

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

**ΠΡΑΚΤΙΚΑ**

**3<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ**  
**ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

**Επιμέλεια Έκδοσης**

**Β. Αντωνόπουλος,**  
**Κ. Ακριτίδης και Κ. Τσατσαρέλης**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ**

**29-31 Μαΐου 2003**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (Ε.Γ.Μ.Ε.) 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 μέλη της σήμερα φθάνουν τα 140.

Το παρόν τεύχος των πρακτικών περιέχει 60 επιστημονικές ανακοινώσεις που παρουσιάστηκαν στο 3<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, το οποίο έλαβε χώρα στη Θεσσαλονίκη από 29-31 Μαΐου 2003. Όλες οι εργασίες κρίθηκαν από μέλη της Επιστημονικής Επιτροπής και άλλους ειδικούς επιστήμονες. Το συνέδριο οργανώθηκε υπό την αιγίδα του Τμήματος Γεωπονίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

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

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

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2003

Καθηγητής, Κων/νος Β. Ακριτίδης  
Πρόεδρος Οργανωτικής Επιτροπής

## **Οργανωτική Επιτροπή Συνεδρίου**

Ακριτίδης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ., Πρόεδρος ΕΓΜΕ

Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Γεωργίου Π., Γεωπόνος Α.Π.Θ.

Γιαννόπουλος Σ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Μήτσιου Κ., Γεωπόνος Δημ. Υπ.

Μπαλουκτσής Σ., Πρόεδρος Ε.Κ.Γ.Μ.Β.Ε.

Παυλάτου-Βε Α., Επ. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Σακελλαρίου Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.

Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ., ΔΣ ΕΓΜΕ

Κωνσταντινίδου Μ. γραμματέας συνεδρίου

## **Επιστημονική Επιτροπή**

Ακριτίδης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Γέμτος Θ., Καθηγητής Π.Θ.

Γιαννόπουλος Στ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Ζήσης Θ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Καραμούζης Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Κίττας Κ., Καθηγητής Π.Θ.

Κυρίτσης Σ., Ομ. Καθηγητής Γ.Π.Α.

Μαρτζόπουλος Γ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Μισοπολινός Ν., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Μπριασούλης Δ., Καθηγητής Γ.Π.Α.

Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Παναγιωτόπουλος Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Παπαδάκης Γ., Επ. Καθηγητής Γ.Π.Α.

Παπαμιχαήλ Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Παρισόπουλος Γ., ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.

Παυλάτου-Βε Α., Επ. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.

Συγριμής Ν., Καθηγητής Γ.Π.Α.

Τερζίδης Γ., Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ.

Τζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

## **Κριτές Επιστημονικών Εργασιών**

Ακριτίδης Κων/νος, Αντωνόπουλος Βασίλης, Βουγιούκας Σταύρος, Γαλανοπούλου Στέλλα, Γέμτος Θεοφάνης, Γεωργακάκης Δημήτριος, Γιαννόπουλος Σταύρος, Δαλέζιος Νικόλαος, Δαναλάτος Νικόλαος, Ζήσης Θωμάς, Καραμούζης Διαμαντής, Κερκίδης Πέτρος, Κίττας Κων/νος, Κυρίτσης Σπύρος, Κωστοπούλου Σοφία, Ελευθεροχωρινός Ηλίας, Λαζαρίδης Χαράλαμπος, Λαμπρινός Γεώργιος, Μαρτζόπουλος Γεράσιμος, Μαυρογιαννόπουλος Γεώργιος, Μαντόγλου Αριστοτέλης, Μισοπολινός Νικόλαος, Μπαλτάς Ευάγγελος, Μπαμπατζιμόπουλος Χρήστος, Μπαρμπαγιάννης Νικόλαος, Μπριασούλης Δημήτρης, Νάνος Γεώργιος, Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χρυσούλα, Οικονόμου Αθανάσιος, Παναγιωτόπουλος Κυριάκος, Πανώρας Αθανάσιος, Παπαδάκης Γεώργιος, Παπαμιχαήλ Δημήτριος, Παπουτσή-Ψυχουδάκη Σοφία, Παυλάτου-Βε Αθηνά, Πιτσικής Ιωάννης, Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη Μαρία, Συλλαίος Νικόλαος, Σφακιωτάκης Ευάγγελος, Τερζίδης Γεώργιος, Τζιμόπουλος Χρήστος, Τσατσαρέλης Κων/νος, Τσιούρης Σωτήρης, Ψυχουδάκης Ασημάκης

## **Επικοινωνία - αλληλογραφία – πληροφορίες**

Αντωνόπουλος Βασίλης  
Καθηγητής Α.Π.Θ.  
Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
54124 Θεσσαλονίκη  
**Τηλ. 2310 998745, 2310 998743, 2310 998744**  
**Fax: 2310 998767**  
E-mail: [vasanton@agro.auth.gr](mailto:vasanton@agro.auth.gr)  
Internet: [www.egme.gr](http://www.egme.gr)  
EurAgEng: [www.eurageng](http://www.eurageng)

## **ΧΟΡΗΓΟΙ**

(Μέχρι 15 Απριλίου 2003)

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

- Ασπροφός Α.Ε.
- Υπουργείο Πολιτισμού
- Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσσαλονίκης – Επιτροπή Ερευνών

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### *Υδατικοί Πόροι - Υδρολογία*

|                                                                                                                                                                              | Σελ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| «Η πλήρης ανάκτηση κόστους για τις υπηρεσίες ύδατος στην οδηγία 2000/60 για τα νερά»<br>Σ. Γιαννόπουλος, Χ. Τζιμόπουλος                                                      | 3   |
| «Συγκριτική ανάλυση των εκτιμήσεων των αιχμών απορροής με συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα και με εμπειρικές σχέσεις»<br>Π. Ε. Γεωργίου, Δ. Μ. Παπαμιχαήλ, Δ. Ν. Καραμούζης | 11  |
| «Εκτίμηση καμπυλών διάρκειας παροχών στον ποταμό Αλιάκμονα»<br>Ε.Α. Μπαλτάς                                                                                                  | 20  |
| «Εμπειρίες από την ανάλυση τεσσάρων ισχυρών επεισοδίων βροχής στην Αττική την περίοδο Μαΐου-Νοεμβρίου 2002»<br>Ε.Α. Μπαλτάς,                                                 | 29  |
| «Μοντέλο Νευρωνικού Δικτύου για την εκτίμηση της μέσης ετήσιας στάθμης της λίμνης Βεγορίτιδος»<br>Α. Σπυρίδης, Β. Κουτάλου, Ν. Γκιτσάκης                                     | 36  |
| «Δυνατότητες εκμετάλλευσης του καρστικού υδροφορέα Κρασιάς Ελασσόνας, Θεσσαλία»<br>Α. Κ. Μανάκος, Γ. Χ. Δημόπουλος                                                           | 43  |

### *Υδατικοί Πόροι - Αρδεύσεις*

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| «Εκτίμηση της ειδικής παροχής άρδευσης σε ένα προτεινόμενο σχέδιο διαχείρισης των ταμιευτήρων Ολυνθίου, Χαβρία και Πετρένια Χαλκιδικής»<br>Δ. Μ. Παπαμιχαήλ, Π. Ε. Γεωργίου, Δ. Ν. Καραμούζης | 53 |
| «Επίδραση της συχνότητας άρδευσης με σταγόνες στην απόδοση βιομάζας αραβοσίτου»<br>Θ. Λέλλης, Π. Ντιούδης, Αγ. Φιλίντας, Γ. Μαρτζόπουλος                                                      | 61 |
| «Παραγωγικότητα καλλιέργειας αραβοσίτου συναρτήσει του εύρους άρδευσης με σύστημα στάγδην»<br>Π. Ντιούδης, Αγ. Φιλίντας, Θ. Λέλλης, Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη                               | 69 |
| «Σχέσεις νερού και ποιοτικών χαρακτηριστικών βαμβακιού»<br>Δ. Καλφούντζος, Ι. Αλεξίου, Π. Βύρλας, Σ. Κωτσόπουλος, Γ. Ζέρβα                                                                    | 77 |

## ***Γεωργικά Μηχανήματα***

|                                                                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| «Ανάπτυξη βαμβακιού κάτω από κατεργασία υπεδαφοκαλλιεργητή με αβαθή στελέχη»<br>Ι. Παπαθανασίου, Χρ. Καραμούτης, Χρ. Καβαλάρης, Δ. Παπαμιχαήλ, Θ. Γέμτος                 | 87  |
| «Ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας υπεδαφοκαλλιεργητή με προσθήκη υνίων για αβαθή κατεργασία»<br>Ι. Παπαθανασίου, Χρ. Καραμούτης, Χρ. Καβαλάρης, Θ.Α. Γέμτος | 95  |
| «Αυτοκινούμενα οχήματα στη γεωργία»<br>Σ. Φουντάς, Θ.Γέμτος, S. Blackmore                                                                                                | 103 |
| «Πειραματική μελέτη του μηχανικού εξοπλισμού για σπορά βαμβακιού υπό κάλυψη»<br>Θ. Σταθάκος και Θ. Γέμτος                                                                | 111 |
| «Επίδραση καλλιεργητικών τεχνικών στην απόδοση και το ενεργειακό κόστος επίσπορου αραβοσίτου»<br>Α.Σ. Λιθουργίδης, Κ.Α. Τσατσαρέλης                                      | 119 |
| «Ελκυστήρες με σύγχρονο εξοπλισμό σε εργασίες κατασκευής δασικών δρόμων και μετατόπισης ξύλου»<br>Πλ. Καραρίζος, Ε. Καραγιάννης, Π. Εσκίογλου                            | 127 |
| «Μελέτη των φθορών δασικών δρόμων που προκαλούνται από μέσα μεταφοράς»<br>Π. Εσκίογλου, Ε. Καραγιάννης, Πλ. Καραρίζος                                                    | 136 |
| «Αριστος χρόνος αντικατάστασης βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών»<br>Ε. Μυγδάκος, Γ. Κιτσοπανίδης, Θ.Α. Γέμτος                                                                  | 144 |

## ***Επεξεργασία Γεωργικών Προϊόντων***

|                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| «Μέτρηση της αναπνοής οπωροκηπευτικών συντηρουμένων με τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Εφαρμογή στο μανιτάρι»<br>Δ. Γεωργακοπούλου, Π. Δημαρέλη, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου, Δ. Μητρόπουλος | 153 |
| «Επίδραση της θερμοκρασίας και της τροποποιημένης ατμόσφαιρας στην ποιότητα της πιπεριάς»<br>Σ. Χαρίτση, Ι. Μαρίτσα, Ν. Παυλίκου, Ε. Μανωλοπούλου                                        | 159 |
| «Επίδραση της θερμοκρασίας συντήρησης στο ρυθμό και στη θερμότητα αναπνοής καλλιεργουμένων μανιταριών»<br>Π. Δημαρέλη, Γ. Βαρζακάκος, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου                      | 167 |

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| «Μεταβολή του ρυθμού και της θερμότητας αναπνοής με τη θερμοκρασία συντήρησης δύο ποικιλιών μήλων»<br>Μ. Κανάκη, Γ. Λαμπρινός, Δ. Μητρόπουλος, Ε. Μανωλοπούλου | 174 |
| «Επίδραση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας στην αναπνευστική δραστηριότητα μήλων Pilafa Delicious»<br>Ι. Καμβύση, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου, Δ. Μητρόπουλος  | 180 |
| «Συγκριτική διερεύνηση της παραγωγικότητας καλλιέργειας τρανταφυλλιάς σε ανοικτό και κλειστό υδροπονικό σύστημα»<br>Α. Μπιμπή, Χ. Λύκας, Γ. Νάνος, Κ. Κίττας   | 188 |

### ***Νέες Τεχνολογίες στη Γεωργία***

|                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| «Σχεδιασμός ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με ανεμογεννήτρια και Φωτοβολταϊκά»<br>Ε. Mohamed, Γ. Παπαδάκης                                      | 199 |
| «Τεχνική εισαγωγής λάθους στο λογισμικό ελέγχου του ρυθμιστή στροφών των γεωργικών ελκυστήρων<br>Ι. Γράβαλος                                                              | 207 |
| «Ανάπτυξη ενός φωτοβολταϊκού αντλητικού συγκροτήματος με κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίς συσσωρευτές»<br>Μ. Predescu, Α. Cracinescu, Α. Καλλιβρούσης, Γ. Παπαδάκης | 214 |
| «Γεωργία ακριβείας στο βαμβάκι: Συσχέτιση χαρτών παραγωγής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας»<br>Αθ. Μαρκινός, Θ. Γέμτος, Α. Τούλιος, Δ. Πατέρας, Γ. Ζέρβα, Μ. Παπαοικονόμου    | 222 |
| «Γεωργία ακριβείας: Προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα και στην Νότια Ευρώπη»<br>Θ.Α. Γέμτος, Σπ. Φουντάς, Α. Μαρκινός, S. Blackmore                                        | 230 |
| «Τράπεζα δοκιμών για τον καθορισμό της ευστάθειας γεωργικών μηχανημάτων»<br>Θ. Γιαλαμάς, Ζ. Κουτσοφίτης, Αγ. Φιλίντας                                                     | 238 |



## ***Γεωργία και Περιβάλλον***

- «Σύγκριση της απόδοσης δεξαμενών σταθεροποίησης και συμβατικής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων»  
Α. Παπαδόπουλος, Γ. Παρισσόπουλος, Φ. Παπαδόπουλος 249
- «Ορισμένα στοιχεία της λειτουργίας του συστήματος Remos στο Δέλτα του Νέστου για τον ποσοτικό και ποιοτικό έλεγχο των υδατικών πόρων μετά τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών έργων»  
Α. Ψιλοβίκος, Κ. Αλμπανάκης, Σ. Μαργώνη, Αρ. Ψιλοβίκος, Χ. Μακρυγιώργος 257
- «Αρδευση πρασίνου με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα»  
Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Ι. Τέντας, Α. Κολιού, Δ. Καλφούντζος, Ν. Παπανίκος. 265
- «Παράμετροι ποιότητας νερού των υδροτόπων Ν. Φώκαιας Χαλκιδικής»  
Σ. Καλπάκης, Σ.Ε. Τσιούρης 273
- «Η επίδραση κομπόστας (φυτικής προέλευσης) στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος καλαμποκιού (*Zea mays* L)»  
Β. Ντούπη, Α. Παυλάτου-Βε, Σ. Σακελλαριάδης 282
- «Επίδραση τρόπου – χρόνου κατεργασίας του εδάφους και εφαρμογής ζιζανιοκτόνων στην εμφάνιση των ζιζανίων»  
Σ. Δ. Σουΐπας, Π. Χ. Λόλας, Θ. Α. Γέμτος 290

## ***Μαθηματικά μοντέλα στη Γεωργία***

- «Προσομοίωση του νερού και της θερμοκρασίας με το μοντέλο WANISIM, σε έδαφος με φυτά»  
Β.Ζ. Αντωνόπουλος, Δ.Δ. Μιχαηλίδου 301
- «Μελέτη ενός εκθετικού μοντέλου πρόσληψης νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών»  
Χ. Γεωργούσης, Χ. Μπαμπατζιμόπουλος 309
- «Συμπεριφορά φυτοφαρμάκων μετά την εφαρμογή τους στο έδαφος»  
Π. Κερκίδης, Ι. Αργυροκαστρίτης, W.O. Ochola 318
- «Διακοπτικός ελεγκτής εδαφικής υγρασίας»  
Ι. Γράβαλος 327

## *Αγροτικές κατασκευές*

|                                                                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| «Η χιονοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών σύμφωνα με τους ευρωκώδικες»<br>Μ. Θεοχάρης                                                                                                                | 337 |
| «Μελέτη ολοκληρωμένου προγράμματος διαχείρισης θερμοκηπίων»<br>Θ. Κωτσόπουλος, Γ. Μαρτζόπουλος, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου                                                                                  | 345 |
| «Επίδραση δύο νέων φωτοεκλεκτικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίων στο περιβάλλον και στην καλλιέργεια τομάτας»<br>Χ. Παπαϊωάννου, D. Obeid, Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας                                          | 354 |
| «Επίδραση φύλλων κάλυψης θερμοκηπίου απορροφητικών στη UV ακτινοβολία στη δραστηριότητα εντόμων σε καλλιέργεια τομάτας»<br>Α. Βατσανίδου, Ι. Μαργαριτόπουλος, Χ. Παπαϊωάννου, Ι.Α. Τσιτσιπής, Κ. Κίττας | 362 |
| «Αριθμητική και πειραματική διερεύνηση του φυσικού αερισμού θερμοκηπίου»<br>Θ. Μπαρτζάνας, Κ.Κίττας.                                                                                                    | 370 |
| «Διερεύνηση της κατανομής θερμοκρασίας και υγρασίας σε μερικά σκιασμένο θερμοκήπιο εξοπλισμένο με σύστημα υγρής παρειάς»<br>Κ.Κίττας, Α. Κοντές, Θ. Μπαρτζάνας                                          | 379 |
| «Επίδραση διάφορων τεχνικών ελέγχου των υπερθερμάνσεων στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου»<br>Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας.                                                                                      | 387 |
| «Συγκριτική μελέτη της επίδρασης του αερισμού, της σκίασης και του δροσισμού των θερμοκηπίων σε καλλιέργεια τριανταφυλλιάς»<br>Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας                                                  | 395 |
| «Θέρμανση θερμοκηπίων με γεωθερμική ενέργεια: Επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης»<br>Ι. Χοτζακιάνης, Γ. Μαρτζόπουλος, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου                                                   | 403 |
| «Εμπλουτισμός θερμοκηπίων με CO <sub>2</sub> σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών για εξοικονόμηση ενέργειας»<br>Δ. Βαφειάδης, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου, Γ. Μαρτζόπουλος                                       | 413 |
| «Διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης της αντλίας θερμότητας στο χοιροστάσιο»<br>Ν. Οικονόμου, Γ. Λαμπρινός                                                                                                | 421 |

## ***Ενέργεια στη Γεωργία***

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| «Δυναμικό μοντέλο και έλεγχος συστήματος ανάκτησης ενέργειας σε διεργασίες ξήρανσης»<br>Σ. Βουγιούκας, Α. Δημητριάδης, Κ. Ακριτίδης                                                            | 431 |
| «Υπολείμματα καλλιέργειας βαμβάκος και παραγωγή βιομάζας στο Νομό Καρδίτσας»<br>Θ. Λέλλης, Γ. Μαρτζόπουλος, Π. Ντιούδης, Αγ. Φιλίντας, Αν. Μπλούκα, Μ. Λιναρδοπούλου                           | 441 |
| «Ενεργειακό και θρεπτικό δυναμικό των Ζωϊκών Αποβλήτων στην Ελλάδα»<br>Μ. Μαρδίκης                                                                                                             | 449 |
| «Δυναμικό γεωργικών υπολειμμάτων για παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα»<br>Α. Νικολάου, Ι. Παπαμιχαήλ, Β. Λυχνάρης, Κ. Πανούτσου                                                                  | 457 |
| «Ενεργειακό ισοζύγιο συμβατικής και ολοκληρωμένης διαχείρισης της μηλοκαλλιέργειας»<br>Α. Στραπάτσα, Γ.Δ. Νάνος, Ν. Σκρέτα, Ι. Πέτκου, Η. Παπακωνσταντίνου, Ε.Μ. Σφακιωτάκης, Κ.Α. Τσατσαρέλης | 465 |
| «Προοπτικές εξοικονόμησης ενέργειας κατά την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας του εδάφους στο σιτάρι»<br>Χρ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Ι. Παπαθανασίου, Θ.Α. Γέμτος                              | 473 |
| «Υπολογισμός συνολικών εισροών και εκροών ενέργειας στα ζαχαρότευτλα για 5 μεθόδους κατεργασίας εδάφους»<br>Χρ. Καβαλάρης, Θ.Α. Γέμτος                                                         | 481 |
| «Ελαιοκράμβη ( <i>Brassica</i> sp.) μία υποσχόμενη καλλιέργεια για την παραγωγή βιοντήζελ στην Ελλάδα»<br>Ε.Νάματοβ, Α. Νικολάου, Μ. Μαρδίκης, Κ. Πανούτσου                                    | 489 |
| «Τα πολυμέσα Η/Υ ως εργαλείο ενίσχυσης της εκπαιδευτικής διαδικασίας στη γεωργική μηχανική»<br>Αγ. Φιλίντας, Κ. Δούκας, Θ. Γιαλαμάς, Β. Στανιός                                                | 497 |
| «Απλή και ακριβής μέθοδος σταθερής στράγγισης διαστρωμένων εδαφών»<br>Γ.Τερζίδης                                                                                                               | 505 |
| Ευρετήριο συγγραφέων                                                                                                                                                                           | 515 |

***Νέες Τεχνολογίες  
στη Γεωργία*** ||



## **ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ ΜΕ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ**

**Essam Sh. Mohamed<sup>#</sup>, Γ. Παπαδάκης**

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών,  
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής,  
75 Ιερά Οδός 118 55 Αθήνα, <sup>#</sup>e-mail: <esamsh@aua.gr>

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μια απλοποιημένη μέθοδο σχεδιασμού και προσομοίωση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος που αποτελείται από δύο ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά για τη λειτουργία ενός συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης για την ικανοποίηση των αναγκών σε νερό ενός υποθετικού χωριού με 60 κατοίκους στη Δυτική Κρήτη. Δεδομένου ότι η ανάκτηση ενέργειας από τις μονάδες αντίστροφης ώσμωσης, είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την μείωση του κόστους του αφαλατωμένου νερού, στην ανάλυση λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητα εφαρμογής ενός εναλλάκτη πίεσης για την ανάκτηση της απορριπτόμενης υδραυλικής ενέργειας, με 48% εξοικονόμηση ενέργειας στο σύστημα.

**Λέξεις κλειδιά:** Αντίστροφη ώσμωση, φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτρια, σχεδιασμός.

## **DESIGN OF STAND ALONE REVERSE OSMOSIS DESALINATION SYSTEM POWERED BY WIND TURBINES AND PHOTOVOLTAICS**

**Essam Sh. Mohamed<sup>#</sup>, G. Papadakis**

Agricultural University of Athens  
Department of Natural Resources and Agricultural Engineering  
75 Iera Odos, Street, GR 11855 Athens, Greece, <sup>#</sup>e-mail: <esamsh@aua.gr>

### **ABSTRACT**

This paper presents a simplified method for design and simulation of a hybrid renewable energy system consists of wind turbines and photovoltaics, to power a reverse osmosis desalination unit. This unit covers the water needs of a population of 60 inhabitants in an isolated village at western Crete Island. Since the energy recovery from reverse osmosis units has been a major factor in the cost reduction of the desalinated water, a pressure exchanger using the hydraulic energy of the brine is added to the system reducing the power consumption (48%) by reducing the size of the high pressure pump.

