

**ΤΕΙ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ : ΣΤΕΓ**  
**ΤΜΗΜΑ: ΘΕΚΑ**

## **ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**



**πτυχιακή εργασία της σπουδάστριάς**  
**ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΟΥ ΡΕΒΕΚΚΑΣ**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ : ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΚΟΤΣΙΡΑΣ**  
**ΧΡΗΣΤΟΣ ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ**

**ΚΑΛΑΜΑΤΑ, 2003**

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....</b>	<b>σελ. 2</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>σελ. 4</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°.....</b>	<b>σελ. 5</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>σελ. 5</b>
1.1 Υδροπονία.....	σελ. 5
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	σελ. 6
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°.....</b>	<b>σελ. 8</b>
2.1 Περιγραφή των υποστρώματων.....	σελ. 8
2.2 Ανόργανα υποστρώματα.....	σελ. 9
2.2.1 Άμμος.....	σελ. 9
2.2.2 Πετροβάμβακας και υαλοβάμβακας.....	σελ. 10
2.3 Διογκωμένα μεταλλεύματα.....	σελ. 12
2.3.1 Περλίτης.....	σελ. 12
2.3.2 Παραγωγή διογκωμένων κόκκων αργίλου.....	σελ. 14
2.3.3 Βερμικουλίτης.....	σελ. 15
2.3.4 Ζεολίτης.....	σελ. 16
2.3.5 Ελαφρόπετρα.....	σελ. 17
2.3.6 Ηφαιστειακά υλικά (Ηφαιστειακή τέφρα).....	σελ. 18
2.3.7 Συνθετικά οργανικά υποστρώματα.....	σελ. 21
2.4 Οργανικά υποστρώματα.....	σελ. 21
2.4.1 Τύρφη.....	σελ. 21
2.5 Προϊόντα από απόβλητα δέντρων.....	σελ. 25
2.5.1 Ίνες καρύδας.....	σελ. 25
2.5.2 Φλοιός δέντρων.....	σελ. 26
2.5.3 Πριονίδι, ξύλινη ίνα και ξύλινα τσιπ.....	σελ. 28
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°</b>	
<b>Τεχνικές και συστήματα στην υδροπονία</b>	
<b>Ορισμοί και χαρακτηριστικά.....</b>	<b>σελ. 32</b>
3.1 Σχεδιάγραμμα των συστημάτων υδροπονίας.....	σελ. 32
3.1.1 Ανοικτά συστήματα.....	σελ. 32
3.1.2 Κλειστά συστήματα.....	σελ. 32
3.2 Συστήματα χωρίς στερεό μέσο.....	σελ. 34
3.2.1 Καλλιέργεια σε βαθύ στρώμα νερού.....	σελ. 34
3.2.2 Υδροπονικά συστήματα επίπλευσης.....	σελ. 35
3.2.3 Καλλιέργεια σε βαθύ ή ημι- βαθύ στρώμα ανακυκλωμένου νερού.....	σελ. 35
3.2.4 Τεχνική καλλιέργειας σε φιλμ θρεπτικού διαλύματος (NFT).....	σελ. 37
3.2.4.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συστήματος NFT..	σελ. 39
3.2.5 Υδροπονία με καλλιέργεια φυτών σε επίπεδη επιφάνεια...	σελ. 39
3.2.6 Αεροπονία.....	σελ. 40
3.3 Συστήματα που περιέχουν στερεό μέσο.....	σελ. 41
3.3.1 Καλλιέργεια σε άμμο και αμμοχάλικο.....	σελ. 41
3.3.2 Καλλιέργεια σε αφρό πολυουρεθανίου.....	σελ. 43
3.3.3 Καλλιέργεια σε πετροβάμβακα.....	σελ. 43
3.3.4 Καλλιέργεια σε περλίτη.....	σελ. 44
3.3.5 Καλλιέργεια σε βερμικουλίτη.....	σελ. 46

3.3.6	Καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα.....	σελ. 46
3.4	Συστήματα αύξησης βασισμένα σε φυτικά οργανικά υποστρώματα.....	σελ. 47
3.4.1	Καλλιέργεια σε τύρφη.....	σελ. 47
3.4.2	Καλλιέργεια σε πριονίδι.....	σελ. 47
3.4.3	Ξύλινος φλοιός.....	σελ. 48

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

##### **Συστήματα και Τεχνικές Ανακύκλωσεις του Θρεπτικού**

<b>Διαλύματος.....</b>	<b>σελ. 49</b>	
4.1	Περίληψη.....	σελ. 49
4.2	Εισαγωγή.....	σελ. 50
4.3	Οι συνέπειες της ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος.....	σελ. 52
4.4	Τεχνικές ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος.....	σελ. 56
4.4.1	Αρχές.....	σελ. 56
4.4.2	Αναμιγνύοντας το διάλυμα αποστράγγισης με νερό σε σταθερή αναλογία.....	σελ. 58
4.4.3	Ψεκασμός λιπασμάτων σε νερό πριν την ανάμειξη του με το διάλυμα αποστράγγισης.....	σελ. 59
4.4.4	Αναμιγνύοντας διάλυμα αποστράγγισης με νερό στοχεύοντας σε μια επιθυμητή EC στο μείγμα.....	σελ. 60
4.4.5	Αναμιγνύοντας διάλυμα αποστράγγισης, νερό και λιπάσματα σε αναλογίες υπολογισμένες σε συνθήκες πραγματικού χρόνου.....	σελ. 62
4.4.6	Συνεχής επανακυκλοφορία του διαλύματος.....	σελ. 63
4.5	Ανεφοδιασμός του ανακυκλωμένου διαλύματος με μονωμένα συστατικά.....	σελ. 66
4.5.1	Το πρόβλημα.....	σελ. 66
4.5.2	Οι αρχές.....	σελ. 68
4.5.3	Η έννοια των συγκεντρώσεων απορρόφησης.....	σελ. 70
4.5.4	Η έννοια του διαλύματος αποστράγγισης σε συνδυασμό με το ανεπεξέργαστο νερό.....	σελ. 77
4.5.5	Η έννοια του διαλύματος αναφοράς.....	σελ. 84
4.6	Προοπτικές.....	σελ. 93
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....</b>	<b>σελ. 96</b>	
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>σελ. 97</b>	



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να περιγράψει όσο πιο αναλυτικά γίνεται ότι αφορά την υδροπονία και να αποδείξει ότι αυτή μπορεί να είναι φιλική προς το περιβάλλον. Δηλαδή να περιγραφούν τα ποιο σημαντικά υποστρώματα, οι τεχνικές και τα συστήματα υδροπονίας και να ειπωθεί πως αυτά μπορούν να χειριστούν ώστε να μην έχουμε μόλυνση του περιβάλλοντος.

Έτσι στο πρώτο κεφάλαιο έχουμε την εισαγωγή. Δηλαδή περιγράφεται ο όρος υδροπονία, από πού προήλθε, τι περικλείει κ.α. και επίσης γίνεται μια ιστορική αναδρομή, για να μάθουμε από πού ξεκίνησε η υδροπονία πως εξελίχθηκε κ.τ.λ..

Στο δεύτερο κεφάλαιο έχουμε περιγραφή των ποιο σημαντικών υποστρωμάτων στην υδροπονία. Δηλαδή αναφέρεται η προέλευση τους και κάποιες γενικές πληροφορίες και περιγράφονται αναλυτικά οι φυσικές και χημικές τους ιδιότητες και τελευταίο και πιο σημαντικό, αν απολυμνούνται, έτσι ώστε να μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν και πως μπορούν να χειριστούν μετά την χρήση τους, για να μην ρυπάνουν το περιβάλλον. Δηλαδή αν ανακυκλώνονται, αν μπορούν να ενσωματωθούν πάλι στο έδαφος ή αν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες βιομηχανίες ως υλικά κ.α..

Στο τρίτο κεφάλαιο έχουμε την περιγραφή των ποιο σημαντικών τεχνικών και συστημάτων της υδροπονίας. Δηλαδή πώς λειτουργούν αυτά τα συστήματα, ποια υποστρώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε ένα χωριστά, τα μέσα που απαιτούν για την σωστή λειτουργία τους και το πιο σημαντικό εάν λειτουργούν σαν κλειστά ή ανοικτά συστήματα. Δηλαδή αν έχουν την δυνατότητα ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος ή όχι ώστε αυτό να μην διαφεύγει μέσω της αποστράγγισης και μολύνει το έδαφος και τα υπόγεια νερά με τα νιτρικά άλατα που περιέχει, καθώς και άλλα στοιχεία.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο περιγράφονται λεπτομερειακά οι τεχνικές και τα συστήματα ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος. Δηλαδή πως γίνεται η ανακύκλωση, ποιοι παράγοντες την επηρεάζουν, πια μέθοδος ανακύκλωσης είναι πιο εύχρηστη και πιο αποδοτική. Επίσης σε πια συστήματα υδροπονίας μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία αυτές οι τεχνικές και τα συστήματα ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος, έτσι ώστε εκτός από τις ωφέλειες του περιβάλλοντος λόγω της ανακύκλωσης να έχει και ο παραγωγός της ανάλογες απολαβές, όσον αφορά την αποδοτικότητα των εκτός εδάφους καλλιεργειών του αλλά και την οικονομία σε λιπάσματα εξαιτίας της επαναχρησιμοποίησης του θρεπτικού διαλύματος.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Υδροπονία

Με την πλατιά έννοια του όρου, υδροπονία ή ανέδαφος καλλιέργεια είναι η χρήση οποιασδήποτε μεθόδου καλλιέργειας φυτών που δεν έχει σχέση με το φυσικό έδαφος ή με ειδικά μείγματα εδάφους. Αναφέρεται μερικές φορές και ως χημική καλλιέργεια, τεχνητή καλλιέργεια, ανέδαφος γεωργία και υδροκαλλιέργεια. Ο ποιο γνωστός όμως και διαδεδομένος όρος, διεθνώς, είναι η ελληνική λέξη υδροπονία.

Με τη μέθοδο της υδροπονίας τα φυτά καλλιεργούνται είτε πάνω σε αδρανή υποστρώματα τα οποία προστίθεται θρεπτικό διάλυμα ή σε σκέτο θρεπτικό διάλυμα.

Γενικά για την σωστή ανάπτυξη των φυτών είναι απαραίτητο στη ρίζα τους να υπάρχει άφθονο οξυγόνο και ταυτόχρονα άφθονο νερό που να έχει διαλυμένα τα απαραίτητα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία στη σωστή τους αναλογία. Στη συμβατική καλλιέργεια εδάφους, είναι δύσκολο να επιτευχθεί ο συνδυασμός αυτός. Στο φυσικό έδαφος στις περισσότερες περιπτώσεις, όσο περισσότερο νερό υπάρχει τόσο λιγότερο οξυγόνο μένει και αντίθετα, με αποτέλεσμα πότε το ένα και πότε το άλλο να βρίσκεται σε έλλειψη. Στο έδαφος επίσης σημαντικό είναι και το πρόβλημα της διαθεσιμότητας των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων για τη ρίζα του φυτού. Μπορεί να προστίθενται ανόργανα θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος, αλλά αυτά δεν είναι πάντα αμέσως διαθέσιμα στη ρίζα, γιατί δεσμεύονται στα συστατικά του εδάφους ή δύσκολα μετακινούνται στη περιοχή της ρίζας. Με τις υδροπονικές καλλιέργειες τα προβλήματα αυτά λύνονται με τη ρύθμιση της τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος και τη χρησιμοποίηση (σε όσες περιπτώσεις χρησιμοποιείται στερεό υπόστρωμα) υλικών με πολύ υψηλό πορώδες και χημικά αδρανών.

Σήμερα η υδροπονική καλλιέργεια είναι μια διαρκώς επεκτεινόμενη δραστηριότητα, διότι με τη βελτιστοποίηση του περιβάλλοντος της ρίζας που επιτυγχάνει αυξάνονται οι αποδόσεις των φυτών και βελτιώνεται η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Εκτός αυτών όμως παρέχει τη δυνατότητα να καλλιεργηθούν φυτά σε περιοχές με πολλή κακή ποιότητας εδάφη (πολύ αλατούχα, πολύ συνεκτικά κ.λ.π.) ή σε θέσεις χωρίς καθόλου φυσικό έδαφος.

Άλλα πλεονεκτήματα των υδροπονικών καλλιεργειών είναι :

- Η απαλλαγή από τις ασθένειες εδάφους και το κόστος της απολύμανσης που είναι συνήθως σημαντικό,
- η διευκόλυνση της αυτοματοποίησης της άρδευσης και της λίπανσης,

- η δημιουργία ευχάριστου περιβάλλοντος για τον εργαζόμενο, με την απομόνωση του εδάφους και θεπομένως την απουσία οσμών και σκόνης,
- η εξοικονόμηση νερού και θρεπτικών στοιχείων γιατί περιορίζονται οι απώλειες από επιφανειακές διαρροές και βαθιά διείσδυση του νερού στο έδαφος,
- η απλοποίηση του προγράμματος των εργασιών της παραγωγικής επιχείρησης, γιατί δεν απαιτείται η δημιουργία ειδικών εδαφικών μιγμάτων για την ανάπτυξη των νεαρών φυτών και
- ο περιορισμός της σκληρής χειρονακτικής εργασίας, που είναι αναγκαία στις καλλιέργειες εδάφους, όπως κατεργασία εδάφους, φύτεμα, ζιζανιοκτονία κ.λ.π.

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της υδροπονικής καλλιέργειας είναι:

- Απαιτούνται αρκετά μεγάλες δαπάνες επένδυσης,
- είναι σχετικά ευαίσθητο σύστημα καλλιέργειας χωρίς μεγάλες ανοχές λαθών,
- απαιτούνται περισσότερες γνώσεις από τον καλλιεργητή.

Η υδροπονική καλλιέργεια, ιδιαίτερα όταν γίνεται (όπως συνήθως συμβαίνει) στο θερμοκήπιο απαιτεί μεγάλο βαθμό τεχνικής επιδεξιότητας και καλή γνώση της θρέψης των φυτών.

Οι περιποιήσεις των φυτών που καλλιεργούνται υδροπονικά διαφέρουν από αυτές των φυτών που καλλιεργούνται στο έδαφος ως προς την δημιουργία του περιβάλλοντος της ρίζας, είναι όμως ίδιες ως προς τη δημιουργία του περιβάλλοντος της κόμης, καθώς και στις καλλιεργητικές εργασίες όπως το κλάδεμα, την γονιμοποίηση και τις καταπολεμήσεις παρασίτων της κόμης.

Τα προϊόντα της υδροπονικής καλλιέργειας, δεν διαφέρουν σε γεύση και άρωμα από αυτά που καλλιεργούνται με τον συνηθισμένο τρόπο στο έδαφος, μάλιστα περιέχουν ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες ακριβώς στην ίδια ποσότητα με τα υψηλής ποιότητας προϊόντα εδάφους.

## 1.2 Ιστορική Αναδρομή

Από τον μεσαίωνα μέχρι τον 18<sup>ο</sup> αιώνα ήταν κοινή πίστη ότι τα φυτά τρεφόντουσαν μόνο με το νερό και ότι το έδαφος τους πρόσφερε μόνο στήριξη.

Η υδροπονία ξεκίνησε μετά τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, ως εργαλείο για ακαδημαϊκή έρευνα και πολύ αργότερα (20<sup>ο</sup> αιώνα) εξελίχθηκε σε μέθοδο παραγωγής.

Στη Γερμανία, κατά την περίοδο 1860 έως το 1900 η υδροπονική καλλιέργεια αποτελεί ένα γενικά παραδεκτό εργαλείο έρευνας. Η πυκνότητα των διαλυμάτων κυμαινόταν από 0,1 -0,6 %. Την εποχή αυτή προσδιορίστηκαν επίσης 10 από τα αναγκαία ανόργανα στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών.

Μετά το 1900, εκτός από τις χημικές ιδιότητες των στοιχείων, δόθηκε προσοχή και στις φυσικές ιδιότητες του υποστρώματος αναπτύξεως και του περιβάλλοντος της ρίζας γενικά (οσμωτική πίεση, θερμοκρασία, O<sub>2</sub>, PH).

Το 1914 ο W. E. Tottingham δημοσίευσε μια ερευνητική εργασία για την ποσοτική σύνθεση των στοιχείων του διαλύματος και τη φυσιολογική τους επίδραση στο φυτό (συνολική συγκέντρωση 0,6% ή 2.5 atm οσμωτική πίεση, με βάση το διάλυμα Knops). Το 1919-1920 ο Hoagland βρήκε ότι διαλύματα με οσμωτική πίεση από 0,48 ως 1,45 % έδιναν πολύ καλό αποτέλεσμα, αρκεί να ανανεώνονταν συχνά. Κατά την περίοδο αυτή όλες οι πειραματικές εργασίες γίνονταν σε υπόστρωμα άμμου.

Το 1923 από εργασίες των A. L. Bakke και L.W. Erdman αποδείχθηκε ότι η ανάπτυξη των φυτών με υδροπονική μέθοδο ήταν πολύ καλύτερη από αυτή του εδάφους.

Το 1938 αρχίζει η πρώτη εμπορική εκμετάλλευση της υδροπονικής καλλιέργειας στις ΗΠΑ και τη Β. Ευρώπη, όπου γύρω από τις μεγάλες πόλεις αρκετοί καλλιεργητές ξεκίνησαν υδροπονική καλλιέργεια στο θερμοκήπιο. Γρήγορα την εγκατέλειψαν όμως, λόγω διαφόρων τεχνικών προβλημάτων και της υψηλής τιμής των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούσαν.

Κατά τον Β Παγκόσμιο Πόλεμο και μετά γίνονται στις ΗΠΑ μερικές εγκαταστάσεις υδροπονικής καλλιέργειας, για παραγωγικούς σκοπούς, σε υπόστρωμα άμμου.

Το 1966 αναπτύχθηκε στη Μ. Βρετανία, από τον A. Cooper, η τεχνική καλλιέργειας σε φιλμ θρεπτικού διαλύματος ( NFT), που πήρε γρήγορα σημαντική εξάπλωση. Το 1976 πρωτοξεκίνησε πάλι στη Μ. Βρετανία η τεχνική καλλιέργειας με αδρανές υλικό τον πετροβάμβακα, που είναι η περισσότερο χρησιμοποιούμενη εμπορική μέθοδος στην Β. Ευρώπη σήμερα.

Σήμερα, χρησιμοποιούνται σε εμπορική κλίμακα, σε όλο τον κόσμο, πάρα πολλά συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας. Ο διεθνής οργανισμός International Society for Soilless Culture (ISOSC), με έδρα το Wageningen της Ολλανδίας, ασχολείται δραστήρια με το θέμα των υδροπονικών καλλιεργειών και σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Υδροπονίας των Καναρίων Νήσων, προωθεί την έρευνα στον τομέα αυτόν.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### 2.1 Περιγραφή των υποστρωμάτων

Υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα μεταξύ των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των υποστρωμάτων που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία. Επιπλέον κάθε χρόνο, εισάγονται νέες πηγές φυσικών και τεχνητών υποπροϊόντων ως μέσα αύξησης. Επομένως, είναι αδύνατο να περιγραφούν όλα τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται ως μέσα αύξησης. Αντ' αυτού, θα παρουσιάσουμε τους σημαντικότερους τύπους υποστρωμάτων και τα χαρακτηριστικά τους καθώς και τον τρόπο χρήσης και διαχείρισή τους. Σε αυτό το κεφάλαιο, τα υποστρώματα κατατάσσονται αρχικά σε οργανικά και ανόργανα υλικά. Τα οργανικά υλικά περιλαμβάνουν τα συνθετικά υποστρώματα (όπως τη φαινολική ρητίνη και το πολυουρεθάνιο) και τη φυσική οργανική ύλη (τύρφη, ίνες καρύδας και εμπλουτισμένα οργανικά απόβλητα). Τα ανόργανα υποστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε φυσικές πηγές που δεν υποβάλλονται σε τροποποιήσεις (άμμος, ηφαιστειακή τέφρα, ελαφρόπετρα) και σε επεξεργασμένα υλικά (επεκταμένη άργιλος, περλίτης και βερμικουλίτης). Ανόργανα υποστρώματα είναι επίσης ο πετροβάμβακας και ο υαλοβάμβακας. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των μέσων αύξησης περιλαμβάνουν τη χημική τους δραστηριότητα και το επιφανειακό τους φορτίο. Επομένως, τα υποστρώματα χαρακτηρίζονται ως ενεργά (π.χ. τύρφη, ηφαιστειακή τέφρα) ή αδρανή υλικά (π.χ. πετροβάμβακας και άμμος).

Η περιγραφή κάθε υποστρώματος περιλαμβάνει πληροφορίες για την παραγωγή και την προέλευσή του, συν τις γενικές πληροφορίες για τις εφαρμογές του ως μέσο αύξησης, ή για άλλους σκοπούς. Τα φυσικά χαρακτηριστικά, όπως η πυκνότητα της ύλης και η υδατιοϊκανότητα δίνονται, δεδομένου ότι αυτά τα χαρακτηριστικά είναι ουσιαστικά για την χρήση κατάλληλου προγράμματος άρδευσης. Τα χημικά χαρακτηριστικά, όπως η σύνθεση, η σταθερότητα σε σχέση με το pH, το επιφανειακό φορτίο, το pH και η αλατότητα δίνονται ως βασικά στοιχεία που απαιτούνται για την χρήση κατάλληλου προγράμματος λίπανσης και άρδευσης. Παρουσιάζονται πληροφορίες για την αποστείρωση υποστρωμάτων, δεδομένου, ότι ο έλεγχος ασθενειών είναι ένας σημαντικός παράγοντας για επιτυχή χρήση των μέσων αύξησης. Παρουσιάζονται επίσης και πληροφορίες για την επεξεργασία των αποβλήτων, δεδομένου ότι αυτό αποτελεί ένα σημαντικό θέμα αν λάβουμε υπόψη την περιβαλλοντική μόλυνση που παράγεται από την εντατική γεωργία.



## 2.2 Ανόργανα υποστρώματα

### 2.2.1 Άμμος

*Παραγωγή, προέλευση και γενικές πληροφορίες* - Η άμμος είναι το χονδροειδές μέρος εδαφολογικών μεταλλευμάτων. Καθορίζεται από τη Διεθνή Κοινωνία της Εδαφολογικής Επιστήμης ως κόκκος διαμέτρου άνω των 0,02 χιλ. και είναι περαιτέρω διαιρεμένος σε:

(I) χονδρόκοκκη άμμο, 0,2 - 2,0 χιλ.

(II) λεπτόκοκκη άμμο, 0,02 - 0,2 χιλ. Η χονδρόκοκκη άμμος προτιμάται ως υπόστρωμα. Η καθαρή άμμος χρησιμοποιείται ευρέως στις ερήμους και τις παράκτιες πεδιάδες επειδή αποτελεί φτηνή, τοπική, φυσική πηγή. Χρησιμοποιείται συχνά ως υπόστρωμα και τοποθετείται στο έδαφος επάνω από μια ταινία πολυαιθυλενίου που τη χωρίζει από το χώμα. Ως φυσικός πόρος, το μέγεθος και η διανομή των κόκκων της δεν είναι συχνά σταθερά. Το απαιτούμενο βάθος του στρώματος άμμου εξαρτάται από τη διακύμανση της διαμέτρου των κόκκων της. Όσο λεπτόκοκκη είναι η άμμος, τόσο βαθύτερο είναι το απαιτούμενο στρώμα της άμμου έτσι ώστε να αποφεύγεται η εξάτμιση του νερού και ο φτωχός αερισμός. Η άμμος χρησιμοποιείται επίσης και ως συστατικό των διάφορων μιγμάτων των μέσων αύξησης, και αποτελεί συνήθως το βαρύτερο συστατικό.

*Φυσικά χαρακτηριστικά* - Η πυκνότητα της άμμου είναι υψηλή σε σχέση με άλλες ουσίες αύξησης (1,48 και 1,80 g cm<sup>-3</sup> για την λεπτόκοκκη και χονδρόκοκκη άμμο, αντίστοιχα). Η διανομή του μεγέθους των πόρων της άμμου είναι περιορισμένη, έτσι ένα μικρό μέρος τους διατηρεί σχεδόν σταθερό τον όγκο του νερού, με αυξανόμενη απορρόφηση από 0 έως 10 εκατ. νερού (χονδρόκοκκη άμμος) ή από 0 έως 20 εκατ. νερού (λεπτόκοκκη άμμος). Μια περαιτέρω αύξηση της απορρόφησης νερού οδηγεί σε απότομη πτώση σε περιεκτικότητα του νερού.

*Χημικά χαρακτηριστικά* - Ο χαλαζίας (SiO<sub>2</sub>) είναι το πιο κοινό συστατικό στη σύνθεση της άμμου στα εδάφη επειδή, μετά από τους ασπίους, είναι το δεύτερο πιο κοινό μέταλλευμα στο γήινο φλοιό και είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στη διάβρωση (Drees et al, 1989). Η πυκνότητα του χαλαζία είναι υψηλή, 2.6-2.65 g cm<sup>-3</sup>, με μια σχετικά χαμηλή σχετική επιφάνεια 2 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (Drees et al, 1989). Ο χαλαζίας είναι σταθερό μέταλλευμα με μικρή διαλυτότητα 3-7 mg Si l<sup>-1</sup>, ανεξάρτητη από το pH σε κλίμακα από 2,5 έως 9,0 (Drees et al, 1989). Είναι ένα από τα καθαρότερα γνωστά μεταλλεύματα και με μικρό ποσοστό αντικατάστασης του Si από το Al, το Fe και άλλα ικνοστοιχεία. Κατά συνέπεια, η έλλειψη φόρτισης, που διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στη φυσικό-χημική δραστηριότητα άλλων εδαφολογικών μεταλλευμάτων, είναι πολύ χαμηλή στο χαλαζία (Drees et al, 1989). Επομένως, η άμμος είναι ένα σταθερό υπόστρωμα που μπορεί να εξυπηρετήσει ως διαλυτικό στα πιο αντιδραστικά συστατικά στα μέσα αύξησης των φυτών.

