

Τ.Ε.Ι ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΡΟΚΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ CROPWAT**

ΟΝ/ΜΟ: ΑΓΓΕΛΟΥ ΛΑΖΑΡΟΣ

ΑΜ: 10964

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ

ΔΡ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΑΛΑΜΟΣ

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	3
1 Ρόκα (Eruca Sativa).....	3
1.1 Συντελεστές ανάπτυξης ρόκας.....	4
1.1.1 Η επίδραση της θερμοκρασίας	4
1.1.2 Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας	5
1.1.3 Επίδραση της υδατικής τάσης.....	5
1.2 Λίπανση	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	7
2 Εξατμισοδιαπνοή.....	7
2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή καλλιεργειών	7
2.2 Μέθοδοι προσδιορισμού της εξατμισοδιαπνοής.....	8
2.2.1 Άμεσος προσδιορισμός εξατμισοδιαπνοής	8
2.2.2 Έμμεσος προσδιορισμός εξατμισοδιαπνοής	8
2.3 Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς	9
2.4 Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας αναφοράς.....	10
2.5 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας	15
2.5.1 Μέθοδοι προσδιορισμού του δείκτη φυλλικής επιφάνειας	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	17
3 Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR.....	17
3.1 Συσκευή TDR TRACE 6050X1	22
3.1.1 Διηλεκτρική σταθερά Kc.....	22
3.1.2 Προσδιορισμός της Kc.....	28
3.1.3 Παρουσίαση του οργάνου TDR	29
3.1.4 Λειτουργίες.....	41
3.1.4.1 Η λειτουργία zero set	41
3.1.5 Χρήση της οθόνης μετρήσεων	43
3.1.6 Κυματοδηγοί	44
3.1.7 Κάνοντας μια μέτρηση	46
3.1.8 Χρήση του ομοαξονικού καλωδίου και ρυθμίσεις	47
3.1.9 Μετρήσεις με θαβόμενο κυματοδηγό	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	50
4 Άρδευση με σταγόνες	50
4.1 Ορισμός	50
4.2 Διανεμητές	50

4.3	Σταλακτήρες	51
4.4	Σωληνώσεις	52
4.4.1	Διάταξη των πλευρικών.....	53
4.5	Κέντρο ελέγχου ή κεφαλή	53
4.5.1	Πηγή πίεσης και παροχής.....	53
4.6	Μειονεκτήματα της άρδευσης με σταγόνες έναντι των άλλων μεθόδων άρδευσης	55
4.6.1	Φραξίματα.....	56
4.7	Σχεδιασμός δικτύων άρδευσης με σταγόνες	57
4.7.1	Κριτήρια επιλογής του καταλληλότερου συστήματος άρδευσης	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5		60
5	Λογισμικό Cropwat.....	60
5.1	Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής με χρήση του Cropwat 8.0.....	60
5.2	Συλλογή κλιματικών δεδομένων.....	60
5.3	Μετατροπές των κλιματικών δεδομένων	60
5.4	Κλίμα / αποθήκευση δεδομένων εξατμισοδιαπνοής	61
5.5	Επεξεργασία δεδομένων βροχοπτώσεων.....	61
5.6	Προσδιορισμοί βροχοπτώσεων	62
5.6.1	Μέση μηνιαία βροχόπτωση	62
5.6.2	Έγκυρη βροχόπτωση	62
5.6.3	Βροχόπτωση σε υγρά, κανονικά και ξηρά έτη	62
5.6.4	Αποτελεσματική βροχόπτωση	62
5.6.5	Συλλογή δεδομένων βροχοπτώσεων	63
5.7	Μέθοδος αποτελεσματικότητας της βροχόπτωσης	63
5.7.1	Εισαγωγή δεδομένων βροχοπτώσεων.....	63
5.7.2	Αποθήκευση δεδομένων βροχοπτώσεων.....	63
5.8	Πληροφορίες για την καλλιέργεια και το έδαφος	64
5.8.1	Επεξεργασία δεδομένων καλλιέργειας και καλλιεργητικών προτύπων	64
5.8.2	Εισαγωγή δεδομένων καλλιέργειας.....	65
5.8.3	Αποθήκευση δεδομένων καλλιέργειας.....	66
5.9	Υπολογισμός των υδατικών αναγκών της καλλιέργειας.....	66
5.10	Σύστημα και απαιτήσεις πρωτεύοντος αγωγού	68
5.10.1	Εισαγωγή δεδομένων δικτύου εφαρμογής	68
5.10.2	Αρδευτικός σχεδιασμός και προγραμματισμός αρδεύσεων	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6		72
6	Πειραματική διαδικασία	72
6.1	Πειραματικός αγρός και φυτικό υλικό.....	72
6.2	Διαδικασία φύτευσης.....	72

6.3	Μεταφυτευτικό σοκ	72
6.4	Ρυθμός ανάπτυξης Ρόκας.....	73
6.5	Διαδικασία καταγραφής των δεδομένων της Ρόκας (Eruca sativa)	73
6.6	Προσδιορισμός υγρασίας εδάφους και Κα (διηλεκτρικής σταθεράς).....	75
6.6.1	Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ρόκας	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	85
Συμπεράσματα	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	90

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών, εν προκειμένω της ρόκας, με την χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Crop Wat 8.0 του Food and Agriculture Organization (FAO).

Για την χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Crop Wat 8.0 εισήχθησαν στο σύστημα μετεωρολογικά δεδομένα παλαιότερων ετών από το σταθμό του ΤΕΙ ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙΟΥ, δεδομένα εδάφους και τέλος δεδομένα για την ανάπτυξη της Ρόκας όπως τα στάδια ανάπτυξής της και το βάθος του ριζοστρώματος.

Η επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων παλαιότερων ετών βοήθησε στους υπολογισμούς για τις ανάγκες της Ρόκας σε νερό, λαμβάνοντας υπόψη την μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή για την θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου και τις ώρες ηλιοφάνειας. Η επεξεργασία του συνόλου των δεδομένων μαζί με τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής προσδιορίζουν της υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας, την συχνότητα και το εύρος των αρδεύσεων.

Ενώ το ένα μέρος των δεδομένων του πειράματος και συγκεκριμένα των κλιματικών, προήλθε από τον μετεωρολογικό σταθμό του ΤΕΙ, το άλλο μέρος των δεδομένων της καλλιέργειας της Ρόκας και του εδάφους προήλθε από τις μετρήσεις που εκτελέστηκαν σταδιακά κατά την ανάπτυξή της σε πειραματικό αγρό του ΤΕΙ. Οι μετρήσεις αυτές για την ανάπτυξη της Ρόκας έγιναν με δειγματοληψίες, ενώ οι τιμές υγρασίας λήφθηκαν με την μέθοδο TDR.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η διαπίστωση της ορθής λειτουργίας του προγράμματος Cgorwat 8.0 και η σύγκριση των αποτελεσμάτων του με αυτά που προέκυψαν από την εκτέλεση του πειράματος της καλλιέργειας της ρόκας.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιείχε, συγκέντρωση πληροφοριών για τις αρδευτικές ανάγκες ανάπτυξης της ρόκας μέσα από την διεθνή βιβλιογραφία, παράλληλη συγκέντρωση δεδομένων, παλαιότερων ετών από τον μετεωρολογικό σταθμό του ΤΕΙ που με κατάλληλη επεξεργασία προσαρμόστηκαν ώστε να εκτελεστούν από το υπολογιστικό πρόγραμμα αρδευτικών αναγκών Cgorwat 8.0.

Η βασική δομή της πτυχιακής απαρτίζεται από επτά κεφάλαια τα οποία ακολουθούν μια λογική αλληλουχία για την πλήρη κατανόηση της. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά για την ρόκα όπως ιστορικά στοιχεία αυτής και των συντελεστών ανάπτυξής της. Το δεύτερο κεφάλαιο επικεντρώνεται στις μεθόδους προσδιορισμού της εξατμισοδιαπνοής και του λόγου επιλογής της μεθόδου Penman – Monteith για τις ανάγκες της εργασίας. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται επισταμένη αναφορά στην τρόπο λειτουργίας της συσκευής TDR (Time Domain Reflectometry), με την βοήθεια την οποίας έγιναν οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας του πειράματος της ρόκας. Στο τέταρτο κεφάλαιο κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά στην άρδευση με σταγόνες καθώς οι αρδευτικές ανάγκες του πειράματος καλύφθηκαν με την συγκεκριμένη μέθοδο. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο υπολογιστικό πρόγραμμα Cgorwat 8.0 με πλήρη αναφορά στον τρόπο λειτουργίας του αλλά και στις ιδιαιτερότητες του, εκτελώντας τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν. Το έκτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στα υλικά αλλά και τα όργανα καταμέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν κατά της διάρκεια εκτέλεσης του πειράματος, καθώς επίσης στην συγκέντρωση και καταγραφή των δεδομένων από το πείραμα και την διεθνή βιβλιογραφία. Στο έβδομο ακολουθούν τα συμπεράσματα, η βιβλιογραφία και το παράρτημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1 Ρόκα (*Eruca Sativa*)

Το Εύζωμον το ήμερον (*Eruca sativa*), της οικογένειας των σταυρανθών (*Brassicaceae* ή *Cruciferae*), είναι ετήσιο φυτό, ιθαγενές της Ευρώπης κοινό στην Ελλάδα και τις παραμεσόγειες χώρες, γνωστό με την κοινή ονομασία ρόκα, ή αρώματος (στην Κρήτη). Είναι λαχανικό γνωστό μεταξύ εκείνων που ονομάζονταν «επίσπορα» από τον Θεόφραστο, δηλαδή αυτών που μπορούν να σπαρθούν πολλές φορές κατά την διάρκεια του έτους. Είναι συγγενές με το φυτό *Eruca langirostra* δηλαδή την άγρια ρόκα ή αζούματο που παλαιότερα φύτευε σε μεγάλες εκτάσεις, σαν σπαρτό, και θεωρείτο φυτό με μελισσοκομική αξία (Γενναδίου, 1959).

Η ρόκα είναι χειμωνιάτικο φυτό, ενώ ανθίζει από το Μάρτιο έως τον Ιούνιο. Το ύψος του φυτού φτάνει τα 20 - 100 χιλιοστά με βλαστούς που διακλαδίζονται. Τα άνθη του φυτού είναι μπεζ με διάμετρο δύο έως τέσσερα εκατοστά και σχηματίζουν ταξιανθία κόρυμβο, με την τυπική δομή του άνθους των σταυρανθών. Τα πέταλα είναι μπεζ, με μωβ πορφυρές νευρώσεις και οι στήμονες κίτρινοι. Το φυτό αποβάλλει τα σέπαλά του, αμέσως μετά την άνθιση. Τα φύλλα του είναι πτεροειδή, έλοβα με τέσσερις έως δέκα μικρούς, πλευρικούς λοβούς και ένα μεγάλο, ακραίο λοβό. Ο καρπός είναι μικρός, κωνικός, ραμφοειδής και περιέχει αρκετούς ωοειδής σπόρους κίτρινου χρώματος. Ο βλαστός και τα φύλλα της ρόκας τρώγονται σε διάφορες σαλάτες, ενώ σε ορισμένες περιοχές μαγειρεύεται. Η ρίζα του φυτού είναι πασσαλώδης. Πολλαπλασιάζεται με σπόρο. Η σπορά γίνεται με το χέρι (στα πεταχτά), από την Άνοιξη μέχρι το Φθινόπωρο. Σε μεγάλες καλλιέργειες η σπορά γίνεται με σπαρτικές μηχανές. Ευδοκμεί στα περισσότερα εδάφη με μικρή αντοχή στο pH (6-7). Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει ιδιαίτερα δημοφιλής σε διάφορες χώρες του κόσμου. Καλλιεργείται για τα μικρά της φύλλα και καταναλώνεται ως σαλάτα από μόνη της, ή σε ανάμειξη με άλλες σαλάτες. Στην περίπτωση αυτή, συγκομίζεται περίπου δεκαοχτώ ημέρες από την σπορά. Τα ώριμα φυτά συγκομίζονται τριάντα με πενήντα ημέρες από την σπορά και πωλούνται σε ματσάκια και συνήθως τρώγεται μαγειρεμένη. Η γεύση της είναι πιπεράτη, αρωματική και ελαφρώς πικρή. Η άγρια ρόκα έχει πιο πιπεράτη γεύση και πιο έντονο άρωμα από την καλλιεργούμενη. Από τα σπόρια του φυτού λαμβάνεται ένα ελαφρώς καυστικό έλαιο που χρησιμοποιείται στην φαρμακευτική. Η ρόκα που χρησιμοποιείται για θεραπευτικούς σκοπούς, πρέπει να συγκομίζεται κατά την ανθοφορία του φυτού.

Οι φρέσκες σαλάτες παίζουν σημαντικό ρόλο στην διατροφή του ανθρώπου. Το όφελος από τις φρέσκες σαλάτες βρίσκεται στις βιταμίνες A, B, C, D και E που βρίσκονται σε πολλές τιμές σε πολλές διαφορετικές σαλάτες. Κατά την περασμένη δεκαετία έρευνα έδειξε πως δίαιτες χαμηλές σε λιπαρά και πλούσιες σε φυτικές ίνες, μειώνουν την πιθανότητα καρκινογένεσης και της στεφανιαίας νόσου (Ryder, 1999; Szeto et al., 2001).

Στις Ευρωπαϊκές χώρες, το 2003 οι καλλιεργητές λαχανικών παράγααν περισσότερους από τέσσερα εκατομμύρια τόνους. Το 2007 υπήρχαν περίπου 3,435

καλλιεργητές με έκταση 55,375 εκταρίων, αξίας 858,7 εκατομμυρίων \$ για την εγχώρια αγορά και 566,2 εκατομμυρίων \$ για εξαγωγές (HortResearch, 2007).

Σε ορισμένες ποικιλίες λαχανικών οι παραγωγοί συγκομίζουν καθ'όλη την διάρκεια του χρόνου, τα λαχανικά πωλούνται με ελάχιστη ή και καθόλου επεξεργασία. Οι παραγωγοί διατηρούν την προμήθεια σε σταθερά επίπεδα με επαναλαμβανόμενη σπορά, καλλιέργεια και συγκομιδή των καλλιεργειών.

Εναλλακτικά μπορεί να εφαρμοστεί το σύστημα θερισμού και αναβλάστησης. Σε αυτό το σύστημα κόβονται επάνω από το σημείο ανάπτυξης, όταν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της αγοράς ή όταν είναι έτοιμη η καλλιέργεια για συγκομιδή. Τα νέα φύλλα αναφύονται από το σημείο ανάπτυξης μέσα σε δύο με τρεις μέρες. Η θερισμός επαναλαμβάνεται όταν τα φύλλα είναι έτοιμα. Σε περιβάλλον που ικανοποιούνται οι ανάγκες των φυτών η μέθοδος αυτή επαναλαμβάνεται αρκετές φορές.

Ο μέθοδος του θερισμού και της αναβλάστησης δίνει μεγαλύτερες αποδόσεις μειώνοντας το κόστος εργασίας και αυξάνοντας το κέρδος (Chestnutt, 1994; Beleskey and Fedders, 1995; Fisher and Dowdeswell, 1995).

Το κομμένο τμήμα του φυτού επηρεάζει την ομαλή ανάπτυξη των αναβλαστημένων φύλλων (Takagaki et al., 2003). Περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως θερμοκρασία και το φώς επηρεάζουν σημαντικά την αναβλάστηση.

1.1 Συντελεστές ανάπτυξης ρόκας

1.1.1 Η επίδραση της θερμοκρασίας

Όταν τα φύλλα της Ρόκας κοπούν, νέα φύλλα ή βλαστοί αναδημιουργούνται από το σημείο ανάπτυξης. Η ανάπτυξη αφορά την συγκέντρωση μάζας στο σύνολο του φυτού ή τμηματικά σε κάποια μέρη της (Hodges, 1991). Ο πρώτος και σημαντικότερος παράγοντας που επιδρά στην ανάπτυξη της Ρόκας είναι θερμοκρασία, καθώς διαμορφώνει συντελεστές όπως το ημερήσιο μήκος του φυτού και το μπουμπούκισμα (Hodges, 1991). Η επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη του φυτού έχει μελετηθεί διεξοδικά ως προς το χρονικό διάστημα της θερμικής έκθεσης.

Η βασική ιδέα για το χρονικό διάστημα της θερμικής έκθεσης της Ρόκας είναι η εξής. Η τμηματική ανάπτυξη του βλαστού σχετίζεται άμεσα με την συγκεντρωμένη θερμότητα και την διάρκεια της στην καλλιέργεια. Κάτω από μια συγκεκριμένη θερμοκρασία ο ρυθμός ανάπτυξης σταματά. Το ποσοστό της θερμικής έκθεσης της καλλιέργειας αυξάνεται παράλληλα με τον βαθμό ανάπτυξης της καλλιέργειας μέχρι μία βέλτιστη θερμοκρασία (Top) ή ένα εύρος τιμών (plateau). Πάνω από αυτή την τιμή ή το εύρος τιμών η θερμική έκθεση αυξάνεται και η ανάπτυξη των καλλιεργειών ελαττώνεται (Hodges, 1991).

1.1.2 Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η προερχόμενη από τον ήλιο ενέργεια. Τμήματα του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας επιδρούν στην παραγωγή υδατανθράκων μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Το φως διευκολύνει την ανάπτυξη της χλωροφύλλης και άλλων φωτοληπτικών ουσιών σημαντικών για την ανάπτυξη των φυτών. Οι υδρογονάνθρακες επιταχύνουν την ανάπτυξη του φυλλώματος των ριζών, των μίσχων και των λουλουδιών. Η χλωροφύλλη απορροφά πού έντονα την κόκκινη και μπλε περιοχή του φάσματος της ακτινοβολίας, η περιοχή αυτή συναντάται στην βιβλιογραφία ως φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία και περιλαμβάνει μήκη κύματος από 400 nm ως και 700nm (Sinclair and Muchow, 1999).

1.1.3 Επίδραση της υδατικής τάσης

Τα φυτά εξαρτώνται από το νερό για ένα μεγάλο φάσμα λειτουργιών. Αυτές περιλαμβάνουν τα εξής:

- Το νερό είναι βασικό συστατικό όλων των φυτών. Καταλαμβάνουν το 95% του συνολικού βάρους. Όταν το ποσοστό νερού πέσει κάτω από ένα ορισμένο σημείο, τότε οι ιστοί πεθαίνουν (Sutcliffe, 1969. Ehlers and Goss, 2003).
- Το νερό είναι το βασικό συστατικό του κυττάρου. Μια λεπτή επίστρωση νερού περιβάλλει κάθε κύτταρο και αυτή διαποτίζει του μικροπόρους ανάμεσα στη κυτταρική μεμβράνη και το κυτταρικό τοίχωμα ως χημικός παράγοντας η διαλύτης μεταφέροντας και άλατα τα οποία αφομοιώνει το φυτό (Sutcliffe, 1969; Ehlers and Goss, 2003).
- Το νερό περιέχει άτομα υδρογόνου το οποία επιδρούν στην μείωση του διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται κατά την φωτοσύνθεση και την διαπνοή των φυτών. Το νερό συμμετέχει άμεσα σε πλήθος χημικών διαδικασιών στο πρωτόπλασμα κατά την διάρκεια των μεταβολικών διαδικασιών (Sutcliffe, 1969; Ehlers and Goss, 2003).

Γενικά, το νερό αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα στην επίδραση της ανάπτυξης των φυτών. Έχει αποδειχτεί εμπειρικά ότι όταν τα φυτά έχουν απώλεια νερού στους ιστούς τους οφείλεται σε περίοδο έλλειψης νερού. (Ehlers and Goss, 2003). Οι Begg and Turner (1976) αναφέρουν ότι η υδατική τάση επηρεάζει όλες τις πτυχές του ρυθμού ανάπτυξης του φυτού.

1.2 Λίπανση

Στη βιολογική καλλιέργεια ρόκας η βασική λίπανση είναι κοπριά. Η θρέψη είναι ένα πολύπλοκο θέμα που σχετίζεται με πολλούς κλιματικούς και εδαφικούς παράγοντες. Στη βιολογική καλλιέργεια επιδίωξη είναι ένα υγιές έδαφος με οργανική

ουσία που λειτουργεί ως αποθήκη προάγοντας μικροοργανισμούς οι οποίοι δίνουν τα θρεπτικά συστατικά στα φυτά όποτε και όταν αυτά τα χρειάζονται.

Η κοπριά αποκτά ιδιαίτερη σημασία κυρίως για τις συνεχώς αυξανόμενες καλλιέργειες σκαλιστικών φυτών όπως είναι τα κηπευτικά, η πατάτα κ. α. Η κοπριά περιέχει σε μεγάλο ποσοστό οργανικά υλικά και αξιοσημείωτες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων ως και αυξητικές ουσίες και δικαιολογημένα αυτή χαρακτηρίζεται ως ολοκληρωμένο λίπασμα. Αποτελείται από στερεά και υγρά απορρίμματα ζώων καθώς επίσης από άχυρο με το οποίο επιστρώνεται ο στάβλος και από ζωοτροφές. Η ειδική σύσταση της κοπριάς εξαρτάται από το είδος των ζώων, από την ηλικία τους, από το σύστημα ενσταβλισμού καθώς και από το είδος, την ποσότητα της τροφής και του υλικού επίστρωσης του στάβλου. Η χημική σύσταση της κοπριάς σχετίζεται άμεσα με την τροφή των ζώων και με το είδος επίστρωσης του στάβλου και αυτό διότι στην κοπριά περιέχονται το 50% της οργανικής ουσίας και του αζώτου των ζωοτροφών και το 60-70% του φωσφόρου και του καλίου.

Σε μεγάλο βαθμό η επιτυχία της καλλιέργειας οφείλεται στην προετοιμασία του εδάφους. Οι καλλιεργητικές πρακτικές της βιολογικής γεωργίας με βελτιωτικά εδάφους είναι πολύ συνήθεις με σκοπό να αλλάξουν τις φυσικοχημικές, και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους (Sikora 1992, Spiegel et al., 1987).

Η προσθήκη κοπριάς στο έδαφος, οδηγεί στα θετικά αποτελέσματα που προκαλεί η αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους, η οποία συμβάλει στην βελτίωση των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του, όπως το πορώδες, την υδατοχωρητικότητα, τη σχέση νερού - αέρα, την C.E.C., το pH, την διαθέσιμη ποσότητα θρεπτικών στοιχείων κ. α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2 Εξατμισοδιαπνοή

Όταν αναφερόμαστε στην εξατμισοδιαπνοή των διαφόρων καλλιεργειών εννοούμε την απώλεια νερού που παρουσιάζεται υπό μορφή υδρατμών, ως αποτέλεσμα της διαπνοής των φυτών και της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους.

Ο χρονικός διαχωρισμός της διαπνοής και της εξάτμισης δεν είναι εύκολος αφού οι δύο διεργασίες συμβαίνουν ταυτόχρονα. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι κατά τα αρχικά στάδια εγκατάστασης μιας φυτείας, η απώλεια νερού λόγω της εξάτμισης του από την επιφάνεια του εδάφους είναι ιδιαίτερα μεγάλη, ενώ σε μεταγενέστερο στάδιο όπου η φυτοκάλυψη αυξάνεται, η απώλεια νερού συμβαίνει κυρίως λόγω της διεργασίας της διαπνοής των φυτών. Ποσοστό μεγαλύτερο του 90% της εξατμισοδιαπνοής προέρχεται μόνο από τη διαπνοή της καλλιέργειας, όταν αυτή φτάνει στο στάδιο πλήρους ανάπτυξης και καλύπτει σχεδόν όλη την επιφάνεια του εδάφους.

Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας συμβολίζεται διεθνώς με το ακρωνύμιο ETc προερχόμενο από την αγγλική λέξη Evapotranspiration με την ορολογία Evaporation (Εξάτμιση) και Transpiration (Διαπνοή). Ο συντελεστής c ανταποκρίνεται στην έννοια της καλλιέργειας (crop).

2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή καλλιεργειών

Η εξατμισοδιαπνοή διαφέρει μεταξύ των καλλιεργειών, αφού διαφοροποιείται από πολλές παραμέτρους. Μεταξύ άλλων να αναφέρουμε το φυτικό είδος της καλλιέργειας (βάθος και πυκνότητα του ριζικού συστήματος), το ποσοστό της φυτοκάλυψης του εδάφους, το στάδιο ανάπτυξής της. Επιπρόσθετα, διαφοροποιούν την εξατμισοδιαπνοή και οι κλιματικοί παράγοντες, όπως είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου.

Η εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών μετριέται σε χιλιοστόμετρα (mm) ανά μονάδα χρόνου. Εκφράζεται ως το ύψος του νερού που χάνεται από μια επιφάνεια και υπολογίζεται με την πιο κάτω σχέση:

$$\text{Ύψος νερού (mm)} = \frac{\text{Όγκος νερού (m}^3\text{)}}{\text{Επιφάνεια (m}^2\text{)}} \times 1000$$

Εξίσωση 2.1 Εξατμισοδιαπνοή καλλιεργειών

Στη γεωργική πρακτική μας ενδιαφέρει ο υπολογισμός της ποσότητας του νερού σε όγκο (m³).

Σύμφωνα με την πιο πάνω σχέση η απώλεια νερού ενός χιλιοστού ($1 \text{ mm}=0,001 \text{ m}$), σε επιφάνεια ενός στρέμματος (1000 m^2) ισοδυναμεί με απώλεια νερού $1 \text{ κυβικού μέτρου (m}^3\text{)}$.

2.2 Μέθοδοι προσδιορισμού της εξατμισοδιαπνοής

Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τρόποι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, άμεσα με μετρήσεις στο χωράφι ή έμμεσα με τη χρήση διαφόρων κλιματολογικών στοιχείων αντιπροσωπευτικών κάθε περιοχής.

2.2.1 Άμεσος προσδιορισμός εξατμισοδιαπνοής

Για τον άμεσο υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας χρησιμοποιείται η μέθοδος των πειραματικών αγροτεμαχίων ή υδατικού ισοζυγίου, η μέθοδος των διαδοχικών δειγματοληψιών και η μέθοδος του λυσιμέτρου.

Στη μέθοδο των πειραματικών αγροτεμαχίων ή του υδατικού ισοζυγίου υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή για ένα χρονικό διάστημα ως το άθροισμα του νερού που δόθηκε για άρδευση, της ωφέλιμης βροχόπτωσης και της περιεχόμενης υγρασίας του εδάφους στην αρχή και το τέλος της περιόδου αυτής, σε συνάρτηση με το βάθος του ριζοστρώματος και του φαινόμενου ειδικού βάρους του εδάφους. Περιορισμοί για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής αποτελεί η ανομοιομορφία του εδάφους στο βάθος του ριζοστρώματος, η υψηλή υπόγεια στάθμη νερού, το φαινόμενο της παρουσίας επιφανειακής απορροής και βαθιάς διήθησης του νερού. Κατά τη μέθοδο των διαδοχικών δειγματοληψιών γίνεται εργαστηριακός προσδιορισμός της υγρασίας του εδάφους με συνεχείς δειγματοληψίες εδάφους.

Σχετικά με τα λυσίμετρα, πρόκειται για μεταλλικά ή πλαστικά δοχεία, τα οποία γεμίζονται με χώμα και αναπτύσσονται καλλιέργειες στις οποίες θέλουμε να προσδιορίσουμε την εξατμισοδιαπνοή. Τα λυσίμετρα έχουν τέτοιο βάθος, το οποίο να μην εμποδίζει την ελεύθερη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών, η δε ελεύθερη επιφάνειά τους δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 3 τετραγωνικών μέτρων. Οι καλλιέργειες αναπτύσσονται σε συνθήκες περιβάλλοντος. Ανάλογα με τον τύπο του λυσιμέτρου που χρησιμοποιείται, υπολογίζεται και η εξατμισοδιαπνοή με μετρήσεις βάρους ανά διαστήματα.

2.2.2 Έμμεσος προσδιορισμός εξατμισοδιαπνοής

Ο έμμεσος προσδιορισμός της εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού πολλοί ερευνητές στο παρελθόν έχουν ασχοληθεί και μελετήσει την επίδραση που έχουν τα κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής, όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία του αέρα, η τάση των υδρατμών, η ταχύτητα του ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία στην υδατοκατανάλωση μιας καλλιέργειας. Προς τούτο έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι και λογισμικά, τα οποία

υπολογίζουν την επίδραση του κλίματος σε καλλιέργεια αναφοράς και εν συνεχεία στην υπό μελέτη καλλιέργεια με τη χρησιμοποίηση χαρακτηριστικών φυτικών συντελεστών. Ως τέτοιες να αναφέρουμε τη συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith, την μέθοδο Blaney-Criddle και την μέθοδο Thornthwait.

Ανεξάρτητα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται, για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας, πρέπει όπως αρχικά υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς (ET_r) και εν συνεχεία να γίνει η εκτίμηση της υπό μελέτης καλλιέργειας χρησιμοποιώντας αντιπροσωπευτικό φυτικό συντελεστή καλλιέργειας (K_c) ανάλογα με το στάδιο της βλαστικής περιόδου στο οποίο βρίσκεται. Έχοντας υπόψη τα πιο πάνω, ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση της πιο κάτω σχέσης:

$$ET_c = K_c \times ET_r$$

Σχέση 2.2 Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας

Όπου:

ET_c: Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (mm)

ET_r: Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς (mm)

K_c: Φυτικός συντελεστής καλλιέργειας

Να σημειωθεί ότι η πιο πάνω σχέση προσδιορίζει την εξατμισοδιαπνοή (ET_c) καλλιέργειας κάτω από άριστες συνθήκες ανάπτυξης. Θεωρούμε δηλαδή ότι η καλλιέργεια έχει στη διάθεσή της όσο νερό χρειάζεται, είναι απαλλαγμένη από εχθρούς και ασθένειες και γενικά ακολουθούνται όλες οι προβλεπόμενες καλλιεργητικές τεχνικές και συνθήκες για την άριστη ανάπτυξή της.

2.3 Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς

Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς αντιπροσωπεύει τις απαιτήσεις σε νερό μίας «υποθετικής καλλιέργειας», όπως αυτές διαμορφώνονται υπό την επίδραση των κλιματικών παραγόντων κάθε περιοχής. Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς συμβολίζεται διεθνώς ως ET_r ή ET₀.

Ως καλλιέργεια αναφοράς επικράτησε να θεωρείται η καλλιέργεια του χλοοτάπητα. Πρόκειται για καλλιέργεια ύψους 8-15 εκ., η οποία αναπτύσσεται δυναμικά, έχοντας δηλαδή στη διάθεσή της όσο νερό χρειάζεται και είναι απαλλαγμένη από ασθένειες, εχθρούς, ζιζάνια. Η τραχύτητα, η πυκνότητα, η φυλλική επιφάνεια αντιπροσωπεύουν χλοοτάπητα ψυχρής εποχής και όμοια με αυτά του αιθαλούς *Lolium perenne* ή της *Festuca arundinacea*.

