

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Γεωπονική σχολή,
Τμήμα Φυτικής παραγωγής και Αγροτικού περιβάλλοντος
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

**« Συγκριτική μελέτη δύο υποστρωμάτων
σε καλλιέργεια τομάτας»**



Δ. Χ . Σταφυλά

Πτυχιακή Διατριβή

Βόλος, 2012

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

- **Ν. Κατσούλας (Επιβλέπων), Επίκουρος Καθηγητής,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Γεωργικές Κατασκευές με έμφαση
στα θερμοκήπια**
- **Κ. Κίττας (Μέλος), Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Γεωργικές Κατασκευές**
- **Θ. Μπαρτζάνας (Μέλος), Ερευνητής 'Β, ΚΕΤΕΑΘ,
Γεωργική Μηχανική**

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής διατριβής θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον Επίκουρο Καθηγητή του Γεωπονικού τμήματος Κατσούλα Νικόλαο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το θέμα αυτό καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια, καθοδήγηση και συμπαράστασή του για την οργάνωση και τη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή του τμήματος Κίττα Κωνσταντίνο και τον Καθηγητή του τμήματος της Μηχανολογίας Χαιδεμενόπουλο Γρηγόρη γιατί υπήρξαν εμπνευστές για την επιλογή της Γεωπονικής Σχολής και του εργαστηρίου των Γεωργικών Κατασκευών. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου Μαντά Παρασκευή, Αποστολίδη Σοφία, Κορώνη Χρήστο, Μηλιώκα Γεώργιο και Σαμούρη Ευάγγελο για την αμέριστη ηθική υποστήριξή τους σε αυτή μου την προσπάθεια.

Στον Αλεσσάντρο

Περίληψη

Η τομάτα είναι ένα λαχανικό που κατέχει εξέχουσα θέση στη διατροφή των Ελλήνων γι' αυτό και η καλλιέργειά της παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Στα πλαίσια της παραγωγής τομάτας αλλά και πλήθος άλλων λαχανικών κατά τη διάρκεια όλου του έτους εισάγεται η έννοια της θερμοκηπιακής καλλιέργειας. Μια θερμοκηπιακή καλλιέργεια μπορεί να γίνει συμβατικά στο έδαφος ή σε διάφορα θρεπτικά υποστρώματα. Στην παρούσα πτυχιακή διατριβή μελετάται η θερμοκηπιακή υδροπονική καλλιέργεια φυτών τομάτας στα ανόργανα υποστρώματα περλίτη και πετροβάμβακα. Βάση των δύο υποστρωμάτων μελετώνται χαρακτηριστικά όπως το ύψος των φυτών, η φυλλική επιφάνεια, η παραγωγή καρπών κ.α. και η σύγκριση παρουσιάζεται σε γραφήματα. Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών στα διαφορετικά υποστρώματα.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	
1.1. Εισαγωγή	8
1.1.1. Η καλλιέργεια της τομάτας ανά τον κόσμο	9
1.1.2. Η καλλιέργεια της τομάτας στην Ελλάδα	10
1.1.3. Καλλιεργούμενες εκτάσεις	10
1.1.4. Εισαγωγές-Εξαγωγές τομάτας	11
1.1.5. Τομάτες υδροπονικής καλλιέργειας	12
1.2. Βοτανικά χαρακτηριστικά	12
1.3. Απαιτήσεις σε εδαφοκλιματικές συνθήκες	16
1.4. Πολλαπλασιασμός	21
1.5. Ασθένειες και εχθροί	21
1.5.1. Τροφοπενίες	21
1.5.2. Προσβολή ριζών	22
1.5.3. Προσβολή της βάσης του στελέχους (λαιμός).	22
1.5.4. Προσβολή του στελέχους	23
1.5.5. Προσβολή φύλλων και καρπών	23
1.5.6. Οι πιο σοβαρές μυκητολογικές ασθένειες της τομάτας	23
1.6. Ποικιλίες	28
1.7. Εξελίξεις	29
1.8. Βελτίωση	29
1.9. Το θερμοκήπιο	31
1.9.1. Τύποι θερμοκηπίων και υλικά κατασκευής τους	34
1.10. Υδροπονία	36
1.10.1.Υδροπονικά συστήματα	42
Συστήματα χωρίς υπόστρωμα	44
Συστήματα με υπόστρωμα	44
Στερεά υποστρώματα	45
Ανόργανα Υποστρώματα	45
Οργανικά Υποστρώματα	52
Μίγματα	55
Αεροπονία	55
Ανοιχτά και Κλειστά υδροπονικά συστήματα	56
Κεφάλαιο 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	60

2.1. Έρευνα για τα υποστρώματα	60
2.2. Χρήση αισθητήρων μέτρησης παραμέτρων υποστρώματος στο πλαίσιο της διαχείρισης άρδευσης σε υδροπονικές καλλιέργειες	64
2.3. Σκοπός της εργασίας	78
Κεφάλαιο 3. Υλικά & Μέθοδοι	79
3.1. Τοποθεσία του πειράματος	79
3.2. Περιγραφή θερμοκηπίου	79
3.3. Αερισμός	80
3.4. Θέρμανση	81
3.5. Περιγραφή της καλλιέργειας	68
3.6. Εγκατάσταση της καλλιέργειας	82
3.7. Διάταξη φυτών	82
3.8. Επιλογή φυτών - Υποστρώματα	83
3.9. Καλλιεργητικές επεμβάσεις	84
3.10. Περιγραφή μετρήσεων	87
4. Αποτελέσματα και Συζήτηση	93
5. Συμπεράσματα	110
Βιβλιογραφία	113

1.1. Εισαγωγή

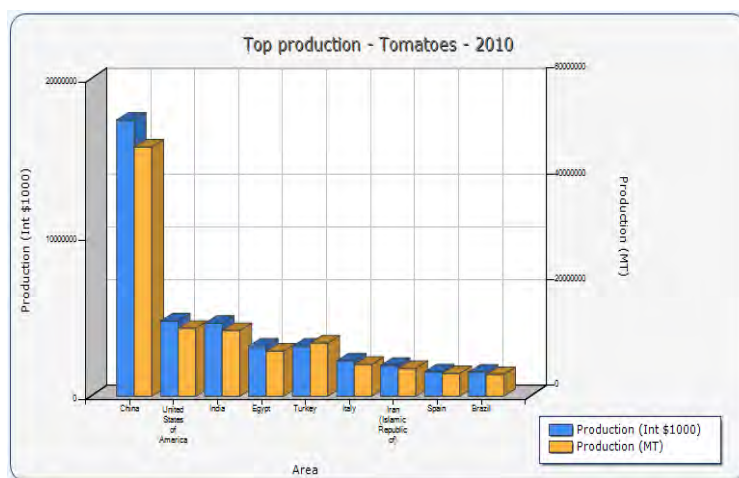
Η τομάτα (*Solanum Lycopersicum*) κατάγεται από τη Λατινική Αμερική και πιο συγκεκριμένα από το Περού.

Στην Ευρώπη την έφερε ο Χριστόφορος Κολόμβος τον 16^ο αιώνα. Τον πρώτο καιρό της εισαγωγής της στην Ευρώπη, την ονόμαζαν *Mala Peruviana* και *Romi del Peru*. Η σημερινή της ονομασία προέρχεται από τη λέξη *tomatl* μιας διαλέκτου του Μεξικού, της Ναχουάτλ. Την επιστημονική της ονομασία, *Lycopersicon esculentum* («εδώδιμο ροδάκινο του λύκου»), την οφείλει στο Λινναίο.

Για ένα μακρύ χρονικό διάστημα οι κάτοικοι της Γηραιάς Ηπείρου θεωρούσαν την ντομάτα δηλητηριώδες φυτό και την καλλιεργούσαν αποκλειστικά για καλλωπιστικούς σκοπούς. Δύο είναι οι λόγοι που συντέλεσαν σε αυτήν την άποψη. Ο πρώτος είναι ότι στα φύλλα του φυτού περιέχεται η ουσία σαλανίνη, μια ουσία τοξική τόσο για τους ανθρώπους όσο και για τα ζώα. Ο άλλος λόγος είναι ότι η ντομάτα μοιάζει πολύ με το φυτό «Ατροπός» (*Atropus belladonna*), ένα φυτό που ήταν ήδη γνωστό και όντως δηλητηριώδες (<http://www.matia.gr/>). Μετά το ξεπέραςμα αυτής της αντίληψης άρχισε η καλλιέργειά της, αρχικά για νωπή κατανάλωση, αργότερα για βιομηχανική χρήση.

Στην Ελλάδα ήρθε λίγο μετά το 1800 μ.Χ., αλλά εντατικά και σε μεγάλη έκταση καλλιεργήθηκε αμέσως μετά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο. Σήμερα κατέχει πρωτεύουσα θέση μεταξύ των νωπών λαχανικών (Ιωάννου Κομνάκου, Η καλλιέργεια της τομάτας στο θερμοκήπιο). Η καλλιέργειά της στην Ελλάδα καταλαμβάνει τη δεύτερη θέση, μετά την πατάτα. Διεθνώς, καταλαμβάνει την τρίτη θέση μετά την πατάτα και τη γλυκοπατάτα.

1.1.1 Η καλλιέργεια της τομάτας ανά τον κόσμο

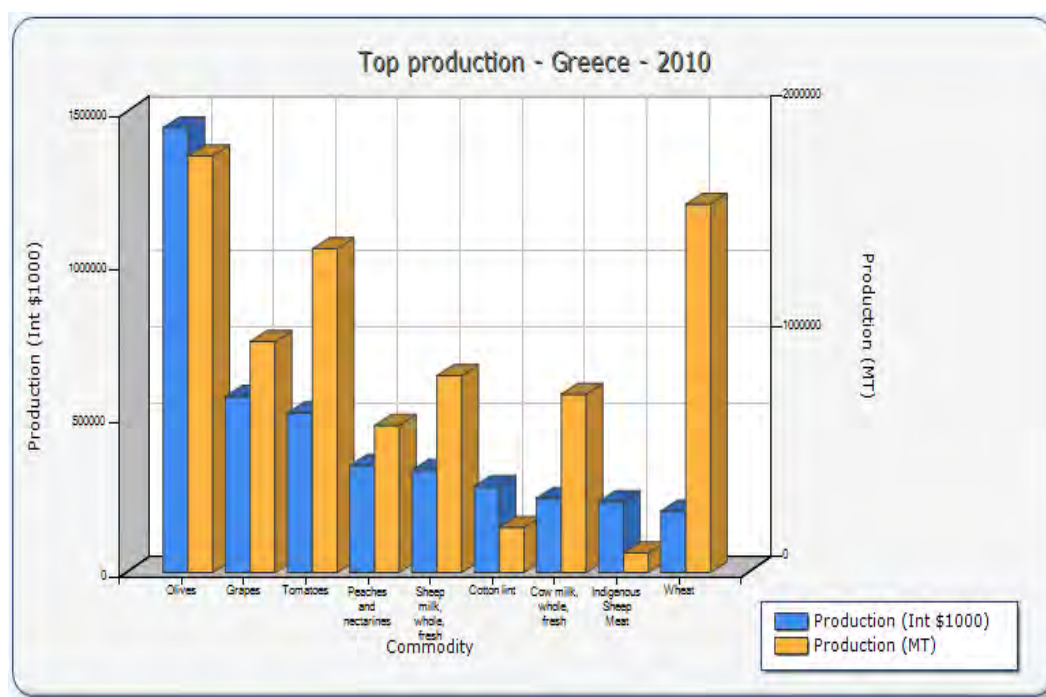


Εικ.1.1. πηγή (<http://faostat.fao.org/>)

Rank	Area	Production (Int \$1000)	Production (MT)
1	China	17412408	47116084
2	United States of America	4752112	12858700
3	India	4594863	12433200
4	Egypt	3157920	8544990
5	Turkey	3157602	10052000
6	Italy	2226549	6024800
7	Iran (Islamic Republic of)	1942469	5256110
8	Spain	1538384	4312700
9	Brazil	1520500	4114310
10	Mexico	1107819	2997640
11	Uzbekistan	867366	2347000
12	Russian Federation	757473	2049640
13	Nigeria	687610	1860600
14	Ukraine	674343	1824700
15	Greece	519680	1406200
16	Portugal	519643	1406100
17	Morocco	472210	1277750
18	Syrian Arab Republic	427326	1156300
19	Tunisia	406520	1100000
20	Iraq	374434	1013180

Εικ. 1.2 πηγή (<http://faostat.fao.org/>)

1.1.2. Η καλλιέργεια της τομάτας στην Ελλάδα



Εικ.1.3.

1.1.3. Καλλιεργούμενες εκτάσεις

Το έτος 2007 καλλιεργήθηκαν στην Ελλάδα 182 χιλ. στρ. με τομάτα νωπής κατανάλωσης, εκ των οποίων 34 χιλ στρ αφορούσαν τομάτες θερμοκηπίου και τα 148 χιλ στρέμματα τομάτες υπαίθριες.

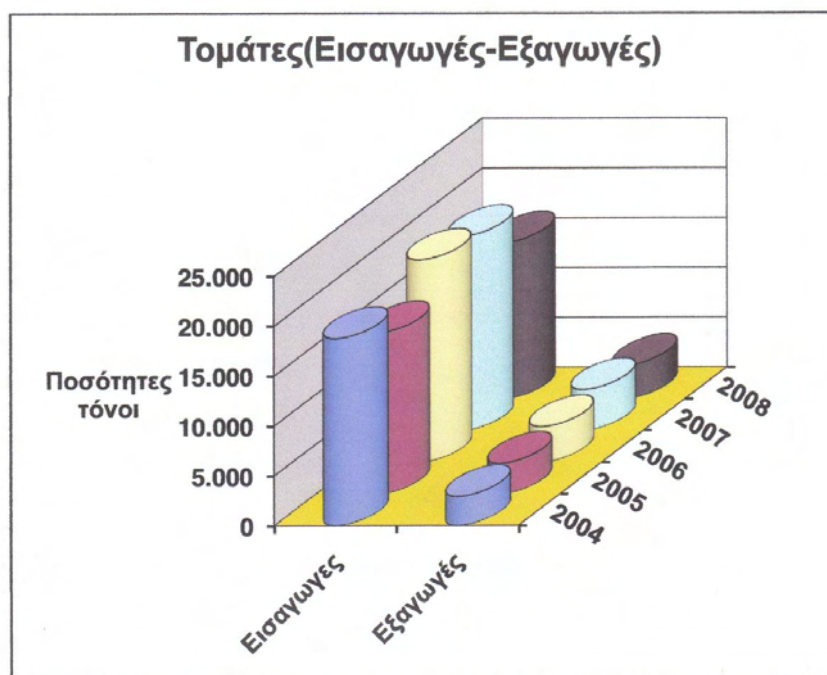
Ποσότητες

Το έτος 2007 παρήχθησαν στην Ελλάδα 684 χιλ τόνοι τομάτας. Οι 262 χιλ τόνοι παρήχθησαν σε θερμοκήπια και οι 422 χιλ τόνοι από υπαίθριες καλλιέργειες. Η καλλιεργούμενες εκτάσεις στα θερμοκήπια για το έτος 2007 ήταν 34.000 στρέμματα περίπου (ΥΠΑΑΤ,2007).

1.1.4. Εισαγωγές-Εξαγωγές τομάτας

Στο επόμενο γράφημα απεικονίζονται οι εισαγωγές και οι εξαγωγές των ποσοτήτων τομάτας που πραγματοποιήθηκαν κατά την χρονική περίοδο 2004-2008. Οι εισαγόμενες ποσότητες (19.494 τόνοι) αποτελούν το 2% περίπου της συνολικής παραγόμενης ποσότητας για το 2007, ενώ οι εξαγωγές (4.093) αποτελούν μία πολύ μικρή ποσότητα (0.5%). Είναι λοιπόν φανερό ότι σχεδόν όλη η παραγόμενη ποσότητα καταναλώνεται στην εγχώρια αγορά. Οι μεγαλύτερες ποσότητες εισάγονται από Ιταλία, Ισπανία, Ολλανδία, Σκόπια και τη Τουρκία.

Οι τομάτες που εισάγονται προέρχονται από καλλιέργειες θερμοκηπίου και είναι long life ή semi long life, δηλαδή μακράς διάρκειας ζωής μετά την συγκομιδή και η ποιότητά τους θεωρείται αρκετά καλή. Ως επί το πλείστον οι καρποί είναι μεσαίου μεγέθους και σε τσαμπί (cluster), ενώ εισάγεται και ένα μικρό ποσοστό τοματίνια cherry. Σε μεταγενέστερο σημείο θα γίνει εκτενής αναφορά σχετικά με την ποιότητα της τομάτας.



Εικ. 1.4. Γράφημα με τις εισαγωγές και τις εξαγωγές της τομάτας που πραγματοποιήθηκαν κατά την χρονική περίοδο 2004-2008.

1.1.5. Τομάτες υδροπονικής καλλιέργειας

Το 2001 η καλλιέργεια τομάτας με την μέθοδο της υδροπονικής σε θερμοκήπια καταλάμβανε μια έκταση περίπου 1000 στρ. και γινόταν με την μέθοδο πετροβάμβακα, μεμβράνης θρεπτικού διαλύματος και σάκων περλίτη (Μαυρογιαννόπουλος,2001). Την αντίστοιχη περίοδο στην Ολλανδία οι εκτάσεις ήταν περίπου 80.000 στρ. Σήμερα εκτιμάται ότι τα θερμοκήπια που παράγουν με τη μέθοδο της υδροπονικής καταλαμβάνουν 2.000 στρ περίπου (Agrenda,2007). Από συζητήσεις με παραγωγούς και διακινητές στην Κεντρική Λαχαναγορά Αθηνών οι τομάτες υδροπονίας απολαμβάνουν υψηλότερες τιμές σε σχέση με τις τομάτες που παράγονται σε θερμοκήπια με χώμα. Σε αυτό συντελεί η εξαιρετική ποιότητά τους και η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους μετά την συγκομιδή.

1.1 ΒΟΤΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η τομάτα είναι πολυετές φυτό που καλλιεργείται σαν ετήσιο για τους εδώδιμους καρπούς της. Ανήκει στην οικογένεια Solanaceae. Στην ίδια οικογένεια ανήκουν κι άλλα γνωστά μας λαχανικά και καλλωπιστικά φυτά όπως η πατάτα, ο καπνός, η πιπεριά, οι πετούνιες και άλλα (<http://www.gardenguide.gr/>).

Έχει θαμνώδη μορφή, βγάζει πολλούς πλευρικούς βλαστούς και είναι φυτό θερμόφιλο και ηλιόφιλο. Ο βλαστός του είναι τεφροπράσινος και χνουδωτός (Σύγχρονη Λαχανοκομία, Κ. Παρασκευόπουλος Αθήνα 2009, Εκδόσεις Ψυχαλου). Συνήθως σχηματίζει πολλούς βλαστούς που στα πρώτα στάδια είναι τρυφεροί και ευαίσθητοι, αλλά μετά γίνονται πιο σκληροί και ανθεκτικοί, χωρίς να ξυλοποιοούνται. Μπορεί να φτάσει σε ύψος ακόμα και τα 10 μέτρα, όμως συνήθως διατηρείται σε ένα ύψος 1 - 1,5 μέτρα.



Η ρίζα του είναι πασσαλώδης, και αναπτύσσεται σε βάθος. Δημιουργεί πλούσιο και σχετικά βαθύ ριζικό σύστημα, που μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 75 εκατοστά όταν δεν υπάρχει μεταφύτευση. Όταν μεσολαβεί μεταφύτευση γίνεται επιφανειακή και πλάγια.



Τα φύλλα είναι σύνθετα, με μέγεθος ανάλογο της ποικιλίας (15 - 25 εκατοστά). Γενικά, οι μεγαλόκαρπες ποικιλίες έχουν πιο μακριά και πυκνά φύλλα. Τα φύλλα αναπτύσσονται σε ελικοειδή διάταξη πάνω στο βλαστό και το χρώμα τους είναι βαθύ πράσινο στην πάνω

επιφάνεια και ανοιχτό πράσινο στην κάτω. Τόσο οι βλαστοί όσο και τα φύλλα φέρουν τριχίδια.



Τα άνθη είναι κίτρινου χρώματος και βρίσκονται πολλά μαζί, σε ταξιανθίες (3-20 άνθη/ταξιανθία). Ένας μέσος όρος επιθυμητός για την καλλιέργεια της τομάτας είναι 6 - 8 άνθη ανά ταξιανθία. Είναι ερμαφρόδιτα και

αυτογονιμοποιούνται. Σε σπάνιες περιπτώσεις γίνεται σταυροεπικονίαση και διασταύρωση ποικιλιών. Τα θηλυκά μέρη του άνθους είναι επιδεκτικά γονιμοποίησης με το άνοιγμα του άνθους, ενώ τα αρσενικά μέρη κατά 24-28 ώρες αργότερα.



Ο καρπός είναι ράγα και μπορεί να είναι στρογγυλός, πεπλατυσμένος ή ακανόνιστος. Ωριμάζει σε κανονικές κλιματικές συνθήκες 45 περίπου μέρες μετά τη γονιμοποίηση και σε διπλάσιο ή περισσότερο χρόνο σε άσχημες

κλιματικές συνθήκες. Ο καρπός της ντομάτας είναι ανάλογος της ποικιλίας του φυτού. Ανεξάρτητα από τα εξωτερικά χαρακτηριστικά του καρπού όλοι έχουν κάτι κοινό, την υψηλή διατροφική αξία τους.

Στις τομάτες υπάρχει: βιταμίνη Α, βιταμίνες της ομάδας Β, βιταμίνη C, βιταμίνη Ε, Β-Καροτίνη, κάλιο, μαγνήσιο, σελήνιο, φολικό οξύ, χρώμιο, σίδηρος, χαλκός και μαγγάνιο. Εκτός των παραπάνω, στις τομάτες περιέχεται και μια σημαντικότερη ουσία η Λυκοπένη. Είναι αντιοξειδωτική ουσία που βοηθά στην λειτουργία της καρδιάς και των αγγείων, μειώνει την οξειδωμένη

LDL-χοληστερόλη και έχει αντικαρκινική δράση. Η ουσία αυτή απορροφάται καλύτερα από τον ανθρώπινο οργανισμό όταν η τομάτα έχει υποστεί θερμική επεξεργασία και συνοδεύεται από λιπαρές ουσίες (π.χ. ελαιόλαδο).



Ο σπόρος είναι ωοειδής, πεπλατυσμένος, χρώματος κίτρινο-καφέ χρυσαφένιο και η επιφάνειά του καλύπτεται με τριχοειδής αποφύσεις που του δίνουν μεταξώδη επιφάνεια. Το μέγεθος των σπόρων είναι μικρό, διαμέτρου 3-5 χιλ.. Εσωτερικά ο σπόρος φέρει ένα κυρτό σπειροειδές έμβρυο, που περιβάλλεται από ένα μικρό ενδοσπέρμιο. Διατηρεί υπό κανονικές συνθήκες αποθήκευσης τη βλαστικότητα του, για τουλάχιστον 4 χρόνια μετά τη συγκομιδή του, εάν όμως αποθηκευτεί σε χαμηλή θερμοκρασία και με χαμηλή περιεκτικότητα των σπόρων σε υγρασία εύκολα διατηρεί τη βλαστικότητά του πάνω από 10 χρόνια. Ένα γραμμάριο σπόρου έχει 450 περίπου σπέρματα (Χ. Ολυμπίου, Η τεχνική της καλλιέργειας της τομάτας στο θερμοκήπιο, Αθήνα 1990).



1.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΕΔΑΦΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την καλλιέργεια της τομάτας είναι το έδαφος, το νερό και το κλίμα. Τα παραπάνω, μαζί με τον προγραμματισμό και τη διαχείριση του παραγωγού καθορίζουν αποφασιστικά την επιτυχία ή την αποτυχία της καλλιέργειας. Δεν είναι ιδιαίτερα απαιτητικό φυτό και με τις σωστές φροντίδες, μπορεί να παράγει πολλούς και εύρωστους καρπούς.

Η τομάτα καλλιεργείται κατά τη θερμή περίοδο του έτους, και απαιτεί χρονική περίοδο διάρκειας τουλάχιστον 3-4 μηνών από τη σπορά μέχρι την έναρξη της συγκομιδής. Κάτω των 12°C το φυτό παθαίνει ζημιές σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του. Το άριστο της βλαστικής ανάπτυξης παρατηρείται στους 20-25°C. Η βλαστική ανάπτυξη είναι ταχύτερη όταν παρατηρείται διαφορά θερμοκρασίας ημέρας και νύχτας 4-5°C (θερμοπεριοδισμός). Η άριστη θερμοκρασία νύχτας ποικίλλει ανάλογα με την ηλικία του φυτού. Η καρπόδεση, στις περισσότερες ποικιλίες, επιτελείται καλύτερα στους 16-22°C, ενώ δε γίνεται σε θερμοκρασίες άνω των 30-35°C και κάτω των 10-15°C λόγω σχηματισμού ατελών ανθέων ή μη γονιμοποίησης με συνέπεια την ανθόρροια. Παρουσιάζει ποσοτική, φωτοπεριοδική αντίδραση, δηλαδή ανθίζει σε οποιαδήποτε φωτοπερίοδο, αλλά όταν αυτή είναι κάτω των 12 ωρών, η άνθιση είναι πρώιμη. Απαιτεί υψηλές εντάσεις φωτός (50000lux) για το άριστο ανάπτυξης και καρπόδεσης.

Μπορεί να καλλιεργηθεί σε όλες σχεδόν τις κατηγορίες εδαφών (οργανικά, ελαφρά, μέσης συστάσεως, ακόμη και βαριά), αρκεί αυτά να στραγγίζουν ικανοποιητικά. Οι απαιτήσεις σε έδαφος αυξάνουν όταν επιθυμείται πρωιμότητα και υψηλή παραγωγή. Για μεγάλη απόδοση σε βιομηχανική τομάτα προτιμώνται τα πηλώδη, αργιλλοπηλώδη ή πιο βαριά εδάφη που έχουν μεγάλη υδατοϊκανότητα και συνήθως καλή γονιμότητα. Όσον αφορά την πρώιμη ωρίμανση επιτραπέζιας τομάτας, προτιμάται να

καλλιεργείται σε ελαφρότερα εδάφη (πηλοαμμώδη, αμμοπηλώδη), τα οποία στραγγίζουν καλύτερα και θερμαίνονται νωρίτερα την άνοιξη, χρειάζονται όμως περισσότερη λίπανση, καθώς είναι λιγότερο γόνιμα, και συχνότερη άρδευση. Σε όλες τις περιπτώσεις, είναι επιθυμητή η υψηλή περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία, καθώς και σε ανόργανα θρεπτικά στοιχεία. Το ανεκτό pH είναι 5,5-7 με άριστο 6-6.5. Τέλος, πρέπει να αποφεύγονται τα αλατούχα εδάφη.

Αναφορικά με τη λίπανση, το ύψος των φυτών, η φυλλική επιφάνεια και ο αριθμός των ανθέων και καρπών οφείλονται περισσότερο στην επίδραση του αζώτου (N). Μεγάλες αποδόσεις καρπών επιτυγχάνονται με μέτριες δόσεις αζώτου τόσο σε θερμοκηπιακές όσο και σε υπαίθριες καλλιέργειες τομάτας. Η αύξηση της παραγωγής με τη χορήγησή του οφείλεται στην αύξηση του αριθμού των συγκομιζόμενων καρπών και όχι στην αύξηση του βάρους των καρπών. Μεγάλες δόσεις αζώτου οδηγούν σε οψίμιση της ωρίμανσης, ιδιαίτερα σε υπαίθριες καλλιέργειες. Τα φυτά απορροφούν και αμμωνιακό και νιτρικό άζωτο. Η ταχύτερη απορρόφηση της μιας ή της άλλης μορφής εξαρτάται κυρίως από το pH του υποστρώματος ανάπτυξης. Η χρησιμοποίηση αμμωνιακού αζώτου μειώνει την περιεκτικότητα σε κάλιο σε νεαρά σπορόφυτα και την περιεκτικότητα ώριμων φύλλων τομάτας σε ασβέστιο και μαγνήσιο και αυξάνει το ποσοστό των καρπών που παρουσιάζουν συμπτώματα ξηρής κορυφής. Στις ελληνικές θερμοκηπιακές καλλιέργειες, τα λιπάσματα νιτρικής αμμωνίας, νιτρικού ασβεστίου και νιτρικού καλίου θεωρούνται τα καταλληλότερα.

Ο φωσφόρος (P) επιταχύνει την αύξηση του ριζικού συστήματος. Αντίθετα, η ανεπάρκειά του μπορεί να περιορίσει τη βλάστηση και την καρποφορία φυτών τομάτας. Η αντίδραση των φυτών στη φωσφορική λίπανση

εξαρτάται από τα εδαφικά αποθέματα φωσφόρου και από το pH του υποστρώματος ανάπτυξής τους.

Μέγιστη παραγωγή τομάτας επιτυγχάνεται με σχετικά μέσα επίπεδα καλίου (K). Η χορήγηση καλίου μόνο για την επίτευξη μέγιστης παραγωγής έχει σαν αποτέλεσμα οι καρποί να είναι μέτριας ποιότητας. Η προσθήκη μεγαλύτερων ποσοτήτων του στοιχείου από εκείνες που χρειάζονται για μέγιστη παραγωγή έχει σαν αποτέλεσμα την απορρόφηση από τα φυτά μεγάλων ποσοτήτων, με συνέπεια τη βελτίωση των παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα των καρπών. Η περιεκτικότητα σε σάκχαρα και ολική οξύτητα του χυμού της τομάτας, είναι δυο βασικές παράμετροι που καθορίζουν τη γεύση της τομάτας.

Το ασβέστιο (Ca) είναι υπεύθυνο για την αύξηση των μεριστωματικών ιστών. Σπάνια παρατηρείται αντίδραση των φυτών, επειδή τα περισσότερα ανόργανα εδάφη είναι πλούσια σ' αυτό. Αντίθετα, παρατηρούνται συχνές ανωμαλίες στους καρπούς από ανεπαρκή τροφοδοσία τους σε ασβέστιο.

Ανεπαρκής εφοδιασμός του εδάφους με μαγνήσιο (Mg) μπορεί να επιφέρει μείωση στην ανάπτυξη και την παραγωγή. Αντίθετα, χορήγησή του βελτιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών.

Η καλλιεργητική τεχνική που εφαρμόζεται στην υπαίθρια καλλιέργεια τομάτας αφορά τα εξής:

- κλάδεμα
- κορυφολόγημα
- αποφύλλωση
- υποστύλωση.

Στην υπαίθρια καλλιέργεια επιτραπέζιας τομάτας, την περίοδο αμέσως μετά τη μεταφύτευση, συνιστάται συχνή επιφανειακή καλλιέργεια του εδάφους για την καταστροφή των ζιζανίων. Όταν τα φυτά αναπτυχθούν, ανταγωνίζονται επιτυχώς τα ζιζάνια και σταματά η κατεργασία του εδάφους. Τα φυτά κλαδεύονται σε μονοστέλεχο ή διστέλεχο σύστημα και υποστηρίζονται. Στην υπαίθρια καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας, μετά τη μεταφύτευση ή το φύτευμα, γίνεται γέμισμα των αυλακιών που έχουν ανοιχθεί. Συνιστάται επιφανειακή κατεργασία του εδάφους μεταξύ των γραμμών, για καλύτερο αερισμό, αποστράγγιση του εδάφους και καταστροφή των ζιζανίων.

Αναφορικά με την άρδευση του *Lycopersicon esculentum* συνιστώνται τακτικά ποτίσματα. Το φυτό ανέχεται υψηλό ποσοστό αλάτων νερού (ως 3-5



mmhos/cm) ενώ στο έδαφος αυτά δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 3 mmhos/cm. Το πότισμα γίνεται συνήθως με στάγδην άρδευση. Μια καλλιέργεια που ποτίζεται με

στάγδην άρδευση από τον Οκτώβριο και μετά, απαιτεί 600-700m³ νερού/στρέμμα. Για τη βιομηχανική τομάτα χρειάζονται 400-500m³ νερού/στρέμμα. Ο προγραμματισμός της άρδευσης πρέπει να προβλέπει επεμβάσεις στα εξής στάδια:

- φυτά στο πέμπτο πραγματικό φύλλο
- φυτά στη μέγιστη ανθοφορία
- φυτά με 10% ώριμους καρπούς.

