συνδεδεμένη βιβλιοθήκη, ή με τη χρήση ανεξάρτητων υδρολογικών ομοιωμάτων (Παπαμιχαήλ, 2004; Maidment, 2005) (Σχήμα 1).



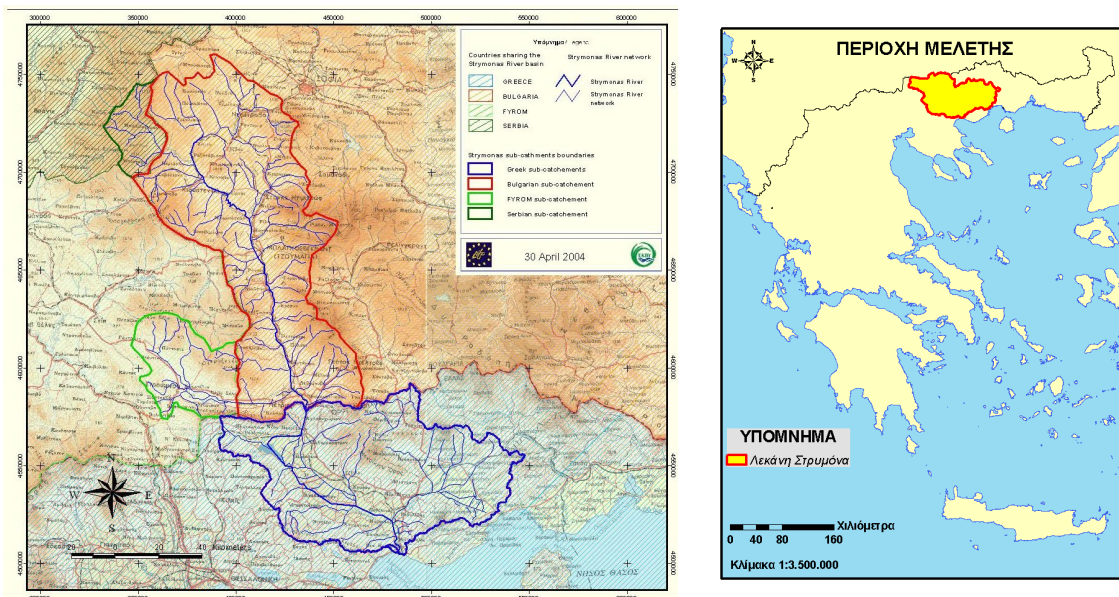
Σχήμα 1. Υδρολογικό σύστημα πληροφοριών σε περιβάλλον Γ.Σ.Π.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να εκτιμηθούν υδρολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής ποταμού με χρήση αντικειμενοστρεφούς γεωγραφικής ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν: 1) ο χάρτης των κλίσεων, 2) το υδρογραφικό δίκτυο, 3) η έκταση της λεκάνης απορροής με τις υπολεκάνες της, 4) ο όγκος και η κατανομή της βροχόπτωσης σε μηνιαία και ετήσια βάση και 5) ο όγκος και η κατανομή της επιφανειακής απορροής συμπεριλαμβανομένης και της εξατμισοδιαπνοής, επίσης σε μηνιαία διαστήματα και ετήσια βάση.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης αποτελείται από το Ελληνικό τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Στρυμόνα (Σχήμα 2). Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60, η περιοχή μελέτης είναι τμήμα του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Μακεδονίας (ή Υδατικό Διαμέρισμα 11). Ο ποταμός Στρυμόνας πηγάζει από τη Βουλγαρία και χύνεται στο Στρυμονικό κόλπο διατρέχοντας 118 km στο Ελληνικό έδαφος. Η έκταση του Ελληνικού τμήματος της λεκάνης απορροής του Στρυμόνα είναι 6.027 km²). Με διάφορα τεχνικά έργα διευθέτησης της κοίτης του ο Στρυμόνας αρδεύει μεγάλο μέρος της πεδιάδας των Σερρών. Από τους παραπόταμους του Στρυμόνα, σημαντικότερος είναι ο Αγγίτης, που διατρέχει το νομό Δράμας.



Σχήμα 2. Γεωγραφική κατανομή της λεκάνης απορροής του ποταμού Στρυμόνα (αριστερά), και η περιοχή μελέτης (δεξιά).

Ο Στρυμόνας διασχίζει την τεχνητή λίμνη Κερκίνη, η οποία παρουσιάζει εποχιακή αυξομειώση της στάθμης της κατά 4,5 έως 5 μέτρα, ενώ αντίστοιχα η επιφάνεια της λίμνης μεταβάλλεται από 50.000 σε 73.000 στρέμματα περίπου. Η γνώση της επιφανειακής απορροής μπορεί να οδηγήσει στη διατήρηση της επιθυμητής στάθμης της λίμνης μέσω της λειτουργίας του φράγματος της λίμνης (Αλμπανάκης, 1995). Η λεκάνη του Στρυμόνα έχει μελετηθεί κατά καιρούς είτε συνολικά είτε τμηματικά με διάφορες άλλες μεθόδους πέραν της αντικειμενοστρεφούς γεωγραφικής ανάλυσης (Knight et al., 2001; Μερτζιάνης Χ., 2007; Skias, 2008).

2.2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το πρόβλημα έχει γεωγραφικό χαρακτήρα και για τη δημιουργία της γεωγραφικής βάσης δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία:

1. Το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (Digital Elevation Model ή DEM) της περιοχής, το οποίο προήλθε από διανυσματικά σημειακά αρχεία του υψομέτρου με χωρική παρεμβολή (Σχήμα 3, αριστερά). Το DEM είναι ένα ψηφιδωτό πλέγμα επιφάνειας (grid), δηλαδή ένας χάρτης αποτελούμενος από ψηφίδες (cells) με τιμές υψομέτρου. Σε ορισμένες υποπεριοχές που δεν υπήρχαν σημειακά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού για την ψηφιοποίηση των ισοϋψών και στη συνέχεια τη δημιουργία συμπληρωματικού DEM από αυτές. Ένα διανυσματικό πολυγωνικό αρχείο της λίμνης Κερκίνης (που περιλαμβάνει το υδάτινο σώμα και τον υγρότοπο) χρησιμοποιήθηκε επίσης για διόρθωση των αντίστοιχων περιοχών.
2. Το διανυσματικό πολυγωνικό αρχείο των χρήσεων γης CORINE 2000 σε κλίμακα 1:100.000.
3. Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής σε κλίμακα 1:1.000.000 (επιμέλεια Γ. Μαράτου).
4. Οι πίνακες των μηνιαίων τιμών της βροχόπτωσης με τις αντίστοιχες γεωγραφικές συντεταγμένες των σταθμών. Επιλέχθηκαν 33 σταθμοί, από τους οποίους οι 18 βρίσκονταν εντός των ορίων της περιοχής μελέτης, ενώ οι υπόλοιποι 15 γύρω από τα όρια της περιοχής (Σχήμα 3, δεξιά) (Αντωνόπουλος, 2008). Από τα έντυπα στοιχεία δημιουργήθηκαν ηλεκτρονικοί πίνακες και στη συνέχεια σημειακό ψηφιακό αρχείο των σταθμών.

Όλα τα δεδομένα εισόδου και τα προϊόντα επεξεργασίας τους εγγράφηκαν στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87).



Σχήμα 3. DEM (αριστερά) και χάρτης των μετεωρολογικών σταθμών (δεξιά).

2.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η πρόβλεψη των υδρολογικών χαρακτηριστικών με αντικειμενοστρεφή ανάλυση βασίστηκε στις εξής υποθέσεις (Gallant, 1996): α) η τοπογραφία αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα της κίνησης του νερού και των φερτών υλικών στο ανάγλυφο, β) η αποτύπωση της ροής του νερού γίνεται μέσω του προσδιορισμού της κατεύθυνσης και της συσσώρευσης της ροής με βάση τα ψηφιδωτά δεδομένα του ανάγλυφου (DEM) και γ) το εδαφικό υπόβαθρο επηρεάζει την επιφανειακή απορροή. Οι τεχνικές που εφαρμόστηκαν οδήγησαν στη δημιουργία γραμμικών και πολυγωνικών αντικειμένων και στη συγκρότηση σχέσεων μεταξύ αυτών. Η αντικειμενοστρεφής ομάδα υδρολογικών λειτουργιών ArcHydro extension του λογισμικού ArcGIS αξιοποιήθηκε για τη δημιουρ-

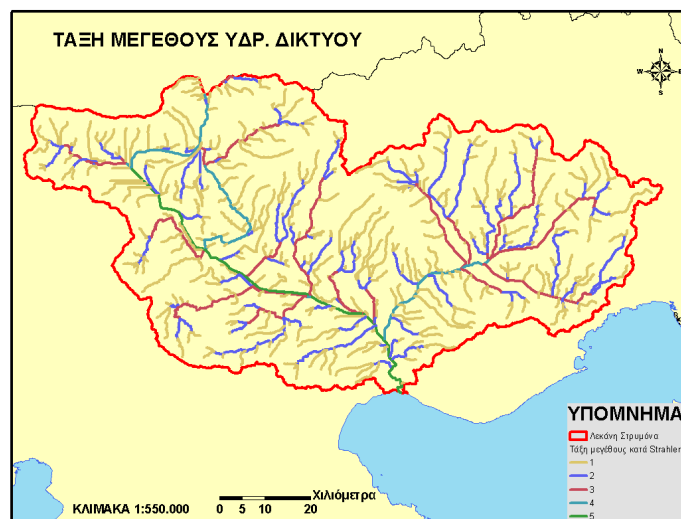
γία, επεξεργασία και ανάλυση των στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα (O'Callaghan et al., 1984; Morris and Heerdegen, 1988):

- Ο υπολογισμός των κλίσεων έγινε με χρήση της πρώτης παραγώγου του υψομέτρου ως ποσοστό επί τοις %, ενώ στη συνέχεια οι κλίσεις κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με το σύστημα του FAO (Food and Agriculture Organization).
- Το υδρογραφικό δίκτυο υπολογίστηκε από το πλέγμα (grid) συγκέντρωσης της ροής, που από φυσική άποψη είναι η περιοχή στράγγισης μετρούμενη σε πλήθος κελιών (cells) που παροχετεύουν νερό προς ένα συγκεκριμένο κελί. Η συγκέντρωση της ροής προήλθε από το πλέγμα κατεύθυνσης της ροής, που υπολογίστηκε νωρίτερα από το DEM με βάση την κλίση και τον προσανατολισμό κάθε κελιού. Το δίκτυο διορθώθηκε στις επίπεδες περιοχές (όπου δεν υπάρχει ανάγλυφο) με διανυσματικό αρχείο των ποταμών της περιοχής και των αρδευτικών διωρύγων της πεδιάδας με τη μέθοδο stream burning (Maidment, 1995). Ο καθορισμός της τάξης μεγέθους του υδρογραφικού δικτύου έγινε με τη μέθοδο Strahler, σύμφωνα με την οποία η τάξη μεγέθους του δικτύου αυξάνεται μόνο όταν διασταυρώνονται μεταξύ τους δύο τμήματα του δικτύου της ίδιας τάξης μεγέθους (Strahler, 1957) (Σχήμα 4).
- Οι υπολεκάνες απορροής δημιουργήθηκαν ως μια πολυγωνική κλάση οντοτήτων με διανυσματοποίηση του catchment grid, δηλαδή ενός ψηφιδωτού αρχείου που προήλθε από τον υπολογισμό κατεύθυνσης και συγκέντρωσης της ροής. Κάθε πολύγωνο προσδιορίζεται με το δικό του μοναδικό αριθμό (HydroID).
- Η κατασκευή χαρτών μηνιαίας κατανομής της βροχόπτωσης έγινε με χωρική παρεμβολή των τιμών βροχόπτωσης από τους διαθέσιμους μετεωρολογικούς σταθμούς. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν χάρτες μηνιαίας χρονοσειράς βροχόπτωσης για το σύνολο των υπολεκάνων που αποτελούν την περιοχή μελέτης. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των σταθμισμένων αντιστρόφων αποστάσεων (inverse distance weighted ή IDW), η οποία βασίζεται στην υπόθεση ότι τα σημεία που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους είναι περισσότερο όμοια απ' ό,τι αυτά που είναι απομακρυσμένα. Στη συνέχεια υπολογίσθηκαν οι μηνιαίες και ετήσιες τιμές βροχόπτωσης ανά υπολεκάνη απορροής με χρήση στατιστικών μέσα σε ζώνες.
- Για τη δημιουργία των χαρτών της μηνιαίας επιφανειακής απορροής συμπεριλαμβανομένης και της εξατμισοδιαπνοής, ως δεδομένα εισόδου χρησιμοποιήθηκαν: ο χάρτης υδρογεωλογίας (που προήλθε από το γεωλογικό χάρτη) με διάκριση τεσσάρων τύπων, ο χάρτης χρήσεων γης και οι χάρτες μηνιαίου ύψους βροχόπτωσης. Από τις παραμέτρους αυτές προσδιορίστηκε ο βαθμός διήθησης και αντιστρόφως η επιφανειακή απορροή.

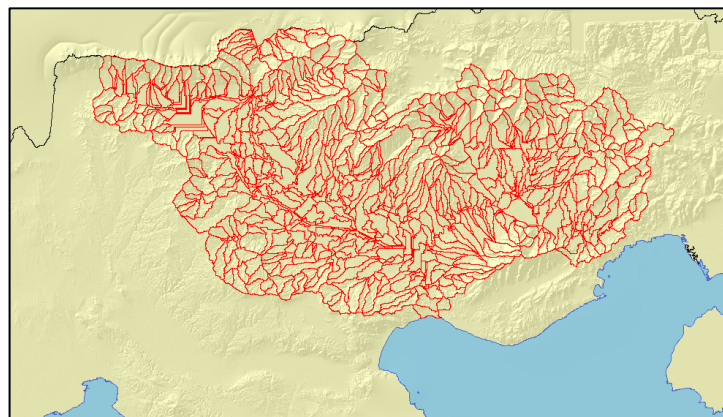
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τις κλίσεις του ανάγλυφου η περιοχή κατατάσσεται κατά 29% ως επίπεδη, 12% ως κυματοειδής, 14% ως πολύ κυματοειδής, 19% ως λοφώδης, 14% ως απότομη και 9% ως ορεινή. Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής αποτελείται συνολικά από 753 τμήματα ρεμάτων μέχρι 5ης τάξης κατά Strahler με συνολικό μήκος 2.631 km και μέσο μήκος ρέματος 3,49 km. Το Ελληνικό τμήμα της λεκάνης απορροής αποτελείται από 756 υπολεκάνες (catchments), με μέση επιφάνεια 7,90 km², από τις οποίες η μικρότερη είναι 900 m² και η μεγαλύτερη 64,26 km² (Σχήμα 5).

Ο μέσος ετήσιος όγκος βροχής που δέχεται το ελληνικό τμήμα της λεκάνης απορροής του Στρυμόνα ανέρχεται περίπου στα 3,460 x 10⁹ m³. Η χαρτογράφηση πραγματοποιήθηκε κατά μήνα και υπολεκάνη απορροής. Από τους μηνιαίους χάρτες με συνάθροιση προήλθε ο ετήσιος χάρτης (Σχήμα 6). Οι χάρτες επιφανειακής απορροής αποτελούνται επίσης από μέσους μηνιαίους και μέσους ετήσιους (Σχήμα 7). Το μηνιαίο διάγραμμα συνολικού όγκου βροχής και συνολικής απορροής φαίνεται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 4. Χάρτης του υδρογραφικού δικτύου με διάκριση της τάξης μεγέθους.



Σχήμα 5. Υπολεκάνες απορροής του Στρυμόνα στο ελληνικό τμήμα της λεκάνης.

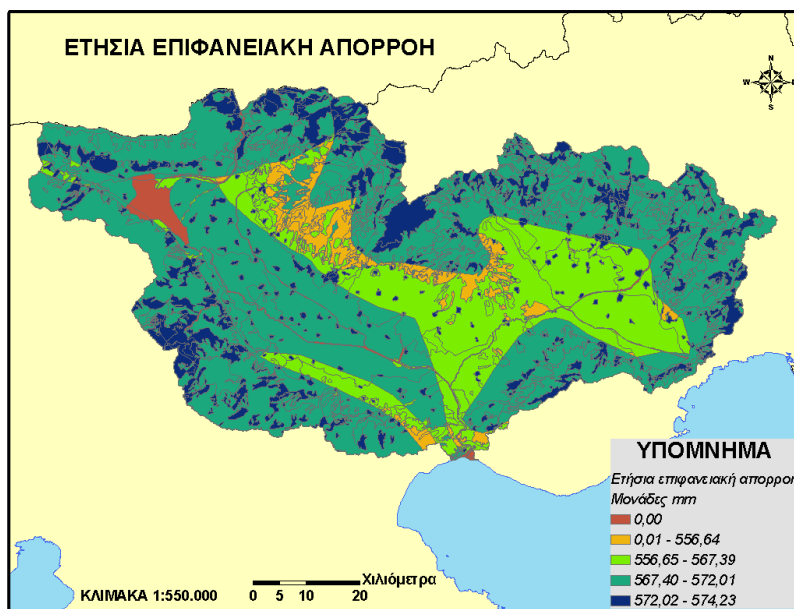
4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Ελληνικού Υπουργείου Ανάπτυξης το συνολικό επιφανειακό και υπόγειο υδατικό δυναμικό του Υδατικού Διαμερίσματος 11, που είναι ευρύτερο της περιοχής μελέτης, είναι $4,808 \times 10^9 \text{ m}^3$, από το οποίο 2,195 επί ελληνικού εδάφους (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2007). Επίσης, υποθέτοντας συντελεστή εξάτμισης 55% η ετήσια απορροή ανέρχεται σε $1,671 \times 10^9 \text{ m}^3$. Ο όγκος της ετήσιας απορροής που υπολογίστηκε σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα της εργασίας ανέρχεται στα $3,348 \times 10^9 \text{ m}^3$ (θεωρητική τιμή) και άρα με συντελεστή εξάτμισης 55% ο ετήσιος όγκος της απορροής στην περιοχή μελέτης υπολογίζεται σε $1,494 \times 10^9 \text{ m}^3$. Από τη σύγκριση των στοιχείων του υπουργείου με τα αντίστοιχα ευρήματα της εργασίας διαπιστώνεται σημαντική ομοιότητα δεδομένης της διαφοράς που υπάρχει στην επιφάνεια μελέτης (Πίνακας 1).