**Keywords:** Reverse osmosis photovoltaics, wind turbines, design and simulation

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολλές νησιωτικές και παράκτιες περιοχές υποφέρουν από έλλειψη νερού ή το υπάρχον νερό είναι υποβαθμισμένης ποιότητας (υφάλμυρο). Ταυτόχρονα, στις περισσότερες νησιωτικές περιοχές το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η παραγωγή φρέσκου νερού μέσω αφαλάτωσης να έχει επίσης υψηλό κόστος. Όμως στις περισσότερες νησιωτικές περιοχές υπάρχει υψηλό ηλιακό και αιολικό δυναμικό ώστε να προσφέρεται η δυνατότητα συνδυασμού τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) με συστήματα αφαλάτωσης για την παραγωγή φρέσκου νερού. Η λύση αυτή είναι σήμερα τεχνικά και οικονομικά εφικτή αλλά και περιβαλλοντικά αποδεκτή. Η παρούσα εργασία ασχολείται με το σχεδιασμό και την προσομοίωση τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκά (Φ/Β) για τη λειτουργία ενός συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης (ΑΩ) με ανάκτηση της υδραυλικής ενέργειας από την άλμη.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

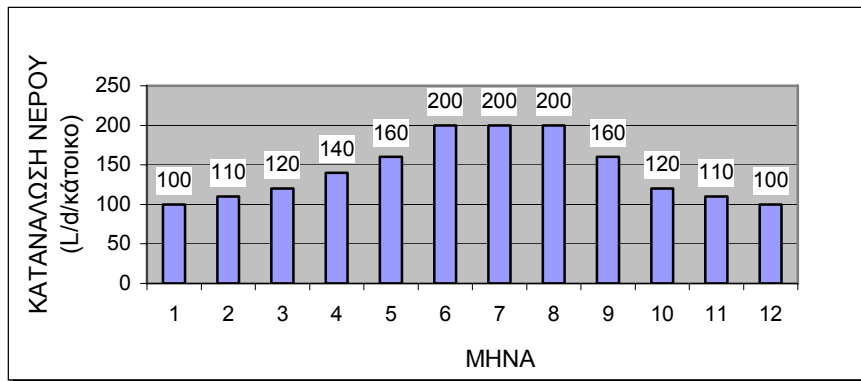
### 2.1 Η απαιτούμενη ποσότητα νερού

Βασικό στοιχείο για το σχεδιασμό ενός έργου αφαλάτωσης είναι ο καθορισμός των αναγκών σε νερό (κατανάλωση νερού). Στην απαιτούμενη κατανάλωση νερού θα βασιστούν όλοι οι υπολογισμοί για τον καθορισμό των διαστάσεων της μονάδας αφαλάτωσης. Η θεωρητική κατανάλωση νερού, φαίνεται στο Πίνακα 1.

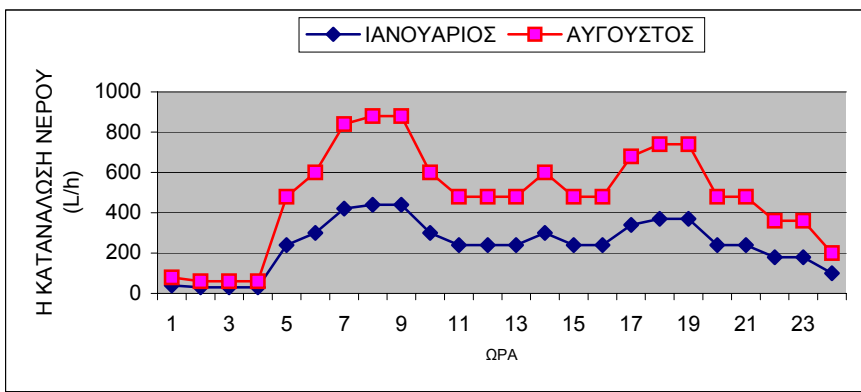
Πίνακας 1. Η θεωρητική κατανάλωση νερού

|                                                             |             |
|-------------------------------------------------------------|-------------|
| Ο πληθυσμός (αριθμός κατοίκων)                              | 60 κάτοικοι |
| Είδος πληθυσμού                                             | Αγροτικός   |
| Η μέγιστη απαιτούμενη ποσότητα νερού (l/κάτ./ημ.)           | 200         |
| Η συνολική απαιτούμενη ποσότητα νερού (m <sup>3</sup> /ημ.) | 12          |

Η κατανάλωσεις των γραφημάτων 1 και 2 είναι υποθετικές, αλλά αντιστοιχούν σε πραγματικές ημερήσιες κατανομές καταναλώσεων όπως έχουν μετρηθεί σε άλλες περιπτώσεις,[5].



Γράφημα 1. Η κατανομή της κατανάλωσης νερού



Γράφημα 2. Η κατανομή της κατανάλωσης κατά την διάρκεια μιας ημέρας

## 2.2 Το απαιτούμενο μέγεθος συστήματος αντίστροφης όσμωσης

Με την υπόθεση ότι το σύστημα ΑΩ λειτουργεί 24ώρες/24ωρο και ότι η μέγιστη απαιτούμενη ποσότητα νερού είναι  $12 \text{ m}^3/\text{ημ.}$ , επιλέγουμε ένα σύστημα αντίστροφης όσμωσης με δυναμικότητα παραγωγής νερού  $0.5 \text{ (m}^3/\text{h)}$  [1] με τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά, (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος αντίστροφης όσμωσης

|                                            |                             |
|--------------------------------------------|-----------------------------|
| Περιεκτικότητα σε άλατα στο θαλασσινό νερό | 40000 ppm TDS               |
| Ποσοστό ανάκτησης του γλυκού νερού         | 23%                         |
| Πίεση λειτουργίας                          | 65 bar                      |
| Ποσότητα παραγόμενου γλυκού νερού          | $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$  |
| Ποσότητα νερού τροφοδότησης                | $2.17 \text{ m}^3/\text{h}$ |



### 2.3 Ανάλυση των ενεργειακών αναγκών του συστήματος

Οι ενεργειακές καταναλώσεις της μονάδας ΑΩ είναι η αντλία υψηλής πίεσης, η αντλία τροφοδοσίας, η αντλία ενίσχυσης, η αντλία καθαρισμού και οι δοσιμετρικές αντλίες. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις της μονάδας ΑΩ καταγράφονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά των αντλιών του συστήματος και της κατανάλωσης

| Είδος κατανάλωσης               | Μέγιστη ισχύς | Ενέργεια  |          |
|---------------------------------|---------------|-----------|----------|
|                                 |               | Ιαν.      | Αυγ.     |
| Αντλία υψηλής πίεσης            | 3 kW          |           |          |
| Αντλία τροφοδοσίας              | 0.371 kW      |           |          |
| Αντλία ενίσχυσης                | 0.15 kW       |           |          |
| Αντλία καθαρισμού των μεμβρανών | 0.371 kW      |           |          |
| Δοσομετρικές αντλίες            | 0.2 kW        |           |          |
| Διάφορα φορτία                  | 0.3 kW        |           |          |
| Σύνολο                          | 4.392 kW      | 48.35 kWh | 96.7 kWh |

### 2.4 Μέγεθος του Φ/Β συστήματος

Με βάση την διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια ( $145 \text{ kWh/m}^2$  μήνα) [2] και χρησιμοποιώντας ένα υπολογιστικό φύλλο εργασίας (EXCEL), υπολογίστηκε το μέγεθος του Φ/Β συστήματος που θα καλύψει το 100% των ενεργειακών αναγκών της μονάδας ΑΩ, το οποίο φαίνεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Το μέγεθος του Φ/Β συστήματος για κάλυψη του 100% των ενεργειακών αναγκών της μονάδας ΑΩ

|                         |                                                                    |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Ισχύς αιχμής            | 31.2 kW                                                            |
| Πλήθος των Φ/Β πλαϊσίων | 208 Φ/Β πλαίσια Siemens sp150                                      |
| Κλίση των συλλεκτών     | 30° από Μάρτιο έως Σεπτέμβριο, και 60° από Οκτώβριο έως Φεβρουάριο |
| Έκταση του Φ/Β πάρκου   | 611.9 m <sup>2</sup>                                               |

### 2.5 Η προσφορά της αιολικής ενέργειας

Με βάση το αιολικό δυναμικό της περιοχής, και με γνωστές οι τιμές των παραμέτρων  $k$  και  $c$  της κατανομής Weibull (Πίνακας 4) [3], εξετάζουμε την συμπεριφορά διάφορων ανεμογεννητριών ισχύος 1, 2, 4, και 10 kW και καταγράφουμε την παραγόμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια.

Πίνακα 4. Το αιολικό δυναμικό της περιοχής

| Στοιχεία περιοχής και οργάνων | Δεδομένα / Τιμές                |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Περιοχή                       | Χανίων                          |
| Υψόμετρο                      | 290 m                           |
| Ύψος Ιστού                    | 10 m                            |
| Τύπος ανεμογράφου             | NRG 9000                        |
| Τύπος Αισθητ. Ταχύτητας       | NRG Three Cups 40               |
| Ολική μέση τιμή ταχύτητας     | 6.8565 m/s                      |
| Μέση τυπική απόκλιση          | 1.3320 m/s                      |
| Συντελεστές κατανομής Weibull | $k = 1.371$ και $c = 6.571$ m/s |

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία η αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες φαίνεται στο Πίνακα 5.

Πίνακα 5. Η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες

| Παραγόμενη ενέργεια από Α/Γ 1 kW | Παραγόμενη ενέργεια από Α/Γ 2 kW | Παραγόμενη ενέργεια από Α/Γ 4 kW | Παραγόμενη ενέργεια από Α/Γ 10 kW |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 7.85 kWh/ημ.                     | 15.42 kWh/ημ.                    | 34.47 kWh/ημ.                    | 71.34 kWh/ημ.                     |

## 2.6 Το μέγεθος του υβριδικού συστήματος

Η παραγόμενη ενέργεια από το υβριδικό σύστημα (Φ/Β και Α/Γ) που θα καλύπτει όλες τις ενεργειακές ανάγκες της μονάδας ΑΩ, θα προέρχεται πρωτίστως από την ανεμογεννήτρια (μια ή περισσότερες), συν ένα ποσοστό από την παραγόμενη ενέργεια από το Φ/Β σύστημα. Δίνεται προτεραιότητα στην ανεμογεννήτρια διότι το κόστος της αιολικής kWh είναι μικρότερο από το κόστος της φωτοβολταϊκής kWh. Ακολουθεί μια οικονομική ανάλυση των διαθέσιμων συνδυασμών αιολικής και φωτοβολταϊκή ενέργειας για την επιλογή του κατάλληλου τεχνικά και οικονομικά υβριδικού συστήματος [4]. Η οικονομική ανάλυση έδειξε ότι ένα υβριδικό σύστημα που αποτελείται από δύο ανεμογεννήτριες των 4 kW και 40% της ισχύος του Φ/Β συστήματος (40% του 31.2 kWp) που αντιστοιχεί σε 12.5 kWp, είναι το κατάλληλο τεχνικά και οικονομικά. Το τελευταίο βήμα είναι να προσδιορισθεί το τελικό μέγεθος του Φ/Β συστήματος (Πίνακας 6) και το μέγεθος των συσσωρευτών για αυτονομία δύο ημερών.

Πίνακας 6. Το τελικό μέγεθος του Φ/Β συστήματος

|                         |                              |
|-------------------------|------------------------------|
| Ισχύς αιχμής            | 12.5 kW                      |
| Πλήθος των Φ/Β πλαισίων | 84 Φ/Β πλαίσια Siemens sp150 |
| Κλίση των συλλεκτών     | 30° και 60°                  |
| Έκταση του Φ/Β πάρκου   | 245 m <sup>2</sup>           |

Για την αποθήκευση επαρκούς ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των καταναλώσεων τουλάχιστον 2 διαδοχικών θερινών ημερών και 4 διαδοχικών χειμερινών ημερών, η ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών θα είναι 1422 Ah.

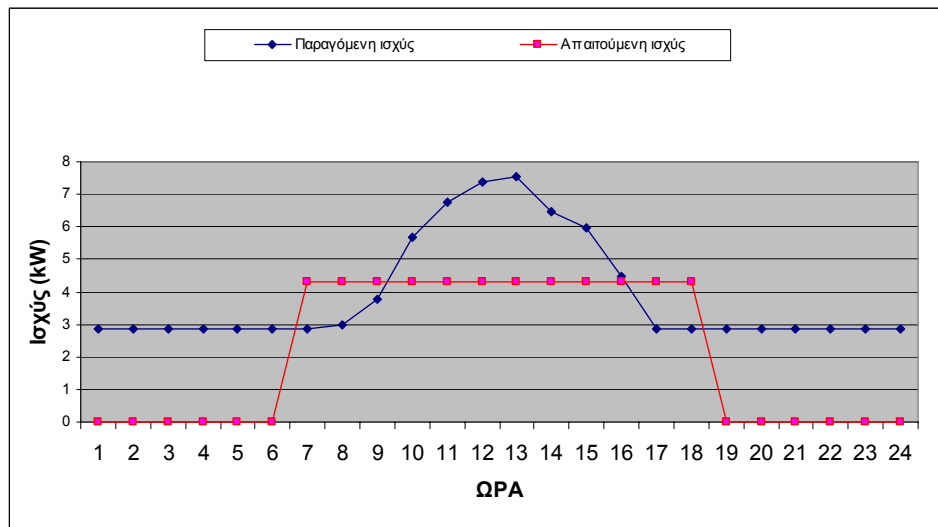
Για την ισοστάθμιση (κατανάλωση νερού) [5], καθώς και για την αυτονομία της κατανάλωσης νερού από τις διακυμάνσεις της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας, προβλέπεται χρήση δεξαμενής νερού με δυνατότητα αποθήκευσης νερού για δύο ημέρες (θερινές) της μέγιστης κατανάλωσης ( $24 \text{ m}^3$ ). Λαμβάνοντας υπόψη ένα βάθος ασφαλείας στην δεξαμενή 10% ( $2.4 \text{ m}^3$ ), τελικά επιλέγουμε μια δεξαμενή χωρητικότητας  $30 \text{ m}^3$ .

### 3. Προσομοίωση λειτουργίας του συστήματος

#### 3.1 Προσομοίωση του συστήματος τον μήνα Ιανουάριο

Η προσομοίωση έγινε για δυο χαρακτηριστικούς μήνες τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο, επειδή τους μήνες αυτούς έχουμε την ελάχιστη και την μέγιστη κατανάλωση νερού αντίστοιχα, καθώς και την ελάχιστη και μέγιστη προσφερόμενη ηλιακή ενέργεια αντίστοιχα.

Παρατηρούμε από το Γράφημα 3 ότι η συνολική παραγόμενη ενέργεια καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της μονάδας αφαλάτωσης. Κατά την διάρκεια των ωρών 07:00 έως 09:00 και 17:00 έως 18:00, το έλλειμμα απαιτούμενης ενέργειας είναι 6.35 kWh που καλύπτεται από τους συσσωρευτές. Κατά το χρονικό διάστημα 19:00 έως 06:00 και 10:00 έως 16:00 η παραγόμενη ενέργεια από το υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας (μόνο αιολική κατά την διάρκεια της νύχτας), είναι 48.51 kWh που αποθηκεύεται στους συσσωρευτές.

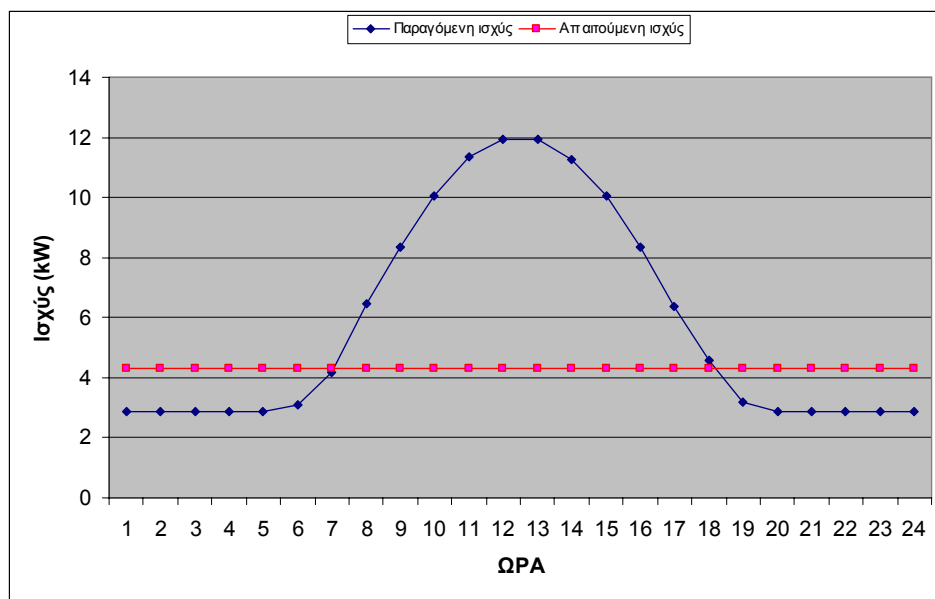


Γράφημα 3. Η παραγόμενη και η απαιτούμενη ενέργεια του συστήματος τον μήνα Ιανουάριο

Η συνολική ποσότητα νερού που παράγει το σύστημα (από 07:00 έως 18:00) είναι  $6 \text{ m}^3$  και η συνολική απαιτούμενη ποσότητα νερού είναι  $5.79 \text{ m}^3$ , δηλαδή καλύπτεται το 100% της απαιτούμενης ποσότητας νερού. Κατά την διάρκεια της νύχτας (από 19:00 έως 06:00) όπου οι ανάγκες σε νερό είναι μεγαλύτερες, ( $1.98 \text{ m}^3$ ) η κάλυψη της ποσότητας αυτή θα γίνει από την δεξαμενή αποθήκευσης νερού. Κατά το χρονικό διάστημα 07:00 έως 18:00 αποθηκεύεται στην δεξαμενή ποσότητα νερού ίση με  $8.19 \text{ m}^3$ .

### 3.2 Προσομοίωση του συστήματος του μήνα Αύγουστο

Από το Γράφημα 4, φαίνεται ότι η συνολική παραγόμενη ενέργεια ( $140 \text{ kWh}$ ) είναι αρκετή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του συστήματος ( $104 \text{ kWh}$ ). Κατά την διάρκεια των ωρών 19:00 έως 07:00 η διαφορά στην ενέργεια είναι  $17 \text{ kWh}$  που καλύπτεται από τις συσσωρευτές, κατά την διάρκεια των ωρών 08:00 έως 18:00, η διαφορά στην ενέργεια που ανέρχεται σε  $53.1 \text{ kWh}$  αποθηκεύεται στις συσσωρευτές.



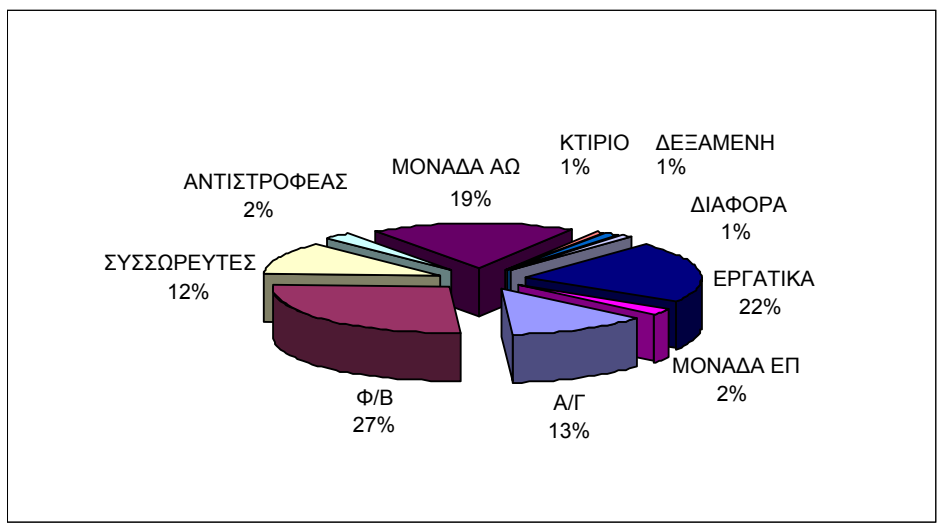
Γράφημα 4. Η ενέργεια του συστήματος του μήνα Αυγούστου

Το σύστημα αφαλάτωσης παράγει ( $12 \text{ m}^3$ ) νερού που καλύπτει επίσης την μέγιστη απαιτούμενη ποσότητα νερού ( $11.58 \text{ m}^3$ ). Σύμφωνα με την κατανομή της κατανάλωσης νερού, η περίσσεια παραγόμενης ποσότητας νερού που ανέρχεται σε  $3.74 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ , αποθηκεύεται στην δεξαμενή, αντίστοιχα το έλλειμμα στο παραγόμενο νερό στις ώρες μέγιστης κατανάλωσης, που ανέρχεται σε  $2.06 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ , καλύπτεται από την δεξαμενή.

#### 4. Συμπεράσματα

Η ανάκτηση της υδραυλικής ενέργειας της άλμης είχε προκαλέσει μείωση της απαιτούμενης ισχύος της αντλίας υψηλής πίεσης κατά 48% και μείωση της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας κατά 48%. Προβλέπεται μείωση στην απόδοση του εναλλάκτη πίεσης λόγω της μικρής παροχής άλμης ( $1.67 \text{ m}^3/\text{hr}$ ), η μικρότερη απαιτούμενη παροχή για τον εναλλάκτη πίεσεως (PX 15) είναι ( $2.3 \text{ m}^3/\text{hr}$ ), και κατά συνέπεια μείωση στην ανάκτηση ενέργειας από την άλμη.

Από την οικονομική ανάλυση του συστήματος παρατηρούμε ότι η σύγκριση του ετήσιου κόστους του υβριδικού συστήματος, που ανέρχεται σε **16093.39 €/year**, σε σχέση με το αντίστοιχο καθαρά φωτοβολταϊκό σύστημα (**20515.18 €/year**), είναι θετική. Το κόστος παραγωγής του νερού είναι **5.2 €/m<sup>3</sup>** και η κατανομή του ετήσιου κόστους του συστήματος φαίνεται στο Γράφημα 5, όπου παρατηρούμε ότι τα Φ/Β συμμετέχουν με το μεγαλύτερο ποσοστό. Σημειώνεται ότι σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό είναι συμφέρουσα η χρήση μεγαλύτερου ποσοστού αιολικής ισχύος στο υβριδικό σύστημα με στόχο την περαιτέρω μείωση του κόστους παραγωγής του νερού.



