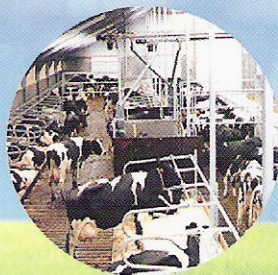


4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

6 - 8 Οκτωβρίου 2005



ΠΡΑΚΤΙΚΑ
ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΛΗΨΕΩΝ



ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ

Ε.Γ.Μ.Ε.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας (Ε.Γ.Μ.Ε.) διανύει τον 13^ο χρόνο ύπαρξής της. Ιδρύθηκε τον Ιούλιο του 1993 με έδρα την Αθήνα και είναι μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης Γεωργικών Μηχανικών (EurAgEng). Η επωνυμία της αποδίδεται στην αγγλική ως “Hellenic Society of Agricultural Engineers” (HelAgEng). Τα τακτικά μέλη της υπερβαίνουν τα 100.

Το παρόν τεύχος των πρακτικών περιέχει 87 επιστημονικές ανακοινώσεις που παρουσιάστηκαν στο 4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, το οποίο έλαβε χώρα στην Αθήνα στις 6 και 7 Οκτωβρίου 2005. Για την κρίση των εργασιών αυτών τόσο για ανακοίνωση όσο και για δημοσίευση στα Πρακτικά, εργάστηκαν μέλη της Επιστημονικής Επιτροπής καθώς και άλλοι ειδικοί επιστήμονες. Το συνέδριο οργανώθηκε υπό την αιγίδα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Το Συνέδριο δίνει την ευκαιρία στο Επιστημονικό δυναμικό της χώρας μας να παρουσιάσει την Επιστημονική πρόοδο και τις νέες μεθόδους προσέγγισης που αφορούν τη διαχείριση των εδαφικών και υδάτινων πόρων, τα γεωργικά μηχανήματα, τις αγροτικές κατασκευές, τη συντήρηση και επεξεργασία των γεωργικών προϊόντων, την ενέργεια και ειδικά τις ανανεώσιμες πηγές της, νέες τεχνολογίες και ως επιστέγασμα όλων το περιβάλλον. Απευθύνεται σε πτυχιούχους θετικών επιστημών, οι οποίοι είτε λόγω μεταπτυχιακής εκπαίδευσης, είτε λόγω μακράς ενασχόλησης απέκτησαν γνώσεις και εμπειρία σε ένα ή περισσότερα από τα παραπάνω γνωστικά αντικείμενα.

Η συζήτηση και τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από το Συνέδριο πιστεύουμε ότι θα εδραιώσουν το ρόλο του Γεωργικού Μηχανικού στη χώρα μας. Εκφράζονται θερμές ευχαριστίες προς τα μέλη της Οργανωτικής και της Επιστημονικής Επιτροπής του συνεδρίου, τους συγγραφείς και τους κριτές των εργασιών που αφιέρωσαν πολύτιμο χρόνο για την επιστημονικά αρτιότερη εμφάνιση του συνεδρίου.

Προς την Πρυτανεία του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών καθώς και τους άλλους χορηγούς και εκθέτες απευθύνονται ειλικρινείς ευχαριστίες για την οικονομική ενίσχυση που προσέφεραν ώστε να πραγματοποιηθεί με επιτυχία το παρόν συνέδριο.

Αθήνα, Οκτώβριος 2005

Καθηγητής Γρηγ. Π. Λαμπρινός

Πρόεδρος Οργανωτικής Επιτροπής

Οργανωτική Επιτροπή

Γρ. Λαμπρινός Πρόεδρος Ε.Γ.Μ.Ε.
Γ. Παπαδάκης Γεν. Γραμματέας Ε.Γ.Μ.Ε.
Λ. Γερονικολού Ταμίας Ε.Γ.Μ.Ε.
Γ. Κυριακαράκος Μέλος Ε.Γ.Μ.Ε.
Γ. Παπαγεωργίου Μέλος Ε.Γ.Μ.Ε.
Γ. Ξανθόπουλος Μέλος Ε.Γ.Μ.Ε.

Επιστημονική Επιτροπή

Αγγελίδης Σ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Ακριτίδης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Π.Θ.
Αρβανίτης Κ. Επ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Ασημακόπουλος Ι., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Βαλιάντζας Ι., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Βάλμης Σ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Γέμτος Θ., Καθηγητής Π.Θ.
Γεωργακάκης Δ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Κερκίδης Π., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Κίττας Κ., Καθηγητής Π.Θ.
Κόλλια Β., Καθηγήτρια Γ.Π.Α.
Κοσμάς Κ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Κυρίτσης Σ., Ομ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Λιακατάς Α. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μαρτζόπουλος Γ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μαυρογιαννόπουλος Γ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μπριασούλης Δ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Παναγάκης Π. Επ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παπαδάκης Γ. Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παρισόπουλος Γ., Δ/ντης Ι.Γ.Ε.Μ.Κ., ΕΘ.Ι.Α.Γ.Ε.
Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.
Συγριμής Ν., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Τζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Τσατσarella Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Φραγκουδάκης Α. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Χαϊντούτη Κ., Καθηγήτρια Γ.Π.Α.

Ευχαριστίες

Η Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος εκφράζει τις θερμές της ευχαριστίες της στους πενήντα περίπου συναδέλφους που ανέλαβαν το δύσκολο και όχι τόσο ευχάριστο έργο της κρίσης και διόρθωσης των Επιστημονικών Εργασιών του Συνεδρίου, μέσα στο κατακαλόκαιρο θυσιάζοντας πολύτιμο χρόνο και από τις διακοπές τους.

Γρ. Λαμπρινός
Πρόεδρος ΕΓΜΕ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΣΗΓΗΤΩΝ

Blackmore S. Griepentrog H. Kurstjens D. Mohamed E. Mueller J. Pedersen S. Vahdati M. Wembe-Foba-Kue F.F. Αγγελίνας Π. Αγγελοπούλου Α. Ακριτίδης Κ. Αλεξάνδρου Α. Αλεξίου Ι. Αμπατζίδης Γ. Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε. Αναστασίου Α. Αντωνόπουλος Β. Αραβαντινός Ε. Αρβανίτης Κ. Αργυροκαστρίτης Ι. Αργυροπούλου Κ. Αρχοντούλης Σ. Ασημακόπουλος Α. Βαβουλίδου Ε. Βαλιάντζας Ι. Βάλμης Σ. Βαρλάγκας Η. Βασιλάρου Α. Βαφειάδης Δ. Βελιώτης Ι. Βουγιούκας Σ. Γέμτος Θ. Γερωνικολού Λ. Γεωργακάκης Δ. Γεωργακόπουλος Γ. Γεωργίου Π. Γεωργούσης Χ. Γιαλαμάς Θ. Γιαννόπουλος Σ. Γιαννοπούλου Ι. Γιαννούλας Β. Γκαγκάκη Α. Γκούμας Κ. Γράβαλος Ι. Δαναλάτος Ν. Δεδούσης Α. Δέρκας Ν. Δημητριάδης Α. Δημοπούλου Κ. Διαμαντοπούλου Μ. Δουλγέρης Χ. Δραγοΐδου Κ. Δρόσος Β. Ελμαλόγλου Σ.	Ζαβάκος Γ. Ζαλίδης Γ. Ζήσης Θ. Ζουμπανιώτης Α. Θεοχάρης Μ. Ιωσηφίδης Α. Καβαλάρης Χ. Καλαβρουζιώτης Ι. Καλαμπίδης Δ. Καλλιτσάρη Χ. Καλύβας Δ. Καλφούντζος Δ. Καραγιάννης Ε. Καραγιάννης Κ. Καραμούτης Χ. Καραντούνιας Γ. Καραρίζος Π. Κάργας Γ. Κατέρης Δ. Κατσούλας Ν. Καυγά Α. Κερκίδης Π. Κίττας Κ. Κλάδης Γ. Κόκκορα Μ. Κόκκορας Ι. Κόλλια Β. Κουκλίδης Χ. Κούρτης Α. Κουτσοφίτης Ζ. Κουφάκη Α. Κρικοριάν Α. Κυριακαράκος Γ. Κυριακίδης Ν. Κυρίτσης Σ. Κωτσόπουλος Θ. Κωτσόπουλος Σ. Λαμνάτου Χ. Λαμπρινός Γ. Λάμπρου Δ. Λόντρα Π. Λύχνος Γ. Μαθιουλάκης Ε. Μαλάμος Ν. Μαλέτσικα Π. Μανώλης Κ. Μανωλοπούλου Ε. Μαρίτσα Ι. Μαρτζόπουλος Γ. Μητρόπουλος Δ. Μισοπολινός Ν. Μπαλτάς Ε. Μπαμπατζιμόπουλος Χ. Μπαμπίλης Δ. Μπαντή Μ.	Μπαρτζάνας Θ. Μπελεσιώτης Β. Μπουροδήμος Γ. Μπόχτης Δ. Μπριασούλης Δ. Μυγδάκος Ε. Νάνος Γ. Νάτσης Α. Νικήτα- Μαρτζοπούλου Χ. Νικολαΐδης Χ. Ντιούδης Π. Ξανθόπουλος Γ. Ξένος – Κοκολέτσης Π. Οικονόμου Ν. Σούλης Κ. Πανώρας Α. Παπαγιαννοπούλου Α. Παπαδάκης Γ. Παπαθανασίου Ι. Παπαϊωάννου Χ. Παπαμιχαήλ Δ. Παρισόπουλος Γ. Παστρωμάς Γ. Πατεράκη Π. Ράππος Ε. Ράπτης Ι. Ρήγκου Μ. Ροζάκης Σ. Σάββας Δ. Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη Μ. Σακκάς Χ. Σαπουνάς Α. Σεραφείμ Γ. Σερσελούδης Χ. Σιώμος Α. Σουλιώτης Μ. Σταυρινός Ε. Συγριμής Ν. Συκιώτης Ι. Ταμβακίδης Σ. Τερζίδης Γ. Τζιμόπουλος Χ. Τριαντακωνσταντής Δ. Τρυπαναγνωστόπουλος Ι. Τσάκαλος Α. Τσατσαρέλης Κ. Τσιτσιπής Ι. Φασουλή Β. Φιλίντας Α. Φουντάς Σ. Χαλούλης Ι. Χατζής Ε. Χατζησπύρογλου Ι. Χριστοπούλου Ν.
--	--	--

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΝΟΤΗΤΑ 1: ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΦΥΓΡΑΝΣΗ	
Θ. Μπαρτζάνας, Κ. Κίττας.....	1
ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΦΑΚΩΝ FRESNEL	
Μ. Σουλιώτης, Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος, Α. Καυγά.....	10
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΧΤΥΩΝ ΕΝΤΟΜΟΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΡΥΘΜΟ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ	
Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας, Θ. Μπαρτζάνας.....	19
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΧΑΜΗΛΩΝ ΤΟΥΝΕΛ ΜΕ ΒΙΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΑ ΦΥΛΛΑ ΚΑΛΥΨΗΣ	
Δημήτρης Μπριασούλης.....	28
ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	
Νικόλαος Κατσούλας, Κωνσταντίνος Κίττας.....	38
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΥΡΒΗΣ.	
Α. Σαπουνάς, Θ. Μπαρτζάνας, Χ. Νικήτα – Μαρτζοπούλου, Κ. Κίττας.....	48
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΟΛΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ	
Ν. Οικονόμου, Γρ. Λαμπρινός.....	57
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΡΠΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ	
Π. Μαλέτσικα, Χ. Παπαϊωάννου, Α. Σιώμος, Κ. Κίττας.....	65

ΕΝΟΤΗΤΑ 2: ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

I. Γράβαλος, I. Ράπτης, Δ. Κατέρης, I. Βελιώτης, Γ. Σεραφείμ.....	71
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	
Θ.Α. Γιαλαμάς, I.Γ. Γράβαλος, Α.Θ. Φιλίντας, Ζ.Ι.Κουτσοφίτης.....	80
ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΥΤΟ-ΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ	
Σ. Φουντάς, S. Pedersen, S. Blackmore, Θ. Γέμτος.....	89
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ Ν. ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑΣ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΑΕΙΦΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	
Γ. Παστρωμάς, I. Καλαβρουζιώτης, Α.Νάτσης.....	98
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΘΩΡΙΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΙΩΜΕΝΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	
Χ. Καβαλάρης, Ε. Μυγδάκος, Θ.Α. Γέμτος.....	107
ΕΠΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΕΔΑΦΟΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΓΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	
I. Παπαθανασίου, Χρ. Καραμούτης, Θ.Α. Γέμτος.....	116
ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΕΝΤΕ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ	
Α. Αγγελοπούλου, Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Ε. Βαβουλίδου, Θ. Γέμτος.....	125
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΑΠΛΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΘΡΑΥΣΤΩΝ	
Γεώργιος Α. Καραντούνιας, Γεώργιος Δ. Κυριακαράκος.....	134
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΤΗΣ ΣΠΟΡΟΚΛΙΝΗΣ	
Χ. Καβαλάρης, Α. Αλεξάνδρου, Θ.Α. Γέμτος.....	142
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ	
Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Δ. Παπαμιχαήλ, Θ.Α. Γέμτος.....	151
Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΜΠΕΛΩΝΑ ΣΤΟ ΔΕΙΚΤΗ Β ΑΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	
Κρικοριάν Α., Νάτσης Α, Αργυροκαστρίτης I ,Βάλμης Σ.....	159
ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΤΩΝ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΜΕ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	
Α.Π. Δεδούσης, D. Kurstjens, J. Mueller.....	167
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ	

ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΛΩΡΙΔΕΣ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ	
Θ.Α. Γέμτος, Χρ. Καβαλάρης, Χρ. Καραμούτης.....	176
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΦΘΑΡΜΕΝΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	
Ι. Γράβαλος, Θ. Γιαλαμάς, Ι. Ράπτης, Δ. Κατέρης.....	185

ΕΝΟΤΗΤΑ 3: ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΩΝ	
Ταμβακίδης Στέλιος, Κουκλίδης Χαράλαμπος, Μαρτζόπουλος Γεράσιμος.....	194
ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟ CO ₂	
Βαφειάδης Δ., Κωτσόπουλος Θ., Νικήτα- Μαρτζοπούλου Χ.....	203
ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΩΝ	
Χρυσοβαλάντου Λαμνάτου, Γεώργιος Παπαδάκης, Στυλιανός Ροζάκης.....	211
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΤΟΥ Η ₂ ΩΣ ΜΕΣΟ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	
Γ. Κυριακαράκος, Γ. Παπαδάκης.....	220
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΕΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ	
Essam Sh. Mohamed, Γ. Παπαδάκης, Ε. Μαθιουλάκης, Β. Μπελεσιώτης.....	231
ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΛΥΜΑΤΑ ΑΓΕΛΑΔΩΝ	
Κωτσόπουλος Θ., Βαφειάδης Δ., Μαρτζόπουλος Γ.....	240
ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΥΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕΣΩ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ-ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	
Γ. Κυριακαράκος, Γ. Παπαδάκης.....	248
ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ	
Λουκία Γερονικολού, Σπύρος Κυρίτσης.....	258
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΛΑΔΙΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	
Λ. Γερονικολού, Ν. Δαναλάτος, Σ. Αρχοντούλης, Γ. Παπαδάκης.....	268
ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	
Γ. Λύχνος, Γ. Λαμπρινός, Μ. Μ. Vahdati.....	279
Ο ΝΟΜΟΣ 3175/2003 ΩΣ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	

A. Στοϊμενίδης, Γ. Μαρτζόπουλος.....	289
--------------------------------------	-----

ΕΝΟΤΗΤΑ 4: ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΗ- ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ - ΑΣΦΑΛΕΙΑ

ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ-ΝΕΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΜΙΑ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΗ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	
A. Παπαγιαννοπούλου, Χ. Σακκάς, Γ. Κλάδης, Γ. Παρισόπουλος.....	296
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ 6 ΤΟΥ ΟΕCD ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΑΣΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ	
A. Ζουμπανιώτης, Α. Νάτσης, Γ. Παπαδάκης, Χ. Σερσελούδης.....	305
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΤΡΑΠΕΖΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΓΩΝΙΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ	
Θ.Α. Γιαλαμάς, Ι.Α. Χαλούλης, Ζ.Ι. Κουτσοφίτης, Α.Θ. Φιλίντας, Κ.Α. Τσατσαρέλης, Α.Η. Τσάκαλος, Κ.Η. Μανώλης.....	318
ΨΕΚΑΣΤΙΚΑ: ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ	327
Νικολαΐδης Χ.Π., Θ.Α. Γέμτος, Ι.Α. Τσιτσιπής.....	
ΕΛΕΓΧΟΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ – ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ & ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	
Χ. Σακκάς, Α. Παπαγιαννοπούλου, Γ. Παρισόπουλος.....	336
ΤΟ ΓΕΩΡΓΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ Η ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ	
Γ. Γεωργακόπουλος.....	346
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙΝΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ	
Γ. Μπουροδήμος, Α. Παπαγιαννοπούλου, Π. Αγγελίνας, Χ. Σακκάς, Γ. Παρισόπουλος.....	350

ΕΝΟΤΗΤΑ 5: ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ ΤΗΣ ΔΑΔΙΑΣ ΕΒΡΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Π.Σ.	
Δ. Π. Τριαντακωνσταντής, Β. Ι. Κόλλια, Δ. Π. Καλύβας.....	359
ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΩΝ ΑΥΓΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	
Κ. Αργυροπούλου, Νικολ. Χριστοπούλου, F.F. Wembe-Foba-Kue, Δ. Γεωργακάκης.....	369
Η ΕΚΠΛΥΣΗ ΤΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ Π. ΣΤΡΥΜΩΝΑ- ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ	
Ε. Σταυρινός.....	380
Ο ΤΑΡΑΤΣΟΚΗΠΟΣ ΩΣ ΜΕΣΟΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ	
Δ. Ι. Μπαμπίλης, Π. Λόντρα.....	388
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ G.P.S. ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ	
Καραγιάννης Ευάγγελος, Καραρίζος Πλούταρχος, Δρόσος Βασίλειος, Γιαννούλας Βασίλειος.....	394
ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΥΟ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΜΗΛΩΝ	
Ε. Ράππος, Α. Αγγελοπούλου, Ι. Παπαθανασίου, Θ.Α. Γέμτος, Γ. Νάνος.....	403
ΑΚΡΙΒΗΣ ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΕΙΠΤΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΙΛΤΡΟΥ KALMAN	
Αμπατζίδης Γ., Βουγιούκας Σ., Blackmore B.S.....	412
ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ	
Καραρίζος Πλούταρχος Καραγιάννης Ευάγγελος, Δρόσος Βασίλειος, Γιαννούλας Βασίλειος.....	421
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ ΜΕΣΑ ΣΕ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ - ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΔΡΟΜΩΝ	
Βασίλειος Κ. Δρόσος, Βασίλειος Ι. Γιαννούλας, Ευάγγελος Α. Καραγιάννης, Πλούταρχος Β. Καραρίζος.....	429
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	
Βουγιούκας, Σ., Blackmore, Σ., Griepentrog, H., Φουντάς, Σ.....	438
ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ	
Ευάγγελος Μπαλτάς.....	447
HORTIMED-DSS ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	
Α. Αναστασίου, Δ. Σάββας, Κ.Αρβανίτης, Ν. Συγριμής.....	457
ΠΟΛΥΠΡΑΚΤΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ ΤΗΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ	

Δ. Λάμπρου, Α. Αναστασίου, Η. Βαρλάγκας, Κ. Αρβανίτης, Ν. Συγριμής.....	467
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΣΕ ΕΝΑ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΟ Γ.Π.Σ.	
Δ. Π. Τριαντακωνσταντής, Β. Ι. Κόλλια, Δ. Π. Καλύβας.....	476

ΕΝΟΤΗΤΑ 6:

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΙΣΟΔΟ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ	
Δ. Μπόχτης, Σ. Βουγιούκας, Κ. Ακριτίδης.....	489
ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΕΚΛΥΟΜΕΝΟ CO ₂ , ΜΗΛΩΝ ΠΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	
Δ. Μητρόπουλος, Γρ. Λαμπρινός.....	499
ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΟΥ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΔΙΑΛΥΤΑ ΣΑΚΧΑΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΛΩΝ DELICIOUS PILAFA.	
Δ. Μητρόπουλος, Ε. Μανωλοπούλου, Γρ. Λαμπρινός.....	508
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΟΜΜΕΝΟΥ ΕΤΟΙΜΟΥ ΓΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ	
Ι. Μαρίτσα, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Λαμπρινός.....	516
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΗΛΩΝ DELICIOUS PILAFA ΚΑΙ GRANNY SMITH ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥΣ.	
Δ. Μητρόπουλος, Γρ. Λαμπρινός, Ε. Αραβαντινός.....	526
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΥΚΩΝ ΣΕ ΜΟΝΗ ΣΤΡΩΣΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	
Γ. Ξανθόπουλος, Ν. Οικονόμου, Ε. Μανωλοπούλου, Γρ. Λαμπρινός.....	535
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΜΩΛΩΠΙΣΜΟ ΤΡΙΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΜΗΛΩΝ	545
Χ. Παπαϊωάννου, Μ. Κόκκορα, Π. Ντιούδης, Ι. Κόκκορας.....	
ΜΕΤΑΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΧΛΩΡΙΟΥΧΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ΣΕ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΨΥΞΗ ΠΙΠΕΡΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	
Α. Κουφάκη, Ε. Μανωλοπούλου.....	552
Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΝΟΗ ΚΑΙ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΜΑΝΤΑΡΙΝΙΟΥ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ “ENCORE”	
Γ. Λύχνος, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου, Ι. Συκιώτης.....	561
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ	

ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗΤΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΥΚΩΝ	
N. Οικονόμου, Γ. Ξανθόπουλος, Γρ. Λαμπρινός.....	571
ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	
Ε. Χατζής, Γ. Ξανθόπουλος, Γρ. Λαμπρινός, Α. Κούρτης.....	580
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΜΑΝΙΤΑΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΥ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΥΠΕΡΘΕΡΜΟΥ ΑΤΜΟΥ	
Αυγερινός Ν. Δημητριάδης.....	588
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΩΝ ΛΕΜΟΝΙΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ “ΜΑΓΛΗΝΟ”	
Α.-Μ. Βασιλάρου, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Λαμπρινός.....	598
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΟΛΥΔΥΝΑΜΟΥ ΨΥΓΕΙΟΥ	
Ε. Χατζής, Π. Ξένος – Κοκολέτσης, Γρ. Λαμπρινός.....	606
ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΡΕΠΤΟΥ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ	
Μ. Ρήγκου, Δ. Μητρόπουλος, Π. Πατεράκη, Γ. Λαμπρινός.....	614

ΕΝΟΤΗΤΑ 7^η ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΙΚΡΟΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΕΠΙΚΛΙΝΗ ΕΔΑΦΗ	
Ι.Δ.Βαλιάντζας, Α.Ασημακόπουλος, Ν.Δέρκας, Κ.Σούλης.....	624
ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	
Μ. Θεοχάρης, Χ. Τζιμόπουλος, Σ. Γιαννόπουλος, Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη.....	640
ΑΡΔΕΥΣΗ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ ΜΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΣΤΑΓΟΝΑ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΝΕΡΟΥ	
Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Κ. Δημοπούλου	650
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ.	
Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Κ. Δημοπούλου	658
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΤΟΜΩΝ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗ ΕΔΑΦΩΝ	
Κάργας Γ., Αργυροκαστρίτης Ι., Π. Κερκίδης.....	667
ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΛΙΒΑΔΙΟΥ Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ	
Δ. Καλφούντζος, Γ. Ζαβάκος, Ι. Καλαβρουζιώτης, Ι. Αλεξίου, Σ. Κωτσόπουλος , Κ. Γκούμας, Κ. Δραγοΐδου.....	677
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ ΥΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΗΓΗ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ, ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΥΠΟΨΗ ΤΗΝ ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΠΝΟΗ	
Νικόλαος Μαλάμος, Σταμάτης Ελμαλόγλου.....	687
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΣΥΛΛΟΓΙΚΩΝ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ-ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ ΗΛΕΙΑΣ	
Αικ. Γκαγκάκη, Ν.Δέρκας, Γ.Καραντούνιας.....	700
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	
Χ. Καλλιτσάρη, Χ. Γεωργούσης, Χ. Μπαμπατζιμόπουλος, Α.Πανώρας, Δ.Καλαμπίδης.....	711
ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΡΟΕΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΛΩΡΙΔΕΣ	
Ιωάννης Ι. Χατζησπύρογλου, Ευαγγελία Αναστασιάδου-Παρθενίου.....	721
ΡΗΤΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΥΖΥΓΩΝ ΒΑΘΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΑΛΜΑΤΟΣ ΣΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ	
Γεώργιος Α. Τερζίδης, Μαρία Δ. Μπαντή.....	731
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΒΟΛΒΗΣ	
Ι. Γιαννοπούλου, Δ. Παπαμιχαήλ, Β. Αντωνόπουλος.....	740
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΗΣ Β. ΕΛΛΑΔΑΣ	

Μαρία Ι. Διαμαντοπούλου, Βασίλειος Ζ. Αντωνόπουλος.....	750
ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΟΥ ΚΑΘΕΣΤΩΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΛΛΑΔΟΣ	
Κυριακίδης Ι.Ν., Γ. Ζαλίδης, Β. Ζ. Αντωνόπουλος, Ν. Μισοπολινός.....	760
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΙΑΙΩΝ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΔΙΧΜΗΣ ΜΙΑΣ ΡΑΓΔΑΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	
Π. Ε. Γεωργίου, Δ. Μ. Παπαμιχαήλ, Δ. Ν. Καραμούζης.....	773
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΠΙΣΥΜΒΑΣΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΑΛΥΣΙΔΩΝ MARKOV	
Π. Ε. Γεωργίου, Δ. Μ. Παπαμιχαήλ.....	782
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΚΡΟΗΣ ΤΟΥ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ	
Χ. Δουλγέρης, Θ. Ζήσης.....	792
ΕΝΔΟΔΑΣΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ ΣΕ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΑ ΕΔΑΦΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ	
Καραγιάννης Κωνσταντίνος.....	801
ΤΟ ΥΣΤΕΡΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ PARLANGE . ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ	
Κάργας Γ., Φασουλή Β., Κερκίδης Π., Ι. Αργυροκαστρίτης.....	810

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ ΤΗΣ ΔΑΔΙΑΣ ΕΒΡΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Π.Σ.

Δ. Π. Τριαντακωνσταντής, Β. Ι. Κόλλια και Δ. Π. Καλύβας

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Γεωργικής Χημείας και Εδαφολογίας,
Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη αυτή εξετάζει τις χωροχρονικές αλλαγές των χρήσεων γης στο δάσος της Δαδιάς μεταξύ των ετών 1945, 1973 και 2001. Από το Γ.Π.Σ. που αναπτύχθηκε, παρατηρήθηκε αντίστοιχα για αυτές τις χρονικές περιόδους μια σημαντική αύξηση του δάσους 46%, 54%, 72% (ποσοστά επί του συνόλου της περιοχής μελέτης) και μια μείωση των ανοιγμάτων 35%, 25% και 9%. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επέδρασαν στις αλλαγές των χρήσεων γης είναι: το υψόμετρο, η κλίση, η απόσταση από τους δρόμους και τις αστικές περιοχές, η έκθεση, το βάθος του εδάφους, η γεωλογία και η διάβρωση. Σπουδαίο ρόλο επίσης έπαιξε ο ανθρώπινος παράγοντας που βοήθησε στην προστασία του δάσους ειδικά μετά το 1980 όπου θεσμικά ανακηρύχθηκε το δάσος της Δαδιάς ως προστατευόμενη περιοχή.

STUDY OF LAND USE CHANGES IN THE FOREST OF DADIA EVROU IN A GIS ENVIRONMENT

D. P. Triantakontantis, V. J. Kollias and D. P. Kalivas

Agricultural University of Athens, Laboratory of Soils and Agricultural Chemistry,
75 Iera Odos, 11855, Athens

ABSTRACT

This study investigates the spatio-temporal land use changes of Dadia forest between 1945, 1973 and 2001. From the G.I.S. that was developed, an important increase of forest (46%, 54%, 72% of the total study area) and a reduction of openings (35%, 25%, 9%) were observed for the above time periods. The most important factors that have contributed in the land use changes are: elevation, slope, distance from roads and urban areas, aspect, soil depth, geology and erosion. The human factor has played a vital role in the protection of forest, especially after 1980 when the Dadia forest was designated as a nature reserve.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το δάσος της Δαδιάς αποτελεί μια από τις τελευταίες περιοχές της Ευρώπης που δεν έχουν διαταραχθεί έντονα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και αποτελείται από ένα πολύ ετερογενές, κατά ένα μεγάλο μέρος δασικό μωσαϊκό βιότοπων [8].

Το 1979 ολοκληρώθηκε μια μελέτη αξιολόγησης των οικοσυστημάτων της ημιορεινής και ορεινής ζώνης της περιοχής του Έβρου, σε σχέση με τα αρπακτικά πουλιά από τον ορνιθολόγο Ben Hallmann, όπου το επόμενο έτος η Ελληνική κυβέρνηση με την υπουργική απόφαση ΧΠ/ΓΧΠ 2659/80 ανακήρυξε το δάσος της Δαδιάς ως Προστατευόμενη Περιοχή και οριοθετήθηκαν δυο πυρήνες αυστηρής προστασίας με απαγόρευση κάθε επιβλαβούς ανθρώπινης δραστηριότητας. Στις ενέργειες αυτές συμπεριλαμβάνεται και ο καθορισμός μιας περιφερειακής ζώνης εκτός των ορίων των πυρήνων, εντός της οποίας ισχύει ειδικό προστατευτικό καθεστώς (απαγόρευση ορισμένων μόνο δραστηριοτήτων) [1].

Η προστασία του πληθυσμού του μαυρόγυπα (*Aegypius monachus*) ήταν ο κύριος στόχος της διαχείρισης της προστατευόμενης περιοχής. Τα τελευταία χρόνια αρκετές έρευνες έχουν ασχοληθεί με την μελέτη και την προστασία της βιοποικιλότητας του δάσους της Δαδιάς [5, 7, 12].

Προκειμένου να μελετηθούν τα οικοσυστήματα είναι απαραίτητο οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων να κατανοήσουν τις χωροχρονικές αλλαγές που συμβαίνουν σε αυτά. Η μελέτη της επίδρασης του ανθρώπινου παράγοντα αλλά και των βιοφυσικών παραμέτρων των αλλαγών που συμβαίνουν στα δασικά οικοσυστήματα καθώς και η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των εφαρμοσμένων προγραμμάτων για να μειωθούν αυτές οι επιδράσεις είναι ένας σημαντικός ερευνητικός στόχος [6,13,14].

Η αποτελεσματική διαχείριση του δάσους και άλλων φυσικών πόρων απαιτεί την κατανόηση της εξέλιξής τους στο χώρο και τον χρόνο [9]. Η αυξανόμενη ανησυχία για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας των δασικών οικοσυστημάτων δημιουργεί τις ανάγκες εύρεσης πληροφοριών και εργαλείων όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, τα οποία είναι απαραίτητα για τη διαχείριση του τεράστιου όγκου των διάφορων χωρικών δεδομένων. Η τεχνολογία των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων μπορεί να αποδειχθεί ανεκτίμητο εργαλείο για ένα εύρος προβλημάτων διαχείρισης των φυσικών πόρων συμπεριλαμβανομένων των χρήσεων γης και των αλλαγών τους [4].

Η παρούσα μελέτη έχει στόχο την ανάπτυξη ενός Γ.Π.Σ. για (α) να προσδιορίσει τις χρήσεις γης του δάσους της Δαδιάς για τα χρονικά διαστήματα 1945, 1973 και 2001, (β) να εξετάσει τις αλλαγές χρήσεων γης που συνέβηκαν μεταξύ των χρονικών αυτών περιόδων και γ) να εκτιμήσει την συμβολή γεωμορφολογικών παραμέτρων καθώς και του ανθρώπινου παράγοντα στις αλλαγές αυτές.

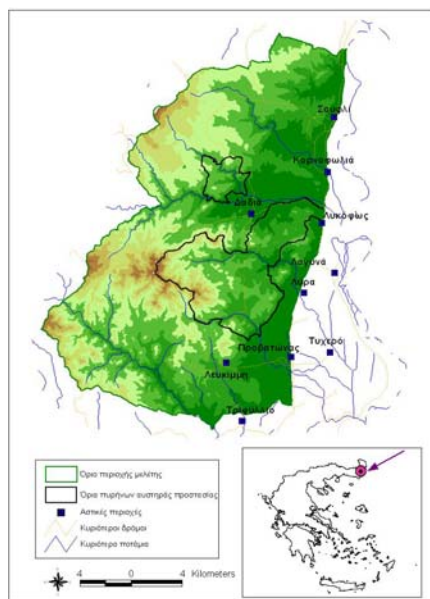
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή περιοχής μελέτης

Το δάσος της Δαδιάς βρίσκεται στην Θράκη και ειδικότερα στον νομό Έβρου (Εικόνα 1) και αποτελεί ένα σημαντικό οικοσύστημα για ένα μεγάλο πλήθος χλωρίδας και πανίδας καλύπτοντας έκταση περίπου 43.000 εκταρίων συμπεριλαμβανομένων δύο ζωνών αυστηρής προστασίας που καλύπτουν συνολικά 7.250 εκτάρια.

Το δάσος της Δαδιάς έχει μεγάλη ορνιθολογική αξία διότι φιλοξενεί 36 από τα 38 είδη ευρωπαϊκών αρπακτικών πουλιών [11]. Η περιοχή καλύπτεται από πεύκα (*Pinus brutia*, *Pinus nigra*) και δρύες (*Quercus frainetto*, *Quercus cerris*, *Quercus pubescens*) [1].

Η περιοχή είναι λοφώδης, με υψόμετρο που ποικίλλει μεταξύ 20 και 640 μ και γενικά έχει μικρές κλίσεις, αφού ποσοστό 90% της περιοχής περιλαμβάνει κλίσεις μέχρι 20%. Το κλίμα είναι υπο-μεσογειακό με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από -19 έως 40 °C και οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις μεταξύ 556 και 916 χιλ. [1]. Οι περιοχές με νότιες και μικρές κλίσεις είναι γενικά πιο ζεστές και ξηρές ενώ στις βόρειες και μεγάλες κλίσεις επικρατεί δροσιά και υγρασία. Η επιρροή των βόρειων ανέμων μετασχηματίζει το κλίμα από υπό-μεσογειακό κατά μήκος της ακτής σε ηπειρωτικό προς τα βουνά. Αυτός ο έντονος ηπειρωτικός χαρακτήρας σε μικρή απόσταση από την θάλασσα δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για δημιουργία βιοτόπων που σε άλλα μέρη της Μεσογείου είτε δεν βρίσκονται καθόλου είτε βρίσκονται στα πολύ μεγάλα υψόμετρα. Οι κύριες ανθρώπινες δραστηριότητες περιλαμβάνουν τουρισμό και παραδοσιακές μορφές γεωργίας και κτηνοτροφίας. Η κύρια γεωργική δραστηριότητα είναι η καλλιέργεια καλαμποκιού, σίτου, ηλίανθου και βαμβακιού. Υπάρχουν επίσης πειραματικοί αγροί οργανικής γεωργίας.



Εικόνα 1. Το δάσος της Δαδιάς .

2.2. Δεδομένα

Οι κύριες πηγές δεδομένων ήταν 42 αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:42,000 του 1945 και 210 αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:15,000 του 1973 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. Οι αεροφωτογραφίες αφού σαρώθηκαν, αναγνωρίστηκαν και ψηφιοποιήθηκαν, διορθώθηκαν γεωμετρικά με συντεταγμένες ΕΓΣΑ87. Από την ερμηνεία των αεροφωτογραφιών παρήχθησαν οι αντίστοιχοι χάρτες χρήσεων γης για το 1945 και το 1973. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε ένας ψηφιακός χάρτης χρήσεων γης της περιοχής για το έτος 2001 που δημιουργήθηκε από δορυφορική εικόνα Ikonos (Ιούλιος 2001), όπως επίσης το οδικό και υδρογραφικό δίκτυο, οι αστικές περιοχές και οι ισοϋψείς των 20μ, τα οποία προμηθευτήκαμε από το WWF-Ελλάς [10].

Ο γεωλογικός και εδαφολογικός χάρτης κλίμακας 1:50,000 της περιοχής μας δόθηκε από το Ίδρυμα Δασικών Ερευνών του Υπουργείου Γεωργίας [2]. Το σύστημα χαρτογράφησης που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των χαρτών αυτών [2] ταξινομεί το βάθος του εδάφους σε εννέα κατηγορίες: 1: Βαθύ, 2: Βαθύ και αβαθές, 3: Βαθύ και βράχος, 4: Αβαθές και βαθύ, 5: Αβαθές, 6: Αβαθές και βράχος, 7: Βράχος και βαθύ, 8: Βράχος και αβαθές και 9: Βράχος. Η διάβρωση είναι ταξινομημένη σε εννέα επίσης κατηγορίες: 1: Καμία, 2: Καμία και μέτρια, 3: Καμία και έντονη, 4: Μέτρια και καμία, 5: Μέτρια, 6: Μέτρια και έντονη, 7: Έντονη και καμία, 8: Έντονη και μέτρια και 9: Έντονη. Όταν οι κατηγορίες του βάθους εδάφους και της διάβρωσης προσδιορίζονται με δύο συστατικά (π.χ. βαθύ και αβαθές ή καμία και μέτρια) το πρώτο συστατικό είναι το κυρίαρχο. Η γεωλογία της περιοχής είναι ταξινομημένη σύμφωνα με το μητρικό υλικό και συγκεκριμένα: Ζ: Γνεύσιοι, Π: Περιδοτίτες, Τ: Τριτογενείς αποθέσεις (και ηφαιστειακοί τόφοι), Φ: Μικτός φλύσχης, Χ: Σχιστόλιθοι, Ν: Γρανίτες και Α: Αλλούβια.

Η έκθεση ταξινομήθηκε σε εννέα κατηγορίες: Επίπεδη, Ανατολική, Βόρεια, Βορειοανατολική, Βορειοδυτική, Νότια, Νοτιοανατολική, Νοτιοδυτική και Δυτική.

2.3. Χάρτες χρήσεων γης και επεξεργασίες Γ.Π.Σ.

Για να δημιουργηθούν οι χάρτες χρήσεων γης για το 1945 και το 1973 και να μελετηθούν οι αλλαγές που συνέβηκαν κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων οι ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες χρήσεων γης καταγράφηκαν κατά την ερμηνεία των αεροφωτογραφιών: δάσος, ανοίγματα, καλλιέργειες και αστικές περιοχές. Τα λιβάδια και οι θάμνοι χαρτογραφήθηκαν επίσης αλλά στην παρούσα μελέτη ταξινομήθηκαν ως ανοίγματα.

Για τον προσδιορισμό των χρήσεων γης από τις αεροφωτογραφίες λήφθηκαν υπόψη οι ακόλουθες υποθέσεις.

(α) οποιοδήποτε πολύγωνο που καλύπτεται περισσότερο από 40% από δέντρα ταξινομήθηκε ως «δάσος». Μια περαιτέρω ταξινόμηση του δάσους έγινε με το ποσοστό της πυκνότητας των δέντρων ως forest50 (40% < πυκνότητα δέντρων ≤ 50%), forest60, forest70, forest80, forest90 και forest100. Εάν το ποσοστό του δάσους στο πολύγωνο ήταν 40% τότε, όταν και τα ποσοστά των λιβαδιών και των θάμνων ήταν λιγότερο από 40%, το πολύγωνο ταξινομήθηκε ως forest40, διαφορετικά όταν οι περιοχές λιβαδιών ή θάμνων ήταν περισσότερο από 40% του πολυγώνου, το πολύγωνο ταξινομήθηκε ως openings40.

(β) όταν το ποσοστό της περιοχής ενός πολυγώνου που καλύπτεται από δέντρα ήταν λιγότερο από 40%, δηλαδή 0%, 10%, 20%, 30%, το πολύγωνο ταξινομήθηκε ως openings0, openings10, openings20 και openings30 αντίστοιχα.

(γ) οποιαδήποτε καλλιεργημένη περιοχή χαρακτηρίστηκε ως καλλιέργειες.

(δ) τα χωριά και οι πόλεις χαρακτηρίστηκαν ως αστικές περιοχές.

Ο χάρτης χρήσεων γης του 2001 χρησιμοποιεί παρόμοια ταξινόμηση με αυτήν που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των χαρτών χρήσεων γης του 1945 και του 1973. Όλα τα δεδομένα, χωρικά και μη, αποθηκεύτηκαν σε ένα Γ.Π.Σ. που αναπτύχθηκε για τους σκοπούς αυτής της μελέτης με την βοήθεια του εμπορικού πακέτου ArcGIS [3].

Εφαρμόζοντας τεχνικές επικάλυψης στους χάρτες χρήσεων γης των τριών χρονικών περιόδων, προσδιορίστηκαν οι αλλαγές στις χρήσεις γης μεταξύ 1945, 1973 και 2001.

Από τις ισοψείς καμπύλες δημιουργήθηκε ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Model – DEM) της περιοχής. Από αυτό το μοντέλο παρήχθησαν τρία πλεγματικά επίπεδα πληροφοριών για το υψόμετρο, την κλίση και την έκθεση αντίστοιχα, ανάλυσης 20 x 20μ.

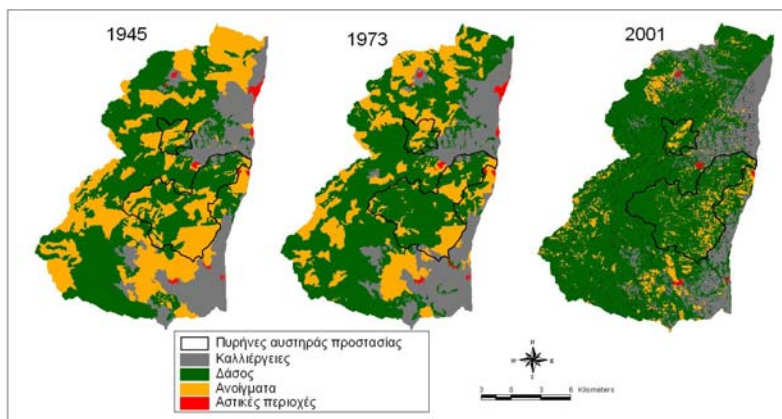
Επιπλέον, δύο πλεγματικά επίπεδα της ίδιας ανάλυσης παρήχθησαν αποθηκεύοντας σε κάθε κυψελίδα την απόσταση από τον κοντινότερο δρόμο και την κοντινότερη αστική περιοχή. Ειδικά, η απόσταση από τις αστικές περιοχές υπολογίστηκε για κάθε κυψελίδα ως η απόσταση από το όριο της κοντινότερης αστικής περιοχής.

Για να εξεταστεί αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών των παραμέτρων (υψόμετρο, κλίση, απόσταση από τους δρόμους και τις αστικές περιοχές) στις τέσσερις χρήσεις γης των τριών χρονικών περιόδων εφαρμόστηκε ανάλυση διασποράς (ANOVA) ακολουθούμενη από τον έλεγχο Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference – LSD test).

Τρία ακόμη πλεγματικά επίπεδα δημιουργήθηκαν απεικονίζοντας τα γεωλογικά και εδαφολογικά δεδομένα (γεωλογία, βάθος εδάφους και διάβρωση) της περιοχής.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Χρήσεις γης και αλλαγές των χρήσεων γης



Εικόνα 2. Χάρτες χρήσεων γης των τριών χρονικών περιόδων.

Το δάσος είναι η μεγαλύτερη χρήση εδάφους της περιοχής (Εικόνα 2). Καταλαμβάνει 46%, 54% και 72% για τις χρονικές περιόδους 1945, 1973 και 2001 αντίστοιχα. Για τις ίδιες χρονιές τα ανοίγματα καλύπτουν 35%, 25% και 9% αντίστοιχα ενώ η κάλυψη γεωργικών εδαφών ανέρχεται σε 18%, 20% και 16% αντίστοιχα (Πίνακας 1). Οι αστικές περιοχές δεν συμπεριλαμβάνονται στον πίνακα διότι καλύπτουν λιγότερο από 1% της περιοχής μελέτης και δεν παρουσίασαν σημαντική αλλαγή μεταξύ των τριών αυτών χρονικών περιόδων.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν (Πίνακας 1) ότι η δασική περιοχή στην περιφερειακή ζώνη αυξήθηκε σημαντικά. Καλύπτει 45% και 51% της περιοχής για τα έτη 1945 και 1973 αντίστοιχα, ενώ μετά από τον ανακήρυξη της περιοχής ως προστατευόμενη, το δάσος καλύπτει 70% της περιφερειακής ζώνης. Τα ανοίγματα στην περιφερειακή ζώνη μειώθηκαν από 33% το 1945 σε 24% το 1973 και 8% το 2001. Οι καλλιέργειες στην περιφερειακή ζώνη αυξήθηκαν κατά 12% μεταξύ 1945 και 1973 και μειώθηκαν κατά 21% περίπου μεταξύ 1973 και 2001.

Πίνακας 1. Η έκταση των χρήσεων γης στις ζώνες αυστηράς προστασίας και στην περιφερειακή ζώνη.

Χρήσεις γης	Ζώνες	Χρονικές περίοδοι						Ποσοστό αλλαγής	
		1945		1973		2001		1945-1973	1973-2001
		έκταση (ha)	%	έκταση (ha)	%	έκταση (ha)	%	%	%
δάσος	αυστηράς προστασίας	3771	52	5007	69	6017	82	33	20
	περιφερειακή	16048	45	18390	51	25122	70	15	37
	συνολική έκταση	19820	46	23397	54	31261	72	18	33
ανοίγματα	αυστηράς προστασίας	3328	46	2009	28	1007	14	-40	-50
	περιφερειακή	11941	33	8701	24	2862	8	-27	-67
	συνολική έκταση	15269	35	10710	25	3869	9	-30	-64
αγροτικές εκτάσεις	αυστηράς προστασίας	191	3	273	4	164	2	43	-40
	περιφερειακή	7637	21	8536	24	6721	19	12	-21
	συνολική έκταση	7828	18	8809	20	6897	16	13	-22

Τα ποσοστά του δάσους στις περιοχές αυστηράς προστασίας για τις τρεις χρονικές περιόδους 1945, 1973 και 2001 είναι 52%, 69% και 82% αντίστοιχα. Τα ποσοστά των ανοιγμάτων για τις ίδιες περιόδους είναι 46%, 28% και 14% αντίστοιχα. Οι καλλιέργειες καλύπτουν ένα πολύ μικρό ποσοστό της ζώνης αυστηράς προστασίας και τις τρεις χρονιές (2% με 4%).

Η αυστηρή προστασία των δυο πυρήνων οδήγησε στην αύξηση της δασικής έκτασης. Συγχρόνως, προσπάθεια καταβλήθηκε να διατηρηθεί ένας αριθμός ανοικτών θόλων δέντρων σε ορισμένες περιοχές προκειμένου να διατηρηθούν οι βιότοποι όπου τα αρπακτικά πουλιά μπορούν να θηρεύσουν [1]. Γενικά όμως τα ανοίγματα μειώθηκαν κατά 50% στις περιοχές αυστηράς προστασίας μετά από την προστασία και 67% στην περιφερειακή ζώνη (Πίνακας 1).

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 2 ένα μεγάλο ποσοστό του δάσους παρέμεινε αμετάβλητο στην περιφερειακή ζώνη/ζώνη αυστηράς προστασίας κατά τη διάρκεια των τριών χρονικών περιόδων, δηλαδή 74/83% μεταξύ 1945 και 1973, και 91/91% μεταξύ 1973 και 2001. Επίσης 40/43% των ανοιγμάτων και 89/66% των καλλιεργειών παρέμειναν αμετάβλητα μεταξύ του 1945-1973 ενώ μεταξύ του 1973-2001 οι αμετάβλητες περιοχές είναι 19/31% για τα ανοίγματα και 63/30% για τις καλλιέργειες.

Στην περιφερειακή ζώνη/ζώνη αυστηράς προστασίας, το δάσος έχασε 23/15% της έκτασής του σε ανοίγματα μεταξύ 1945 και 1973 ενώ την ίδια περίοδο τα ανοίγματα έχασαν 50/55% της έκτασής τους σε δάσος. Κατά την περίοδο 1973-2001 69/65% της περιοχής των ανοιγμάτων μετατράπηκε σε δάσος. Από το 1945 ως το 1973, περίπου 8/20% των καλλιεργειών μετατράπηκαν σε δάσος ενώ αυτό το ποσοστό αυξήθηκε σε 27/63% την επόμενη περίοδο 1973-2001.

Πίνακας 2. Ποσοστά των χρήσεων γης που μετατράπηκαν σε άλλες χρήσεις κατά τις τρεις χρονικές περιόδους.

Αλλαγή		Ποσοστό αλλαγής μεταξύ των χρονικών περιόδων			
από	Σε	1945-1973	1973-2001	1945-1973	1973-2001
		Περιφερειακή ζώνη (%)		Ζώνες αυστηρής προστασίας (%)	
δάσος	Δάσος	74	91	83	91
	Ανοίγματα	23	4	15	7
	αγροτικές εκτάσεις	3	2	2	1
ανοίγματα	Δάσος	50	69	55	65
	Ανοίγματα	40	19	43	31
	αγροτικές εκτάσεις	10	10	3	3
αγροτικές εκτάσεις	Δάσος	8	27	20	63
	Ανοίγματα	3	5	14	4
	αγροτικές εκτάσεις	89	63	66	30

Το υψηλό ποσοστό της μετατροπής των καλλιεργειών σε δάσος την περίοδο 1973-2001 οφείλεται κυρίως στη σημαντική μετανάστευση του πληθυσμού μακριά από τα χωριά στις κωμοπόλεις και τις πόλεις. Η αστικοποίηση ήταν μια κοινωνική τάση σε ολόκληρη την Ελλάδα την μεταπολεμική περίοδο. Αυτό έχει ασκήσει διπλή επίδραση στην περιοχή του Έβρου. Μια μείωση του συνολικού πληθυσμού της περιοχής οφείλεται και στην εσωτερική μετανάστευση προς τα μεγάλα αστικά κέντρα της Αθήνας και Θεσσαλονίκης και την εξωτερική μετανάστευση προς τη δυτική Ευρώπη κυρίως Γερμανία.