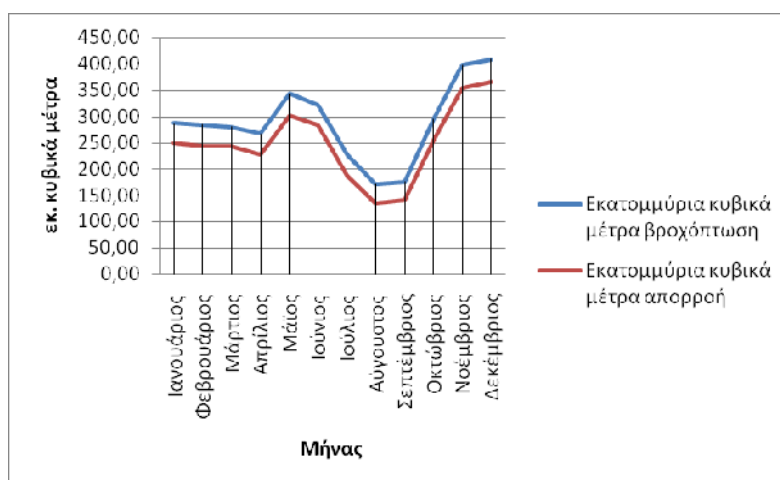
Αν θεωρήσουμε τα στοιχεία του υπουργείου ως στοιχεία αναφοράς, η εργασία πέτυχε να καταγράψει αξιόπιστες αθροιστικές υδρολογικές τιμές. Επιπλέον, η αντικειμενοστρεφής μεθοδολογία πέτυχε να οργανώσει μία μόνιμη υδρολογική βάση δεδομένων (παρά την έλλειψη στοιχείων ή τις απλουστεύσεις και υποθέσεις που υιοθέτησε) και να χαρτογραφήσει βασικές υδρολογικές παραμέτρους σε κλίμακα υπολεκάνης απορροής ποταμού. Η μελλοντική έρευνα θα επικεντρωθεί στη βελτίωση των εκτιμήσεων της βροχόπτωσης με μεθόδους παρεμβολής ή/και παλινδρόμησης, στην αξιόπιστη εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής και στον έλεγχο όλων των αποτελεσμάτων σε κλίμακα υπολεκάνης εφόσον βρεθούν ή συγκεντρωθούν ανάλογα στοιχεία αναφοράς.



Σχήμα 6. Χάρτης μέσης βροχόπτωσης του Δεκεμβρίου.



Σχήμα 7. Χάρτης μέσης ετήσιας επιφανειακής απορροής.



Σχήμα 8. Διακύμανση του όγκου της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης και επιφανειακής απορροής συμπεριλαμβανομένης και της εξατμισοδιαπνοής.

Πίνακας 1. Συγκριτικά στοιχεία Υπουργείου Ανάπτυξης και παρούσας εργασίας.

Παράμετρος	Στοιχεία Υπουργείου για Υδατικό διαμέρισμα 11	Στοιχεία εργασίας	Αναλογία
Επιφάνεια (km ²)	7.281	5.981	0,82
Ύψος βροχής (mm)	675	575	0,85
Όγκος βροχής (x10 ⁶ m ³)	4.917	3.459	0,70
Συντελεστής εξάτμισης	55%	55%	
Εξάτμιση (x10 ⁶ m ³)	2.722	1.902	0,70
Απορροϊκή βροχή (x10 ⁶ m ³)	2.195	1.557	0,71
Επιφανειακή απορροή (x10 ⁶ m ³)	1.671	1.494	0,89
Επιφανειακή απορροή θεωρητική (x10 ⁶ m ³)	-	3.348	

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλμπανάκης, Κ., 1995. *Λίμνη Κερκίνη: Από τεχνητός ταμιευτήρας υδροτοπικό σύστημα*. Πρακτικά Ελληνοβουλγαρικού Συνεδρίου, ΓΕΩΤ.Ε.Ε. Παρ. Ανατ. Μακεδονίας, Σέρρες 29 Νοεμβρ.-3 Δεκεμβρ. 1995.
- Αντωνόπουλος, Β., 2008. *Εκτίμηση της επιφανειακής υδρολογικής κατάστασης της λεκάνης απορροής του ποταμού Στρυμόνας με χρήση αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης σε περιβάλλον GIS*. Μεταπτ. Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 205 σελ.
- Clark, M. J., 1998. *Putting water in its place: A perspective on GIS in hydrology and water management*. Hydrological Processes 12(6): 823-834.
- DeVantier, B.A. and Feldman, A.D., 1993. *Review of GIS applications in hydrologic modeling*. Water Resources Planning and Management 119: 246-261.
- Gallant, J.C. and Wilson, J.P., 1996. *TAPES G: a grid-based terrain analysis program for the environmental sciences*. Computers and geosciences 22(7): 713-722.
- Goodchild, M.F., Haining, R., and Wise, 1992. *Integrating GIS and spatial data analysis: Problems and possibilities*. International Journal of Geographical Information Systems 6: 407-423.
- Fotheringham, A.S. and Rogerson, P.A.E., 1994. *Spatial analysis and GIS*. London, Taylor & Francis.
- Knight, G., Chankg, H., Staneva, M.P., Kostov, D., 2001. *Professional Geographer*, 53(4): 533-545.
- Maidment, D.R., 1995. *GIS and Hydrology: A workshop of the 15th Annual ESRI User Conference*, Environmental System Research Institute, Redlands, CA.
- Μερτζιάνης Χ., 2007. *Διαχείριση νερών ποταμού Στρυμόνα και λίμνης Κερκίνης για την αρδευτική περίοδο 2007*. Έκθεση, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Σερρών, Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων
- Molenaar, M., 1998. *An Introduction to the Theory of Spatial Object Modelling for GIS*. London, Bristol (PA), Taylor & Francis.
- Moore, I.D., 1996. *Hydrologic modelling and GIS*. GIS world books 1996
- Morris, D.G. and Heerdegen, R.G., 1988. *Automatically derived catchment boundaries and channel networks and their hydrological applications*. Geomorphology 1: 131-141.
- O'Callaghan, J.F. and Mark, D.M., 1984. *The Extraction of Drainage Networks From Digital Elevation Data, Computer Vision*. Graphics and Image Processing 28: 323-344.
- Παπαμιχαήλ, Δ., 2004. *Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων*. Εκδ. Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, 394 σελ.
- Skias, S., 2008. *Greece: Ecosystems based IWM plans in the framework of WFD implementation: the "Strymon" pilot project*. In Miere et al. (eds), Integrated Water Management: Practical Experiences and Case Studies, Springer, 233-245.
- Strahler, A.N., 1957. *Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology*. Transactions of the American Geophysical Union 8(6): 913-920.
- Υπουργείο Ανάπτυξης, Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων, Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων της Χώρας, Αθήνα, Ιούλιος 2007.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΑ

Γ. Στουγιάννης¹, Λ. Περλεπές², Σ. Φουντάς¹, Θ.Α. Γέμτος^{1*} και Π. Κίκιρας²

¹Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτ. Παρ/γής και Αγρ.

Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, ΤΚ 38446

²Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογ. Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Γκλαβάνη 37 και 28ης Οκτωβρίου Κτήριο Δελιγιώργη,

4ος Όροφος ΤΚ 382 21, Βόλος

*E-mail: gemots@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία μελετάται η εφαρμογή τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας σε αμπέλι στην περιοχή Μικροθηβών-Μαγνησίας. Τα χαρακτηριστικά του αμπελιού που μελετήθηκαν ήταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η υγρασία του εδάφους του, τα οποία συγκρινόμενα με στοιχεία όπως η μηχανική σύσταση του εδάφους και το ανάγλυφό του μας βοήθησαν στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης μέσα στο χωράφι. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους προσδιορίστηκε με τον αισθητήρα EM 38 λαμβάνοντας ταυτόχρονα τις συντεταγμένες κάθε σημείου με GPS, ενώ έγινε μηχανική ανάλυση εδάφους και δημιουργία του ανάγλυφου του χωραφιού με RTK-GPS. Μέσα σε κάθε ζώνη εγκαταστήσαμε ασύρματους αισθητήρες με τους οποίους μετρήσαμε την υγρασία κάθε ζώνης. Από την σύγκριση των χαρακτηριστικών που μελετήσαμε παρατηρήσαμε τη δημιουργία τριών ζωνών και τη μεταβολή της υγρασίας σε κάθε μια ανάλογα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κάθε ζώνης.

Λέξεις κλειδιά: γεωργία ακριβείας, GPS, GIS, EM 38, ασύρματα δίκτυα, υγρασία εδάφους, ζώνες διαχείρισης.

APPLICATION OF PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGIES IN VINE

G. Stougiannis¹, L. Perlepes², S. Fountas¹, Th. Gemtos^{1*} and P. Kikiras²

¹Laboratory of Agricultural Engineering, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, School of Agricultural Sciences, University of Thessaly, Fytokou Street, N. Ionia, Volos, Greece, GR-384 46

²Department of Computer and Communication Engineering, Faculty of Engineering, University of Thessaly, 37, Glavani Street and 28th October, Deligiorgi's Building, 4th Floor, Volos, Greece, GR-382 21

*E-mail: gemots@agr.uth.gr

SUMMARY

In this paper, the application of precision agriculture technologies in a vine in the place of Microthives, Magnisia, is reported. The characteristics observed were soil electrical conductivity and the water content using a wireless network, which, was combined to properties like the soil texture as well as its topography. The electrical conductivity of the terrain was measured to give georeferenced data. A mechanical analysis of soil samples taken from the management zones formed by the ECa maps, helped in the better understanding of the field. In this direction helped the creation of the elevation map of the field through an RTK-GPS. The data analysis helped in forming management zones of the field Which would assist the farmer in the improved management of the vineyard.

Key words: agriculture precision, GPS, GIS, EM 38, management zones.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργία ακριβείας είναι μια νέα μέθοδος διαχείρισης των αγρών σύμφωνα με την οποία οι εισροές εφαρμόζονται μόνο στα σημεία του αγρού που είναι απαραίτητες και στην ακριβή ποσότητα που απαιτούνται. Για να γίνει αυτό είναι απαραίτητη η γνώση των ιδιοτήτων κάθε θέσης του αγρού, όπως είναι η ηλεκτρική του αγωγιμότητα, η μηχανική του σύσταση κ.α. Σήμερα με την ανάπτυξη τεχνολογιών όπως είναι το Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GPS) με το οποίο είναι δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός ενός σημείου στη Γη μέσω ενός συστήματος δορυφόρων και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) με τα οποία δημιουργούνται γεωδεδεμένα δεδομένα και χάρτες των αγρών με τα στοιχεία που μελετούμε. Τα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας σε έναν αγρό είναι οικονομικά αφού δεν γίνεται σπατάλη των εισροών, περιβαλλοντικά διότι εφαρμόζοντας τις αναγκαίες ποσότητες εισροών δεν προκαλείται ρύπανση του εδάφους και των νερών αλλά και ποιοτικά για τα παραγόμενα προϊόντα που βελτιώνουν την οικονομικότητα των αγροκτημάτων.

Στη χώρα μας η έρευνα για την δυνατότητα εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας ξεκίνησε τα τελευταία χρόνια σε καλλιέργειες φυτών μεγάλης καλλιέργειας (κυρίως βαμβακιού) αλλά και σε καλλιέργειες μήλων και αμπελιού. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική χωρική παραλλακτικότητα παρά το μικρό μέγεθος των αγροτεμαχίων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να διερευνηθεί η παραλλακτικότητα του αγρού και η συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, της υγρασίας και της μηχανικής σύστασης ενός αμπελώνα έκτασης 10 στρεμμάτων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΑΓΡΟΣ

Στον αμπελώνα του Δημητρίου Τυμπλαλέξη στο δημοτικό διαμέρισμα Μικροθηβών του δήμου Αγχιάλου-Μαγνησίας πραγματοποιήθηκε έρευνα κατά το θέρους του 2008 στα πλαίσια της εφαρμογής συστημάτων Γεωργίας Ακριβείας σε αμπελώνα. Ο αμπελώνας είναι συνολικής έκτασης 50 στρεμμάτων. Το πειραματικό τμήμα που χρησιμοποιήθηκε είχε έκταση 10 στρεμμάτων και βρισκόταν σε κεκλιμένο τμήμα του αμπελώνα. Η εγκατάσταση του αμπελιού έγινε το 2004 με αποστάσεις φύτευσης μεταξύ των πρέμων 0,9 μέτρα και μεταξύ των γραμμών 2,6 μέτρα. Τα σταφύλια είναι ποικιλίας “Αγιωργίτικο” και η συνολική παραγόμενη ποσότητά τους, επεξεργάζεται στο ιδιωτικό οινοποιείο της οικογένειας Τυμπλαλέξη που βρίσκεται στις Μικροθήβες σε απόσταση 800 μέτρων από το κτήμα.

2.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (EC) είναι ένας παράγοντας μέτρησης της ροής των ηλεκτρονίων μέσω του εδάφους. Η ροή μπορεί να επηρεάζεται από παράγοντες όπως η υγρασία του εδάφους, οι ηλεκτρολύτες που τυχόν υπάρχουν μέσα στο νερό του εδάφους, το μέγεθος του στερεού μέρους του εδάφους και το πορώδες του, η θερμοκρασία του εδάφους και η οργανική ουσία. Οι μετρήσεις της EC έχουν συσχετισθεί και με το περιεχόμενο ανταλλάξιμο ασβέστιο και μαγνήσιο του εδάφους. (Friedman, 2005).

Από τα παραπάνω φαίνεται πως ένα μεγάλο πλήθος παραγόντων που περιγράφουν την παραλλακτικότητα του εδάφους ενός αγρού επηρεάζουν άμεσα την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους. Επομένως η χαρτογράφηση της EC μέσα σ’ έναν αγρό πιθανόν να είναι και ένα μέσο καταγραφής και της παραλλακτικότητας του εδάφους του αγρού (Corwin et al., 2004).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (Apparent Electrical Conductivity, ECa) στο πείραμα μετρήθηκε στον αγρό με τον αισθητήρα EM 38 της εταιρίας Geonics Limited. Το EM 38 είναι ένας αισθητήρας ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, που διαθέτει ένα πηνίο-πομπό που όταν έρθει σε επαφή με το έδαφος παράγει ένα πρωτεύον μαγνητικό πεδίο. Αυτό το μαγνητικό πεδίο παράγει ηλεκτρικά πεδία μικρής έντασης στο έδαφος τα οποία δημιουργούν ένα δεύτερο μαγνητικό πεδίο. Ταυτόχρονα ένα δεύτερο πηνίο-δέκτης λαμβάνει τα δυο μαγνητικά πεδία. Η αναλογία πρωτεύοντος και δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου είναι μια γραμμική συνάρτηση της αγωγιμότητας (Geonics Limited, 2006).

Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους έγιναν για βάθος 0- 30 cm μεταξύ των γραμμών του αμπελιού. Αρχικά πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του οργάνου και τοποθέτησή του στην κάθετη θέση λειτουργίας. Ο χρόνος λήψης μετρήσεων ήταν 1s. Με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού (EM38.xr) οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας του EM 38 και οι συντεταγμένες κάθε σημείου από όπου μετρήθηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποθηκεύτηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με τον οποίο ήταν συνδεδεμένα το EM 38 και το GPS. Μετά τη σάρωση του αγρού με το όργανο ήταν γνωστή η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε ολόκληρη την έκταση του χωραφιού.

2.3. ΛΗΨΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Μετά από την δημιουργία των αρχικών χαρτών της εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και τη σαφή διαφοροποίηση του αγρού σε τρεις διακριτές ζώνες ακολουθήθηκε το σχέδιο στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας για την παραλαβή δειγμάτων εδάφους. Με αυτή την μέθοδο ο αμπελώνας χωρίστηκε σε εννέα ίσα τμήματα που καλύπτουν ομοιόμορφα όλη την περιοχή και μέσα από κάθε τμήμα ελήφθησαν πέντε δείγματα από συγκεκριμένες θέσεις καταγράφοντας με GPS χειρός τις συντεταγμένες κάθε δείγματος.

Συνολικά ελήφθησαν 9 σύνθετα δείγματα καθένα από τα οποία προήλθε από πέντε υποδείγματα. Το βάθος δειγματοληψίας ήταν 0-30cm όσο και το βάθος μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενώ το βάρος κάθε δείγματος ήταν περίπου 1 kg. Τα εδαφικά δείγματα ελήφθησαν με τη βοήθεια ειδικού εδαφολήπτη και τοποθετήθηκαν σε σακούλες, αναμίχθηκαν και αεροξηράνθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου. Έπειτα από την προετοιμασία των εδαφικών δειγμάτων έγινε ο προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους, δηλαδή η εκατοστιαία διανομή της άμμου, της ιλύος και της αργίλου στο έδαφος που πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Βουγιούκου.

2.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΤΟΥ ΧΩΡΑΦΙΟΥ

Τα απλά GPS έχουν ακρίβεια μερικών μέτρων. Τα DGPS μπορούν να φτάσουν σε ακρίβεια μικρότερη του μέτρου. Η ακρίβεια αυτή δεν είναι αρκετή για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια όπως η χαρτογράφηση του αναγλύφου. Γι' αυτό απαιτούνται όργανα μεγάλης ακρίβειας όπως το RTK-GPS που δίνουν ακρίβεια 2 εκατοστών του μέτρου. Αποτελείται από ένα σταθερό σταθμό στα όρια του αγρού (*reference receiver*) που λαμβάνει σήμα από του δορυφόρους και εκπέμπει σήμα προς το δέκτη GPS που κινείται στο χωράφι. Ο δέκτης *rover* εκτός από τα δεδομένα του σταθερού δέκτη λαμβάνει και τις δικές του μετρήσεις που τις συνδυάζει και δίνει την μεγάλη ακρίβεια.

Η επικοινωνία μεταξύ των δυο δεκτών απαιτεί ειδικό λογισμικό το οποίο εγκαθίσταται στους δέκτες καθώς και ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας. Τα δεδομένα που εκπέμπονται σχετίζονται με τις ψευδοαποστάσεις και τις φάσεις, με ένα πρότυπο διορθώσεων που πρέπει να εφαρμόσει ο κινούμενος δέκτης στις δικές του παρατηρήσεις ώστε να προσδιορίσει τη θέση του. Ο δέκτης αναφοράς παίζει το ρόλο ενός ψευδοδορυφόρου που εκπέμπει δεδομένα στο κινούμενο δέκτη. Ο σχετικός κινηματικός

προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο με RTK γίνεται με χρήση των ψευδο-αποστάσεων για τον προσδιορισμό της θέσης σε πραγματικό χρόνο και των φάσεων. Αρχικά υπολογίζονται οι διορθώσεις των ψευδοαποστάσεων με βάση των γνωστών συντεταγμένων του δέκτη αναφοράς, δηλαδή γίνεται αφαίρεση της γνωστής γεωμετρικής απόστασης από την αντίστοιχη ψευδοαπόσταση ενώ εκτός από τους παραπάνω υπολογισμούς, θα πρέπει να επιλυθούν και οι ασάφειες φάσης τόσο για το σταθερό δέκτη όσο και για τον κινούμενο. Γι' αυτό και τη μέθοδο RTK θα μπορούσαμε να την πούμε και αλλιώς ως μέθοδο DGPS με παρατηρήσεις φάσης. Αξίζει να αναφερθεί ότι και στις δύο περιπτώσεις παρουσιάζεται το εξής πρόβλημα: Ο υπολογισμός των διορθώσεων των ψευδοαποστάσεων και η μετάδοσή τους στον κινούμενο δέκτη απαιτεί κάποιο χρονικό διάστημα, οπότε ο κινούμενος δέκτης θα λαμβάνει τις διορθώσεις αυτές σε διαφορετικό χρόνο σε σχέση με τις δικές του μετρήσεις. Η λύση γι' αυτό το πρόβλημα δίνεται μέσω του υπολογισμού ενός προτύπου πρόγνωσης για τις διορθώσεις των ψευδοαποστάσεων. Αυτό επιτυγχάνεται από επαναλαμβανόμενες μετρήσεις που πραγματοποιεί ο σταθερός δέκτης, έτσι ώστε να έχει μέσα σε κάποιο χρόνο έναν ικανοποιητικό αριθμό ψευδοαποστάσεων για τον υπολογισμό του μοντέλου. Τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν από το μοντέλο πρόγνωσης λαμβάνονται από τον κινητό δέκτη ο οποίος στη συνέχεια μπορεί να υπολογίσει τις διορθώσεις των ψευδοαποστάσεων για τον τρέχον χρόνο που μετρά τις δικές του ψευδοαποστάσεις και να τις διορθώσει (Φωτίου κ.α., 2006).

Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με τη μέθοδο RTK είναι της τάξης του 1-2cm. Η δημιουργία του ανάγλυφου του χωραφιού πραγματοποιήθηκε με υψηλής ακρίβειας RTK GPS της εταιρίας TRIMBLE. Χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένα ο σταθερός δέκτης AgGPS RTK Base, για να στέλνονται οι απαραίτητες διορθώσεις στον κινητό δέκτη, ο κινητός δέκτης AgGPS 252 receiver, καθώς και το μοντέλο AgGPS 900 controller με το οποίο γίνεται ο έλεγχος του κινητού δέκτη και η επεξεργασία των δεδομένων. Ο ρυθμός καταγραφής των δεδομένων είναι 2 s.

2.5. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΧΩΡΑΦΙΟΥ

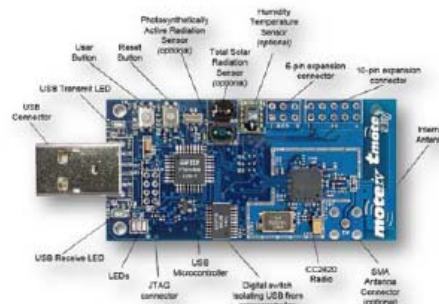
Η μέτρηση της υγρασίας του χωραφιού πραγματοποιήθηκε με ασύρματους αισθητήρες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Πρόκειται για ένα σύστημα ελέγχου του περιβάλλοντος του αγρού βασιζόμενο σε ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων το οποίο λαμβάνει μετρήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι αισθητήρες του δικτύου εκπέμπουν σε τακτά χρονικά διαστήματα δεδομένα περιβάλλοντος σε έναν αισθητήρα βάσης (πηγή), ο οποίος με τη σειρά του, χρησιμοποιεί έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή για να αποθηκεύει τα δεδομένα σε μια βάση δεδομένων (Chong, 2003).

Η αρχιτεκτονική του λογισμικού του παραπάνω συστήματος ελέγχου βασίζεται κυρίως στην τεχνολογία java και σε ένα ελεύθερης διάθεσης λογισμικό. Μπορεί να διακριθεί σε τρία διαφορετικά μέρη:

- 1) Λογισμικό του αισθητήρα: Περιλαμβάνει τις οδηγίες του υλικού που ελέγχουν τη συμπεριφορά του αισθητήρα όπως το ρυθμό δειγματοληψίας, τη συχνότητα αναφοράς στη βάση δεδομένων κτλ. Υλοποιείται χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού NesC και τις υπηρεσίες που προσφέρονται από λειτουργικά συστήματα κόμβων (TinyOS).
- 2) Εφαρμογή συλλογής και αποθήκευσης: Αυτό το λογισμικό κομμάτι είναι υπεύθυνο για τη λήψη των μετρήσεων από τους αισθητήρες και την αποστολή αυτών στη βάση δεδομένων του συστήματος, η οποία βασίζεται στη MySQL, ενώ η εφαρμογή είναι γραμμένη στη γλώσσα προγραμματισμού JAVA.
- 3) Εφαρμογή παρουσίασης μετρήσεων: Αυτή η εφαρμογή είναι το κύριο σημείο άμεσης επαφής ανάμεσα στο χρήστη και στο δίκτυο αισθητήρων.

Επιτρέπει την εξέταση των μετρήσεων και την αναπαράστασή τους μέσω ενός γραφικού. Επιπλέον, ο χρήστης έχει την ικανότητα να παρακολουθεί τα δεδομένα μέσω του διαδικτύου με την προβολή τους σε ένα γράφημα με την χρήση μιας ιστοσελίδας.

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε αυτήν την εργασία βασίζεται στην ασύρματη πλατφόρμα MOTEIV TmoteSky η οποία είναι εξαιρετικά χαμηλής ισχύος και υψηλής μετάδοσης δεδομένων για δικτυακές εφαρμογές αισθητήρων. Έχει δυνατότητα σύνδεσης αισθητήρων, κεραία, μικροελεγκτή και δυνατότητα προγραμματισμού. Οι χαμηλής ισχύος λειτουργίες της πλατφόρμας βασίζονται στον πολύ χαμηλής ισχύος TI MSP430 F1611 μικροελεγκτή. Αυτός ο επεξεργαστής προκειμένου να ελαχιστοποιήσει την κατανάλωση ισχύος, βρίσκεται σε ανενεργή κατάσταση στον χρόνο μεταξύ των μετρήσεων, ενεργοποιείται τάχιστα για να επεξεργαστεί δεδομένα και επιστρέφει πάλι σε ανενεργή κατάσταση. Χρησιμοποιεί έναν σειριακό ελεγκτή για να επικοινωνήσει με τον τερματικό υπολογιστή και περιλαμβάνει το Chipcon CC2420 ραδιόφωνο, το οποίο είναι συμβατό με το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 παρέχοντας αξιόπιστη ασύρματη επικοινωνία για ασύρματες επικοινωνίες. Το ραδιόφωνο παρέχει υψηλής μετάδοσης δεδομένα και καθαρό σήμα. Ελέγχεται από το μικροελεγκτή μέσω της θύρας σειριακού και μπορεί να κλείσει για λειτουργία χαμηλής ισχύος. Η ενσωματωμένη του κεραία μπορεί να πιάσει σε κλίμακα 50 μέτρων σε εσωτερικούς χώρους και 125 μέτρα σε εξωτερικούς. Επιπλέον η πλατφόρμα, είναι εφοδιασμένη με αρκετούς αισθητήρες όπως θερμοκρασίας, ξηρασίας και φωτός και μπορεί να προσομοιωθεί με εξωτερικούς αισθητήρες μέσω ενός 10 σημείων εξωτερικού συνδετήρα.



Σχήμα 1. Ασύρματη πλατφόρμα MOTEIV TmoteSky.

Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας μέτρησης της υγρασίας εδάφους probe Decagon EC-5. Ο αισθητήρας έχει τη δυνατότητα μέτρησης του περιεχόμενου ογκομετρικού νερού μετρώντας τη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, μέσω της χρήσης της τεχνολογίας πεδίου χωρητικότητας/συχνότητας. Επιπρόσθετα, ενσωματώνει έναν υψηλής συχνότητας ταλαντωτή, ο οποίος επιτρέπει στον αισθητήρα να μετρήσει ακριβώς την υγρασία του εδάφους με ελάχιστες επιδράσεις από την αλατότητα και την υφή του (Decagon Devices, 2006).

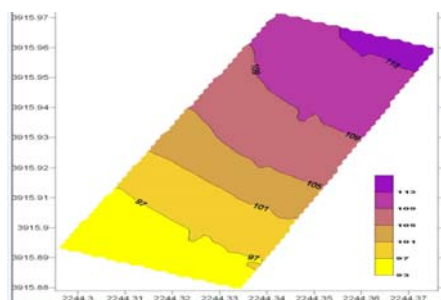


Σχήμα 2. Αισθητήρας μέτρησης της υγρασίας εδάφους probe Decagon EC-5.

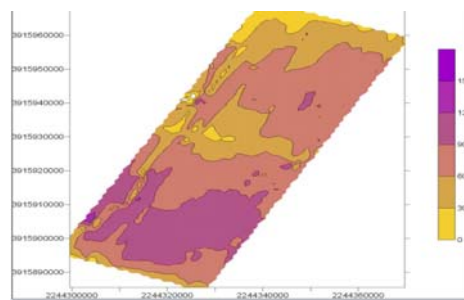
Η βαθμονόμηση των αισθητήρων πραγματοποιήθηκε σε πειραματική γλάστρα εντός του εργαστηρίου. Στην ίδια γλάστρα, τοποθετήσαμε τον ασύρματο αισθητήρα ο οποίος επικοινωνούσε ασύρματα με την πλακέτα της βάσης που αποθήκευε τα δεδομένα σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή καθώς και έναν βαθμονομημένο αισθητήρα μέτρησης υγρασίας εδάφους ο οποίος αποθήκευε τα δεδομένα υγρασίας σε ένα data logger. Με την σύγκριση των τιμών δημιουργήθηκε μια εξίσωση που μετατρέπει τις ενδείξεις του αισθητήρα σε τιμές υγρασίας στο διεθνές σύστημα (S.I.).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η δημιουργία των χαρτών έγινε με το πρόγραμμα δημιουργίας δυσδιάστατων και τρισδιάστατων χαρτών surfer.



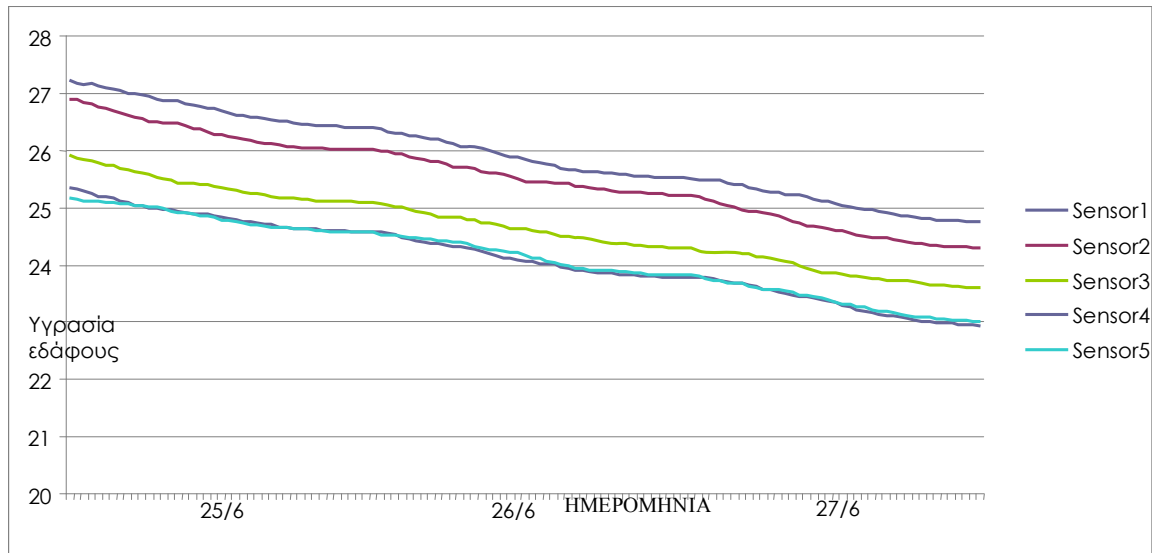
Σχήμα 3. Χάρτης αναγλύφου αγρού



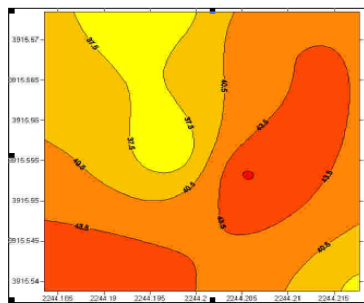
Σχήμα 4. Χάρτης EC του αγρού



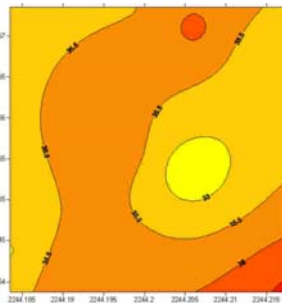
Σχήμα 5. Θέσεις εγκατάστασης αισθητήρων μέτρησης της υγρασίας.



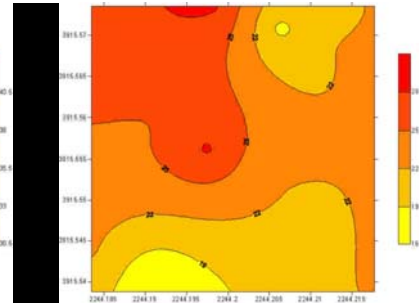
Σχήμα 6. Γραφική απεικόνιση των τιμών υγρασίας που καταγράφηκε από τους αισθητήρες.



Σχήμα 7. Απεικόνιση της περιεκτικότητας του αγρού σε άμμο



Σχήμα 8. Απεικόνιση της περιεκτικότητας του αγρού σε ίλυ



Σχήμα 9. Απεικόνιση της περιεκτικότητας του αγρού σε άργιλο

Από την σύγκριση των χαρτών παρατηρούμε πως ο αισθητήρας 1 που βρίσκεται στη ζώνη με την υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας και την χαμηλότερη περιεκτικότητα άμμου παρουσιάζει και τις υψηλότερες τιμές εδαφικής υγρασίας.

Η σύγκριση των τιμών υγρασίας των αισθητήρων 2 και 3, που βρίσκονται σε σημεία ίδιας ηλεκτρικής αγωγιμότητας και περιεκτικότητας σε άμμο, δείχνει πως η υγρασία στη θέση 2 είναι υψηλότερη από αυτή στη θέση 3. Αυτό πιθανόν οφείλεται στην μεγάλη κλίση του χωραφιού στην θέση του αισθητήρα 3 σε αντίθεση με τη θέση που βρίσκεται ο αισθητήρας 2 όπως φαίνεται και από τον χάρτη του αναγλύφου με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη συγκράτηση νερού σ' αυτή την θέση.

Οι χαμηλότερες τιμές υγρασίας παρατηρήθηκαν στους αισθητήρες 4 και 5 που βρίσκονται στα σημεία του χωραφιού με την χαμηλότερη αγωγιμότητα και υψηλή περιεκτικότητα σε άμμο. Ο αισθητήρας 4 παρουσιάζει πιο γρήγορη πτώση τιμών εξαιτίας πιθανόν της μεγαλύτερης κλίσης του εδάφους στη θέση εγκατάστασής του.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα της παραπάνω εργασίας προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Η υγρασία του χωραφιού είναι άμεση συνάρτηση της εδαφικής αγωγιμότητας και της κλίσης του εδάφους σε κάθε θέση.
2. Ο συνδυασμός των χαρτών μας βοηθά στον προσδιορισμό ομογενών ζωνών

διαχείρισης των αγρών, όπου η διαχείριση μπορεί να είναι ενιαία.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chong, C., Kumar S.P., 2003. *Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges*. Proceedings of the IEEE, vol. 91, no. 8, August 2003, pp 47- 59.
- Corwin, D.L., Lesch, S.M., 2005. *Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture*. Elsevier, Computers and Electronics in Agriculture 46, pp. 11-43.
- Decagon Devices, 2006. *ECH₂O Soil moisture sensor operator's manual for models EC-20, EC-10 and EC-5*. Decagon Devices, Inc. 2365 N E Hopkins Court Pullman WA 99163, USA.
- Friedman, S.P., 2005. *Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review*. Elsevier, Computers and Electronics in Agriculture 46 (2005), pp.45-70.
- Geonics Limited, 2006. Operating Instructions, EM38xp Version 1.01, EM38 Data logging system for Windows XP based field computer. Geonics Limited, Mississauga, ON, Canada.
- Φωτίου, Α. και Πικριδάς, Χ., 2006. *GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Δ.Δ. Μπόχτης^{1*}, S.G. Sørensen¹, O. Green¹, A. Klose² και K.A. Andersen³

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural Sciences,
University of Aarhus, Blichers Allé 20, P.O. BOX 50, 8830 Tjele, Denmark

²Department of Mathematical Sciences, Faculty of Science, University of Aarhus,
Ny Munkegade, bygning 1530 DK - 8000 Århus C, Denmark

³Department of Business Studies, Aarhus School of Business, University of Aarhus,
Fuglesangs Allé, 4 8210 Århus V, Denmark

*E-mail: Dionysis.Bochtis@agrsci.dk

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζονται δύο σε εξέλιξη έρευνες οι οποίες αφορούν στο στρατηγικό και επιχειρησιακό σχεδιασμό, αντίστοιχα, της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας και οι οποίες βασίζονται στα πρότυπα του βιομηχανικού σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, η πρώτη εφαρμογή αποτελεί μοντέλο σχεδίασης δικτύου βασισμένο σε εξελιγμένες μεθόδους επιχειρησιακής έρευνας ενώ η δεύτερη αποτελεί σύστημα βελτιστοποίησης του σχεδιασμού εκτέλεσης των εργασιών συγκομιδής - μεταχείρισης - συλλογής της βιομάζας.

Λέξεις κλειδιά: δίκτυο κλειστού βρόχου, στοχαστικός προγραμματισμός, χάρτης περιεχόμενης υγρασίας, σχεδιασμός εργασιών, προγραμματισμός εργασιών.

PERSPECTIVES ON THE IMPLEMENTATION OF NEW TECHNOLOGIES IN BIOMASS SUPPLY CHAIN

D.D. Bochtis^{1*}, S.G. Sørensen¹, O. Green¹, A. Klose² and K.A. Andersen³

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural Sciences,
University of Aarhus, Blichers Allé 20, P.O. BOX 50, 8830 Tjele, Denmark

²Department of Mathematical Sciences, Faculty of Science, University of Aarhus,
Ny Munkegade, bygning 1530 DK - 8000 Århus C, Denmark

³Department of Business Studies, Aarhus School of Business, University of Aarhus,
Fuglesangs Allé, 4 8210 Århus V, Denmark

*E-mail: Dionysis.Bochtis@agrsci.dk

ABSTRACT

In this paper, two advanced industrial based technologies on the strategic and operational level, respectively, of the biomass supply chain are presented. The first one regards a proposed model of a closed loop biomass supply chain network design based on two-stage stochastic programming. The second technology regards the development and implementation of a system for optimal scheduling and planning for material handling operations (cutting-raking-collecting). The system is based on information provided by crop moisture content and crop biomass sensors, combined with local weather forecast information.

Key words: closed loop network, stochastic programming, moisture content map, biomass map, scheduling, planning.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βιομάζα θεωρείται από τις σημαντικότερες πηγές για την παραγωγή ανανεώσιμων και ακίνδυνων μορφών ενέργειας. Επιπλέον, η δεύτερη γενιά βιοενέργειας και βιοκαυσίμων παρουσιάζει βελτιώσεις ως προς την αρνητική επίδραση στην τιμή των τροφίμων καθώς και στην περιβαλλοντική επιβάρυνση. Παρόλα αυτά, φαίνεται ότι οικονομικοί λόγοι θέτουν ισχυρά όρια σε μία ευρεία χρήση της βιομάζας ως πρωτογενές υλικό παραγωγής βιοενέργειας. Προς στιγμή, η παραγωγή βιοκαυσίμων και βιοενέργειας είναι αρκετά πιο ακριβή από την εκμετάλλευση παραδοσιακών πηγών για την παραγωγή ενέργειας. Αυτό οφείλεται ιδιαίτερα στο υψηλό κόστος των logistics που προκύπτει κατά τη διάθεση της βιομάζας. Συνεπώς η βελτίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μια απαίτηση στο να μπορεί η βιομάζα να χαρακτηρίζεται εκτός από μακροπρόθεσμη και ως οικονομική πηγή ενέργειας.