**Αποστείρωση και διάθεση αποβλήτων** - Η άμμος μπορεί να απολυμανθεί με εφαρμογή ατμού με αρκετά καλό αποτέλεσμα. Στα λεπτά στρώματα, οι πόροι μπορούν γρήγορα να γεμίσουν με νερό, το οποίο εμποδίζει τη διαδικασία βρασίματος στον ατμό. Η άμμος είναι πολύ ανθεκτική επειδή δεν επηρεάζεται ούτε χημικά ούτε βιολογικά. Τα απόβλητα της άμμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην υποδομή και την κατασκευή, κατά συνέπεια δεν αυξάνουν τα περιβαλλοντικά προβλήματα ρύπανσης. Αφ' ετέρου η προστασία των φυσικών αμμόλοφων περιορίζει τη χρήση της άμμου ως μέσο αύξησης.

### 2.2.2 Πετροβάμβακας και υαλοβάμβακας

**Παραγωγή, προέλευση και γενικές πληροφορίες** - Ο πετροβάμβακας είναι ένα ελαφρύ, τεχνητό υλικό, που παράχθηκε αρχικά για τη θερμική και ηχητική μόνωση στη κατασκευαστική βιομηχανία. Η εφαρμογή των τροποποιημένων μορφών του πετροβάμβακα ως υπόστρωμα στην υδροπονία άρχισε στη Δανία το 1969 (Smith, 1987). Χρησιμοποιείται κυρίως σε τσιμεντένιες επιστρώσεις ή σε τεμάχια υποκείμενων ινών, αλλά είναι επίσης διαθέσιμος και στην κοκκοποιημένη του μορφή ως συστατικό των γλαστρικών μειγμάτων. Ο πετροβάμβακας κατασκευάζεται με τη θέρμανση ενός μείγματος τριών φυσικών ακατέργαστων υλικών: διαβάσης 60% (μια μορφή βασαλτικής πέτρας, δολερίτης), ασβεστόλιθος 20% και κ.ο.κ. 20%. Αυτά τα υλικά λιώνουν μαζί σε υψηλή θερμοκρασία, με το κ.ο.κ. να ενεργεί ως καύσιμο υπό μορφή κλιβάνου φυσήματος μέσω του οποίου ο αέρας αναγκάζεται να αυξήσει τη θερμοκρασία σε 1600 °C. Το λειωμένο μίγμα περιστρέφεται έπειτα με υψηλή ταχύτητα και μετατρέπεται σε λεπτές ίνες διαμέτρου περίπου 0,005 χιλ., οι οποίες κρυώνουν σε ρεύμα αέρα. Οι ίνες θερμαίνονται με ορισμένες επιπρόσθετες ουσίες ( φαινολική ρητίνη και διάφορα υγρά μέσα) για να συγκρατήσουν τις ίνες μαζί και να μειώσουν τη φυσική υδροφοβία του υλικού. Έπειτα πιέζεται σε πλάκες και κομμάτια διάφορων μεγεθών (Smith, 1987).

Ο υαλοβάμβακας δημιουργείται λειώνοντας χαλαζία από άμμο σε έναν ηλεκτρικό φούρνο στους 1200 °C. Η διαδικασία της παραγωγής των ινών και των επιστρώσεων είναι παρόμοια με αυτήν του πετροβάμβακα. Ο πετροβάμβακας είναι υλικό αδρανές, εύχρηστο και με σταθερή απόδοση. Γι' αυτό και μέσα σε μια δεκαετία, ο πετροβάμβακας έγινε ένα από τα σημαντικότερα υποστρώματα στα θερμοκήπια, στην Ολλανδία, το Βέλγιο, τη Γερμανία, τη Δανία και άλλες δυτικές ευρωπαϊκές χώρες, από όπου η χρήση του έχει διαδοθεί και σε άλλες περιοχές (Smith, 1987). Είναι ένα αποτελεσματικό μέσο αύξησης για τις φυτοκομικές καλλιέργειες, στις οποίες ο καλλιεργητής μπορεί πολύ εύκολα να καθορίσει την αναλογία μεταξύ νερού και αέρα, και μεταξύ κάθε μιας από τις θρεπτικές ουσίες στην θρεπτική ζώνη της ρίζας. Αφ' ετέρου είναι «ανελέητος» σε σφάλματα διαχείρισης του επειδή στερείται ρυθμιστικής ικανότητας για τις θρεπτικές ουσίες, pH και νερό, εξαιτίας του μικρού όγκου των κοινών επιστρώσεων.

**Φυσικά χαρακτηριστικά** – Ο πετροβάμβακας είναι ένα ελαφρύ υπό-στρώμα με χαμηλή πυκνότητα περίπου  $0.07-0.1 \text{ g cm}^{-3}$  και όγκο πόρων 92-97%, (Smith, 1987). Εμφανίζει υψηλή υδατοϊκανότητα όταν η ένταση του νερού είναι μικρή, επομένως η περιεκτικότητα του νερού ελαττώνεται όταν η ένταση του νερού αυξάνεται έτσι ώστε ουσιαστικά το νερό να μην διατηρείται σε βαθμό απορρόφησης υψηλότερο από 5 kPa (da Silva, 1991 da Silva et al, 1995). Ο όγκος του αέρα είναι μικρός στα κατώτερα στρώματα του, ακριβώς 4% σε ύψος 1 εκατ. επάνω από την βάση, ενώ τα ανώτερα στρώματα είναι ξηρά. Το επιθυμητό ύψος μιας επίστρωσης για την περιεκτικότητα βέλτιστου νερού σε αναλογία με τον αέρα είναι 7,5 έως 10 εκατ. (Smith, 1987). Ο πετροβάμβακας είναι μια μαλακή και ελαστική ουσία που συμπιέζεται όταν του ασκείτε πίεση και διατηρεί το αρχικό ύψος του μετά από χαλάρωση, αλλά μετά από την αύξηση της καλλιέργειας γίνεται μαλακότερη και λιγότερο ελαστική (Wever και van Leeuwen, 1995).

Ο υαλοβάμβακας είναι πολύ ελαφρύς και μπορεί να περιέχει πολύ νερό και αέρα. Σε αντίθεση με τον πετροβάμβακα, η διάμετρος των ινών του υαλοβάμβακα μπορεί να ποικίλει και αυτό έχει επιπτώσεις στην ιδατοϊκανότητα του. Έχοντας λεπτότερες ίνες στο ανώτερο μέρος της επίστρωσης από ότι στο κατώτερο μέρος, είναι πιθανό να γίνει καλύτερη διανομή του περιεχομένου νερού πάνω από το ύψος της επίστρωσης.

**Χημικά χαρακτηριστικά** - Η χημική σύνθεση του πετροβάμβακα, που εκφράζεται ως οξείδιο (%), δίνεται (Verwer, 1976) στον **πίνακα 1** :

**Πίνακας 1** , Χημική σύσταση του Πετροβάμβακα, που εκφράζεται ως οξείδιο (%)

<b>Υλικά</b>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>
<b>%</b>	47	14	16	10	8	1	1	1	1

Το βασικό χημικό χαρακτηριστικό του πετροβάμβακας είναι ότι είναι αδρανές, εκτός από μερικές ασήμαντες εξαιρέσεις στο pH. Το αρχικό pH του εμπορικού υλικού είναι μάλλον υψηλό (7.0-8.0). Έχουν καταγραφεί τιμές μέχρι και 9,5 (Smith, 1987). Επομένως απαιτείται η ρύθμιση του pH σε μια ευνοϊκότερη σειρά τιμών 5.5-6.0, αλλά όχι κάτω από pH 5,0 γιατί διαλύεται. Ο ίδιος ο πετροβάμβακας δεν έχει καμία επίδραση στην θρέψη των καλλιεργειών και όλα τα απαιτούμενα στοιχεία για την θρέψη πρέπει να παρασχεθούν με το νερό. Εντούτοις, αποδείχθηκε ότι θα μπορούσε να ληφθεί μία αξιοσημείωτη ποσότητα Fe από τον πετροβάμβακα σε ρίζωμα τριανταφυλλιάς (Rupp και Dudley, 1989) και σε μερικά λαχανικά (Sonneveld και Voogt, 1985).

**Αποστείρωση και διάθεση αποβλήτων** – Ο περοβάμβακας είναι αποστειρωμένο προϊόν. Μετά από τη χρήση του μπορεί να απολυμανθεί με εφαρμογή ατμού. Αυτό που απασχολεί περισσότερο όσο αφορά τον πετροβάμβακα είναι « τι γίνεται αυτό μετά την χρήση του, αποδομείται ή επιβαρύνει το περιβάλλον;». Η απάντηση σ' αυτόν τον προβληματισμό, που



θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, είναι ότι ο πετροβάμβακας είναι προϊόν ορυκτής προέλευσης και η αποδόμησή του εξαρτάται από δύο κυρίως παράγοντες:

- α) τον όγκο του πετροβάμβακα που ενσωματώνεται στο έδαφος
- β) τη μηχανική και χημική σύσταση του εδάφους, αν δηλαδή είναι πηλώδες, αργιλώδες, αν υπάρχει οργανική ουσία κ.α.

Πολλές εταιρίες κατασκευής του πετροβάμβακα από σεβασμό και υπευθυνότητα προς το περιβάλλον προχώρησαν σε ορισμένες ενέργειες, έτσι ώστε οι παραπάνω προβληματισμοί να αντιμετωπισθούν και να επιλυθούν. Συγκεκριμένα :

- α) σε χώρες της βόρειας Ευρώπης, όπως π.χ. η Ολλανδία, όπου ο όγκος του χρησιμοποιούμενου πετροβάμβακα είναι μεγάλος, υπάρχει η δυνατότητα της ανακύκλωσης του προϊόντος σε εργοστάσια των εταιριών,
- β) σε συνεργασία με εταιρίες οικοδομικών υλικών, γίνεται χρήση του ήδη χρησιμοποιηθέντος πετροβάμβακα σε μείγματα με άλλα υλικά, όπως π.χ. στη κατασκευή πυρότουβλων, υλικών κάλυψης επιφανειών κ.α.

Στη χώρα μας συνιστάται η, με προϋποθέσεις, ενσωμάτωση του χρησιμοποιούμενου πετροβάμβακα σε αγρούς, για την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους ή το θάψιμο του σε χωματερές, αφού σαν υλικό είναι ελαφρύ και δέχεται ισχυρή συμπίεση.

Ένα άλλο θέμα που συζητείται είναι η σχέση του πετροβάμβακα με την υγεία του ατόμου που χρησιμοποιεί το υλικό αυτό. Θα πρέπει, λοιπόν, να γίνει γνωστό ότι ο πετροβάμβακας έχει ταξινομηθεί από διεθνείς οργανισμούς, όπως είναι ο Διεθνής Οργανισμός Υγείας που ανήκει στον ΟΗΕ, ο Διεθνής Οργανισμός Εργασίας, η Διεθνής Αντικαρκινική Εταιρία, ερευνητικά ινστιτούτα από διάφορες χώρες κ.α, σε ότι αφορά την επικινδυνότητα του για την υγεία του ανθρώπου στην ίδια κατηγορία με τον καφέ και το πριονίδι. Σε ότι αφορά την οριακή πυκνότητα των ινών πετροβάμβακα στο περιβάλλον, για την προσβολή η όχι της υγείας του ανθρώπου, οι ίδιοι οργανισμοί έχουν ορίσει την πυκνότητα της 1 ίνας ανά κυβικό εκατοστό, πυκνότητα η οποία δεν ανιχνεύεται ούτε καν στα εργοστάσια παραγωγής του υλικού.

## **2.3 Διογκωμένα μεταλλεύματα**

### **2.3.1 Περλίτης**

*Παραγωγή, προέλευση και γενικές πληροφορίες* – Το ακατέργαστο υλικό του περλίτη είναι ένα φυσικό ηφαιστειακό μέταλλευμα. Το υπόστρωμα, που ονομάζεται διογκωμένος περλίτης, παράγεται με τη θέρμανση εδάφους και κοσκινισμένου υλικού στους 1000 °C. Ο φυσικός περλίτης περιέχει μεταλλικό νερό, το οποίο μετατρέπεται σε αέριο στις υψηλές θερμοκρασίες στον φούρνο. Αυτό προκαλεί διόγκωση του περλίτη 4 έως 20 φορές από τον αρχικό του όγκο και λαμβάνεται ένα ελαφρύ υλικό με υψηλό πορώδες.

Ο περλίτης χρησιμοποιείται συχνά σε γλαστρικά εδαφικά μείγματα και ως μέσο αύξησης. Παράγεται σε διάφορα μεγέθη, τα πιο κοινά είναι 0 -2 και 1.5-3.0 m.m. σε διάμετρο. Τα διάφορα μεγέθη διαφέρουν στα φυσικά χαρακτηριστικά τους.

**Φυσικά χαρακτηριστικά** – Ο διογκωμένος περλίτης είναι πολύ ελαφρύς με μόριο και πυκνότητα 0,9 και 0,1 g cm<sup>-3</sup>, αντίστοιχα. Είναι πορώδες, έχει ισχυρή τριχοειδή ενέργεια και μπορεί να κρατήσει 3-4 φορές το βάρος του σε νερό. Ο Bures et al (1997a) ανέφερε ότι το νερό που παρακρατείται σε 10 kPa είναι πολύ περισσότερο στο κονδροειδές μέρος (0.5-1.0 mm διάμετρος) από ότι στο λεπτό μέρος (0.25-0.50 mm διάμετρος.) του διογκωμένου περλίτη, αλλά αυτό δεν εξηγείται μόνο από τον όγκο του εσωτερικού πορώδους. Η μείωση του περιεχομένου νερού όσο η ένταση του νερού αυξάνεται είναι μέτρια σε σχέση με την άμμο και τον πετροβάμβακα (Bures et al, 1997a, β). Το διαθέσιμο και μη διαθέσιμο νερό στον εμπορικό περλίτη διαμέτρου 0-4 mm. αποτελεί το 13,6% και 36,5% του όγκου του, αντίστοιχα (Bures et al, 1997b).

**Χημικά χαρακτηριστικά** – Ο περλίτης είναι ουδέτερος με pH 7,0 έως 7,5, αλλά δεν έχει καμία ρυθμιστική ικανότητα και δεν περιέχει καθόλου μεταλλικές θρεπτικές ουσίες. Όταν το pH είναι χαμηλό υπάρχει κίνδυνος τοξικής απελευθέρωσης Al στο διάλυμα. Η χημική σύνθεση του, όπως αναλύεται από τον Olymprio (1992) δίνεται στον **πίνακα 2**.

**Πίνακας 2**, Χημική σύσταση του περλίτη, που εκφράζεται ως οξείδιο %

Υλικά	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
%	73,1	15,3	0,8	0,05	1,05	3,65	4.5

**Αποστείρωση και διάθεση αποβλήτων** – Ο περλίτης είναι αποστειρωμένο προϊόν καθώς παράγεται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Μετά από τη χρήση μπορεί να ξανααποστειρωθεί με εφαρμογή ατμού ενώ η σταθερότητά του δεν επηρεάζεται πολύ από την επίδραση οξέων ή μικροοργανισμών. Χημικά, ο περλίτης είναι ένα σταθερό υλικό, το οποίο μπορεί να διαρκέσει για αρκετά χρόνια. Ο Marfa et al (1993) υποστήριξε ότι διατηρεί τις φυσικές ιδιότητές του για διαδοχικές καλλιέργειες, αν και άλλα, ακόμα αδημοσίευτα αποτελέσματά, μας εμφανίζουν μια σημαντική αλλαγή στις φυσικές του ιδιότητες (R.W και M.R.). Ο περλίτης είναι ευαίσθητος στη μηχανική συμπίεση, η οποία μπορεί να αλέσει τα μόρια του σε σκόνη. Όντας ένα αδρανές υλικό, ο περλίτης όταν ανακυκλώνεται δεν θέτει κανένα περιβαλλοντικό πρόβλημα.

### 2.3.2 Παραγωγή διογκωμένων κόκκων αργίλου

*Προέλευση και γενικές πληροφορίες* – Η διογκωμένη άργιλος είναι ένα κοκκώδες προϊόν με κυψελοειδή δομή. Παράγεται με ξηρά θέρμανση, στους 1100 °C, σε αυτή τη θερμοκρασία ελευθερώνεται αέριο και επεκτείνει τον άργιλο. Το ακατέργαστο υλικό πρέπει να έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα έτσι ώστε, να μην προστίθενται ουσίες, όπως ο ασβέστης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Διαφορετικά, το άλας που θα προστεθεί μπορεί να ελευθερωθεί κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία είναι διαμέτρου 3-10 mm. Οι διογκωμένοι κόκκοι αργίλου χρησιμοποιούνται στην υδροπονία από το 1936.

*Φυσικά χαρακτηριστικά* – Οι διογκωμένοι κόκκοι αργίλου έχουν μικρό βάρος με χαμηλή πυκνότητα 0,28 έως 0,63 g cm<sup>-3</sup> και περιεκτικότητα νερού 11 ως 24% σε πίεση -10 cm. (de Kreij et al, 1995). Οι Wever και van Leeuwen (1995) ανέφεραν υψηλή πυκνότητα, 1,2 g cm<sup>-3</sup> και πορώδες 53%. Βρήκαν ότι η περιεκτικότητα νερού μειώθηκε από 48 σε 44% καθώς η αναρρόφηση του νερού αυξήθηκε από 3 έως 50 cm, κατά συνέπεια το ποσό του διαθέσιμου νερού είναι πολύ μικρό, ακριβώς 4%. Σε αντίθεση με το νερό, το υλικό περιέχει μεγάλη ποσότητα αέρα. Έχει παρατηρηθεί ότι δεν υπήρξε καμία αλλαγή στα φυσικά χαρακτηριστικά του υλικού μετά από 5 χρόνια εντατικής καλλιέργειας. Η διαδικασία κορεσμού του υποστρώματος κάτω από ξηρές συνθήκες είναι σχετικά αργή, αλλά εάν αρχίζει υπό ύψος πίεσης 100 cm. είναι γρήγορη (Wever et al, 1997).

*Χημικά χαρακτηριστικά* – Οι διογκωμένοι κόκκοι αργίλου είναι ουδέτεροι, με pH περίπου 7,0. Η EC είναι χαμηλή εάν χρησιμοποιήθηκε άργιλος χαμηλής περιεκτικότητας σε άλας και δεν προστέθηκε κανένα αλάτι κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του ψησίματος διαφορετικά, απαιτείται έκπλυση. Έχει ταξινομηθεί ως αδρανές υλικό χωρίς να ανταλλάσσει κατιόντα ή να έχει ρυθμιστική ικανότητα. Εντούτοις, οι Meinken (1997) και Meinken και Fischer (1994) απέδειξαν ότι θρεπτικές ουσίες μπορούν να συσσωρευτούν μέσω της διάχυσης στους κόκκους και μπορούν να ελευθερωθούν πίσω στο διάλυμα.

*Αποστείρωση και διάθεση αποβλήτων* – Οι διογκωμένοι κόκκοι αργίλου αποτελούν αποστειρωμένο προϊόν αφού παράγονται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Μετά από τη χρήση τους μπορούν να πλυθούν και να αποστειρωθούν χωρίς καμία επιβλαβή επίδραση. Οι διογκωμένοι κόκκοι αργίλου είναι πολύ σταθεροί και μπορούν να διαρκέσουν για πολλά χρόνια. Το υλικό αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις κατασκευαστικές βιομηχανίες.



### 2.3.3 Βερμικουλίτης

*Παραγωγή, προέλευση και γενικές πληροφορίες* - Το ακατέργαστο υλικό του βερμικουλίτη είναι ένα φυσικό μέταλλευμα της αργίλου που έχει δομή ταξινομημένη σε στρώσεις με νερό μεταξύ των στρωμάτων. Το υπόστρωμα, που ονομάζεται διογκωμένος βερμικουλίτης, παράγεται με παρόμοιο τρόπο με τον περλίτη, με θέρμανση και κοσκινισμένο υλικό στους 1000 °C. Το νερό μετατρέπεται σε ατμό σε υψηλές θερμοκρασίες στο φούρνο και ωθεί τα στρώματα το ένα μακριά από το άλλο. Κατά συνέπεια, ο διογκωμένος βερμικουλίτης αποτελείται από κόκκους που μοιάζουν με ακορντεόν, είναι ελαφρύς και έχει υψηλό πορώδες. Ο βερμικουλίτης χρησιμοποιείται ως μέσο σποράς και ως συστατικό γλαστικών εδαφικών μειγμάτων. Χάρη στις φυσικές του ιδιότητες, θεωρείται άριστο φυτευτικό μέσο (Wright, 1989). Παράγεται σε διάφορα μεγέθη, τα πιο κοινά είναι διαμέτρου 0-2, 2-4 και 4-8 mm. Τα διάφορα μεγέθη διαφέρουν στα φυσικά χαρακτηριστικά τους.

*Φυσικά χαρακτηριστικά* - Ο διογκωμένος βερμικουλίτης είναι πολύ ελαφρύς με μόριο και πυκνότητα 0,9 και 0,1 g cm<sup>-3</sup>, αντίστοιχα. Έχει μεγάλο πορώδες, ισχυρή τριχοειδή ενέργεια και μπορεί να συγκρατήσει 3-4 φορές το βάρος του σε νερό.

*Χημικά χαρακτηριστικά* - Ο βερμικουλίτης είναι ουδέτερος, με pH 7,0 έως 7,5 και χαμηλή EC. Όπως το ακατέργαστο υλικό, έχει μια μόνιμη αρνητική φόρτιση. Συνεπώς, έχει τιμή CEC 150-210 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> και έχει ρυθμιστική ικανότητα και για το pH και τα κατιόντα. Προσροφά επίσης ιόντα, όπως το φωσφορικό άλας και αυτό οφείλεται στην μεγάλη επιφάνειά του και σε μερικές θετικά φορτισμένες περιοχές στις άκρες της αργίλου. Η χημική σύνθεση του υλικού, που εκφράζεται ως οξείδιο (%), δίνεται στον **πίνακα 3** :

**Πίνακας 3,** Χημική σύσταση του βερμικουλίτη, που εκφράζεται ως οξείδιο (%)

<b>Υλικά</b>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>%</b>	20-25	5-10	35-40	32-35

Όταν το pH είναι χαμηλό, υπάρχει κίνδυνος τοξικής απελευθέρωσης Al στο διάλυμα. Το **Mg** είναι ένα σημαντικό συστατικό της μεταλλικής δομής του και είναι το κυρίαρχο προσροφημένο κατιόν.

*Αποστείρωση και διάθεση αποβλήτων* - Ο βερμικουλίτης είναι αποστειρωμένο προϊόν καθώς παράγεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Εντούτοις, δεν μπορεί να αποστειρωθεί με ατμό γιατί αποσυντίθεται κατά τη διάρκεια της θέρμανσης. Η δομή του διογκωμένου βερμικουλίτη καταρρέει εύκολα. Επομένως, δεν είναι κατάλληλος για χρήση μακράς

περιόδου. Είναι ευαίσθητος στη μηχανική συμπίεση, η οποία μπορεί να αλέσει τα μόρια του σε σκόνη. Η διάθεση του βερμικουλίτη δεν είναι επικίνδυνη για το περιβάλλον.

#### 2.3.4 Ζεολίτης

*Παραγωγή, προέλευση και γενικές πληροφορίες* – Ο ζεολίτης είναι κρυσταλλικό ενυδατωμένο αλουμινοπυριτικό άλας των αλκαλίων και αλκαλικών κατιόντων που κατέχουν άπειρες, τρισδιάστατες κρυσταλλικές δομές (Ming και Mumpton, 1989 Mumpton, 1999). Ο ζεολίτης δημιουργείται συνήθως από μεταμόρφωση των ηφαιστειακών βράχων, αλλά μπορεί επίσης να δημιουργηθεί και από μη ηφαιστειακά υλικά όπως θαλάσσια ιζήματα ή άλλα υλικά του υδάτινου περιβάλλοντος (Ming και Mumpton, 1989). Εξαιτίας της ανταλλαξιμότητας των ιόντων του, της προσρόφησης, της ενυδάτωσης-αφυδάτωσης και της καταλυτικής του ιδιότητας, ο ζεολίτης χρησιμοποιείται ευρέως στη γεωργία καθώς και σε πολυάριθμες βιομηχανίες για την αφαίρεση ρύπων από το ακάθαρτο και το καταναλώσιμο νερό, τους ανταλλάκτες ιόντων, τις πέτρες οικοδόμησης και το ελαφρύ αμμοχάλικο (Ming και Mumpton, 1989 - Mumpton, 1999). Η βελτίωση των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του φυσικού ζεολίτη επιτυγχάνεται με την παραγωγή συνθετικών μεταλλευμάτων δεδομένου ότι ο βιομηχανικός ζεολίτης κατασκευάζεται από τη δεκαετία του '50 σε όλο τον κόσμο (Sherman, 1999). Ο ζεολίτης (κυρίως ο κλινοπτιλολίτης) χρησιμοποιείται στην επανόρθωση του εδάφους με σκοπό να προσροφήσει τα πυρηνικά απόβλητα ή τα βαριά μέταλλα (Καπετάνιος και Λοϊζίδου, 1992). Χρησιμοποιείται στη γεωργία ως εδαφολογικός τροποποιητής για: (i) πηγή θρεπτικών ουσιών P, K και NH<sub>4</sub> στα άγονα χώματα και τα υποστρώματα (II) μείωση των απωλειών N και της μόλυνσης από νιτρικά άλατα και (III) βελτίωση της διαθεσιμότητας νερού.