Καλλιέργειες που διαμορφώνουν το φύλλωμά τους σε χαμηλά επίπεδα, που καλύπτουν όλη την επιφάνεια του εδάφους, που αναπτύσσονται σε εκτεταμένα χωράφια με επαρκή υγρασία σε όλη τη βλαστική περίοδο, παρουσιάζουν την ίδια εξατμισοδιαπνοή ανεξάρτητα από το είδος στο οποίο ανήκουν. Κάτω από αυτές τις

συνθήκες ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται μόνο από τις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα.

Εάν μετρήσουμε την επίδραση που ασκούν οι κλιματικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, ο άνεμος και η ηλιοφάνεια, πάνω στην εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς, θα καταστεί δυνατός ο υπολογισμός σε απαιτήσεις σε νερό της υπό μελέτη καλλιέργειας.

Τέτοια όργανα μέτρησης της εξάτμισης αποτελούν τα εξατμισίμετρα, μεταξύ άλλων το εξατμισίμετρο τύπου A (Class A pan).

2.4 Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας αναφοράς

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς επιβάλλει ένα άνω όριο στις τιμές της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής που εκτιμώνται από τα μοντέλα υδατικού ισοζυγίου. Ημερήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής αναφοράς συνήθως υπολογίζονται από διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα με κάποια από τις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί, μεταξύ των οποίων υπάρχουν σοβαρές διαφορές (Παπαμιχαήλ κ.ά., 1994, Αλεξίου κ.ά., 2000, Γεωργίου κ.ά., 2000). Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς για τις ελληνικές συνθήκες έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές (Parazafiriou, 1996, Παπαμιχαήλ κ.ά., 1994, Paramichail and Terzidis, 1996, Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, 1996, Αλεξίου και Παμαμιχαήλ, 1996, Kotsopoulos and Babajimopoulos, 1997, Paramichail and Alexiou, 1998, Παπαζαφειρίου, 1999, Παπαμιχαήλ και Γεωργίου, 1999).

Ως εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς, ET_R , θεωρείται αυτή που προέρχεται από μια υποθετική εκτεταμένη επιφάνεια υγιούς γρασιδιού, που αρδεύεται επαρκώς, έχει ομοιόμορφο ύψος 0,12 m, αναπτύσσεται δυναμικά και σκιάζει πλήρως το έδαφος (Doorenbos and Pruitt, 1977, Allen et al., 1998).

Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών, ET_c , αναφέρεται σε καλλιέργειες μεγάλης έκτασης υπό άριστες αγρονομικές συνθήκες και συνθήκες εδαφικής υγρασίας. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή η ET_R υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$ET_R = \frac{0,408 * \Delta * (R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T + 273} * u_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma * (1 + 0,34 * u_2)}$$

Εξίσωση 2.3 Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς

όπου:

ET_R : η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (mm/d),

R_n : η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία ($MJ m^{-2} d^{-1}$),

G : η ροή θερμότητας στο έδαφος ($MJ m^{-2} d^{-1}$) που για ημερήσια χρονικά ;

διαστήματα μπορεί να θεωρηθεί $G \approx 0$ (Παπαμιχαήλ και Γεωργίου, 1999), Την μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2 m ($^{\circ}C$),

u_2 : η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2 m ($m s^{-1}$),

- πίεση κορεσμένων υδρατμών (kPa),
 πραγματική πίεση υδρατμών (kPa),
 έλλειμμα κορεσμού υδρατμών (kPa),
 γ: η ψυχομετρική σταθερά (kPa oC-1).
 Όλες οι παράμετροι στην εξίσωση (2.3) πρέπει να είναι γνωστές (μετρημένες) ή να υπολογιστούν από προσεγγιστικές εξισώσεις. Οι παράμετροι και εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του αέρα (T) και για τον υπολογισμό τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες εξισώσεις (Allen et al., 1998, Παπαζαφειρίου, 1999) :

$$e_s(T) = 0,6108 * e^{\left(\frac{17,27*T}{T+273,3}\right)}$$

Εξίσωση 2.4 Υπολογισμός μέσης τιμής

$$\Delta(T) = \frac{4098}{(T + 237,3)^2} * e_s$$

Εξίσωση 2.5 Υπολογισμός διαφοράς θερμοκρασίας

Η e_s στην εξίσωση (2.4) υπολογίζεται ως η μέση τιμή που προκύπτει για τις θερμοκρασίες T_{max} και T_{min} και οι οποίες αναφέρονται σε οποιαδήποτε χρονική περίοδο (ημέρα, εβδομάδα, δεκαήμερο, μήνα) :

$$e_s = \frac{e_s(T_{max}) + e_s(T_{min})}{2} \quad (\text{kPa})$$

Εξίσωση 2.6 Υπολογισμός μέσης θερμοκρασίας

ενώ στην εξίσωση (2.7) χρησιμοποιείται η μέση θερμοκρασία του αέρα (T_{mean} , °C) που μπορεί να υπολογιστεί και ως :

$$T_{mean} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

Εξίσωση 2.7 Υπολογισμός μέσης θερμοκρασίας αέρα

Η πραγματική πίεση υδρατμών e_a (kPa), υπολογίζεται από την πίεση των κορεσμένων υδρατμών και τη σχετική υγρασία του αέρα RH (%) ως :

$$e_a = e_s \frac{RH}{100}$$

Εξίσωση 2.8 Υπολογισμός πίεσης υδρατμών

Η παράμετρος e_a μπορεί να υπολογιστεί εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία μέγιστης και ελάχιστης σχετικής υγρασίας (RHmax, RHmin) ως εξής:

$$e_a = \frac{e_s(T_{\max}) \frac{RH_{\min}}{100} + e_s(T_{\min}) \frac{RH_{\min}}{100}}{2}$$

Εξίσωση 2.9 Υπολογισμός σχετικής υγρασίας

ενώ αν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία μέσης σχετικής υγρασίας (RHmean) ως :

$$e_a = \frac{RH_{mean}}{100} \left(\frac{e_s(T_{\max}) + e_s(T_{\min})}{2} \right)$$

Εξίσωση 2.10 Υπολογισμός μέσης σχετικής υγρασίας

Η ψυχομετρική σταθερά γ (kPa/oC) υπολογίζεται ως :

$$\gamma = \frac{C_p * P}{\lambda * \epsilon} = 0,00163 * \frac{P}{\lambda}$$

Εξίσωση 2.11 Υπολογισμός ψυχομετρικής σταθεράς

όπου: C_p ειδική θερμότητα υγρού αέρα (=1,013 kJ kg⁻¹ oC⁻¹) και P η ατμοσφαιρική πίεση (kPa) που υπολογίζεται ως:

$$p = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 * z}{293} \right)^{5,29}, \quad z(\text{m}) \text{ υψόμετρο}$$

Εξίσωση 2.12 Υπολογισμός ατμοσφαιρικής πίεσης

ϵ : ο λόγος μοριακού βάρους υδρατμών προς μοριακό βάρος ξηρού αέρα = 0,622

λ : η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (MJ kg⁻¹) που υπολογίζεται ως:

$$\lambda = 2,501 - (2,361 * 10^{-3}) * T, \quad T \text{ σε oC}$$

Εξίσωση 2.13 Υπολογισμός λανθάνουσας θερμότητας εξάτμισης

Η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία, R_n , ισούται με τη διαφορά της εισερχόμενης καθαρής ακτινοβολίας μικρού μήκους και της εξερχόμενης καθαρής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους (R_n):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

Εξίσωση 2.14 Υπολογισμός καθαρής ηλιακής ακτινοβολίας

Η εισερχόμενη καθαρή ακτινοβολία μικρού μήκους (R_{ns}) υπολογίζεται ως:

$$R_{ns} = (1 - a) * R_s$$

Εξίσωση 2.15 Υπολογισμός εισερχόμενης καθαρής ηλιακής ακτινοβολίας

όπου: a συντελεστής ανακλαστικότητας της καλλιέργειας αναφοράς ή albedo ($a = 0,23$) και η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (R_s).

Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, (R_s), σε περίπτωση που δεν μετράται, υπολογίζεται από τη σχέση (στη διατριβή αυτή χρησιμοποιούνται μετρήσεις της από τον μετεωρολογικό σταθμό που αναφέρεται πιο πάνω):

$$R_s = (a_s + b_s * \frac{n}{N}) * R_a$$

Εξίσωση 2.16 Υπολογισμός εισερχόμενης καθαρής ηλιακής ακτινοβολίας με χρήση μετεωρολογικών δεδομένων.

όπου n : η πραγματική διάρκεια της ημέρας σε ώρες,

N : η θεωρητική διάρκεια της ημέρας σε ώρες,

n/N : η σχετική διάρκεια της ημέρας,

R_a : η ηλιακή ακτινοβολία στο άνω όριο της ατμόσφαιρας ($MJ m^{-2} d^{-1}$)

a_s, b_s : σταθερές παλινδρόμησης με τιμές από 0,20 μέχρι 0,19 και 0,51 μέχρι 0,54 αντίστοιχα (Φλόκας, 1986).

Η ηλιακή ακτινοβολία στο άνω όριο της ατμόσφαιρας, R_a , και η θεωρητική διάρκεια της ημέρας, N , μπορούν να υπολογιστούν από τις ακόλουθες εξισώσεις (Allen et al., 1998; Jensen et al., 1990):

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} * G_{sc} * d_r * (\omega_s * \sin(\varphi) * \sin(\delta) + \cos(\varphi) * \cos(\delta) * \sin(\omega_s))$$

Εξίσωση 2.17 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας στο άνω όριο της ατμόσφαιρας

$$N = \omega_s * \left(\frac{24}{\pi}\right)$$

Εξίσωση 2.18 Υπολογισμός θεωρητικής διάρκειας ημέρας

$$d_r = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right)$$

Εξίσωση 2.19 Υπολογισμός σχετικής απόστασης γης και ήλιου

$$\delta = 0,409 * \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right)$$

Εξίσωση 2.20 Υπολογισμός απόκλισης του ήλιου

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\varphi) * \tan(\delta))$$

Εξίσωση 2.21 Υπολογισμός ωριαίας γωνίας

όπου:

Gsc: ηλιακή σταθερά (0,0820 MJ m⁻² min⁻¹),

dr: σχετική απόσταση μεταξύ γης και ήλιου,

ωs: ωριαία γωνία σε rad,

φ: το γεωγραφικό πλάτος σε rad,

δ: απόκλιση του ήλιου σε rad.

J: Ιουλιανή ημέρα του έτους [J=1, 2,...,365 (366)].

Η εξερχόμενη καθαρή ακτινοβολία μεγάλου μήκους,(MJ mnIR-2 d-1), υπολογίζεται ως (Allen et al., 1998):

$$R_{nl} = \sigma * \left(\frac{T_{\max,K^4} + T_{\min,K^4}}{2}\right) * (0,34 - 0,14 * \sqrt{e_a}) * \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35\right)$$

Εξίσωση 2.22 Υπολογισμός εξερχόμενης καθαρής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους

όπου: σ : σταθερά Stephan - Boltzman

Tmax, K: μέγιστη απόλυτη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας [K= oC+273,16],

Tmin,K: ελάχιστη απόλυτη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας [K= oC+273,16],

ea: η πραγματική πίεση των υδρατμών στον αέρα (kPa),

Rs: η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (MJ m⁻² d-1)

Rso: η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία όταν δεν υπάρχει νέφωση (MJ m⁻² d-1) που για οποιοδήποτε υψόμετρο z (m) πάνω από το επίπεδο της θάλασσας υπολογίζεται ως:

$$R_{so} = (a_s + b_s + 2 * 10^{-5} * z) R_a$$

Εξίσωση 2.23 Υπολογισμός εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας όταν δεν υπάρχει νέφωση

Όταν η ταχύτητα του ανέμου u δίνεται σε διαφορετικό των 2 m ύψος από την επιφάνεια του εδάφους, τροποποιείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση (Allen et al., 1998):

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8_z - 5,42)}$$

Εξίσωση 2.24 Υπολογισμός μέσης ταχύτητας ανέμου

όπου:

u_2 : η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2m από το έδαφος (m s⁻¹),

u_z : η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z m από το έδαφος (m s⁻¹),

z : το υψόμετρο μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου (m).

2.5 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), είναι μία αδιάστατη παράμετρος του φυλλώματος των φυτών και ορίζεται ως λόγος της φυλλικής επιφάνειας ανά μονάδα επιφάνειας του εδάφους. Ο δείκτης αυτός χαρακτηρίζει τη διεπιφάνεια φυλλώματος-ατμόσφαιρας, μέσω της οποίας γίνεται η ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ του φυτού και της ατμόσφαιρας (Brèda, 2003). Προσδιορίζει τη συγκράτηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα φυτά και κατά συνέπεια επηρεάζει την ανάπτυξη και την απόδοσή τους (Wilhelm et al., 2000). Η στενή δε σχέση που υπάρχει μεταξύ του δείκτη φυλλικής επιφάνειας και της συγκράτησης της ακτινοβολίας, χρησιμοποιείται για τον έμμεσο προσδιορισμό του πρώτου.

Επίσης ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας διαμορφώνει το μικροκλίμα μέσα και κάτω από το φύλλωμα του φυτού, προσδιορίζει τη διαπνοή του φυτού, τη συγκράτηση του νερού της βροχής και της άρδευσης από το φύλλωμα και τη δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα (Brèda, 2003). Ακόμη σε πολλά μοντέλα προσομοίωσης του υδατικού ισοζυγίου του εδάφους, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας χρησιμοποιείται ως παράμετρος διαχωρισμού της εξατμισοδιαπνοής σε εξάτμιση και διαπνοή.

Για τους λόγους αυτούς σε πολλά πειράματα φυσιολογίας και αγρομετεωρολογίας, όπως και σε πειράματα που αποβλέπουν στη ρύθμιση και την επιβεβαίωση μοντέλων παραγωγής και κατανομής του νερού στο έδαφος, απαιτούνται μετρήσεις του δείκτη φυλλικής επιφάνειας. Οι μετρήσεις όμως αυτές δύσκολα πραγματοποιούνται με ακρίβεια, λόγω της χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας που παρουσιάζει ο δείκτης αυτός.

2.5.1 Μέθοδοι προσδιορισμού του δείκτη φυλλικής επιφάνειας

Για τη μέτρηση του LAI έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι που διακρίνονται σε άμεσες και έμμεσες (Bréda, 2003). Στις άμεσες μεθόδους από ένα αριθμό φυτών που αποκόπτονται, διαχωρίζονται τα φύλλα από τα άλλα μέρη του φυτού και προσδιορίζεται το εμβαδόν του συνόλου των φύλλων. Το γινόμενο του μέσου εμβαδού των φύλλων ανά φυτό και της πυκνότητας των φυτών δίνει το δείκτη φυλλικής επιφάνειας. Εναλλακτικά με αυτές τις μεθόδους ο LAI μπορεί να μετρηθεί χωρίς την καταστροφή των φυτών. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν το εμβαδόν των φύλλων με τις διαστάσεις τους (de Jesus, 2001 και Bréda, 2003).

Στις έμμεσες μεθόδους ο LAI υπολογίζεται έμμεσα από μετρήσεις της ακτινοβολίας πάνω και κάτω από φύλλωμα της καλλιέργειας (radiation measurement method) ή από την ανάλυση ημισφαιρικής εικόνας (hemispherical image analysis) (Bréda, 2003). Στην πραγματικότητα, οι έμμεσες μέθοδοι προσδιορισμού του LAI που στηρίζονται στη μέτρηση της ακτινοβολίας, δεν εκτιμούν το εμβαδόν των φύλλων, αλλά το εμβαδόν όλων των μερών του φυλλώματος (στελέχη, κλάδοι, ταξιανθίες) καθώς κι αυτά συμμετέχουν στη συγκράτηση της ακτινοβολίας. Πολλοί ερευνητές, υποστηρίζουν ότι είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται ο όρος δείκτης επιφάνειας φυτού (PAI) αντί του όρου δείκτης φυλλικής επιφάνειας, όταν γίνεται χρήση της μεθόδου μέτρησης της ακτινοβολίας για την εκτίμηση του LAI (Potter et al., 1996, Wilhelm et al., 2000, Bréda, 2003).

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές δημοσιεύσεις που αναφέρονται στη χρήση των έμμεσων μεθόδων προσδιορισμού του LAI, όπως των Martens et al. (1993), των Wilhelm et al. (2000), των de Jesus et al. (2001), του Singer (2001), των Malone et al. (2002), των Lafitte and Courtois (2002), των Nelson et al. (2002), των Tsubo et al. (2003), των Earl and Davis (2003), των Hyer and Goetz (2004) και άλλες. Κατά τους Wilhelm et al. (2000) οι έμμεσες μέθοδοι υποεκτιμούν το LAI σε σύγκριση με την άμεση μέθοδο της αποκοπής των φυτών. Ενώ κατά τους Jesus et al. (2001) οι εκτιμήσεις του LAI με τις έμμεσες και άμεσες μεθόδους παρουσιάζουν καλή συσχέτιση μεταξύ τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3 Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR

Η συχνότητα των μετρήσεων της εδαφικής υγρασίας εξαρτάται από τον σκοπό για τον οποίο αυτές διεξάγονται, κυμαίνεται δε από κάποιες σποραδικές μετρήσεις στο εργαστήριο μέχρι την περιοδική ή συνεχή παρακολούθησή της σε διάφορα βάθη και θέσεις. Οι μετρήσεις της παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την πραγματική εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών και της βλάστησης γενικότερα, για τη διήθηση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους προς τη ζώνη του ριζοστρώματος των φυτών και για τη στράγγιση του νερού από τη ζώνη του ριζοστρώματος προς τα βαθύτερα στρώματα του εδαφικού προφίλ.

Επίσης η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας, καθώς και η παρακολούθηση των μεταβολών της στο χρόνο και στο χώρο, αποτελεί βασική συνιστώσα εκείνων των πρακτικών διαχείρισης του αρδευτικού νερού, που στηρίζονται στη διατήρηση της υγρασίας του εδάφους σε ένα ορισμένο διάστημα τιμών, αναπληρώνοντας την κατανάλωση του νερού από τα φυτά, με άρδευση.

Κατά τους Gardner et al. (1991) ο όρος περιεχόμενο στο έδαφος νερό που είναι ταυτόσημος με τον όρο εδαφική υγρασία, αναφέρεται στο νερό που θα απομακρυνθεί από το έδαφος, όταν αυτό θερμανθεί σε θερμοκρασία μεταξύ 100 και 110 οC έως ότου σταθεροποιηθεί το βάρος του. Ο ορισμός αυτός της εδαφικής υγρασίας κατά τους ίδιους συγγραφείς δεν στηρίζεται σε θεωρητική επιστημονική βάση, αποτελεί όμως την αρχή στην οποία στηρίζεται η σταθμική μέθοδος προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας, με την οποία βαθμονομούνται όλες οι άλλες μέθοδοι.

Η μέθοδος μέτρησης χρόνου ανάκλασης ηλεκτρομαγνητικού παλμού, που είναι γνωστή στη διεθνή βιβλιογραφία ως TDR (Time Domain Reflectometry), προσδιορίζει την εδαφική υγρασία έμμεσα από τη μέτρηση της διηλεκτρικής σταθεράς, K_c , του εδάφους. Η αρχή της μεθόδου συνίσταται στη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για να διατρέξει ένας ηλεκτρομαγνητικός παλμός υψηλής συχνότητας (600-1200 MHz) το μήκος ενός βυθισμένου στο έδαφος κυματοδηγού. Από τις τιμές του χρόνου αυτού υπολογίζεται η φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους και από αυτή προσδιορίζεται η κατ' όγκο υγρασία του.

Η ταχύτητα με την οποία ο ηλεκτρομαγνητικός παλμός κινείται κάθετα στην παράλληλη γραμμή μεταφοράς εξαρτάται από την διηλεκτρική σταθερά, (K_c), του υλικού που έρχεται σε επαφή με την γραμμή μεταφοράς. Όσο μεγαλύτερη είναι η διηλεκτρική σταθερά τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα.

Το έδαφος σε γενικές γραμμές αποτελείται από αέρα, ανόργανα, οργανικά στοιχεία και νερό. Η διηλεκτρική σταθερά για αυτά τα στοιχεία είναι η εξής:

- Αέρας : 1
- Ανόργανα και οργανικά στοιχεία: 2 με 4

- Νερό: 80

Λόγω της μεγάλης διαφοράς της διηλεκτρικής σταθεράς του νερού από τις άλλες συνιστώσες του εδάφους, η ταχύτητα της πορείας ενός παλμού μικροκυμάτων στην κάθετη γραμμή μεταφοράς και ο εγκλωβισμός του στο έδαφος εξαρτάται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό.

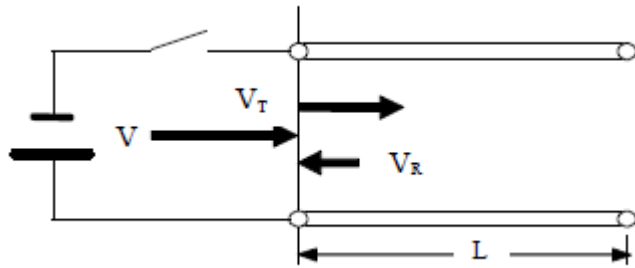
Όταν ένας παλμός μικροκυμάτων κινείται κάθετα στην γραμμή μεταφοράς, μπορεί να συμπεριφερθεί με διάφορους τρόπους όπως μια ακτίνα φωτός. Ασυνέχειες του περιβαλλόμενου υλικού μπορούν να οδηγήσουν σε αντανάκλαση της ενέργειας διαμέσου της γραμμής, όπως ακριβώς μια ακτίνα φωτός που κατευθύνεται κάθετα σε ένα σωλήνα και ανακλάται από ένα κάτοπτρο που βρίσκεται στην άλλη άκρη του.

Μία απλοποιημένη σχηματική αναπαράσταση της αρχής λειτουργίας της μεθόδου TDR φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Ένας παλμός τάσης V εφαρμόζεται στις παράλληλες γραμμές διαβίβασης. Ένα κλάσμα της εφαρμοζόμενης τάσης VT διαδίδεται κατά μήκος των κυματοδηγών. Μετά την ανάκλαση του παλμού από το έδαφος στο τέλος των κυματοδηγών, ένα κλάσμα VR επιστρέφει στην αρχή. Ο χρόνος που μεσολαβεί από την είσοδο του παλμού στον κυματοδηγό μέχρι την επιστροφή του είναι ο χρόνος διαβίβασης από την ακριβή μέτρηση του οποίου προσδιορίζεται η φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (Dalton, 1992):

$$k_c = \left(\frac{ct}{L} \right)^2$$

Σχέση 3.1 Φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους

όπου: c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό (cm ns⁻¹), L είναι το μήκος του κυματοδηγού σε cm και t ο χρόνος σε ns που απαιτείται για να διατρέξει ο ηλεκτρομαγνητικός παλμός την απόσταση 2L. Ο χρόνος διαβίβασης και κατ' επέκταση η διηλεκτρική σταθερά του υγρού εδάφους εξαρτάται από την αναλογία των τριών φάσεων του εδάφους (νερό, αέρας και στερεά συστατικά). Η διηλεκτρική σταθερά του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία και κυμαίνεται από 74 μέχρι 84 (80,2 στους 20 οC), είναι δε περίπου εικοσαπλάσια εκείνης των στερεών συστατικών του εδάφους (3 έως 5) και 80 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του αέρα (1,0005 στους 20 οC).



Εικόνα 3.3.1

Σχηματική παράσταση της αρχής λειτουργίας της μεθόδου TDR, που δείχνει την τάση εκκίνησης του παλμού V , το διαβιβαζόμενο κλάσμα V_T και το ανακλώμενο V_R .

Οι μεγάλες διαφορές μεταξύ των τιμών της διηλεκτρικής σταθεράς του νερού και των άλλων φάσεων του εδάφους, καθιστά τη φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, ευαίσθητη στην εδαφική υγρασία (Topp et al., 1980). Βασιζόμενοι σ' αυτό, οι Topp et al. (1980) πρότειναν μία εμπειρική σχέση για τον υπολογισμό της κατ' όγκο εδαφικής υγρασίας, θ , από τη φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, K_c , όπως αυτή υπολογίζεται με την τεχνική TDR:

$$\theta = -0,053 + 0,0292 * K_c - 0,00055 * K_c^2 + 0,0000043 * K_c^3$$

Σχέση 3.2 Υπολογισμός της κατ' όγκο εδαφικής υγρασίας

Η εμπειρική αυτή σχέση των Topp et al. (1980), ισχύει για ευρύ φάσμα ανόργανων εδαφών και υπολογίζει με ικανοποιητική ακρίβεια (λάθος εκτίμησης περίπου 0,013) την εδαφική υγρασία όταν αυτή είναι μικρότερη από $0,5 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Δεν μπορεί όμως να περιγράψει τη σχέση θ - K_c όταν η εδαφική υγρασία είναι μεγαλύτερη από $0,5 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, όπως επίσης σε οργανικά εδάφη και σε ανόργανα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία ή άργιλο (Jones et al., 2002). Στις περιπτώσεις που η εξίσωση των Topp et al. (1980) αδυνατεί να περιγράψει τη σχέση θ - K_c , απαιτείται βαθμονόμηση της μεθόδου για τις ειδικές συνθήκες της κάθε περίπτωσης.

Για τον υπολογισμό της εδαφικής υγρασίας από τη φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους έχουν προταθεί και άλλες σχέσεις, όπως η παρακάτω σχέση των Ferret et al. (1996), που είναι ισοδύναμη με τη σχέση (3.2):

$$\theta = 0,1181\sqrt{K_c} - 0,1841$$

Σχέση 3.3 Υπολογισμός εδαφικής υγρασίας

Επίσης, οι Roth et al. (1990) πρότειναν μία σύνθετη σχέση, σύμφωνα με την οποία η εδαφική υγρασία υπολογίζεται από τη φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά του

εδάφους, τις διηλεκτρικές σταθερές των τριών φάσεων του εδάφους και το πορώδες του. Η σχέση αυτή είναι της μορφής:

$$\theta = \frac{\sqrt{K_c} - (1-n)\sqrt{K_s} - n\sqrt{K_a}}{\sqrt{K_w} - \sqrt{K_a}}$$

Σχέση 3.4 Υπολογισμός εδαφικής υγρασίας από τη φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους.

όπου: K_c η φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, n : το πορώδες του εδάφους και K_s , K_w , K_a : η διηλεκτρική σταθερά της στερεάς, της υγρής και της αέριας φάσης του εδάφους, αντίστοιχα. Κατά τους Jones et al. (2002) η καμπύλη βαθμονόμησης που παράγεται με τη σχέση (3.4) είναι σχεδόν όμοια με την καμπύλη που δίνει το τρίτου βαθμού πολυώνυμο (σχέση 3.2) των Topp et al. (1980), για τιμές της εδαφικής υγρασίας μικρότερες από 0,5 cm³ cm⁻³.

Οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR επηρεάζονται σε κάποιο βαθμό από τη διηλεκτρική σταθερά των εδαφικών υλικών, κι ως εκ τούτου από τον τύπο του εδάφους. Για υγρασία εδάφους παραδείγματος χάριν 20%, η αλλαγή της διηλεκτρικής σταθεράς των εδαφικών υλικών από 3 σε 5 ισοδυναμεί με αλλαγή της υγρασίας του εδάφους από 20% σε 21,5% (Gardner et al., 1991). Οι ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζουν τις μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR είναι η φαινόμενη πυκνότητα, η μηχανική σύσταση, κυρίως η περιεκτικότητα σε άργιλο (Sun et al., 2001, Jones et al., 2002, Gong et al., 2003) και η δομή των συσσωματωμάτων του εδάφους (Miyamoto et al., 2003). Για το λόγο αυτό, ακόμη και στις περιπτώσεις που η εξίσωση των Topp et al. (1980) περιγράφει τη σχέση θ - K_b με την ακρίβεια που αναφέρεται παραπάνω (λάθος εκτίμησης περίπου 0,013), αλλά επιδιώκεται μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας, είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση της μεθόδου ως προς τον τύπο του εδάφους.

Κατά τους Persson et al. (2002), η διαδικασία της βαθμονόμησης της μεθόδου TDR μπορεί να αντικατασταθεί με τη δημιουργία της σχέσης θ - K_c από τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους (φαινόμενη πυκνότητα, περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και μηχανική σύσταση) χρησιμοποιώντας τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks). Σύμφωνα με τους ερευνητές αυτούς, η σχέση θ - K_c που δημιουργείται με τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα υπολογίζει την εδαφική υγρασία με μεγαλύτερη ακρίβεια από τις εξισώσεις των Topp et al. (1980) και Roth et al. (1990).

Επίσης οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR επηρεάζονται από τη συγκέντρωση των αλάτων στο έδαφος. Η παρουσία αλάτων επηρεάζει τις μετρήσεις της φαινόμενης διηλεκτρικής σταθεράς και κατά συνέπεια τις μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας. Κατά τους Robinson et al. (1998) η τιμή της φαινόμενης διηλεκτρικής σταθεράς που προσδιορίζεται με τη μέθοδο TDR, είναι αυξημένη έναντι της πραγματικής της τιμής σύμφωνα με τη σχέση:

$$\sqrt{K_{b(TDR)}} = \sqrt{K_b} + 1,72 * EC_a$$

Σχέση 3.5 Υπολογισμός εδαφικής υγρασίας με την χρήση δεδομένων από TDR.

όπου: EC_a είναι η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους σε S/m. Η υπερεκτίμηση αυτή της φαινόμενης διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους με τη μέθοδο TDR έχει ως συνέπεια την υπερεκτίμηση και της εδαφικής υγρασίας η οποία υπολογίζεται με τη σχέση (5.2). Για τιμές της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους μικρότερες από 0,05 S/m οι τιμές $K_b(TDR)$ και K_b μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμες, ενώ για τιμές μεγαλύτερες από 0,05 S/m είναι απαραίτητη η προσαρμογή των τιμών της εδαφικής υγρασίας (Robinson et al., 1998).

Για να γίνει ευκολότερα κατανοητή η επίδραση της συγκέντρωσης των αλάτων του εδάφους στις μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR, είναι σκόπιμο να αναφερθεί η σχέση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC_a) με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού των πόρων (EC_w) η οποία εκφράζει την αλατότητα του εδάφους. Οι δύο αυτές παράμετροι συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση των Rhoades et al. (1976):

$$EC_a = EC_w * \theta * T + EC_s$$

Σχέση 3.6 Υπολογισμός εδαφικής υγρασίας.