Η εφοδιαστική αλυσίδα της βιομάζας παρουσιάζει μια σειρά από ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία αυξάνουν το βαθμό πολυπλοκότητας του όλου συστήματος. Συνοπτικά μπορούμε να αναφέρουμε τα ακόλουθα.

- *Μεταφορά μεγάλων αποστάσεων.* Για να είναι ανταγωνιστικό το προκύπτον προϊόν από τη μεταχείριση της βιομάζας θα πρέπει η διαδικασία παραγωγής του να ακολουθεί τους κανόνες των οικονομιών κλίμακας όσον αναφορά στο μέγεθος των μονάδων παραγωγής. Συνεπώς, για τη αποδοτική λειτουργία μιας μονάδας απαιτείται ο εφοδιασμός της από ποσότητες πρώτης ύλης οι οποίες αντιστοιχούν σε εξαιρετικά μεγάλη επιφάνεια αρόσιμων εκτάσεων. Το γεγονός αυτό αυξάνει την ανάγκη για μεταφορά μεγάλων αποστάσεων της πρώτης ύλης. Επιπλέον λόγω της χωρικής διασποράς των αγρών που απαρτίζουν την απαιτούμενη έκταση, η μεταφορά αυτή θα πρέπει να λαμβάνει χώρα μέσω ενός πολύπλοκου δικτύου δημόσιων και αγροτικών δρόμων.
- *Σύντομο επιχειρησιακό χρονικό παράθυρο.* Ο περιορισμένος χρόνος συγκομιδής προκαλείται από τη χρονική εξάρτηση της καταλληλότητας της βιομάζας σε σχέση με βιολογικούς παράγοντες. Επιπλέον, η μηχανική συγκομιδή στο μικρό αυτό διαθέσιμο χρονικό εύρος θα πρέπει να χρησιμοποιήσει πόρους απαιτούμενους από άλλες ταυτόχρονες αγροτικές δραστηριότητες.
- *Εξάρτηση από καιρικές συνθήκες.* Οι καιρικές συνθήκες είναι ένας περιοριστικός παράγοντας στη διαθέσιμη για την εκτέλεση της εργασίας χρονική περίοδο και συχνά οδηγεί σε τροποποιήσεις των αρχικών σχεδιασμών στο χρόνο εκτέλεσης, στο κόστος και στα μηχανικά και τεχνικά μέσα.
- *Ζητήματα Αειφορίας.* Οι συνθήκες του εδάφους θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να επιτρέπουν στις μηχανές να εργάζονται προκαλώντας την ελάχιστη διατάραξη σε αυτό. Οι συνθήκες αυτές καθορίζονται από τον τύπο του εδάφους, τον τύπο των μηχανών και τις τρέχουσες καθώς και πρόσφατες επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

Παρά το γεγονός ότι τα κομμάτια της παραγωγής, συγκομιδής και διάθεσης της βιομάζας συνδέονται με μια διαδικασία βιομηχανικής παραγωγής (παραγωγή βιοενέργειας και βιοκαυσίμων) δεν ακολουθούν τις ίδιες μεθόδους με αυτή. Αυτό οφείλεται εν μέρη στην διαφορετικότητα των δύο διαδικασιών και εν μέρη στο ότι οι διαδικασίες γεωργικής παραγωγής βασίζονται ακόμη και σήμερα κύρια σε παραδοσιακές μεθόδους διαχείρισης. Η διαφορετικότητα της διαχείρισης των ενεργειών στον αγροτικό τομέα με την αντίστοιχη του βιομηχανικού προκύπτει από έναν αριθμό λόγων, οι βασικότεροι των οποίων μπορούν να συνοψιστούν στους παρακάτω:

- Ο κυρίαρχος ρόλος του ανοικτού περιβάλλοντος και η εγγενής σε αυτό επικινδυνότητα έχουν σαν αποτέλεσμα κάθε γεωργική διαδικασία να οδηγείται από ελλιπή πληροφορία και συνεπώς αυξημένη αβεβαιότητα.

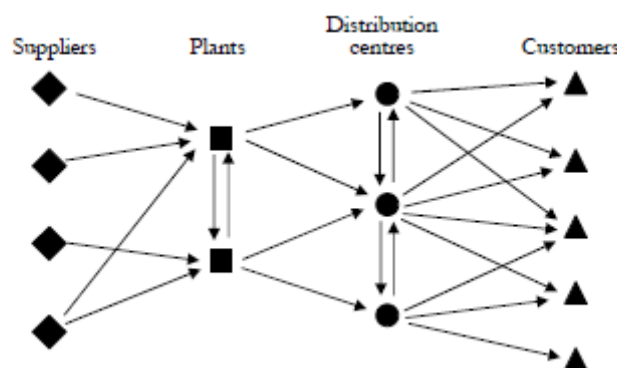
- Οι γεωργικές διαδικασίες περιλαμβάνουν συνεχή καθώς και διακριτά γεγονότα.
- Οι μεταβλητές που χαρακτηρίζουν τις γεωργικές διαδικασίες είναι μεταβλητές σχετικά μεγάλης διακύμανσης.
- Οι χρονικές σταθερές που χαρακτηρίζουν τις γεωργικές διαδικασίες είναι σχετικά μεγάλου μεγέθους.
- Οι γεωργικές διαδικασίες παρουσιάζουν αυξημένη πολυπλοκότητα στην αξιολόγηση της επικινδυνότητας των αποφάσεων.
- Μια γεωργική εργασία μπορεί να διακοπεί λόγω καιρικών συνθηκών και συνεπώς να διαιρεθεί επιχειρησιακά σε έναν αριθμό μερικώς ολοκληρωμένων εργασιών.

Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στον επιχειρησιακό και στρατηγικός σχεδιασμό του βιομηχανικού τομέα παρατηρείται μια συνεχώς αυξανόμενη απαίτηση για τη θεώρηση της τυχαιότητας και της αβεβαιότητας στη διακύμανση των μεταβλητών που απαρτίζουν το πρόβλημα της λήψης αποφάσεων (Sørensen, 1999). Υπό αυτήν την έννοια, φαίνεται πως η τάση προς τη διαχείριση της αβεβαιότητας που παρουσιάζεται στον βιομηχανικό τομέα και η τάση προς αναζήτηση ευφρών σχεδιαστικών προσεγγίσεων του αγροτικού τομέα μπορούν να συγκλίνουν. Η σύγκλιση αυτή γίνεται εμφανής τα τελευταία χρόνια μέσω της ανάπτυξης και εφαρμογής εξελιγμένων μεθόδων σε επίπεδο μοντελοποίησης (Bochtis et al., 2009), βελτιστοποίησης του σχεδιασμού (Bochtis & Vougioukas, 2008) και του προγραμματισμού (Basnet et al., 2006) της εκτέλεση των γεωργικών εργασιών.

Η παρούσα εργασία, παρουσιάζει δύο σε εξέλιξη έρευνες βασισμένες στα πρότυπα του βιομηχανικού σχεδιασμού, οι οποίες αφορούν στο στρατηγικό και επιχειρησιακό σχεδιασμό, αντίστοιχα, της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας. Συγκεκριμένα, η πρώτη εφαρμογή αποτελεί μοντέλο σχεδίασης δικτύου βασισμένο σε εξελιγμένες μεθόδους επιχειρησιακής έρευνας ενώ η δεύτερη αποτελεί σύστημα βελτιστοποίησης του σχεδιασμού εκτέλεσης των εργασιών συγκομιδής - μεταχείρισης - συλλογής της βιομάζας.

2. ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

2.1. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ



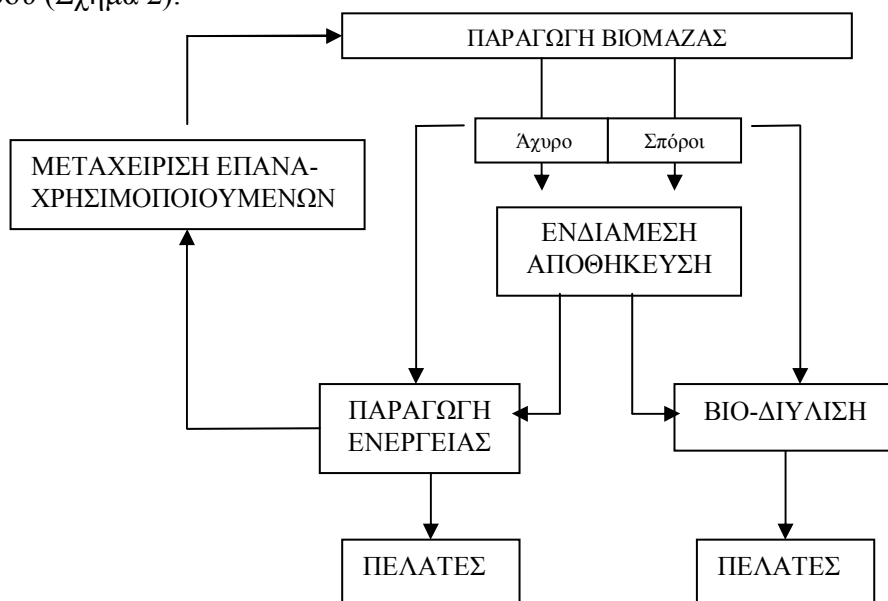
Σχήμα 1. Γενικό δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας

Ο σχεδιασμός ενός δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας αποσκοπεί στην εύρεση της διαμόρφωσής του η οποία να επιτρέπει την λειτουργία της αλυσίδας με τον οικονομικότερο, ως προς κάποιο ή κάποια κριτήρια, τρόπο (Klose και Drexl, 2005). Αποφάσεις που πρέπει να παρθούν αφορούν στην τοποθεσία των μονάδων παραγωγής και διανο-

μής, στην ανάθεση των απαιτήσεων των πελατών σε μονάδες και στη ροή των προϊόντων διάμεσου του δικτύου (Σχήμα 1).

Η βιομάζα των φυτών ελαιούχων σπόρων παρέχει δύο διαφορετικά προϊόντα, τον σπόρο και το άχυρο. Για παράδειγμα, οι σπόροι της ελαιοκράμβης μπορούν να ξηρανθούν και να μετατραπούν μέσω διύλισης σε βιοντίζελ. Το άχυρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε εργοστάσιο βιοενέργειας όπου το από τη ζύμωση προκύπτον βιοαέριο μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό, συχνά σε ένα συνδυασμένο εργοστάσιο παραγωγής ισχύος και παροχής θερμότητας. Επίσης το μετά από τις διαδικασίες ζύμωσης και θερμικής απολύμανσης φυτικό υπόστρωμα μπορεί επιπλέον να επαναχρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό προϊόν, εφόσον το περιεχόμενο του σε αζωτούχα και φωσφορικά παραμένει.

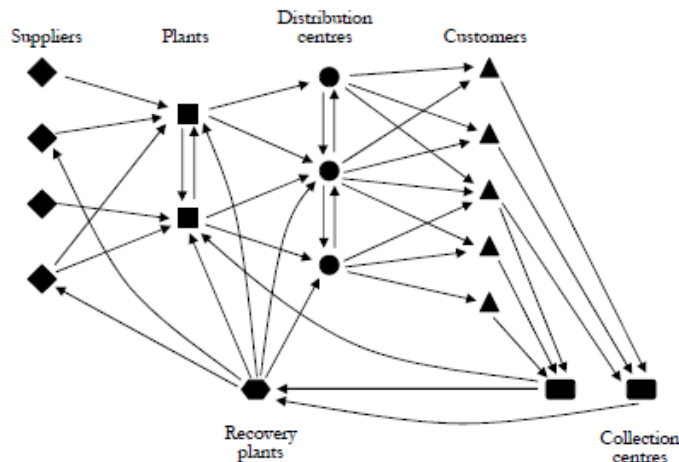
Συνεπώς, το μοντέλο της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας ενεργειακών φυτών θα πρέπει να δίνει απαντήσεις: α) για τις θέσεις εγκατάστασης των μονάδων ενδιάμεσης αποθήκευσης (άχυρου και σπόρου), παραγωγής βιοκαυσίμων, παραγωγής ενέργειας και παραγωγής λιπασμάτων από τη μεταχείριση των αποβλήτων-υπολειμμάτων των προηγούμενων και β) για τη ροή της μάζας και των προϊόντων μεταξύ των θέσεων του δικτύου (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Στοιχεία του δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας βιομάζας.

Στην περίπτωση της εφοδιαστικής αλυσίδας βιομάζας, η επιπλέον αντίστροφη ροή των υπολειμμάτων καρπών, επαναχρησιμοποιήσιμων ως βελτιωτικών, θα πρέπει να ενσωματωθεί μαζί με την *θετική ροή* (forward flow) του άχυρου και των ελαιούχων σπόρων. Αυτό οδηγεί στη έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου (closed-loop supply chain) (Σχήμα 3). Η αποδοτική διαχείριση ενός τέτοιου δικτύου απαιτεί την ενσωμάτωση της *θετικής* και *αρνητικής ροής* (reverse flows) των προϊόντων. Συγκεκριμένα, αποφάσεις εγκατάστασης και ανάθεσης απαιτούνται να συνδυαστούν κατά τρόπο ώστε και οι δύο τύποι ροής να μπορούν να διαχειριστούν παραμένοντας σε ελάχιστο κόστος. Γενικά υπάρχουν διάφορα γνωρίσματα διαχωρισμού μεταξύ δικτύων θετικής και αρνητικής ροής (Fleischmann κ.α., 1997; Listes και Dekker, 2005). Ένα δίκτυο αρνητικής ροής παρουσιάζει μια συγκλίνουσα δομή, όπου τα προϊόντα διακινούνται προερχόμενα από ένα μεγάλο αριθμό πηγών σε ένα μικρότερο αριθμό προορισμών, σε αντίθεση με την αποκλίνουσα δομή ενός δικτύου θετικής ροής όπου τα προϊόντα διακινούνται από μικρό αριθμό πηγών προς προορισμούς μεγαλύτερου αριθμού.

Επιπλέον, η αβεβαιότητα είναι συνήθως αναπόφευκτη στην περίπτωση του δικτύου αρνητικής ροής εφόσον η ποσότητα των επιστρεφόμενων προϊόντων ενσωματώνει συσσωρευτικά την στοχαστικότητα όλων των προηγούμενων σταδίων της ροής.



Σχήμα 3. Γενικό δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου.

2.2. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Υπάρχει ένας αριθμός από στοχαστικούς παράγοντες που επηρεάζουν ισχυρά την λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας και των οποίων η τυχαιότητα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό της αλυσίδας. Η παρουσία των παραγόντων αυτών οδηγεί σε μια προσέγγιση δύο-σταδίων στοχαστικού προγραμματισμού με διάκριση μεταξύ των αποφάσεων του πρώτου και του δεύτερου σταδίου. Οι αποφάσεις του πρώτου τύπου θα πρέπει να λαμβάνονται *εκ των προτέρων* ενώ οι αποφάσεις του δεύτερου σταδίου μπορούν να ληφθούν μετά από κάποιο σύντομο χρονικό διάστημα *εκ των υστέρων*. Σε ένα στοχαστικό μοντέλο σχεδιασμού δικτύου διαφόρων εμπλεκόμενων μονάδων, οι πρώτου σταδίου αποφάσεις είναι συνήθως οι αποφάσεις τοποθεσίας εγκατάστασης, οι οποίες πρέπει να ισχύουν σε μακροπρόθεσμη ή τουλάχιστον σε μεσοπρόθεσμη χρονική βάση και συνεπώς δεν μπορούν να διαφοροποιηθούν σε μικρό χρονικό διάστημα. Οι αποφάσεις δεύτερου σταδίου ή *διορθωτικές ενέργειες* (recourse actions) σχετίζονται συνήθως με τις διαδρομές και τις ποσότητες των μεταφερόμενων αγαθών διαμέσου του δικτύου, υποθέτοντας ότι αυτού του είδους οι αποφάσεις μπορούν να υλοποιούνται σε εύλογο για την εξέλιξη της επιχείρησης χρονικό διάστημα. Σε κάποιες περιπτώσεις και οι αναθέσεις όπως για παράδειγμα οι ζώνες πελατών σε αντίστοιχες μονάδες μπορούν επίσης να αντιμετωπισθούν ως μακροπρόθεσμες *εκ των προτέρων* αποφάσεις ενώ απλώς τα συγκεκριμένα ποσά των ρεόντων προϊόντων μεταχειρίζονται ως πιθανές ενέργειες διόρθωσης. Γενικά στην προσέγγιση μέσω στοχαστικού μοντέλου ακόμη και η επιλογή της κατάλληλης αντικειμενικής συνάρτησης είναι προβληματική. Συνηθέστερα, το αναμενόμενο κέρδος (ή κόστος αναλόγως του μοντέλου) σε εξάρτηση με τις αποφάσεις του πρώτου σταδίου θεωρείται ως αντικειμενικό κριτήριο. Το μοντέλο του προβλήματος βελτιστοποίησης της παρούσα έρευνα που έχει προταθεί και αναπτύσσεται βασίζεται σε μεικτό-ακέραιο προγραμματισμό (mixed-integer) και υιοθετείται η τεχνική στοχαστικού προγραμματισμού δύο σταδίων.

2.3. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ο σχεδιασμός του δικτύου της εφοδιαστικής αλυσίδας θα πρέπει να παρουσιάζει τις παρακάτω ιδιότητες:

Ευρωστία. Μια λύση σε ένα πρόβλημα σχεδιασμού δικτύου θεωρείται εύρωστη,

εάν ο σχεδιασμός ανταποκρίνεται επιτυχώς σε ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών σεναρίων που αφορούν την πραγμάτωση των στοχαστικών παραμέτρων (Klibi et al., 2008). Η ευρωστία σε ένα σχεδιασμό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ρητής ενσωμάτωσης κατάλληλων μέτρων επικινδυνότητας στην αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος. Προς αυτή την κατεύθυνση ένας αριθμός από προτεινόμενες μεθόδους ορισμού μέτρων επικινδυνότητας έχουν προταθεί και χρήζουν περαιτέρω έρευνας όσον αφορά στην εφαρμοσιμότητά τους στην περίπτωση της εφοδιαστικής αλυσίδας βιομάζας. Ως παραδείγματα προσαρμοζόμενων μεθόδων στην περίπτωση του δικτύου βιομάζας μπορούν να αναφερθούν οι μέθοδοι: “*semi-deviations*” (Ogrzyzak and Ruszczynski, 2001) “*conditional value-at-risk*” (Schulz and Tiedemann, 2006) και “*expected shortfall*” (Bertsimas et al., 2004).

Ανταποκρισιμότητα. Οι πολιτικές ανταποκρισιμότητας αποσκοπούν στην παροχή ικανών αντιδράσεων σε βραχυπρόθεσμες μεταβολές τυχαίων δεδομένων. Στην πραγματικότητα η ανταποκρισιμότητα είναι μια ιδιότητα του μοντέλου και όχι του ίδιου του προβλήματος. Το μοντέλο θα πρέπει να διαθέτει ένα ευρύ σύνολο εναλλακτικών ενεργειών προς την αντιμετώπιση της τυχαιότητας του φυσικού συστήματος που να οδηγούν σε δεύτερου σταδίου μεταβλητές οι οποίες με τη σειρά τους θα μπορούν να ανταποκριθούν σε αποφάσεις όπως για παράδειγμα αγορά επιπλέον ποσοτήτων βιομάζας, η κράτηση/διάθεση αποθεμάτων σε συγκεκριμένες μονάδες αποθήκευσης κτλ.

