

ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Ιωάννης Γράβαλος
Ηρώων Πολυτεχνείου 198 - 41221 ΛΑΡΙΣΑ
Email: gravalos@in.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένας διακοπτικός ελεγκτής εδαφικής υγρασίας.

Ένας αισθητήρας μέτρησης της κατ' όγκο υγρασίας με τη μέθοδο χρονικής ανακλωμέτρησης (TDR), τοποθετημένος εντός του ριζοστρώματος παρακολουθεί κάθε μεταβολή της υγρασίας. Για βαθύριζα φυτά υιοθετήθηκε η λύση της εγκατάστασης δύο ή περισσότερων αισθητήρων.

Πυρήνας του συστήματος ελέγχου είναι ο μικροϋπολογιστής ενός ολοκληρωμένου (μικροελεγκτής) 8031 της Intel. Σε κάθε απόκλιση των τιμών μέτρησης από τα επιθυμητά όρια ελάχιστης και μέγιστης εδαφικής υγρασίας, ο ελεγκτής επεμβαίνει στην ηλεκτροβάννα του δικτύου άρδευσης.

Λέξεις κλειδιά: Διακοπτικός ελεγκτής, εδαφική υγρασία, σύστημα άρδευσης.

SOIL MOISTURE SWITCHING CONTROLLER

Ioannis Gravalos
198, Iroon Polytechniou Str. – 41221 Larissa
Email: gravalos@in.gr

ABSTRACT

In this paper, a soil moisture-switching controller has been presented.

A sensor measuring the moisture content by TDR method has been installed in the root zone and it tracks every change of soil moisture. Concerning the deep root plants, the solution of installing two or more sensors, has been decided.

The core of the control system is the 8031 Intel's microcontroller. In every measured value deviation from the requested limits of minimum and maximum soil moisture, the controller regulates on the electrovalve of the irrigation system.

Key words: Switching controller, soil moisture, irrigation system.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γνώση της εδαφικής υγρασίας και η δυνατότητα ελέγχου αυτής, ώστε να επιτευχθούν βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών, οπωσδήποτε δεν είναι καινούργια ιδέα. Ήταν γνωστή και προέτρεψε πολλούς ερευνητές να αναπτύξουν συστήματα αυτόματης άρδευσης.

Οι Waugh και Corey (1963) και ο Painter (1966) περιγράφουν τεχνικές ελέγχου, με τις οποίες τα φυτά μπορούν να αναπτυχθούν σε συνθήκες θερμοκηπίου με σχεδόν σταθερή εδαφική υγρασία. Ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου επιφανειακής άρδευσης βασιζόμενο στη χρήση тенσιόμετρων (tensiometers), αναπτύχθηκε από τον Fischbach κ.ά. (1970). Η μετατροπή της τάσης εδαφικού νερού (μητρικού δυναμικού) σε ηλεκτρικό σήμα γίνεται εύκολα με την προσαρμογή μετατροπέων τάσης (pressure transducers). Ένας αισθητήρας μητρικού δυναμικού (matric potential sensor), ο οποίος βασίζεται στην αρχή θερμικής διάχυσης σε πορώδες μέσον, αναπτύχθηκε από τον Phene κ.ά. (1971). Παρουσιάζει ευαισθησία σε μεγάλη περιοχή του μητρικού δυναμικού και παράγει στην έξοδό του ηλεκτρικό σήμα, που μπορεί να αξιοποιηθεί στην αυτοματοποίηση των αρδεύσεων. Οι Malicki και Hanks (1989) περιγράφουν έναν αισθητήρα εδαφικής υγρασίας δύο ηλεκτροδίων, ο οποίος βασίζεται στην αρχή της ηλεκτροχημικής πόλωσης (electrochemical polarization). Οι Richardson κ.ά. (1989) και Stenitzer (1993) παρουσιάζουν τα αποτελέσματα δεκαετούς έρευνας από την εφαρμογή γύψινων πλακιδίων (gypsum blocks) στον προγραμματισμό των αρδεύσεων, σε εκτάσεις με ζαχαρότευτλα και καλαμπόκι.