3.2. Παράμετροι

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν σε αυτήν την εργασία ομαδοποιήθηκαν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από τέσσερις αριθμητικές παραμέτρους: υψόμετρο, κλίση, απόσταση από τους δρόμους και απόσταση από αστικές περιοχές. Η δεύτερη ομάδα περιέχει τις κατηγορικές παραμέτρους: έκθεση, γεωλογία, βάθος εδάφους και διάβρωση.

Οι μεγαλύτερες τιμές του υψομέτρου και της κλίσης παρατηρούνται στη κατηγορία του δάσους, και ακολουθούν αυτές της κατηγορίας των ανοιγμάτων. Επίσης το δάσος και τα ανοίγματα είναι μακρύτερα από τους δρόμους από ότι οι καλλιεργειες και οι αστικές περιοχές. Οι καλλιεργειες και οι αστικές περιοχές βρίσκονται στα επίπεδα εδάφη με τις χαμηλές κλίσεις κοντά στους δρόμους.

Η ανάλυση διασποράς (ANOVA) έδειξε σημαντική στατιστική διαφορά ($p < 0.001$) μεταξύ των μέσων τιμών των παραμέτρων. Αυτό σημαίνει ότι κάθε χρήση γης βρίσκεται σε περιοχές με διαφορετικές τιμές αυτών των παραμέτρων (Πίνακας 3).

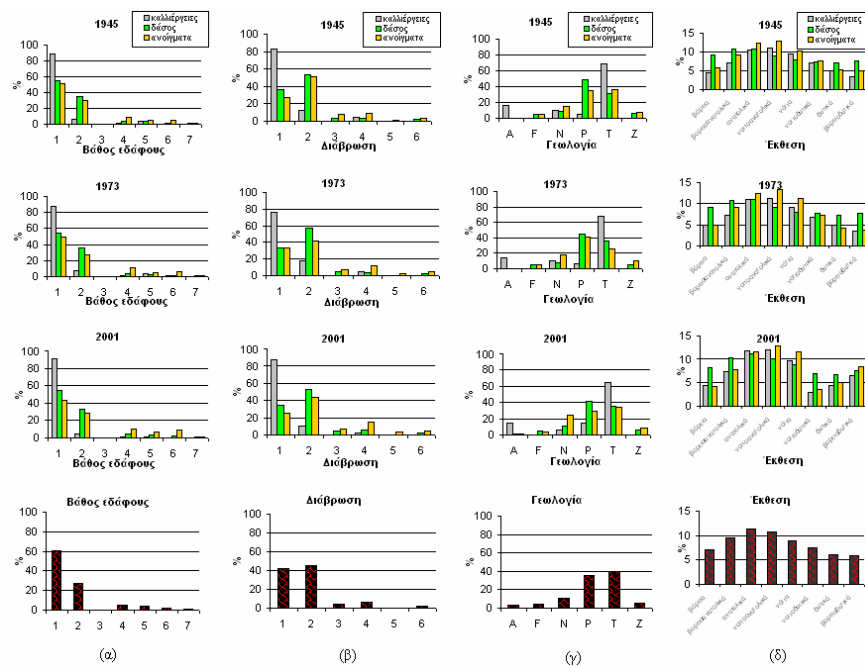
Αν και υπάρχουν σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των μέσων τιμών των παραμέτρων για τις διαφορετικές χρήσεις γης, υπάρχει μια σχέση μεταξύ των μέσων τιμών α) του δάσους και των ανοιγμάτων και β) των καλλιεργειών και των αστικών περιοχών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ανοίγματα βρίσκονται μέσα στο δάσος και οι καλλιεργειες κοντά στις αστικές περιοχές.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης αριθμητικών παραμέτρων.

	1945		1973		2001	
	F-value	Επ. σημ.	F-value	Επ. σημ.	F-value	Επ. σημ.
Υψόμετρο	130080,64	<0,001	129759,01	<0,001	54174,13	<0,001
Κλίση	51936,71	<0,001	59790,88	<0,001	37865,66	<0,001
Απ. Δρόμους	7459,07	<0,001	9329,09	<0,001	7869,55	<0,001
Απ. Κατ. Περ.	43960,62	<0,001	60736,25	<0,001	31709,73	<0,001

Στις περιοχές αυστηρής προστασίας το οδικό δίκτυο είναι λιγότερο πυκνό από ότι στην περιφερειακή ζώνη. Επομένως οι αλλαγές του δάσους στις περιοχές αυστηρής προστασίας εμφανίζονται στις μεγαλύτερες αποστάσεις από τους δρόμους, από ότι στην περίπτωση της περιφερειακής ζώνης. Επίσης, δεδομένου ότι οι περιοχές αυστηρής προστασίας είναι πιο κοντά στις αστικές περιοχές από ότι η περιφερειακή ζώνη, οι αλλαγές του δάσους σ' αυτές εμφανίζονται σε μικρότερες αποστάσεις από τις αστικές περιοχές.

Οι κατανομές συχνοτήτων των τεσσάρων κατηγορικών μεταβλητών (βάθος εδάφους, γεωλογία, διάβρωση και έκθεση) για κάθε χρήση γης και για κάθε χρονική περίοδο παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3. Κατανομές συχνοτήτων των κατηγορικών μεταβλητών.

Τα εδάφη της περιοχής είναι αρκετά βαθιά. Σχεδόν 60% των εδαφών ανήκουν στην κατηγορία 1 (βαθιά εδάφη) και 30% στην κατηγορία 2. Η πλειοψηφία των καλλιερηγμένων εκτάσεων βρίσκεται στα βαθιά εδάφη (90%), ενώ η πλειοψηφία του

δάσους και των ανοιγμάτων βρίσκονται στις κατηγορίες 1 ($\approx 55\%$) και 2 ($\approx 35\%$) (Εικόνα 3α).

Περίπου 85% των εδαφών είναι μη-διαβρωμένα ή διαβρωμένα ελαφρώς. Η πλειοψηφία ξανά των καλλιεργημένων εκτάσεων ($\approx 80\%$) βρίσκεται στην κατηγορία διάβρωσης 1 ενώ το δάσος και τα ανοίγματα βρίσκονται κυρίως στην κατηγορία διάβρωσης 2 ($\approx 50\%$) (Εικόνα 3β).

Η γεωλογία της περιοχής αποτελείται από: τριτογενείς αποθέσεις (40%), περιδοτίτες (36%), γρανίτες (11%) και 13% από γνεύσιους, μικτούς φλύσχεις και αλλούβια. Περίπου 70% των καλλιεργειών βρίσκονται στις τριτογενείς αποθέσεις, 18% στα αλλούβια και το υπόλοιπο στα άλλα μητρικά υλικά. Το δάσος βρίσκεται κυρίως στους περιδοτίτες ($\approx 50\%$) και στις τριτογενείς αποθέσεις ($\approx 30\%$). Τα ανοίγματα παρατηρούνται κυρίως στους περιδοτίτες και τις τριτογενείς αποθέσεις με ποσοστά που ποικίλλουν μεταξύ 30%-40% για τις τρεις χρονικές περιόδους (Εικόνα 3γ).

Τα επίπεδα εδάφη καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό της περιοχής ($\approx 33\%$) ενώ όλες οι υπόλοιπες κλάσεις έκθεσης κυμαίνονται μεταξύ 8%-12%. Υπάρχουν πολύ μικρές διαφορές μεταξύ των κατανομών των τριών χρήσεων γης στις διάφορες κατηγορίες έκθεσης (Εικόνα 3δ).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο μελέτη αυτή διερευνήθηκε η ανάπτυξη του δάσους της Δαδιάς κατά τη διάρκεια των τελευταίων 60 ετών, κάτω από τη συνδυασμένη επίδραση περιβαλλοντικών παραμέτρων και της ανθρώπινης παρέμβασης. Η τεχνολογία των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων συνέβαλε σημαντικά στον προσδιορισμό των αλλαγών χρήσεων γης για τις τρεις χρονικές περιόδους 1945, 1973 και 2001. Παρατηρήθηκε ότι το ποσοστό αύξησης του δάσους όπως επίσης και το ποσοστό μείωσης των ανοιγμάτων είναι μεγαλύτερο κατά τη διάρκεια της δεύτερης περιόδου (1973-2001) από ότι κατά τη διάρκεια της προηγούμενης (1945-1973). Αυτό οφείλεται κυρίως στην εφαρμογή, το 1980, ενός καθεστώτος προστασίας, όπου οριοθετήθηκαν δύο πυρήνες αυστηρής προστασίας και μία περιφερειακή ζώνη με ειδική διαχείριση..

Το δάσος ευνοήθηκε στα μεγαλύτερα υψόμετρα και στις πιο μεγάλες κλίσεις από ότι τα ανοίγματα. Η μικρή απόσταση από τους δρόμους επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη του δάσους διότι κοντά σε αυτούς η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι πιο έντονη. Οι καλλιέργειες παρατηρήθηκαν σε χαμηλές κλίσεις και κοντά σε δρόμους.

Το βάθος του εδάφους παίζει καθοριστικό ρόλο για την ανάπτυξη του δάσους γι αυτό και τα περισσότερα δάση βρίσκονται στα βαθιά εδάφη, εκεί δηλαδή που μπορούν να αναπτύξουν το ριζικό τους σύστημα. Επίσης το δάσος παρατηρήθηκε όπως ήταν αναμενόμενο σε μη διαβρωμένα εδάφη. Οι τριτογενείς αποθέσεις ευνοούν την ανάπτυξη του δάσους, αλλά ένα μεγάλο ποσοστό του δάσους βρίσκεται στους περιδοτίτες παρόλο που δεν αποτελούν καλό μητρικό υλικό. Φαίνεται ότι ο παράγοντας αυτός επηρέασε λιγότερο μιας και το βάθος του εδάφους και η διάβρωση είχαν πολύ καλές τιμές στις περιοχές αυτές.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς θα επιθυμούσαν να εκφράσουν τη εκτίμησή τους στο WWF-Ελλάς για την προμήθεια μέρους των δεδομένων. Ευχαριστούμε επίσης το Ίδρυμα Δασικών Ερευνών του Υπουργείου Γεωργίας για την προμήθεια των αναλογικών γεωλογικών και εδαφολογικών δεδομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αδαμακόπουλος. Τ.. Γκατζογιάννης. Σ.. Ποϊραζίδης. Κ.. 1995. Ειδική Περιβαλλοντική Μελέτη δάσους Δαδιάς. Αθήνα, 1995
2. Βαρδάκης. Γ.. Ζιάγκας. Ε.. Νάκος. Γ.. 1996. Vardakis, G. Ziangas, E. Nakos, G. 1996. Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδος. Φύλλο χάρτη Μέγα Δέρειου και Σουφλίου κλίμακας 1: 50.000.
3. ESRI. 2002. ArcGIS. Redlands California USA.
4. Gautam. A. P.. Webb. E. L.. Shivakoti. G. P.. Zoebisch. M. A.. 2003. Land use dynamics and landscape change pattern in a mountain watershed in Nepal. Agriculture, Ecosystems and Environment 99: 83-86.
5. Grill. A. And Cleary. D. F. R.. 2003. Diversity patterns in butterfly communities of the Greek nature reserve Dadia. Biological Conservation. 114. 427-436.
6. Kammerbauer. J. And Ardon. C.. 1999. Land use dynamics and landscape change pattern in a typical watershed in the hillside region of central Honduras. Agriculture, Ecosystems and Environment. 75. 93-100.
7. Kati. V.. Devillers. P.. Dufrene. M.. Legakis. A.. Vokou. D.. Lebrum. P.. 2004. Hotspots, compementarity or representativeness? Designing optimal small-scale reserves for biodiversity conservation. Biological Conservation. 120. 471-480.
8. Kati. V. And Willemse. F.. 2001. Grasshoppers and crickets of the Dadia Forest Reserve (Thraki, Greece) with a new record to the Greek fauna: *Paranocarodes chopardi* Pechev 1965 (Orthoptera, Pamphagidae). Articulata. 1. 11-19.
9. Naiman. R. J.. Bisson. P. A.. Turner. M. G.. 1997. Approaches to management at the watershed scale. In: Kohm, K.A., Franklin, J.F. (Eds.), Creating a Forestry for the 21st Century: The Science of Ecosystem Management. Island Press.
10. Ποϊραζίδης. Κ.. 2002. Συστηματική Παρακολούθηση της Προστατευόμενης Πειοχής του Δάσους Δαδιά – Λευκίμης – Σουφλίου. Καταγραφή χαρακτηριστικών τοπίου δάσους Δαδιάς περιόδου 2001. WWF-Ελλάς. Αθήνα. 38 σελ. (Αδημοσίευτη εργασία).
11. Poirazidis. K.. Skartsi. Th.. Katsadorakis. G.. 2002. Monitoring Plan for the Protected Area of Dadia-Lefkimi-Soufli Forest. WWF-Greece (unpublished study). Athens.
12. Poirazidis. K.. Goutner. V.. Skartsi. Th.. Stamou. G.. 2004. Modelling nesting habitat as a conservation tool for the Eurasian black vulture (*Aegypius monachus*) in Dadia Nature Reserve, northeastern Greece. Biological Conservation. 118. 235-248.
13. Rao. K. S. And Pant. P.. 2001. Land use dynamics and landscape change pattern in a typical micro watershed in the mid elevation zone of central Himalaya, India. Agriculture, Ecosystems and Environment. 86. 113-123.
14. Van Laake. P. E. And Sanchez-Azofeifa. G. A.. 2004. Focus on deforestation: zooming in on hot spots in highly fragmented ecosystems in Costa Rica. Agriculture, Ecosystems and Environment. 102. 3-15.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΩΝ ΑΥΓΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

**Κ. Αργυροπούλου,* Νικολ. Χριστοπούλου,* F.F. Wembe-Foba-Kue,*
Δ. Γεωργακάκης***

* Γ.Π.Α. – Τμήμα Α.Φ.Π. & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75 – 11855, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής εφαρμογής διαλύματος α) μελάσσας και β) θειϊκού οξέος, σε στερεά απόβλητα ενός πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής, κατά τη φάση της κομποστοποίησής τους, στην εξουδετέρωση των οσμών. Η προσθήκη μελάσσας, αν και επιτάχυνε προσωρινά την όλη διαδικασία, δεν διαφοροποιήθηκε ως προς το μάρτυρα από πλευράς έκλυσης οσμών. Αντίθετα, η προσθήκη του διαλύματος θειϊκού οξέος έδειξε πλήρη εξουδετέρωση των οσμών σε μια τιμή pH 6,8 και κανονικότητα του διαλύματος 0,5N. Το καλύτερο σημείο εφαρμογής του διαλύματος οξέος στα απόβλητα βρέθηκε ότι είναι στο 30ό περίπου μέτρο κατά μήκος του διαδρόμου κομποστοποίησης (τύπου OKADA).

ODOR CONTROL DURING COMPOSTING OF LAYER POULTRY FARM WASTES

**K. Argyropoulou,* Nikol. Christopoulou,* F.F. Wembe-Foba-Kue*
D. Georgakakis***

Agronomic University of Athens, Dept. of Agricultural Engineering
75, Iera Odos street – 11855 Greece

ABSTRACT

The results of adding a solution of a) melassa and b) sulphuric acid to layer poultry wastes, during their composting, are presented. Melassa addition, despite a temporary enhancement of the composting process, finally did not affect odors emission compared to the control. Sulphuric acid addition resulted in a complete odor reduction at a pH 6,8 and acid solution normality 0,5N. The best point of acid solution application was found to be on the 30-meter from the beginning of the composting isle (OKADA system).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα απόβλητα πτηνοτροφείων αυγοπαραγωγής εκλύουν έντονα ενοχλητικές οσμές μεταξύ των οποίων ξεχωρίζει η οσμή της αμμωνίας, η οποία χαρακτηρίζει τα απόβλητα αυτά. Θεωρούνται από τα πιο ενοχλητικά και δύσκολα στο χειρισμό τους, δημιουργώντας σημαντικά προβλήματα λειτουργίας των πτηνοτροφικών επιχειρήσεων.

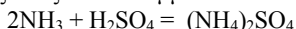
Για την αντιμετώπιση του προβλήματος έχουν εφαρμοστεί και επικρατήσει στη χώρα μας δύο μηχανικά συστήματα, τύπου 'HOSOYA' και 'OKADA'. Μετατρέπουν τα απόβλητα αυτά σε κόμποστ, μορφή με την οποία μπορούν χωρίς οσμές και ενοχλήσεις να αξιοποιηθούν ως εδαφοβελτιωτικό.

Τα απόβλητα των πτηνοτροφείων όμως έχουν το μειονέκτημα του μικρού λόγου άνθρακα προς άζωτο ($C/N < 12/1$), γεγονός που προκαλεί έκλυση αμμωνίας κατά την επεξεργασία τους και δυσχεραίνει τη διαδικασία παραγωγής κόμποστ.

Στη μελέτη αυτή, στόχος ήταν η αντιμετώπιση των οσμών στις εγκαταστάσεις κομποστοποίησης των αποβλήτων ενός πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής κατά το σύστημα OKADA με εφαρμογή διαλύματος α) μελάσσας και β)θειϊκού οξέος. Επίσης η εξέταση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και του δυναμικού φυτοτοξικότητας των αποβλήτων κατά την κομποστοποίησή τους, μετά την ανάμιξή τους με τα ως άνω δύο υλικά.

Η μελάσσα είναι ένα βιομηχανικό προϊόν, το οποίο προέρχεται από την επεξεργασία ζαχαρότευτλων για παραγωγή ζάχαρης. Είναι πλούσια σε άνθρακα και φτωχή σε άζωτο ($N=1,85\%$), με αποτέλεσμα κατά την προσθήκη της στα απόβλητα των πτηνοτροφείων να επιφέρει αύξηση του λόγου άνθρακα προς άζωτο (C/N), καλύτερη αξιοποίηση του αμμωνιακού αζώτου από τους μικροοργανισμούς και κατ'επέκταση μείωση της εκλυόμενης περισσειας αμμωνίας.

Το θειϊκό οξύ (H_2SO_4) είναι ένα κοινό εμπορικό σκεύασμα μικρού κόστους, το οποίο δεσμεύει την αμμωνία σχηματίζοντας άλας θειϊκού αμμωνίου :



Α. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΛΑΣΣΑΣ.

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις πλαστικοί διάτρητοι κάδοι, οι οποίοι είχαν τοποθετηθεί σε κλειστό θερμαινόμενο χώρο για διατήρηση της θερμοκρασίας. Στον πρώτο (κάδος - μάρτυρας) τοποθετήθηκε νωπή κοπριά πτηνοτροφείου βάρους 46 kg και έγινε διαβροχή μόνο με νερό, βάρους 2,3 kg ή $5\%_{κ.β.}$. Στο δεύτερο κάδο τοποθετήθηκε νωπή κοπριά βάρους 44 kg, στην οποία έγινε διαβροχή με αραιωμένη μελάσσα κατά 20%, βάρους 2,2 kg ή $5\%_{κ.β.}$. Τέλος, στον τρίτο κάδο τοποθετήθηκε νωπή κοπριά βάρους 45 kg στην οποία έγινε διαβροχή με αραιωμένη μελάσσα κατά 14%, βάρους 2,25 kg ή $5\%_{κ.β.}$ Η προσθήκη μελάσσας στην κοπριά περιορίστηκε στο ποσοστό 5%, λόγω της υψηλής της αρχικής υγρασίας ($59,2\%$), καθώς είναι γνωστό πως η υψηλή υγρασία (πάνω από 60%) δυσχεραίνει τη διαδικασία κομποστοποίησης (2).

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της κοπριάς ήταν : $pH=8,69$, $C/N=11,7$, ολικά στερεά (Ο.Σ.) $40,8\%_{κ.β.}$ και πτητικά στερεά (Π.Σ.) $64,4\%_{ΟΣ}$ και της μελάσσας : $pH=8,7$, $N=1,85\%$, τέφρα $13,59\%$, πτητικά οξέα $1,41\%$, ολικά σάκχαρα $50,29\%$, ολικά στερεά $85,40\%_{κ.β.}$ και πτητικά στερεά $98\%_{ΟΣ}$.

Με την επιλογή και εφαρμογή των δύο προαναφερθεισών διαλυμάτων αραιωμένης με νερό μελάσσας, 14% και 20% αντίστοιχα, προέκυψε ότι οι μετρήσεις δε διέφεραν πρακτικά μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό λήφθηκε ο μέσος όρος των μετρήσεων αυτών, που αντιστοιχεί σε μια μέση τιμή αραιώσης 17%.

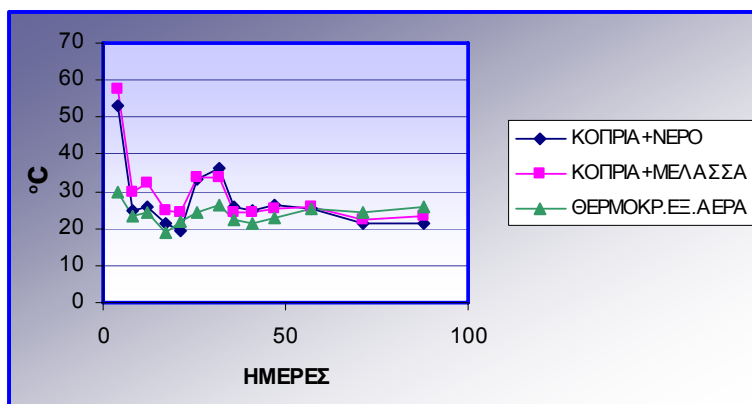
Κατά τη διάρκεια του πειράματος ελεγχόταν σχεδόν καθημερινά η θερμοκρασία με τη βοήθεια ψηφιακού θερμομέτρου και σύμφωνα με τις τιμές της γινόταν αναμόχλευση του υλικού των κάδων χειρωνακτικά για επαναερισμό. Ειδικότερα, αναμόχλευση γινόταν όταν η θερμοκρασία παρουσίαζε συνεχή πτωτική τάση ή όταν παρέμενε σταθερή για μερικές ημέρες. Η αναμόχλευση συνεχίστηκε μέχρις ότου η θερμοκρασία δε σημείωσε άλλη άνοδο. Τότε θεωρήθηκε ότι είχε τελειώσει το πρώτο στάδιο της κομποστοποίησης (θερμόφιλη φάση) και στη συνέχεια, το περιεχόμενο κάθε κάδου αφέθηκε για 'ωρίμανση'.

Στο σχήμα 1 φαίνονται οι τιμές των μέγιστων θερμοκρασιών (μέσοι όροι τιμών ανά τρεις ημέρες) που επικράτησαν στο υλικό α) του κάδου - μάρτυρα (κοπριά + νερό), β) των κάδων με κοπριά + μελάσσα (μέσοι όροι), καθώς και οι αντίστοιχες μέγιστες τιμές θερμοκρασίας του περιβάλλοντα αέρα για σύγκριση.

Από το σχήμα 1 προκύπτει ότι η μεταβολή του μέσου όρου της μέγιστης θερμοκρασίας των υλικών στους κάδους με τη μελάσσα και των αντίστοιχων τιμών του κάδου - μάρτυρα ακολούθησε σε γενικές γραμμές εκείνη του περιβάλλοντα αέρα. Αυτό μπορεί ν' αποδοθεί στην απευθείας επίδραση της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα στα υλικά των κάδων, εξαιτίας του μικρού τους όγκου. Αρχικά εμφανίζεται μια έξαρση της μέγιστης θερμοκρασίας σε όλους τους κάδους, με ελαφρά μεγαλύτερη εκείνη του μέσου όρου των κάδων με τη μελάσσα και στη συνέχεια απότομη πτώση.

Κατά την 8η και 20η ημέρα γίνονται 2 γυρίσματα των υλικών με αποτέλεσμα να εμφανιστεί νέα άνοδος της θερμοκρασίας και στους τρεις κάδους. Στο πρώτο γύρισμα η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας στους κάδους με τη μελάσσα ήταν σαφώς μεγαλύτερη σε σχέση με εκείνη του κάδου - μάρτυρα. Στο δεύτερο γύρισμα και οι τρεις κάδοι παρουσίασαν την ίδια άνοδο θερμοκρασίας, αρκετά μεγαλύτερη όμως από εκείνη του προηγούμενου γυρίσματος.

Η έναρξη της θερμόφιλης φάσης λοιπόν ήταν εντονότερη στους κάδους με τη μελάσσα συγκριτικά με τον κάδο - μάρτυρα. Την 36η ημέρα γίνεται και τρίτο γύρισμα σ' όλους τους κάδους, χωρίς όμως να εμφανιστεί τη φορά αυτή περαιτέρω άνοδος της μέγιστης θερμοκρασίας, γεγονός που υποδηλώνει την ολοκλήρωση του πρώτου σταδίου (θερμόφιλης φάσης) και την έναρξη του δεύτερου και τελικού σταδίου (φάσης ωρίμανσης) της κομποστοποίησης.



Σχήμα 1. Μεταβολή της μέγιστης θερμοκρασίας των υλικών με το χρόνο

Κατά τη φάση της ωρίμανσης παρατηρείται ότι η μεταβολή της μέγιστης θερμοκρασίας συμβαδίζει σταθερά με αυτή του περιβάλλοντα αέρα μέχρι το τέλος της διαδικασίας κομποστοποίησης (περίπου την 90^η ημέρα), οπότε και παρατηρήθηκαν τιμές μέγιστης θερμοκρασίας των υλικών ελαφρά μικρότερες από εκείνες του περιβάλλοντα αέρα.

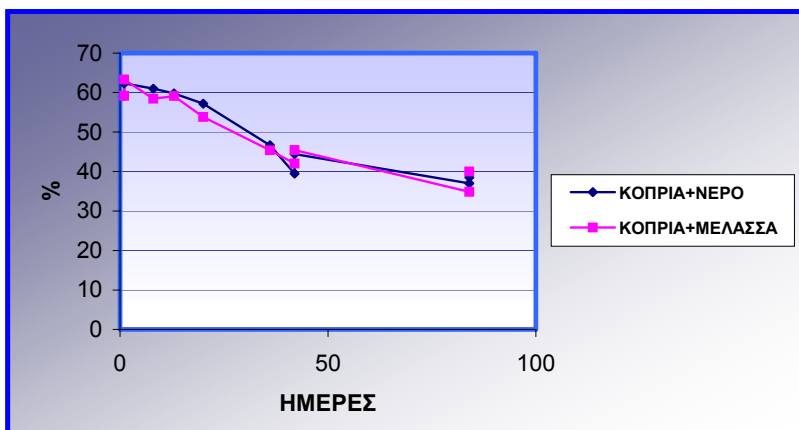
Το φαινόμενο της ανόδου της θερμοκρασίας με τα γυρίσματα και τη διαβροχή μέχρις ότου σταματήσει η άνοδος αυτή με το χρόνο επιβεβαιώνεται στη σχετική βιβλιογραφία (3). Εξετάζοντας το τελικό προϊόν της διαδικασίας σε κάθε κάδο, προέκυψε ότι το μίγμα κοπριά + μελάσσα παρουσίασε καλύτερη δομή (πιο κοκκώδη) συγκριτικά με εκείνη του μάρτυρα (κοπριά + νερό). Οι οσμές εξουδετερώθηκαν κατά το τέλος του πρώτου μήνα, χωρίς όμως να γίνει δυνατό να διαπιστωθεί κάποια σημαντική διαφορά μεταξύ των υλικών, λόγω του μικρού κλειστού χώρου, όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα.

Εκτός της μεταβολής της μέγιστης θερμοκρασίας ελεγχόταν σε τακτά χρονικά διαστήματα και η μεταβολή της υγρασίας των υλικών, ως ποσοστό %_{κ.β.} νωπού δείγματος. Διόρθωση της υγρασίας γινόταν με προσθήκη νερού κατά το γύρισμα των υλικών, μόνο όταν το επίπεδο της υγρασίας που προσδιοριζόταν εργαστηριακά ήταν κάτω από τα αποδεκτά όρια των 40% (1). Πρακτικά όμως η εκτίμηση του επιπέδου υγρασίας για την προσθήκη νερού γινόταν με βάση την εμφάνιση του υλικού και στη συνέχεια επιβεβαιωνόταν εργαστηριακά.

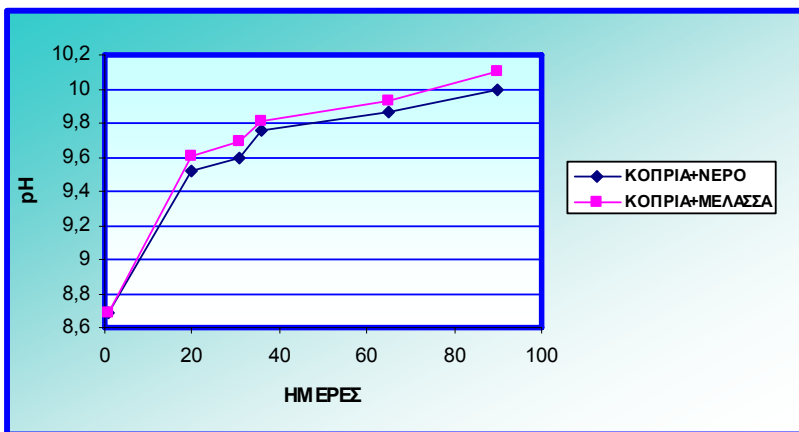
Σύμφωνα με τις τιμές της υγρασίας, όπως αυτές φαίνονται στο σχήμα 2, τα υλικά και στους τρεις κάδους ακολουθούν παρόμοια μεταβολή ακολουθώντας σταθερή πτωτική πορεία. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο, λόγω της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας κατά την κομποστοποίηση και τη φυσική εξάτμιση.

Για επιβεβαίωση του τέλους της θερμόφιλης φάσης, έγιναν δύο ακόμα γυρίσματα με παράλληλη διαβροχή των υλικών, την 42η και 84η ημέρα. Δεν παρατηρήθηκε, ούτε τη φορά αυτή, άνοδος της θερμοκρασίας, γεγονός που επιβεβαιώνει το τέλος, όχι μόνο της θερμόφιλης φάσης, αλλά και της όλης διαδικασίας κομποστοποίησης.

Κατά την πειραματική διαδικασία μετρίονταν και το pH των υλικών, οι τιμές του οποίου φαίνονται στο σχήμα 3. Παρατηρούμε ότι οι τιμές pH στα υλικά ακολουθούν παρόμοια μεταβολή, χωρίς να υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ τους.



Σχήμα 2. Μεταβολή της υγρασίας των υλικών με το χρόνο.



Σχήμα 3. Μεταβολή των τιμών του pH των υλικών με το χρόνο.

Τέλος για την εξέταση του δυναμικού φυτοτοξικότητας κατά την κομποστοποίηση ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία (4) : Δημιουργόταν εκχύλισμα από κάθε κάδο και στη συνέχεια γινότανε διαβροχή 25 σπόρων κάρδαμου τοποθετημένων πάνω σε απορροφητικό χαρτί μέσα σε τριβλεία. Τα τριβλεία αφήνονταν στη συνέχεια σε σκοτεινό χώρο και σταθερή θερμοκρασία δωματίου για 3 ημέρες. Μετά γινόταν καταμέτρηση των σπόρων που βλάσταναν και το αποτέλεσμα εκφραζόταν % σε σχέση με τους σπόρους που βλάσταναν στα τριβλεία – μάρτυρες (προσθήκη μόνο νερού). Για κάθε εφαρμογή χρησιμοποιούνταν τρία τριβλεία-επαναλήψεις και έβγαινε ο μέσος όρος.

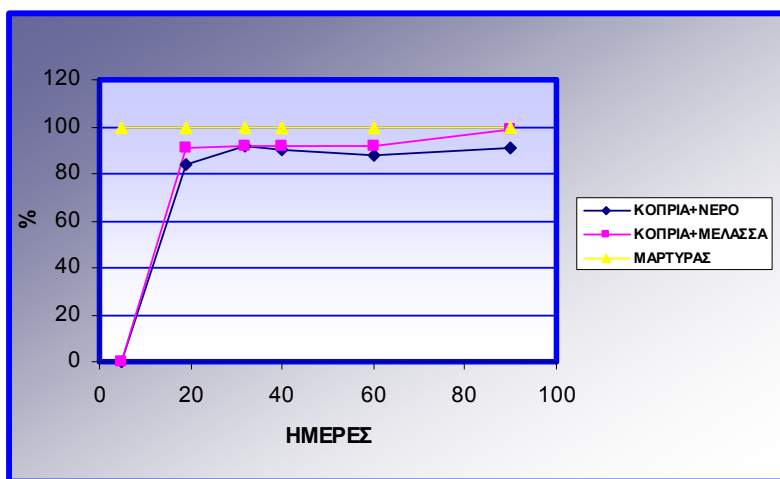
Για κάθε υλικό γίνονταν δυο αραιώσεις του εκχυλίσματος πριν τη διαβροχή των σπόρων :

- αραιώση 50%, που υποδηλώνει την προσθήκη 50% εκχυλίσματος και 50% απιονισμένου νερού.
- αραιώση 0%, που υποδηλώνει την προσθήκη 100% εκχυλίσματος, χωρίς την προσθήκη απιονισμένου νερού.

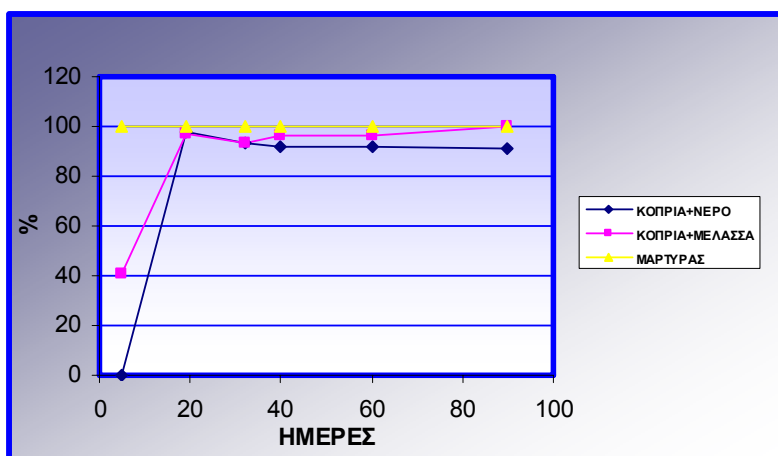
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της φυτοτοξικότητας για την αραιώση 0%, απεικονίζονται στο σχήμα 4 και για την αραιώση 50% στο σχήμα 5.

Από το σχήμα 4 προκύπτει ότι κατά την 20η ημέρα εμφανίζεται εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας σ' όλα τα υλικά κατά 90% περίπου. Στη συνέχεια ακολουθούσαν σταθερή πορεία, σχεδόν παράλληλη μεταξύ τους, με τη μελάσσα να προηγείται πάντα και προς το τέλος της διαδικασίας η τελευταία να προσεγγίζει το 100%.

Όσον αφορά στην αραιώση 50%, κατά τις πρώτες ημέρες παρατηρείται μια διαφοροποίηση υπέρ του υλικού με μελάσσα, όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Την 20η ημέρα εμφανίζεται πλήρης εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας (100%) σ' όλα τα υλικά. Στη συνέχεια η φυτοτοξικότητα των υλικών με τη μελάσσα παρουσιάζει μικρή διαφοροποίηση και επανέρχεται τελικά στο επίπεδο της πλήρους εξουδετέρωσης (100%) στο τέλος της διαδικασίας. Αντίθετα, στον κάδο – μάρτυρα παρουσιάζεται βαθμιαία αύξηση της φυτοτοξικότητας, η οποία σταθεροποιείται στο επίπεδο του 90% περίπου μετά την 40ή ημέρα.



Σχήμα 4. Μεταβολή της φυτοτοξικότητας με το χρόνο στην αραιώση 0%



Σχήμα 5. Μεταβολή της φυτοτοξικότητας με το χρόνο στην αραιώση 50%.

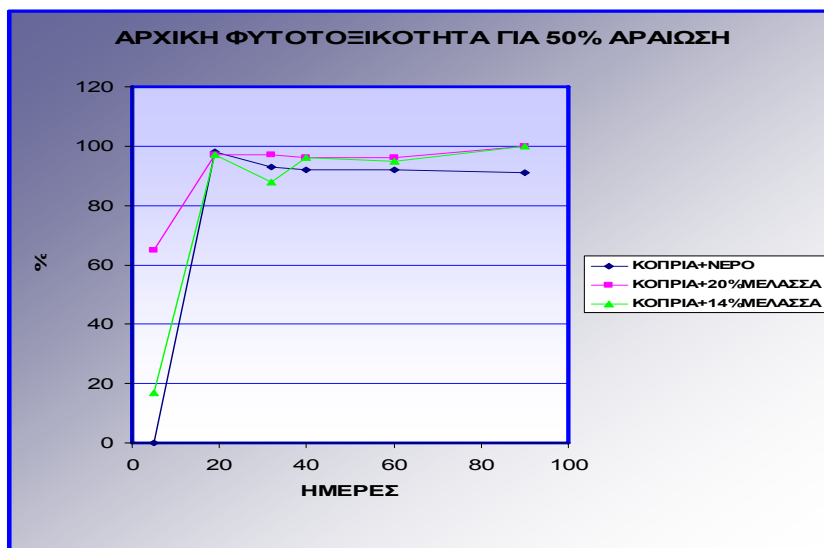
Από το σχήμα 5 προκύπτει επίσης εξ αρχής μια διαφοροποίηση στην εμφάνιση φυτοτοξικότητας, σαφώς υπέρ του υλικού με μελάσσα (40% μείωση) από τις πρώτες κιόλας ημέρες. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει ότι ο συνδυασμός μελάσσας και αραιώσης του εκχυλίσματος με νερό δρα ευεργετικά στην εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας.

Για το λόγο αυτό, έγινε έλεγχος φυτοτοξικότητας χωριστά για κάθε μια από τις αραιώσεις μελάσσας που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα :

- κοπριά + νερό (μάρτυρας)
- κοπριά + διάλυμα μελάσσας 20%_{κ.δ.} σε νερό
- κοπριά + διάλυμα μελάσσας 14%_{κ.δ.} σε νερό

Στο σχήμα 6 φαίνεται η επίδραση των διαφορετικών αραιώσεων (ποσοτήτων μελάσσας) στην φυτοτοξικότητα.

Από το σχήμα 6 γίνεται φανερό ότι όσο πιο πολλή μελάσσα χρησιμοποιείται, τόσο μεγαλύτερη είναι η εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας. Ίσως αν είχαν χρησιμοποιηθεί ακόμα πιο πυκνά διαλύματα μελάσσας, η φυτοτοξικότητα να είχε εξουδετερωθεί πλήρως από τις πρώτες κιόλας ημέρες. Αυτό όμως πρακτικά δεν μπορούσε να γίνει κατά τη διάρκεια του παρόντος πειράματος, λόγω της υψηλής αρχικής υγρασίας της κοπριάς. Κατά την καλοκαιρινή όμως περίοδο υπάρχουν περιθώρια για αυξημένη ποσότητα εφαρμογής μελάσσας, μέχρι και 10%_{κ.β.}, λόγω μειωμένης υγρασίας στην κοπριά, όπως διαπιστώθηκε από μετρήσεις επί τόπου στο υπό εξέταση πτηνοτροφείο



Σχήμα 6. Επίδραση στη φυτοτοξικότητα της ποσότητας προστιθέμενης μελάσσας.

Από τα αποτελέσματα εφαρμογής της μελάσσας στα απόβλητα του πτηνοτροφείου προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα ως προς την επίδρασή της στη διαδικασία της κομποστοποίησης και στην έκλυση οσμών :

1. Ολοκλήρωση της θερμοφιλής φάσης κατά το τέλος του πρώτου μήνα για όλα τα υλικά.
2. Ίδια συμπεριφορά των υλικών ως προς το pH.
3. Η φυτοτοξικότητα εξουδετερώθηκε κατά την ίδια χρονική στιγμή σε όλες τις περιπτώσεις.
4. Η αραίωση του εκχυλίσματος συνέβαλε στη μεγαλύτερη εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας, ανεξάρτητα από την προσθήκη ή μη μελάσσας, πλην των πρώτων ημερών, όπου η υπεροχή της μελάσσας ήταν εμφανής σε σχέση με το μάρτυρα.
5. Πλήρης εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας για τη μελάσσα στο τέλος της διαδικασίας (κατά 100%) σε σχέση με το μάρτυρα (κατά 90%).
6. Αύξηση της ποσότητας προστιθέμενης μελάσσας δρα ευεργετικά στην εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας και πιθανά στη διαδικασία κομποστοποίησης.
7. Εξουδετέρωση των οσμών στο τέλος του πρώτου μήνα της διαδικασίας κομποστοποίησης. Δεν έγινε δυνατή η διαπίστωση διαφοροποίησης της επίδρασης της μελάσσας σε σχέση με το μάρτυρα.
8. Η διαδικασία κομποστοποίησης ολοκληρώθηκε σε 90 ημέρες με τη θερμοφιλή φάση να ολοκληρώνεται στις πρώτες 36 ημέρες.

Β. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΘΕΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ (H_2SO_4)

Η εφαρμογή του θεικού οξέος πραγματοποιήθηκε επί τόπου στις εγκαταστάσεις του πτηνοτροφείου. σε δείγματα υλικού, τα οποία πάρθηκαν από όλο το μήκος του διαδρόμου της εγκατάστασης, συνολικού μήκους 85 m.

Πιο συγκεκριμένα, χωρίστηκε ο διάδρομος σε 7 τμήματα των 10 m και 1 των 15 m στο τέλος. Από το μέσο μήκος και βάθος κάθε τμήματος πάρθηκαν δείγματα αποβλήτων στα οποία προστέθηκε θεικό οξύ σε ποσότητα ίση με το 10% του βάρους του δείγματος. Σε κάθε

δείγμα δοκιμάστηκαν διάφορες κανονικότητες οξέος. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 1 και στα σχήματα 7 και 8.

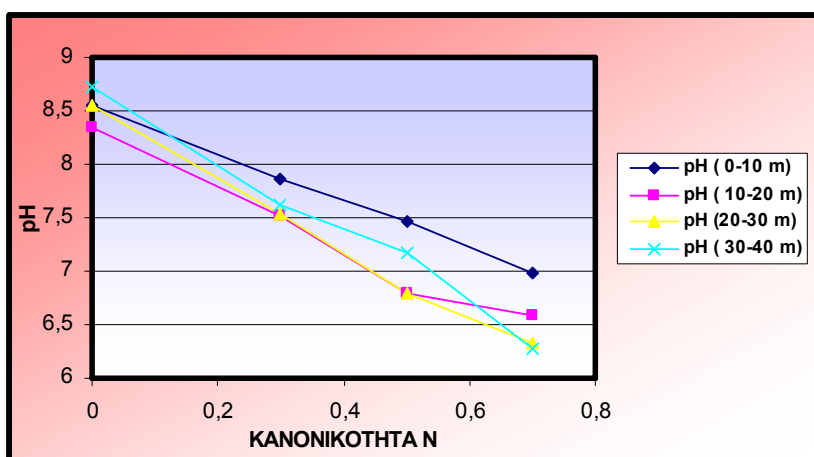
Από τα στοιχεία του Πίνακα 1 προκύπτει ότι από την κανονικότητα του οξέος 0,5N και πάνω η οσμή εξουδετερώνεται πλήρως στο τμήμα του διαδρόμου από 0-40 m για τιμές pH 6,80-7,47. Για το υπόλοιπο τμήμα του διαδρόμου από 40-85 m η εξουδετέρωση της οσμής γίνεται από την κανονικότητα 0,7N και πάνω για τιμές pH 7,00-7,72. Η διαφοροποίηση αυτή μπορεί ν' αποδοθεί στον διαφορετικό βαθμό κομποστοποίησης του υλικού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Μεταβολή των τιμών του pH και της οσμής με την προσθήκη οξέος κατά μήκος του διαδρόμου κομποστοποίησης.

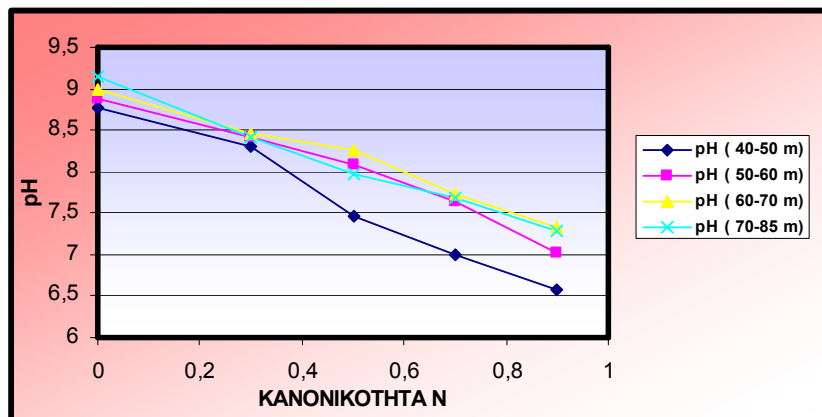
Πυκνότητα υλικού (kg/m ³)	Κανονικότητα οξέος	pH	Οσμές
Τμήμα διαδρόμου 0-10 m			
215/370=0,58	0,0N	8,56	Ναι
	0,3N	7,87	Ναι
	0,5N	7,47	Όχι
	0,7N	6,98	Όχι
Τμήμα διαδρόμου 10-20 m			
290/385=0,75	0,0N	8,35	Ναι
	0,3N	7,51	Ναι
	0,5N	6,80	Όχι
	0,7N	6,58	Όχι
Τμήμα διαδρόμου 20-30 m			
220/370=0,60	0,0N	8,55	Ναι
	0,3N	7,54	Ναι
	0,5N	6,80	Όχι
	0,7N	6,32	Όχι

Πυκνότητα υλικού (kg/m ³)	Κανονικότητα οξέος	pH	Οσμές
Τμήμα διαδρόμου 30-40 m			
240/435=0,55	0,0N	8,72	Ναι
	0,3N	7,62	Ναι
	0,5N	7,17	Όχι
	0,7N	6,27	Όχι
Τμήμα διαδρόμου 40-50 m			
275/464,5=0,59	0,0N	8,78	Ναι
	0,3N	8,30	Ναι
	0,5N	7,47	Σπασμένη
	0,7N	7,00	Όχι
	0,9N	6,58	Όχι
Τμήμα διαδρόμου 50-60 m			

293/464,5=0,63	0,0N	8,88	Ναι
	0,3N	8,42	Ναι
	0,5N	8,08	Σπασμένη
	0,7N	7,65	Όχι
	0,9N	7,02	Όχι
Τμήμα διαδρόμου 60-70 m			
305/464,5=0,66	0,0N	9,00	Ναι
	0,3N	8,45	Ναι
	0,5N	8,25	Σπασμένη
	0,7N	7,72	Όχι
	0,9N	7,32	Όχι
Τμήμα διαδρόμου 70-85 m			
343/464,5=0,74	0,0N	9,15	Ναι
	0,3N	8,41	Σπασμένη
	0,5N	7,97	Όχι
	0,7N	7,69	Όχι
	0,9N	7,29	Όχι



Σχήμα 7 .Μεταβολή των τιμών του pH με την προσθήκη θειϊκού οξέος στο υλικό κομποστοποίησης (τμήμα 0-40 m)



Σχήμα 8. Μεταβολή των τιμών του pH με την προσθήκη θειϊκού οξέος στο υλικό κομποστοποίησης (τιμήμα 40-85 m)

Για διαπίστωση της τυχόν επίδρασης του θειϊκού οξέος στην εξέλιξη της κομποστοποίησης αφέθηκαν δείγματα εμποτισμένα με οξύ για 10 ημέρες. Διαπιστώθηκε άνοδος του pH στο επίπεδο του 9,04-9,15 χωρίς την έκλυση οσμής. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει ότι, ενώ η βιολογική διαδικασία της κομποστοποίησης συνεχίζεται και μετά την προσθήκη οξέος, η εκλυόμενη αμμωνία και τα άλλα αέρια εξακολουθούν να δεσμεύονται, λόγω της παρουσίας του τελευταίου στο υλικό.

Συνεπώς η προσθήκη θειϊκού οξέος δεν επηρεάζει την πορεία της κομποστοποίησης και δεν διορθώνει την τιμή pH του τελικού προϊόντος. Διατηρεί όμως το υλικό χωρίς οσμές καθόλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα στοιχεία της σχετικής βιβλιογραφίας (4). Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 1 προκύπτει ότι το οξύ θα πρέπει να προστίθεται στην αρχική φάση της διαδικασίας μεταξύ των 20 και 30 m κατά μήκος του διαδρόμου κομποστοποίησης, απ' όπου αρχίζει η έκλυση αμμωνίας να γίνεται αισθητή και η άνοδος της θερμοκρασίας του υλικού έντονη, λόγω των βιολογικών δράσεων σ' αυτό.