Η άρδευση πρέπει να διακόπτεται με την εμφάνιση των πρώτων ώριμων καρπών, ώστε να ευνοηθεί η ομοιομορφία ωρίμανσης.

Το κυριότερο κριτήριο για τη συγκομιδή της τομάτας είναι το χρώμα. Η τομάτα νωπής κατανάλωσης συγκομίζεται νωρίτερα, ανάλογα με την απόσταση της αγοράς που μεταφέρεται, ως εξής:

1. Στο στάδιο του ώριμου πράσινου, όπου ο καρπός έχει αποκτήσει σχεδόν το τελικό μέγεθός του, και η ωρίμανσή του συμπληρώνεται σε 1-2 εβδομάδες σε θερμοκρασία 18-20°C. Επομένως, για διάθεση σε μακρινές αγορές η τομάτα συγκομίζεται στο στάδιο αυτό.

2. Στο στάδιο που το 1/4 περίπου του καρπού είναι ρόδινο. Οι καρποί ωριμάζουν σε 3-4 ημέρες στους 18-20°C, και συνεπώς μπορούν να διακινηθούν σε σχετικά κοντινές αγορές.

3. Στο στάδιο που ο καρπός είναι σχεδόν 100% κόκκινος, αλλά ακόμη σκληρός. Η τομάτα συγκομίζεται στο στάδιο αυτό για διάθεση στην τοπική αγορά.

1.3 ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΜΟΣ

Ο πολλαπλασιασμός της τομάτας γίνεται με σπόρο. Είναι επιβεβλημένο, ο σπόρος πριν την αποθήκευση ή πριν τη σπορά, να έχει απολυμανθεί, ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών και παθογόνων. Συνήθως πρώτα γίνεται σπορά σε σπορείο και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα τα μικρά φυτά πηγαίνουν για μεταφύτευση στο τελικό σημείο. Η σπορά γίνεται συνήθως στα μέσα Μαρτίου και η μεταφύτευση από Απρίλιο - Ιούνιο, αναλόγως και της περιοχής. Η μεταφύτευση στο τελικό σημείο θα πρέπει να γίνει όταν έχουν αναπτυχθεί 6 - 8 φύλλα και το αργότερο όταν υπάρχουν κλειστά άνθη (<http://www.gardenguide.gr/>).

1.4 ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΚΑΙ ΕΧΘΟΙ

1.5.1. Τροφοπενίες



Τροφοπενία είναι η ανεπάρκεια ή η έλλειψη στο φυτό κάποιου ή κάποιων θρεπτικών στοιχείων απαραίτητων για την κανονική ανάπτυξη και παραγωγή του.

Στη χώρα μας οι τροφοπενίες κατά σειρά σπουδαιότητας είναι:

- 🍅 Τροφοπενία μαγνησίου
- 🍅 Τροφοπενία σιδήρου
- 🍅 Τροφοπενία ασβεστίου, ενώ σπανιότερες είναι οι τροφοπενίες
- 🍅 Φωσφόρου
- 🍅 Καλίου
- 🍅 Αζώτου και
- 🍅 Μαγγανίου, ίσως γιατί τα θρεπτικά αυτά στοιχεία χορηγούνται σε επαρκείς ποσότητες κάθε καλλιεργητική περίοδο.

Η τομάτα έχει πάρα πολλούς εχθρούς και ασθένειες όπως είναι οι μύκητες, τα έντομα, τα βακτήρια, οι νηματώδεις, τα ακάρεα και οι ιώσεις. Οι ζημιές που μπορεί να της προκαλέσουν, είναι τεράστιες, ακόμα και καταστροφικές.

Στο φυτό της τομάτας προσβάλλονται όλα τα μέρη του, όπως οι ρίζες, ο λαιμός, το στέλεχος, τα φύλλα και οι καρποί, βάσει των οποίων θα ταξινομηθούν και παρακάτω οι προσβολές.

1.4.1 Προσβολή ριζών

- 🍅 Πυρηνochaίτη. Είναι από τις πιο δύσκολες και επικίνδυνες ασθένειες των ριζών. Ο μύκητας προκαλεί τοπικά έλκη, καστανή σήψη, φελλοποίηση και τελικά καταστροφή των ριζών.
- 🍅 Φουζάριο. Προκαλεί σήψη ριζών όμοια περίπου με αυτή της πυρηνochaίτης. Σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο είναι η εμφάνιση στο φουζάριο και μεταχρωματισμού των αγγείων της βάσης του στελέχους σε ορισμένο ύψος από το έδαφος.
- 🍅 Νηματώδεις. Είναι πολλοί και προσβάλλουν όλα σχεδόν τα μέρη του φυτού. Περισσότερο ενδιαφέρον όμως παρουσιάζουν οι νηματώδεις που προκαλούν κύστες στο ριζικό σύστημα.
- 🍅 Έντομα εδάφους. Αν και στο έδαφος υπάρχουν αρκετά βλαβερά έντομα, εν τούτοις σπάνια αποτελούν σοβαρό πρόβλημα.

1.4.2 Προσβολή της βάσης του στελέχους (λαιμός)

- 🍅 Το σημείο του στελέχους σε επαφή με το έδαφος είναι πολύ ευαίσθητο και προσβάλλεται εύκολα από διάφορα παθογόνα, κυρίως μύκητες. Οι σπουδαιότεροι από αυτούς είναι πύθειο, φυτόφθορα, αλτερνάρια, ντιντυμέλα, ριζοκτονία, σκληροτίνια, σκληρότιο, βοτρυτής και φουζάριο.

1.4.3 Προσβολή του στελέχους

- 🍅 Το στέλεχος προσβάλλεται συχνά από βερτισίλιο, φουζάριο, βακτήρια, περονόσπορο, αλτερνάρια, βοτρυτή, σκληροτίνια και άκουλους.

1.4.4 Προσβολή φύλλων και καρπών

- 🍅 Τα φύλλα και οι καρποί προσβάλλονται από πολλές ασθένειες, χωρίς αυτό να σημαίνει πως αυτές προσβάλλουν αποκλειστικά και μόνο τα φύλλα. Οι συχνότερες από αυτές για την τομάτα είναι: το κλαδοσπόριο, το வீδιο, ο βοτρυτής, ο περονόσπορος, η αλτερνάρια, τα σκληροτίνια, ο τετράνυχος και οι ιώσεις.

Λίγα λόγια για τις πιο σοβαρές μυκητολογικές ασθένειες της τομάτας

🍅 Ριζοκτόνια:

Ο μύκητα *Rhizoctonia solani* προκαλεί σημαντικές καταστροφές σε όλα τα στάδια του φυτού. Στα νεαρά φυτά θα έχουν τήξη του λαιμού μαζί με καστανό μεταχρωματισμό. Ενώ στα μεγαλύτερα φυτά θα έχουμε έλκη στο σημείο του λαιμού κάτω από το έδαφος. Δυστυχώς προσβάλλει σχεδόν όλα τα κηπευτικά αλλά και πολλά δέντρα. Ειδικότερα, προκαλεί καστανο-κόκκινα έλκη κάτω από την επιφάνεια του εδάφους τα οποία συχνά παρουσιάζουν σκίσιμο και εμφανίζεται ένα καφέ μυκήλιο. Η προσβολή των καρπών γίνεται με την επαφή, εμφανίζοντα ομόκεντρες κηλίδες σε χρώμα σκουριάς. Ο μύκητας

ευνοείται από θερμοκρασίες γύρω στους 18C. Η αντιμετώπιση του βασίζεται στα προληπτικά μέτρα, αλλά σε περιπτώσεις προσβολών τότε απαιτείται ψεκασμός ή ριζοπότιμα με κατάλληλο μυκητοκτόνο (πχ. iprodione).

Πύθιο (*Pythium spp.*):

Παρόμοια αλλά όχι ίδια είναι και τα συμπτώματα των προσβολών στην τομάτα από τα είδη του γένους *Pythium spp.* Οι μύκητες αυτοί προσβάλλουν όλα τα μέρη του φυτού. Αλλά κυρίως η προσβολή είναι στο λαιμό και στη ρίζα, ενώ δευτερευόντως προσβάλλουν και τους καρπούς. Τα κύρια συμπτώματα είναι οι σήψεις στις ρίζες, το λαιμό και τους καρπούς. Οι σήψεις στο λαιμό είναι υδατώδης σκουρόχρωμες αρχικά, ενώ στην πορεία μεταχρωματίζονται σε κίτρινες και στο τέλος καστανές. Οι προσβεβλημένοι ιστοί είναι μαλακοί ενώ στο τέλος σαπίζουν και καταρρέουν. Το φυτό γενικότερα παρουσιάζει το σύνδρομο του αργού μαρασμού. Όταν η υγρασία είναι υψηλή τότε έχουμε πυκνό βαμβακώδες μυκήλιο στην περιοχή γύρω από την προσβολή. Σε περίπτωση που γίνει διαπίστωση προσβολής πρέπει τα φυτά αυτά να καταστραφούν με μεγάλη προσοχή, απαιτείται άμεσα ριζοπότισμα με διασυστηματικό μυκητοκτόνο. Η υψηλή υγρασία εδάφους λειτουργεί υπέρ του μύκητα.

Περωνόσπορος:

Ο βασιλιάς των ασθενειών της τομάτας αλλά και των περισσότερο σολανοειδών, είναι ο περονόσπορος. Η ασθένεια οφείλεται στο μύκητα *Phytophthora infestans*, έχει ταχύτατη μετάδοση μέσα στο λαχανοκομείο και μπορεί να προκαλέσει τρομερές καταστροφές. Ο Μύκητας προσβάλλει όλα τα μέρη του φυτού και σε όλα τα στάδια της ανάπτυξης του. Χαρακτηριστικά συμπτώματα είναι οι κηλίδες που γίνονται στην πάνω επιφάνεια των φύλλων αρχικά με χρώμα κίτρινο-λευκό και μετά σκούρο καστανό (εικόνα 1). Στην

κάτω επιφάνεια των φύλλων διακρίνονται οι λευκές εξανθήσεις, δηλαδή οι κονιδιοφόροι του μύκητα. Η μεταφορά του μύκητα γίνεται με το νερό και τον αέρα, η υψηλή σχετική υγρασία και η χαμηλή θερμοκρασία της νύχτας επιδεινώνουν πάρα πολύ την κατάσταση. Η αντιμετώπιση της ασθένειας μπορεί να γίνει με μείωση της σχετικής υγρασίας της νύχτα, αλλά και αποφυγή διαβροχής της φυλλικής επιφάνειας. Η χημική καταπολέμηση μπορεί να είναι είτε προληπτική είτε θεραπευτική μετά την προσβολή, τα κατάλληλα σκευάσματα είναι το fosetyl-al.



Εικόνα 1.5. Προσβολή από περονόσπορο σε σημαντικό βαθμό.

🍅 Αδρομύκωση:

Η αδρομύκωση οφείλεται κυρίως σε δύο εξαιρετικά ζημιογόνους μύκητες, τον *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici* και τον *Verticillium dahliae*. Σε γενικές γραμμές η φυσιολογία αυτών των μυκήτων είναι παρόμοια. Αφού προσβάλουν το φυτό από το ριζικό σύστημα εγκαθίστανται μέσα στα αγγεία του ξύλου εμποδίζοντας την κυκλοφορία των χυμών του φυτού, δηλαδή προκαλούν "έμφραγμα". Τα φυτά αυτά παραμένουν καχεκτικά και στην πορεία ξηραίνονται. Τα κύρια συμπτώματα είναι η χλώρωση ή ο μαρασμός των φύλλων ή μέρους αυτών, ενώ στα παλαιότερα φύλλα έχουμε μεσονεύρια χλώρωση, τα φυτά γίνονται καχεκτικά και στο τέλος ξηραίνονται. Ακόμα,

χαρακτηριστικό σύμπτωμα είναι ο μεταχρωματισμός των αγγείων των βλαστών. Η ασθένεια μεταφέρεται με μολυσμένο φυτικό υλικό, με το έδαφος κυρίως λόγω τραυματισμό των ριζών από ανθρώπινη ενέργεια, με την άρδευση και με τα περσινά μολύσματα. Η χημική αντιμετώπιση είναι πολύ δύσκολη έως ανύπαρκτη, πρέπει να τηρούνται προληπτικά μέτρα, όπως η καταστροφή των φυτικών υπολειμμάτων και η αμειψισπορά, ηλιαπολύμανση και η χρησιμοποίηση ανθεκτικών ποικιλιών.



Εικόνα 1.6. Φουζαρίωση, διακρίνεται ο μεταχρωματισμός στα αγγεία.



Στους εχθρούς της τομάτας ήρθε πρόσφατα να προστεθεί το μικρολεπιδόπτερο *Tuta absoluta*. Έχει την κοινή ονομασία Τούτα ή αλλιώς τοματόσκωρος. Η καταγωγή του είναι από τη Ν. Αμερική, όπου είναι γνωστό ζημιογόνο παράσιτο τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, αλλά πλέον προκαλεί ζημιές σε όλη τη Μεσόγειο.

Είναι γενικότερα ένα μικρό έντομο, με μήκος 5-7 χιλ. και άνοιγμα φτερών γύρω στα 10 χιλ. Έχει χρώμα ανοιχτού γκρι, ενώ φέρει μαύρες βούλες στα φτερά του. Η προνύμφη του έχει κίτρινο χρώμα. Έχει έως και 12 γενεές ανά έτος, κάτι που κάνει την αντιμετώπισή του εξαιρετικά δαπανηρή. Το ενήλικο

Θηλυκό ωτοκεί στην κάτω επιφάνεια των φύλλων, σε νεαρούς βλαστούς και στους ποδίσκους των ανθοταξιών. Γεννά έως και 250 αυγά κατά τη διάρκεια της ζωής του. Για την εκκόλαψη απαιτούνται 4-6 μέρες και η προνύμφη εισχωρεί στο φύλλο, σε ποδίσκους και οφθαλμούς και προκαλεί ακανόνιστες στοές. Διαχειμάζει είτε στο στάδιο του ωού, είτε της νύμφης, είτε σαν ακμαίο. Η αντιμετώπισή του είναι εξαιρετικά δύσκολη και συχνά δεν έχει αποτέλεσμα. Ωστόσο, διασυστηματικά εντομοκτόνα φαίνεται να μειώνουν σημαντικά την προσβολή. (<http://www.agro-help.com/>)



Εικ.1.7. Πηγή (<http://horticularidades.blogspot.gr/>)

1.5 ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ

Έχουν δημιουργηθεί πάνω από 1700 ποικιλίες και υβρίδια. Οι τομάτες διακρίνονται με βάση το μέγεθος των καρπών σε μεγαλόκαρπες, μεσόκαρπες και μικρόκαρπες, ανάλογα με το χρόνο ωρίμανσης σε πρώιμες, μεσοπρώιμες και όψιμες, ανάλογα με το σχήμα σε σφαιρικές, κυλινδρικές ή μακρουλές και ανάλογα με το ύψος σε νάνες ποικιλίες και ψηλότερες.

Τα τελευταία χρόνια οι περισσότερες διαδεδομένες ποικιλίες (ή υβρίδια) τομάτας που καλλιεργούνται στην Ελλάδα είναι οι εξής:

1. Για βιομηχανική επεξεργασία: οι ποικιλίες αυτές είναι γενικά νάνες και μικρόκαρπες. Ο χρόνος από τη μεταφύτευση ως την ωρίμανση του 50% περίπου των καρπών είναι 90-110 ημέρες. Μερικές από τις βιομηχανικές ποικιλίες τομάτας που καλλιεργούνται σήμερα στην Ελλάδα, είναι οι εξής: Sonora, Oval Red, Red Ball, Titano, Rio Grande.
2. Για νωπή κατανάλωση: είναι ποικιλίες ή συνήθως υβρίδια, φυτά αναρριχώμενα με μέτρια ως μεγάλη βλαστική ανάπτυξη, μεσόκαρπα ή μεγαλόκαρπα. Μερικά από τα καλλιεργούμενα υβρίδια είναι: GC204, Alonso, Jolly, Arletta, Mereto, Acor, Dombo, Dombito.

Είδη τομάτας

Εκτός από το είδος *Lycopersicon esculentum*, στο γένος *Lycopersicon* ανήκουν και τα εξής άλλα είδη:

- *L. parviflorum*
- *L. pimpinellifolium*
- *L. hirsutum*
- *L. chilense*
- *L. cheesmanii*
- *L. chmielewskii*
- *L. pennellii*
- *L. peruvianum*.

1.6 ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

Το Μάιο του 2012 δημοσιεύτηκε σε αναθεώρηση του περιοδικού Nature το γονιδίωμα της τομάτας, ολοκληρωμένο κατά σχεδόν 80%. Το πρόγραμμα αποκωδικοποίησης του γονιδιώματος της τομάτας, γνωστό ως Tomato Genome Consortium, ξεκίνησε το 2003 και μελέτησε το γονιδίωμα της ποικιλίας Heinz 1760 και της άγριας τομάτας *Solanum pimpinellifolium*. Συνολικά στο πρόγραμμα συμμετείχαν 300 επιστήμονες από 14 χώρες.

Αρχικά η αποκωδικοποίηση έγινε με παραδοσιακό τρόπο και μέχρι το 2008 υπήρχαν πολλά κοινά, οπότε και χρησιμοποιήθηκαν πιο σύγχρονες μέθοδοι, όπως η whole-genome shotgun sequencing. Το γονιδίωμα της ντομάτας έχει 12 χρωμοσώματα, στα οποία βρίσκονται 31.760 γονίδια. Εκτιμάται ότι η αποκωδικοποίηση του γονιδιώματος θα οδηγήσει σε νέες ποικιλίες σε περίπου 5 χρόνια, ενώ θα οδηγήσει σε βελτιωμένες ποικιλίες συγγενικών ειδών όπως η μελιτζάνα και η πιπεριά. Η ντομάτα και η πατάτα έχουν το 92% των γονιδίων τους κοινά.

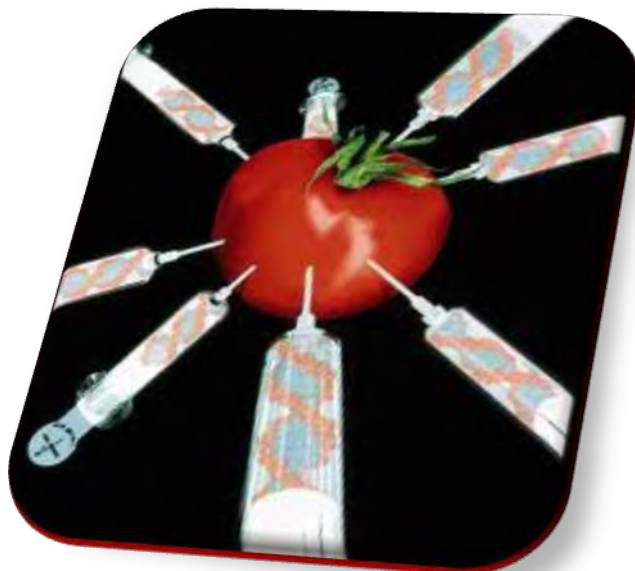
1.7 ΒΕΛΤΙΩΣΗ

Η βελτίωση των φυτών θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μία κατευθυνόμενη εξέλιξη των φυτών με την παρέμβαση του ανθρώπου. Οι βελτιωμένες ποικιλίες των φυτών αποτελούν το θεμέλιο λίθο της γεωργικής παραγωγής.

Επιτυχίες στη βελτίωση της τομάτας

Αξίζει να αναφερθούν:

- 🍅 Η αύξηση παραγωγής, με αύξηση μεγέθους καρπού και αριθμού καρπών,
- 🍅 Η βελτίωση ποιότητας, σχήματος, χρώματος, αρώματος, υφής,
- 🍅 Η ανακάλυψη γενετικά ελεγχόμενης ανάπτυξης,
- 🍅 Η βελτίωση αντοχής του καρπού σε μεταχειρίσεις και αποθήκευση,
- 🍅 Η πρωίμιση της παραγωγής,
- 🍅 Η δυνατότητα καρπόδεσης σε αντίξοες συνθήκες και
- 🍅 Η αντοχή σε εχθρούς και ασθένειες.



Η τάση που παρατηρείται τελευταία σε παγκόσμια κλίμακα στον τομέα της γεωργίας, είναι η ανάπτυξη των εκμεταλλεύσεων εντατικής μορφής και όχι εκτατικής, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των καλλιεργειών υπό κάλυψη (Θερμοκηπιακών καλλιεργειών).

1.8 Το Θερμοκήπιο

Το Θερμοκήπιο είναι ένας στεγασμένος και περιφραγμένος χώρος, που σκοπό του έχει να προφυλάξει τα φυτά από το κρύο του χειμώνα.



Τα Θερμοκήπια μπορεί να είναι κατασκευασμένα πάνω σε μόνιμους σιδερένιους σκελετούς από γυαλί ή μπορεί να είναι από πλαστικό, που στηρίζεται πάνω σε ξύλινο σκελετό. Η κατασκευή των Θερμοκηπίων εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες, που επικρατούν τους χειμωνιάτικους μήνες σε μια περιοχή και από το είδος των φυτών που πρόκειται να καλλιεργηθούν. Τα Θερμοκήπια των βόρειων χωρών έχουν βαριές κατασκευές και, πολλές φορές αποτελούνται από διπλά τζάμια και διπλή οροφή. Τα Θερμοκήπια αυτά θερμαίνονται. Αντίθετα, στις νότιες περιοχές της Ελλάδος, όπως π.χ. στη νότια Μεσσηνία και στην Κρήτη, οι κατασκευές είναι πολύ ελαφριές, αποτελούνται από πλαστικό απλωμένο πάνω σε ξύλινο σκελετό, χωρίς να θερμαίνεται.

Στα Θερμοκήπια καλλιεργούνται φυτά κατά τη διάρκεια του χειμώνα, που δεν είναι δυνατό να ευδοκιμήσουν έξω στον ανοιχτό χώρο. Τα τελευταία χρόνια η τεχνική της καλλιέργειας μέσα στα Θερμοκήπια έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό. Έτσι, όλο το χρόνο στην πατρίδα μας παράγονται προϊόντα

τέτοια όπως π.χ. ντομάτες, μελιτζάνες, κολοκύθια κλπ. , που καλύπτουν τις ανάγκες της ελληνικής αγοράς, ενώ ένα μεγάλο μέρος προορίζεται για εξαγωγή. Ακόμη στα θερμοκήπια καλλιεργούνται και λουλούδια τέτοια που ευδοκιμούν μόνο το καλοκαίρι ή λουλούδια των τροπικών χωρών που σε διαφορετικές περιπτώσεις θα ήταν αδύνατη η καλλιέργειά τους. Τέτοια λουλούδια είναι π.χ. οι ορχιδέες που απαιτούν θερμοκρασία πάνω από 28° C και μεγάλη υγρασία, πράγμα που δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί έξω από τα θερμοκήπια.

Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται ένας άλλος τύπος θερμοκηπίων, τα λεγόμενα χημικά θερμοκήπια. Αυτά δεν είναι τίποτε περισσότερο από χημική ουσία που μοιάζει με αφρό, με την οποία ραντίζουν τα φυτά σε πολύ μεγάλες εκτάσεις. Η χημική ουσία καλύπτει τελείως τα φυτά και τα προστατεύει από το κρύο. Λειτουργεί δηλαδή με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούν και τα θερμοκήπια από πλαστικό. Ο τρόπος αυτός ακόμη βρίσκεται στο στάδιο των ερευνών και του πειραματισμού και, σύμφωνα με τις απόψεις των ερευνητών θα λύσει το πρόβλημα της μαζικής καλλιέργειας των εκτός εποχής φυτών.

Η ιστορία των θερμοκηπίων δεν είναι υπόθεση των τελευταίων χρόνων. Ένα από τα πρώτα θερμοκήπια που φτιάχτηκαν στην Ευρώπη ήταν στη Βοημία περίπου το 1680. Στο θερμοκήπιο αυτό καλλιεργήθηκαν οι πρώτες ορχιδέες στην Ευρώπη. Αργότερα, περί το 1750, ο πρίγκιπας του Λιχτενστάιν έφτιαξε το πρώτο μεγάλο και θερμαινόμενο θερμοκήπιο στην Ευρώπη στην πόλη Λέννιτσε (Lednice) στη νότια Τσεχία. (<http://el.wikipedia.org/>)

Σε παγκόσμιο επίπεδο λειτουργούν σήμερα περίπου 1.500.000 στρ. με θερμοκήπια και από αυτά το 87% είναι με κάλυψη από πλαστικά υλικά ενώ το 13% από υαλοπίνακες. Η Ιαπωνία προηγείται με περίπου 700.000 στρ. και ακολουθούν η Ιταλία με 260.000 στρ., οι ΗΠΑ με 250.000 στρ., η Ισπανία

με 130.000 στρ., η Ολλανδία με 70.000 στρ., η Ρωσία με 50.000 στρ., το Βέλγιο με 45.000 στρ., η Γαλλία με 40.000 στρ., η Ουγγαρία με 30.000 στρ., η Γερμανία με 22.000 στρ., η Τουρκία με 20.000 στρ., η Ρουμανία, Πολωνία, Βουλγαρία και Μ. Βρετανία με 15.000 στρ. και το Ισραήλ με περίπου 4.000 στρ. Η Ολλανδία, το Βέλγιο, η Γερμανία, η Μ. Βρετανία και η Ουγγαρία χρησιμοποιούν κυρίως γυάλινα θερμοκήπια σε ποσοστό 85%, σε αντίθεση με τις άλλες χώρες, όπου το ποσοστό των γυάλινων θερμοκηπίων κυμαίνεται μεταξύ 10 και 20%. (Θερμοκήπια, Στοιχεία κατασκευής, λειτουργίας και καλλιέργειας, Θ. Ευσταθιάδη)

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες αποτελούν το δυναμικότερο κλάδο της γεωργικής πρωτογενούς παραγωγής στην Ελλάδα. Σήμερα λειτουργούν περίπου 38.500 στρ. με θερμοκήπια διαφόρων τύπων. Η παραγωγή όμως προϊόντων υπό κάλυψη σήμερα στη χώρα μας δεν έχει την ανάπτυξη που θα έπρεπε να είχε. Εμφανίζεται ιδιαίτερα ενεργοβόρος με σημαντική χρήση χημικών για φυτοπροστασία και λίπανση. Ταυτόχρονα, ο ανταγωνισμός, τόσο με τις χώρες της Βόρειας Ευρώπης, όσο και με τις χώρες της Μεσογειακής λεκάνης αλλά και αυτές των Βαλκανίων προσφάτως, είναι ιδιαίτερα οξύς, με αποτέλεσμα όχι μόνο τη μικρή παρουσία ελληνικών θερμοκηπιακών προϊόντων στις διεθνείς αγορές αλλά και τις αθρόες εισαγωγές καθόλη τη διάρκεια του έτους. Και όμως η Ελλάδα έχει όλα τα εχέγγυα και μπορεί να αποτελέσει το λαχανόκηπο της Ευρώπης με την υιοθέτηση των σύγχρονων τεχνικών και τεχνολογιών σε σωστά σχεδιασμένα θερμοκήπια. (<http://www.agrotypos.gr/>)

1.9.1. Τύποι Θερμοκηπίων και υλικά κατασκευής τους

Οι επικρατέστεροι τύποι των τυποποιημένων, εμπορικών ή βιομηχανικών, Θερμοκηπίων είναι:

- Τοξωτοί (ημικυκλικοί ή τύπου τούνελ).
- Δίρικτης στέγης με κάλυψη από πλαστικά υλικά.
- Δίρικτης στέγης με κάλυψη από υαλοπίνακες.

Κατασκευάζονται επίσης σε μικρή κλίμακα ειδικά Θερμοκήπια, όπως αεροστήριχτα, κυκλικά, πύργοι, μονόρικτης στέγης, ημιυπόγεια και υπόγεια, κινητά, βοτανικών κήπων, πειραματικά, ερασιτεχνικά και επίσης Θερμοκήπια για ειδικές καλλιέργειες, όπως μανιταριών και γόνου ψαριών.



Κατά την κατασκευή ενός Θερμοκηπίου πρέπει να λάβουμε υπόψη τους ακόλουθους τέσσερις παράγοντες:

- Τη μέγιστη δυνατότητα διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των υλικών.
- Την ευχέρεια κινήσεων στο εσωτερικό του Θερμοκηπίου, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη εκμηχάνιση των καλλιεργειών.
- Την αντοχή των υλικών σε αντίξοες συνθήκες του περιβάλλοντος και στο χρόνο.
- Την προσιτή τιμή.

Για την κατασκευή των Θερμοκηπίων χρησιμοποιούνται υλικά που διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- ➡ Υλικά υποστήριξης ή σκελετού.
- ➡ Υλικά κάλυψης και υλικά συναρμογής τους στο σκελετό.
- ➡ Υλικά για την κατασκευή των εξοπλισμών λειτουργίας.

1.9 Υδροπονία

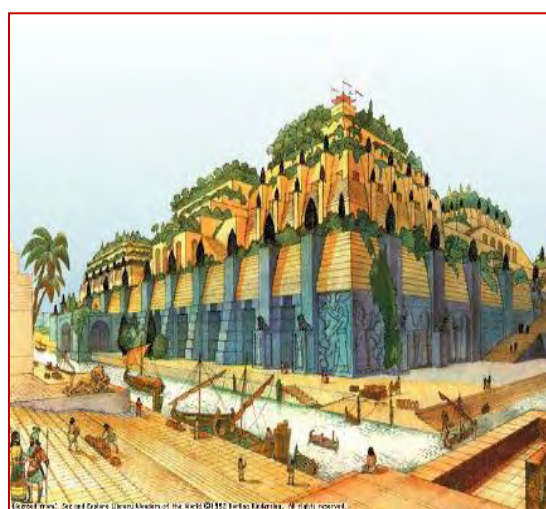
Όσο αυξάνει ο πληθυσμός της γης και προχωρεί η αστικοποίηση του πληθυσμού, τόσο αυξάνεται η ζήτηση των φρέσκων λαχανικών και φρούτων, απαραίτητων για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών του κάθε ανθρώπου. Ο καταναλωτής ζητάει πλέον νόστιμα προϊόντα, με καλό άρωμα και γεύση, καλό χρωματισμό και ομοιομορφία σχήματος. Το σημαντικό είναι να παράγονται ποιοτικά και ασφαλή προϊόντα με παράλληλη εξασφάλιση υψηλών ποσοτήτων. Όλα τα παραπάνω μπορούν να επιτευχθούν με την υδροπονική καλλιέργεια.

Ως υδροπονία ορίζεται μια προηγμένη και εξελιγμένη τεχνική καλλιέργειας, με την οποία τα φυτά αναπτύσσονται χωρίς τη χρησιμοποίηση εδάφους ή εδαφικών μειγμάτων. Η σωστή θρέψη των φυτών εξασφαλίζεται με κάποιο θρεπτικό διάλυμα που αποτελείται από νερό μέσα στο οποίο βρίσκονται, σε ισορροπία μεταξύ τους, όλα τα απαραίτητα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία που χρειάζονται τα φυτά για την ανάπτυξή τους (<http://www.inout.gr/>).

Η μέθοδος στηρίζεται στο γεγονός ότι τα φυτά δεν χρειάζονται χώμα για να αναπτυχθούν, το χώμα λειτουργεί απλά σαν αποθηκευτικός χώρος για τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται τα φυτά. Τα φυτά απορροφούν με τις ρίζες τους τις θρεπτικές ουσίες μόνο όταν αυτές διαλυθούν μέσω του ποτίσματος του χώματος. Συνεπώς όταν παρέχουμε στο φυτό πρόσβαση στα θρεπτικά συστατικά που χρειάζεται απευθείας μέσω της παροχής νερού, τότε το χώμα δεν χρειάζεται.