Ο σκοπός της εργασίας αυτής, είναι το σχέδιο και η πειραματική επαλήθευση ενός διακοπτικού ελεγκτή εδαφικής υγρασίας στη ζώνη ριζοστρώματος των φυτών, εφαρμόζοντας την τεχνολογία των μικροεπεξεργαστών.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η διάταξη του συστήματος ελέγχου αποτελείται από το πρωτότυπο του διακοπτικού ελεγκτή εδαφικής υγρασίας, που ονομάσαμε IRCO – 09 και τον αισθητήρα VIRRIB.

2.1 Αισθητήρας

Ο αισθητήρας εδαφικής υγρασίας VIRRIB προστατεύεται με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας PV 8200/88. Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στη μέτρηση του χρόνου διάδοσης ηλεκτρομαγνητικού κύματος εντός μεταλλικού αγωγού (μικροκυματική γραμμή μεταφοράς), ο οποίος βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος. Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος επηρεάζεται από την διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, κατά συνέπεια μπορεί να προσδιοριστεί η κατ' όγκο περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό (Fexa και Siroky 1983), (Sebela 1989).

Το εύρος των τιμών μέτρησης εδαφικής υγρασίας είναι 0 έως 60% (% του όγκου) με ακρίβεια $\pm 1\%$. Η απόκριση στις μεταβολές της υγρασίας είναι στιγμιαία, γεγονός που τον κάνει να υπερτερεί σε σχέση με άλλους αισθητήρες.

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην εικόνα 1, ο αισθητήρας αποτελείται από δύο μεταλλικούς αγωγούς ομόκεντρων κύκλων, οι οποίοι καταλήγουν σε ένα σώμα. Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα φυλάσσονται εντός του σώματος, στο οποίο έχει εγχυθεί μονωτικό υλικό, που τα προστατεύει από την υγρασία. Τροφοδοτείται με 12 έως 20V, απευθείας από την συσκευή IRCO-09.



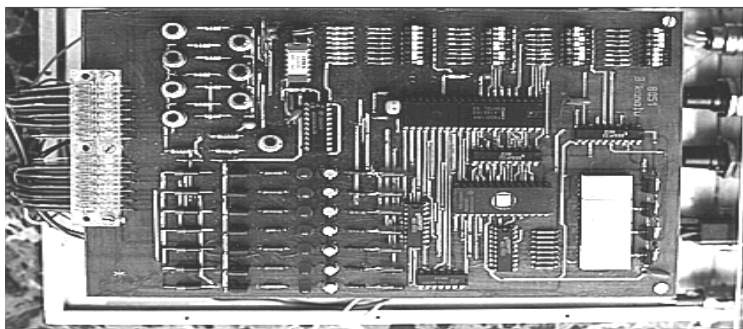
Εικόνα 1: Αισθητήρας παρακολούθησης εδαφικής εργασίας.

Η διακρίβωσή του έχει γίνει από πιστοποιημένο μετεωρολογικό σταθμό του εξωτερικού. Θεωρητικά η διάρκεια ζωής του είναι άπειρη, δεν απαιτεί καμία συντήρηση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε τύπο εδάφους.

2.2 Μικροελεγκτής

Η κεντρική κάρτα του ελεγκτή εδαφικής υγρασίας IRCO-09 παρουσιάζεται στην εικόνα 2. Για να λειτουργήσει σε σύστημα ο μικροϋπολογιστής ενός ολοκληρωμένου 8031 (IC1) της Intel (μικροελεγκτής), θα πρέπει να υποστηριχθεί από δύο ακόμη ολοκληρωμένα κυκλώματα, τον καταχωρητή διευθύνσεων 74LS373 (IC2) και την εξωτερική μνήμη προγράμματος EPROM 2764 (IC3). Η περιοχή διευθύνσεων που μπορεί να προσπελάσει ο μικροελεγκτής έχει εύρος 16 ψηφίων. Ο διάυλος δεδομένων του μικροελεγκτή πολυπλέκεται με τις L0-byte γραμμές του διαύλου διευθύνσεων και η αποπολύπλεξη γίνεται από τον καταχωρητή διευθύνσεων. Στις εξόδους του καταχωρητή βρίσκονται οι γραμμές διευθύνσεων A0-A7. Οι HI-byte γραμμές του διαύλου διευθύνσεων δίδονται αυτούσιες από τον μικροελεγκτή. Οι γραμμές A8-A13 συνδέονται απευθείας στους αντίστοιχους ακροδέκτες του ολοκληρωμένου της μνήμης. Τα ψηφία A14 και A15 αποκωδικοποιούνται ξεχωριστά και χρησιμεύουν για την επιλογή των ROM και RAM.