όπου: θ η υγρασία του εδάφους, EC_s είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα της στερεάς φάσης του εδάφους και T είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τον τύπο και την υγρασία του εδάφους. Σύμφωνα με τους Rhoades et al. (1976) για αμμώδες έδαφος ο συντελεστής T είναι ανάλογος της εδαφικής υγρασίας ($T=1,2867*\theta-0,1158$), ενώ σύμφωνα με τους Amente et al. (2000) είναι ανάλογος της ποσότητας θ 0,58. Από τη σχέση (3.6) γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι το όριο των 0,05 S/m για την EC_a θα αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού των πόρων (EC_w), όσο η υγρασία του εδάφους θα γίνεται μικρότερη. Σε ένα αμμώδες για παράδειγμα έδαφος με $EC_s=0,025$ S/m (Rhoades et al., 1976), η μείωση της υγρασίας του από 0,4 cm³/cm³ σε 0,2 cm³/cm³ θα έχει σαν συνέπεια την αύξηση της τιμής της EC_w , πάνω από την οποία θα πρέπει να γίνει προσαρμογή των μετρήσεων, από 0,125 S/m ή 1,25 mmhos/cm σε 3,2 mmhos/cm.

Η μέθοδος TDR έχει χρησιμοποιηθεί στην Ελλάδα για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας στο εργαστήριο και στον αγρό τους Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη κ.ά. (1996), Sakellariou-Maktantonaki (1998), Kalfountzos et al. (2002), Kalfountzos et al. (2003), Καλφούντζος (2003), Αγγελάκη (2004).

Η μέθοδος TDR εκτός από τη χρήση της για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας, χρησιμοποιείται και για τη μέτρηση της αλατότητας του εδάφους (Topp et al., 1988, Dalton, 1992, Amente et al., 2000, Jones et al., 2002). Η μέτρηση της αλατότητας πραγματοποιείται με ταυτόχρονες μετρήσεις της υγρασίας και της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Από τις μετρήσεις αυτές και τη σχέση (3.6) υπολογίζεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους και από αυτή μέσω των σχέσεων ηλεκτρικής αγωγιμότητας-συγκέντρωσης αλάτων που περιγράφονται

στο U.S. Salinity Laboratory Handbook no. 60 (1954) εκτιμάται η αλατότητα του εδάφους.

Επίσης, η μέθοδος TDR χρησιμοποιείται στην παρακολούθηση της μεταφοράς των αλάτων στο έδαφος, στην αξιολόγηση των διαδικασιών μεταφοράς των αλάτων και στην εκτίμηση παραμέτρων των μοντέλων μεταφοράς διαλυμάτων (Vanclooster et al., 1993, Mallants et al., 1996, Nissen et al., 2000, Jones et al., 2002).

3.1 Συσκευή TDR TRACE 6050X1

3.1.1 Διηλεκτρική σταθερά Kc

Η "φαινομενική" διηλεκτρική σταθερά, Kc, του συμπλέγματος αέρος-εδάφους-νερού μπορούν στη Η "φαινομενική" διηλεκτρική σταθερά, Ka, του συμπλέγματος αέρος-εδάφους-νερού μπορούν να προσδιοριστούν από τον παρακάτω τύπο:

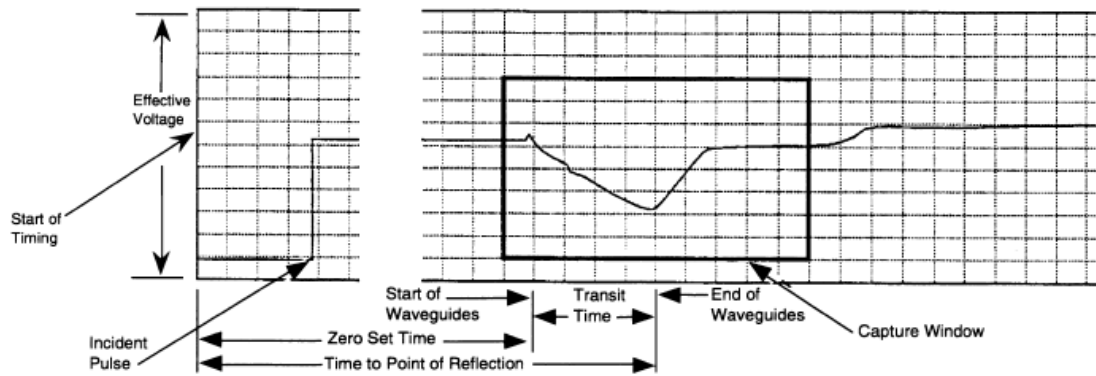
$$k_c = \left(\frac{ct}{L} \right)^2$$

Σχέση 3.7 Διηλεκτρική σταθερά

Όπου "L" το μήκος του μικροκύματος σε εκατοστά, "t" ο χρόνος μεταφοράς σε χιλιοστά του δευτερολέπτου και "c" η ταχύτητα μετάδοσης του φωτός σε εκατοστά ανά nanoposecond. Ο χρόνος μεταφοράς προσδιορίζεται από τον διάκενο που απαιτείται ώστε ο μικροκυματικός παλμός να κινηθεί κάθετα κάτω στην γραμμή μετάδοσης και να επιστρέψει εκεί από όπου ξεκίνησε.

Αν το έδαφος είναι εντελώς ξηρό, το Kc μπορεί να είναι από 2 ως 4. Αν το 25% του περιεχομένου του εδάφους είναι νερό, το Kc θα είναι περίπου 11-12. Για γεωργικά εδάφη η τιμή του Kc, στη φαινομενική διηλεκτρική σταθερά, εξαρτάται κυρίως από την ογκομετρική περιεκτικότητα νερού του εδάφους που επιδρά καθοριστικά και στο τύπο του εδάφους.

Η σχέση της τιμής Kc σε κατ'όγκο ποσοστό θεσπίστηκε μετά από προσεκτικές μετρήσεις που έγιναν σε προπαρασκευαστικά δοχεία με γνωστές τις ποσότητες νερού στο έδαφος. Η σχέση αυτή χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την αυτοματοποιημένη μετατροπή των μετρήσεων της Kc στο κατ'όγκο περιεχόμενο νερού του εδάφους.



Γράφημα 3.1 Απεικόνιση λειτουργίας μέτρησης της Kc

Ο επεξεργαστής του TDR ενσωματώνει ένα πολύ ακριβές σύστημα χρονισμού, το οποίο μπορεί να μετρήσει σε picoseconds (τρισεκατομμυριοστό του δευτερολέπτου). Κάνοντας την μέτρηση, μια μακρά σειρά από κύκλους χρονισμών ξεκινά. Λίγο μετά την έναρξη του κάθε κύκλου χρονισμού ένας γρήγορος παλμός ανύψωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, που συναντάται ως περιστατικό Pulse, ενεργοποιείται και αποστέλλεται κάτω στην γραμμή μετάδοσης που αποτελείται από ένα ομοαξονικό καλώδιο και τους κυματοδηγούς που τοποθετούνται εντός του εδάφους.

Μετά την εκκίνηση του κυκλικού χρονισμού, εξελιγμένα ηλεκτρονικά στοιχεία και λογισμικό καταμετρούν την "αποτελεσματική τάση", από την γραμμή μετάδοσης, στιγμιαία. Στον πρώτο κύκλο για παράδειγμα η μέτρηση θα μπορούσε να είναι 10 picoseconds μετά την εκκίνηση. Αυτή η τιμή θα μπορούσε να αποθηκευτεί. Στον επόμενο κύκλο η μέτρηση θα είναι σε 20 picoseconds μετά την "αρχή του χρονισμού". Αυτή η τιμή θα μπορούσε να αποθηκευτεί. Για κάθε διαδοχικό κύκλο θα πρέπει να υπάρχει ένα διάστημα 10 picoseconds από τον προηγούμενο κύκλο. Έτσι η κάθε μέτρηση αποθηκεύεται.

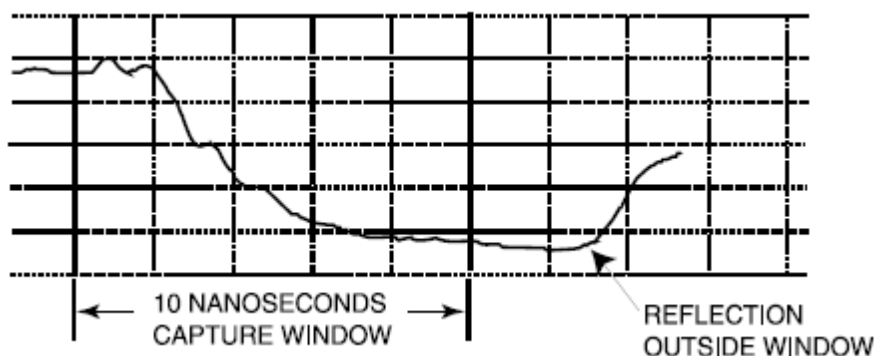
Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για διαδοχικούς χρονισμούς, μέχρι να αποθηκευτούν οι τιμές της "αποτελεσματικής τάσης" καλύπτοντας πλήρως το χρονικό φάσμα που ενδιαφέρει. Για παράδειγμα 10 ns (nanoseconds) παράθυρου λήψης χρησιμοποιούν 1200 ea. 10 ps ενδείξεων εκτείνονται σε 12 ns. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για αρκετές φορές μέχρι να προσδιοριστεί η μέση τιμή για 1200 αναγνωσμένα σημεία. Η ανάλυση, συμπεριλαμβανομένης της εφαπτομενικής προσαρμογής στην συνέχεια γίνεται σε (1200 σημεία) TDR κυματομορφής για τον προσδιορισμό από την ακτινοβολήση ως και την ανάκλαση της. Η ανάπτυξη πληροφοριών για τους χρόνους διαμεταγωγής παρέχει το κλειδί για τον υπολογισμό τις ογκομετρικής περιεκτικότητας σε υγρασία. Όταν η διαδικασία αυτή ολοκληρωθεί, οι τελικές 1000 αναγνώσεις σημείων αναπαριστώνται ως γράφημα TDR. Ωστόσο συνολικά τα 1200 σημεία σώζονται στην μνήμη όταν το γράφημα αποθηκευτεί.

Το χρονικό διάστημα των δειγματοληψιών μεταβάλλεται ανάλογα με τις εφαρμογές. Η έναρξη της διαδικασίας δειγματοληψίας καθορίζεται από τη λειτουργία που εκτελείται.

Όταν γίνεται μια μέτρηση, υπολογίζεται ο χρόνος του σημείου ανάκλασης του κύματος. Η διαφορά ανάμεσα στους δύο αυτούς χρόνους διέλευσης χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τιμής K_c , που περιγράφεται παραπάνω στην θεωρία. Το σήμα του λογισμικού καθορίζει στην συνέχεια από ένα προεγκατεστημένο πίνακα το κατάλληλο ογκομετρικό ποσοστό νερού.

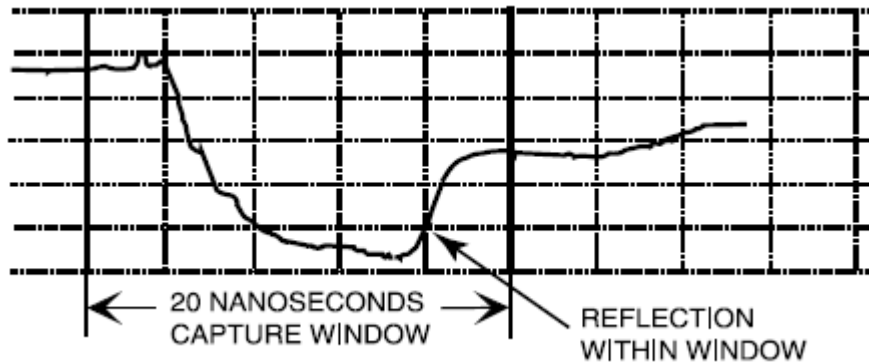
Για την μέτρηση της υγρασίας, το μόνο που χρειάζεται είναι το στίγμα του παλμού που αντιπροσωπεύει το χρόνο διέλευσης από τους κυματοδηγούς που είναι τοποθετημένοι εντός του εδάφους. Το ειδικό λογισμικό έχει σχεδιαστεί για να καταγράφει και να εμφανίζει στην οθόνη μόνο του τμήμα του πλήρους γραφήματος. Η οθόνη ξεκινά προτού ξεκινήσει το “zero set” να καταγράφει. Το “zero set” είναι ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στην έξοδο του παλμού από τους κυματοδηγούς και την επιστροφή του.

Οι διαθέσιμες επιλογές γραφημάτων είναι τρεις, των 10, 20, και 40 νανοδευτερόλεπτων. Η επιλογή γίνεται στο "Screen Setup". Το μήκος 10 νανοδευτερόλεπτων έχει καθοριστεί στο εργοστάσιο δεδομένου ότι αυτό δίνει τη μεγαλύτερη ανάλυση κατά την εργασία με τους Κυματοδηγούς των 15 ή 30 cm. Όταν οι κυματοδηγοί χρησιμοποιούνται σε πολύ υγρά εδάφη, ο χρόνος διέλευσης μπορεί να υπερβαίνει το μήκος του παραθύρου όπως εμφανίζεται. Η μέτρηση μπορεί να γίνει μόνο αν το σύνολο των χρόνων διέλευσης βρίσκεται μέσα στο παράθυρο λήψης.



Γράφημα 3.3.2 Μέτρηση υγρασίας

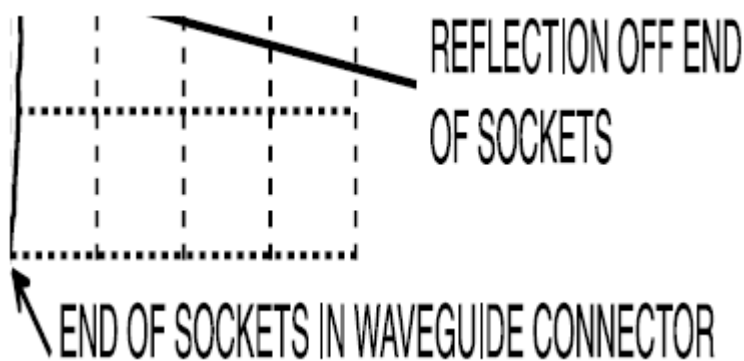
Στην περίπτωση αυτή, ο χρόνος διέλευσης δεν μπορεί να μετρηθεί και να είναι αναγκαίο να αλλάξει σε ένα μεγαλύτερο παράθυρο χρόνου, όπως παρουσιάζεται.



Γράφημα 3.3 Δεύτερος χρόνος διέλευσης

Ο “Χρόνος διέλευσης” στους κυματοδηγούς μπορεί παράλληλα να εμφανιστεί και να μετρηθεί. Τα 40 ns λήψης διευρύνουν το μήκος των κυματοδηγών, οι ασυνήθιστες αυτές συνθήκες θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν σε λίγες εφαρμογές.

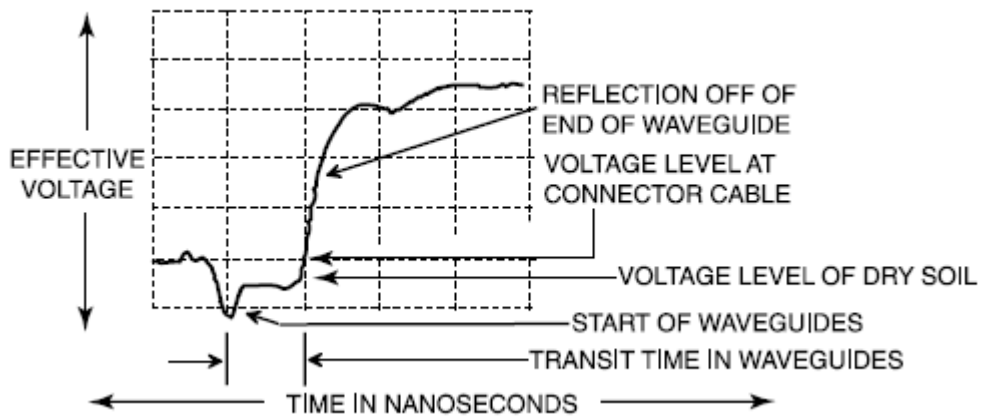
Όταν ο παλμός της ηλεκτρικής ενέργειας ταξιδεύει μέσω των κυματοδηγών, η ταχύτητα επηρεάζεται σημαντικά από το είδος του εδάφους και των άλλων στοιχείων. Το γράφημα που προκύπτει από τον παλμό μας παρέχει στοιχεία για το είδος του εδάφους και των άλλων στοιχείων.



Γράφημα 3.4 Διάγραμμα σύνδεσης κυματοδηγού.

Το παραπάνω είναι ένα τυπικό διάγραμμα της σύνδεσης Κυματοδηγού χωρίς τους Κυματοδηγούς συναρμολογημένους. Το κάτω μέρος του συμπιεσμένου στο έδαφος στοιχείου αντιστοιχεί στο τέλος του κυματοδηγού και από κει ξεκινούν οι υποδοχές του συνδετήρα. Σε αυτή την περίπτωση αυτό είναι το τέλος της γραμμής μεταφοράς και η ενέργεια παλμού ανακλάται πίσω διαμέσου της γραμμής στο σημείο αυτό.

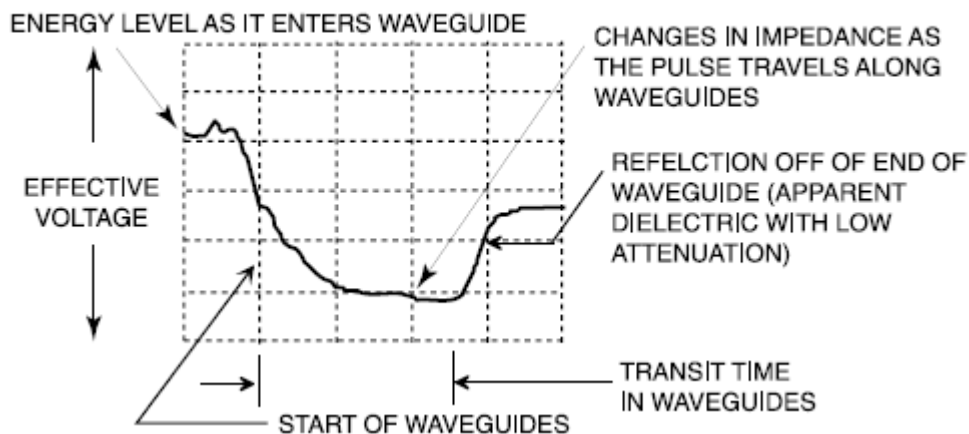
Waveguides in Dry Soil



Γράφημα 3.5 Μέτρηση με την χρήση κυματοδηγών σε ξηρό έδαφος

Σε ξηρά εδάφη δεν υπάρχει σχεδόν καμία εξασθένιση (απώλειες) από την ενέργεια του παλμού καθώς ταξιδεύει κατά μήκος των Κυματοδηγών. Αυτό ενδείκνυται από τη μικρή διαφορά σε ύψος μεταξύ του παλμού που μεταφέρεται μέσω καλωδίου και από τον παλμό που μεταφέρεται μέσω των κυματοδηγών.

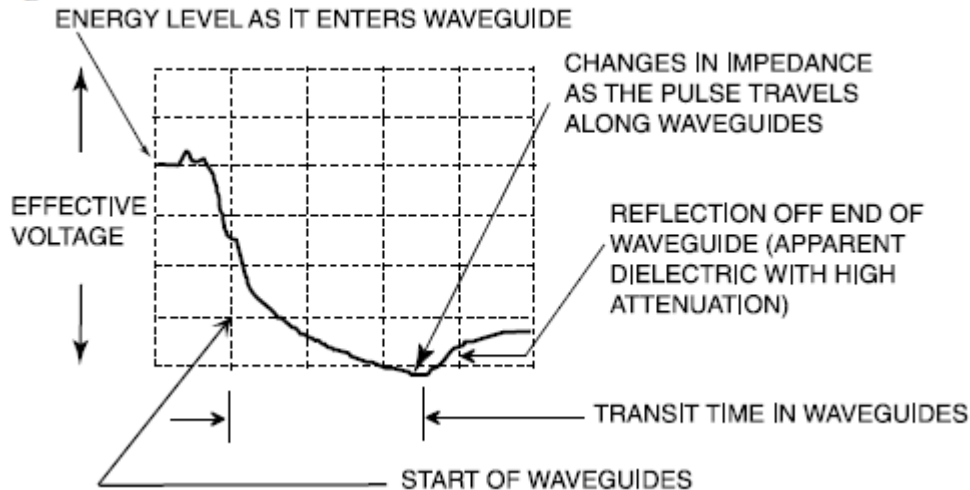
Waveguides in Moist Soil



Γράφημα 3.6 Μέτρηση με την χρήση κυματοδηγών σε υγρό έδαφος

Σε υγρά εδάφη υπάρχει σχεδόν σημαντική εξασθένιση (απώλειες) από την ενέργεια του παλμού καθώς ταξιδεύει κατά μήκος των Κυματοδηγών. Αυτό αποδεικνύεται από τη μεγάλη διαφορά σε ύψος μεταξύ της εισερχόμενης ενέργεια του παλμού που μεταφέρεται και ανακλάται από τα άκρα των κυματοδηγών.

Waveguides in Saline Soil

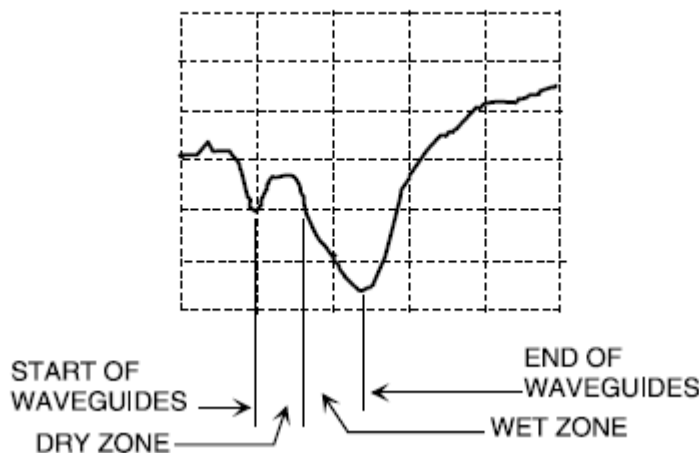


Γράφημα 3.7 Μέτρηση με την χρήση κυματοδηγών σε αλατούχο έδαφος

Σε αλατούχο έδαφος (υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα / υψηλή εξασθένηση), με την ίδια περιεκτικότητα σε υγρασία ως ενός μη αλατούχου εδάφους, η εξασθένηση του παλμού ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερη, καθώς ταξιδεύει κατά μήκος των κυματοδηγών. Αυτό υποδεικνύεται από ένα κατά πολύ μικρότερο, και λιγότερο ενεργητικό παλμό που ανακλάται από τα άκρα των Κυματοδηγών. Ο ανακλώμενος παλμός δείχνει την απώλεια ενέργειας από ένα μικρότερο ύψος του ανακλώμενου παλμού.

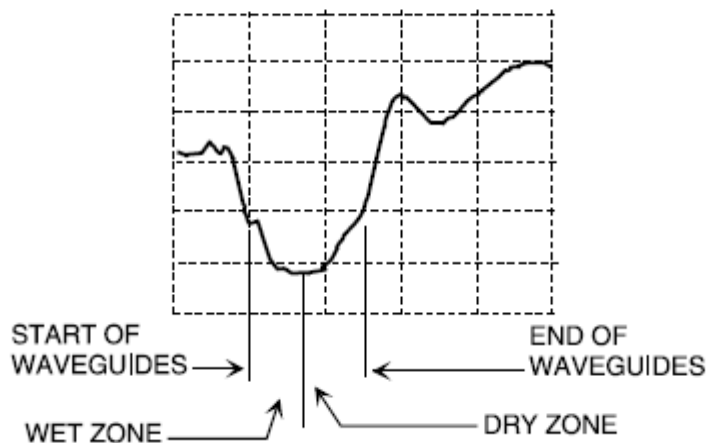
Σε ιδιαίτερα εξασθενημένα περιβάλλοντα (υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα EC, ασυνήθιστα αργιλώδη με υψηλής περιεκτικότητας σε νερό) η TDR ανάλυση μπορεί να παρεμποδίζεται από την μη ύπαρξη ανάκλασης. Αυτό συμβαίνει συχνά σε περιοχές που εφαρμόζονται μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων ή όπου τα εδάφη είναι πετρώδη και αλατούχα.

Soil dry at top of Waveguides and moist at bottom of Waveguides



Γράφημα 3.8 Μέτρηση με την χρήση κυματοδηγών σε υγρό αλατούχο, πετρώδες έδαφος.

Soil moist at top of Waveguides and dry at bottom of Waveguides.

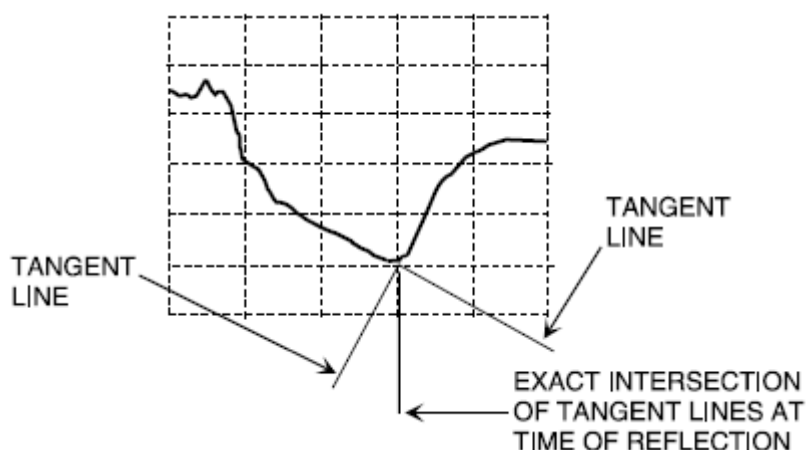


Γράφημα 3.9 Μέτρηση με την χρήση κυματοδηγών σε ξηρό αλατούχο, πετρώδες έδαφος.

3.1.2 Προσδιορισμός της K_c

Για τον προσδιορισμό της τιμής K_c , την "φαινόμενη" διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, είναι απαραίτητη η ακριβή μέτρηση του χρόνου ταξιδιού του παλμού κατά μήκος των Κυματοδηγών. Η ακριβή μέτρηση του χρόνου διέλευσης εξαρτάται από τη γνώση όταν ο παλμός αντανακλάται από τα άκρα των κυματοδηγών.

Λόγω της φύσης του παλμού της ηλεκτρικής ενέργειας, το σημείο ανάκλασης δεν είναι εύκολα διακριτό και θα πρέπει τα βήματα που θα ληφθούν να καθορίζουν περαιτέρω αυτό το σημείο. Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει το τρόπο με τον οποίο το σημείο ανάκλασης προσδιορίζεται.



Γράφημα 3.10 Προσδιορισμός σημείου ανάκλασης

Οι εφαπτόμενες του γραφήματος καταδεικνύουν τον εισερχόμενο παλμό και την ανάκλασή του. Το σημείο τομής των δύο εφαπτόμενων δείχνει το σημείο της ανάκλασης.

Το ειδικό λογισμικό κατασκευάζει αυτόματα τις επαπτόμενες γραμμές και καθορίζει το σημείο τομής της διαδικασίας υπολογισμού του χρόνου διέλευσης του παλμού στους Κυματοδηγούς και εν συνεχεία στο προσδιορισμό της Κc.

Το γράφημα της οθόνης και οι σχετικές χρονικές στήλες επιτρέπουν να γίνει ανεξάρτητη μέτρηση του χρόνου διέλευσης των Κυματοδηγών χρησιμοποιώντας την μέθοδο της τεμνόμενης επαπτομένης, και στη συνέχεια να υπολογιστεί, χρησιμοποιώντας τον τύπο που δίνεται στο "Θεωρία".

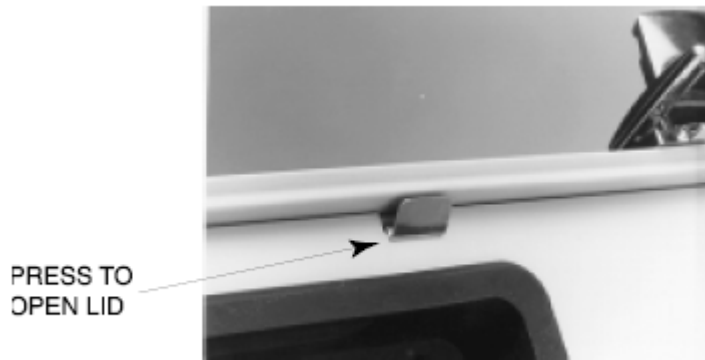
3.1.3 Παρουσίαση του οργάνου TDR

Κάλυμμα αποθήκευσης και περιεχόμενα



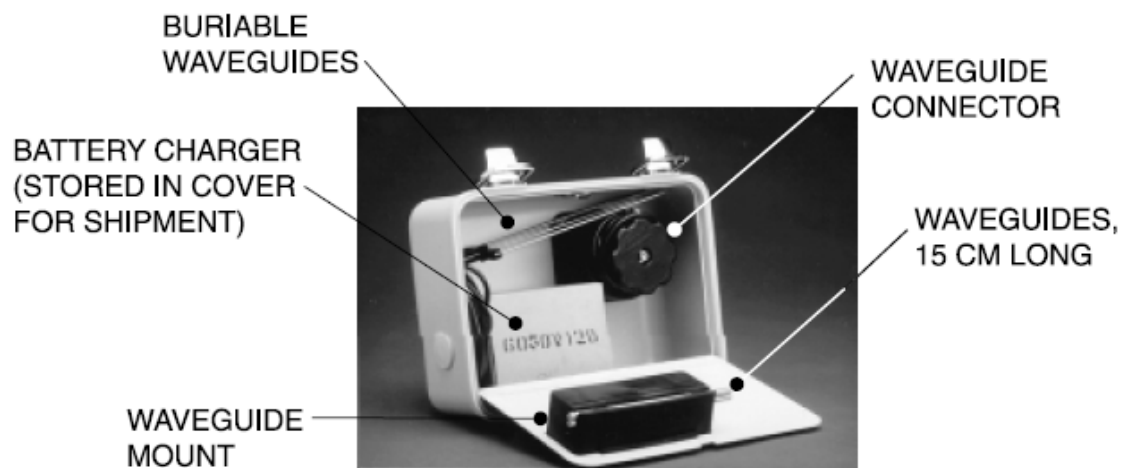
Εικόνα 3.1 Συσκευή TDR

Το κάλυμμα αποθήκευσης παρέχει ένα βολικό μέρος για την αποθήκευση του συνδέσμου κυματοδηγού και διάφορα άλλα μικρά αντικείμενα χρειάζονται, κάνοντας μετρήσεις υγρασίας του εδάφους.



Εικόνα 3.2 Άνοιγμα του καλύμματος

Για το άνοιγμα του καλύμματος θα πρέπει να ασκηθεί πίεση όπως φαίνεται.



Εικόνα 3.3 Περιεχόμενα κυματοδηγού

Ο Σύνδεσμος κυματοδηγού πρέπει να αφαιρεθεί από το στήριγμά του, πιάνοντας το βύσμα και τραβώντας κατευθείαν έξω και μακριά από το προεξέχον τμήμα. Οι Κυματοδηγοί των 15 εκατοστών βγαίνουν εύκολα από τον αποθηκευτικό χώρο του κυματοδηγού.