Προσαρμοστικότητα. Οι στρατηγικές προσαρμοστικότητας αποτελούν ένα σύνολο ενεργειών οι οποίες αποσκοπούν στη δημιουργία μιας δομής εφοδιαστικής αλυσίδας η οποία να μειώνει την επικινδυνότητα με την αποφυγή όσο το δυνατό των διαταράξεων του συστήματος. Οι στρατηγικές αυτές σχετίζονται με ζητήματα “βιωσιμότητας” δικτύων που συναντώνται στο πεδίο των σχεδιασμού δικτύων τηλεπικοινωνιών. Η βιωσιμότητα στα συστήματα αυτά, κυρίως επιτυγχάνεται με την ιδιότητα του *πλεονασμού* στο δίκτυο. Ο πλεονασμός στην περίπτωση του δικτύου βιομάζας κλειστού βρόχου μπορεί να αποτελείται από την παροχή μεγάλου αριθμού εγκαταστάσεων αποθήκευσης οι οποίες μπορούν να κρατούν τις επιπλέον ποσότητες βιομάζας με σκοπό να εμποδίσουν την περίπτωση ελλειμμάτων. Όταν κατάλληλες μέθοδοι ποσοτικοποίησης της επικινδυνότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας συμπεριλαμβάνονται στην αντικειμενική συνάρτηση, η προσαρμοστικότητα της διαμόρφωσης της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να επιτευχθεί αυτόματα.

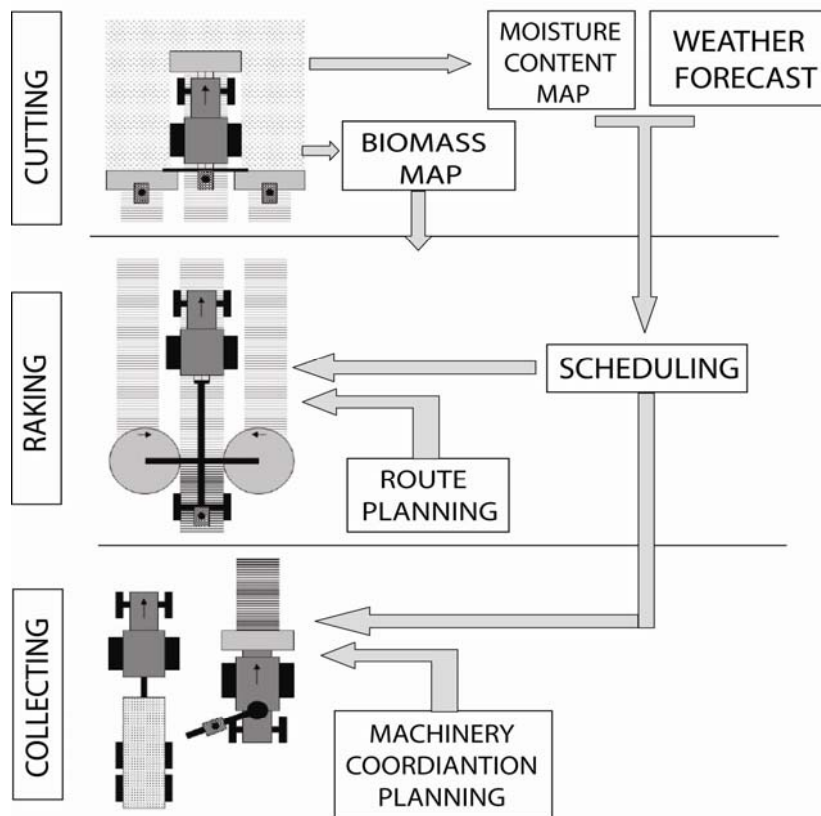
3. ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΝΤΟΣ ΑΓΡΟΥ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Λόγω της υψηλής αβεβαιότητας των τιμών των παραμέτρων του συστήματος, αυτό που πρέπει να επιχρηστεί είναι η μείωση της στοχαστικότητας των διαφόρων υποσυστημάτων από τα οποία απαρτίζεται. Προς αυτή την κατεύθυνση κινείται η παρακάτω σε εξέλιξη έρευνα πάνω στην ανάπτυξη συστήματος αυτοματοποιημένης εντός αγρού μεταχείρισης βιομάζας. Τα κύρια στοιχεία του συστήματος περιλαμβάνουν (Σχήμα 4):

- Τον εφοδιασμό της μονάδας συγκομιδής με κατάλληλους αισθητήρες (Σχήμα 5) που μπορούν να παρέχουν την μέτρηση της ποσότητας και της περιεχόμενης υγρασίας της βιομάζας σε πραγματικό χρόνο. Με βάση τις μετρήσεις αυτές γίνεται η παραγωγή χαρτών χωρικής διασποράς αναφορικά με την ποσότητα της βιομάζας και την υγρασία κατά τη διάρκεια της συγκομιδής.
- Μοντέλα συσχετισμού των καιρικών μεταβολών (θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας αέρα, βροχόπτωσης, ακτινοβολίας, κτλ) και της περιεχόμενης υγρασίας της βιομάζας σε σχέση με τη διαμόρφωσή της επάνω στον αγρό.
- Μοντέλα βέλτιστου προγραμματισμού των εργασιών τεμαχισμού και διασκορ-

πισμού με βάση το μοντέλο της προηγούμενης συσχέτισης και την πρόγνωση των καιρικών συνθηκών για το αμέσως επόμενο χρονικό διάστημα.

- Μοντέλα για το επιχειρησιακό σχεδιασμό της εκτέλεσης της εργασίας (σχεδιασμό πορείας) για την κύρια μηχανή που θα εκτελέσει την εργασία με βάση τον διαθέσιμο χάρτη των περιοχών διαδρομών ή τμημάτων αυτών από όπου θα γίνει η επιλεκτική συλλογή της βιομάζας).
- Σχεδιασμό της συνεργασίας των υποστηρικτικών μονάδων σε αυτές (ντετερμινιστικός, όπως επίσης και ο προηγούμενος)



Σχήμα 4. Βελτιστοποίηση διαδικασίας χειρισμού της βιομάζας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα βασικά στοιχεία της εξελισσόμενης έρευνας συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Προτείνεται η υιοθέτηση του τύπου εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου.
- Υιοθέτηση τεχνικών βελτιστοποίησης στοχαστικού προγραμματισμού με χρήση μοντέλου mixed-integer δύο σταδίων.
- Περιορισμός της αβεβαιότητας των στοχαστικών μεταβλητών του προβλήματος μέσω σχεδιασμού επιχειρησιακών τεχνικών στα πρώτο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας που αφορά στην εντός αγρού μεταχείριση της βιομάζας, ώστε να παρουσιάζει τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που οδηγούν στις ελάχιστες διαταραχές του συστήματος και συνεπώς στην μείωση της απαίτησης μεσοπρόθεσμων αλλαγών.



Σχήμα 5. Σύστημα συνεχούς μέτρησης υγρασίας της βιομάζας σε συνδυασμό με μέτρηση ροής μάζας (Claas Quantimater).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Basnet, C.B, Foulds, L.R., Wilson, J.M., 2006. *Scheduling contractors' farm-to-farm crop harvesting operations*. International Transactions in Operational Research, 13 (1), 1-15.
- Bertsimas, D., Lauprete, G.J., and Samarov, A., 2004. *Shortfall as a risk measure: properties, optimization, and applications*. Journal of Economic Dynamics and Control, 28, 1353-1381.
- Bochtis, D. and Vougioukas, S., 2008. *Minimising the Non-working Distance Travelled by Machines Operating in a Headland Field Pattern*. Biosystems Engineering, 101 (1), 1-12.
- Bochtis, D.D., Sørensen, C.G, Jørgensen, R.N., Green, O., 2009. *Modelling of Material Handling Operations Using Controlled Traffic*. Biosystems Engineering. 103, 397-408.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker, R., van der Laan, E., van Nunen, J.A.E.E. and Van Wassenhove, L.N., 1997. *Quantitative models for reverse logistics: A review*. European Journal of Operational Research, 103:1-17.
- Klibi, W., Martel, A. and Guitouni, A., 2008. *The design of robust value-creating supply chain networks: A critical review*. Research Report Cirreft-2008-36, Montreal, Quebec, Canada.
- Klose, A. and Drexler, A., 2005. *Facility location models for distribution system design*. European Journal of Operational Research, 162, 4-29.
- Listes, O. and Dekker, R., 2005. *A stochastic approach to a case study for product recovery network design*. European Journal of Operational Research, 160:268-287.
- Ogryczak, W. and Ruszczyński, A., 2001. On consistency of stochastic dominance and mean-semideviation models. *Mathematical Programming*, 89, 217-232.
- Sambra, A., Sørensen, C.G. and Kristensen, E.F., 2008. *Optimized harvest and logistics for biomass supply chain*. In European Biomass Conference and Exhibition, Valencia, Spain.
- Schulz, R. and Tiedemann, S., 2006. *Conditional value-at-risk in stochastic programs with mixed-integer recourse*. Mathematical Programming, 105, 365-386.
- Sørensen, C.G., 1999. *A Bayesian Network Based Decision Support System for the Management of Field Operations*. Case: Harvesting Operations. Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, 193 pp.

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΥΡΩΣΤΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Α.Γ. Σολδάτος¹, Σ.Γ. Σαφαρίδης² και Κ.Γ. Αρβανίτης³

^{1,2}Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ε.Μ.Π.
Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφου 15773, Αθήνα

³Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γ.Π.Α.
Ιερά Οδός 75, Βοτανικός 11855, Αθήνα
E-mails: ¹asoldat@cc.ece.ntua.gr, ³karvan@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία στοχεύει στον έλεγχο της στάθμης του ύδατος σε αρδευτικά δίκτυα. Ένα απλουστευμένο μοντέλο ανοιχτού διαύλου περιγράφεται από τις εξισώσεις Saint-Venant, ένα σύστημα δύο μη γραμμικών μερικών διαφορικών εξισώσεων. Έχοντας σαν στόχο την υπολογιστική προσομοίωση, οι εξισώσεις λύνονται αριθμητικά. Παράλληλα, οι εξισώσεις γραμμικοποιούνται πέριξ ενός σημείου λειτουργίας κατάλληλων υδραυλικών συνθηκών και παράγεται, με την βοήθεια του μετασχηματισμού Laplace, ένα μοντέλο συνάρτησης μεταφοράς. Εξετάζοντας αυτή τη συνάρτηση στο πεδίο της συχνότητας, προκύπτουν στοιχεία που βοηθούν στην ανάπτυξη ενός προσεγγιστικού γραμμικού μοντέλου, το οποίο περιλαμβάνει έναν ολοκληρωτή με χρονική καθυστέρηση. Στην εργασία προτείνονται εύρωστοι ελεγκτές τύπου PID βασισμένοι σε προδιαγραφές των περιθωρίων ενίσχυσης και φάσης του συστήματος κλειστού βρόχου.

Λέξεις κλειδιά: αρδευτικά δίκτυα, εξισώσεις Saint – Venant, αρμονική απόκριση, ελεγκτές τριών όρων, εύρωστη σχεδίαση.

ROBUST CONTROLLER DESIGN IN OPEN IRRIGATION CANALS

A.G. Soldatos¹, S.G. Safaridis² and K.G. Arvanitis³

^{1,2}Department of Electrical and Computer Engineering, NTUA
9 Iroon Politechniou, Zographou 15773, Athens, Greece

³Department of Agricultural Engineering, AUA
Iera Odos 75, Botanikos 11855, Athens, Greece
E-mails: ¹asoldat@cc.ece.ntua.gr, ³karvan@aua.gr

ABSTRACT

The present work aims at controlling the water level in irrigation canals. A simplified model of an open canal may be described by the Saint – Venant equations, a system of two nonlinear partial differential equations. Targeting computer simulation, the equations are solved numerically. At the same time, the equations are linearized about some operating point corresponding to suitable hydraulic conditions and yield, using Laplace transform, a transfer function model. Studying this function in the frequency domain, presents facts which help the development of an approximating linear model, which consists of an integrator with time delay. The design of robust controllers of the PID type, based on gain and phase margins specification is proposed in the paper.

Key words: irrigation canals, Saint – Venant equations, frequency response, three-term controllers, robust design

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ανοικτά αρδευτικά δίκτυα ως συστήματα μεταφοράς ύδατος είναι δύσκολα στη λειτουργία τους και εκτιμάται ότι περί το 25% από το διακινούμενο νερό σπαταλάται. Επιπρόσθετα, τα κόστη συντήρησής τους είναι πολύ υψηλά και οι αγρότες υποχρεούνται συχνά να ακολουθήσουν αυστηρά προγράμματα άρδευσης, με στόχο τη μείωση των απωλειών. Ως αποτέλεσμα, σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες έχουν καταβληθεί για τον αυτοματισμό της όλης διεργασίας και ένας αριθμός σχημάτων ελέγχου έχει προταθεί στη διεθνή βιβλιογραφία (Malaterre and Baume, 1998; Malaterre et al., 1998; Seatzu, 1999; Seatzu, 2000; Clemmens and Schuurmans, 2004). Εντούτοις, μία συστηματική μέθοδος σχεδίασης απλών και εύρωστων ελεγκτών για αρδευτικά δίκτυα είναι ακόμη και σήμερα το ζητούμενο

Η ροή του ύδατος σε έναν ανοικτό αρδευτικό διάυλο πραγματοποιείται με την βοήθεια της βαρύτητας. Κατά μήκος του διαύλου υπάρχουν μηχανολογικές κατασκευές (θύρες) οι οποίες χωρίζουν το κανάλι σε τμήματα (δεξαμενές). Οι θύρες αυτές έχουν την δυνατότητα, συνήθως με την βοήθεια ηλεκτροκινητήρων, να μετακινούνται κάθετα στη ροή, ρυθμίζοντας έτσι την παροχή ύδατος που εισέρχεται ή εξέρχεται από μία δεξαμενή. Κάθε δεξαμενή υδροδοτεί ορισμένες αγροτικές εκμεταλλεύσεις με φυσική ροή (βαρύτητα) μέσω πλευρικών αγωγών ή διαύλων. Τα σημεία τροφοδοσίας είναι συνήθως λίγα μέτρα πριν από τις θύρες (Σχήμα 1, όπου Q_i , Q_{i+1} οι εισερχόμενες παροχές στις δεξαμενές i και $i+1$, αντίστοιχα, και q_{li} η πλευρική παροχή υδροληψίας της δεξαμενής i).

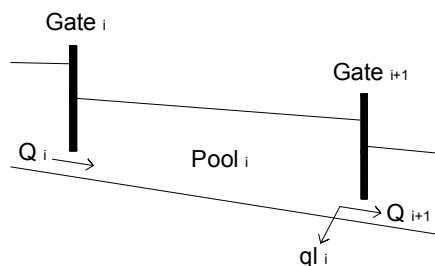
Η κάθε δεξαμενή, που είναι το τμήμα του διαύλου ανάμεσα σε δύο θύρες, μπορεί να έχει τα δικά της χαρακτηριστικά (μήκος, πλάτος, κλίση κτλ). Δύο γειτνιάζουσες δεξαμενές, όμως, μοιράζονται την ίδια παροχή ύδατος στο σημείο της κοινής τους θύρας. Έτσι, μοντελοποιώντας όλες τις δεξαμενές και θέτοντας τις παροχές ως συνοριακές συνθήκες μεταξύ τους, παράγουμε το μοντέλο ολόκληρου του διαύλου.

2. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Για την μοντελοποίηση μιας δεξαμενής χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις Saint – Venant, (SV), (Henderson, 1966). Οι εξισώσεις αυτές που περιγράφουν τη διατήρηση της μάζας και της ορμής σε έναν ανοικτό διάυλο, σε μία διάσταση δίνονται από:

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} &= q_l \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Y}{\partial x} + gA(S_f - S) &= q_l V \end{aligned} \quad (1)$$

όπου, $A(x,t)$ η επιφάνεια του ύδατος σε μία εγκάρσια τομή της δεξαμενής σε απόσταση x κατά μήκος αυτής (m^2), $Q(x,t)$ η παροχή ύδατος κατά μήκος της δεξαμενής (m^3/s), $Y(x,t)$ η στάθμη του ύδατος κατά μήκος της δεξαμενής (m), $q_l(x,t)$ η παροχή ύδατος που



Σχήμα 1. Δεξαμενή ενός αρδευτικού διαύλου.

εξέρχεται από το πλάι της δεξαμενής (m^3/s), $V(x,t)$ η ταχύτητα του ύδατος (m/s), $S_f(x,t)$ ο συντελεστής τριβής εκφρασμένος σε μονάδες κλίσης, S η κλίση της δεξαμενής, g η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2), t η χρονική μεταβλητή (s), x η χωρική μεταβλητή (m). Ο συντελεστής τριβής, S_f , μοντελοποιείται με βάση την εξίσωση του Manning:

$$S_f = n^2 Q^2 / [A^2 R^{(4/3)}] \quad (2)$$

όπου n ο συντελεστής Manning σε ($m^{-1/3}s$), ο οποίος εξαρτάται από την τραχύτητα των επιφανειών των τοιχωμάτων της δεξαμενής και $R=A/P$ η υδραυλική ακτίνα, με $P(x,t)$ την περίμετρο που 'διαβρέχεται' σε μια τομή του διαύλου σε (m).

Δύο συνοριακές συνθήκες απαιτούνται για αυτό το σύστημα μερικών διαφορικών εξισώσεων, για παράδειγμα $Q(0,t)=Q_i(t)$ και $Q(X,t)=Q_{i+1}(t)$, με X το μήκος της δεξαμενής. Οι αρχικές συνθήκες δίνονται από $Q(x,0)$, $Y(x,0)$ και $q_i(x,0)$ για κάθε $x \in [0,X]$.

3. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Για την αριθμητική επίλυση των εξισώσεων Saint - Venant χρησιμοποιείται μία μέθοδος πεπερασμένων διαφορών, γνωστή ως μέθοδος Preissmann (Malaterre, 1998). Ο χρόνος t και η χωρική μεταβλητή x , διακριτοποιούνται πάνω σ' ένα πλέγμα στο οποίο οι εξισώσεις λύνονται χρησιμοποιώντας προσεγγίσεις των συναρτήσεων και των μερικών τους διαφορικών. Σύμφωνα με την μέθοδο Preissmann, μία συνάρτηση καθώς και τα μερικά της διαφορικά ως προς το χρόνο και το χώρο, μπορούν να προσεγγιστούν με διαφορές δευτέρης τάξης ως εξής:

$$\begin{aligned} f(x,t) &\approx \frac{1}{2} a (f_{i+1}^{k+1} + f_i^{k+1}) + \frac{1}{2} (1-a) (f_{i+1}^k + f_i^k) \\ \frac{\partial f}{\partial t} &\approx \frac{(f_{i+1}^{k+1} + f_i^{k+1}) - (f_{i+1}^k + f_i^k)}{2\Delta t} \\ \frac{\partial f}{\partial x} &\approx \frac{a(f_{i+1}^{k+1} - f_i^{k+1})}{\Delta x} + \frac{(1-a)(f_{i+1}^k - f_i^k)}{\Delta x} \end{aligned} \quad (3)$$

με $1 \leq i \leq N$, το i σημείο του χώρου στο πλέγμα και με $1 \leq k \leq M$, το k σημείο του χρόνου στο πλέγμα. Τα Δx και Δt είναι τα διαστήματα μεταξύ δύο σημείων στο πλέγμα, στον άξονα του χώρου και του χρόνου αντίστοιχα. Η παράμετρος a είναι ένας συντελεστής βαρύτητας και για να συγκλίνει η μέθοδος πρέπει $0.6 \leq a \leq 0.7$.