Ο μικροελεγκτής έχει ενσωματωμένο έναν ταλαντωτή χρονισμού τύπου Pierce, που υλοποιείται παρεμβάλλοντας ένα κρύσταλλο χαλαζία μεταξύ των ακροδεκτών XTAL1 και XTAL2. Επίσης για την αυτόματη επανατοποθέτηση (Reset), χρησιμοποιήθηκε ένα απλό κύκλωμα RC.



Εικόνα 2 : Κεντρική κάρτα ελεγκτή

2.3 Αναλογικές εισοδοί

Οι οκτώ αναλογικές εισοδοί βρίσκονται η μία δίπλα στην άλλη, στο επάνω αριστερό τμήμα της κάρτας. Επειδή η έξοδος κάθε αισθητήρα είναι υψηλή για να χρησιμοποιηθεί από τη συσκευή IRCO-09, χρειάστηκε να την υποβιβάσουμε ανάλογα, με τη βοήθεια διαιρετών τάσης. Η χρήση αυτής της απλής τεχνικής δε δημιουργεί σφάλμα στη μέτρηση καθώς η αντίσταση των εισόδων του πολυπλέκτη MAC08 (IC8) που ακολουθεί είναι υψηλή. Στη συνέχεια η έξοδος του πολυπλέκτη οδηγείται σε έναν μετατροπέα A/D. Ο ADC 0803 (IC7) είναι γρήγορος με ακρίβεια οκτώ ψηφίων και συνδέεται μέσω διαύλου με τον μικροελεγκτή.

2.4 Διάταξη διακοπών

Ο χρήστης με τη βοήθεια της διάταξης οκταπλών διακοπών DIP, μπορεί να καθορίσει τις τρεις παραμέτρους λειτουργίας. Το όριο ελάχιστης εδαφικής υγρασίας, το όριο μέγιστης εδαφικής υγρασίας και τον χρόνο διάρκειας της άρδευσης (μέγιστος χρόνος άρδευσης ορίστηκαν οι 6 ώρες). Στην περίπτωση, που λανθασμένα καθορίσουμε το ελάχιστο όριο μεγαλύτερο από το μέγιστο, τότε αρχίζει να αναβοσβήνει προειδοποιητικά το δεκαδικό σημείο αριστερά της οθόνης. Η σύνδεση της διάταξης με τον μικροελεγκτή υλοποιείται μέσω ενός οκτάμπιτου καταχωρητή 74LS373 (IC5).

2.5 Πολυπλεγμένη οθόνη

Οι παράμετροι λειτουργίας και οι τιμές μέτρησης απεικονίζονται στην οθόνη της συσκευής IRCO – 09. Η πολυπλεγμένη οθόνη αποτελείται από 4 μονάδες HD11310 των 7 τομέων LED, που συνδέονται με τον μικροελεγκτή μέσω ενός οκτάμπιτου καταχωρητή 74LS373 (IC4), ο οποίος χρησιμοποιείται ως αποκωδικοποιητής. Η γραμμή τροφοδοσίας κάθε μονάδας ελέγχεται με ένα τρανζίστορ – διακόπτη τύπου PNP.

2.6 Ενεργοποιητές

Μόλις ολοκληρωθεί η σύγκριση, ο μικροελεγκτής διαβάζει το αποτέλεσμα και το στέλνει σε ένα οκτάμπιτο καταχωρητή 74LS373 (IC6). Ο

συγκεκριμένος λειτουργεί ως καταχωρητής κατάστασης. Οι οκτώ έξοδοι ενισχύονται από μία διάταξη τρανζίστορ πριν ενεργοποιήσουν τους ηλεκτρονόμους (ρελέ) που ελέγχουν τις ηλεκτροβάνες.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