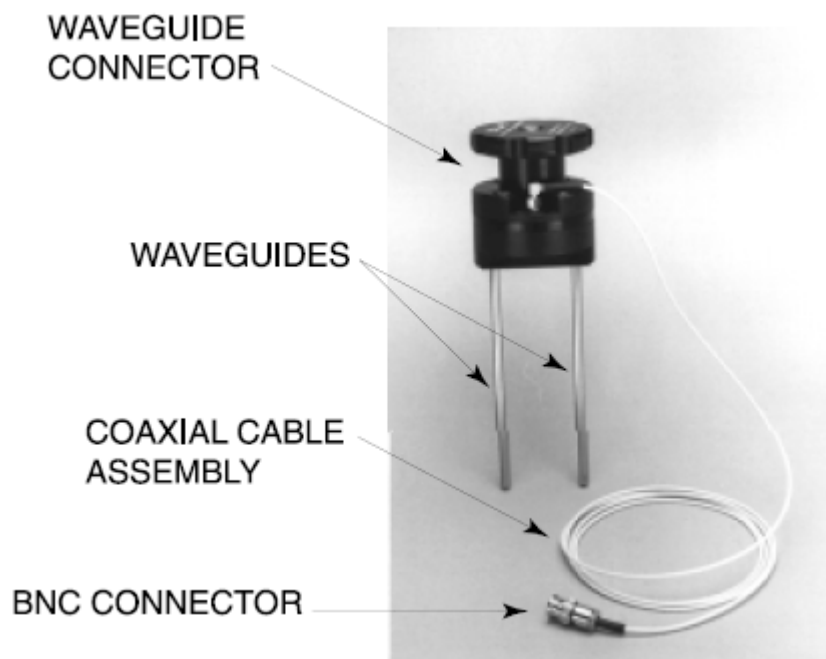


Εικόνα 3.4 Αποθηκευτικός χώρος

Για να αφαιρέσετε τον αποθηκευτικό χώρο του κυματοδηγού, πιέστε τις πλευρές ταυτόχρονα μέχρι να απεμπλακούν από τα στηρίγματα

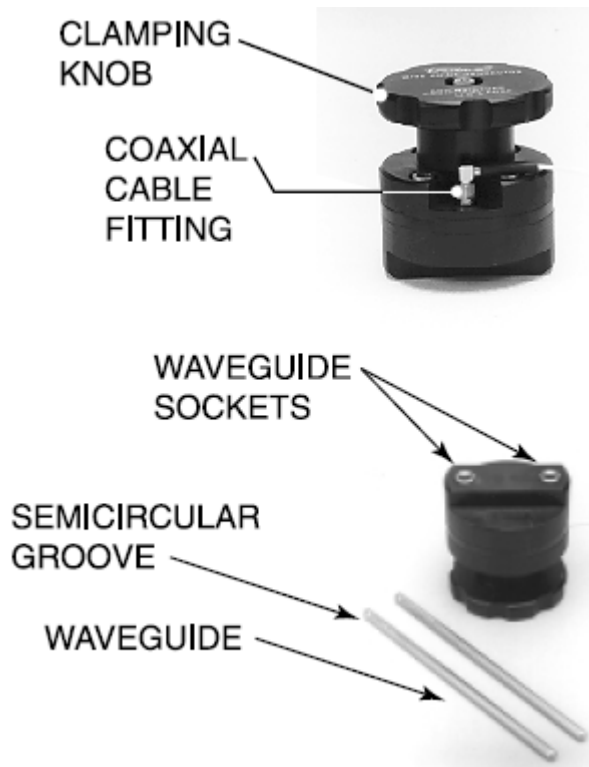


Εικόνα 3.5 Αφαίρεση αποθηκευτικού χώρου



Εικόνα 3.6 Βυθιζόμενος κυματοδηγός

Ο Σύνδεσμος του Κυματοδηγού είναι ειδικά σχεδιασμένος για την ελάχιστη διαταραχή του εδάφους και έτσι να απλοποιηθεί η διαδικασία για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Ολόκληρη η τραχιά, περιβάλλεται από πολυκαρβονικό και είναι ερμητικά σφραγισμένο ώστε να αποτραπεί τυχόν βλάβη εξαιτίας ενδεχόμενης υγρασίας στα εσωτερικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα, επιπλέον παρέχοντας προστασία για το κύκλωμα κατά τη χρήση πεδίου. Ένα απλό ηλεκτρικό εξάρτημα επιτρέπει την εύκολη αντικατάσταση του ομοαξονικού καλωδίου όταν είναι απαραίτητο.



Εικόνα 3.7 Μέρη βυθιζόμενου κυματοδηγού

Για την εισαγωγή των Κυματοδηγών, γυρίζουμε το κουμπί σύσφιξης αριστερόστροφα μέχρι να σταματήσει. Το άκρο του κυματοδηγού που έχει την αύλακα στην συνέχεια μπαίνει εντός της υποδοχής του κυματοδηγού. Θα πρέπει να εισάγονται πάντα και οι δύο Κυματοδηγοί στην υποδοχή για τη σωστή σύσφιξη. Όταν η σύσφιξη είναι δεξιόστροφη, ένας εσωτερικός μηχανισμός αναγκάζει δύο ανοξειδώτες χαλύβδινες σφαίρες εντός των αυλάκων των κυματοδηγών να κλειδώσουν με ασφάλεια στη θέση τους και να γίνει σωστή η ηλεκτρική σύνδεση.



Εικόνα 3.8 Κυματοδηγός μονίμου βυθίσεως

Ο βυθιζόμενος κυματοδηγός παρέχει πρόσθετη ευελιξία στη λήψη μετρήσεων υγρασίας. Είναι σχεδιασμένο για να είναι πλήρως θαμμένο στο έδαφος, ενώ μπορεί να παίρνει μετρήσεις υγρασίας σε συγκεκριμένα βάθη και να μείνει στο έδαφος επ'αορίστον.



Εικόνα 3.9 Θύρα BNC

3.1.3.1 Θύρα BNC

Το στρογγυλό, μαλακό και ελαστικό κάλυμμα για τον υποδοχέα BNC απομακρύνεται πιάνοντας το και σηκώνοντας το με τον αντίχειρα και το δείκτη. Ένα εύκαμπτο καλώδιο συνδεδεμένο με την RS-232 SERIAL PORT διατηρεί ασφαλή την θύρα όταν αυτή είναι σε χρήση. Η θύρα BNC δέχεται την τυπική υποδοχή BNC για το ομοαξονικό καλώδιο του κυματοδηγού ή καλώδιο επέκτασης όταν γίνεται μέτρηση της εδαφικής υγρασίας.

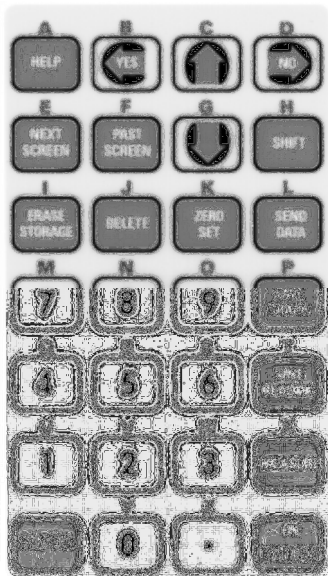


Εικόνα 3.10 Πλαστικό κάλυμμα θύρας BNC

Το μαλακό πλαστικό κάλυμμα για την RS-232 σειριακή θύρα το αφαιρούμε από σηκώνοντας το μπροστινό άκρο του καλύμματος. Μία εύκαμπτη μεμβράνη χρησιμεύει ως μία άρθρωση για το κάλυμμα και κρατά ασφαλή την κάλυψη από την απώλεια όταν η θύρα είναι σε χρήση. Για να αντικαταστήσουμε το κάλυμμα, απλά ευθυγραμμίζουμε την εγκοπή στο κάλυμμα με το μεταλλικό πλαίσιο της θύρας και σπρώχνουμε ως που να τερματίσει.

Το RS-232 σειριακή θύρα επιτρέπει τη μεταφορά των αποθηκευμένων δεδομένων σε έναν τερματικό υπολογιστή ή εκτυπωτή.

3.1.3.2 Πίνακας ελέγχου TDR



Εικόνα 3.11 Πίνακας ελέγχου

Για την ενεργοποίηση του TDR πατάμε το κουμπί "On / Enter", όπως φαίνεται. Η οθόνη μετρήσεων θα εμφανιστεί. Αυτή η οθόνη χρησιμοποιείται όταν πραγματοποιείται μια μέτρηση της υγρασίας. Για την διατήρηση της ισχύος της μπαταρίας ο επεξεργαστής TDR θα παραμείνει ενεργός για περιορισμένο χρονικό διάστημα. ο επεξεργαστής TDR θα σβήσει αυτόματα 120 δευτερόλεπτα μετά το τελευταίο πάτημα του πλήκτρου. Για την ενεργοποίηση το TDR επεξεργαστή αφού σβήσει, απλά πατάμε το "On / Enter" κλειδί. Έτσι θα επιστρέψουμε στην τελευταία ενεργή οθόνη όταν η συσκευή κλείσει. Το χρονικό διάστημα απενεργοποίησης 120 δευτερολέπτων επιλέχθηκε και ρυθμίστηκε από το εργοστάσιο. Υπάρχουν στο σύστημα καταχωρημένες 4 χρονικές περίοδοι αυτόματης διακοπής λειτουργίας, των 20, 60, 120 και 240 δευτερολέπτων που μπορούν να επιλεγθούν. Το συντομότερο χρονικό διάστημα είναι ανάλογο με την συχνότητα που γίνεται η χρήση και με το είδος της εργασίας που εκτελείται για να υπάρχει η μέγιστη δυνατή η διατήρηση της ισχύος της μπαταρίας.

3.1.3.3 Επισκόπηση των λειτουργικών οθονών

Υπάρχουν συνολικά 6 λειτουργικές οθόνες που χρησιμοποιούνται στη λειτουργία του επεξεργαστή, και μία επιπλέον οθόνη, εάν η συσκευή είναι εξοπλισμένη με ικανότητα πολυπλεξίας. Τρεις οθόνες είναι διαθέσιμες σε αυτό που ορίζεται ως η "κανονική" λειτουργία και οι υπόλοιπες οθόνες είναι διαθέσιμες σε αυτό που ορίζεται ως η "μετατόπιση" mode.

```

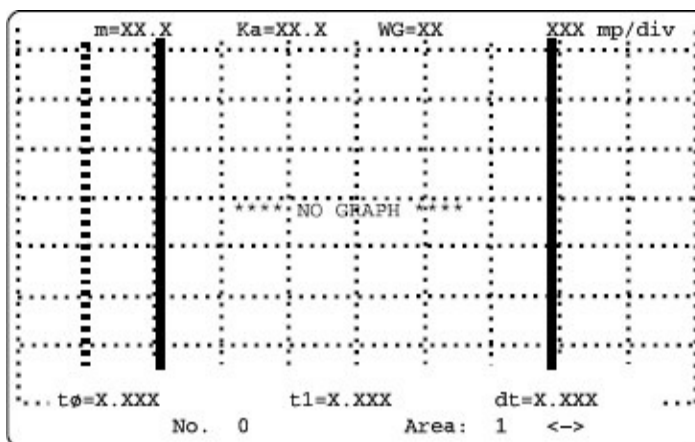
SETUP SCREEN
Copyright 1988-95 SEC          6058C6-2000A
Length units: millimeters <->
Cable loss: 0.0 db/100 ft
Moisture table: CUN <-> Label: Con Unco
Date: (dd-MMM-yy)
Time: (hh:mm:ss)
Capture Window: 10 nS <->
Storage: 1 <-> Label:
Baud Rate: 9600 <->
Stop bits: 1 <-> Modem: None <->
Parity: none <->
Flow control: xon/xoff <->
               commas <->
               240 secs <->
16-JAN-95 0:52:53

```

3.12 Οθόνη μέτρησης

No.	Tag	%M	Ch	G	Date	WG mm
Zero	Error	Ka	Tab	P	Time	Type
1		0.0	0	0	1-JAN-95	450.0
13.6		1.0	STD	10	0:01:22	CON
2		0.0	0	0	1-JAN-95	450.0
13.6		1.3	STD	10	0:01:50	CON
3		21.3	0	0	1-JAN-95	450.0
13.6		10.7	STD	10	2:19:25	CON
4		21.4	0	0	1-JAN-95	450.0
13.6		10.8	STD	10	2:49:05	CON
Storage: 1 <->						
Search: No. <->						
Look for: 0						
16-JAN-95 1:08:31						

3.13 Οθόνη αποτελεσμάτων



3.14 Οθόνη γραφημάτων

Όταν ενεργοποιούμε τον επεξεργαστή TDR πατώντας το κουμπί "On / Enter", η μονάδα βρίσκεται στην κανονική κατάσταση λειτουργίας. Σε αυτή τη λειτουργία οι τρεις οθόνες διάθεσή σας είναι οι εξής:

- 1) η Οθόνη Μετρήσεων, που χρησιμοποιείται κατά τη λήψη μετρήσεων.
- 2) η οθόνη δεδομένων που εμφανίζει τα αποθηκευμένα δεδομένα και
- 3) η οθόνη γραφημάτων που εμφανίζει την αποθηκευμένη γραφική παράσταση του παλμού TDR σας επιτρέπει να κάνετε μετρήσεις χρόνου στα διαγράμματα.



Εικόνα 3.35 Μενού ελέγχου οθονών

Για να αλλάξουμε την οθόνη που εμφανίζεται στην αμέσως επόμενη οθόνη, πατάμε το κουμπί " Next Screen " όπως φαίνεται. Η επαναλαμβανόμενη πίεση του "Next Screen" προβάλλει κυκλικά τις τρεις οθόνες.

Για εμφάνιση της προηγούμενης οθόνης που προβαλλόταν πιέζουμε το πλήκτρο "past screen" όπως εμφανίζεται. Πατώντας το διαδοχικά προβάλλει ανάστροφα κυκλικά τις οθόνες που εμφανίσαμε.

3.1.3.4 Διαθέσιμες οθόνες σε κατάσταση "Shift"

Οι διαθέσιμες οθόνες σε κατάσταση "shift" είναι:

- Οθόνη autolog, χρησιμοποιείται για την ρύθμιση του χρόνου και της συχνότητας των παραμέτρων.
- Οθόνη TDR, της οποίας η λειτουργία είναι όμοια με αυτής ενός δοκιμαστικού καλωδίου.
- Οθόνη Multiplexer, όταν η συσκευή είναι εξοπλισμένη με δυνατότητα πολυπλεξίας.
- Οθόνη εγκατάστασης, επιτρέπει την ρύθμιση του εσωτερικού ρολογιού για την ώρα, την ημερομηνία, τις μονάδες μέτρησης και τα δεδομένα των παραμέτρων μεταφοράς.

```

AUTOLOG SCREEN

Starting date:      (dd-MMM-yy)
Starting time:     (hh:mm:ss)
Cycle interval:    (hh:mm)
Number of cycles: 0      Trap: 0.0%
                   Save: Readings <->
Sequence switch: No <-> Time: 1.0 secs
Readings will begin on XX-XXX-XXX XX:XX:XX
An autolog cycle will occur every

NOTE: before autolog begins you must:
+ Set the zero.      + Select the storage.
+ Set WG length.    + Check date & time.
                   23-JAN-95 21:51:01

```

1) Autolog Screen

```

--TDR SCREEN--

MUX channel: 0      MUX not connected
Start time: XX      nSec
Range time: 10      nSec <->

After setting Start time and range
press MEASURE to digitize. To see
graph go to Graph screen and select
Reading 0. To save graph go to Measure
screen, tag as desired and press
SAVE GRAPH

23-JAN-95 21:54:51

```

2) TDR Screen

```

--MULTIPLEXER SCREEN--

Starting channel: 0
Ending channel: 0

Multiplexer configuration:
Number of boards= 0
Number of channels= 0

Press MEASURE to scan through all the
channels as an installation check.

14-JAN-95 10:40:25

```

3) Multiplexer Screen

```

SETUP SCREEN
Copyright 1988-95 SEC      6058C6-2000
Length units: millimeters <->
Cable loss: 0.0 dB/100 ft
Moisture table: CUN <-> Label: Con Unco
Date: (dd-MMM-yy)
Time: (hh:mm:ss)

Capture Window: 10 nS <->
Storage: 1 <-> Label:
Baud Rate: 9600 <->
Stop bits: 1 <-> Modem: None <->
Parity: none <->
Flow control: xon/xoff <->
               commas <->
               240 secs <->

16-JAN-95 0:52:53

```

4) Setup Screen

Εικόνα 3.16 Οθόνες μετρήσεων

Για την πρόσβαση σε αυτές τις οθόνες, πηγαίνουμε πρώτα στην οθόνη μετρήσεων. Όταν η οθόνη μετρήσεων εμφανίζει τα δεδομένα, πιάζουμε το πλήκτρο "Shift" και στη συνέχεια το πλήκτρο "Next Screen" όπως φαίνεται. Όταν πατήσουμε το πλήκτρο "Shift", θα εμφανιστεί στην κάτω αριστερή γωνία της οθόνης.



Εικόνα 3.17 Πίνακας χειρισμού

Για να αποκτήσουμε πρόσβαση στην επόμενη οθόνη, πατήστε το πλήκτρο "Shift" πάλι και στη συνέχεια πατήστε το κουμπί "Next Screen". Αυτές οι οθόνες μπορούν επίσης να επιτρέψουν την πρόσβαση σε αντίστροφη σειρά πατώντας το πλήκτρο "Shift" και μετά το "Past Screen". Για να βγει στην «κανονική» λειτουργία πιέστε είτε το "Next Screen" ή το πλήκτρο "Past Screen".

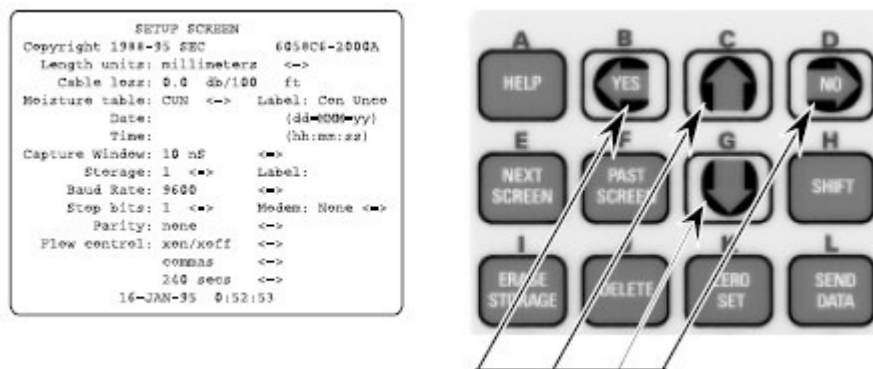


Εικόνα 3.18 Πίνακας χειρισμού

Υπάρχουν οθόνες βοήθειας που δίνουν μια συνοπτική λίστα με πληροφορίες για το κάθε καταχωρημένο πεδίο ξεχωριστά ή για το επιλεγμένο που ενδεχομένως θα χρησιμοποιείται. Πατώντας το πλήκτρο της βοήθειας όπως εμφανίζεται, θα εμφανιστούν πληροφορίες που αντιστοιχούν στο πεδίο όπου ο κέρσορας καταδεικνύει. Η λειτουργία του δρομέα θα εξηγηθεί παρακάτω.

Επιπλέον υπάρχει διαθέσιμο ένα μενού βοήθειας που διατίθεται από οποιαδήποτε οθόνη, εμφανίζεται απλά πατώντας το κουμπί "On / Enter". Το μενού περιέχει μια λίστα διάφορων λειτουργιών που μπορούν να εκτελέσουν το αντίστοιχο αριθμητικό κλειδί. Πιέζοντας το πλήκτρο που ανταποκρίνεται στην συγκεκριμένη λειτουργία εμφανίζει οδηγίες για την εν λόγω λειτουργία. Πατώντας το πλήκτρο "Help" θα σας επιστρέψει στην λειτουργική οθόνη.

3.1.3.5 Η λειτουργία του κέρσορα



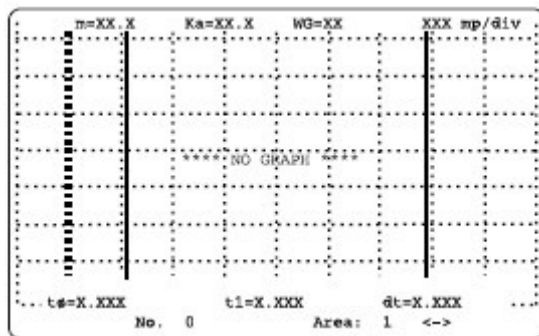
Εικόνα 3.19 Λειτουργία κέρσορα

Ο δρομέας εμφανίζεται ως ένα μικρό μαύρο τετράγωνο που αναβοσβήνει σε κάθε μία από τις λειτουργικές οθόνες. Τον μετακινούμε από τα τέσσερα βέλη στο πληκτρολόγιο, όπως δείχνεται. Πατώντας το πλήκτρο «πάνω βέλος» ή το «κάτω

βέλος» μετακινεί τον κέρσορα ανάμεσα στους διάφορους τομείς στους οποίους υπάρχει μια επιλογή ή μια απαίτηση εισόδου, όπως επίσης και σε μια κατεύθυνση δεξιά ή αριστερά ανάμεσα από τις μεταβλητές.

Ο δρομέας λειτουργίας καλύπτεται με μεγάλη λεπτομέρεια, σε συνδυασμό με τη λεπτομερή χρήση κάθε μιας από τις διάφορες λειτουργικές οθόνες.

3.1.3.6 Στήλες χρόνου

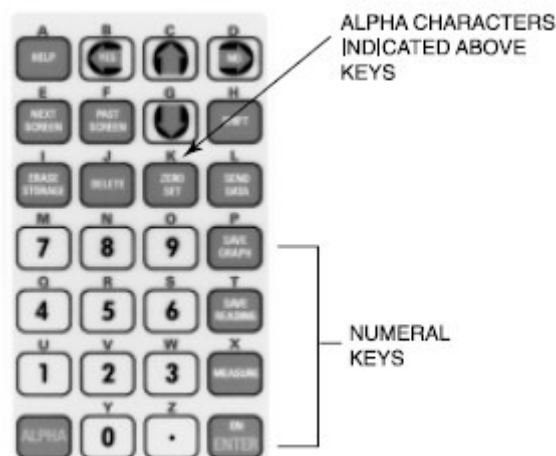


Εικόνα 3.20 Στήλες χρόνου

Κατά την εργασία σε οθόνη γραφήματος τα πλήκτρα με το "αριστερό βέλος" και "δεξί βέλος" το χρησιμοποιούμε για τη μετακίνηση των δύο κάθετων στηλών ώρας. Για τον σκοπό αυτό, πρίζουμε συνεχώς τα πλήκτρα για να γίνει η μετάβαση στην γραμμή του χρόνου γρηγορότερα. Αυτό το χαρακτηριστικό ελαχιστοποιεί το χρόνο που απαιτείται για την τοποθέτηση των στηλών του χρόνου στο επιθυμητό σημείο.

3.1.3.7 Εισαγωγή ψηφίων

Όταν θελήσουμε να κάνετε εισαγωγή δεδομένων σε οποιαδήποτε από τις οθόνες του συστήματος, τοποθετούμε τον κέρσορα στο σημείο όπου θα γίνει η εισαγωγή των δεδομένων.

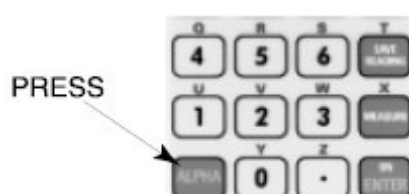


Εικόνα 3.21 Εισαγωγή ψηφίων

Για να εισάγουμε ένα ψηφίο, πατάμε το πλήκτρο που αντιστοιχεί στον επιθυμητό αριθμό. Είναι διαθέσιμα τα πλήκτρα για αριθμούς 0 έως 9, καθώς και ένα δεκαδικό σημείο.

Ο καταχωρημένος αριθμός θα εμφανιστεί και ο κέρσορας θα μετακινηθεί στο διπλανή θέση να δεχθεί την επόμενη είσοδο.

3.1.3.8 Εισαγωγή χαρακτήρων με την χρήση Alpha

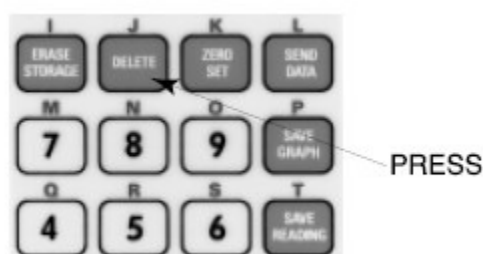


Εικόνα 3.22 Χρήση Alpha

Για να εισάγουμε χαρακτήρες με την χρήση της λειτουργίας άλφα πατάμε πρώτα το "Alpha". Όταν πιάσουμε το ALPHA θα εμφανιστεί στην κάτω αριστερή γωνία της οθόνης η κωδική ονομασία του. Όσο εμφανίζεται στην οθόνη, ολόκληρο το πληκτρολόγιο θα είναι αφιερωμένο σε χαρακτήρες Alpha, εκτός από το "On / Enter" και "Alpha". Ο χαρακτήρας άλφα για κάθε πλήκτρο είναι τυπωμένος ακριβώς από πάνω. Τα πλήκτρα που είναι διαθέσιμα για άλφα εμφανίζουν από A έως Z.

Αφού κάνουμε την καταχώρηση, θα εμφανιστεί ο κέρσορας και θα μετακινηθεί στην παρακείμενη θέση για να δεχθεί την επόμενη είσοδο.

Όταν η εισαγωγή των χαρακτήρων άλφα ολοκληρωθεί πατάμε το πλήκτρο ξανά για να επιστρέψει το πληκτρολόγιο σε κανονική λειτουργία.



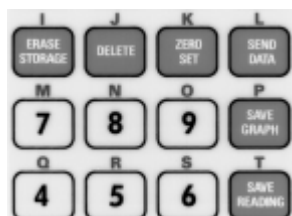
Εικόνα 3.23 Λειτουργία Alpha

Αν γίνει κάποιο λάθος κατά την εισαγωγή αλφαριθμητικών χαρακτήρων είναι απαραίτητο να πατήσετε το κουμπί "Delete" δύο φορές για να διαγράψετε την καταχώρηση. Όταν όλοι οι αριθμοί που απαιτούνται έχουν πληκτρολογηθεί στο

"πεδίο", όπου γίνεται η καταχώρηση, τότε πατήστε το κουμπί "On / Enter" για να ολοκληρωθεί η διαδικασία.

3.1.4 Λειτουργίες

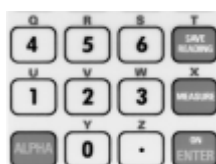
3.1.4.1 Η λειτουργία zero set



Εικόνα 3.24 Λειτουργία zero set

Όταν κάνουμε μια μέτρηση υγρασίας με τη χρήση του τυποποιημένου συνδέσμου κυματοδηγού, τότε πατώντας το "Zero Set" καθορίζουμε την χρονική αναφορά μηδέν για τις μεταγενέστερες μετρήσεις υγρασίας. Αυτή η λειτουργία είναι ενεργή όταν η οθόνη μετρήσεων εμφανίζεται.

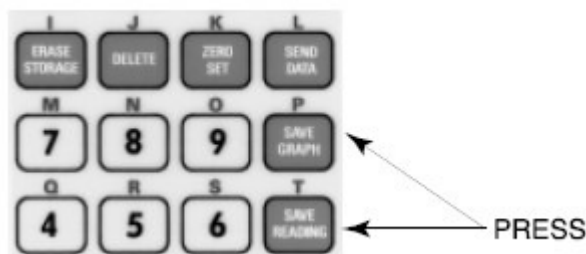
3.1.4.2 Λειτουργία "Measure" μέτρησης



Εικόνα 3.45 Λειτουργία measure

Πατώντας το "measure" ξεκινά ο κύκλος μέτρησης της υγρασίας η οποίος απαιτεί μερικά δευτερόλεπτα για να ολοκληρωθεί. Το προκύπτον ποσοστό υγρασίας εμφανίζεται στην οθόνη μέτρησης. Τα αποτελέσματα μπορούν να επισημανθούν για ανάγνωση και αποθήκευσης, εάν είναι επιθυμητό. Αυτή η λειτουργία είναι ενεργή όταν η οθόνη μετρήσεων εμφανίζεται.

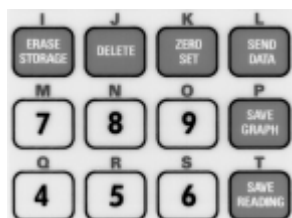
3.1.4.3 Ανάγνωση και αποθήκευση γραφικών παραστάσεων



Εικόνα 3.26 Ανάγνωση και αποθήκευση γραφικών παραστάσεων

Η αποθήκευση μιας αναγνωσμένης τιμής υγρασίας, γίνεται όταν πατηθεί το πλήκτρο "Save Reading". Στην αποθήκευση συμπεριλαμβάνεται τόσο ανάγνωση όσο και η γραφική παράσταση του παλμού TDR. Αυτό το πλήκτρο είναι ενεργό όταν η οθόνη μετρήσεων εμφανίζεται.

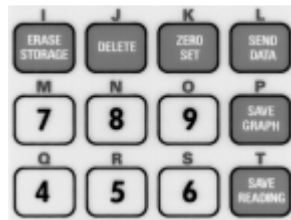
3.1.4.4 Αποθήκευση και διαγραφή δεδομένων



Εικόνα 3.27 Αποθήκευση και διαγραφή δεδομένων

Η λειτουργία "Erase Storage" χρησιμοποιείται για να διαγράψει τα αποθηκευμένα δεδομένα από κάθε ένα από τα αριθμημένα τμήματα αποθήκευσης. Η διαγραφή αποθήκευσης είναι μια διαδικασία δύο σταδίων για λόγους ασφαλείας. Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα πλήκτρα "Yes" και "No" και την οθόνη δεδομένων.