Ο ζεολίτης κατέχει τις υψηλότερες τιμές της CEC (2200-4600 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) καθώς επίσης και μια σχετικά υψηλή πυκνότητα (1.9-2.3 g. cm<sup>-3</sup>) (Ming και Mumpton, 1989) και επομένως δεν συστήνεται η χρήση του ζεολίτη ως μοναδικό συστατικό σε υπόστρωμα αύξησης. Εντούτοις, σε μικτά υποστρώματα, που περιλαμβάνουν οργανικά (τύρφη και λίπασμα) ή ανόργανα υλικά (άμμος και περλίτης), ο ζεολίτης χρησιμοποιείται ευρέως για τη παραγωγή λουλουδιών και λαχανικών σε όλο τον κόσμο (Βουλγαρία, Κίνα, Κούβα, Ιταλία, Ιαπωνία, Τζέρσεϋ, Κορέα, Ρωσία, ΗΠΑ και Γιουγκοσλαβία). Η πειραματική χρήση του ζεολίτη ως μοναδικό συστατικό σε υπόστρωμα αύξησης έχει αναφερθεί για διάφορες καλλιέργειες, όπως στο γλυκό πιπέρι, στη ντομάτα, και στη ζέρμπερα .

Ο κλινοπτιλολίτης είναι το κύριο μέταλλευμα του ζεολίτη που χρησιμοποιείται στη γεωργία και επομένως μόνο οι δικές του φυσικές και χημικές ιδιότητες θα αναφερθούν λεπτομερώς παρακάτω.

*Φυσικά χαρακτηριστικά* – Ο κλινοπτιλολίτης έχει πυκνότητα μορίων 2-2,1 g cm<sup>-3</sup> (Ming και Mumpton, 1989) και υδατοϊκανότητα 34%

(Mumpton, 1999). Οι διαδικασίες της λείανσης και του κοσκινίσματος έχουν επιπτώσεις στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του προϊόντος. Οι φυσικές ιδιότητες του τούρκικου ζεολίτη (κλινοπιλολίτη) διαφέρουν στο σύνολο τους, με αυτές των γνωστών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στα υποστρώματα (βασαλτική και ρυολιτική ηφαιστειακή τέφρα) στο ίδιο μέγεθος (Unver et al, 1989).

**Χημικά χαρακτηριστικά** - Ο Clinoptilolite είναι πολύ σταθερός, αλλά διαλύεται σε pH 2 ή χαμηλότερο σε σύντομο χρονικό διάστημα (Ming και Mumpton, 1989). Ο κλινοπιλολίτης έχει ένα μοναδικό τύπο κυττάρου  $[(Na_3K_3)(Al_6Si_{30}O_{72})]24H_2O$  και CEC 2200 mmolc kg<sup>-1</sup> (Ming και Mumpton, 1989).

**Αποστείρωση και διάθεση αποβλήτων** - Ο ζεολίτης δεν είναι ευαίσθητος στη μηχανική συμπίεση και κρατά τα φυσικά χαρακτηριστικά του σε αρκετές διαδοχικές καλλιέργειες. Δεν παρατηρήθηκε καμία μείωση στην απόδοση του γλυκού πιπεριού που αναπτύχθηκε σε ανακυκλωμένο κλινοπιλολίτη μετά από αποστείρωση του σε ατμό (Harland et al, 1999).

### 2.3.5 Ελαφρόπετρα

**Παραγωγή, προέλευση και γενικές πληροφορίες** - Η ελαφρόπετρα είναι ένα προϊόν ηφαιστειακής δραστηριότητας και των συνηθισμένων μορφών της πυριτικής λάβας που αναπτύσσονται κατά την ρυολιτική σύνθεση, η οποία είναι πλούσια σε αέρια και πτητικές ουσίες (Challinor, 1996). Οι ταχύτερες απελευθερώσεις πίεσης κατά τη διάρκεια των ηφαιστειακών εκρήξεων οδηγούν στην εξάπλωση αερίων και το σχηματισμό υλικών μικρής πυκνότητας που συντίθεται από κυστοειδές ηφαιστειακό γυαλί. Η ελαφρόπετρα είναι κοινή στις περιοχές με πλούσια ηφαιστειακή δραστηριότητα, όπως οι Πορτογαλικές Αζόρες, τα Ελληνικά Νησιά, η Ισλανδία, η Ιαπωνία, η Νέα Ζηλανδία, η Ρωσία, η Σικελία, η Τουρκία, και οι ΗΠΑ. Το ακατέργαστο υλικό εξάγεται από τα λατομεία, αλέθεται και κοσκινίζεται σύμφωνα με την απαίτηση των πελατών. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες της επηρεάζονται από το συνολικό μέγεθός της. Η ελαφρόπετρα έχει χρησιμοποιηθεί από τα ρωμαϊκά χρόνια ως ελαφρύ αμμοχάλικο για την κατασκευή κτηρίων, για πετρόπλυση στη βιομηχανία ενδυμάτων, τη στίλβωση και τον καθαρισμό μετάλλων, του ξύλου και του γυαλιού, και ως υλικό στις βιομηχανίες χαρτιού και πλαστικού.

**Φυσικά χαρακτηριστικά** - Η ελαφρόπετρα είναι ένα ελαφρύ αμμοχάλικο, που έχει χαμηλή πυκνότητα 0.4-0.8 g cm<sup>-3</sup>, και διάστημα πόρων 70-85% (Boertje, 1994 Challinor, 1996 -Ravin et al, 1999), ανάλογα με την προέλευσή της και τις διαδικασίες κοσκινίσματος / λείανσης. Η ελαφρόπετρα περιέχει μεγάλους πόρους και συνεπώς το ογκομετρικό νερό της μειώνεται αισθητά καθώς η ένταση του νερού αυξάνεται. (Boertje, 1994-Ravin et al, 1999). Η υδατοϊκανότητα της ελαφρόπετρας είναι σχετικά χαμηλή και συγκρίνεται με του πετροβάμβακα, του περλίτη ή των



οργανικών υποστρωμάτων και μπορεί να περιορίσει το νερό και τη λήψη θρεπτικών ουσιών από τα φυτά, ειδικά στα ζεστά κλίματα (Ravin et al, 1999). Τα ογκομετρικά διάστημα των πόρων και η πυκνότητα αναφέρονται στον **πίνακα 4** :

**Πίνακας 4.** Φυσικά Χαρακτηριστικά της Ελαφρόπετρας από διαφορετικές πηγές

Υλικά	Πυκνότητα g cm <sup>3</sup>	Πόροι %
Ισλανδία	0,4	85
Σικελία	0,7	70
Ελλάδα	0,6	75

<sup>1</sup>- από Boertje, 1994 <sup>2</sup>- από Ravin et al, 1999.

*Χημικά χαρακτηριστικά* – Η ελαφρόπετρα είναι ένα αδρανές αλουμινοπυριτικό υλικό που συντίθεται από πυρίτιο και οξείδιο Al, αλλά μπορεί επίσης να περιέχει οξείδια μετάλλων, ασβεστίου ή αλάτων. Η χημική σύνθεση τη ελαφρόπετρας εμφανίζεται στον **πίνακα 5**:

**Πίνακας 5,** Χημική σύσταση της ελαφρόπετρας, που εκφράζεται ως οξείδιο %

Υλικά	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
%	70-75	12-14	1-3	0,1-0,6	0,8-2,0	3-6	4-5

Η ελαφρόπετρα δεν έχει καμία ρυθμιστική ικανότητα και έχει μια μικρή φόρτιση επιφάνειας, που παράγεται κυρίως από τις ακαθαρσίες του περιεχομένου ανθρακικού άλατος και των μετάλλων. Το υλικό είναι σταθερό ακόμα και σε pH 2,5. Εντούτοις, συστήνεται προσοχή κατά τη χρησιμοποίηση νέου υλικού ελαφρόπετρας επειδή στην αρχή της χρησιμοποίησης της αποδεσμεύονται οι υψηλές συγκεντρώσεις του Na.

**Αποστείρωση και διάθεση αποβλήτων** – Η ελαφρόπετρα είναι βιολογικά αδρανής και δεν περιέχει κανένα παθογόνο ή ζιζάνιο (Challinor, 1996). Είναι σταθερή και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σχεδόν κατά τρόπο αόριστο. Όντας ένα φυσικό προϊόν, μπορεί να διευθετηθεί χωρίς την πρόκληση περιβαλλοντικής ρύπανσης.

### 2.3.6 Ηφαιστειακά Υλικά (ηφαιστειακή τέφρα)

*Παραγωγή, προέλευση και γενικές πληροφορίες* – Η ηφαιστειακή τέφρα είναι το κοινό όνομα του «pyroclastic» (ελληνική pyro "πυρκαγιά" και klastos "τεμάχιο") ηφαιστειακό υλικό και χαρακτηρίζεται από την κατοχή

υψηλού πορώδους και μεγάλης επιφάνειας. Οι ηφαιστειακοί βράχοι είναι ταξινομημένοι σύμφωνα με το περιεχόμενο πυριτίου τους ως εξής (ποσοστό πυριτίου στη στερεά φάση): ρυολιτικό (περισσότερο από 65), ανδεσιτικό (50-65) και βασαλτικό (λιγότερο από 50). Οι ρυολιτικές λάβες διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια της έκρηξης σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (800-1000 °C), και επομένως περιέχουν τα κυρίως ελαφριά στοιχεία όπως το Si και τον Al, ενώ η περιεκτικότητα σε Fe, Mn, Ca και Mg είναι χαμηλή. Το ιξώδες των ρυολιτικών βράχων είναι υψηλό και έχουν ένα απαλό χρώμα. Οι βασαλτικές λάβες διαμορφώνονται σε υψηλές θερμοκρασίες (επάνω από 1000 °C), και επομένως έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε Fe, Mn, Ca και Mg, τα οποία προκαλούν χαμηλό ιξώδες και σκοτεινό χρώμα. Οι ανδεσιτικές λάβες διαμορφώνονται σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες και έχουν ενδιάμεσο χρώμα και χημική σύνθεση μεταξύ αυτής των ρυολιτικών και βασαλτικών λαβών.

Η γρήγορη ψύξη του μάγματος κατά τη διάρκεια της έκρηξης αποτρέπει το σχηματισμό των αρχικών μεταλλευμάτων και επομένως, τα ηφαιστειακά υλικά περιέχουν κυρίως το κυστοειδές, ηφαιστειακό γυαλί. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες της ηφαιστειακής τέφρας καθορίζονται κυρίως από τα ορυκτολογικά στάδια της σύνθεσης και διάβρωσης της (Silber et al, 1994, 1999). Τρεις ηφαιστειακές τέφρες εξεργάγησαν από το ίδιο ηφαίστειο και έχουν σχεδόν την ίδια χημική σύσταση, αλλά διαφορετική αρχική ορυκτή σύσταση και απερχόμενο στάδιο, έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, φορτίο επιφάνειας, ικανότητα προσρόφησης P και κινητική τήξη (Silber et al, 1994 Silber et al, 1999). Επιπλέον, οι διαδικασίες της λείανσης και του κοσκινίσματος ίσως να έχουν επιπτώσεις στις φυσικές και χημικές ιδιότητες της ηφαιστειακής τέφρας.

*Φυσικά χαρακτηριστικά* – Η ηφαιστειακή τέφρα έχει πυκνότητα 0.8-1.5 g cm<sup>-3</sup>, και πορώδες 60-80 %, ανάλογα με την προέλευσή της και τις διαδικασίες κοσκινίσματος και λείανσης.

*Χημικά χαρακτηριστικά* – Οι ηφαιστειακές τέφρες έχουν μόνιμο και μεταβλητό φορτίο επιφάνειας, που προέρχεται κυρίως από άμορφα υλικά. Η ορυκτολογική σύνθεση (g ανά 100 g<sup>-1</sup>) και τα χαρακτηριστικά επιφάνειας των τριών ηφαιστειακών τεφρών από το βόρειο Ισραήλ και οι διαφορές στο στάδιο διάβρωσής τους εμφανίζονται στον **πίνακα 6** (After Silber et al, 1994):

**Πίνακας 6** . Ορυκτολογική σύνθεση των διάφορων τύπων ηφαιστειακών τεφρών

Ορυκτολογική σύνθεση	Μαύρη	Κόκκινη	Κίτρινη
Hydroxyapatite	4,5	4,6	5,0
Μαγνητίτης + TiO <sub>2</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,3	11,1	8,5
Olivine	7,8	1,8	10,2
Pyroxene	7,3	14,3	10,3
Ηφαιστειακό γυαλί	62,2	29,4	3,5
Halloysite	5,0	10,0	15,0
Halloysite – like allophane	-	18,8	51,5

Χαρακτηριστικά επιφάνειας	Μαύρο	Κόκκινο	Κίτρινο
Ειδική περιοχή επιφάνειας (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	7	28	174
pH σε H <sub>2</sub> O <sup>2</sup>	9,3	8,1	7,9
pH σε 1M-KCL <sup>2</sup>	7,8	6,6	6,6
CEC σε pH 7n (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>	107	285	601

<sup>1</sup>-προσρόφηση N<sub>2</sub> <sup>2</sup>- 90 λεπτά 0,5g 25mL<sup>-1</sup>, <sup>3</sup>- Οι δύο ηφαιστειακές τέφρες έχουν μεταβλητές επιφάνειες δαπανών

Οι ηφαιστειακές τέφρες έχουν ρυθμιστική ικανότητα και ίσως απορροφούν η ελευθερώνουν θρεπτικά στοιχεία, ειδικά P, κατά την διάρκεια περιόδου ανάπτυξης των φυτών (Silber et al., 1999- Silber και Ravin, 1996). Η χημική σταθερότητα των ηφαιστειακών τεφρών εξαρτάται από την ορυκτολογική σύνθεσή τους. Η ηφαιστειακή διάλυση του γυαλιού είναι πολύ γρήγορη ενώ αυτή των δευτεροβάθμιων μεταλλευμάτων είναι πιο αργή. Ως εκ τούτου, τα μη ξεπερασμένα υλικά που περιέχουν υψηλή συγκέντρωση του ηφαιστειακού γυαλιού, όπως η μαύρη ηφαιστειακή τέφρα είναι ασταθής και διαλύεται εύκολα σε PH 6, ενώ η κόκκινη και κίτρινη ηφαιστειακή τέφρα είναι σταθερότερες (Silber et al, 1999). Η εισαγωγή των φυτών στη μαύρη, ή ακόμα και στη κόκκινη ηφαιστειακή τέφρα, μετά από ισορρόπηση με έναν όξινο ηλεκτρολύτη (το pH κάτω από 5) μπορεί να είναι επικίνδυνη λόγω της τοξικότητας Al και Mn.

**Αποστείρωση και διάθεση αποβλήτων** - Η ηφαιστειακή τέφρα είναι ένα σταθερό υλικό, το οποίο μπορεί να διαρκέσει για αρκετά χρόνια. Η ανάπτυξη των φυτών μπορεί ακόμα και να βελτιώσει τις χημικές ιδιότητες της ηφαιστειακής τέφρας που οφείλονται στη συσσώρευση των οργανικών ουσιών και του χαμηλού μοριακού βάρους του φαλβικού οξέος (Silber και Ravin, 1996). Η αποστείρωση με εφαρμογή ατμού, η ηλιακή θέρμανση ή οι χημικές επεξεργασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απολύμανση της από έντομα. Η συμπεριφορά της ηφαιστειακής τέφρας ,μετά από την απολύμανσης της από έντομα, σε καλλιέργεια τριαντάφυλλων ήταν άριστη και έδωσε ανώτερη παραγωγή ( δρεπτά τριαντάφυλλα), από εκείνη της ακρησιμοποιήτης ηφαιστειακής τέφρας (Ravin et al, 1996). Η καθ' εαυτο διαδικασία απολύμανσης από έντομα δεν έχει επιπτώσεις στη στερεά φάση ή τη σταθερότητα της ηφαιστειακής τέφρας, αλλά έχει σημαντικές επιπτώσεις στη διαλυτότητα της οργανικής ουσίας. Οι διαλυτές οργανικές ενώσεις που ελευθερώνονται κατά τη διάρκεια της απολύμανσης από έντομα, προσροφώνται αργότερα από την επιφάνεια των ηφαιστειακών τεφρών και με αυτόν τον τρόπο μεταβάλλεται το φορτίο επιφάνειας (Silber και Ravin, 2001). Κατά συνέπεια, οι επεξεργασίες για απολύμανση πέρα από τα ευεργετικά αποτελέσματά τους στους πληθυσμούς των παθογόνων, ενίσχυσαν την διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων.



### 2.3.7 Συνθετικά οργανικά υποστρώματα

*Παραγωγή, προέλευση και γενικές πληροφορίες* - Το ορυκτέλαιο είναι η πρώτη ύλη για την παραγωγή διάφορων αφρών, πλακών και κόκκων που χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες επίπλων και τους κλάδους των οικοδομικών και τεχνικών έργων. Τα προϊόντα του ορυκτελαίου, όπως di-isocyanate, μπορούν να αναμιχθούν με τη γλυκόλη για να παράγουν το πολυουρεθάνιο. Το προϊόν αυτό είναι ένα πολυμερές σώμα που περιέχει περίσσια ομάδων di-isocyanate, οι οποίες αντιδρούν με το νερό, απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα και προκαλούν το άφρισμα του πολυμερούς σώματος. Οι προκύπτοντες αφροί χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία επίπλων και τα τέμνοντα υπολείμματα τους παρέχουν την πρώτη ύλη για τα υποστρώματα. Αλέθονται σε κόκκους, οι οποίοι πιέζονται μαζί με πρόσθετες ουσίες για να διαμορφώσουν μια πλάκα. Προστίθεται ατμός στους 140°C κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας. Ο αφρός χρησιμοποιείται ως μέσο αύξησης για τα λαχανικά και τα λουλούδια στο Βέλγιο και στην Ολλανδία. Οι κόκκοι χρησιμοποιούνται συχνά και ως συστατικό σε μείγματα.

*Φυσικά χαρακτηριστικά* - Το πολυουρεθάνιο είναι ένα πολύ ελαφρύ υλικό, με μικρή πυκνότητα μορίων και πολύ μικρό φαινόμενο ειδικό βάρος, 1.19 και 0.078 g cm<sup>-3</sup> αντίστοιχα. Συνεπώς, το πορώδες είναι πολύ υψηλό, 0,95. Δεδομένου ότι οι περισσότεροι από τους πόρους είναι σχετικά μεγάλοι, κρατά πολύ αέρα και πολύ λίγο νερό κάτω από χαμηλή αναρρόφηση (Kipp *et Al*, 2000). Το διαθέσιμο νερό με απόκλιση αναρρόφησης 10 έως 100 cm είναι περίπου 2% του όγκου του.

*Χημικά χαρακτηριστικά* - Το πολυουρεθάνιο είναι ένα συνηθισμένο υπόστρωμα με χαμηλή EC και pH 6. Δεν περιέχει ή δεν απελευθερώνει οποιαδήποτε σημαντική θρεπτική ουσία, εκτός από το Fe, το Zn και το B. Στο παρελθόν ο αφρός περιείχε επιβλαβείς οργανικές ουσίες, αλλά αυτό το πρόβλημα έχει πλέον αντιμετωπιστεί.

*Αποστείρωση και διάθεση αποβλήτων* - Το πολυουρεθάνιο μπορεί να διαρκέσει για πολύ, τουλάχιστον 10 χρόνια. Είναι ανθεκτικό στα οξέα και δεν μπορεί να λιπασματοποιηθεί. Είναι ένα αποστειρωμένο προϊόν που μπορεί να απολυμανθεί με ατμό μετά από τη χρήση του. Τα απόβλητα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για παραγωγή πλακών πολυουρεθάνιου για κατασκευές ή μπορούν να καούν.

## 2.4 Οργανικά υποστρώματα

### 2.4.1 Τύρφη

Η αξία της τύρφης στην υδροπονία και την παραγωγή φυτών αναγνωρίστηκε από το 18<sup>ο</sup> αιώνα (Perfect, 1759 Wooldridge, 1719). Η

προέλευση και η φυσική ιστορία της τύρφης περιγράφηκαν λεπτομερώς στην αρχή του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Από τότε η τύρφη έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας που διευθύνεται από βοτανολόγους, εδαφολόγους, φαρμακοποιούς, μικροβιολόγους και άλλους επιστήμονες.

*Παραγωγή, προέλευση και γενικές πληροφορίες* - Η τύρφη είναι αποτέλεσμα μερικής αποσύνθεσης φυτών, συμπεριλαμβανομένων και ειδών όπως καλάμια, χλόες και βρύα, κάτω από χαμηλές θερμοκρασίες και αναερόβιες ή ημι-αναερόβιες συνθήκες. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε κακώς αποστραγγιζόμενες περιοχές (έλη τύρφης), όπου επικρατούν χαμηλά θρεπτικά επίπεδα και χαμηλό pH. Υπό αυτές τις συνθήκες η λιγνίνη (υπόστρωμα βρύων) και το sphagnoi δεν μπορούν να αποσυντεθούν, κατά συνέπεια η κύρια δομή των φυτών που μεταβάλλονται σε τύρφη παραμένει αμετάβλητη. Οι διαφορετικοί τύποι τύρφης ποικίλλουν ανάλογα με το βαθμό αποσύνθεσής τους. Τα είδη φυτών, το κλίμα, και η ποιότητα του νερού έχουν επιπτώσεις στα ευδιάκριτα χαρακτηριστικά της τύρφης. Ο Von Post (1937) πρότεινε μια ταξινόμηση των τύπων τύρφης, βασισμένη στο βαθμό αποσύνθεσής τους, όπως παρουσιάζεται στον **πίνακα 7**.

**Πίνακας 7,** Ταξινόμηση τύρφης βασισμένη στο βαθμό αποσύνθεσης

<b>Ταξινόμηση</b>	<b>Βαθμός Αποσύνθεσης</b>
Ξανθή τύρφη	H1-H3
Σκούρη τύρφη	H4-H6
Μαύρη τύρφη	H7-H10

Η σύσταση της τύρφης επηρεάζεται από την μέθοδο με την οποία συγκομίστηκε και υποβλήθηκε σε επεξεργασία. Η τεχνική που χρησιμοποιείται για να συγκομιστεί η τύρφη εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κλίματος και των ελών, όπως π.χ. η παρουσία κορμών δένδρων στο έλος. Η τύρφη συγκομίζεται από τα έλη με την υδραυλική εξόρυξη ή με έτοιμα καλούπια. Η τύρφη συμπιέζεται περισσότερο μέσω της υδραυλικής εξόρυξης. Με αυτήν την μέθοδο συγκομιδής, η τύρφη τεμαχίζεται και αφαιρείται από το έλος με εκβάθυνση και έτσι το πορώδες του αερισμού της μειώνεται.

Η τύρφη που παράγεται με τη μέθοδο έτοιμων καλούπιων κόβεται σε πλάκες καθώς ανασκάπτεται από το έλος και τεμαχίζεται σε χονδροειδή σύσταση. Η τύρφη που προέρχεται από τα έτοιμα καλούπια έχει υψηλότερο πορώδες και κρατά περισσότερο διαθέσιμο νερό από την εξορυγμένη τύρφη εντούτοις, η ιδατοϊκανότητα και το πορώδες είναι χαμηλότερο στην τύρφη από έτοιμα καλούπια σε αντιδιαστολή με την εξορυγμένη τύρφη (Willson, 1985).

Εκτός από την ταξινόμηση της τύρφης με βάση τη αποσύνθεση, υπάρχουν τέσσερις φυτοκομικές ταξινομήσεις της τύρφης, αν και μπορούν να υπάρξουν παραλλαγές μέσα σε οποιονδήποτε από αυτούς

τους τύπους. Η τύρφη της ίδιας κατηγορίας διαφέρει συχνά σε ποιότητα, ακόμη και αν λαμβάνεται από το ίδιο έλος αλλά από χωριστά στρώματα μπορεί να έχει διαφορετικές χημικές και φυσικές ιδιότητες. Ο τύπος του φυτικού ιστού και ο βαθμός αποσύνθεσης της καθορίζουν κατά ένα μεγάλο μέρος την αξία της τύρφης για τη χρήση της ως μέσο αύξησης.