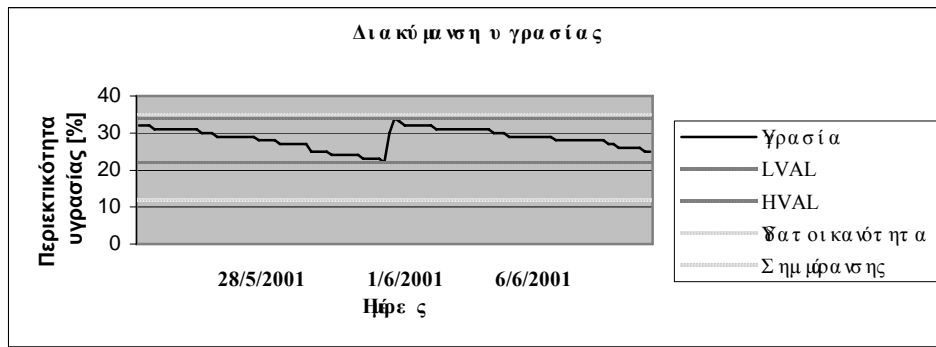
Ο διακοπτικός ελεγκτής εδαφικής υγρασίας επιλέχθηκε να εφαρμοστεί σε συστήματα τοπικής άρδευσης. Προφανώς, αυτή η επιλογή έγινε λόγω των χαρακτηριστικών που διακρίνουν τις τοπικές αρδεύσεις και των δυνατοτήτων που προσφέρουν για πλήρη αυτόματη λειτουργία. Για να παρακολουθήσουμε την εδαφική υγρασία σε συνθήκες εργαστηρίου χρησιμοποιήσαμε ένα πειραματικό μοντέλο στάγδην άρδευσης. Κεντρικό στοιχείο του είναι μία ηλεκτροβάνα 100-DV(1') της RAIN BIRD που λειτουργεί με εναλλασσόμενη τάση 24V. Τη διάταξη συμπληρώνουν μία βαθμονομημένη δεξαμενή νερού των 50 l, βαλβίδα ανεπιστροφής, σωληνώσεις, εξαρτήματα συνδεσμολογίας και σταλακτήρες παροχής 2,0 l/hr. Επίσης για την καλλιέργεια φυτών βάμβακος χρησιμοποιήθηκαν μεγάλα δοχεία που περιείχαν διαφορετικά εδάφη.

Πίνακας 1: Φυσικομηχανικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά εδαφών

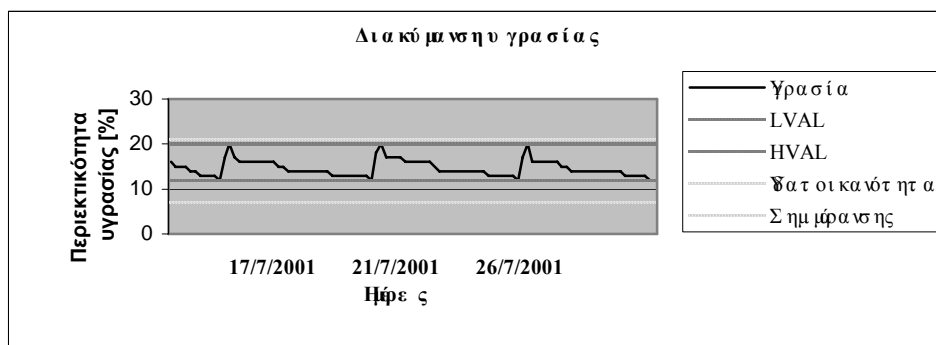
Έδαφος	Άμμος (%)	Πλύς (%)	Αργίλος (%)	Φαινόμενο Ειδικό βάρος (g/cm ³)	Υδατοϊκανότητα (% όγκου)	Σημείο μάρανσης (% όγκου)
A	44	40	16	1,25	35	12
B	69	22	9	1,50	21	7

Ο αισθητήρας εδαφικής υγρασίας τοποθετήθηκε εντός του ριζοστρώματος των φυτών σε βάθος 20cm από την επιφάνεια του εδάφους. Με τη βοήθεια της διάταξης διακοπών του ελεγκτή έγινε η εισαγωγή των ορίων ελαχίστης (LVAL) και μέγιστης (HVAL) υγρασίας ανάλογα με τον τύπο εδάφους ενώ οι τιμές μετρήσεων απεικονίζονται στην πολυπλεγμένη οθόνη.