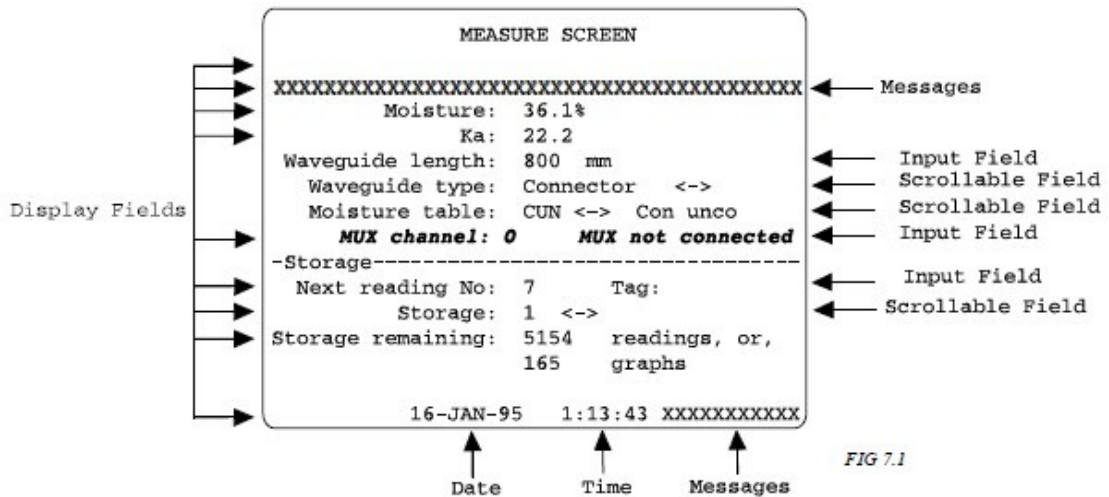
3.1.4.5 Αποστολή δεδομένων



Εικόνα 3.28 Λειτουργία αποστολής δεδομένων

Η λειτουργία "Send Data" χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την οθόνη δεδομένων και τη γραφική παράσταση των δεδομένων. Για να στείλει τα αποθηκευμένα δεδομένα μέσω της RS-232 σειριακής θύρας για εξωτερικούς εκτυπωτές ή υπολογιστές.

3.1.5 Χρήση της οθόνης μετρήσεων



Εικόνα 3.59 Οθόνη μετρήσεων

Η λειτουργία της οθόνης μετρήσεων είναι οι ακόλουθη:

Αρχικά πρέπει να πιάσουμε το πλήκτρο "On Enter" , αν εμφανιστεί η οθόνη των δεδομένων ή των γραφημάτων, πιάζεται το "Next Screen" μια ή δύο φορές μέχρι να εμφανιστεί η οθόνη των μετρήσεων. Οι οθόνες μετρήσεων, δεδομένων και γραφημάτων εμφανίζονται κυκλικά.

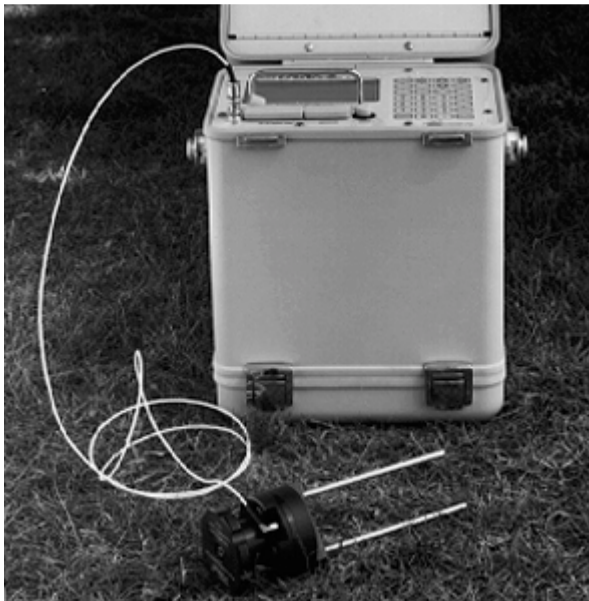
3.1.5.1 Το σημείο μηδέν

Προτού γίνει οποιαδήποτε μέτρηση είναι απαραίτητο να πιάσουμε το πλήκτρο "Zero Set" το οποίο καθορίζει μηδενική αναφορά χρόνου στους κυματοδηγούς και την έναρξη εκ νέου του παλμού.

Η διαδικασία διαρκεί λίγα δευτερόλεπτα ενώ κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου εμφανίζεται το μήνυμα στην αριστερή γωνία της οθόνης "Setting the zero,wait..."

3.1.6 Κυματοδηγοί

3.1.6.1 Βάση κυματοδηγού




Εικόνα 3.30 Εισαγωγή κυματοδηγού στο έδαφος



Εικόνα 3.31 Πιέστε τους κυματοδηγούς μέσα στο έδαφος μέχρι το σημείο που να μην φαίνονται τα στελέχη τους.

Οι κυματοδηγοί πρέπει να είναι σε στενή επαφή με το έδαφος κατά μήκος ολόκληρου του μήκους, ώστε να δώσει ακριβής μετρήσεις υγρασίας, τα κενά εδάφους μειώνουν το ποσοστό της εκτιμώμενης υγρασίας.

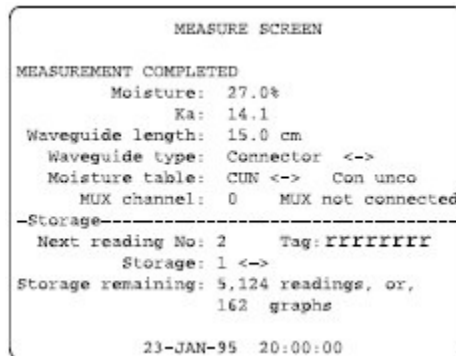
Πίεσε το πλήκτρο  μέχρις ότου ο κέρσορας μεταφερθεί στο πεδίο "μήκος κυματοδηγού".

Η μονάδα μήκους που επιλέξαμε θα εμφανίσει την οθόνη εγκατάστασης. Όταν χρησιμοποιούμε τους πρότυπους οδηγούς μέτρησης υγρασίας να επιλέγουμε "εκατοστά". Οι κυματοδηγοί έχουν σχεδιαστεί για να προβάλλουν μετρήσεις επιπλέον 15 εκατοστών από την σύνδεση των κυματοδηγών.

Για 15cm μήκους κυματοδηγών πρέπει να εισαγάγουμε στην οθόνη του επεξεργαστή τα ακόλουθα: Πιέζουμε το "1" μετά το "5", στην πορεία βάζουμε υποδιαστολή, στην συνέχεια "0" και τέλος πατάμε για την καταχώρηση το "ON/ENTER". Αν εμφανιστεί σφάλμα τότε πιέζουμε "DELETE" και ξεκινάμε από την αρχή. Μπορούμε να εισάγουμε μήκη κυματοδηγών από 15cm ως 70cm ή το ισοδύναμό τους σε άλλες μονάδες μέτρησης. Εάν εισάγουμε τιμή μικρότερη των 15cm τότε θα εμφανιστεί το μήνυμα "προσοχή, μήκος μικρότερο των 15cm μειώνει την ακρίβεια" και θα εμφανίζεται στο πεδίο μήνυμα σφάλματος. Αν εισάγουμε μια τιμή μεγαλύτερη των 70cm, τότε δεν θα μπορεί να μετρήσει και θα εμφανίζεται στο πεδίο μήνυμα σφάλματος.

3.1.7 Κάνοντας μια μέτρηση

Για την εκκίνηση της διαδικασίας μέτρησης, πιάζουμε το πλήκτρο "measure". Η διαδικασία διαρκεί μερικά δευτερόλεπτα και κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου εμφανίζεται το μήνυμα "measuring..." στο πεδίο του μηνύματος. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας ο χρόνος στην οθόνη παγώνει, ωστόσο η σωστή ώρα θα εμφανιστεί και πάλι όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία.



Εικόνα 3.32 Οθόνη μετρήσεων



Όταν η διαδικασία μέτρησης ολοκληρωθεί, τότε θα εμφανιστεί η ογκομετρική περιεκτικότητα σε υγρασία και η διηλεκτρική σταθερά του εδάφους. Αν επιθυμούμε τα δεδομένα υγρασίας και διηλεκτρικής σταθεράς να εμφανίζονται σε ποσοστά τότε ανατρέχουμε στο κεφάλαιο "Αρχές και τεχνικές λειτουργίας".


Εάν αποθηκεύσουμε τα αποτελέσματα υγρασίας, τότε εμφανίζεται αυτόματα ένδειξη από το χώρο αποθήκευσης και ένας διαδοχικός αριθμός, ξεκινώντας με το "1" για την πρώτη μέτρηση και αποθήκευση υγρασίας, εντός του αποθηκευτικού χώρου. Η ημερομηνία και η ώρα επίσης αποθηκεύονται αυτόματα με την ανάγνωση, καθώς και το μήκος με την τιμή K_a του κυματοδηγού.

Οι αποθηκευμένες αναγνώσεις εμφανίζονται στο πεδίο "Next Reading No" μαζί με τον αύξοντα αριθμό που του είχε δοθεί κατά την αποθήκευση.

3.1.7.1 Πεδίο επισήμανσης

Το "Tag" ως πεδίο εισαγωγής παρέχεται για να προσδιορίσουν περαιτέρω την ανάγνωση, όπως η θέση όπου η ανάγνωση γίνεται, είτε για άλλες ενδείξεις που σχετίζονται με την ανάγνωση. Αυτό είναι ένα 8-ψήφιο, αλφαριθμητικό πεδίο συμβολοσειράς.




Για να γίνει εγγραφή στο πεδίο επισήμανσης πιάζουμε  ή  αντίστοιχα μέχρι ο κέρσορας να φτάσει στο πεδίο "Tag". Μετά πιάζουμε το πλήκτρο "Alpha" μαζί με το προς επεξεργασία αντιπροσωπευτικό νούμερο και τέλος το "ON/ENTER". Αν κάνουμε κάποιο λάθος πατάμε "DELETE" και ξεκινήστε από την



αρχή, ή πιέζουμε επανειλημμένα  μέχρι να φτάσουμε στην λανθασμένη καταχώριση και να την διορθώσουμε ξεκινώντας από τον τελευταίο χαρακτήρα (βεβαιωθείτε όταν δεν βρίσκεστε σε κατάσταση “ALPHA MODE”).

Το “Tag” έχει καταχωρηθεί και είναι διαθέσιμο για ανάγνωση.

3.1.7.2 Ανάγνωση αποθηκευμένων δεδομένων

Πριν αποθηκεύσουμε μια ανάγνωση υγρασίας θα πρέπει να αποφασίσουμε την αρίθμηση του χώρου που θα πάρει στο σημείο αποθήκευσης. Η κύλιση στα πεδία επιλογής αποθηκευμένων πεδίων γίνεται μέσω των αριθμών 1, 2, 3, και 4. Ο αριθμός όπως το “1”, υποδεικνύει την περιοχή αποθήκευσης τη στιγμή που ορίζεται για την αποθήκευση των δεδομένων. Η προεπιλογή είναι “1”.

Αν θέλουμε να αλλάξουμε το χώρο αποθήκευσης, πατήστε το πλήκτρο  μέχρι ο κέρσορας να είναι δίπλα από το “Αποθηκευμένο” πεδίο. Πατήστε το πλήκτρο  ή το  πλήκτρο για να μεταβείτε στον επιθυμητό αριθμό για τον αποθηκευτικό χώρο. Επίσης μπορούμε να μετακινηθούμε από τη μία περιοχή αποθήκευσης στην άλλη. Η ονομασία “Ετικέτα” μπορεί να έχει ανατεθεί σε αυτήν τη περιοχή αποθήκευσης χρησιμοποιώντας την οθόνη εγκατάστασης.

Για να αποθηκεύσουμε την υγρασία μαζί με τα σχετικά στοιχεία της, πατάμε το πλήκτρο . Αμέσως εμφανίζεται το μήνυμα “Reading Saved”, με την τρέχουσα ημερομηνία και το χρόνο αποθήκευσης, θα πρέπει να εμφανίζεται στο πεδίο εμφάνισης μηνυμάτων στην κορυφή της οθόνη. Για να αποθηκεύσουμε το γράφημα του παλμού TDR, μαζί με την ανάγνωση και την υγρασία με τα σχετικά στοιχεία πατάμε το πλήκτρο . Αμέσως, το μήνυμα “Ανάγνωση και γραφική παράσταση αποθηκεύτηκαν”, με την ημερομηνία και την ώρα της θα εμφανιστεί το μήνυμα αποθήκευσης που θα εμφανίζεται στο πεδίο εμφάνισης μηνυμάτων. Όταν μια ανάγνωση υγρασίας ή γραφική παράσταση του παλμού TDR αποθηκεύεται, ενημερώνεται αμέσως το σύστημα και δείχνει τις υπόλοιπες μετρήσεις ή τα γραφικά τα οποία μπορούν τώρα να αποθηκευτούν. Οι αποθηκευμένες μετρήσεις της υγρασίας μπορεί να αναθεωρηθούν και να αναζητηθούν στην οθόνη δεδομένων.

Η οθόνη δεδομένων χρησιμοποιείται επίσης για τη μεταφορά αποθηκευμένων μετρήσεων σε εξωτερικούς εκτυπωτές ή υπολογιστές. Αν δεν εισάγουμε σωστά ή πλήρως τις παραμέτρους των δεδομένων τότε θα εμφανιστεί μια προειδοποίηση στην κορυφή της οθόνης όπου θα ενημερώνει ότι τα δεδομένα δεν αποθηκεύονται.

3.1.8 Χρήση του ομοαξονικού καλωδίου και ρυθμίσεις

Με την έλευση νέων και πιο ισχυρών παλμικών συστημάτων είναι γεγονός πως διευρύνεται η εμβέλεια μέτρησης. Με το καλώδιο RG-58 που κατασκευάζεται και εφαρμόζεται για εδαφικές μετρήσεις υγρασίας επιτυγχάνεται χαμηλό κόστος αλλά και μεγάλη ακρίβεια δεδομένων. Αυτό το καλώδιο εκπέμπει λιγότερο από 12db/100ft

@1Ghz παρέχοντας δεδομένα ακόμα και από εδάφη με ελάχιστη περιεκτικότητα υγρασίας.

3.1.9 Μετρήσεις με θαβόμενο κυματοδηγό

Από την οθόνη μετρήσεων επιλέγουμε "Θαβόμενος κυματοδηγός".



Εικόνα 3.33 Θαβόμενος κυματοδηγός

Το καθιερωμένο μοντέλο 6005L βυθιζόμενου κυματοδηγού με επίστρωση, είναι 20 εκατοστά με ένα δίμετρο καλώδιο συνδεδεμένο. Τα καλώδια προέκτασης υπάρχουν σε ποικιλία μηκών ως 45 μέτρα μήκους. Ο θαβόμενος κυματοδηγός είναι σχεδιασμένος για να βρίσκεται μόνιμα στο έδαφος.

Όταν χρησιμοποιείται τον θαβόμενο κυματοδηγό δεν απαιτείται η διαδικασία του "zero set" γιατί ο κυματοδηγός έχει ενσωματωμένο αισθητήρα που το λογισμικό του επιτρέπει τον υπολογισμό επί της εκατό της υγρασίας.

Το μήκος του κυματοδηγού επιλέγεται αυτόματα στα 20 εκατοστά, το μήκος αυτό αντιστοιχεί στο μήκος του πρότυπου μοντέλου 6005. Αν χρησιμοποιήσετε θαβόμενο κυματοδηγό με μήκος μεγαλύτερο ή μικρότερο από αυτό των 20 εκατοστών τότε θα πρέπει να ακολουθήσετε την διαδικασία για την εισαγωγή του νέου μήκους στο λογισμικό.



Εικόνα 3.34 Υποδοχέας BNC

Ο BNC υποδοχέας του καλωδίου προστατεύεται από ένα πλαστικό καπάκι. Το κάλυμμα αυτό παρέχει προστασία από το έδαφος, το νερό και άλλους ρυπαντές.

Για να κάνουμε μια ανάγνωση – μέτρηση, αφαιρούμε το προστατευτικό κάλυμμα και συνδέουμε το εξάρτημα στην θύρα του επεξεργαστή της μονάδας και πατάμε το πλήκτρο “measure”. Η υγρασία και το ΚΑ θα εμφανιστούν στην οθόνη. Με το τέλος της μέτρησης τοποθετούμε ξανά το καπάκι για να διατηρηθεί το εξάρτημα καθαρό.

3.1.9.1 Αποθήκευση ανάγνωσης με επισημάνση

Οι αναγνώσεις και οι γραφικές παραστάσεις μπορούν να σημειωθούν και να αποθηκευτούν με τον ίδιο τρόπο όπως περιγραφόταν στην σελίδα με τίτλο “Κάνοντας μια μέτρηση με τον κυματοδηγό”.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4 Άρδευση με σταγόνες

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει λεπτομερής αναφορά για το σύστημα της στάγδην άρδευσης με θεωρία και φωτογραφίες για την πληρέστερη κατανόηση. Κρίθηκε η καταλληλότερη μέθοδος για την άρδευση της Ρόκας χάρη της οικονομίας νερού και των αυτοματισμών που προσφέρει.

4.1 Ορισμός

Η άρδευση με σταγόνες είναι η μέθοδος κατά την οποία το νερό εφαρμόζεται σε επιλεγμένες θέσεις του αγρού με τη μορφή σταγόνων. Στην άρδευση με σταγόνες στην οποία συμπεριλαμβάνεται και η άρδευση με μικροεκτοξευτήρες (σπρέϊ) το νερό χορηγείται στη ζώνη της μεγαλύτερης ριζικής δραστηριότητας των φυτών και όχι σε ολόκληρη την έκταση του αγρού, όπως συνήθως συμβαίνει στην άρδευση με την τεχνητή βροχή ή τις επιφανειακές μεθόδους, για το λόγο αυτό και αναφέρεται ως τοπική άρδευση. Βασικά εξαρτήματα της μεθόδου είναι οι διανεμητές (σταλακτήρες ή μικροεκτοξευτήρες), μέσω των οποίων το νερό εφαρμόζεται στο έδαφος.

Ένα δίκτυο άρδευσης με σταγόνες περιλαμβάνει

- Τους διανεμητές (σταλακτήρες, μικροεκτοξευτήρες),
- Τις σωληνώσεις (κύριους, δευτερεύοντες και πλευρικούς αγωγούς),
- Τα εξαρτήματα συνδεσμολογίας (βάνες, ταυ, γωνίες, συνδέσμους, ρακόρ σύνδεσης κτλ),
- Την κεφαλή ή κέντρο ελέγχου (φίλτρα , βάνες, βαλβίδες, μανόμετρα κτλ),
- Την πηγή πίεσης και παροχής (π.χ. αντλητικό συγκρότημα, υδροστόμιο ή κεφαλή άρδευσης συλλογικού δικτύου κλειστών αγωγών).

4.2 Διανεμητές

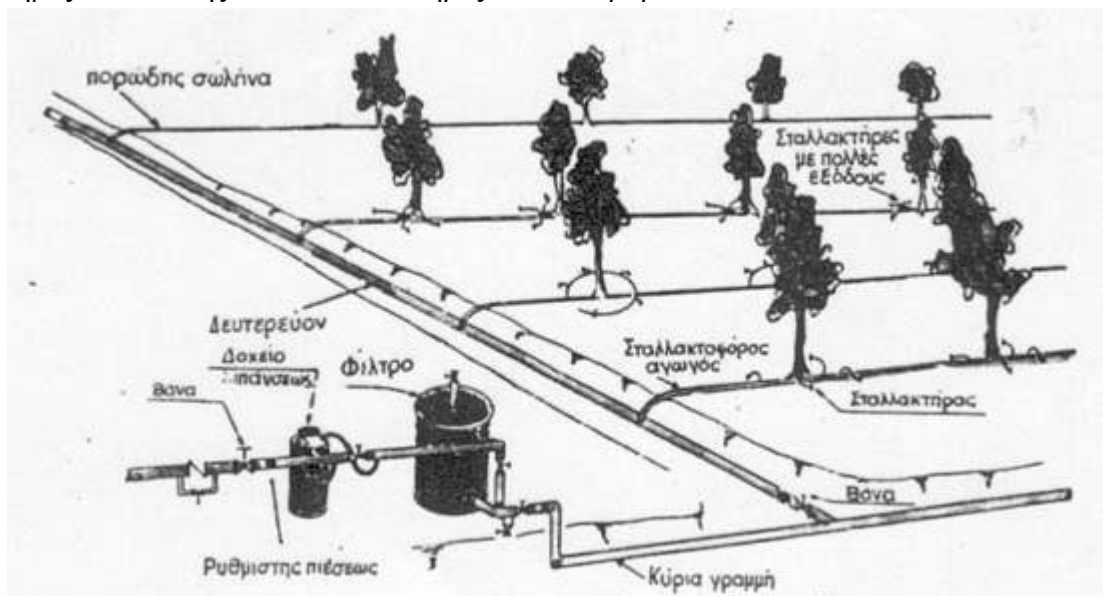
Οι διανεμητές, που τοποθετούνται στους πλευρικούς σωλήνες, αποτελούν βασικό εξάρτημα ενός δικτύου άρδευσης με σταγόνες. Ανάλογα με τον τρόπο που διανέμουν το νερό διακρίνονται σε σταλακτήρες και μικροεκτοξευτήρες. Οι κατηγορίες αυτές μπορεί να χωριστούν σε διάφορες ομάδες με βάση κάποια κριτήρια ή χαρακτηριστικά.

4.3 Σταλακτήρες

Ονομάζονται οι διανεμητές των συστημάτων άρδευσης με σταγόνες που η παροχή τους σε πίεση 10m συνήθως δεν υπερβαίνει τα 12 l/h. Το νερό έτσι εκρέει σταγόνα-σταγόνα και διηθείται άμεσα στο έδαφος. Για την ορθή λειτουργία ενός συστήματος άρδευσης με σταγόνες πρέπει να εξασφαλιστεί ομοιόμορφη παροχή των σταλακτήρων. Γενικά οι σταλακτήρες (όπως και οι μικροεκτοξευτήρες) πρέπει να έχουν μεγάλη διατομή ροής για να μη φράζουν εύκολα, να είναι κατασκευασμένοι από υλικά που δεν επηρεάζονται σημαντικά και δεν παθαίνουν αλλοιώσεις από τις μεταβολές της θερμοκρασίας στον αγρό που είναι έντονες, να είναι ευκολόχρηστοι και φυσικά να έχουν μικρό κόστος.

Με βάση τα υδραυλικά χαρακτηριστικά, τον τρόπο σύνδεσης και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τους οι σταλακτήρες διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες :

Από υδραυλικής άποψης οι σταλακτήρες κατατάσσονται σε μεγάλης ή μικρής διαδρομής ανάλογα με την απόσταση που διανύει το νερό μέσα στο σταλακτήρα μέχρι την έξοδό του με μορφή σταγόνων. Στους σταλακτήρες μεγάλης διαδρομής περιλαμβάνονται οι μικροσωλήνες, οι σταλακτήρες με ελικοειδή διαδρομή, οι σταλακτήρες με μαιανδρική διαδρομή και οι σταλακτήρες με μικτή (ελικοειδή και μαιανδρική) διαδρομή. Στους σταλακτήρες μικρής διαδρομής υπάγονται οι σταλακτήρες τύπου οπής και οι σταλακτήρες τύπου στροβίλου.



Σχήμα 4.1.
Τυπική διάταξη δικτύου άρδευσης με σταγόνες

Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης πάνω στους πλευρικούς σωλήνες οι σταλακτήρες χωρίζονται σε πλευρικούς και γραμμικούς (Σχήμα 4.2).

Οι γραμμικοί έχουν κυλινδρικό σχήμα και καταλήγουν σε δύο στενότερα τμήματα που συνδέονται στον πλευρικό σωλήνα. Σήμερα, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι γραμμικοί σταλακτήρες έχουν αντικατασταθεί από τους σταλακτηφόρους σωλήνες που περιλαμβάνουν τον πλευρικό αγωγό με ενσωματωμένους τους σταλακτήρες. Από κατασκευαστικής πλευράς οι σταλακτήρες μπορεί να έχουν μία έξοδο (σταλακτήρες απλής εξόδου) ή πολλές εξόδους (σταλακτήρες πολλαπλής εξόδου). Στους σταλακτήρες πολλαπλής εξόδου, με 2 - 6 οπές ροής, το νερό μέσω σωληνίσκων διανέμεται σε διάφορα σημεία του εδάφους. Τέλος, ανάλογα με τη δυνατότητα ρύθμισης της παροχής οι σταλακτήρες κατατάσσονται σε σταθερούς που δίνουν ορισμένη παροχή για δεδομένη πίεση λειτουργίας, σε ρυθμιζόμενους όταν η παροχή τους μπορεί να μεταβληθεί με διάφορους χειρισμούς και σε αυτορυθμιζόμενους όταν η παροχή διατηρείται σταθερή παρά τη μεταβολή της πίεσης του δικτύου.



Σχήμα 4.2. Διάφορες μορφές διανεμητών

4.4 Σωληνώσεις

Οι σωληνές των δικτύων άρδευσης με σταγόνες διακρίνονται σε κύριους, δευτερεύοντες και πλευρικούς. Οι πλευρικοί λαμβάνουν το νερό από τους δευτερεύοντες και το διανέμουν στην έκταση που πρόκειται να αρδευτεί μέσω των διανεμητών.

Όλες οι σωληνώσεις κατασκευάζονται συνήθως από διάφορα πλαστικά υλικά [χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), πολυαιθυλένιο (PE)]. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται σωληνές από χάλυβα ή αλουμίνιο για τους δευτερεύοντες ή κύριους αγωγούς. Οι κύριοι και δευτερεύοντες αγωγοί μπορούν να

εγκατασταθούν υπόγεια για τη διευκόλυνση των καλλιεργητικών εργασιών. Στην περίπτωση αυτή προτιμώνται πλαστικοί σωλήνες και μάλιστα από PVC που είναι φθηνότεροι από τους σωλήνες PE.

Οι πλευρικοί σωλήνες κατασκευάζονται συνήθως από PE που είναι μαλακό υλικό, εύκολο στο χειρισμό και προσαρμόζεται στις ανωμαλίες του εδάφους. Η διατομή τους είναι συνήθως κυκλική με εξωτερική διάμετρο που κυμαίνεται από 12 - 32 mm. Η αντοχή τους σε πιέσεις ανάλογα με το υλικό και τον τύπο κατασκευής κυμαίνεται από 0.5 - 6 atm. Το χρώμα που συνηθίζεται στους πλευρικούς είναι το μαύρο λόγω της αντοχής του στη φωτόλυση και της αδιαπερατότητάς του από το φως που εμποδίζει την ανάπτυξη στο εσωτερικό τους διαφόρων μικροοργανισμών που μπορούν να προκαλέσουν το φράξιμο των διανεμητών. Η τοποθέτησή τους γίνεται επιφανειακά (ή και υποεπιφανειακά), κάθετα προς τους δευτερεύοντες και φυσικά παράλληλα στις γραμμές της καλλιέργειας.

4.4.1 Διάταξη των πλευρικών

Οι συνηθέστερες διατάξεις των πλευρικών σωλήνων είναι οι : απλή ευθεία διάταξη, διπλή ευθεία διάταξη, απλή ευθεία διάταξη με σταλακτήρες πολλαπλής εξόδου, ημικυκλική διάταξη, μαιανδρική διάταξη, μικτή ευθεία-κυκλική διάταξη, κυκλική διάταξη και διάταξη ψαροκόκαλου.

4.5 Κέντρο ελέγχου ή κεφαλή

Το νερό πριν διοχετευθεί στο δίκτυο περνά από το κέντρο ελέγχου ή κεφαλή του δικτύου. Το κέντρο ελέγχου περιλαμβάνει ένα σύνολο μηχανισμών και εξαρτημάτων που προορίζονται να εξασφαλίσουν : τον καθαρισμό του νερού άρδευσης από τις ξένες ύλες, τη ρύθμιση της πίεσης, την αυτοματοποίηση του προγράμματος άρδευσης, την εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Οι κυριότεροι μηχανισμοί που περιλαμβάνει είναι (Σχήματα 4.3, 4.4) : βάνες, υδρόμετρο, ογκομετρική βαλβίδα, ρυθμιστές πίεσης, μανόμετρα, υδροκυκλώνας - φίλτρα, υδρολιπαντήρας, βαλβίδα αντεπιστροφής. Ανάλογα με το σύστημα και τις ειδικές συνθήκες της άρδευσης το κέντρο ελέγχου μπορεί να περιλαμβάνει όλους του παραπάνω μηχανισμούς, μέρος αυτών ή και άλλους επιπλέον.

4.5.1 Πηγή πίεσης και παροχής

Καλύπτει τις απαιτήσεις πίεσης και παροχής του δικτύου και μπορεί να είναι ένα αντλητικό ζεύγος, μια υπερυψωμένη δεξαμενή ή υδροληψία από κλειστούς αγωγούς ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου. Συνήθως η θέση όπως και το είδος της πηγής πίεσης είναι δεδομένα ή καθορίζονται από τις γενικότερες συνθήκες του αγροτεμαχίου. Όταν υπάρχουν περιθώρια επιλογής προτιμάται η πηγή να εξασφαλίζει

συνεχή έστω και μικρή παροχή για να επιτευχθεί μικρότερο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας και να βρίσκεται κατά το δυνατό πλησιέστερα στην κεφαλή του δικτύου.



Σχήμα 4.3 Σχηματική παράσταση κέντρου ελέγχου

Πλεονεκτήματα της άρδευσης με σταγόνες έναντι των άλλων μεθόδων άρδευσης

- Οικονομία νερού. Οφείλεται στις μικρές απώλειες νερού κατά την εφαρμογή μέσω του δικτύου των κλειστών σωληνώσεων, στον περιορισμένο βρεχόμενο όγκο και στην περιορισμένη βρεχόμενη επιφάνεια του εδάφους.
- Οικονομία εργατικών. Τα δίκτυα των σωληνώσεων είναι μόνιμα και συνήθως συνδυάζονται με συστήματα αυτοματισμών.
- Μείωση των ζιζανίων λόγω της περιορισμένης βρεχόμενης επιφάνειας του
- αγρού.
- Εκτέλεση των καλλιεργητικών εργασιών κατά τη διάρκεια της άρδευσης.

- Δυνατότητα εφαρμογής σε εδάφη μεγάλης διηθητικότητας και μεγάλων κλίσεων, χωρίς προηγούμενη ισοπέδωση.
- Καλύτερη ομοιομορφία κατά την εφαρμογή του νερού ακόμα και στα όρια του αγροτεμαχίου.
- Καλύτερος έλεγχος των ποσοτήτων νερού που εφαρμόζουμε, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται συστήματα αυτοματισμών.
- Αξιοποίηση μικρών παροχών. Σχετίζεται με την οικονομία νερού και τη δυνατότητα αξιοποίησης του δικτύου και κατά τη διάρκεια της νύχτας.
- Εύκολη και αποτελεσματική λίπανση αφού μέσω του αρδευτικού νερού τα λιπάσματα εφαρμόζονται στις ποσότητες που επιθυμούμε κατ' ευθείαν στο ριζόστρωμα.
- Ανεξαρτητοποίηση της άρδευσης από τον άνεμο όταν το νερό εφαρμόζεται μέσω σταλακτήρων.
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας. Τα συστήματα άρδευσης με σταγόνες λειτουργούν συνήθως σε χαμηλές πιέσεις που απαιτούν μικρότερη κατανάλωση ενέργειας από τα συστήματα άρδευσης με τεχνητή βροχή.
- Έλεγχος ορισμένων ασθενειών και εντόμων επειδή κατά την άρδευση δεν υπάρχει διαβροχή του φυλλώματος των καλλιεργειών.
- Ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης και απόδοσης των φυτών, επειδή οι αρδεύσεις είναι συχνές και έτσι το εδαφικό νερό στην περιοχή του ριζοστρώματος βρίσκεται κοντά στην υδατοϊκανότητα.
- Δυνατότητα αξιοποίησης αλατούχων νερών. Οφείλεται στο ότι δεν υπάρχει διαβροχή του φυλλώματος των καλλιεργειών και του ότι οι συχνές αρδεύσεις δημιουργούν συνθήκες υψηλής υδατό-περιεκτικότητας του εδάφους.