Τα βρύα της τύρφης *Sphagnum* αποτελούν τα αφυδατωμένα φυτικά υπολείμματα από όξινα έλη του γένους *Sphagnum*. Περίπου 335 είδη *Sphagnum* υπάρχουν σε όλο τον κόσμο, αλλά περισσότερο βρίσκονται στις βόρειες, ψυχρές περιοχές. Το ανώτερο στρώμα του έλους αποτελείται από λιγότερο αποσυντεθειμένο υλικό. Έχει χαρακτηριστικό χρώμα, φωτεινό μαύρο προς καφετή. Χρησιμοποιείται συνήθως στη μεταφορά και στον πολλαπλασιασμό φυτών ή στα κρεμάμενα καλάθια. Τα κάπως βαθύτερα στρώματα, που καλούνται συνήθως βρύα τύρφης είναι σκοτεινότερα στο χρώμα, περισσότερο αποσυνθεμένα και ελαφρώς βαρύτερα. Το βρύο *Sphagnum* είναι ίσως η πιο επιθυμητή μορφή οργανικής ουσίας για την προετοιμασία των μέσων αύξησης. Τα κράτη της Βαλτικής, η Φινλανδία, η Γερμανία, ο Καναδάς και η Ιρλανδία είναι οι κύριες περιοχές παραγωγής βρύου *Sphagnum*.

*Βρύο τύρφης Hyrnum*. Αυτός ο τύπος τύρφης αποτελείται από μερικώς αποσυνθεμένα υπολείμματα *Hyrnum*, *Polytrichum* και άλλων βρύων της οικογένειας *Hyranaceae*. Σε αυτή τη σταθερή μορφή περιέχει υψηλή συγκέντρωση χουμικού οξέος σε κολλοειδή μορφή. Το στέγνωμα αυτού του υλικού είναι δύσκολο αποτρέπεται λόγω της υδροφοβικής φύσης των σβόλων που προκύπτουν. Αυτή η κατάσταση μπορεί να αποτραπεί με μια διαδικασία παγώματος και σύνθλιψης των σβόλων με τη οποία δημιουργείται κοκκώδη δομή. Το βρύο τύρφης *hyrnum* είναι συνήθως φθηνότερο από την τύρφη *sphagnum*, αλλά μπορεί να περιέχει παθογόνα φυτών ή σπόρους ζιζανίων, ανάλογα τις συνθήκες κάτω από τους οποίους παρήχθη. Για να ικανοποιηθούν τα κριτήρια αυτής της ταξινόμησης, πρέπει πάνω από το 90% της οργανικής ουσίας να περιλαμβάνει ξηρό βάρος της τύρφης *hyrnum* και 50% αυτού πρέπει να αντιπροσωπεύεται από τον φυτικό ιστό του γένους *Hyrnum*. Στα σποριόφυτα των δέντρων που αναπτύσσονται σε κιβώτια δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται μέσα που αποτελούνται από μεγάλες ποσότητες τύρφης *hyrnum*, αυτή χρησιμοποιείται συχνά ως μέσο συστατικό για τις μη ανεκτικές καλλιέργειες σε όξινα εδάφη.

Η τύρφη καλάμων και βούρλων και το φυτόχωμα τύρφης είναι αποσυντεθειμένες ουσίες και δεν συστήνεται η χρήση τους ως κύριο συστατικό στα μέσα αύξησης και επομένως δεν θα συζητηθούν περαιτέρω.

Κύριες εφαρμογές - η τύρφη είναι, εδώ και καιρό, το σημαντικότερο οργανικό συστατικό των μέσων ανάπτυξης που χρησιμοποιούν τα φυτάρια και τα θερμοκήπια και ως μέρος μείγματος αλλά και ως αυτόνομο υπόστρωμα.

Φυσικά χαρακτηριστικά - Τα φυσικά χαρακτηριστικά της τύρφης *sphagnum* αναλύθηκαν λεπτομερώς από τον *Heiskanen* (1993). Μετά την αποσύνθεση των εύκολα βιοδιασπασμένων μερών, ο ανθεκτικός σκελετός του *sphagnum* αποκτά μια πολύ πορώδη δομή, που αποτελείται



κυρίως από το sphagnoi. Το Sphagnoi, περιέχοντας πολυάριθμες φαινολικές και υδροξυλικές ρίζες, εφαρμόζει ισχυρές ηλεκτροστατικές δυνάμεις στα μόρια του νερού, παρέχοντας κατά συνέπεια στην τύρφη μια πολύ υψηλή υδατοχωρητικότητα. Επομένως η τύρφη συμπεριλαμβάνεται συνήθως σε ένα μίγμα για να αυξήσει την υδατοϊκανότητα ή για να μειώσει το βάρος του μείγματος. Η τύρφη είναι από την φύση της υδροφοβική και το πότισμα της μπορεί να είναι προβληματικό. Συχνά, χρησιμοποιούνται διάφορα μέσα διαποτισμένα με νερό ή ασβέστη για να μειώσουν την υδροφοβία της.

**Χημικά χαρακτηριστικά** - Η τύρφη Sphagnum περιέχει οργανική ουσία τουλάχιστον 95% σε ξηρό βάρος (**πίνακας 8**). Επιπλέον, αυτό το βρύο τύρφης περιέχει ένα ελάχιστο της ίνας 75%, που αποτελείται από αναγνωρίσιμα κύτταρα φύλλων και μίσχων *Sphagnum*. Αυτή η ινώδης δομή έχει πολύ υψηλή πυκνότητα και φορτίο επιφάνειας, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων, η οποία βοηθά στο να μειώσει τη διύλιση των εφαρμοσμένων θρεπτικών ουσιών. Το σκοτεινό βρύο τύρφης διατηρεί δύο φορές περισσότερο την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων από ότι το βρύο της ξανθής τύρφης, όμως δεν περιέχει αρκετά καλό πορώδες αερισμού. Οι συνθήκες στο έλος τύρφης αφήνουν στην τύρφη μια πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα. Το Sphagnum συνήθως χαρακτηρίζεται από όξινο pH (**πίνακας 8**). Αν και αυτό μπορεί να αποτελεί πλεονέκτημα για μερικά φυτά που αγαπούν τις όξινες συνθήκες (π.χ. η τριανταφυλλιά), στις περισσότερες περιπτώσεις προστίθεται ασβέστης ή δολομίτης για να αυξήσει το pH σε 5-6. Τα κύρια χαρακτηριστικά των τύπων τύρφης παρουσιάζονται στον **πίνακα 8**.

**Πίνακας 8.** Κύρια φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των διαφορετικών τύπων τύρφης

Τύποι Τύρφης	Είδη σύνθεσης	Βαθμός αποσύνθεσης	pH	% N
<b>Sphagnum</b>	Sphagnum	Πολύ χαμηλός	3-4	0,6-1,4
<b>Hypnum</b>	Hypnum, Polystrichum, Sphagnum spp.	Χαμηλός	5-7	2-3,5
<b>Καλαμιών-Βούρλων</b>	Καλάμια, βούρλα χορτάρι	Μεσαίος	4-7,5	1,5-3,5
<b>Φυτόκωμα</b>	Μη ευδιάκριτα	Υψηλός	5-7,5	2,0-3,5

**Αποστείρωση και διάθεση αποβλήτων** - Αν και το βρύο sphagnum έχει βρεθεί σε μερικές περιπτώσεις να περιέχει συγκεκριμένες μηκυτοστατικές ουσίες, οι οποίες εμποδίζουν το σάπισμα

των σποροφύτων, θεωρείται γενικά ως υπόστρωμα ευπαθές στις πολυάριθμες ασθένειες εδάφους. Η αποστείρωση της τύρφης, δεν λύνει το πρόβλημα, δεδομένου ότι αφήνει ένα βιολογικό κενό που μπορούν εύκολα να γεμίσουν οι παθογόνοι μύκητες.

Η διάθεση της χρησιμοποιημένης τύρφης δεν δημιουργεί οποιοδήποτε περιβαλλοντικό πρόβλημα. Μπορεί να εφαρμοστεί στο χώμα ή να επαναχρησιμοποιηθεί για άλλες συσκευασμένες συγκομιδές.

## **2.5 Προϊόντα από απόβλητα δένδρων**

### **2.5.1 Ίνες Καρύδας**

*Προέλευση, παραγωγή και γενικές πληροφορίες* - Η καρύδα αναπτύσσεται εμπορικά στη Σρι Λάνκα, τις Φιλιππίνες, την Ινδονησία, τη νότια Ινδία και τη Λατινική Αμερική. Αυτές οι χώρες είναι η κύρια πηγή των ινών καρύδας για τη χρήση τους στη υδροπονία. Ο Verdonck et al (1983) ήταν πιθανώς ο πρώτος που αναφέρει τη φυτοκομική χρήση των ινών της καρύδας στην επιστημονική λογοτεχνία. Τα χαρακτηριστικά της σκόνης των ινών καρύδας σχετικά με τη χρήση της ως μέσο αύξησης αναθεωρήθηκαν πρόσφατα από τον Prasad (1997). Ανατομικά, οι ίνες της καρύδας προέρχονται από το μεσοκάρπιο ιστό, ή το φλοιό, των καρύδων (*nucifera Cocos*). Ο φλοιός περιέχει 60-70% ιστό εντεριώνης και ο υπόλοιπος αποτελείται κυρίως από ίνα. Οι μακριές ίνες χρησιμοποιούνται για διάφορους βιομηχανικούς λόγους. Το υπόλοιπο υλικό μπορεί να τεμαχιστεί και να χωριστεί σε ένα χονδροειδές μέρος (ίνα) και έναν λεπτό (σκόνη). Από τα δύο, η σκόνη είναι σταθερότερη, ενώ οι ίνες τείνουν να υποβληθούν σε δευτεροβάθμια αποσύνθεση στο μέσο αύξησης.

Η παραγωγή και των δύο μερών περιλαμβάνει μια περίοδο αποθήκευσης σε σωρούς όπου λαμβάνει χώρα αεροβική λίπασματοποίηση. Κατά τη διάρκεια της λίπασματοποίησης μέρος της ημικυτταρίνης, της κυτταρίνης και σε μικρότερη έκταση της λιγνίνης αποσυντίθενται, προκαλώντας μείωση στην αναλογία C/N (Yau και Murphy, 2000).

Μετά την λίπασματοποίηση, το σταθερό υλικό είναι αφυδατωμένο και συμπιεσμένο σε συμπαγή μορφή (τούβλα) για την εύκολη μεταφορά του. Με την προσθήκη του νερού, οι ίνες καρύδας διογκώνονται 5 έως 9 φορές σε σχέση με τον αρχικό όγκο τους. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι ίνες καρύδας δεν είναι ένα ομοιόμορφο υλικό. Οι διαφορετικές πηγές και οι διαφορετικές διαδικασίες παραγωγής οδηγούν σε μεγάλη μεταβλητότητα των τελικών προϊόντων.

*Κύριες εφαρμογές* - Οι ίνες καρύδας μπορεί να χρησιμεύσουν είτε ως αυτόνομο μέσο είτε ως συστατικό σε μείγμα για την καλλιέργεια των

λαχανικών και των δρεππών λουλουδιών, καθώς επίσης και για τα γλαστρικά φυτά, δενδρύλλια και νεαρά φυλλώδη φυτά. Επίσης οι ίνες καρύδας είναι ευρέως αποδεκτές ως υποκατάστατο της τύρφης, παρουσιάζοντας αποτελέσματα αύξησης συγκρίσιμα με αυτά του βρύου τύρφης. Οι ίνες καρύδας μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν ως μέσο ριζοβολίας για τα μοσχεύματα κάτω από την υδρονέφωση ή σε αίθουσες υψηλής υγρασίας. Η σκόνη των ιών καρύδας έχει θεωρηθεί ότι ενισχύει τη ριζοβολία λόγω της περιεκτικότητας της σε ουσίες που συγκλίνουν στην αύξηση των ριζών. Αυτό υποστηρίζεται από τη χημική ανάλυση, που αποκαλύπτει ότι οι πολυσακχαρίτες των τοίχων των κυττάρων της σκόνης των ιών της καρύδας αντικαθίστανται με τα υδροξυβενζοϊκά οξέα, γνωστά σε βιβλιογραφίες ως παράγοντες ριζοβολίας

*Φυσικά χαρακτηριστικά* - Η σκόνη ιών καρύδας είναι ένα ελαφρύ υλικό. Μια ευδιάκριτη θετική ιδιότητα της σκόνης ιών καρύδας είναι η σχετικά υψηλή ελαστικότητα και η αντίστασή της στην απώλεια συμπίεσης και ύψους κατά τη διάρκεια του χρόνου, σε σύγκριση με άλλα οργανικά μέσα, όπως η τύρφη λευκού και sphagnum και τα ξύλινα τσιπ (Wever και Van Leeuwen, 1995 Argo και Biernbaum, 1996).

*Χημικά χαρακτηριστικά* - Οι ακατέργαστες ίνες καρύδας είναι πλούσιες σε Na και CL, τα οποία μπορούν να βλάψουν τα φυτά. Κατά τη διάρκεια του σταδίου παραγωγής, πρέπει να πλυθούν και συνήθως προστίθενται Ca και τα Mg για να διευκολύνουν την αφαίρεση Na και να παρέχουν θρεπτικές ουσίες. Αφ' ετέρου, η περιεκτικότητα σε P και K στις ίνες καρύδας είναι πολύ υψηλή και πρέπει αυτό να ληφθεί υπόψη σε οποιοδήποτε πρόγραμμα λίπανσης. Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων κυμάνθηκε από 320 έως 950 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> και η αναλογία C/N υπολογίστηκε κατά προσέγγιση σε 117. Χρησιμοποιώντας το Δείκτη Ελάττωσης Αζώτου (NDI), ο Handreck (1993b) παρουσίασε μικρή ακινητοποίηση N στη σκόνη ιών καρύδας, αλλά όχι στο μέσο των ιών καρύδας βασισμένο σε ένα συμβατικό πρόγραμμα λίπανσης.

*Αποστείρωση και διάθεση αποβλήτων* - Η αποστείρωση των ιών καρύδας είναι δυνατή. Εντούτοις, μπορεί να εμφανιστεί κάποια απώλεια ελαστικότητας. Επίσης, όντας ένα οργανικό, γόνιμο μέσο υπάρχει κίνδυνος, να δημιουργηθεί ένα βιολογικό κενό που μπορεί να επιτρέψει τη γρήγορη ανάπτυξη παθογόνων μυκήτων μετά από την αποστείρωση. Δεδομένου ότι είναι βιοδιασπάσιμες, φυσικές και μη τοξικές, οι ίνες καρύδας μπορούν να διατεθούν χωρίς πρόβλημα.

### **2.5.2 Φλοιός δέντρων**

*Παραγωγή, προέλευση και γενικές πληροφορίες* - Ο φλοιός είναι ένα υποπροϊόν των βιομηχανιών ξύλου και χαρτιού. Ο φλοιός ξεφλουδίζεται από τα κούτσουρα στα πριονιστήρια με τις μηχανές αποφλοιώσης και στη συνέχεια αλέθεται πριν περάσει από μια κατάλληλη οθόνη έτσι ώστε



να είναι έτοιμος να χρησιμοποιηθεί στα μέσα αύξησης, είτε φρέσκος είτε μετά από λιπάσματοποίηση. Ο φλοιός, που είναι το εξωτερικό προστατευτικό στρώμα των δέντρων, έχει αναπτυχθεί, μέσω της εξέλιξης των δένδρων, ως εμπόδιο ενάντια στην αποξήρανση και τους φυτοπαθογενείς οργανισμούς. Σε πολλά είδη δέντρων αυτό το στρώμα είναι πολύ ανθεκτικό στη μικροβιακή αποσύνθεση. Αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα κάνουν το φλοιό ένα πολύτιμο φυτοκομικό προϊόν, αλλά ταυτόχρονα επιβάλλουν μερικούς περιορισμούς στη χρήση του ως μέσο αύξησης.

Η αντίδραση του φλοιού στην αποξήρανση, αντικατοπτρίζεται από την υδροφοβία του. Για να υπερνικήσει την υδροφοβία του, ο φλοιός πρέπει να υγρανθεί επιμελώς και κατά προτίμηση να είναι μεγάλης ηλικίας ή λιπασματοποιημένος. Η λιπασματοποίηση είναι επίσης επιθυμητή για να ξεπεράσει και μία άλλη ιδιότητά, σχετική με ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα του φλοιού, την φυσική φυτοτοξικότητά του, που αναπτύχθηκε αρχικά μέσω της εξέλιξης των δένδρων για να αποτρέψει την εξάπλωση παράσιτων. Η γήρανση και η λιπασματοποίηση είναι συνήθως αποτελεσματικές στην απομάκρυνση των τοξινών των φλοιών. Τα χαρακτηριστικά του φλοιού από μαλακό ξύλο και σκληρό ξύλο είναι αρκετά διαφορετικά. Μερικοί φλοιοί μαλακού ξύλου είναι σταθερότεροι και μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς λιπασματοποίηση, ενώ ο φλοιός σκληρού ξύλου πρέπει να λιπασματοποιηθεί πριν από τη χρήση.

Η βοτανική περιγραφή του φλοιού που χρησιμοποιείται για φυτοκομικούς λόγους είναι συχνά φτωχή εξαιτίας της χρήσης μικτών φλοιών καθώς και στους λανθασμένους ορισμούς. Όπως με την τύρφη, ο φλοιός είναι μόνο ένα γενικό όνομα, που χρησιμοποιείται για πολλούς τύπους προϊόντων. Η φυτοκομική ποιότητα του συγκεκριμένου προϊόντος εξαρτάται πρώτιστα από τη βοτανική προέλευσή του, τη διανομή μεγέθους μορίων, τον τύπο του και τη διάρκεια της λιπασματοποίησης του. Οι διαδικασίες της λείανσης, του κοσκινίσματος και της λιπασματοποίησης έχουν επιπτώσεις στη διανομή μεγέθους μορίων.

*Κύριες εφαρμογές* - Ο φρέσκος φλοιός μαλακού ξύλου καθώς και ο λιπασματοποιημένος φλοιός μαλακού ξύλου και σκληρού ξύλου είναι μεταξύ των δημοφιλέστερων μέσων αύξησης και ριζοβολίας. Επίσης, χρησιμοποιείται ευρέως στα δέντρα και στους θάμνους στα φυτώρια, όπου η ανάπτυξή τους γίνεται μέσα σε βαθιά κιβώτια.

*Φυσικά χαρακτηριστικά* - Ο φλοιός είναι ένα ελαφρύ υλικό. Η λιπασματοποίηση του φλοιού δημιουργεί συχνά ένα υλικό που είναι σχετικά ασταθές. Η συνεχής λιπασματοποίηση των λιπασμάτων-μέσων αύξησης του φλοιού σκληρού ξύλου κατά τη διάρκεια της εποχής ανάπτυξης αυξάνει την ιδατοϊκανότητα και μειώνει το πορώδες του αέρα (Lemaire et al, 1998).

*Χημικά χαρακτηριστικά* - Ο φρέσκος φλοιός επίγειων πεύκων έχει CEC 160 έως 700 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> (Lemaire, 1995 Wilson, 1984). Η λιπασματοποίηση, ή ακόμα και η ανάπτυξη φυτών στο φλοιό, αυξάνει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του (Lemaire et al, 1998). Ο

φλοιός, ειδικά των δέντρων σκληρού ξύλου, όπως η κλήθρα, η λεύκα, το σφενδάμι, και η βαλανιδιά είναι επιρρεπής στην αποσύνθεση εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας του σε κυτταρίνη. Τέτοιου είδους φλοιός, που δεν έχει λιπασματοποιηθεί κατάλληλα, προκαλεί ανεπάρκεια αζώτου εντούτοις, ο λιπασματοποιημένος φλοιός, στον οποίο προστίθεται ικανοποιητική ποσότητα λιπάσματος αζώτου κατά τη διάρκεια της διαδικασίας δεν πρέπει να δημιουργήσει αυτό το πρόβλημα. Είναι απαραίτητο να προστεθεί περισσότερο συμπληρωματικό άζωτο στο σκληρό ξύλο, παρά στο μαλακό ξύλο, πριν ή κατά τη διάρκεια της λιπασματοποίησης για να αποτραπεί η ανεπάρκεια αζώτου (Bilders-back, 1982).

**Βιολογικά χαρακτηριστικά, αποστείρωση και διάθεση αποβλήτων** - Ο λιπασματοποιημένος (αλλά μη φρέσκος) φλοιός μπορεί να καταστείλει τους παθογόνους μύκητες και τους νηματώδεις. Οι αιτιολογικοί παράγοντες είναι συγκεκριμένα πληθυσμοί μικροβίων και μυκήτων, οι οποίοι εισβάλλουν στο σωρό του λιπάσματος κατά τη διάρκεια των τελευταίων σταδίων της λιπασματοποίησης ("θεραπεύοντες"). Αυτό σημαίνει ότι δεν συστήνεται η αποστείρωση του λιπάσματος φλοιών. Οι μυκητοκτόνοι ανασταλτικοί παράγοντες μπορούν επίσης να είναι παρόντες και στο λιπασματοποιημένο τελικό προϊόν.

Μερικοί φρέσκοι τύποι φλοιών περιέχουν τοξίνες, συμπεριλαμβανομένων των υψηλών επιπέδων από μονοτερπενικές ή και φαινολικές ενώσεις, οι οποίες μπορούν να αποδειχθούν επιβλαβείς για τα φυτά. Οι φαινολικές ενώσεις είναι ιδιαίτερα τοξικές στους φρέσκους φλοιούς των νέων συγκομιδών των φυτωρίων. Τα είδη δέντρων, η ηλικία, ο χρόνος της συγκομιδής, ο εδαφολογικός τύπος, και η γεωγραφική περιοχή είναι παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στη φυτοτοξικότητα. Ο φλοιός που προέρχεται από παλαιότερα δέντρα, χαμηλότερο μέρος του δέντρου, ή που αφαιρείται κατά τη διάρκεια των χειμωνιάτικων μηνών τείνει να είναι πιο φυτοτοξικός από το φλοιό που αφαιρείται από τα νεώτερα δέντρα, ανώτερο μέρος του δέντρου, ή κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Η λιπασματοποίηση είναι ένας αποδοτικός τρόπος για να μειωθεί η φυτοτοξικότητα. Μια άλλη πηγή πιθανής φυτοτοξικότητας στο φλοιό είναι το μαγγάνιο, ειδικά σε χαμηλό pH. Σε πολλές άλλες περιπτώσεις ο φλοιός μπορεί να παρέχει το μαγγάνιο στα φυτά σε χαμηλό ποσοστό, χωρίς την άσκηση οποιασδήποτε αρνητικής επίπτωσης.

Όντας ένα φυσικά βιοδιασπάσιμο υλικό, ο χρησιμοποιημένος φλοιός μπορεί να ανακυκλωθεί από πολλές απόψεις, συμπεριλαμβανομένης της εδαφολογικής εφαρμογής.

### **2.5.3 Πριονίδι, ξύλινη ίνα και ξύλινα τσιπ**

*Παραγωγή, προέλευση και γενικές πληροφορίες* - Το μη λιπασματοποιημένο πριονίδι και τα ξύλινα τσιπ ή τα ροκανίδια είναι φτηνά και εύκολα διαθέσιμα υλικά, εξαιτίας της βιομηχανίας ξύλου στα

περισσότερα μέρη του κόσμου. Η ξύλινη ίνα μπορεί επίσης να παραχθεί ειδικά και να αναπαράγει N, έτσι ώστε να μπορεί να προλάβει και να μειώσει την επόμενη ανεπάρκεια N κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, λόγω της ακινητοποίησης του. Το φθαρμένο λίπασμα μανιταριών είναι επίσης, ένα προϊόν ξύλου, το οποίο υποβάλλεται σε δύο πρόσθετα στάδια: σε μια μικρή, ελεγχόμενη αεροβική λιπασματοποίηση και σε μια περίοδο καλλιέργειας μανιταριών, η οποία βοηθά στην πρόσθετη αποσύνθεση.

*Κύριες εφαρμογές, φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά* - Τα φρέσκα ξύλινα απόβλητα χρησιμοποιούνται σπάνια ως αυτόνομο μέσο αύξησης, αν και μπορεί να χρησιμεύσουν ως μέσο ριζοβολίας για τα μοσχεύματα. Συνήθως αποτελούν ένα από τα συστατικά (κανονικά λιγότερο από 50%) σε μείγματα. Με βάση πολλά χρόνια έρευνας, ο Poole et al (1981) συνέστησε, το ποσοστό του πριονιδιού στο μέσο αύξησης των φυλλωδών φυτών, να μην υπερβαίνει το 20%. Η περίπτωση της βιομηχανικά επεξεργασμένης, ξύλινης ίνας είναι διαφορετική και είναι γενικώς αποδεκτό πως η χρήση της έχει πολύ καλά αποτελέσματα. Η χρήση των ξύλινων αποβλήτων ως συστατικό των μέσων αύξησης έχει οδηγήσει σε ιδιαίτερα μεταβλητά αποτελέσματα. Σε μερικές περιπτώσεις, ένα μεγάλο μέρος φρέσκου πριονιδιού ως μέσο αύξησης οδήγησε σε καλή ανάπτυξη των φυτών. Σε άλλες περιπτώσεις, μάλλον επιτεύχθηκαν φτωκά αποτελέσματα. Εντούτοις, παρά τις συμπληρωματικές υφιστάμενες δαπάνες, είναι ιδιαίτερα επιθυμητό να χρησιμοποιηθούν τα λιπασματοποιημένα ξύλινα απόβλητα, για τους ακόλουθους λόγους:

Η υγρασία, η θερμοκρασία και οι θρεπτικές συνθήκες μέσα σε ένα μέσο αύξησης είναι ευνοϊκές με την βοήθεια βιολογικής αποσύνθεσης των ξύλινων αποβλήτων. Αντίθετα από το φλοιό, τα ξύλινα απόβλητα προέρχονται από τα εσωτερικά μέρη του δέντρου και είναι λιγότερο ανθεκτικά στις φθορές. Η περιεκτικότητά τους σε λιγνίνη είναι χαμηλότερη ενώ η αναλογία C/N είναι υψηλότερη από το φλοιό. Στην πραγματικότητα βρέθηκε εξαιρετικά υψηλή αναλογία C/N. Κατά συνέπεια και η κατανάλωση του αζώτου και του οξυγόνου με την αποσύνθεση των μικροοργανισμών είναι μεγαλύτερη από εκείνη του φλοιού (αν και τα μαλακά ξύλα ακινητοποιούν πολύ λιγότερο άζωτο από τα σκληρά ξύλα). Αυτή η κατανάλωση μπορεί να οδηγήσει σε ανεπάρκεια στα μέσα που περιέχουν ξύλινα απόβλητα. Πολυάριθμοι ερευνητές έχουν αποδείξει την ύπαρξη ακινητοποιημένου αζώτου στα μέσα που περιέχουν φρέσκα ξύλινα απόβλητα (π.χ. Handreck, 1992b). Η ακινητοποίηση του αζώτου μπορεί να αντισταθμιστεί με την εφαρμογή επιπρόσθετου αζώτου, αλλά πρέπει να ληφθεί υπόψη και το επιπρόσθετο κόστος της λίπανσης. Σε μερικές περιπτώσεις, πρέπει επίσης να εξεταστεί η ακινητοποίηση και άλλων θρεπτικών ουσιών, όπως ο φώσφορος (Handreck, 1996). Τα έμμεσα στοιχεία αποδεικνύουν ότι ακόμη και το οξυγόνο μπορεί να είναι ανεπαρκές κατά την ανάπτυξη των φυτών στο φρέσκο πριονίδι (Bowen, 1983). Η ανεπάρκεια οξυγόνου είναι πιθανώς επίσης η αιτία της φτωχής ριζοβολίας των μοσχευμάτων υπό συνθήκες μη-υδρονέφωσης.