Γράφημα 5. Τα διάφορα κόστη του συστήματος

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tzen E., Perrakis K. and Baltas P. (1998) *Desing of a stand-alone PV-desalination system for rural areas*. Desalination 119, 327-334.
2. Καγκαράκη Κ. (1992) *Φωτοβολταϊκή τεχνολογία*, εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
3. Μηνιαδάκης Γ. (2001) *Τεχνολογία μέτρησης και εκτίμησης του αιολικού δυναμικού, σημειώσεις για το σεμινάριο Κατάρτισης αιολικής ενέργειας*, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Ηράκλειο.
4. Essam Sh. Mohamed. *Σχεδιασμός ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκ*, Μεταπτυχιακή εργασία, Γ.Π.Α. Αθήνα 2002.
5. Ξανθόπουλος Θ. & Παπαδάκης Ι. (1977) *Υδρευση Πόλεων*, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΛΑΘΟΥΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΙΣΤΗ ΣΤΡΟΦΩΝ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ**

**Ιωάννης Γράβαλος**

Ηρ. Πολυτεχνείου 198 Τ.Κ.41221-Λάρισα

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Οι κατασκευαστές γεωργικών ελκυστήρων καταβάλλουν μεγάλες προσπάθειες για να υλοποιήσουν καλωδιωμένες εφαρμογές (όπως η αυτόματη σύμπλεξη της εμπρόσθιας κίνησης κ.λπ.). Τα ενσωματωμένα συστήματα ελέγχου των εφαρμογών αυτών, πρέπει να διακρίνονται για τη μεγάλη ακρίβεια και την υψηλή αξιοπιστία τους. Για να μελετήσουμε την αξιοπιστία ενός τέτοιου συστήματος, να αναγνωρίσουμε και να καταλάβουμε τις πιθανές βλάβες του, χρησιμοποιούμε τεχνικές όπως η εισαγωγή λάθους. Στην εργασία αυτή προτείνεται ένα σύστημα εισαγωγής λάθους για τον ρυθμιστή στροφών του κινητήρα. Δίνεται έμφαση σε τεχνικές SWIFI, οι οποίες μεταβάλλουν την κατάσταση του ενσωματωμένου λογισμικού, σαν να είχε πραγματικά προσβληθεί από κάποιο λάθος.

**Λέξεις κλειδιά:** Γεωργικός ελκυστήρας, ρυθμιστής στροφών κινητήρα, τεχνικές εισαγωγής λάθους, αξιοπιστία.

## **A FAULT INJECTION SYSTEM FOR THE CONTROLLER SOFTWARE OF AGRICULTURAL TRACTOR GOVERNORS**

**Ioannis Gravalos**

198, Iroon Polytechniou str. – 41221 Larissa

### **ABSTRACT**

Manufacturers of agricultural tractors make great efforts to implement “by wire” applications (e.g. automatic engagement of the front wheel drive etc.). The embedded control systems involved in such applications, must be characterized by high accuracy and reliability. In order to study the reliability of such control systems and to recognize and understand their possible failure modes, we can use various fault injection techniques. In this present work, we present a fault injection system for an engine speed controller. The system is based on a SWIFI technique, which changes the state of the embedded software, as it would have happened by a real fault.

**Key words:** Agricultural tractor, engine speed controller, fault injection techniques, reliability.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στους γεωργικούς ελκυστήρες έχουμε εκτεταμένη εφαρμογή ενσωματωμένων συστημάτων (ολοκληρωμένα τμήματα μεγαλύτερων συστημάτων), τα οποία ελέγχουν κρίσιμες λειτουργίες όπως για παράδειγμα τον αριθμό στροφών του κινητήρα.

Το ενσωματωμένο λογισμικό τους, πρέπει να διακρίνεται για τη μεγάλη ακρίβεια και την υψηλή αξιοπιστία. Η μη έγκαιρη ανακάλυψη λαθών είναι δυνατόν να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες.

Η εισαγωγή λάθους (fault injection) είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνά για να επιβεβαιωθεί εάν ένα σύστημα λογισμικού παρουσιάζει ανοχή σε λάθη [1].

Η αρχή βασίζεται στην εισαγωγή ενός τεχνητού λάθους στο ενσωματωμένο λογισμικό και στη συνέχεια παρατηρείται η συμπεριφορά του. Η παρουσία λάθους δεν είναι αρκετή για να προσβάλλει την αξιοπιστία ενός συστήματος. Το λάθος (fault) θα πρέπει να ενεργοποιηθεί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος αυτού [2].

Οι κυριότερες τεχνικές εισαγωγής λάθους που χρησιμοποιούνται είναι:

- Η εισαγωγή λάθους στο υλικό του συστήματος προορισμού (hardware fault injection). Είναι μία δημοφιλής προσέγγιση, επειδή ανταποκρίνεται περισσότερο προς ένα πραγματικό μοντέλο λάθους. Όμως για την υλοποίησή της απαιτείται ειδικός εξοπλισμός που αυξάνει σημαντικά το κόστος.

- Η εισαγωγή λάθους που υλοποιείται σε ένα μοντέλο εξομοίωσης του συστήματος προορισμού (fault injection by simulation). Προτείνεται για διερεύνηση της αξιοπιστίας μικρότερων συστημάτων.

- Οι τεχνικές SWIFI (software implemented fault injection). Μεταβάλλουν την κατάσταση υλικού/λογισμικού του συστήματος προορισμού χρησιμοποιώντας ειδικά προγράμματα, με αποτέλεσμα να συμπεριφέρεται σαν να συνέβη ένα πραγματικό λάθος υλικού.

Τα εργαλεία SWIFI είναι σχετικά χαμηλότερου κόστους, συγκριτικά με άλλα εργαλεία υλικού (hardware tools) και για το λόγο αυτό έτυχαν ευρείας αποδοχής. Κυριότερες τεχνικές είναι:

- FIAT: (Fault Injection-based Automated Testing environment), [3].

- FTAPE: (Fault Tolerance and Performance Evaluator), [4].

- FERRARI: (Fault and Error Automatic Real-Time Injection), [5].

- DOCTOR: (Integrated sOftware fault injeCTiOn enviRonment), [6].

- Xception, [7].

Στην εργασία αυτή, προτείνεται ένα σύστημα εισαγωγής λάθους για θέσεις της μνήμης και επιλεγμένους καταχωρητές στο ενσωματωμένο λογισμικό ελέγχου του ρυθμιστή στροφών του κινητήρα. Το σύστημα αυτό, αποτελεί μία γενικότερη εφαρμογή εισαγωγής λάθους για τα συστήματα ελέγχου των αυτοκινούμενων γεωργικών μηχανημάτων. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι: το χαμηλό κόστος, η ευκαμψία (υποστηρίζει διαφορετικούς τύπους λαθών) και η

γρήγορη προσπέλαση (μπορεί εύκολα να μετακινείται σε διευθύνσεις διαφορετικών συστημάτων προορισμού).

## 2. ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΣΤΡΟΦΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Στον γεωργικό ελκυστήρα, το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου των στροφών του κινητήρα εκτός του ρυθμιστή περιλαμβάνει έναν μαγνητικό λήπτη, ένα ποτενσιόμετρο που παρακολουθεί τη διαδρομή του ποδομοχλού τροφοδοσίας, ένα ψηφιακό χειριστήριο και έναν βηματικό κινητήρα (ο ρυθμιστής στροφών και το λογισμικό ελέγχου του ρυθμιστή αποτελούν δύο διαφορετικά συστήματα). Αναλυτική περιγραφή του συστήματος ελέγχου των στροφών του κινητήρα, γίνεται στις εργασίες [8], [9].

Ο ακριβής και σταθερός αριθμός στροφών του κινητήρα είναι αναγκαίος καθώς ο γεωργικός ελκυστήρας εργάζεται σε συνθήκες που χαρακτηρίζονται από μεγάλες διακυμάνσεις φορτίου. Στόχος του ρυθμιστή δύο όρων (PI) είναι η συνεχής ταύτιση των πραγματικών στροφών του κινητήρα με τις επιθυμητές στροφές, ανεξάρτητα από οποιοσδήποτε διαταραχές.

Η διαφορά ανάμεσα στις επιθυμητές  $y_{sp}$  και τις πραγματικές στροφές  $y$  είναι γνωστή ως σήμα σφάλματος  $e$  και δίνεται από τη σχέση :

$$e(t) = y_{sp}(t) - y(t) \quad (1)$$

Ο ολοκληρωτικός όρος  $w$  του ρυθμιστή (PI) χρησιμοποιείται για την εξάλειψη του μόνιμου σφάλματος  $e$  (πολλαπλασιάζοντάς το με το ολοκληρωτικό κέρδος  $k_i$ ) σύμφωνα με τη σχέση:

$$w(t) = w(t-1) + T k_i e(t) \quad (2)$$

όπου  $T$  είναι ο χρόνος δειγματοληψίας.

Επιπροσθέτως, ο αναλογικός όρος ενισχύει το σήμα σφάλματος  $e$  με το αναλογικό κέρδος  $k$  και η επιθυμητή γωνία ρύθμισης  $u$  είναι το άθροισμα αναλογικού και ολοκληρωτικού όρου, σύμφωνα με τη σχέση :

$$u(t) = ke(t) + w(t) \quad (3)$$

Επειδή το σήμα  $u(t)$  μπορεί να λάβει τιμές εκτός του διαστήματος ρύθμισης  $0.0^\circ - 70.0^\circ$ , μία συνάρτηση εξόδου διασφαλίζει ώστε το σήμα  $u'$  να κυμαίνεται πάντα εντός αυτού.

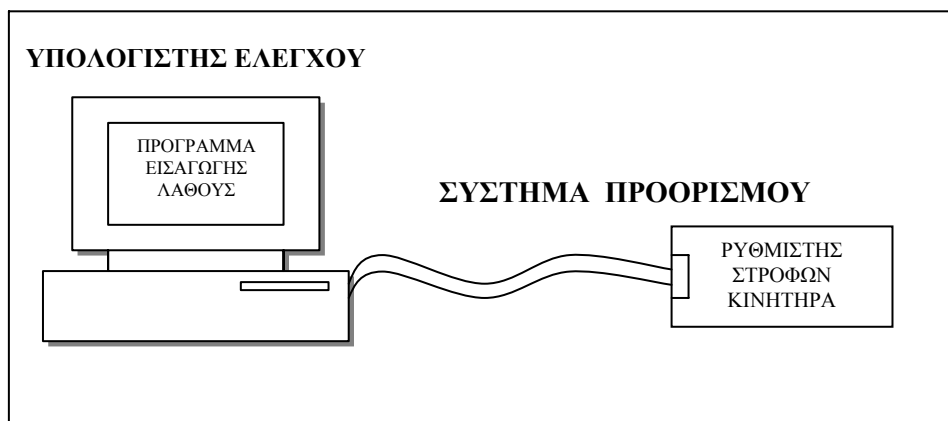
## 3. ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΛΑΘΟΥΣ

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 1, η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήσαμε, περιλαμβάνει ένα εργαλείο εισαγωγής λάθους εγκατεστημένο στον υπολογιστή και το λογισμικό ελέγχου του ρυθμιστή του κινητήρα στη θέση του συστήματος προορισμού.



Για την εκτέλεση των πειραμάτων, επιλέχθηκε η τελευταία έκδοση ενός εμπορικού εργαλείου εισαγωγής λάθους, που προσαρμόζεται εύκολα σε διαφορετικά συστήματα προορισμού και διαφορετικές τεχνικές. Είναι γραμμένο σε γλώσσα Java και χρησιμοποιεί μια βάση SQL για την αποθήκευση των δεδομένων.

Η χρήση του συστήματος είναι απλή και επιβεβαιώνεται από τη διαδικασία της εγκατάστασης και της ρύθμισης. Βασικά περιλαμβάνει τρεις φάσεις : τη φάση προετοιμασίας, τη φάση εισαγωγής και τη φάση ανάλυσης.



Σχήμα 1: Πειραματική διάταξη συστήματος εισαγωγής λάθους.

### 3.1 Φάση προετοιμασίας

Στη φάση της προετοιμασίας εμφανίζονται στη γραφική διασύνδεση του χρήστη (graphical user interface-GUI), οι παράμετροι του συστήματος προορισμού. Επίσης, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει από το αρχείο λαθών, που εμφανίζεται σε ένα παράθυρο, τις θέσεις και τον τύπο λάθους. Τα δεδομένα αυτά αποθηκεύονται σε μία βάση που αποκαλείται Campaign Data. Προβλέπεται η τροποποίηση ενός λάθους όταν : (α) το λάθος αποδεδειγμένα δεν επηρεάζει τη συμπεριφορά του συστήματος προορισμού και (β) ένα λάθος είναι ισοδύναμο ενός άλλου.

### 3.2 Φάση εισαγωγής

Πρόκειται για τη σημαντικότερη φάση της όλης διαδικασίας εισαγωγής λάθους.

Αρχικά ο αλγόριθμος (fault injection algorithm) διαβάζει το περιεχόμενο της βάσης δεδομένων (Campaign Data). Στη συνέχεια προκαλεί την εκτέλεση του προγράμματος αρχικοποίησης (initialization) στο σύστημα προορισμού, με στόχο να διασφαλιστεί ένα περιβάλλον χωρίς λάθη. Η εκτέλεση χωρίς λάθη (reference execution) του λογισμικού, υποφορτώνεται στη βάση δεδομένων (Logged System State). Κατόπιν, ο αλγόριθμος αναζητά τα ανοικτά σημεία του υποφορτωμένου κώδικα, στον οποίο πρόκειται να εισάγει το περιεχόμενο της

βάσης Campaign Data. Μετά την εισαγωγή λάθους, η εκτέλεση του λογισμικού στο σύστημα προορισμού αρχίζει από το σημείο που είχε σταματήσει και συνεχίζεται μέχρι έως ότου ολοκληρωθεί. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στη βάση Logged System State. Πριν την έναρξη του επόμενου κύκλου εισαγωγής, έχουμε επανεκκίνηση του συστήματος προορισμού.

Κατά τη διάρκεια της εισαγωγής λάθους, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί στην οθόνη του υπολογιστή την εξέλιξη του πειράματος. Πληροφορείται τον αριθμό λαθών που έχουν εισαχθεί και μπορεί να διακόψει, επανεκκινήσει ή να τελειώσει τη διαδικασία.

### 3.3 Φάση ανάλυσης

Κατά τη φάση αυτή, αναλύονται τα δεδομένα που αποθηκεύτηκαν στη βάση Logged System State, με σκοπό να επιτευχθεί η ταξινόμηση των βλαβών σε κατηγορίες και να διαμορφωθούν διάφορα κριτήρια αξιοπιστίας για το σύστημα προορισμού που μελετάται.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Για τη πειραματική επαλήθευση της αποτελεσματικότητας του προτεινόμενου συστήματος εισαγωγής λάθους, επιλέχθηκε για σύστημα προορισμού ο ρυθμιστής στροφών του κινητήρα του γεωργικού ελκυστήρα Lamborghini Formula 135 VDT. Ο ρυθμιστής στροφών τύπου REG 2MFA, κατασκευάστηκε από την S.M.E. s.r.l. Arzignano (VI) Italy. Ο συγκεκριμένος ρυθμιστής έχει ενσωματωμένο τον μικροεπεξεργαστή TN 80C198-16 της Intel. Πρόκειται για έναν μικροεπεξεργαστή τεχνολογίας CMOS των 16 bit στα 16 MHz.

Για να εγκατασταθεί το λογισμικό του συστήματος εισαγωγής λάθους, επιλέχθηκε υπολογιστής (host computer) ένα PC με επεξεργαστή Pentium 4/1,9 GHz και λειτουργικό MS Win. 2000.

Οι βλάβες που επηρεάζουν την έξοδο του ρυθμιστή διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- μόνιμες (permanent): η έξοδος του ρυθμιστή λαμβάνει τη μέγιστη τιμή (70.0 °) ή την ελάχιστη (0.0 °) από τη στιγμή εμφάνισης της βλάβης έως την ολοκλήρωση του χρόνου παρατήρησης.
- Ημιμόνιμες (semipermanent): η έξοδος του ρυθμιστή διαφοροποιείται έντονα κατά τη διάρκεια περισσοτέρων από μίας εκτελέσεων και επανέρχεται στην κατάσταση χωρίς λάθος έγκαιρα και εντός του χρόνου παρατήρησης.
- παροδικές (transient): η έξοδος του ρυθμιστή διαφοροποιείται έντονα κατά τη διάρκεια μίας εκτέλεσης και αμέσως επανέρχεται στην κατάσταση χωρίς λάθος. Οι βλάβες αυτές έχουν ελάχιστη επίδραση στην ελεγχόμενη διαδικασία.

Η εισαγωγή λαθών στην CPU αφορά τους καταχωρητές γενικής χρήσης, τον μετρητή προγράμματος και τον δείκτη σωρού. Τα λάθη στους ανωτέρω καταχωρητές έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες διάδοσης. Η εισαγωγή λαθών στη μνήμη έγινε απευθείας σε επιλεγμένες θέσεις, τροποποιώντας το περιεχόμενο

τους. Τα λάθη που χρησιμοποιήθηκαν για τους καταχωρητές και τη μνήμη ήταν απλά bit-flips.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των πειραμάτων εισαγωγής 2.437 λαθών.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα των πειραμάτων εισαγωγής λάθους.

| Τμήματα της CPU   | Μνήμη (2005) |      | Καταχωρητές (432) |      |
|-------------------|--------------|------|-------------------|------|
| Κατηγορίες βλαβών | %            | Λάθη | %                 | Λάθη |
| Μόνιμες           | 0.05         | 1    | 0.46              | 2    |
| Ημιμόνιμες        | 0.10         | 2    | 0.46              | 2    |
| Παροδικές         | 25.59        | 513  | 4.40              | 19   |
| Χωρίς λάθος       | 74.26        | 1489 | 94.68             | 409  |
| Σύνολο            | 100          | 2005 | 100               | 432  |

Οι δύο στήλες του πίνακα δίνουν τα αποτελέσματα χωριστά για λάθη που εισήχθησαν στα δεδομένα της μνήμης και στους καταχωρητές της CPU. Παρουσιάζεται το ποσοστό για κάθε κατηγορία βλάβης καθώς και ο αριθμός των λαθών.

Από τα αποτελέσματα γίνεται φανερό ότι μόνο το 0,28% του συνόλου των λαθών εισαγωγής είχαν σοβαρή επίδραση στο σημείο εξόδου του ρυθμιστή. Αντιθέτως, το 99,72% των λαθών είχε ελάχιστη έως καμία επίδραση στη λειτουργία του. Επίσης προκύπτει ότι σοβαρές βλάβες προκλήθηκαν περισσότερο από την εισαγωγή bit-flips στους καταχωρητές της CPU.

Ενας τρόπος για να αποφύγουμε τα αποτελέσματα των bit-flips είναι η χρήση εκτελούμενων βεβαιώσεων (executable assertions) στο λογισμικό ελέγχου του ρυθμιστή στροφών.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η εισαγωγή bit-flips στους καταχωρητές της CPU κατά την εκτέλεση του λογισμικού ελέγχου του ρυθμιστή, μπορεί να προκαλέσει μόνιμες βλάβες.
2. Σοβαρή επίδραση στην έξοδο του ρυθμιστή είχε μόνο το 0,28% του συνόλου των λαθών που εισήχθησαν.
3. Αντιθέτως, το 99,72% των εισαχθέντων λαθών είχε ελάχιστη έως καμία επίδραση στη λειτουργία του ρυθμιστή.
4. Το προτεινόμενο σύστημα εισαγωγής λάθους δεν απαιτεί ιδιαίτερο εξοπλισμό, υποστηρίζει διαφορετικούς τύπους λαθών και είναι σχετικά χαμηλού κόστους.
5. Η τεχνική εισαγωγής λάθους στο λογισμικό ελέγχου παρέχει τη δυνατότητα διερεύνησης της αξιοπιστίας σε πολλές εφαρμογές των μικροελεγκτών (όπως αυτές των αυτοκινούμενων γεωργικών μηχανημάτων).

## 6 . ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Lai, M.Y., Wang, S.Y., 1995. *Software fault tolerance*. John Wiley & Sons Ltd.
2. Arlat, J., Aguera, M., Amat, L., Crouzet, Y., Fabre, J. C., Laprie, J. C., Martins, E., Powell, D., 1990. Fault injection for dependability validation: A methodology and some applications. *IEEE Trans. On Software Eng.*, 16, (2), 166-182.
3. Segall, Z., Vrsalovic, D., Siewiorek, D., Yaskin, D., Kownacki, J., Barton, J., Rance Y.D., Robin, A., Lin, T., 1998. FIAT: Fault injection based automated testing environment. *Proc. 18<sup>th</sup> Int. Symp. on FT Computing (FTCS-18)* 102-107.
4. Tsai, T.K., Lyer, R.K., 1993. An approach to benchmarking of fault-tolerant commercial system. *Proc. 26<sup>th</sup> Ann. Int. symp. FT Computing. IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif.*, 314-323.
5. Kanawati, G.A., Kanawati, N.A., Abraham, J.A., 1992. FERRARI: A tool for the validation of system dependability properties. *Proc. 22<sup>nd</sup> Ann. Int. Symp. FT Computing. IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif.*, 336-344.
6. Han, S., Shin, K.G., Rosenberg, H.A., 1995. Doctor: integrated software fault injection environment for distributed real-time systems. *Proc. 2<sup>nd</sup> Ann. IEEE Int. Comp. Perf. and Dep. Symp.*, Los Alamitos, Calif., 204-213.
7. Carreira, J., Madeira, H., Silva, J., 1998. Xception: A technique for the experimental evaluation of dependability in modern computers. *IEEE Trans. On Software Eng.*, 24, 125-136.
8. Smith, L.A., 1989. Precise control of tractor engine speed. *Transactions of the ASAE*, 32, (2), 385-389.
9. Gravalos, I., 1990. *Navrh mericich a ridicich systemu v zemedelstvi*. Pisemna prace k odborne Kandidatske Zkousce. VSZ v Praze 3-27.