4.6 Μειονεκτήματα της άρδευσης με σταγόνες έναντι των άλλων μεθόδων άρδευσης

- Υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης. Οφείλεται στο ότι οι εγκαταστάσεις είναι μόνιμες και απαιτούν συνήθως πολλούς αυτοματισμούς και άλλα εξαρτήματα (π.χ. φίλτρα, βαλβίδες, βάνες).
- Φραξίματα. Τα φραξίματα των διανεμητών αποτελούν πολύ μεγάλο πρόβλημα κατά τη χρήση τέτοιων συστημάτων και απαιτούν την εγκατάσταση ειδικών συσκευών (π.χ. φίλτρων). Αιτίες των φραξιμάτων μπορεί να είναι φυσικές, χημικές ή και βιολογικές.
- Μηχανικές ζημιές από απρόσεκτη χρήση μηχανημάτων ή από διάφορα ζώα και πτηνά.
- Αδυναμία προστασίας από τους παγετούς επειδή το νερό εφαρμόζεται κάτω από την κόμη των δένδρων.

- Συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος παρατηρείται από τη χρήση αλατούχων
- νερών στα όρια μεταξύ βρεχόμενου και μη εδάφους και απαιτείται έκπλυση του εδάφους όταν οι βροχοπτώσεις δεν είναι επαρκείς.
- Υψηλό επίπεδο γνώσεων σχετικά με τη συντήρηση και λειτουργία του δικτύου.

4.6.1 Φραξίματα

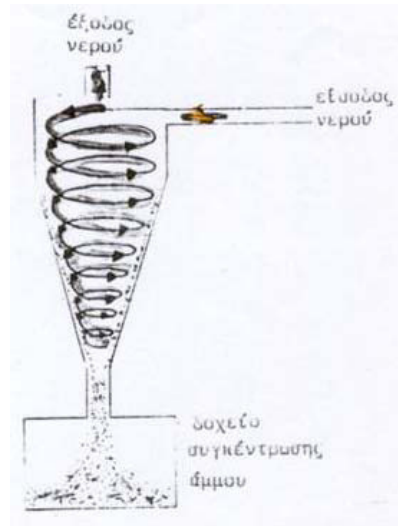
Τα φραξίματα που προκαλούνται στους σταλακτήρες αποτελούν το σοβαρότερο πρόβλημα στα συστήματα άρδευσης με σταγόνες. Τα φραξίματα οδηγούν αναπόφευκτα σε μείωση της παραγωγής και συνεπώς μειώνουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Ανάλογα με τα αίτια που προκαλούν τα φραξίματα αυτά διακρίνονται σε φυσικά, χημικά και βιολογικά (βλ. ποιότητα αρδευτικού νερού).

Για την αντιμετώπιση των φραξιμάτων χρησιμοποιούνται φρεάτια ηρεμίας, υδροκυκλώνες και φίλτρα (σίτας, χαλικιών) [Σχήμα 2.4]. Τα φρεάτια ηρεμίας χρησιμοποιούνται όταν το νερό περιέχει μεγάλες ποσότητες άμμου ή και αργίλου. Οι υδροκυκλώνες απομακρύνουν κυρίως την άμμο ενώ τα φίλτρα, τα λεπτότερα υλικά. Στα φίλτρα σίτας το νερό διηθείται μέσω λεπτού πλέγματος κατασκευασμένου από μεταλλικά (ανοξείδωτα) ή πλαστικά νήματα. Χαρακτηριστικό των πλεγμάτων είναι ο αριθμός mesh που αναφέρεται στον αριθμό των νημάτων ανά ίντσα (25.4mm). Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας (καθαρισμού) τους τα φίλτρα σίτας διακρίνονται σε απλά, ημιαυτόματα και αυτόματα.

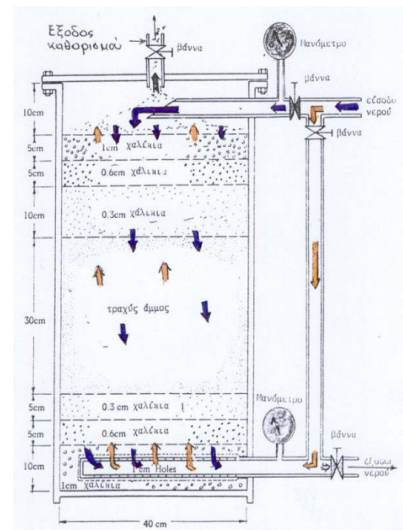
Τα φίλτρα χαλικιών (gravel) ή άμμου χρησιμοποιούν ως διηθητικό μέσο χαλίκια κατάλληλα διαβαθμισμένα από διάφορα αδρανή υλικά ή χαλαζιακή άμμο και είναι κατάλληλα για τη συγκράτηση οργανικών κυρίως υλικών (άλγη) αλλά και ανόργανων πολύ λεπτόκοκκων (αργίλου). Η λειτουργία τους βασίζεται στη μεγάλη επιφάνεια του διηθητικού μέσου (χαλίκια, άμμος) πάνω στην οποία συγκρατούνται τα λεπτόκοκκα υλικά. Ο καθαρισμός τους γίνεται με ανάστροφη ροή του νερού με χρήση των ειδικών βανών του συστήματος των φίλτρων.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 4.4

Φίλτρο σίτας (α), Υδροκυκλώνας (β) και φίλτρο άμμου (χαλικιών) (γ)

4.7 Σχεδιασμός δικτύων άρδευσης με σταγόνες

Ο σχεδιασμός των δικτύων άρδευσης με σταγόνες είναι αντίστοιχος του σχεδιασμού άρδευσης με τεχνητή βροχή με τη διαφορά ότι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, η (μειωμένη) βρεχόμενη επιφάνεια του αγρού, τα χαρακτηριστικά (σχέσεις πίεσης - παροχής) των διανεμητών (σταλακτήρων ή μικροεκτοξευτήρων και οι αυξημένες απώλειες στην κεφαλή του δικτύου (φίλτρα, βάνες, υδρολιπαντήρα, ογκομετρικές βαλβίδες κτλ). Κατά τα άλλα ο σχεδιασμός, π.χ. χρήση διαγραμμάτων απωλειών πίεσης, είναι ο ίδιος (βλ. σχετικά άρδευση με τεχνητή βροχή).

4.7.1 Κριτήρια επιλογής του καταλληλότερου συστήματος άρδευσης

Η επιλογή του καταλληλότερου συστήματος άρδευσης σχετίζεται με την ορθολογική διαχείριση του νερού και την επίτευξη του καλύτερου οικονομικού αποτελέσματος της γεωργικής εκμετάλλευσης. Οι διάφορες παράμετροι που επηρεάζουν και που πρέπει να συνεκτιμώνται στην επιλογή ενός συστήματος άρδευσης είναι οι ακόλουθες : το κλίμα, το έδαφος, το είδος φυτού και ο τρόπος καλλιέργειας, η διαθέσιμη ποσότητα και ποιότητα του αρδευτικού νερού, το διαθέσιμο εργατικό και τεχνικό δυναμικό και το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας των έργων.

4.7.1.1 Κλίμα

Από τις κλιματικές παραμέτρους ιδιαίτερη σημασία στην επιλογή του συστήματος έχουν ο άνεμος και η θερμοκρασία του αέρα. Σε περιοχές με συχνούς και δυνατούς ανέμους (ταχύτητα > 4 - 5 m/s) η εφαρμογή της άρδευσης με τεχνητή βροχή (ή μικροεκτοξευτήρες) είναι προβληματική γιατί δεν μπορεί να επιτευχθεί ομοιόμορφη άρδευση ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν αυξημένες απώλειες νερού λόγω μεταφοράς των σταγόνων της βροχής εκτός της αρδευόμενης έκτασης. Κατ' ανάλογο τρόπο μεγάλες απώλειες δημιουργούν οι υψηλές θερμοκρασίες εξ αιτίας των ευνοϊκών συνθηκών εξάτμισης και για το λόγο αυτό οι αρδεύσεις και μάλιστα η τεχνητή βροχή πρέπει να αποφεύγονται ιδιαίτερα τις μεσημεριανές ώρες. Από τις κλιματικές συνθήκες εξαρτώνται άμεσα και οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό. Σε περιοχές με έντονα προβλήματα λειψυδρίας πρέπει να προτιμώνται καλλιέργειες ανθεκτικές στην έλλειψη νερού και να εφαρμόζονται μέθοδοι άρδευσης με μικρές απώλειες (π.χ. σταγόνες). Σε περιοχές που πλήττονται από παγετούς η άρδευση με τεχνητή βροχή αποτελεί μέθοδο αντιπαγετικής προστασίας.

4.7.1.2 Έδαφος

Όταν οι κλίσεις του εδάφους και η διηθητικότητα του είναι μεγάλες πρέπει να αποφεύγονται οι επιφανειακές μέθοδοι άρδευσης. Οι ισοπεδώσεις που απαιτούνται για τη μείωση των κλίσεων και την εφαρμογή επιφανειακής άρδευσης μπορεί να αποκαλύψουν άγονα εδάφη και πρέπει να αποφεύγονται σε τέτοιες περιπτώσεις. Αν η υπόγεια στάθμη του νερού βρίσκεται ψηλά, με την εφαρμογή επιφανειακής άρδευσης, υπάρχει κίνδυνος περαιτέρω ανύψωσής της στο βάθος του ριζοστρώματος λόγω των αυξημένων ποσοτήτων νερού που απαιτεί η εφαρμογή της μεθόδου. Οι παραπάνω περιορισμοί υπαγορεύουν την εφαρμογή άλλης μεθόδου άρδευσης (σταγόνες, τεχνητή βροχή).

4.7.1.3 Διαθέσιμη ποσότητα και ποιότητα του αρδευτικού νερού

Η επιφανειακή άρδευση ενδείκνυται όταν οι διαθέσιμες ποσότητες νερού είναι μεγάλες. Σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να προτιμάται η άρδευση με τεχνητή βροχή ή σταγόνες. Ειδικά όταν πρόκειται για πολύ μικρές παροχές η άρδευση με σταγόνες επιτυγχάνει την καλύτερη αξιοποίησή τους λόγω των μικρότερων απωλειών και της δυνατότητας άρδευσης κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η ποιότητα του αρδευτικού νερού είναι επίσης καθοριστική στην επιλογή της μεθόδου άρδευσης. Αν το νερό περιέχει άλατα η άρδευση με σταγόνες μπορεί να εφαρμοστεί εφόσον εξασφαλιστεί αποτελεσματική έκπλυση των εδαφών.

Με τις άλλες μεθόδους άρδευσης (επιφανειακή, τεχνητή βροχή) και ειδικά με την άρδευση με λεκάνες μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματική έκπλυση των αλάτων από το έδαφος. Στην περίπτωση που η εφαρμογή της άρδευσης με τεχνητή βροχή

προκαλεί διαβροχή των φυλλωμάτων καλλιέργειας που είναι ευαίσθητη στα άλατα η χρήση αλατούχου νερού καθιστά απαγορευτική την εφαρμογή της μεθόδου. Τέλος, η παρουσία αλάτων και φερτών υλικών στο αρδευτικό νερό μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα ιδιαίτερα στα συστήματα άρδευσης με σταγόνες λόγω έμφραξης των σταλακτήρων (βλ. ποιότητα αρδευτικού νερού).

4.7.1.4 Διαθέσιμο εργατικό και τεχνικό δυναμικό

Η ύπαρξη επαρκούς ακόμη και ανειδίκευτου εργατικού δυναμικού ευνοεί τις παραδοσιακές μεθόδους επιφανειακής άρδευσης. Η άρδευση με τεχνητή βροχή και σταγόνες απαιτεί αρκετά ειδικευμένους εργάτες, τεχνίτες και αγρότες λόγω της πληθώρας και πολυπλοκότητας των μηχανών, μηχανισμών και αυτοματισμών που συνεπάγεται η εφαρμογή και η συντήρησή τους. Από πλευράς απασχόλησης, η εκμηχάνιση και αυτοματοποίηση των παραπάνω μεθόδων αναπόφευκτα οδηγεί σε μικρότερες απαιτήσεις εργατικών χεριών. Για το λόγο αυτό οι μέθοδοι αυτές προτιμώνται όταν υπάρχουν ελλείψεις εργατικού δυναμικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5 Λογισμικό Cropwat

Πριν από την φύτευση της ρόκας πραγματοποιήθηκε η συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων από τον μετεωρολογικό σταθμό του ΤΕΙ και η επεξεργασία τους για τον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών από το λογισμικό Cropwat 8.0.

5.1 Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής με χρήση του Cropwat 8.0

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς αντιπροσωπεύει την δυναμική εξάτμιση μιας καλά ποτισμένης καλλιέργειας γρασιδιού. Οι ανάγκες σε νερό από άλλες καλλιέργειες συσχετίζονται άμεσα με αυτή την κλιματική παράμετρο.

Αν και υπάρχουν αρκετές μέθοδοι προσδιορισμού της εξατμισοδιαπνοής, η μέθοδος Penman – Monteith έχει προταθεί ως η καταλληλότερη μέθοδος σε συνδυασμό με τα κλιματικά δεδομένα που σχετίζονται με:

- Θερμοκρασία
- Υγρασία
- Ηλιοφάνεια
- Ταχύτητα ανέμου

5.2 Συλλογή κλιματικών δεδομένων

Για τον υπολογισμό ET₀, τα αντίστοιχα κλιματολογικά δεδομένα θα πρέπει να συλλέγονται από το πλησιέστερο και πιο αντιπροσωπευτικό μετεωρολογικό σταθμό. Πολλά ιδρύματα και υπηρεσίες διατηρούν κλιματικά αρχεία, όπως η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, το ΥΠΕΚΑ, το ΥΠΑΑΤ, το ΕΘΙΑΓΕ, οι Δήμοι και μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις κλιματικές συνθήκες μέσα στην περιοχή του συστήματος άρδευσης τα οποία θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για τους υπολογισμούς των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό (CWR). Στην περίπτωση αυτή τα δεδομένα συλλέχτηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του ΤΕΙ.

5.3 Μετατροπές των κλιματικών δεδομένων

Σε γενικές γραμμές, τα κλιματικά δεδομένα είναι τυποποιημένα. Κατά κανόνα απαιτούνται κάποιες μετατροπές για την προσαρμογή των δεδομένων σε μορφή

αποδεκτή από το CROPWAT 8.0. Ειδικότερα, προσοχή πρέπει να δοθεί στις μονάδες η οποίες δίνονται από κλιματικά αρχεία.

Το αρχείο με τα κλιματικά στοιχεία ήταν μορφής txt με τιμές που ενημερώνονταν από το σύστημα ανά δεκάλεπτο. Το αρχείο έγινε εισαγωγή στο excel ώστε να γίνει η επεξεργασία του. Πρώτο μέλημα ήταν, οι τιμές να προσαρμοστούν σε ημερήσια δεδομένα, έχοντας την μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή για την θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου και τις ώρες ηλιοφάνειας.

5.4 Κλίμα / αποθήκευση δεδομένων εξαμηνιαίας

Αφού γίνει έλεγχος των δεδομένων για πιθανά λάθη, τότε μπορούν να αποθηκευτούν με την επιλογή “Save” που βρίσκεται στην εργαλειογραμμή ή από το μενού “File” και μετά στο εικονίδιο “Save”. Είναι σημαντικό να δοθεί εκ των προτέρων όνομα στο σύνολο των δεδομένων για να αναγνωρίζεται ευκολότερα αργότερα.

DAILY ETO PENMAN-MONTEITH DATA
(File: C:\Users\lazaros\Desktop\session for cropwat\ETo-Penman Montheith.FED)

Country: Greece	Station: TEI	Year: 2011
Altitude: 1 m.	Latitude: 38.36 °N	Longitude: 21.47 °E

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/day
January	6.2	16.3	80	344	6.3	9.4	1.59
February	5.9	16.0	79	342	6.5	12.0	1.94
March	6.2	16.3	80	344	6.3	14.7	2.29
April	9.5	19.5	78	129	7.6	18.9	2.97
May	13.1	24.6	78	82	8.7	22.3	3.94
June	16.7	29.4	75	75	10.6	25.5	4.92
July	16.6	29.4	75	75	10.6	25.1	4.83
August	16.6	29.4	75	75	10.6	23.6	4.45
September	16.7	29.4	75	75	10.6	20.7	3.75
October	9.6	19.5	78	126	7.4	13.7	1.95
November	6.2	16.2	80	343	6.5	10.0	1.64
December	6.2	16.3	80	344	6.3	8.6	1.48
Average	10.8	21.8	78	196	8.2	17.0	2.98

Πίνακας 5.1 Κλιματικά δεδομένα

5.5 Επεξεργασία δεδομένων βροχοπτώσεων

Οι βροχοπτώσεις συμβάλλουν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό στην ικανοποίηση των υδατικών αναγκών, εξαρτώμενες πάντα από την περιοχή. Κατά την διάρκεια των βροχών σε τροπικά ή ημι-τροπικά μέρη, μεγάλο μέρος των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών καλύπτεται από τις βροχές, ενώ κατά την διάρκεια της ξηράς περιόδου το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών σε νερό πρέπει να καλύπτεται από την

άρδευση. Το πόσο νερό όμως προέρχεται από τις βροχοπτώσεις και πόσο νερό πρέπει να καλυφθεί με την άρδευση είναι δύσκολο να προβλεφθεί, επειδή η βροχόπτωση από εποχή σε εποχή διαφέρει σημαντικά.

Για να εκτιμηθεί το έλλειμμα βροχόπτωσης για τις ανάγκες σε νερό άρδευσης, θα πρέπει να γίνει στατική ανάλυση από αρχεία που έχουν μακροπρόθεσμα δεδομένα για τις βροχοπτώσεις.

Εκτός από την μεταβλητότητα των βροχοπτώσεων από χρονιά σε χρονιά, δεν χρησιμοποιείται όλη η βροχή από την καλλιέργεια. Η ένταση της βροχής μπορεί να είναι τέτοια ώστε ένα μέρος της βροχής να χάνεται λόγω απορροής ή λόγω βαθιάς διήθησης κάτω από την ζώνη των ριζών. Προκειμένου να προσδιοριστεί το κομμάτι εκείνο της βροχής που συμβάλλει αποτελεσματικά στην ικανοποίηση των υδατικών αναγκών, δίνονται για πρώτη φορά ορισμοί ενώ στην συνέχεια εξηγείται πως οι διαφορετικές τιμές βροχόπτωσης μπορούν να υπολογιστούν και πως ενσωματώνονται στους υπολογισμούς για τις υδατικές ανάγκες.

5.6 Προσδιορισμοί βροχοπτώσεων

5.6.1 Μέση μηνιαία βροχόπτωση

Προσδιορίζεται μαθηματικά η μέση τιμή, από μια σειρά καταγραφών των βροχοπτώσεων, η συνηθέστερη είναι και η διαθέσιμη. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των υδατικών απαιτήσεων αντιπροσωπεύοντας τις μέσες κλιματικές συνθήκες.

5.6.2 Έγκυρη βροχόπτωση

Η ποσότητα της βροχόπτωσης θα εξαρτηθεί από ένα ως τέσσερα ή πέντε χρόνια και θα ανταποκρίνεται στο 75 ή 80% της πιθανότητας υπέρβασης και θα ανταποκρίνεται σε ένα ξηρό έτος. Η έγκυρη βροχή χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό και την ικανότητα του αρδευτικού συστήματος.

5.6.3 Βροχόπτωση σε υγρά, κανονικά και ξηρά έτη

Ορίζεται αντίστοιχα ως η βροχόπτωση μαζί με το 20, 50 και 80% της πιθανότητας υπέρβασης αντιπροσωπεύοντας την υγρή, κανονική και ξηρή χρονιά. Οι τρεις συνιστώσες είναι χρήσιμες για τον προγραμματισμό της εφαρμογής άρδευσης, εφαρμόζοντας και προσομοιώνοντας τις συνθήκες διαχείρισης άρδευσης. Η βροχόπτωση σε κανονικά χρόνια (50% πιθανότητα) είναι γενικά μια καλή προσέγγιση από την μέση βροχόπτωση.

5.6.4 Αποτελεσματική βροχόπτωση

Ας αναφερθεί στο σημείο αυτό ότι η βροχόπτωση είναι αποτελεσματικότερη αν επιδράσει στην καλλιέργεια αφού σταματήσει η απορροή και αφού το έδαφος φτάσει στην μέγιστη διηθητικότητα. Έτσι μπορεί να ειπωθεί ότι η

αποτελεσματικότητα της βροχής προσδιορίζεται από τις απαιτήσεις της καλλιέργειας σε νερό.

5.6.5 Συλλογή δεδομένων βροχοπτώσεων

Τα δεδομένα που απαιτούνται από το CROPWAT 8.0 για τις βροχοπτώσεις μπορεί να είναι ημερήσια, δεκαήμερου ή μηνιαία και συνήθως διαθέσιμα από πολλούς κλιματολογικούς σταθμούς.

5.7 Μέθοδος αποτελεσματικότητας της βροχόπτωσης

Για τον υπολογισμό των απωλειών λόγω απορροής ή βαθειάς διήθησης, μπορεί να επιλεγεί μία από τις τέσσερις μεθόδους που δίνονται στο CROPWAT 8.0 (σταθερό ποσοστό, αποτελεσματική βροχόπτωση, εμπειρικοί τύποι).

Σε γενικές γραμμές, η αποτελεσματικότητα των βροχοπτώσεων θα μειωθεί με την αύξηση της βροχόπτωσης. Για τις περισσότερες τιμές κάτω των 100 mm / μήνα, η απόδοση θα είναι περίπου 80%.

Στους υπολογισμούς για το ισοζύγιο νερού που περιλαμβάνεται στο τμήμα προγραμματισμού άρδευσης CROPWAT 8.0, υπάρχει η δυνατότητα να εκτιμήσει τις πραγματικές τιμές απόδοσης για διάφορες καλλιέργειες και τις συνθήκες του εδάφους.

5.7.1 Εισαγωγή δεδομένων βροχοπτώσεων

Η μονάδα μέτρησης της βροχής μπορεί να επιλεγεί κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Rain” που βρίσκεται στην γραμμή εργαλείων, αριστερά του κύριου παραθύρου του CROPWAT 8.0. Το παράθυρο θα ανοίξει με τον προεπιλεγμένο τύπο δεδομένων σε τιμές καθημερινές / μηνιαίες / δεκαετίας όπου και μπορούν να εναλλάσσονται μεταξύ τους εύκολα με την χρήση της επιλογής “drop down” από την εργαλειοσειρά.

Μόλις το παράθυρο ανοίξει με τον κατάλληλο τύπο δεδομένων βροχής ελέγξτε τον τρόπο εισαγωγής. Η ενότητα περιλαμβάνει επίσης υπολογισμούς που παράγουν πραγματικά δεδομένα που λαμβάνονται από τις διαθέσιμες τιμές των βροχοπτώσεων.

5.7.2 Αποθήκευση δεδομένων βροχοπτώσεων

Τα δεδομένα των βροχοπτώσεων θα πρέπει να αποθηκευτούν αφού ολοκληρωθεί το σκέλος των δεδομένων. Για την αποθήκευση πατήστε το εικονίδιο “Save” από την εργαλειοσειρά ή από την επιλογή File > “Save”.

Η ονομασία του φακέλου θα πρέπει να ανταποκρίνεται στο τύπο και τα δεδομένα της περιοχής.

5.8 Πληροφορίες για την καλλιέργεια και το έδαφος

Για τον προσδιορισμό των υδατικών απαιτήσεων η αξιολόγηση θα πρέπει να γίνει από μια ευρεία γκάμα αρδευόμενων καλλιεργειών του παρόντος αλλά και προβλέψεων για το μέλλον. Επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών όπως κύκλος καλλιέργειας, συντελεστές καλλιέργειας, βάθος ρίζας κ.α που πρέπει να συνυπολογίζονται.

Βασικές πληροφορίες που συλλέγονται από το πεδίο πρέπει να περιλαμβάνουν:

- Καλλιέργεια και ποικιλία
- Πρώτη και τελευταία ημερομηνία φύτευσης
- Πρώτη και τελευταία ημερομηνία συγκομιδής

Πρόσθετες πληροφορίες μπορούν να περιλαμβάνουν:

- Ενδεικτικό επίπεδο απόδοσης
- Ενδεικτικές πρακτικές άρδευσης
- Οι μέθοδοι άρδευσης
- συχνότητες άρδευσης και το διάστημα
- βάθη εφαρμογής άρδευσης

Από τους σταθμούς γεωργικής έρευνας, μπορούν να συλλεχθούν πιο ακριβείς πληροφορίες σε:

- Χαρακτηριστικά καλλιεργειών:
- Επιμέρους στάδια ανάπτυξης
- Παράγοντες των καλλιεργειών, που αφορούν εξατμισοδιαπνοή
- Βάθος ρίζας
- Σημείο μόνιμης μάρανσης
- Απόδοση συντελεστή απόκρισης

5.8.1 Επεξεργασία δεδομένων καλλιέργειας και καλλιεργητικών προτύπων

Η συλλογή πληροφοριών για τις ημερομηνίες σποράς και συγκομιδής θα πρέπει να γίνεται συστηματικά για την καλλιέργεια. Η ημερομηνία φύτευσης των καλλιεργειών, ιδίως εκείνων που καλύπτουν σημαντικές εκτάσεις ή υψηλές απαιτήσεις σε νερό. Σε τέτοιες περιπτώσεις η καλλιέργεια μπορεί να υποδιαιρεθεί σε

διαφορετικές μονάδες καλλιεργειών με φύτευση ανά διαστήματα από 10 ως 15 ημέρες.

5.8.2 Εισαγωγή δεδομένων καλλιέργειας

Η επιλογή της καλλιέργειας μπορεί να γίνει κάνοντας κλικ στο εικονίδιο "Crop" της εργαλειογραμμής που βρίσκεται στην αριστερή πλευρά του κύριου παραθύρου του CROPWAT. Το παράθυρο θα ανοίξει με το προεπιλεγμένο τύπο δεδομένων, είναι όμως δυνατή η γρήγορη εναλλαγή σε άλλο τύπο δεδομένων, χρησιμοποιώντας το μενού "New" στη γραμμή εργαλείων.

Οι υπολογισμοί για την καλλιέργεια απαιτούν δεδομένα κατά την διάρκεια των διαφόρων σταδίων ανάπτυξης που ορίζονται ως εξής:

1. Πρώτη φάση: ξεκινά από την ημερομηνία φύτευσης ως και το 10% της εδαφοκάλυψης.
2. Στάδιο ανάπτυξης: από το 10% της εδαφοκάλυψης ως την αποτελεσματική πλήρη κάλυψη.
3. Αποτελεσματική πλήρη κάλυψη για πολλές καλλιέργειες έχουμε κατά την έναρξη της άνθησης.
4. Ενδιάμεσο στάδιο: ξεκινά από την αποτελεσματική πλήρη κάλυψη ως την ωρίμανση. Η ωρίμανση συχνά αναφέρεται από την έναρξη της γήρανσης, το κιτρίνισμα και την πτώση των φύλλων, ή τα μαύρισμα των φρούτων στο βαθμό που η εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών μειώνεται σε σχέση με το ETo.
5. Τελευταίο στάδιο: Ξεκινά από την έναρξη της ωρίμανσης ως τη συγκομιδή ή την πλήρη μάρανση.

Οι ακόλουθες πληροφορίες είναι απαραίτητες:

- Όνομα καλλιέργειας
- Ημερομηνία φύτευσης
- Συντελεστής καλλιέργειας (Kc)
- Μήκος καλλιέργειας
- Βάθος ρίζας
- Συντελεστής ωφελιμότητας (p)
- Απόδοση συντελεστή απόκρισης (Ky)

DRY CROP DATA
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\eruca sativa.CRO)

Crop Name: Eruca sativa	Planting date: 07/05	Harvest: 15/06			
Stage	initial	develop	mid	late	total
Length (days)	10	15	10	5	40
Kc Values	0.33	-->	0.95	1.00	
Rooting depth (m)	0.03	-->	0.06	0.06	
Critical depletion	0.30	-->	0.60	0.60	
Yield response f.	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Cropheight (m)			0.10		

Πίνακας 5.2 Δεδομένα καλλιέργειας

Εάν είναι διαθέσιμο, το μέγιστο ύψος των καλλιεργειών θα πρέπει να παρέχεται.

5.8.3 Αποθήκευση δεδομένων καλλιέργειας

Η αποθήκευση των δεδομένων θα πρέπει να γίνεται όταν η εισαγωγή του συνόλου των δεδομένων ολοκληρωθεί. Για να γίνει η αποθήκευση επιλέγουμε "Save" από την εργαλειογραμμή. Να δοθεί προσοχή στην ονομασία του αρχείου θα πρέπει να αντικατοπτρίζει επαρκώς τον τύπο της καλλιέργειας.

5.9 Υπολογισμός των υδατικών αναγκών της καλλιέργειας

Ο υπολογισμός των υδατικών αναγκών πραγματοποιείται από την βάση δεδομένων που περιέχει στοιχεία κλιματικά και βροχοπτώσεων, όπως και αρχεία των καλλιεργειών με την αντίστοιχη ημερομηνία φύτευσης.

5.9.1.1 Εισαγωγή δεδομένων εδάφους

Η ενότητα του εδάφους επιλέγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο "Soil" που βρίσκεται αριστερά του κυρίου παραθύρου. Η ενότητα του εδάφους αποτελείται από δεδομένα εισόδου που απαιτούν τα ακόλουθα γενικά στοιχεία του εδάφους.

- Σύνολο διαθέσιμου νερού
- Μέγιστο ποσοστό διηθητικότητας
- Μέγιστο βάθος ριζοβολίας
- Την αρχική μείωση υγρασίας του εδάφους

SOIL DATA
(File: C:\Users\lazaros\Desktop\session for cropwat\TEI SOIL.SOI)

Soil name: TEI

General soil data:

Total available soil moisture (FC - WP)	210.0	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	40	mm/day
Maximum rooting depth	20	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TA)	0	%
Initial available soil moisture	210.0	mm/meter

Πίνακας 5.3 Δεδομένα εδάφους

Αποθήκευση δεδομένων

Τα δεδομένα του εδάφους θα πρέπει να αποθηκεύονται μετά την εισαγωγή ενός συνόλου των δεδομένων που έχει ολοκληρωθεί.