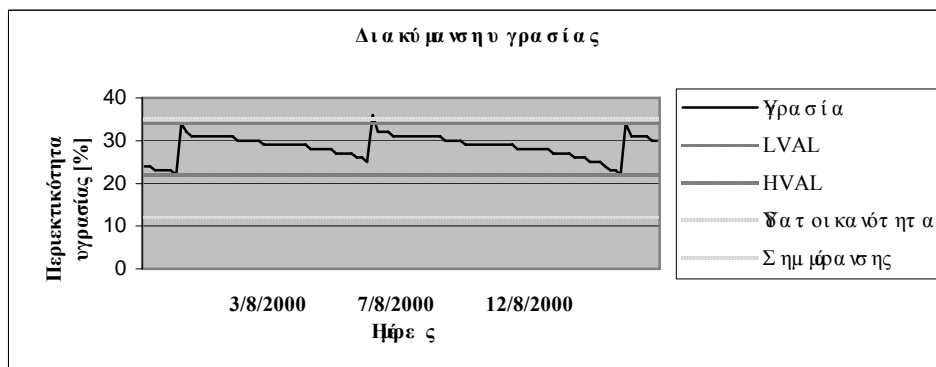
Η πειραματική επαλήθευση του ελεγκτή πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Λάρισας κατά τη θερινή περίοδο των ετών 2000 και 2001. Χρησιμοποιήσαμε στα πειράματα δύο διαφορετικούς τύπους εδαφών, έναν χαμηλής και έναν υψηλής διηθητικότητας ώστε να μελετήσουμε καλύτερα τη συμπεριφορά του ελεγκτή. Η καταγραφή των μετρήσεων γινόταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα, περίπου κάθε δύο ώρες. Τα αποτελέσματα τα επεξεργαστήκαμε με τη μορφή διαγραμμάτων.



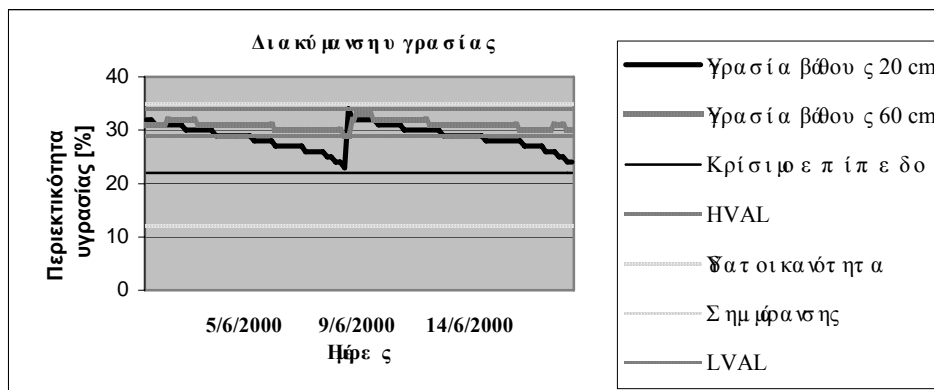
Διάγραμμα 1: Η διακύμανση της υγρασίας στο έδαφος Α σε βάθος 20 cm και η ρύθμισή της από τον ελεγκτή.



Διάγραμμα 2: Η διακύμανση της υγρασίας στο έδαφος Β σε βάθος 20 cm και η ρύθμισή της από τον ελεγκτή.



Διάγραμμα 3: Η διακύμανση της υγρασίας στο έδαφος Α σε βάθος 20 cm. Μετά τη πρώτη ρύθμιση της υγρασίας από τον ελεγκτή ακολούθησε βροχόπτωση.



Διάγραμμα 4: Η διακύμανση της υγρασίας στο έδαφος Α σε βάθος 20 cm και 60 cm και οι ρυθμίσεις της από τον ελεγκτή.

Στόχος του ελεγκτή είναι η συνεχής παρακολούθηση της πραγματικής τιμής εξόδου της διαδικασίας σε σχέση με τις επιθυμητές τιμές, ανεξάρτητα από οποιοδήποτε ενδογενείς ή εξωγενείς διαταραχές. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται με τη συνεχή σύγκριση των επιθυμητών τιμών με την πραγματική. Από τα διαγράμματα που παραθέτουμε προκύπτει ότι η εδαφική υγρασία ήταν πάντοτε πάνω από το κρίσιμο επίπεδο και εντός των επιθυμητών τιμών LVAL και HVAL που οριοθετούν κλάσμα της διαθέσιμης υγρασίας. Η υγρασία στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους μέχρι βάθους 20 cm παρουσιάζει μεγαλύτερη διέγερση σε διαταραχές σε αντίθεση με τα βαθύτερα στρώματα μέχρι βάθους 60 cm όπου η υγρασία είναι περισσότερο σταθερή. Στο έδαφος Β, λόγω μεγάλης διηθητικότητας, η πτώση της υγρασίας είναι περισσότερο απότομη σε σχέση με εκείνη του εδάφους Α, η οποία είναι πιο ομαλή.