## **ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΑΝΤΛΗΤΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ**

**M. Predescu<sup>1</sup>, A. Craciunescu<sup>2</sup>, Λ. Καλλιβρούσης<sup>3</sup>, Γ. Παπαδάκης<sup>3,\*</sup>**

<sup>1</sup>ICPE-NESL (Institute for Electrical Engineering), Bucharest

<sup>2</sup>Technical University of Bucharest, Dept. of Electrical Engineering

<sup>3</sup>Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, \*e-mail: [gmap@aua.gr](mailto:gmap@aua.gr)

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Ένα φωτοβολταϊκό αντλητικό σύστημα νέου τύπου σχεδιάστηκε και δοκιμάστηκε πειραματικά. Το σύστημα περιλαμβάνει μια μονοβάθμια φυγόκεντρη αντλία που κινείται από ένα καινοτόμο μονοφασικό κινητήρα εναλλασσομένου ρεύματος (400 W, 50 Hz). Η απαιτούμενη τάση ac παρέχεται στον κινητήρα από ένα νέο αναστροφέα dc-ac, (24 V dc – 220 V ac, 50 Hz). Ο αναστροφέας σχεδιάστηκε ώστε να τροφοδοτεί απ' ευθείας τον κινητήρα και να αποφευχθεί η χρήση συσσωρευτών. Τα νέα χαρακτηριστικά του κινητήρα αναφέρονται στην εκκίνησή του με χαμηλά ρεύματα δηλ. σε χαμηλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας. Το σύστημα δοκιμάστηκε με μια φωτοβολταϊκή συστοιχία ισχύος αιχμής 680 W. Τα πειραματικά αποτελέσματα ήταν πολύ ικανοποιητικά.

**Λέξεις κλειδιά:** φωτοβολταϊκά, άντληση νερού, υψηλή απόδοση

## **DESIGN AND TESTING OF A PHOTOVOLTAIC WATER PUMPING SYSTEM EQUIPPED WITH A LOW STARTING CURRENT INDUCTION MOTOR AND A DEDICATED DC-AC INVERTER**

**M. Predescu<sup>1</sup>, A. Craciunescu<sup>2</sup>, L. Kallivroussis<sup>3</sup>, G. Papadakis<sup>3,\*</sup>**

<sup>1</sup>ICPE-NESL, Bucharest

<sup>2</sup>Technical University of Bucharest, Dept. of Electrical Engineering

<sup>3</sup>Agricultural University of Athens, \*e-mail: [gmap@aua.gr](mailto:gmap@aua.gr)

### **ABSTRACT**

A photovoltaic water pumping system of new type was designed and tested experimentally. The system comprises of a centrifugal pump powered by an innovative single phase induction motor (400 W nominal power, 50 Hz). The required ac voltage for the motor is directly provided by a new type dc-ac inverter, (24 V dc - 220 V ac, 50 Hz) without using any batteries. The motor has innovative characteristics which allow it to start easily at low currents, i.e. at low solar radiation levels. The system was tested with a photovoltaic array of peak power of 680 Wp. The results were very satisfactory.

**Keywords:** photovoltaics, water pumping, high efficiency

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε πολλές απομακρυσμένες περιοχές στον κόσμο υπάρχει ανάγκη για άντληση νερού, ιδιαίτερα σε περιοχές μακριά από το ηλεκτρικό δίκτυο. Τα φωτοβολταϊκά αντλητικά συστήματα προσφέρουν μια καλή λύση στο πρόβλημα αυτό καθώς εκμεταλλεύονται μια πηγή ενέργειας ελεύθερη κόστους ενώ το κόστος αγοράς τους μειώνεται συνεχώς. Δύο βασικοί τύποι τέτοιων συστημάτων υπάρχουν σήμερα στο εμπόριο. Ο πρώτος τύπος χρησιμοποιεί κινητήρα συνεχούς ρεύματος που τροφοδοτείται απ' ευθείας από τα φωτοβολταϊκά μέσω ενδεχομένως ενδιάμεσης συσκευής οδήγησης των φωτοβολταϊκών στο σημείο αιχμής. Ο δεύτερος τύπος χρησιμοποιεί ασύγχρονους κινητήρες ac που τροφοδοτούνται από αναστροφέα dc-ac μέσω συσσωρευτών. Και οι δύο τύποι συστημάτων έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

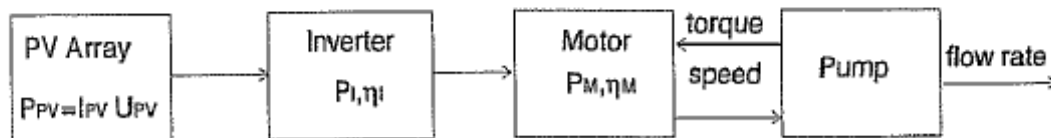
Οι κινητήρες dc χρειάζονται υψηλό ρεύμα εκκίνησης ώστε για να ξεκινά η άντληση σε χαμηλές τιμές έντασης ηλιακής ακτινοβολίας να επιβάλλεται η χρήση ενδιάμεσης συσκευής οδήγησης των φωτοβολταϊκών στο σημείο αιχμής και ακόμα καλύτερα, ειδική συσκευής εκκίνησης κινητήρων dc. Όμως οι συσκευές αυτές αυξάνουν το κόστος άντλησης. Επίσης οι κινητήρες dc έχουν υψηλό κόστος συντήρησης και δεν μπορούν να τοποθετηθούν μακριά από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία. Τα συστήματα που βασίζονται στο εναλλασσόμενο ρεύμα και έχουν αναστροφείς dc-ac και συσσωρευτές είναι συστήματα υψηλού κόστους και προορίζονται για άντληση μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού ανά ημέρα σε σχέση με τα προηγούμενα.

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να αναπτυχθεί ένα νέο φωτοβολταϊκό αντλητικό σύστημα με ένα νέο κινητήρα ac που δεν απαιτεί υψηλό ρεύμα εκκίνησης και να τροφοδοτείται από ένα νέο ειδικό αναστροφέα dc-ac που να τροφοδοτεί τον κινητήρα ac χωρίς συσσωρευτές. Ο τύπος του κινητήρα υπόκειται σε Ρουμάνικη ευρεσιτεχνία, ενώ ο αναστροφέας dc-ac σχεδιάστηκε ειδικά για τον νέο κινητήρα. Ο σχεδιασμός του αντλητικού συστήματος έγινε για ισχύ αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας στην περιοχή μεταξύ 500 και 700 Wp. Τα αποτελέσματα των δοκιμών ενός τέτοιου συστήματος παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία.

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### 2.1. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία

Το σύστημα αποτελείται από μια φωτοβολταϊκή συστοιχία, ένα αναστροφέα, ένα κινητήρα και μια μονοβάθμια φυγόκεντρη αντλία. Ο κινητήρας και η αντλία σχηματίζουν μια εμβαπτιζόμενη συμπαγή κυλινδρική συσκευή διαμέτρου 10 cm και ύψους κυλίνδρου 40 cm που μπορεί να τοποθετηθεί σε απόσταση από τον αναστροφέα ο οποίος πρέπει να είναι τοποθετημένος κοντά στην συστοιχία των φωτοβολταϊκών για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ισχύος. Το σχηματικό διάγραμμα του συστήματος φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικ. 1. Σχηματικό διάγραμμα του φωτοβολταϊκού αντλητικού συστήματος

Τα χαρακτηριστικά του συστήματος φαίνονται συνοπτικά παρακάτω:

- Φωτοβολταϊκή συστοιχία 680 W<sub>p</sub>
- Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο 30°
- Φορτίο (κινητήρας – αντλία) 350 W
- Dc-ac αναστροφέας 500 VA στα 50 Hz
- Τάση εισόδου στον αναστροφέα 24 V dc

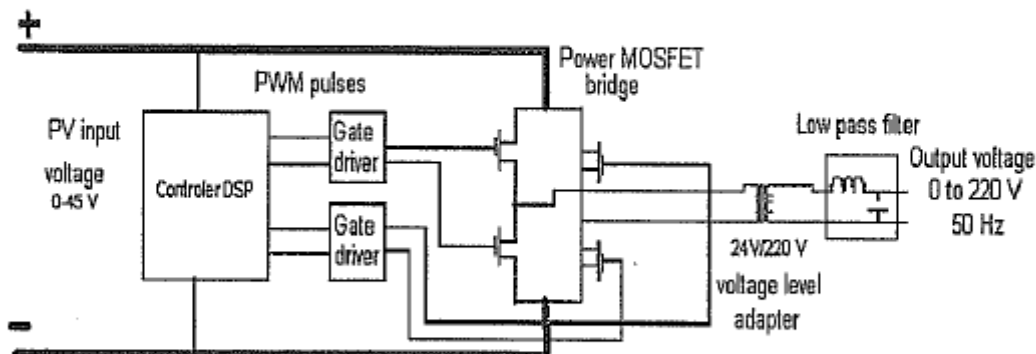
Η φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελείται από 14 πάνελα HOXAN H-4810, 48.6 W<sub>p</sub> το κάθε ένα. Δύο πάνελα συνδέονται σε σειρά για να σχηματίσουν ονομαστική τάση 24 V dc σε επτά σειρές για να δώσουν ισχύ αιχμής 680 W<sub>p</sub>, ρεύμα στο σημείο αιχμής 21 A και τάση στο σημείο αιχμής 31.4 V dc. Τα χαρακτηριστικά των πινέλων φαίνονται στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πινέλων**

| Παράμετρος               | Μονάδες | Τιμή      |
|--------------------------|---------|-----------|
| Διαστάσεις κυψελών       | mm      | 100 x 100 |
| Ισχύς αιχμής             | W       | 48.6      |
| Τάση ανοικτού κυκλώματος | V       | 21.3      |
| Ρεύμα βραχυκύκλωσης      | A       | 3.3       |
| Τάση σημείου αιχμής      | V       | 16.2      |
| Ρεύμα σημείου αιχμής     | A       | 3.0       |

## 2.2. Ο αναστροφέας

Η αρχιτεκτονική του αναστροφέα βασίζεται σε ένα ψηφιακό ελεγκτή DSP (Εικ. 2) που προσφέρει πολλές δυνατότητες για PWM παραγωγή για να συντεθεί ημιτονοειδής κυματομορφή. Εκτός από το DSP υπάρχει μια γέφυρα MOSFET, δύο οδηγοί παλμών ενώ στην έξοδο υπάρχει ένας οδηγός τάσης, ένας μετασχηματιστής και ένα φίλτρο. Ο αναστροφέας σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο ICPE-NESL, Bucharest.



*Εικ. 2. Σχηματικό διάγραμμα του αναστροφέα*

Η τάση εισόδου στον αναστροφέα μπορεί να είναι μέχρι 45 V dc ενώ η έξοδος είναι πλήρης κυματομορφή 220 V ac. Περισσότερες λεπτομέρειες για τον αναστροφέα δίνονται στην [1].

### 2.3. Ο κινητήρας

Ο κινητήρας είναι μονοφασικός και συνδυάζει ένα ασύγχρονο κινητήρα και ένα κινητήρα αντίδρασης χωρίς ψύκτρες. Σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο Πανεπιστήμιο "Politehnica", Bucharest. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται παρακάτω:

- Ονομαστική ισχύς (μέγιστη) 400 W
- Ονομαστική ταχύτητα περιστροφής 1500 rpm
- Ονομαστική τάση 220 V, 50 Hz

Ο κινητήρας είναι υβριδικού τύπου και συνδυάζει χαρακτηριστικά ασύγχρονου κινητήρα και κινητήρα αντίδρασης. Το κύκλωμα του στάτη χωρίζεται σε δύο στρώσεις όπου είναι τοποθετημένα ορθογωνικά τυλίγματα ενώ το κύκλωμα του δρομέα έχει βραχυκυκλωμένα τυλίγματα. Ο κινητήρας έχει το καινοτόμο χαρακτηριστικό να μην απαιτεί υψηλό ρεύμα εκκίνησης. Περισσότερες λεπτομέρειες για τον κινητήρα δίνονται στην [1].

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

Το πρωτότυπο φωτοβολταϊκό αντλητικό σύστημα εγκαταστάθηκε και δοκιμάστηκε στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλοι αισθητήρες και ένα αυτόματο ψηφιακό σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούσαν:

- Ένταση ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας
- Θερμοκρασία φωτοβολταϊκών πανέλων
- Ρεύμα και τάση στην είσοδο στον αναστροφέα dc-ac
- Άεργη ισχύς στον κινητήρα
- Ac τάση και ac ρεύμα στον κινητήρα
- Μανομετρικό ύψος στην αντλία
- Παροχή νερού στην αντλία

Τα δεδομένα συλλεγόντουσαν κάθε 10 s και οι μέσες τιμές τους καταγράφονταν κάθε 1 min. Στη συνέχεια τα δεδομένα επεξεργάστηκαν για να ευρεθεί η συμπεριφορά του συστήματος σε διάφορα επίπεδα έντασης ηλιακής ακτινοβολίας όσο αφορά στην ολική αντλούμενη ημερήσια ποσότητα νερού και ολική αποδοτικότητα.

Η μέγιστη ισχύς της φωτοβολταϊκής συστοιχίας  $P_a$  [W] σε μια ένταση ηλιακής ακτινοβολίας  $H_1$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] και θερμοκρασία κυψελών  $T_1$  [ $^{\circ}\text{C}$ ], μπορεί να προσεγγιστεί από την παρακάτω Εξ. (1):

$$P_a = N P_{mo} [1 - \beta (T_1 - T_0)] H_1 / H_0 \quad (1)$$

Όπου:

- $P_{mo}$  είναι η μέση μέγιστη ισχύς ενός πανέλου σε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας αναφοράς,  $H_0$ , [ $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ ] και θερμοκρασία αναφοράς κυψέλης  $T_0$ , [ $25^{\circ}\text{C}$ ]
- $\beta$  είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας του πανέλου, [ $0.35 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ ]
- $N$  ο ολικός αριθμός πανέλων της συστοιχίας.



Η φαινόμενη ισχύς  $S_T$  στον κινητήρα υπολογίστηκε από την Εξ. (2):

$$S_T = V_T I_T \quad (2)$$

Όπου,  $V_T$  είναι η τάση ac και  $I_T$  είναι το ρεύμα ac, και τα δύο αυτά μεγέθη μετρούμενα στην είσοδο του κινητήρα.

Η φαινόμενη ισχύς δίδεται από την Εξ. (3):

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} \quad (3)$$

Όπου,  $P_T$  είναι η ενεργός ισχύς και  $Q_T$  είναι η άεργη ισχύς.

Η Εξ. (3) χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστεί η ενεργός ισχύς στον κινητήρα. Ο συντελεστής ισχύος  $p_f$  δίνεται από την Εξ. (4):

$$p_f = \frac{P_T}{S_T} \quad (4)$$

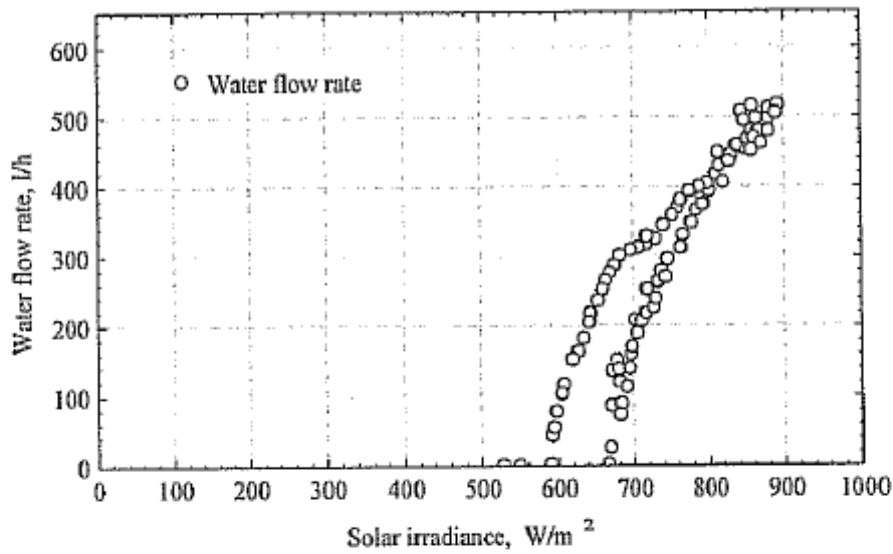
Ο Πίνακας 2 και οι Εικόνες 3 έως 7 δείχνουν τα αποτελέσματα των δοκιμών.

**Πίνακας 2. Συνοπτικά αποτελέσματα για μια καλοκαιρινή ημέρα (16 Ιουνίου)**

| Φυσικό Μέγεθος                        | Μονάδες             | Τιμή |
|---------------------------------------|---------------------|------|
| Ηλιακή ενέργεια                       | Wh/d m <sup>2</sup> | 7058 |
| Ενέργεια από φωτοβολταϊκή συστοιχία   | Wh/d                | 2609 |
| Ενέργεια προς κινητήρα-αντλία         | Wh/d                | 1942 |
| Όγκος αντλούμενου νερού               | l/d                 | 2376 |
| Ενέργεια από συστοιχία ανά kWp        | kWh/d.kWp           | 3.9  |
| Μέση απόδοση φωτοβολταϊκής συστοιχίας | %                   | 6.6  |
| Μέση απόδοση αναστροφέα               | %                   | 74   |
| Μέσος συντελεστής ισχύος              | %                   | 68   |
| Απόδοση κινητήρα-αντλίας              | %                   | 32   |
| Συνολική απόδοση συστήματος           | %                   | 1.6  |

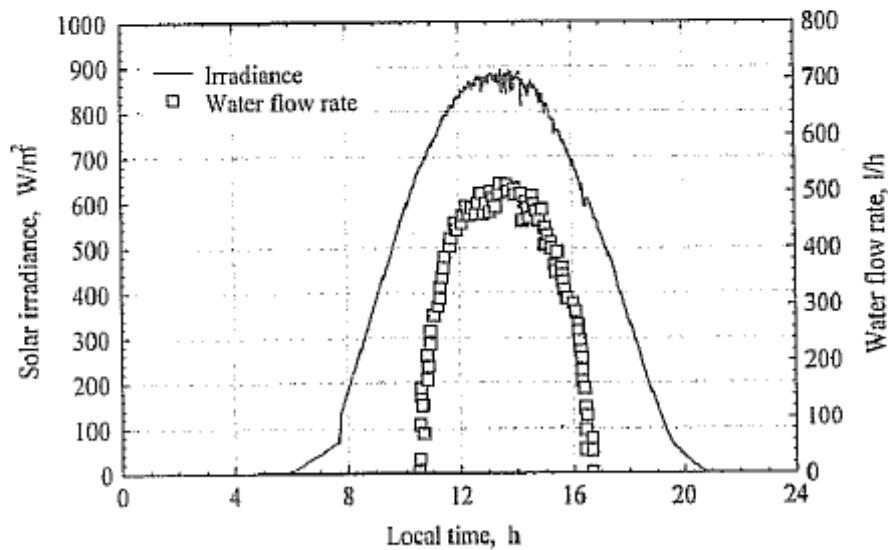
Η σχετικά χαμηλή μέση αποδοτικότητα εξηγείται από το γεγονός ότι η λειτουργία της αντλίας παρουσίαζε υψηλές τριβές το οποίο γεγονός είχε επίσης ως αποτέλεσμα να μην εκκινεί σε χαμηλές εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας.

Η Εικ. 3 δείχνει τη σχέση μεταξύ έντασης ηλιακής ακτινοβολίας και παροχής της αντλίας. Στην Εικ. 3, φαίνεται καθαρά ότι η άντληση ξεκινάει όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας υπερβεί την τιμή των 650 W/m<sup>2</sup> και σταματάει όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας πέσει κάτω από την τιμή των 580 W/m<sup>2</sup>. Η παροχή νερού αυξάνεται προοδευτικά από 25 l/h μέχρι 510 l/h ως συνάρτηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας.



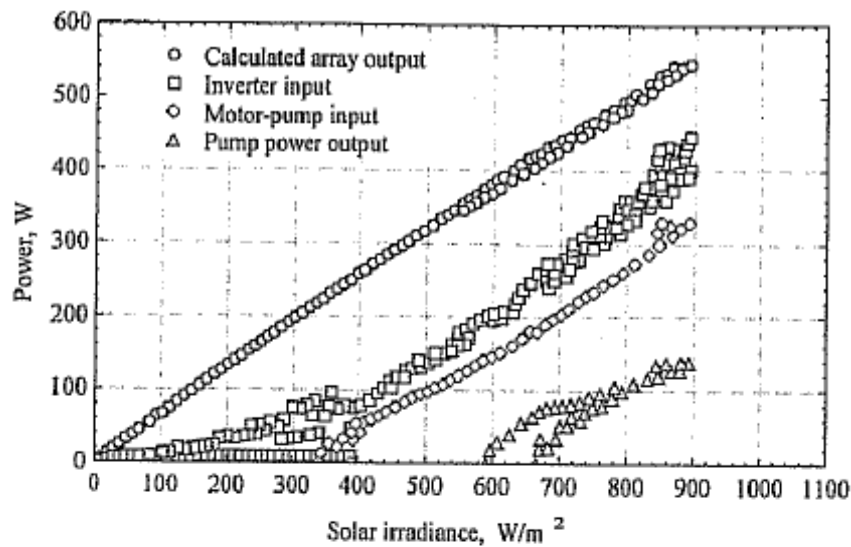
Εικόνα 3. Παροχή νερού ως συνάρτηση της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας

Η μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της αντλούμενης ποσότητας νερού στη διάρκεια της ημέρας φαίνεται στην Εικ. 4, όπου φαίνεται καθαρά ότι η αντλούμενη ποσότητα του νερού ακολουθεί την μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας.



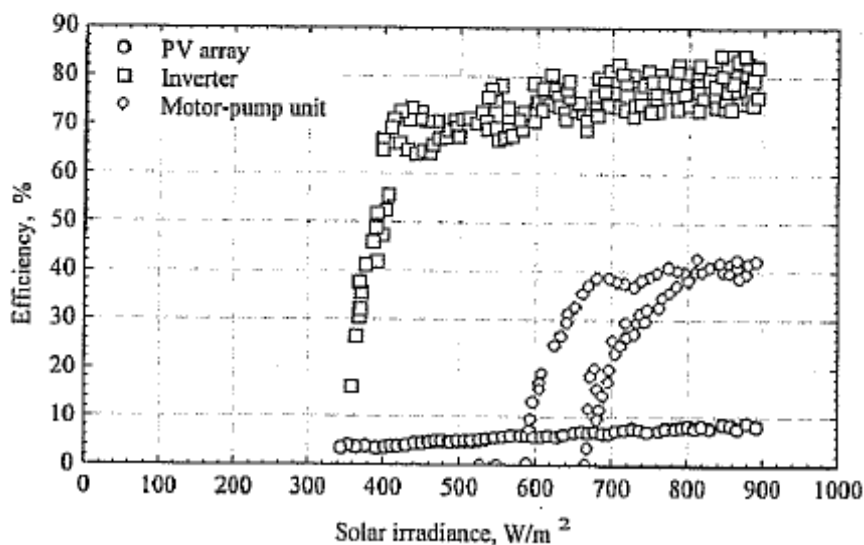
Εικ. 4. Μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της αντλούμενης ποσότητας νερού στη διάρκεια της ημέρας

Η μέγιστη υπολογισμένη ισχύς της συστοιχίας (Εξ. 1), η ισχύς (dc) που εισέρχεται στον αναστροφέα, η ενεργός ισχύς στον κινητήρα και η αποδιδόμενη ισχύς από την αντλία φαίνονται στην Εικ. 5.