Τα πειραματικά αποτελέσματα επαληθεύτηκαν και από τη δοκιμαστική διαβροχή του υλικού επί τόπου στην εγκατάσταση κομποστοποίησης τύπου OKADA του υπό εξέταση πτηνοτροφείου αυγοπααραγωγής στο Χιλιμόδι Κορινθίας, με πολύ θεαματικά αποτελέσματα, όσον αφορά στην εξουδετέρωση των οσμών (αμμωνίας κυρίως).

Από τα αποτελέσματα εφαρμογής του θειϊκού οξέος στα απόβλητα του πτηνοτροφείου προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα ως προς την επίδρασή του στη διαδικασία της κομποστοποίησης και της έκλυσης οσμών :

1. Εξουδετέρωση οσμής από 0,5N οξέος και πάνω για το μήκος του διαδρόμου κομποστοποίησης 0-40m.
2. Εξουδετέρωση οσμής από 0,7N οξέος και πάνω για το μήκος 40-85m.
3. Αποτελεσματική εφαρμογή του οξέος σε απόσταση 30m περίπου από την αρχή του διαδρόμου κομποστοποίησης.

4. Το οξύ δεν επηρεάζει αρνητικά τη διαδικασία κομποστοποίησης, όπως προκύπτει από την επαναφορά του pH σε υψηλά επίπεδα με την πάροδο του χρόνου. Εξακολουθεί όμως να δεσμεύει αποτελεσματικά την οσμή.

Η προσπάθεια συνεχίστηκε και σε πιλοτικό σωρό από απόβλητα του ίδιου πτηνοτροφείου στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις του Εργ. Γεωργικών Κατασκευών του Γ.Π.Α. με σκοπό τη μελέτη από κοντά της επίδρασης του θειϊκού οξέος στην πλήρη διαδικασία της κομποστοποίησης (συμπεριλαμβανομένης και της φάσης ωρίμανσης), κάτι που δεν ήταν πρακτικά εφικτό να γίνει στο υπό εξέταση πτηνοτροφείο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεωργακάκης Δ., 1998. 'Επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων πτηνοκτηνοτροφικών μονάδων και γεωργικών βιομηχανιών', Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, έκδοση Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, 256 σελ., Αθήνα.
2. Δήμου Δ., 1987. 'Composting – Παράγοντες που επηρεάζουν την πορεία του composting, φυσικοχημικές και βιοχημικές μεταβολές του υποστρώματος', Σημειώσεις σεμιναρίου, έκδοση Εργαστηρίου Γεωργικής Μικροβιολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
3. Georgakakis D. & Th. Krintas, 2000. 'Optimal use of the Hosoya system in composting poultry manure'. Περιοδικό Bioresource Technology. Elsevier Publishing Co., vol. 72, p. 227-233.
4. Mari I. et al 2003. 'Co-composting olive press cake (OPC) with olive oil mill waste (OMW) with pH correction by adding elemental sulphur to the end product' στο περιοδικό COMPOST SCIENCE.

Η ΕΚΠΛΥΣΗ ΤΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ π. ΣΤΡΥΜΩΝΑ- ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

Ε. Σταυρινός

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, Δ/νση Σχεδιασμού Εγγ. Εργων και Αξιοπ/σης
Εδαφ/Υδατικών Πόρων
Σεράφη 60 & Λιοσσιών 210, Αθήνα 104 45, email : estav2@yahoo.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χωρική και χρονική διασπορά της έκπλυσης των νιτρικών στα εδάφη της λεκάνης απορροής π. Στρυμώνα παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλες μεταβολές συγκεντρώσεων σε αμμώδη εδάφη (100 – 120 mg / l) στο βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (60 cm) με επίπεδο εμπιστοσύνης $\pm 8,73\%$ και στα βαριά αργιλώδη εδάφη (30-50 mg / l) μικρότερες συγκεντρώσεις σε μεγαλύτερα βάθη εδάφους (> 90 cm) με ελάχιστες σημαντικές διαφορές $\pm 1,56\%$ ($p < 0,05\%$).

Οι δόσεις άρδευσης συγκρινόμενες με το ποσοστό μείωσης των αποδόσεων των καλλιεργειών της περιοχής με τις απώλειες της έκπλυσης του νιτρικού αζώτου χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του περιβαλλοντικού κόστους του αρδευτικού νερού. Στο πρώιμο καλαμπόκι και το βαμβάκι το ποσοστό απωλειών που αντιστοιχούν στα ποσοστά του περιβαλλοντικού κόστους, κυμάνθηκε από 8% έως 14% των αποδόσεων, ενώ στα τεύτλα και στο ρύζι υπολογίστηκε στο 18% και 25%, αντίστοιχα.

NITRATE NITROGEN LEACHING IN STRIMONA RIVER BASIN IRRIGATION NETWORK AND THE CORRESPONDING ENVIRONMENTAL COST EVALUATION

E. Stavrinou

Ministry of Rural Development and Foods, Direction of Land Reclamation and Soil-Water
Resources Exploitation, 60 Serafi & 210 Liossion Ave., Athens 104 45

ABSTRACT

The spatial and temporal variability of nitrate leaching in perimeter of irrigation network of Strimonas river basin in sandy surface soils appears significant greater concentration (100 – 120 mg / l) while in clayey soils appears significant lower (30-50 mg / l). The level of nitrogen leaching has been calculated by confidence limits of $\pm 8,73\%$ ($p < 0,05\%$) in the depth of root zone (60 cm) while the nitrogen losses in depth of soil by confidence limits of $\pm 1,56\%$ ($p < 0,05\%$). In corn and cotton crop the values of environmental rates were distributed from 8 % to 14 % while in sugar beet at 18 % and the rice crop appeared to have the higher value greater than 25 %.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κοστολόγηση του αρδευτικού νερού στα πλαίσια του Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής (Κ.Ο.Γ.Π.) που υπαγορεύεται από την *Οδηγία* (91/676/ΕΟΚ) για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορρύπανση, είναι απαραίτητο εργαλείο για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής (Οδηγία 2000/60 της ΕΕ. "περί πολιτικής των νερών")

Η διατήρηση των χαμηλών τιμών νερού στον αγροτικό χώρο δεν αποτελεί κίνητρο αναζήτησης εναλλακτικών χρήσεων και το γεγονός αυτό στις καθαρά γεωργικές περιοχές είναι ζωτικής σημασίας διότι συμβάλει στην εξασφάλιση πολλαπλών κοινωνικών στόχων (G.W.P., 2000).

Στο άρθρο 5 της Οδηγίας η οικονομική ανάλυση του νερού περιγράφεται α) με την προσέγγιση της οικονομικής σημασίας χρήσεων ως φυσικού αγαθού β) με την ανάλυση των τάσεων ζήτησης, προσφοράς νερού και της επαναχρησιμοποίησης αστικών αποβλήτων και γ) με τον προσδιορισμό του κόστους ανάκτησης του νερού. Από οικονομική άποψη η μέτρηση της εμπορικής τιμής του νερού προσδιορίζεται από το την ισότητα του οριακού οφέλους και οριακού κόστους (Stavrinos, 2000).

Στη περίμετρο αρδευτικού δικτύου και σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης η τιμή του νερού άρδευσης υπολογίζεται από την προστιθέμενη αξία του ($\text{€}/\text{m}^3$) ως το κόστος υπηρεσιών νερού. Στα ανοιχτά συλλογικά αρδευτικά δίκτυα δεν προσδιορίζεται με την τιμή των υπηρεσιών του νερού αλλά από την προσδοκία παραγωγών να επιτύχουν επιπλέον όφελος που εκφράζει και περιλαμβάνει το περιβαλλοντικό κόστος και το έμμεσο κόστος του νερού – κοινωνικού οφέλους. (Ready, R 1995). Για το περιβαλλοντικό κόστος απαιτούνται στοιχεία ώστε να εκτιμηθεί η υποβάθμιση του άμεσου οφέλους του νερού (νιτρικά, άλατα κ.α) και στην συνέχεια να υπολογισθεί η επιβάρυνση διατήρησης της ποιότητας του αρδευτικού νερού.

Η μεγάλη κινητικότητα των νιτρικών και αμμωνιακών λιπασμάτων μέσω του κύκλου του αζώτου στο έδαφος και το νερό, ως ενιαίο οικοσύστημα, δημιουργούν περιβαλλοντική και οικονομική υποβάθμιση των εδαφοϋδατικών πόρων (Ζαλίδης, κ.ά, 2002). Στο γεωργικό έδαφος, οι απώλειες ανόργανου αζώτου λόγω της έκπλυσης, μετά από άρδευση και βροχόπτωση, εξαρτώνται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, τη ποσότητα των χρησιμοποιούμενων αζωτούχων λιπασμάτων, τη πραγματική εξατμισοδιαπνοή και το σύνολο των καλλιεργειών (Paschalidis and Stavrinos, 2002).

Οι ανάγκες μεγάλου αριθμού εδαφικών δειγμάτων για τη χωρική και χρονική αξιολόγηση της παραλλακτικότητας εδαφικών και υδατικών παραμέτρων έκπλυσης του νιτρικού αζώτου σε σχέση με τις απαιτήσεις των καλλιεργειών σε άζωτο έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη ανάλογων εμπειρικών και στοχαστικών μαθηματικών προτύπων (Stavrinos et al., 2005).

Στη λεκάνη απορροής του Στρυμόνα και της λίμνης Κερκίνης, ως αντιπροσωπευτικό γεωργικό οικοσύστημα, οι εδαφικές ιδιότητες και το υδατικό ισοζύγιο αξιολογήθηκε η χωρική και χρονική διασπορά των συγκεντρώσεων των νιτρικών, βάση των στοιχείων των μετρήσεων από τις ετήσιες εκθέσεις του Υπ. Αγροτ. Ανάπτυξης & Τροφίμων (1994-2003). Με βάση τα στοιχεία αυτά και ακολουθώντας εμπειρικά και στοχαστικά μαθηματικά πρότυπα που προτείνονται από τους Burns (1974), Townner (1983) και τους Adams et al., (1990) σχετικά με την εκτίμηση της έκπλυσης των νιτρικών, προσδιορίστηκε το κόστος ανάκτησης υπηρεσιών άρδευσης.

2. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο πλέον γνωστός τύπος διάχυτων γεωργικών ρύπων είναι η ρύπανση από την έκπλυση των νιτρικών ανόργανων λιπασμάτων. Ένας άμεσος τρόπος προσέγγισης του περιβαλλοντικού αυτού προβλήματος είναι η εκτίμηση του ισοζυγίου αζώτου εισροών –ανόργανου αζώτου μείον το άζωτο που απορροφάται από τις καλλιέργειες και την εξάτμιση σε αμμωνιακή μορφή. Το ισοζύγιο αζώτου ως περιβαλλοντικός δείκτης (4.6 kg / ha) συγκρινόμενος με τον μέσο όρο της ΕΕ είναι πολύ μικρός και το ποσοστό απορρόφησης του αζώτου κυμαίνεται σε ποσοστό 45% (Eurostat, 1990-91).

Πίνακας 1. Κατανομή αρδευόμενων καλλιεργειών στη περιοχή του δικτύου

Καλλιέργειες	Μέση τιμή (Ευρώ / kg)	Εκταση (ha)	Ποσοστό %	Παραγωγή (τόννοι)	Μέση απόδοση (kg / ha)	Ακαθ. Αξία (χιλ. Ευρώ)
Καλαμπόκι	0,14	2.892,00	17,08	33.258,00	11.500	4656,12
Βαμβάκι	0,28	1.379,70	8,15	4.966,92	3.600	1390,74
Ζαχ/τλα	0,04	1.560,20	9,22	93.612,00	60.000	3744,48
Μηδική	0,15	3.267,20	19,3	49.008,00	15.000	7351,20
Ρύζι	0,27	6.527,20	38,56	52.217,60	8.000	14098,75
Συνολο		15.626,30	92,31			31241,29

2.1. Περιγραφή της περιοχής μελέτης: Ο υδροκρίτης του Στρυμόνα καλύπτει μια έκταση 1.720.000 ha (841.000 ha Βουλγαρία, 236.500 ha Π.Δ.Γ.Μ και 642.500 ha Ελλάδα.). Το συνολικό μήκος της λεκάνης απορροής είναι 360 km, με 115 km από την πλευρά της Ελλάδας. Η αρδευόμενη έκταση στο Ν. Σερρών υπολογίζεται σε 85.000 ha (55.000 εκτάρια περιλαμβάνονται στη περίμετρο συλλογικών αρδευτικών δικτύων).

Πίνακας 2. Υδατικό ισοζύγιο της λεκανής απορροής του Στρυμόνα

(Μέσοι Οροι Περιόδου 1982-1990)

Εισροές (m ³ x 10 ⁶)		Εκροές (m ³ x 10 ⁶)	
Βροχοπτώσεις (P)	2.400	Πραγματ.Εξάτμ/πνοή(E)	3.340
Εισροές ανάντι της ροής (q)	3.150	Εκπλυση (I)	323
Επαναχρησιμοποιούμενες (q _{ex} =Q _{ex} /3)	43	Κατάντι του ποταμού(Q _{ex})	130

(πηγή: Υπουργείο Ανάπτυξης, Δ/νση Υδάτων & Φυσικών Πόρων)

2.2. **Εδάφη**. Κατά μήκος της επιφανειακής απορροής του ποταμού απαντώνται αλλουβιακά εδάφη αμμοπηλώδη (SL) 32 %, πηλώδη (L) 34 %, αργιλοπηλώδη (CL) 23 % και αργιλώδη (C) 10 % με αντίστοιχες φυσικοχημικές ιδιότητες. Τα εδάφη έχουν pH > 7,5 (1:2 H₂O), CaCO₃

>18% και οργανική ουσία <3 % και έχουν ταξινομηθεί ως ENTISOLS (*Xerofluvents*) στην υποκατηγορία *Fluvents*, και Aquic *Xerofluvents*

Πίνακας 3. Φυτικοχημικές ιδιότητες των εδαφών του Στρυμόνα

Βάθος	Εδαφικός τύπος	CaCO ₃ (%)	pH (1:1 H ₂ O)	Οργανική Ουσία(%)	Ισοδ/μο Υγρασίας(%w)	Υδατοϊκ/τα (%)
0-30	SL-L	8.20	7.8	2.20	11.40	20.6
30-60	SiCL	6.60	7.6	1.40	11.60	21.4
60-90	CL	10.20	7.8	1.30	11.80	21.7

2.3. Προσδιορισμός μεταβλητών κοστολόγησης αρδευτικού νερού :

Η γενική μορφή της συνάρτησης παραγωγής – δόσης άρδευσης – αζωτούχου λίπανσης αποδίδεται σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης με τις παρακάτω εξισώσεις:

$$U = U [X, F(L, Q)], \quad Q = Q(E), \text{ και } X = X(L, Q) \quad (1)$$

όπου U το διαθέσιμο νερό άρδευσης (mm), X η διαθέσιμη εδαφική υγρασία (mm) Q το φορτίο συγκέντρωσης ρύπων νιτρικών στο νερό άρδευσης (mg / l), F αποδόσεις kg / ha που εκφράζονται με τη σχέση παραγωγής, όπου L : μεταβλητές δαπάνες λειτουργίας αρδευτικού δικτύου (πίνακας συντελεστών εισροών εργασίας, επενδύσεων και στράγγισης E .

α. Εκπλυση νιτρικών:

Χρησιμοποιώντας προσαρμοσμένες μορφές των παρακάτω εμπειρικών εξισώσεων υπολογίστηκε το ποσοστό του αζώτου σε μορφή νιτρικού αζώτου NO₃-N (mg / l) που εκπλύνεται σε διαφορετικά βάθη και εδαφικούς τύπους.

$$X(\%) = [I / (I + \theta \Delta z)]^{z / \Delta z}$$

$$X(\%) = \exp [- z \cdot \theta / W] \quad (\text{Burns, 1974}) \quad (2)$$

$$P_w = \frac{E}{(100 - BA)} - E + 0,15 * W \quad \text{όπου}$$

I : δόση άρδευσης (mm), P_w : νερό άρδευσης ή βροχόπτωσης που εκπλύνεται στο βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (mm) για κάθε στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, θ : η υδατοϊκανότητα του εδάφους(%), z : το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (cm), E : ενεργός εξάτμιση, W : οφέλιμη βροχόπτωση (cm), BA : απόδοση άρδευσης (%) στη περιοχή αρδευτικού δικτύου.

β. Συνθήκες υπολογισμών και χαρακτηριστικά του δικτύου :

Με τις παραπάνω εξισώσεις παραγωγής και σύμφωνα με την αρχή του Pareto η μεγιστοποίηση των αποδόσεων στη γεωργική εκμετάλλευση εκφράζεται από τη σχέση συνθηκών αναφοράς:

$$\partial X / \partial E = - [\sum (\partial U \partial Q / \partial Q \partial E) / \partial U / \partial X + \sum (\partial X \partial Q / \partial Q \partial E)] \quad (4)$$

που προσδιορίζει ότι η ρύπανση με τα διάφορα επίπεδα έκπλυσης νιτρικών θα κυμανθεί στο επίπεδο που το οριακό προϊόν αυτών εξισώνεται με το άθροισμα των οριακών απωλειών.

$$\partial U \partial F / \partial F \partial L = \partial U \partial X / \partial X \partial L \quad (5)$$

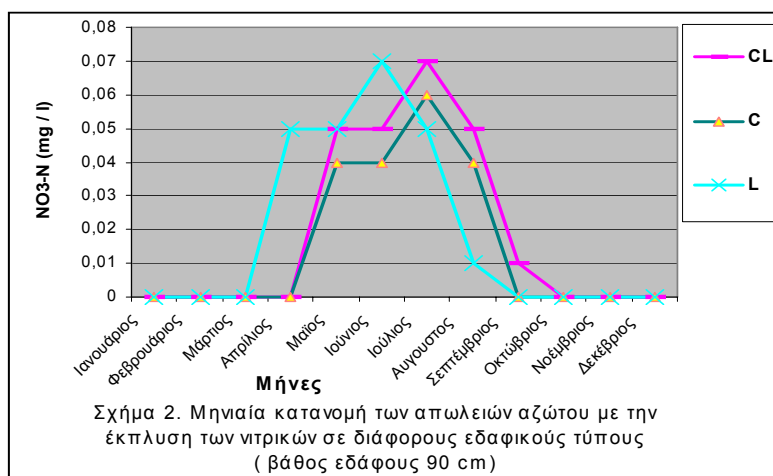
Οι βέλτιστες χρήσεις του νερού σε επίπεδο αρδευτικής μονάδας του δικτύου συμπερασματικά δίνονται από τις n παρακάτω εξισώσεις του αριθμού καλλιεργειών

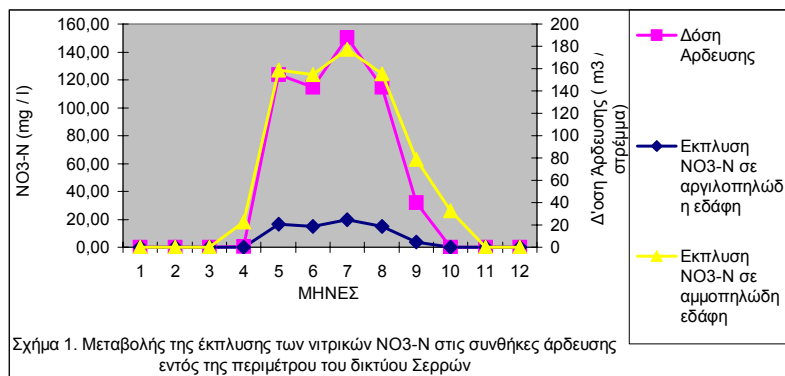
$$P_1 \cdot \partial F_1 / \partial X_1 = P_2 \cdot \partial F_2 / \partial X_2 = \dots = P_n \cdot \partial F_n / \partial X_n \quad (6)$$

	NO ₃ -N(mg/L) σε 90 cm βάθος						
Μήνες	SL	CL	C	L	mean	STDEV	LSD(5%)
Ιανουάριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Φεβρουάριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Μάρτιος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Απρίλιος	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00
Μαΐος	0,41	0,05	0,04	0,05	0,17	0,16	0,03
Ιούνιος	0,36	0,05	0,04	0,07	0,15	0,13	0,02
Ιούλιος	0,56	0,07	0,06	0,05	0,23	0,22	0,04
Αυγустος	0,36	0,05	0,04	0,01	0,15	0,15	0,03
Σεπτέμβριος	0,05	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
Οκτώβριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Νοέμβριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Δεκέβριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Πίνακας 5. Στατιστική ανάλυση παραμέτρων έκπλυσης νιτρικών NO₃-N στο αρδευτικό δίκτυο Σερρών της λεκάνης απορροής π. Στρυμόνα

Μεταβλητές	Μονάδες	MEAN	STDEV	VARIANCE	Sample Size
Επιφανειακή Απορροή	mm	141,8	42,32		120
Διαθέσιμη Υγρασία	mm	21,4	9,33	64,87	120
Απαιτήσεις καλλ/γείων	mm	724,8	239,2	1157,44	120
Συγκέντρωση νιτρικών	mg / l	60,89	64,97	1968,79	120





Πίνακας 6. Οι γραμμικές τάσεις αποδόσεων καλλιεργειών και έκπλυσης νιτρικού αζώτου στη λεκάνη απορροής του Στρυμόνα

Καλλιέργειες	Τάσεις περιβαλλοντικού κόστους	Απαιτήσεις καλλιεργειών (m ³ / ha)
Κλαμπόκι πρώιμο	$(P_K \partial F_K / \partial X_K) = 77,56 - 0,16 X_K$	721
Βαμβάκι	$(P_B \partial F_B / \partial X_B) = 64,00 - 0,34 X_B$	166
Ζαχαρότευτλα	$(P_Z \partial F_Z / \partial X_Z) = 88,44 - 0,23 X_Z$	418
Ρύζι	$(P_P \partial F_P / \partial X_P) = 132,67 - 0,22 X_P$	5000

P_K, P_B, P_Z, P_P οι τιμές των αντίστοιχων προϊόντων

Η συγκέντρωση νιτρικών στο νερό άρδευσης αξιολογήθηκε με το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας ως ποσοστιαία απώλεια νερού επί των πραγματικών μηνιαίων αναγκών του συνόλου των καλλιεργειών σε διαφορετικούς εδαφικούς τύπους στη περίμετρο του αρδευτικού δικτύου Σερρών. Η χωρική και χρονική διασπορά της έκπλυσης των νιτρικών παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλες συγκεντρώσεις σε αμμώδη εδάφη της λεκάνης απορροής ιδιαίτερα τη διάρκεια υψηλών απαιτήσεων καλλιεργειών σε νερό (Ιούλιος). Τα επίπεδα της έκπλυσης στο βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (60 cm) παρουσιάζουν επίπεδο εμπιστοσύνης $\pm 8,73\%$ ($p < 0,05$ %), ενώ οι απώλειες με την έκπλυση σε βάθος εδάφους (> 90 cm) σε επίπεδο $\pm 1,56\%$ ($p < 0,05$ %). Ο υπολογισμός της έκπλυσης του νιτρικού αζώτου και το οριακό προϊόν των εξισώσεων παλινδρόμησης παραγωγής των ποσοτήτων αυτών (πίνακες 5 & 6) σε συσχέτιση με τις αναμενόμενες αποδόσεις των καλλιεργειών χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό του περιβαλλοντικού κόστους. Το κόστος αυτό εκφράζεται με το ποσοστό της ωφέλειας που αναμένεται από τη λειτουργία του αρδευτικού δικτύου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο έλεγχος της υποβάθμισης των εδαφοϋδατικών πόρων στις διακρατικές λεκάνες απορροής μελετάται με τον υπολογισμό του μεταβλητού κόστους παραγωγής λαβάνοντας υπ όψη τις παρακάτω κατευθύνσεις ανάπτυξης σχεδίων διαχείρισης υδατικών πόρων:

(i) την ανάλυση της λειτουργίας των υφιστάμενων συλλογικών αρδευτικών δικτύων και της υποβάθμισης του περιβάλλοντος λόγω της έκπλυσης νιτρικού αζώτου γεωργικής χρήσης από την άρδευση στη περίμετρο αρδευτικού δικτύου, (ii) την εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων χωρικής και χρονικής ανάλυσης σε σχέση με την υποβάθμιση των εδαφών και υδατικών πόρων από την έκπλυση νιτρικών, (iii) την εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους με έμφαση στους εδαφοϋδατικούς πόρους και την οικονομική αξιολόγηση σεναρίων άρδευσης (iv) την αξιολόγηση ζήτησης και προσφοράς νερού άρδευσης σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού και (v) την αξιολόγηση των χρήσεων του αρδευτικού νερού (κόστους-οφέλους) στην προσφορότερη κλίμακα λεκανών απορροής ποταμών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Burns. I.G. 1974. A model for the forecast of redeployment of salts applied in the earth of fallows the excessive rainfalls or the evaporation. J. Earth Sci. 25 : 165.
2. Courant. P. and Porter R. 1981. Averting Expenditure and the Cost of Pollution. J. Environ Econ. Management., De. 8(4): 321-329.
3. Donker. N.H.W. 1987. WTRBLN: A computer program to calculate water balance. Computers and Geosciences. Vol 13(2). 95-122.
4. Οδηγία 2000/60, πλαίσιο ύδατος W.F.D. περί πολιτικής του ύδατος στην ΕΕ.
5. Οδηγία 91/676/ΕΟΚ Για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης.
6. Paschalidis. C. and Stavrinos. E. 2002. Irrigation rates and N-P-K fertilization effect on cotton production. J of Agric. Eng.(AMCSTI).Sofia.Vol.XXXIX (2).34-38
7. Ready, R 1995. Environmental valuation under uncertainty .In D.Bromleyed.TheHandbook of Environmental Economics (Oxford: Blackwell).
8. Stavrinos E.et al., 2005. Assessment of nitrate leaching in Strimon river basin based on water framework directive (WFD 2000/60 EU). Ecological Aspects of Denitrification with Emphasis on Agriculture, Proc. Of 5th Sci. Meeting of Cost Action. 856. Padova, Italy, .6th – 10th April.p.45.
9. Stavins, R.2000. Economics on the Environment. 4th Ed. Norton & Co. p. 108.
10. Towner, C.D. 1883. A theoretical examination of equation of Burns for the forecast of refinement of fertilization of fertilizer of nitrate salts in a land surface. J of Agric.Sci. 100: 293.
11. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων. 2004. Ετήσιες εκθέσεις της ποιότητας ανάλυσης ύδατος άρδευσης: τόμος III : 234-253.

Ο ΤΑΡΑΤΣΟΚΗΠΟΣ ΩΣ ΜΕΣΟΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Δ. Ι. Μπαμπίλης, Π. Λόντρα

Γ. Π. Α. - Τμήμα Α. Φ. Π. & Γ. Μ., Εργ. Γ. Υδραυλικής, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης των ταρατσόκηπων στη συγκράτηση της βροχής και την επιβράδυνση της εκροής των όμβριων στους κύριους αποχετευτικούς αγωγούς, εγκαταστάθηκε πειραματικός ταρατσόκηπος σε κτήριο του Δήμου Αθηναίων στο Γουδί στον οποίο χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά υποστρώματα ανάπτυξης των φυτών και εφαρμόστηκαν εντάσεις βροχής $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ και $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρξε συγκράτηση των όμβριων από τον ταρατσόκηπο από 30,28% έως 55,10%, όταν οι ταχύτητες των εκροών εξισώθηκαν με τις εντάσεις των βροχών. Έτσι, οι ταρατσόκηποι σε ευρεία κλίμακα είναι δυνατόν να επηρεάσουν το υδρογράφημα μιας περιοχής αναχαιτίζοντας τη βροχή κατά τα πρώτα στάδια μιας καταιγίδας και περιορίζοντας το μέγιστο καταγραφόμενο ρυθμό απορροής.

FLOOD CONTROL PROTECTION OF URBAN AREAS THROUGH GREEN ROOFS CONSTRUCTIONS

D. J. Babilis and P. Londra

Agricultural University of Athens, Dept of Natural Resource Management and Agricultural
Engineering, Laboratory of Agricultural Hydraulic
75, Iera Odos – 11855 Athens

ABSTRACT

In order to investigate the retention of the rain and the reduction of the runoff rate to the main drainage pipes from green roofs, an experimental green roof was established on a building of the Municipality of Athens, using two different substrates and applying the rain intensities of $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ and $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$. The experimental results showed that the retention of the rainfall from green roofs was in a scale of 30,28% up to 55,10%, when the rates of runoff were equalized with the rain densities. It could be said that the green roofs in a wider scale could affect the hydrograph of an area controlling runoff from rainfall during the early stages of a storm and reducing the maximum recording runoff rate.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ταρατσόκηποι γνωστοί από την αρχαιότητα [1,2] αλλά και κατά την Αναγέννηση [3] συνεχίζουν να δυναμικά μέχρι σήμερα. Η ύπαρξή τους σε ευρεία κλίμακα είναι δυνατόν να επιλύσει σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι αστικές περιοχές. Ένα από αυτά είναι ότι μπορούν να επηρεάσουν ευεργετικά το υδρογράφημα μιας αστικής περιοχής αναχαιτίζοντας τη βροχή κατά τα πρώτα στάδια της καταιγίδας, περιορίζοντας τη μέγιστη καταγραφόμενη παροχή απορροής όμβριων λειτουργώντας ως διάταξη ανάσχεσης της πλημμύρας. Υποστηρίζεται ότι ένα από τα κύρια οφέλη των ταρατσόκηπων είναι η δυνατότητα συγκράτησης και ανάσχεσης των νερών της βροχής [4].

Η Αθήνα παρά το ετήσιο χαμηλό ύψος βροχής παρουσιάζει το φαινόμενο της ραγδαιότητας των βροχοπτώσεων και της συχνής εμφάνισης πλημμυρών. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να διερευνηθούν οι επιδράσεις των ταρατσόκηπων, οι οποίοι αναπτύσσονται σε υποστρώματα μικρού πάχους και περιέχουν κομποστοποιημένα απορρίμματα – απόβλητα, στη συγκράτηση και επιβράδυνση της εκροής των όμβριων, προκειμένου να λειτουργήσουν ως μέσον αντιπλημμυρικής προστασίας. Η χρησιμοποίηση κομποστοποιημένων απορριμμάτων και στερεών αποβλήτων αστικών περιοχών δίνει επίσης μια διέξοδο στα περιβαλλοντικά προβλήματα αποθήκευσης των προϊόντων αυτών που έχουν δημιουργηθεί στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τα υλικά, οι συσκευές και οι μέθοδοι που αναφέρονται πιο κάτω.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δύο υποστρώματα ανάπτυξης των φυτών. Το υπόστρωμα 1 που αποτελείτο από κομπόστα και ελαφρόπετρα σε αναλογία 7:3 κ.ό. και το υπόστρωμα 2 που αποτελείτο από την ίδια κομπόστα και κεραμοχάλικο σε αναλογία 7:3 κ.ό. Η χρησιμοποιηθείσα κομπόστα με την εμπορική ονομασία Blumenerde περιείχε τύρφη 70% κ.β. Το υπόλοιπο 30% αποτελείτο από κομποστοποιημένα αστικά απορρίμματα και αλεσμένα φυτικά υπολείμματα. Η κομπόστα περιείχε οργανική ουσία 20% και είχε pH 5-6,5. Η ελαφρόπετρα που χρησιμοποιήθηκε είχε μέγεθος κόκκων μέχρι 8 mm, μορφή κοκκώδη και φαινομενική πυκνότητα 605,9 kg m⁻³. Το κεραμοχάλικο που χρησιμοποιήθηκε είχε μέγεθος κόκκων μέχρι 8 mm και φαινομενική πυκνότητα 1.109,2 kg m⁻³.

Ο πειραματικός ταρατσόκηπος εγκαταστάθηκε στην περιοχή της Αττικής σε υπάρχον ισόγειο κτήριο γραφείων του Δήμου Αθηναίων στο Γουδί, που διέθετε ταράτσα με υγρομόνωση από ασφαλική μεμβράνη. Στην πειραματική ταράτσα διαμορφώθηκαν τρία τεμάχια διαστάσεων 5,5m x 7,5m. Η στέγη παρουσίαζε σταθερή κλίση της τάξεως του 1% προς τρεις αποχετευτικούς αγωγούς που αντιστοιχούσαν στα τρία πειραματικά τεμάχια. Καταρχήν, στην ταράτσα στρώθηκε η ειδική αντιριζική μεμβράνη Zinco Root Barrier WSF 40, ακολούθησε η τοποθέτηση μίας τσόχας για τη συγκράτηση της υγρασίας (Zinco Moisture Retention/Protection Mat SSM 45), και στη συνέχεια εγκαταστάθηκε κυματοειδές διάτρητο φύλλο στράγγισης και συγκέντρωσης νερού (Zinco Floradrain FD25). Τέλος, ακολούθησε η διάστρωση του γεωφάσματος (Zinco Filtersheet SF). Πάνω από τα προαναφερθέντα υλικά τοποθετήθηκαν τα υποστρώματα σε πάχος 9 cm. Στο πειραματικό τεμάχιο 1 τοποθετήθηκε το υπόστρωμα 1 και στο πειραματικό τεμάχιο 2 τοποθετήθηκε το υπόστρωμα 2. Το πειραματικό τεμάχιο 3 ήταν γυμνό και αποτελούσε το μάρτυρα.

Η υγρασία προσδιοριζόταν σε κάθε τεμάχιο με αισθητήρες υγρασίας (συσκευής TDR) που είχαν τοποθετηθεί στη μάζα των υποστρωμάτων. Οι εκροές κάθε πειραματικού τεμαχίου

συγκεντρώνονταν σε ειδικά δοχεία και ζυγίζονταν σε τρεις ηλεκτρονικούς ζυγούς με καταγραφή ανά λεπτό.

Τα φυτά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πολυετή ποώδη, θαμνώδη και αναρριχώμενα. Αυτά ήταν η ονυχωτή Βιγνόνια (*Bignonia capensis*), το Ρυγχόσπερμα (*Trachelospermum jasminoides*), το Αγιόκλημα (*Lonicera sp.*), η Μυρτιά (*Myrtus communis*), η Λεβαντίνη (*Santolina chamaecyparissus*), η Διμορφοθήκη (*Dimorphotheca pluvialis*), η Σινεράρια (*Senecio maritima*), η Γκαζάνια (*Gazania sp.*) και η Βίγκα (*Vinca minor*).

Το ολικό πορώδες των υποστρώματων υπολογίστηκε ως η περιεχόμενη υγρασία στον κορεσμό, κατά τη διάρκεια προσδιορισμού των καμπυλών υγρασίας, οι οποίες προσδιορίστηκαν με τροποποιημένες συσκευές Haines [5]. Οι φαινομενικές πυκνότητες των υποστρώματων και οι υδραυλικές αγωγιμότητες στον κορεσμό μετρήθηκαν σε αδιατάρακτα δείγματα ύψους 9 cm και διαμέτρου 7,1 cm.

Η τεχνητή βροχή στον ταρατσόκηπο εξασφαλίστηκε με εκτοξευτήρες σε τετραγωνική διάταξη 2,60m x 2,60 m και η ομοιομορφία κατανομής του νερού προσδιορίστηκε κατά Christiansen [6] δίδοντας συντελεστή 92%.

Στα τρία πειραματικά τεμάχια του ταρατσόκηπου εφαρμόστηκε τεχνητή βροχή με δύο σταθερές εντάσεις βροχόπτωσης $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ και $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ αντίστοιχα και αρχική εδαφική υγρασία $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Πίνακα 1 φαίνονται συγκεντρωτικά όλες οι περιπτώσεις εφαρμογής των δύο εντάσεων βροχόπτωσης και οι εκροές για τα δύο υποστρώματα πάχους 0,09 m με αρχική υγρασία $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Μελετώντας τον ταρατσόκηπο με το υπόστρωμα 1, στον οποίο εφαρμόζεται μια βροχή έντασης $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$, παρατηρείται ότι η εκροή των όμβριων άρχισε $5,42 \times 10^3 \text{ s}$ (90 min) μετά την έναρξη της βροχής και μέχρι τα $13,8 \times 10^3 \text{ s}$ (230 min), που είναι ο χρόνος εξίσωσης της ταχύτητας εκροής με την ένταση της βροχής, θα έχουν αποδοθεί $36,68 \times 10^{-3} \text{ m}$ (36,68 mm στήλης νερού) συνολικά. Φαίνεται λοιπόν ότι το υπόστρωμα του ταρατσόκηπου συγκράτησε $39,9 \times 10^{-3} \text{ m}$ από τα $76,58 \times 10^{-3} \text{ m}$ (ποσοστό 52,10%) της βροχόπτωσης στα πρώτα $13,8 \times 10^3 \text{ s}$ (230 min).

Για τον ταρατσόκηπο με το ίδιο υπόστρωμα 1, την ίδια αρχική υγρασία αλλά με ένταση βροχής $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$, παρατηρείται ότι η εκροή του βρόχινου νερού άρχισε μετά από $1,92 \times 10^3 \text{ s}$ (32 min) από τη έναρξη της βροχόπτωσης και μέχρι τα $8,4 \times 10^3 \text{ s}$ (140 min), οπότε η ταχύτητα της εκροής εξισώθηκε με την ένταση της βροχόπτωσης, αποδόθηκαν $97,60 \times 10^{-3} \text{ m}$. Στο τέλος, το υπόστρωμα 1 του ταρατσόκηπου συγκράτησε $42,40 \times 10^{-3} \text{ m}$ (30,28%) από το σύνολο των $14,0 \times 10^{-3} \text{ m}$ όμβριων που δέχθηκε στα πρώτα $8,4 \times 10^3 \text{ s}$ (140 min).

Στην περίπτωση του ταρατσόκηπου με το υπόστρωμα 2 και με ένταση βροχής $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$, η εκροή άρχισε μετά την παρέλευση $5,28 \times 10^3 \text{ s}$ (88 min) από την έναρξη της βροχόπτωσης και όταν η ταχύτητα της εκροής εξισώθηκε με την ένταση της βροχής μετά από $12 \times 10^3 \text{ s}$ (200 min) το υπόστρωμα συγκράτησε $29,30 \times 10^{-3} \text{ m}$ (55,11%) από το σύνολο των $66,59 \times 10^{-3} \text{ m}$ βροχόπτωσης.

Πίνακας 1: Συνοπτικά στοιχεία που αφορούν στις εισροές και εκροές κάτω από δύο διαφορετικές εντάσεις βροχής στα υποστρώματα 1 και 2.

		Εκκίνηση εκροής	Εξίσωση εισροής-εκροής
Υπόστρωμα 1 με	Χρόνος ($\times 10^3 \text{ s}$)	5,42	13,8

ένταση βροχής $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$	Ποσότητα εισροής ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	30,63	76,58
	Ποσότητα νερού που συγκρατήθηκε στην κατατομή ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	30,63	39,90 (52,10%)
	Ποσότητα νερού εκροής ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	0,00	36,68
Υπόστρωμα 2 με ένταση βροχής $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$	Χρόνος ($\times 10^3 \text{ s}$)	5,28	12
	Ποσότητα εισροής ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	29,30	66,59
	Ποσότητα νερού που συγκρατήθηκε στην κατατομή ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	29,30	36,70 (55,11%)
Υπόστρωμα 1 με ένταση βροχής $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$	Ποσότητα νερού εκροής ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	0,00	29,89
	Χρόνος ($\times 10^3 \text{ s}$)	1,92	8,4
	Ποσότητα εισροής ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	32,00	140,00
Υπόστρωμα 2 με ένταση βροχής $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$	Ποσότητα νερού που συγκρατήθηκε στην κατατομή ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	32,00	42,40 (30,28%)
	Ποσότητα νερού εκροής ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	0,00	97,60
	Χρόνος ($\times 10^3 \text{ s}$)	1,8	6,6
Υπόστρωμα 1 με ένταση βροχής $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$	Ποσότητα εισροής ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	30,00	110,00
	Ποσότητα νερού που συγκρατήθηκε στην κατατομή ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	30,00	38,81 (35,28%)
	Ποσότητα νερού εκροής ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	0,00	71,19

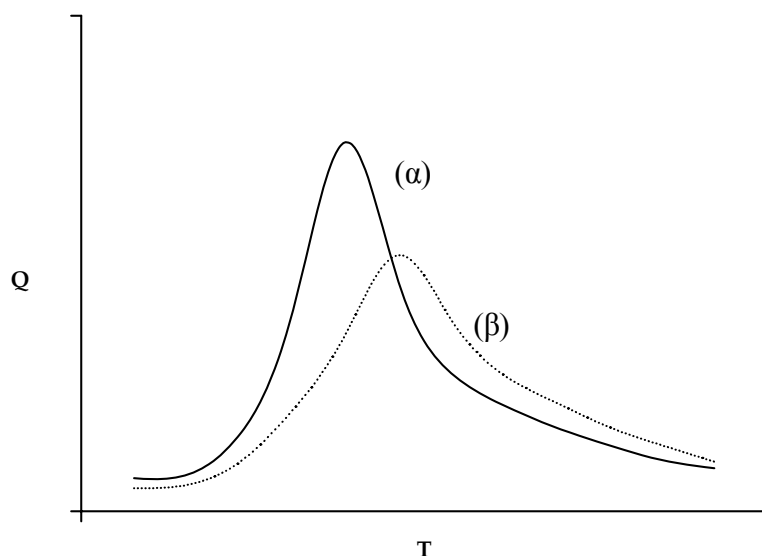
Τέλος, στην περίπτωση του υποστρώματος 2, αλλά με ένταση βροχής $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ η εκροή άρχισε στα $1,8 \times 10^3 \text{ s}$ (30 min) από την έναρξη της βροχόπτωσης. Τη στιγμή που η ταχύτητα της εκροής εξισώθηκε με την ένταση της βροχής, μετά από $6,6 \times 10^3 \text{ s}$ (110 min), είχαν συγκρατηθεί μέσα στο υπόστρωμα $38,81 \times 10^{-3} \text{ m}$ όμβρια (35,28%) από το σύνολο των $110 \times 10^{-3} \text{ m}$ της βροχόπτωσης.

Από όλα τα πειράματα επιβεβαιώνεται ότι η συγκράτηση όμβριων από τα πειραματικά τεμάχια είναι δυνατόν να δημιουργήσει αξιόλογη ανάσχεση στη φόρτιση του αγωγού αποχέτευσης όμβριων. Τα (υπόψη) πειραματικά στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν βάση για τον υπολογισμό των πλημμυρικών παροχών μιας αστικής περιοχής στην οποία υπάρχουν ταρτσόκηποι.

Ένταση βροχής $5,5 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ και διάρκειας $12,6 \times 10^3 \text{ s}$ (3,5h) αντιστοιχεί σε επεισόδιο βροχόπτωσης με περίοδο επαναφοράς την 20ετία για την περιοχή των Αθηνών [7]. Όπως προαναφέρθηκε στις δύο από τις επεμβάσεις των πειραματικών τεμαχίων 1 και 2 εφαρμόστηκε ένταση βροχής $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ και διάρκειας $13,8 \times 10^3 \text{ s}$ (3,83h) στο υπόστρωμα 1 και $12 \times 10^3 \text{ s}$ (3,33h) στο υπόστρωμα 2 και σημειώθηκε μείωση των όμβριων 52,1% και 55,11% αντίστοιχα στα δύο υποστρώματα.

Η παρέμβαση του ταρτσόκηπου ήταν διπλή και αφορούσε τόσο στη μείωση του όγκου των όμβριων που αποχετεύεται κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης, όσο και στην αισθητή χρονική μετατόπιση (υστέρηση) του σημείου αιχμής της παροχής εκροής.

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της ανάσχεσης της πλημμυρικής αιχμής μιας αστικής περιοχής όπως είναι η Αθήνα. Ο Κηφισός είναι ένα ποτάμι με σοβαρή πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων. Δέχεται απορροές όμβριων από μια επιφάνεια 417 Km^2 (συμπεριλαμβανομένου του ποταμού Ιλισού). Η μεγαλύτερη από την αστική περιοχή της ευρύτερης Αθήνας (240 από 330 Km^2) καταλήγει σε αυτόν τον συλλέκτη. Οι δείκτες αυτοί δείχνουν ότι το 58% ($=240/417$) των φορτίων του ποταμού προέρχονται από τον αστικό χώρο, και έτσι εξηγείται το γιατί η τάση εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων στην Αθήνα συνδέεται κύρια με την εμφάνιση βροχής πάνω από την πόλη.



Σχήμα 1: Τυπικό υδρογράφημα πλημμύρας στο φυσικό αποδέκτη χωρίς ταρατσόκηπους (α), με ταρατσόκηπους (β).

Από τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής προκύπτει ότι η ύπαρξη σημαντικής έκτασης ταρατσόκηπων μπορεί να έχει ευνοϊκά υδρολογικές και αντιπλημμυρικές επιπτώσεις. Τούτο φαίνεται σαφέστερο από το Σχήμα 1 στο οποίο φαίνεται η ποιοτική επίδραση των ταρατσόκηπων στην πλημμυρική απορροή. Εάν η καμπύλη (α) στο Σχήμα 1 αποτελεί το μοναδιαίο υδρογράφημα του Κηφισού ποταμού, η ύπαρξη σημαντικής έκτασης ταρατσόκηπων στην περιοχή θα αποκτήσει τη μορφή της καμπύλης (β). Η αιχμή της καμπύλης (α) όχι μόνο θα μειωθεί αλλά και θα υποστεί μια χρονική υστέρηση με ευνοϊκά σε όλες τις περιπτώσεις αποτελέσματα.

Η δημιουργία σημαντικής επιφάνειας ταρατσόκηπων σε στρατηγικής σημασίας σημεία της πόλης, είναι δυνατό να οδηγήσει τόσο στην αύξηση της αντιπλημμυρικής προστασίας όσο και στη μείωση της έντασης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Osmundson, T., 1999. Roof Gardens: History, Design and Construction, New York: W. W. Norton & Company Inc. (Amazon.com).
- [2] Jashemski, W., 1979. The Gardens of Pompeii: Herculaneum and the Villas Destroyed by Vesuvius. Aristide D. Caragzas, New Rochelle, NY, Volume I and II.
- [3] Gorse, G. L., 1983. Genovese Renaissance Villas: A Typological Introduction in Journal of Garden History, Volume 3, No. 4, , pp. 255-289.

- [4] North American Wetland Engineering, 1998. Ecology, Construction, and Benefits in ReNature/NAWE Green Roof Product Literature, Minnesota.
- [5] Haines, W. B., 1930. Studies in the physical properties of soils. V. The hysteresis effect in capillary properties and the models of moisture distribution associated therewith. *J. Agr. Sci.*, 20:97-116.
- [6] Christiansen, J.E., 1942. Irrigation by sprinkling, California Agr. Expt. Sta. Bull.
- [7] Koutsoyiannis, D. and Baloutsos, G., 2000. Analysis of a Long Record of Annual Maximum Rainfall in Athens, Greece, and Design Rainfall Inferences, *Natural Hazards* 29: 29-48, Kluwer Academic Publishers.

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ G.P.S. ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ

Ε. Καραγιάννης*, Π. Καραρίζος*, Β. Δρόσος και Β. Γιαννούλας***

*Α.Π.Θ.-Τμήμα Δασολογίας & Φυσ. Περιβάλλοντος, 54124 Θεσ/νίκη

** Δ.Π.Θ.-Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος και
Φυσικών Πόρων, Πανταζίδου 193, 68200 Ορεστιάδα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή εξετάζεται η ακρίβεια ενός χαμηλού κόστους G.P.S. (χειρός) κατά την υψομετρική αποτύπωση ενός δασικού δρόμου. Για τους σκοπούς της έρευνας έγιναν επίσης μετρήσεις με το αλτίμετρο Thommen, με το κλισίμετρο Meridian και το γεωδαιτικό σταθμό, οι τιμές του οποίου πάρθηκαν σαν αληθείς τιμές. Από τη στατιστική ανάλυση των διαφορών υπολογίστηκαν το μέσο αριθμητικό σφάλμα, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου, προέκυψαν συμπεράσματα για την ακρίβεια των μετρήσεων και τέλος έγιναν οι σχετικές προτάσεις.

Λέξεις κλειδιά: Υψομετρική αποτύπωση, δασικός δρόμος, G.P.S.

THE CAPABILITIES OF THE GPS SYSTEM'S APPLICATION IN THE FOREST'S OPENING-UP WORKS

E. Karagiannis*, P. Kararizos*, V. Drosos and V. Giannoulas ***

* School of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki,
54124

** School of Forestry and Management of Environment and Natural Resources,
Democritus University of Thrace, Orestiada 68200

ABSTRACT

In this paper the accuracy of a low-cost G.P.S. (handy) is researched during the hypsometrical surveying of a forest road. For the research's aims measurements were done with altimeter Thommen, clinometer Meridian and the total station, the values of which have been taken as true values. From the statistical analysis are calculated the mean arithmetical error, the mean square error and the mean square error of average, conclusions have come for the measurements' accuracy and finally became the relative suggestions.

Keywords: Hypsometrical surveying, forest road, G.P.S.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS = Global Positioning System) είναι το πιο πρόσφατο σύστημα και βασίζεται στις παρατηρήσεις δορυφόρων. Ο βασικός στόχος του GPS είναι να παρέχει υπηρεσίες ραδιοεντοπισμού υψηλής ακρίβειας, με παγκόσμια κάλυψη σε 24ωρη βάση, κάτω από οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες σε επίγειες, θαλάσσιες και εναέριες μονάδες των ΗΠΑ και του NATO. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια αποδείχθηκε ένα χρήσιμο εργαλείο και σε μη στρατιωτικές εφαρμογές [6].

Το GPS βασίζεται στην εύρεση της απόστασης μεταξύ δορυφόρων, στον υπολογισμό της απόστασης ανάμεσα στο δέκτη και τρεις ή περισσότερους (4 ή περισσότερους αν χρειάζεται και το υψόμετρο) και στην εφαρμογή απλών μαθηματικών.