Με τα υδροπονικά συστήματα μπορούν να καλλιεργηθούν σχεδόν όλα τα φυτά και είναι η μέθοδος επιλογής για όσους θέλουν να επιτύχουν τον απόλυτο έλεγχο στις καλλιέργειές τους όπως βιολογικά εργαστήρια αλλά και καλλιεργητές που επιθυμούν να καλλιεργήσουν φυτά υψηλής ποιότητας.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η χώρα μας είναι και αυτό της λειψυδρίας. Το 85% των συνολικών ετήσιων αναγκών της Ελλάδας σε νερό χρησιμοποιείται σήμερα στην άρδευση των καλλιεργειών. «Αν υποθέσουμε ότι όλες οι καλλιέργειες της Ελλάδας ήταν υδροπονικές, το 85% του νερού που χρησιμοποιείται στην άρδευση των καλλιεργειών θα γινόταν αυτόματα 50%», λέει στα ΝΕΑ ο κ. Νικόλαος Συγγιμής, καθηγητής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και Διευθυντής του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας. Παρ' όλ' αυτά, ενώ η υδροπονική καλλιέργεια κερδίζει διεθνώς έδαφος έναντι των παραδοσιακών μεθόδων, στη χώρα μας όμως παραμένει σπορ για λίγους. Αυτή είναι η πραγματικότητα καθώς η διείσδυσή της στην Ελλάδα φτάνει μόλις το 7%, όταν σε άλλες χώρες αποτελεί είτε τον κανόνα είτε έναν πολλά υποσχόμενο και αναδυόμενο κλάδο. (<http://www.tovima.gr/>).



Η υδροπονία χρησιμοποιούνταν για χιλιάδες χρόνια. Οι περίφημοι Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας, ένα από τα επτά θαύματα, πιστεύεται πως λειτουργούσαν σύμφωνα με τις αρχές λειτουργίας της υδροπονίας. Χτισμένες το 600 π.Χ. στη Βαβυλωνία, ή Μεσοποταμία, οι κήποι ήταν τοποθετημένοι κατά μήκος του Ευφράτη ποταμού. Το κλίμα της περιοχής ήταν ιδιαίτερα ξηρό και άγονο, με σπάνιες βροχοπτώσεις, και

πιστεύεται πως οι καταπράσινοι κήποι υδροδοτούνταν από ένα σύστημα το οποίο αντλούσε νερό από τον ποταμό, μεταφέροντας το στο υψηλότερο επίπεδο της κατασκευής και στη συνέχεια έρεε ελεύθερα προς τα χαμηλότερα.

Κατά το 10^ο και 11^ο αιώνα, οι Αζτέκοι ανέπτυξαν ένα σύστημα πλωτών κήπων βασισμένοι στην υδροπονία. Εκδιωγμένοι από τη γη τους, εγκαταστάθηκαν στη λίμνη Tenochtitlan. Μη έχοντας τη δυνατότητα να καλλιεργήσουν φυτά στις βαλτώδεις όχθες της λίμνης, κατασκεύασαν σχεδίες από καλάμια και ρίζες. Οι σχεδίες αυτές επικαλύφτηκαν με ένα λεπτό στρώμα χώματος από τον πάτο της λίμνης, και επέπλεαν στο νερό. Οι καλλιέργειες αναπτύσσονταν πάνω στις σχεδίες, ενώ οι ρίζες τους βρίσκονταν μέσα στο νερό.

Η συστηματική μελέτη της υδροπονίας ξεκινάει το 1699 ως αποτέλεσμα της δουλειάς του John Woodward, μέλους του Βασιλικού Συλλόγου στην Αγγλία. Ο Woodward διεξήγαγε πειράματα προκειμένου να κατανοήσει τον τρόπο με τον οποίο τα φυτά λαμβάνουν τα απαραίτητα συστατικά για την ανάπτυξή τους. Η τεχνική παρέμεινε σε εργαστηριακή κλίμακα μέχρι το 1929, όταν ο καθηγητής William F. Gericke του πανεπιστημίου της Καλιφόρνια την πήρε από τα χέρια των πειραματιστών και την μετέτρεψε πρακτικά σε ανάπτυξη καλλιεργειών χωρίς έδαφος. Οι προσπάθειες του καθηγητή να δημιουργήσει μια υδροκαλλιέργεια είχε εξαιρετική επιτυχία, τόσο που τα καλλιεργούμενα φυτά τομάτας έφτασαν σε ύψος τα 8 μέτρα και η συλλογή των τοματών απαιτούσε τη χρήση σκάλας. Η νέα αυτή επιστήμη ονομάστηκε "Υδροπονία".

Η υδροπονία εξαπλώθηκε ταχύτατα στην Ευρώπη, την Ινδία και τις Ηνωμένες Πολιτείες και πήρε ιδιαίτερη ώθηση κατά τον 2^ο Παγκόσμιο

Πόλεμο. Η ικανότητα της τεχνικής να παράγει μεγάλες ποσότητες λαχανικών σε σύντομο χρονικό διάστημα για την τροφοδοσία του στρατού σε απομονωμένα νησιά, όπου το έδαφος ήταν ακατάλληλο για καλλιέργεια, καθώς επίσης και των στρατευμάτων κατοχής στη Ιαπωνία μετά την παύση των εχθροπραξιών, αξιοποιήθηκε επαρκώς. Τα συστήματα που εγκαταστάθηκαν για την τροφοδοσία των στρατευμάτων ήταν τεραστίων διαστάσεων και απαιτούσαν εξειδικευμένο προσωπικό για τη λειτουργία και τη συντήρησή τους.

Μετά τον πόλεμο, πραγματοποιήθηκαν έρευνες σε αρκετές χώρες προκειμένου να αναπτυχθούν συστήματα τα οποία θα μπορούσαν να εγκατασταθούν και να λειτουργήσουν από ανειδίκευτους παραγωγούς και θα κάλυπταν ή θα συμπλήρωναν τις ανάγκες σε τρόφιμα μικρών πληθυσμών. Ένα τέτοιο κέντρο ιδρύθηκε στο Darjeeling της Ινδίας το 1946.

Σήμερα, σε εκατοντάδες χιλιάδες σπίτια και διαμερίσματα σε όλο τον κόσμο καλλιεργούνται τομάτες και άλλα κηπευτικά σε απλές υδροπονικές μονάδες σε τaráτσες, μπαλκόνια ή αυλές. Σε εμπορική κλίμακα η μέθοδος προκάλεσε ιδιαίτερο ενθουσιασμό. Στην Αγγλία, για παράδειγμα, η παραδοσιακή μέθοδος καλλιέργειας τομάτας στο χώμα δεν είναι πλέον βιώσιμη σε πολλές περιοχές και οι καλλιεργητές καταφεύγουν στην υδροπονία (<http://ydroponia.com/>).

Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μιας υδροπονικής καλλιέργειας

- 🍅 Με την υδροπονική καλλιέργεια δεν απαιτείται προετοιμασία του εδάφους καθώς αποφεύγουμε τα ζιζάνια, προσβολές από νηματώδεις και ελαχιστοποιούνται τα προβλήματα από έντομα και μύκητες εδάφους. Συγχρόνως μειώνεται και το κόστος από την χρήση φυτοφαρμάκων για τον έλεγχο των παραπάνω (απολύμανση εδάφους, ριζοποτίσματα) καθώς και το εργατικό κόστος
- 🍅 Η θρέψη των φυτών στην υδροπονία είναι απόλυτα ελεγχόμενη. Τα θρεπτικά διαλύματα είναι ισορροπημένα με αποτέλεσμα τα φυτά να είναι περισσότερο εύρωστα. Η σωστή θρέψη (ακριβής αναλογία στοιχείων) έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ποιοτικών προϊόντων και αύξηση της απόδοσης παραγόμενου προϊόντος.
- 🍅 Ο έλεγχος της αγωγιμότητας (EC) και του pH μπορεί να γίνει με ακρίβεια, και σε περιπτώσεις αποκλίσεων από το επιθυμητό οι διορθώσεις γίνονται άμεσα. Είναι γνωστά τα προβλήματα που παρουσιάζονται στα φυτά που καλλιεργούνται στο χύμα λόγω της αδυναμίας ελέγχου των δύο αυτών σημαντικών παραμέτρων. Στις περισσότερες των περιπτώσεων το εδαφικό pH είναι πολύ υψηλό με αποτέλεσμα την εμφάνιση τροφοπενιών στα φυτά (τροφοπενία σιδήρου κ.α.)
- 🍅 Προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν στα φυτά είτε λόγω έλλειψης κάποιου στοιχείου είτε κάποιας ασθένειας μπορούν να αντιμετωπισθούν άμεσα και αυτό γιατί τα θρεπτικά διαλύματα ή οι χημικές επεμβάσεις που γίνονται είναι άμεσα προσλήψιμες από τα φυτά.

- 🍅 Με την καλλιέργεια σε συστήματα υδροπονίας αποφεύγονται χρονοβόρες και κουραστικές εργασίες όπως σκαλίσματα, ξεχορταριάσματα που γίνονται στο χώμα.
- 🍅 Το θερμοκήπιο είναι μια επιχείρηση η οποία μπορεί να παράγει όλο το χρόνο. Αυτό όμως δεν μπορεί να γίνει καλλιεργώντας στο χώμα όπου υπάρχει ανάγκη απολύμανσης και ξεκούρασης. Η υδροπονία δίνει λύση σε αυτό μιας και το υπόστρωμα μπορεί να επαναφυτευτεί αρκετές φορές δίνοντας έτσι τη δυνατότητα συνεχόμενης παραγωγής.
- 🍅 Τέλος η χρήση των αυτοματισμών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (αυτόματο πότισμα-λίπανση κ.α.) εξασφαλίζουν περισσότερο χρόνο στον παραγωγό να ασχοληθεί και με εργασίες εξίσου σημαντικές με την παραγωγή, όπως η εμπορεία, η καλύτερη εποπτεία και παρακολούθηση της φυτείας, η συσκευασία κ.α. (<http://geoplexus.wordpress.com/>)

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψιν όλα τα παραπάνω καταλαβαίνει κανείς ότι η υδροπονία μπορεί να δώσει λύσεις στο σύγχρονο ανταγωνιστικό περιβάλλον που διαμορφώνεται. Δεν θα πρέπει όμως να δημιουργηθεί η εντύπωση ότι η υδροπονία έχει και τα « αρνητικά » της.

Όπως σε κάθε θέμα που προκύπτει, υπάρχει και η αρνητική πλευρά του, έτσι στην υδροπονία (<http://ydroronia.com/>):

- 🍅 Υπάρχει υψηλότερο αρχικό κόστος εγκατάστασης σε σχέση με τις συμβατικές καλλιέργειες
- 🍅 Απαιτείται στενότερη παρακολούθηση για αλλαγές στη συμπεριφορά των φυτών κατά την ανάπτυξή τους
- 🍅 Η υποστήριξη κάποιων φυτών ενδέχεται να είναι δυσκολότερη/πολυπλοκότερη
- 🍅 Απαιτείται συχνή ανάμιξη και εφαρμογή των θρεπτικών

- 🍅 Υπάρχει κίνδυνος ταχύτερης εξάπλωσης ασθενειών του ριζικού συστήματος μέσω του θρεπτικού διαλύματος
- 🍅 Ένα λανθασμένο θρεπτικό μείγμα ενδέχεται να προκαλέσει διαταραχές στην ανάπτυξη των φυτών
- 🍅 Κατά την ανακύκλωση απαιτείται συχνή ανανέωση του νερού
- 🍅 Το κόστος των έτοιμων θρεπτικών μειγμάτων είναι υψηλότερο
- 🍅 Μικρότερα περιθώρια λάθους σε σχέση με τις συμβατικές καλλιέργειες.

1.10.1. Υδροπονικά συστήματα

Για να χαρακτηριστεί ένα υδροπονικό σύστημα ολοκληρωμένο θα πρέπει να αποτελείται από:

- ➡ το σύστημα παραγωγής και ελέγχου του θρεπτικού διαλύματος που τροφοδοτεί την καλλιέργεια
- ➡ το σύστημα άρδευσης
- ➡ το υπόστρωμα και το σύστημα στήριξης της καλλιέργειας και
- ➡ το σύστημα απολύμανσης του θρεπτικού διαλύματος.

Η ανάπτυξη των φυτών έξω από το φυσικό έδαφος δημιουργεί την ανάγκη για ένα τεχνητό ελεγχόμενο περιβάλλον. Για να είναι σε θέση ένα υπόστρωμα να επιτελεί με τον καλύτερο τρόπο τον ρόλο για τον οποίο προορίζεται πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά (Savvas et al, 2001):

- ➡ Μηδενική ή ελάχιστη εναλλακτική ικανότητα, χημική αδράνεια, σταθερή δομή, κατάλληλο pH και μικρή περιεκτικότητα σε άλατα
- ➡ Ικανοποιητική αναλογία νερού και αέρα στην κατάσταση της υδατοικανότητας

- Ομοιομορφία στη σύσταση, στην εμφάνιση και στην συμπεριφορά από άποψη θρέψης.
- Μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού
- Να επιτρέπει την ομαλή κυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος
- Να είναι απαλλαγμένο από παθογόνα, ζωικούς εχθρούς και σπόρους ζιζανίων
- Να είναι εύκολο στη χρήση του και γενικά στους καλλιεργητικούς χειρισμούς
- Να μην πληγώνει τις ρίζες των φυτών.

Τα υδροπονικά συστήματα ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα συστήματα στα οποία δε συμμετέχει κάποιο υπόστρωμα και η καλλιέργεια των φυτών λαμβάνει χώρα απευθείας επάνω στο θρεπτικό διάλυμα. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει υδροπονικά συστήματα στα οποία χρησιμοποιείται υπόστρωμα, οργανικής ή ανόργανης φύσης.

ΤΥΠΟΙ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ		
ΜΕ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ		ΧΩΡΙΣ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ
ΣΤΕΡΕΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ	ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ Ο ΑΕΡΑΣ	ΝΕΡΟ
Ανόργανα	Αεροπονία	N.F.T.
Οργανικά		Επιπλέουσα Υδροπονία
Μίγματα		

	Συστήματα ανοικτά ή κλειστά
	Συστήματα μόνο κλειστά

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΩΡΙΣ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ

Στα συστήματα αυτά, οι ρίζες αναπτύσσονται σε κανάλια συνεχούς ή μη συνεχούς ροής θρεπτικού διαλύματος. Ένα παράδειγμα συστήματος χωρίς υπόστρωμα με συνεχή ροή διαλύματος είναι το γνωστό N.F.T. (Nutrient Film Technique - καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος) στο οποίο οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται σε κανάλια μεγάλου μήκους, μέσα στα οποία ρέει μία λεπτή στρώση θρεπτικού διαλύματος. Τα κανάλια του NFT είναι συνήθως επενδεδυμένα με ειδικό πλαστικό, το οποίο είναι λευκό από την εξωτερική πλευρά και μαύρο από την εσωτερική. Το NFT είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας στον κόσμο, κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους εγκατάστασης που απαιτείται. Στην περίπτωση που δεν έχουμε ροή του θρεπτικού διαλύματος, το υδροπονικό σύστημα διαθέτει μεγάλη αποθήκη διαλύματος μέσα στην οποία αναπτύσσονται τα φυτά. Για τον εμπλουτισμό του διαλύματος με το απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών οξυγόνο, το σύστημα είναι εφοδιασμένο με ειδική αντλία, η οποία διοχετεύει αέρα στον χώρο της δεξαμενής. Στην επιπλέουσα υδροπονία, διάφορα χαμηλά λαχανικά, όπως για παράδειγμα μαρούλια, τοποθετούνται σε ειδικά διαμορφωμένες πλάκες φελιζόλ, οι οποίες διαθέτουν οπές στις θέσεις των φυτών. Οι πλάκες αυτές επιπλέουν στην δεξαμενή που περιέχει το αεριζόμενο θρεπτικό διάλυμα. Κατ' αυτόν τον τρόπο τα φυτά καλύπτουν τις ανάγκες τους σε θρεπτικά στοιχεία.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ

Η δεύτερη μεγάλη κατηγορία υδροπονικών συστημάτων περιλαμβάνει συστήματα στα οποία τα φυτά αναπτύσσονται σε υποστρώματα. Τα υποστρώματα αυτά μπορεί να είναι είτε στερεά είτε ο αέρας (αεροπονία).

ΣΤΕΡΕΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Τα στερεά υποστρώματα είναι τεχνητά υλικά, τα οποία έχουν τέτοιες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες ώστε να διατηρούν ιδανικές αναλογίες νερού και αέρα στην περιοχή της ρίζας για την καλύτερη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος.

Τα διάφορα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία διακρίνονται σε ανόργανα, οργανικά και διάφορα μίγματα.

✓ Ανόργανα Υποστρώματα

Από τα ανόργανα υποστρώματα αυτά που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι ο πετροβάμβακας, η ελαφρόπετρα, η άμμος, ο περλίτης κ.ά.

Καλλιέργειες σε ανόργανα πορώδη υποστρώματα

- ✓ Καλλιέργεια σε πετροβάμβακα (rockwool): Ο πετροβάμβακας είναι διογκωμένο ανόργανο ινώδες υλικό. Οι πρώτες ύλες από τις οποίες παρασκευάζεται είναι ο βασάλτης, ο ασβεστόλιθος και ο γαιάνθρακας, σε αναλογία 4:1:1. Τα υλικά αυτά θερμαίνονται και λιώνουν σε θερμοκρασία 1500-1600 οC και εξωθούνται σε καλούπι, έτσι ώστε να διαμορφωθούν σε ίνες. Κατά το κρύωμα ψεκάζεται με φαινοληρτίνη, που μειώνει την επιφανειακή του τάση και αυξάνει τη διαβρεκτικότητά του στο νερό. Οι πόροι του καταλαμβάνουν 87-96% του όγκου του. Έχει βάρος 52-75 kg/m³. Έχει ολικό πορώδες 92- 96 % και ειδικό βάρος 60 - 100 kg/m³. Είναι χημικά αδρανές, αποστειρωμένο υλικό, τυποποιημένο, σταθερής ποιότητας. Έχει πολύ καλή συμπεριφορά ως υλικό, γι' αυτό και χρησιμοποιείται ευρέως ως υπόστρωμα υδροπονίας. Στην αρχή της καλλιέργειας αντιδρά αλκαλικά και γι' αυτό χρειάζεται λίγος χρόνος ώσπου να εξουδετερωθεί. Το pH του είναι περίπου 7. Παρουσιάζει πολύ χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η συνήθης χημική σύνθεση του ορυκτοβάμβακα είναι: SiO 47%, CaO 16%, Al₂O₃ 14%,

MgO 10%, FeO 8%, Na₂O 2%, TiO 1%, MnO 1%, K₂O 1%. Συνήθως για τα λαχανικά χρησιμοποιούνται πλάκες διαστάσεων 7,5 x 15 x 100 cm. Χρησιμοποιείται για 1-3 χρόνια και μετά πρέπει να ανακυκλώνεται. Αν δεν είναι δυνατή η ανακύκλωσή του, απορρίπτεται σε βάθος μέσα στο έδαφος και καλύπτεται με παχύ στρώμα χώματος. Η απόρριψή του στον ανοιχτό χώρο εγκυμονεί κινδύνους για τον άνθρωπο, γιατί όταν στεγνώσει, οι λεπτές ίνες του παρασύρονται από τον άνεμο και αιωρούνται, με αποτέλεσμα να εισέλθουν με την αναπνοή στους πνεύμονες του ανθρώπου.

Το γεγονός ότι ο πετροβάμβακας παράγεται σε θερμοκρασία 1.500 °C, τον καθιστά υγιεινό και χωρίς μύκητες, βακτήρια και σπόρους ζιζανίων. Η ανάγκη για την χρήση φυτοπροστατευτικών προϊόντων περιορίζεται στο ελάχιστο.



Εικ. 1.8. Υδροπονία τομάτας σε πετροβάμβακα

Πέρα από το καθαρό και χωρίς ασθένειες ξεκίνημα της καλλιέργειας, ο πετροβάμβακας επιτρέπει στον καλλιεργητή να έχει πολύ μεγαλύτερο έλεγχο στην ανάπτυξη της καλλιέργειάς του. Ως αποτέλεσμα, ο καλλιεργητής μπορεί να προσδιορίσει ακριβώς πόσο νερό και θρεπτικά στοιχεία χρειάζεται το φυτό, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη ανάπτυξή του. Επιπλέον νερό ή περίσσειμα θρεπτικών στοιχείων μπορούν να συμπεριληφθούν σε ένα κλειστό σύστημα και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκ νέου μετά την απολύμανσή τους.

Ο ανακυκλωμένος πετροβάμβακας χρησιμοποιείται ως βασικό υλικό για τούβλα ή σε άλλες εφαρμογές. Ως compost μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα γλαστρικά φυτά ή ως εδαφοβελτιωτικό.

Καλλιέργεια σε σάκους με περλίτη

Ο περλίτης είναι ηφαιστειακό, υαλώδες αργιλλοπυριτικό πέτρωμα λευκού χρώματος, το οποίο περιέχει εγκλωβισμένο κρυσταλλικό νερό 3 - 6%. Παρασκευάζεται με θέρμανση του πρωτογενούς ορυκτού στους 1300 οC, οπότε και διογκώνεται στο 10πλάσιο με 20πλάσιο του αρχικού του όγκου. Το ολικό του πορώδες είναι περίπου 95 %, ειδικό βάρος 60 - 80 kg /m³ και η ικανότητα συγκράτησης νερού σε 200 - 450 % του βάρους του. Το βάρος του είναι 94-128 kgr/m³ . Το pH στην αρχή είναι 6,5-7,5, δεν έχει σημαντική ρυθμιστική ούτε και εναλλακτική ικανότητα ιόντων και δεν περιέχει άλατα. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που υφίσταται κατά την παρασκευή του θεωρείται αποστειρωμένο, απαλλαγμένο δηλαδή από παθογόνα και μικροοργανισμούς.



Εικ. 1.9. Περλίτης

Καλλιέργεια φυτών σε κατακόρυφη στήλη

Το σύστημα κατακόρυφης καλλιέργειας δημιουργείται με κρεμάμενους σάκους ή με αυτοστηριζόμενους πλαστικούς σωλήνες είτε με κιβώτια που τοποθετούνται κατακόρυφα το ένα πάνω στο άλλο. Ως πορώδες υπόστρωμα χρησιμοποιείται περλίτης ή κάποιο μίγμα περλίτη και οργανικού υλικού. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για μικρού ύψους φυτά. Το ύψος της κάθε στήλης καλά είναι να μην υπερβαίνει το 1,5 m, για θερμοκήπια μέσου ύψους, γιατί δημιουργείται έντονος ανταγωνισμός για το φως στα κατώτερα φυτά. Η άρδευση γίνεται με σταλλάκτες που τοποθετούνται ένας στο υψηλότερο σημείο της στήλης και τουλάχιστον άλλος ένας στα 2/3 του ύψους της στήλης. Το σύστημα μπορεί να δημιουργηθεί ανοιχτό ή κλειστό.

Καλλιέργεια σε σάκους με ελαφρόπετρα

Η Ελληνική ελαφρόπετρα είναι προϊόν της δράσης του ηφαιστείου της Νισύρου ή της Θήρας πριν 200.000 χρόνια. Χαρακτηρίζεται από πορώδη δομή που προέρχεται από τη διαφυγή αερίων της λάβας κατά την απότομη ψύξη του μείγματος. Οι ιδιότητές της ήταν γνωστές από την αρχαιότητα. Η κοκκομετρική ποικιλία που κυκλοφορεί στην αγορά είναι: 0-5 mm, 0-8 mm, και 5-8 mm και 0-16 mm. Το pH της ελαφρόπετρας είναι σχεδόν ουδέτερο και η ηλεκτρική της αγωγιμότητα χαμηλή. Κατά μέσο όρο η ελαφρόπετρα αποτελείται από οξείδιο του πυριτίου 72%, οξείδιο του αργίλου 12,7%, τριοξείδιο του σιδήρου 1,1%, οξείδιο του ασβαστίου 1,5%, οξείδιο του μαγνησίου 0,3%, οξείδιο του καλίου 4,3%, οξείδιο του νατρίου 3,5% και διάφορα άλλα απροσδιόριστα στοιχεία στο 4,8%. Η καλλιέργεια γίνεται σε σάκους, σε δοχεία, σε υπερυψωμένα κανάλια καλλιέργειας τα οποία

δημιουργούνται με πολυστερίνη ή πλαστικό φύλλο στηριγμένο σε μεταλλικό σκελετό.



Εικ. 1.10. Καλλιέργεια αγγουριάς σε ελαφρόπετρα

Καλλιέργεια σε άμμο

Ανόργανο υλικό με pH περίπου 7. Δεν χρησιμοποιείται η άμμος που προέρχεται από ασβεστόλιθο, γιατί με το όξινο θρεπτικό διάλυμα, που χρησιμοποιείται στις υδροπονικές καλλιέργειες, διαλυτοποιείται το ασβέστιο. Έχει χαμηλό πορώδες 36-38% και παρουσιάζει υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού. Είναι ένα βαρύ υλικό, πολύ βαρύτερο από όλα τα διογκωμένα υλικά που χρησιμοποιούνται ως υποστρώματα.



Εικ. 1.11. Καλλιέργεια σε άμμο

Καλλιέργεια σε λεκάνες με χαλίκια

Είναι ένα κλειστό σύστημα καλλιέργειας. Με τη μέθοδο αυτή τα φυτά αναπτύσσονται σε λεκάνες πλάτους 80-120 cm του μέτρου και βάθους 20-30 cm.

Η τροφοδοσία του θρεπτικού διαλύματος σε αυτό το σύστημα γίνεται με συνεχή πλημμυρικά γεμίσματα της λεκάνης μέχρι ύψους 5 cm από το χείλος της και στη συνέχεια, από το χαμηλότερο σημείο της λεκάνης στραγγίζει το θρεπτικό διάλυμα πίσω στη δεξαμενή.

Το χαλίκι που χρησιμοποιείται προέρχεται κυρίως από γρανίτη διαμέτρου 3-12 mm. Δεν χρησιμοποιείται χαλίκι που προέρχεται από ασβεστόλιθο γιατί διαλυτοποιείται το ασβέστιο από το όξινο θρεπτικό διάλυμα. Η ρίζα αναπτύσσεται μέσα στις κροκάλες, συγκρατώντας στην επιφάνειά της νερό σε κάθε πλημμυρίδα.

Η συχνότητα της άρδευσης ρυθμίζεται, έτσι ώστε η πλημμυρίδα να ξεκινά μόλις έχει γίνει πλήρης στράγγιση του θρεπτικού διαλύματος από τη λεκάνη. Η κατάληψη του χώρου της λεκάνης από το νερό και η απόσυρσή του δρα ως αντλία αέρα, διευκολύνοντας την καλή οξυγόνωση της ρίζας.

Καλλιέργεια σε βερμικουλίτη

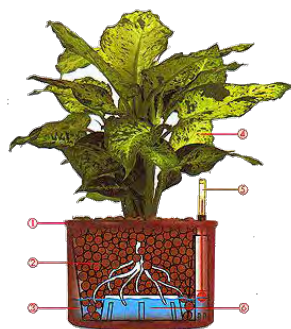
Ανόργανο υλικό με pH περίπου 7-8. Έχει υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού. Έχει υψηλό πορώδες 74-85% και χαμηλή πυκνότητα. Δεν περιέχει άλατα, αλλά έχει υψηλή ρυθμιστική και εναλλακτική ικανότητα. Λόγω της υψηλής ρυθμιστικής και εναλλακτικής ικανότητας ιόντων, σπάνια χρησιμοποιείται μόνο του ως υπόστρωμα υδροπονικών καλλιεργειών. Χρησιμοποιείται μερικές φορές σε μείγματα.



Εικ. 1.12. Βερμικουλίτης

Καλλιέργεια σε διογκωμένη άργιλο

Παρασκευάζεται από τη διαμόρφωση της αργίλου σε στρογγυλές πελλέτες οι οποίες θερμαίνονται στους 1200 °C έτσι ώστε οι πελλέτες να διασταλούν και να γίνουν πορώδεις. Είναι ελαφρύ ως μέσο και δεν συμπιέζεται με το πέρασμα του χρόνου. Οι πελλέτες αυτές είναι αδρανείς, με ουδέτερο pH δεν περιέχουν θρεπτικά ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές αν απολυμαίνονται.



Εικ.1.13. Υπόστρωμα αργίλου

✓ **Οργανικά Υποστρώματα**

Από τα οργανικά υποστρώματα μπορούμε να αναφέρουμε την τύρφη, τη διογκωμένη άργιλλο, το coco soil κ.ά. Θεωρούνται ότι δίδουν καλύτερο περιβάλλον ρίζας (πχ ανάπτυξη ωφέλιμων μικροβίων) και είναι λιγότερο επιζήμια για το περιβάλλον, καθότι αποδομούνται και ενσωματώνονται με το έδαφος. Αντιδρούν όμως με τα χημικά στοιχεία του διαλύματος γιατί η συνταγή χρειάζεται παρακολούθηση και ρύθμιση.

➤ **Καλλιέργειες σε οργανικά πορώδη υποστρώματα**

▪ **Καλλιέργεια σε σάκους τύρφης**

Η τύρφη με τη γενική έννοια περιγράφεται ως οργανικό υλικό που αποτελείται από μερικώς αποδομημένα υπολείμματα φυτών. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες της τύρφης την κάνουν ένα πολύ κατάλληλο υπόστρωμα για την ανάπτυξη των φυτών. Εκτιμάται ότι υπάρχουν 150 εκατομμύρια εκτάρια τυρφωδών εκτάσεων στον κόσμο, με μεγαλύτερους προμηθευτές για τη Δυτική Ευρώπη, τη Φινλανδία και τις χώρες της πρώην Σοβ. Ένωσης.

Η τύρφη γενικά σχηματίζεται με βραδεία αποσύνθεση των φυτικών ιστών σε περιβάλλον με σχετική έλλειψη οξυγόνου. Τέτοιες συνθήκες επικρατούν σε αβαθή, πλημμυρισμένα από νερό μέρη και ιδιαίτερα στις λιμνώδεις εκτάσεις των βόρειων ψυχρών περιοχών.

Γενικά, τα στρώματα της τύρφης που απαντώνται υψηλότερα στο έδαφος περιέχουν τύρφη λιγότερο αποδομημένη ξανθού χρωματισμού. Τα στρώματα

της τύρφης που βρίσκονται βαθύτερα στο έδαφος περιέχουν τύρφη περισσότερο αποδομημένη με σκουρότερο χρωματισμό (μαύρη τύρφη). Η καλλιέργεια γίνεται σε σάκους γεμάτους τύρφη που έχει εμπλουτιστεί με λιπάσματα βραδείας απελευθέρωσης.

Απαραίτητη είναι όμως και η χρήση διαλυτών λιπασμάτων καθώς και ιχνοστοιχείων κατά το πότισμα. Η μέθοδος αυτή με τις τύρφες, ενώ βοήθησε τα πρώτα χρόνια να αποφευχθούν οι αθένειες εδάφους και έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα στην παραγωγή, σήμερα εγκαταλείπεται γιατί παρουσιάζει συχνά προβλήματα στην άρδευση (Puustjarvi 1986), η διαχείριση του νερού είναι σχετικά δύσκολη και απαιτεί μεγάλη προσοχή κυρίως το καλοκαίρι. Όταν στεγνώσει η τύρφη δεν απορροφά ομοίμορφα σε όλη τη μάζα της το νερό που πέφτει από το σταλλάκτη. Το νερό συνήθως κυλά από την περιφέρεια, χωρίς να διαβρέχει το κέντρο. Δεν εφαρμόζεται ανακύκλωση του διαλύματος με τη μέθοδο αυτή.