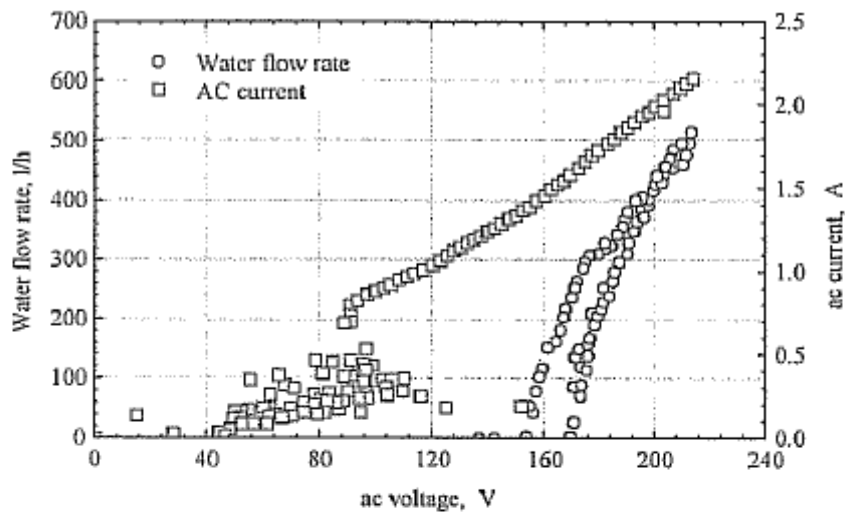


Εικ. 5. Υπολογισμένη μέγιστη ισχύς συστοιχίας, ισχύς στον αναστροφέα, ενεργός ισχύς στον κινητήρα και αποδιδόμενη ισχύς αντλίας ως συνάρτηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας

Φαίνεται καθαρά στην Εικ. 5 ότι όσο αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία τόσο αυξάνεται η εισερχόμενη ισχύς στον αναστροφέα όσο και στον κινητήρα. Επίσης φαίνεται στην Εικ. 5 ότι η αντλία ξεκινά να αντλεί νερό όταν η ενεργός ισχύς ξεπεράσει περίπου την τιμή των 180 W. Η υπολογισμένη απόδοση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας (Εξ. 1), φαίνεται στην Εικ. 6.



Εικ. 6. Αποδόσεις φωτοβολταϊκής συστοιχίας, αναστροφέα και κινητήρα-αντλίας



Εικ. 7. Παροχή νερού και ρεύματος ac ως συνάρτηση της τάσης ac

Τέλος στην Εικ. 7, φαίνεται η μεταβολή της παροχής και του ρεύματος ac του κινητήρα ως συνάρτηση της τάσης ac. Στην Εικ. 7 φαίνεται καθαρά ότι ο κινητήρας εκκινεί ομαλά χωρίς να απαιτεί υψηλό ρεύμα εκκίνησης.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι δοκιμές απέδειξαν ότι ο τύπος του φωτοβολταϊκού αντλητικού συστήματος που αναπτύχθηκε μπορεί να αποτελέσει μια καλή εναλλακτική λύση στα συστήματα που υπάρχουν σήμερα στο εμπόριο. Όμως το σύστημα χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση ώστε να αυξηθεί η συνολική του απόδοση.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Project ICOP-DEMO-2154-96 Final Report: Development of a water pumping system for remote areas.

## **ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΤΟ ΒΑΜΒΑΚΙ: ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΗΛ. ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ**

**Α. Μαρκινός<sup>1</sup>, Θ. Γέμτος<sup>1</sup>,  
Λ. Τούλιος<sup>2</sup>, Δ. Πατέρας<sup>2</sup>, Γ. Ζέρβα<sup>2</sup> και Μ. Παπαοικονόμου<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>: Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Παν. Θεσσαλίας, e-mail: gemtos@agr.uth.gr,

<sup>2</sup>: ΕΘΙΑΓΕ / ΙΧΤΕΛ, Θεοφράστου 1, Λάρισα, e-mail: nagref@lar.forthnet.gr,

<sup>3</sup>: Παπαοικονόμου Αγροχημικά ΑΒΕΕ, e-mail: m.papaeconomou@pap-agro.gr

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η μελέτη των χαρτών παραγωγής βαμβακιού επί δύο χρόνια στην Ελλάδα έδειξε μεγάλη μεταβλητότητα της παραγωγής μέσα στο ίδιο χωράφι. Ακόμη και σε αγροτεμάχια μικρής έκτασης, ζώνες διαφορετικής παραγωγής είναι εμφανείς. Οι συστηματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή αφορούν τη δομή και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, που καθορίζουν άμεσα την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε κάθε σημείο του χωραφιού. Στην παρούσα εργασία συσχετίζονται οι χάρτες της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της παραγωγής με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων που θα βοηθήσουν στη λεπτομερέστερη διαχείριση των χωραφιών.

**Λέξεις κλειδιά:** Γεωργία Ακριβείας, βαμβάκι, αγωγιμότητα, παραγωγή, χαρτογράφηση

## **PRECISION FARMING IN COTTON: CORRELATING YIELD AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY MAPS**

**A. Markinos<sup>1</sup>, T. Gemtos<sup>1</sup>,  
L. Toullos<sup>2</sup>, D. Pateras<sup>2</sup>, G. Zerva<sup>2</sup> and M. Papaeconomou<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>: Agricultural Machinery Laboratory, Univ. of Thessaly, e-mail: gemtos@agr.uth.gr,

<sup>2</sup>: NAGREF / ISM, Theofrastou 1, Larissa 41335, e-mail: nagref@lar.forthnet.gr,

<sup>3</sup>: Papaeconomou Agrochemicals SA, e-mail: m.papaeconomou@pap-agro.gr

### **ABSTRACT**

A two years study on cotton yield maps in Greece showed serious infield variability. Even in small area fields there were distinctive zones of equal yield. Yield affected straightforward by systematic factors relative to the soil structure, physical and chemical properties, which specifying the electrical conductivity value at every field point. The present study correlates the yield with electrical conductivity maps and trying to find out ways to guide a more precise management of cotton fields.

**Keywords:** Precision Agriculture, cotton, mapping, electrical conductivity, yield, GIS

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρόοδος που συντελείται τα τελευταία χρόνια στους κλάδους της ηλεκτρονικής και των υπολογιστών, δεν θα μπορούσε να μην επηρεάσει παραδοσιακούς τομείς της οικονομίας όπως αυτόν της γεωργίας. Μια νέα τάση που φαίνεται να κερδίζει συνεχώς έδαφος είναι η Γεωργία Ακριβείας. Πρόκειται για μια ιδέα που στην πραγματικότητα δεν είναι καινούργια. Από παλιά, η μεταβλητότητα των παραμέτρων του εδάφους και της καλλιέργειας είχε ωθήσει πολλούς γεωργούς να ακολουθούν διαφορετικές καλλιεργητικές φροντίδες σε χωριστές περιοχές του κάθε χωραφιού με σκοπό τη βέλτιστη διαχείριση. Βέβαια, αυτό γινόταν σχετικά εύκολα λόγω του μικρού μεγέθους των εκμεταλλεύσεων και της μορφής των εργασιών που ήταν ως επί το πλείστον χειρονακτικές. Με την μεγέθυνση των εκμεταλλεύσεων και την εντατική εκμηχάνιση είναι πλέον πολύ δυσκολότερη η διαχείριση της μεταβλητότητας των παραμέτρων μέσα στο ίδιο χωράφι χωρίς τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών [1].

Η γεωργία ακριβείας προτάσσει ένα νέο τρόπο διαχείρισης των αγροκτημάτων εκμεταλλευόμενη την πρόοδο στους τομείς των αισθητήρων, των συστημάτων γεωγραφικού εντοπισμού θέσης και διαχείρισης πληροφοριών, τις τηλεπικοινωνίες και των φορητών υπολογιστικών συστημάτων, ώστε να αποτυπώσει όσο το δυνατόν καλύτερα τη μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών του εδάφους και της καλλιέργειας τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Απώτερος στόχος της γεωργίας ακριβείας είναι να προσαρμόσει όλες τις καλλιεργητικές φροντίδες και αποφάσεις στην κλίμακα αυτής της μεταβλητότητας. [2, 3].

Σήμερα, η τεχνολογία έχει φτάσει σε ικανοποιητικό σημείο ώστε να μας προσφέρει τη δυνατότητα μέτρησης ενός μεγάλου πλήθους παραμέτρων. Η έρευνα αυτή τη στιγμή έχει εστιαστεί περισσότερο στο συνδυασμό όλων αυτών των παραμέτρων χωρικά και χρονικά και πως όλα αυτά θα καταλήξουν σε εφαρμόσιμες αποφάσεις, και θα αποφέρουν κέρδος στον παραγωγό πέρα από την προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων [4, 5].

Όσο μεγαλύτερη είναι η μεταβλητότητα της παραγωγής σ' ένα χωράφι, τόσο πιο επιτυχής κρίνεται μια διαχείριση με βάση τους κανόνες της γεωργίας ακριβείας. Αντίθετα, σ' ένα τελείως ομοιόμορφο χωράφι από πλευράς παραγωγής και εδαφολογικών παραμέτρων μια τέτοια διαχείριση κρίνεται αναποτελεσματική. Επομένως, βασικό κριτήριο για την εφαρμογή αυτής της ακριβέστερης διαχείρισης είναι η μεταβλητότητα της παραγωγής και ο τρόπος που αυτή κατανέμεται στην έκταση του κάθε χωραφιού σε μια ακολουθία ετών.

Από μετρήσεις που έγιναν σε καλλιέργεια βαμβακιού στη χώρα μας και σε αγροτεμάχια της Κεντρικής Ελλάδας, προέκυψε ότι σε πολλά αγροτεμάχια υπάρχουν διαφορές στην παραγωγή που μπορούν να ομαδοποιηθούν σε ζώνες διαφορετικής παραγωγής [6]. Οι διαφορές αυτές οφείλονται είτε σε τυχαίους, είτε σε συστηματικούς παράγοντες. Οι τυχαίοι αφορούν τα μετεωρολογικά δεδομένα, τις διάφορες ασθένειες και εχθρούς που για κάθε χρονιά διαφέρουν. Οι συστηματικοί παράγοντες αφορούν ιδιότητες κυρίως του εδάφους όπως οι

φυσικές και χημικές ιδιότητες και η μηχανική του σύσταση.

Τα αποτελέσματα ερευνών σε αναπτυγμένες χώρες έδειξαν ότι μεταβλητότητα του εδάφους εμφανίζεται σε όλες τις κλίμακες από μια ολόκληρη περιοχή ακόμη και σε απόσταση μερικών εκατοστών μέσα στο ίδιο χωράφι. Οι Bouma και Finke [7] διαίρεσαν τη μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών του εδάφους σε κάποιες βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι η στατική μεταβλητότητα χαρακτηριστικών όπως είναι η δομή του εδάφους και η οργανική ουσία. Η δεύτερη αφορά τη δυναμική μεταβλητότητα χαρακτηριστικών όπως η υγρασία και θερμοκρασία. Η μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών αυτών έχει άμεση σχέση με τις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν στο χωράφι, αλλά η μεταβλητότητα των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών θεωρείται σημαντική για τους ερευνητές διότι πιθανόν να αποτελούν την κύρια αιτία της μεταβλητότητας της παραγωγής.

Συνεπώς, η αποτύπωση (χαρτογράφηση) των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του κάθε χωραφιού σ' όλη του την έκταση αποτελεί μια βασική δραστηριότητα της γεωργίας ακριβείας. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, χρησιμοποιείται η τεχνική της δειγματοληψίας σε ισαπέχοντα σημεία πλέγματος (grid sampling). Συνήθως γίνεται προσπάθεια το πλέγμα αυτό να είναι όσο το δυνατόν πυκνότερο [7], ώστε να προκύψουν αξιόπιστοι χάρτες. Κάτι τέτοιο όμως απαιτεί αρκετή εργασία και επιβαρύνει την όλη διαδικασία χρονικά και κυρίως οικονομικά. Δημιουργείται έτσι η ανάγκη να αποτυπώνεται η μεταβλητότητα του εδάφους πριν τη λήψη και ανάλυση δειγμάτων, ώστε στη συνέχεια να παίρνονται και να αναλύονται δείγματα από συγκεκριμένα σημεία που θα αντιπροσωπεύουν μια ευρύτερη ζώνη διαχείρισης [8]. Ζώνη διαχείρισης είναι η περιοχή στην οποία εκφράζεται ένας σχετικά ομογενής συνδυασμός περιοριστικών παραγόντων ως προς την παραγωγή, ενώ παράλληλα απαιτεί έναν σταθερό ρυθμό εφαρμογής κάποιου αγροεφοδίου. Η επιλογή των σημείων με τον τρόπο αυτό αναφέρεται ως κατευθυνόμενη δειγματοληψία (directed sampling).

Σήμερα, μια από τις απλούστερες και οικονομικότερες μετρήσεις παραμέτρων του εδάφους που χρησιμοποιείται στη γεωργία ακριβείας είναι αυτή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $EC_a$ ). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ενοποιεί ένα ευρύτερο σύνολο παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή μιας καλλιέργειας. Στους παράγοντες αυτούς περιλαμβάνεται η περιεκτικότητα σε νερό, η δομή του εδάφους [9], η οργανική ουσία [10], το βάθος σκληρού ορίζοντα, CEC [11], αλατότητα καθώς και τα ανταλλάξιμα ασβέστιο και μαγνήσιο [12]. Η μεταβλητότητα όλων αυτών των παραγόντων στην έκταση του χωραφιού είναι πιθανόν να προκαλεί την αντίστοιχη μεταβλητότητα της παραγωγής. Επομένως η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σ' ένα χωράφι πιθανόν να σχετίζεται με τη χαρτογράφηση της μεταβλητότητας του εδάφους και μπορεί να γίνει εύκολα με την προσαρμογή μιας συσκευής μέτρησης αγωγιμότητας πάνω σε παρελκόμενο όχημα και την προσαρμογή ενός δέκτη εντοπισμού γεωγραφικής θέσης (GPS).

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει κάποια αποτελέσματα από την εφαρμογή χαρτογράφησης της παραγωγής βαμβακιού και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε

αγροτεμάχια της Κεντρικής Ελλάδας και επιχειρεί να προσεγγίσει μια πιο λεπτομερή διαχείριση των χωραφιών μέσα από τη συσχέτιση των αντίστοιχων χαρτών.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η χαρτογράφηση της παραγωγής στο βαμβάκι έγινε επί δύο συναπτά έτη, τη συλλεκτική περίοδο του 2001 και του 2002 με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού που εγκαταστάθηκε σε βαμβακοσυλλεκτική μηχανή παραγωγού στην περιοχή της Καρδίτσας. Το όλο σύστημα προέρχεται από την εταιρία Farmscan® και αποτελείται από δύο ζεύγη υπέρυθρων αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής που προσαρμόζονται στους δύο αγωγούς (μπουριά) μεταφοράς του βαμβακιού από τις μονάδες συλλογής στο καλάθι, την κεντρική μονάδα καταγραφής και αποθήκευσης (Canlink), κάποιους βοηθητικούς αισθητήρες ελέγχου και την κεραία του GPS [6].

Η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής στηρίζεται στη δημιουργία μιας υπέρυθρης δέσμης φωτός μεταξύ πομπού και δέκτη του κάθε ζεύγους, η οποία διακόπτεται με το πέρασμα του βαμβακιού [13]. Από την «προβολή» του βαμβακιού που διακόπτει τη δέσμη το σύστημα υπολογίζει τον όγκο του βαμβακιού που συλλέγεται. Υπάρχει κάποιος παράγοντας μετατροπής (calibration factor) που η τιμή του εξαρτάται από τη συλλεγόμενη ποικιλία και τις συνθήκες συλλογής (υγρασία). Σε κάθε χωράφι πρέπει να γίνεται βαθμονόμηση με την ακριβή ζύγιση ενός συλλεγόμενου καλαθιού και την εισαγωγή της σωστής τιμής στο σύστημα.

Τα δεδομένα της παραγωγής αποθηκεύονται σε μια κάρτα SRAM που βρίσκεται σε κατάλληλη σχισμή στην κεντρική μονάδα. Μετά το πέρας της συλλογής η κάρτα τοποθετείται σε μια θύρα PCMCIA φορητού υπολογιστή για τη μεταφορά των δεδομένων σε λογισμικό GIS για την περαιτέρω επεξεργασία, ώστε να προκύψει τελικά ο χάρτης παραγωγής για το κάθε χωράφι.

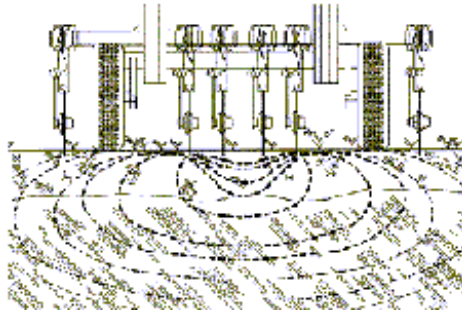
Στα χωράφια που χαρτογραφήθηκε η παραγωγή έγινε την άνοιξη του 2002 και πριν τη σπορά, η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η ιδιότητα ενός υλικού να μεταφέρει ηλεκτρικά φορτία. Είναι μια εγγενής ιδιότητα του υλικού και η χρησιμότητά της στηρίζεται στο γεγονός ότι αμμώδη εδάφη (sandy) έχουν μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα ιλυώδη (silty) μέτρια, ενώ τα αργιλώδη (clay) μεγάλη.

Οι δύο κυριότερες μέθοδοι για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους είναι με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή (EMI) ή με απευθείας επαφή. Οι μέθοδοι της επαφής χρησιμοποιούν τουλάχιστον τέσσερα ηλεκτρόδια που βρίσκονται σε φυσική επαφή με το έδαφος δημιουργώντας διαφορά δυναμικού ανάμεσά τους και μέσω του επαγόμενου ηλεκτρικού πεδίου μετράται η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Σχήμα 1). Με την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή δεν υπάρχει επαφή, αλλά άντ' αυτού ένα πηνίο εκπομπής επαγάγει ένα πεδίο στο έδαφος κι ένα δεύτερο πηνίο λήψης μετρά την αντίδραση (Geonics) [14]. Οι δύο μέθοδοι δίνουν όμοια αποτελέσματα [14]. Η μέτρηση με επαφή πλεονεκτεί



επειδή δεν απαιτεί βαθμονόμηση, ενώ μειονεκτεί στην εφαρμογή αφού προκαλεί ανατάραξη του εδάφους.

Στην παρούσα εργασία για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκε παρελκόμενο όχημα από την εταιρία Veris® που στηρίζεται στη μέθοδο της φυσικής επαφής και φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Συσκευή μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας με φυσική επαφή από τη Veris®

Κατά την κίνηση του οχήματος στο χωράφι ένα ζεύγος ηλεκτροδίων δημιουργούν ηλεκτρικό πεδίο στο έδαφος, ενώ το άλλο ζεύγος ηλεκτροδίων μετρά την αντίσταση του ρεύματος και κατά συνέπεια την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το κάθε ηλεκτρόδιο έχει τη μορφή αιχμηρού κυλιόμενου δίσκου ώστε να μπορεί να βυθίζεται στο έδαφος μερικά εκατοστά ενώ ταυτόχρονα να περιστρέφεται. Τα ηλεκτρόδια δημιουργούν πεδίο που φτάνει σε βάθος μέχρι 90 εκατοστά στο έδαφος. Το όλο σύστημα συμπληρώνεται με μια κεντρική μονάδα καταγραφής και αποθήκευσης που γαιοδένει την κάθε μέτρηση με χρήση GPS. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για καταγραφή μιας ζώνης πλάτους μέχρι 20 μέτρα με ταχύτητα που μπορεί να φτάσει τα 12 χλμ/Ωρα αντιστοιχώντας έτσι από 4 μέχρι 10 μετρήσεις στο στρέμμα. Στην παρούσα εργασία η καταγραφή έγινε σε ζώνη πλάτους 4 μέτρων και με ταχύτητα περίπου 5 χλμ/Ωρα, ενώ χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο 3100 που μετρά ταυτόχρονα την ηλεκτρική αγωγιμότητα από 0-30 εκατοστά και από 0-90 εκατοστά.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων και οι συσχετίσεις μεταξύ των χαρτών έγιναν με GIS λογισμικό και πιο συγκεκριμένα με το SST® Toolbox που αποτελεί ένα από τα πακέτα που εξειδικεύονται για χρήση στη γεωργία ακριβείας.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την παραγωγή έχει κινήσει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών. Στην Αμερική έρευνες έδειξαν ότι υπάρχει σοβαρή συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την παραγωγή κυρίως στα σιτηρά [15]. Τα δεδομένα της παραγωγής και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας

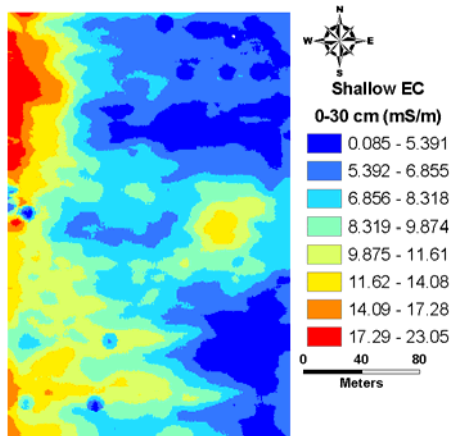
κατά τη φάση της επεξεργασίας υπέστησαν κατάλληλο μετασχηματισμό, ώστε να μορφοποιηθούν και αποτυπωθούν χωρικά δίνοντας τις αντίστοιχες ζώνες (median, kriging). Τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης για ένα αγροτεμάχιο 43 στρεμμάτων φαίνονται στα σχήματα 2, 3 για την ηλεκτρική αγωγιμότητα, στο σχήμα 4 για την παραγωγή το 2001 και στο σχήμα 5 για το 2002. Σε μια πρώτη προσέγγιση παρατηρείται ότι υπάρχει σοβαρή χωρική παραλλακτικότητα (variability) των τιμών τόσο της παραγωγής όσο και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Παράλληλα και στις δύο περιπτώσεις προκύπτουν ζώνες στις οποίες οι αντίστοιχες τιμές είναι σταθερές, γεγονός που δείχνει ότι μια λεπτομερέστερη και διαφορετική διαχείριση σε κάθε ζώνη μπορεί να δώσει καλύτερα αποτελέσματα.

Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αποτελεί συνάρτηση ενός συνόλου παραμέτρων του εδάφους που επηρεάζουν άμεσα την παραγωγή, επομένως μια χαρτογράφηση της παραλλακτικότητάς της μπορεί να οδηγήσει στην ομαδοποίηση και χαρτογράφηση των ζωνών του χωραφιού με τα ίδια χαρακτηριστικά. Παράλληλα ωθεί στην υιοθέτηση νέας μεθοδολογίας στη λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων εδάφους με σκοπό την ανάλυση, καθώς φαίνεται ότι ένα δείγμα από κάθε ζώνη αντιπροσωπεύει όλη την έκτασή της (κατευθυνόμενη δειγματοληψία).

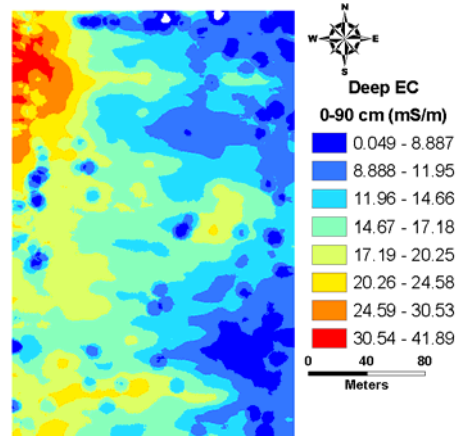
Εδώ, αν συγκριθούν οπτικά οι χάρτες φαίνεται σε μια πρώτη προσέγγιση ότι υπάρχει μεγαλύτερη συσχέτιση της επιφανειακής ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την παραγωγή του 2001. Το λογισμικό εδώ έδωσε ένα συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$  ίσο με 0,38. Ο αντίστοιχος συντελεστής για το έτος 2002 ήταν 0,14. Η σύγκριση των χαρτών παραγωγής των δύο ετών μεταξύ τους δίνει έναν συντελεστή προσδιορισμού ίσο με 0,45 ενώ η σύγκριση μεταξύ των δύο χαρτών αγωγιμότητας μεταξύ τους δίνει συντελεστή ίσο με 0,89.

Η διαφορά στη συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής των δύο ετών φαίνεται ότι οφείλεται στις εντελώς διαφορετικές καιρικές συνθήκες των δύο ετών που αποτελούν τον τυχαίο περιοριστικό παράγοντα σε πολλά σημεία του χωραφιού. Πιο συγκεκριμένα το 2001 χαρακτηρίστηκε σαν μια από τις πολύ ξηρές (ανομβρία) χρονιές ενώ αντίθετα το 2002 σαν μια από τις πιο υγρές (έντονες βροχοπτώσεις), γεγονός που ειδικά στην παραγωγή βαμβακιού είχε μεγάλη επίδραση.

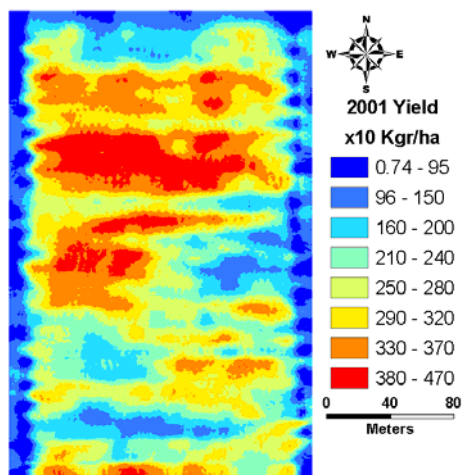
Τα πρώτα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και η συσχέτισή της με τους χάρτες παραγωγής θα μπορούσε με λεπτομερέστερη έρευνα και σε διαδοχικά έτη να εξηγήσει την επιρροή των συστηματικών παραγόντων του εδάφους στη διαμόρφωση της τελικής παραγωγής. Παράλληλα φαίνεται ότι μπορεί να βοηθήσει στην επιλογή των ζωνών διαχείρισης ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα.



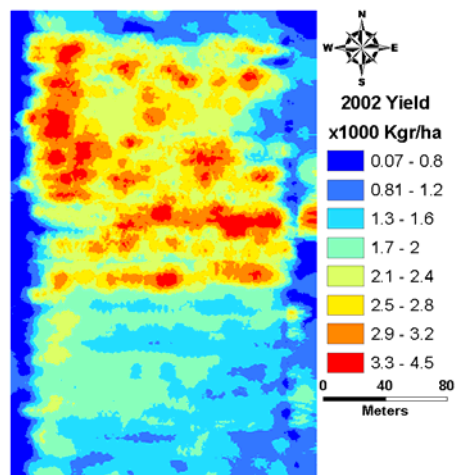
Σχήμα 2. Ο χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας 0-90εκ. για το χωράφι των 43στρ. (30/04/02)



Σχήμα 3. Ο χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας 0-30εκ. για το χωράφι των 43στρ. (30/04/02)



Σχήμα 4. Ο χάρτης παραγωγής βαμβακιού έτους 2001 (43στρ) (13/10/01)



Σχήμα 5. Ο χάρτης παραγωγής βαμβακιού έτους 2002 (43στρ) (25/10/02)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Stafford, J.V., 2000. Implementing precision agriculture in the 21<sup>st</sup> century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76: 267-275.
2. Papaeconomou, M., 2002. Implementation of a complete Precision Farming Decision-Making System in Greek Farms. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> HAICTA Conference*, Athens, 6-7 June 2002: 56-62.
3. Whelan, B.M., McBratney, A.B., Boydell, B.C., 1997. The Impact of Precision Agriculture. *Proceedings of the ABARE Outlook Conference, 'The Future of Cropping in NW NSW'*, Moree, UK, July 1997: 5.
4. Gemtos, T., Fountas, S., Blackmore, B.S., Greipentrog, H.W., 2002. Precision farming experience in Europe and the Greek potential. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> HAICTA Conference*, Athens, 6-7 June 2002: 45-55.
5. Zhang, N., Wang, M., Wang, N., 2002. Precision agriculture – a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*. 36: 113-132.
6. Markinos, A.T., Gemtos, T.A., Toullos, L., Pateras, D., Zerva, G., 2002. Yield Mapping of Cotton crop in Greece. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> HAICTA Conference*, Athens, 6-7 June 2002: 56-62.
7. Bouma, J., Finke, P.A., 1993. In : Robert, P.C., Rust, R.H., Larson, W.F. (Eds.), Origin and Nature of Soil Resource Variability. *Soil Specific Crop Management*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, pp. 3-14.
8. Lund, E.D., Christy, C.D., 1998. Using Electrical Conductivity To Provide Answers For Precision Farming. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference Geospatial Information in Agriculture and Forestry*, Orlando Florida, 1998.
9. Williams, B., Hoey, D., 1987. The use of electromagnetic induction to detect the spatial variability of the salt and clay content of soils. *Australian Journal Soil Research*, 25: 21-27.
10. Janes, D.B., Novak, J.M., Moorman, T.B., Cambardella, C.A., 1994. Estimating Herbicide Partition Coefficients from Electromagnetic Induction Measurements. *Journal of Environmental Quality*, 24: 36-41.
11. McBride, R.A., Gordon, A.M., Shrive, S.C., 1990. Estimating forest soil quality from terrain measurements of apparent electrical conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 54: 290-293.
12. Lund, E.D., Christy, C.D., Drummond, P.E., 1999. Practical applications of soil electrical conductivity mapping. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> European Conference on Precision Agriculture*, July, 1999.
13. Wallace, T.P., 1999. Small plot evaluation of an electro-optical cotton yield monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23: 1-8.
14. Sudduth, K.A., Kitchen, N.R., Drummond, S.T., 1998. Soil conductivity sensing on claypan soils: comparison of electromagnetic induction and direct methods. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture*: 979-990. (13)
15. Lund, E.D., Christy, C.D., Drummond, P.E., 2000. Using Yield and Soil Electrical Conductivity (EC) Maps to Derive Crop Production Performance Information. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture*, 2000.

## **ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ: ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΝΟΤΙΑ ΕΥΡΩΠΗ**

Θ.Α. Γέμτος\*, Σπ. Φουντάς\*\*, Α. Μαρκινός\*, S. Blackmore\*\*

\*Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία, 38446 Μαγνησία e-mail: [gemtost@agr.uth.gr](mailto:gemtost@agr.uth.gr)

\*\*Βασιλικό Κτηνιατρικό και Γεωργικό Πανεπιστήμιο, Κοπεγχάγη, Δανία

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια παρουσίαση των συστημάτων γεωργίας ακριβείας και των δυνατοτήτων εφαρμογής τους στις συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα και γενικότερα στις χώρες του Ευρωπαϊκού Νότου. Παρουσιάζονται πρώτα αποτελέσματα εφαρμογών χαρτογράφησης παραγωγής σε καλλιέργεια βαμβακιού στη χώρα μας που παρουσιάζουν σημαντική παραλλακτικότητα παραγωγής που μπορεί να δημιουργήσει ζώνες διαχείρισης ακόμα και σε αγροτεμάχια 4 εκταρίων. Παρουσιάζονται πιθανά οφέλη για την γεωργία από την εφαρμογή συστημάτων γεωργίας ακριβείας.

**Λέξεις κλειδιά:** Γεωργία ακριβείας,, Χαρτογράφηση Παραγωγής Εφαρμογές στην Ελλάδα, Αποδοτικότητα

## **PRECISION FARMING: APPLICATION POTENTIAL IN GREECE AND IN SOUTHERN EUROPE**

T.A. Gemtos\*, Sp. Fountas\*\*, A. Markinos\*, S. Blackmore\*\*

\*Laboratory of Farm Mechanization, University of Thessaly, Greece, e-mail: [gemtost@agr.uth.gr](mailto:gemtost@agr.uth.gr)

\*\* Royal Veterinary and Agricultural University of Denmark, Copenhagen, Denmark

### **ABSTRACT**

In the present work an attempt was made to present the systems of precision agriculture and their potential to be applied in Greece and in the countries of Southern Europe. The first data of the application of yield mapping in cotton crop in Greece are presented, which show a large variability in yield giving distinct zones for variable rate applications even in fields of 4 ha. Finally possible benefits to the farm management from the applications of precision agriculture are presented.

**Key words:** Precision Farming, Yield Mapping, Applications in Greece, Profitability

## 1. Εισαγωγή

Με τον όρο γεωργία ακριβείας ορίζουμε τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής διαφοροποίησης των αγρών προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των αγροκτημάτων και/ή να επιτευχθεί η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την ορθολογική χρήση των εισροών [1]. Είναι επομένως ένα σύστημα διαχείρισης αγροκτημάτων το οποίο χρησιμοποιώντας την πληροφορική και τα ηλεκτρονικά εφαρμοσμένα στη γεωργία, βοηθά το γεωργό στη λήψη αποφάσεων για τη καλύτερη διαχείριση του αγροκτήματος [2]. Ο όρος καλύτερη διαχείριση μπορεί να σημαίνει βελτίωση της οικονομικής απόδοσης του αγροκτήματος είτε με αύξηση της παραγωγής είτε με μείωση των εισροών είτε με βελτίωση των τυχόν αρνητικών επιπτώσεων της γεωργίας στο περιβάλλον. Το χαρακτηριστικό είναι ότι αντί να γίνονται οι καλλιεργητικές φροντίδες με βάση τις μέσες τιμές παραγωγής και γονιμότητας του εδάφους, είναι δυνατή η εφαρμογή διαφορετικών για κάθε τμήμα του αγρού.

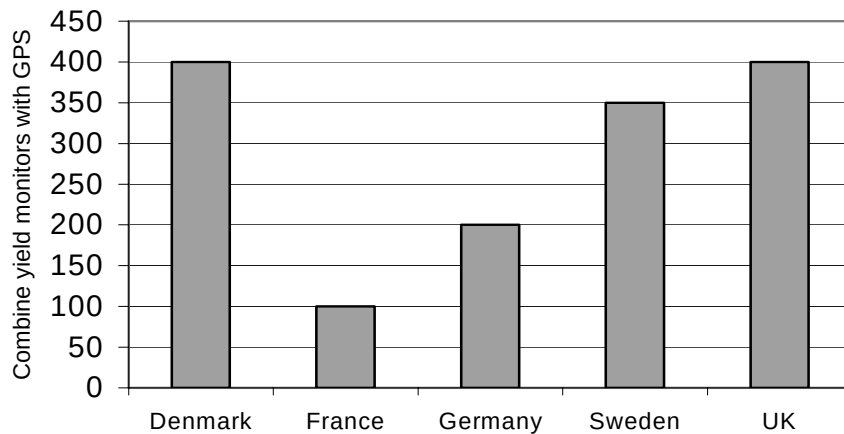
Υπό αυτή την έννοια τα συστήματα γεωργίας ακριβείας αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 80 και στη δεκαετία του 1990 [3]. Σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη των συστημάτων γεωργίας ακριβείας δόθηκε από την εφαρμογή για πρώτη φορά των αισθητήρων χαρτογράφησης της παραγωγής που εφαρμόστηκαν από την εταιρεία Massey Ferguson σε θεριζοαλωνιστικές. Τα συστήματα αυτά βελτιώθηκαν στη διάρκεια της δεκαετίας του 90. Σε αυτό συνέβαλε ουσιαστικά η βελτίωση των συστημάτων καθορισμού της θέσης πάνω στην επιφάνεια της γης μέσω σημάτων από δορυφόρους (GPS). Τα συστήματα αυτά εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και δεν ήταν διαθέσιμα για ελεύθερη χρήση μέχρι σχεδόν τις αρχές της δεκαετίας του 1990 [3]. Τα GPS βελτιώθηκαν με άλματα τα τελευταία χρόνια και έχουν καταφέρει να βελτιώσουν την ακρίβεια των στοιχείων σε λίγα μέτρα ενώ συστήματα με βοηθητικούς επίγειους σταθμούς μπορεί να φτάσουν σε ακρίβεια ενός εκατοστού. Σε συνδυασμό με την βελτίωση των ηλεκτρονικών που είναι δυνατόν πλέον να χρησιμοποιηθούν στο αντίξοο περιβάλλον της γεωργίας και μπορούν να δώσουν σημαντικά βελτιωμένα αποτελέσματα.

Ο συνδυασμός μέτρησης της παραγωγής των σιτηρών, της υγρασίας του σπόρου και της θέσης της μηχανής έδωσε τη βάση για δημιουργία χαρτών παραγωγής. Για λίγα χρόνια η έρευνα επικεντρώθηκε στα σιτηρά. Αργότερα άρχισαν να παράγονται αισθητήρες για μια σειρά από άλλες καλλιέργειες όπως βιομηχανική τομάτα [4], ζαχαρότευτλα [5], πατάτα [6], βαμβάκι [7,8,9] κλπ. Τα τελευταία έτη έχουν εμφανιστεί συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής σε καλλιέργειες φρούτων και λαχανικών[10]. Πολλές εφαρμογές, κυρίως σε σιτηρά, έχουν εμπορική εφαρμογή από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 ενώ οι περισσότερες άλλες εφαρμογές άρχισαν στο τέλος της δεκαετίας του 1990 και στις αρχές του 2000. Οι περισσότερες εφαρμογές ξεκίνησαν στις ΗΠΑ και Βρετανία και ακολούθησαν σε άλλες χώρες.

Στη χώρα μας και γενικότερα στον Ευρωπαϊκό Νότο υπάρχει μια καθυστέρηση εφαρμογής των συστημάτων αυτών, ενώ στις ΗΠΑ ο αριθμός κυμαίνεται γύρω στους 28.000 (Σχήμα 1). Αυτό αποδίδεται στις επικρατούσες συνθήκες στην Ελλάδα αλλά και γενικότερα στον Ευρωπαϊκό Νότο που χαρακτηρίζονται:

1. Από μικρές γεωργικές εκμεταλλεύσεις
2. Από γεωργούς με χαμηλό μορφωτικό επίπεδο
3. Από γεωργούς προσκολλημένους σε παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής
4. Από γεωργούς προσκολλημένους σε επιδοτήσεις των προϊόντων
5. Για τις καλλιέργειες του Ευρωπαϊκού Νότου κυρίως για τα φρούτα και λαχανικά δεν υπάρχει αναπτυγμένη τεχνολογία εφαρμογής των μεθόδων γεωργίας ακριβείας

Ερωτήματα που τίθεται είναι ποιες οι προοπτικές εφαρμογής των νέων τεχνικών διαχείρισης στην Ελλάδα και στον Ευρωπαϊκό Νότο, ποιες ωφέλειες μπορούν να προκύψουν από ενδεχόμενη εφαρμογή και με ποιο πιθανό κόστος. Στα ερωτήματα αυτά προσπαθεί να απαντήσει η παρούσα εργασία.



Σχήμα 1. Πωλήσεις συστημάτων χαρτογράφησης παραγωγής με βάση στοιχείων εταιρειών παραγωγής τους.

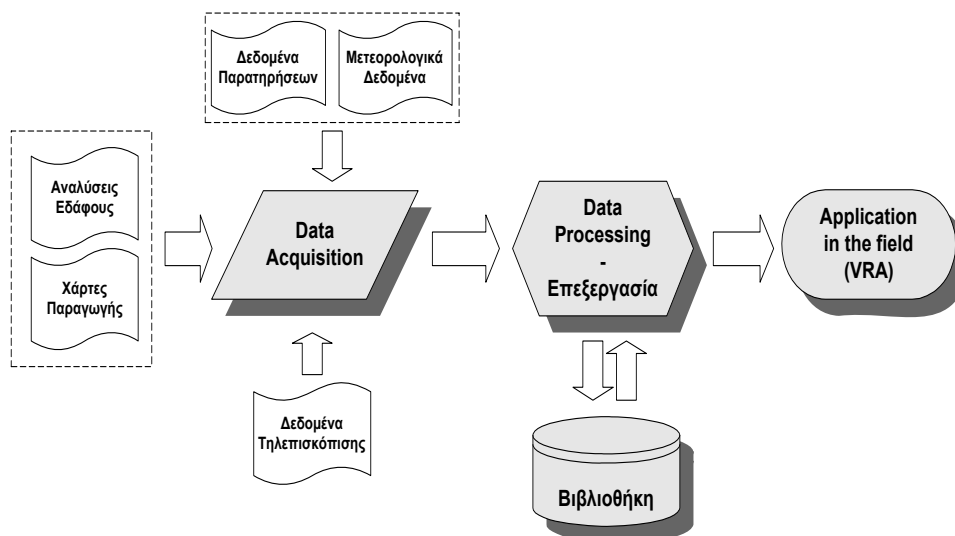
## 2. Η Γεωργία Ακρίβειας σήμερα

Η εφαρμογή ενός γενικού συστήματος γεωργίας ακρίβειας μπορεί να χωριστεί σε τρεις φάσεις [11]:

1. Συλλογή δεδομένων (Data Acquisition),
2. Επεξεργασία (Data Processing),
3. Εφαρμογή αποτελεσμάτων (Application).

Μια γραφική αναπαράσταση του συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 2 [11].

Η λήψη στοιχείων παραγωγής δεν επιτρέπει την άμεση δημιουργία χαρτών παραγωγής με πρακτική χρησιμότητα. Διότι τα σημειακά στοιχεία παραγωγής



Σχήμα 2. Γενικό σύστημα γεωργίας ακρίβειας

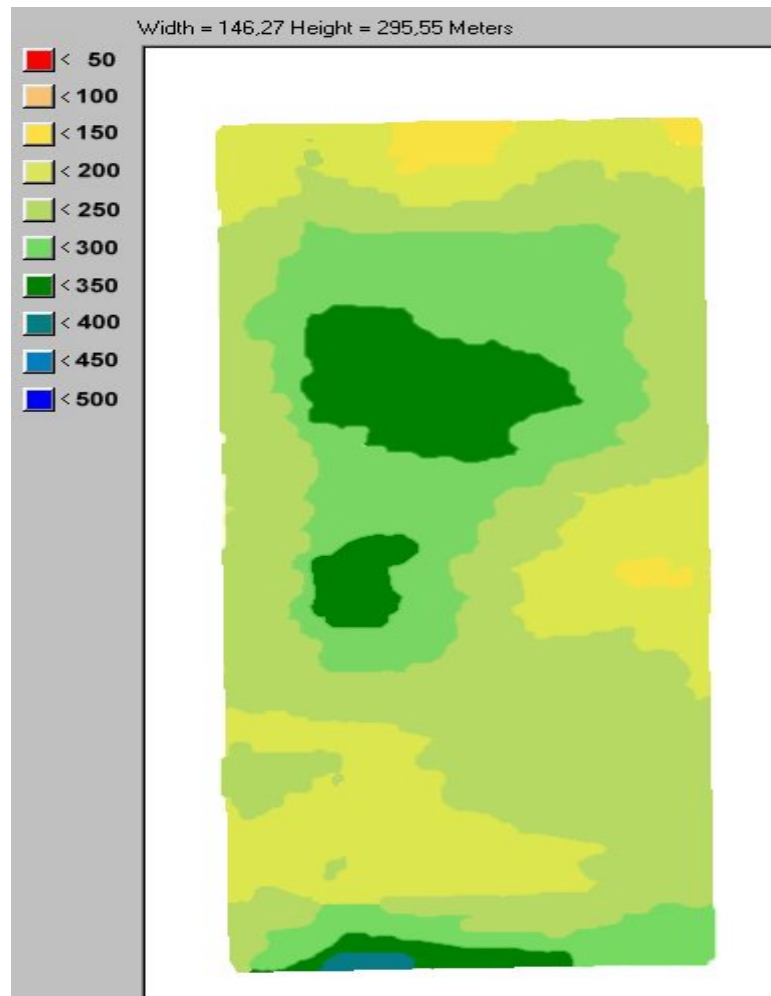
π.χ. κάθε 5 μέτρα δεν δίνουν αξιοποιήσιμα στοιχεία. Για αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές για δημιουργία χαρτών με ζώνες παραγωγής που δίνουν στοιχεία πρακτικά αξιοποιήσιμα. Τέτοιες τεχνικές όπως είναι η χρήση μέσων όρων ή η κανονικοποίηση των στοιχείων ώστε να εμφανίζονται ως ποσοστά μιας παραγωγής, βοηθούν στην δημιουργία χαρτών με πρακτικά αξιοποιήσιμα στοιχεία. [12]. Οι χάρτες παραγωγής πρέπει να αναλυθούν για να δώσουν αξιοποιήσιμα στοιχεία για τη διαχείριση αγροκτημάτων. Τα στοιχεία της βιβλιογραφίας είναι σχετικά περιορισμένα και έχουν δημοσιευθεί τα τελευταία έτη. Οι Taylor και άλλοι [12] μελέτησαν χάρτες παραγωγής καλαμποκιού για σειρά ετών στις ΗΠΑ. Διαπίστωσαν ότι στα στοιχεία κάθε έτους παρεμβάλλεται ένας << θόρυβος>> που οφείλεται στις ειδικές συνθήκες του κάθε έτους. Επομένως είναι απαραίτητη η ανάλυση της ακολουθίας των χαρτών παραγωγής ώστε να αποκαλυφθούν οι πραγματικές και όχι οι συγκυριακές τάσεις παραγωγής του χωραφιού και να κατανεμηθούν στο χώρο. Είναι προφανές ότι χρειάζεται μια ακολουθία χαρτών παραγωγής για να παραχθούν αξιόπιστα στοιχεία. Με βάση περιγραφές από χρήστες στη Βρετανία, 4 χρόνια συνεχών χαρτογραφήσεων παραγωγής είναι ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για να παρθούν αποφάσεις. Οι μεταβολές αυτές της παραγωγής μπορεί να παρακολουθούνται και από τις καλλιέργειες της αμειψισποράς επιτρέποντας την εξαγωγή συναφών στοιχείων [13, 14].