Σε πολλές περιπτώσεις, τα ξύλινα απόβλητα παρουσίασαν χαρακτηριστική φυτοτοξικότητα, που οφείλεται πρώτιστα στην απελευθέρωση των φαινολικών ενώσεων.

Όλα τα παραπάνω μειονεκτήματα μπορούν να διορθωθούν σε μεγάλο βαθμό με την κατάλληλη λιπασματοποίηση. Το φθαρμένο λίπασμα μανιταριών χαρακτηρίζεται από  $pH > 7$ , υψηλό κάλιο, φώσφορο, και επίπεδα αλάτων και περιλαμβάνει επαρκή ποσά ιχνοστοιχείων και ασβεστίου. Το φθαρμένο λίπασμα μανιταριών συνεχίζει να αποσυντίθεται και να συμπιέζεται μέσα στα κιβώτια, με αποτέλεσμα μειωμένο διάστημα μεταξύ των πόρων αέρα και αυξανόμενη υδατοϊκανότητα του μείγματος. Αν και αυτό το υλικό έχει υψηλή ρυθμιστική ικανότητα, η προσθήκη του θειικού άλατος του σιδήρου συμβάλλει στη μείωση του  $pH$  του (Bunt, 1988).

Η κατάσταση μέσα σε ένα μέσο ριζοβολίας είναι ευδιάκριτα διαφορετική από αυτήν μέσα σε ένα μέσο αύξησης. Το μέσο πλένεται συνεχώς με μεγάλα ποσά νερού που αφαιρούν τις υπερβολικές φυτοτοξικές ενώσεις. Επιπλέον, οι φαινολικές ενώσεις που απελευθερώνονται από το φρέσκο ξύλο (Selwa και Liprecki, 1993) είναι γνωστοί παράγοντες ριζοβολίας, και προκαλούν το σχηματισμό τυχαίας ρίζας. Αυτός μπορεί να είναι και ο λόγος για την επιτυχή χρήση των φρέσκων ξύλινων αποβλήτων για τη ριζοβολία μιας ευρείας ποικιλίας μοσχευμάτων.

Η διατροφή των φυτών που αυξάνονται μέσα σε κιβώτια που περιέχουν ξύλινα απόβλητα έχει ερευνηθεί λεπτομερώς από διάφορους ερευνητές. Η μνημειακή συμβολή του Handreck σε αυτή την περίπτωση δεν πρέπει να αγνοηθεί. Ειδικότερα, σημαντική στην αξιολόγηση των θρεπτικών απαιτήσεων των φυτών που αυξάνονται σε μέσα με υψηλή ικανότητα ακινητοποίησης N, όπως τα ξύλινα απόβλητα, είναι η ανάπτυξη του δείκτη ελάττωσης αζώτου (NDI) (Handreck, 1992a και β).

Μια σημαντική χρήση των ξύλινων αποβλήτων είναι η εφαρμογή τους ως μέσα ανάμιξης φορτίων στη λιπασματοποίηση των οργανικών αποβλήτων με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, όπως την λάσπη από νερά υπονόμων και τα ζωικά λιπάσματα. Τα ξύλινα απόβλητα μπορούν είτε να προστεθούν ως απορροφητικό μέσο στα οικιακά ζωικά υπολείμματα ή και να προσμειχθούν με λίπασμα λάσπης μετά από την αποκομιδή και πριν από τη λιπασματοποίηση. Τα ξύλινα απόβλητα μπορούν επίσης να επιφέρουν στο μείγμα μια βέλτιστη αναλογία C/N, μειώνοντας κατά συνέπεια τις εκπομπές μυρωδιών και την απώλεια αζώτου (ειδικά ως αμμωνία). Επιπλέον, τα ξύλινα απόβλητα βοηθούν στη μείωση της αρχικά υπερβολικής περιεκτικότητας σε υγρασία αυτών των οργανικών αποβλήτων, η οποία βοηθά στο να αποτραπούν οι ρυπογόνες αλυσίδες που αφήνουν οι σωροί λιπάσματος. Το λίπασμα που έγινε από μείγμα λάσπης από νερό υπονόμων και ξύλινα απόβλητα χρησιμοποιήθηκε για να αυξηθεί μια ευρεία ποικιλία φυτοκομικών καλλιεργειών σε κιβώτια.

**Αποστείρωση και διάθεση αποβλήτων** - Τα ξύλινα απόβλητα δεν είναι αποστειρωμένα και στην πραγματικότητα, μπορούν ακόμα και να

συμβάλλουν στην αύξηση παθογόνων ρίζας εάν δεν λιπασματοποιηθούν κατάλληλα. Οι υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της λιπασματοποίησης σκοτώνουν τα παθογόνα, αλλά η περαιτέρω αποστείρωση μεταξύ των κύκλων ανάπτυξης δεν συστήνεται λόγω των αρνητικών αποτελεσμάτων στις φυσικές ιδιότητες του υλικού. Τα ξύλινα απόβλητα μπορούν εύκολα να ανακυκλωθούν μέσω της δευτεροβάθμιας λιπασματοποίησης ή της εφαρμογής τους στο έδαφος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

### Τεχνικές και συστήματα στην υδροπονία Ορισμοί και χαρακτηριστικά

#### 3.1 Σχεδιάγραμμα των συστημάτων υδροπονίας

Γενικά, τα υδροπονικά συστήματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως ανοικτά ή κλειστά συστήματα (Herbold, 1995). Στα κλειστά συστήματα όλο το νερό αποστράγγισης συγκεντρώνεται και επαναχρησιμοποιείται, ενώ στα ανοικτά συστήματα το νερό αποστράγγισης γενικά απορρίπτεται. Στην υδροπονία, τα συστήματα στα οποία δεν υπάρχει υπόστρωμα, όπως στο NFT ή την αεροπονία, είναι κλειστά συστήματα. Τα συστήματα όπου το νερό αποστράγγισης συγκεντρώνεται μπορεί να είναι είτε ανοικτά είτε κλειστά ανάλογα με το εάν ο καλλιεργητής είναι σε θέση να καθαρίσει και να επαναχρησιμοποιήσει το συγκεντρωμένο νερό αποστράγγισης.

##### 3.1.1 Ανοικτά συστήματα

Στα ανοικτά συστήματα, το ποσοστό του όγκου του διαλύματος της αποστράγγισης εξαρτάται από τη διαμόρφωση συστημάτων άρδευσης, τον τύπο ελέγχου και το υπόστρωμα. Το ποσοστό διήθησης του παρεχόμενου θρεπτικού διαλύματος αποστράγγισης μπορεί να κυμανθεί από χαμηλό επίπεδο 0 -10% μέχρι υψηλό όπως 90%, ανάλογα με το βαθμό προσοχής που δίνεται στη διαδικασία άρδευσης. Χαρακτηριστικά, προτείνεται διήθηση σε ποσοστό 25-35% ώστε να διατηρηθεί η EC στο υπόστρωμα σε συνιστώμενα επίπεδα. Υπάρχουν δύο λόγοι ανησυχίας σχετικά με τα υψηλά ποσοστά διήθησης: (1) το διάλυμα αποστράγγισης που θα διηθηθεί μολύνει το πόσιμο νερό και (2) το απορριπτόμενο διάλυμα άρδευσης αντιπροσωπεύει μια ισοδύναμη απόρριψη ποσοστού του αγορασμένου λιπάσματος και του νερού.

##### 3.1.2 Κλειστά συστήματα

Τα κλειστά συστήματα αναπτύχθηκαν εξαιτίας της περιβαλλοντικής ρύπανσης έτσι ώστε να επιτραπεί η επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος αποστράγγισης στις μακροπρόθεσμες συγκομιδές. Εντούτοις, υπάρχουν ακόμα μερικά άλλα προβλήματα. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού αποστράγγισης οδηγεί σε συσσώρευση μερικών θρεπτικών ουσιών και ιόντων και κατά συνέπεια σε αλλαγές των θρεπτικών αναλογιών. Για να αποτραπεί αυτό το πρόβλημα, απαιτούνται ακριβώς συστήματα που χρησιμοποιούν

υγρό λίπασμα και ευαίσθητους ιονικούς αισθητήρες καθώς και μονάδες ελέγχου. Δυστυχώς δεν υπάρχει αυτήν την περίοδο κανένας ευαίσθητος ιονικός αισθητήρας που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσα σε κάποιο σύστημα ελέγχου.

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η δυνατότητα διάδοσης των ασθενειών ρίζας μέσα στο υδροπονικό σύστημα επειδή το ανακυκλώμενο διάλυμα που περιέχει μόλυσμα από οποιαδήποτε ασθένεια μπορεί να επηρεάσει ένα ή περισσότερα φυτά, που αυξάνονται στο σύστημα. Η απολύμανση του ανακυκλωμένου θρεπτικού διαλύματος είναι κάτι αναπόφευκτο για τις μακροπρόθεσμες συγκομιδές. Τα υπάρχοντα συστήματα αποστείρωσης δεν ισχύουν πάντα, κυρίως λόγω των υψηλών δαπανών, ή επειδή έχουν επιπτώσεις στις θρεπτικές ουσίες που περιέχονται στο διάλυμα. Οι εξελίξεις στον εξοπλισμό απολύμανσης εστιάζουν στην αφαίρεση των παθογόνων χωρίς πλήρη αποστείρωση του διαλύματος. Αυτήν την περίοδο, δεν υπάρχει καμία δυνατότητα άμεσου ελέγχου για τη ζώνη ρίζας, ακόμη και στις περιπτώσεις των νέων ασθενειών ρίζας.

Μερικές μελέτες αναφέρουν λιγότερες μυκητιακές ασθένειες στα κλειστά συστήματα απ' ό,τι στα ανοικτά. Μια εξήγηση για αυτό είναι ότι ευεργετικοί μικροοργανισμοί παρουσιάζονται περισσότερο σε ένα φυσικό ριζικό περιβάλλον και ελέγχουν τις ασθένειες. Ο Postma και ο van Elsas (2001) παρατήρησαν ότι τα αγγούρια σε πετροβάμβακα μετά από αποστείρωση είχαν μεγαλύτερη μόλυνση, όταν ήρθαν σε επαφή με rythium από εκείνα που αυξήθηκαν σε πετροβάμβακα χωρίς αποστείρωση. Η καταστολή ασθενειών συνδέθηκε με την παρουσία ακτινομυκήτων στο νερό αποστράγγισης. Αυτή η ανακάλυψη μαρτυρά πως μπορεί να είναι δυνατή η επίτευξη μιας αποδοτικότερης αντιμετώπισης των ασθενειών του εδάφους στην υδροπονία, με την προσθήκη ευεργετικών μικροοργανισμών (π.χ. *Bacillus subtilis*) στη ζώνη της ρίζας. Στα κλειστά συστήματα, οι οργανικές ενώσεις και οι μικροοργανισμοί μπορούν να συσσωρευθούν έτσι ώστε να είναι δυνατός ο βιολογικός έλεγχος στην ζώνη της ρίζας.

Η διαχείριση των μικροβιακών παραγόντων μπορεί να εκτελεσθεί και στην επιφάνεια της ρίζας και μέσα στη ρίζα από οργανισμούς που ενισχύουν την ανάπτυξη των φυτών μέσα σε διάλυμα από μικροοργανισμούς που υποβιβάζουν τις ανασταλτικές οργανικές ενώσεις για την αύξηση των φυτών, ή σε ένα ενεργό αργό φίλτρο άμμου. Η μικροβιακή δυναμική των μυκήτων και των βακτηριδίων μέσα σε ένα θρεπτικό διάλυμα ανακύκλωσης είναι σημαντικού ενδιαφέροντος για τη σταθεροποίηση των κλειστών υδροπονικών συστημάτων. Τα μελλοντικά συστήματα πρέπει να περιλάβουν μια ζωντανή κοινότητα μικροοργανισμών για να προωθήσουν την αύξηση των φυτών και να κρατήσουν τα κλειστά συστήματα σε μια βιολογική ισορροπία.

Σύμφωνα με τον Van Os (1998), οι καλλιεργητές συγκομιδών (ντομάτα, αγγούρι, γλυκό πιπέρι, τριαντάφυλλα ή ζέρμπερα), οι οποίες μπορούν να αυξηθούν οικονομικά σε κλειστά εκτός εδάφους συστήματα, επιλέγουν βραχυπρόθεσμα συχνά το φτηνότερο σύστημα, προτιμώντας τη χαμηλή επένδυση από το χαμηλό ετήσιο κόστος. Για άλλες συγκομιδές (μαρούλι, ραδίκι, γαρίφαλο χρυσάνθεμων, φρέσια) δεν υπάρχει κανένα οικονομικά εφικτό σύστημα.



Ουσιαστικά σε κάθε κλειστό σύστημα, κάποιο ιόν ή χημική ουσία θα υπερισχύσει τελικά σε ένα υπερβολικό επίπεδο. Αυτό μπορεί να είναι ένα μακροστοιχείο όπως το νάτριο, το χλωρίδιο ή ένα μικροστοιχείο, όπως το βόριο. Γενικά είναι λιγότερο ακριβό να απορριφθεί ένα τέτοιο διάλυμα από το να αναδομηθεί. Κατά συνέπεια, τα κλειστά συστήματα είναι σπάνια εντελώς κλειστά.

### **3.2 Συστήματα χωρίς στερεό μέσο**

Από τη φύση τους, τα υγρά συστήματα είναι κλειστά συστήματα στα οποία οι ρίζες των φυτών εκτίθενται άμεσα στο θρεπτικό διάλυμα χωρίς τη συμμετοχή άλλου μέσου αύξησης και το διάλυμα επαναχρησιμοποιείται. Υπάρχουν διάφορα συστήματα σε αυτήν την κατηγορία, όπως υδροπονία βαθιάς ροής, η τεχνική καλλιέργειας σε φιλμ θρεπτικού διαλύματος, υδροπονία με καλλιέργεια φυτών σε επίπεδη επιφάνεια και η αεροπονία.

#### **3.2.1 Καλλιέργεια σε βαθύ στρώμα νερού**

Το πρώτο σύστημα για την εμπορική παραγωγή συγκομιδών χωρίς χώμα που προσέλκυσε την παγκόσμια προσοχή ήταν αυτό του Gericke (1929.1937.1938). Το ουσιαστικό χαρακτηριστικό γνώρισμα της καλλιέργειας σε νερό είναι ότι οι ρίζες των φυτών βυθίζονται πλήρως ή μερικώς στο θρεπτικό διάλυμα, το οποίο μπορεί να είναι είτε στατικό είτε να κυκλοφορεί συνεχώς. Το πρώτο σύστημα που περιγράφηκε είχε αυλάκια με περίπου 0,6 m πλάτος, 15 cm βάθος και 10 m μήκος, κατασκευασμένα από ασφαλτούχο υλικό. Στη κορυφή του καθενός αυλακιού είναι τοποθετημένο πλέγμα σύρματος, το οποίο είναι καλυμμένο με χονδροειδή καμβά, πάνω από τον οποίο τοποθετείτε στρώμα άμμου πάχους 1,3 cm. Στη συνέχεια τα συγκεκριμένα αυλάκια κατασκευάζονται από σκυρόδεμα, ξύλο, φύλλα σιδήρου ή ορισμένα υλικά προετοιμασίας ασφάλτου. Οι κλίνες των σπόρων, οι οποίες υποστηρίζονται από πλέγμα σύρματος, έχουν επιστροφή φυτικού υλικού όπως π.χ. άχυρο, πριονίδι ή βρύο τύρφης. Επιπρόσθετα οι κλίνες των σπόρων για την προστασία των νέων φυτών, αποκλείουν το φως αποτρέποντας έτσι τη αύξηση των φυκιών και τις διακυμάνσεις στη θερμοκρασία του διαλύματος.

Το αρχικό σύστημα του Gericke εξετάστηκε λεπτομερώς σε διάφορες χώρες και βρέθηκε γενικά να μην είναι ικανοποιητικό στην εμπορική πρακτική και αυτό οφείλεται εν μέρει στο φτωχό αερισμό του διαλύματος. Ο Gericke πρότεινε αργότερα μια τροποποίηση στο υδροπονικό σύστημά του, με την οποία αφέθηκε ένας εναέριος χώρος, αυξανόμενος με την ανάπτυξη των φυτών, μεταξύ της κάλυψης της δεξαμενής, στην οποία τα φυτά υποστηρίζονται και της επιφάνειας του διαλύματος. Άλλοι ερευνητές έχουν προσπαθήσει να υπερνικήσουν το πρόβλημα του φτωχού αερισμού με τη

συνεχή κυκλοφορία του διαλύματος και του «φαντίσματος» καθώς το διάλυμα εισάγεται στις κλίνες.

### **3.2.2 Υδροπονικά συστήματα επίπλευσης**

Τα υδροπονικά συστήματα επίπλευσης αποτελούν μια μορφή καλλιέργειας σε νερό στην οποία τα φυτά στηρίζονται στην επιφάνεια του διαλύματος πάνω σε «σχεδία» κατασκευασμένη από ελαφρύ πλαστικό υλικό όπως το επεκταθέν πολυστυρόλιο. Αυτή η ιδέα υπερνικά ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετώπιζε ο Gericke, δηλαδή την τοποθέτηση των φυτών επάνω από το διάλυμα.

Το 1976, μια μέθοδος για την ανάπτυξη των φυλλωδών λαχανικών πάνω σε σχεδία από επεκταθέν πλαστικό αναπτύχθηκε από τον Jensen στην Ιταλία (Jensen και Collins, 1985). Το σύστημα παραγωγής αποτελείται από οριζόντιες και ορθογώνιες δεξαμενές που ευθυγραμμίζονται με το πλαστικό. Η δεξαμενή που δημιουργήθηκε από τον Jensen ήταν 4 m πλάτους, 70 m μήκους, και 30 cm βάθους. Το θρεπτικό διάλυμα ελέγχεται, ξαναγεμίζεται, διανέμεται εκ νέου και αερίζεται. Η ορθογώνια δεξαμενή έχει δύο ευδιάκριτα πλεονεκτήματα: το λιμνάζον θρεπτικό διάλυμα ενεργεί ως μεταφορέας των κινητών επιπλεόντων σχεδίων χωρίς τριβή, για την φύτευση και τη συγκομιδή. Επίσης τα φυτά εξαπλώνονται σε ένα ενιαίο οριζόντιο στρώμα και έτσι επιτυγχάνεται η μέγιστη απορρόφηση του φωτός του ήλιου.

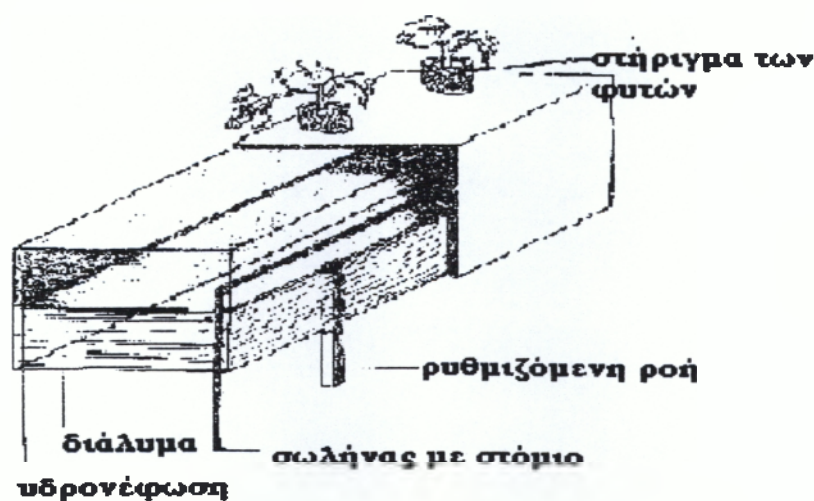
### **3.2.3 Καλλιέργεια σε βαθύ ή ημι-βαθύ στρώμα ανακυκλωμένου νερού**

Τα σύγχρονα συστήματα των καλλιεργειών σε βαθύ στρώμα νερού έχουν αναπτυχθεί και έχουν σχεδιαστεί στην Ιαπωνία, μια χώρα με ιδιαίτερα μεγάλη βιομηχανία θερμοκηπίων. Το σύστημα Kyowa και το M-σύστημα αποτελούν τις δύο κύριες μορφές τέτοιων συστημάτων. Το σύστημα Kyowa, ένα "ημι-βαθύ" σύστημα, χρησιμοποιείται κυρίως στη καλλιέργεια λαχανικών. Το θρεπτικό διάλυμα αντλείται από μια δεξαμενή αποθήκευσης μέσω ενός «αναμικτη αέρα» στη καλλιεργητική κλίση, από την οποία επιστρέφει στη δεξαμενή μέσω ενός σωλήνα υπερχειλίσης. Οι κλίνες δημιουργούνται από μονάδες που φορμάρονται από άκαμπο πλαστικό ABS και κάθε μονάδα είναι 1 m πλάτους και 3,15 m μήκους. Τα φυτά ριζοβολούν σε πλαστικά δοχεία με ανοίγματα στις πλευρές και τη βάση και υποστηρίζονται με την βοήθεια της κάλυψης πάνω από την κλίση.

Το M-σύστημα διανέμει το θρεπτικό διάλυμα με τη χρήση μιας δεξαμενής αποθήκευσης. Το θρεπτικό διάλυμα αποτραβιέται από τις κλίνες μέσω μιας αντλίας ανακύκλωσης, διατρέχει ένα αναμικτη αέρα και ανατροφοδοτείται έπειτα στις κλίνες μέσω μικρών τρυπών των σωληνών που τοποθετούνται κατά μήκος του κατώτατου σημείου τους. Οι κλίνες κατασκευάζονται από επεκταθέν πολυστυρόλιο, με πλάτος 0,66 m, ύψος

1,2 m και μήκος 20 m. Για να αποτραπεί η διαρροή στις ενώσεις και για να προστατευτεί το πολυστυρόλιο, το εσωτερικό των κλινών είναι ευθυγραμμισμένο με λεπτή ταινία πολυαιθυλενίου.

Μια άλλη διακριτική μορφή καλλιέργειας ανακυκλώσιμου νερού είναι γνωστή ως σύστημα Ein Gedi (Soffer και Levinger, 1980), που αναπτύχθηκε για να υπερνικήσει τους περιορισμούς στην παροχή νερού, του καλλιεργήσιμου εδάφους, καθώς επίσης και για βελτιώσει την παρακολούθηση και τον έλεγχο της συγκομιδής. Σε αυτό το σύστημα, οι ρίζες των φυτών βυθίζονται πλήρως σε βαθύ, ανακυκλώσιμο θρεπτικό διάλυμα με συνεχή αερισμό. Τα κανάλια αποτελούνται από ενισχυμένο διπλού στρώματος πολυπροπυλένιο, 20 cm πλάτους, 10 cm βάθους και 15 m μήκους. Το βάθος του διαλύματος ελέγχεται από έναν διευθετήσιμο σωλήνα υπερχειλίσης ώστε να ικανοποιηθούν οι ποικίλες ανάγκες των διαφορετικών συγκομιδών και των σταδίων ανάπτυξης. Ένα βασικό χαρακτηριστικό αυτού του συστήματος είναι ότι το θρεπτικό διάλυμα παραδίδεται στις κλίνες σε δύο στρώματα: ως υγρό και ως υδρονέφωση που λειτουργεί πάνω από το υγρό. Το διάλυμα εγχέεται στο κανάλι μέσω των διαδοχικών ανοιγμάτων λείζερ σε μια κατεύθυνση αντίθετη από αυτήν της ροής του διαλύματος. Αυτό μεταφέρει το οξυγόνο από τη ζώνη ψεκασμού στο θρεπτικό διάλυμα και με αυτόν τον τρόπο αερίζεται παρέχοντας έτσι τις υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου στο επίπεδο της ρίζας. Οι ρίζες μπορούν να βυθιστούν με αυτό τον τρόπο σε βαθύ και μεγάλο όγκο του θρεπτικού διαλύματος, σε κανάλια οποιουδήποτε μήκους. Ο αερισμός και η λειτουργία του ψεκασμού ποικίλλουν σύμφωνα με τα διαφορετικά σχέδια των συστημάτων Ein Gedi και το κανάλι που είναι ενσωματωμένο με τη μηχανική αντλία και με το σύστημα σωλήνων ψεκασμού. Αυτό το σύστημα φαίνεται να έχει περισσότερα πλεονεκτήματα σε περιοχές όπου οι θερμοκρασίες είναι υψηλές, μειώνοντας κατά συνέπεια τη διαλυτότητα του οξυγόνου (εικόνα 1).