Εικ.1,14. Ξανθιά και Μαύρη τύρφη

▪ Καλλιέργεια σε ίνες καρύδας

Είναι οργανικό υλικό, υποπροϊόν που προέρχεται από τους καρπούς της καρύδας. Η καρύδα αναπτύσσεται στις τροπικές περιοχές με μέγιστη παραγωγή στην Ινδία. Πρωτοεμφανίστηκε στην αγορά ως υπόστρωμα

καλλιέργειας το 1980. Πριν πωληθεί στο εμπόριο, πλένεται, ζυμώνεται για μερικές εβδομάδες ή και μήνες και αφυδατώνεται κατά ένα μεγάλο μέρος. Το υπόστρωμα παρουσιάζει σταθερότητα και πολύ ευνοϊκό περιβάλλον για τη ανάπτυξη της ρίζας.



- Καλλιέργεια σε κοκοφοίνικα (cocosoil, cocopeat)

Ο κοκοφοίνικας είναι φυσικό υλικό. Προέρχεται από το παχύ μεσοκάρπιο του καρπού της καρύδας και συνεπώς είναι υλικό απαλλαγμένο από ασθένειες. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται στο 0,5 mS/cm ή και χαμηλότερα και το pH από 5,5 έως 6.



Εικ. 1.15

Μίγματα

Στην υδροπονία εκτός από τα οργανικά και τα ανόργανα υποστρώματα χρησιμοποιούνται και διάφορα μίγματα, όπως για παράδειγμα μίγμα τύρφης, βερμικουλίτη και περλίτη ή μίγμα τύρφης και άμμοι

ΑΕΡΟΠΟΝΙΑ

Στην αεροπονία τα φυτά καλλιεργούνται σε πλάκες φελιζόλ και οι ρίζες τους αναπτύσσονται σε διάκενο που υπάρχει κάτω από αυτές τις πλάκες. Στο διάκενο αυτό ψεκάζεται περιοδικά το νέφος (πολύ μικρά σταγονίδια) του θρεπτικού διαλύματος σε κατάσταση σκότους για την αποφυγή ανάπτυξης αλγών.

Η αεροπονία είναι μία νέα τεχνική η οποία βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο και δεν χρησιμοποιείται σε εμπορική κλίμακα.



Εικ. 1.16. Σύστημα αεροπονίας

Ανοιχτά και Κλειστά υδροπονικά συστήματα

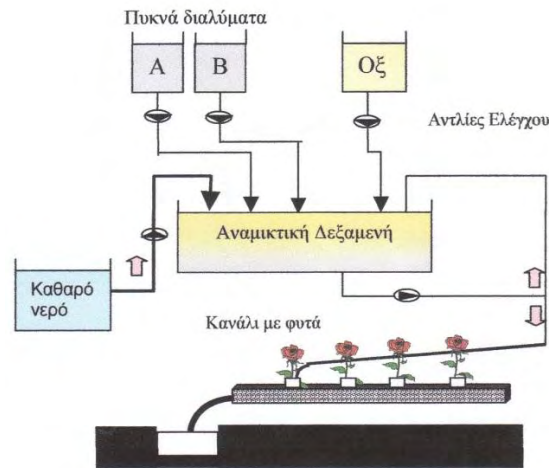
Τα υδροπονικά συστήματα με βάση την επαναχρησιμοποίηση ή μη του θρεπτικού διαλύματος χωρίζονται σε:

- Ανοιχτά και
- Κλειστά.

Στα **ανοιχτά συστήματα** το θρεπτικό διάλυμα που στραγγίζει μετά την τροφοδοσία των φυτών απορρίπτεται. Οι απώλειες κατιόντων στα ανοικτά υδροπονικά συστήματα είναι μεγαλύτερες των κλειστών και σχεδόν ίδιες με αυτές των αρδευόμενων καλλιεργειών. Το περιβάλλον της ρίζας επηρεάζεται περισσότερο από την σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος με το οποίο τροφοδοτείται, πράγμα που καθιστά την διαχείριση των ανοικτών συστημάτων αισθητά ευκολότερη.

Η συχνότητα άρδευσης στα ανοικτά συστήματα θα πρέπει να είναι σε άμεση σχέση με τον ρυθμό απορρόφησης του νερού και των θρεπτικών στοιχείων από τη ρίζα για να μην υπάρξει έλλειψη θρεπτικών στοιχείων στο σύστημα. Συνεπώς η σωστή ρύθμιση της συχνότητας άρδευσης καθίσταται σημαντικότερη. Στα περισσότερα ανοικτά συστήματα το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται για καλλιέργεια είναι πορώδες και η ροή του θρεπτικού διαλύματος στην ρίζα είναι ασυνεχής. Στο διάλυμα τροφοδοσίας επικρατεί χαμηλότερη συγκέντρωση ιόντων από ότι στο περιβάλλον της ρίζας, γιατί τις περισσότερες φορές η διαπνοή είναι μεγαλύτερη από τον ρυθμό απορρόφησης ιόντων.

Τέλος στα συστήματα αυτά σε περίπτωση υπερβολικής συγκέντρωσης κάποιου ιόντος στο ριζικό περιβάλλον, εξαιτίας της μειωμένης απορρόφησης η περίσσεια του ιόντος θα απομακρυνθεί με το νερό στράγγισης.



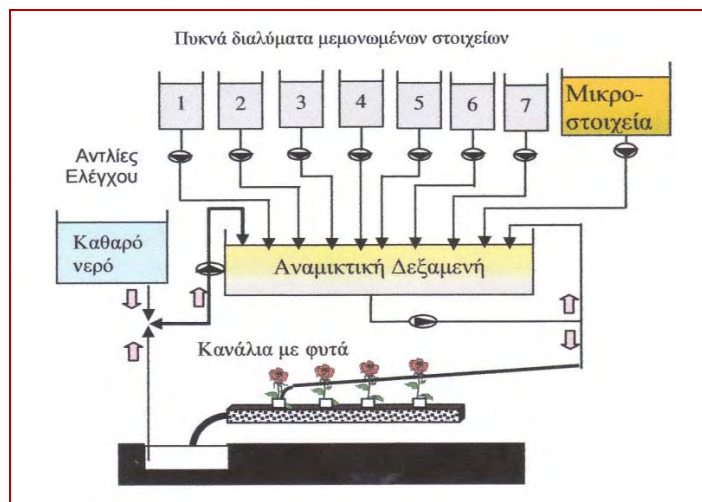
Εικ. 1.17. Σχεδιάγραμμα ανοιχτού υδροπονικού συστήματος A/B δεξαμενών με χρήση αναμεικτικής δεξαμενής.

Στα **κλειστά υδροπονικά συστήματα** το θρεπτικό διάλυμα μέσω του συστήματος άρδευσης καταλήγει στα φυτά. Η ποσότητα που στραγγίζει από το περιβάλλον της ρίζας επιστρέφει στην δεξαμενή, ελέγχεται το ΡΗ και η ηλεκτρική αγωγιμότητα και όπου χρειάζεται τροποποιείται για να χρησιμοποιηθεί εκ νέου. Το θρεπτικό διάλυμα θα πρέπει επίσης να ελέγχεται και να τροποποιείται ως προς την σωστή αναλογία των ιόντων του.

Στο σύστημα αυτό επιδιώκουμε καλύτερη ποιότητα νερού από ότι στα ανοιχτά συστήματα γιατί τα άχρηστα ιόντα δεν απορρίπτονται αλλά συσσωρεύονται αυξάνοντας συνεχώς την αλατότητα του. Το ίδιο ισχύει και με τα λιπάσματα που πρέπει να είναι καθαρά καθώς και για την παρασκευή των διαλυμάτων που θα πρέπει να πραγματοποιείται με την μέγιστη προσοχή. Παρόλο που λόγω πιθανής συσσώρευσης ιόντων στο διάλυμα απαιτούνται συχνές χημικές αναλύσεις το κλειστό υδροπονικό σύστημα προτιμάται για την προστασία του περιβάλλοντος και τη διατήρηση των φυσικών πόρων.

Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα δεν χρησιμοποιείται μόνο πορώδες υπόστρωμα, αλλά αν χρησιμοποιηθεί, η ροή του διαλύματος είναι ασυνεχής

καθώς το υπόστρωμα διαδραματίζει ρόλο αποθηκευτικού χώρου του θρεπτικού διαλύματος. Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθεί πορώδες υπόστρωμα η ροή είναι συνήθως συνεχής.



Εικ. 1.18. Σχεδιάγραμμα κλειστού υδροπονικού συστήματος δεξαμενών μεμονωμένων θρεπτικών στοιχείων με χρήση αναμεικτικής δεξαμενής.

Σύγκριση ανοιχτών και κλειστών υδροπονικών συστημάτων

- Η διαχείριση των ανοιχτών υδροπονικών συστημάτων είναι ευκολότερη σε σχέση με τα κλειστά συστήματα επειδή το περιβάλλον της ρίζας επηρεάζεται περισσότερο από την σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος με το οποίο τροφοδοτούνται.
- Τα κλειστά συστήματα απορρίπτουν στο περιβάλλον λιγότερα χημικά στοιχεία από τα ανοικτά με αποτέλεσμα την προστασία του περιβάλλοντος και την διατήρηση των φυσικών πόρων.
- Στα κλειστά συστήματα συνήθως δεν παρατηρείται έλλειψη θρεπτικών στοιχείων στο ριζικό σύστημα, απαραίτητων για την ανάπτυξη του φυτού, κάτι που οφείλεται κατά κύριο λόγο στο μεγάλο ρυθμό ροής του θρεπτικού διαλύματος.

- Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί πορώδες υπόστρωμα και μη, σε αντίθεση με τα ανοικτά συστήματα που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται το πορώδες.
- Στα κλειστά συστήματα λόγω επαναχρησιμοποίησης των θρεπτικών παρατηρείται μείωση του κόστους διαχείρισης της υδροπονικής καλλιέργειας.
- Λογώ του ότι στα ανοικτά συστήματα το θρεπτικό διάλυμα δεν ανακυκλώνεται αλλά απορρίπτεται, παρατηρούνται απώλειες κατιόντων, κάτι που στα κλειστά συστήματα ελαχιστοποιείται.
- Τα κλειστά συστήματα χρειάζονται περισσότερες χημικές αναλύσεις από τα ανοικτά λόγω συσσώρευσης μη χρήσιμων ιόντων κάτι που θεωρείται οικονομικά ασύμφορο.
- Στα ανοικτά συστήματα σε αντίθεση με τα κλειστά είναι πιο εύκολο να παρουσιαστεί έλλειψη θρεπτικών στοιχείων από το ριζικό σύστημα γι αυτό και επιδιώκεται σωστή ρύθμιση της συχνότητας άρδευσης.
- Στα κλειστά συστήματα μπορεί να παρατηρηθεί στην ρίζα αύξηση της αλατότητας, κάτι ιδιαίτερα ανεπιθύμητο. Για να αποφευχθεί πρέπει να χρησιμοποιείται καλής ποιότητας νερό.
- Τα κλειστά συστήματα λόγω των δεξαμενών συγκέντρωσης των επαναχρησιμοποιούμενων θρεπτικών και νερού και τα κανάλια διοχετεύσεώς τους παρουσιάζουν υψηλό κόστος εγκαταστάσεώς.
- Η ανακύκλωση του νερού στα κλειστά συστήματα ευνοεί την εξάπλωση μόλυνσης από παθογόνα.

Κεφάλαιο 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1. Έρευνα για τα υποστρώματα

Ο πετροβάμβακας αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα υποστρώματα παγκοσμίως. Παρασκευάζεται παραπάνω από 50 χρόνια και χρησιμοποιείται ως θερμομονωτικό και ηχομονωτικό υλικό (Donnan and Biggs, 1984 αναφέρεται από τον Μανιός, 2006). Παρ'όλα αυτά, υποστρώματα όπως ο περλίτης κερδίζουν ολοένα έδαφος, χρησιμοποιούνται πλέον πολύ και τίθεται το ερώτημα ποιο υπόστρωμα τελικά είναι πιο αποδοτικό και προσοδοφόρο.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει η χώρα μας, σε ολοένα αυξανόμενη έκταση είναι η δευτερογενής αλάτωση και αλκαλίωση των εδαφών, λόγω της κακής αποστράγγισης και της κακής ή μέτριας ποιότητας του νερού (υποβαθμισμένο νερό) άρδευσης.

Ο Κλάδος Ε. μελέτησε την επίδραση της αλατότητας (0, 40 και 120 mM NaCl) στην ανάπτυξη και την ποιότητα υδροπονικής καλλιέργειας σταμναγκαθιού σε τέσσερα διαφορετικά ανόργανα υποστρώματα. (άμμος, περλίτης, πετροβάμβακας και ελαφρόπετρα) ως προς την ανάπτυξη και παραγωγή σταμναγκαθιού και την συμπεριφορά αυτών σε συνθήκες αλατότητας. Όσο αφορά την επίδραση του υποστρώματος, βρέθηκε αυξημένος (έως και 23%) αριθμός φύλλων που σημειώθηκε σε φυτά που αναπτύχθηκαν σε ελαφρόπετρα, ενώ το μεγαλύτερο μήκος (έως και 22%) φύλλων βρέθηκε σε φυτά που αναπτύχθηκαν σε πετροβάμβακα. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε άμμο, είχαν γενικότερα τη μικρότερη ανάπτυξη. *Στα φυτά που αναπτύχθηκαν σε πετροβάμβακα παρατηρήθηκε αύξηση (διπλάσιο βάρος) στο συνολικό νωπό βάρος σε σχέση με τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε άμμο. Δεν βρέθηκαν διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ως προς την φυλλική επιφάνεια, τα επίπεδα χλωροφύλλης και φθορισμού των φύλλων. Επιπλέον δεν σημειώθηκαν διαφορές ως προς την ξήρανση της κορυφής του σταμναγκαθιού*

μεταξύ των διαφορετικών υποστρωμάτων όπου αναπτύχθηκαν. Τελικώς καλύτερα αποτελέσματα ως προς την ανάπτυξη των φυτών στα υποστρώματα, έδωσε ο πετροβάμβακας όπου το κυριότερο όμως πλεονέκτημα του είναι η ικανότητα που διαθέτει να συγκρατεί πολύ μεγάλες ποσότητες θρεπτικού διαλύματος, μιας και οι πόροι του καταλαμβάνουν περίπου το 96% του όγκου του (Μαυρογιαννόπουλος, 1994), ακολουθούν ο περλίτης και η ελαφρόπετρα όπου δεν σημείωσαν διαφορές μεταξύ τους, και τέλος ακολουθεί η άμμος. Ο πετροβάμβακας όμως, δεν διασπάται στο περιβάλλον μετά την χρησιμοποίησή του, οδηγεί σε εναλλακτική προτεινόμενη λύση και χρήση φιλικότερων μέσων προς το περιβάλλον, όπως αυτή του περλίτη ή της ελαφρόπετρας.

Όμοια συμπεριφορά ως προς την ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας, βρέθηκε όταν χρησιμοποιήθηκε περλίτης και ελαφρόπετρα (Economakidis et al., 2001; Economakidis and Daskalaki, 2005; Tzortzakis and Economakidis, 2005a,b). Ως προς την παραγωγή, τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε πετροβάμβακα παρατηρήθηκε αύξηση (διπλάσιο βάρος σε σχέση με τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε άμμο) στο συνολικό νωπό βάρος σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα ενώ η επίδραση υποστρώματος στην περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία παρουσιάζεται αυξημένη στο υπόστρωμα της άμμου (έως και 32%), σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα.

Οι Wally T. και Barb T. το 1988, αφού είχαν μελετήσει έρευνες ενός ερευνητικού κέντρου στα δυτικά της Σκωτίας όπου η καλλιέργεια τομάτας σε υποστρώματα περλίτη φάνηκε καλύτερη σε σύγκριση με τον πετροβάμβακα, αποφάσισαν να πραγματοποιήσουν τα δικά τους πειράματα πάνω στα υποστρώματα αυτά με φυτά ορχιδέας. Για το πείραμά τους, χρησιμοποίησαν 36 σπορόφυτα *Odontoglossum* που αναπτύχθηκαν σε πετροβάμβακα και περλίτη. Στο τέλος του πρώτου χρόνου

δεν υπήρχε σημαντική διαφορά στην ανάπτυξη τους, σε μετρήσεις όπως το βάρος και το μήκος των φύλλων. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε περλίτη φάνηκε να ξεκινάν την ανάπτυξή τους ελαφρώς πιο αργά αλλά διατηρήθηκαν μέχρι το τέλος του έτους. Το ριζικό συστήματα της ορχιδέας στον περλίτη ήταν πολύ μεγαλύτερο από αυτό του πετροβάμβακα και στα επόμενα χρόνια, τα φυτά που αναπτύσσονταν στα υποστρώματα περλίτη είχαν τόσο καλά αποτελέσματα που η καλλιέργεια στα υποστρώματα πετροβάμβακα εγκαταλείφθηκε την άνοιξη του 1992.

Όπως αναφέρει ο Dr. David A. Hall στο άρθρο του *Role of Perlite in Hydroponic Culture*, ο περλίτης έχει αποδείξει την υπεροχή του στην ικανοποίηση των αναγκών των εμπορικών καλλιεργητών πολλές φορές. Εκτεταμένες δοκιμές για μια περίοδο πολλών ετών στα δυτικά της Σκωτίας στο *Agricultural College* έχει τεκμηριώσει την ανωτερότητα του περλίτη σε σχέση με άλλες μεθόδους υδροπονικής καλλιέργειας. Για παράδειγμα, υδροπονικές καλλιέργειες τομάτας σε περλίτη έχουν δώσει μέσες αποδόσεις 7% υψηλότερες από ό, τι οι καλλιέργειες σε πετροβάμβακα. Εκτός από τη σημαντική αύξηση των αποδόσεων, ο περλίτη είναι ιδιαίτερα εύκολο υπόστρωμα για να διαχειριστεί και προσφέρει πρόσθετα οφέλη.

Ως προς την άρδευση ο περλίτης είναι ανώτερο υπόστρωμα από τον πετροβάμβακα. Το σημαντικό χαρακτηριστικό του περλίτη είναι η ευκολία με την οποία μια σταθερή παροχή νερού και θρεπτικών ουσιών μπορεί να διατηρηθεί στο υπόστρωμα απλά τοποθετώντας το δοχείο των φυτών σε ένα ρηχό δοχείο του θρεπτικού διαλύματος. Η ισχυρή τριχοειδής έλξη που δημιουργεί ο περλίτης απορροφά αυτόματα το νερό και το διάλυμα από τη δεξαμενή με τον ίδιο ρυθμό που τα φυτά το απομακρύνουν. Η ευκολία με την οποία το βέλτιστο επίπεδο υγρασίας μπορεί να διατηρείται γύρω από τις ρίζες είναι το κλειδί για την επιτυχία του περλίτη και είναι ένα σημαντικό

πλεονέκτημα έναντι πετροβάμβακα, το οποίο έχει μικρότερη έλξη στα τριχοειδή. Οι ρίζες στα υποστρώματα περλίτη αερίζονται και ποτίζονται πάντα επαρκώς.

Για να αποφευχθεί η πιθανότητα κατακράτησης νερού σε χρησιμοποιημένο υπόστρωμα πετροβάμβακα πρέπει να δημιουργούνται σχισμές για να απορρέει το θρεπτικό διάλυμα. Αυτή η συνεχής σπατάλη νερού και λιπασμάτων αυξάνει το κόστος κάτι που στον περλίτη δε γίνεται.

Όσον αφορά την επαναχρησιμοποίηση ο περλίτης είναι φυσικό προϊόν και, αντίθετα από τον πετροβάμβακα, διατηρεί την εξαιρετική ισορροπία αέρα / νερού για πολλά χρόνια, αν χρησιμοποιείται με προσοχή. Μερικοί καλλιεργητές έχουν χρησιμοποιήσει περλίτη σε ντομάτες περισσότερες από μία καλλιεργητική περίοδο και στη συνέχεια τον έχουν χρησιμοποιήσει σε γλάστρες ως μείγμα ή και για βελτίωση του εδάφους. Όταν βέβαια ο περλίτης επαναχρησιμοποιείται, η αποστείρωση είναι απαραίτητη.

Οι M.K. Schon και M. Peggy Compton στο άρθρο τους με τίτλο *The comparison of Cucumbers Grown in Rockwool or Perlite at Two Leaching Fractions* γράφουν ότι στο υπόστρωμα του περλίτη οι αποδόσεις (αριθμός καρπών και φρούτων συνολική μάζα) ήταν υψηλότερες από τα φυτά που καλλιεργούνται σε πετροβάμβακα κατά 29%.

2.2. Χρήση αισθητήρων μέτρησης παραμέτρων υποστρώματος στο πλαίσιο της διαχείρισης άρδευσης σε υδροπονικές καλλιέργειες

Σύμφωνα με τον Schroeder (2002) η καλύτερη προσέγγιση για τον αυτόματο έλεγχο της άρδευσης είναι η χρήση μετρήσεων των κατάλληλων παραμέτρων του υποστρώματος (εδάφους ή άλλου). Ο Stadiot (2001) αναφέρει ότι διατηρώντας διαφορές μεταξύ υγρασίας νύκτας και ημέρας είναι δυνατό να οδηγηθούν τα φυτά σε παραγωγική ή/και αυξητική ανάπτυξη. Σε πρακτικό επίπεδο η προσπάθεια στο πλαίσιο ενός αποτελεσματικού προγράμματος άρδευσης συνεχίζει να αποσκοπεί στο να διατηρείται η περιεκτικότητα σε υγρασία εντός των ορίων του εύκολα διαθέσιμου νερού (ΕΔΝ). Σε αυτό το πλαίσιο ανά διαστήματα (συχνότητα άρδευσης, που δεν είναι σταθερή στη διάρκεια της ημέρας και εξαρτάται από το ρυθμό ζήτησης νερού από τα φυτά) παρέχεται ποσότητα νερού (δόση άρδευσης, σταθερή που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος¹) ώστε να μένει η υγρασία στο υπόστρωμα εντός των ζητούμενων ορίων και να μπορούν τα φυτά να καλύπτουν τις ανάγκες τους σε νερό (εξατμισοδιαπνοή - ET). Απόλυτη εξίσωση ET και ποσότητας νερού άρδευσης δεν είναι πρακτικά εφαρμόσιμη κυρίως λόγω της αυξανόμενης αλατότητας στην ριζόσφαιρα. Τα φυτά δεν προσλαμβάνουν ορισμένα μη-απαραίτητα ιόντα και έτσι σιγά-σιγά αναπτύσσεται αλατότητα. Για να αποφευχθεί αυτό, περίσσεια ποσότητα νερού πρέπει να παρέχεται μέσω της άρδευσης ώστε να γίνεται απόπλυση των αλάτων που συσσωρεύονται. Με τον τρόπο αυτό και οι ρίζες δεν εκτίθενται σε υπερβολικά χαμηλό ωσμωτικό δυναμικό και το Ψ_{soil} του διαλύματος εντός

¹ Αλλά και από τις δυνατότητες του συστήματος παρασκευής διαλύματος. Π.χ. ένα σύστημα – όπως είναι η τυπική περίπτωση- που παρασκευάζει διάλυμα την ώρα της ζήτησης απαιτεί κάποιο ελάχιστο χρόνο (διάρκεια άρδευσης) ώστε το διάλυμα να σταθεροποιηθεί εντός των προδιαγραφών της συνταγής. Αυτό το πρόβλημα δεν υπάρχει σε συστήματα που αποθηκεύουν θρεπτικό διάλυμα σε δεξαμενές από τις οποίες γίνεται η άρδευση.

του υποστρώματος είναι κοντά σε αυτό του θρεπτικού διαλύματος (νερού υπό τη γενική έννοια) άρδευσης (Ravin κ.α., 2002).

Οι περισσότεροι αισθητήρες μέτρησης της υγρασίας σχετίζονται κάποιο ηλεκτρικό, φυσικό ή χημικό φαινόμενο με την ποσότητα νερού στο υπόστρωμα. Η πιο απλή εκδοχή τέτοιων αισθητήρων περιλαμβάνει ένα πορώδες σώμα στο οποίο είναι ενσωματωμένα δύο ηλεκτρόδια (electrical conductance sensors). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ των ηλεκτροδίων σχετίζεται με τα επίπεδα υγρασίας, αλλά δυστυχώς και με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του νερού. Για το λόγο αυτό οι αισθητήρες αυτού του τύπου έχουν προβλήματα εφαρμογής σε καλλιέργειες εκτός εδάφους (π.χ. σε συστήματα υδροπονίας). Παρόμοιο πρόβλημα -αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό- παρατηρείται και σε άλλες τεχνολογίες μέτρησης της εδαφικής υγρασίας όπως π.χ. αισθητήρες μέτρησης της ισχύος ανάκλασης στο πεδίο του χρόνου (TDR - time domain reflectometry) και μέτρησης της ισχύος ανάκλασης στο πεδίο των συχνοτήτων (FDR - frequency domain reflectometry). Τα тенσιόμετρα από την άλλη πλευρά δεν επηρεάζονται από την αλατότητα αλλά έχουν υψηλότερες απαιτήσεις συντήρησης. Εάν είναι γνωστή η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας του υποστρώματος μπορεί η ένδειξη του тенσιόμετρου (μύζηση) να μετατραπεί στην αντίστοιχη υγρασία. Συνήθως στα αυτόματα συστήματα ελέγχου άρδευσης συνδέεται ένας τέτοιος αισθητήρας ανά αρδευτική ζώνη (στάση) και για το λόγο αυτό η θέση του πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική για όλη την περιοχή που καλύπτει. Σε πολλές περιπτώσεις τα αυτόματα συστήματα ελέγχου άρδευσης συνδυάζουν αισθητήρες παραμέτρων υποστρώματος με μετρήσεις παραμέτρων του μικροκλίματος ή/και των φυτών στο πλαίσιο πολυπαραμετρικών μοντέλων για τον αυτόματο έλεγχο της άρδευσης.

Σε κάθε περίπτωση το θέμα της ανάπτυξης καλύτερων αισθητήρων για τον έλεγχο της άρδευσης με βάση την υγρασία (ή και άλλες παραμέτρους) του υποστρώματος παραμένει ανοικτό. Σε αυτό το πλαίσιο δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ποτέ ότι όσο πιο πολύπλοκη και απαιτητική σε συντήρηση και γνώσεις είναι μία προσέγγιση τόσο πιο δύσκολο είναι να εφαρμοστεί σε ευρεία κλίμακα στην πράξη.

Παραδείγματα εφαρμογών και αισθητήρων για άρδευση σε καλλιέργειες εκτός εδάφους

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων μέτρησης παραμέτρων υποστρώματος που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το αυτόματο έλεγχο της άρδευσης. Η πιο ευρεία εφαρμογή αφορά αισθητήρες που άμεσα ή έμμεσα δίνουν πληροφορία σχετικά με τα επίπεδα υγρασίας στο υπόστρωμα. Ο Muñoz-Carpena (2009) αλλά και οι Pardossi κ.α. (2009) σε πρόσφατα άρθρο ανασκόπησης παραθέτουν όλες τις τελευταίες εξελίξεις σχετικά με την χρήση αισθητήρων υγρασίας για εδάφη και υποστρώματα. Στην συνέχεια γίνεται πολύ συνοπτική παρουσίαση των ευρύτερα χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών που έχουν δυνατότητα αποτελεσματικής εφαρμογής σε παραγωγικές συνθήκες (για παράδειγμα δεν παρουσιάζονται η μέθοδος νετρονίων, αισθητήρες μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, αισθητήρες θερμικής αγωγιμότητας, ψυχρόμετρα εδάφους κ.ο.κ.).

Αισθητήρες μέτρησης τάσης - Τενσιόμετρα (Tensiometer)

Η χρήση τενσιόμετρων είναι μία μέθοδος που εφαρμόζεται εδώ και δεκαετίες για τον έλεγχο της άρδευσης σε καλλιέργειες στο χώμα. (Lieth και Oki, 2007; Muñoz-Carpena, 2009; Pardossi κ.α., 2009). Το τενσιόμετρο είναι μία συσκευή που μετρά δυναμικό πλέγματος (matric potential) ή μύζηση υγρασίας (moisture tension). Αποτελείται από ένα σωλήνα με μία πορώδη

κεραμική τάπα στο ένα άκρο και ένα μετρητή πίεσης στο άλλο (μπορεί να δίνει και ηλεκτρικό σήμα). Ο σωλήνας γεμίζει με νερό και η συσκευή σφραγίζεται και τοποθετείται στο υπόστρωμα (οριζόντια, κατακόρυφα ή με οποιαδήποτε γωνία) έτσι ώστε η κεραμική τάπα να βρίσκεται στο βάθος που ενδιαφέρει.

Λαμβάνοντας υπόψη και την ομοιομορφία εφαρμογής του συστήματος αλλά και τις αποστάσεις από φυτά και σταλάκτες τα тенσιόμετρα πρέπει να τοποθετούνται σε χαρακτηριστικά για κάθε ζώνη ή στάση άρδευσης σημεία. Τенσιόμετρα με κεραμικές τάπες υψηλής ροής αντιδρούν γρήγορα σε αλλαγές στην υγρασία και έτσι είναι περισσότερο κατάλληλα για υποστρώματα υδροπονίας (Munoz-Carpena κ.α., 2005). Μία κοινή εφαρμογή χρήσης των тенσιόμετρων είναι η χρήση του σήματος για την παρεμπόδιση της άρδευσης εάν δεν πέσει η υγρασία κάτω από ένα ορισμένο σημείο. Μια περισσότερο πολύπλοκη προσέγγιση αφορά δύο σημεία αναφοράς: ένα σημείο υψηλής μύζησης που αντιπροσωπεύει το χαμηλό όριο υγρασίας και ενεργοποιεί την άρδευση και ένα σημείο χαμηλής μύζησης που αντιπροσωπεύει το υψηλό όριο υγρασίας και ορίζει τον τερματισμό της άρδευσης (η τη συνέχισή της για κάποιο ορισμένο χρονικό διάστημα επιπλέον ώστε να επιτευχθεί και το ζητούμενο ποσοστό απορροής). Το ζήτημα είναι ότι η ένταση διαβροχής του συστήματος άρδευσης πρέπει να είναι αρκετά χαμηλή ώστε να μπορεί το тенσιόμετρο να ακολουθεί τις αλλαγές στην υγρασία του υποστρώματος (αυτό μπορεί να επιτευχθεί και εφαρμόζοντας την άρδευση με παλμούς). Τέλος ο έλεγχος με тенσιόμετρα πρέπει να περιλαμβάνει και μία σειρά από ειδοποιήσεις που μπορεί να σχετίζονται με προβλήματα στο σύστημα άρδευσης. Για παράδειγμα σε περίπτωση που παρουσιάζονται πολύ υψηλές τιμές μύζησης.

Γενικές τιμές των ορίων αυτών για υποστρώματα είναι τα 1 και 5kPa. Βέβαια για κάθε υπόστρωμα χρειάζεται αξιολόγηση και αντίστοιχη ρύθμιση

των ορίων. Σύμφωνα με τους Lieth και Oki (2007) για ορισμένα υποστρώματα συμπεριλαμβανομένων του πετροβάμβακα και του περλίτη δεν έχει αποδειχθεί κατά πόσο η χρήση των тенσιομέτρων είναι αποτελεσματική. Ο κύριος λόγος για αυτό ίσως σχετίζεται με το μεγάλο πορώδες των υποστρωμάτων αυτών (> 80% σε σχέση με το σχεδόν 50 των κοινών εδαφών) που έχει ως αποτέλεσμα την μέτρια επαφή μεταξύ υποστρώματος και κεραμικής τάπας (Pardossi κ.α., 2009).