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές των εξ. (1) είναι η παροχή του ύδατος Q και η στάθμη του ύδατος Y . Αν υποθέσουμε ότι την χρονική στιγμή k τα Q_i^k και Y_i^k είναι γνωστά για κάθε $1 \leq i \leq N$, τότε αντικαθιστώντας για όλες τις συναρτήσεις τις εξ. (3) στις (1), προκύπτουν $2(N-1)$ μη γραμμικές αλγεβρικές εξισώσεις με $2N$ αγνώστους, τα Q_i^{k+1} και Y_i^{k+1} για κάθε $1 \leq i \leq N$. Οι εξισώσεις αυτές αυξάνονται σε αριθμό εάν προσθέσουμε και τις δύο συνοριακές συνθήκες στην αρχή και στο τέλος της δεξαμενής:

$$\begin{aligned} Q_1^{k+1} &= Q_{upstream}^{k+1} \\ Q_N^{k+1} &= Q_{downstream}^{k+1} \end{aligned} \quad (4)$$

Οι αρχικές τιμές των Q_i^k και Y_i^k για $k=1$, δίνονται από την επίλυση των εξισώσεων Saint - Venant στην μόνιμη κατάσταση.

4. ΓΡΑΜΜΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ SAINT – VENANT

Η γραμμικοποίηση των εξισώσεων Saint – Venant προϋποθέτει την λύση των εξισώσεων μόνιμης ροής σε ένα σημείο ισορροπίας (λειτουργίας). Αν αγνοήσουμε την πλευρική παροχή q_l και σημειώσουμε με έναν δείκτη μηδέν όλες τις μεταβλητές που αναφέρονται στο σημείο ισορροπίας [$Y_0(x), Q_0(x)$ κτλ], οι εξισώσεις της μόνιμης κατάστασης γίνονται:

$$\begin{aligned} \frac{dQ_0(x)}{dx} &= 0 \\ \frac{dY_0(x)}{dx} &= \frac{S - S_{f0}(x)}{1 - F_0(x)} \end{aligned} \quad (5)$$

όπου $F_0 = V_0/C_0$ ο αριθμός Froude με $C_0 = \sqrt{gA_0/B_0}$ την ταχύτητα κύματος, $V_0 = Q_0/A_0$ την ταχύτητα του ύδατος και B_0 το πλάτος της ανοιχτής επιφάνειας του ύδατος. Στην παρούσα εργασία η ροή θεωρείται υποκρίσιμη, δηλαδή $F_0 < 1$. Η λύση των Συνήθων Διαφορικών Εξισώσεων (ΣΔΕ), εξ. (5), δίνει τα $Q_0(x) = Q_0 = Q_X$ και $Y_0(x)$, που ορίζουν την περιοχή ισορροπίας.

Μία συγκεκριμένη λύση των εξισώσεων παράγεται όταν η στάθμη του ύδατος κατά μήκος της δεξαμενής είναι σταθερή. Στην περίπτωση αυτή το αριστερό μέρος της δεύτερης από τις εξ. (5) είναι μηδέν και δεδομένου ότι γνωρίζουμε την μέγιστη παροχή $Q_0(x) = Q_0 = Q_{max}$, η λύση της στάθμης Y_n (που ονομάζεται και *κανονική στάθμη*) παράγεται από την ακόλουθη αλγεβρική εξίσωση:

$$S_f(Q_{max}, Y_n) = S \quad (6)$$

Η γραμμικοποίηση των εξισώσεων Saint - Venant γύρω από το σημείο ισορροπίας (Q_0, Y_0) γίνεται αντικαθιστώντας στις εξ. (1) τις εκφράσεις $Q(x,t) = Q_0 + q(x,t)$ και $Y(x,t) = Y_0(x) + y(x,t)$, αναπτύσσοντας σε σειρές Taylor και αγνοώντας τους όρους δεύτερης ή ανώτερης τάξης (Litrico and Fromion, 2004):

$$\begin{aligned} B_0(x) \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial q}{\partial t} + 2V_0(x) \frac{\partial q}{\partial x} - \beta_0(x)q + \left(C_0(x)^2 - V_0(x)^2 \right) B_0(x) \frac{\partial y}{\partial x} - \gamma_0(x)y &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

όπου,

$$\begin{aligned} \gamma_0 &= V_0^2 \frac{dB_0}{dx} + gB_0 \left[(1+k)S - (1+k - (k-2)F_0^2) \frac{dY_0}{dx} \right] \\ \beta_0 &= -\frac{2g}{V_0} \left(S - \frac{dY_0}{dx} \right) \\ k &= \frac{7}{3} - \frac{4A_0}{3B_0P_0} \frac{\partial P_0}{\partial Y} \end{aligned}$$

Τώρα, το μοντέλο του συστήματος περιγράφεται από δύο γραμμικές Μερικές Διαφορικές Εξισώσεις (ΜΔΕ) και οι συνοριακές συνθήκες είναι $q(0,t) = q_0(t)$ και $q(X,t) = q_X(t)$. Ένας τρόπος να λυθεί το γραμμικό σύστημα ΜΔΕ των εξ. (7) είναι να εφαρμόσουμε μετασχηματισμό Laplace και να αναδιατάξουμε του όρους. Αυτό παράγει

ένα σύστημα ΣΔΕ ως προς την μεταβλητή x , μαζί με την παράμετρο s (την μεταβλητή Laplace) που έχει λύση:

$$\begin{pmatrix} y(0,s) \\ y(X,s) \end{pmatrix} = P(s) \begin{pmatrix} q(0,s) \\ q(X,s) \end{pmatrix} \quad (8)$$

όπου,

$$P(s) = \begin{bmatrix} -\frac{\gamma_{11}(s)}{\gamma_{12}(s)} & \frac{1}{\gamma_{12}(s)} \\ \gamma_{21}(s) - \frac{\gamma_{22}(s)\gamma_{11}(s)}{\gamma_{12}(s)} & \frac{\gamma_{22}(s)}{\gamma_{12}(s)} \end{bmatrix}$$

Η εξ. (8) μας δηλώνει ότι οι στάθμες στην αρχή και στο τέλος της δεξαμενής εξαρτώνται, με τρόπο ντετερμινιστικό, από την παροχή που εισέρχεται και την παροχή που εξέρχεται από την δεξαμενή.

Για να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα, αναλύουμε στο πεδίο της συχνότητας την συνάρτηση μεταφοράς που συνδέει την κάτω στάθμη $y(X,s)$ με την παροχή εισόδου $q(0,s)$ κάνοντας χρήση των διαγραμμάτων Bode του στοιχείου (2,1) του πίνακα $P(s)$. Αυτό παρέχει τη δυνατότητα να γίνει σύγκριση με τα διαγράμματα Bode άλλων γνωστών συναρτήσεων με χρονική καθυστέρηση για τις οποίες έχουν αναπτυχθεί κατάλληλες τεχνικές ελέγχου. Η επιλογή του προσεγγιστικού γραμμικού μοντέλου βασίζεται στην ομοιότητα των διαγραμμάτων Bode (Litrice and Fromion, 2004).

5. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΛΕΓΚΤΩΝ

Η στάθμη του ύδατος που θέλουμε να ελέγξουμε βρίσκεται στο κάτω μέρος της κάθε δεξαμενής (ελεγχόμενη μεταβλητή, έξοδος), απ' όπου και εξέρχεται ένα ποσοστό παροχής ύδατος προς τις αγροτικές εκμεταλλεύσεις. Αυτό επιτυγχάνεται με ρύθμιση της παροχής ύδατος που εισέρχεται από το πάνω μέρος της δεξαμενής (μεταβλητή ελέγχου, είσοδος), μέσω της αντίστοιχης θύρας. Αυτή η πολιτική ελέγχου αναφέρεται ως 'απομακρυσμένος έλεγχος της κατάντη στάθμης' (distant downstream control) και πλεονεκτεί κατά το ότι τελικά η ποσότητα ύδατος με την οποία η δεξαμενή τροφοδοτεί τον διάυλο σχετίζεται άμεσα με τις ανάγκες που έχουν οι εκμεταλλεύσεις, χωρίς να υπάρχει σπατάλη. Το μειονέκτημα έγκειται στην εμφάνιση χρονικής καθυστέρησης λόγω της μεταφοράς του ύδατος από την δεξαμενή στα κατώτερα σημεία του διαύλου.

Στην παράγραφο αυτή περιγράφουμε μία μέθοδο ρύθμισης των ελεγκτών PI με την οποία επιτυγχάνουμε προκαθορισμένα περιθώρια ενίσχυσης (κέρδους) και φάσης. Δεχόμαστε, για παράδειγμα, ότι το προσεγγιστικό γραμμικό μοντέλο (βλέπε προσομοιώσεις) είναι της μορφής:

$$G(s) = (K_p/s)e^{-\tau s} \quad (9)$$

όπου $K_p = 1/A$, το κέρδος της διεργασίας και τ η χρονική καθυστέρηση. Το μοντέλο αυτό ονομάζεται ID (Integral-Delay). Ο προτεινόμενος PI ελεγκτής έχει συνάρτηση μεταφοράς:

$$K(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right) \quad (10)$$

με K_c το κέρδος του ελεγκτή και T_I την περίοδο ολοκλήρωσης. Με δεδομένα τα περιθώρια ενίσχυσης (GM) και φάσης (PM) τα οποία εξασφαλίζουν την απαιτούμενη ευρωστία του συστήματος στις διαταραχές, προτείνεται (Kookos et al., 1999):

$$\tau\omega_{PC} = \frac{GM \left(PM - \frac{\pi}{2} \right) + \frac{\pi}{2} GM^2}{GM^2 - 1}$$

όπου ω_{PC} είναι η κρίσιμη συχνότητα. Τότε,

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \frac{GM}{\tau\omega_{PC}}$$

$$\beta = 4\tau\omega_{PC} \left(\frac{\pi}{2} - \tau\omega_{PC} \right)$$

και

$$K_C = \frac{\pi}{2K_p\tau\alpha}$$

$$T_I = \frac{4\tau}{\beta}$$

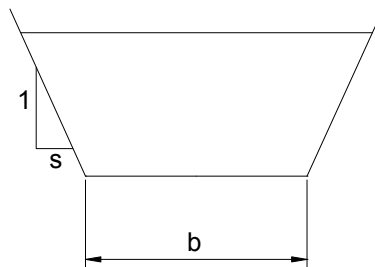
(11)

Αντικατάσταση των εξ. (11) στην εξ. (10) δίνει τον απαιτούμενο ελεγκτή.

6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

Θεωρούμε δύο δεξαμενές που έχουν τραπεζοειδή διατομή, σταθερή κατά το μήκος τους (Σχήμα 2) και με χαρακτηριστικά όπως στον Πίνακα 1. Τα διαγράμματα Bode των δύο δεξαμενών (γραμμικοποιημένες εξισώσεις Saint – Venant) και των προσεγγιστικών συναρτήσεων με χρονική καθυστέρηση (μοντέλο ID) συγκρίνονται στο Σχήμα 3. Οι καμπύλες της φάσης είναι πολύ κοντά και στις δύο περιπτώσεις. Αυτό σημαίνει ότι έχει γίνει πολύ καλή εκτίμηση των χρονικών καθυστερήσεων. Επιπρόσθετα, η συμπεριφορά ολοκληρωτή που παρουσιάζουν οι δεξαμενές στις χαμηλές συχνότητες, έχει μοντελοποιηθεί και αυτή πολύ καλά. Αντίθετα, η προσέγγιση του μοντέλου στις υψηλές συχνότητες δεν είναι καλή, ειδικά για την περίπτωση της δεξαμενής 1, που παρουσιάζει ταλαντωτική συμπεριφορά.

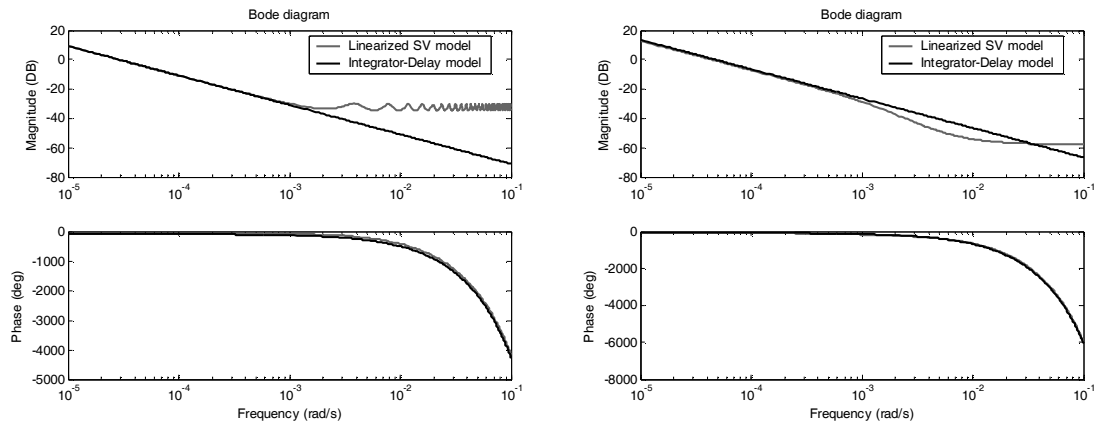
Για τις δύο δεξαμενές οι προδιαγραφές των περιθωρίων ενίσχυσης και φάσης είναι τουλάχιστον 10dB και 45 deg. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου. Ο Πίνακας 2 περιέχει τις τιμές των παραμέτρων του ελεγκτή και τα ζητού-



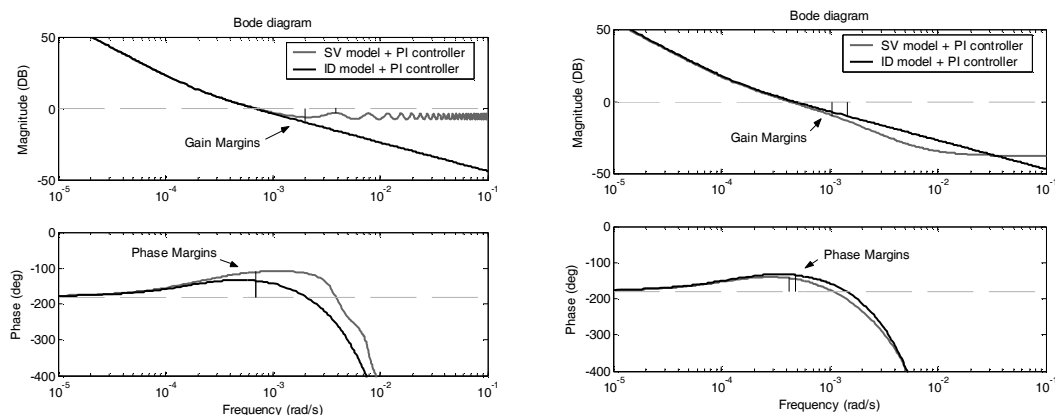
Σχήμα 2. Τομή δεξαμενής με τραπεζοειδή διατομή.

Πίνακας 1. Παράμετροι των δύο δεξαμενών.

	$X(m)$	s	$b(m)$	S	$n(m^{-1/3}s)$	$Y_n(m)$	$Q_{\max}(m^3/s)$
Pool 1	3000	1.5	7	0.0001	0.02	2	12.55
Pool 2	6000	1.5	8	0.0008	0.02	3	83.98



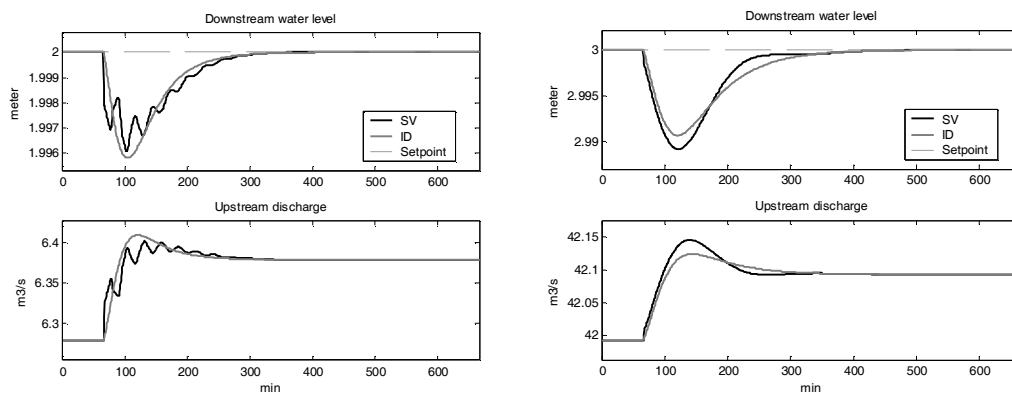
Σχήμα 3. Διαγράμματα Bode για τις δεξαμενές 1 και 2.



Σχήμα 4. Διαγράμματα Bode για τις δεξαμενές 1 και 2 με έλεγχο.

Πίνακας 2. Αριθμητικά αποτελέσματα του ελέγχου των δύο δεξαμενών.

	Παράμετροι μοντέλου		Παράμετροι Ελεγκτή		Περιθώριο Φάσης. (deg)		Περιθώριο Ενίσχυσης. (dB)	
	$A (m^2)$	$\tau (s)$	K_c	T_i	ID μοντέλο	S-V μοντέλο	ID μοντέλο	S-V μοντέλο
Δεξαμενή 1	34947	726	22.4	4871.1	45	68.6	10	3
Δεξαμενή 2	21168	1035	9.5	6947.3	45	36.9	10	9.1



Σχήμα 5. Αποκρίσεις και έλεγχος για τις δεξαμενές 1 και 2.

μενα περιθώρια ευστάθειας. Τέλος, το Σχήμα 5 απεικονίζει τις χρονικές αποκρίσεις των δύο δεξαμενών όταν αλλάζουμε την πλευρική παροχή κατά $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$. Οι αποκρίσεις των σταθμών των δεξαμενών, προήλθαν από προσομοίωση τόσο του πλήρους μη γραμμικού μοντέλου Saint-Venant όσο και του προσεγγιστικού μοντέλου ID. Επίσης, παρουσιάζονται και οι αντίστοιχες παροχές εισόδου (μεταβλητή ελέγχου).