5.9.1.2 Εισαγωγή δεδομένων για τον υπολογισμό υδατικών αναγκών

Η ενότητα υδατικών αναγκών επιλέγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο "CWR" που βρίσκεται στην αριστερή πλευρά του κυρίου παραθύρου. Τα δεδομένα για το κλίμα, την εξατμισοδιαπνοή και τις βροχοπτώσεις στις περισσότερες καλλιέργειες είναι υποχρεωτικά. Αν όλα τα δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα τότε το CROPWAT θα προειδοποιήσει και θα κλείσει την ενότητα CWR.

Η ενότητα CWR περιλαμβάνει υπολογισμούς που ικανοποιούν τις απαιτήσεις της καλλιέργειας σε νερό άρδευσης από μία βάση και από το σύνολο των καλλιεργητικών περιόδων.

CROP WATER REQUIREMENTS

ETo station: TEI
Rain station: TEI

Crop: Eruca sativa
Planting date: 07/05

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
May	1	Init	0.33	1.35	5.4	9.0	0.0
May	2	Deve	0.37	1.41	14.1	4.3	9.8
May	3	Deve	0.73	3.18	34.9	9.2	25.8
Jun	1	Mid	0.93	4.86	48.6	0.0	48.6
Jun	2	Late	0.98	4.28	21.4	2.4	19.0
					124.4	24.9	103.1

Πίνακας 5.4 Υπολογισμός υδατικών αναγκών

5.10 Σύστημα και απαιτήσεις πρωτεύοντος αγωγού

Η εφαρμογή της άρδευσης όπως και κάθε σχεδιασμού άρδευσης μπορεί να υπολογίζεται με την πρόσθεση των απαιτήσεων της κάθε καλλιεργούμενης έκτασης. Κάθε τροποποίηση μπορεί να υπολογιστεί και να προσδιοριστεί από το CROPWAT 8.0

5.10.1 Εισαγωγή δεδομένων δικτύου εφαρμογής

Το δίκτυο εφαρμογής επιλέγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Scheme” που βρίσκεται αριστερά του κυρίως παραθύρου.

Το δίκτυο εφαρμογής περιλαμβάνει υπολογισμούς που αποδίδουν την :

- Απαίτηση άρδευσης για κάθε καλλιέργεια του συστήματος
- Καθαρές αρδευτικές απαιτήσεις
- Αρδευόμενη έκταση ως ποσοστό της συνολικής έκτασης
- Απαίτηση έκτασης για την πραγματική έκταση
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των απαιτήσεων του συστήματος άρδευσης

Τα αποτελέσματα των υδατικών απαιτήσεων της καλλιέργειας μπορούν να συγκριθούν με την διαθέσιμη προσφορά.

5.10.2 Αρδευτικός σχεδιασμός και προγραμματισμός αρδεύσεων

Ένα σημαντικό στοιχείο του CROPWAT 8,0 είναι η μονάδα προγραμματισμού άρδευσης, η οποία έχει πολλές δυνατότητες εφαρμογής.

Ανάπτυξη ενδεικτικών προγραμμάτων άρδευσης:

- Για την επέκταση γεωργικών υπηρεσιών και για την προώθηση καλύτερων πρακτικών άρδευσης.
- Για την παροχή υπηρεσιών και την δημιουργία βελτιωμένων προγραμμάτων άρδευσης.
- Για την αξιολόγηση των υπάρχουσών πρακτικών άρδευσης, ως προς την αποδοτικότερη χρήση νερού.
- Για την αξιολόγηση της φυτικής παραγωγής κατά την ξηρά περίοδο και την αναγκαιότητα της συμπληρωματικής άρδευσης με κατάλληλα προγράμματα άρδευσης.

- Για την ανάπτυξη εναλλακτικών χρονοδιαγραμμάτων άρδευσης κάτω από περιορισμένες συνθήκες παροχής νερού.

Οι υπολογισμοί για τον σχεδιασμό και τον προγραμματισμό της άρδευσης παρέχονται γνωρίζοντας την υδατοϊκανότητα και την εδαφική υγρασία σε καθημερινή βάση, προσδιορίζοντας έτσι τις εισροές και εκροές νερού στο ριζικό σύστημα.

Η ενότητα αυτή του προγράμματος περιλαμβάνει υπολογισμούς που δημιουργούν ισορροπία νερού και εδάφους σε καθημερινή βάση. Χρησιμοποιούνται η παρακάτω παράμετροι:

- Αποτελεσματική βροχόπτωση, σε ξηρό, φυσιολογικό και υγρό έδαφος
- Συντελεστής πίεσης νερού (Kc)
- Εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών κάτω από μη κανονικές συνθήκες
- Εξάντληση του ριζοστρώματος ή Σημείο μόνιμης μάρανσης
- Καθαρή άρδευση
- Έλλειμμα
- Απορροή
- Μικτή άρδευση
- Παροχή
- Σχεδιασμός αρδευτικού δικτύου

Σκοπός:

Ο προσδιορισμός της παροχής νερού άρδευσης για την καλλιέργεια της Ρόκας όσον αφορά την συχνότητα και το βάθος άρδευσης, εξασφαλίζοντας την βέλτιστη ανάπτυξη και την αποδοτικότερη χρήση του νερού.

Συνθήκες:

Το πρόγραμμα άρδευσης θα πρέπει να πληροί της απαιτήσεις του τρόπου άρδευσης και τα κριτήρια λειτουργίας του συστήματος άρδευσης, επίσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η διάρκεια του προγράμματος άρδευσης.

Απαιτούμενα δεδομένα και πληροφορίες:

- | | |
|---------------------|-----------------|
| • Καλλιέργεια: | Ρόκα |
| • Ημ/νια φύτευσης: | 7 Μαΐου |
| • Κλίμα: | Εύκρατο |
| • Έδαφος: | Μέσης σύστασης |
| • Μέθοδος άρδευσης: | Στάγδην άρδευση |
| • Εφαρμογή: | 20-30 mm |
| • Δίκτυο άρδευσης: | Στάγδην άρδευση |

Για την ανάπτυξη ενός προγράμματος άρδευσης που θα ταιριάζει στις απαιτήσεις μας, ακολουθείται μια διαδικασία όπου εκτελούνται μερικές αρδεύσεις με

διαφορετικούς χρόνους εφαρμογής. Τα αποτελέσματα της κάθε εκτέλεσης θα αξιολογηθούν για την επόμενη εφαρμογή.

CROP IRRIGATION SCHEDULE												
ETo station: TEI		Crop: Eruca sativa			Planting date: 07/05							
Rain station: TEI		Soil: TEI			Harvest date: 15/06							
Yield red.: 0.0 %												
Crop scheduling options												
Timing: Irrigate at 100 % depletion												
Application: Refill to 100 % of field capacity												
Field eff. 70 %												
Table format: Irrigation schedule												
Date	Day	Stage	Rain mm	Ks fract.	Eta %	Depl %	Net Irr mm	Deficit mm	Loss mm	Gr. Irr mm	Flow l/s/ha	
8 May	2	Init	0.0	1.00	100	43	2.9	0.0	0.0	4.2	0.24	
10 May	4	Init	0.0	1.00	100	34	2.5	0.0	0.0	3.6	0.21	
12 May	6	Init	0.0	1.00	100	32	2.5	0.0	0.0	3.5	0.20	
14 May	8	Init	0.0	1.00	100	34	2.9	0.0	0.0	4.1	0.24	
17 May	11	Dev	0.0	1.00	100	42	3.8	0.0	0.0	5.4	0.21	
20 May	14	Dev	0.0	1.00	100	50	4.9	0.0	0.0	7.0	0.27	
22 May	16	Dev	0.0	1.00	100	43	4.4	0.0	0.0	6.3	0.36	
24 May	18	Dev	0.0	1.00	100	48	5.2	0.0	0.0	7.4	0.43	
26 May	20	Dev	0.0	1.00	100	64	7.3	0.0	0.0	10.4	0.60	
28 May	22	Dev	0.2	1.00	100	58	6.8	0.0	0.0	9.7	0.56	
31 May	25	Dev	0.0	1.00	100	84	10.6	0.0	0.0	15.2	0.58	
2 Jun	27	Mid	0.0	1.00	100	72	9.1	0.0	0.0	13.0	0.75	
4 Jun	29	Mid	0.0	1.00	100	75	9.4	0.0	0.0	13.4	0.78	
6 Jun	31	Mid	0.0	1.00	100	76	9.6	0.0	0.0	13.8	0.80	
8 Jun	33	Mid	0.0	1.00	100	75	9.5	0.0	0.0	13.6	0.78	
10 Jun	35	Mid	0.0	1.00	100	87	11.0	0.0	0.0	15.7	0.91	
12 Jun	37	End	0.0	1.00	100	72	9.0	0.0	0.0	12.9	0.75	
14 Jun	39	End	0.0	1.00	100	74	9.4	0.0	0.0	13.4	0.77	
15 Jun		End	0.0	1.00	0	0						
Totals:												
Total gross irrigation			172.6 mm			Total rainfall			15.0 mm			
Total net irrigation			120.8 mm			Effective rainfall			0.6 mm			
Total irrigation losses			0.0 mm			Total rain loss			14.4 mm			
Actual water use by crop			121.4 mm			Moist deficit at harvest			0.0 mm			
Potential water use by crop			121.4 mm			Actual irrigation requirement			120.8 mm			
Efficiency irrigation schedule						100.0 %		Efficiency rain		4.0 %		
Deficiency irrigation schedule						0.0 %						
Yield reductions:												
Stagelabel		A		B		C		D		Season		
Reductions in ETc			0.0		0.0		0.0		0.0		0.0 %	
Yield response factor			0.40		0.40		0.40		0.40		0.40	
Yield reduction			0.0		0.0		0.0		0.0		0.0 %	
Cumulative yield reduction			0.0		0.0		0.0		0.0		0.0 %	
Cropwat 8.0 Bθta 09/04/13 7:26:42 μμ												

Πίνακας 5.5.5 Εκτίμηση αρδευτικού σχεδιασμού καλλιέργεια ρόκας

Παρατηρώντας τον πίνακα 5.5 του αρδευτικού σχεδιασμού της ρόκας διακρίνουμε δώδεκα στήλες. Η πρώτη στήλη, ξεκινώντας από αριστερά προς τα δεξιά, δηλώνει την ημερομηνία. Η δεύτερη στήλη αναφέρει τα διαδοχικά χρονικά σημεία εκτέλεσης της άρδευσης, έχοντας ως πρώτη μέρα την μέρα της μεταφύτευσης της ρόκας. Η τρίτη στήλη δηλώνει το στάδιο ανάπτυξης της. Η τέταρτη στήλη αναφέρει σε χιλιοστά πιθανή βροχόπτωση. Η πέμπτη στήλη δηλώνει την διαθεσιμότητα υγρασίας σε όλο το βάθος εδαφους της ρόκας. Η έκτη δηλώνει την επί της % εξατμισοδιαπνοή. Η έβδομη στήλη φανερώνει το ποσοστό της κρίσιμης υγρασίας από το κατώτατο επίπεδο της μόνιμης μάρανσης. Η ογδόη στήλη φανερώνει τα χιλιοστά εφαρμογής της ωφέλιμου ύψους αρδευτικού νερού. Η ενάτη δηλώνει τυχόν έλλειμμα σε χιλιοστά. Η δέκατη στήλη συμπεριλαμβάνει τυχόν απώλειες λόγω απορροής. Στην ενδέκατη στήλη καταγράφεται η συνολική άρδευση σε χιλιοστά. Τέλος, στην δωδέκατη στήλη δηλώνεται η ροή του σταλάκτη.

Αμέσως πιο κάτω με τίτλο "Totals" καταγράφεται το συνολικό ύψος άρδευσης "Total gross irrigation" με 172,6 mm ενώ δίπλα το συνολικό ύψος βροχής "Total rainfall" με 15,0 mm. Στην αμέσως επόμενη σειρά καταγράφεται αντίστοιχα το ωφέλιμο ύψος άρδευσης "Total net irrigation" με 120,8 mm και 0,6 mm για το ύψος βροχής "Effective rainfall". Έτσι, εντοπίζονται απώλειες λόγω απορροής μόνο στο βρόχινο νερό "Total rain loss" με 14,4 mm.

Στην επόμενη ενότητα αθροίζεται από το σύστημα η συνολική ποσότητα νερού, αρδευόμενου και βρόχινου που απορροφήθηκε από την καλλιέργεια με "Actual water use by crop" 121,4 mm, ενώ δίνεται σε ποσοστό το ύψος του βρόχινου νερού της τάξης του 4% στο σύνολο του νερού που απορροφήθηκε από την καλλιέργεια.

Από τα παραπάνω εκτιμάται πως το πότισμα θα ξεκινήσει την αμέσως επόμενη μετά της μεταφύτευσης, με εύρος άρδευσης τις δύο μέρες, με εξαίρεση τις ημέρες της περιόδου (8, 11, 22) όπου το εύρος μεταξύ δύο διαδοχικών αρδεύσεων γίνεται στις τρεις μέρες. Η δόση άρδευσης κυμαίνεται από 2,5 mm ως 2,9 mm για το αρχικό στάδιο ανάπτυξης, ενώ στην συνέχεια για το στάδιο της κυρίως ανάπτυξης αυξάνεται από 3,8 mm ως και 10,6 mm διατηρώντας την δόση στα ίδια επίπεδα και για τα επόμενα στάδια ως το τέλος της βλαστικής περιόδου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6 Πειραματική διαδικασία

6.1 Πειραματικός αγρός και φυτικό υλικό

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε αγροτεμάχιο του ΤΕΙ Μεσολογγίου με φυτά ρόκας (*Eruca sativa* L.). Οι σπόροι ρόκας σπάρθηκαν σε ειδικά πλαστικά σποροδοχεία με χώμα γλάστρας (Gramoflor – potting soil, GmbH & Co., EN 12580), τα οποία σκεπάστηκαν με βερμικουλίτη (Agra – Vermiculite). Τα σποροδοχεία μεταφέρθηκαν και παρέμειναν στο προβλαστήριο (θερμοκρασία: $20 \pm 10\text{C}$, σχετ. υγρασία: $90 \pm 5\%$) έως την εμφάνιση των πρώτων πραγματικών φύλλων, όπου μετά μεταφέρθηκαν σε θερμοκήπιο (θερμοκρασία: $18 \pm 20\text{C}$, σχετ. υγρασία: $70 \pm 5\%$) για (15) ημέρες.

Η μεταφύτευση των σπορόφυτων ρόκας έγινε στα πλαστικά διάτρητα φυτοδοχεία (τελάρα) χωρητικότητας 50 λίτρων (50l) που περιείχαν 0% επιφανειακό έδαφος ως μάρτυρας 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 20%, 40%, 50%, 80%, 100% (v/v, κοπριά κατ' όγκο). Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 36 φυτοδοχεία, που το καθένα περιείχε τουλάχιστον πέντε φυτά ρόκας.

Το αγρόκτημα αρδεύονταν με στάγδην άρδευση, σύμφωνα με τις υπολογισμένες ανάγκες.

6.2 Διαδικασία φύτευσης

Λίγες ώρες πριν την εξαγωγή από το κιβώτιο, ποτίστηκαν με άφθονο νερό τα σποριόφυτα για την ευκολότερη αποκόλληση τους με την μικρότερη δυνατή ζημιά στο ριζικό τους σύστημα. Έπειτα έγινε καθορισμός των θέσεων φύτευσης της Ρόκας. Κατά την μεταφύτευση το βάθος φύτευσης ήταν όμοιο με εκείνο του κιβωτίου ή βαθύτερο κατά 2 το πολύ εκατοστά. Αφού τοποθετήθηκαν, προστέθηκε μέρος του απομακρυσμένου εδάφους, πιέστηκε ελαφρά το έδαφος για να έρθουν σε καλύτερη επαφή οι ρίζες και έγινε το πρώτο πότισμα των φυτών με αρκετή ποσότητα νερού.

6.3 Μεταφυτευτικό σοκ

Είναι γνωστό πως κατά την μεταφορά σποριόφυτων όπως η Ρόκα από το κιβώτιο σποράς προς το έδαφος συμβαίνουν τραυματισμοί του ριζικού συστήματος κατά 22-50%. Αποτέλεσμα του τραυματισμού, το φαινόμενο της προσωρινής μάρανσης, εξαιτίας της αδυναμίας της ρίζας να απορροφήσει επαρκές νερό. Για τους παραπάνω λόγους η μεταφύτευση έγινε κατά τις απογευματινές ώρες, όπου αποφεύχθηκαν υψηλές θερμοκρασίες και εντάσεις φωτισμού που ευνοούν την απώλεια νερού.

6.4 Ρυθμός ανάπτυξης Ρόκας

Πριν την μεταφύτευση, πάρθηκαν αντιπροσωπευτικά ορισμένα σπορόφυτα Ρόκας ως δείγματα για τις μετρήσεις:

- Βάθος ριζοστρώματος
- Μήκος ρίζας
- Μήκος βλαστού
- Νωπό βάρος βλαστού
- Ξηρό βάρος βλαστού
- Νωπό βάρος ρίζας
- Ξηρό βάρος ρίζας

6.5 Διαδικασία καταγραφής των δεδομένων της Ρόκας (*Eruca sativa*)

Τα σπορόφυτα της Ρόκας βρίσκονταν μέσα στο φυτόχωμά τους, το φυτόχωμα τους χρησιμοποιήθηκε αρχικά ως δείκτης για την μέτρηση, με χάρακα, του βάθους ριζοστρώματος. Αφού έγινε η πρώτη μέτρηση, έπρεπε να αφαιρεθεί προσεχτικά το φυτόχωμα με την βοήθεια νερού υπό μικρή πίεση, το χώμα απομακρύνθηκε και το ριζικό σύστημα της Ρόκας αποκαλύφθηκε και με την χρήση χάρακα πάρθηκε το πραγματικό μήκος της ρίζας.

Στην συνέχεια, απομονώσαμε με ψαλίδι τον βλαστό από την ρίζα με σκοπό να γίνει μέτρηση με χάρακα του μήκους του βλαστού. Η μέτρηση έγινε από το σημείο επαφής του φυτού με το έδαφος ως το τελικό ύψος του φυτού.

Αφού έλαβε τέλος το πρώτο στάδιο των μετρήσεων με τον χάρακα, σειρά είχε ο ηλεκτρονικός ζυγός ακριβείας ο οποίος μας έδωσε σε πρώτη φάση τα νωπά βάρη ρίζας και βλαστού.

Μετά την καταγραφή των δεδομένων νωπού βάρους, τοποθετήθηκαν τα δείγματα, που βρίσκονταν αριθμημένα σε χάρτινες σακούλες, σε φούρνο – αποξηραντήριο για 24 ώρες στους 70 βαθμούς οC. Ένα 24ώρο μετά, τα δείγματα βγήκαν από τον φούρνο και μετρήθηκαν τα ξηρά βάρη ρίζας και βλαστού και υπολογίστηκαν και τα ποσοστά υγρασίας. Τα συνολικά αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στο παράρτημα.



Εικόνα 6.1 Πειραματικός αγρός



Εικόνα 6.2 Διαδικασία λήψης δείγματος ρόκας



Εικόνα 6.3 Τελάρο με ρόκα



Εικόνα 6.4 Τοποθέτηση σε χάρτινους φακέλους που φέρουν αρίθμηση των τελάρων από όπου αφαιρέθηκαν τα δείγματα

6.6 Προσδιορισμός υγρασίας εδάφους και K_a (διηλεκτρικής σταθεράς)

Εκτός από τις τιμές των δειγματοληψιών της ρόκας, την περίοδο του πειράματος έγιναν μετρήσεις με την συσκευή TDR για τον προσδιορισμό της εδαφικής υγρασίας και της K_a (διηλεκτρικής σταθεράς).

Δειγματοληψία στις 10/05/2011			Δειγματοληψία στις 11/05/2011			Δειγματοληψία στις 13/05/2011		
A/A	Υγρασία %	Ka	A/A	Υγρασία %	Ka	A/A	Υγρασία %	Ka
37	27,50%	15,1	38	26%	15,1	45	15,30%	7,9
41	20,60%	10,3	42	27,50%	10,3	48	7,90%	5
60	17,90%	9	47	30,70%	9	49	16,50%	8,4
61	28,20%	15,8	62	26,30%	15,8	50	16,30%	8,3
65	24,90%	12,7	66	30,40%	12,7	52	15,50%	8
72	12,10%	6,7	71	31,40%	6,7	57	16,90%	8,6
						60	16,40%	8,4
						64	12,30%	6,8
						72	7,50%	6,7
						79	14,30%	7,5

Πίνακας 6.1 Διαδοχικές δειγματοληψίες με χρήση TDR

72	60	48	ΠΑΡΚΟ ΑΡΔΕΥΣΕΩΝ
71	59	47	
70	58	46	
69	57	45	
68	56	44	
67	55	43	
66	54	42	
65	53	41	
64	52	40	
63	51	39	
62	50	38	
61	49	37	

Πίνακας 6.2 Σχηματική απεικόνιση πειραματικού αγροτεμαχίου

Οι μέρες των δειγματοληψιών φέρουν διαφορετικά χρώματα μεταξύ τους έτσι ώστε να γίνει εμφανές στο γενικό σχέδιο που απεικονίζει το σύνολο της καλλιέργειας τα σημεία της λήψης δείγματος της κάθε φοράς.

Οι μετρήσεις έδειξαν ότι ο προγραμματισμός της άρδευσης με τη χρήση του λογισμικού CropWat, ήταν σε γενικές γραμμές επιτυχημένος, διότι οι τιμές υγρασίας ήταν εντός των βέλτιστων ορίων για την καλλιέργεια ρόκας, ενώ απαιτήθηκαν πολύ λίγες επιπρόσθετες εφαρμογές νερού άρδευσης, καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας, πέραν αυτών που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.5.

6.6.1 Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ρόκας

Κατά τη καλλιεργητική περίοδο γίνονταν δειγματοληψίες των φυτών ρόκας ανά 10 ημέρες από την 1η ημέρα από τη μεταφύτευση στο αγρόκτημα και επαναλαμβάνονταν ανά δεκαήμερο μέχρι την ημέρα συλλογής. Μετρήθηκαν το νωπό και ξηρό βάρος των διαφόρων μερών του φυτού (φύλλα, βλαστός, ρίζα) και το ύψος των φυτών, το μήκος των φύλλων και της ρίζας και ο αριθμός των φύλλων ανά φυτό, λαμβάνοντας δείγματα από όλα τα φυτοδοχεία.

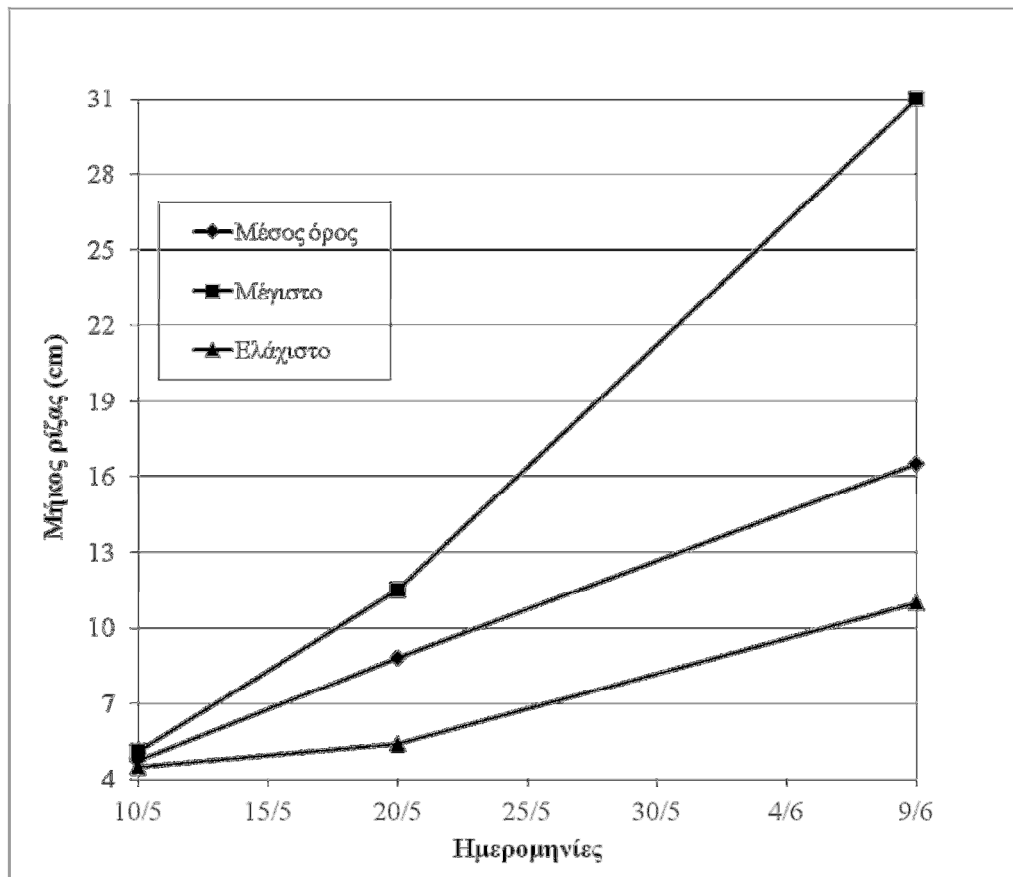
Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται, ο μέσος όρος, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή, για τις τρεις ημερομηνίες δειγματοληψίας και για τα 36 φυτοδοχεία, για τις παραμέτρους:

- Μήκος της ρίζας
- Βάθος του ριζοστρώματος
- Μήκος του βλαστού
- Νωπό βάρος του βλαστού
- Ξηρό βάρος του βλαστού
- Νωπό βάρος της ρίζας
- Ξηρό βάρος της ρίζας

Από τα γραφήματα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Τόσο το μήκος της ρίζας όσο και το βάθος του ριζοστρώματος παρουσιάζουν σχεδόν σταθερό ρυθμό αύξησης με το χρόνο (Γραφήματα 6.1, 6.2).
2. Ο ρυθμός αύξησης του μήκους του βλαστού παρουσιάζει ελαφρά αύξηση με το χρόνο μετά το πρώτο δεκαήμερο ανάπτυξης της καλλιέργειας, δηλαδή μετά τις 20/5 (Γράφημα 6.3).
3. Τα νωπά βάρη της ρίζας και του βλαστού παρουσιάζουν έντονη αύξηση μετά το πρώτο δεκαήμερο ανάπτυξης της καλλιέργειας, δηλαδή μετά τις 20/5 (Γραφήματα 6.4, 6.5, 6.6 και 6.7).

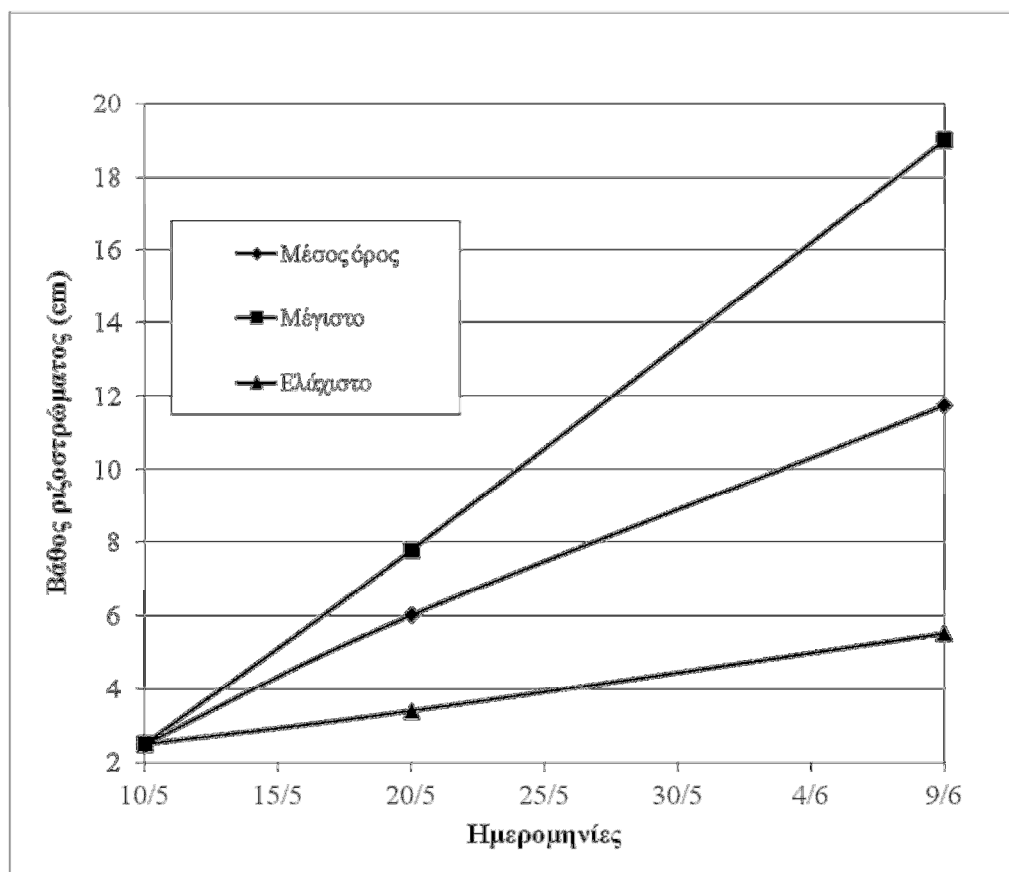
Στους Πίνακες 6.2 ως 6.8 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες μετρήσεις για κάθε μια από τις παραπάνω παραμέτρους.