Οι θέσεις των δορυφόρων είναι γνωστές κάθε στιγμή και είναι αποθηκευμένες στους δέκτες GPS. Ο εντοπισμός της θέσης του δέκτη ανάγεται στην εύρεση ενός γεωμετρικού τόπου, δηλαδή στην τομή τριών ή περισσότερων σφαιρών, που κάθε μία έχει ως ακτίνα την απόσταση κάθε δορυφόρου από το δέκτη.

Το GPS υπολογίζει την απόσταση ανάμεσα στο δορυφόρο και στο δέκτη, μετρώντας το χρόνο που απαιτείται για να φθάσει το σήμα του δορυφόρου στο δέκτη [14].

Ενώ το GPS σχεδιάστηκε αρχικά για στρατιωτική χρήση, σύντομα, μετά τη διατύπωση των αρχικών προτάσεων, έγινε σαφές ότι το GPS θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και από τους πολίτες και όχι μόνο για τον ατομικό προσδιορισμό θέσης (όπως προοριζόταν για το στρατό). Οι πρώτες δύο μεγάλες εφαρμογές για τους πολίτες ήταν η ναυσιπλοΐα και η τοπογραφία. Σήμερα οι εφαρμογές του GPS ποικίλλουν καθώς χρησιμοποιείται σε γεωδυναμικές, γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές [9],[16], στη διαχείριση στόλων αυτοκινήτων σε συνδυασμό με ηλεκτρονικούς χάρτες για την επίτευξη της συντομότερης διαδρομής, ειδικά σε έκτακτες ανάγκες, [18], στις εργασίες κτηματολογίου σε συνδυασμό με τα GIS [5], στη λεπτομερή και ακριβή απογραφή της υπάρχουσας διάνοιξης των δασών [10],[11], στη σύνταξη της προμελέτης και της μελέτης δρόμων [1], στην καθοδήγηση χωματουργικών μηχανημάτων σε συνδυασμό με το ψηφιακό μοντέλο του εδάφους, στον υπολογισμό της παραγωγικότητας των δασικών μηχανημάτων [12],[17].

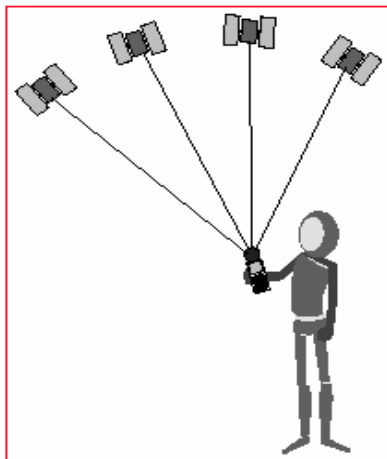
Η συνολική διαμόρφωση του GPS αποτελείται από τρία ξεχωριστά τμήματα:

- *Το Τμήμα Διαστήματος* (Δορυφόροι που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη).
- *Το Λειτουργικό Τμήμα Εδάφους* (Σταθμοί τοποθετημένοι γύρω από τον ισημερινό της γης ώστε να ελέγχουν τους δορυφόρους).
- *Το Τμήμα Χρηστών* (Οποιοσδήποτε λαμβάνει και χρησιμοποιεί το σήμα του GPS).

Για τις τοπογραφικές εργασίες υπάρχουν δύο κατηγορίες δεκτών στην αγορά:

1. Γεωδαιτικοί δέκτες ακριβείας, διπλής συχνότητας με προστατευμένους κωδικούς και ακρίβεια ± 1 m.
2. Δέκτες χαμηλού κόστους (χειρός), μίας συχνότητας, που ανάλογα με τη μέθοδο μέτρησης η ακρίβεια κυμαίνεται από 0,60 – 50 m.

Το υψηλό κόστος των οργάνων της πρώτης κατηγορίας, πάνω από 30.000 €, τα καθιστά απαγορευτικά για χρήση σε γεωδαιτικές εφαρμογές, ενώ αντίθετα το σχετικά χαμηλό κόστος των οργάνων της δεύτερης κατηγορίας, μικρότερο από 300 €, τα καθιστά ελκυστικά για τις γεωτεχνικές εφαρμογές (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. G.P.S. χειρός.

Η ακρίβεια των G.P.S., σε δασικό περιβάλλον, είναι ένα μειονέκτημα για πολλές εφαρμογές που απαιτούν ακρίβεια, ιδιαίτερα μέσα σε κλειστό από το φύλλωμα ουρανό. Μετά τη λήξη της επιλεκτικής διαθεσιμότητας βελτιώθηκε η ακρίβεια των μικρού κόστους G.P.S. [2], [5], [15]. Τα μικρά φορητά G.P.S είναι πιο εργονομικά στη δασική πράξη, συνδυάζονται και με πυξίδα και με αλτίμετρο και έτσι έχουν μια σίγουρη βασική ακρίβεια, όταν οι μετρήσεις γίνονται σε ανοικτό ουρανό και από εκεί οι διευθύνσεις μετρούνται με την πυξίδα σε σημεία κάτω από φύλλωμα [3], [13].

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση του βαθμού αξιοπιστίας κατά την υψομετρική αποτύπωση ενός δασικού οδικού δικτύου, με τη χρήση ελαφρών φορητών δεκτών G.P.S. και η σύγκριση των μετρήσεων με αυτές που προέκυψαν από αλτίμετρο, από κλισίμετρο και από γεωδαιτικό σταθμό.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1. Περιοχή έρευνας

Για τους σκοπούς της έρευνας, αποτυπώθηκε υψομετρικά δασικός δρόμος μήκους 2.049 μέτρων, που βρίσκεται στα όρια των δασικών τμημάτων 16 και 53 του Πανεπιστημιακού δάσους Ταξιάρχη – Βραστάμων Χαλκιδικής και αποδόθηκε υψομετρικά με G.P.S χειρός, με αλτίμετρο, με κλισίμετρο και με γεωδαιτικό σταθμό.

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται νοτιοδυτικά του Δασαρχείου, καλύπτεται σε ποσοστό 96% από Πλατύφυλλο Δρυ (*Quercus conferta*) και άτομα Χνοόδους Δρύος (*Quercus pubescens*), επίσης υπάρχει Οξιά (*Fagus moesiaca*), καθώς και λόχμη από Τραχεία Πεύκη (*Pinus brutia*) και Μαύρη Πεύκη (*Pinus nigra*). Η περιοχή έχει υπερθαλάσσιο ύψος που κυμαίνεται από 700 – 890 μέτρα. Οι εγκάρσιες κλίσεις ξεπερνούν το 45%, το πλάτος του δρόμου που μετρήθηκε κυμαίνεται από 4 – 5 m, ενώ ο δρόμος ήταν περιτρυγισμένος από βελανιδιές ύψους 15 – 25 m [4].

2.2. Εκλογή οργάνων

Τα όργανα, που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των διαφόρων χαρακτηριστικών σημείων του δρόμου υψομετρικά, ήταν ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TC805/L, το αλτίμετρο Thommen, το κλισίμετρο Meridian, καθώς και το G.P.S χειρός eTrex Legend της GARMIN (Σχήμα 2).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του G.P.S χειρός eTrex Legend της GARMIN παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τεχνικά χαρακτηριστικά του G.P.S χειρός eTrex Legend της GARMIN

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Τιμή
Δέκτης	12 κανάλια
Αριθμός Σημείων	500
Ενσωματωμένη μνήμη	8 MB
Χρόνος ζωής μπαταρίας	22 ώρες
Διαστάσεις Οθόνης	2,1 x 1,1
Pixels (H x W)	288 x 160
Standard GPS Κεραία	Ενσωματωμένη
Βάρος	150 γραμμάρια
Διαστάσεις (Υ x Π x Β) σε cm	11,2 x 5,1 x 3,1
Ενσωματωμένη Ηλεκτρονική Πυξίδα	Όχι
Ενσωματωμένο Βαρόμετρο-Αλτίμετρο	Όχι
Θερμοκρασία λειτουργίας	-15 έως 70° C
Χρόνος απόκτησης σήματος	Περίπου 15 sec / Πρώτη φορά 5 min
Ρυθμός ενημέρωσης	Συνεχής κάθε 1 sec
Ακρίβεια στίγματος	15m
Ακρίβεια ταχύτητας	0,1 κόμβοι

2.3. Μέθοδος εργασίας

Οι μετρήσεις έγιναν τον Οκτώβριο του 2004, δηλ. μετά τον τερματισμό της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας, για τα χαμηλού κόστους (χειρός) G.P.S.

Για τη στατιστική ανάλυση οι τιμές του γεωδαιτικού σταθμού πάρθηκαν σαν αληθείς τιμές. Για τον έλεγχο του σφάλματος των μετρήσεων υπολογίστηκε:



Σχήμα 2. Το G.P.S χειρός eTrex Legend της GARMIN.

α. Ο μέσος όρος των αποκλίσεων των μετρήσεων από την αληθή τιμή, από τον τύπο του **μέσου αριθμητικού σφάλματος**:

$$\mu_a = \pm (\delta) / n$$

όπου:

μ_a = μέσο αριθμητικό σφάλμα.

(δ) = το άθροισμα των απολύτων τιμών των αληθινών διαφορών (σφαλμάτων) $\delta_1, \delta_2, \dots$,

δ_n .

n = το πλήθος των παρατηρήσεων.

β. Το **μέσο τετραγωνικό σφάλμα** των μετρήσεων:

$$\mu_t = \pm ((\delta\delta) / n)^{0.5}$$

όπου:

μ_t = μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

$$\delta\delta = E_t - E_G.$$

E_t = το αληθές υψόμετρο από τον γεωδαιτικό σταθμό.

E_G = το υψόμετρο που μετρήθηκε με G.P.S, με αλτίμετρο ή με κλισίμετρο.

n = ο αριθμός των μετρήσεων.

γ. Το κριτήριο του **μέσου τετραγωνικού σφάλματος του μέσου όρου**:

Τα προηγούμενα σφάλματα καθόριζαν το σφάλμα κάθε μίας μέτρησης της σειράς και όχι της πιθανής τιμής (μέσου όρου). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου δίνεται από τον τύπο:

$$\mu_M = \pm ((\delta\delta) / (n \times (n - 1)))^{0.5} = \pm \mu_t / (n)^{0.5}$$

όπου:

μ_M = το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου.

$$\delta\delta = (E_t - E_G)^2.$$

E_t = το αληθές υψόμετρο από τον γεωδαιτικό σταθμό.

E_G = το υψόμετρο που μετρήθηκε με G.P.S, με αλτίμετρο ή με κλισίμετρο.

n = ο αριθμός των μετρήσεων.

δηλαδή η αληθής τιμή X βρίσκεται μεταξύ των ορίων $(L + \mu_M)$, $(L - \mu_M)$,

όπου:

L = ο μέσος όρος της αληθούς τιμής X .

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον πίνακα 2 φαίνονται οι διαφορές των μετρήσεων των υψομέτρων με G.P.S., με αλτίμετρο και με κλισιμέτρο, σε σχέση με αυτά που μετρήθηκαν με το γεωδαιτικό σταθμό.

Από την έρευνα και τη μελέτη των στοιχείων της τοπογραφικής και της βαρομετρικής υψομετρικής απόδοσης με G.P.S., με αλτίμετρο και με κλισιμέτρο στην περιοχή έρευνας προέκυψαν, με βάση τη θεωρία των σφαλμάτων, στοιχεία που περιέχονται στον πίνακα 3.

Το μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ_a) του απόλυτου υψομέτρου H υπολογίστηκε σε $\pm 11,3318$ για το G.P.S., σε $\pm 4,9627$ για το αλτίμετρο και $\pm 1,5994$ για το κλισιμέτρο. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ_t) του απόλυτου υψομέτρου H υπολογίστηκε σε $\pm 12,4237$ για το G.P.S., σε $\pm 5,4038$ για το αλτίμετρο και $\pm 1,7070$ για το κλισιμέτρο. Τελικά το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου ανέρχεται σε $\pm 1,7397$ για το G.P.S., σε $\pm 0,7567$ για το αλτίμετρο και σε $\pm 0,2390$ για το κλισιμέτρο.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, κατά τη διάρκεια της υψομετρικής αποτύπωσης του δασικού δρόμου με το G.P.S., απορρίφθηκαν 12 μετρήσεις (ποσοστό 19%), που παρουσίαζαν μεγάλο σφάλμα, επειδή εμποδίζονταν από δένδρα στο κράσπεδο του δρόμου.

Το μέσο αριθμητικό και τετραγωνικό σφάλμα των μετρήσεων των υψομέτρων με G.P.S. αποκλίνει κατά 129% σε σχέση με τις μετρήσεις των υψομέτρων με αλτίμετρο και κατά 628% σε σχέση με τις μετρήσεις των υψομέτρων με κλισιμέτρο.

Έρευνες που έγιναν στο παρελθόν και αφορούσαν την υψομέτρηση με G.P.S. χειρός υπολόγισαν μέσο αριθμητικό και μέσο τετραγωνικό σφάλμα $\pm 11,199$ και $\pm 11,6148$ [5], καθώς και $\pm 14,856$ και $\pm 19,786$ αντίστοιχα [7].

Η υψομέτρηση με τα χαμηλού κόστους G.P.S. χειρός παρουσιάζει σημαντική ανακρίβεια που οφείλεται τόσο στη διαφορετική θέση του ελλειψοειδούς αναφοράς του WRS '84 σε σχέση με το ΕΓΣΑ '87, όσο και στη θέση του δέκτη (υψομετρικού σημείου), σε σχέση με τους δορυφόρους, που όπως είναι φυσικό βλέπουν από πάνω και όχι κάτω από το δέκτη.

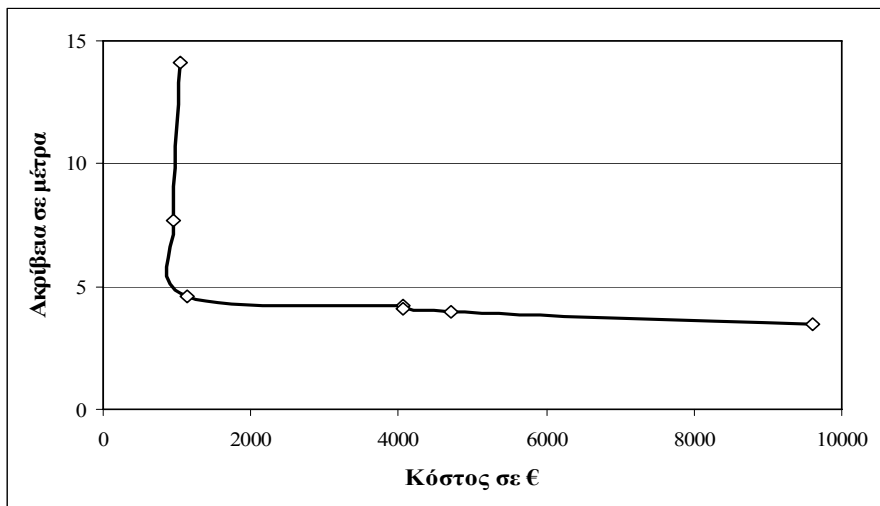
Η σημαντική αυτή ανακρίβεια θα έχει σαν αποτέλεσμα να παρατηρούνται σημαντικά σφάλματα κατά την υψομετρική αποτύπωση, με χαμηλού κόστους G.P.S. χειρός, οδικών δικτύων και κατά την προμελέτη χάραξης ενός δασικού δρόμου. Για τις εργασίες αυτές θα πρέπει να χρησιμοποιούνται G.P.S. με μεγαλύτερη ακρίβεια. Στο σχήμα 3 δίνεται η σχέση που υπάρχει μεταξύ της ακρίβειας και του κόστους αγοράς του G.P.S [8].

Πίνακας 2. Διαφορές μετρήσεων υψομέτρων με διάφορα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν

Διαφορές μετρήσεων υψομέτρων							
α/α	G.P.S.	Αλτίμετρο	Κλισίμετρο	α/α	G.P.S.	Αλτίμετρο	Κλισίμετρο
1	-10,416	-9,416	0	27	-17,982	-4,482	-1,775
2	-14,783	3,217	-0,476	28	-17,393	-5,393	-1,266
3	-14,879	4,121	--0,394	29	-17,760	-5,760	-1,753
4	-15,263	2,737	-0,973	30	-17,841	-5,841	-1,797
5	-15,343	2,657	-1,315	31	-18,539	-6,539	-1,660
6	-15,421	1,779	-0,246	32	-18,522	-6,522	-1,752
7	-15,501	1,999	-0,994	33	-18,575	-6,575	-1,946
8	-15,516	1,984	-1,304	34	-19,685	-6,685	-1,913
9	-15,507	1,993	-0,163	35	-7,387	-6,387	-1,478
10	-8,964	-1,964	-0,931	36	-7,402	-6,402	-1,386
11	-12,560	-2,560	-1,346	37	-4,219	-6,719	-1,999
12	-12,694	-2,694	-1,591	38	-4,222	-6,722	-2,095
13	-11,705	-3,705	-1,392	39	-4,221	-6,721	-2,290
14	-11,788	-3,788	-1,348	40	-5,501	-7,001	-2,130
15	-11,774	-2,774	-1,634	41	-5,455	-7,455	-2,156
16	-11,598	-2,598	-1,416	42	-5,378	-7,378	-2,256
17	-11,693	-2,693	-1,399	43	-4,504	-7,504	-2,236
18	-11,765	-2,765	-1,651	44	-4,608	-7,608	-2,430
19	-10,537	-3,037	-1,463	45	-4,462	-7,462	-2,340
20	-10,529	-3,029	-1,379	46	-4,384	-7,684	-2,304
21	-10,536	-2,536	-1,611	47	-4,033	-7,333	2,170
22	-10,020	-3,020	-1,297	48	-4,011	-7,311	-2,126
23	-17,581	-3,581	-1,717	49	-3,833	-7,333	-2,345
25	-17,442	-3,442	-1,747	50	-3,842	-7,342	-2,061
25	-18,171	-4,671	-1,856	51	-4,034	-7,534	-2,521
26	-18,143	-4,643	-1,742				
Άθροισμα					-595,914	-269,088	-81,570

Πίνακας 3. Ακρίβεια έρευνας

Όργανο	Μέγεθος δείγματος n	Μέσο αριθμητικό σφάλμα μα (m)	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα μτ (m)	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου μμ (m)
G.P.S	51	11,3318	12,4237	1,7397
Αλτίμετρο	51	4,9627	5,4038	0,7567
Κλισίμετρο	51	1,5994	1,7070	0,2390



Σχήμα 3. Σχέση μεταξύ της ακρίβειας των μετρήσεων και του κόστους αγοράς του G.P.S

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Η υψομετρική αποτύπωση, με χαμηλού κόστους G.P.S. χειρός, οδικών δικτύων στερείται αρκετά, από πλευράς αξιοπιστίας, σε σχέση με τις κλασικές τοπογραφικές μεθόδους. Ακριβέστερη ανεύρεση των υψομέτρων μπορεί να γίνει αν η όλη εργασία συνδυασθεί με αλτίμετρο. Υπάρχουν ήδη στην αγορά G.P.S. με ενσωματωμένο αλτίμετρο (GARMIN Samit).
2. Ο χρόνος διεξαγωγής των μετρήσεων με G.P.S. χειρός είναι ασύγκριτα μικρότερος από οποιαδήποτε άλλη κλασική τοπογραφική μέθοδο, χωρίς να απαιτείται ορατότητα μεταξύ των σημείων που αποτυπώνονται. Το σύστημα λειτουργεί κάτω από οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες, όλο το 24ωρο, με την απασχόληση ενός μόνο ατόμου χωρίς εξειδικευμένες γνώσεις.
3. Η αξιοποίηση του G.P.S. μέσα στο δάσος, παρουσιάζει προβλήματα στη λήψη του σήματος. Έτσι σε μια λωρίδα δρόμου πλάτους 5 μέτρων, μπορεί να προσδιοριστεί η θέση μόνο του 44 % των σημείων, ενώ σε ελεύθερο πεδίο το 89 %. Η ακρίβεια εξαρτάται από τη διαχειριστική μορφή της συστάδας, το δασοπονικό είδος και το φύλλωμα των δένδρων, καθώς και τον αριθμό και τη θέση των δορυφόρων που είναι στη διάθεσή μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βαρβάνης Α., Βασιλειάδης Θ.. 1996. Εφαρμογές του GPS στην Οδοποιία. Διπλωματική εργασία. Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας. Θεσσαλονίκη.
2. Γιαννίου Μ.. 2000. Τερματισμός της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας στο G.P.S. ATM, τεύχος 147, 46-55, Αθήνα.
3. Gzaja Jens, München & Marco Heurich. 2003. GPS für Waldinventur im Nationalpark Bayerischer Wald. Österreichische Forstzeitung, Heft 10, 31-32.
4. Διαχειριστικό σχέδιο Πανεπιστημιακού Δάσους Ταξιάρχη – Βραστάμων περιόδου 2002-2011. ΤΔΔΠΔ. Θεσσαλονίκη.

5. Δούκας Κ., Δρόσος Β. και Β. Γιαννούλας. 2002. GPS χαμηλού κόστους στη δασική πράξη. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, τιμητικός τόμος Λ. Αρβανίτη (υπό έκδοση).
6. Δούκας Α. Κ.. 2004. Τοπογραφία αγροτικών και δασικών περιοχών. Εκδόσεις Γιαχούδη. Θεσσαλονίκη.
7. Δρόσος Β.. 2005. G.P.S. χειρός στις αποτυπώσεις δασικών και αγροτοδασικών περιοχών. Ημερίδα με θέμα «Αναμόρφωση προγράμματος προπτυχιακών σπουδών-Νέες τεχνολογίες στην Τοπογραφία και το Κτηματολόγιο», που διοργανώθηκε από το Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Α.Π.Θ. (Πρακτικά ημερίδας υπό έκδοση).
8. Hamberger J..2002. G.P.S. in der Forstwirtschaft. Österreichische Forstzeitung, Heft 10, 36-37.
9. Jing Li et al. 2005. Computers and Geosciences. 31, 241-251.
10. Καραγιάννης Ε.. 1991. Διάνοιξη δάσους με τη μέθοδο της Δικτυωτής Ανάλυσης σε συνδυασμό με την οικονομικοτεχνική μετατόπιση του ξύλου και με άλλες δασοπονικές δραστηριότητες σε ορεινά δάση της Ελλάδος. Διδακτορική διατριβή. Επισ. Επετ. Τμημ. Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ., Παράρτημα αριθ. 5 του ΛΓ' Τόμου. Θεσσαλονίκη.
11. Καραγιάννης Ε.. 2004. Παραδόσεις Διάνοιξης Δάσους και Μεταφοράς ξύλου. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
12. Καραρίζος Π.. 1996. Σημειώσεις Εφαρμογών Μηχανημάτων Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
13. NWF Nordwest-Funk GmbH. 2002. GPS mit Kompass und Höhenmesser. AVN, Heft 8-9, 322.
14. Πριόβολος Γ.Δ.. 2000. GPS Τεχνολογία αιχμής στην παραγωγή των αντικειμένων του ΑΤΜ. Τεχνικά Χρονικά. Τεύχος 3.
15. Resnik B..2002. Praktische Untersuchungen zur Genauigkeit von Flächenermittlungen mit Handheld-GPS-Empfängern. AVN, Heft 10, 346-351.
16. Σάκκος Α., Βορριάς Ε.. 1998. Παρακολούθηση των μικρομετακινήσεων του στερεού φλοιού στη σεισμική περιοχή της λεκάνης της Μυγδονίας από δύο σειρές παρατηρήσεων GPS. Διπλωματική εργασία. Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας. Θεσσαλονίκη.
17. Taylor S.E., McDonald T.P., Veal M.W., Grift T.E.. 2001. Using GPS to evaluate productivity and performance of forest machine systems. Auburn University, Auburn.
18. Wells D.. 1987. Guide to GPS Positioning. Canadian GPS Associates. Fredericton, N.B., Canada.

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΥΟ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΜΗΛΩΝ

**Ε. Ράππος, Α. Αγγελοπούλου, Ι. Παπαθανασίου, Θ.Α. Γέμτος και
Γ. Δ. Νάνος**

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής
Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446 Ν.Ιωνία Μαγνησίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη χαρτογράφηση της παραγωγής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών σε καλλιέργεια μηλιάς στη Βόρεια Ελλάδα. Ο αγρός είχε δύο ποικιλίες μήλων, τις ποικ. Red Chief και Fuji. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική παραλλακτικότητα στον αγρό και στην παραγωγή και στην ποιότητα, ενώ συχνά βρέθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής και μερικών ποιοτικών χαρακτηριστικών. Η ποικιλία Fuji ήταν πιο παραγωγική και είχε καλύτερη ποιότητα καρπών από την ποικιλία Red Chief.

PRECISION FARMING IN APPLE ORCHARD: CORRELATING YIELD MAPS AND QUALITY

**E. Rappos, A. Aggelopoulou, I. Papathanasiou, T.A. Gemtos and G. D.
Nanos**

University of Thessaly, Department of Agriculture, Crop Production & Agricultural
Environment, Fytoko Street, N. Ionia, Magnesia, 38446, Greece

ABSTRACT

In this study, the results of yield and quality mapping are presented, for an apple orchard in Northern Greece. The field was planted with two apple cvs, “Red Chief” and “Fuji”. The results showed that there is significant variability across the field both in yield and quality characteristics, while there is negative correlation between yield and some quality traits. Cv. Fuji was more productive and the fruit had better quality from cv. Red Chief.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργία ακριβείας (precision farming) είναι μια νέα μέθοδος διαχείρισης των αγρών σύμφωνα με την οποία μπορεί να εφαρμοστούν διαφορετικά επίπεδα εισροών σε περιοχές του αγρού ανάλογα με το δυναμικό παραγωγής της κάθε περιοχής. Τα πιθανά πλεονεκτήματα είναι: α) αύξηση του οικονομικού αποτελέσματος η οποία μπορεί να προκύψει είτε από την αύξηση της παραγωγής είτε από την μείωση των εισροών, β) μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από τα αγροχημικά, επειδή εφαρμόζεται όση ακριβώς ποσότητα είναι απαραίτητη και γ) καλύτερη ιχνηλασιμότητα των προϊόντων επειδή γίνεται ακριβής καταγραφή όλων των επεμβάσεων στον αγρό [1].

Η γεωργία ακριβείας χρησιμοποιεί διάφορες τεχνολογίες όπως είναι το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης (Global Positioning System), τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (Geographical Information Systems), οι αισθητήρες μέτρησης της παραγωγής (yield monitors), η εφαρμογή εισροών με μεταβλητό ρυθμό (Variable Rate Technology), η τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) κ.α. Η πρόοδος που έχει συντελεστεί τα τελευταία χρόνια στις παραπάνω τεχνολογίες έδωσε τη δυνατότητα για την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας σε διάφορες καλλιέργειες.

Η εφαρμογή ενός συστήματος γεωργίας ακριβείας περιλαμβάνει τρεις φάσεις [2]:

1. Συλλογή δεδομένων (Data Acquisition). Τα δεδομένα περιλαμβάνουν χάρτες παραγωγής, αναλύσεις εδάφους, μετεωρολογικά δεδομένα, δεδομένα τηλεπισκόπησης, ποιοτικά χαρακτηριστικά, παρατηρήσεις στον αγρό για ασθένειες, ζιζάνια και οτιδήποτε άλλο μπορεί να επηρεάσει την απόδοση μιας καλλιέργειας. Τα δεδομένα συλλέγονται από τον αγρό με ταυτόχρονη καταγραφή της γεωγραφικής θέσης από την οποία λήφθηκαν με την χρήση ενός GPS. Στην συνέχεια με τη βοήθεια ενός προγράμματος GIS γίνεται η αποτύπωση της χωρικής παραλλακτικότητάς τους στον αγρό.
2. Επεξεργασία δεδομένων (Data Processing). Η ανάλυση των δεδομένων γίνεται με διάφορες στατιστικές μεθόδους και οδηγεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν την πιο σωστή μέθοδο διαχείρισης της παραλλακτικότητας του αγρού.
3. Εφαρμογή αποτελεσμάτων (Application). Από τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την ανάλυση των δεδομένων ο αγρός μπορεί να χωριστεί σε ζώνες διαχείρισης (management zones). Στις ζώνες αυτές, μπορούμε να εφαρμόσουμε τις εισροές σε μεταβλητές δόσεις (VRT), ανάλογα με το δυναμικό παραγωγής της καλλιέργειας στην κάθε ζώνη. Με τον τρόπο αυτό εφαρμόζεται η κατάλληλη ποσότητα εισροών στην κάθε περιοχή του αγρού και δεν γίνεται σπατάλη σε περιοχές που δεν μπορούν να παράγουν ούτε εφαρμογή μικρότερης ποσότητας εισροών σε περιοχές που έχουν τη δυνατότητα να παράγουν περισσότερο. Έτσι επιτυγχάνονται οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη με την αύξηση της απόδοσης και τη μείωση των εισροών.

Τα συστήματα γεωργίας ακριβείας εφαρμόζονται σήμερα στις Η.Π.Α, στον Καναδά, σε χώρες της Ευρώπης (Γερμανία, Δανία, Αγγλία, Σουηδία), στην Αργεντινή, Αυστραλία και σε άλλες σε μικρότερες εκτάσεις [3]. Οι περισσότερες εφαρμογές αναφέρονται σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας όπως είναι τα σιτηρά [4,5,6], τα ζαχαρότευτλα [7], η σόγια [8], το βαμβάκι [9], ο ηλίανθος [10], η αραχίδα [11]. Επίσης υπάρχουν εφαρμογές σε λαχανικά [12, 13, 14] και σε φρούτα [15, 16, 17, 18, 19].

Στην Νότια Ευρώπη και στη χώρα μας η εφαρμογή των συστημάτων αυτών έχει καθυστερήσει. Οι λόγοι αυτής της καθυστέρησης είναι σύμφωνα με τους Γέμτο και άλλους [20] οι εξής: α) το μικρό μέγεθος των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, β) το χαμηλό μορφωτικό επίπεδο των αγροτών, γ) το γεγονός ότι οι γεωργοί είναι προσκολλημένοι σε παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής, δ) οι επιδοτήσεις των αγροτικών προϊόντων από την Ε.Ε. και στ) ότι δεν υπάρχει

τεχνολογία εφαρμογής των μεθόδων της γεωργίας ακριβείας για τις καλλιέργειες αυτών των χωρών και κυρίως για τα φρούτα και τα λαχανικά.

Στην Ελλάδα η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας ξεκίνησε το έτος 2001 σε καλλιέργεια βαμβακιού [2, 21]. Όμως δεν έχει διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής αυτών των συστημάτων σε οπωρώνες που είναι από τους πιο δυναμικούς τομείς αγροτικής παραγωγής στη χώρα μας. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα από τη χαρτογράφηση παραγωγής σε καλλιέργεια μηλιάς στην Β. Ελλάδα. Παράλληλα με την παραγωγή μετρήθηκαν και ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών στη συγκομιδή και δημιουργήθηκαν χάρτες ποιότητας ενώ έγινε συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε καλλιέργεια μηλιάς στην περιοχή Πύργων Πτολεμαΐδας, σε ένα αγροτεμάχιο έκτασης 8 στρ. Η καλλιέργεια είχε διαμόρφωση παλμέτας, αποτελούνταν από 15 γραμμές δέντρων και περιλάμβανε 11 γραμμές της ποικιλίας Red Chief και 4 της ποικιλίας Fuji. Οι αποστάσεις φύτευσης των δέντρων ήταν 4X2,5 m.

Η χαρτογράφηση της παραγωγής πραγματοποιήθηκε μετρώντας τη μέση παραγωγή ανά πέντε δένδρα και καταγράφοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένων στο κέντρο των πέντε δέντρων με τη χρήση ενός GPS χειρός. Επίσης μετρήθηκε η διάμετρος του κορμού κάθε δέντρου και υπολογίστηκε η επιφάνεια διατομής του κορμού. Στην συνέχεια υπολογίστηκε η παραγωγικότητα του κάθε δέντρου ως πηλίκο του βάρους των καρπών του δέντρου προς την επιφάνεια διατομής του κορμού σε $g\ cm^{-2}$.

Η ποιότητα των μήλων εκτιμήθηκε με 6 τυχαίους καρπούς σε κάθε σημείο μέτρησης. Για την ποικιλία Red Chief χρησιμοποιήθηκαν 30 σημεία μέτρησης και για την Fuji 20. Μετρήθηκαν τα εξής ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών:

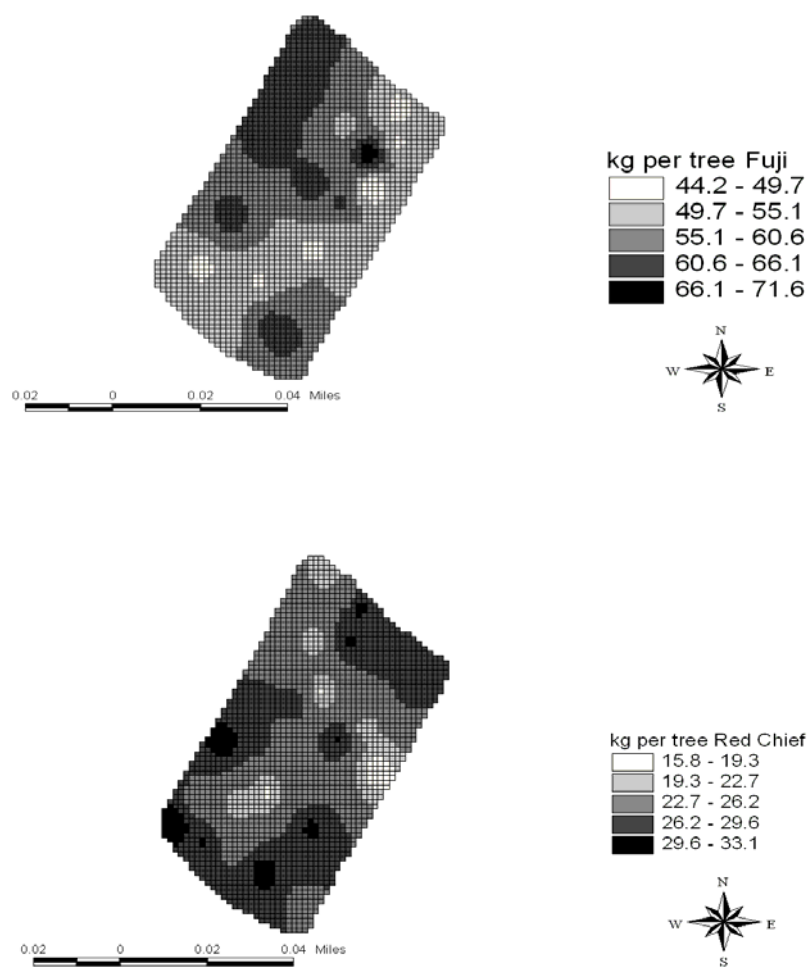
1. Μέσο βάρος καρπού σε g
2. Χρώμα φλοιού του καρπού. Η μέτρηση έγινε με χρωματόμετρο Hunter LAB, model Miniscan XE plus. Πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις στον ισημερινό του κάθε καρπού για τις παραμέτρους L^* , a^* και b^* , και υπολογίστηκε ο μέσος όρος (εδώ μετρήθηκαν 4 μόνο καρποί ανά επανάληψη). Ακολούθησε υπολογισμός των παραμέτρων C^* και hue angle σε μοίρες
3. Σκληρότητα της σάρκας του καρπού σε N. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε μετά από αφαίρεση του φλοιού με πενετρόμετρο Effegi με έμβολο διαμέτρου 11mm
4. Διαλυτά στερεά του χυμού των μήλων (%) με διαθλασίμετρο Carl Zeiss Jena
5. pH του χυμού με πεχάμετρο
6. Οξύτητα του χυμού, με τιτλοδότηση χυμού με 0.1 N NaOH μέχρι pH=8,2 και υπολογισμό της οξύτητας σε (%) περιεκτικότητα σε μηλικό οξύ.

Από τα δεδομένα δημιουργήθηκαν χάρτες παραγωγής και χάρτες ποιοτικών χαρακτηριστικών ανά ποικιλία και στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας. Οι χάρτες παραγωγής δημιουργήθηκαν με το G.I.S. πρόγραμμα SSToolbox 3.5 και ο υπολογισμός των συντελεστών συσχέτισης έγινε με το Excel. Επίσης ελέγχθηκε η σημαντικότητα των συντελεστών συσχέτισης με το t-κριτήριο.

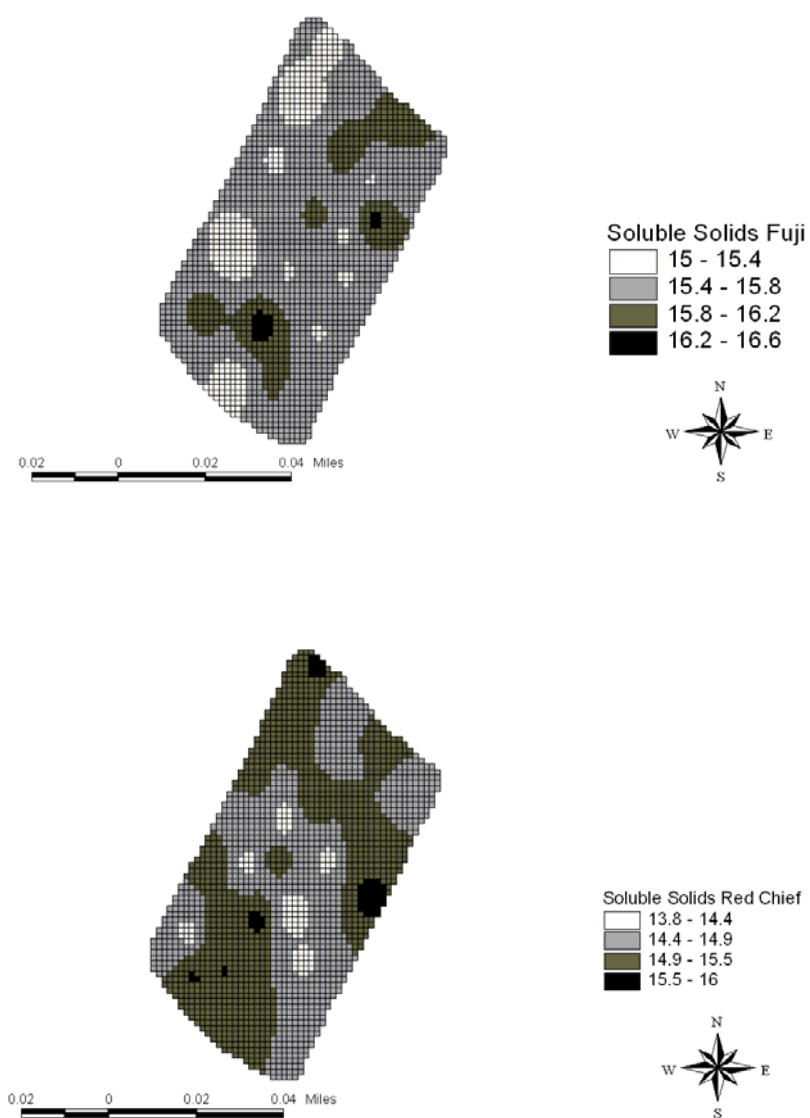
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική παραλλακτικότητα στην παραγωγή και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών. Στους χάρτες παραγωγής (Σχήμα 1) φαίνεται ότι η ποικιλία Fuji είχε περίπου διπλάσια παραγωγή ανά δένδρο από την ποικιλία Red Chief.

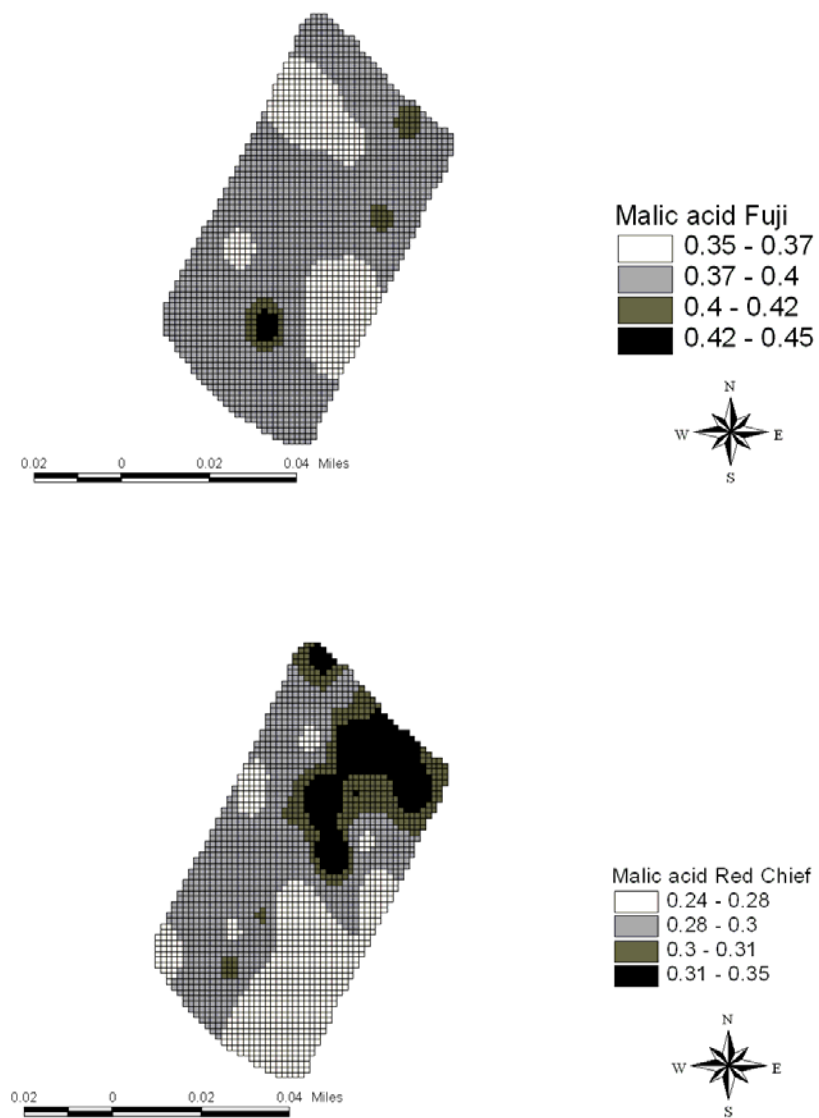
Επίσης είχε καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά (υψηλότερη περιεκτικότητα σε μηλικό οξύ και σε διαλυτά στερεά), όπως φαίνεται από τους χάρτες ποιότητας (Σχήματα 2, 3).



Σχήμα 1. Χάρτες παραγωγής ανά δένδρο σε kg για την ποικιλία Fuji (πάνω) και για την ποικιλία Red Chief (κάτω).



Σχήμα 2. Χάρτες ποιότητας που αφορούν την περιεκτικότητα του χυμού (%) σε διαλυτά στερεά για την ποικιλία Fuji (πάνω) και για την ποικιλία Red Chief (κάτω).



Σχήμα 3. Χάρτες ποιότητας που αφορούν την οξύτητα του χυμού του καρπού εκφρασμένη σε περιεκτικότητα (%) σε μηλικό οξύ για την ποικιλία Fuji (πάνω) και για την ποικιλία Red Chief (κάτω).

Και στις δύο ποικιλίες με μεγάλη απόδοση ανά δέντρο φαίνεται ότι υποβαθμίζεται η ποιότητα καρπού όσον αφορά τα διαλυτά στερεά συστατικά (ΔΣΣ) και το pH ή την οξύτητα. Τέλος, το pH και η οξύτητα χυμού δεν συσχετίζονται μεταξύ τους.

Στην ποικ. Red Chief (Πίνακας 1), καθώς το βάρος καρπού αυξήθηκε, μειώθηκαν το μηλικό οξύ και η σκληρότητα σάρκας. Επίσης βρέθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ μηλικού οξέος και σκληρότητας σάρκας. Αυτά τα δύο πρέπει να μελετηθούν περαιτέρω ως οι καλύτεροι δείκτες εκτίμησης της ποιότητας των μήλων της ποικιλίας Red Chief. Όλοι οι δείκτες χρώματος βρέθηκαν να σχετίζονται θετικά μεταξύ τους. Συνήθως με την ωρίμανση στο χωράφι, τα L^* , Chroma και hue μειώνονται, ώστε να έχουμε πιο στίλπνο σκούρο κόκκινο χρώμα. Η υψηλή παραγωγικότητα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της περιεκτικότητας σε μηλικό οξύ, ΔΣΣ και σκληρότητα σάρκας (υποβάθμιση ποιότητας καρπού).

Πίνακας 1. Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ απόδοσης και ποιοτικών χαρακτηριστικών για την ποικιλία Red Chief.

	Παραγωγικότητα	Μηλικό οξύ	pH χυμού	Διαλυτά στερεά	Σκληρότητα σάρκας	Hue	Chroma	L^*	Βάρος καρπού	Απόδοση δένδρου
Παραγωγικότητα	1									
Μηλικό οξύ	-0,47*	1								
pH χυμού	0,00	-0,22	1							
Διαλυτά στερεά	-0,44*	0,08	0,26	1						
Σκληρότητα σάρκας	-0,48*	0,29	0,01	0,24	1					
Hue	-0,08	0,10	-0,37*	-0,12	0,01	1				
Chroma	0,10	0,11	-0,35	-0,26	-0,20	0,71*	1			
L^*	-0,10	0,19	-0,43*	-0,13	-0,08	0,91*	0,74*	1		
Βάρος καρπού	0,23	-0,22	0,05	-0,04	-0,78*	-0,01	0,14	0,05	1	
Απόδοση δένδρου	0,24	-0,04	-0,30	-0,44*	-0,16	0,23	0,20	0,12	0,13	1

* Στατιστικώς σημαντικές διαφορές για $p=0,05$

Στην ποικ. Fuji (Πίνακας 2), φαίνεται ότι όσο πιο υψηλά είναι τα ΔΣΣ χυμού, τόσο πιο υψηλό είναι το μηλικό οξύ και χαμηλό το pH. Αυτό δείχνει την άριστη ποιότητα αυτής της ποικιλίας.

Πίνακας 2. Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ απόδοσης και ποιοτικών χαρακτηριστικών για την ποικιλία Fuji

	Παραγωγικότητα	Μηλικό οξύ	pH χυμού	Διαλυτά στερεά	Σκληρότητα σάρκας	Βάρος καρπού	Απόδοση δένδρου
Παραγωγικότητα	1						
Μηλικό οξύ	-0,18	1					
pH χυμού	-0,19	-0,32	1				
Διαλυτά στερεά	-0,18	0,61*	-0,55*	1			
Σκληρότητα σάρκας	0,26	0,29	-0,37	0,43	1		
Βάρος καρπού	0,23	-0,16	0,16	-0,07	0,09	1	
Απόδοση δένδρου	0,38	-0,26	0,13	-0,49*	-0,25	-0,03	1

* Στατιστικώς σημαντικές διαφορές για $p=0,05$

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Ο αγρός έδειξε σημαντική παραλλακτικότητα στην απόδοση και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών και στις δύο ποικιλίες.
2. Η ποικιλία Fuji είχε μεγαλύτερη απόδοση ανά δένδρο και είχε καλύτερη ποιότητα καρπών από την ποικιλία Red Chief.
3. Η απόδοση είχε αρνητική συσχέτιση με μερικά ποιοτικά χαρακτηριστικά και στις δύο ποικιλίες.
4. Πρέπει να διερευνηθεί η επίδραση και άλλων παραγόντων στην απόδοση και την ποιότητα όπως είναι το έδαφος έτσι ώστε να δοθεί η δυνατότητα υποβοήθησης του παραγωγού για σωστότερη διαχείριση του αγρού.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Earl R., Wheeler P. N., Blackmore B. S., Godwin R. J. (1996). Precision Farming-the Management of Variability. Landwards, 51(4), 18-23
2. Markinos A., Gemtos T. A., Toullos L., Pateras D and Zerva G. (2002). Yield mapping cotton in Greece. 1st HAICTA Conference Proceedings, p 56-62, Athens .
3. Griffin, T. W., J. Lowenbeerg-DeBoer, D. M. Lambert, J. Peone, T. Payne and S. G. Daberkow (2004). Adoption, Profitability and Making Better Use of Precision Farming Data. Staff Paper#04-06. Department of Agricultural Economics, Purdue University.
4. Godwin, R. J., Wood, G. A., Taylor, J. C., Knight, S. M and Welsh, J. P. (2003). Precision Farming of Cereal Crops: a Review of a Six Year Experiment to develop Management Guidelines. Biosystems Engineering, 84(4), 375-391.
5. Roel, A. and Plant R. E. (2004). Factors Underlying Yield Variability in Two California Rice Fields. Agronomy Journal, 96, 1481-1494.
6. Caspar, T. C., Colvin, T. S., Jaynes, D. B., Karlen, D. L., James, D. E., Meek, D. W., Pulido D. and Butler H. (2003). Relationship Between Six Years of Corn Yields and Terrain Attributes. Precision Agriculture, 4, 87-101.