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συμπεριφορά, τόσο του προσεγγιστικού μοντέλου όσο και του πραγματικού συστήματος, είναι ικανοποιητική και στις δύο περιπτώσεις δεξαμενών. Ειδικά στην περίπτωση της δεξαμενής 2, τα σήματα των δύο μοντέλων είναι αρκετά κοντά, που σημαίνει ότι η διαδικασία του ελέγχου είναι αρκετά επιτυχημένη. Στην περίπτωση της δεξαμενής 1, αν και ακολουθείται η βασική δυναμική συμπεριφορά του προσεγγιστικού μοντέλου, παρουσιάζονται σημαντικές ταλαντώσεις. Αυτές είναι κυματισμοί που δημιουργούνται στην επιφάνεια του ύδατος. Ωστόσο, το πρόβλημα των κυματισμών μπορεί να μειωθεί σημαντικά αυξάνοντας το περιθώριο ενισχυσης. Φυσικά, δεν πρέπει να μας διαφεύγει ότι τόσο η μοντελοποίηση όσο και ο έλεγχος βασίζονται στην γραμμικοποίηση γύρω από ένα σημείο λειτουργίας. Έτσι, όσο αποκλίνουμε από τις υδραυλικές συνθήκες σχεδίασης, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα να παρουσιαστούν αδυναμίες στο σύστημα ελέγχου. Επισημαίνεται, τέλος, ότι στην παρούσα εργασία, η βαθμονόμηση του ελεγκτή βασίζεται σε κλασσικά μέτρα ευρωστείας του ελέγχου (περιθώρια ενίσχυσης και φάσης). Άλλες μέθοδοι βαθμονόμησης του προτεινόμενου ελεγκτή, βασισμένες στην προσέγγιση του απειρομετρικού (H^∞) ελέγχου και στην παραδοχή παραμετρικών αβεβαιοτήτων είναι εύκολο να εφαρμοστούν, αν και αποδίδουν λιγότερο ικανοποιητικό κλειστό σύστημα σε σύγκριση με την προτεινόμενη τεχνική, λόγω της συντηρητικής φύσης της περιγραφής με αβεβαιότητες, η οποία είναι αναγκαία στον απειρομετρικό έλεγχο (πβλ. Kookos et al., 1999, για λεπτομέρειες).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Clemmens, A.J. and Schuurmans J., 2004. *Simple optimal downstream feedback canal controllers: theory*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 130(1): 26-34.
- Dulhoste, J.-F., Georges, D. and Besançon, G., 2004. *Nonlinear control of open-channel water flow based on collocation control model*. Journal of Hydraulic Engineering, 130(3):254-266.
- Henderson, F.M., 1966. *Open channel flow*. MacMillan Publishing Co., Inc., New York.
- Kookos, I.K., Lygeros, A.I. and Arvanitis, K.G., 1999. *On-line PI controller tuning for integrator/dead time processes*. European Journal of Control, 5: 19-31.
- Litrico, X. and Fromion, V., 2004. *Frequency modeling of open-channel flow*. Journal of Hydraulic Engineering, 130(8): 806-815.
- Malaterre, P.-O., 1998. *Pilote: Linear quadratic optimal controller for irrigation canals*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 124(4): 187-194.
- Malaterre, P.-O. and Baume, J.-P., 1998. *Modeling and regulation of irrigation canal: existing applications and on-going researches*. IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, (SMC98), San Diego, 3850-3855.
- Malaterre, P.-O., Rogers, D.C. and Schuurmans, J., 1998. *Classification of canal control algorithms*. J. Irrig. Drain. Eng., 124 (1): 3-10.
- Seatzu C., 1999. *Design and robustness analysis of decentralized constant volume-control for open channels*. Applied Mathematical Modelling, 23(6): 479-500.
- Seatzu C., 2000. *Decentralized controllers design for open-channel hydraulic systems via eigenstructure assignment*. Applied Mathematical Modelling, 24(12): 915-930.

ΧΡΗΣΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΕΓΓΥΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΦΩΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΡΑΧΙΔΑΣ

Α. Περιστερόπουλος¹, Γ. Βελλίδης², Σ. Φουντάς³ και Θ.Α. Γέμτος⁴

^{1,2,4}Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτ.

Παρ/γής και Αγρ. Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,

Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ. 38446

²Τμήμα Γεωργικής Μηχανολογίας και Βιολογίας, Ομάδα γεωργίας ακριβείας,

Πανεπιστήμιο Γεωργίας, Τίφτον, Γεωργία, Η.Π.Α. PO Box 748,

University of Georgia, Tifton, GA 31793-0748

E-mail: ²yiorgos@uga.edu, ⁴gemots@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αραχίδα είναι ψυχανθές, ποώδες φυτό που παρουσιάζει το φαινόμενο της γεωκαρπίας και καλλιεργείται για τα ελαιούχα σπέρματά του. Από διατροφικής και οικονομικής άποψης είναι πολύ σημαντικό να γίνει η συγκομιδή όταν ωριμάσει το μεγαλύτερο ποσοστό των καρπών που προσδιορίζεται με την παρατήρηση της αλλαγής του χρώματος του ενδοκαρπίου. Δυστυχώς δεν είναι σπάνιες οι λανθασμένες εκτιμήσεις λόγω της έλλειψης μίας μεθόδου υψηλής ακρίβειας πρόβλεψης του χρόνου συγκομιδής. Οι παραγωγοί, οδηγούνται σε πρόωρη συλλογή κάτω από την πίεση της αγοράς για πρωιμότητα. Δοκιμάστηκαν ανιχνευτές εγγύς υπέρυθρου φωτός (near infrared -NIR) για να δοθεί λύση στο παραπάνω πρόβλημα, συσχετίζοντας την υπέργεια εικόνα του φυτού με το στάδιο ωριμότητας των καρπών του. Τα πρώτα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά.

Λέξεις κλειδιά: αραχίδα, πρόβλεψη ωριμότητας, δείκτες βλάστησης NDVI-RVI.

PREDICTING PEANUT MATURATION WITH THE USE OF NEAR INFRARED (NIR) SENSORS

A. Peristeropoulos¹, G. Vellidis², S. Fountas³ and T.A. Gemtos⁴

^{1,3,4}Laboratory of agricultural engineering, Department of crop production and rural environment, School of agricultural science, University of Thessaly,

Fytokou street, N. Ionia, GR-384 46, Volos Greece

²University of Georgia, Biological and Agricultural Engineering, Georgia Precision Agriculture Team, P O Box 748, University of Georgia, Tifton, GA 31793-0748

E-mail: ²yiorgos@uga.edu, ⁴gemots@agr.uth.gr

ABSTRACT

Peanut is a legume plant, with geocarpic attitude that it is cultivated for its oily nuts. For nutrition and economically reasons is very important to predict the maturity of the largest percentage of kernels in order to determinate the best harvesting time. To do so, the colour of the pod mesocarp is examined, due to its correlation with the kernel maturity. Unfortunately, the lack of a more precise method, the growers run the risk of mistakes leading to wrong decisions for harvesting, especially under the pressure of the market for precocity. A reliable solution could be the use of near infrared sensors. In the present paper the hypothesis of the correlations of the plants spectral reflectance and the pods maturity was tested. The initial results are encouraging to continue the research.

Key words: Peanut, maturity prediction, vegetation indices, NDVI-RVI.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Αραχίδα (*Arachis hypogaea*) είναι ένα δικοτυλήδονο ψυχανθές που αξιοποιείται ως ετήσια καλλιέργεια για την παραγωγή καρπών (αράπικο φιστίκι), λίπους (φιστικοβούτυρο) και ελαίου (αραχιδέλαιο). Έχει θαμνοειδή ανάπτυξη και η ανθοφορία του διαρκεί όλη τη βλαστική περίοδο. Μετά την γονιμοποίηση, τα άνθη στρέφονται προς το έδαφος όπου εισέρχονται και εκεί αναπτύσσονται σε καρπίδια έως ότου θεωρηθούν ώριμοι προς συλλογή καρποί. Έχει μικρή αντοχή στο κρύο και απαιτεί άρδευση για ικανοποιητική απόδοση.

Λόγω της ιδιαίτερης ανθοφορίας του, το φυτό της αραχίδας δεν εκδηλώνει έναν ξεκάθαρο φαινότυπο τη στιγμή της πλήρους ωρίμανσης, καθώς δεν υπάρχει στιγμή πλήρους ωρίμανσης. Ενώ τα πρώτα άνθη έχουν εισέλθει στο έδαφος και εξελίσσονται σε καρπούς, νέα άνθη σχηματίζονται. Ένα μέγιστο ανθοφορίας οδηγεί σε ένα μέγιστο καρποφορίας και όταν αυτό το ποσοστό ωριμάσει τότε είναι η καταλληλότερη στιγμή για την εκρίζωση των φυτών και την συλλογή των καρπών. Θεωρείται δεδομένο ότι είναι αδύνατον να συλλεχθεί ολόκληρη η παραγωγή καθώς μέχρι να ωριμάσουν και τα τελευταία καρπίδια ένα μεγάλο ποσοστό των ήδη ώριμων θα έχει υπερωριμάσει και θα είναι ακατάλληλο για συλλογή. Κάτι τέτοιο συμβαίνει είτε γιατί στους ώριμους καρπούς αναπτύσσεται ο μύκητας *Aspergillus flavus* που όπως έχει αποδειχθεί οι μεταβολίτες του, γνωστοί ως αφλατοξίνες, είναι τοξικοί και θεωρούνται καρκινογόνοι, είτε οι καρποί απλώς σαπίζουν και καταστρέφονται στο έδαφος. Συμπερασματικά, η στιγμή συλλογής προσδιορίζεται προσεγγιστικά όταν μετά από ημιεμπειρικές παρατηρήσεις συμπεράνουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καρπών έχει ωριμάσει.

Παρ' όλη την ιδιαιτερότητα της αραχίδας και την έλλειψη μεθόδων για τον ακριβή προσδιορισμό της ωριμότητας, είναι θεμελιώδες να συλλεχθούν οι καρποί τη σωστή στιγμή. Προβλήματα συγκέντρωσης της αφλατοξίνης συνδέονται με πρώιμη και κυρίως με όψιμη συλλογή, ενώ αντίστοιχα δυσμενώς επηρεάζεται το αναμενόμενο ύψος της παραγωγής, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του καρπού και τέλος παρατηρείται μείωση της διάρκειας ζωής του κελύφους (Sanders και άλλοι, 1987). Ταυτόχρονα, η ωρίμανση των καρπών εξαρτάται από σειρά αστάθμητων παραγόντων όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους (βροχόπτωση), ενώ ειδικές γνώσεις όπως η ανταπόκριση της ποικιλίας στην κλιματικές συνθήκες της περιοχής και την εποχή σποράς θεωρούνται απαραίτητες για την εκτίμηση της κατάλληλης εποχής συγκομιδής. Η μέχρι τώρα διαδεδομένη μέθοδος προσδιορισμού της ωρίμανσης γίνεται μετά από δειγματοληψία σε περιοχές κλειδιά. Στηρίζεται στην αλλαγή του χρώματος του μεσοκαρπίου (hull scrape method) (Williams και Drexler, 1981) από το άσπρο (τελείως ανώριμο), στο υποκίτρινο, κίτρινο, πορτοκαλί, καφέ (ώριμο) και στο μαύρο (υπερώριμο) (Silvio και άλλοι, 2000). Παρά τις κατά καιρούς βελτιώσεις της μεθόδου, όπως πχ η αποκάλυψη του μεσοκαρπίου με νερό υπό πίεση (Williams και Monroe, 1986) αντί για την εκσκαφή με μαχαίρι, η απαίτηση σε εργασία και χρόνο παραμένει προβληματική. Για κάθε δειγματοληψία χρειάζονται κατά μέσο όρο από σαράντα πέντε λεπτά έως μία ώρα με συγκεκριμένο εξοπλισμό που αν και δεν είναι ιδιαίτερα ακριβός ή ογκώδης θεωρείται δύσχρηστος για την επί τόπου εφαρμογή στο χωράφι. Επί πλέον στηρίζεται σε προσωπικές εκτιμήσεις διαχωρισμού του χρώματος που αφ' ενός είναι ακατάλληλη για άτομα με αχρωματοψία (8% των ανδρών στις Η.Π.Α. έχουν κάποιας μορφής αχρωματοψία) (Pratt, 1991), αφ' ετέρου η έλλειψη εμπειρίας ή η επιθυμία για πρωιμότητα οδηγεί σε λανθασμένες εκτιμήσεις. Τέλος αποτελεί μόνο εκτίμηση της συνολικής ωριμότητας, καθώς στηρίζεται σε δειγματοληψίες, ακριβείς μόνο σε μικρά τεμάχια (Tollner και άλλοι, 1998).

Οι παραπάνω λόγοι οδήγησαν σε εκτεταμένη έρευνα για την εύρεση άλλων μεθόδων που είτε θα είναι αρκετά γρήγοροι και με μικρή προσπάθεια, είτε θα

προσφέρουν την δυνατότητα να ελέγχεται ολόκληρη η καλλιέργεια προκειμένου να συλλέγεται κάθε τμήμα της την καταλληλότερη στιγμή. Η τελευταία προσέγγιση συνδέεται άμεσα με μεθόδους γεωργίας ακριβείας και τηλεπισκόπησης (Shahin και άλλοι, 2000) όπως είναι η χρήση ανιχνευτών εγγύς υπέρυθρου φωτός (700 με 1500 nm) που αποτελούν κοινό εργαλείο τέτοιων μεθόδων. Ήδη μετρήσεις με τέτοιες συσκευές όπως το Crop Circle έχουν αποδείξει την χρησιμότητά τους σε συστήματα πρόβλεψης ωριμότητας και αποτελούν αξιόπιστα χρησιμοποιούμενα εργαλεία σε πολλές καλλιέργειες όπως στο βαμβάκι ή σε χορτοδοτικά φυτά

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει τη δυνατότητα εκτίμησης της ωριμότητας της αραχίδας με χρήση τηλεπισκόπησης και ειδικότερα δεικτών βλάστησης που μπορεί να παραχθούν από επίγεια μέσα μέτρησης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στην Περιοχή του Τιφτ (Τίφτον, Γεωργία, Η.Π.Α.) σε ένα αγρό 400 περίπου στρεμμάτων. Η καλλιέργεια ήταν ποτιστική σε αμμώδες έδαφος υπό την ποικιλία Georgia Green.

Ανιχνευτές εγγύς υπέρυθρου φωτός

Έγινε χρήση του ανιχνευτή Crop Circle που το λογισμικό του μας έδινε αντανάκλαση ορατού και εγγύς υπέρυθρου φωτός, βάση του οποίου υπολογίστηκαν οι δείκτες βλάστησης RVI (Ratio Vegetation Index) και NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) με την ακόλουθη εξίσωση.

RVI: Εγγύς υπέρυθρο / ερυθρό

NDVI: (Εγγύς υπέρυθρο – ερυθρό) / (Εγγύς υπέρυθρο + ερυθρό) (Nilsson, 1995).

Για τον υπολογισμό των δεικτών βλάστησης RVI και NDVI χρησιμοποιήθηκε ο ανιχνευτής crop circle ASC 210 της εταιρίας Holland Scientific, Inc (5011 South 73 rd Street, Lincoln, NE 68516-4236, Η.Π.Α.). Ήταν προσαρμοσμένος στο εμπρόσθιο τμήμα του ελκυστήρα σε απόσταση 75 εκατοστών (30 ιντσών) από το ύψος των φυτών. Η κεφαλή λήψης των μετρήσεων είχε στραφεί προς τα κάτω, κάθετα στην φυτική επιφάνεια, προκειμένου να σαρώνει μία περιοχή πλάτους 70 εκ. (28 ιντσών). Η αραχίδα ήταν σπαρμένη σε διπλές σειρές σε υπερυψωμένη γραμμή (σαμαράκι). Η απόσταση μεταξύ των ιδύμων σειρών ήταν 2,10 μ. (7 πόδια). Το άνοιγμα των τροχών του ελκυστήρα ήταν επίσης στα 2,10 μ. (7 πόδια) προκειμένου να περνά επάνω από την κάθε σειρά χωρίς να την καταστρέφει. Η σάρωση γινόταν ανά τρεις γραμμές και κατά μήκος όλης της γραμμής οπότε σαρώνονταν το 1/3 της συνολικής έκτασης του αγρού, περίπου 92 σειρές. Η ταχύτητα του ελκυστήρα ήταν μεταξύ 9 και 12 km/h (5 και 7 μίλια ανά ώρα) προκειμένου να αποφευχθούν οι ισχυρές αναταράξεις που ήταν δυνατό να επηρεάσουν τις μετρήσεις λόγω απόκλισης από τη θέση του οργάνου. Αν και κατά την διάρκεια της σάρωσης παρατηρήθηκαν αλλαγές στην ένταση του φωτός λόγω περιοδικής νέφωσης και της κίνησης του ηλίου (χρειάζονταν περίπου 6,5 ώρες για να σαρωθεί η έκταση) δεν υπάρχει λόγος αναξιοπιστίας καθώς ο ανιχνευτής στέλνει το δικό του φως σε υψηλή χρονική συχνότητα ώστε να μην επηρεάζεται από τις εξωτερικές συνθήκες.

Με τον όρο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, ορίζεται ολόκληρο το φάσμα της ακτινοβολίας μετρημένο σε μήκη κύματος. Για την γεωργική πρακτική τα μέρη του φάσματος που είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα είναι το ορατό (400-700 nm) που περιέχονται τα μήκη κύματος του ιώδους, πράσινου και κόκκινου και το εγγύς υπέρυθρο (700-1500 nm) που βρίσκεται σε αρκετά κοντινή περιοχή με το ορατό. Έχει παρατηρηθεί ότι τα υγιή φυτά απορροφούν την μεγαλύτερη ποσότητα στο μήκος του κόκκινου ενώ αντανάκλουν στο εγγύς υπέρυθρο. (Hopkins και άλλοι, 2004). Ακόμα και ίχνη χλωρώσεων που τα ανθρώπινα μάτια αδυνατούν να ανιχνεύσουν είναι απόλυτα ορατά με την χρήση δεικτών βλάστησης που το μαθηματικό τους μοντέλο στηρίζεται στα ποσοστά αντανά-

κλασης ορατού και υπερύθρου. Η μέθοδος στηρίζεται στην αλλαγή χρώματος των φύλλων που έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του ποσού αντανάκλασης. Η αυξομειώση της βιομάζας, χλωρωτικά φαινόμενα λόγω τροφопενίας ή ακραίων καιρικών συνθηκών και προσβολές στη φυλλική επιφάνεια είναι οι βασικοί λόγοι που επηρεάζουν το χρώμα της κόμης.

Για να ελεγχθεί η υπόθεση ότι μπορεί να εκτιμηθεί η ωριμότητα με τους δείκτες βλάστησης, παράλληλα με τον προσδιορισμό των RVI και NDVI μετριοῦνταν η ωριμότητα με την κλασσική μέθοδο δηλαδή με συλλογή δειγμάτων από το χωράφι και οπτική παρατήρηση. Μετά την πρώτη σάρωση στην υπό μελέτη έκταση, επιλεχτήκαν 10 σημεία δειγματοληψίας σύμφωνα με τις υποδείξεις του δείκτη βλάστησης RVI. Κάθε θέση αντιπροσώπευε μία ευρύτερη περιοχή κοινής τιμής RVI από όπου συλλέγονταν 10 φυτά αραχίδας σε μία απόσταση περίπου 10 μέτρων. Για την συλλογή κάθε ενός εκριζώνονταν τουλάχιστον 3 με 4 φυτά, διαχωρίζονταν προσεκτικά τα ακριανά και το μεσαίο συλλέγονταν σε πλαστικό σάκο στον οποίο αναγράφονταν ο αριθμός της θέσης δειγματοληψίας. Από τα 10 αυτά φυτά χρησιμοποιούταν συνήθως τα 9 ώστε να συγκεντρωθούν 200 περίπου καρποί και να γίνει ο χρωματικός έλεγχος του μεσοκαρπίου για τον προσδιορισμό της ωριμότητας με την κλασσική μέθοδο. Ταυτόχρονα λήφθηκαν δείγματα εδαφικής υγρασίας με το ανιχνευτή εδαφικής υγρασίας Spectrum Technologies TDR 300, της εταιρίας Fieldscout. Παράλληλα, τα 10 αυτά φυτά ανά θέση δειγματοληψίας, μετά τον προσδιορισμό ωρίμανσης, ξηραίνονταν σε κλίβανο και ζυγίζονταν ώστε να προσδιοριστεί το ξηρό τους βάρος (υπολογισμός βιομάζας).