Παρ' όλα τα προβλήματα που παρουσιάζει η ανάλυση των στοιχείων, οι χάρτες παραγωγής παραμένουν η αρχή και το τέλος ενός συστήματος γεωργίας, ακριβείας. Διότι με βάση τους χάρτες παραγωγής θα σχεδιαστεί η λήψη στοιχείων του χωραφιού (αναλύσεις εδάφους, παρακολούθηση φυτών, ανάγλυφο κλπ) και όποιο σύστημα μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων ενώ στο τέλος θα αποτελέσει το κύριο κριτήριο επιτυχίας των επεμβάσεων.



### 3.Εφαρμογές στην Ελλάδα

Στη χώρα μας η εφαρμογή συστημάτων γεωργίας ακριβείας άρχισε μάλλον καθυστερημένα. Πρώτη γνωστή εφαρμογή χαρτογράφησης παραγωγής έγινε το



Σχήμα 3. Χάρτης παραγωγής βαμβακιού με χαρακτηριστικές ζώνες διαφορετικής παραγωγής (11)

φθινόπωρο του 2001 σε καλλιέργεια βαμβακιού. Τα πρώτα αποτελέσματα από τρεις αγρούς δείχνουν σημαντική παραλλακτικότητα της παραγωγής στο χωράφι που με κατάλληλη επεξεργασία των στοιχείων δίνει χαρακτηριστικές ζώνες παραγωγής [11] και Σχήμα 3. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι εφ' όσον τα αποτελέσματα αυτά επαληθευθούν με εκτενέστερες μετρήσεις τα επόμενα έτη

τότε η παραλλακτικότητα αυτή της παραγωγής αποτελεί στερεή βάση οικονομικά αποδοτικής εφαρμογής μεθόδων μεταβλητής εφαρμογής εισροών. Ένα σημαντικό ερώτημα το οποίο τίθεται είναι η οικονομικότητα των συστημάτων γεωργίας ακριβείας. Δηλαδή η διερεύνηση της δυνατότητας απόσβεσης του κόστους των αισθητήρων, της τεχνολογίας που χρειάζεται για την παραγωγή των χαρτών καθώς και των τεχνικών δεξιοτήτων που πρέπει να αποκτήσει ο χειριστής ή ο διαχειριστής του συστήματος προκειμένου να παράγει χάρτες παραγωγής και εν συνεχεία να τους αναλύσει για την εφαρμογή στις πραγματικές συνθήκες. Σε εργασία των Godwin και άλλων [15] παρουσιάστηκαν αποτελέσματα από την χρήση συστημάτων γεωργίας ακριβείας στην Βρετανία σε σιτηρά σε συνδυασμό με συστήματα μεταβλητής εφαρμογής αζώτου. Σε ένα φυλλάδιο για τους αγρότες που παρήχθη δίδεται ένα διάγραμμα ροής της σκέψης που πρέπει να ακολουθήσουν οι αγρότες προκειμένου να αποφασιστεί η υιοθέτηση ή όχι ενός τέτοιου συστήματος. Το βασικό στοιχείο που παίζει ρόλο είναι η μεταβλητότητα των συνθηκών του χωραφιού. Σε αγρούς με μεγάλη μεταβλητότητα η δυνατότητα μεταβλητής εφαρμογής αζώτου δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την απόσβεση του εξοπλισμού και των δεξιοτήτων. Αντίθετα σε ομοιόμορφους αγρούς όπου η μεταβλητότητα της παραγωγής είναι μικρή φαίνεται ότι η απόσβεση είναι δύσκολη. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι αισθητήρες όταν παρήχθησαν και διετέθησαν στην αγορά είχαν υψηλό κόστος το οποίο θα μειώνεται σύμφωνα με τη συνολική τάση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που το κόστος τους συνεχώς μειώνεται καθώς διευρύνεται η χρήση τους και αποσβένεται το κόστος της αρχικής έρευνας για την ανάπτυξη τους. Ανάλογα στοιχεία παρουσιάζει ο Heetman [16] για ένα πρόγραμμα στις ΗΠΑ με μεταβλητή εφαρμογή του νερού.

#### **4. Μεταβλητές καλλιεργητικές φροντίδες**

Είναι προφανές ότι μέχρι σήμερα οι καλλιεργητικές φροντίδες ενός χωραφιού στηρίζονταν σε μέσους όρους ή στους μέσους στόχους παραγωγής. Με την δημιουργία χαρτών παραγωγής μπορούν να αναπτυχθούν χάρτες με στόχους παραγωγής για κάθε τμήμα του χωραφιού και εκεί να βασιστεί ένα σύστημα μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων (Variable Rate Application) [12]. Μεταβλητές καλλιεργητικές φροντίδες έχουν προταθεί να εφαρμοστούν αρκετά παλιά. Ο Stanford [3] αναφέρει ότι το πρώτο σύστημα μεταβλητής λίπανσης με σύστημα μίξης των λιπασμάτων και εφαρμογής στο χωράφι αναπτύχθηκε από την Soil Tec όπως αναφέρεται από τον Fairchild. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιούσε στοιχεία από εικόνες που λαμβάνονταν από τον αέρα για το καθορισμό των ζωνών λίπανσης. Το σύστημα είχε μικρή επιτυχία καθώς το GPS δεν ήταν τότε σε γενική χρήση. Οι κύριες εφαρμογές άρχισαν στην δεκαετία του 1990 καθώς η χρήση GPS ελευθερώθηκε και έγινε ακριβέστερη. Πολλές εφαρμογές άρχισαν για μεταβλητή λίπανση, για μεταβλητή χρήση ζιζανιοκτόνων [17] κλπ. Σημαντική προσπάθεια έγινε για εφαρμογές νερού και κατεργασίας του εδάφους. Οι Camp και Sadler [18] πρότειναν ένα σύστημα για χρήση βαθιάς αναμόχλευσης του εδάφους, μεταβλητής άρδευσης και εφαρμογής

των αζωτούχων λιπασμάτων σε καλλιέργειας καλαμποκιού και σόγιας. Τα τελευταία έτη έχουν δημοσιοποιηθεί πολλές εργασίες για μετατροπή διαφόρων γεωργικών μηχανημάτων ώστε να επιτυγχάνουν μεταβλητές καλλιεργητικές φροντίδες. Εργασίες αναφέρονται σε μηχανήματα διανομής κοπριάς (στερεάς και υγρής) σε σπαρτικές που μπορούν να μεταβάλλουν της ποσότητα του σπόρου ή το βάθος σποράς κλπ.

#### **5. Δυνατότητες της Γεωργίας ακριβείας**

Η δυνατότητα χαρτογράφησης της παραγωγής δίνει πολλά σημαντικά πλεονεκτήματα στη διαχείριση των αγροκτημάτων. Πρώτο στοιχείο η δυνατότητα συνδυασμού ποιοτικών στοιχείων της παραγωγής με στοιχεία γονιμότητας του εδάφους και καλλιεργητικών φροντίδων καθώς μπορούν να δημιουργηθούν χάρτες ποιότητας παράλληλα με τους χάρτες παραγωγής. Αυτό είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον για καλλιέργειες του νότου όπως φρούτα και λαχανικά, οινοποιήσιμα σταφύλια κλπ. Μπορεί δε να συνδυαστεί με συστήματα ολοκληρωμένης παραγωγής και να οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις τόσο της παραγωγής όσο και της εμπορίας. Είναι γνωστό ότι τα συστήματα ολοκληρωμένης παραγωγής αποσκοπούν στη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Η εφαρμογή μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων μπορεί να πετύχει μείωση των εισροών. Η χαρτογράφηση της παραγωγής μπορεί να αποτελέσει το σημείο έναρξης παρακολούθησης της παραγωγής εδωδίων προϊόντων. Η παρακολούθηση των προϊόντων φαίνεται να είναι ένα αίτημα των καταναλωτών μετά τα τελευταία σκάνδαλα της διατροφικής αλυσίδας στην Ευρώπη. Τέλος η χαρτογράφηση σε συνδυασμό με συστήματα τηλεπισκόπισης μπορεί να συμβάλλει σε έγκαιρους ελέγχους και διορθώσεις παραγόντων της παραγωγής.

#### **5. Συμπεράσματα**

- Τα πρώτα αποτελέσματα δείχνουν σημαντική μεταβλητότητα στην παραγωγή βαμβακιού για τις περιοχές που έγιναν δειγματοληψίες ακόμα και σε αγρούς μικρού μεγέθους που είναι μια πρώτη θετική ένδειξη για εφαρμογή γεωργίας ακριβείας.
- Απαιτείται διεύρυνση των δειγματοληψιών για επέκταση της βάσης δεδομένων ώστε να υπάρξουν ασφαλέστερα αποτελέσματα.
- Η επέκταση των εφαρμογών σε καλλιέργειες φρούτων και λαχανικών μπορεί να δώσει μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη από την εφαρμογή ενώ μπορεί να είναι το σημείο εκκίνησης ενός συστήματος παρακολούθησης της διακίνησης των προϊόντων (traceability)

#### **Βιβλιογραφία**

[1] Gemtos T.A., S. Fountas,, B.S. Blackmore, H.W. Greipentrog (2002) Precision farming experience in Europe and the Greek potential Εργασία που παρουσιάστηκε στο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Εφαρμογών Πληροφορικής στη Γεωργία, Αθήνα Ιουνίου 2002 σελ.

- [2] Sigrimis N. (2000) The 21<sup>st</sup> century expectations in IT. What are the limits. The XIV Memorial CIGR World Conference, Tsukuba, Japan
- [3] Stafford J.V.. (2000) Implementing Precision Agriculture in the 21<sup>st</sup> Century J. Agr. Engng Res.(76) 267-275
- [4] Pelletier G, Shrini K Upadyaya (1999) Development of a tomato load/yield monitor. Computers and Electronics in Agriculture (23) 103-107
- [5] Hofman A.R., S. Penigrahi, B. Gregor, J. Walker (1995) In field monitoring sugar beets ASAE paper 95-2114, ASAE, St Joseph, Michigan
- [6] Campbell R.H., S.L. Rawlings, S. Han (1994) Monitoring methods for potato yield mapping. ASAE paper 94-1584, ASAE, St Joseph, Michigan
- [7] Wilkerson J.B., J.S. Kirby, W.E. Hart, A.R. Woma (1994) Real time cotton flow sensor. ASAE paper 94-1054, ASAE, St Joseph, Michigan
- [8] Wilkerson J.B., F.H. Moody, W.E. Hart, P.A. Funk (2001) Design and Evaluation of a Cotton Flow Rate Sensor. Trans of ASAE Vol 44(6) 1415-1420
- [9] Tomasson J.A., D.A. Penington, H.C. Pringle, E.P. Columbus, S.J. Tomson, R.K. Byler (1999) Cotton mass flow measurements: Experiments with two optical devices. Appl. Engng in Agric. 15(1)11-17
- [10] Rains G.C., D.L. Thomas, C.D. Perry (2002) Pecan mechanical harvesting parameters for yield mapping Transaction of ASAE Vol 45(2) 281-285
- [11] Markinos A., T.A. Gemtos, L. Toullos, D. Pateraw, G. Zerva (2002) Yield mapping of cotton crop in Greece. Εργασία που παρουσιάστηκε στο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Εφαρμογών Πληροφορικής στη Γεωργία, Αθήνα Ιουνίου 2002 σελ.
- [12] Taylor R.K., Kluitenberg G.J., M.D. Schrock, N. Zang, J.P. Schmidt, J.L. Havlin (2001) Using yield monitor data to determine spatial crop production potential Transaction of the ASAE Vol 44(6) 1409-1414
- [13] Jaynes DB, Colvin TS (1997) Spatiotemporal variability of corn and soybean yield Agronomy Journal 89 (1): 30-37
- [14] Jaggard K.W., J. Stafford, R.M. Lark, S. Fisher (2000) Are there opportunities for profitable use of Precision Farming in Sugar Beet Crops? Proceedings of the 63 IRB Congress February, p317 –324
- [15] Godwin R.J. (2002) Προφορική παρουσίαση στο συνέδριο των ASAE και CIGR στο Σικάγο 27/7-1/8/2002 και προφορική επικοινωνία
- [16] Heermann D.F. (2002) The promise of Precision Agriculture. Resource, July p6-8
- [17] Miller P.C.H., J. V. Stafford (1993) Spatially selective application of herbicide to cereal crops. Computers and Electronics in Agriculture 9(3) 217-229
- [18] Camp C.R., E.J. Sadler (2002) Irrigation, Deep Tillage and Nitrogen Management for a corn-soybean rotation. Trans of ASAE vol 45(3) 601-608

## **ΤΡΑΠΕΖΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ**

**Θ. Α. Γιαλαμάς, Ζ. Ι. Κουτσοφίτης, Α. Θ. Φιλίντας**

Εργαστήριο Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάτων Εδαφών, Τομέας Γεωργικής Μηχανικής,  
Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Ανότατο  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Τ.Κ. 41110, Λάρισα.

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η δομή της τράπεζας δοκιμών για την μέτρηση των αντιδράσεων (φορτίων), θα έχει την δυνατότητα αυξομειώσης των διαστάσεων της ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Σε αυτή θα τοποθετηθούν τέσσερις υδροστατικοί κύλινδροι υψηλής πίεσης με δυνατότητα μεταβολής της οριζοντιότητάς της ως προς τέσσερα επίπεδα. Σε κάθε κύλινδρο θα τοποθετηθεί ηλεκτρονική ζυγιστική μονάδα η οποία θα καταγράφει την μεταβολή των φορτίων. Με την επεξεργασία των στοιχείων θα καθορίζονται οι επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης, για την ασφαλή κίνηση των Γεωργικών Μηχανημάτων και την πρόληψη των ατυχημάτων από συνήθεις θανατηφόρες ανατροπές.

**Λέξεις κλειδιά:** Καθορισμός ευστάθειας, επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης, πρόληψη ατυχημάτων.

## **TESTING – BENCH FOR STABILITY DETERMINATION OF AGRICULTURAL MACHINERY**

**Th. A. Gialamas, Z. I. Koutsofitis, Ag. Th. Filintas**

Laboratory for Off-Road Equipment, Section of Agricultural Mechanics, Department of  
Agricultural Engineering and Irrigation, School of Agriculture, Technological  
Educational Institute of Larissa, 41110, Larissa, Greece.

### **ABSTRACT**

Adjustable testing - bench structure for forces measurements will have the ability of dimensions fluctuation towards the horizontal level. Four hydrostatic cylinders we'll be installed, with the ability of level alteration in four levellys. Electronic weight unit will be installed in every cylinder which will register the charge variation. After data processing, allowed grade angles will be determined for agricultural machinery safe movement and for forestalling accidents which usually leads to deadly overthrows.

**Keywords:** Stability determination, allowed grade angles, forestalling accidents.

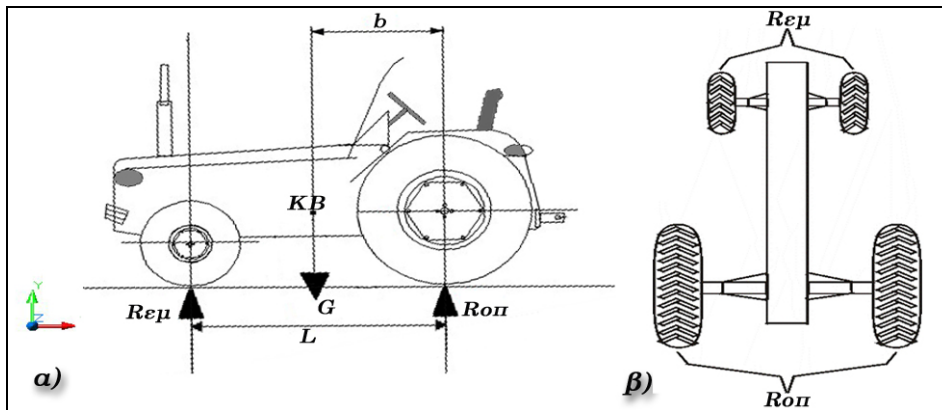
## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Η μείωση μέχρι και η εξάλειψη των ατυχημάτων που προέρχονται από ανατροπές των Γεωργικών Ελκυστήρων και των Αυτοκινουμένων Γεωργικών Μηχανημάτων κατά την διάρκεια εκτέλεσης της εργασίας τους, τα οποία κινούνται εκτός δρόμου σε επικλινή και ανώμαλα εδάφη, ή σε αγροτικούς δρόμους και αλλάζουν κατεύθυνση πορείας, αποτελεί τον πρωταρχικό σκοπό της παρούσας εργασίας. Η γνώση των επιτρεπομένων γωνιών κλίσης θα καθορίσει την ασφαλή κίνηση των Γεωργικών Ελκυστήρων (Γ.Ε.) και των Αυτοκινουμένων Γεωργικών Μηχανημάτων (Α.Γ.Μ.) κατά την ανοδική και κατά την καθοδική κίνησή τους αλλά και κατά την εγκάρσια κίνησή τους σε κεκλιμένο επίπεδο, (έδαφος), δεξιά και αριστερά.

Στην Ελλάδα, όπως και στο εξωτερικό κάθε χρόνο συμβαίνει ένας πολύ μεγάλος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων τα οποία προέρχονται από τις ανατροπές των Γεωργικών Μηχανημάτων που οφείλονται τις περισσότερες φορές σε απώλεια της σταθερότητας και του ελέγχου. Η απώλεια της σταθερότητας και του ελέγχου είναι οι δύο κύριοι παράγοντες οι οποίοι συντελούν στην ανατροπή των Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ., όταν εργάζονται σε επικλινή εδάφη [2, 4, 5, 7]. Άλλοι παράγοντες, οι οποίοι οδηγούν σε ατυχήματα είναι το είδος του εδάφους στο οποίο εργάζεται ο Γ.Ε., ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται και τα μεταφερόμενα φορτία [3]. Η απώλεια της σταθερότητας προκύπτει, όταν η επιτάχυνση του Γ.Ε. που οφείλεται στην κλίση ή στην αλλαγή πορείας, (στροφή), η οποία προκαλεί τον μηδενισμό των αντιδράσεων, (φορτίων), των τροχών [7, 8]. Οι απώλειες ελέγχου μπορεί να οφείλονται σε ανεπαρκή πρόσφυση μεταξύ του ελαστικού, των τροχών και του εδάφους [7]. Οι Crolla και Spenser [1] εφήρμοσαν ένα μαθηματικό μοντέλο για πρόβλεψη της τροχιάς του Γ.Ε. και συνέκριναν τα αποτελέσματα του μοντέλου με τα αποτελέσματα πειραμάτων με ένα Γ.Ε. ελεγχόμενο από απόσταση. Οι παραπάνω διαπίστωσαν ότι υπάρχει λογική συμφωνία μεταξύ των μετρηθέντων και των προβλεφθέντων αποτελεσμάτων. Οι ίδιοι ανέπτυξαν ένα μαθηματικό μοντέλο για εξέταση της συμπεριφοράς διαξονικών Γ.Ε. κατά τη διάρκεια ατυχημάτων σε πλαγιές [9]. Οι Kim και άλλοι [6], εξήτασαν την πλευρική σταθερότητα του Γ.Ε. Προσομοιώνοντας την κίνηση σε Ηλεκτρονικό Υπολογιστή (H/Y) κατέληξαν σε κατασκευή πεδίων ασφαλείας και μη, για χειρισμό του Γ.Ε. σε σχέση με το ανάγλυφο του εδάφους και των λειτουργικών συνθηκών για ένα δεδομένο Γ.Ε. [6]. Φαίνεται λοιπόν ότι ο προσανατολισμός των ερευνών οδηγεί στην προσπάθεια για ασφαλή και ευσταθή κίνηση των Γ.Ε. και Α.Γ.Μ.. Με την ολοκλήρωση της κατασκευής της τράπεζας δοκιμών και μετρήσεων στο Εργαστήριο μηχανικής οχημάτων ανωμάτων εδαφών, θα δοθεί η δυνατότητα για έλεγχο και καθορισμό μέσω H/Y σε κάθε, Γ.Ε. και Α.Γ.Μ. ή συνδυασμό παρελκομένου Γεωργικού Μηχανήματος αναρτωμένου στο σύστημα αναρτήσεως του Γ.Ε., των μεγίστων επιτρεπομένων γωνιών κλίσης για την ευσταθή και ασφαλή κίνησή τους.