Στα πλεονεκτήματα των тенσιομέτρων συγκαταλέγονται τα ακόλουθα (Muñoz-Carpena, 2009):

- ➔ Άμεση μέτρηση της ζητούμενης ιδιότητας (τάση)
- ➔ Περιοχή δείγματος σφαιρική με διάμετρο έως και 10cm
- ➔ Δεν επηρεάζεται από την αλατότητα του υποστρώματος
- ➔ Δυνατότητα συνεχών μετρήσεων με καταγραφή σε datalogger
- ➔ Απλή και φθηνή κατασκευή με απλοϊκές ανάγκες συντήρησης

Ως μειονεκτήματα αναφέρονται τα ακόλουθα (Muñoz-Carpena, 2009):

- ➔ Μικρό εύρος μέτρησης μύζησης (< 1bar)
- ➔ Σχετικά χαμηλός χρόνος απόκρισης
- ➔ Ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση ώστε να γεμίζει με νερό όταν χρειάζεται

Αισθητήρες μέτρησης διηλεκτρικής χωρητικότητας (Dielectric Capacitance)

Οι μέθοδοι υπολογισμού της υγρασίας στα υποστρώματα μέσω μετρήσεων της διηλεκτρικής χωρητικότητας ή περατότητας (dielectric capacitance ή dielectric permittivity) αποκτούν όλο και περισσότερες εφαρμογές στην πράξη επειδή έχουν πολύ γρήγορη απόκριση ενώ μπορούν παράλληλα σε ορισμένες περιπτώσεις να μετρήσουν και την αλατότητα-ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του υποστρώματος (Lieth και Oki, 2007; Muñoz-Carpena, 2009). Η έμμεση αυτή μέθοδος βασίζεται στην μέτρηση της διηλεκτρικής χωρητικότητας η οποία καθορίζει την ταχύτητα ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος ή παλμού μέσω του εδάφους. Προφανώς όλα τα υλικά που υπάρχουν στο έδαφος επηρεάζουν την διηλεκτρική σταθερά αλλά από τη στιγμή που η τιμή της για το νερό είναι πολύ μεγαλύτερη από τα υπόλοιπα υλικά (81 για το νερό, 2-5 για τα εδαφικά σωματίδια των περισσότερων εδαφών και 1 για τον αέρα), το περιεχόμενο σε νερό ευθύνεται κυρίως για την τελική της τιμή. Όλες οι μέθοδοι μέτρησης διηλεκτρικής χωρητικότητας χρησιμοποιούν εμπειρικά μοντέλα για την εκτίμηση του περιεχομένου σε νερό μέσω της μέτρησης της του σήματος εξόδου. Οι βασικότερες από αυτές είναι οι ακόλουθες (Pardossi κ.α., 2009; Muñoz-Carpena, 2009):

Μέτρηση της ισχύος ανάκλασης στο πεδίο του χρόνου (Time domain reflectometry - TDR)

Μέτρηση πεδίου συχνότητας (Frequency domain - FD) με δύο βασικές τεχνικές: χωρητικότητα (Capacitance) και μέτρηση της ισχύος ανάκλασης στο πεδίο των συχνοτήτων (Frequency Domain Reflectometry - FDR)

Μέτρηση εύρους ανάκλασης (Amplitude Domain Reflectometry - ADR)

Σημειώνεται ότι οι αισθητήρες FD και TDR μετρούν με κατάλληλες τροποποιήσεις και τάση πλέγματος (ψ) (Pardossi κ.α., 2009).

Μέτρηση της ισχύος ανάκλασης στο πεδίο του χρόνου (Time domain reflectometry - TDR)

Η τεχνική TDR χρησιμοποιεί παράλληλα μεταλλικά στοιχεία (οδηγούς κύματος) για να μεταφέρει έναν ηλεκτρομαγνητικό παλμό στο υπόστρωμα. Ο χρόνος που χρειάζεται οι παλμός ώστε να κινηθεί κατά μήκος των οδηγών κύματος είναι συνάρτηση της διηλεκτρικής χωρητικότητας του εδάφους (Dalton και Ross, 1990). Ακόμη η ανάλυση του ηλεκτρομαγνητικού παλμού που επιστέφει μπορεί να δώσει πληροφορίες για την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (Lieth και Oki, 2007). Οι μετρητές TDR έχουν συνήθως 2 ή τρεις παράλληλες μεταλλικές αιχμές ή ακίδες με μήκος από 10 έως 50cm, είναι σχετικά φθηνοί και έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα κυρίως λόγω της απλότητας κατασκευής τους. Ορισμένες εναλλακτικές λύσεις περιλαμβάνουν σπειροειδείς οδηγούς κύματος ώστε να μειωθεί το μήκος των μετρητών (Nissen κ.α., 1998) και ενσωμάτωσή τους σε γύψινα στοιχεία ώστε να μετρούν δυναμικό πλέγματος (Persson κ.α., 2006).

Στα πλεονεκτήματα των αισθητήρων αυτών συγκαταλέγονται τα ακόλουθα (Muñoz-Carpena, 2009):

- ➔ Ακρίβεια ($\pm 0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).
- ➔ Δεν απαιτείται συνήθως βαθμονόμηση για διαφορετικά εδάφη.
- ➔ Δεν έχουν σημαντικές απαιτήσεις συντήρησης.
- ➔ Δεν επηρεάζονται από συνήθη επίπεδα αλατότητας.
- ➔ Μπορούν να μετρούν και την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Στα μειονεκτήματα αναφέρονται (Μυñoz-Carpena, 2009):

- ➔ Το σχετικά μεγάλο κόστος.
- ➔ Μικρή περιοχή δείγματος (περίπου 3cm ακτίνα γύρω από τους οδηγούς κύματος). Βέβαια το τελευταίο μπορεί να είναι και πλεονέκτημα σε ορισμένες εφαρμογές.

Μέτρηση πεδίου συχνότητας (Frequency Domain - FD): Χωρητικότητα (Capacitance) και Μέτρηση της ισχύος ανάκλασης στο πεδίο των συχνοτήτων (Frequency Domain Reflectometry - FDR)

Οι τεχνικές FD είναι παρόμοιες με την TDR. Παρόλα αυτά καθώς η TDR μετρά αλλαγές σε χρονικά χαρακτηριστικά του ηλεκτρομαγνητικού παλμού καθώς ταξιδεύει κατά μήκος των οδηγών κύματος η FD αναλύει αλλαγές στα χαρακτηριστικά συχνότητας του παλμού (Lin, 2003). Το πλεονέκτημα της τεχνολογίας FD σε σχέση με την TDR είναι το ότι μπορεί να χρησιμοποιεί πολύ μικρότερα μήκη κύματος (<10 cm) και το ότι απαιτεί πολύ πιο απλά ηλεκτρονικά (Pardossi κ.α., 2009).

Μία μάζα υποστρώματος (περιοχή δείγματος) με τις μεταλλικές αιχμές ή πλάκες του αισθητήρα που βρίσκονται μέσα του μπορεί να λειτουργήσει ως πυκνωτής (Μυñoz-Carpena, 2009). Ένα παλμοσκόπιο συνδέεται με τα μεταλλικά αυτά στοιχεία του αισθητήρα δημιουργώντας ένα κύκλωμα, οι αλλαγές στην υγρασία του υποστρώματος μπορούν να ανιχνευθούν μέσω των αλλαγών στη συχνότητα λειτουργίας του κυκλώματος. Στους αισθητήρες χωρητικότητας Capacitance η διηλεκτρική περατότητα βρίσκεται μέσω της μέτρησης του χρόνου φόρτισης του πυκνωτή που έχει δημιουργηθεί. Στους αισθητήρες FDR η συχνότητα του παλμοσκόπιου διατρέχει ένα εύρος

συχνοτήτων με σκοπό την εύρεση της συχνότητας συντονισμού (εκεί όπου το εύρος κύματος είναι το μεγαλύτερο) που αποτελεί μέτρο του περιεχομένου σε νερό του υποστρώματος.

Στα πλεονεκτήματα των αισθητήρων αυτών συγκαταλέγονται τα ακόλουθα (Pardossi κ.α., 2009; Μιñoz-Carpena, 2009):

- ➔ Ακρίβεια ($\pm 0,01\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) κατόπιν όμως βαθμονόμησης.
- ➔ Δεν έχουν σημαντικές απαιτήσεις συντήρησης.
- ➔ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε υψηλά επίπεδα αλατότητας (εκεί που τα TDR αποτυγχάνουν).
- ➔ Καλύτερη ανάλυση από τα TDR.
- ➔ Ορισμένοι τέτοιοι αισθητήρες (που χρησιμοποιούν χαμηλές συχνότητες) είναι πολύ φθηνότεροι από τους TDR.

Στα μειονεκτήματα αναφέρονται (Μιñoz-Carpena, 2009):

- ➔ Η βαθμονόμηση είναι απαραίτητα (Baas και Straver, 2001; Morel και Michel, 2004).
- ➔ Η μικρή περιοχή δείγματος. Βέβαια το τελευταίο μπορεί να είναι και πλεονέκτημα σε ορισμένες εφαρμογές.
- ➔ Ότι έχουν την τάση να έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία σε θερμοκρασία, φαινόμενη πυκνότητα, περιεχόμενο σε άργιλο και κενά αέρα σε σχέση με τα TDR.

Μέτρηση εύρους ανάκλασης (Amplitude Domain Reflectometry - ADR)

Η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων αυτών είναι η ακόλουθη (Μυñoz-Carpena, 2009). Όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που ταξιδεύει κατά μήκος μίας γραμμής μετάδοσης συναντήσει ένα επίπεδο αλλαγής αντίστασης, μέρος της ενέργειας του κύματος ανακλάται πίσω προς τον μεταδότη. Το ανακλώμενο κύμα αλληλεπιδρά με το προσπίπτον κύμα παράγοντας μία τάση κατά μήκος της γραμμής μετάδοσης. Αν ο συνδυασμός υποστρώματος - αιχμών αισθητήρα οριοθετούν το επίπεδο αλλαγής αντίστασης, η μέτρηση της διαφοράς μεγέθους των δύο κυμάτων δίνει την αντίσταση υποστρώματος - αισθητήρα.

Στα πλεονεκτήματα των αισθητήρων αυτών συγκαταλέγονται τα ακόλουθα (Μυñoz-Carpena, 2009):

- ➔ Ακρίβεια $\pm 0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ που βελτιώνεται όμως κατόπιν βαθμονόμησης ($\pm 0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).
- ➔ Επιτρέπει μετρήσεις σε πολύ αλατούχα υποστρώματα (έως και 20 dS/m)
- ➔ Σχετικά φθηνοί.
- ➔ Χωρίς επίδραση από τις συνήθεις θερμοκρασίες.

Στα μειονεκτήματα αναφέρονται (Μυñoz-Carpena, 2009):

- ➔ Η μικρή περιοχή δείγματος. Βέβαια το τελευταίο μπορεί να είναι και πλεονέκτημα σε ορισμένες εφαρμογές.
- ➔ Η σημαντική επίδραση που έχουν στις μετρήσεις τα κενά αέρα, τα πετραδάκια ή γενικά μεγάλα τεμάχια στο υπόστρωμα και η κίνηση νερού στην περιοχή δείγματος.

Άλλοι αισθητήρες μέτρησης διηλεκτρικής χωρητικότητας

Γενικά έχουν αναπτυχθεί διάφορες παραλλαγές της τεχνολογίας αυτής. Αναφέρονται (Muñoz-Carpena, 2009) οι **αισθητήρες μετάδοσης φάσης (Phase Transmission - Virrib)** χρονικής επίδρασης μετάδοσης (**Time Domain Transmission - TDT**).

Γενικά συμπεράσματα σχετικά με τους αισθητήρες μέτρησης διηλεκτρικής χωρητικότητας

Η χρήση των αισθητήρων TDR, FD και ADR μπορεί να είναι παρόμοια με αυτή των тенσιόμετρων (Murray κ.α., 2004). Μπορούν να αντιληφθούν τόσο το ξηρό σημείο αναφοράς που σηματοδοτεί την έναρξη της άρδευσης και επειδή έχουν γρήγορη απόκριση μπορούν επίσης να ελέγξουν και τον τερματισμό αυτής (επομένως να ορίσουν την δόση). Η μεγάλη διαφορά με τα тенσιόμετρα βρίσκεται στο ότι μετρούν σε διαφορετικούς άξονες της Χ.Κ.Υ, τα тенσιόμετρα μετρούν μύζηση ενώ τα TDR, FD και ADR περιεχόμενο σε υγρασία. Αυτό μπορεί να είναι πρόβλημα σε υποστρώματα με Χ.Κ.Υ. με πολύ απότομη μεταβολή υγρασίας σε μικρό εύρος μύζησης (όπως ισχύει για τον πετροβάμβακα στα πρώτα cm μύζησης) όπου η ακρίβεια μέτρησης παίζει ιδιαίτερα σοβαρό λόγο.

Αισθητήρες διηλεκτρικής χωρητικότητας (ή περατότητας) για τη μέτρηση εδαφικής υγρασίας όπως ο ML2 ThetaProbe της Delta T και ο 10HS (ή ακόμη καλύτερα ο EC-5 - λόγω μικρότερου όγκου αναφοράς) της Decagon έχουν την δυνατότητα μετά από σχετική βαθμονόμηση να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο άρδευσης σε υδροπονικά συστήματα (Nemali κ.α., 2007; Miralles κ.α., 2010). Όμως σχετικά πειράματα (Thompson κ.α., 2007)² έχουν καταλήξει ότι η χρήση τέτοιων αισθητήρων δεν έχει πάντα

² Σημειώνεται ότι η εργασία τους αφορά καλλιέργειες σε έδαφος.

ικανοποιητική ακρίβεια εξαιτίας θεμάτων που σχετίζονται με το βάθος ριζοστρώματος, την εκτίμηση της υδατοικανότητας και των ορίων του εύκολα διαθέσιμου νερού, την βαθμονόμηση των αισθητήρων αλλά και την ακρίβειά τους στο εύρος τιμών που ενδιαφέρει. Οι ίδιοι ερευνητές (Thompson κ.α., 2007) θεωρούν ότι οι μετρήσεις του υδατικού δυναμικού του εδάφους είναι πολύ πιο ακριβείς όσο αφορά τον προγραμματισμό αρδεύσεων σε λαχανοκομικές καλλιέργειες εντός θερμοκηπίου.

Άλλοι αισθητήρες που σχετίζονται με την υγρασία στο υπόστρωμα

Οι μετρήσεις άλλων παραμέτρων που σχετίζονται με την περιεχόμενη υγρασία στο υπόστρωμα μπορούν να αφορούν την μέτρηση των εισροών (άρδευση) και απορροής που μπορούν να συνδυαστούν με μετρήσεις για υπολογισμό ET ώστε να έχουμε υδατικά ισοζύγια. Στην πράξη έχουν αξιολογηθεί συστήματα που σταματούν την άρδευση όταν η απορροή (leaching fraction) φτάσει σε κάποιο προκαθορισμένο ποσοστό της ποσότητας νερού που παρέχεται (Stanghellini και Van Meurs, 1992).

Μετρήσεις άλλων παραμέτρων στο υπόστρωμα

Σε ορισμένες περιπτώσεις σε μοντέλα διαχείρισης της άρδευσης έχουν ενταχθεί και μετρήσεις θερμοκρασίας του υποστρώματος (Stanghellini και De Lorenzi, 1994).

Ακόμη έχουν αναφερθεί μετρήσεις της EC του νερού στο υπόστρωμα και στην απορροή (Lea-Cox κ.α., 2009). Οι van Iersel κ.α. (2009) έχουν μετρήσει την EC στο διάλυμα του υποστρώματος με αισθητήρα SigmaProbe (Delta T devices, UK). Παράλληλα μετρούσαν και την υγρασία στο υπόστρωμα με αισθητήρες EC-5 (Decagon, Pullman, WA). Οι Sanchez-Guerrero κ.α. (2009) αξιολόγησαν έλεγχο άρδευσης με στόχο τη διατήρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην απορροή σε σταθερά επίπεδα ($EC = 2.5$

dSm-1) την οποία μετρούσαν με φορητό αγωγιμόμετρο (HI8733, Hanna Instruments, Germany) νωρίς κάθε πρωί.

Μία άλλη προτεινόμενη τεχνική ελέγχου για εφαρμογή σε υδροπονικά συστήματα είναι η σύγκριση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης και αυτής του διαλύματος απορροής. Συνήθως η απορροή είναι της τάξης του 20% του εφαρμοζόμενου όγκου νερού και η EC του διαλύματος απορροής δεν πρέπει να διαφέρει περισσότερο από 1 dSm-1 σε σχέση με το διάλυμα άρδευσης. Εάν η EC της απορροής είναι μεγαλύτερη, αυτό δείχνει ανεπαρκή άρδευση μια και τα φυτά χρησιμοποιούν γρήγορα νερό και τα ιόντα συγκεντρώνονται στο διάλυμα απορροής (Hochmuth, 2001).

Υπερ και κατά των διαφόρων τρόπων ελέγχου μέσω αισθητήρων

Τα υδραυλικά τενσιόμετρα αποκρίνονται στην τάση συγκράτησης και επομένως μετρούν ακριβώς την μύζηση που πρέπει να καταβάλουν τα φυτά για να αποσπάσουν νερό από το έδαφος. Έχουν μεγαλύτερη ανάλυση σε στεγνότερα υποστρώματα και οι μετρήσεις που δίνουν είναι ελάχιστα ευαίσθητες στον τύπο του υποστρώματος (δεν απαιτείται βαθμονόμηση για κάθε υπόστρωμα) και στην αλατότητα (Thompson κ.α., 2007). Από την άλλη έχουν περισσότερες απαιτήσεις συντήρησης και σε πολύ ξηρά εδάφη δεν δίνουν ακριβείς μετρήσεις. Οι διηλεκτρικοί αισθητήρες για μέτρηση της τάσης πλέγματος (ψ) έχουν καλύτερη ανάλυση σε μεγάλες περιεκτικότητες σε νερό (0,15 - 0,40 m³ m⁻³ ή και μεγαλύτερες για τεχνητά υποστρώματα με μεγάλο πορώδες), και δεν απαιτούν πολύ συντήρηση. Από την άλλη χρειάζονται βαθμονόμηση για κάθε τύπο υποστρώματος και επηρεάζονται πολύ από την έλλειψη ομοιομορφίας και για το λόγο αυτό συμπεριφέρονται καλύτερα σε ομοιογενή μέσα όπως η άμμος ή ο πετροβάμβακας (Pardossi κ.α., 2009).

Από την άλλη τα τενσιόμετρα έχουν νερό στο εσωτερικό τους το οποίο υπό συνθήκες ισχυρής τάσης συγκράτησης μπορεί να εξέλθει από το όργανο (στις εφαρμογές υδροπονίας όμως αυτό δεν είναι εύκολο να συμβεί). Επομένως όπου αναμένεται να υπάρχουν ισχυρές τέτοιες τάσεις το όργανο χρειάζεται συχνή παρακολούθηση και συντήρηση.

Οι αισθητήρες ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι γενικά φθηνότεροι από τα τενσιόμετρα και απαιτούν λιγότερη φροντίδα. Από την άλλη επηρεάζονται σημαντικά από την αλατότητα -ακόμη και σε κανονικές συγκεντρώσεις λιπασμάτων- και έχουν μεγάλο χρόνο απόκρισης στις αλλαγές της υγρασίας. Επομένως δεν είναι κατάλληλοι για χρήση σε υποστρώματα.

Οι αισθητήρες διηλεκτρικής χωρητικότητας είναι γενικά περισσότερο πολύπλοκοι όσο αφορά τα ηλεκτρονικά. Για το λόγο αυτό κοστίζουν αρκετά περισσότερο. Βέβαια η τάση είναι να γίνονται όλο και πιο απλοί και φθινοί και έτσι βρίσκουν όλο και περισσότερο εφαρμογή σε παραγωγικές εγκαταστάσεις. Οι αισθητήρες αυτοί έχουν μεγάλη επαναληψιμότητα αλλά η ακρίβειά τους δεν είναι πολύ υψηλή (κυρίως λόγω σφαλμάτων βαθμονόμησης και επίδρασης ετερογένειας του υποστρώματος) (Pardossi κ.α., 2009).

Γενικά πολλές από τις τεχνολογίες αισθητήρων υγρασίας που κατασκευάστηκαν αρχικά για χρήση στο έδαφος, δεν πέτυχαν καλά αποτελέσματα σε υποστρώματα καλλιέργειας (Lea-Cox κ.α., 2009). Ο Muñoz-Carpena (2009) προτείνει μία μέθοδο επιλογής, βάση της οποίας υπολογίζει ένα τελικό δείκτη χαρακτηρισμού του αισθητήρα μέσω των απαντήσεων σε μία σειρά ερωτήσεων που αφορούν: το εύρος μετρήσεων, την ακρίβεια, την επαναληψιμότητα, τον τρόπο μεταφοράς των δεδομένων, τις απαιτήσεις συντήρησης και προφανώς το κόστος αγοράς.

2.3. Σκοπός της εργασίας

Σκοπό της παρούσας πτυχιακής διατριβής αποτέλεσε η μελέτη και η καταγραφή των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας θερμοκηπιακής τομάτας σε υδροπονική καλλιέργεια σε υπόστρωμα περλίτη και πετροβάμβακα. Μέσω του πειράματος που διεξήχθη προέκυψαν συμπεράσματα για την συμπεριφορά των υπό μελέτη υποστρωμάτων στο μεσογειακό κλίμα της περιοχής μας στην ανάπτυξη των φυτών τομάτας.

Κεφάλαιο 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Τοποθεσία του πειράματος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από τον Δεκέμβρη του 2010 έως τον Απρίλη του 2011 στο Βελεστίνο του Νομού Μαγνησίας, όπου βρίσκονται οι εγκαταστάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στα Θερμοκήπια του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος. Το αγρόκτημα απέχει 17 km από τον Βόλο, το υψόμετρο της περιοχής είναι 85 m και βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ} 44'$ και γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 79'$. Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό - Ηπειρωτικό, με ήπιους χειμώνες και ξηροθερμικές συνθήκες το καλοκαίρι. Όσον αφορά την μέση θερμοκρασία, αυτή κυμαίνεται από $4^{\circ} C$ κατά τον ψυχρότερο μήνα και $37^{\circ} C$ περίπου τον θερμότερο μήνα.

3.2. Περιγραφή Θερμοκηπίου

Για την εκτέλεση του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένα τροποποιημένο τοξωτό απλό θερμοκήπιο, επιφάνειας $160 m^2$. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου ήταν: μήκος 20 m, πλάτος 8m, ύψος ορθοστάτη 2,4 m και ύψος κορυφιά 4,1 m. Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφανές, διπλής όψεως άσπρο πλαστικό. Το υλικό του σκελετού ήταν γαλβανισμένος χάλυβας ενώ ως υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκαν φύλλα πολυαιθυλενίου. Η μέση περατότητα του πλαστικού φιλμ κάλυψης κατά την περίοδο μετρήσεων βρέθηκε ίση με 75%.



Εικ. 3.1. Το θερμοκήπιο που πραγματοποιήθηκε το πείραμα.

3.4. Αερισμός

Ο αερισμός του θερμοκηπίου πραγματοποιούνταν από πλαϊνά ανοίγματα, που βρίσκονταν κατά μήκος των 2 μεγάλων πλευρών, με διαστάσεις $0,9 \text{ m} * 15 \text{ m}$ έκαστο, καθώς και από ένα άνοιγμα στην οροφή, διαστάσεων, διαστάσεων $0,8 \text{ m} * 20 \text{ m}$. Τα παράθυρα αερισμού, άνοιγαν με βάση την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Τόσο το άνοιγμα οροφής όσο και τα πλαϊνά ανοίγματα, άνοιγαν όταν η θερμοκρασία ήταν μεγαλύτερη από 30°C και 21°C αντίστοιχα. Στα πλαϊνά ανοίγματα ήταν εγκατεστημένο εντομοστεγανό δίχτυ. Το όριο για τη θερμοκρασία ημέρας είχε οριστεί στους 15°C για το αερόθερμο και στους 14°C για την επιδαπέδια θέρμανση ενώ το όριο για τη θερμοκρασία νύχτας ήταν 10°C και για τα δύο συστήματα. Ο αναμικτήρας αέρα λειτουργούσε όταν η υγρασία ήταν πάνω από 75% την ημέρα και 50% την νύχτα.

Ο αερισμός γινόταν και για λόγους αφύγρανσης του θερμοκηπίου, ανεξαρτήτως της εσωτερικής θερμοκρασίας του αέρα. Στην περίπτωση αυτή είτε ορίζονταν συγκεκριμένες ώρες ανοίγματος των παραθύρων, ανεξαρτήτως των κλιματικών συνθηκών που επικρατούσαν εντός του θερμοκηπίου, είτε εξετάζονταν οι τιμές της σχετικής υγρασίας, του ελλείμματος κορεσμού, και λοιπών παραμέτρων.



Εικ . 3.2. ο αερισμός του θερμοκηπίου στην περιοχή του Βελεστίνου

3.5. Θέρμανση

Για την θέρμανση του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε ένας καυστήρας πετρελαίου ισχύος 50kW. Ο λεβητοκαυστήρας ήταν τοποθετημένος μέσα στο θερμοκήπιο και χρησίμευε στην παραγωγή ζεστού νερού. Η θέρμανση γινόταν με αερόθερμο το οποίο είχε τοποθετηθεί σε απόσταση 2,5 m από το έδαφος του θερμοκηπίου και με εύκαμπτους σωλήνες διανομής διαμέτρου 25 mm που είχαν τοποθετηθεί επάνω στο έδαφος, κοντά στα φυτά. Το αερόθερμο και οι σωλήνες τροφοδοτούσαν από το ζεστό που παρήγαγε ο καυστήρας. Μέσα στο θερμοκήπιο υπήρχε και ένας θερμοστάτης, τοποθετημένος στο κέντρο του θερμοκηπίου, 2 m πάνω από το έδαφος (στο ύψος του φυλλώματος περίπου), ο οποίος έλεγχε την θερμοκρασία του αέρα. Η επιθυμητή θερμοκρασία κατά την διάρκεια της ημέρας ήταν 21° C και κατά την διάρκεια της νύχτας 15° C. Όταν η θερμοκρασία του θερμοκηπίου έπεφτε κάτω από τις επιθυμητές θερμοκρασίες, τότε ο θερμοστάτης έκλεινε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και ενεργοποιούσε την κυκλοφορία του ζεστού νερού. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία του αέρα υπερέβαινε τις επιθυμητές θερμοκρασίες τότε ο

Θερμοστάτης άνοιγε το ηλεκτρικό κύκλωμα με αποτέλεσμα η παραγωγή και η μεταφορά της Θερμοκρασίας να σταματά.



Εικ. 3.3. Οι σωλήνες θέρμανσης

3.6. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Στις 14/12/10 φτιάξαμε διάλυμα με τη βοήθεια του Excel γνωρίζοντας τη χημική ανάλυση του νερού.

Στις 15/12/10 τοποθετήσαμε τα σπορόφυτα σε υποστρώματα περλίτη και πετροβάμβακα καθώς και σύστημα άρδευσης. Τέλος, κρεμάσαμε δεματικά φυτών τύπου Α και αισθητήρια όργανα.

Για τη διεκπεραίωση του πειράματος, χρησιμοποιήθηκαν φυτά ντομάτας *Lycopersicon esculentum*, var. *Belladonna*. Το υβρίδιο αυτό είναι τύπου *cluster*, αυτογονιμοποιούμενο, απεριόριστης ανάπτυξης και ο καρπός του χαρακτηρίζεται από μεγάλη διάρκεια ζωής. Τα φυτά όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τοποθετήθηκαν σε κύβους μεταφύτευσης σε περλίτη και πετροβάμβακα. Υπήρχαν 4 κανάλια με σάκους περλίτη και 4 κανάλια με σάκους πετροβάμβακα (Εικόνα). Σε κάθε κανάλι ήταν τοποθετημένοι 17 σάκοι. Στους μισούς σάκους υπήρχαν 2 και στους άλλους μισούς 3 φυτά τομάτας (στην περίπτωση αυτή η απόσταση φύτευσης ήταν 33cm). Η συνολική πυκνότητα φύτευσης ήταν 2,125 φυτά m⁻².

3.7. Επιλογή φυτών - Υποστρώματα

Από το θερμοκήπιο επιλέχθηκαν τυχαία 12 φυτά, 6 φυτεμένα σε υποστρώματα περλίτη ISOCON Perloflor Hydro 1 με διαστάσεις σάκου: μήκος 1 m, ύψος 16 cm, πλάτος 24 cm) και 6 σε υπόστρωμα πετροβάμβακα τύπου GRODAN Expert με διαστάσεις σάκου: μήκος 1 m, ύψος 7,5 cm, πλάτος 15 cm.



Εικ.3.5 περλίτης

Εικ. 3.6. πετροβάμβακας

Η τοποθέτηση των υποστρωμάτων έγινε σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή (ο πετροβάμβακας τοποθετήθηκε με την πλευρά που υποδεικνύεται ως επάνω, έγινε μεταφύτευση και εγκατάσταση του αρδευτικού, ακολούθησε άρδευση με σκοπό τον κορεσμό (να γεμίσει με νερό το υπόστρωμα) και μετά από 48 ώρες έγιναν τομές απορροής ανά διαστήματα και όσο το δυνατόν χαμηλότερα, πρακτικά στη βάση κάθε σάκου). Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 102 σάκοι, οι οποίοι είχαν τοποθετηθεί πάνω σε πάγκους, ύψους 0,5 πάνω από το έδαφος. Για την υποβοήθηση της στράγγισης οι πάγκοι είχαν 1-2% κλίση.

3.8. Καλλιεργητικές επεμβάσεις

Για την ανάπτυξη της καλλιέργειας ακολουθήθηκαν οι συνήθειες καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται στα εμπορικά θερμοκήπια, δηλαδή διατήρηση ενός βλαστού ανά φυτό και 5 καρποί σε κάθε ταξικαρπία. Για την υποστήριξη των φυτών χρησιμοποιήθηκαν πλαστικοί σπάγκοι, οι οποίοι ήταν δεμένοι σε οριζόντια σύρματα που υπήρχαν εντός του θερμοκηπίου.

Καθόλη την διάρκεια του πειράματος πραγματοποιούνταν τακτική αφαίρεση των πλάγιων βλαστών, χειρωνακτικά. Επίσης, μετά την συγκομιδή των βλαστών κάθε ταξικαρπίας αφαιρούνταν τα υποκείμενα φύλλα (αποφύλλωση). Αυτό συνέβαλε στην μείωση της υγρασίας στα κατώτερα μέλη των φυτών (δηλαδή προαγόταν ο αερισμός) και συνεπώς δτην αποφυγή ανάπτυξης ασθενειών, στην αύξηση της ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας και στην ταχύτερη ωρίμανση των καρπών. Για την καλύτερη γονιμοποίηση των ανθέων είχαν τοποθετηθεί μία κυψέλη με έντομα του γένους *Bombus terrestris*.

Για τον έλεγχο εντόμων, είχαν τοποθετηθεί στο θερμοκήπιο παγίδες κόλλας κίτρινου χρώματος για τον έλεγχο του αλευρώδη, της λυριόμυζας και της αγίδας και μπλε για τον θρίπα. Τέλος πραγματοποιήθηκε κορυφολόγημα των φυτών πριν την όγδοη (1,5 μήνα πριν το τέλος της συγκομιδής) ταξιανθία, προκειμένου να ωριμάσουν γρηγορότερα οι ήδη υπάρχοντες, στα φυτά, καρποί και για να σταματήσει η παραγωγή νέων φύλλων και ταξιανθών, που δεν θα προλάβαιναν να ωριμάσουν.

Άρδευση - Λίπανση

Εφαρμόστηκε ανοικτό υδροπονικό σύστημα. Η άρδευση γινόταν με θρεπτικό διάλυμα με χαρακτηριστικά: pH 5,5 και EC 2,4 dS m⁻¹ (οι τιμές αυτές

βρίσκονται εντός των αποδεκτών ορίων για υδροπονική καλλιέργεια τομάτας (Li κ.α., 2001, Lizarraga κ.α., 2003, Lee, 2010). Χρησιμοποιήθηκε σύστημα στάγδην άρδευσης με αυτό-ρυθμιζόμενους σταλάκτες παροχής 2 l h^{-1} . Οι σωληνώσεις που οδηγούσαν το θρεπτικό διάλυμα από τις δεξαμενές στους σταλάκτες και από εκεί στα φυτά ήταν κατασκευασμένες από PVC. Τοποθετήθηκε ένας σταλάκτης ανά φυτό.