2.1. ΚΛΑΣΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ

Τα υλικά που απαιτούνται είναι ένα δείγμα 200 περίπου καρπών, ένας μικρός συμπιεστής νερού με ένα συρμάτινο δοχείο και ο χρωματικός πίνακας (Σχήμα 1) με τον οποίο αξιολογήθηκε η ωριμότητα των καρπών βάση του χρώματος του μεσοκαρπίου. Ο πίνακας είναι χωρισμένος σε μία λευκή και πέντε χρωματικές ζώνες που υποδιαιρούνται σε 3 έως 6 κατηγορίες.



Σχήμα 1. Ο χρωματικός πίνακας προσδιορισμού της ωριμότητας της αραχίδας.

Αρχικά προσδιορίστηκε η ημερομηνία δειγματοληψίας. Μια μέση ποικιλία αραχίδας έχει βιολογικό κύκλο μεταξύ 125 και 145 ημερών. Στόχος ήταν να γίνουν τουλάχιστον 2 ή 3 δειγματοληψίες ώστε να υπάρξει μία εικόνα της διαβάθμισης του ποσοστού ωρίμανσης των καρπών και για αυτόν τον λόγο η πρώτη δειγματοληψία γίνεται περίπου στις 110 ημέρες από την σπορά. Στη συνέχεια, διαχωρίζουμε τον αγρό σε περιοχές δειγματοληψίας (δεδομένης της παραλλακτικότητας του αγρού) και παίρνουμε τόσα δείγματα όσες και οι υπό εξέταση περιοχές. Ένας τρόπος για να έχουμε αξιόπιστο δείγμα είναι να αφαιρούμε περίπου 10 φυτά από κάθε σημείο δειγματοληψίας προκειμένου να συγκεντρωθούν τουλάχιστον 200 καρποί. Στη συνέχεια συλλέγουμε τέσσερα φυτά ανά τρέχον μέτρο από τα οποία κρατούμε τα δύο κεντρικά έως ότου συγκεντρωθούν δέκα. Το κάθε δείγμα τοποθετείται σε διαφορετικό σάκο και αφού συγκεντρωθεί το σύνολο των δειγμάτων, από κάθε σάκο αφαιρούνται τόσα φυτά ώστε το σύνολο να

αποτελεί ένα δείγμα μεταξύ 200 και 220 καρπών. Σε περίπτωση που έχουν ήδη συγκεντρωθεί 200 καρποί αλλά στο φυτό από όπου συλλέχθηκε ο διακοσιοστός υπάρχουν και άλλοι, τότε γίνεται η συλλογή και των υπόλοιπων. Από το κάθε φυτό αφαιρούνται όλοι οι καρποί από τους μεγαλύτερους μέχρι και τους πιο μικρούς, διαμέτρου λίγων χιλιοστών (όσο περίπου και το κεφάλι ενός σπέρτου). Αρχικά διαχωρίζονται οι τελείως ανώριμοι και λευκοί καρποί, που ταξινομούνται βάση του σχήματος και του μεγέθους τους, και στη συνέχεια οι ωριμότεροι και αντίστοιχα όλο και πιο έγχρωμοι όπου ταξινομούνται μόνο βάση του χρώματός τους. Προφανώς οι μικροί και ανώριμοι καρποί δεν αποφλοιώνονται με πίεση νερού καθώς θα καταστρέφονταν, οπότε τοποθετούνται αμέσως στον χρωματικό πίνακα, είτε βάση του σχήματός τους για τους ιδιαζόντως ανώριμους που δεν έχουν αναπτύξει το χαρακτηριστικό καμπυλωτό σχήμα, είτε βάση του μεγέθους τους για τους λίγο ωριμότερους και συνήθως τελείως άχρωμους (Σχήμα 2). Για τον λόγο αυτό, η λευκή περιοχή του πίνακα είναι χωρισμένη όχι βάση της σταδιακής αλλαγής του χρώματος μα βάση της σταδιακής αλλαγής του σχήματος και του μεγέθους.



Σχήμα 2. Φωτογραφική απεικόνιση μέρους του χρωματικού πίνακα όπου φαίνεται η λευκή περιοχή με τους ανώριμους και μαλακούς καρπούς τοποθετημένους ανά μέγεθος και σχήμα και η κίτρινη με τους καρπούς ταξινομημένους ανά χρώμα.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι ο καρπός της αραχίδας αναπτύσσει το τελικό του μέγεθος προτού σκληρύνει εντελώς, οπότε κατά την πρώτη δειγματοληψία αναμένεται να βρεθούν αρκετοί πλήρως ανεπτυγμένοι μα ιδιαιτέρως μαλακοί καρποί που θα είναι αδύνατον να αποφλοιωθούν με πίεση νερού και θα τοποθετηθούν μόνο βάση του μεγέθους τους στον πίνακα καθώς ως ανώριμοι έχουν λευκό μεσοκάρπιο. Στους υπόλοιπους αφαιρούμε τους εξωτερικούς χιτώνες του εξωκαρπίου μέχρι το μεσοκάρπιο, είτε ξύνοντας με ένα μικρό μαχαίρι (μέθοδος για την εκτίμηση μόνο μικρών δειγμάτων) είτε με πίεση νερού. Στην δεύτερη περίπτωση τοποθετούμε το δείγμα των διακοσίων καρπών σε ένα συρμάτινο κυλινδρικό δοχείο με κενά αρκετά μεγάλα και με υπερυψωμένο πάτο ώστε να απομακρύνονται με ευκολία οι εξωτερικοί χιτώνες. Εφαρμόζοντας πίεση με ένα κοινό συμπιεστή νερού τα εξωτερικά και σαφώς μαλακότερα μέρη του καρπού ξεκολλούν και απομακρύνονται. Η πίεση που απαιτείται αρκεί να είναι περίπου μίας ατμόσφαιρας, ενώ τα ακροφύσια τύπου ομπρέλας με τα οποία σχηματίζεται κωνική δέσμη νερού, θεωρούνται τα καταλληλότερα. Οι πρόσφατα αποφλοιωμένοι καρποί πρέπει να ενυδατώνονται συνεχώς προκειμένου να μην αλλάξει το χρώμα τους λόγω της επαφής τους με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Το αντιπροσωπευτικότερο σημείο του καρπού, βάση του οποίου θα εκτιμήσουμε το χρώμα του μεσοκαρπίου, είναι το μέρος του λοβού που βρισκόταν ο ποδίσκος, δηλαδή στο σημείο ένωσης με το υπόλοιπο φυτό. Εναλλακτικά, κρίνουμε από την γενικότερη εικόνα του καρπού ιδίως στις περιπτώσεις

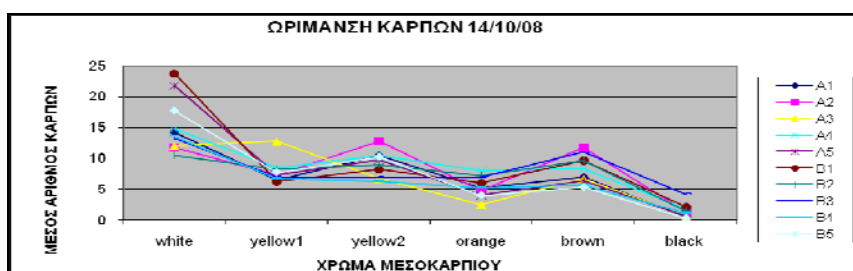
που είναι έντονα χρωματισμένος στο πρώτο μισό μέρος του και πολύ άχρωμος στο δεύτερο μισό, που συνήθως, ωριμάζει λίγο αργότερα. Προφανώς η εμπειρία του εκτιμητή παίζει σημαντικό ρόλο, μα με λίγες μόνο επαναλήψεις ο καθένας είναι ικανός να έχει μία γενική εικόνα της ωριμότητας του δείγματος χωρίς μεγάλες αποκλίσεις. Σημαντικό είναι να τονίσουμε ότι παρατηρούνται και λάθη από ψυχολογικούς παράγοντες, κυρίως λόγω της επιθυμίας των παραγωγών να συγκομίσουν νωρίτερα, τόσο ώστε παρερμηνεύουν τις χρωματικές διαφορές των μεσοκαρπίων και οδηγούνται σε λανθασμένες αποφάσεις.

Η μέτρηση των RVI και NDVI έγινε για ολόκληρη την επιφάνεια του αγρού ενώ της ωρίμανσης με την κλασσική μέθοδο περιορίζονταν στο σημείο δειγματοληψίας. Για αυτόν τον λόγο, έχοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες κάθε σημείου δειγματοληψίας, υπολογίστηκε ο μέσος όρος RVI και NDVI γύρω από τα σημεία αυτά σε κυκλικές περιοχές 10 και 20 μέτρων διαμέτρου. Στη συνέχεια έγιναν συσχετίσεις μεταξύ των ποσοστών ωρίμανσης και των μέσων όρων του RVI και NDVI των κυκλικών περιοχών επάνω από τα σημεία δειγματοληψίας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

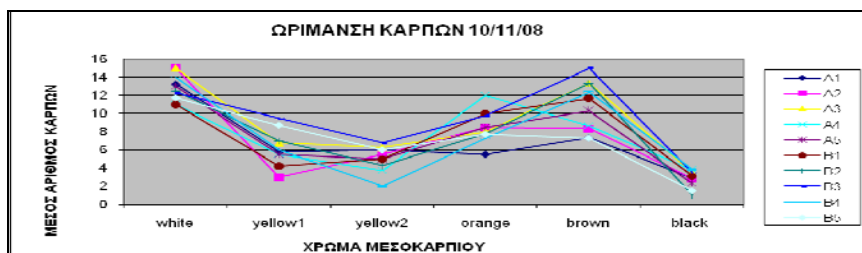
Στο αγρό που έγινε το πείραμα υπήρξαν ορισμένες κακές επιλογές του παραγωγού. Επέλεξε μια όψιμη ποικιλία ενώ έσπειρε αργά το χωράφι του. Γι' αυτό η ανθοφορία και κατ' επέκταση η ωρίμανση των καρπών δεν ακολούθησε τη συνηθισμένη πορεία ανάπτυξης καθώς το φυτό παρήγαγε συνεχώς νέα άνθη. Σε αυτό φαίνεται να συνετέλεσε και η υδατική καταπόνηση που παρατηρήθηκε σχεδόν καθ' όλη την διάρκεια της ανάπτυξης. Κάτι τέτοιο υποδεικνύει ο μέσος όρος της υγρασίας εδάφους που μετρήθηκε μετά από κάθε δειγματοληψία και κυμάνθηκε μεταξύ 2,66% έως 5,87%.

Η επιθυμητή ωρίμανση πρέπει να σχηματίζει μια κωδωνοειδή καμπύλη στον χρωματικό πίνακα. Σε περίπτωση υδατικής καταπόνησης, τροφопενίας ή ακραίων περιβαλλοντικών συνθηκών, το φυτό επιβραδύνει της ανάπτυξη των υπό ωρίμανση καρπών και δημιουργεί νέους με αποτέλεσμα να σχηματίζονται δύο ή και τρεις καμπύλες ανάπτυξης (Σχήματα 3 και 4) (Tollner και άλλοι, 1998). Στο σχήμα 3 φαίνονται τα τρία υψηλά σημεία, ένα στη περιοχή των άσπρων που σημαίνει πως το φυτό σχηματίζει νέους καρπούς, ένα στη περιοχή των κίτρινων 2, που δηλώνει ένα μέγιστο ημιώριμων καρπών και ένα τρίτο στη περιοχή των καφέ που κανονικά θα ήταν το σήμα ότι σύντομα θα έπρεπε να ξεκινήσει η συγκομιδή.



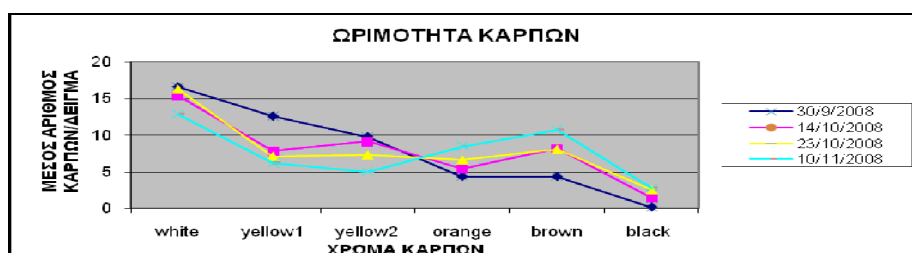
Σχήμα 3. Η πορεία της ανάπτυξης των καρπών στις 14 Οκτωβρίου 2008

Καθώς παρατηρήθηκε μη ομαλή ωρίμανση η απόφαση του καταλληλότερου σταδίου ωριμότητας υπόκειται σε προσωπικές εκτιμήσεις του παραγωγού. Στην παρούσα περίπτωση, ο παραγωγός αποφάσισε να μην συλλέξει και στην επόμενη μέτρηση βρέθηκε ένα δεύτερο μέγιστο στη ζώνη των καφέ (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Η πορεία ανάπτυξης των καρπών στις 10 Νοεμβρίου 2008

Βλέποντας τους μέσους όρους στα τελευταία στάδια ανάπτυξης διακρίνεται ότι συνεχώς παράγονται νέοι καρποί ενώ οι ήδη υπάρχοντες ωριμάζουν ανομοιόμορφα (Σχήμα 5).



Σχήμα 5. Η πορεία ανάπτυξης των καρπών καθ' όλη την διάρκεια της καλλιέργειας.

Γνωρίζοντας τα παραπάνω υπολογίστηκαν τα ποσοστά συσχέτισης μεταξύ των μέσων όρων των δεικτών RVI και NDVI γύρω από τα σημεία δειγματοληψίας και το ποσοστό των ώριμων καρπών (Πίνακας 1). Στις 14 Οκτωβρίου υπήρξαν οι υψηλότερες συσχετίσεις μεταξύ καφέ περιοχής και RVI-NDVI μετρήσεων, ίσες με 0,48. Υπολογίζοντας το t-κριτήριο βρέθηκε πως αυτές οι συσχετίσεις δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές οπότε και η αρχική υπόθεση απορρίπτεται.

Πίνακας 1. Συντελεστές συσχέτισης στις 14 Οκτωβρίου

Correlation	Orange	Brown	Black	Orange/Brown	Orange/Brown/Black
RVI average	-0.19	0.48	0.29	0.16	0.23
NDVI average	-0.17	0.48	0.30	0.17	0.24

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι ο μέσος όρος των δεικτών RVI και NDVI παρουσίασε μία συνεχή πτώση σε σχέση με τον χρόνο που δηλώνει ότι οι ανιχνευτές παρακολούθησαν την ωρίμανση της καλλιέργειας. Καθώς οι μετρήσεις είναι στιγμιαίες είναι αναμενόμενη η επίδραση παραγόντων όπως οι ατμοσφαιρικές συνθήκες ή η γωνία μέτρησης, καθώς και το δυναμικό σύστημα φυτά-ατμόσφαιρα-έδαφος (Ipoue 2003). Το υδατικό, θερμικό ή θρεπτικό σοκ που πιθανόν να υφίσταται η καλλιέργεια ίσως να μην επιδράσει άμεσα την ωρίμανση, αντίθετα όμως να αλλάξει κατά πολύ η αντανακλαστική ικανότητα της κόμης. Ο πιθανότερος λόγος που στο συγκεκριμένο πείραμα είχαμε χαμηλά ποσοστά συσχέτισης φαίνεται να είναι η ανομοιόμορφη άρδευση που προκαλούσε αναβλάστηση σχεδόν μετά από κάθε πότισμα, η επιλογή όψιμης ποικιλίας που οδήγησε σε καθυστερημένη ωρίμανση και ένας πρώιμος παγετός που κατέστρεψε ελαφρά μέρος της κόμης. Παρ' όλα τα παραπάνω, ο μέσος όρος των τιμών RVI και NDVI δημιουργεί αισιόδοξα μηνύματα για την συνέχιση των πειραμάτων με καλλίτερες προϋποθέσεις από του παρόντος πιλοτικού εγχειρήματος.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας εξάγονται τα εξής συμπεράσματα.

- 1) Οι δείκτες βλάστησης RVI και NDVI παρουσιάζουν ανταπόκριση σε σχέση με την ωρίμανση των καρπών της αραχίδας, αλλά με μικρά ποσοστά συσχέτισης τουλάχιστον στις δυσμενείς συνθήκες του παρόντος πειράματος.
- 2) Το μεγαλύτερο ποσοστό συσχέτισης βρέθηκε στην καφέ περιοχή, η οποία αντιπροσωπεύει περισσότερο την ωρίμανση, σε στάδιο ανάπτυξης κοντινό μίας πιθανής συγκομιδής.
- 3) Παρατηρήθηκε παραλλακτικότητα μεταξύ πειραματικών σταθμών, κάτι που δίνει δυνατότητες σταδιακής συγκομιδής ανάλογα το ποσοστό ωρίμανσης και όχι μονοκόμματα, ολόκληρου του αγρού.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Carley, S.D., 2006. *Potential use of hyper-spectral and multi-spectral remote sensing imagery to enhance management of peanut (Arachis hypogaea L.)*. Ph.D. Thesis. North Carolina State University. USA.
- Hopkins, W.G., Huner, N.A., 2004. *Introduction to Plant Physiology*. John Wiley and sons, Inc. USA, pp 367-370.
- Inoue, Y., 2003. *Synergy of remote sensing and modeling for estimating ecophysiological processes in plant production*. Plant production science, Vol 6: 3-16.
- Nilsson, H., 1995. *Remote sensing and image analysis in plant pathology*. Annual Review Phytopathology 33:489-528.
- Pratt, W.K., 1991. 2nd Ed. *Digital Image Processing*. New York, N.Y.: John Wiley & Sons.
- Sanders, T.H., Vercellotti, J.R., Giville, G.V., 1987. *Flavormaturity relationship of flurrunner peanuts*. APRES 19: 42
- Shahin, M.A., Verma, B.P., Tollner, E.W., 2000. Transactions of ASAE. Vol.43(2):483-490.
- Silvio, H.L., McClendon, R.W. Tollner, E.W., 2000. *Improving peanut maturity prediction using a hybrid artificial neural network and fuzzy inference system*. Proceedings of the 13th International Conference on Industrial and Engineering Application of Artificial Intelligence and Expert Systems, IEA/AIE 2000, New Orleans, Louisiana, USA, pp 543-548.
- Tollner, E.W. Boudolf, V., McClendon, R.W., Hung, Y.-C., 1998. *Predicting peanut maturity with magnetic resonance*. Transactions of ASAE. Vol.41(4): 1199-1205
- Williams, E.J., Drexler, J.S., 1981. *A nondestructive method for determining peanut pod maturity*. Peanut Sci. 8(2): 134-141.
- Williams, E.J., Monroe, G.E., 1986. *Impact blasters for peanut pod maturity determination*. Transactions of the ASAE 29(1): 263-266, 275