7. Hofman A. R., Penigrahi, S., Gregor, B. and Walker J. (1995). In field Monitoring Sugar Beets. ASAE paper, 95-2114, ASAE, St Joseph Michigan.
8. Dobermann A. and Ping J. L. (2004). Geostatistical Integration of Yield Monitor Data Remote Sensing Improves Yield Maps. *Agronomy Journal*, 96, 285-297.
9. Velidis, G. C., Perry, D., Thomas, D. L., Wells, N., Kvien, C. K. (2003). Simultaneous assessment of cotton yield monitors. *Applied Engineering in Agriculture*, 19(3), 259-272.
10. Jurado-Exposito, M., Lopez-Granados, F., Garcia-Torres, L., Garcia- Ferrer, A., Sandez de la Orden, M., Atenciano, S. (2003). Multi-species weed spatial variability and site specific management maps in cultivated sunflower. *Weed Science.*, 51, 319-328.
11. Velidis, G., Perry, C. D., Durrence, J. S., Thomas, D. L., Hill, R. W., Kwien, C. K., Rains, G. (2001). Field testing the peanut yield monitoring. In: Robert, P.C., Rust, R. H., Larson, W. E (Eds). *Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture*, Minneapolis, USA, pp. 835-844.
12. Pelletier G., Upadyaya S. K. (1999). Development of a tomato load/yield monitor. *Computers and Elecronics in Agriculture*, 23, 103-107.
13. Campbell R. H., S. L. Rawlings, S. Han (1994). Monitoring methods for potato yield mapping. ASAE paper 94-1584, ASAE, St Joseph Michigan.
14. Qiao J., Sasao A., Shibusawa S., Kondo N., Morimoto E. (2005). Mapping Yield and Quality using the Mobile Fruit Grading Robot. *Biosystems Engineering*, 90(2), 135-142.
15. Schueller, J. K., Whitney, J. D., Wheaton, T. A., Miller, W. M., Turner, A.E. (1999). Low-cost automatic yield mapping in hand harvested citrus. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23, 145-153.
16. Stoorvogel, J. J., Orlich, R. A. (2000) An integrated system for precision agriculture in banana. *Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture*, Minneapolis, USA. *Proceedings in CD_182.pdf*
17. Pozdnyakova, L., Gimenez, D., Oudemans P. V. (2005). Spatial analysis of cranberry yield at three scales. *Agronomy Journal*, 97, 49-57.
18. Granados, F. L., Exposito, M. J., Alamo, S. , Garcia-Torres, L. (2004). Leaf nutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive (*olea europaea* L.) orchards. *European Journal of Agronomy*, 21, 209-222.
19. Cortell, J. M., Bracham J., Connelly A., Gallagher, A. V., Halbleib, J. N., Pinkerton, J. N., Righetti, T. L., Schreiner, R. P., Watson, B. T., Kennedy, J.A. (2004). Spatial variability of grape phenolics: using precision viticulture tools to optimise wine phenolic composition. *American Journal of Enology and Viticulture* 55(3), 297A. Abstracts: papers presented at the ASEV Eastern Section Technical Program, 14-16 July 2004, Roanoke, Virginia.
20. Γέμτος Θ. Α., Σ. Φουντάς, Α. Μαρκινός, S. Blackmore (2003). Γεωργία Ακριβείας. Προοπτικές Εφαρμογής στην Ελλάδα και στη Νότια Ευρώπη. Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη 29-31 Μαΐου 2003, σελ. 230-237.
21. Gemtos T. A., A. Markinos, L. Toullos, D. Pateras and G. Zerva. (2004). Precision Farming Applications in Cotton Fields of Greece. Presented in the CIGR conference Beijing, China 11-14/10/04 in Precision Agriculture Session No 30, *Proceedings in CD 30_096A. pdf*.

ΑΚΡΙΒΗΣ ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΕΙΠΤΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΙΛΤΡΟΥ KALMAN

I.G. Αμπατζίδης¹, Σ.Γ. Βουγιούκας¹ και B.S. Blackmore²

¹ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, 54124 Θεσσαλονίκη, Email: iampatzi@agro.auth.gr

² The Royal Veterinary and Agricultural University (KVL), Denmark, Department of AgroTechnology. Email: Simon.Blackmore@kvl.dk

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά την πλοήγηση (ημι)-αυτόνομων οχημάτων στις σύγχρονες εφαρμογές γεωργίας ακριβείας απαιτείται ιδιαίτερα ακριβής και αδιάλειπτος προσδιορισμός της γεωγραφικής θέσης των εμπλεκόμενων οχημάτων. Στην εργασία αυτή περιγράφεται η σχεδίαση και υλοποίηση ενός διακριτού γραμμικού φίλτρου Kalman, το οποίο συνδυάζει δεδομένα (data fusion) από διαφορετικούς αισθητήρες ώστε να υπολογίσει μία βέλτιστη εκτίμηση θέσης και προσανατολισμού. Το φίλτρο εφαρμόστηκε σε ένα ερευνητικό αυτόνομο όχημα (iRobot), και τα αρχικά πειράματα έδειξαν ότι βελτιώθηκε η ακρίβεια και η αξιοπιστία του προσδιορισμού της θέσης του οχήματος.

Λέξεις κλειδιά: Προσδιορισμός θέσης οχήματος, φίλτρο Kalman, γεωργία ακριβείας

PRECISE AND UNFAILING POSITIONING OF AUTONOMOUS AGRICULTURAL VEHICLES USING KALMAN FILTERING

I.G. Ampatzidis¹, S.G. Vougioukas¹ and B.S. Blackmore²

¹ Aristotle University of Thessaloniki, Department of Agricultural Engineering, 54124 Thessaloniki, Box 275. Email: iampatzi@agro.auth.gr

² The Royal Veterinary and Agricultural University (KVL), Denmark, Department of AgroTechnology. Email: Simon.Blackmore@kvl.dk

ABSTRACT

The navigation of (semi) autonomous vehicles in modern precision farming applications requires very accurate and unfailing estimation of vehicle positioning. In this paper a linear discrete Kalman filter is developed, which combines measurements from different sensors, in order to get an optimal estimate - in a statistical sense - of a vehicle's position and orientation. The filter was applied to a research autonomous vehicle (iRobot), and early experiments showed that it increased the precision and reliability of its positioning.

Keywords: Vehicle Positioning, Kalman Filtering, Precision Farming

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνολογία του διαφορικού GPS (DGPS) και του κινηματικού GPS (RTK-GPS) καθιστούν εφικτό τον σχεδόν συνεχή (> 10 Hz) προσδιορισμό της θέσης με ακρίβεια λίγων εκατοστών. Αρκετά συχνά όμως το σήμα θέσης που λαμβάνει ο δέκτης GPS που βρίσκεται επάνω στο όχημα υποβαθμίζεται σε ακρίβεια ή εξαφανίζεται εντελώς για σύντομα χρονικά διαστήματα λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών, υψηλής βλάστησης, παρεμβολών, τεχνικών προβλημάτων κ.λ.π. Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτούνται επιπλέον μηχανισμοί υπολογισμού της θέσης του οχήματος. Για παράδειγμα, αισθητήρες επιτάχυνσης ή ταχύτητας μπορούν μέσω κατάλληλων υπολογισμών να δώσουν για σύντομα χρονικά διαστήματα μια αρκετά ακριβή εκτίμηση της τρέχουσας θέσης του οχήματος. Βέβαια, και αυτοί οι αισθητήρες εμπεριέχουν θόρυβο στις μετρήσεις τους και μπορεί να δυσλειτουργήσουν. Επιπλέον, επειδή ο δέκτης GPS είναι συνήθως τοποθετημένος σε κάποιο σημείο αρκετά πιο ψηλά από το σημείο αναφοράς του οχήματος (π.χ. κέντρο βάρους) για τον υπολογισμό της θέσης είναι απαραίτητη η μέτρηση της κλίσης του ελκυστήρα σε τρεις διαστάσεις (roll, pitch, yaw) με κατάλληλους αισθητήρες. Επομένως, ο συνδυασμός (data fusion) και η επεξεργασία δεδομένων από διαφορετικούς αισθητήρες, είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό της ακριβούς γεωγραφικής θέσης και του προσανατολισμού του οχήματος.

Η πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον συνδυασμό αισθητήρων στις εφαρμογές των αυτόνομων οχημάτων είναι το φίλτρο Kalman. Αυτό το φίλτρο δύναται να συνδυάζει σε πραγματικό χρόνο τις μετρήσεις από διαφορετικούς αισθητήρες και σε συνδυασμό με ένα μοντέλο κίνησης του οχήματος να υπολογίζει μια βέλτιστη εκτίμηση (ελάχιστου τετραγωνικού σφάλματος) γεωγραφικής θέσης και προσανατολισμού. Το φίλτρο έχει χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας για βελτίωση προσδιορισμού θέσης [1], [2], [3].

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής ενός διακριτού γραμμικού φίλτρου Kalman σε ένα ερευνητικό αυτόνομο όχημα, γνωστό ως iRobot (ATRV-Jr), που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο AgroTechnology του βασιλικού κτηνιατρικού και γεωπονικού πανεπιστημίου της Κοπεγχάγης (KVL), στη Δανία.

2. ΤΟ ΔΙΑΚΡΙΤΟ ΦΙΛΤΡΟ KALMAN

Το 1960, ο R. E. Kalman δημοσίευσε τη διάσημη εργασία του που περιέγραφε μια περιοδικά επαναλαμβανόμενη λύση στο γραμμικό πρόβλημα φιλτραρίσματος με διακριτά δεδομένα [4]. Έκτοτε, λόγω κυρίως των εξελίξεων στους ψηφιακούς υπολογισμούς, το φίλτρο Kalman έχει γίνει αντικείμενο εκτεταμένων ερευνών και εφαρμογών, ιδίως στον τομέα της αυτόνομης ή βοηθούμενης πλοήγησης. Μια πολύ «φιλική» εισαγωγή στις γενικές έννοιες του φίλτρου Kalman βρίσκεται στο Κεφάλαιο 1 της [5], με μια πληρέστερη εισαγωγική εξέταση στην αναφορά [6], η οποία επίσης περιέχει κάποια ενδιαφέρουσα ιστορική αφήγηση. Πιο εκτεταμένες αναφορές είναι μεταξύ άλλων οι ([7], [8], [9], [10]).

Το φίλτρο Kalman παρέχει την αποδεδειγμένα καταλληλότερη μέθοδο (με την έννοια των ελαχίστων τετραγώνων) για τη συγχώνευση των δεδομένων, αν η διαδικασία μέτρησης ικανοποιεί κάποιες ιδιότητες, όπως το μηδενικό μέσο σφάλμα. Ειδικότερα, σε εφαρμογές οχημάτων, το φίλτρο Kalman χρησιμοποιείται για τη διατήρηση μιας συνεχούς εκτίμησης της θέσης και του προσανατολισμού ενός οχήματος. Το φίλτρο Kalman επιτρέπει το συνδυασμό μιας υφιστάμενης συνεχούς εκτίμησης της θέσης του ρομπότ με πληροφορίες θέσης που προέρχονται από έναν ή περισσότερους αισθητήρες. Ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό του φιλτραρίσματος Kalman είναι το γεγονός ότι επιτρέπει

και απαιτεί όχι μόνο τη συνεχή εκτίμηση μιας ποικιλίας παραμέτρων, αλλά και την εμπιστοσύνη σε αυτές τις εκτιμήσεις με τη μορφή ενός πίνακα συνδιασποράς. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, το φίλτρο Kalman επιτυγχάνει αυτή την ενημέρωση με τον καταλληλότερο τρόπο, έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί το αναμενόμενο σφάλμα στην εκτίμηση. Οι υποθέσεις που γίνονται από το φίλτρο είναι ότι το μοντέλο πρέπει να είναι γραμμικό και ότι ο θόρυβος πρέπει να έχει μηδενικό μέσο όρο.

Δυστυχώς, σπάνια ικανοποιούνται όλες οι απαιτήσεις σε οποιαδήποτε πρακτική εφαρμογή. Αν δεν ισχύουν οι υποθέσεις, το φίλτρο μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί, αλλά οι διαβεβαιώσεις της βέλτιστης κατάστασης δεν ισχύουν. Αν οι υποθέσεις παραβιάζονται με αρκετά σοβαρό τρόπο, τότε το φίλτρο μπορεί, πράγματι, να οδηγήσει σε πολύ ανεπαρκή αποτελέσματα.

2.1 Διακριτό μοντέλο

Το φίλτρο Kalman αντιμετωπίζει το γενικότερο πρόβλημα της εκτίμησης του διάνυσματος κατάστασης x μιας ελεγχόμενης διαδικασίας σε διακριτό χρόνο, από το διάνυσμα μετρήσεων z . Υποθέτουμε ότι η διαδικασία διέπεται από τις γραμμικές στοχαστικές διαφορικές εξισώσεις [11]:

$$\begin{aligned}\bar{X}_{k+1} &= \Phi_k \cdot \bar{X}_k + \Gamma_k \cdot \bar{W}_k \\ \bar{Z}_k &= H_k \cdot \bar{X}_k + \bar{V}_k\end{aligned}$$

όπου τα ονόματα και τα μεγέθη των ανυσμάτων και των πινάκων είναι τα εξής:

$\bar{X}_k$ είναι το άνωσμο κατάσταση του συστήματος ($n \times 1$) τη χρονική στιγμή t_k
 Φ_k είναι ο πίνακας ($n \times n$) μετάβασης που συνδέει το $\bar{X}_k$ με το $\bar{X}_{k+1}$ κατά την απουσία μιας λειτουργικής συνάρτησης
 Γ_k είναι ο πίνακας ($n \times n$) κατανομής θορύβου της διαδικασίας, ο οποίος μετατρέπει το άνωσμο $\bar{W}_k$ στις συντεταγμένες του $\bar{X}_k$
 $\bar{W}_k$ είναι μια ακολουθία λευκής διαταραχής ($n \times 1$) ή ακολουθία θορύβου της διαδικασίας με γνωστή δομή συνδιασποράς
 $\bar{Z}_k$ είναι μια μέτρηση ($m \times 1$) σε χρόνο t_k
 H_k είναι ένας πίνακας ($m \times n$) μέτρησης ή παρατήρησης που συνδέει το $\bar{X}_k$ με το $\bar{Z}_k$ κατά την απουσία θορύβου μέτρησης

Το μοντέλο του συστήματος είναι βασικά μια γραμμική διαφορική εξίσωση. Ένα τέτοιο μοντέλο θεωρεί ότι η διαδικασία είναι το αποτέλεσμα της διέλευσης θορύβου μικτής συχνότητας μέσω ενός συστήματος με γραμμική δυναμική. Οι πίνακες συνδιασποράς για τις λευκές ακολουθίες είναι:

$$E(\bar{w}_k \cdot \bar{w}_i^T) = \delta_{ik} \cdot Q_k \quad E(\bar{w}_k \cdot \bar{w}_i^T) = \delta_{ik} \cdot Q_k \quad E(\bar{w}_k \cdot \bar{w}_i^T) = 0, \forall (i, k)$$

όπου δ_{ik} είναι το δέλτα του Kronecker, Q η συνδιασπορά διαταραχής που αντιπροσωπεύει το κινηματικό λάθος, δηλαδή την αβεβαιότητα στη πρόβλεψη της κίνηση και R η συνδιασπορά ακολουθίας που αντιπροσωπεύει το λάθος των αισθητήρων (θόρυβος στις μετρήσεις των αισθητήρων).

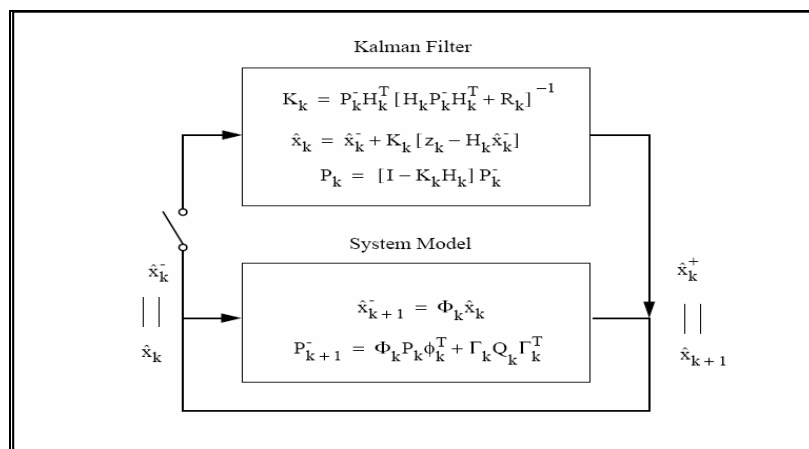
Έτσι, για ένα όχημα το διάνυσμα $\bar{X}$ μπορεί να περιέχει τις γεωγραφικές συντεταγμένες (x, y, z), στις οποίες βρίσκεται το όχημα, τη γραμμική (V) και γωνιακή

(β) ταχύτητα του οχήματος καθώς και τις γωνίες που περιγράφουν τη θέση του οχήματος ως προς το επίπεδο (roll, pitch, yaw). Επίσης, το διάνυσμα $\bar{Z}$ σχηματίζεται από τις μετρήσεις των αισθητήρων, που μπορεί να είναι: ένα GPS, που μας δίνει τις γεωγραφικές συντεταγμένες και ίσως την ταχύτητα του οχήματος, μία πυξίδα, κάποια κλισίμετρα και αισθητήρες μέτρησης ταχυτήτων και επιταχύνσεων (π.χ IMU).

2.2 Εξισώσεις Διακριτού Φίλτρου

Το φίλτρο Kalman υπολογίζει την κατάσταση και τη συνδιασπορά της την επόμενη χρονική στιγμή t_{k+1} , με δεδομένη μια αρχική εκτίμηση της κατάστασης. Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, η εκτίμηση της κατάστασης πριν την ενσωμάτωση οποιωνδήποτε νέων μετρήσεων σημειώνεται με $\bar{X}$, όπου το καπελάκι συμβολίζει μια εκτίμηση και το μείον στον εκθέτη συμβολίζει την εκτίμηση πριν την ενσωμάτωση των μετρήσεων (με μια επανάληψη των εξισώσεων του φίλτρου).

Οι εξισώσεις του φίλτρου Kalman επαναλαμβάνονται κυκλικά και συνέχεια, και κάθε φορά που υπάρχει μια διαθέσιμη μέτρηση, ο διακόπτης κλείνει μετά την πρόβλεψη της κατάστασης για αυτόν τον κύκλο από το μοντέλο του συστήματος, και εκτελείται το φίλτρο αυτό καθαυτό. Οι δύο τελευταίες εξισώσεις αποτελούν την πρόβλεψη για την νέα κατάσταση του οχήματος (π.χ. τη νέα θέση του οχήματος). Η πρώτη ανανεώνει τον πίνακα κέρδους Kalman, ο οποίος δίνει το «βάρος» που δίνουμε είτε στη πρόβλεψη του φίλτρου $H_k \cdot \bar{X}_k$, είτε στις νέες μετρήσεις των αισθητήρων Z_k . Η δεύτερη και η τρίτη εξίσωση ανανεώνουν το διάνυσμα $\bar{X}$ και την αβεβαιότητα P αντίστοιχα, βάση το κέρδος Kalman. Ο κύκλος συνεχίζεται και οι δύο πίνακες $\bar{X}$ και P χρησιμοποιούνται, σαν προηγούμενες γνώσεις, για τη νέα πρόβλεψη στις δύο τελευταίες εξισώσεις.



Η απόδειξη ότι οι εξισώσεις αυτές συνιστούν ένα βέλτιστο παρέχεται στην αναφορά [3]. Στην ψηφιακή υλοποίησή τους, οι εξισώσεις δεν υπολογίζονται όλες ταυτόχρονα. Οι δύο τελευταίες πραγματοποιούνται σε υψηλή συχνότητα και οι τρεις πρώτες πραγματοποιούνται όταν υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις. Για τις τρεις πρώτες, η διαδικασία αρχίζει με την εισαγωγή της προηγούμενης εκτίμησης $\bar{X}$ και της συνδιασποράς της P^- . Για κάθε κύκλο του μοντέλου του συστήματος, ο πίνακας μετάβασης της κατάστασης Φ_k , και η συνδιασπορά διαταραχής Q_k πρέπει να είναι

δεδομένοι. Για κάθε κύκλο των εξισώσεων του φίλτρου Kalman, ο πίνακας μέτρησης H_k και η συνδιασπορά ακολουθίας R_k πρέπει να είναι δεδομένα εκ των προτέρων ή να υπολογίζονται με βάση τις μετρήσεις και τις επιμέρους προηγούμενες γνώσεις.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το παραπάνω φίλτρο αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στο αυτοκινούμενο όχημα *ATRV-Jr* (σχήμα 1). Με το όχημα αυτό έγιναν διάφορα πειράματα ώστε να αξιολογηθεί η ακρίβεια του φίλτρου και να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις με τις μετρήσεις των επιμέρους αισθητήρων, σε πραγματικό χρόνο.

Το όχημα *ATRV-Jr* έχει κίνηση και στους τέσσερις τροχούς, διαφορική οδήγηση, πνευματικές Knobby ρόδες των 30 cm και ανθεκτικό στον καιρό κάλυμμα. Το ρομπότ περιέχει μία πληθώρα αισθητήρων όπως υπερηχητικούς, laser κ.λ.π. Εντούτοις, για τους σκοπούς αυτής της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν μόνον οι αισθητήρες που δίνουν έμμεση ή άμεση εκτίμηση θέσης και προσανατολισμού. Αυτοί είναι: το πλήρες αδρανειακό σύστημα ναυσιπλοΐας IMU, το οποίο είναι ένας συνδυασμός επιταχυνσιόμετρων και γυροσκοπίων που δίνει εκτίμηση των γωνιών roll-pitch-yaw καθώς και κάποιων επιταχύνσεων του οχήματος, η ψηφιακή πυξίδα, το RTK-GPS, και το οδόμετρο ή ταχύμετρο (μέτρηση της ταχύτητας) .



Σχήμα 1: Το ATRV-JrTM αυτόματο ρομπότ

Το ATRV είναι ευκίνητο και έχει χαμηλό κέντρο βάρους, κατάλληλο για εργασίες τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους.

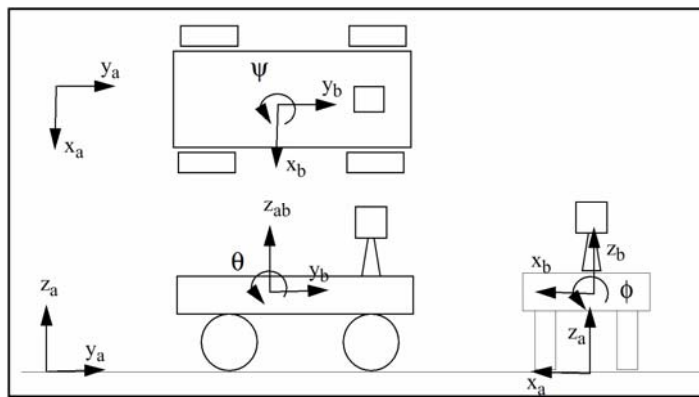
Ένα φορητός H/Y με λειτουργικό σύστημα Linux χρησιμοποιείται ως βάση για την ανάπτυξη του απαραίτητου λογισμικού για την εκτέλεση διάφορων εργασιών. Μία σύνδεση ασύρματου Ethernet βοηθάει στην επικοινωνία με άλλα κομπιούτερ.

Οι κύριες προδιαγραφές του ATRV συνοψίζονται παρακάτω ως εξής:

Πίνακας 1: Προδιαγραφές του αυτόνομου ATRV-Jr

ATVR-Jr Αυτοκινούμενο Ρομπότ	
Σόναρ	17(5 με θετικό προσανατολισμό, 10 με πλευρικό και δύο με αρνητικό προσανατολισμό)
CPU's	Pentium based ATX computer system
Σύστημα Επικοινωνίας	Ασύρματο Ethernet
Κινητήρας	2 υψηλής ροπής, 24V DC σερβοκινητήρες
Οδήγηση	4 τροχοί με διαφορική οδήγηση
Μήκος / Διάμετρος Τροχών	58 cm / 30 cm
Ακτίνα Στροφής	Μηδέν (Στροφή με γλίστρημα των τροχών)
Γραμμική Ταχύτητα	1 m/sec
Γωνιακή Ταχύτητα	120°/sec
Βάρος , Ωφέλιμο Φορτίο	50 kg , 100 kg
Ύψος χ Μήκος χ Πλάτος	55 χ 77.5 χ 62.2 cm

Σε αυτή την εφαρμογή θεωρείται ότι ο ευαίσθητος άξονας του επιταχυνσιόμετρων και γυροσκοπίων συμπίπτει με το σώμα του άξονα. Το σχήμα 2 παρουσιάζει το σύστημα συντεταγμένων του σώματος του iRobot και τις γωνίες *roll* ϕ , *pitch* θ , *yaw* ψ .



Σχήμα 2: Οι γωνίες *roll* ϕ , *pitch* θ , *yaw* ψ

Επίσης, για τον υπολογισμό του διαγώνιου πίνακα Q (συνδιασπορά διαταραχής), ο οποίος αντιπροσωπεύει την αβεβαιότητα στη πρόβλεψη της κίνησης, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος που περιγράφεται στην αναφορά [6].

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί, ότι το λογισμικό που χρησιμοποιείται στο iRobot είναι το αντικειμενοστραφές λογισμικό "Mobility" και ότι η υλοποίηση του φίλτρου Kalman έγινε σε γλώσσα προγραμματισμού C++.

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για την υλοποίηση του διακριτού φίλτρου Kalman στο ATVR-Jr δεν χρησιμοποιήθηκαν όλοι οι διαθέσιμοι αισθητήρες του ρομπότ, αλλά το πλήρες αδρανειακό σύστημα ναυσιπλοΐας (IMU), η πυξίδα, το RTK-GPS και το οδόμετρο ή

ταχύμετρο. Έτσι, από το GPS χρησιμοποιήθηκαν οι απόλυτες συντεταγμένες x , y , z και το DOP (το οποίο δίνει την ποιότητα του σήματος των δορυφόρων ανάλογα με την μεταξύ τους γωνία, μικρή γωνία μεγάλο λάθος και αντίστροφα), από το IMU οι γωνίες $roll$, $pitch$, yaw (ϕ , θ και ψ αντίστοιχα), καθώς και η *γωνιακή ταχύτητα* β , από την πυξίδα η γωνία yaw (ψ) και τέλος από τον οδόμετρο η *γραμμική* V και η *γωνιακή ταχύτητα* β .

Γνωρίζουμε ότι στις μετρήσεις κάθε αισθητήρα υπεισέρχεται θόρυβος. Ο θόρυβος αυτός υπολογίστηκε, πειραματικά και σχηματίστηκε ο διαγώνιος πίνακας R , βάση των τετραγώνων της τυπικής απόκλισης κάθε αισθητήρα. Έτσι, για το GPS υπολογίστηκε τυπική απόκλιση ίση με $0.02 \cdot DOP$, για την πυξίδα και το IMU ίση με 0.04 (m) και για το οδόμετρο ίση με 0.05 (m).

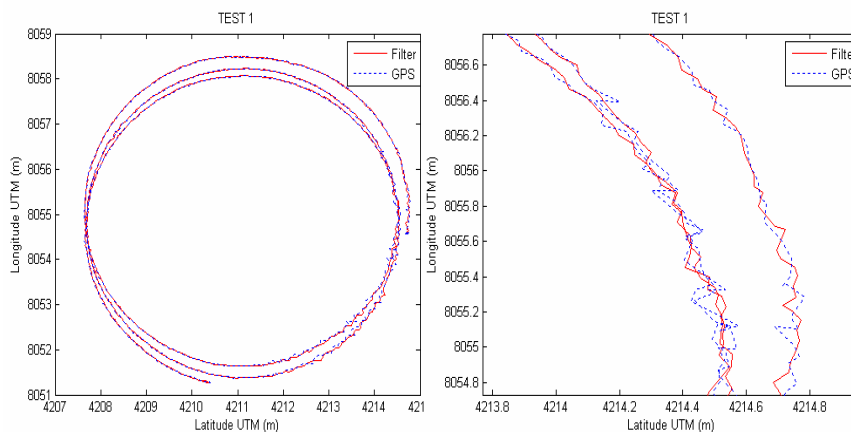
Βάση αυτών των αισθητήρων, εφαρμόστηκε το φίλτρο Kalman στο iRobot και δοκιμάστηκε η συμπεριφορά του, ώστε να γίνει σύγκριση μεταξύ των μετρήσεων των μεμονωμένων αισθητήρων (π.χ. των συντεταγμένων x , y , z από το GPS) και των αντίστοιχων τιμών του φίλτρου στον ίδιο χρόνο.

Παρακάτω παρουσιάζονται τρία αντιπροσωπευτικά πειράματα, στα οποία δόθηκε στο ρομπότ μία σταθερή γραμμική και γωνιακή ταχύτητα ($V=0.6$ m/sec και $\beta=0.2$ m/sec αντίστοιχως), ώστε να διαγράφει σταθερούς κύκλους διαμέτρου 3 m. Στην πράξη οι κύκλοι δεν ήταν απολύτως σταθεροί, λόγω της ολίσθησης των τροχών, επειδή τα πειράματα έγιναν σε ανώμαλο έδαφος. Τέλος, καταγράφηκαν οι τιμές των αισθητήρων και του φίλτρου. Σε κάποια σημεία της πορείας του οχήματος υπήρχαν διάφορα εμπόδια (όπως δέντρα, κτήρια κ.τ.λ.) όπου το σήμα από τους δορυφόρους (GPS) δεν ήταν τόσο ακριβές όσο στα άλλα σημεία, όπου η ακρίβεια του σήματος ήταν πολύ μεγάλη (περίπου 2 cm).

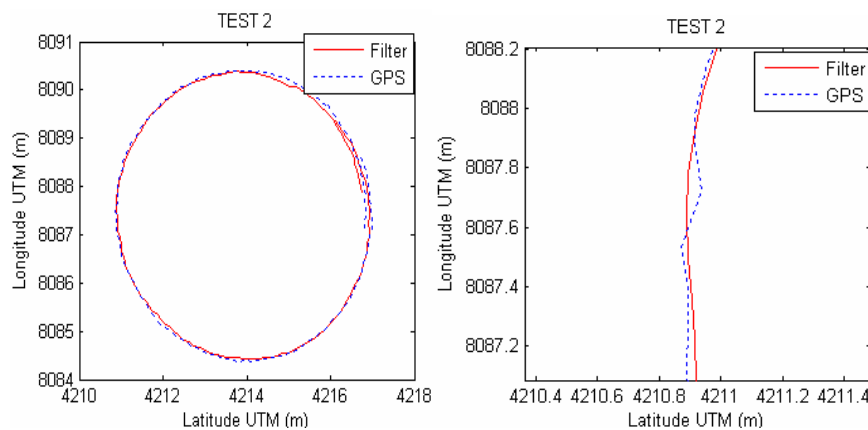
Στα τρία αυτά πειράματα, οι τιμές του DOP (κριτήριο ποιότητας σήματος του GPS) δεν παρέμεναν σταθερές, αλλά μεταβάλλονταν ως εξής :

- Στο πρώτο πείραμα $2.6 < DOP < 6.6$
- Στο δεύτερο μεταξύ $DOP=2.4$
- Στο τρίτο μεταξύ $10.0 < DOP < 10.3$

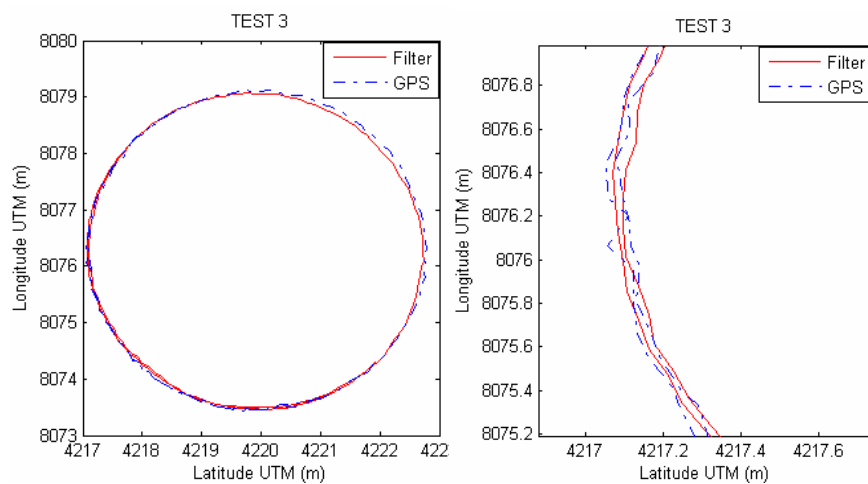
Στα σχήματα 3-5 σχεδιάστηκαν οι συντεταγμένες του ρομπότ (γεωγραφικό μήκος και πλάτος), μέσω του υπολογιστικού πακέτου Matlab. Με στικτή μπλε γραμμή είναι οι τιμές από το GPS και με συνεχή κόκκινη οι τιμές από το φίλτρο Kalman. Επίσης, δίνονται και μεγεθύνσεις σε διάφορα σημεία των γραφημάτων για την ευκολότερη ανάλυση και κατανόησή τους.



Σχήμα 3: Πρώτο Πείραμα ($2.6 < DOP < 6.6$), Δεξιά Λεπτομέρεια Τροχιάς



Σχήμα 4: Δεύτερο Πείραμα ($DOP=2.4$), Δεξιά Λεπτομέρεια Τροχιάς



Σχήμα 5: Τρίτο Πείραμα ($10.0 < DOP < 10.3$), Δεξιά Λεπτομέρεια Τροχιάς

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα παραπάνω σχήματα συμπεραίνεται ότι το φίλτρο Kalman έδωσε σαφώς καλύτερα αποτελέσματα και υπολόγισε με μεγαλύτερη ακρίβεια την θέση του οχήματος, ιδιαίτερα όταν το όχημα βρισκόταν κοντά σε υψηλή βλάστηση, κτήρια ή όταν ο δέκτης του GPS είχε παρεμβολές (λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών, τεχνικών προβλημάτων κ.λ.π.). Στις τελευταίες περιπτώσεις μάλιστα, οι μετρήσεις του GPS ήταν πολύ διαφορετικές από τις πραγματικές.

Επίσης, συγκρίνοντας τα γραφήματα παρατηρείται ότι η χρησιμοποίηση του DOP, ως κριτήριο της ποιότητας του σήματος του GPS, δεν είναι απολύτως ασφαλής αφού ενώ στα τρία παραπάνω πειράματα είχαμε μεγάλη διακύμανση της τιμής του DOP (από 2.6 έως 10.3) δεν παρατηρήθηκε ανάλογη διαφοροποίηση της ακρίβειας (ποιότητας) του σήματος του GPS.

Έτσι, είναι φανερό ότι στις εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας καθώς και για την πλοήγηση των αυτόνομων οχημάτων δεν επαρκεί η χρησιμοποίηση ενός μόνο αισθητήρα, όπως το GPS έστω και εάν είναι μεγάλης ακρίβειας (π.χ. 2 cm), διότι πολλές φορές το σήμα υποβαθμίζεται σε ακρίβεια ή εξαφανίζεται εντελώς για σύντομα χρονικά διαστήματα. Οπότε, απαιτείται η χρησιμοποίηση και άλλων αισθητήρων για τον ακριβέστερο έλεγχο της θέσης του οχήματος. Για παράδειγμα, ένα ραντάρ Doppler, για τον υπολογισμό της πραγματικής ταχύτητας του οχήματος, ή ένα ταχύμετρο καθώς και ένα σύστημα μέτρησης των κλίσεων του οχήματος (όπως το IMU, η πυξίδα ή κλισίμετρα), μπορούν να επιτύχουν το σκοπό αυτό, με σχετικά χαμηλό κόστος.

Βέβαια για την σωστή εφαρμογή του φίλτρου, ο υπολογισμός των δύο πινάκων, συνδιασπορά διαταραχής Q (κινηματικό λάθος - αβεβαιότητα στη κίνηση) και συνδιασπορά ακολουθίας R (λάθος των αισθητήρων - θόρυβος των αισθητήρων) πρέπει να είναι ακριβής. Αυτό είναι αρκετά δύσκολο και απαιτεί προσοχή στον καθορισμό των σωστών τιμών. Πολλές φορές μάλιστα ο πίνακας Q μπορεί να εξαρτάται από τις συνθήκες του εδάφους, στο οποίο κινείται το όχημα (άσφαλτος ή ανώμαλο έδαφος). Ένα μικρό λάθος στον υπολογισμό αυτών των πινάκων μπορεί να οδηγήσει σε πολύ ανεπαρκή αποτελέσματα.

Τέλος, πρόβλημα μπορεί να δημιουργηθεί όταν υπεισέρχεται μεγάλος θόρυβος σε έναν αισθητήρα ή όταν παύει να λειτουργεί για ορισμένο χρονικό διάστημα. Στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να μην χρησιμοποιείται από το φίλτρο καθόλου ο αισθητήρας αυτός και να τρέχουν οι εξισώσεις με βάση τους άλλους αισθητήρες ή μόνο με βάση την πρόβλεψη που δίνει το φίλτρο.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Hague T., Marchant J. A., Tillett N. D. *Ground based sensing systems for autonomous agricultural vehicles*, Computers and Electronics in Agriculture v.25 (2000), pp. 11–28
2. Han, S., Zhang, Q., Noh, H., 2002. *Kalman filtering of DGPS position for a parallel tracking application*. Transaction of ASAE 45 (3), 553–559.
3. Noguchi, N., J.F. Reid, E.Benson, J. Will, and T. Stombaugh. 1998a. *Vehicle automation system based on multisensor integration*. ASAE Paper 83111. St. Joseph, MI.
4. Kalman R. E., 1960. *A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems*, Trans. ASME J. of Basic Engineering, 35-45.
5. Maybeck P. S., 1979. *Stochastic Models, Estimation, and Control*. Vol. 1, Academic Press, Inc.
6. Sorenson H. W., 1970. *Least-Squares Estimation: from Gauss to Kalman*. IEEE Spectrum, vol. 7, pp. 63-68.
7. Welch G. and Bishop G., 1995. *An Introduction to the Kalman Filter*. Technical Report, University of North Carolina at Chapel Hill.
8. Grewal M. S. and Andrews A. P., 1993. *Kalman Filtering Theory and Practice*. Upper Saddle River, NJ USA, Prentice Hall.
9. Lewis R., 1886. *Optimal Estimation with an Introduction to Stochastic Control Theory*. John Wiley & Sons, Inc.
10. Brown R. G. and Hwang P. Y. C., 1992. *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*. Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.
11. Kelly A. J., 1994. *A 3D State Formulation of a Navigation Kalman Filter for Autonomous Vehicles*. CMU Robotics Institute Technical Report CMU-RI-TR-94-19.

ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ

Καραρίζος Πλούταρχος*, Καραγιάννης Ευάγγελος*, Δρόσος Βασίλειος,
Γιαννούλας Βασίλειος***

*Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, ΤΚ 541 24, Θεσσαλονίκη

** Δ.Π.Θ.-Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος και
Φυσικών Πόρων, Πανταζίδου 193, 68200 Ορεστιάδα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για την εκτέλεση των απαιτούμενων έργων διάνοιξης του δάσους πρέπει να διατίθενται τα κατάλληλα μηχανήματα, το απαραίτητο δυναμικό και τα απαιτούμενα υλικά και μέσα. Η επίτευξη υψηλής παραγωγικότητας των παραπάνω στοιχείων απαιτεί την συνεχή παραγωγική απασχόληση του δυναμικού και των μηχανημάτων με ορθολογικό προγραμματισμό, οργάνωση και διαχείριση όλων των εργασιών.

Στην εργασία αυτή εφαρμόζεται η τεχνική προγραμματισμού των διαγραμμάτων Gantt καθώς και η Δικτυωτή Ανάλυση για τον ετήσιο προγραμματισμό των έργων διάνοιξης, σ' ένα τυπικό ορεινό δάσος της χώρας μας.

Λέξεις κλειδιά: οργάνωση, διαχείριση, μηχανήματα, προγραμματισμός.

ORGANIZATION AND MANAGEMENT OF MACHINES IN FOREST OPENING-UP WORKS

P. Kararizos*, E. Karayannis*, V. Drosos, V. Giannoulas***

* School of Forestry and Natural Environment, Aristotle University
of Thessaloniki, 541 24

** School of Forestry and Management of Environment and Natural Resources,
Democritus University of Thrace, Orestiada 68200

ABSTRACT

For carrying out the required forest opening-up works there should be made available the appropriate machines, the required working force and the required materials and means. For achieving high productivity of the above means it is required the continuous productive employment of the working force and the machines with a rational programming, organization and management of all works.

In this paper is applied the technique of programming the diagrams Gantt and the Network Analysis for the annual programming of opening-up works in a typical mountain forest of our country.

Keywords: Organization, management, machines, programming

Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η οργάνωση και διαχείριση των Κατασκευών, αντίθετα προς την παλιά συμβατική θεώρηση ποιοτικού κυρίως περιεχομένου, διαμορφώνεται σήμερα ως ένα ταχύτατα εξελισσόμενο λειτουργικό σύστημα, το οποίο με ποσοτικά, και επομένως αντικειμενικά κριτήρια, δίνει τις βάσεις για τη βέλτιστη επιτυχία των στόχων του έργου, οι οποίοι είναι: Να τελειώσει το έργο στο προγραμματισμένο κόστος, χρόνο και ποιότητα. Η αναμόρφωση αυτή της έννοιας και του περιεχομένου της Διαχείρισης των Κατασκευών στα πλαίσια της Διαχείρισης του Έργου είναι μια αναγκαία προσαρμογή στις νέες απαιτήσεις της παραγωγής και στη βελτίωση της τεχνολογίας των κατασκευών στα τεχνικά έργα.

Η οργάνωση των μηχανημάτων αναφέρεται στην επιτυχία των μεθόδων οργάνωσης τόσο στη φάση του σχεδιασμού, όσο και κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου και είναι συνάρτηση μια συνεχούς κίνησης εντολών και αναφορών μεταξύ των τμημάτων του κατασκευαστικού φορέα. Οι εντολές και αναφορές ονομάζονται πληροφορίες και το σύστημα διακίνησής τους πληροφορική. Σε σύνθετες διαδικασίες οι πληροφορίες για την επεξεργασία αποφάσεων αξιοποιούνται καλύτερα (ταχύτερα) με την εφαρμογή κατάλληλου προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή. Σε περίπτωση αποκλίσεων από τις αρχικές τιμές προγραμματισμού, οι πληροφορίες ελέγχου μετά από κατάλληλη επεξεργασία από την ομάδα σχεδιασμού κα με την υποστήριξη ηλεκτρονικού υπολογιστή δίνουν τις βέλτιστες λύσεις για τη διόρθωση της πορείας του έργου.

Η διαχείριση των μηχανημάτων ορίζεται ως η ορθολογική εκλογή και χρησιμοποίησή τους για την επίτευξη υψηλής παραγωγικότητας, ποιότητας και άριστου χρόνου κατασκευής [8].

Ουσιαστικά η οργάνωση και η διαχείριση των μηχανημάτων είναι ο ορθολογικός προγραμματισμός των εργασιών με κατάλληλες μεθόδους και μηχανήματα έτσι ώστε να μη υπάρχουν περίοδοι ακινησίας τους ή υποαπασχόλησής τους λόγω ελλείψεως εργασίας ή κακής χρονικής και τοπικής κατανομής τους στα διάφορα έργα. Αυτή η τεχνική του προγραμματισμού μπορεί να εφαρμοστεί στις εργασίες διάνοιξης του δάσους με το διάγραμμα του Gantt καθώς και με τη δικτυωτή ανάλυση.

Το διάγραμμα Gantt αναπτύχθηκε κατά την εποχή του Α' παγκόσμιου Πολέμου από το μηχανικό Henry L. Gantt, του οποίου φέρει και το όνομα και εφαρμόστηκε από τότε ευρέως για τον προγραμματισμό κάθε παραγωγικής δραστηριότητας.

Η ιστορία της δικτυωτής ανάλυσης αρχίζει από τα έτη 1957/58 και εξελίχθηκε με τη μορφή των δύο κλασικών μεθόδων CPM (Critical Path method) και PERT (Programm Evaluation and Review Technique), οι οποίες αναπτύχθηκαν στην Αμερική. Το ίδιο έτος αναπτύχθηκε στη Γαλλία η μέθοδος MPM (Metra Potential Methode). Αργότερα αναπτύχθηκαν και άλλες πολλές, ο αριθμός των οποίων ξεπερνάει τις 50 και οι οποίες είναι απλές παραλλαγές των παραπάνω μεθόδων.

Η δικτυωτή ανάλυση θεωρείται εφαρμόσιμη σε οποιαδήποτε δραστηριότητα του ανθρώπου.

Η εφαρμογή της μεθόδου σε επιχειρήσεις κατασκευών στις Η.Π.Α., όπως αναφέρει ο Ταμπακάκης [1970], επέτρεψε την ελάττωση του χρόνου κατά μέσο σε ποσοστό πάνω από 20% και του κόστους σε ποσοστό πάνω από 15%, ανάλογα με την περίπτωση.

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτουν οι παρακάτω περιπτώσεις εφαρμογής της δικτυωτής ανάλυσης στη δασοπονία:

Η πρώτη ένδειξη για τη χρήση της δικτυωτής ανάλυσης στη Δασοπονία έγινε από τον G. Kaminski (1966) δίνοντας ένα παράδειγμα εφαρμογής της στην κατασκευή μιας πρόχειρης περίφραξης από ξύλινους πασσάλους και συρματοπλέγμα.

Ο E. Klein (1971) τη χρησιμοποιεί για την κατασκευή ενός δασικού δρόμου.

Ο Β. Bitting (1971) αναφέρει, ότι πρακτικά όλα τα σχέδια που αφορούν την κατασκευή εθνικών δρόμων στην Ελβετία εκτελούνται με τη βοήθεια της δικτυωτής ανάλυσης και προτείνει την εφαρμογή της και στην κατασκευή των δασικών δρόμων

Ο Η. J. Weimann (1974) χρησιμοποιεί τη δικτυωτή ανάλυση για τη σύνταξη του διαχειριστικού σχεδίου μιας δασικής περιοχής.

Ο Ν. Stamou (1974), στη διδακτορική του διατριβή χρησιμοποιεί τη δικτυωτή ανάλυση ως βοηθητικό μέσο για τον ετήσιο σχεδιασμό των εργασιών στη δασική εκμετάλλευση.

Ο Ε. Καραγιάννης (1990) στη διδακτορική του διατριβή χρησιμοποιεί τη μέθοδο της δικτυωτής ανάλυσης σε συνδυασμό με την οικονομοτεχνική μετατόπιση του ξύλου στη διάνοξη του δάσους.

Ο W. Linder (1971) αναφέρει, ότι η εφαρμογή της δικτυωτής ανάλυσης στη δασική επιχείρηση επιτρέπει να αναμένονται πλεονεκτήματα μόνο για βραχυχρόνια σχέδια, ενώ δεν είναι κατάλληλη για εργασίες, οι οποίες αφορούν τη Δασοκομία, τη συγκομιδή του ξύλου, τη δασική Οδοποιία, την προστασία των δασών, τη δασική διαχειριστική, την οικονομική των δασικών επιχειρήσεων, το εμπόριο δασικών προϊόντων και οι οποίες μπορούν να σχεδιασθούν με τη βοήθεια της δικτυωτής ανάλυσης.

Στην εργασία αυτή εφαρμόζεται η τεχνική προγραμματισμού των διαγραμμάτων Gantt καθώς και η δικτυωτή ανάλυση για τον προγραμματισμό των έργων κατασκευής του δασικού δρόμου που ξεκινά από τη θέση Ταξιάρχης και καταλήγει στη θέση Άγιος Γεώργιος στο παν/κό δάσος Ταξιάρχη Χαλκιδικής.

II. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

Στην εργασία αυτή έχει επιλεγεί ως περιοχή έρευνας το παν/κό δάσος Ταξιάρχη Χαλκιδικής και συγκεκριμένα ο δασικός δρόμος «Ταξιάρχης – Άγιος Γεώργιος», όπου προγραμματίστηκαν έργα βελτίωσης.

Με βάση το ετήσιο πρόγραμμα συντήρησης – βελτίωσης των δρόμων στο παν/κό δάσος Ταξιάρχη, που σκοπό έχει να εξασφαλίσει τη λειτουργικότητά τους ο συγκεκριμένος προς βελτίωση δρόμος συνολικού μήκους 4210 μ έπρεπε να έχει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

1. Μέσο πάχος συμπιεσμένης υπόβασης σε 8 μ. πλάτος: 0,15 μ.
2. Μέσο πάχος συμπιεσμένης βάσης σε 8 μ. πλάτος : 0,15 μ

Οι εργασίες βελτίωσης του δρόμου αφορούν τη μεταφορά και διάσπρωση υλικού 5.800 τόνων για την υπόβαση και 16.100 τόνων για τη βάση. Η παραλαβή του υλικού θα γίνει από δύο θέσεις Α1 και Α2. Το έργο αρχίζει με τη μεταφορά στο εργοτάξιο ενός ερπυστριοφόρου προωθητή D8G ισχύος 320 PS με διάταξη αναμόχλευσης για τη χαλάρωση του εδάφους και ωθητικό κοπτήρα μορφής C, ενός Grader “G 716 VHP” της Volvo, ενός εκσκαφέα ανεστραμμένου πτύου τύπου LIEBHERR A308 καθώς και τριών φορτηγών οχημάτων (το ένα με υδροφόρα). Η μεταφορά των μηχανημάτων (προωθητή D8G και εκσκαφέα) γίνεται με δύο μεταφορικές μονάδες και η δραστηριότητα της μεταφοράς έχει τον κωδικό αριθμό 101. Ακολουθεί η μεταφορά του Grader με τα μεταφορικά μέσα της προηγούμενης δραστηριότητας, κωδικός 102. Με την άφιξη των μηχανημάτων αρχίζουν οι εργασίες του προωθητή D8G (διαπλατύνσεις κ.λ.π.), δραστηριότητα 201 και συγχρόνως η εργασία του εκσκαφέα (διαμόρφωση πρανών και τάφρων), δραστηριότητα 202. Όταν τελειώσουν οι δραστηριότητες αυτές αρχίζουν οι εργασίες της διάσπρωσης του υλικού βάσης, δραστηριότητα 301 και υπόβασης, δραστηριότητα 302.