Προφανώς, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στον προσδιορισμό των τιμών των παραμέτρων λειτουργίας (LVAL, HVAL). Η μέθοδος για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του ελεγκτή (συντονισμός) είναι πειραματική.

Για να παρακολουθήσουμε τη διακύμανση της εδαφικής υγρασίας σε βαθύριζα φυτά χρησιμοποιήσαμε δύο αισθητήρες (Πίνακας 2). Ο πρώτος τοποθετήθηκε σε βάθος 60cm και ο δεύτερος σε βάθος 20 cm. Με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίσαμε το πρόβλημα της υπερπήδησης (overshoot). Κατά την εφαρμογή δύο αισθητήρων παρακολούθησης της εδαφικής υγρασίας έχουμε περισσότερες μετρήσεις από τη φυσική διαδικασία και μία μόνο μεταβλητή έλεγχου. Ο στενότερος έλεγχος είναι εφικτός χρησιμοποιώντας δύο υποβρόχους.

Πίνακας 2: Προτεινόμενες τιμές βάθους τοποθέτησης των αισθητήρων:

	Καλαμπόκι	Πατάτες	Ζαχαρότευτλα
1^{ος} αισθητήρας	70 cm	50cm	80cm
2^{ος} αισθητήρας	20cm	20cm	20cm

Η αυξημένη υδραυλική αγωγιμότητα του νερού στη ζώνη ριζοστρώματος επέτρεψε στα φυτά να απορροφήσουν και να μεταφέρουν στα φύλλα μεγάλο όγκο νερού. Οι μέγιστες τιμές κατανάλωσης παρατηρήθηκαν μέσα στους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, γεγονός που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη εξάτμιση και στην ολοκλήρωση της φυλλικής ανάπτυξης των φυτών. Μέσα σ' αυτή τη περίοδο τα φυτά είχαν πάντοτε τη διαθέσιμη υγρασία για την ισόρροπη ανάπτυξή τους.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε ένα σύστημα ελέγχου της εδαφικής υγρασίας σε πραγματικό χρόνο.

Από την πειραματική επαλήθευση του συστήματος προκύπτει ότι είναι δυνατόν να αναπτυχθούν ικανές, συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών, ανεξάρτητα από τις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος.

Η μέτρηση και η ρύθμιση της εδαφικής υγρασίας γινόταν αυτόματα. Η σωστή ανάπτυξη των φυτών επιβεβαιώνει ότι δεν υπήρξαν ξηρές περιόδους στη ζώνη ριζοστρώματος κατά τη διάρκεια των θερμότερων περιόδων ενώ η κατανάλωση του νερού ήταν περιορισμένη.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Fexa, J., Siroky, K. 1983. Mereni Vlhkosti. Technicky pruvodce 60. SNTL, Praha.
2. Fischbach, P.E., Thompson, T.L., Stetson L.E. 1970. Electric controls for automatic surface irrigation systems with reuse systems. Transactions of the ASAE 13 (2): 286-288.
3. Malicki, M.A., Hanks R.J. 1989. Interfacial contribution to two-electrode soil moisture sensor readings. Irrigation Science 10: 41-54.
4. Painter, L.I. 1966. Method of subjecting growing plants to a continuous soil moisture stress. Agron. J. 58: 459-460.
5. Phene, C.J., Hoffman, G.J., Rawlins, S.L. 1971. Measuring soil matric potential in situ by sensing heat dissipation within a porous body: I. Theory and sensor construction. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35 : 27-33.
6. Richardson, G., Mueller – Beilschmid, P.M. 1989. Managing irrigation with gypsum blocks. Infor Inc., New York.
7. Sebel, F. a Kol. 1989. Sledovani a vyvoj vybranych snimacu a predpoklady unifikace automatizacnich prostredku. Zprava, VUZT Repy: 8-115.
8. Stenitzer, E. 1993. Monitoring soil moisture regimes of field crops with gypsum blocks. Theor. Appl. Climatol. 48: 159-165.
9. Waugh, D.L., Corey, R.B. 1963. A moisture control apparatus for use in short term studies. Agron. J. 55: 412-414.