Γράφημα 6.1 Ανάπτυξη μήκους ρίζας

Πίνακας 6.2: Μετρήσεις μήκους ρίζας

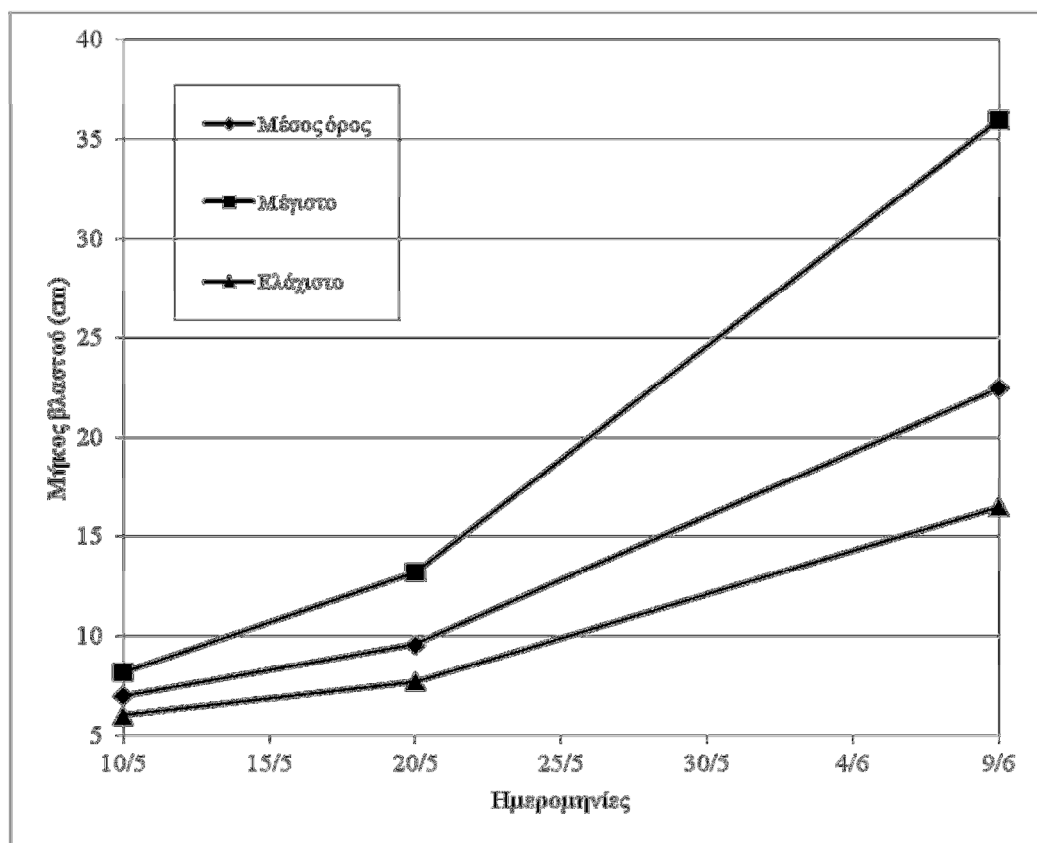
	Ημερομηνίες		
	10/05/2011	20/05/2011	09/06/2011
Μέγιστο (cm)	5.1	11.5	31
Ελάχιστο (cm)	4.5	5.4	11
Μέσος όρος (cm)	4.8	8.8	16.5



Γράφημα 6.2 Ανάπτυξη βάθους ριζοστρώματος

Πίνακας 6.3: Μετρήσεις βάθους ριζοστρώματος

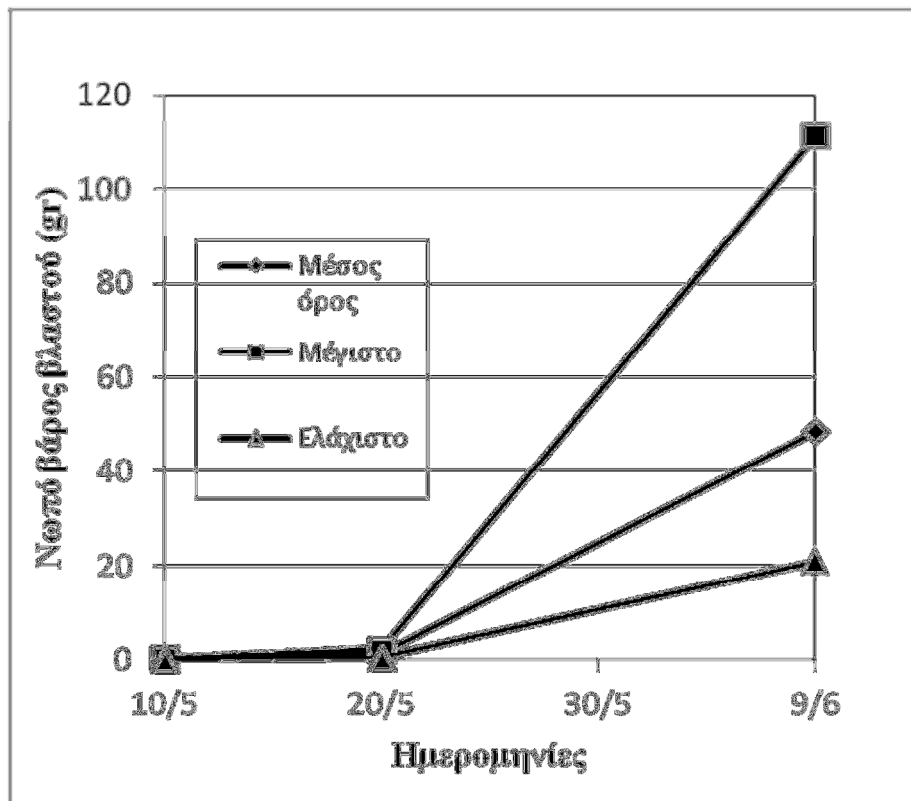
	Ημερομηνίες		
	10/05/2011	20/05/2011	09/06/2011
Μέγιστο (cm)	2.5	7.8	19
Ελάχιστο (cm)	2.5	3.4	5.5
Μέσος όρος (cm)	2.5	6.0	11.7



Γράφημα 6.3 Ανάπτυξη μήκους βλαστού

Πίνακας 6. 4 Μετρήσεις ανάπτυξης μήκους βλαστού

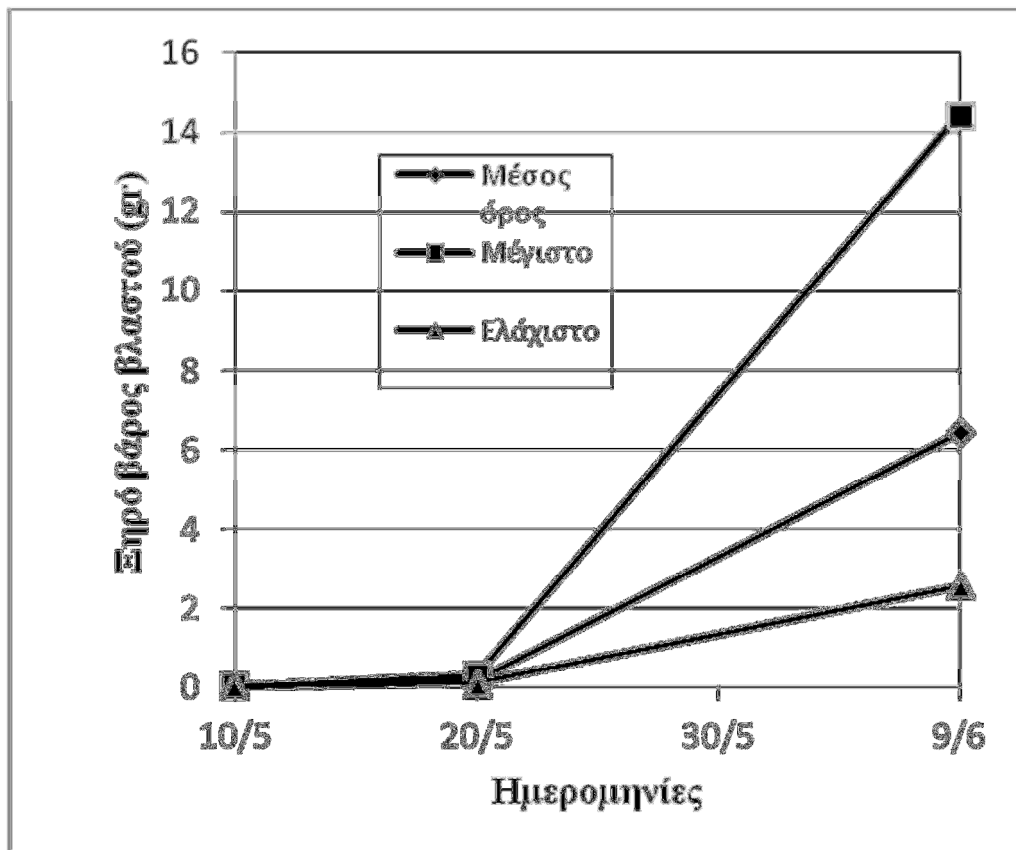
	Ημερομηνίες		
	10/05/2011	20/05/2011	09/06/2011
Μέγιστο (cm)	8.2	13.2	36
Ελάχιστο (cm)	6	7.7	16.5
Μέσος όρος (cm)	7.0	9.6	22.5



Γράφημα 6.4 Ανάπτυξη νωπού βάρους βλαστού

Πίνακας 6.5: Μετρήσεις νωπού βάρους βλαστού

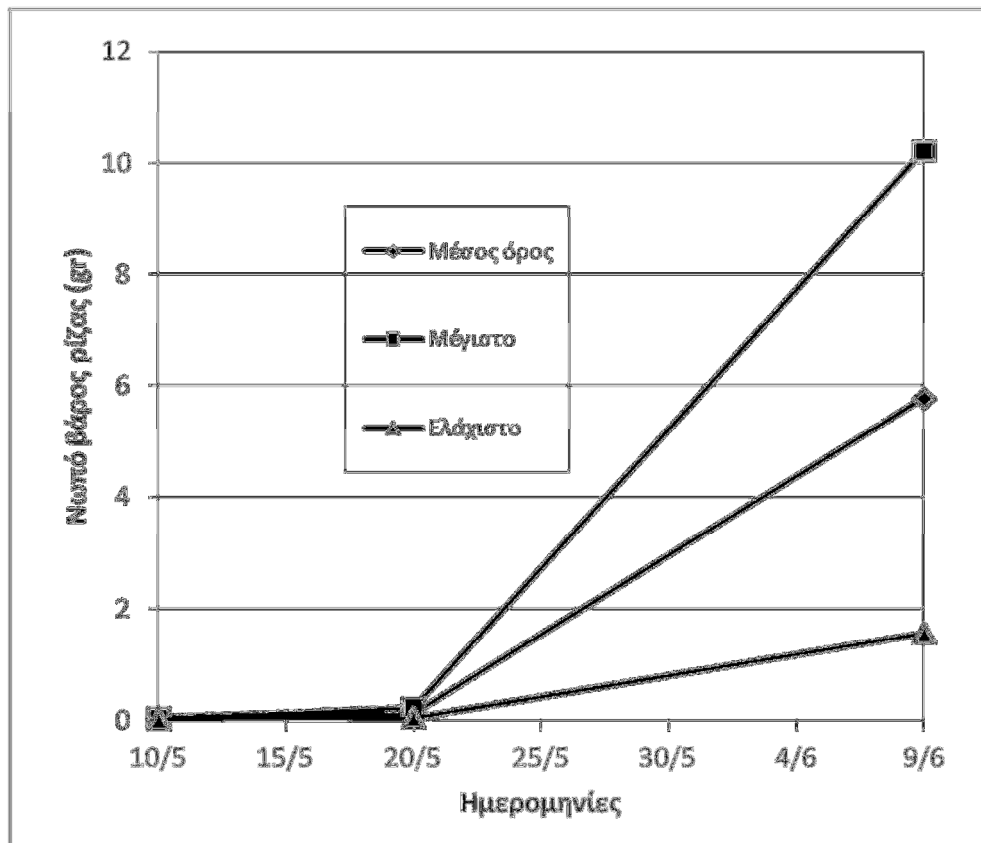
	Ημερομηνίες		
	10/05/2011	20/05/2011	09/06/2011
Μέγιστο (gr)	0.407	2.301	111.200
Ελάχιστο (gr)	0.174	0.555	21.002
Μέσος όρος (gr)	0.313	1.456	48.550



Γράφημα 6.5 Ανάπτυξη ξηρού βάρους βλαστού

Πίνακας 6.6: Μετρήσεις ξηρού βάρους βλαστού

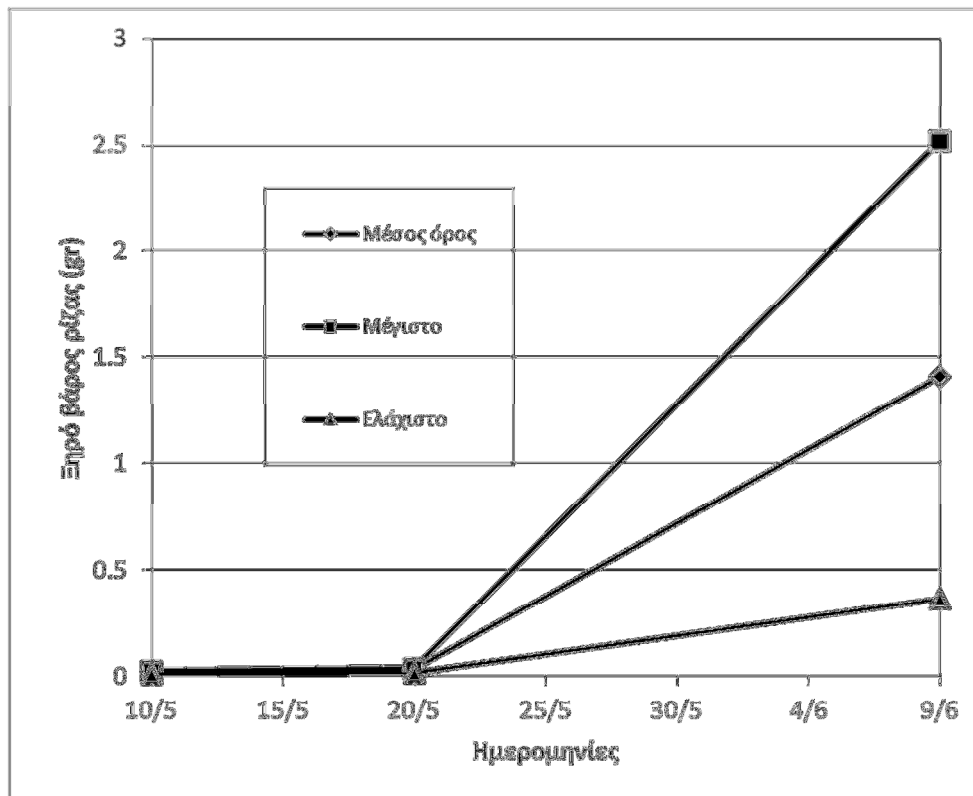
	Ημερομηνίες		
	10/05/2011	20/05/2011	09/06/2011
Μέγιστο (gr)	0.065	0.334	14.435
Ελάχιστο (gr)	0.032	0.115	2.566
Μέσος όρος (gr)	0.054	0.194	6.447



Γράφημα 6.6 Ανάπτυξη νωπού βάρους ρίζας

Πίνακας 6.7: Μετρήσεις νωπού βάρους ρίζας

	Ημερομηνίες		
	10/05/2011	20/05/2011	09/06/2011
Μέγιστο (gr)	0.043	0.217	10.228
Ελάχιστο (gr)	0.026	0.049	1.558
Μέσος όρος (gr)	0.037	0.116	5.790



Γράφημα 6.7 Ανάπτυξη ξηρού βάρους ρίζας

Πίνακας 6.8: Μετρήσεις ξηρού βάρους ρίζας

	Ημερομηνίες		
	10/05/2011	20/05/2011	09/06/2011
Μέγιστο (gr)	0.026	0.038	2.519
Ελάχιστο (gr)	0.013	0.016	0.368
Μέσος όρος (gr)	0.021	0.034	1.408

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε με σκοπό τον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών της καλλιέργειας της Ρόκας (*Eruca Sativa*) με τη χρήση του λογισμικού CropWat. Παράλληλα εκτελέστηκε και πείραμα με την φύτευση της ρόκας και την καταγραφή των τιμών ανάπτυξης σε κάθε στάδιο της μέχρι και την συγκομιδή της. Κατά τη διάρκεια του πειράματος προσδιορίζονταν οι τιμές της εδαφικής υγρασίας με την μέθοδο TDR, με σκοπό τον έλεγχο της ορθότητας των αποτελεσμάτων του λογισμικού CropWat.

Οι μετρήσεις και τα δεδομένα ανάπτυξης της ρόκας, έδειξαν ότι ο προγραμματισμός της άρδευσης με τη χρήση του λογισμικού CropWat, ήταν σε γενικές γραμμές επιτυχημένος, διότι οι τιμές των επιμέρους παραμέτρων ήταν εντός των βέλτιστων ορίων για την καλλιέργεια ρόκας. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει πως το CropWat 8.0 είναι ένα αξιόπιστο εργαλείο για την εύρεση των αναγκών σε αρδευτικό νερό των καλλιεργειών. Ο βασικός παράγοντας ωστόσο για την ορθότητα των αποτελεσμάτων είναι η χρήση πρόσφατων μετεωρολογικών δεδομένων και από σταθμούς κοντά στην περιοχή μελέτης ή από όμορες περιοχές όπου επικρατούν παρόμοιες καιρικές συνθήκες με αυτές της τοποθεσίας της υπό μελέτη καλλιέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση

Παπαζαφειρίου, Ζ., 1984. Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 484

Τερζίδης Γ., Παπαζαφειρίου, Ζ., 1997. Γεωργική Υδραυλική. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 347.

Δημήτρης Ι. Μπαμπίλης, 2004. Αρδευτικά δίκτυα πρασίνου. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα 2004, σελ. 304

Παπαμιχαήλ, Δ. Μ. και Π. Ε. Γεωργίου, 1999. Συγκριτική ανάλυση των ωριαίων και ημερήσιων εκτιμήσεων της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με τη μέθοδο FAO Penman - Monteith. Πρακτικά 4ου Εθνικού Συνεδρίου ΕΕΔΥΠ, Βόλος, τεύχος Α΄, σελ. 183-189.

Παπαμιχαήλ, Δ. Μ., Σ. Κωτσόπουλος και Π. Γεωργίου, 1994. Συγκριτική ανάλυση των έμμεσων μεθόδων εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς, Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Κλιματολογίας - Μετεωρολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη, σελ. 35 – 43

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 1996. Συνολικές ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών του Θεσσαλικού κάμπου. Υδροτεχνικά, 6: 62-77.

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Χ. Τζιμόπουλος, Δ. Καλφούντζος, 1996. Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. Πρακτικά 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, Πάτρα, σελ. 184-192.

Ξενόγλωσση

Allen, R.G. 1996. Assessing integrity of weather data for use in reference evapotranspiration estimation. *J. Irrig. and Drain. Engng. Div.*, ASCE 122(2): 97-106.

Allen, R.G. and Brockway, C.E. 1983. Estimating consumptive use on a statewide basis. pp. 79-89 in *Proc. 1983 Irrig. and Drain. Specialty Conf. at Jackson, WY.* ASCE, New York, NY.

Allen, R.G., Brockway, C.E., and Wright, J.L. 1983. Weather station siting and consumptive use estimates. *J. Water Resour. Plng. and Mgmt. Div.*, ASCE 109(2):134-146.

Allen, R.G. 1997. a Self-Calibrating Method for Estimating Solar Radiation from Air Temperature. *J. Hydrologic Engineering*, ASCE 2(2): 56-67.

Allen, R.G. and Wright, J.L. 1977. Translating Wind Measurements from Weather Stations to Agricultural Crops. *J. Hydrologic Engineering*, ASCE 2(1): 26-35.

Avice, J. C., Lemaire, G., Ourry, A. and Boucaud, J. (1997). Effects of the previous shoot removal frequency on subsequent shoot regrowth in two *Medicago sativa* L. cultivars. *Plant and Soil*, 188, 189-198.

Belesky, D. P. (2006). Regrowth interval influences productivity, botanical composition, and nutritive value of old world bluestem and perennial ryegrass swards. *Agronomy Journal*, 98, 270-279.

Belesky, D. P. and Fedders, J. M. (1995). Warm-season grass productivity and growth rate as influenced by canopy management. *Agronomy Journal*, 87, 42-48.

Chestnutt, D. M. B. (1994). Effect of early season sward management on sward quality and lamb liveweight gain during autumn. *Grass and Forage Science*, 49, 405-413.

Coelho, A. F. S., Gomes, É. P., Sousa, A. P. and Glória, M. B. A. (2005). Effect of irrigation level on yield and bioactive amine content of American lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1026-1032.

Coleman, E. A. and T. M. Hendrix. 1949. The fiberglass electrical soil moisture instrument. *Soil Sci.*, 67: 425 – 438

CompleteManual6050X1. Time-domain reflectometry

Cropwat 8.0 FAO Manual

Dalton, F.N., 1992. Development of time-domain reflectometry for measuring soil water content and bulk soil electrical conductivity. In: *Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice*. SSSA Special Publication no. 30: 143-167.

Doorenbos, J. and W. O. Pruitt, 1977. *Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper, No 24, FAO, Rome, 156 p.

Doorenbos, J. and A. H. Kassam, 1979. *Yield Response to Water*. FAO Irrigation and Drainage Paper, No 33, FAO, Rome, 193 p.

Effects of different harvest start times on leafy vegetables (Lettuce, Pak Choi and Rocket) in a reaping and regrowth system. Lincoln University by J. Fu, 2008

Ehlers, W. and Goss, M. (2003). *Water Dynamics in plant production*. UK: CAB.

FAO Irrigation and Drainage Paper, *Crop Evapotranspiration*. FAO – 58, 2008

Fisher, G. E. J. and Dowdeswell, A. M. (1995). The effects of regrowth and maintenance height on a grass sward with a high density of tiller. *Grass and Forage Science*, 51, 464-468.

Gardner, W.R. and H.R. Gardner, 1983. Principles of water management under drought conditions. *Agricultural Water Management*, 7: 143-155.

Gardner, W. R., D. Hillel, and Y Benyamini, 1970. Post – irrigation movement of soil water: 1. Redistribution. *Water Resour. Res.*, 6: 851 – 861.

Hodges, T. (1991). *Predicting Crop Phenology*. Boston, USA: CRC Press.

HortResearch. (2007). *Fresh facts: New Zealand Horticulture 2007*. Auckland, New Zealand: HortResearch.

James, L.G. and M.J. English (editors), *Proc. Irrig. and Drain. Spec. Conf.*, ASCE, Portland, Ore., p.

Jones, S.B., J.M. Wraith and D. Or, 2002. Time domain reflectometry measurement principles and applications. *Hydrological Processes*, 16:141-153.

Imco GmbH, 2001b. Theoretical aspects on measuring moisture using TRIME, 22 p, <http://www.imko.de>

Kalfountzos D., M. Sakellariou-Makrantonaki and C. Tzimopoulos, 2002. Study of soil water movement using Time Domain Reflectometry. *Proceedings of the 17rd*

World Congress of Soil Science, Confronting New Realities in the 21st Century, Thailand, August 14-21, Volume I: 130-138.

Kalfountzos, D., M. Sakellariou-Makrantonaki, C. Tzimopoulos and S. Yannopoulos, 2003. Laboratory experiments on water movement in a layered soil sample using TDR method. Proceedings of XXX Congress of IAHR (International Association of Hydraulic Engineering and Research), August 24-29, Thessaloniki, Theme B: 763-770.

Ryder, E. J. (1999). Introduction to the crops. In E. J. Ryder (Ed.), Lettuce, endive and chicory (pp. 1-27). New York: CABI.

Sutcliffe, J. (1969). Plants and water. Edward Arnold Ltd., London.

Szeto, Y. T., Chung, W. Y. and Benzie, I. F. F. (2001). The ferric reducing (antioxidant) power (FRAP) assay, and antioxidants in the Chinese diet and population. Micronutrients and health: molecular biological mechanisms, 2001, 12-16.

Takagaki, T., Amuka, S., Maruo, T., Sukprakan, S. and Shinohara, Y. (2003). Application of reaping method for harvesting leafy vegetables grown in capillary Hydroponic system. Acta Horticulturae, 620, 71-76.

Penman, H. L. 1948. "Natural evaporation from open water, bare soil and grass." Proc. Roy. Soc. London,

Robinson A. R. 1965. Simplified flow corrections for Parshall flumes under submerged conditions. Civil engineering

Topp, G.C., Davis, J.L., and Annan A.P., 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. Water Resources Research, 16: 574-582.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Δεδομένα και Μετρήσεις Ρόκας

Α/Α	Βάθος ριζοστρώματος(cm)		
	10/05/2011	20/05/2011	09/06/2011
37	2.5	6.2	7.5
38	2.5	6.9	8
39	2.5	4.3	9
40	2.5	3.4	10
41	2.5	6.4	11
42	2.5	4.9	12
43	2.5	6.7	12.5
44	2.5	5.7	12
45	2.5	4.1	12
46	2.5	6.3	9.5
47	2.5	5.6	11
48	2.5	5.5	14
49	2.5	6.9	10
50	2.5	7.3	10
51	2.5	3.7	18
52	2.5	5.3	11
53	2.5	3.6	12
54	2.5	6.2	10
55	2.5	6.8	11
56	2.5	5.9	14
57	2.5	5.7	13
58	2.5	6.0	11
59	2.5	7.4	17
60	2.5	7.1	19
61	2.5	7.3	5.5
62	2.5	7.3	11
63	2.5	7.2	9
64	2.5	5.0	10
65	2.5	6.1	10
66	2.5	6.7	16
67	2.5	6	12.5
68	2.5	6.3	12.5
69	2.5	7.8	15
70	2.5	6.6	13
71	2.5	6.4	10
72	2.5	5.5	13.5
Μέσος όρος	2.5	6.0	11.7

A/A	Μήκος ρίζας(cm)		
	10/05/2011	20/05/2011	09/06/2011
37	4.5	10	18
38	4.8	9.2	15
39	4.7	11.0	16
40	4.8	10.1	14
41	4.7	9.1	13
42	4.8	10.3	14.5
43	4.7	10.0	15
44	4.6	9.0	16
45	4.8	11.5	16
46	4.8	10.3	16
47	4.9	9.1	13
48	5.1	9	17.5
49	4.6	5.6	11
50	4.7	6.2	18
51	4.7	5.4	19
52	4.6	5.9	15.5
53	4.9	5.5	31
54	4.9	7.1	13.5
55	5.0	6.2	20
56	4.9	6.0	16
57	4.8	6.2	26
58	4.7	6.3	16.5
59	4.6	11.4	16
60	4.6	10.0	20
61	4.8	9.2	15
62	4.9	9.5	14
63	4.9	9.9	11
64	4.6	8.8	17
65	4.6	10.6	14.5
66	4.7	9.4	18.5
67	4.7	11	14
68	4.9	9.4	15
69	4.8	8.7	19.5
70	4.8	8.6	16.5
71	4.9	11.3	14
72	4.5	10.7	19.5
Μέσος όρος	4.8	8.8	16.5

A/A	Μήκος Βλαστού (cm)		
	10/05/2011	20/05/2011	09/06/2011
37	6	9.4	20
38	6.8	9.0	16.5
39	7.0	8.3	26.5
40	6.9	10.3	21.5
41	7.1	9.1	27
42	7.0	10.0	23.5
43	7.1	10.9	20.5
44	7.0	10.4	24
45	7.1	9.3	21.5
46	6.8	11.1	22
47	7.1	8.4	22
48	6.7	8.8	23
49	6.8	9.8	25.5
50	6.9	7.9	20
51	7.0	10.3	21
52	7.0	10.0	24
53	7.0	8.7	18
54	6.9	10.0	21.5
55	7.0	9.6	20.5
56	7.0	7.7	22
57	6.9	10.4	22.5
58	7.0	8.5	20
59	7.0	13.2	27
60	6.9	8.5	24
61	7.0	8.9	17
62	6.9	9.6	22
63	6.9	9.9	25
64	7.0	10.8	23
65	6.8	8.9	21
66	8.2	10.0	21
67	7.0	10	22
68	7.1	9.2	24
69	7.1	10.0	22
70	6.9	10.6	36
71	6.9	8.8	23.5
72	7.1	8.8	19
Μέσος όρος	7.0	9.6	22.5

A/A	Νωπό βάρος βλαστού(gr)		
	10/05/2011	20/05/2011	09/06/2011
37	0.185	1.095	38.502
38	0.289	1.572	30.302
39	0.281	1.184	28.322
40	0.370	1.274	62.98
41	0.347	0.555	61.05
42	0.289	1.348	60
43	0.398	1.367	38.411
44	0.354	1.148	23.3
45	0.248	2.084	47.13
46	0.301	1.465	71.2
47	0.277	1.377	35.102
48	0.383	0.736	34.23
49	0.227	1.199	58.5
50	0.304	1.627	60
51	0.365	1.775	43.9
52	0.244	1.599	57.85
53	0.348	2.301	26.35
54	0.295	1.343	42.03
55	0.250	1.929	66.7
56	0.341	1.530	40.2
57	0.407	1.778	41.45
58	0.378	1.387	38.005
59	0.335	1.400	68.73
60	0.312	1.325	24.005
61	0.307	1.480	28.848
62	0.319	1.775	21.002
63	0.286	2.032	68.5
64	0.396	0.905	111.2
65	0.365	1.663	38.81
66	0.34	1.655	62.05
67	0.353	2.257	62.15
68	0.310	1.022	32.5
69	0.174	1.108	41.33
70	0.262	1.328	101.35
71	0.324	1.904	55.5
72	0.308	0.880	26.3
Μέσος όρος	0.313	1.456	48.550

A/A	Ξηρό βάρος βλαστού(gr)		
	10/05/2011	20/05/2011	09/06/2011
37	0.032	0.135	4.117
38	0.053	0.187	4.44
39	0.055	0.206	2.566
40	0.053	0.195	10.804
41	0.054	0.196	9.08
42	0.054	0.200	7.46
43	0.055	0.184	5.7
44	0.053	0.198	4.36
45	0.052	0.180	7.334
46	0.053	0.199	9.385
47	0.054	0.183	6.311
48	0.065	0.115	5.004
49	0.054	0.196	9.92
50	0.053	0.193	7.475
51	0.054	0.181	7.298
52	0.053	0.186	7.83
53	0.054	0.197	3.338
54	0.054	0.201	5.84
55	0.055	0.193	9.125
56	0.053	0.206	6.566
57	0.053	0.203	4.661
58	0.053	0.191	5.54
59	0.052	0.179	9.122
60	0.053	0.201	4.688
61	0.053	0.188	2.652
62	0.053	0.197	2.915
63	0.054	0.205	7.785
64	0.055	0.181	14.435
65	0.052	0.188	4.945
66	0.064	0.186	8.53
67	0.053	0.334	10.655
68	0.054	0.197	3.295
69	0.055	0.187	6.676
70	0.053	0.210	3.402
71	0.055	0.211	5.26
72	0.053	0.202	3.585
Μέσος όρος	0.054	0.194	6.447

	Νωπό βάρος ρίζας (gr)		
A/A	10/05/2011	20/05/2011	09/06/2011
37	0.026	0.049	3.572
38	0.038	0.129	3.894
39	0.039	0.099	1.558
40	0.038	0.123	6.565
41	0.039	0.118	6.128
42	0.036	0.126	4.838
43	0.038	0.116	7.58
44	0.036	0.142	5.507
45	0.038	0.122	5.225
46	0.037	0.107	10.228
47	0.038	0.125	5.202
48	0.042	0.058	3.768
49	0.036	0.096	5.527
50	0.036	0.101	6.61
51	0.035	0.134	5.208
52	0.037	0.113	5.868
53	0.039	0.102	5.365
54	0.032	0.112	5.692
55	0.039	0.117	9.162
56	0.038	0.113	4.75
57	0.034	0.100	5.356
58	0.033	0.103	3.338
59	0.033	0.129	8.548
60	0.039	0.106	3.54
61	0.039	0.136	3.961
62	0.038	0.113	2.28
63	0.034	0.134	7.05
64	0.038	0.102	9.47
65	0.037	0.147	4.27
66	0.043	0.110	9.223
67	0.035	0.217	8.307
68	0.038	0.123	2.97
69	0.039	0.134	6.621
70	0.038	0.083	9.55
71	0.037	0.132	7.05
72	0.040	0.119	4.675
Μέσος όρος	0.037	0.116	5.790