**Εικόνα 1<sup>α</sup>.** Το σύστημα καλλιέργειας του Ein Gedi



### 3.2.4 Τεχνική Καλλιέργειας σε φιλμ θρεπτικού διαλύματος (NFT)

Η τεχνική καλλιέργειας σε φιλμ θρεπτικού διαλύματος αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της πρόσφατης δεκαετίας του '60 από τον Δρ Allen Cooper (1975, 1979) στο ερευνητικό ίδρυμα θερμοκηπιακών καλλιεργειών στο Little-hampton, στην Αγγλία (Winsor et al 1979, Graves, 1983). Ο Δρ Allen Cooper έχει δημιουργήσει διάφορα τροποποιημένα συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή φυλλωδών λαχανικών. Το NFT χαρακτηρίζεται από ένα πολύ ρηκό ρεύμα διαλύματος που ρέει κάτω από τα κανάλια στη βάση των οποίων οι ρίζες των φυτών διαμορφώνουν κατά κάποιο τρόπο ένα λεπτό χαλί, που προσεγγίζει ένα δισδιάστατο σύστημα ρίζας. Οι τοίχοι των καναλιών είναι εύκαμπτοι και αυτό τους επιτρέπει να γείρουν πάνω από τη βάση κάθε φυτού και έτσι να αποκλείσουν το φως και να αποτρέψουν την εξάτμιση. Το θρεπτικό διάλυμα αντλείται στο υψηλότερο σημείο κάθε καναλιού και ρέει λόγω βαρύτητας στις ρίζες των φυτών καταλήγοντας στους σωλήνες συλλογής και στην αντλία. Το διάλυμα ελέγχεται συνεχώς και με αυτόν τον τρόπο επιτρέπει την αντικατάσταση και συμπλήρωση του νερού με θρεπτικά στοιχεία, προτού να ανακυκλωθεί. Η τοποθέτηση τριχοειδούς υλικού στο κατώτατο σημείο των καναλιών πριν από τη φύτευση επιτρέπει μια ομοιόμορφη κατανομή του θρεπτικού διαλύματος, αποτρέποντας κατά συνέπεια την ξήρανση των νέων φυτών. Σύντομα μετά από την τοποθέτηση των νέων φυτών στα κανάλια, οι ρίζες αυξάνονται και δημιουργούν ένα μπλεγμένο χαλί. Η δεξαμενή συλλογής τοποθετείται κατά προτίμηση στην εδαφική επιφάνεια, έτσι ώστε να περιέχει δοχείο ψύξης μεγάλης ποσότητας και συνεπώς νερό πλούσιο σε οξυγόνο.

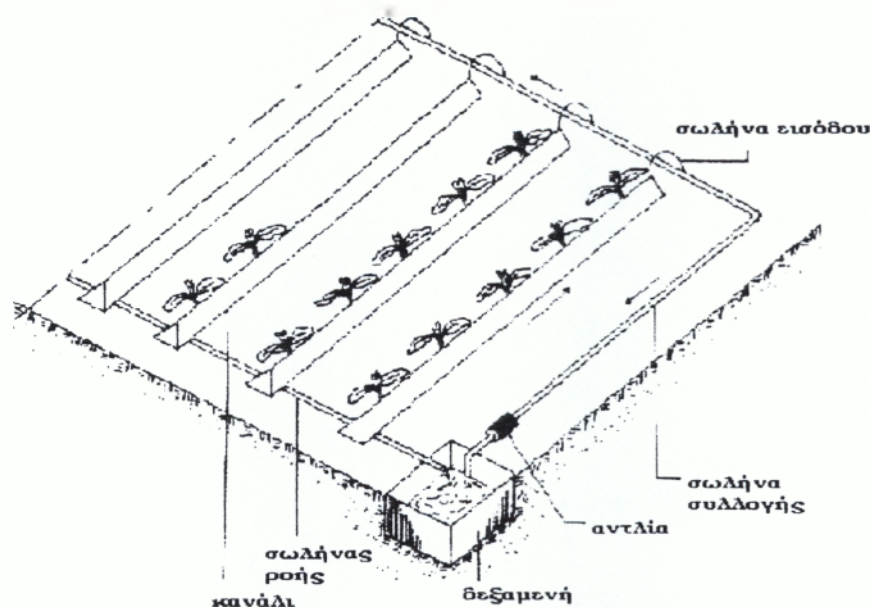
Το ρηκό στρώμα του διαλύματος σε NFT εξυπηρετεί δύο αρχικούς σκοπούς. Αποφεύγεται το συνηθισμένο πρόβλημα των καλλιεργειών σε διάλυμα, δηλαδή την εγκατάσταση των φυτών επάνω από το διάλυμα με βυθιζόμενες μόνο τις ρίζες τους. Το διάλυμα κρατιέται σε τόσο ρηκό επίπεδο που τα νέα φυτά, οι γλάστρες ή άλλα μέσα αναπαραγωγής, μπορούν απλά να σταθούν στα κανάλια. Οι ρίζες αναπτύσσονται γρήγορα στο τρεχούμενο υγρό. Αφετέρου, η υψηλή αναλογία της επιφάνειας του διαλύματος σε σχέση με τον όγκο του συμβάλλει στον καλύτερο αερισμό των ριζών. Συνεπεία της χρησιμοποίησης μόνο ενός ρηκού στρώματος του διαλύματος είναι ότι οι βαθιές και βαριές κλίνες, που χαρακτήρισαν τόσο πολύ τα προηγούμενα υδροπονικά συστήματα δεν χρησιμοποιούνται αλλά έχουν αντικατασταθεί με ένα επίστρωμα ελαφριού πολυαιθυλενίου. Αυτό όχι μόνο μειώνει τις δαπάνες των εγκαταστάσεων και συντήρησης αλλά και δίνει και την δυνατότητα αλλαγής της διαρρύθμισης τους σε περίπτωση ανάγκης.

Τα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός συστήματος NFT είναι τα ακόλουθα:

1. Μια δεξαμενή συλλογής που περιέχει το αραιό θρεπτικό διάλυμα
2. Μια αντλία που μεταφέρει το θρεπτικό διάλυμα ακόμη και στα ανώτερα όρια των καναλιών



3. Παράλληλα κανάλια μέσα στα οποία αναπτύσσεται η καλλιέργεια, τοποθετημένα σε καθοδική κλίση όπου ρέει το ανακυκλώσιμο διάλυμα
4. Ένας σωλήνας συλλογής (ή επιστροφής), στον οποίο καταλήγουν τα κανάλια και επιστρέφει το διάλυμα στη δεξαμενή συλλογής
5. Συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου για να διατηρηθούν στα σωστά επίπεδα η συγκέντρωση του θρεπτικού διαλύματος, το pH και η στάθμη του νερού.



**Εικόνα 2<sup>η</sup>.** Τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος NFT

Ειδικές μορφές συστημάτων NFT έχουν αναπτυχθεί για να καλύψουν τις ειδικές ανάγκες διαφορετικών συγκομιδών σε διάφορες κλιματολογικές συνθήκες. Μερικές από αυτές τις τεχνικές είναι ήδη σε πλήρη εμπορική λειτουργία, ενώ άλλες έχουν εξεταστεί σε εμπορική κλίμακα αλλά ακόμα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως.

Το 1984, ένα μηχανοποιημένο NFT -σύστημα εισήχθη στο Βέλγιο για τη καλλιέργεια μαρουλιού από τους Van OS και Kuiken (1984). Κατασκευάστηκε κατά τέτοιο τρόπο ώστε το προηγμένης τεχνολογίας σύστημα να μπορεί να εφαρμοστεί για τη φύτευση και τη συγκομιδή.

Μια ειδική μορφή συστήματος NFT υιοθετεί τη διαλείπουσα ροή, αντί της συνεχόμενης, και έγινε για να βελτιώσει την αποδοτικότητα της χρήσης του νερού. Σε ένα σχετικό πείραμα, η διαλείπουσα ροή με μειωμένη συσσωρευτική κατανάλωση νερού, εγκατέστησε νέα φυτική ουσία και ικανοποιητικό ποσοστό καλίου στον ιστό των φυτών και επέτυχε μια σημαντική αύξηση στην αποδοτικότητα της χρήσης νερού έναντι του τυποποιημένου συστήματος NFT.

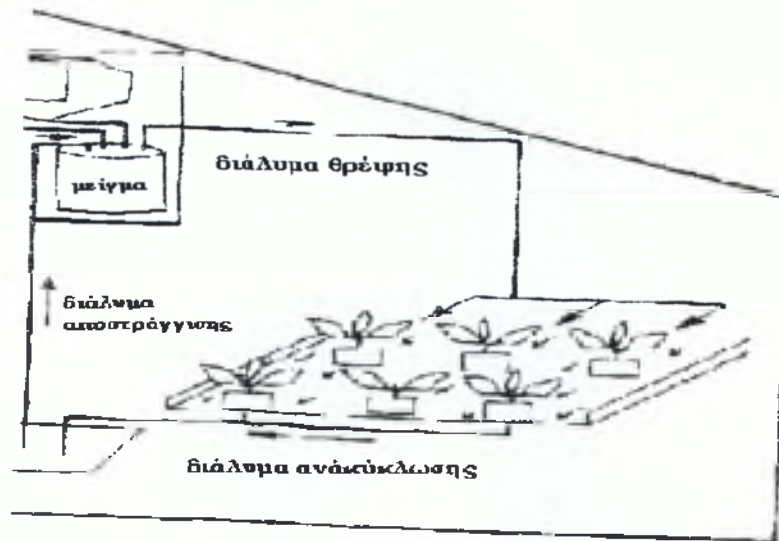
### **3.2.4.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συστήματος NFT**

Η τεχνική καλλιέργειας σε φιλμ θρεπτικού διαλύματος έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα συμβατικά συστήματα παραγωγής καλλιεργειών. Δίνει τις καλύτερες δυνατότητες στο περιβάλλον της ρίζας, χρησιμοποιώντας σύγχρονες μεθόδους αυτοματοποιημένες ή ελεγχόμενες από υπολογιστή. Το πότισμα απλοποιείται πολύ. Εξασφαλίζεται η ομοιομορφία του θρεπτικού ανεφοδιασμού και οι θρεπτικές συγκεντρώσεις μπορούν να αντιστοιχηθούν τις ποικίλες ανάγκες της συγκομιδής σε όλη την ανάπτυξη. Η θερμοκρασία στη ρίζα μπορεί να αυξηθεί σε περίπτωση ανάγκης και επίσης μπορούν να διασκορπιστούν ομοιόμορφα οι κατάλληλες χημικές ουσίες για την προστασία των καλλιεργειών σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλο το σύστημα ανάλογα με τις ανάγκες του. Άλλο πλεονέκτημα της περιλαμβάνει την χρήση μιας πιο μεγάλης καλλιεργητικής περιόδου και επίσης τη δυνατότητα να υιοθετηθούν φυτείες με μεγαλύτερη πυκνότητα ώστε να αυξηθεί η παραγωγή ανά καλλιεργημένη περιοχή. Η τεχνική αυτή επίσης προσελκύει για την χρήση της ως πειραματικό εργαλείο επειδή είναι ένα κλειστό σύστημα στο οποίο όλες οι μεταβλητές μπορούν να μετρηθούν και επομένως να ελεγχθούν, τουλάχιστον θεωρητικά.

Όπως οποιοδήποτε άλλο σύστημα NFT έχει επίσης και μερικά μειονεκτήματα. Καταρχάς απαιτείται από τον καλλιεργητή ένα αξιόλογο επίπεδο πείρας και κάποια γνώση χημείας. Το κύριο κόστος της αρχικής εγκατάστασης είναι υψηλό και υπάρχει κίνδυνος τα θρεπτικά επίπεδα να χάσουν την ισορροπία τους, αν και αυτό σπάνια αποτελεί πρόβλημα στην πράξη. Επιπλέον, υπάρχει η πιθανότητα, το θρεπτικό ανακυκλωμένο διάλυμα να ενθαρρύνει τον πολλαπλασιασμό και την διάδοση παθογόνων στο σύστημα με συνέπεια απώλειες σε φυτά.

### **3.2.5 Υδροπονία με καλλιέργεια φυτών σε επίπεδη επιφάνεια**

Αυτό το σύστημα επιτρέπει την εναλλαγή των συγκομιδών αργά το φθινόπωρο και νωρίς την άνοιξη, σε φυτά που απαιτούν διαφορετικό χρονικό διάστημα φύτευσης, παραδείγματος χάριν ντομάτα και μαρούλι. Σε αυτό το σύστημα, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ανοικτή ή κλειστή μορφή, το θρεπτικό διάλυμα διατρέχει σε μία επιφάνεια ενός λεπτού στρώματος και όχι ενός στενού καναλιού. Το αυξανόμενο μέσο είναι δέρας πολυεστέρα που πιέζεται μεταξύ δύο στρωμάτων πλαστικής κάλυψης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικές φυτικές συγκομιδές, είναι συμβατό με τα υπάρχοντα συστήματα θρεπτικού διαλύματος και χρησιμοποιείται στα μικρής κατασκευής θερμοκήπια με τις εναλλακτικές φυτικές συγκομιδές.



**Εικόνα 3<sup>η</sup>.** Σύστημα υδροπονίας με καλλιέργεια σε επίπεδη επιφάνεια

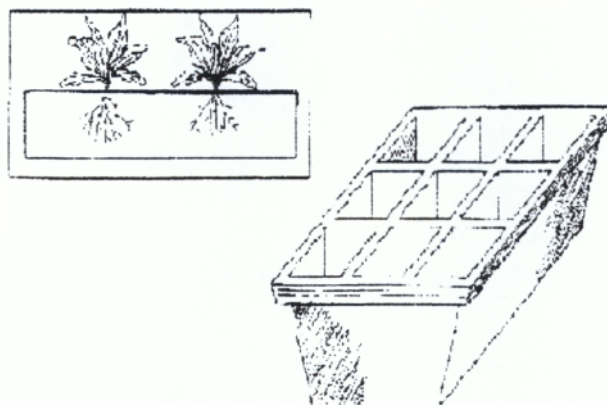
### 3.2.6 Αεροπονία

Σύμφωνα με τον Steiner (1976), η αεροπονία είναι ένα αναπτυσσόμενο σύστημα, στο οποίο οι ρίζες των φυτών κρατιούνται συνεχώς ή διακεκομμένα σε ένα περιβάλλον που διαποτίζεται με λεπτές πτώσεις (μια υδρονέφωση ή ένα αερόλυμα) του θρεπτικού διαλύματος.

Τα συστήματα αεροπονίας, έχοντας την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν εμπορικά, περιγράφηκαν αρχικά λεπτομερώς από τον Massantini (1973), με αναφορές στη χρήση κεκλιμένων επιφανειών πολυστυρολίου. Όπως συνοψίζεται από τους Collins και Jensen (1983), τα φυτά αυξάνονται σε τρύπες πλαισίου από επεκταθέν πολυστυρόλιο ή άλλο υλικό, όμως οι ρίζες των φυτών αιωρούνται στον αέρα κάτω από το πλαίσιο, που εσωκλείεται σε ένα κιβώτιο ψεκασμού. Το κιβώτιο σφραγίζεται, έτσι ώστε οι ρίζες να είναι στο σκοτάδι και να υπάρχει κορεσμός υγρασίας. Ένα σύστημα υδρονέφωσης ψεκάζει τις ρίζες με το θρεπτικό διάλυμα περιοδικά. Το σύστημα ανοίγεται κανονικά για μόνο μερικά δευτερόλεπτα κάθε 2 έως 3 λεπτά. Αυτή η διάρκεια ψεκασμού επαρκεί για να κρατήσει τις ρίζες υγρές και το θρεπτικό διάλυμα αεριζόμενο. Αυτό είναι ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος. Σύμφωνα με τους Jensen και Collins (1985), το σύστημα αυτό δεν είναι οικονομικά βιώσιμο.

Στην Αριζόνα των ΗΠΑ, έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα αεροπονίας «Α-πλαισίων» για τις φυλλώδεις συγκομιδές, το οποίο ίσως είναι εφικτό για την εμπορική παραγωγή τροφίμων. Στις ελεγχόμενες περιβαλλοντικές δομές γεωργίας (CEA), τα πλαίσια αυτά είναι κεκλιμένα και είναι προσανατολισμένα από ανατολή σε δύση. Τα πλαίσια από επεκταθέν πλαστικό έχουν τυποποιημένο μέγεθος (1,2 m X 2,4 m) και τοποθετούνται κατά μήκος και σε ύψος 1,2 m από τη βάση ώστε να

διαμορφώσουν ένα ισόπλευρο τρίγωνο. Το «Α-πλαίσιο» στηρίζεται επάνω σε ένα υδροστεγές κιβώτιο, βάθους 25cm, το οποίο περιέχει τον εξοπλισμό του θρεπτικού διαλύματος και της υδρονέφωσης (Jensen και Collins, 1985). Τα νέα μοσχεύματα σε μικρούς κύβους μέσου αύξησης τοποθετούνται στις τρύπες των πλαισίων, τα οποία χωρίζονται με διαστήματα των 18 cm. Οι ρίζες είναι αιωρούμενες μέσα σε εσώκλειστο διάκενο και διαβρέχονται με το θρεπτικό διάλυμα όπως περιγράφεται παραπάνω.



**Εικόνα 4<sup>η</sup>.** Σύστημα Αεροπονίας

Ένα προφανές μειονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος είναι η ανώμαλη ανάπτυξη των φυτών, εξαιτίας των παραλλαγών στην ένταση του φωτός που παραλαμβάνεται από αυτά λόγω των κεκλιμένων επιφανειών, αλλά ένα πλεονέκτημα για την παραγωγή των φυλλωδών λαχανικών, όπως το μαρούλι ή το σπανάκι, είναι ότι μπορούν να προσαρμοστούν δύο σειρές ανά μονάδα περιοχής στο δάπεδο σε αντίθεση με άλλα συστήματα.

Μια άλλη πιθανή εμπορική εφαρμογή της υδροπονίας, εκτός από την παραγωγή των φυλλωδών λαχανικών σε ακραία διαστήματα ή και με περιορισμούς βάρους, είναι η ριζοβολία μοσχευμάτων φυλλωδών φυτών. Ένα τέτοιο σύστημα έχει καλή εφαρμογή στον έλεγχο των ασθενειών φυλλώματος. Καθώς τα μοσχεύματα απαιτούν βαριά σκίαση κατά την διάρκεια της ριζοβολίας τους, δεν απαιτείται εναέρια ομίχλη. Αυτό περιορίζει πολύ τα προβλήματα των μυκητιακών ασθενειών και της διήθησης των θρεπτικών ουσιών στο φύλλωμα των μοσχευμάτων.

### **3.3 Συστήματα που περιέχουν στερεό μέσο**

#### **3.3.1 Καλλιέργεια σε άμμο και αμμοχάλικο**

Το ουσιαστικό χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού του τύπου συστήματος είναι ότι το υπόστρωμα πρέπει να διατηρεί ικανοποιητική υγρασία, για την αύξηση των φυτών, κατά τη διάρκεια δύο διαδοχικών κύκλων ποτίσματος,



καθώς και να εξασφαλίζει τον κατάλληλο αερισμό της ριζικής ζώνης. Αυτό δεν είναι πάντα εύκολο να επιτευχθεί, δεδομένου ότι ο αερισμός μπορεί να είναι λιγότερο αποδοτικός σε αυτό απ' ό,τι σε άλλα συστήματα λόγω των μικρότερων κόκκων (0-0,2 χιλ.) και της μικρότερης συχνότητας άρδευσης, η οποία φέρνει και το οξυγόνο στο διάλυμα.

Μια από τις αποδεδειγμένες μεθόδους της άμμου και του αμμοχάλικου ως υποστρώματα, είναι αυτή που περιλαμβάνει την καλλιέργεια σε κλίνες ανάπτυξης. Αυτές μπορούν εύκολα να κατασκευαστούν με ξύλινες πλευρές ή ενισχυμένο σκυρόδεμα, να κοπούν και να καμφθούν έτσι ώστε να διαμορφώσουν ένα υπέργειο αυλάκι, το οποίο είναι ευθυγραμμισμένο με μια παχιά, μαύρη πλαστική ταινία. Το κατώτατο σημείο του αυλακιού πρέπει να έχει κλίση 1:400 (15 cm κλίση ανά m) έτσι ώστε να μπορεί να αποστραγγιστεί ή να φιλτραριστεί σε περίπτωση ανάγκης. Το πλάτος των κλινών κυμαίνεται από περίπου 8,8 m, για τις καλλιέργειες διπλών σειρών, όπως η τομάτα, ως 1,2 m για τις χαμηλής ανάπτυξης καλλιέργειες, συμπεριλαμβανομένων των δρεπών λουλουδιών. Το βάθος των κλινών ποικίλλει. Οι Jensen και Collins (1985) ανέφεραν τα 25 cm ως χαρακτηριστικό ελάχιστο βάθος επειδή τα πιο ρηκά κρεβάτια δημιουργούν προβλήματα άρδευσης. Ο Schwarz (1968) υποστηρίζει ότι οι βαθύτερες κλίνες, μέχρι 40 cm, αντεπεξέρχονται πιο ικανοποιητικά. Η χρήση των βαθύτερων κλινών εξασφαλίζει ότι τουλάχιστον το ανώτερο μέρος του υποστρώματος δεν θα είναι διαποτισμένο μετά από την άρδευση.

Το θρεπτικό διάλυμα εφαρμόζεται στην επιφάνεια των κλινών. Τα σταθερά συστήματα άρδευσης περιλαμβάνουν διατρυπημένους σωλήνες που τοποθετούνται στις κλίνες ή στις πλευρές τους με κατάλληλη ακτίνα προβολής, καθώς επίσης και την χρήση μιας μάνικας.

Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα στάγδην άρδευσης έτσι ώστε το πότισμα να μπορεί να ελεγχθεί ευκολότερα. Ο όγκος του νερού μπορεί να ρυθμιστεί χρησιμοποιώντας μια βαλβίδα ελεγχόμενης ροής. Η διοχέτευση με σωλήνες πρέπει να είναι ικανοποιητική δηλαδή 6-10 l min<sup>-1</sup> σε κάθε 100 m<sup>2</sup>. Εντούτοις, το ποσοστό και το μήκος του κύκλου άρδευσης εξαρτώνται από τη συγκομιδή, την ωριμότητά της, τις καιρικές συνθήκες και την ώρα της ημέρας.

Το σύστημα απαιτεί καλή αποστράγγιση, είτε με πλάγια εξωτερικά αυλάκια κατά μήκος της άκρης της κλίνης, είτε με την βοήθεια ενός συστήματος αποστράγγισης κατά μήκος του κατώτατου σημείου της κλίνης.

Η άμμος και το αμμοχάλικο μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως υποστρώματα σε καλλιέργειες μέσα σε σάκους. Οι σάκοι είναι τοποθετημένοι πάνω σε στρώμα πολυαιθυλενίου για να αποτραπουν μόλυνσεις από το ελλοχεύον χώμα. Η βάση κάθε σάκου θα πρέπει να έχει κλίση, η οποία όμως θα είναι σε απόσταση από τους άλλους σάκους έτσι ώστε το νερό της αποστράγγισης να μην φτάνει και σε αυτούς και να αποτραπεί έτσι η μεταφορά μιας πιθανής μόλυνσης από φυτό σε φυτό. Η στάγδην άρδευση παρέχεται μέσω εύκαμπτων πλαστικών σωλήνων με μικρές οπές και το πλεονασματικό νερό μπορεί να απορριφθεί ή όχι, ανάλογα με το είδος του συστήματος (ανοικτό ή κλειστό).