Με βάση την τεχνική περιγραφή των εργασιών βελτίωσης του δρόμου «Ταξιάρχης – Άγιος Γεώργιος» συντάχθηκαν:

- ο πίνακας με τα χρονικά στοιχεία και τις αλληλουχίες των δραστηριοτήτων (ο πίνακας αυτός έχει σχέση με παλαιότερες παρατηρήσεις και στοιχεία που πάρθηκαν στην περιοχή που εργάστηκαν μηχανήματα)
- σχεδιάστηκε, σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα δραστηριοτήτων, το δικτυωτό γράφημα
- συντάχθηκε ο πίνακας χρονικών στοιχείων δραστηριοτήτων
- σχεδιάστηκε το ευθύγραμμο πρόγραμμα των κατασκευών.

III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την καταγραφή και την επεξεργασία όλων των στοιχείων προέκυψαν οι παρακάτω πίνακες και τα σχήματα

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.Χρονικά στοιχεία και αλληλουχίες των δραστηριοτήτων

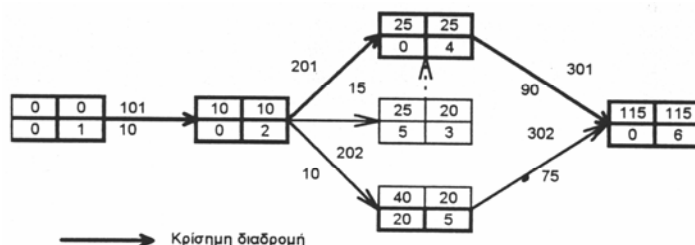
Κωδικός αριθμός δραστηρ.	Περιγραφή δραστηριότητας	Διάρκεια ώρες	Αλληλουχία προηγείται των
101	Μεταφορά προωθητή D8G και του εκσκαφέα	10	201,102,202
201	Διαπλάτυνση με D8G	15	301
102	Μεταφορά Grader	10	301
202	Διαμόρφωση πρανών και τάφρων	10	302
301	Διάστρωση υπόβασης 5800 τόνων	90	Τελική
302	Διάστρωση βάσης 1610 τόνων	70	Τελική

Σύμφωνα με στοιχεία του πίνακα 1 σχεδιάστηκαν το δικτυωτό γράφημα (σχ. 1).

Το δικτυωτό διάγραμμα σχεδιάστηκε σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 1 των δραστηριοτήτων. ο κωδικός αριθμός ή ο ονομασία της δραστηριότητας γράφτηκε πάνω και η διάρκεια κάτω από το βέλος. Στον κόμβο του γεγονότος έναρξης του έργου (κόμβος 1) γράφεται FZ = 0. Η δραστηριότητα 101, η οποία αρχίζει στο χρόνο 0, τελειώνει μετά 10 ώρες στο γεγονός 2. Ο χρόνος FZ στο γεγονός 2 είναι $FZ = 0 + 10 = 10$. Ο χρόνος αυτός, ο οποίος αναγράφεται στο άνω δεξιό τμήμα του κόμβου 2 είναι ο ενωρίτερος δυνατός χρόνος περάτωσης της δραστηριότητας 101 ή έναρξης των δραστηριοτήτων, οι οποίες έχουν αρχή το γεγονός 2. Στο γεγονός 2 αρχίζουν οι δραστηριότητες 201, 102 και 202. Στο πεδίο FZ του γεγονότος 5 αναγράφεται αμέσως ο χρόνος $FZ = 10 + 10 = 20$, εφόσον στο γεγονός αυτό καταλήγει μόνο μία δραστηριότητα. Επειδή στο γεγονός 4 καταλήγουν περισσότερες από μία δραστηριότητες, λαμβάνεται ως χρόνος FZ του γεγονότος ο μεγαλύτερος. Η περίπτωση αυτή εμφανίστηκε στο γεγονός 4. Από τη διαδρομή 2-4 προκύπτει χρόνος $10 + 15 = 25$ και από τη διαδρομή 2-3-4 (δραστηριότητα 3-4 πλασματική με μηδενική διάρκεια) προκύπτει χρόνος $10 + 10 = 20$. Επομένως στο πεδίο του γεγονότος 4 γράφτηκε ο μεγαλύτερος χρόνος $FZ = 25$.

Η ίδια τεχνική εφαρμόστηκε και για τον κόμβο 6 πέρας του έργου. Από τη διαδρομή 4-6 προκύπτει $25 + 90 = 115$ και από τη διαδρομή 5-6 κατά την ίδια μέθοδο $20 + 75 = 95$. Στο πεδίο 6 αναγράφεται επομένως ο χρόνος 115, ο οποίος είναι ο ενωρίτερος δυνατός χρόνος περατώσεως του έργου και συγχρόνως ο βραδύτερος επιτρεπόμενος.

Η πλασματική δραστηριότητα μεταξύ των κόμβων 3 και 4 σημαίνει, ότι δεν είναι δυνατόν να αρχίσει η δραστηριότητα 301 (διάστρωσης 5800 τόνων της υπόβασης) αν δεν ολοκληρωθεί η δραστηριότητα 102 του Grader.



Σχήμα 1. Δικτυωτό γράφημα των δραστηριοτήτων

Από τα αποτελέσματα της επίλυσης του δικτυωτού γραφήματος των δραστηριοτήτων του σχήματος 1 προέκυψε ο πίνακας 2 με τα χρονικά στοιχεία των δραστηριοτήτων. Ο πίνακας 2 περιέχει τα παρακάτω χρονικά στοιχεία, τα οποία θεωρούνται απαραίτητα για την εκτέλεση των εργασιών της βελτίωσης του συγκεκριμένου δρόμου:

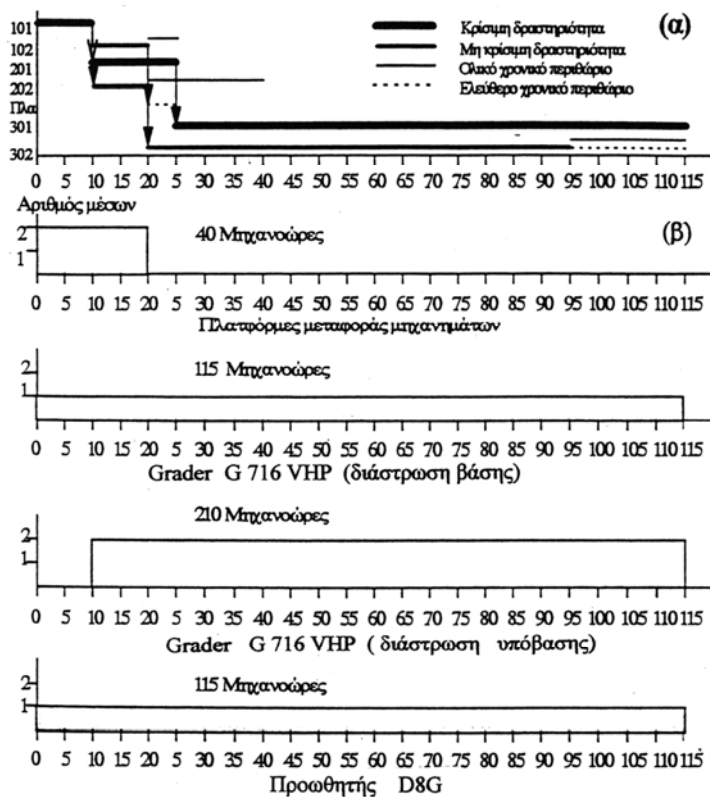
Αύξων αριθμός δραστηριότητας	T_{ij}
Κωδικός ή περιγραφή δραστηριότητας	FZ_i
Διάρκεια	$FZ_i + T_{ij}$
Ενωρίτερος χρόνος έναρξης	$SZ_j - T_i$
Ενωρίτερος χρόνος πέρατος	Sz_j
Βραδύτερος χρόνος έναρξης	R_t
Βραδύτερος χρόνος πέρατος	R_f
Ολικό χρονικό περιθώριο	$i-j$
Ελεύθερο χρονικό περιθώριο	
Αλληλουχία κόμβων	

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Χρονικά στοιχεία δραστηριοτήτων

α/α	Δραστηριότητα	Διάρκεια ώρες	Ενωρίτ. χρόνος αρχής	Ενωρίτ. χρόνος πέρατος	Βραδύτ. χρόνος αρχής	Βραδύτ. χρόνος πέρατος	Ολικό περιθ. R_t	Ελεθ. περιθ. R_f
1	101. Μετ. D8G και του εκσκαφέα	10	0	10	0	10	0	0
2	102. Μετ. με Grader	10	10	20	15	25	5	0
3	201. Διαπλάτυνση με D8G	15	10	25	10	25	0	0
4	202. Διαμόρφωση πρανών	10	10	20	30	40	20	0
5	Πλασματική	0	20	20	25	25	5	5
6	301. Διάστρωση 5800 τόνων	90	25	115	25	115	0	0
7	302. Διάστρωση 16100 τόνων	75	20	95	40	115	20	20
	Κρίσιμη δραστηριότητα							

Σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 2 σχεδιάστηκε το ευθύγραμμο πρόγραμμα κατασκευών (σχ. 2). Το πρόγραμμα δείχνει με κατακόρυφα βέλη και αριθμούς των γεγονότων την αλληλουχία των δραστηριοτήτων, την κρίσιμη διαδρομή και τα χρονικά περιθώρια, έτσι ώστε να είναι άμεση η εποπτεία προόδου του έργου. Κάτω από το πρόγραμμα κατασκευών σχεδιάστηκε το πρόγραμμα κατανομής των μέσων παραγωγής, για την ενωρίτερη και για την

βραδύτερη έναρξη των δραστηριοτήτων. Ο συνδυασμός των δύο αυτών διαγραμμάτων δίνει, με την εφαρμογή του κατάλληλου αλγορίθμου, ο οποίος αξιοποιεί τα χρονικά περιθώρια των δραστηριοτήτων, τη βέλτιστη διάθεση των μέσων παραγωγής. Για κάθε μέσο παραγωγής σχεδιάστηκε χωριστό διάγραμμα κατανομής, όπου οι μηχανοώρες είναι το εμβαδόν του κάθε ορθογωνίου.



Σχήμα. 2. (α) Ευθύγραμμα πρόγραμμα κατασκευών
(β) Ιστογράμματα κατανομής των μέσων παραγωγής.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων προκύπτουν τα παρακάτω:

Η οργάνωση και η διαχείριση των μηχανημάτων στις εργασίες διάνοιξης του δάσους, λόγω των σημαντικών κεφαλαίων που επενδύονται αλλά και εξαιτίας του περιορισμένου χρόνου εκτέλεσης των εργασιών, δεν μπορεί να βασίζεται στην εμπειρική και τους αυτοσχεδιασμούς του εκάστοτε υπεύθυνου, αλλά να στηρίζεται σε επιστημονικές και δοκιμασμένες μεθόδους.

Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε η μέθοδος της δικτυωτής ανάλυσης, η εφαρμογή της οποίας βοήθησε σημαντικά στην εκτέλεση των εργασιών βελτίωσης του δρόμου «Ταξιάρχη – Άγιος Γεώργιος» στο παν/κό δάσος Ταξιάρχη Χαλκιδικής.

Η εφαρμογή της μεθόδου σε επιχειρήσεις κατασκευών στις ΗΠΑ επέτρεψε την ελάττωση του χρόνου κατά μέσο όρο σε ποσοστό πάνω από 20% και του κόστους σε ποσοστά πάνω από 15% ανάλογα με την περίπτωση (Ταμπακάκης, 1970).

Από την εφαρμογή της μεθόδου της δικτυωτής ανάλυσης κατά την οργάνωση και τη διαχείριση των μηχανημάτων σε εργασίες διάνοιξης του δάσους προκύπτουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- επιτυγχάνεται ουσιαστική εξοικονόμηση χρόνου και εξόδων με τη συνεχή απασχόληση των μηχανημάτων
- όλες τις εργασίες των έργων είναι γνωστές εκ των προτέρων στον υπεύθυνο του έργου και παριστάνονται με γραφική μορφή με όλες τις σχέσεις και αλληλεξαρτήσεις τους
- το δικτυωτό αποτελεί ένα αξιόλογο μέσο πληροφοριών για κάθε ενδιαφερόμενο. Ο υπολογισμός της διάρκειας των δραστηριοτήτων μπορεί να υποβοηθήσει στη σύνταξη παρόμοιων δικτυωτών
- επιτυγχάνεται η έγκαιρη και οικονομική προμήθεια των απαραίτητων και κατάλληλων μηχανημάτων
- είναι δυνατή η διάθεση των μηχανημάτων, όταν δεν εργάζονται (κενοί χρόνοι) σε γειτονικά δασικά συμπλέγματα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεράσματα προτείνονται τα παρακάτω:

1. Στην οργάνωση και το σχεδιασμό της χρησιμοποίησης των μηχανημάτων στις εργασίες διάνοιξης του δάσους θα πρέπει να εφαρμόζεται η μέθοδος της δικτυωτής ανάλυσης, λόγω της ευχρηστότητας, των σημαντικών πλεονεκτημάτων και της επιτυχημένης εφαρμογής της σε πολλούς άλλους τομείς
2. Η εισαγωγή της δικτυωτής ανάλυσης στη δασική επιχείρηση πρέπει να γίνει ύστερα από κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού στη συστάδα και στη χρήση των δικτυωτών σε ειδικά σεμινάρια
3. Μέσα στα γραφεία δασοτεχνικών έργων θα πρέπει να ιδρυθεί ένα ειδικό τμήμα, το οποίο θα ασχολείται, με συνεργασία με τους υπεύθυνους των δασικών συμπλεγμάτων, με τη συλλογή των απαραίτητων πληροφοριών που αφορούν την οργάνωση και τη διαχείριση των μηχανημάτων. Το τμήμα αυτό έχοντας στη διάθεσή του όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και την ανάλογη εμπειρία θα οργανώνει και θα προγραμματίζει όλες τις εργασίες των μηχανημάτων με τη σύνταξη διαγραμμάτων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bittig B.. 1971. Anwendung der Netzplantechnik im forstlichen Strassenbau. Büdnerwald, 24(5-6), S. 222-226, Chur.
2. Τσατσαρέλης, Κ..1995. Διαχείριση γεωργικών μηχανημάτων. Διδακτικό βιβλίο, Τμήμα Γεωπονίας, Θεσσαλονίκη.
3. Klein R.. 1971. Netzplantechnik als Hilfsmittel zur Lösung der Organisationsfragen in der Forstwirtschaft. Allgemeine Forstzeitschrift, 26(6), S. 106-112, München.
4. Kaminsky G. – Heigenhauser B.. 1970. Grundlagen der arbeitsorganisatorischen Fertigungssteuerung und Fertigungs-überwachung in hohen Mechanisierungsstufen. Holz als Roh- und Werkstoff, 28(10), S. 397-402, München.
5. Καραγιάννης, Ε.Α.. 1990. Διάνοιξη δάσους με τη μέθοδο της Δικτυωτής Ανάλυσης σε συνδυασμό με την οικονομικοτεχνική μετατόπιση του ξύλου και άλλες δασοπονικές δραστηριότητες σε ορεινά δάση της Ελλάδος. Διδακτορική διατριβή. Επιστημονική

Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, παράρτημα αριθ. 5 του τόμου ΛΓ, σελ. 348, Θεσσαλονίκη.

6. Linder W.Q..1971. Bietet die Netzplantechnik Vorteile im Forstbetrieb ausser bei Grossinvestitionen? Bündnerwald, 24(56), S. 215-221, Chur.
7. Stamou, N.I..1974. Die Netzplantechnik als Hilfsmittel der Jahresplanung im Forstbetrieb. Dissertation, Freiburg.
8. Ταμπακάκης, Σ.. 1970. Χρονικό προγραμματισμός των κατασκευών. Μέθοδος Δικτυωτής Αναλύσεως «PERT-CPM». Έκδοσις Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδας, Αθήναι.
9. Weinmann H.J.. 1974. Netzplantechniken in forstlicher Anwendung. Forstarchiv, 45 (5), S. 882-88, Hannover.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ ΜΕΣΑ ΣΕ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ - ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΔΡΟΜΩΝ

Β. Δρόσος*, Β. Γιαννούλας, Ε. Καραγιάννης** και Π. Καραρίζος****

* Δ.Π.Θ., Τμήμα Δ.&Δ.Π.&Φ.Π., Πανταζίδου 193 -682 00, Ν. Ορεστιάδα

**Α.Π.Θ., Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, 540 06 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι ακρίβειες των μετρητικών αποκλίσεων των μεθόδων μέτρησης των ιδιοκτησιών στις δασικές περιοχές, που έγιναν με παλαιότερες τοπογραφικές μεθόδους, οι οποίες δεν συμβιβάζονται με τις σύγχρονες ψηφιακές φωτογραμμετρικές και τοπογραφικές μεθόδους. Παρουσιάζεται επίσης η σύγκριση μεταξύ τους και η δυνατότητα εναρμόνισης των παλαιότερων με τις νεότερες μεθόδους χαρτογράφησης, γιατί η διαχείριση των πληροφοριών που έχουμε με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας συμβάλλει στη χάραξη καλύτερης πολιτικής αγροτικής και δασικής γης και στην οικολογική διαχείριση, ανάπτυξη και προστασία των αγρών και των δασών.

PROBLEMS OF SETTING THE BOUNDARIES OF RURAL PROPERTIES WITHIN FOREST AREAS

V. Drosos*, V. Giannoulas, E. Karagiannis** and P. Kararizos****

* Democritus University of Thrace, Department of Forestry & Management of the Environment
& Natural Resources, 193 Pantazidou Str – 682 00 N. Orestiada, Greece

** Aristotle University of Thessaloniki, School of Forestry and Natural Environment,
540 06 Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

In this paper I will present the accuracy of metric deviations of the properties measurement methods within forest areas. These methods have taken place without the use of out-dated topographical methods as these methods are not compatible with up-to-date digital photogrammetric and topographical methods. I will also discuss the comparison between the methods and the possibility of harmonizing the old methods of mapping along with the contemporary methods. I will do this in order to show that the management of the information we possess along with the aid of modern technology contributes to the planning of improved rural and forest land policy. I will also analyze how these methods contribute to ecological management, development and the protection of fields and forests.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι η κατάρτιση του Εθνικού Κτηματολογίου συμβάλλει στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Σύμφωνα με το Ν. 2664/1998, υποβάλλονται σχετικές δηλώσεις από τους ενδιαφερόμενους, στα αρμόδια όργανα του κτηματολογίου, με τη θέση, τα όρια και το εμβαδόν της ιδιοκτησίας τους.

Το κτηματολόγιο δίνει μία τριπλή απάντηση που αναφέρεται:

- Στην τεχνική περιγραφή του κτήματος, με την οποία καθορίζεται το είδος και οι διακρίσεις του (δάσος, αγρός, βοσκότοπος, οικόπεδο κ.ά.), το σχήμα του, η μορφή του, η έκτασή του και η θέση του στο χώρο ή πιο συγκεκριμένα η σύνδεσή του με το χαρτογραφικό ή το τριγωνομετρικό δίκτυο της χώρας.

- Στη νομική κατοχύρωσή του, με τη διερεύνηση της ιδιοκτησιακής κατάστασης του κτήματος, τόσο της σημερινής όσο και της προγενέστερης και τον καθορισμό της μορφής ιδιοκτησίας, η οποία παίρνει τη συγκεκριμένη της υπόσταση με την έκδοση ενός νομικά θεμελιωμένου τίτλου, σε συνδυασμό και με την προηγούμενη τεχνική περιγραφή.

- Στην οικονομική αξιολόγηση του κτήματος, που συνιστά το συμπλήρωμα των δύο προηγούμενων εννοιών. Στην οικονομική αξιολόγηση χρειάζονται οι ειδικές γνώσεις εκτιμητικής κάθε κλάδου για την κατάρτιση των ειδικών κτηματολογίων, όπως του αμπελουργικού, δασικού κ.ά.

Το τριαδικό αυτό σύστημα: τεχνική περιγραφή – νομική αποσαφήνιση τίτλων ιδιοκτησίας – εκτίμηση της έγγειας αξίας κάθε κτήματος, συνιστά μία πηγή λεπτομερειικών και αξιόπιστων πληροφοριών που αναφέρονται, αναλυτικά και συγκεντρωτικά, στη μορφή (δημόσιες, κοινοτικές, ιδιωτικές κ.ά.), στο είδος (δασικές, αγροτικές, λιβαδικές κ.ά.), στην έκταση και στο πλήθος των ιδιοκτητών κατά μορφή, είδος και έκταση.

Τα αναλυτικά στοιχεία φθάνουν μέχρι το σημείο της πλήρους εξατομίκευσης κάθε ιδιοκτησίας με τον προσδιορισμό της ταυτότητάς της και το χαρακτηρισμό της με ένα κωδικό αριθμό, που δηλώνει τη θέση του κτήματος στη χώρα.

Είναι γεγονός ότι το Εθνικό Κτηματολόγιο αποτελεί βασικό έργο υποδομής αμέσου προτεραιότητας που αφορά:

1. Στο σχεδιασμό της ανάπτυξης και τη διεκπεραίωση του έργου της δημόσιας διοίκησης.
2. Στην προστασία, αξιοποίηση και διαχείριση της δημόσιας και ιδιωτικής περιουσίας.
3. Στη δικαιότερη κατανομή των φορολογικών βαρών, μιας και το κτηματολόγιο ως θεσμός οφείλει σε αυτόν ακριβώς το λόγο, την αιτία της ύπαρξής του.
4. Στη χάραξη και εφαρμογή πολιτικής γης.
5. Στην προστασία των δασών και δασικών εκτάσεων.

Η εθνική σημασία του άλλωστε έχει κατοχυρωθεί και επισημανθεί από την ίδια την κοινωνία και ως επιστέγασμα όλων αυτών έρχεται η αναθεωρημένη διατύπωση του άρθρου 24 του Συντάγματος που προβλέπει ως υποχρέωση της Πολιτείας την ολοκλήρωση του Εθνικού Κτηματολογίου.

Στις δασικές περιοχές ο αποτελεσματισμός έγινε με παλαιότερες τοπογραφικές μεθόδους, δηλαδή πυξίδα και μετροταινία, οι οποίες δε συμβιβάζονται με τις σύγχρονες ψηφιακές φωτογραμμετρικές και τοπογραφικές μεθόδους, σύμφωνα με την απόφαση του Υπουργείου Γεωργίας 99580/506 από 1 Ιουλίου 1999.

Οι μετρήσεις με την πυξίδα μειονεκτούν γιατί αναφέρονται στο μαγνητικό βορρά (μεσημβρινό) σε αντίθεση με τους χάρτες που αναφέρονται στο βορρά (μεσημβρινό) του χάρτη [1]. Η διαφορά μεταξύ του μαγνητικού αζιμούθιου και της γωνίας διεύθυνσης ονομάζεται ολική μαγνητική απόκλιση της πυξίδας δ. Η τιμή της μεταβάλλεται από τόπο σε τόπο, αλλά και στον ίδιο τόπο δε διατηρείται σταθερή αλλά μεταβάλλεται αργά από έτος σε έτος.

Με βάση την παραπάνω απόφαση παραδίδονται δασικοί χάρτες με τα πολύγωνα φυτοκάλυψης, ψηφιακοί κτηματικοί πίνακες κατά κατηγορία φυτοκάλυψης και Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (Ψ.Μ.Ε.), που θα αποτελέσουν το ψηφιακό κτηματικό αρχείο των κτηματικών γραφείων, που θα αντικαταστήσουν τα σημερινά υποθηκοφυλακεία. Η σύγχρονη τεχνολογία των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.), η όλο και ευρύτερη χρήση των Ψ.Μ.Ε. και η ανάπτυξη καλύτερων γραφικών αποδόσεων έχουν δώσει νέες διαστάσεις, νέα μέσα και εργαλεία στους επιστήμονες που ασχολούνται με το τοπίο και το περιβάλλον [2]. Η διαχείριση των παραπάνω ψηφιοποιημένων πληροφοριών, με τη βοήθεια και της σύγχρονης τεχνολογίας, μπορεί να συμβάλλει στην καλύτερη οικολογική διαχείριση και προστασία των δασών και των γεωργικών εκτάσεων [3].

Η σύγχρονη τεχνολογία της πληροφορικής δίνει νέες δυνατότητες, γιατί συνδυάζει το γραφείο όπου επεξεργάζονται τα στοιχεία με τις υπαίθριες εργασίες, με τη βοήθεια ψηφιακών χαρτών και αμφίδρομης επικοινωνίας με υπολογιστές χειρός και Global Positioning System (G.P.S.) [4], [5].

Οι δέκτες του G.P.S. ποικίλουν με χαρακτηριστικές δυνατότητες και χρησιμότητα. Οι πιο ακριβοί G.P.S. δέκτες (για γεωδαιτικές εφαρμογές) κοστίζουν πάνω από 29.400 €, και για μετρήσεις ακρίβειας, όπως ήδη προαναφέρθηκε, απαιτούνται δύο τουλάχιστον δέκτες. Αυτές οι μονάδες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά λειτουργίας από τους δέκτες χειρός και μπορούν να προσδιορίζουν τις σχετικές θέσεις μεταξύ σημείων με υψηλές ακρίβειες, της τάξης των χιλιοστών ανά χιλιόμετρο (1 ppm).

Μια εναλλακτική λύση αποτελεί η χρήση ελαφρών φορητών δεκτών G.P.S. Σε αυτήν την περίπτωση, το κόστος και ο χρόνος αποτύπωσης ελαττώνονται σημαντικά. Οι παρατηρητές καλύπτουν γρήγορα την προς αποτύπωση περιοχή, μια που για κάθε σημείο το μόνο που χρειάζεται είναι η συλλογή G.P.S. παρατηρήσεων για μερικά λεπτά. Η θέση προσδιορίζεται αυτόματα με βάση τα σήματα που λαμβάνει ο δέκτης από τους πολλαπλούς G.P.S. δορυφόρους. Με τους σημερινούς ελαφρούς δέκτες χειρός, που κοστίζουν λιγότερο από 300 €, ακρίβειες μικρότερες της τάξης των 15 m είναι εφικτές ανά προσδιορισμό σημείου σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους, οι εφικτές σχετικές ακρίβειες είναι της τάξης των 3-5 m (επίσης σε πραγματικό χρόνο) και κάτω από 1 m αν γίνει χρήση του φέροντος κύματος των σημάτων του G.P.S. και μετεπεξεργασία των παρατηρήσεων φάσης. Οι ακρίβειες αυτές συνήθως καλύπτουν τις ανάγκες του 90% των εφαρμογών Ψ.Μ.Ε.

Η ευρεία χρήση του G.P.S. για πολιτικές εφαρμογές ελέγχεται με μια τεχνική γνωστή σαν Επιλεκτική Διαθεσιμότητα (Selective Availability), που αλλοιώνει εσκεμμένα τα εκπεμπόμενα σήματα των δορυφόρων του συστήματος G.P.S. Η κατάργησή της οδηγεί και με απλούς δέκτες σε ακρίβειες μέχρι 5 μέτρα στην οριζοντιογραφική και υψομετρική θέση χωρίς δηλαδή τη χρήση του σχετικού προσδιορισμού με δύο δέκτες.

Η ακρίβεια των G.P.S. σε δασικό περιβάλλον είναι ένα μειονέκτημα για πολλές εφαρμογές που απαιτούν ακρίβεια, ιδιαίτερα μέσα σε κλειστό από το φύλλωμα ουρανό. Μετά τη λήξη της επιλεκτικής διαθεσιμότητας βελτιώθηκε η ακρίβεια των μικρού κόστους G.P.S. [6], [7]. Τα μικρά είναι πιο εργονομικά στη δασική πράξη, συνδυάζονται και με πυξίδα και με αλτίμετρο και έτσι έχουν μια σίγουρη βασική ακρίβεια, όταν οι μετρήσεις γίνονται σε ανοικτό ουρανό και από εκεί οι διευθύνσεις μετρούνται με την πυξίδα σε σημεία κάτω από φύλλωμα [8], [9].

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξελισσόμενη τεχνολογία του συνδυασμού κινητών τηλεφώνων και G.P.S., που μπορεί να λειτουργεί και μέσα σε κλειστό ουρανό, όπως τα κτίρια και οι πυκνές φυλλωσιές. Βέβαια η ακρίβειά τους είναι 15-20 μέτρα απαγορευτική προς το παρόν για όλες τις αγροτικές και δασικές εφαρμογές [10].

Ανάμεσα στις μεθόδους συλλογής και ανάλυσης δεδομένων και πληροφοριών υπεισέρχεται η σχετικά νέα τεχνολογία της τηλεπισκόπησης, που στηρίζεται στην ανάλυση και επεξεργασία δορυφορικών και επίγειων χωρικών δεδομένων, κυρίως με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και κατάλληλου λογισμικού. Οι εφαρμογές της τηλεπισκόπησης στη γεωργία

αναφέρονται στην αναγνώριση ασθενειών, στην παρακολούθηση των σταδίων ανάπτυξης καλλιεργειών, δημιουργία αρχείου φασματικών ταυτοτήτων, στην εκτίμηση ζημιών στις γεωργικές καλλιέργειες, στην καταγραφή πλημμύρων και στη χαρτογράφηση των γεωργικών εδαφών [11].

Τα Ψ.Μ.Ε. ως καθαρά ψηφιακά προϊόντα, αποτελούν τη βάση για πολλές περαιτέρω διαδικασίες χαρτογραφικού περιεχομένου και παραγωγή δευτερογενούς πληροφορίας. Τα σφάλματα, που συσσωρεύονται κατά την πορεία της δημιουργίας τους, μεταδίδονται επαυξανόμενα στα προϊόντα τους, ενώ συνήθως αυτό δεν γίνεται αντιληπτό στο τελικό αποτέλεσμα [12]. Γι' αυτό ο προσδιορισμός των αρχικών δεδομένων πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή.

Στη σύγχρονη εποχή η εισαγωγή της πληροφορικής και των ηλεκτρονικών συστημάτων, κάνει πιο επιτακτική την ανάγκη χρησιμοποίησης σύγχρονων μηχανημάτων που είναι σε θέση να παρακολουθήσουν τις απαιτήσεις και την πειθαρχία της ηλεκτρονικής οργάνωσης [13].

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανεύρεση της ακρίβειας των μετρητικών αποκλίσεων των μεθόδων, η σύγκριση μεταξύ τους και η δυνατότητα εναρμόνισης των παλαιότερων με τις νεότερες μεθόδους χαρτογράφησης, γιατί η διαχείριση των πληροφοριών που έχουμε με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας συμβάλλει στη χάραξη καλύτερης πολιτικής αγροτικής και δασικής γης και στην οικολογική διαχείριση, ανάπτυξη και προστασία των αγρών, των δασών και δασικών εκτάσεων εν γένει. Τελικά έγινε η επιλογή των κατάλληλων για την περιοχή μηχανημάτων διάνοιξης δρόμων, με βάση τις επικρατούσες εδαφικές και κλιματικές συνθήκες.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

2.1 Περιοχή έρευνας

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού έγινε τοπογραφική αποτύπωση και ψηφιακή φωτογραμμετρική απόδοση του συγκροτήματος αγροτικών ιδιοκτησιών της δασικής περιοχής «Δαμασκηινιάς Λιβάδι» του Π.Δ. Ταξιάρχη με γεωγραφικό πλάτος από 40° 41' μέχρι 40° 51' και γεωγραφικό μήκος από 23° 30' μέχρι 23° 20' σε σχέση με το μεσημβρινό του Greenwich. Αυτό έγινε γιατί η περιοχή αυτή εμφανίζει όλα τα χαρακτηριστικά ενός τυπικού δάσους της χώρας μας αφού το 76,1% των δασών της χώρας μας παρουσιάζει τις ίδιες παραπάνω αναφερθέντες συνθήκες και θεωρείται ως η πιο αντιπροσωπευτική περιοχή για τα ελληνικά δεδομένα. Η περιοχή «Δαμασκηινιάς Λιβάδι» βρίσκεται δυτικά του Δασαρχείου.

Η περιοχή καλύπτεται σε ποσοστό 63,52% από Πλατύφυλλο Δρυ (*Quercus Conferta*) και άτομα Χνοώδους Δρυός (*Quercus Pubescens*), Μοϊσιακή Οξιά (*Fagus Moesiaca*) και Μαύρη Πεύκη (*Pinus Nigra*). Η περιοχή έχει υπερθαλάσσιο ύψος που κυμαίνεται από 610 – 900 μέτρα. Οι κλίσεις δεν ξεπερνούν το 25% ενώ σε μία μικρή περιοχή κυμαίνεται στο 45%. Το pH του εδάφους κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5, έχει πηλώδη ή αμμοπηλώδη υφή και είναι μέτρια εφοδιασμένο με Ν και Ρ [14]. Βασικό πέτρωμα είναι ο *μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος*.

2.2 Εκλογή οργάνων

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την οριοθέτηση των ιδιοκτησιών με την ηλεκτροπτική τοπογραφική μέθοδο, ήταν ο ηλεκτροπτικός θεοδόλιχος Wild T2 με επιβατικό (DISTOMAT Wild DI 1000) ένα σχετικά σύγχρονο όργανο αποτύπωσης, που χρησιμοποιείται σε γεωδαιτικός σταθμός.

Για την εφαρμογή της ψηφιακής μεθόδου ο σταθμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο Imagestation™ ZII της Intergraph.

Κατά την αποτύπωση της περιοχής με την ψηφιακή φωτογραμμετρική μέθοδο σαρώθηκαν τα διαδοχικά διαθετικά που περιέχουν την εν λόγω περιοχή και εισήχθηκαν ως ψηφιακές εικόνες στο ψηφιακό φωτογραμμετρικό σταθμό.

Η αποτύπωση της περιοχής έγινε και με τη βοήθεια GPS. Για την αποτύπωση χρησιμοποιήθηκε το eTrex Legend της GARMIN (Σχήμα 1). Η αποτύπωση (αποτελεσματισμός) των αγροτεμαχίων από το οικείο Δασαρχείο έγινε με πυξίδα τύπου Meridian.



Σχήμα 1. eTrex Legend της GARMIN.

2.3 Μέθοδος εργασίας

Για την εξακρίβωση των μετρητικών αποκλίσεων των μεθόδων έγινε σύγκριση του ψηφιακού διαγράμματος και των αντίστοιχων τοπογραφικών διαγραμμάτων, με την ηλεκτροπτική και δορυφορική μέθοδο, της δασικής περιοχής «Δαμασκηινιάς Λιβάδι» και του σχεδιαγράμματος των αγρών της συγκεκριμένης περιοχής με πυξίδα. Η σύγκριση των τριών διαγραμμάτων έγινε με τη βοήθεια των συντεταγμένων των κορυφών των αγρών (πολυγώνων).

Τα στοιχεία που προέκυψαν επεξεργάστηκαν υπό το πρίσμα της ισοβαρούς παρατήρησης. Για τον έλεγχο του σφάλματος των μετρήσεων ως «αληθείς τιμές» θεωρήθηκαν το διάγραμμα και οι συντεταγμένες που προέκυψαν από την ηλεκτροπτική τοπογραφική μέθοδο.

Το σφάλμα είναι κριτήριο εκτίμησης του βαθμού ακρίβειας μίας σειράς μετρήσεων, δηλαδή αν μία σειρά μετρήσεων είναι ακριβέστερη της άλλης. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθούν τα εξής κριτήρια:

α. Το κριτήριο του μέσου αριθμητικού σφάλματος μ_a :

Το πηλίκιο του αθροίσματος των απόλυτων τιμών των αποκλίσεων των μετρήσεων με τον αριθμό των μετρήσεων, που δίνεται από τον τύπο:

$$\mu_a = \pm \sum_{j=1}^n |v_j - vm_j| / n$$

όπου:

μ_a = μέσο αριθμητικό σφάλμα.

$\sum_{j=1}^n |v_j - vm_j|$ = το άθροισμα των απόλυτων τιμών των αληθινών διαφορών (σφαλμάτων).

v_j = είναι μία από τις συντεταγμένες E και N του σημείου j.

vm_j = είναι η αληθής τιμή της v_j .

n = το πλήθος των παρατηρήσεων.

β. Το κριτήριο του μέσου τετραγωνικού σφάλματος των μετρήσεων (μ_r) που δίνεται από τον τύπο:

$$\mu_r = \sqrt{\pm \sum_{j=1}^n (v_j - vm_j)^2 / n}$$

όπου:

μ_r = μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

$$(v_i - v_{m_i})^2 = (E_i - E_G)^2 \text{ ή } (E_i - E_{\Pi})^2 \text{ ή } (E_i - E_{\Psi})^2$$

E_i = η αληθής συντεταγμένη από τον ηλεκτροπτικό θεοδόλιχο.

E_G = η συντεταγμένη που μετρήθηκε με G.P.S.

E_{Π} = η συντεταγμένη που μετρήθηκε με πυξίδα.

E_{Ψ} = η συντεταγμένη που μετρήθηκε με ψηφιακό φωτογραμμετρικό σταθμό.

n = ο αριθμός των μετρήσεων.

γ. Το κριτήριο του μέσου τετραγωνικού σφάλματος του μέσου όρου (μ_M):

Τα προηγούμενα σφάλματα καθόριζαν το σφάλμα κάθε μίας μέτρησης της σειράς και όχι της πιθανής τιμής (μέσου όρου). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου δίνεται από τον τύπο:

$$\mu_M = \pm \mu_r / (n)^{0.5}$$

όπου:

μ_M = το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου.

μ_r = μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

n = ο αριθμός των μετρήσεων.

δηλαδή η αληθής τιμή X βρίσκεται μεταξύ των αριθμών $(L + \mu_M)$, $(L - \mu_M)$,

όπου: L = ο μέσος όρος της αληθούς τιμής X .

Κατά την κατασκευή του δρόμου όπως άλλωστε σε κάθε δομικό έργο, διακρίνονται τρεις κύριες φάσεις εργασίας: η εκσκαφή (χαλάρωση – φόρτωση), η μεταφορά και η διάστρωση (απόθεση – συμπίκνωση). Και στις τρεις φάσεις εργασίας, η αναγκαιότητα της βελτίωσης της ποιότητας των έργων μαζί με τη μείωση του κόστους, επιβάλλουν τη χρησιμοποίηση σύγχρονων μηχανημάτων, ικανών να ανταποκριθούν στις τεχνικοοικονομικές και οικολογικές απαιτήσεις της εποχής [15].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την έρευνα και μελέτη των στοιχείων κατά την απόδοση της περιοχής έρευνας, με ηλεκτροπτικό θεοδόλιχο, με πυξίδα, με G.P.S. και με ψηφιακό φωτογραμμετρικό σταθμό, προέκυψαν, με βάση τη θεωρία των σφαλμάτων, τα στοιχεία που περιέχονται στον πίνακα 1. Το μέγεθος του δείγματος ανέρχεται στα 37 σημεία ενώ για 10 σημεία η μέτρησή τους έγινε κάτω από πυκνή συγκόμωση γι' αυτό είναι ανακριβής και εξαιρέθηκαν.

Πίνακας 1. Ακρίβεια έρευνας

Μέθοδος απόδοσης της περιοχής έρευνας	Μέσο αριθμητικό σφάλμα μ_a m			Μέσο τετραγωνικό σφάλμα μ_r m			Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου ορού μ_M m		
	E	N	H	E	N	H	E	N	H
Πυξίδα	8,899	6,420	9,245	11,124	8,025	11,657	1,829	1,055	1,916
G.P.S.	2,917	5,063	6,286	3,805	7,860	8,734	0,626	1,292	1,436
Ψηφιακή	0,345	0,345	0,243	0,431	0,475	0,304	0,071	0,078	0,050

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τα αποτελέσματα της έρευνας συμπεραίνεται ότι:

- Για το κτηματολόγιο σε δασικές εκτάσεις είναι καλό να χρησιμοποιούνται οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί για την επίτευξη των απαιτούμενων ακριβειών, για τη δημιουργία βάσης δεδομένων με σκοπό τη χρησιμοποίησή της μελλοντικά σε τράπεζα πληροφοριών γης, αλλά και λόγω χρονικής συντομίας.

- Καλό θα είναι να αποφεύγεται η χρήση των πυξίδων σε μεταλλεία, δίπλα από κατασκευές με οπλισμένο σκυρόδεμα, συρματοπλέγματα και οχήματα και επίσης τα ακόντια στήριξης απαγορεύεται να είναι μεταλλικά.

- Οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται με το θεοδόλιχο ή γεωδαιτικό σταθμό είναι πολύ καλές και ασύγκριτα μεγαλύτερες από οποιοδήποτε άλλο όργανο.

- Η υψομέτρηση παρουσιάζει μεγάλη ανακρίβεια (8,734 μέτρα) λόγω και της θέσης του δέκτη (Υψομετρικού σημείου) σε σχέση με τους δορυφόρους που όπως είναι φυσικό βλέπουν από πάνω και όχι κάτω από το δέκτη. Η ακριβέστερη ανεύρεση των υψομέτρων μπορεί να γίνει αν η όλη εργασία συνδυασθεί με αλτίμετρο. Υπάρχουν ήδη στην αγορά G.P.S. με ενσωματωμένο αλτίμετρο (GARMIN Samit).

- Στις τρεις φάσεις εργασίας που αναφέρθηκαν χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά μηχανήματα, όπως είναι μηχανήματα εκσκαφής και φόρτωσης, μεταφορικά μηχανήματα και μηχανήματα διάστρωσης.

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα προτείνονται:

- Οι μετρήσεις με πυξίδα μετά από τη διόρθωση της μαγνητικής απόκλισης, μπορούν να αξιοποιηθούν στην κατάρτιση Κτηματολογίου (Δασικού ή αμπελουργικού) με έλεγχο πάντοτε των μετρήσεων από γνωστά τριγωνομετρικά ή πολυγωνικά σημεία.

- Όταν αποτυπώνουμε αγρούς, δάσος ή δασικές εκτάσεις σε μικρή κλίμακα, καλό θα ήταν να υπάρχει μία συνεργασία μεταξύ G.P.S. και γεωδαιτικού σταθμού ή ηλεκτρονικού θεοδόλιχου, με απώτερο σκοπό το καλύτερο οικονομικοτεχνικό αποτέλεσμα. Πρώτον έχουμε πιο σύντομη αποτύπωση της περιοχής γιατί υπάρχει αλληλοσυμπλήρωση και αλληλοβοήθεια μεταξύ των οργάνων άρα οικονομία χρόνου και εξόδων και δεύτερον μετά τα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ένταξη σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), ως ψηφιακό αρχείο.

- Με την κατάρτιση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας υποβοηθείται η αύξηση της ακρίβειας των δεκτών χειρός σε λίγα μέτρα. Προτείνεται η ανάπτυξη και υλοποίηση μιας εφαρμογής των υπηρεσιών αξιοποίησης της γεωγραφικής θέσης, σε palmtop (Υπολογιστής παλάμης), η οποία θα επιτρέπει μέσω της χρήσης ενός G.P.S. χειρός, να είναι γνωστή ανά πάσα χρονική στιγμή, βγαίνοντας στο πεδίο, η ακριβής θέση της συσκευής και στη συνέχεια να τεθούν κάποια ερωτήματα, είτε για τις υπηρεσίες που αφορούν τη συγκεκριμένη περιοχή, είτε δίνοντας έναν τελικό προορισμό να επιτευχθεί η πλοήγηση της συσκευής ως εκεί.

- Είναι γνωστό ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής στο δάσος και σε δασικές εκτάσεις παρουσιάζει ιδιαιτερότητες, ενώ συγχρόνως η ανάγκη εφαρμογής σε τέτοιες εκτενείς εκτάσεις είναι πολύ αναγκαία. Απαιτείται ένα λογισμικό για P/C παλάμης, έτσι ώστε να μετατραπεί σε ένα ευπροσάρμοστο εργαλείο συλλογής δεδομένων, που απλοποιεί την απόκτηση, την οργάνωση και την επέκταση των εφαρμογών των υπηρεσιών αξιοποίησης της γεωγραφικής (οριζοντιογραφικής και υψομετρικής) θέσης. Η ευκολία κινητικότητας, η φιλική προς το χρήστη λειτουργία, η δυνατότητα χειρισμού υψηλού όγκου πληροφοριών και η δυνατότητα αναθεώρησης και ενημέρωσης στοιχείων οπουδήποτε και οποτεδήποτε, είναι απαραίτητα αποτελούν τα μεγάλα πλεονεκτήματα του.

- Η ανάπτυξη του λογισμικού τους, με την παράλληλη δυνατότητα ένδειξης των συντεταγμένων κατευθείαν σε ΕΓΣΑ '87, η αγορά τους σε προσιτές τιμές, θα επιφέρει ως αποτέλεσμα την αύξηση των εφαρμογών τους από τους γεωτεχνικούς.

- Η συνεχώς βελτιούμενη ακρίβεια των μετρήσεων σε συνδυασμό με κατάλληλα συστήματα λογισμικού ανάλυσης των παρατηρήσεων και με δυνατότητα μέτρησης χωρίς αμοιβαία ορατότητα των σημείων, με οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες, ημέρα και νύχτα, αποτελούν ένα εξαιρετικό εργαλείο για μια σειρά από γεωδυναμικές, γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές:

- Συμπλήρωση εργασιών οδεύσεων, ταχυμετρίας, πυξίδας σε δύσβατες περιοχές με φτωχό κρατικό δίκτυο σημείων.
- Η σχετικά μικρή ακρίβεια (1 έως 8 μέτρα) στο υψόμετρο σε συνδυασμό με την προσιτή τιμή τους (περίπου 300 €), δεν είναι αποτρεπτική για τις περισσότερες εφαρμογές.
- Στις εκσκαφές, για να μειωθούν τα λάθη θα χρησιμοποιηθούν υδραυλικοί εκσκαφείς ανεστραμμένου πύου εξοπλισμένοι με ηλεκτρονικά συστήματα καθοδήγησης του κάδου καθώς και για τις εργασίες ισοπέδωσης. Τα μηχανήματα αυτά έχουν την ικανότητα να εκτελούν εργασίες ακριβείας με ποιότητα δουλειάς, ταχύτητα εκτέλεσης και προπαντός με χαμηλό κόστος παραγωγής.

Αναφέρονται ενδεικτικά, μερικά πιθανά σενάρια υλοποίησης της συγκεκριμένης εφαρμογής στην πράξη, όπως η πλοήγηση δηλαδή η χρήση της εφαρμογής από έναν φυσιολάτρη που του αρέσει να πραγματοποιεί περιπάτους στην ύπαιθρο μέχρι την πλοήγηση πυροσβεστικών οχημάτων, ακόμη η χαρτογράφηση δασικών ή επαρχιακών δρόμων, ο έλεγχος των κτηματογραφίσεων του κτηματολογίου και των θεματικών χαρτών, η ενημέρωση βάσης δεδομένων. Οι γεωτεχνικές εφαρμογές αυτές από τις κατά τόπους υπηρεσίες έχουν ένα πεδίο σε έκταση όσο το 75 % της χώρας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δούκας Κ. Γ.. 1991 Δυνατότητες αξιοποίησης δασικών πυξίδων στην αποτύπωση δασικών εκτάσεων. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος. Α.Π.Θ. Τόμος ΛΔ/Ι. 579-595.
2. Τσουχλαράκη Α.. 1996. Ψηφιακή Εικονική Αναπαράσταση Ανάγλυφου Στην Ανάλυση του Τοπίου. Τεχνικά Χρονικά Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, Ι(3). 27 - 43.
3. Καρτέρης Μ. και Μελιάδης Ι.. 1992. Τηλεπισκόπηση φυσικών πόρων και Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Τόμος ΙΙ. Έκδοση Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
4. GPS GmbH 2003. GPS-Handy für Wasser und Berge. AVN. (8-9). 322.
5. Heiderbauer M.. 2003. Aktuelle Forstdaten mit IT. Forstzeitung. (4). 12.
6. Γιαννίου Μ.. 2000. Τερματισμός της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας στο G.P.S. ATM. Αθήνα. (147). 46-55.
7. Resnik B.. 2002. Praktische Untersuchungen zur Genauigkeit von Flächenermittelungen mit Handheld-GPS-Empfängern. AVN. (10). 346-351.
8. Gzaja Jens., Munchen & Marco Heurich 2003. GPS für Waldinventur im Nationalpark Bayerischer Wald. Forstzeitung. (10). 31-32.
9. NWF Nordwest-Funk GmbH 2002. GPS mit Kompass und Höhenmesser. AVN. (8-9). 322.
10. Groten Er., Mathes An., Becker Mat., Sohne W.. 2002. Aktuelle Informationen zum Einsatz von Satelliten im Vermessungswesen und in der Navigation. AVN. (8-9). 311.
11. Συλλαίος Ν.. 2000. Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Τόμος Α΄. Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
12. Αχλλέως Γ.. 1997. Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους: Υψομετρικό Σφάλμα. Το σφάλμα λόγω Εφαρμογής Ομοπαράλληλου Μετασχηματισμού στις Ψηφιακές καμπύλες. Τεχνικά Χρονικά Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, Ι(3). 27 - 43.
13. Kararizos P. V., Karagiannis E. A.. 2001. Machines of forest opening-up construction works and protection of natural environment. (Μηχανήματα κατασκευής έργων διάνοιξης των δασών και προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος). International Conference "Forest Research: a challenge for integrated European approach". Proceedings. NAGREF. Thessaloniki. 849 – 854.