Οι σταλάκτες ήταν τύπου στενής οπής, με παροχή 1 L/h . Εκτιμήσεις ομοιομορφίας του συστήματος σύμφωνα με την μεθοδολογία σχετικών προδιαγραφών (ASAE, 1996) κατέγραψαν τιμές του CU της τάξης του 95%. Η δόση και η διάρκεια της άρδευσης και η ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος ελέγχονταν αυτόματα με το πρόγραμμα *Management and Control for Quality in Greenhouse (MACQU)*. (Geomations A.E.).

Η άρδευση βασιζόταν στην ηλιακή ακτινοβολία και πραγματοποιούνταν όταν η διαπνοή των φυτών ξεπερνούσε τα 150 ml για τον περλίτη και τα 240 και 180 ml για τον πετροβάμβακα τύπου Expert. Ο ρυθμός απορροής dr διατηρούνταν στα 35% περίπου. Η ποσότητα νερού που εμφανιζόταν υπολογίστηκε από την παρακάτω σχέση:

$$E = TR/(1-dr)$$

Όπου:

E: το σύνολο του νερού που εφαρμοζόταν (kg/m^2) και

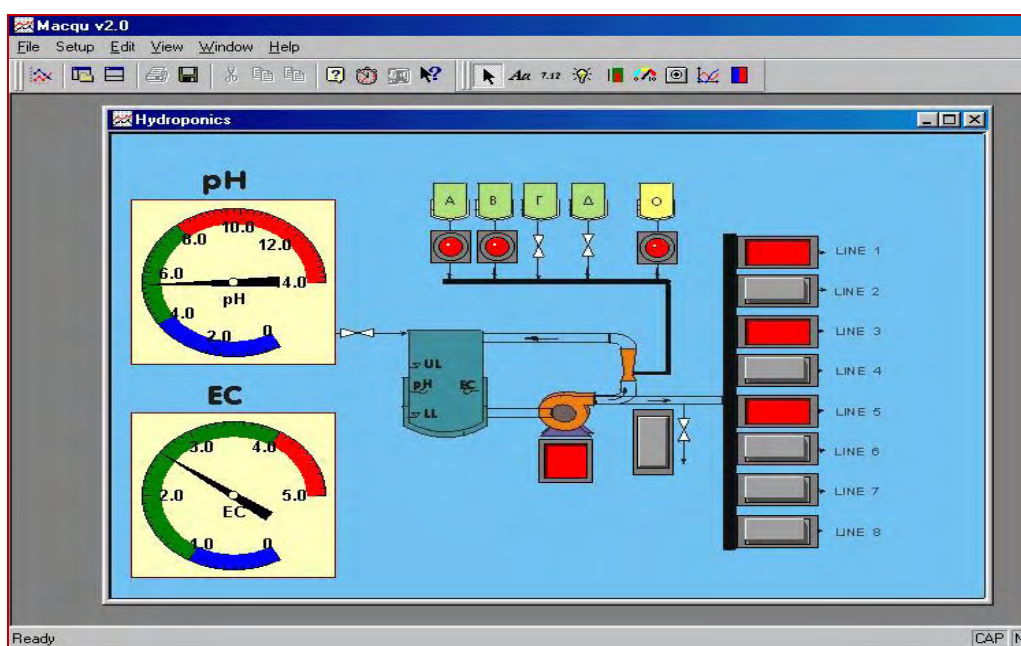
TR: η διαπνοή της καλλιέργειας ($\text{kg/m}^2\text{s}$)

Η διαπνοή (TR) υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$TR = A * R_{go}$$

Όπου R_0 η ενέργεια από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (Kj/m^2*s) και $A = K_c * \tau * a / \lambda$ όπου K_c ο καλλιεργητικός συντελεστής, τ ο συντελεστής διαπερατότητας του καλύμματος του θερμοκηπίου, a ο συντελεστής εξάτμισης και λ η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης σε J/kg .

Η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος πραγματοποιούνταν με την χρήση Η/Υ με κατάλληλο λογισμικό (MACQU), μιας σειράς δοσομετρικών αντλιών, ενός pHμέτρου, ενός αγωγιμομέτρου και τριών δεξαμενών. Το pH του θρεπτικού διαλύματος ήταν 5,6 και η τιμή της ηλεκτρικής του αγωγιμότητας (EC) ανερχόταν στα 2,1 dSm-1.



Εικ. 3.7. Λογισμικό MACQU

3.9. Περιγραφή μετρήσεων

Μετρήσεις αύξησης και ανάπτυξης

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν κάθε 25 περίπου ημέρες, στις παρακάτω ημερομηνίες:

- ❖ 18/01/11
- ❖ 03/02/11
- ❖ 02/03/11
- ❖ 23/03/11
- ❖ 29/04/11

Για τις μετρήσεις επιλέθηκαν 6 φυτά ανά υπόστρωμα δηλαδή 12 φυτά στο θερμοκήπιο και σε κάθε μέτρηση γινόταν καταγραφή:

- του ύψους των φυτών
- του αριθμού των ταξιανθιών
- του αριθμού των φύλλων κάτω από τις ταξιανθίες
- του μήκους του μεσαίου φύλλου κάτω από κάθε ταξιανθία
- του βάρους της δόσης άρδευσης από το σταλλάκτη
- του βάρους της δόσης άρδευσης από το σάκο (με σύριγγα)
- του pH
- της ηλεκτρικής αγωγιμότητας
- του αριθμού των καρπών και
- του βάρους τους.

Στο πλαίσιο των μετρήσεων εφαρμόστηκε μία σειρά από προγράμματα άρδευσης. Στην αρχή εφαρμόστηκε ένα εμπειρικό χρονικό πρόγραμμα ενώ στην συνέχεια τόσο το χρονικό όσο και το πρόγραμμα με συγκέντρωση ενέργειας από ηλιακή ακτινοβολία βασίστηκαν σε υπολογισμούς στο πλαίσιο της προσέγγισης που έχει ήδη παρουσιαστεί στο κεφάλαιο για τα υλικά, μέθοδοι και τεχνικές (Katsoulas κ.α., 2006). Οι στόχοι που τέθηκαν ήταν οι ακόλουθοι:

Πρέπει πρώτα να υπάρχει εξατμισοδιαπνοή από την καλλιέργεια και στην συνέχεια να αναπληρώνεται η αντίστοιχη ποσότητα νερού μέσω άρδευσης.

Η συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας για την σηματοδότηση έναρξης άρδευσης έπρεπε να είναι στα επίπεδα που συστήνονται στη βιβλιογραφία (λαμβάνομένου υπόψη του τόπου, της εποχής και της θέσης μέτρησης της ακτινοβολίας).

Η υγρασία θα έπρεπε να διατηρηθεί εντός του Εύκολα Διαθέσιμου Νερού (τυπικά 46% από τα επίπεδα της υδατοικανότητας για τον πετροβάμβακα και 7% για τον περλίτη) και όσο το δυνατόν εγγύτερα στην Υδατοικανότητα Φυτοδοχείου (υπολογίστηκε ίση με 42,11% για τον περλίτη (0-16cm) και 61,39% για τον πετροβάμβακα (0-7,5cm) που χρησιμοποιήθηκαν).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα θα έπρεπε να διατηρηθεί στα επίπεδα κοντά στα 2-3 dS m⁻¹ (Li κ.α., 2001; Lizarraga κ.α., 2003; Lee, 2010)³.

Η πτώση της υγρασίας στο υπόστρωμα κατά τη διάρκεια της νύχτας να μην είναι μεγαλύτερη από 10% (Stradiot, 2001; Lee, 2010)⁴

Ο στόχος απορροής ήταν σε όλες τις περιπτώσεις 30% (Lizarraga κ.α., 2003; Lee, 2010).

Τα προγράμματα που εφαρμόστηκαν ήταν τα ακόλουθα:

³ Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τον Stradiot (2001), άρδευση τομάτας με όγκο από τα επίπεδα των 150ml και πάνω, ανά φυτό και άρδευση συντείνει στο να διατηρείται η EC σε υπόστρωμα πετροβάμβακα (Grodan) σταθερότερη.

⁴ Σύμφωνα με τον Stradiot (2001), σε Grodan, μια διαφορά μικρότερη από 8% βοηθά τη βλαστική δραστηριότητα στην τομάτα ενώ μια διαφορά πάνω από 10% βοηθά στην παραγωγική δραστηριότητα.

Χρονικός προγραμματισμός:

Από 10/2/2011 έως 28/3/2011 το εμπειρικό πρόγραμμα άρδευσης που εφαρμόζονταν ήταν χρονικό (6 αρδεύσεις ανά ημέρα):

Συχνότητα άρδευσης (Ώρες άρδευσης): 8:30, 10:30, 12:15, 13:45, 15:30, 17:30

Διάρκεια άρδευσης 2min για τον πετροβάμβακα και 2min 45sec για τον περλίτη

Μετά από ανάλυση των δεδομένων υγρασίας υποστρώματος κατά το πρώτο διάστημα, από 29/3/2011 έως 9/4/2011 και τον υπολογισμό συχνότητας και δόσης, συνεχίστηκε ο χρονικός προγραμματισμός αλλά με νέο πρόγραμμα (10 αρδεύσεις ανά ημέρα):

Συχνότητα άρδευσης (Ώρες άρδευσης): 8:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, και 18:45

Διάρκεια άρδευσης 3min για τον πετροβάμβακα και 3min 45sec για τον περλίτη

Άρδευση με βάση τη συγκέντρωση ενέργειας από ηλιακή ακτινοβολία:

Από τις 10/4/2011 έως 10/5/2011 εφαρμόστηκε πρόγραμμα άρδευσης με βάση τη συγκέντρωση ενέργειας από ηλιακή ακτινοβολία. Σύμφωνα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα που αναφέρθηκαν και την περατότητα του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου αποφασίστηκε η άρδευση να γίνεται ανά 1080 kJ m⁻² (280 Wh m⁻²) και 1260 kJ m⁻² (350 Wh m⁻²) ενέργειας στο εξωτερικό του θερμοκηπίου στον πετροβάμβακα και στον περλίτη

αντίστοιχα⁵. Η δόση άρδευσης που αντιστοιχεί σε αυτή την ποσότητα ενέργειας σύμφωνα με την προσέγγιση που παρουσιάζεται από τους Katsoulas κ.α., (2006), για $K_c=1,05$, I_E (αποτελεσματικότητα άρδευσης) = 95%, $\tau=75\%$ και $\alpha=0,6$, είναι 137,5 και 172 ml/φυτό -για το κάθε υπόστρωμα αντίστοιχα- για κάθε άρδευση (αναμενόμενη μείωση υγρασίας στο υπόστρωμα μεταξύ αρδεύσεων: 3,4% για πετροβάμβακα και 1,3% για περλίτη, αναμενόμενος αριθμός ημερήσιων αρδεύσεων 12 και 10 αντίστοιχα). Η διάρκεια άρδευσης (ώστε να δοθεί η αντίστοιχη δόση) υπολογίστηκε στα 4min και 10sec και 5min και 10sec για το κάθε υπόστρωμα αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι στις 8:00 κάθε πρωί γινόταν μία χρονικά προγραμματισμένη άρδευση (με διάρκεια 5min) και μηδενισμός του ολοκληρωτή ενέργειας, ενώ η ολοκλήρωση γινόταν έως τις 19:00 το απόγευμα.

Αισθητήρες

Στο πλαίσιο των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι αισθητήρες διηλεκτρικής χωρητικότητας για τη μέτρησης της υγρασίας υποστρώματος:

Delta Ta, ThetaProbe (Εικόνα 1)

Decagon Devices, EC5 (Εικόνα 2),

Decagon Devices, 10HS (Εικόνα 2) και

Grodan WCM-Control (Εικόνα 3)

Ο αισθητήρας WCM-Control της Grodan μετρά επιπλέον την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και τη θερμοκρασία υποστρώματος και έχει εργοστασιακές επιλογές για κατευθείαν χρήση στους διάφορους τύπος υποστρωμάτων της Grodan.

⁵ Η αρχική σκέψη για καθορισμό της συχνότητας με βάση ένα όριο αύξησης της μύζησης υποστρώματος (στην βιβλιογραφία (Lieth και Oki, 2007) αναφέρονται όρια 1 και 5kPa) δεν μπορούσε να εφαρμοστεί στα συγκεκριμένα υποστρώματα λόγω του ότι ακόμη και μικρή μεταβολή της μύζησης (π.χ. από υδατοικανότητα (1kPa) στα 1,5 ή 2kPa) αντιστοιχούσε (ιδιαίτερα στον πετροβάμβακα σε ιδιαίτερα υψηλή μεταβολή της κατ'όγκο υγρασίας (έως και 25%). Οι Schroeder και Lieth (2002) αναφέρουν ότι το όριο των 5kPa πρέπει να κατέβει πολύ στην περίπτωση του πετροβάμβακα. Οι ίδιοι αναφέρουν τιμή στόχο για την υγρασία το 60% για την περίπτωση καλλιέργειας αγγουριού σε πετροβάμβακα. Οι Lieth και Oki (2007) αναφέρουν και αυτοί ότι οι ενδείξεις είναι ενάντια στη χρήση τενσιομέτρων για ρύθμιση της άρδευσης σε υποστρώματα όπως ο πετροβάμβακας και ο περλίτης).



Εικόνα 1 ML2 ThetaProbe (ΔΤ, 2010)

Αναλυτικές πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά και τη βαθμονόμηση των αισθητήρων για τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στα ειδικά τμήματα του κεφαλαίου. Σε κάθε περίπτωση η βαθμονόμηση των αισθητήρων αυτών (πλην του WCM-Control της Grodan για πετροβάμβακα - ο οποίος έχει εργοστασιακή βαθμονόμηση για όλους τους τύπους πετροβάμβακα της εταιρείας) είναι απαραίτητη ώστε να λαμβάνονται όσο το δυνατόν ακριβέστερες μετρήσεις (Nemali κ.α., 2007; Miralles, κ.α., 2010).



Εικόνα 2 Ο Em50 Data Logger και οι αισθητήρες EC5 και 10HS (Decagon, 2010)

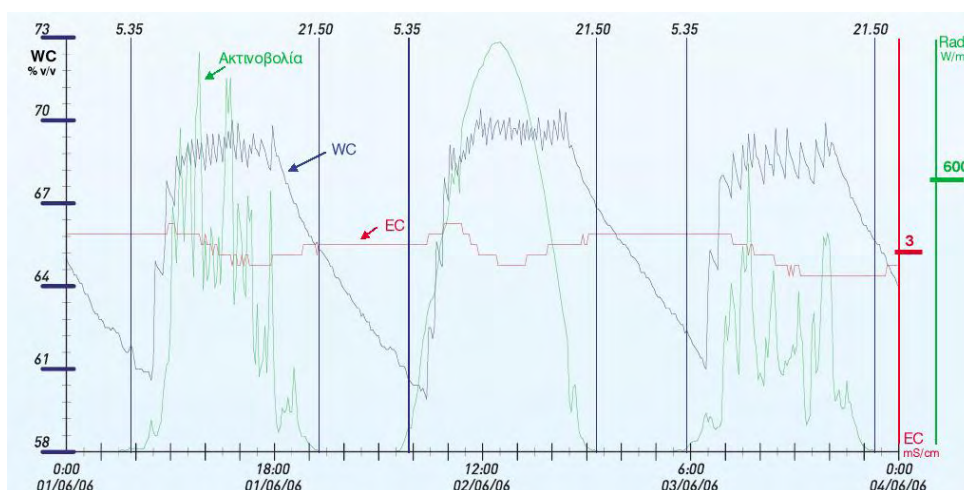


Εικόνα 3 Το Water Content Meter (WCM-Control) της Grodan

Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα και συζήτηση

Αξιολόγηση δυνατότητας χρήσης αισθητήρων μέτρησης παραμέτρων υποστρώματος στο πλαίσιο της διαχείρισης άρδευσης

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται η μια τυπική διακύμανση της υγρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας υποστρώματος (πετροβάμβακα) συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα πρόγραμμα άρδευσης που ακολουθεί την προαναφερθείσα στρατηγική. Γραφήματα όπως αυτό βοηθούν το διαχειριστή του συστήματος να αντιληφθεί τις τάσεις (περίοδοι 7-10 ημερών) και τις λεπτομέρειες (γραφήματα 1-2 ημερών) και να προγραμματίσει αντίστοιχα τις παραμέτρους ακτινοβολίας, χρόνου και δόσης που σχετίζονται με την παροχή θρεπτικού διαλύματος (άρδευση).



Εικόνα 4 Εφαρμογή στρατηγικής διαχείρισης άρδευσης (Lee, 2010)

Σύγκριση προσεγγίσεων διαχείρισης άρδευσης

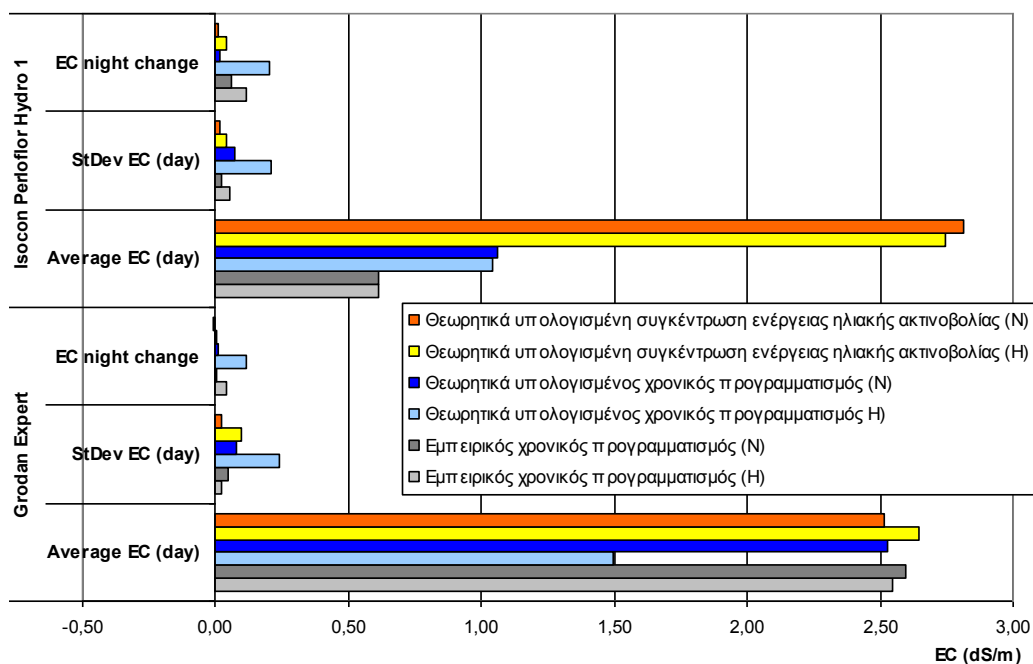
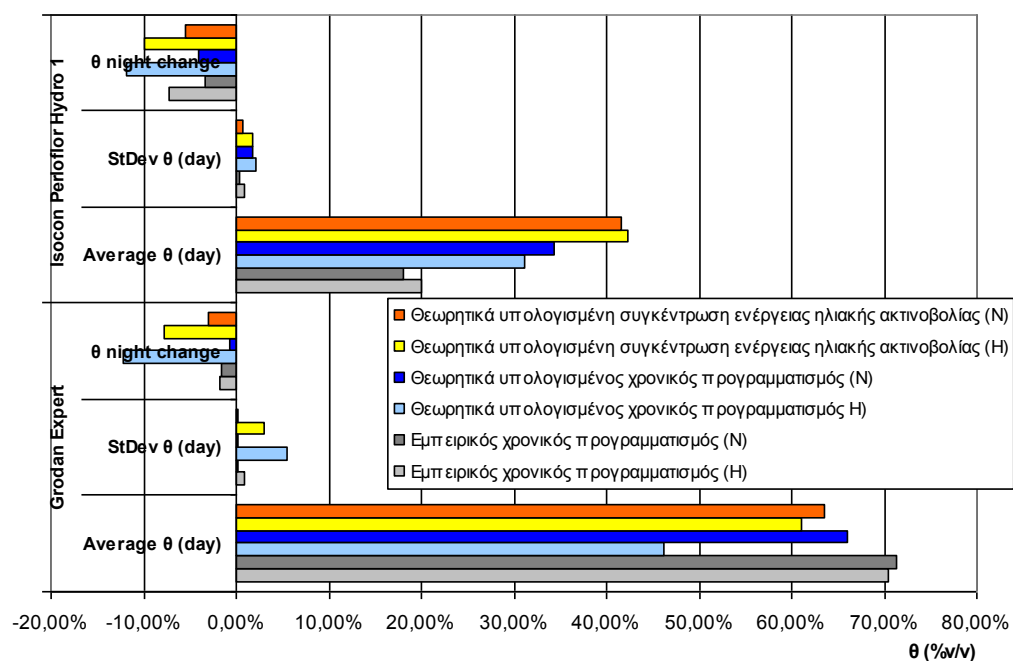
Στην Εικόνα 5 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις ημέρας καθώς και μέση μεταβολή νύχτας της θ (%v/v) και της EC (dS/m) για τα δύο υποστρώματα (μετρήσεις με Grodan VCM-Control) για τις τρεις περιόδους άρδευσης. Στις τιμές περιλαμβάνονται τόσο ηλιόλουστες όσο και νεφοσκεπείς ημέρες. Γίνεται διαχωρισμός μεταξύ ηλιόλουστων ημερών (H, μετρημένη ηλιακή ενέργεια > 50% της θεωρητικά υπολογισμένης για την

ημέρα και την τοποθεσία) και νεφοσκεπών (N, μετρημένη ηλιακή ενέργεια < 50% της θεωρητικά υπολογισμένης για την ημέρα και την τοποθεσία) ημερών.

Είναι καταρχήν φανερό ότι κατά τις ηλιόλουστες ημέρες, όπου η ζήτηση για νερό είναι εντονότερη, τα επίπεδα υγρασίας στα υποστρώματα είναι σε χαμηλότερο επίπεδο σε σχέση με τις νεφοσκεπείς. Ακόμη τις ηλιόλουστες ημέρες έχουμε και μεγαλύτερες αποκλίσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τις ηλιόλουστες ημέρες είχαμε και την μεγαλύτερη νυχτερινή πτώση υγρασίας λόγω της υψηλής ζήτησης στην αρχή της ημέρας (πριν από την πρώτη άρδευση).

Κατά το χρονικό προγραμματισμό της πρώτης περιόδου δίνονταν περισσότερο νερό από τις ανάγκες (σε λιγότερα ποτίσματα) με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται υψηλότερη υγρασία στο υπόστρωμα.

Όσο αφορά την EC πάλι η μεγαλύτερη πτώση τη νύχτα γίνονταν τις ηλιόλουστες ημέρες (για τους λόγους που αναφέρθηκαν).

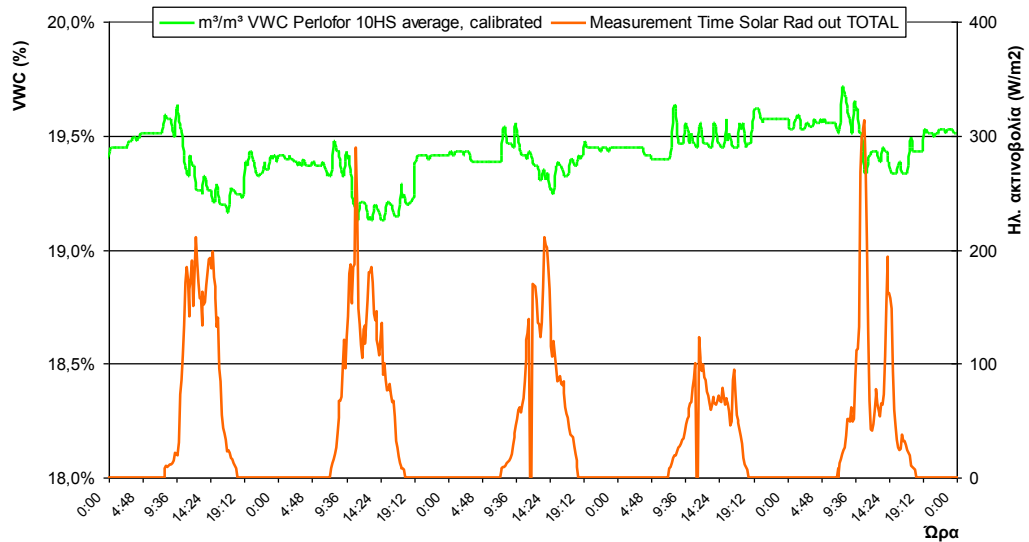
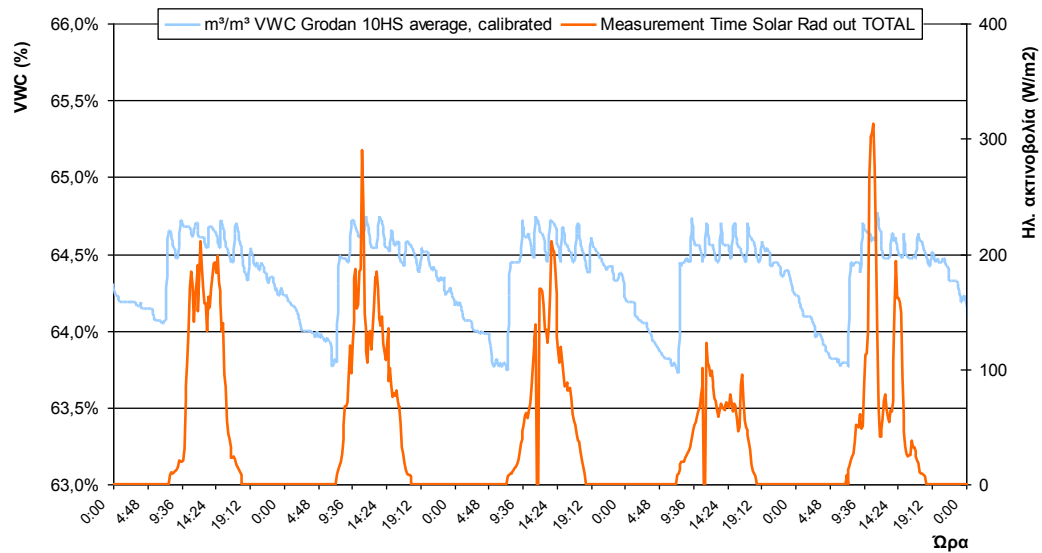


Εικόνα 5 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ημέρας καθώς και μέση μεταβολή νύχτας της θ (%v/v) και της EC (dS/m) για τα δύο υποστρώματα (μετρήσεις με Grodan VCM-Control), για ηλιόλουστες (H) και νεφοσκεπείς (N) ημέρες για τις τρεις περιόδους άρδευσης

Αξιολόγηση μετρήσεων κατά την πρώτη περίοδο χρονικού προγραμματισμού (εμπειρικός προγραμματισμός)

Κατά την πρώτη περίοδο χρονικού προγραμματισμού (εμπειρικό πρόγραμμα) οι μόνοι αισθητήρες που ήταν εγκατεστημένοι στο υπόστρωμα ήταν οι 10HS (Decagon). Όλοι οι αισθητήρες (4 για κάθε υπόστρωμα) ήταν εγκατεστημένοι σε σάκους με 3 φυτά, στο μέσον της απόστασης 2 φυτών, καρφωτοί από πάνω (για εύκολη αναφορά θέσης τοποθέτησης). Στον πετροβάμβακα δεν υπήρχε περιθώριο όμως καθώς το μήκος ακίδων ήταν 10cm, και το πάχος υποστρώματος 7,5cm) έτσι μπήκαν με μία μικρή κλίση καταλαμβάνοντας όμως όλο το διαθέσιμο ύψος (από 0 έως 7,5cm). Αξίζει να αναφερθεί ότι αυτού του είδους η τοποθέτηση δεν ακολουθεί (ιδίως για τον πετροβάμβακα) τις γενικές συστάσεις της Decagon (2009) για τις αποστάσεις από τα όρια του υποστρώματος και την διεύθυνση ως προς τη φορά κίνησης του νερού για το συγκεκριμένο αισθητήρα.

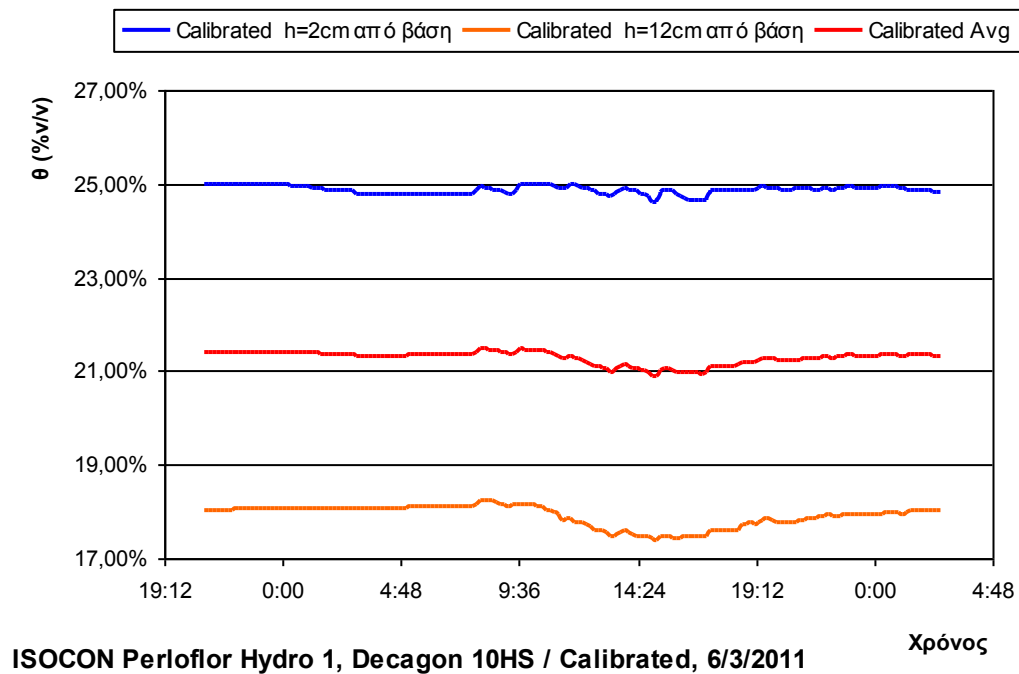
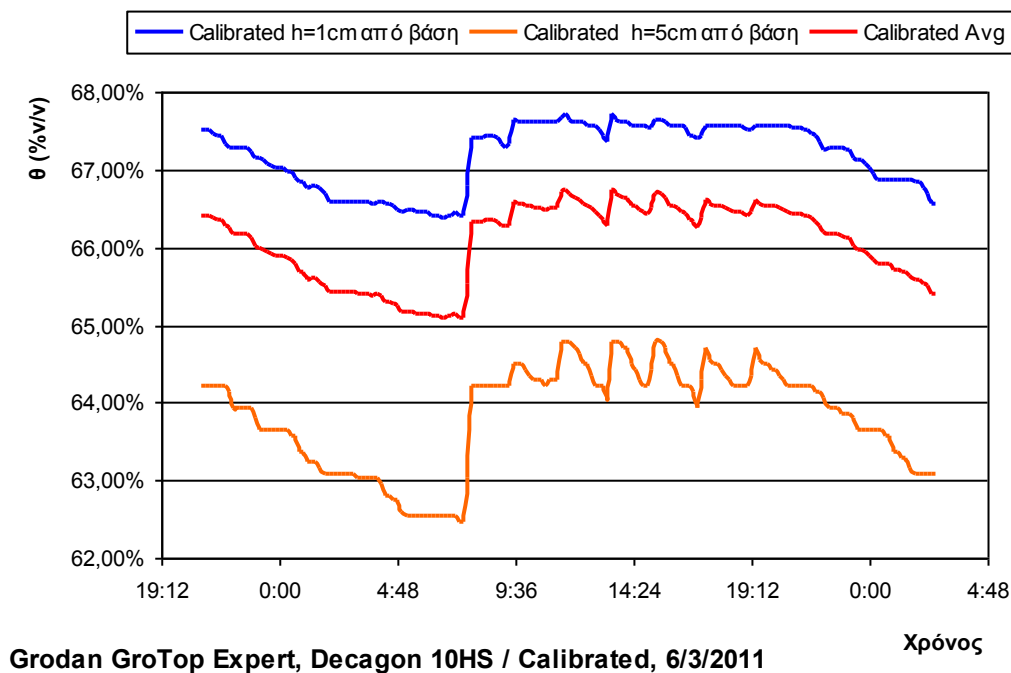
Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται η διακύμανση υγρασίας υποστρώματος σε πετροβάμβακα και περλίτη (μέτρηση με Decagon 10HS τοποθετημένους από επάνω) κατά τη διάρκεια ηλιόλουστων και νεφοσκεπών ημερών στο τέλος του χειμώνα (25/2/2011 έως 1/3/2011). Είναι χαρακτηριστικό ότι στον πετροβάμβακα οι τιμές της υγρασίας αν και ακολουθούν το επιθυμητό μοτίβο και καταγράφουν τα αρδευτικά γεγονότα, έχουν πολύ μικρές διακυμάνσεις στη διάρκεια της ημέρας. Αυτό πρέπει να αποδοθεί κυρίως στον τρόπο τοποθέτησης του αισθητήρα και στο μεγάλο όγκο της περιοχής δείγματος που αντιστοιχεί σε αυτόν. Στον περλίτη πέρα από το ζήτημα των μικρών διακυμάνσεων, υπάρχει το σοβαρό πρόβλημα του ότι η παροχή νερού δεν καλύπτει τη ζήτηση και έτσι τις πρώτες απογευματινές ώρες των ηλιόλουστων ημερών, η υγρασία αντί να μένει σταθερή σε κάποιο επίπεδο, παρουσιάζει πτώση.