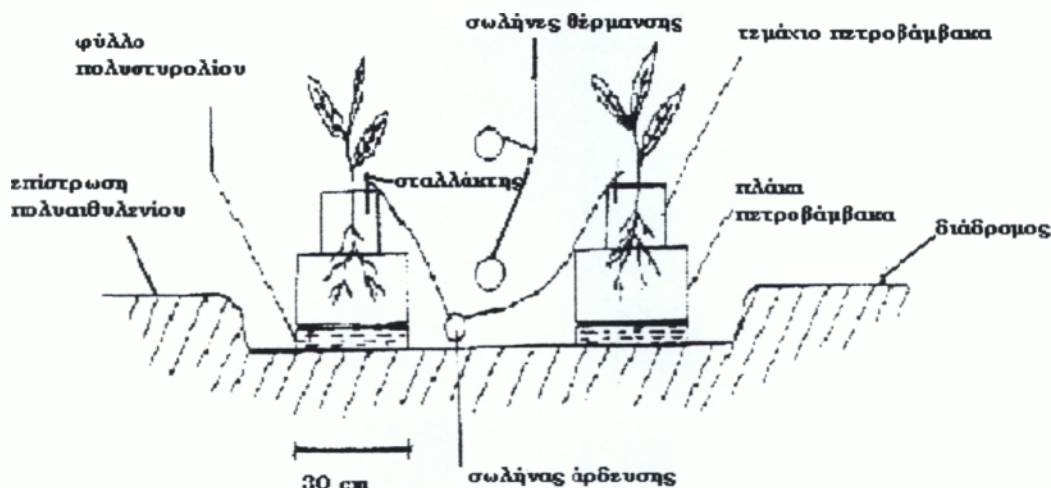
### **3.3.2 Καλλιέργεια σε αφρό πολυουρεθανίου**

Μεταξύ των διάφορων διαθέσιμων προϊόντων, ένας κοκκοποιημένος με βάση την φαινόλη αφρός, που δημιουργεί συνθετικό οργανικό υπόστρωμα, προσελκύει αυτήν την περίοδο τη προσοχή στις καλλιέργειες σε σάκους (FAO, 1990). Οι σάκοι πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιούνται για να περιέχουν αυτό το υλικό έχουν διάμετρο 15 cm και μήκος είτε 80 cm είτε 120 cm, δίνοντας αντίστοιχα τους όγκους 14 και 20 l. Οι σάκοι τοποθετούνται αρχικά έχοντας μεταξύ τους το απαραίτητο διάστημα, μετά ανοίγονται στην ανώτερη επιφάνεια τους, οι κατάλληλες για φύτευση τρύπες και στη συνέχεια αφήνονται στον αέρα για 25 ώρες. Δεδομένου ότι το υλικό είναι όξινο, οι σάκοι συμπληρώνονται με διάλυμα  $1\text{g l}^{-1}$  διττανθρακικών αλάτων καλίου (FAO, 1990). Μετά από 24 ώρες, ανοίγονται οι οριζόντιες σχισμές αποσιράγγισης (2-3 ανά σάκο) σε ύψος 2 cm για κάθε φυτό.

### **3.3.3 Καλλιέργεια σε πετροβάμβακα**

Ο πετροβάμβακας είναι ένα κατασκευασμένο από τον άνθρωπο ανόργανο υλικό, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό μορφή πλακών ή κύβων ως αδρανές υπόστρωμα για την παραγωγή καλλιεργειών είτε σε ανοικτά είτε κλειστά υδροπονικά συστήματα.

Στις Σκανδιναβικές χώρες, ο πετροβάμβακας χρησιμοποιήθηκε σε καλλιέργειες στις αρχές της δεκαετίας του '70. Από το 1975, ο πετροβάμβακας έχει χρησιμοποιηθεί και από τους καλλιεργητές της Ολλανδίας. Ο λόγος της αλλαγής χρήσης του χώματος από πετροβάμβακα βρίσκεται στα πολύ καλά αποτελέσματα που έδωσε σε διάφορες καλλιέργειες. Υποκινήθηκε περαιτέρω από την ανάγκη να μειωθεί η δυσκολία και το κόστος της αποστείρωσης (Sonneveld, 1989). Μια καλλιέργεια φυτών σε πετροβάμβακα αποτελείται από σειρές πλακών του, που εσωκλείουν τους καλυμμένους με επίστρωμα πολυαιθυλενίου σάκους, που τοποθετούνται πάνω από φύλλα πολυστυρολίου πάχους 2,5 cm, οι οποίοι τοποθετούνται έτσι ώστε να διαμορφώσουν μία κλίση στο θερμοκήπιο. Το πολυστυρόλιο χρησιμοποιείται για λόγους μόνωσης καθώς και για την κατασκευή των καναλιών, που τοποθετούνται οι σωλήνες θέρμανσης της ριζικής ζώνης. Η θέρμανση της ρίζας μπορεί επίσης να επιτευχθεί με τη θέρμανση του θρεπτικού διαλύματος σε  $20^{\circ}\text{C}$  το πολύ προτού να εφαρμοστεί στη συγκομιδή (FAO, 1990).



**Εικόνα 5<sup>α</sup>.** Μοντέρνο σύστημα καλλιέργειας ντομάτας σε πετροβάμβακα

Οι πλάκες μπορούν να έχουν 90-100 cm μήκος, 15-30 cm πλάτος και 7,5 cm βάθος, ενώ και η χρήση στενών (15-20 cm) πλακών έχει βελτιώσει πολύ την οικονομική δυνατότητα ορισμένων θερμοκηπιακών καλλιεργειών.

Εναλλακτικά, οι πλάκες πετροβάμβακα τοποθετούνται στο τέλος των διπλών σειρών στην πλαστική ταινία. Το πλαστικό είναι 30 cm πλατύτερο από την πλάκα, οι άκρες του είναι διπλωμένες στην πλευρά και πάνω από την πλάκα και κρατείται στη θέση του με καρφιά. Πριν από τη χρήση οι πλάκες πρέπει να είναι πλήρως διαποτισμένες με το συνιστώμενο διάλυμα λιπάσματος. Η συχνότητα άρδευσης ποικίλλει από 1 έως 20 φορές ανά ημέρα ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης και τον τύπο των φυτών.

Ένα σχεδιάγραμμα για τις ντομάτες που χρησιμοποιείται ευρέως εμπορικά αποτελείται από 15 πλάκες χρωμίου, οι οποίες τυλίγονται πλήρως και τοποθετούνται σε μια επίπεδη επιφάνεια κάτω από το επίπεδο των διαδρόμων. Οι σχισμές για την αποστράγγιση γίνονται στις πλευρές των σάκων μακριά από τους διαδρόμους. Οι τρύπες δημιουργούνται με διατρητική μηχανή μόνο, στο πάτωμα του πολυαιθυλενίου και καλύπτουν οποιοδήποτε σημείο στο οποίο συσσωρεύεται το διάλυμα.

### 3.3.4 Καλλιέργεια σε περλίτη

Ο φυτοκομικός περλίτης έχει ένα μακροχρόνιο και αξιοζήλευτο αρχείο απόδοσης ως μέσο διάδοσης και αύξησης σε όλο τον κόσμο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σε σύστημα σάκων είτε σε αυλακιών.

Σε σύστημα σάκων, οι σάκοι του περλίτη τοποθετούνται στο πάτωμα του θερμοκηπίου σε διπλές σειρές. Οι οριζόντιες σχισμές γίνονται, 3-4 cm επάνω από το επίπεδο του πατώματος και οι τρύπες για τα φυτά γίνονται στην κορυφή των σάκων. Οι βάσεις των δοχείων, που περιέχουν τα νέα φυτά στον περλίτη, τοποθετούνται πάνω από αυτές τις τρύπες και τοποθετούνται υδροροές για να ποτίσουν κάθε δοχείο. Μια μόνιμη δεξαμενή του θρεπτικού







Τα πειράματα έχουν δείξει ότι ένα υπόστρωμα περλίτη - ζεολίτη με θέρμανση στο ανώτερο επίπεδο των σάκων αύξησε ασκεί ευεργετική επίδραση στο σύστημα άρδευσης των φυτών. Αυτό αποδίδεται στη διαφορετική ανάπτυξη του ριζικού συστήματος η και στην ικανότητα της ρίζας να συγκρατά το νερό. Αυτές οι παρατηρήσεις που έχουν καταγραφεί μετά από πολύ δουλειά, δείχνουν ότι οι συνθήκες στο ριζικό σύστημα, οριοθετούν την λειτουργία των στομάτων η οποία έχει επιπτώσεις στη συνέχεια στο φωτοσυνθετικό ποσοστό των φυτών.

Η παραγωγικότητα και τα φυσιολογικά αποτελέσματα απόδοσης δείχνουν ότι ένα 1:1 υπόστρωμα περλίτη-ζεολίτη, με θερμοκρασία 23 °C στο επίπεδο της ρίζας είναι ένα ιδανικό σύστημα για την καλλιέργεια της ζερμπερας στην Κύπρο σε συνθήκες θερμοκηπίων που επικρατούν στη βόρεια Ελλάδα.

### **3.3.5 Καλλιέργεια σε βερμικουλίτη**

Το 1959, ο Bently αναφέρθηκε στον βερμικουλίτη ως τέλειο υπόστρωμα για εδαφική καλλιέργεια. Εντούτοις, η απώλεια δομής του κατά τη διάρκεια της παρατεταμένης χρήσης παρουσιάζει ένα σοβαρό πρόβλημα και περιορίζει τη χρήση του.

Ο Haggis (1976) περιέγραψε ένα σύστημα καλλιέργειας με στάγδην άρδευση για την εμπορική καλλιέργεια συγκομιδών σε βερμικουλίτη. Το υπόστρωμα τοποθετήθηκε σε μαύρους σάκους πολυαιθυλενίου (18 X 5 X 35 cm) που σχεδιάστηκαν σε διπλές σειρές, σε απόσταση 33 cm, σε πάτωμα που καλύφθηκε από φύλλα πολυαιθυλενίου. Κάθε σάκος περιέχει 9 l βερμικουλίτη, και έχει μικρές τρύπες αποστραγγίσεως στη βάση. Οι σάκοι ποτίζονται μέσω ενός συστήματος πλαστικών σωλήνων και μικρές διάτρητες σωληνώσεις.

### **3.3.6 Καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα**

Η ελαφρόπετρα είναι μια φτηνή εναλλακτική λύση σε σχέση με άλλα αδρανή μέσα αύξεσης, όπως ο πετροβάμβακας ή ο περλίτης. Συστήνεται η καλλιέργεια σε σάκους, χρησιμοποιώντας μείγμα διαφορετικών μεγεθών μορίων προκειμένου να ληφθεί υψηλή ποιότητα και παραγωγή. Τα πειράματα για την τυποποίηση του συστήματος (όγκος σάκων και διαφορετικά μεγέθη μορίων) είναι υπό εξέλιξη (Maloupa et al, 2000). Η εγκατάσταση του συστήματος όταν το υπόστρωμα τοποθετείται στις τσάντες είναι παρόμοια με αυτήν της εγκατάστασης σε καλλιέργεια σε περλίτη.

Τα πειράματα για την τυποποίηση των καλλιεργειών σε ελαφρόπετρα πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκήπια, στο Ερευνητικό Κέντρο Γεωργίας της Μακεδονίας και Θράκης και είναι γίνονται συγκριτικά με τις καλλιέργειες σε περλίτη

### **3.4 Συστήματα αύξησης βασισμένα σε φυσικά οργανικά υποστρώματα**

#### **3.4.1 Καλλιέργεια σε τύρφη**

Η τύρφη Sphagnum είναι βασικό υλικό για την προετοιμασία υποστρώματος. Η τύρφη αναμιγνύεται με θρεπτικές ουσίες και το pH ρυθμίζεται με την προσθήκη επίγειου ασβεστόλιθου και δολομίτη.

Τα υποστρώματα τύρφης μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους για την εκτός εδάφους καλλιέργεια των φυτών. Η τοποθέτηση της σε γούρνες ή σε σάκους και η χρήση των μειγμάτων της με άλλα υποστρώματα είναι οι δημοφιλέστερες πρακτικές.

Οι γούρνες μπορούν να δημιουργηθούν από συγκεκριμένους φραγμούς πάχους 45 cm, βάθους 13-15 cm και του πλάτους 60 cm, ή περισσότερο. Οι γούρνες είναι ευθυγραμμισμένες με το πολυαιθυλένιο ή την πλαστική ταινία PVC, και προσαρμόζονται συνήθως δύο σειρές φυτών.

Στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ, η τύρφη ή τα μείγματα λιπάσματος τύρφης είναι πολύ δημοφιλή και είναι εμπορικά διαθέσιμα υπό μορφή σάκων πολυαιθυλενίου μήκους 100 cm και του πλάτους 33 cm και περιεκτικότητας 46 l. Κάθε σάκος μπορεί να κρατήσει τρία ή περισσότερα φυτά, ανάλογα με τη συγκομιδή. Το πλεονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος είναι ότι αποβάλλεται το κόστος εργασίας για την πλήρωση των εμπορευματοκιβωτίων με το μέσο αύξησης και είναι δυνατή η γρήγορη αλλαγή των συγκομιδών.

Μια νέα προσέγγιση στις καλλιέργειες σε τύρφη είναι η εμπορική εφαρμογή των ξηρών σάκων τύρφης. Αυτή περιλαμβάνει πλαστικούς σάκους 100 X 11 X 4 cm και βάρους 2 kg που περιέχουν 25 l τύρφης. Οι σάκοι τοποθετούνται σε σειρές (συνήθως σε διπλές σειρές) σε επιθυμητή πυκνότητα φυτείας, με ένα ρηχό κανάλι αποστράγγισης μεταξύ τους. Μεταξύ του επεκταθέντος υποστρώματος τύρφης και του πλαστικού σάκου υπάρχει ένα κενό, στο οποίο το νερό και ο αέρας χρησιμοποιούνται από τα φυτά. Κάθε σάκος αποτελεί μια ξεχωριστή μονάδα αύξησης (Olympios 1996).

#### **3.4.2 Καλλιέργεια σε πριονίδι**

Το πριονίδι μόνο του ή σε μείγματα με άλλα υποστρώματα, όπως η άμμος, έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την παραγωγή αγγουριών. Ένα μείγμα που περιέχει 25% ή περισσότερη άμμο έχει το πλεονέκτημα της καλύτερης διανομής υγρασίας από ότι το πριονίδι μόνο του.

Το πριονίδι, ή μείγμα πριονιδιού, τοποθετείται σε κλίνες, σε πλαστικά δοχεία ή σάκους. Χρησιμοποιείται συνήθως σύστημα στάγδην άρδευσης. Τα λιπάσματα παρέχονται στα φυτά είτε με την παροχή ενός πλήρους

θρεπτικού διαλύματος κάθε ημέρα, είτε με τη μίξη των θρεπτικών ουσιών με το μέσο πριν από τη φύτευση.

### **3.4.3 Ξύλινος φλοιός**

Άριστα αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί σε χρήση φρέσκων, μη λιπασματοποιημένων τσιπς φλοιών πεύκου ως υπόστρωμα, σε όρθιους σάκους, οι οποίοι περιέχουν η κάθε μία 14 l του φλοιού. Οι τοποθετημένοι αραιά, σε διπλές σειρές σάκοι, τακτοποιούνται με τις βάσεις τους 1 cm κάτω από το επίπεδο του εδάφους και υπάρχει επίσης ένα κανάλι αποσιράγγισης βάθους 5 cm κατά μήκος της μέσης των σειρών. Οι τύποι που είναι κατάλληλοι ως μέσα αύξησης είναι ο λεπτός φλοιός (< 1,0 cm) και ο κονδροειδής φλοιός (5,0 X 3,0 X 0,5 cm).

Μετά από τη φύτευση, είναι καλό να τοποθετείται ένα στρώμα πάχους 2,0 cm αποστειρωμένης άμμου πάνω από το μέσο. Αυτό βοηθά στην ομαλή διανομή των θρεπτικών ουσιών και αποτρέπει την συσσώρευση του νερού.

## Κεφάλαιο 4°

### ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ

#### 4.1 Περίληψη

Ο όρος ανακύκλωση θρεπτικού διαλύματος στην υδροπονία περιλαμβάνει τη συνεχή επανακυκλοφορία και την επαναχρησιμοποίηση της περίσσειας του θρεπτικού διαλύματος που αποστραγγίζεται μετά από κάθε κύκλο άρδευσης. Στο τελευταίο, το ποσό του ανακυκλωμένου θρεπτικού διαλύματος είναι εμφανώς χαμηλότερο. Η εφαρμογή της ανακύκλωσης επιτρέπει τον περιορισμό ή ακόμα και την πλήρη πρόληψη της θρεπτικής ουσίας που διηθείται στα υπόγεια νερά. Η αποταμίευση στα λιπάσματα μπορεί να φθάσει σε ένα επίπεδο μεταξύ 40-50% του συνολικού ανεφοδιασμού, το ακριβές επίπεδο εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως από το εφαρμοσμένο θρεπτικό και αρδευτικό πρόγραμμα, τα φυτά των καλλιεργειών, τη σύσταση του ακατέργαστου νερού, κ.λπ. Η οικονομική πτυχή επίσης σχετικά με την αποταμίευση λιπασμάτων δεν είναι αμελητέα. Εντούτοις, τα οφέλη για το περιβάλλον είναι ακόμα σημαντικότερα, λαμβάνοντας υπόψη ότι καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου συγκομιδής τα ποσά  $\text{NO}_3\text{-N}$ , που διαφεύγουν έξω από τη ζώνη ρίζας μέσω του διαλύματος απορροής, μπορεί να υπερβεί 800 Kg ανά εκτάριο ετησίως. Εντούτοις, εάν η περιεκτικότητα άλατος, κυρίως αυτών του  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ , στο ακατέργαστο νερό είναι πάρα πολύ υψηλή, μια μερική εκκένωση του διαλύματος μέσω αγωγών είναι αναπόφευκτη προκειμένου να αποτραπούν σημαντικές απώλειες στην παραγωγή και την ποιότητα.

Κάθε θρεπτική ουσία λαμβάνεται από τα φυτά μέσω διαφορετικών μηχανισμών απορρόφησης, με συνέπεια τις παραλλαγές στην αποδοτικότητα λήψης των ουσιών. Επιπλέον, η λήψη των θρεπτικών ουσιών επηρεάζεται επίσης και από τις κλιματολογικές συνθήκες καθώς και άλλες περιβαλλοντικές μεταβλητές. Κατά συνέπεια, η σύνθεση του διαλύματος αποστράγγισης είναι ουσιαστικά διαφορετική από αυτήν του διαλύματος που παρέχεται στη καλλιέργεια. Αυτό το γεγονός περιπλέκει την επαναχρησιμοποίηση του τελευταίου διαλύματος, επειδή, πριν από την ανακύκλωση, πρέπει να αναπληρωθεί με θρεπτικές ουσίες και νερό σε δόσεις που δεν μπορούν να υπολογιστούν ακριβώς. Διάφορες τεχνικές χρησιμοποιούνται για την ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος. Αυτές περιλαμβάνουν (α) τη μίξη του διαλύματος αποστράγγισης και νερού σε σταθερή αναλογία, (β) την έγχυση λιπασμάτων στο νερό πριν από τη μίξη του με το διάλυμα αποστράγγισης, (γ) τη μίξη του διαλύματος αποστράγγισης και νερού στοχεύοντας σε μια προεπιλεγμένη ηλεκτρική αγωγιμότητα, (δ) τη μίξη διαλύματος αποστράγγισης, νερού και λιπασμάτων σε μεταβλητές αναλογίες, ανάλογα με τον πραγματικό όγκο και τη συνολική θρεπτική συγκέντρωση του ανακυκλωμένου διαλύματος αποστράγγισης, και



(ε) τη συνεχή επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος μετά από αυτοματοποιημένη αναπλήρωση με θρεπτικές ουσίες και νερό. Για τον υπολογισμό των δόσεων των μεμονωμένων θρεπτικών ουσιών που απαιτούνται για την αναπλήρωση του διαλύματος αποστράγγισης πριν από την επαναχρησιμοποίηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν, είτε οι αναμενόμενες συγκεντρώσεις λήψης, είτε η αναμενόμενη σύνθεση του διαλύματος αποστράγγισης, είτε και οι δύο αυτοί παράγοντες. Σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς η ορυκτή σύνθεση όλων των θρεπτικών ουσιών στο ακατέργαστο νερό.

## 4.2 Εισαγωγή

Στα υδροπονικά συστήματα με συνεχή ροή θρεπτικού διαλύματος, όπως το NFT (Cooper, 1979, Graves, 1983) ή το EGS (Soffer και Levinger, 1980), ο ανεφοδιασμός του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά ξεπερνά κατά πολύ την κατανάλωση νερού από τη συγκομιδή. Ακόμη και στις συγκομιδές που αυξάνονται σε υποστρώματα, που περιλαμβάνουν βραχυπρόθεσμες εφαρμογές του νερού σε κανονικά χρονικά διαστήματα, το θρεπτικό διάλυμα που παρέχεται είναι μεγαλύτερης ποσότητας από αυτό που λαμβάνεται. Η συλλογή και η επαναχρησιμοποίηση του πλεονασματικού θρεπτικού διαλύματος που διοχετεύεται από το περιβάλλον της ρίζας καλείται «ανακυκλωμένο θρεπτικό διάλυμα». Η συλλογή και η επιστροφή του διαλύματος πίσω στη κεφαλή του αρδευτικού συστήματος και κατόπιν ο ανεφοδιασμός των φυτών απαιτούν έναν κλειστό βρόγχο που αποτελείται από σωλήνες άρδευσης και κανάλια. Επομένως, τα υδροπονικά συστήματα, που περιλαμβάνουν το ανακυκλωμένο θρεπτικό διάλυμα καλούνται συνήθως «κλειστά υδροπονικά συστήματα».

Όταν υιοθετείται η συνεχής επανακυκλοφορία, ο όγκος του θρεπτικού διαλύματος που ανακυκλώνεται ανά φυτό κάθε ημέρα είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν που επαναχρησιμοποιείται στα υδροπονικά συστήματα που περιλαμβάνουν τους σύντομους κύκλους άρδευσης (Sonneveld, 1989). Αυτό μπορεί να τεκμηριωθεί από το ακόλουθο παράδειγμα. Σε μια συγκομιδή μελιτζάνας που αυξάνεται σε πετροβάμβακα, μια μέση κατανάλωση θρεπτικού διαλύματος ανά φυτό είναι 2,7 λίτρα ανά ημέρα (Σάβας, 1992). Εάν η περίσσια του θρεπτικού διαλύματος που παρέχεται σε αυτήν την συγκομιδή είναι 30% του συνολικού ανεφοδιασμού (κατά μέσον όρο), το διάλυμα αποστράγγισης για να ανακυκλωθεί πρέπει να πλησιάζει την ποσότητα των 1,16 λίτρων ανά φυτό ανά ημέρα. Εάν το ίδιο είδος φυτών αυξάνεται σε σύστημα NFT σε ίδια πυκνότητα φυτείας με 40 φυτά ανά κανάλι και κοινό ποσοστό ροής  $0,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  σε κάθε κανάλι, ο όγκος του θρεπτικού διαλύματος που παρέχεται στη συγκομιδή θα είναι 120 λίτρα ανά φυτό ανά ημέρα. Άρα, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η κατανάλωση θρεπτικού διαλύματος είναι 2,7 λίτρα ανά φυτό ανά ημέρα και ο όγκος του θρεπτικού διαλύματος που ανακυκλώνεται σε σύστημα NFT ανέρχεται στο ποσό των 117,3 λίτρων ανά

φυτό ανά ημέρα. Αυτή η ποσότητα είναι σχεδόν εκατό φορές υψηλότερη από αυτή, του διαλύματος αποστράγγισης που παράγεται και επαναχρησιμοποιείται στο σύστημα πετροβάμβακα με διακοπτόμενη άρδευση.

Η συλλογή και η επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος αποστράγγισης που παράγεται στα θερμοκήπια μειώνει τη διήθηση των λιπασμάτων στο χώμα και αποτρέπει έτσι τη ρύπανση των υπόγειων νερών με τα νιτρικά άλατα, τα φωσφορικά άλατα και άλλα ανεπιθύμητα ιόντα. Ως εκ τούτου, η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος έχει πρώτιστα μια περιβαλλοντική επίδραση. Εντούτοις, η αύξηση των συγκομιδών θερμοκηπίων σε κλειστά υδροπονικά συστήματα έχει επίσης και την οικονομική της πτυχή. Πράγματι, η επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος αποστράγγισης των θερμοκηπίων επιτρέπει τη σημαντική μείωση στην κατανάλωση λιπάσματος και νερού. Αφ' ετέρου, όμως η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος στην υδροπονία απαιτεί επιπρόσθετο εξοπλισμό. Παραδείγματος χάριν, η επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος αποστράγγισης εγκυμονεί τον κίνδυνο μόλυνσης από κάποιο παθογόνο, το οποίο μπορεί να ανακυκλωθεί επίσης μαζί με το διάλυμα. Αυτό το πρόβλημα απαιτεί την εγκατάσταση ενός αποδοτικού συστήματος για την απολύμανση του διαλύματος αποστράγγισης πριν από την ανακύκλωση, αυξάνοντας κατά συνέπεια το κύριο κόστος. Επιπλέον, η πιθανή επιρροή της ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος στην παραγωγή και την ποιότητα των προϊόντων είναι ένα κρίσιμο κριτήριο για την οικονομική αξιολόγηση και την αποδοτικότητα των κλειστών υδροπονικών συστημάτων.

Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος που αποστραγγίζεται από το περιβάλλον της ρίζας διαφέρει από το διάλυμα το οποίο παρέχεται στη συγκομιδή (Sonneveld, 1981 Ravin et al, 1998 Sawas, 2001a). Τα χαρακτηριστικά σύνθεσης που αλλάζουν λόγω της ροής του θρεπτικού διαλύματος διαμέσου του περιβάλλοντος της ρίζας των φυτών περιλαμβάνουν το pH, τις ιοντικές συγκεντρώσεις και τις αμοιβαίες αναλογίες μεταξύ των θρεπτικών ουσιών. Ως αποτέλεσμα αυτών των αλλαγών στη σύνθεση, το διάλυμα αποστράγγισης δεν μπορεί να ανατροφοδοτηθεί άμεσα στα φυτά, αλλά πρέπει να αναπληρωθεί με θρεπτικές ουσίες και νερό πριν από την ανακύκλωση. Στην εμπορική υδροπονία, αυτό γίνεται λίγο πολύ αυτόματα, δεδομένου ότι η χειρωνακτική λειτουργία είναι οικονομικά ασύμφορη.