14. Μάτης Κ. Γ. και Αλιφραγκής Δ. Α.. 1984. Υπέργεια βιομάζα της δρυός (*Quercus Conferta* Kit.) στον Ταξιάρχη Χαλκιδικής. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ. Τόμος ΚΣΤ/ΚΖ. 397 – 517.
15. Καραρίζος Π. Β.. 1998. Σημειώσεις εφαρμογών μηχανημάτων στα Δασοτεχνικά και Υδρονομικά έργα. Έκδοση Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Βουγιούκας, Σ.¹, Blackmore, Σ.², Griepentrog, H.² και Φουντάς, Σ.²

¹Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Γεωπονική Σχολή,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη, θυρίδα 275.

² The Royal Veterinary and Agricultural University (KVL)
Denmark, Department of AgroTechnology

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αποδοτική εκτέλεση γεωργικών εργασιών ακριβείας από κατάλληλα εξοπλισμένα αυτόνομα οχήματα απαιτεί τον εκ των προτέρων βέλτιστο σχεδιασμό εκτέλεσης των εργασιών αυτών. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος σχεδιασμού βέλτιστης κίνησης γεωργικών οχημάτων, ο οποίος συνδυάζει στοχαστική αναζήτηση και βελτιστοποίηση. Ο αλγόριθμος υλοποιήθηκε, και σχεδιάστηκαν και εκτελέστηκαν με επιτυχία κινήσεις για ένα αυτόνομο ερευνητικό όχημα ζιζανιοκτονίας. Τέτοιου είδους αλγόριθμοι αναμένεται να αποτελούν βασικό τμήμα των μελλοντικών συστημάτων λογισμικού για τον βέλτιστο προγραμματισμό εργασιών από αυτόνομες μηχανές σε μεγάλες γεωργικές εκμεταλλεύσεις.

Λέξεις κλειδιά: Σχεδιασμός κίνησης, βελτιστοποίηση, γεωργικά οχήματα

ROUTE PLANNING FOR AUTONOMOUS AGRICULTURAL VEHICLES

Vougioukas, S.¹, Blackmore, Σ.², Griepentrog, H.² και Fountas, S.²

¹Agricultural Engineering Laboratory, School of Agriculture,
Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Agriculture, P.O. Box 175

² The Royal Veterinary and Agricultural University (KVL)
Denmark, Department of AgroTechnology

ABSTRACT

The efficient execution of precision farming tasks by suitably equipped autonomous vehicles requires prior optimal planning of these tasks. This paper presents an optimal motion planning algorithm for agricultural vehicles, which combines stochastic search with numerical optimization. The algorithm was implemented and various motions were planned and executed for a research autonomous vehicle, developed for weeding. It is envisioned that such algorithms will constitute a major building block of future farm management software systems for the optimal mission planning of autonomous machines.

Keywords: Motion planning, optimization, agricultural vehicles

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

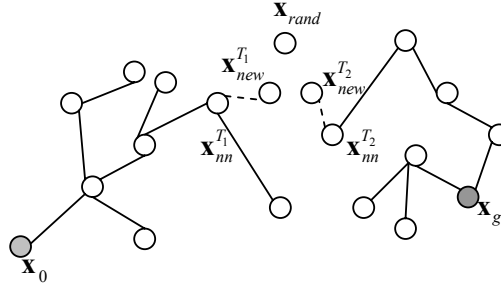
Στα πλαίσια της ερευνητικής δραστηριότητας στη γεωργία ακριβείας η έρευνα στην περιοχή της πλοήγησης αυτόνομων οχημάτων γεωργικών εφαρμογών έχει επικεντρωθεί στο πρόβλημα της παρακολούθησης από το όχημα μίας προκαθορισμένης τροχιάς με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Το πρόβλημα όμως του αυτόματου αλγοριθμικού σχεδιασμού της τροχιάς ενός οχήματος δεν έχει τύχει ανάλογη προσοχής, κυρίως διότι στις γραμμικές καλλιέργειες οι τροχιές είναι απλές και προκαθορισμένες. Όμως, υπάρχουν εφαρμογές με λιγότερο δομημένη γεωμετρία, οι οποίες απαιτούν πιο περίπλοκες κινήσεις. Για παράδειγμα, η κίνηση ενός αυτόνομου ελκυστήρα με παρελκόμενο από ένα χωράφι σε ένα άλλο με αποφυγή εμποδίων όπως δέντρα, αντλιοστάσια, φράκτες κ.λ.π., η λειτουργία ενός αυτόνομου οχήματος ψεκασμού στο εσωτερικό θερμοκηπίων, κ.λ.π.

Το γενικό πρόβλημα σχεδιασμού κίνησης γεωργικών οχημάτων από μία αρχική σε μία τελική θέση παρουσία εμποδίων αποτελεί πρόβλημα κίνησης μη-ολονομικών συστημάτων [8]. Οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι επίλυσης τέτοιων προβλημάτων [7] εστιάζονται σε κίνηση σε επίπεδες επιφάνειες με παρουσία πολλών και πυκνών εμποδίων. Όμως, ο σχεδιασμός κίνησης για γεωργικές εφαρμογές δεν πρέπει να εστιάζεται τόσο στην αποφυγή εμποδίων, όσο στην απαίτηση για βέλτιστη κίνηση σε μη επίπεδες επιφάνειες [12]. Η υπολογιστική πολυπλοκότητα του προβλήματος σχεδιασμού κίνησης είναι μεγάλη και οι αλγόριθμοι που το επιλύουν με συστηματική έρευνα του χώρου δυνατών κινήσεων του συστήματος είναι πρακτικά εφαρμόσιμοι για απλά σχετικά προβλήματα. Πρόσφατα έχουν γίνει ιδιαίτερα δημοφιλείς στοχαστικοί αλγόριθμοι σχεδιασμού κίνησης, οι οποίοι έχουν επιλύσει δύσκολα προβλήματα [1],[3],[9]. Σε αντίθεση με τους αιτιοκρατικούς αλγόριθμους οι οποίοι εκτελούν συστηματική έρευνα στο χώρο κινήσεων του ρομπότ, οι στοχαστικοί αλγόριθμοι βασίζονται σε τυχαία δειγματοληψία του χώρου αυτού, προκειμένου να ανακαλύψουν μονοπάτια εφικτής κίνησης. Στο χώρο των γεωργικών εφαρμογών στοχαστικοί αλγόριθμοι έχουν προταθεί βασισμένοι σε γενετικούς αλγόριθμους [9] και τυχαία δέντρα [11]. Ανάμεσα στα πιο κοινά προβλήματα των στοχαστικών αλγορίθμων είναι ότι η διαδικασία αναζήτησης είναι αργή, ο χρόνος εκτέλεσης των υπολογισμών δεν είναι σταθερός και πολύ συχνά η κίνηση που υπολογίζουν δεν είναι ούτε βέλτιστη, ούτε ομαλή, εξαιτίας της τυχαιότητας κατά την παραγωγή της.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος υπολογισμού κινήσεων για αυτόνομα οχήματα γεωργικών εφαρμογών, ο οποίος υπολογίζει τοπικά βέλτιστες διαδρομές, με δεδομένο κάποιο επιθυμητό κριτήριο κόστους. Ο αλγόριθμος λειτουργεί σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, χρησιμοποιείται δειγματοληψία με τυχαία δέντρα για τον υπολογισμό εφικτών διαδρομών κίνησης μονοτονικά μειωμένου κόστους. Στο δεύτερο στάδιο η βελτιστοποίηση της διαδρομής εκφράζεται στο πλαίσιο της θεωρίας βέλτιστου ελέγχου και χρησιμοποιείται η αριθμητική μέθοδος της μέγιστης κλίσης για τη βελτιστοποίηση της κίνησης. Η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοσθεί σε οποιοδήποτε όχημα ή συνδυασμό οχήματος με παρελκόμενο, αρκεί να είναι γνωστές οι εξισώσεις κίνησής του.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μελέτη αφορά ένα αυτόνομο όχημα το οποίο κινείται σε επίπεδη επιφάνεια παρουσία σταθερών εμποδίων. Έστω X ο n -διάστατος χώρος δυνατών καταστάσεων του οχήματος και U ο m -διάστατος χώρος εισόδων ελέγχου του οχήματος. Για παράδειγμα σε έναν ελκυστήρα το διάνυσμα κατάστασης $\mathbf{x}$ περιέχει γεωγραφικό πλάτος, μήκος και



Σχήμα 2. Στοχαστική αναζήτηση μονοπατιού με τυχαία δέντρα

προσανατολισμό, ενώ το διάνυσμα ελέγχου $\mathbf{u}$ τη γραμμική ταχύτητα του οχήματος και τη γωνία στροφής των μπροστά τροχών του σε σχέση με τον άξονα κίνησης. Έστω επίσης ότι η διακριτή εξίσωση κίνησης του οχήματος δίνεται από μία σχέση της μορφής:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k), \quad k \geq 0 \quad (3)$$

όπου $\mathbf{x}_k \in X$ είναι το διάνυσμα κατάστασης, $\mathbf{u}_k \in U$ το διάνυσμα ελέγχου και $\mathbf{f}$ η εξίσωση κίνησης. Οι δυνατές θέσεις και εισοδοί είναι πεπερασμένες σε μέγεθος και συνεπώς υπόκεινται σε περιορισμούς της μορφής:

$$\mathbf{x}_{\min} \leq \mathbf{x}_k \leq \mathbf{x}_{\max}, \quad \mathbf{u}_{\min} \leq \mathbf{u}_k \leq \mathbf{u}_{\max} \quad (4)$$

Υποθέτουμε ότι η γεωμετρική περιγραφή των επιφανειών του οχήματος δίνεται από ένα σύνολο τριγώνων (π.χ. από αρχείο CAD) και ότι για κάθε κατάσταση $\mathbf{x}_k$ μπορεί να υπολογισθεί η ελάχιστη απόσταση του οχήματος από οποιοδήποτε εμπόδιο. Η απαίτηση αποφυγής εμποδίων εκφράζεται ως: $d(\mathbf{x}_k) > 0$. Με δεδομένες την αρχική και τελική κατάσταση για το όχημα $\mathbf{x}_0$ και $\mathbf{x}_g$ αντίστοιχα, καθώς και μία συνάρτηση κόστους $\phi(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k)$, ζητείται να υπολογισθεί μία ακολουθία εισόδων $\mathbf{u}$ μήκους $N-1$ σημείων, η οποία να οδηγεί το όχημα σε ένα μονοπάτι $\mathbf{x}$ μήκους N σημείων, χωρίς σύγκρουση με εμπόδια. Η συνάρτηση κόστους εκφράζει τα επιθυμητά κριτήρια βελτιστοποίησης, όπως π.χ., ελάχιστο μήκος, ελάχιστο χρόνο, ενέργεια κ.λ.π.

2.1 Πρώτο Στάδιο: Στοχαστική Αναζήτηση

Ο στοχαστικός αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί επέκταση του βασικού αλγορίθμου [9] “Rapidly-exploring Random Trees” (RRT) ο οποίος προσαρμόστηκε στις απαιτήσεις των γεωργικών εφαρμογών [12]. Ο αλγόριθμος αυτός δημιουργεί τυχαίες καταστάσεις $\mathbf{x}_{rand}$ για το όχημα και προσπαθεί να δημιουργήσει μονοπάτι που ενώνει την αρχική και τελική κατάσταση μέσω της $\mathbf{x}_{rand}$. Αυτό το επιτυγχάνει δημιουργώντας δύο δενδρικές δομές δεδομένων και επεκτείνοντάς τις μέχρι ενώσεως μεταξύ τους (Σχήμα 2). Το δέντρο T_1 περιέχει στη ρίζα του την αρχική κατάσταση $\mathbf{x}_0$ και το T_2 την τελική κατάσταση $\mathbf{x}_g$. Σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου κάθε δέντρο επεκτείνεται προς την τυχαία κατάσταση μέσω χρήσης της εξίσωσης κίνησης του οχήματος. Μόλις ενωθούν τα δύο δέντρα υπολογίζεται ένα πλήρες μονοπάτι $\hat{\mathbf{x}}$

(και το αντίστοιχο $\hat{\mathbf{u}}$) από την ένωση των μονοπατιών κάθε δέντρου από τη ρίζα έως τον κοινό κόμβο. Αν δεν βρεθεί κοινός κόμβος μετά από έναν μέγιστο αριθμό επαναλήψεων, επιστρέφεται ένα άδειο μονοπάτι. Κάτι τέτοιο συμβαίνει σπάνια σε στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει εφικτή κίνηση (π.χ. πολλά πυκνά εμπόδια). Ο αλγόριθμος υπολογίζει περισσότερα από ένα πλήρη μονοπάτια, και κάθε μονοπάτι έχει μικρότερο κόστος από το προηγούμενο.

2.2 Δεύτερο Στάδιο: Αριθμητική Βελτιστοποίηση

Η έξοδος του στοχαστικού αλγορίθμου του πρώτου σταδίου είναι μία επιτρεπτή ακολουθία εισόδων $\hat{\mathbf{u}}$ μήκους $N-1$, η οποία παράγει ένα μονοπάτι $\hat{\mathbf{x}}$ μήκους N , ελεύθερο συγκρούσεων με εμπόδια. Το μονοπάτι αυτό δεν είναι βέλτιστο, ενώ σχεδόν πάντα περιέχει απότομες (μη ομαλές) και άσκοπες κινήσεις του οχήματος, οι οποίες είναι αποτέλεσμα του τυχαίου τρόπου υπολογισμού της κίνησης. Τέτοιες κινήσεις δεν είναι πρακτικά εκτελέσιμες γιατί θα απαιτούσαν συνεχείς απότομες μεταβολές ταχύτητας και κατεύθυνσης του οχήματος και θα οδηγούσαν σε καταπόνηση και πιθανή φθορά του. Για το λόγο αυτό, στο δεύτερο στάδιο χρησιμοποιείται η θεωρία βέλτιστου ελέγχου [4] προκειμένου να μετατραπεί η αρχική κίνηση $\hat{\mathbf{x}}$ σε ομαλή και βέλτιστη κίνηση με βάση το επιθυμητό κριτήριο βελτιστοποίησης. Γενικά η βέλτιστη κίνηση ελαχιστοποιεί μία συνάρτηση κόστους της μορφής:

$$J = \theta(\mathbf{x}_N) + \sum_{k=0}^{N-1} \phi(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k) \quad (5)$$

όπου θ είναι το κόστος της τελικής κατάστασης και ϕ το κόστος μετάβασης από μία κατάσταση στην επόμενη. Αυτά τα κόστη καθορίζουν τα κριτήρια βελτιστοποίησης αλλά χρησιμοποιούνται και για να επιβάλλουν περιορισμούς. Έτσι, επειδή η τελική επιθυμητή κατάσταση είναι δεδομένη, η συνάρτηση θ περιέχει έναν όρο ο οποίος προσθέτει κόστος σε οποιαδήποτε απόκλιση της τελικής θέσης από την επιθυμητή. Τέτοιος όρος είναι ο $(\mathbf{x}_N - \mathbf{x}_g)^T W (\mathbf{x}_N - \mathbf{x}_g)$, όπου W είναι ένας θετικός $n \times n$ πίνακας. Επιπλέον, η συνάρτηση ϕ περιέχει έναν θετικό όρο V ο οποίος αυξάνει το συνολικό κόστος του μονοπατιού κάθε φορά που η ελάχιστη απόσταση του οχήματος από τα εμπόδια είναι μηδενική, δηλαδή υπάρχει σύγκρουση. Ο όρος έχει τη μορφή

$$V(\mathbf{x}_k) = \left(\frac{C}{d(\mathbf{x}_k) + \varepsilon} \right)^\rho \quad (6)$$

όπου το ε είναι μία μικρή θετική σταθερά, και $C > 0$ και $\rho > 1$. Αν ορίσουμε τη Χαμιλτονιανή [4] του συστήματος ως:

$$H = \phi(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k) + \boldsymbol{\lambda}_{k+1}^T \mathbf{f}(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k) \quad (7)$$

αποδεικνύεται [4], [11] ότι αν τα $\boldsymbol{\lambda}_k$ ικανοποιούν την εξίσωση

$$\boldsymbol{\lambda}_k = \frac{\partial H}{\partial \mathbf{x}_k} = \frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{x}_k} + \frac{\partial \mathbf{f}^T}{\partial \mathbf{x}_k} \boldsymbol{\lambda}_{k+1}, k = 0, \dots, N-1, \boldsymbol{\lambda}_N = \frac{\partial \theta}{\partial \mathbf{x}_N} \quad (8)$$

η μεταβολή του J ως προς τη μεταβολή της ακολουθία ελέγχου $\delta \mathbf{u}_k$ ισούται με

$$\delta J = \sum_{k=0}^N \left[\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}_k} \right]^T \delta \mathbf{u}_k \quad (9)$$

Ο όρος $\partial H / \partial \mathbf{u}_k$ δίνεται από την εξίσωση

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}_k} = \frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{u}_k} + \frac{\partial \mathbf{f}^T}{\partial \mathbf{u}_k} \boldsymbol{\lambda}_{k+1} \quad (10)$$

Η βασική ιδέα για την ελαχιστοποίηση του κόστους είναι να επιλέγονται μεταβολές ελέγχου οι οποίες οδηγούν σε αρνητικό δJ . Αυτό επιτυγχάνεται με τη μεταβολή της ακολουθίας ελέγχου σε αντίθετη κατεύθυνση από αυτή της κλίσης της Χαμιλτονιανής. Ο αλγόριθμος έχει ως εξής. Ξεκινώντας από μία γνωστή ακολουθία ελέγχου $\mathbf{u}^i$ στην επανάληψη i υπολογίζεται το μονοπάτι $\mathbf{x}^i$ από την εξίσωση (3). Στη συνέχεια επιλύεται η εξίσωση (8) και επιλέγεται η μεταβολή της εισόδου από τη σχέση

$$\delta \mathbf{u}_k^i = -K \frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}_k^i} \quad (11)$$

όπου K είναι ένα επαρκώς μικρό θετικό βήμα. Στην επόμενη επανάληψη η ακολουθία ελέγχου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\mathbf{u}_k^{i+1} = \mathbf{u}_k^i + \delta \mathbf{u}_k^i \quad (12)$$

Προκειμένου να λυθεί η εξίσωση (8), πρέπει να υπολογισθούν οι όροι $\partial \phi / \partial \mathbf{x}_k, \partial \theta / \partial \mathbf{x}_k$, καθώς και ο όρος $\partial V / \partial \mathbf{x}_k$, ο οποίος εύκολα προκύπτει:

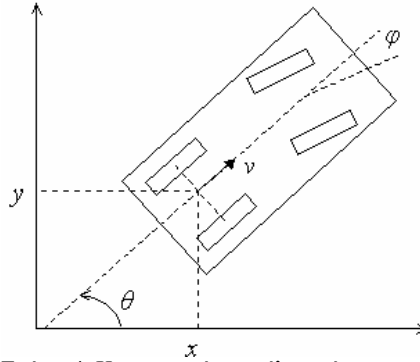
$$\frac{\partial V}{\partial \mathbf{x}_k} = \frac{-\rho C^\rho}{(d(\mathbf{x}_k) + \varepsilon)^{\rho+1}} \frac{\partial d}{\partial \mathbf{x}_k} \quad (13)$$

ο όρος $\partial d / \partial \mathbf{x}_k$ είναι η κλίση της ελάχιστης απόστασης από τα εμπόδια και δεν μπορεί να υπολογισθεί αναλυτικά, αλλά μόνον αριθμητικά. Προκειμένου να τηρούνται αυστηρά οι περιορισμοί του διανύσματος εισόδου (μέγιστη ταχύτητα και γωνία τροχών), χρησιμοποιείται η μέθοδος τελεστή προβολής [5]. Η εξίσωση (10) υπολογισμού της εισόδου στο επόμενο βήμα παίρνει τη μορφή:

$$\mathbf{u}_k^{i+1} = \Pi[\mathbf{u}_k^i + \delta \mathbf{u}_k^i] \quad (14)$$



Σχήμα 3. Το πειραματικό όχημα ACW



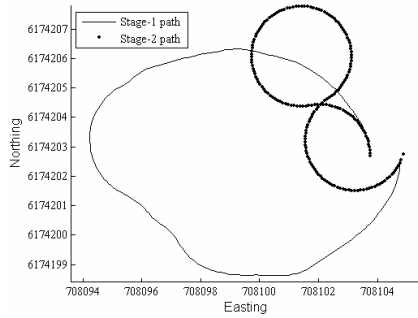
Σχήμα 4. Κινηματικό μοντέλο οχήματος

όπου Π είναι ένας τελεστής προβολής σημείων εκτός του χώρου που ορίζεται από τους περιορισμούς στο κοντινότερο σημείο εντός του συνόλου. Για το σύνολο που ορίζεται από την εξίσωση (4), ο τελεστής παίρνει τη μορφή:

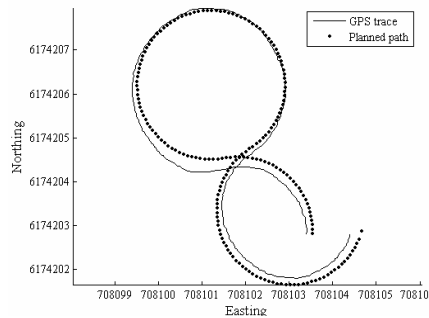
$$[\Pi[\mathbf{u}]]_j = \begin{cases} [\mathbf{u}_{\max}]_j, & \text{αν } [\mathbf{u}]_j > [\mathbf{u}_{\max}]_j \\ [\mathbf{u}_{\min}]_j, & \text{αν } [\mathbf{u}]_j < [\mathbf{u}_{\min}]_j \\ [\mathbf{u}]_j, & \text{αλλιού} \end{cases} \quad (15)$$

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο στοχαστικός αλγόριθμος RRT και ο αλγόριθμος αριθμητικής βελτιστοποίησης υλοποιήθηκαν σε γλώσσα C++. Οι υπολογισμοί ελάχιστης απόστασης μεταξύ αντικειμένων και η ανίχνευση συγκρούσεων μεταξύ τους έγιναν μέσω της βιβλιοθήκης *PQP* [6]. Σχεδιασμός κίνησης έγινε για ένα αυτόνομο ερευνητικό όχημα το οποίο αναπτύχθηκε για ζιζανιοκτονία σε φυτώρια χριστουγεννιάτικων δέντρων. Το όχημα ACW (Autonomous Christmas Weeder) φαίνεται στο Σχήμα 3. Το όχημα αναπτύχθηκε σε συνεργασία των τμημάτων Agricultural Sciences και Forestry and Landscape του Πανεπιστημίου Royal Veterinary και του Agricultural University in Copenhagen [2]. Οι διαστάσεις του οχήματος (m) είναι $1.53 \times 0.62 \times 0.7$ (M $\times$ Π $\times$ Υ) και η απόσταση μεταξύ πίσω και μπροστά άξονα είναι 0.98 (m). Το ACW έχει μέγιστη γωνία στρέψης έμπροσθεν τροχών (steering angle) 30° . Το κινηματικό μοντέλο του δίνεται στο Σχήμα 4. Οι συντεταγμένες x και y (Easting, Northing) αναφέρονται στη γεωγραφική θέση του κέντρου μάζας του πίσω άξονα $\mathbf{P} = [x \ y]^T$. Το μοναδιαίο διάνυσμα ταχύτητας $\mathbf{v}$ εδράζεται στο σημείο $\mathbf{P}$ και δίνει την κατεύθυνση κίνησης. Ο προσανατολισμός του οχήματος δίνεται από τη γωνία θ . Η γωνία των έμπροσθεν τροχών σε σχέση με την κατεύθυνση κίνησης είναι ϕ και το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας v . Το διάνυσμα κατάστασης του οχήματος είναι το $\mathbf{x} = [x \ y \ \theta]^T$ και το διάνυσμα ελέγχου του οχήματος το $\mathbf{u} = [v \ \phi]^T$. Οι διακριτές κινηματικές εξισώσεις που περιγράφουν την κίνηση του οχήματος δίνονται από το παρακάτω σύστημα:



Σχήμα 5. Σχεδιασμός κίνησης ACW



Σχήμα 6. Εκτέλεση κίνησης ACW

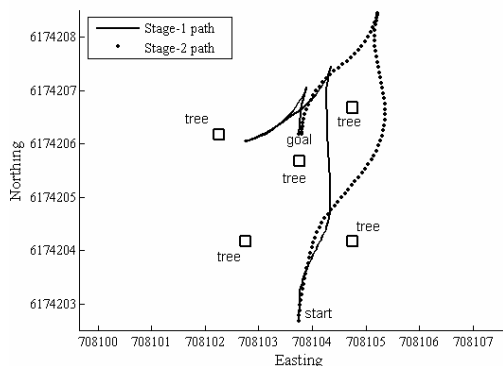
$$\begin{aligned} x_{k+1} &= x_k + \Delta T v_k \cos \theta_k \\ y_{k+1} &= y_k + \Delta T v_k \sin \theta_k \\ \theta_{k+1} &= \theta_k + \Delta T v_k \tan \phi_k / L \end{aligned} \quad (16)$$

όπου L είναι η απόσταση μεταξύ πίσω και μπροστά άξονα, και ΔT το διάστημα διακριτοποίησης του συνεχούς κινηματικού μοντέλου. Ως κριτήριο βελτιστοποίησης επιλέχθηκε η συνολική απόσταση D που θα διανύσει το όχημα., η οποία δίνεται από τη σχέση:

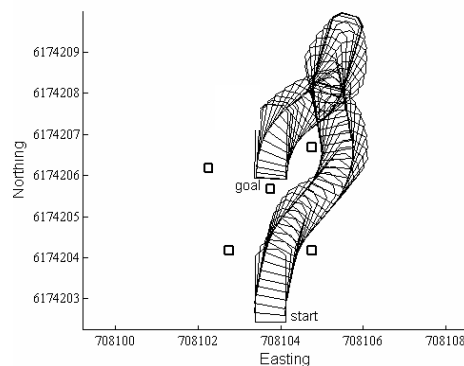
$$D = \sum_{k=0}^{N-1} |v_k| \Delta T = \sum_{k=0}^{N-1} (\mathbf{u}_k^T \mathbf{Q} \mathbf{u}_k)^{1/2} \quad (17)$$

Στο πρώτο σύνολο προσομοιώσεων το μοντέλο του ACW περιορίστηκε σε κίνηση προς τα εμπρός. Ο λόγος ήταν ότι μηχανική βλάβη δεν επέτρεπε στο πραγματικό όχημα να κάνει όπισθεν. Η μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα ορίστηκε στα 1.0 m/s. Η αρχική θέση του οχήματος σε συντεταγμένες UTM (m) ήταν 6174202.677 (Northings), 708103.757 (Eastings) και η κατεύθυνσή του προς βορρά. Η τελική επιθυμητή θέση ήταν ένα μέτρο προς τα δεξιά (παράλληλη μετατόπιση) με ίδιο προσανατολισμό. Η βέλτιστη κίνηση που υπολόγισε η πρώτη και δεύτερη φάση του αλγορίθμου δίνονται στο Σχήμα 5. Ο στοχαστικός αλγόριθμος υπολόγισε μονοπάτι μήκους 27.54 m, το οποίο μετά τη βελτιστοποίηση μειώθηκε στα 19.6 m. Το στίγμα του GPS από την εκτέλεση της τροχιάς από το αυτόνομο όχημα φαίνεται στο Σχήμα 6. Ο αλγόριθμος υπολόγισε ότι προκειμένου το μονοπάτι να είναι ελαχίστου μήκους, το όχημα έπρεπε στρίβει συνεχώς τους μπροστινούς τροχούς με τη μέγιστη γωνία στροφής. Όπως φαίνεται από το σχήμα, υπήρχε απόκλιση μεταξύ της κίνησης που σχεδίασε ο αλγόριθμος και αυτής που εκτέλεσε το όχημα, με μέγιστη τιμή 33 cm. Η απόκλιση αυτή οφείλεται μερικώς σε σφάλματα βαθμονόμησης (calibration) του συστήματος κατεύθυνσης, το οποίο δημιουργούσε σφάλματα ειδικά σε αριστερές στροφές, και στην υπάρχουσα υλοποίηση του αλγορίθμου παρακολούθησης τροχιάς (tracking controller) για το ACW, ο οποίος ήταν ρυθμισμένος να παρακολουθεί ευθείες γραμμές και όχι καμπύλες.

Σε ένα δεύτερο σύνολο προσομοιώσεων υπολογίστηκε κίνηση για το όχημα ACW ανάμεσα σε κορμούς δέντρων, τα οποία βρίσκονται σε γνωστές θέσεις. Οι κορμοί είχαν διάμετρο 20cm. Η αρχική θέση του οχήματος ορίστηκε ίδια με αυτή των πρώτων πειραμάτων, ενώ η τελική επιθυμητή θέση 3.5 m μπροστά, με ίδιο προσανατολισμό. Το όχημα μπορούσε να κινηθεί προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Ο στοχαστικός αλγόριθμος υπολόγισε μία ακολουθία μονοπατιών μήκους 16.7, 14.25, 12.67, 11.26 και



Σχήμα 7. Διαδρομές ανάμεσα σε δέντρα



Σχήμα 8. Προσομοίωση κίνησης ACW

9.82 (m). Το τελευταίο και πιο σύντομο μονοπάτι το επεξεργάστηκε ο αλγόριθμος της δεύτερης φάσης και προέκυψε το βέλτιστο με μήκος 9.03 (m). Και τα δύο φαίνονται στο Σχήμα 7. Η προσομοίωση της κίνησης του οχήματος ACW φαίνεται στο Σχήμα 8.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις παραπάνω προσομοιώσεις προκύπτει ότι ο συνδυασμός στοχαστικής αναζήτησης μονοπατιών κίνησης και η βελτιστοποίησή τους σε δεύτερη φάση προσφέρουν μία πρακτική και πολύ ισχυρή μέθοδο σχεδιασμού κίνησης για οχήματα. Ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου είναι της τάξης των λίγων λεπτών για κινήσεις μικρού μήκους (<100 σημεία) ενώ για μεγαλύτερες κινήσεις (>200 σημεία) ανέρχεται σε δεκάδες λεπτά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης μέγιστης κλίσης συγκλίνει αρκετά αργά. Αντικείμενο τρέχουσας έρευνας αποτελεί η χρήση πιο εξελιγμένων μεθόδων βελτιστοποίησης, όπως η μεταγραφή (transcription), η οποία μετατρέπει προβλήματα δυναμικής βελτιστοποίησης σε στατικά Non-Linear-Programming (NLP) προβλήματα. Επίσης διερευνάται η χρήση τεχνικών αραιών (sparse) πινάκων για την αποδοτική επίλυση προβλημάτων NLP. Ιδιαίτερο υπολογιστικό χρόνο απαιτούν και οι υπολογισμοί ελαχίστων αποστάσεων (έλεγχοι σύγκρουσης με εμπόδια). Όμως σε εφαρμογές γεωργικού ενδιαφέροντος αυτό δεν αναμένεται να αποτελέσει πρόβλημα μια και η γεωμετρία είναι απλούστερη με λιγότερα εμπόδια.

Θα πρέπει να τονισθεί ότι η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί σε οποιοδήποτε σύστημα του οποίου η κίνηση μπορεί να περιγραφεί από κινηματικές ή δυναμικές εξισώσεις της μορφής (1). Έτσι, σε συνδυασμό με πληροφορία γεωμετρίας πεδίων από GIS και με γεωμετρικά, κινηματικά και δυναμικά χαρακτηριστικά από τους κατασκευαστές των οχημάτων, είναι δυνατός ο αυτόματος σχεδιασμός βέλτιστης κίνησης οχημάτων με παρελκόμενα μηχανήματα σε μη-επίπεδες επιφάνειες (off-road). Τέτοιου είδους αλγόριθμοι αναμένεται να αποτελούν βασικό τμήμα των μελλοντικών συστημάτων λογισμικού για τον βέλτιστο προγραμματισμό εργασιών από αυτόνομες μηχανές σε μεγάλες γεωργικές εκμεταλλεύσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Barraquand, J. and Latombe, J.-C. 1990. A Monte-Carlo algorithm for path planning with many degrees of freedom. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation, 3 1712-1717.

2. Have, H., Blackmore, S.B., Keller, B., Fountas, S., Nielsen, H. and Theilby, F. 2002. Development of an autonomous Christmas tree weeder – a feasibility study. - Pesticide Research No. 59. Danish Environmental Protection Agency, 88p.
3. Kavraki, L., Svestka, P., Latombe, J.-C. and M. H. Overmars. 1996. Probabilistic roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces. *IEEE Transactions on Robotics & Automation*, **12**(4) 566-580.
4. Kirk, D.E. 1970. *Optimal Control Theory: An Introduction*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
5. Kushner, H.J. and Yin, G.G. 1997. *Stochastic Approximation Algorithms and Applications*, New York: Springer-Verlag.
6. Larsen, E., Gottschalk, S., Lin, M. and Manocha, D. 1999. Fast Proximity Queries with Swept Sphere Volumes. Technical report TR99-018. Dept. of Computer Science, UNC Chapel Hill, NC, USA.
7. Latombe, J.C. 1991. "Robot Motion Planning". Norwell:Kluwer,
8. Laumond, J.-P., Sekhavat S. and Lamiraux F. 1998. Guidelines in nonholonomic motion planning for mobile robots. In: *Robot Motion Planning and Control*, edited by J.-P. Laumond, Springer-Verlag, Berlin, pp.1-53.
9. LaValle, S.M. and Kuffner, J.J. 2001. Randomized kinodynamic planning. *International Journal of Robotics Research* **20**(5) 378–400.
10. Noguchi, N. and Terao H., 1997. Path planning of an agricultural mobile robot by neural network and genetic algorithm. *Computers & Electronics in Agriculture*. **18** 187–204.
11. Sage, A.P. and White, C.C. *Optimum Systems Control*. 1977. 2nd edition. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
12. Vougioukas, S.G. 2004. Near-Optimal Path Planning for Autonomous Tractors. In *AgEng 2004: Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference*, Leuven, Belgium. Paper No.355.

ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

Ε. Μπαλτάς

Α.Π.Θ. – Γεωπονική Σχολή, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής
Μηχανικής, 54006 Θεσσαλονίκη, e-mail: baltas@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη χωροχρονική εκτίμηση διαφόρων κλιματικών δεικτών οι οποίοι προσδιορίζουν την κλιματική κατάσταση μίας περιοχής. Οι κλιματικοί δείκτες που υπολογίστηκαν είναι ο δείκτης ηπειρωτικότητας Johansson, ο δείκτης ξηρότητας de Martone, ο θερμοϊσοδυναμικός δείκτης Kerner και ο συνδυαστικός δείκτης Pinna. Επίσης, με βάση τις μηνιαίες τιμές της κατακρήμνισης και θερμοκρασίας καταρτίστηκαν τα θερμοϋετογραφήματα, τα οποία είναι χρήσιμα για τη μελέτη των διαφόρων βιολογικών φαινομένων. Μέθοδοι ΓΠΣ (Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων) χρησιμοποιήθηκαν για τη χωρική ολοκλήρωση των μετρήσεων των δεκαπέντε μετεωρολογικών σταθμών στη Βόρεια Ελλάδα και στο βόρειο τμήμα της Κεντρικής Ελλάδας, τον υπολογισμό των επιφανειακών τιμών και τη χωροχρονική απεικόνιση των παραπάνω παραμέτρων.

TIME AND SPATIAL DISTRIBUTION OF CLIMATOLOGICAL INDEXES IN NORTHERN GREECE

E. Baltas

AUTH, Agricultural School, Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural
Engineering, 540 06 Thessaloniki, e-mail: baltas@agro.auth.gr

ABSTRACT

This work is concentrated in the time and spatial estimation of different climatological indexes, which assess the climate of a region. The climatic indexes that were calculated are the Johansson continental index, the De-Martone dry index, the Kerner thermoisodynamic index and the Pinna combination index. Also based on the monthly temperature and rainfall, the temperature-rainfall graphs were constructed, which are useful for the study of the biological phenomena. GIS techniques were used for the areal integration of the measurements of the fifteen stations in Northern Greece and the northern part of Central Greece, the calculation of the mean values and the visualization of the abovementioned parameters.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

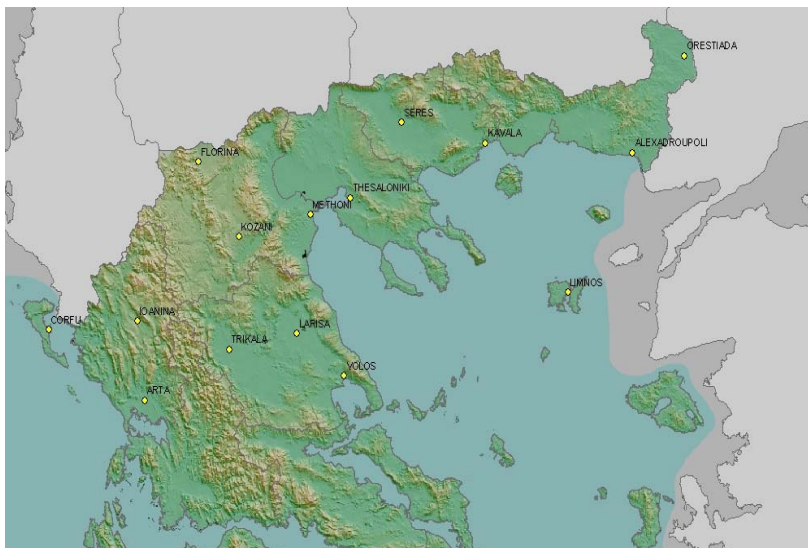
Οι καιρικές συνθήκες και το κλίμα μίας περιοχής αποτελούν από τους πλέον βασικούς παράγοντες στην ανάπτυξη και εξέλιξη των φυτών. Οι μετεωρολογικοί παράγοντες που εμπλέκονται στη διαμόρφωση του μικροκλίματος μίας περιοχής προσδιορίζουν χρονικά καθοριστικές φυσιολογικές διεργασίες που από τη φύση τους διακρίνονται μεταξύ τους και αποτελούν τα φαινολογικά στάδια. Μολονότι η προσέγγιση της συσχέτισης ανάπτυξης των σταδίων των φυτών με μετεωρολογικές παραμέτρους είναι εμπειρική, έχει αποδειχθεί πολύ χρήσιμη για την παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής [1], [2]. Οι αβιοτικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη σε φαινολογικές μελέτες είναι συνήθως κλιματικοί και ιδιαίτερα είναι η θερμοκρασία και η βροχόπτωση [3], [4]. Από πρακτική άποψη ο σπουδαιότερος αβιοτικός παράγοντας που επηρεάζει το χρόνο που εκδηλώνονται τα φαινολογικά στάδια των φυτών είναι η θερμοκρασία. Απώτερος και γενικότερος σκοπός μελετών είναι η εύρεση τρόπου σύνδεσης ορισμένων αβιοτικών παραγόντων όπως είναι οι μετεωρολογικοί και κλιματικοί παράγοντες με την τελική απόδοση της καλλιέργειας [5]. Ως εκ τούτου, το ζητούμενο είναι η δυνατότητα της εκτίμησης της τελικής παραγωγής όταν είναι γνωστές οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάποιο στάδιο ανάπτυξης των καλλιεργειών.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην χωροχρονική εκτίμηση διαφόρων κλιματικών παραμέτρων, οι οποίες προσδιορίζουν την κλιματική κατάσταση μίας περιοχής. Οι παράμετροι αυτές προκύπτουν από την κατάλληλη ανάλυση και επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων δεκαπέντε μετεωρολογικών σταθμών που βρίσκονται στη Βόρεια Ελλάδα και στο βόρειο τμήμα της Κεντρικής Ελλάδας. Οι κλιματικοί δείκτες που υπολογίστηκαν είναι ο δείκτης ηπειρωτικότητας-ωκεανικότητας Johansson, ο δείκτης ξηρότητας-υγρασίας de Martone και ο συνδυαστικός δείκτης Pinna. Επίσης με βάση τις μηνιαίες τιμές της κατακρήμνισης και θερμοκρασίας καταρτίστηκαν τα θερμοϋετογραφήματα. Με τη σύγκριση όμοιων κλιματικών διαγραμμάτων διαφόρων περιοχών και με τον προσδιορισμό της χρονικής περιόδου επικάλυψης ή μη είναι δυνατόν να εξαχθούν πολύτιμα συγκριτικά συμπεράσματα για παράδειγμα ως προς το είδος της βλάστησης της κάθε περιοχής. Μέθοδοι ΓΠΣ χρησιμοποιήθηκαν για τον χωρική ολοκλήρωση των σημειακών μετρήσεων, τον υπολογισμό των επιφανειακών τιμών των προαναφερθεισών παραμέτρων και τη χωροχρονική απεικόνιση αυτών.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στην εργασία αυτή πρωτογενή δεδομένα από δεκαπέντε μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται στη Βόρεια Ελλάδα και στο βόρειο τμήμα της Κεντρικής Ελλάδας και αποτελούν την περιοχή μελέτης, υπέστησαν ανάλυση και επεξεργασία. Στο Σχήμα 1 φαίνονται οι θέσεις των δεκαπέντε αυτών σταθμών. Οι εν λόγω σταθμοί ανήκουν στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και τα πρωτογενή δεδομένα τους χρονικής διάρκειας 30 ετών, υπέστησαν ανάλυση και επεξεργασία για την εκτίμηση των μηνιαίων τιμών της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Η περιοχή μελέτης είναι η πλέον παραγωγική περιοχή της χώρας, κυρίως στον πρωτογενή τομέα (γεωργία, κτηνοτροφία) και στηρίζει σημαντικά την οικονομία της χώρας. Οι γεωμορφολογικές και κλιματολογικές συνθήκες παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες μεταξύ τους και στην περιοχή αυτή βρίσκεται το σύνολο των διακρατικών υδατικών πόρων της χώρας. Ο πρωτογενής τομέας παρουσιάζει τις μεγαλύτερες δυνατότητες ανάπτυξης, γιατί η περιοχή διαθέτει πλούσιους εδαφικούς και υδατικούς πόρους. Η τάση των ετήσιων κατακρημνίσεων στην περιοχή μετά την ανάλυση των βροχοπτώσεων των τελευταίων τριάντα ετών παρουσιάζεται πτωτική. Η μορφολογία της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από ισχυρό ανάγλυφο, με μεγάλες πεδινές εκτάσεις. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των μετεωρολογικών σταθμών και τα αντίστοιχα υψόμετρα τους δίνονται στον Πίνακα 1. Το ψηφιακό μοντέλο

εδάφους προέκυψε από ψηφιοποίηση των χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού κλίμακας 1:50000.



Σχήμα 1. Οι θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 1 Οι μετεωρολογικοί σταθμοί και τα αντίστοιχα υψόμετρα αυτών.

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ (φ)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (λ)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ
ΛΗΜΝΟΣ	39 55 20.49	25 14 58.19	1.70
ΦΛΩΡΙΝΑ	40 46 54.92	21 24 15.03	692.00
ΤΡΙΚΑΛΑ	39 31 29.82	21 45 46.35	109.00
ΣΕΡΡΕΣ	41 04 27.23	23 31 36.41	32.50
ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ	41 30 00	26 31 00	43.00
ΜΕΘΩΝΗ	36 49 20.71	21 42 10.32	61.60
ΛΑΡΙΣΑ	39 38 36.61	22 27 30.47	71.30
ΚΟΖΑΝΗ	40 17 12.33	21 50 21.53	621.00
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	40 51 13.77	25 56 45.80	3.10
ΑΡΤΑ	39 09 46.75	20 54 40.90	9.30
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	39 41 32.25	20 49 03.77	477.00
ΚΑΒΑΛΑ	40 56 05.82	24 24 22.65	5.00
ΚΕΡΚΥΡΑ	39 36 31.38	19 54 40 .01	1.50
ΒΟΛΟΣ	39 22 00	22 57 00	3.00
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	40 32 00	22 58 00	4.00

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Οι κλιματικοί δείκτες που υπολογίστηκαν είναι ο δείκτης ηπειρωτικότητας Johansson, ο θερμοϊσοδυναμικός δείκτης Kerner, ο δείκτης ξηρότητας de Martone και ο συνδυαστικός δείκτης Pinna. Επίσης με βάση τις εκτιμημένες μηνιαίες τιμές της κατακρήμνισης και θερμοκρασίας καταρτίστηκαν τα θερμοϋετογραφήματα, τα οποία είναι χρήσιμα για τη μελέτη της επίδρασης των κλιματικών στοιχείων στην ανάπτυξη και εξέλιξη των διαφόρων βιολογικών φαινομένων.

3.1 Δείκτης ηπειρωτικότητας Johansson

Ο δείκτης ηπειρωτικότητας Johansson είναι γνωστός και ως δείκτης ηπειρωτικότητας – ωκεανικότητας και χρησιμοποιείται για μια κλιματική ταξινόμηση από άποψη ηπειρωτικότητας και ωκεανικότητας. Ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται από την παρακάτω σχέση [6], [7]:

$$k = \frac{1.7 E}{\eta \mu \varphi} - 20.4 \quad (1)$$

όπου: E= ετήσιο θερμομετρικό εύρος, εκφρασμένο σε $^{\circ}\text{C}$ και
 φ = γεωγραφικό πλάτος

Πολλές φορές, αντί του E, χρησιμοποιείται η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στη μέση μέγιστη του θερμότερου μήνα και την αντίστοιχη ελάχιστη του ψυχρότερου μήνα. Η σχέση αυτή βεβαίως είναι ανεφάρμοστη πάνω από περιοχές με πολύ μικρές τιμές του φ . Όταν το k λαμβάνει τιμές από 0 έως 33 τότε το κλίμα χαρακτηρίζεται ως θαλάσσιο, από 34 έως 66 ηπειρωτικό και από 67 έως 100 εξαιρετικά ηπειρωτικό. Επίσης, ο Kerner διαμόρφωσε τον καλούμενο θερμοϊσοδυναμικό λόγο:

$$k_1 = \frac{100(T_0 - T_a)}{E} \quad (2)$$

όπου: T_0 , T_a και E είναι οι μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα του Οκτωβρίου, Απριλίου και το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος, αντίστοιχα. Στη διαμόρφωση αυτής της σχέσης λήφθηκε υπόψη το γεγονός ότι οι εαρινοί μήνες είναι ψυχρότεροι από τους φθινοπωρινούς στα θαλάσσια κλίματα. Οι μικρές ή οι αρνητικές τιμές του k_1 υποδηλώνουν ηπειρωτικότητα, ενώ οι μεγάλες ωκεανικότητα.

3.2 Δείκτης ξηρότητας De-Martone

Ο δείκτης αυτός που ονομάζεται και δείκτης ερημικότητας-ευφορίας ή ξηρότητας-υγρασίας ορίζεται δύσκολα και είναι σε μεγάλο βαθμό τοπικού χαρακτήρα. Η ερημικότητα μιας περιοχής είναι συνάρτηση της βροχής, της θερμοκρασίας, της εξάτμισης, των ανέμων και της διανομής των πιέσεων. Είναι αρκετά δύσκολο μια εμπειρική σχέση να προσδιορίζει με ακρίβεια την ερημικότητα σ' ολόκληρη την επιφάνεια της γης. Όμως για διάφορες υποπεριοχές υπάρχουν αποτελεσματικές εκφράσεις. Ο δείκτης ξηρότητας του de Martone δίνεται από την εξής σχέση (Χρονοπούλου-Σερέλη, 1996):

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (3)$$

όπου: P= μέσο ετήσιο βροχομετρικό ύψος (mm) και

T= μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας του αέρα ($^{\circ}\text{C}$).

Προφανώς, αύξηση της τιμής του δείκτη, με σταθερή περίπου την τιμή της θερμοκρασίας, δείχνει αύξηση της βροχόπτωσης. Μικρές τιμές του I υποδηλώνουν μεγάλη ξηρότητα και μάλιστα αν $I < 10$ το κλίμα χαρακτηρίζεται ξηρό ή ερημικό. Έχοντας ως βάση τις τιμές του I και της βροχόπτωσης P, ο de Martone παρουσίασε την κλιματική ταξινόμηση, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2. Στην ελληνική περιοχή οι τιμές του I παρουσιάζουν αύξηση από τα παράλια προς το

εσωτερικό και από το νότο προς το βορρά. Ανάλογα με την παραπάνω σχέση ορίζεται και η μηνιαία τιμή του δείκτη ξηρότητας από τη σχέση (Χρονοπούλου-Σερέλη, 1996):

$$I' = \frac{12P'}{T' + 10} \quad (4)$$

με P' και T' τις αντίστοιχες τιμές της βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για τον θεωρούμενο μήνα. Όταν η τιμή I' παίρνει τιμές μικρότερες από 20, τότε το έδαφος στους μήνες αυτούς χρειάζεται άρδευση.

Πίνακας 2. Κλιματική ταξινόμηση σύμφωνα με τον De-Martone.

Χαρακτηρισμός κλίματος	Τιμές του I	Τιμές του P (mm)
Ξηρό ή ερημικό	$I < 10$	$P < 200$
Ημίξηρο	$10 \leq I \leq 20$	$200 \leq P < 400$
Μεσογειακό	$20 \leq I < 24$	$400 \leq P < 500$
Ημίυγρο	$24 \leq I < 28$	$500 \leq P < 600$
Υγρό	$28 \leq I < 35$	$600 \leq P < 700$
Πολύ υγρό	$\alpha. 35 \leq I \leq 55$	$700 \leq P < 800$
	$\beta. I > 55$	$P > 800$

3.3 Συνδυαστικός δείκτης Pinna

Ο Pinna έχει εφαρμόσει ένα συνδυαστικό δείκτη που δίνεται από την εξής σχέση (Φλόκας, 1994):

$$I_{\pi} = \frac{1}{2} \left(\frac{P}{T + 10} + \frac{12P'_{\xi}}{T'_{\xi} + 10} \right) \quad (5)$$

όπου P και T είναι η ετήσια βροχόπτωση και θερμοκρασία, ενώ P'_{ξ} και T'_{ξ} η βροχόπτωση και θερμοκρασία του ξηρότερου μήνα. Ο δείκτης αυτός μας δίνει τη δυνατότητα καλύτερης περιγραφής των περιοχών και εποχών κατά τις οποίες είναι αναγκαία η άρδευση. Για $I_{\pi} < 10$ τα κλίματα χαρακτηρίζονται ξηρά, ενώ για $10 \leq I_{\pi} \leq 20$ τα κλίματα θεωρούνται ημίξηρα Μεσογειακά, με τυπική μεσογειακή βλάστηση.