Εικόνα 6 Διακύμανση υγρασίας υποστρώματος πετροβάμβακα και περλίτη (μέτρηση με Decagon 10HS τοποθετημένοι από επάνω) κατά τη διάρκεια ηλιόλουστων και νεφосκεπών ημερών στο τέλος του χειμώνα (25/2/2011 έως 1/3/2011). Εμπειρικός χρονικός προγραμματισμός.

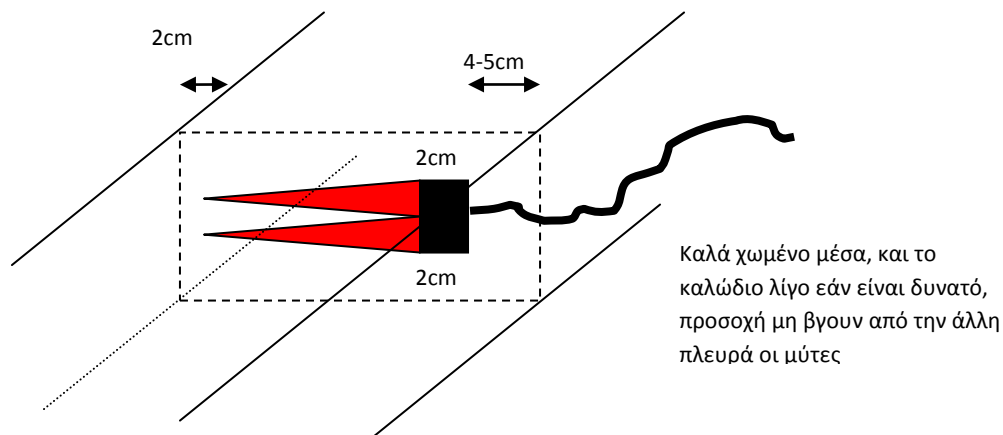
Στην Εικόνα 7 παρουσιάζεται η μεταβολή της υγρασίας σε διάφορα ύψη εντός των υποστρωμάτων. Παρόλο το μεγάλο όγκο δείγματος του αισθητήρα (Decagon 10HS που έχει τοποθετηθεί οριζόντια με το επίπεδο των ακίδων παράλληλα με τις οριζόντιες πλευρές των σάκων) φαίνεται η μεταβολή της υγρασίας με το ύψος εντός ενός υποστρώματος (περισσότερη υγρασία στη βάση, λιγότερη στην κορυφή). Οι μικρότερες μεταβολές στον πετροβάμβακα

οφείλονται στην ειδική διαστρωμάτωσή του ώστε να συγκρατεί αρκετή υγρασία και στο επάνω μέρος του).



Εικόνα 7 Επίπεδα υγρασίας υποστρώματος σε πετροβάμβακα και περλίτη σε διάφορα ύψη από τη βάση του υποστρώματος. Εμπειρικός χρονικός προγραμματισμός.

Στην συνέχεια και πάντα κατά την περίοδο του πρώτου χρονικού προγραμματισμού (εμπειρικό πρόγραμμα), οι αισθητήρες 10HS τοποθετήθηκαν σύμφωνα με τις συστάσεις του κατασκευαστή, στη μέση του υποστρώματος (κάθετα προς τις οριζόντιες επιφάνειες του υποστρώματος για καλύτερη αντίδραση στη ροή νερού προς τα κάτω, Εικόνα 8).

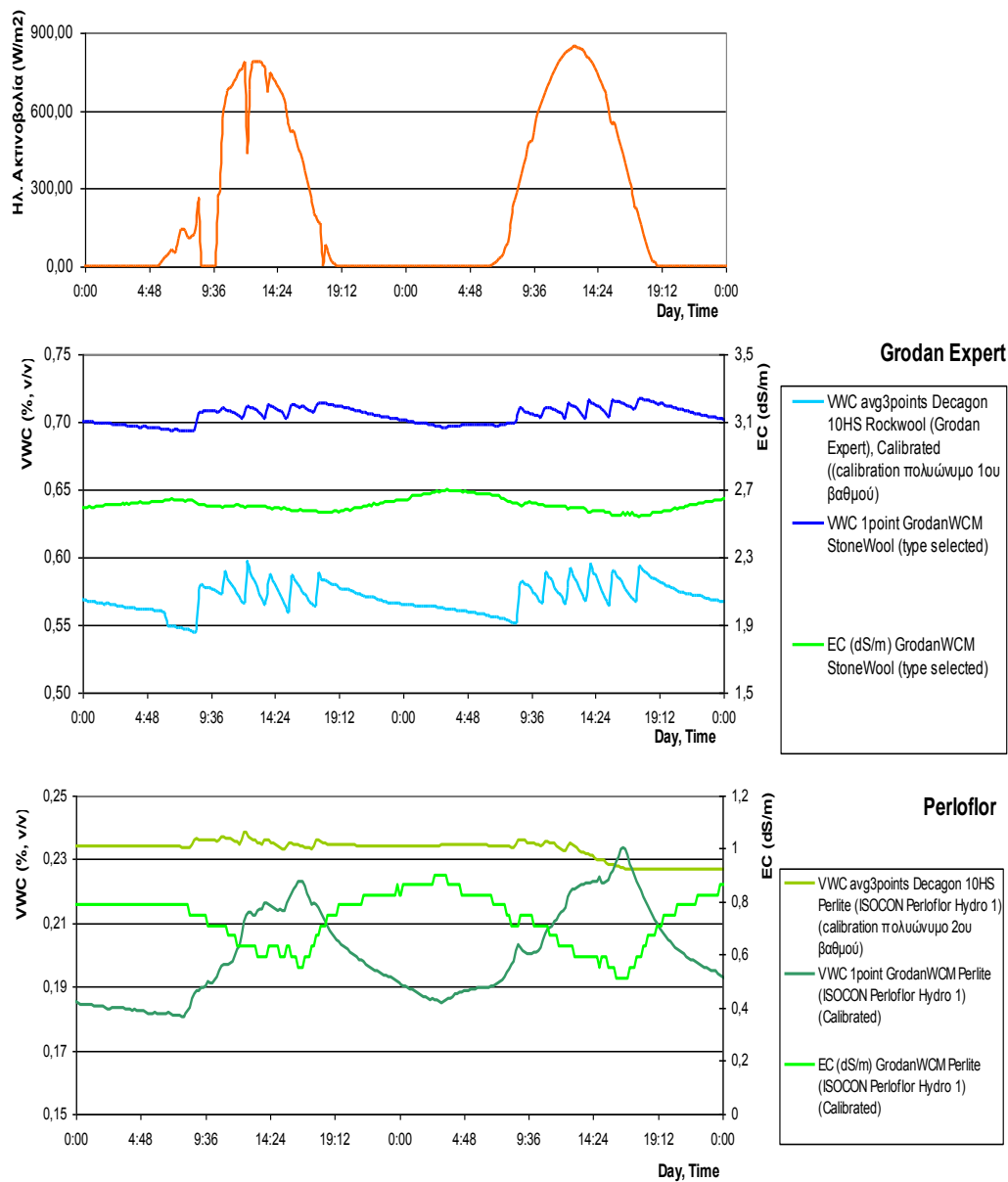


Εικόνα 8 Τοποθέτηση αισθητήρα 10HS κάθετα προς τις οριζόντιες επιφάνειες του υποστρώματος

Την ίδια περίοδο εγκαταστάθηκαν (από πάνω, σε απόσταση 10-15 cm από σταλάκτες, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή) σε χαρακτηριστικές θέσεις του υποστρώματος (μετά από σειρά δοκιμών) δύο αισθητήρες Grodan WCM-Control (ένας σε κάθε υπόστρωμα). Στην Εικόνα 9 παρουσιάζονται σχετικές μετρήσεις κατά τη διάρκεια δύο τυπικών ηλιόλουστων ημερών. Είναι φανερό ότι οι αισθητήρες της Grodan δίνουν συνεχώς μεγαλύτερες τιμές υγρασίας από το μέσο όρο των αισθητήρων 10HS στον πετροβάμβακα. Στον περλίτη συμβαίνει το αντίστροφο αλλά οι τιμές των δύο μετρήσεων είναι σε πολύ κοντινότερα επίπεδα. Σε κάθε περίπτωση φαίνεται ότι μετά τη νυχτερινή πτώση (λιγότερη του 10% σε κάθε περίπτωση) η υγρασία υποστρώματος αυξάνεται σταδιακά μετά την πρώτη άρδευση και στην συνέχεια παραμένει έως αργά το απόγευμα κοντά στην υδατοικανότητα φυτοδοχείου. Στον περλίτη φαίνεται (σύμφωνα με τα δεδομένα του Grodan WCM) ότι η τελευταία άρδευση θα μπορούσε και να μη γίνεται.

Ο αισθητήρας της Grodan δίνει και τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, από τις οποίες είναι φανερό ότι η αγωγιμότητα είναι σταθερότερη και κινείται σε πολύ μεγαλύτερα επίπεδα στον πετροβάμβακα σε σχέση με τον περλίτη. Η

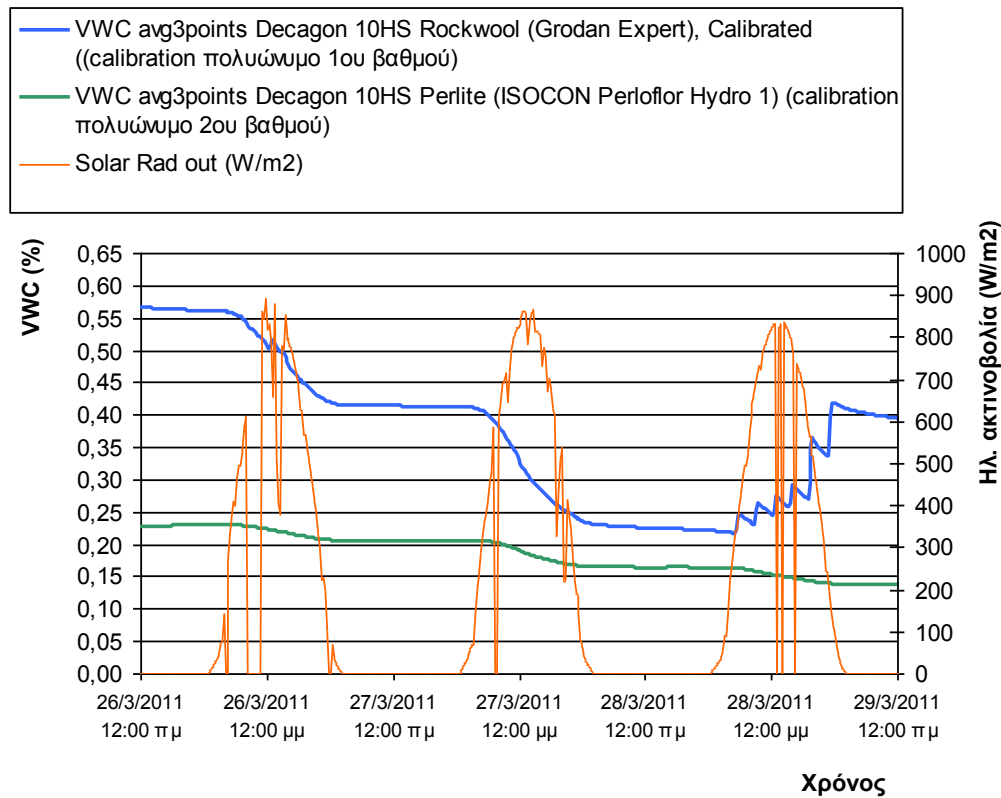
ηλεκτρική αγωγιμότητα έχει την αναμενόμενη πορεία καθώς αυξάνεται στη διάρκεια της νύχτας και μειώνεται κάποια στιγμή μετά τις πρώτες αρδεύσεις.



Εικόνα 9 Διακύμανση υγρασίας υποστρώματος πετροβάμβακα και περλίτη (μέτρηση με Decagon 10HS τοποθετημένους από το πλάι σύμφωνα με οδηγίες κατασκευαστή) στις αρχές της άνοιξης (24-25/3/2011). Εμπειρικός χρονικός προγραμματισμός.

Κατά την περίοδο αυτή για 2 ημέρες είχε σταματήσει η άρδευση (Εικόνα 10). Στον πετροβάμβακα αυτό είχε ως αποτέλεσμα την πτώση της υγρασίας από το 57% στο 22% ενώ στον περλίτη από 22,5% στο 13%. Σημειώνεται ότι

οι οπτικές ενδείξεις υδατικής καταπόνησης (εικόνα μαραμένου φυτού, συστροφή φύλλων) ήταν πολύ εντονότερες στον πετροβάμβακα.



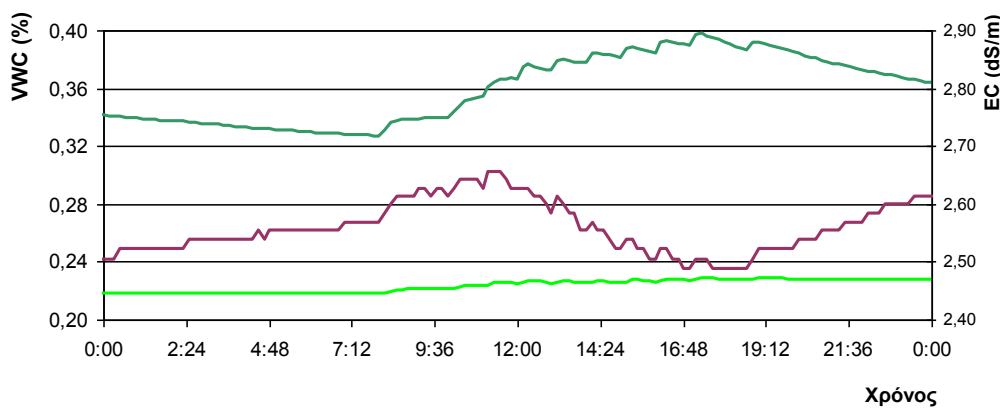
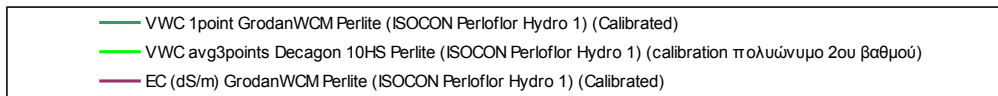
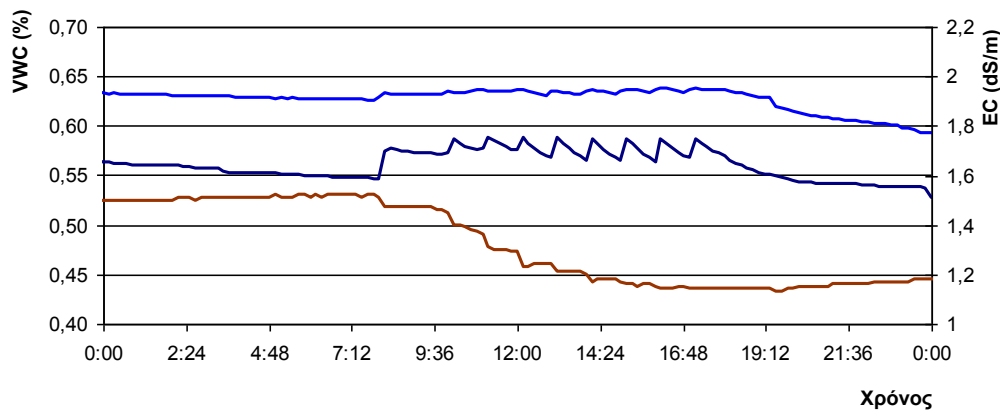
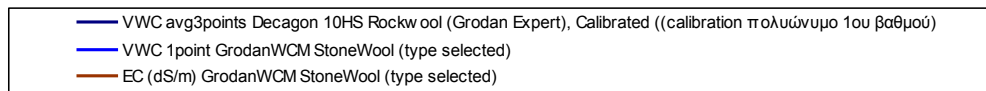
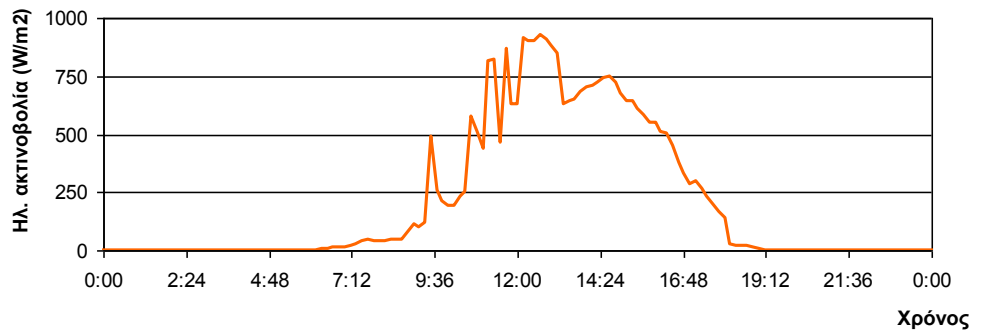
Εικόνα 10 Επίδραση διακοπής άρδευσης σε υγρασία υποστρώματος πετροβάμβακα και περλίτη (μέτρηση με Decagon 10HS τοποθετημένους από το πλάι σύμφωνα με οδηγίες κατασκευαστή) στις αρχές της άνοιξης (26-29/3/2011). Εμπειρικός χρονικός προγραμματισμός.

Αξιολόγηση μετρήσεων κατά την δεύτερη περίοδο χρονικού προγραμματισμού (Θεωρητικός υπολογισμός)

Στην περίοδο του Θεωρητικά υπολογισμένου χρονικού προγραμματισμού (Εικόνα 11) η κατάσταση δεν αλλάζει πολύ ως προς τα βασικά μοτίβα. Όλες οι τιμές υγρασίας και αγωγιμότητας παραμένουν εντός των αποδεκτών επιπέδων. Μεγαλύτερες διαφορές αποτελούν:

η συνεχής διατήρηση του πετροβάμβακα σε επίπεδα υγρασίας κοντά στην υδατοικανότητα και η σημαντική μείωση των επιπέδων ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

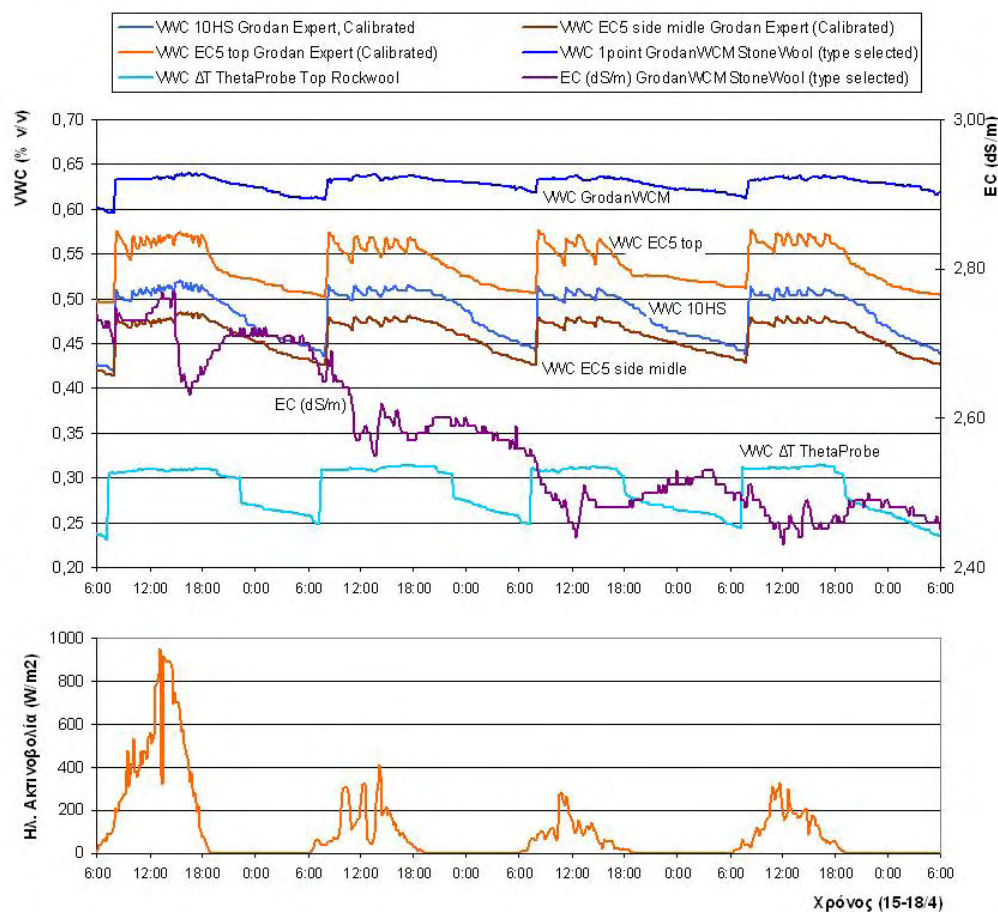
η διατήρηση του περλίτη σε υψηλότερα επίπεδα υγρασίας, πολύ κοντά στην υδατοικανότητα με αύξηση όμως του επιπέδου ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



Εικόνα 11 Διακύμανση υγρασίας υποστρώματος πετροβάμβακα και περλίτη (μέτρηση με Grodan WCM και Decagon 10HS) στα μέσα της άνοιξης (7/4/2011). Θεωρητικά υπολογισμένος χρονικός προγραμματισμός.

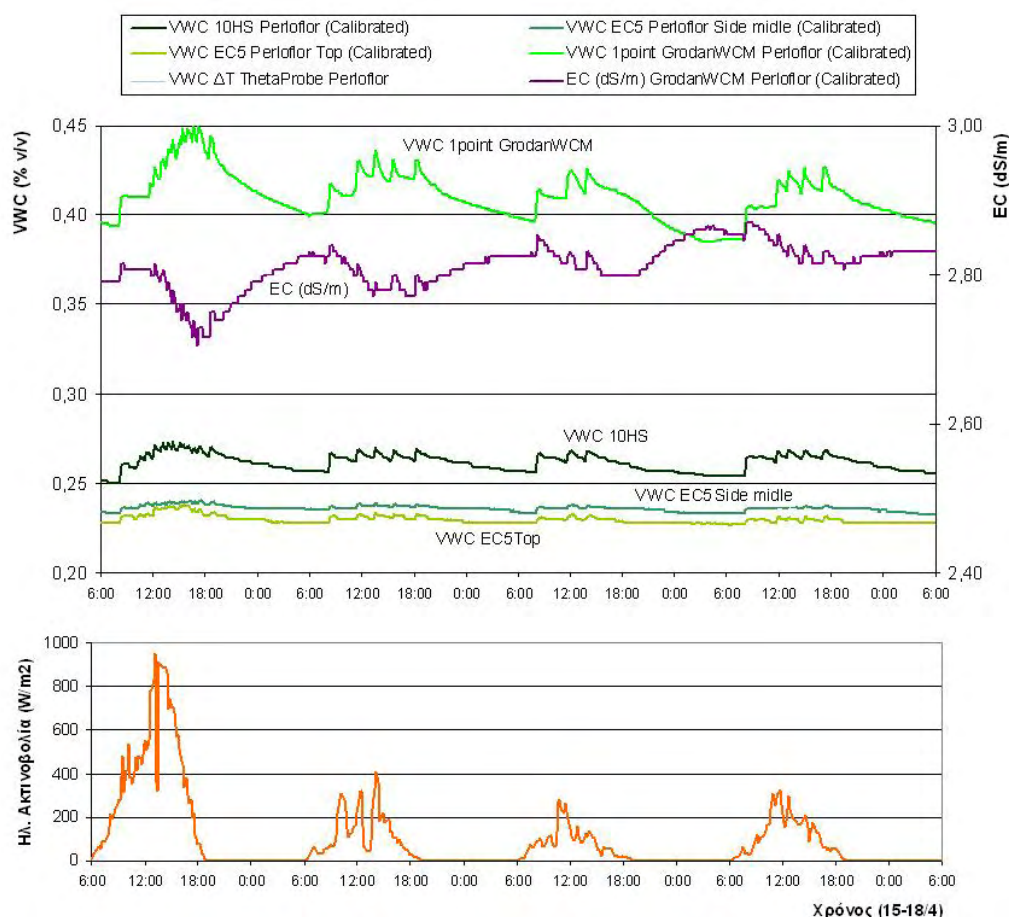
Αξιολόγηση μετρήσεων κατά την περίοδο διαχείρισης με βάση τη συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας

Στην συνέχεια, όπως αναφέρθηκε εφαρμόστηκε προγραμματισμός με βάση τη συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 12, στον πετροβάμβακα, τα αναμενόμενα τυπικά μοτίβα ακολουθούνται ως προς την υγρασία ενώ το σχετικά περισσότερο νερό που δίνονταν με την διαχείριση με βάση τη συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας οδήγησε σε μία βαθμιαία πτώση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (είχε ανέβει ψηλά κατά τη διάρκεια μίας περιόδου βλάβης του αρδευτικού που προηγήθηκε). Σε κάθε περίπτωση όμως το αναμενόμενο μοτίβο ημερήσιας διακύμανσής της ήταν το αναμενόμενο.



Εικόνα 12 Διακύμανση υγρασίας υποστρώματος πετροβάμβακα (μέτρηση με διάφορους τύπου αισθητήρων, σε διάφορες θέσεις) κατά τη διάρκεια ηλιόλουστων και νεφοσκεπών ημερών στα μέσα της άνοιξης (15/4/2011 έως 18/4/2011). Προγραμματισμός με ολοκλήρωση ηλιακής ακτινοβολίας.

Όλοι οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν εκφράζουν το αναμενόμενο τυπικό μοτίβο αλλά σε διαφορετικά επίπεδα υγρασίας. Αυτό πιθανότατα οφείλεται τόσο στον όγκο περιοχής δείγματος του καθενός όσο και στα χαρακτηριστικά της θέσης στην οποία είναι εγκατεστημένοι. Τα χαμηλότερα επίπεδα (μέτρηση σε ένα σημείο, επίπεδο 32%) δίνει ο ThetaProbe, παρουσιάζοντας επίσης και τις μικρότερες ημερήσιες διακυμάνσεις. Στο άλλο άκρο (μέτρηση σε ένα σημείο, επίπεδο 64%) είναι ο VCM ο οποίος δίνει τις μεγαλύτερες τιμές, παρουσιάζοντας όμως και αυτός μικρές ημερήσιες διακυμάνσεις. Οι 10HS και οι EC5, τοποθετημένοι και οι δύο από το πλάι, δίνουν παρόμοια επίπεδα τιμών (μέσες τιμές 3 σημείων για τον καθένα και επίπεδα υγρασίας 50 και 47% αντίστοιχα). Οι EC5 (επίπεδα 57%) τοποθετημένοι από πάνω δίνουν τις εντονότερες διακυμάνσεις μεταξύ των αρδεύσεων.

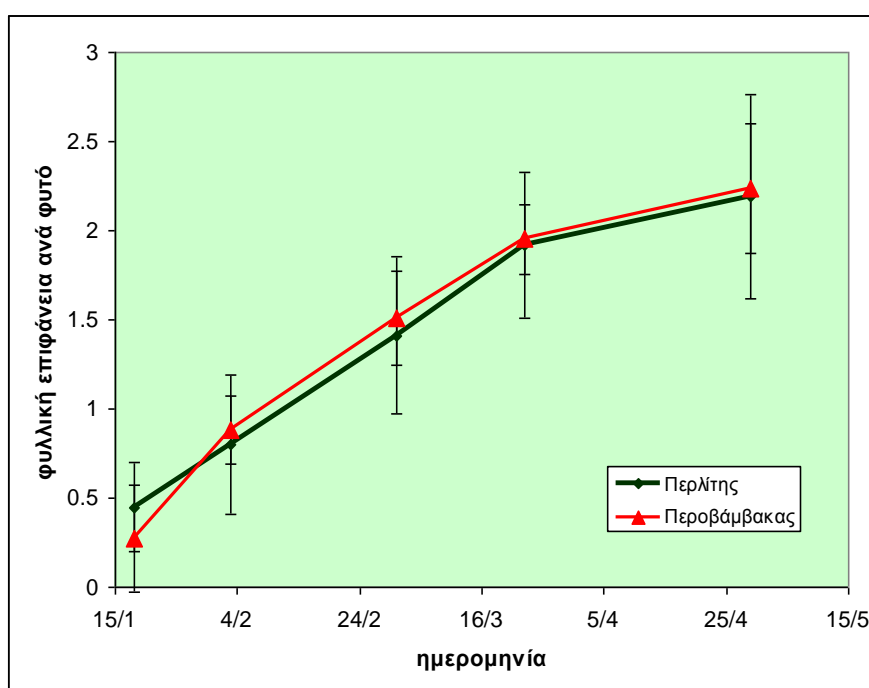


Εικόνα 13 Διακύμανση υγρασίας υποστρώματος περλίτη (μέτρηση με διάφορους τύπου αισθητήρων, σε διάφορες θέσεις) κατά τη διάρκεια ηλιόλουστων και νεφοσκεπών ημερών στα μέσα της άνοιξης (15/4/2011 έως 18/4/2011). Προγραμματισμός με ολοκλήρωση ηλιακής ακτινοβολίας.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 13Εικόνα 12, και στο περλίτη, τα αναμενόμενα τυπικά μοτίβα ακολουθούνται ως προς την υγρασία. Εδώ παρουσιάζεται πάλι το διαφορετικό επίπεδο μετρήσεων για τους διάφορους τύπους αισθητήρα. Οι αισθητήρες EC5 στην περίπτωση του περλίτη δεν έδιναν πολύ διαφορετικά επίπεδα εάν ήταν τοποθετημένοι από το πλάι ή από την επάνω πλευρά (επίπεδα 24%). Οι αισθητήρες 10HS έδιναν ελαφρώς μεγαλύτερα επίπεδα υγρασίας (27%). Και οι δύο αυτοί τύποι αισθητήρων έδιναν μικρές διακυμάνσεις στη διάρκεια της ημέρας. Ο WCM από την άλλη έδινε υγρασία (42%) πάνω από τα επίπεδα της υδατοικανότητας φυτοδοχείου. Η EC ακολουθούσε το αναμενόμενο μοτίβο και έμεινε στα επίπεδα που είχε και κατά την εφαρμογή του θεωρητικά υπολογισμένου χρονικού προγραμματισμού.