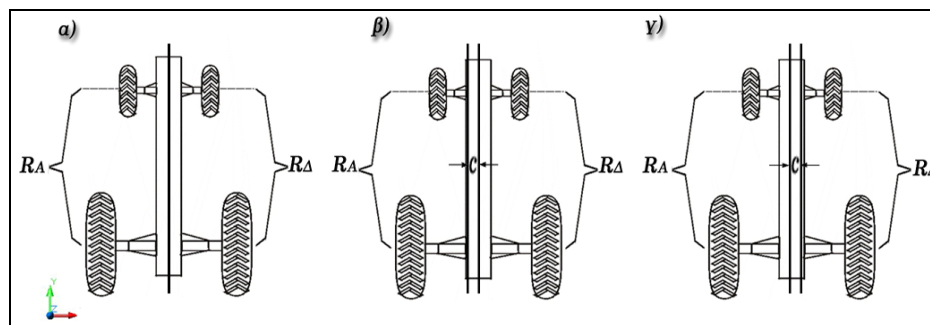
Ο υπολογισμός των μεγίστων επιτρεπομένων γωνιών κίνησης εξαρτάται από την κατανομή του βάρους του μηχανήματος στους 4 τροχούς, δηλαδή στους δύο άξονες: τον εμπρόσθιο και τον οπίσθιο. Με την γνώση της κατανομής του βάρους στους 4 τροχούς, δηλαδή στους δύο άξονες, υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστεί η θέση του κέντρου βάρους του οχήματος. Η ακριβής θέση του Κέντρου Βάρους, (Κ.Β.), υπολογίζεται με την βοήθεια των τριών επιπέδων τα οποία δημιουργούνται στον χώρο (3 διαστάσεις), εμφανιζόμενα στον Γ.Ε., αλλά και σε κάθε Α.Γ.Μ.. Τα 3 επίπεδα που εμφανίζονται είναι:

α) Το εγκάρσιο επίπεδο **B**. Καθορίζεται με βάση την απόσταση **b** του κέντρου βάρους από το κατακόρυφο επίπεδο που περιλαμβάνει τον άξονα των οπισθίων τροχών, (σχήμα 1.α, β), όπου: **R<sub>εμπ</sub>** η αντίδραση, λόγω του βάρους στον εμπρόσθιο άξονα, και **R<sub>οπι</sub>** η αντίδραση, λόγω του βάρους στον οπίσθιο άξονα.



Σχήμα 1.α, β. Καθορισμός του εγκάρσιου επιπέδου του Γεωργικού Ελκυστήρα.

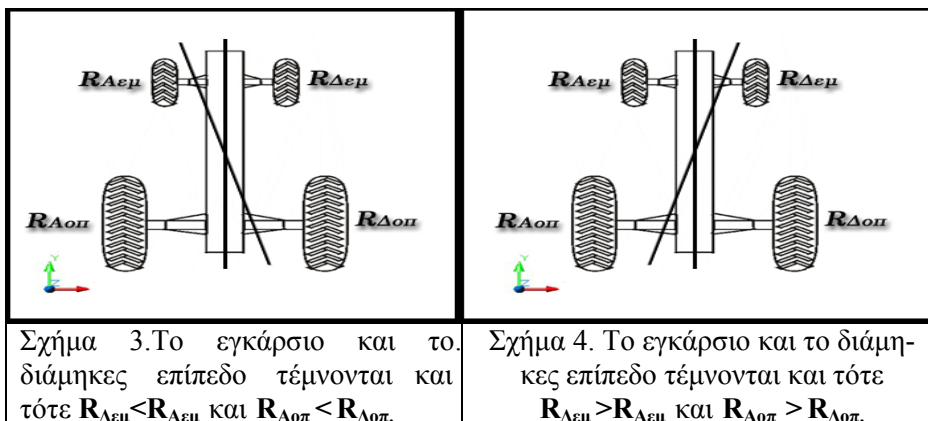
β) Το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας **C**. Καθορίζεται με βάση την κατανομή του βάρους στην δεξιά πλευρά **R<sub>Δ</sub>** και στην αριστερή πλευρά του οχήματος **R<sub>Α</sub>**. Εάν η κατανομή βάρους είναι ίση, (σχήμα 2.α), στην αριστερή και στην δεξιά πλευρά του οχήματος, τότε δεν υπάρχει απόκλιση από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας **C** του Γ.Ε., δηλαδή απόκλιση **c = 0**, επειδή **R<sub>Δ</sub> = R<sub>Α</sub>**.



Σχήμα 2.α,β,γ. Καθορισμός του διαμήκους επιπέδου C του Γεωργικού Ελκυστήρα.

Τότε ταυτίζεται το διάμηκες επίπεδο το οποίο δημιουργείται, με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του οχήματος. Εάν η κατανομή του βάρους είναι μεγαλύτερη στην δεξιά πλευρά σε σχέση με την αριστερή πλευρά, τότε εμφανίζεται απόκλιση από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας  $C$  του Γ.Ε., δηλαδή  $c \neq 0$ , επειδή  $R_A > R_{\Delta}$  προς την δεξιά πλευρά, (σχήμα 2.γ). Δηλαδή το διάμηκες επίπεδο το οποίο δημιουργείται με βάση την κατανομή βάρους βρίσκεται προς την δεξιά πλευρά του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας του οχήματος. Εάν η κατανομή του βάρους είναι μεγαλύτερη στην αριστερή πλευρά σε σχέση με την δεξιά πλευρά, (σχήμα 2.β), τότε εμφανίζεται απόκλιση  $c$  προς την αριστερή πλευρά. Δηλαδή  $c \neq 0$ , επειδή  $R_A > R_{\Delta}$ . Το διάμηκες επίπεδο το οποίο δημιουργείται με βάση την κατανομή βάρους βρίσκεται προς την αριστερή πλευρά του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας του οχήματος.

Υπάρχει πιθανότητα τα δύο προαναφερθέντα επίπεδα να τέμνονται, (σχήμα 3 και 4). Αυτό μπορεί να συμβεί, όταν το βάρος του δεξιού εμπροσθίου τροχού  $R_{\Delta\epsilon\mu}$  είναι μεγαλύτερο από το βάρος του αριστερού εμπροσθίου τροχού  $R_{\Delta\epsilon\mu}$  και όταν το βάρος του αριστερού οπισθίου τροχού  $R_{\Lambda\sigma\pi}$  είναι μεγαλύτερο από το βάρος του δεξιού οπισθίου τροχού  $R_{\Lambda\sigma\pi}$ . Δηλαδή,  $R_{\Delta\epsilon\mu} > R_{\Lambda\epsilon\mu}$  και  $R_{\Lambda\sigma\pi} > R_{\Delta\sigma\pi}$ , (σχήμα 4), και αντιστρόφως, (σχήμα 3).



γ) Το οριζόντιο επίπεδο  $H$ . Καθορίζεται με βάση την απόσταση  $h$  από το έδαφος με υπολογιστικό τρόπο μέσω μαθηματικών σχέσεων, αλλά και με γραφικό τρόπο γνωρίζοντας τις διαστάσεις των ελαστικών επισώτρων, τις αντιδράσεις των εμπροσθίων και των οπισθίων τροχών, καθώς και την γωνία κλίσης για ανοδική πορεία.

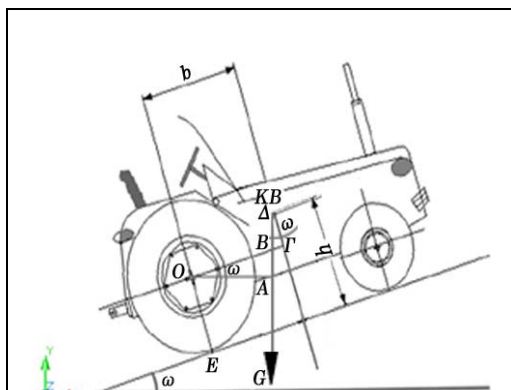
Για να βρούμε το ύψος του κέντρου βάρους πρέπει να υπολογιστεί η πλευρά  $\Gamma\Delta$  του τριγώνου  $B\Gamma\Delta$ , (σχήμα 5). Από το τρίγωνο  $B\Gamma\Delta$  προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\Gamma\Delta = \frac{B\Gamma}{\epsilon\phi\omega} \quad (1)$$

$$B\Gamma = O\Gamma - OB \quad (2)$$

Από το τρίγωνο  $OAB$  προκύπτει η σχέση:





Σχήμα 5. Καθορισμός του οριζοντίου επιπέδου **H** με βάση την απόσταση **h**.

$$OB = \frac{OA}{\sigma_{UV}\omega} \quad (3)$$

Από τις σχέσεις 1, 2 και 3, προκύπτει:

$$B\Gamma = O\Gamma - \frac{OA}{\sigma\psi\psi\phi} \quad (4)$$

$$\Gamma_{\Delta} = \frac{\text{O}\Gamma - \frac{\text{O}\text{A}}{\sigma\nu\nu\omega}}{\varepsilon\phi\omega} \quad (5)$$

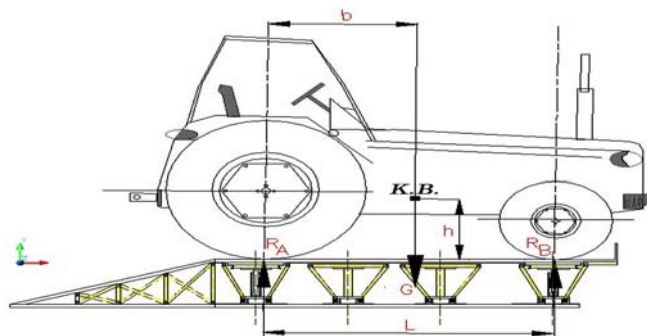
$$\text{και } \psi_0 \text{ (KB), } h = OE + \Delta\Gamma \quad (6)$$

όπου ΟΑ είναι η απόσταση του Κέντρου Βάρους από τον οπίσθιο άξονα του Γ.Ε. στη θέση με κλίση, ΟΓ είναι η απόσταση του Κέντρου Βάρους από τον οπίσθιο άξονα του Γ.Ε. στη οριζόντια θέση, ΟΕ είναι η ακτίνα του οπισθίου τροχού και η γωνία  $\text{AOB} = \text{BDG} = \omega$ .

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ.

Ο έλεγχος των μεγίστων επιτρεπομένων γωνιών κίνησης, οι οποίες καθορίζουν την ευστάθεια των Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ. που κινούνται εκτός δρόμου δηλαδή σε επικλινή και ανώμαλα εδάφη ή αλλάζουν κατεύθυνση πορείας σε αγροτικούς δρόμους, θα εφαρμοσθεί με την βοήθεια της ειδικής τράπεζας δοκιμών. Η τράπεζα δοκιμών αποτελείται από ένα πλαίσιο ενισχυμένο με κοιλοδοκούς μεγάλης αντοχής. Στο επάνω μέρος της θα τοποθετηθεί ενισχυμένο χαλυβδόελασμα για να παραλαμβάνει χωρίς παραμόρφωση το βάρος των Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ.

Η ρυθμιζόμενη τράπεζα δοκιμών θα έχει την δυνατότητα μεταβολής των διαστάσεων της σε σχέση με το μήκος και το πλάτος της σε προκαθορισμένο εύρος για να έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί από Γ.Ε. και Α.Γ.Μ. διαφόρων διαστάσεων, (σχήμα 6). Σε καθορισμένες θέσεις του πλαισίου (θέσεις των 4 τροχών) θα τοποθετηθούν 4 υδροστατικοί κύλινδροι μεγάλης αντοχής και ανυψωτικής ικανότητας. Στο επάνω μέρος των υδροστατικών κυλίνδρων, (στο βάκτρο), θα τοποθετηθούν ειδικές βάσεις, για την τοποθέτηση των αυτόματων ηλεκτρονικών ζυγιστικών μονάδων. Στα σημεία αυτά θα αφαιρεθεί το τμήμα του χαλυβδοελάσματος έτσι ώστε οι τροχοί των Γ.Ε. ή των Α.Γ.Μ. να εφάπτονται επάνω στις αυτόματες ηλεκτρονικές ζυγιστικές μονάδες. Για τον υπολογισμό των επιτρεπομένων γωνιών κλίσης, δηλαδή την ευστάθεια ενός συγκεκριμένου Γ.Ε. ή Α.Γ.Μ. ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία. Καταγράφονται οι γεωμετρικές διαστάσεις, δηλαδή το μήκος και το πλάτος του συγκεκριμένου Γ.Ε. ή Α.Γ.Μ. και ρυθμίζονται καταλλήλως οι διαστάσεις του δαπέδου. Συνδέονται τα ειδικά καλώδια μεταφοράς των δεδομένων στις



Σχήμα 6. Γεωργικός Ελκυστήρας επάνω στη τράπεζα δοκιμών.

θύρες εισόδου των αυτόματων ηλεκτρονικών ζυγιστικών μονάδων, καθώς και στην ειδική αυτόματη καταγραφική μονάδα. Ανέρχεται ο Γ.Ε. ή το Α.Γ.Μ. με την βοήθεια του κεκλιμένου επιπέδου («ράμπας»), στο επάνω μέρος της τράπεζας δοκιμών, (σχήμα 6), ώστε οι τέσσερις τροχοί να φθάσουν ακριβώς στο μέσον των αυτόματων ηλεκτρονικών ζυγιστικών μονάδων. Τίθεται σε λειτουργία η αυτόματη καταγραφική μονάδα και καταγράφεται το αντίστοιχο βάρος το οποίο παραλαμβάνει η κάθε αυτόματη ηλεκτρονική ζυγιστική μονάδα. Με την επεξεργασία των δεδομένων αυτών υπολογίζεται η πρώτη συντεταγμένη της θέσης του κέντρου βάρους του Γ.Ε. ή του Α.Γ.Μ., δηλαδή όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η απόσταση  $b$ , του εγκαρσίου επιπέδου  $B$ , από το κατακόρυφο επίπεδο του άξονα των οπισθίων τροχών, (σχήμα 1.α, β). Η αυτόματη καταγραφική συσκευή έχει την δυνατότητα καταγραφής του βάρους το οποίο αντιστοιχεί : α) Στον εμπρόσθιο άξονα, β) Στον οπίσθιο άξονα, γ) Στην δεξιά πλευρά, δ) Στην αριστερή πλευρά, ε) Στον δεξιό εμπρόσθιο τροχό με τον αριστερό οπίσθιο τροχό, δηλαδή σε διαγώνιο θέση, στ) Στον αριστερό εμπρόσθιο τροχό με τον δεξιό οπίσθιο τροχό, δηλαδή σε διαγώνιο θέση.

Η θέση της τράπεζας δοκιμών έχει την δυνατότητα να μεταβληθεί κατά 4 τρόπους : α) Ανύψωση του εμπρόσθιου μέρους του Γ.Ε. ή του Α.Γ.Μ.. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η προσομοίωση των γωνιών κλίσης για διαμήκη ανοδική πορεία σε έδαφος με κλίση με την έμπροσθεν. Στην περίπτωση αυτή ελέγχουμε την ανύψωση των δύο εμπροσθίων υδροστατικών κυλίνδρων, ενώ οι δύο οπίσθιοι υδροστατικοί κύλινδροι παραμένουν αμετακίνητοι. Στην περίπτωση αυτή καταγράφεται στην ειδική καταγραφική μονάδα το βάρος του εμπροσθίου και οπισθίου άξονα, αλλά και του κάθε τροχού χωριστά. Η δημιουργούμενη γωνία κλίσης καθορίζεται με βάση την υψομετρική διαφορά των βάκτρων και της απόστασης μεταξύ των αξόνων του οχήματος. Υπολογίζονται στην συνέχεια οι μέγιστες επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης για την ευσταθή κίνηση των Γ.Ε. ή των Α.Γ.Μ.. Σε όλες τις παραπάνω επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης λαμβάνεται πάντοτε υπ' όψη ένας συντελεστής ασφαλείας (15-20%), ο οποίος εξασφαλίζει την μέγιστη δυνατή ευστάθεια.

β) Ανύψωση του οπισθίου μέρους του Γ.Ε. ή του Α.Γ.Μ.. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η προσομοίωση των γωνιών κλίσης για διαμήκη καθοδική

πορεία σε ένα έδαφος με κλίση με την έμπροσθεν, ή για διαμήκη ανοδική πορεία σε ένα έδαφος με κλίση με την όπισθεν. Στην περίπτωση αυτή ελέγχεται η ανύψωση των δύο οπισθίων υδροστατικών κυλίνδρων, ενώ οι δύο εμπρόσθιοι υδροστατικοί κύλινδροι παραμένουν αμετακίνητοι. Στην περίπτωση αυτή καταγράφεται στην ειδική καταγραφική μονάδα το βάρος του εμπροσθίου και οπισθίου άξονα, αλλά και του κάθε τροχού χωριστά. Υπολογίζονται στην συνέχεια οι επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης για την ευσταθή και ασφαλή κίνηση.

γ) Ανύψωση της δεξιάς πλευράς του Γ.Ε. ή του Α.Γ.Μ.. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η προσομοίωση των γωνιών κλίσης για πορεία σε κεκλιμένο επίπεδο, δηλαδή σε ένα έδαφος με κλίση προς τα αριστερά του επιπέδου έδρασης του Γ.Ε. ή του Α.Γ.Μ.. Στην περίπτωση αυτή ελέγχεται η ανύψωση των δύο υδροστατικών κυλίνδρων οι οποίοι βρίσκονται στην δεξιά πλευρά, ενώ οι δύο υδροστατικοί κύλινδροι οι οποίοι βρίσκονται στην αριστερή πλευρά παραμένουν αμετακίνητοι. Στην περίπτωση αυτή καταγράφεται στην ειδική καταγραφική μονάδα το βάρος της δεξιάς πλευράς που έχει ανυψωθεί, αλλά και το βάρος της αριστερής πλευράς. Υπολογίζονται στην συνέχεια οι επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης για την ασφαλή κίνηση. Ελέγχονται οι μετρήσεις οι ληφθείσες όταν ο Γ.Ε. και τα Α.Γ.Μ. ήταν στην οριζοντία θέση και ελέγχεται εάν η κατανομή του βάρους στην δεξιά πλευρά είναι ίση με την κατανομή του βάρους στην αριστερή πλευρά  $R_A = R_A$ , η απόκλιση είναι μηδέν, δηλαδή  $c = 0$  και οι επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης για την πλαγία δεξιά κίνηση του Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ. θα είναι οι αυτές με τις επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης και για την πλαγία κίνηση προς τα αριστερά.

δ) Ανύψωση της αριστερής πλευράς του Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ. Αυτή η διαδικασία υπολογισμού των επιτρεπομένων γωνιών κλίσης πραγματοποιείται, όταν υπάρχει διαφορετική κατανομή του βάρους στην δεξιά πλευρά σε σχέση με την κατανομή βάρους στην αριστερή πλευρά, δηλαδή όταν υπάρχει απόκλιση  $c \neq 0$ .

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.

Η τράπεζα δοκιμών μαζί με το σύστημα ζύγισης και καταγραφής του βάρους σε κάθε τροχό και άξονα, όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θέσης του Κ.Β. των Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ και των επιτρεπομένων γωνιών κλίσης με επιδιωκόμενο σκοπό την ασφαλή κίνησή τους, από το Εργαστήριο Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάτων Εδαφών του Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας.

### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Η τράπεζα δοκιμών και μετρήσεων που κατασκευάζεται, θα απλουστεύσει την διαδικασία των μετρήσεων και θα αυξήσει τις δυνατότητες του συστήματος ζύγισης για τον υπολογισμό των παρακάτω :

Α'. Της ευσταθούς πορείας για την κίνηση των Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ., σε

εδάφη με κλίση κατά την : 1. Ανοδική πορεία , 2. Καθοδική πορεία , 3. Πορεία με κλίση προς τα δεξιά , 4. Πορεία με κλίση προς τα αριστερά.

Β'. Της ευσταθούς πορείας για την κίνηση των Γ.Ε. με φερόμενα Γεωργικά Μηχανήματα, τόσο στο εμπρόσθιο, όσο και στο οπίσθιο σύστημα ανάρτησης.

Γ'. Του υπολογισμού της μεγίστης επιτρεπομένης ταχύτητας κίνησης και αλλαγής πορείας σε αγροτικούς δρόμους. Ο υπολογισμός πραγματοποιείται με την χρήση της σχέσης της φυγόκεντρης δύναμης :

$$F\phi = m \cdot u^2 / R \quad [N] \quad (7)$$

όπου  $F\phi$  είναι η φυγόκεντρη δύναμη,  $m$  είναι η μάζα του οχήματος σε  $[N \cdot s^2 / m]$   $u$  είναι η ταχύτητα κίνησης του οχήματος σε  $[m/s]$ ,  $R$  είναι η ακτίνα στροφής των Γ.Ε. ή των Α.Γ.Μ. σε μέτρα  $[m]$ .

Η μάζα του οχήματος προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$m = Gm / g \quad [N \cdot s^2 / m] \quad (8)$$

όπου  $m$  είναι η μάζα του οχήματος,  $Gm = T\phi$  βάρος του Α.Γ.Μ. σε  $[N]$ ,  $g = H$  επιτάχυνση της βαρύτητας σε  $[m/s^2]$ .

Με μετασχηματισμό της εξίσωσης που καθορίζει την φυγόκεντρο δύναμη προκύπτει η ταχύτητα κινήσεως του οχήματος.

Τέλος, η παραπάνω κατασκευή θα είναι η βασική διάταξη, μαζί με τις άλλες υπάρχουσες όπως η Εδαφολεκάνη με το μοντέλο-ομοίωμα του Γ.Ε. που έχει την δυνατότητα της αλλαγής των μέσων πρόωσής του, από ερπυστριοφόρο σε τροχοφόρο και το αντίστροφο, για τον καθορισμό του συντελεστού της παραμόρφωσης του εδάφους. Οι παραπάνω συσκευές θα χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω ανάπτυξη των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάτων Εδαφών του Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

1. Crolla D.A., Spencer H.B., 1984. Tractor handling during control loss on sloping ground. *Vehicles System Dynamics*. 13:1, 1-17.
2. Hunter, AGM., 1981. Tractor safety on slopes. *Agricultural Manpower*. (3), 2-3.
3. Hunter, AGM., 1981. Tractor overturning accidents on slopes. *Technical Report, Scottish Institute of Agricultural Engineering*. (3) 26.
4. Hunter, AGM., 1981. Tractor safety on slopes. *Agricultural Manpower*. 36:4, 95-98.
5. Hunter, AGM., Owen, GM., 1983. Tractor overturning accidents on slopes. *Journal of occupational Accidents*. 5:353. 195-210.
6. Kim K.U., Salokhe V.M.(ed.), Ilangantileke S.G.(ed.), 1990. Lateral stability of agricultural tractors on slopes. *Proc. Of the international agricultural engineering conference and exhibition*, Bangkok, Thailand, 19-28.
7. Spencer, H.B., 1982. Tractor accidents on slopes-review-progress-solutions. *Agricultural Manpower*. (5) 12-14.
8. Spencer, H.B., 1982. Tractor accidents on slopes-review-progress-solutions. *Proc. Of the 21<sup>st</sup> CIOSTA-CIGR(V) Congress (Ed. Agricultural development and Advisory Service and Institute of Management Services)*, London, U.K., 128-138.
9. Spencer H.B., Crolla D.A., 1984. Control of tractors on sloping ground. *Proc. Of 8<sup>th</sup> Int. conference of International Society for Terrain Vehicle Systems*, Cambridge, U.K., Vol.2, 635-653.