3.4 Θερμοϋετογραφήματα κατά Gaussen

Για την κατάρτιση του θερμοϋετογραφήματος η μονάδα μέτρησης της κατακρήμνισης (στο δεξιό κατακόρυφο άξονα) σε mm είναι διπλάσια της θερμοκρασίας (στον αριστερό κατακόρυφο άξονα) σε °C. Στον οριζόντιο άξονα είναι τοποθετημένοι οι δώδεκα μήνες. Με τη σύγκριση όμοιων κλιματικών διαγραμμάτων διαφόρων περιοχών και με τον προσδιορισμό της χρονικής περιόδου επικάλυψης ή μη είναι δυνατόν να εξαχθούν πολύτιμα συγκριτικά συμπεράσματα ως προς το είδος της βλάστησης. Ο Gaussen ορίζει ως ξηρό ένα μήνα, όταν ανάμεσα στα P' και T' , που εκφράζουν τη μέση μηνιαία βροχόπτωση και θερμοκρασία αντίστοιχα σε mm και °C, ισχύει η σχέση (Φλόκας, 1994):

$$P' < T' \quad (6)$$

Το γεγονός ότι η έκταση της βιολογικής ξηρασίας εξαρτάται από την ατμοσφαιρική υγρασία, ο Gaussen συμπλήρωσε την παραπάνω σχέση και πρότεινε να χαρακτηρίζεται ένας μήνας ξηρός, εάν η βροχόπτωση είναι:

- i) λιγότερη από 10 mm νερού, με μια μέση μηνιαία τιμή θερμοκρασίας μικρότερη από 10°C
- ii) λιγότερη από 25 mm νερού, με μια μέση μηνιαία τιμή θερμοκρασίας που

- iii) κυμαίνεται από 10°C μέχρι 20°C, λιγότερη από 50mm, με μέση μηνιαία τιμή θερμοκρασίας που βρίσκεται ανάμεσα στους 20°C και 30°C και
- iv) λιγότερη από 75 mm νερού, με μέση μηνιαία τιμή της θερμοκρασίας μεγαλύτερη από 30°C.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μέθοδοι ΓΠΣ (Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων) χρησιμοποιήθηκαν για την επιφανειακή ολοκλήρωση των σημειακών μετρήσεων, τον υπολογισμό των μέσων επιφανειακών τιμών των προαναφερθεισών δεικτών και τη χωροχρονική απεικόνιση αυτών, λαμβάνοντας υπόψη που πρέπει να ισχύουν στην εφαρμογή των μεθόδων αυτών σε περιοχές με τα χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης. Ειδικότερα υπολογίστηκαν τα θερμοϋετογραφήματα για τους 15 σταθμούς, καθώς και ο δείκτης ηπειρωτικότητας, ο θερμοϊσοδυναμικός δείκτης, ο δείκτης ξηρότητας και ο συνδυαστικός δείκτης. Ενδεικτικά, στο Σχήμα 2 φαίνεται ο δείκτης ηπειρωτικότητας για ολόκληρη την περιοχή μελέτης και λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται από 19 (Μεθώνη) έως 37 (Τρίκαλα), ενώ στο Σχήμα 3 δίνεται ο θερμοϊσοδυναμικός δείκτης Kerner με τιμές που κυμαίνονται από 0.47 (Φλώρινα) έως 28.74 (Μεθώνη). Επίσης στο Σχήμα 4 δίνεται ο δείκτης ξηρότητας που λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται από 16.28 (Λάρισα) έως 43.01 (Ιωάννινα), ενώ στο Σχήμα 5 δίνεται ο συνδυαστικός δείκτης με τιμές που κυμαίνονται από 10.80 (Λάρισα) έως 26.73 (Ιωάννινα). Επίσης, στα Σχήματα 6 και 7 δίνονται τα θερμοϋετογραφήματα για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Θεσσαλονίκης και της Φλώρινας, όπου φαίνεται ότι τους καλοκαιρινούς μήνες η θερμοκρασία και ιδιαίτερα για το σταθμό της Θεσσαλονίκης είναι σχετικά μεγαλύτερη από τη βροχόπτωση στη συγκεκριμένη κλίμακα και ως εκ τούτου η ξηρασία είναι περισσότερο έντονη και μεγαλύτερης διάρκειας στο σταθμό της Θεσσαλονίκης απ'ότι στο σταθμό της Φλώρινας. Να σημειωθεί ότι για σταθμούς οι οποίοι έχουν εξεταστεί σε προηγούμενες εργασίες, οι τιμές των κλιματικών δεικτών που υπολογίστηκαν στην παρούσα εργασία είναι παρόμοιες με τις αντίστοιχες προηγούμενων εργασιών (Φλόκας, 1994).

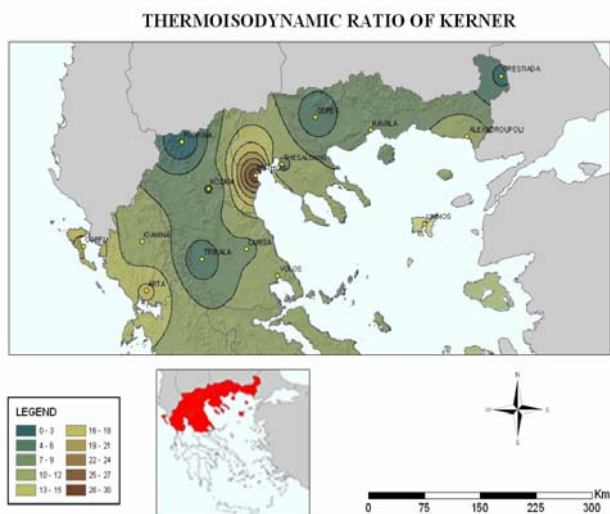
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στα εξής:

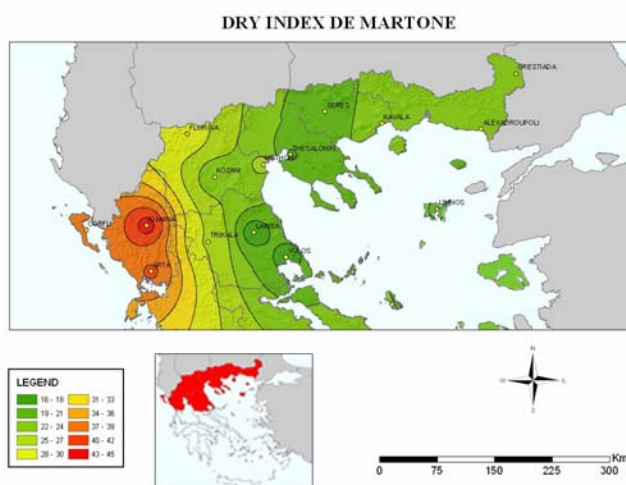
- 1 ανάλυση και επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων από δεκαπέντε μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται στη Βόρεια Ελλάδα και στο βόρειο τμήμα της Κεντρικής Ελλάδας
- 2 εκτίμηση των κλιματικών δεικτών ηπειρωτικότητας Johansson, θερμοϊσοδυναμικού Kerner, ξηρότητας de Martone και συνδυαστικού Pinna
- 3 κατάρτιση των θερμοϋετογραφημάτων με βάση τις μηνιαίες τιμές της κατακρήμνισης και θερμοκρασίας
- 4 χρήση τεχνικών και μεθόδων Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΠΣ) λαμβάνοντας υπόψη και τους περιορισμούς αυτών στην εφαρμογή στην περιοχή μελέτης, για την χωρική ολοκλήρωση των σημειακών μετρήσεων, τον υπολογισμό των μέσων επιφανειακών τιμών των προαναφερθεισών δεικτών και τη χωροχρονική απεικόνιση αυτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

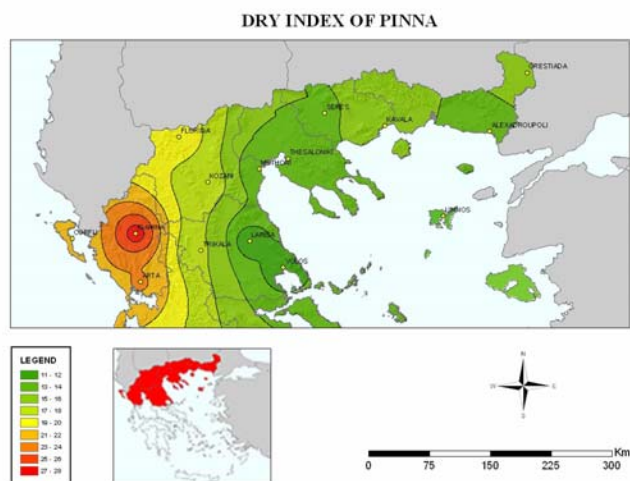
1. Δαλέζιος, Ν., Δομενικιώτης, Χ., Τζώρτζιος Σ., Λουκάς Α., Τζανετοπούλου Ι., 2000. Η



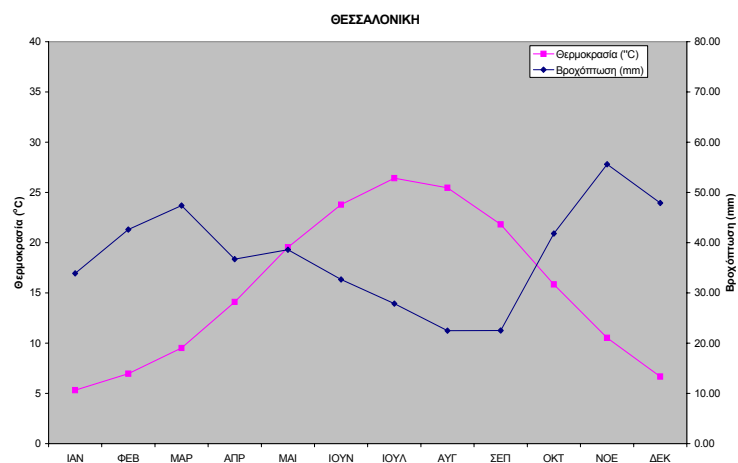
Σχήμα 3. Ο θερμοϊσοδυναμικός δείκτης Kerner στην περιοχή μελέτης.



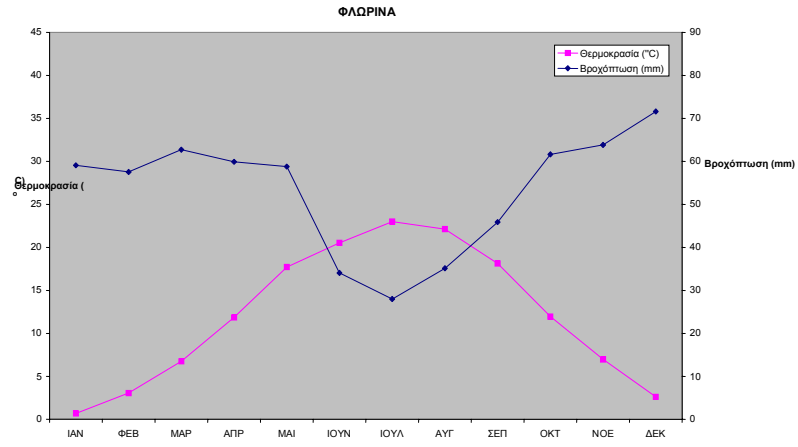
Σχήμα 4. Ο δείκτης ξηρότητας De-Martone στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 5. Ο συνδυαστικός δείκτης Pinna στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 6. Το θερμοϋετογράφημα του μετεωρολογικού σταθμού της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 7. Το θερμοϋετογράφημα του μετεωρολογικού σταθμού της Φλώριν

HORTIMED-DSS ENA ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Α. Αναστασίου, Δ. Σάββας, Κ. Αρβανίτης, Ν. Συγριμής

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, n.sigrimis@computer.org

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η άριστη λειτουργία των υδροπονικών συστημάτων σε εμπορικά θερμοκήπια εξαρτάται κυρίως από την κατάλληλη διαχείριση των διαθέσιμων πηγών νερού, κυρίως κάτω από συνθήκες υψηλής αλατότητας, καθώς και από την άριστη διαχείριση της λίπανσης. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (DSS) για την άριστη on-line διαχείριση του νερού και των λιπασμάτων σε ένα υδροπονικό σύστημα. Το σύστημα αποτελείται από δύο μέρη, ένα off-line και ένα on-line. Το on-line σύστημα, το οποίο λειτουργεί και ως εποπτικό σύστημα σε άλλα συστήματα αυτομάτου ελέγχου κλίματος και υδροπονίας, διαχειρίζεται άριστα το υδροπονικό σύστημα βασιζόμενο σε πραγματικές μετρήσεις. Το off-line σύστημα προηγείται του on-line και δέχεται ως είσοδο τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής, τον εξοπλισμό του θερμοκηπίου και τα στοιχεία της καλλιέργειας που θα εφαρμοστεί και υπολογίζει την άριστη οικονομική διαχείριση των πηγών νερού. Τα αποτελέσματα του μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον παραγωγό για να αποφασίσει για τυχόν απαραίτητες επενδύσεις στις διαθέσιμες πηγές νερού (κατασκευή δεξαμενών, αγορά μηχανημάτων αφαλάτωσης κ.λ.π.). Ο χρήστης μπορεί να «τρέξει» διάφορα σενάρια ώστε να αποφασίσει για τις διαθέσιμες πηγές νερού και να πετύχει τον στόχο του. Η έξοδος του off-line συστήματος εισάγεται στο on-line σύστημα ως οδηγός για την σε πραγματικό χρόνο διαχείριση του νερού και των τροφοδοτούμενων θρεπτικών συστατικών (λιπάσματα) στο σύστημα.

HORTIMED-DSS FOR ON LINE MANAGEMENT OF HYDROPONIC SYSTEMS

A. Anastasiou, D. Savvas, K. Arvaniths, N. Sygirimisi

Agricultural University of Athens, n.sigrimis@computer.org

SUMMARY

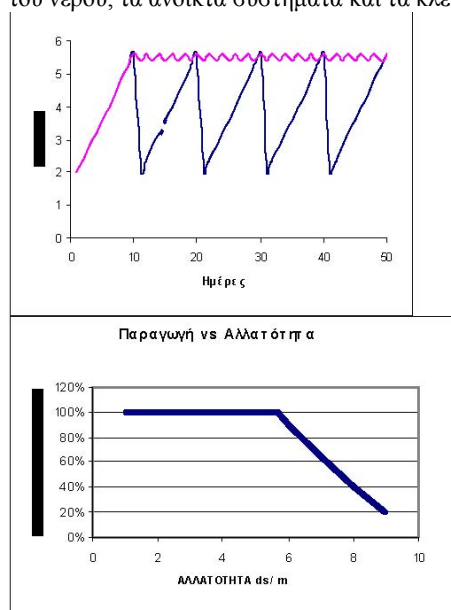
An important factor for the economically optimal operation of hydroponic systems is the appropriate management of the available water sources, especially under saline conditions, where the quality of water becomes an important and sometimes limiting factor. In this paper, the main properties of a decision support system for the optimal water management of hydroponics are presented. The system consists of two parts, an off-line and an on-line one. The on-line system implements best management based on real present. The off-line system takes as inputs weather, greenhouse equipment, crop production and salinity tolerance data and water sources available, including their cost or investment data, to estimate the optimal water management. The estimated output is used by the grower to make his decisions about required investments. decision. The outputs are also fed into the on-line system as a guide to real-time optimal predictive management of water and nutrients along the crop season.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Την τελευταία δεκαετία παρουσιάζεται ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην εμπορική εφαρμογή των υδροπονικών εφαρμογών, οι κυριότεροι παράγοντες που οδήγησαν στην αύξηση αυτή είναι η καλύτερη γνώση πλέον στη θρέψη των φυτών, η ανάπτυξη της τεχνολογίας που επιτρέπει με αρκετά χαμηλό κόστος την αυτόματη παρασκευή και διαχείριση του θρεπτικού διαλύματος καθώς και η κατάργηση πλέον της χρήσης του Βρωμιούχου Μεθυλίου στην απολύμανση των εδαφών των θερμοκηπιακών καλλιιεργειών για περιβαλλοντικούς λόγους.

Η υδροπονία έχει γενικά πολύ υψηλότερες απαιτήσεις σε τεχνικές γνώσεις τόσο για το φυτό όσο και για τη χρήση του τεχνολογικού εξοπλισμού από τον παραγωγό. Όσον αφορά το υπέργειο μέρος του φυτού η καλλιιεργητική τεχνική και η διαμόρφωση του κλίματος, δεν διαφέρει σημαντικά από την αντίστοιχη διαχείριση της καλλιιεργείας που αναπτύσσεται σε έδαφος. Οι μεγάλες διαφορές της υδροπονίας με την καλλιιεργεία στο έδαφος αφορούν τη διαχείριση του κλίματος στο ριζικό σύστημα του φυτού. Στο ριζικό σύστημα τέσσερις είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που πρέπει να διαχειριστεί ο χρήστης τη διαθεσιμότητα του νερού, τα θρεπτικά συστατικά, τη θερμοκρασία και το διαθέσιμο οξυγόνο. Η κατάλληλη διαχείριση τουλάχιστον των δύο πρώτων παραγόντων είναι το βασικότερο μέλημα του παραγωγού σε μία υδροπονική καλλιιεργεία. Η διαχείριση του νερού συνίσταται στη ρύθμιση της δόσης άρδευσης (ml/φυτό) καθώς και της συχνότητας άρδευσης (έναρξη) ενώ όσον αφορά τα θρεπτικά συστατικά στον καθορισμό της συγκέντρωσης των στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα (meq/l).

Τα υδροπονικά συστήματα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την διαχείριση του νερού, τα ανοικτά συστήματα και τα κλειστά συστήματα.



Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα η διαφορά της συγκέντρωσης του θρεπτικού διαλύματος και της αντίστοιχης συγκέντρωσης απορρόφησης του στοιχείου από το φυτό (meq/απορροφούμενο λίτρο νερού) οδηγεί στη σταδιακή υποβάθμιση του ανακυκλώμενου θρεπτικού διαλύματος που εμφανίζεται είτε ως αύξηση ή μείωση της συγκέντρωσης του

στοιχείου στο διάλυμα ανάλογα με το αν η διαφορά έχει θετικό ή αρνητικό πρόσημο. Στην περίπτωση που στο αρχικό νερό έχουμε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων, σε σχέση με αυτές που χρειάζεται η καλλιέργεια, συνήθως ιόντων Na^+ και Cl^- τότε εμφανίζεται μία συνεχής αύξηση της συκέντρωσης των στοιχείων στο ανακυκλούμενο διάλυμα λόγω χαμηλότερης απορρόφησης των στοιχείων αυτών, σε σχέση με την συκέντρωση τους, από τη καλλιέργεια και κάποια στιγμή η αγωγιμότητα του διαλύματος θα ξεπεράσει ένα όριο, διαφορετικό για κάθε φυτό, πάνω από το οποίο η απόδοση της καλλιέργειας πλέον μειώνεται και το διάλυμα αντικαθίσταται εξ ολοκλήρου με νέο με χαμηλότερη αγωγιμότητα. Το κλειστό σύστημα που διαχειρίζεται κατά αυτό τον τρόπο θα παρουσιάζει μία ολική συκέντρωση αλάτων της μορφής της εικόνας 1. Αν το υψηλότερο σημείο των καμπυλών είναι το μέγιστο όριο της επιτρεπόμενης αγωγιμότητας τότε είναι εύκολα αναγνωρίσιμο ότι η μέση αγωγιμότητα είναι σημαντικά χαμηλότερη της μέγιστης επιτρεπόμενης

Το DSS βασισμένο στη χρήση μοντέλων απορρόφησης των θρεπτικών στοιχείων από την καλλιέργεια είναι σε θέση να εφαρμόζει καλύτερες μεθόδους διαχείρισης του θρεπτικού διαλύματος στα κλειστά συστήματα με στόχο την εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων και τη μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τα «απόβλητα» του συστήματος.

Ο στόχος του DSS είναι η εφαρμογή ενός πλαισίου στρατηγικής στη διαχείριση της άρδευσης και λίπανσης των υδροπονικών καλλιεργειών με βάση την ποιότητα και ποσότητα του διαθέσιμου νερού. Οικονομικοί (ποσότητα και ποιότητα της παραγωγής) και περιβαλλοντικοί παράγοντες (ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα) λαμβάνονται υπόψη από το DSS για την εφαρμογή της κατάλληλης στρατηγικής. Αν η εμπορική αξία της παραγωγής είναι γνωστή και εισαχθεί στο σύστημα ως δεδομένα, το DSS αναζητά την περισσότερη προσοδοφόρα διαχείριση για τον παραγωγό ενώ σε αντίθετη περίπτωση η αξία της παραγωγής θεωρείται πολύ υψηλή και το σύστημα θέτει ως στόχο την μεγιστοποίηση της παραγωγής με το ελάχιστο κόστος νερού και λιπασμάτων.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Θεωρητικά, σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα οι ολικές απαιτήσεις σε νερό ισοούνται με την απορρόφηση του νερού από την καλλιέργεια λόγω διαπνοής και αύξηση της συνολικής ποσότητας του νερού που περιέχεται στους φυτικούς ιστούς

Αν ένα μέρος του ανακυκλούμενου νερού απορρίπτεται συχνά από το σύστημα και αντικαθίσταται από νέο θρεπτικό διάλυμα, τότε είναι δυνατόν να επιτευχθεί σταθερότητα στην αγωγιμότητα του διαλύματος κοντά στο μέγιστο επιτρεπτό για την καλλιέργεια όριο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας $EC_{\max}$ ($EC_{\max} \geq \text{όριο } EC$; Εικόνα 1). Αν η αγωγιμότητα του

ανακυκλώμενου διαλύματος κρατείται κοντά στο μέγιστο ανεκτό όριο για την καλλιέργεια είναι δυνατή η μεγιστοποίηση της παραγωγής με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση νερού. Το κλάσμα του ανακυκλώμενου διαλύματος που πρέπει να απορρίπτεται για να επιτευχθεί αυτή η ισορροπία εξαρτάται από την σύνθεση του νερού της πηγής, τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος και την απορρόφηση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων από την καλλιέργεια.

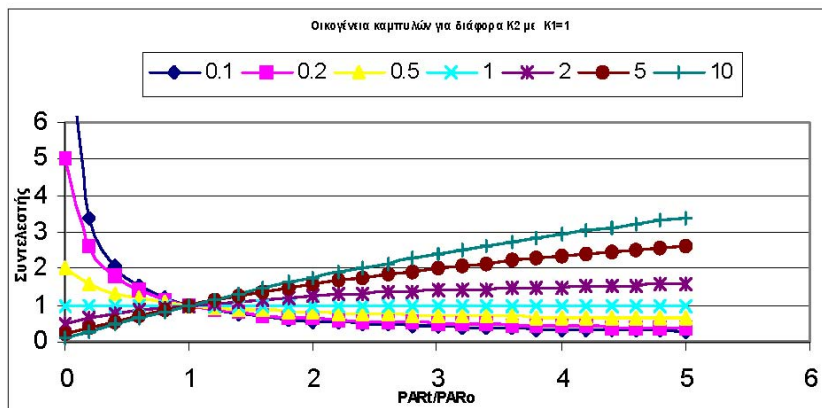
Η αρνητική επίδραση της αλλατότητας στην παραγωγή μπορεί να αποφευχθεί ή έστω να μειωθεί μειώνοντας την διαπνοή της καλλιέργειας [2,3]. Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης του DSS δέχονται ως δεδομένο το “κόστος” της αύξησης της υγρασίας ως παράγοντα που ευνοεί την ανάπτυξη ορισμένων ασθενειών, σε αντιδιαστολή με την οικονομία νερού και λιπασμάτων λόγω της μείωσης της διαπνοής και αναζητά την άριστη διαχείριση της υγρασίας στο περιβάλλον της καλλιέργειας. Πειραματικά δεδομένα του ερευνητικού προγράμματος HORTIMED χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό της απορρόφησης των στοιχείων από την καλλιέργεια καθώς και την αντίδραση της στην αύξηση της αγωγιμότητας. [4,5].

Η εφαρμογή του DSS αποτελείται από δύο συνεργαζόμενα συστήματα off-line και on-line. Το μέρος του off-line υπολογίζει την καλύτερη σχέση τιμής προς απόδοση στην διαχείριση του νερού για μία δεδομένη ετήσια καλλιεργητική περίοδο σε ένα συγκεκριμένο θερμοκήπιο (τοποθεσία, χαρακτηριστικά, εξοπλισμός) αναζητώντας μέσα από όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των διαθέσιμων πηγών νερού τον συνδυασμό εκείνο που έχουμε το μέγιστο οικονομικό όφελος από πλευράς νερού και λιπασμάτων.

Οι ανάγκες σε νερό εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες, την καλλιέργεια και το στάδιο ανάπτυξης της. Το υδροπονικό σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί (ανοικτό ή κλειστό) δεν επηρεάζει το off-line σύστημα, διότι το ολικό νερό που θα χρειαστεί η καλλιέργεια θεωρητικά είναι το ίδιο όταν ακολουθούμε την ίδια ελάχιστη πολιτική αποβολής νερού από το σύστημα.

Όταν εφαρμόζεται κλειστό σύστημα υδροπονίας υπάρχουν κάποια τεχνικά πλεονεκτήματα διότι είναι δυνατή η εφαρμογή υπεράρδευσης για να αντισταθμιστεί τυχόν διαφορετική διαπνοή των φυτών που βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, τις διαφορές στην παροχή του νερού ανά φυτό λόγω παραλακτικότητας των σταλακτήρων και κυρίως για να αποφύγουμε την αύξηση της αλλατότητας στο ριζικό περιβάλλον των φυτών ιδιαίτερα στα συστήματα που χρησιμοποιείται κάποιο υπόστρωμα.

Ο υπολογισμός της απορρόφησης στοιχείων, όπως είναι γνωστό, και διαπιστώθηκε και από τα πειράματα των συνεργατών του HORTIMED, είναι πολύ δύσκολος διότι εξαρτάται από πολλούς μηχανισμούς (παθητικός ή οσμωτικός, ανταγωνιστικός, ενεργός μεταφορά, φωτοσύνθεση) οι οποίοι επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες (κατάσταση στομάτων και ένταση διαπνοής, προηγούμενη φυσιολογική κατάσταση και συγκέντρωση του στοιχείου στα φύλλα κ.α.).



Για την έκφραση της απορρόφησης χρησιμοποιήθηκε κυρίως η μορφή της εξίσωσης

$$y = \frac{k_1 + k_2 x}{k_2 + x}$$

η οποία έχει τη δυνατότητα να εκφράσει αυξητικές (πχ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση στη ρίζα C, και την ένταση ακτινοβολίας) και πτωτικές τάσεις (πχ σε συνάρτηση με την ένταση διαπνοής E), Εικόνα 3. Το συνολικό μοντέλο της συγκέντρωσης απορρόφησης έχει τη μορφή μηχανιστικού μοντέλου, της μορφής της επόμενης εξίσωσης 1:

Όπου: C=συγκέντρωση στη ρίζα (meq/l), C_u =συγκέντρωση στον ανοδικό χυμό (meq/l), E=

διαπνοή ml/sec/φυτό, $NE = \text{ένταση διαπνοής ml/sec/cm}^2 = E/LAI$, R=ακτινοβολία W/m^2 . Οι

δείκτες είναι t =χρονική στιγμή, 0 =στανταρντ (ή γνωστές)

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

συνθήκες, x =θρεπτικό στοιχείο x .

Για τον τρίτο όρο της εξίσωσης που συσχετίζεται με τη φωτοσύνθεση θεωρείται ότι αυτή η συσχέτιση είναι η πιο δύσκολη να ελεγχθεί, λόγω του ότι η φωτοσύνθεση επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες δύσκολους να μετρηθούν σε εμπορικά θερμοκήπια. Μία πρώτη προσέγγιση που δίνει και την δυνατότητα καλύτερου ελέγχου της μη γραμμικότητας της λειτουργίας αυτής (καλύτερη απόδοση στις χαμηλές τιμές ακτινοβολίας και κορεσμός στις

υψηλές) είναι και η αποδοχή τριών παραμέτρων στην μορφή:
$$\left[\frac{k_1 + k_{2,1} * [R_t / R_0]}{k_{2,2} + [R_t / R_0]} \right]$$
 Όπου: $k_1/k_{2,2}$ ορίζει το σημείο έναρξης, $k_{2,1}$ ορίζει το άνω όριο κορεσμού της φωτοσύνθεσης και $k_{2,2}$ ορίζει το σημείο καμπής της συνάρτησης (ή την ταχύτητα ανόδου, σταθερά των Michaelis-Menton). Σημειωτέον ότι η εξίσωση αυτή εκφράζει απόλυτα και τη σχέση που δοκίμασαν οι Mankin and Fynn 1996, οι οποίοι έδωσαν την χαρακτηριστική σχέση απορρόφησης με βάση την υπερβολή των Michaelis-Menton (όπου $k_1=0$, $k_{2,1}=P_{max}$, και $R_0/k_{2,2}=k_m$).

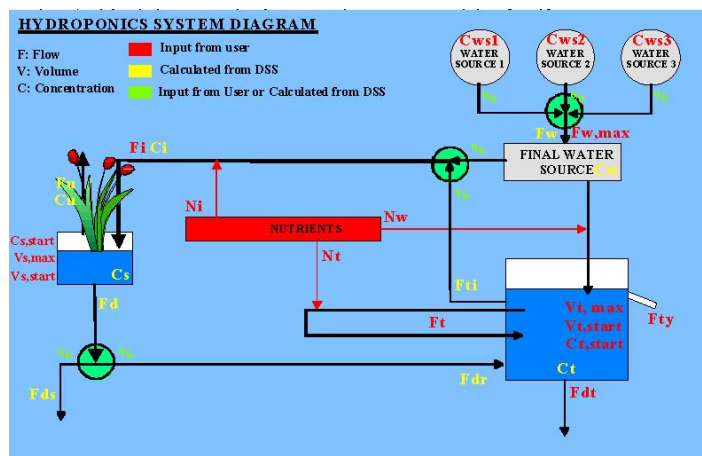
$$U_{t1,x}^{t2} = \int_{t1}^{t2} C_{U,x} * E_t dt$$

Η στιγμιαία απορροφούμενη ποσότητα κάθε στοιχείου είναι $U_{x,t} = C_{U_x} * E_t$ (mg/sec/φυτό) και η αθροιστικά απορροφούμενη:

Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ DSS

Η εφαρμογή χρησιμοποιεί γενικά μαθηματικά μοντέλα (οριζόμενα από τον χρήστη) για τον υπολογισμό-εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής και της απορρόφησης των κύριων θρεπτικών στοιχείων από την καλλιέργεια. Με βάση την υπολογιζόμενη εξατμισοδιαπνοή και απορρόφηση στοιχείων η εφαρμογή υπολογίζει ανά δευτερόλεπτο, με χρήση ισοζυγίων μάζας, το εκάστοτε νερό που περιλαμβάνει το σύστημα και τη σύσταση του (περιεκτικότητα σε στοιχεία) στα διάφορα υποσυστήματα του. Ταυτόχρονα υπολογίζει τις εισροές και εκροές του νερού και των θρεπτικών στοιχείων από το σύστημα.

Η εφαρμογή έχει την δυνατότητα να λειτουργεί είτε ως εξομοιωτής ενός υδροπονικού συστήματος είτε να λειτουργεί ως εποπτεύον σύστημα σε άλλα υπολογιστικά συστήματα ελέγχου υδροπονίας. Στην Εικόνα 4 απεικονίζεται ένα γενικό σύστημα υδροπονίας στο οποίο βασίζεται η εφαρμογή, όπου απεικονίζονται όλες οι δυνατές ροές (νερού, στοιχείων) που είναι δυνατόν να έχει ένα υδροπονικό σύστημα. Ένα τυπικό υδροπονικό σύστημα είναι συνήθως μέρος του παρακάτω διαγράμματος. Στο διάγραμμα αυτό με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα δεδομένα που πρέπει να εισάγει ο χρήστης. Με κίτρινο τα δεδομένα που υπολογίζονται από την εφαρμογή και με πράσινο τα δεδομένα που είτε μπορεί να καθορίσει ο χρήστης είτε υπολογίζονται από την εφαρμογή ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας της.



Εικόνα 4. Κύριοι παράμετροι και υποσυστήματα ενός υδροπονικού συστήματος

Σε ένα υδροπονικό σύστημα θα πρέπει να καθοριστούν:

Ανοικτό ή κλειστό σύστημα. Η εφαρμογή έχει την δυνατότητα να διαχειρίζεται και ημίκλειστα συστήματα, δηλαδή ανάλογα με τις συνθήκες (ή και επιθυμίες του χρήστη) ποσοστό της απορροής από τα φυτά να εξέρχεται του συστήματος και να μην επιστρέφει στην δεξαμενή ανακύκλωσης. Το ποσοστό αυτό μπορεί να είναι από 0% (τελείως κλειστό σύστημα) έως 100% (τελείως ανοικτό σύστημα).

Σε ένα σύστημα υδροπονίας πρέπει επίσης να καθοριστεί η μέθοδος προσθήκης των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα. Οι μέθοδοι αυτές μπορεί να είναι τρεις:

1 Προσθήκη των στοιχείων στην γραμμή άρδευσης κατά την ώρα της άρδευσης. (Σύστημα Ni). Πρόκειται για την αποκλειστική μέθοδο προσθήκης για τα ανοικτά συστήματα. Μπορεί όμως να εφαρμοστεί και στα κλειστά συστήματα με δεξαμενή ανακύκλωσης. Στην περίπτωση αυτή η εφαρμογή γνωρίζοντας την σύσταση και άρα και την αγωγιμότητα του νερού ή διαλύματος που περνά από την γραμμή άρδευσης προσθέτει την ανάλογη ποσότητα λιπασμάτων (οι αναλογίες καθορίζονται από την συνταγή) ώστε να επιτύχει μία συγκεκριμένη επιθυμητή αγωγιμότητα.

2 Προσθήκη των στοιχείων στην δεξαμενή ανακύκλωσης (Σύστημα Nt). Πρόκειται για την τυπική μέθοδο προσθήκης των θρεπτικών στοιχείων σε ένα κλειστό σύστημα. Στην περίπτωση αυτή μία αντλία ανακυκλώνει διάλυμα από την δεξαμενή και με δοσομετρικές αντλίες ή Venturi προστίθενται θρεπτικά στοιχεία (σε αναλογίες καθοριζόμενες από την συνταγή) ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο της αγωγιμότητας στην δεξαμενή.

3 Προσθήκη των στοιχείων στο νερό που επαναπληρώνει την δεξαμενή ανακύκλωσης (Σύστημα Nw). Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται ποιο σπάνια και μόνο στα κλειστά συστήματα. Με την μέθοδο αυτή η δεξαμενή ανακύκλωσης γεμίζει με διάλυμα συγκεκριμένης σύστασης και αγωγιμότητας (όσο η επιθυμητή).

Εισροή νερού στο σύστημα γίνεται μόνο από τις βασικές πηγές νερού που διαθέτει το σύστημα. Σε ένα τυπικό σύστημα πηγή νερού είναι συνήθως μία γεώτρηση, πολλές φορές όμως είναι δυνατόν το νερό να προέρχεται από κάποιο δίκτυο διανομής νερού ή μία δεξαμενή συλλογής βρόχινου νερού και σε ποιο σπάνια περίπτωση από μηχανήματα αφαλάτωσης. Συνήθως υπάρχουν παραπάνω από μία πηγές νερού, μία πηγή θεωρητικά ανεξάντλητη (γεώτρηση,

δίκτυο) και μία πηγή περιορισμένη (δεξαμενή, μηχανήματα αφαλάτωσης). Ο αριθμός των βασικών πηγών νερού που διαχειρίζεται η εφαρμογή είναι μέχρι τρεις.

Εκροές νερού από το σύστημα αποτελούν:

$F_i F_d t_{\text{water}} C_{\text{ws}} 3_{\text{water}} C_{\text{ws}} 2_{\text{water}} C_{\text{ws}} I V t, \text{start} V s, \text{start} V s, \text{max} N w N t N i F t V t, \text{max} F w, \text{max} C s, \text{start} C t, \text{start} F t y$ Σύμβολο	Περιγραφή	
Fw	Παροχή της τελικής μίξης των πηγών νερού m ³ /h	Υπολογίζεται
Fw,max	Μέγιστη δυνατή παροχή της τελικής μίξης των πηγών νερού m ³ /h	Καθορίζεται από το χρήστη
Fi	Παροχή του τελικού θρεπτικού διαλύματος σε lt/h/plant	Καθορίζεται από το χρήστη
Fu	Εξατμισοδιαπνοή	Υπολογίζεται
Fd	Απορροή της καλλιέργειας (m ³ /h)	Υπολογίζεται
Fds	Το ποσοστό της απορροής που εξέρχεται από το σύστημα (m ³ /h)	Υπολογίζεται
Fdr	Το ποσοστό της απορροής που επιστρέφει στην δεξαμενή ανακύκλωσης (m ³ /h)	Υπολογίζεται
Fdt	Παροχή εκκένωσης της δεξαμενής (με αντλία η φυσική ροή m ³ /h)	Καθορίζεται από το χρήστη
Fty	Παροχή από την υπερχείλιση της δεξαμενής (m ³ /h)	Υπολογίζεται
Ft	Παροχή ανακυκλοφορίας της δεξαμενής για τα συστήματα με μέθοδο προσθήκης θρεπτικών τύπου Nt	Καθορίζεται από το χρήστη
Fti	Παροχή από την δεξαμενή προς την αναμικτική βαλβίδα της γραμμής άρδευσης	Υπολογίζεται
Cwsx	Συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στην βασική πηγή νερού x (meq/l)	Καθορίζεται από το χρήστη
Cw	Συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στην τελική πηγή νερού που προέρχεται από την μίξη των βασικών πηγών (meq/l)	Υπολογίζεται
Ci	Συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στην γραμμή άρδευσης (meq/l)	Υπολογίζεται
Cu	Συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στο νερό που απορροφάται από τα φυτά (meq/l)	Υπολογίζεται
Cs	Συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στο υπόστρωμα (meq/l)	Υπολογίζεται
Ct	Συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στη δεξαμενή ανακύκλωσης (meq/l)	Υπολογίζεται

α. Η εξατμισοδιαπνοή (Fu)

b. Το ποσοστό της απορροής από το υπόστρωμα που εξέρχεται του συστήματος Fds

c. Από την εκκένωση της δεξαμενής ανακύκλωσης (αν υπάρχει) Fdt

d. Από την υπερχείλιση της δεξαμενής ανακύκλωσης (αν υπάρχει) Fdy

Σε ένα κλειστό ή ημίκλειστο σύστημα το διάλυμα τροφοδοσίας των φυτών αντλείται από την δεξαμενή ανακύκλωσης και είτε στέλνεται στα φυτά ως έχει (Σύστημα Nt και Nw) ή διαμορφώνεται στην γραμμή άρδευσης (Σύστημα Ni). Η εφαρμογή έχει επίσης την δυνατότητα να διαχειρίζεται την δεξαμενή ανακύκλωσης και ως πηγή. Δύνεται η δυνατότητα στον χρήστη το διάλυμα τροφοδοσίας να αποτελεί μίξη ενός ποσοστού από την δεξαμενή ανακύκλωσης και ενός ποσοστού από τις βασικές πηγές νερού, και η περαιτέρω διαμόρφωση του ή όχι στην γραμμή άρδευσης.

Πίνακας 1. Περιγραφή των συμβόλων της Εικόνας 4.

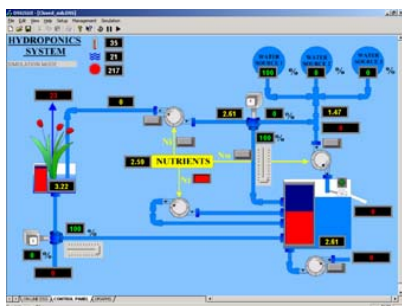
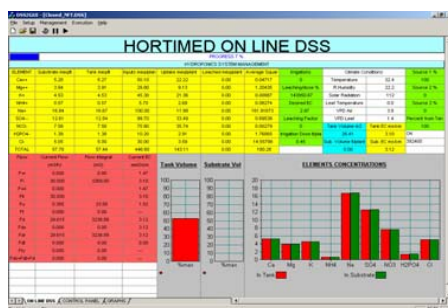
Η εφαρμογή θεωρεί ότι δύνανται να υπάρχουν τρεις αναλογικές βαλβίδες μίξης ή διαχωρισμού του διαλύματος. Στην Εικόνα 4 εντοπίζονται με το πράσινο κύκλο. Η πρώτη από αυτές καθορίζει το ποσοστό ανάμιξης του νερού από τις τρεις βασικές πηγές νερού προς μία τελική πηγή νερού (FINAL WATER SOURCE). Η δεύτερη καθορίζει το ποσοστό ανάμιξης του διαλύματος τροφοδοσίας ως ένα ποσοστό από την δεξαμενή ανακύκλωσης και ένα ποσοστό από την τελική πηγή βασικού νερού. Η τρίτη βαλβίδα έχει ως είσοδο την απορροή της καλλιέργειας την οποία διαχωρίζει. Ο διαχωρισμός συνίσταται στο ποσοστό της απορροής που θα εξέλθει από το σύστημα ($Fds=100\%$ στο ανοικτό) και στο ποσοστό της απορροής που θα επιστρέψει στην δεξαμενή ανακύκλωσης ($Fdr=100\%$ στο κλειστό). Η βαλβίδα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μία ρυθμιζόμενη έξοδος νερού από το σύστημα σε ένα κλειστό ή ημίκλειστο σύστημα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η εκροή από το ποιο «επιβαρημένο» σημείο του συστήματος ενός μόνιμου ποσοστού του ανακυκλώμενου νερού ρυθμιζόμενο ανάλογα με τις συνθήκες και επιθυμίες του χρήστη.

Οι οθόνες της εφαρμογής

Η εφαρμογή αποτελείται από τρεις οθόνες. Η πρώτη οθόνη είναι τύπου λογιστικού φύλλου EXCEL και απεικονίζει όλα τα δεδομένα που υπολογίζει και διαχειρίζεται η εφαρμογή. Τα στοιχεία που μπορεί να δει ο χρήστης στην οθόνη αυτή είναι:

Θρεπτικά στοιχεία: Για τα Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} , NH_4^{+} , Na^{+} , SO_4^{--} , NO_3^{-} , $H_2PO_4^{-}$, Cl^{-} απεικονίζεται η συγκέντρωσή τους στο υπόστρωμα σε meq/l, η συγκέντρωσή τους στη δεξαμενή ανακύκλωσης σε meq/l, η ολική είσοδος του στοιχείου στο σύστημα από τις πηγές νερού και τα λιπάσματα σε meq/plant, η ολική απορρόφηση του στοιχείου από την καλλιέργεια σε meq/plant, η ολική εκροή του στοιχείου από το σύστημα σε meq/plant και τέλος το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της συγκέντρωσης του στοιχείου στο υπόστρωμα από την επιθυμητή τιμή.

Ροές του διαλύματος: Απεικονίζονται η εκάστοτε παροχή σε m^3/h , το ολοκλήρωμα της ροής αυτής σε m^3 και η εκάστοτε Ηλεκτρική Αγωγιμότητα για τα κάτωθι σημεία του συστήματος.



Είσοδος του νερού στο σύστημα από τις βασικές πηγές **Fw**. Παροχή της γραμμής άρδευσης **Fi**. Παροχή της γραμμής άρδευσης που προέρχεται από την τελική πηγή νερού **Fwi** ($F_{wi}=F_i$ στα ανοικτά συστήματα ενώ $F_{wi}=0$ στα κλειστά συστήματα). Παροχή της γραμμής άρδευσης που προέρχεται από την δεξαμενή ανακύκλωσης **Fti** ($F_{ti}=F_i$ στα κλειστά συστήματα ενώ $F_{ti}=0$ στα ανοικτά συστήματα). Εξατμισοδιαπνοή **Fu**. Παροχή ανακύκλωσης της δεξαμενής για την προσθήκη θρεπτικών **Ft** (στα συστήματα **Nw**). Απορροή της καλλιέργειας **Fs**. Το μέρος της απορροής που εξέρχεται από το σύστημα **Fds**. Το μέρος της απορροής που επιστρέφει στην δεξαμενή ανακύκλωσης **Fdr**. Η παροχή εκκένωσης της δεξαμενής ανακύκλωσης **Fdt**.

Η παροχή υπερχειλίσας της δεξαμενής ανακύκλωσης **Fdy**. **Ογκοί:** Απεικονίζονται ο συνολικός όγκος του διαλύματος στην δεξαμενή ανακύκλωσης σε m^3 **Vt** καθώς και ο όγκος του νερού στο υπόστρωμα σε $lt/plant$ **Vs**. Ταυτόχρονα απεικονίζονται και οι αντίστοιχες αγωγιμότητες **ECt** και **ECs**.

Κλιματικές συνθήκες: Απεικονίζονται η εκάστοτε τιμές της Θερμοκρασίας $^{\circ}C$, Υγρασίας, % Ηλιοφάνειας W/m^2 , Θερμοκρασία του φύλλου $^{\circ}C$, VPD του αέρα σε $KPascal$ και το VPD του φύλλου σε $KPascal$.

Επιπρόσθετα στοιχεία: Ο αριθμός των αρδεύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί, το ποσοστό της απορροής σε % (απορροή/δόση άρδευσης), Η επιθυμητή αγωγιμότητα, το ποσοστό εκροής από το σύστημα της απορροής της καλλιέργειας Leaching Factor ($F_{ds}=Leaching\ Factor * F_d$) και τέλος η δόση άρδευσης σε $lt/plant$.

Η δεύτερη οθόνη της εφαρμογής αποτελεί ένα μιμικό διάγραμμα που απεικονίζει τη λειτουργία του συστήματος. Στο διάγραμμα απεικονίζονται τα βασικότερα στοιχεία του συστήματος ενώ ταυτόχρονα ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επέμβει στην λειτουργία χρησιμοποιώντας τα εργαλεία ελέγχου που απεικονίζονται. Τα βασικά στοιχεία εμφανίζονται με την μορφή αριθμών

μέσα σε κουτάκια. Τα κουτάκια με κόκκινο χρώμα στους αριθμούς εκφράζουν τα ολοκληρώματα των ροών του διαλύματος στα βασικά υποσυστήματα της εφαρμογής, τα κουτάκια με κίτρινο χρώμα απεικονίζουν την εκάστοτε ηλεκτρική αγωγιμότητα στο σημείο του συστήματος που βρίσκονται, τα κουτάκια με πράσινο χρώμα απεικονίζουν τις ποσοστιαίες μεταβλητές του συστήματος ενώ τέλος τα κουτάκια με άσπρο χρώμα απεικονίζουν τις εκάστοτε κλιματικές συνθήκες.

Στην οθόνη υπάρχουν επίσης 6 κουμπιά ελέγχου των διαφόρων υποσυστημάτων (εκφράζουν κυρίως λειτουργία αντλιών) και 2 μπάρες κύλισης που ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τα ποσοστά εκροής της απορροής από το σύστημα και το ποσοστά μίξης του νερού στην γραμμή άρδευσης από την δεξαμενή και την τελική πηγή νερού.

Η τρίτη οθόνη του συστήματος αποτελείται από 16 κυλιόμενα διαγράμματα γραμμής που απεικονίζουν διαγραμματικά ορισμένα από τα στοιχεία της εφαρμογής. Στα διαγράμματα απεικονίζονται κάθε φορά οι τελευταίες 300 τιμές των βασικών δεδομένων της εφαρμογής.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρουσιάστηκε ένα Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων για την on-line διαχείριση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων σε ένα υδροπονικό σύστημα. Η αποφάσεις του συστήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον παραγωγό για να αποφασίσει τυχόν απαραίτητες επενδύσεις. Ο χρήστης μπορεί να δοκιμάσει πολλαπλά σενάρια μέχρι να βρεθεί το κατάλληλο σενάριο διαχείρισης για την επιχείρησή του. Τα αποτελέσματα επίσης ενθαρρύνουν ορθολογική χρήση των λιπασμάτων κάνοντας την καλλιέργεια φιλικότερη προς το περιβάλλον.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία υποστηρίχθηκε από το ερευνητικό πρόγραμμα Πυθαγόρας του Υπουργείου Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- D'Amico M.L., Izzo, R., Tognoni, F., Pardossi, A. and Navari-Izzo, F. 2003. Sea water irrigation: antioxidants and quality of tomato berries. In: ISHS Conference on Salinity, Pisa, Italy, July 10-12.
- Heuvelink E., Bakker, M. and Stanghellini, C. 2003. Salinity effects on fruit yield in vegetable crops: a simulation study. In: ISHS Conference on Salinity, Pisa, Italy, July 10-12.
- Li Y.L., Stanghellini, C. and Challa, H. 2001. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato. *Scientia Horticulturae* 88(1): 11-29.
- Lorenzo P., Sanchez-Guerrero, M.C., Medrano, E., Garcva, M.L., Caparros, I. and Gimenez, M. 2003. External greenhouse mobile shading: effect on microclimate, water use efficiency and yield of a tomato crop grown under different salinity levels of the nutrient solution. In: ISHS Conference on Salinity, Pisa, Italy, July 10-12.