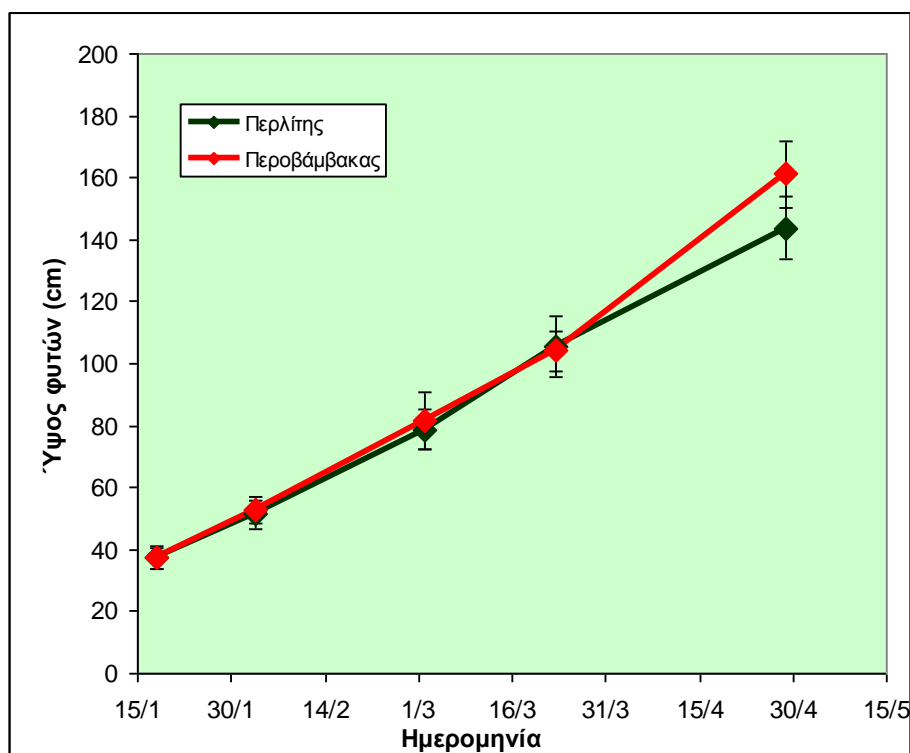
Αποτελέσματα Παραγωγής

Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων έγινε με τη χρήση του MSexcel και του στατιστικού πακέτου SPSS. Για την επεξεργασία των μετρήσεων στο στατιστικό πακέτο SPSS χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία της tow-way Analysis of Variance (tow way Anova) για τις δύο μεταχειρίσεις έτσι ώστε να παρατηρούμε την επίδραση των υποστρωματων στην ανάπτυξη και την παραγωγή στα φυτά τομάτας.



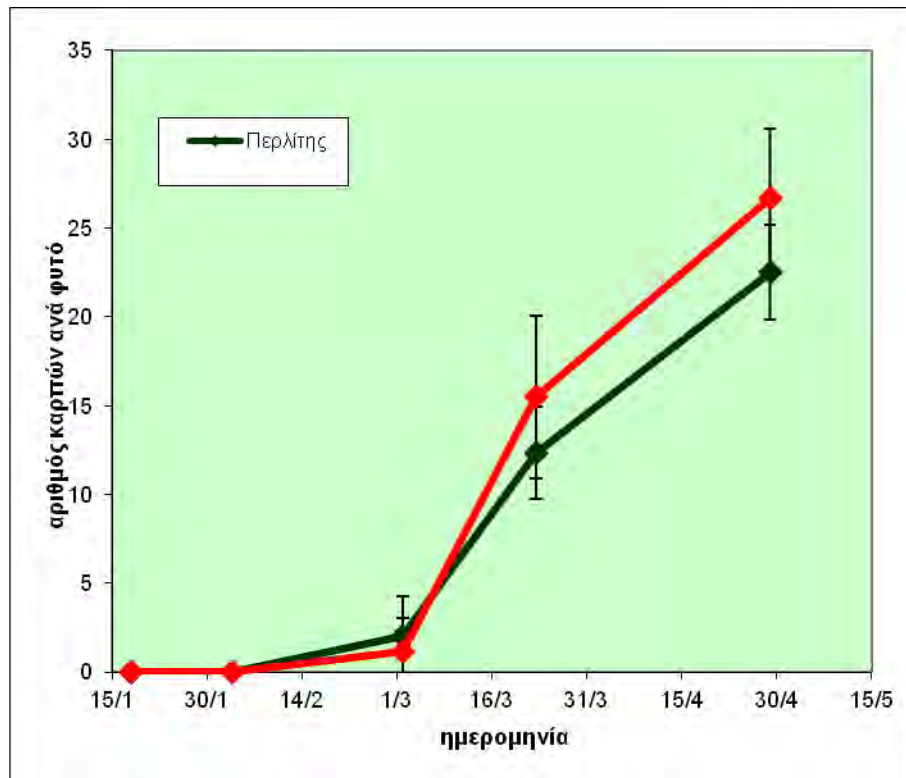
Στο σχήμα 4.1. Παρουσιάζεται ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (leaf area index) όπως υπολογίστηκε και για τις δύο μεταχειρίσεις του υδροπονικού συστήματος.

Όπως φαίνεται από το σχήμα η φυλλική επιφάνεια των φυτών και για τις δύο μεταχειρίσεις του πειράματός μας, είναι παρόμοια με μια πολύ μικρή αύξηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) στα φυτά που αναπτύχθηκαν στο υπόστρωμα του πετροβάμβακα σε σχέση με εκείνα που καλλιεργήθηκαν σε υπόστρωμα περλίτη.



Σχήμα 4.2. Πορεία του ύψους των φυτών κατά τη διάρκεια των μετρήσεων για τις δύο μεταχειρίσεις. Οι κατακόρυφες μπάρες υποδηλώνουν την τυπική απόκλιση των τιμών.

Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται το ύψος των φυτών στα υπό μελέτη υποστρώματα. Όπως φαίνεται η πορεία του ύψους των φυτών ήταν παρόμοια και για τις δύο μεταχειρίσεις με μία μικρή τάση ανάπτυξης προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου των φυτών που αναπύχθηκαν σε υπόστρωμα πετροβάμβακα. Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε έδειξε ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των υψών των δύο καλλιεργειών.



Σχήμα 4.3. Παρουσιάζεται ο αριθμός καρπών και για τις δύο μεταχειρίσεις του υδροπονικού συστήματος από τις 15/1 έως τις 30/4.

Όπως προκύπτει από το σχήμα 4.3. ο αριθμός καρπών κατά την περίοδο των μετρήσεων δεν διαφέρει στατιστικώς σημαντικά στα δύο υποστρώματα. Από την 1^η/3 έως τις 30/4 παρατηρείται μια μικρή υπεροχή στο υπόστρωμα του πετροβάμβακα αλλά όπως φαίνεται από το εύρος τιμών είναι ελάχιστη.

Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα

Από όσα αναφέρθηκαν είναι προφανές ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα όσο αφορά την εφαρμογή αισθητήρων μέτρησης υγρασίας στο υπόστρωμα είναι η μεταβλητότητα των μετρήσεων η οποία εξαρτάται από τη θέση μέτρησης εντός του θερμοκηπίου, από τη θέση μέτρησης στο υπόστρωμα (πάνω, πλάι κοκ) όσο και από τον όγκο δείγματος μέτρησης του κάθε αισθητήρα. Πιθανότατα δεν είναι οι αισθητήρες το μεγαλύτερο πρόβλημα (εάν και σίγουρα μπορούν να γίνουν βελτιώσεις όσο αφορά τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά), αλλά μια σειρά από άλλες αιτίες που μπορεί να είναι υπεύθυνες (αρδευτικό, πρόγραμμα κοκ) για τις αποκλίσεις που παρατηρούνται. Τα συμπεράσματα που βγαίνουν σχετικά με τους αισθητήρες είναι τα ακόλουθα:

-η ακριβής τήρηση των προδιαγραφών εγκατάστασης είναι απολύτως απαραίτητη ώστε να λειτουργήσει σύμφωνα με τον αναμενόμενο τρόπο το υπόστρωμα,

-η ειδική βαθμονόμηση μειώνει σε κάποιο βαθμό την διακύμανση των μετρήσεων,

-η εγκατάσταση του οργάνου για τη λήψη μετρήσεων (μείωση συμπίεσης υποστρώματος που θα εξασφαλίζει τις μικρότερες δυνατές διακυμάνσεις στο βάθος μέτρησης), αλλά και η επιλογή χαρακτηριστικών θέσεων λήψης μετρήσεων παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην μείωση των αποκλίσεων,

-η χρήση μεγάλης επιφάνειας επαφής με υπόστρωμα (άρα μικρότερης πίεσης) δεν φαίνεται να βελτιώνει αισθητά την κατάσταση,

-η χρήση αισθητήρα με κατάλληλο για κάθε υπόστρωμα όγκο περιοχής δείγματος πιθανότατα θα βοηθούσε στην μείωση των διαφορών.

Σε κάθε περίπτωση η κατάσταση μπορεί να βελτιωθεί εάν αναζητηθούν συστηματικά κατάλληλες αντιπροσωπευτικές θέσεις τοποθέτησης και λαμβάνονται μετρήσεις μόνο από αυτές. Οι μετρήσεις αποτυπώνουν τη γενική τάση και τις διακυμάνσεις της υγρασίας και της EC στο υπόστρωμα και μπορούν να φανούν ιδιαίτερα χρήσιμες τόσο όσο αφορά την αξιολόγηση του προγράμματος άρδευσης όσο και για την παροχή ειδοποιήσεων εάν κάτι δεν πάει καλά (π.χ. βλάβη του αρδευτικού).

Όσο αφορά την αξιολόγηση της άρδευσης είναι φανερό ότι ο προγραμματισμός με βάση τη συγκέντρωση ενέργειας από ηλιακή ακτινοβολία διατηρεί το υπόστρωμα πιο κοντά στην υδατοικανότητα φυτοδοχείου, δαπανώντας παρόμοιες ποσότητες νερού. Κατά τις ηλιόλουστες ημέρες πρέπει η πρώτη άρδευση να γίνεται σε διάστημα λιγότερο από 2 ώρες από την ανατολή του ηλίου (ώστε να μην έχουμε μεγάλη νυχτερινή πτώση της υγρασίας στο υπόστρωμα και αντίστοιχη αύξηση της EC). Ακόμη τις ηλιόλουστες ημέρες συνιστανται συχνότερες αρδεύσεις μικρότερου όγκου ώστε να αποφεύγονται μεγάλες διακυμάνσεις της EC.

Όσο αφορά την επίδραση των υποστρωμάτων στην καλλιέργεια,, γίνεται αντιληπτό ότι στις περισσότερες περιπτώσεις δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο υπό μελέτη υποστρωμάτων. Στις μετρήσεις ανάπτυξης, η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, έδειξε ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές όσον αφορά το ύψος των φυτών και το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI).

Μελλοντική έρευνα

Ενδιαφέρον θα είχε να αξιολογηθούν σε επίπεδο παραγωγής και αποτελεσματικότητας χρήσης νερού (για όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου) διάφορες εναλλακτικές σχετικά με την χρήση αισθητήρων παραμέτρων στο υπόστρωμα για διαχείριση της άρδευσης. Για παράδειγμα θα μπορούσαν να αξιολογηθούν ταυτόχρονα (σε ένα υπόστρωμα) οι ακόλουθες προσεγγίσεις:

- ✓ διαχείριση άρδευσης με ολοκλήρωση ηλιακής ακτινοβολίας μόνο,
- ✓ διαχείριση άρδευσης με δεδομένα απορροής μόνο (βροχόμετρο),
- ✓ διαχείριση άρδευσης με δεδομένα υγρασίας υποστρώματος μόνο,
- ✓ διαχείριση άρδευσης με συνδυασμό ολοκλήρωσης ηλιακής ακτινοβολίας και δεδομένα απορροής,
- ✓ διαχείριση άρδευσης με συνδυασμό ολοκλήρωσης ηλιακής ακτινοβολίας και δεδομένα υγρασίας υποστρώματος,
- ✓ διαχείριση άρδευσης με συνδυασμό ολοκλήρωσης ηλιακής ακτινοβολίας, δεδομένα υγρασίας υποστρώματος και απορροής.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Abou-Hadid, A.F., El-Shinawy, M.Z., El-Oksh, I., Gomaa, H., El-Beltagy, A.S., Cockshull, K.E., Tüzel, Y., Gül, A., 1994. Studies on water consumption of sweet pepper under plastic houses. *Acta Hort.* 366, 365-371.
- Al Naddaf O., Livieratos I., Stamatakis A., Tsirogiannis I., Gizas G., Savvas D., 2011. Hydraulic characteristics of composted pig manure, perlite, and mixtures of them, and their impact on cucumber grown on bags. *Scientia Horticulturae* (in press)
- Baas R., and Straver N.A., 2001. In situ monitoring water content and electrical conductivity in soilless media using a frequency-domain sensor. *Acta Hortc.* 562: 295-303
- Bacci, L.; Battista, P.; Rapi, B.; Sabatini, F.; Checcacci, E. 2003. Irrigation control of container crops by means of tensiometers. *Acta Hort. (ISHS)* 609, 467-474.
- Baille, M., Baille, A., Laury, J.C., 1994. A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climate factors and leaf area. *Sci. Hortic.-Amsterdam.* 59, 217-232.
- Bilderback, T.E. and W.C. Fonteno. 1987. Effects of container geometry and media physical properties on air and water volumes in containers. *J. Environ. Hort.* 5:180-182.
- Biran, I. and A. Eliassaf. 1980. The effect of container shape on the development of roots and canopy of woody plants. *Sci. Hortie.* 12:183-193.

- Bougoul S., Boulard T., 2006. Water dynamics in two rockwool slab growing substrates of contrasting densities. *Scientia Horticulturae* 107: 399-404
- Bougoul S., Ruy S., de Groot F., Boulard T., 2005. Hydraulic and physical properties of stonewool substrates in horticulture - Review. *Scientia Horticulturae* 104:391-405
- Cobos D. 2008β. EC-5 Volume of Sensitivity. Decagon Devices
- Cobos D.R., 2008α, 10HS Volume of Sensitivity Decagon Devices, Application Note
- Cobos D.R., and Chambers C., 2010. Calibrating ECH2O Soil Moisture Sensors. Decagon Devices, Application Note, Revised 11/17/10
- D. Savvas and H. Passam (2002). Hydroponic production of vegetables and ornamentals, Athens.
- Dalton F.N. and Poss J.A., 1990. Soil water content and salinity assesment fro irrigation scheduling using time-domain reflectometry: Priciples and applications. *Acta Hortic.* 278, 381-393
- Decagon Devices, 2011. Calibration Equations for the ECH2O EC-5, ECH2O-TE and 5TE Sensors. Application Note 13392-03
- Decagon Devices, Inc, 2009. 10HS Soil Moisture Sensor Operator's Manual. Pullman WA 99163
- Decagon Devices, Inc., internet site, <http://www.decagon.com/>. Visited: 10/1/2011
- Donatelli, M., Bellocchi, G., Carlini, L., 2006. Sharing knowledge via software components: Models on reference evapotranspiration. *Europ. J. Agronomy* 24:186-192
- Gates R.S., K. Chao, N. Sigrimis, 2000. Fuzzy PI-Like Staged Environment Controller, CIGR2000 World Congress, Tokyo Nov 28-Dec 1, 2000

- Gizas, G. and D. Savvas. 2007. Particle size and hydraulic properties of pumice affect growth and yield of greenhouse crops in soilless culture. *HortScience* 42:1274-1280.
- Grodan B.V., 2011. WCM-control, User manual / v5. Διαθέσιμο στο www.grodan.com
- Hillell, D. 1980. Fundamentals of soil physics. Academic Press, New York. 413 pp.
- Hochmuth G., 2001. Fertilizer management for greenhouse vegetables. Florida greenhouse vegetable production book. vol. 3. Univ. fo Florida Coop. Ext. Serv. SP48:HS797
- Hortimax, 2010. Τεχνικό φυλλάδια ProDrain Διαθέσιμο στο: www.hortimax.com
- J. Benton Jones (1997). Hydroponics - a practical guide for the soilless grower, USA.
- J. Benton Jones (2005). Hydroponics - a practical guide for the soilless grower, second edition, CRC Press, USA.
- Kargas G., Kerkides P. 2008. Water content determination in mineral and organic porous media by ML2 ThetaProbe. *Irrig. and Drain.* 57: 435-449
- Kargas G., Kerkides P. 2009. Performance of the theta probe ML2 in the presence of nonuniform soil water profiles. *Soil & Tillage Research* 103: 425-432
- Katsoulas, N., C. Kittas, G. Dimokas, and Ch. Lykas. 2006. Effect of irrigation frequency on rose flower production and quality. *Bios. Eng.* 93:237-244.
- Lea-Cox J.D., Ristvey A.G., Ross D.S. and Kantor G.F., 2009. Deployment of Wireless Sensor Networks for Irrigation and Nutrient

Management in Nursery and Greenhouse Operations. SNA Research Conference Vol. 54 - Water Management Section 28

Lee A., 2010. Water and EC management. Practical Hydroponics & Greenhouses, March/April, 2010

Leith H., Oki L. 2008. Irrigation in Soiless Production (Chapter 4 in: Soiless Culture: Theory and Practice, eds.: Michael Raviv and J.H. Lieth. p. 117-156) Elsevier Publisher

Li Y.L., Stanghellini C., 2001., Analysis of the effect of EX and potential transpiration on vegetative growth of tomato. Scientia Horticulturae 89: 9 -21

Lin C.P., 2003. Frequency domain versus travel time analysis of TDR waveforms for soil moisture measurements. Soil. Sci. Soc. Am. J., 67: 720-729

Lizarraga A., Boesveld H., Huibers F. and Robles C., 2003. Evaluating irrigation scheduling of hydroponic tomato in Navara, Spain. Irrigation and drainage: 52(177-188)

Media. 4-10 September 2005, Angers, France. (Proceedings in print).

Michael Raviv, J. Heinrich Lieth (2008). Soiless culture- theory and practice, USA.

Milks, R.R. 1986. Culture and water relations of Pelargonium x Hortorum Bailey 'Ringo Scarlet' seedlings established with limited root volumes. Ph.D. thesis. N.C. State University, Raleigh.

Milks, R.R., W.C. Fonteno, and R.A. Larson. 1989. Hydrology of horticultural substrates: I. Mathematical models for moisture characteristics of horticultural container media. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114:48-52.

Milks, R.R.; Fonteno, W.C.; Larson, R.A., 1989a. Hydrology of horticultural substrates. I. Mathematical models for moisture characteristics of

- horticultural container media. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 114(1) p. 48-52
- Milks, R.R.; Fonteno, W.C.; Larson, R.A., 1989β. Hydrology of horticultural substrates. II. Predicting physical properties of media in containers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 114(1) p. 53-56
- Milks, R.R.; Fonteno, W.C.; Larson, R.A., 1989γ. Hydrology of horticultural substrates. III. Predicting air and water content of limited-volume plug cells. *Hydrology of horticultural substrates. II. Predicting physical properties of media in containers. Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 114(1) p. 57-61
- Miralles, J., van Iersel M.W., Bañón, S., 2010. Development of Irrigation and Fertigation Control Using 5TE Soil Moisture, Electrical Conductivity and Temperature Sensors. The Third International Symposium on Soil Water Measurement Using Capacitance, Impedance and TDT (2010, Murcia, Spain), Applications, Paper 2.10
Paper 2.10 - Page 1
- Morel και Michel, 2004
- Munoz-Carpena R., Dukes M.D., Li Y.C. and Klassen W., 2005. Field comparison of tensiometer and granular matrix sensor automatic drip irrigation on tomato. *HortTechnology*, 15 584-590
- Muñoz-Carpena, R. 2009. Field devices for monitoring soil water content. *Florida Coop. Ext. Serv. Bull.* 2009, 343, 1-17
- N. Sigrimis, K.G. Arvanitis, G. Pasgianos and K. Ferentinos, 1998. Hydroponics water management using adaptive scheduling with an on line optimiser. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, special issue on Artificial Intelligence in crop production, in press

- Nemali K.S., Montesano F., Dove S.K., van Iersel M.W., 2007. Calibration and performance of moisture sensors in soilless substrates: ECH2O and Theta probes. *Scientia Horticulturae* 112:227-234
- Nissen H.H., Moldrup P. and Henriksen K., 1998. High-resolution time domain reflectometry coil probe for measuring soil water content. *Soil Sci. Am. J.*, 62: 1203-1211
- Owen J.S. Jr. and Altland J.E., 2008. Container Height and Douglas Fir Bark Texture Affect Substrate Physical Properties. *HORTSCIENCE* 43(2):505-508. 2008.
- Pardossi A., Incrocci L., Incrocci G., Malorgio F., Battista P., Bacci L., Rapi B., Marzialetti P., Hemming J. and Balendonck J., 2009. Review: Root Zone Sensors for Irrigation Management in Intensive Agriculture. *Sensors*: 9 (2809-2835)
- Persson M. and Blom T.J., 2001. The effect of water availability and quality on photosynthesis and productivity of soilless-grown cut roses. *Sci. Hortic.* 88:257-276
- POPRURA - Ειδικά υποστρώματα υδροπονίας, 2008. Interreg III Greece - Italy, CNR - Experimental Farm "La Noria" Bari. Προσωπικό αρχείο.
- Prenger J. J., P. P. Ling, R. C. Hansen, H. M. Keener, 2005, Plant Response-Based Irrigation Control System In A Greenhouse: System Evaluation, *Transactions of the ASAE* Vol. 48(3): 1175-1183
- Prenger J.J., R. P. Fynn, R. C. Hansen, 2002. A Comparison of Four Evapotranspiration Models In A Greenhouse Environment. *Transactions of the ASAE* Vol. 45(6): 1779-1788
- Raviv M., Wallach R., Silber A., Bar-Tal A., 2002. Substrates and their analysis (Chapter 2 in: D. Savvas and H. Passam (Eds), *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals* p.p. 25-101). Embryo Publications, Athens, Greece.

- Roh, M.Y., and Y.B Lee. 1996. Control of amount and frequency of irrigation according to integrated solar radiation in cucumber substrate culture. *Acta Hort.* 440:332-337
- Sanchez-Guerrero M.C., Lorenzo P., Medrano E., Baille A., Castilla N., 2009. Effects of EC-based irrigation scheduling and CO₂ enrichment on water use efficiency of a greenhouse cucumber crop. *Agricultural Water Management*, 96: 429-436
- Savvas D., 2009. Modern Developments in the Use of Inorganic Media for Greenhouse Vegetable and Flower Production. *Proc. IS on Growing Media 2007*, Eds.: W.R. Carlile et al. *Acta Hort.* 819, ISHS
- Schroeder F.G., Lieth J.H., 2002. Irrigation Control in Hydroponics (Chapter 7 in: D. Savvas and H. Passam (Eds), *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals* p.p. 263-298). Embryo Publications, Athens, Greece.
- Seginer, I. and M. Tarnopolsky. 2000. Response of plants to ventilation regimes: In: *Transpirational Cooling of Greenhouse Crops* (Seginer, I., D. H. Willits, M. Raviv, M.M. Peet, eds), Chapter T3, Final Report, BARD Project IS-2538-95R, pp 165-171.
- Shelford T.J., Lau A.K., Ehret D.L. και Chieng S.T., 2004. Comparison of a new plant-based irrigation control method with light-based irrigation control for greenhouse tomato production. *CANADIAN BIOSYSTEMS ENGINEERING* 46 1.1-1.6
- Sigrimis N. 2000. "Modern Control Advances for Greenhouses in Europe". Keynote paper in 2d IFAC BIOROBOTICS conference, Osaka Japan, Nov 24-26, 2000.
- Sigrimis N., K.G. Arvanitis, G. Pasgianos, A. Anastasiou and K. Feredinos. 2000 "New Ways On Supervisory Control: a virtual greenhouse to train, to control, and to manage", *Agricontrol*, IFAC Conference in

Mathematical Modelling in Agriculture and Horticulture, Wageningen
10-14 July 2000.

Sigrimis N., Y. Hashimoto, A. Munack and J. DeBeardemaeker, 1999.
"Prospects in Agricultural Engineering in the Information Age -
Technological Developments for the Producer and the Consumer,
CIGR EJournal, invited paper.

Sigrimis Nick 1999. "Computer Integrated Management and Intelligent
Control of Greenhouses". IFAC World Congress, Beijing China July
4-11 1999, Invited pre-congress workshop on Intelligent Control
Systems in Agriculture, Plenary Volume (Tutorial Workshop #8)

Sigrimis, N. and R. King, 2000. Advances in Greenhouse Environment
Control, COMPAG special issue, editorial, printed.

Sigrimis, N., A. Anastasiou, and N. Rerras, 2000. Energy Saving in
Greenhouses using Temperature Integration: A Simulation Survey.
Computers and Electronics in Ariculture, Elsevier, special issue on
Developments in Greenhouse Control, Vol 26(3), 321-342.

Stanghellini C. and De Lorenzi F., 1994. A comparison of soil- and canopy
temperature-based methods for the early detection of water stress
in a simulated patch of pasture. Journal Irrigation Science Issue
Volume 14, Number 3 / February, 1994 DOI 10.1007/BF00193136
Pages 141-146

Stanghellini, C. 1987. Transpiration of greenhouse crops: An aid to climate
management. PhD diss. Wageningen, The Netherlands: Agricultural
University Wageningen.

Stanghellini, C. and Van Meurs, W.Th.M., 1992. Environmental control of
greenhouse crop transpiration. J. Agric. Eng. Res. 51, pp. 297-311

Stanhill, G., and A.J. Scholte. 1974. Solar radiation and water loss from
glasshouse roses. J. Am. Soc. Hort. Sci. 99:107-110.

- Stradiot, P. 2001. The Grodan water content meter for root management in stonewool. *Acta Hort. (ISHS)*, 548, 71-78.
- Stradiot, P. 2001. The Grodan water content meter for root management in stonewool. *Acta Hort. (ISHS)* 548:71-78
- Thompson R.B., Gallardo M., Valdez L.C., Fernandez M.D., 2007. Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors. *Agricultural Water Management*, 88:147-158
- tomato plants in soilless cultivation. *ISHS-IPS. International Symposium on Growing*
- Topp, G.C., Davis, J.L. and Annan, A.P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research* 16, 574-582.
- Tsirogiannis I.L., 2010. Lettuce Sub Moisture Report (using Decagon 10HS substrate moisture sensor in two experiments with Coir and Posidonia Oceanica based substrates)
- Tzortzakis NG, Economakis CD, 2005b. Effect of the substrate on yield and fruit quality of
- van Iersel M., Seymour RM., Chappell M., Watson F and Dove S., 2009. Soil Moisture Sensor-Based Irrigation Reduces Water Use and Nutrient Leaching in a Commercial Nursery. *SNA Research Conference Vol. 54 Water Management Section 17*
- Willits D.H., 2003. The Penman-Monteith Equation as a predictor of transpiration in a greenhouse tomato crop. *ASAE Annual International Meeting, Las Vegas, Nevada, USA 27- 30 July 2003*
- Δρίμτσιας Ε. (DKG group, αντιπρόσωπος Grodan στην Ελλάδα), 2011. Γενικές συστάσεις εγκατάστασης Grodan και αξιοποίησης του Grodan WCM για τη διαχείριση της άρδευσης. Προσωπική επικοινωνία

ΔΤ Devices, 1999. ThetaProbe Soil moisture sensor, Type ML2x, User Manual, UK

Ελληνική

Υδροπονικές εγκαταστάσεις, Γεώργιος Ν. Μαυρογιαννόπουλος 2006, Εκδόσεις ΑΘ. Σταμούλης, Αθήνα.

Ιωάννου Κορνάκου, Η καλλιέργεια της τομάτας στο θερμοκήπιο, ΥπΑΑΤ, 2007.

Σύγχρονη Λαχανοκομία, Κ. Παρασκευόπουλος Αθήνα 2009, Εκδόσεις Ψυχαλου

Η τεχνική της καλλιέργειας της τομάτας στο θερμοκήπιο, Χ. Ολυμπίου, Αθήνα 1990.

Θερμοκήπια, Στοιχεία κατασκευής, λειτουργίας και καλλιέργειας, Θ. Ευσταθιάδη)

Υδροπονικές καλλιέργειες και θρεπτικά διαλύματα, Γεώργιος Ν. Μαυρογιαννόπουλος, Αθήνα -Πειραιάς 1994

Βελτίωση φυτών Αρχές και Μέθοδοι, Π.Ι. Καλτσίκης ΕΚΔΟΣΕΙΣ: Α. ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ, ΠΕΙΡΑΙΑΣ 1989

Ηλεκτρονικές αναφορές

- ❖ <http://www.smart-fertilizer.com/articles/hydroponic-systems>
- ❖ http://www.aua.gr/ns/Pythagoras/pe1_1.htm
- ❖ <http://www.matia.gr/>
- ❖ <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- ❖ <http://www.gardenguide.gr/>
- ❖ <http://horticulturalidades.blogspot.gr/2010/04/tuta-absoluta.html>
- ❖ <http://www.agro-help.com/2010/02/tuta-absoluta.html>

- ❖ <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%98%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%AE%CF%80%CE%B9%CE%BF>
- ❖ http://www.agrotypos.gr/eshop/index.asp?mod=eshop_item&cID=53&pID=63554
- ❖ <http://www.inout.gr/showthread.php?t=28765>
- ❖ <http://www.tovima.gr/society/article/?aid=358186>
- ❖ <http://ydroponia.com/hydroponics/soillessculture/>
- ❖ <http://ydroponia.com/hydroponics/advantages/>
- ❖ <http://geoplexus.wordpress.com/2007/05/11/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%BD%CE%AF%CE%B1/>
- ❖ <http://www.agrool.gr/files/8erm.pdf>
- ❖ http://www.cvios.com/perlite_article.htm
- ❖ <http://www.agritex.gr/default.aspx?lang=el-GR&page=224>
- ❖ <http://www.greenclub.gr/main.php?id=84&lang=e>
- ❖ <http://www.symagro.com/?p=207>
- ❖ http://www.kathimerini.gr/4Dcgi/4dcgi/_w_articles_oiko1_1_23/09/2011_96314
- ❖ <http://dspace.aua.gr/xmlui/handle/10329/154>
- ❖ http://www.oikoem.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=100:2008-07-13-11-58-12&catid=41:2008-03-05-13-59-13&Itemid=82
- ❖ http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_tomato_production
- ❖ <http://www.ert.gr/vioepistimes/item/13644-To-DNA-ths-ntomatas-echei-perissotera-gonidia-apo-to-anthrw-pino>
- ❖ <http://www.crooking.com/perlite2.shtml>
- ❖ http://www.bep.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=947&Itemid=192

- ❖ www.gardenmosaics.cornell.edu/pgs/science/english/tomato_scienc_e_page.pdf
- ❖ www.museums.org.za/bio/plants/solanaceae/lycopersicon_esculentum.htm
- ❖ www.oardc.ohio-state.edu/tomato/
- ❖ www.barc.usda.gov/psi/vl/tomatoes.htm
- ❖ www.msu.edu/~freed/441-12.htm
- ❖ www.atlas-rosliu.pl/gantunki/Lycopersicon_esculentum.htm
- ❖ botot.botany.wisc.edu/images/401/Magnoliophyta/Magnoliopsida/Asteridae/Solanaceae/Lycopersicon_esculentum/