Η προσθήκη των θρεπτικών ουσιών στοχεύει στην επαναδημιουργία του αρχικού pH και των θρεπτικών αναλογιών, ενώ η προσθήκη του νερού μειώνει τη συνολική ιοντική συγκέντρωση, επιτρέποντας κατά συνέπεια την αναπροσαρμογή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC). Για να αποφθεχθούν οι απώλειες παραγωγής λόγω της επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος αποστράγγισης, πρέπει όλες οι εκτελέσεις των εργασιών να πραγματοποιηθούν με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια.

Τελευταία αλλά όχι ασήμαντη, είναι η αναφορά στις πιθανές μελλοντικές εξελίξεις και προοπτικές των τεχνικών που χρησιμοποιούνται

για να ανακυκλώσουν το θρεπτικό διάλυμα στην υδροπονία και συνοψίζονται στην ενότητα 4.5.

### 4.3 Οι συνέπειες της ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος

Τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί μια μετατόπιση από τα ανοικτά στα κλειστά υδροπονικά συστήματα στη βιομηχανία των θερμοκηπίων. Οι ακριβείς περιβαλλοντικοί κανονισμοί ενάντια στη ρύπανση των υπόγειων νερών, που προέρχεται από την αποστράγγιση των αποβλήτων που παράγονται στα θερμοκήπια, είναι πρωτίστως υπαίτιοι για την υιοθέτηση από τους καλλιεργητές του συστήματος ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος. Εντούτοις, αυτή η υιοθέτηση ενισχύεται επίσης και από το γεγονός ότι η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος αυτού καθ' εαυτού δεν φαίνεται να ασκεί οποιαδήποτε δυσμενή επιρροή στην παραγωγή συγκομιδών και την ποιότητα των προϊόντων. Πράγματι, όπως αναφέρεται από τον Ravin et al (1998) η επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος αποστράγγισης κατά τη διάρκεια μιας περιόδου αύξησης δύο ετών σε συγκομιδή τριαντάφυλλων δεν είχε καμία αρνητική επίπτωση στην παραγωγή και την ποιότητα των λουλουδιών. Ομοίως, ο Zekki et al (1996) δεν βρήκε οποιαδήποτε μείωση παραγωγής λόγω της επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος αποστράγγισης στις ντομάτες που καλλιεργήθηκαν σε πετροβάμβακα ή σε βρύα τύρφης. Αυτοί οι ερευνητές παρατήρησαν περιορισμό παραγωγής μόνο στις ντομάτες που αυξήθηκαν σε σύστημα NFT, αλλά αυτό αποδόθηκε στη συσσώρευση θειικού άλατος που επήλθε από την παρατεταμένη χρήση του ίδιου θρεπτικού διαλύματος. Αυτή η θρεπτική δυσαναλογία προκλήθηκε από την ακατάλληλη διαχείριση της ανακύκλωσης, η οποία βασίστηκε απλώς στις μετρήσεις pH και EC, και όχι σε γενικές μετρήσεις πριν την διαδικασία της ανακύκλωσης. Η επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος αποστράγγισης στις συγκομιδές που αναπτύσσονται σε υποστρώματα, δεν προκαλεί θρεπτικές δυσαναλογίες τόσο γρήγορα όσο στα συστήματα NFT. Σε ένα άλλο πείραμα σχετικά με την ζέρμπερα που αναπτύχθηκε σε υπόστρωμα ελαφρόπετρας με και χωρίς επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος αποστράγγισης, παρατηρήθηκε μια μικρή μείωση παραγωγής με τις επεξεργασίες ανακύκλωσης, η οποία αποδόθηκε στην μικρή λήψη Mn εξ αιτίας του αυξανόμενου pH στο περιβάλλον της ρίζας (Σάββας και Γκίζας, αδημοσίευτα στοιχεία). Ειδικότερα, κατά την εφαρμογή της ανακύκλωσης, το  $\text{NH}_4$  στο διάλυμα αποστράγγισης παρουσιάστηκε μειωμένο και αυτό οφείλεται είτε στη νιτροποίηση, είτε σε προνομιακή λήψη του  $\text{NH}_4^+$  από  $\text{NO}_3^-$ . Κατά συνέπεια, η συγκέντρωση του  $\text{NH}_4^+$  στο θρεπτικό διάλυμα, που προετοιμάστηκε με την αναπλήρωση του διαλύματος αποστράγγισης με θρεπτικές ουσίες και νερό, ήταν πολύ χαμηλότερη απ' ό,τι στην διαδικασία αποβολής του διαλύματος αποστράγγισης, επομένως έχουμε και αυξανόμενο pH στη ζώνη ρίζας στην πρώτη περίπτωση σε σχέση με την δεύτερη. Εντούτοις, το



παραπάνω πρόβλημα δεν είναι έμφυτο στην ανακύκλωση και μπορεί να ρυθμιστεί εύκολα με την αύξηση της αναλογίας έγχυσης του  $\text{NH}_4^+$  ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) σε υψηλότερες τιμές από εκείνες που εφαρμόζονται στα ανοικτά υδροπονικά συστήματα. Επιπλέον, όπως αναφέρεται από τον Bar-Yosef et al (2001a), η επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος αποστράγγισης δεν περιορίσει την παραγωγή καλλιέργειας πιπεριάς, αν και το νερό της βρύσης που χρησιμοποιήθηκε σε εκείνη την περίπτωση περιείχε τα ουσιαστικά ποσά  $\text{NaCl}$ . Εντούτοις, σε μια άλλη δοκιμή σε καλλιέργεια γυσοφύλλης (Bar-Yosef et al, 2001b), η εφαρμογή της ανακύκλωσης ήταν καταστρεπτική και στην παραγωγή μίσχων και στην ξερή ουσία λουλουδιών λόγω αύξησης της EC στο διάλυμα αποστράγγισης πάνω από  $2,9 \text{ dS m}^{-1}$  εξαιτίας στις υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο νερό άρδευσης. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο στόχος μείωσης της περιβαλλοντικής ρύπανσης μέσω της ανακύκλωσης του διαλύματος που αποβάλλεται με την αποστράγγιση σε θερμοκήπια που εφαρμόζεται υδροπονία μπορεί να είναι ασυμβίβαστος με τον στόχο για την επίτευξη των υψηλών παραγωγών σε μερικά είδη φυτών, όταν το διαθέσιμο νερό για άρδευση έχει υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων.

Οι υδροπονικές εγκαταστάσεις που προορίζονται να λειτουργήσουν ως κλειστά συστήματα πρέπει να εξοπλιστούν με δίσκους ή κανάλια και πρόσθετες αντλίες, σωλήνες και όργανα ελέγχου, όπως τα μανόμετρα, κ.λπ., τα οποία απαιτούνται για να την συλλογή και επιστροφή της περίσσιας διαλύματος που διαφεύγει από το περιβάλλον ρίζας των φυτών. Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις, που αναπληρώνουν αυτόματα το διάλυμα αποστράγγισης με θρεπτικές ουσίες και νερό και την διανέμουν πάλι στα φυτά είναι πιο περίπλοκες από εκείνες που χρησιμοποιούνται στα ανοικτά συστήματα στις καλλιέργειες εκτός εδάφους. Τελευταίο αλλά όχι ασήμαντο, ο πιθανός κίνδυνος μετάδοσης ασθένειας μέσω του ανακυκλωμένου θρεπτικού διαλύματος απαιτεί την εγκατάσταση του πρόσθετου εξοπλισμού για την απολύμανση του διαλύματος αποστράγγισης πριν από την επαναχρησιμοποίησή του. Οι παραπάνω απαιτήσεις για πρόσθετο εξοπλισμό αυξάνουν το αρχικό κόστος που απαιτείται για την ίδρυση μιας εμπορική υδροπονικής εγκατάστασης. Εντούτοις, οποιεσδήποτε επιπρόσθετες δαπάνες για τον σταθερό εξοπλισμό μπορούν σύντομα να αποσβεσθούν με την αποταμίευση λιπάσματος λόγω της ανακύκλωσης του διαλύματος αποστράγγισης. Ο Ravin et al (1998) εξέθεσε μείωση στην κατανάλωση λιπασμάτων σε καλλιέργεια τριαντάφυλλων που έφθανε σε περίπου 43% για τα νιτρικά άλατα, 37% για το K και 47% για το P (κατά μέσον όρο 40%) στις περισσότερο αποδοτικότερες επεξεργασίες ανακύκλωσης. Η αποταμίευση των λιπασμάτων Ca και Mg στα κλειστά υδροπονικά συστήματα είναι ακόμα υψηλότερη, επειδή τα ιόντα αυτά έχουν μεγαλύτερη τάση να συσσωρεύονται στο διάλυμα αποστράγγισης από ότι το K (Sonneveld, 1981 Σάββας, 2001a). Επομένως, οι αναλογίες εγχύσεων K/Ca και K/Mg μπορούν να είναι χαμηλότερες από εκείνες που εφαρμόζονται στα ανοικτά υδροπονικά συστήματα (de Kreij et al, 1999, Σάββας και Γκίζας, δημοσιεύτα στοιχεία). Ειδικά όταν το ακατέργαστο νερό που χρησιμοποιείται για την αναπλήρωση του διαλύματος αποστράγγισης περιέχει τα ουσιαστικά ποσά  $\text{Ca}^{+2}$  και  $\text{Mg}^{+2}$ ,



η ανάγκη για τα λιπάσματα Ca και Mg μπορεί ακόμη και να εξαλειφτεί στα κλειστά υδροπονικά συστήματα. Η αποταμίευση λιπάσματος είναι στις περισσότερες περιπτώσεις υψηλότερη από εκείνη του νερού. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι οι περισσότερες θρεπτικές ουσίες τείνουν να συσσωρευτούν στο διάλυμα αποστράγγισης, αυξάνοντας κατά συνέπεια τις τιμές της EC σε σχέση με την επιθυμητή EC στο διάλυμα άρδευσης. Συνεπώς, η αναλογία προσθήκης λιπάσματος:νερού στην αναπλήρωση του διαλύματος αποστράγγισης είναι χαμηλότερη από αυτή που απαιτείται για την προετοιμασία ενός απολύτως φρέσκου θρεπτικού διαλύματος. Τα στοιχεία του Ravin et al (1998) συμφωνούν με αυτήν την εκτίμηση.

Τα παραπάνω στοιχεία αποδεικνύουν όχι μόνο τη δυνατότητα αποταμίευσης λιπάσματος στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, αλλά και την ιδιαίτερη συμβολή της ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος στον περιορισμό της περιβαλλοντικής ρύπανσης με τα νιτρικά άλατα και άλλα ανεπιθύμητα ιόντα. Πράγματι, σύμφωνα με τα στοιχεία που αναφέρονται από τον Ravin et al (1998), όταν δεν εφαρμόζεται η ανακύκλωση, σχεδόν το 76% του συνολικού αζώτου που παρέχεται στα τριαντάφυλλα αποστραγγίζεται υπό μορφή  $\text{NO}_3^-$ , ρυπαίνοντας κατά συνέπεια το περιβάλλον. Σε απόλυτες τιμές, το  $\text{NO}_3^-$ -N ανέρχεται σε  $836 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ . Σύμφωνα με τον Morard (1997), στις εκτός εδάφους καλλιέργειες ντομάτας στο διάλυμα απορροής αντιστοιχεί απώλεια  $1.700 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  του νιτρικού άλατος ( $384 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1} \text{ NO}_3^-$ -N). Στον **πίνακα 1**, δίνονται τα ποσά μερικών ρυπογόνων ιόντων που αποστραγγίστηκαν έξω από το περιβάλλον της ρίζας σε καλλιέργεια ζέρμπερας κατά τη διάρκεια μιας αντιπροσωπευτικής ημέρας του Οκτωβρίου. Αυτά τα στοιχεία προκύπτουν από τον επανυπολογισμό μερικών προαναφερόμενων αποτελεσμάτων (Σάββας, 2001a).

Η έκταση της αποταμίευσης λιπάσματος λόγω της ανακύκλωσης θρεπτικού διαλύματος στις εκτός εδάφους καλλιέργειες επηρεάζεται έντονα από την συγκέντρωση των αλάτων στο νερό που χρησιμοποιείται για την αναπλήρωση του θρεπτικού διαλύματος αποστράγγισης ή ανακύκλωσης. Πράγματι, ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζονται κατά την ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος είναι η συσσώρευση ανεπιθύμητων ιόντων, ιδιαίτερα του  $\text{Na}^+$  και του  $\text{Cl}^-$ . Αυτό παρατηρείται όταν οι συγκεντρώσεις αυτών των ιόντων στο νερό άρδευσης είναι πολύ υψηλότερες από τις αντίστοιχες αναλογίες λήψης ιόντων του νερού από τα φυτά (Sonneveld, 2000). Σε τέτοιες περιπτώσεις, για να αποφευχθεί η υπερβολική συγκέντρωση αλάτων στο περιβάλλον της ρίζας, το διάλυμα αποστράγγισης πρέπει να εκφορτιστεί μόλις οι συγκεντρώσεις του  $\text{Na}^+$  και του  $\text{Cl}^-$  υπερβούν ορισμένα επίπεδα κατώτατων ορίων (Ravin et al, 1998 Bar-Yosef et al, 2001a, 2001b). Οι τιμές των κατώτατων ορίων εξαρτώνται από την ανθεκτικότητα στα άλατα κάθε ξεχωριστού είδους. Κατά συνέπεια, μέρος των θρεπτικών ουσιών που παρέχονται στις καλλιέργειες επίσης εκφορτίζεται, μειώνοντας κατά συνέπεια την αποδοτικότητα της ανακύκλωσης για την μείωση της κατανάλωσης λιπάσματος και την παρεμπόδιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Αφ' ετέρου, όταν το νερό άρδευσης έχει υψηλή συγκέντρωση σε άλατα, απαιτείται η απομάκρυνση

διαλύματος αποστράγγισης για να αποτραπεί η συσσώρευση αλάτων στο περιβάλλον τις ρίζες των φυτών, κατά συνέπεια είναι εμφανές ότι αυξάνεται η ποσότητα του λιπάσματος που αποστραγγίζεται στο έδαφος στα ανοικτά συστήματα. Επομένως, ακόμα και όταν η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό άρδευσης είναι σχετικά υψηλή, η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος επιτρέπει μια σημαντική μείωση και στην κατανάλωση λιπασμάτων και στην ρύπανση του περιβάλλοντος. Αυτό αποδεικνύεται και από τα αποτελέσματα του Raviv et al (1998) και των Bar- Yosef et al (2001a και 2001b) που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας νερό με υψηλές συγκεντρώσεις σε  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ .

**Πίνακας 1.** Ανεφοδιασμός και διήθηση ιόντων μέσω του διαλύματος αποστράγγισης κατά τη διάρκεια μιας ημέρας του Οκτωβρίου σε καλλιέργεια ζέρμπερας που αναπτύσσεται σε υπόστρωμα ελαφρόπετρας. Ο μέσος όρος διήθησης του διαλύματος κατά τη διάρκεια εκείνης της ημέρας ανήλθε στο 33% του ολικού ανεφοδιασμού (Σάββας, αδημοσίευτα στοιχεία).

Ιόντα	Ανεφοδιασμός ( Kg ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )	Αποστράγγιση ( Kg ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )	Αποστράγγιση (% από τον ανεφοδ. )
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> N</b>	6,825	3,048	44,7
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> N</b>	0,314	0,012	4,0
<b>Ολικό N</b>	7,139	3,061	42,9
<b>P</b>	1,360	0,464	34,1
<b>K</b>	8,533	3,414	40,0

Δεδομένου ότι η ανθεκτικότητα στα άλατα μπορεί να διαφέρει αρκετά μεταξύ των φυτοκομικών ειδών, οι τιμές των κατώτατων ορίων συσσώρευσης αλάτων στο διάλυμα αποστράγγισης που δεν προκαλούν ακραίες απώλειες παραγωγής στα κλειστά υδροπονικά συστήματα πρέπει να καθοριστούν συγκεκριμένα για το κάθε είδος. Η αξία των κατώτατων ορίων της αποδεκτής συσσώρευσης αλάτων στα κλειστά υδροπονικά συστήματα διαφέρει από την αποκαλούμενη αξία κατώτατων ορίων αλατότητας. Ειδικότερα, η πρώτη δείχνει τη μέγιστη αλατότητα που μπορεί να επιτευχθεί κατά την αποστράγγιση διαλύματος μέσω μιας διαδικασίας προοδευτικής συσσώρευσης αλάτων χωρίς οποιαδήποτε δυσμενή συνέπεια για μείωση της παραγωγής και της ποιότητας, ενώ η τελευταία αναφέρεται σε ένα σταθερό επίπεδο συνολικής συγκέντρωσης αλάτων στο περιβάλλον ρίζας που δεν προκαλεί απώλειες στην παραγωγή.

Αντίθετα, εάν οι συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στο νερό άρδευσης είναι χαμηλές, δεν υπάρχει ουσιαστικά καμία ανάγκη να εκφορτιστεί μέρος του διαλύματος αποστράγγισης καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, υπό τον όρο ότι το διάλυμα που αποστραγγίζεται αναπληρώνεται με τις κατάλληλες ποσότητες θρεπτικών ουσιών και νερού πριν από την επαναχρησιμοποίηση (Sawas και Gizas, αδημοσίευτα στοιχεία).

## 4.4 Τεχνικές ανακύκλωσης θρεπτικού διαλύματος

### 4.4.1 Αρχές

Οι κύριοι παράγοντες που σχετίζονται με τον ανεφοδιασμό του διαλύματος αποστράγγισης με θρεπτικές ουσίες και νερό στα κλειστά υδροπονικά συστήματα φαίνονται στον **πίνακα 2**.

Εξ' ορισμού

$$x = \frac{V_r}{V_t}, \quad y = \frac{V_t - V_r}{V_t} \quad (1)$$

$$\text{Έτσι} \quad y = 1 - x, \quad (2)$$

Σε πολλές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται σε κλειστά υδροπονικά συστήματα τα λιπάσματα προστίθενται σε ανεπεξέργαστο νερό και το τελικό διάλυμα αναμιγνύεται με το διάλυμα αποστράγγισης σε αναλογία  $x / \psi$ . Όταν εφαρμόζεται αυτή η τεχνική (βλέπε παράγραφο 4.4.3) η EC του τελικού αρδευτικού διαλύματος ( $E_t$ ) μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση:

$$E_t = xE + yE_u \quad (3)$$

Έτσι, αντικαθιστώντας την εξίσωση (2) με την (3) και λύνοντας προς  $x$ , είναι πιθανόν να υπολογιστεί το  $x$  ως σχέση των  $E_t$ ,  $E_u$ ,  $E_r$ :

$$x = \frac{E_t - E_u}{E_r - E_u} \quad (4)$$

Μια άλλη τεχνική για την ανακύκλωση σε κλειστά υδροπονικά συστήματα των υγρών του θερμοκηπίου που διαρρέουν συμπεριλαμβάνει την ανάμιξη του διαλύματος αποστράγγισης με ανεπεξέργαστο νερό και ακολούθως προσθέτοντας λιπάσματα σε αυτό το μείγμα. (βλέπε παράγραφο

4.4.4). Προφανώς, η EC ( $E_m$ ) του διαλύματος που αποκτάται από τη μίξη διαλύματος αποστράγγισης και ανεπεξέργαστου νερού σε αναλογία  $x / \psi$  μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση:

$$E_m = xE_r + yE_n \quad (5)$$

**Πίνακας 2.** Κύριοι παράγοντες που εμπεριέχονται στον ανεφοδιασμός του διαλύματος αποστράγγισης με θρεπτικά συστατικά και νερό σε κλειστά υδροπονικά συστήματα.

Παράγοντας	Περιγραφή
$V_t$	: Πλήρης ποσότητα (1) του αρδευτικού διαλύματος που παρέχεται στη σοδειά σε συγκεκριμένη εφαρμογή ποτίσματος.
$V_r$	: Πλήρης ποσότητα (1) του διαλύματος αποστράγγισης σε συγκεκριμένες εφαρμογές ποτίσματος.
$V_t - V_r$	: Πλήρης ποσότητα (1) του νερού που αναμιγνύεται με ανακυκλωμένο διάλυμα αποστράγγισης σε συγκεκριμένες εφαρμογές ποτίσματος.
$x / y$	: Αναλογία κατά την οποία το ανακυκλωμένο διάλυμα αποστράγγισης αναμιγνύεται με ανεπεξέργαστο νερό.
$E_t$	: Ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $dS m^{-1}$ ) του διαλύματος άρδευσης
$E_r$	: Ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $dS m^{-1}$ ) του διαλύματος αποστράγγισης.
$E_w$	: Ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $dS m^{-1}$ ) του ανεπεξέργαστου νερού.
$E_m$	: Ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $dS m^{-1}$ ) του μείγματος του διαλύματος αποστράγγισης και του νερού πριν τον ψεκασμό του με λιπάσματα.
$E_u$	: Ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $dS m^{-1}$ ) του διαλύματος που αποκτάται μετά τον ψεκασμό των λιπασμάτων.
$I_{if}$	: Εισαγωγή του θρεπτικού συστατικού $i$ στο νερό ή στο θρεπτικό διάλυμα (δόση $mg\ l^{-1}$ ) εξαιτίας του ψεκασμού των λιπασμάτων.

Αντικαθιστώντας την εξίσωση (2) με την (5) και λύνοντας προς  $x$  δημιουργείται η ακόλουθη σχέση:

$$x = \frac{E_m - E_w}{E_r - E_w} \quad (6)$$

Έτσι, το  $x$  μπορεί να υπολογιστεί ως συνάρτηση της EC όταν η δεύτερη καθορίζεται από τον καλλιεργητή.

Στην εμπορική υδροπονία, η EC του ανεπεξέργαστου νερού είναι μια γνωστή σταθερή σε μεγάλες περιόδους, ενώ οι επιθυμητές τιμές συνήθως



επιλέγονται για  $E_t$  και  $E_u$ , ή  $E_m$ . Επιπλέον, μπορεί να μετριέται συχνά η EC του διαλύματος αποστράγγισης. Έτσι, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4) ή την (6) για τον υπολογισμό του  $x$  και αντικαθιστώντας μετά το τελικό αποτέλεσμα στην (2), είναι δυνατόν να υπολογιστεί η αναλογία του μίγματος διαλύματος αποστράγγισης / νερού ( $x / \psi$ ), η οποία απαιτείται για την εξασφάλιση της επιθυμητής EC στο διάλυμα άρδευσης για ένα συγκεκριμένο  $E_r$ .

Ο ανεφοδιασμός των εκροών του θερμοκηπίου, με θρεπτικά συστατικά και νερό πριν την ανακύκλωση συμπεριλαμβάνει τον ψεκασμό λιπασμάτων σε μορφή συμπυκνωμένων, υγρών διαλυμάτων (διαλύματα βλάστησης), ανεξάρτητα από την τεχνική που επιστρατεύεται. Τα διαλύματα βλάστησης των λιπασμάτων μπορούν να προστεθούν είτε σε σταθερές αναλογίες ή σε αναλογίες που οδηγούν σε μία σταθερή επιθυμητή EC. Στο πρώτο, οι αναλογίες ψεκασμού ρυθμίζονται άμεσα εισάγοντας τις προκαθορισμένες τιμές στο σύστημα ελέγχου. Στην δεύτερη περίπτωση, οι αναλογίες ρυθμίζονται έμμεσα εισάγοντας την προκαθορισμένη τιμή της EC ( $E_u$  ή  $E_t$ ) στο σύστημα ελέγχου και αυτομάτως κορηγώντας διαλύματα βλάστησης σε μικρά, διακεκομμένα διαστήματα, ανάλογα με την EC του τελικού διαλύματος, το οποίο παρακολουθείται συνεχώς. Έτσι, η κορήγηση των διαλυμάτων βλάστησης προσαρμόζεται αυτόματα σε αναλογίες που προέρχονται από την επιθυμητή EC του τελικού διαλύματος. Και στις δύο περιπτώσεις, η συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών στα διαλύματα βλάστησης είναι ίση με το προϊόν  $I_{if} A_i$  όπου  $I_{if}$  είναι η επιθυμητή δόση του θρεπτικού συστατικού στο τελικό διάλυμα ( $\text{meq l}^{-1}$ ) εξαιτίας της εισαγωγής λιπασμάτων και το  $A_i$  είναι η σταθερότητα του διαλύματος βλάστησης που περιέχει το θρεπτικό συστατικό. Προφανώς, η επιθυμητή αναλογία διάλυσης για κάθε διάλυμα βλάστησης είναι ίση με την σταθερότητα αυτού του διαλύματος βλάστησης ( $A_i$ ). Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της πρόσθεσης των ποσοτήτων των μεμονωμένων θρεπτικών συστατικών ( $I_{if}$ ) εμφανίζονται στην ενότητα 4.5.

#### **4.4.2 Αναμιγνύοντας το διάλυμα αποστράγγισης με νερό σε σταθερή αναλογία**

Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται σε καταστάσεις με ταυτόχρονη παρασκευή και παροχή του θρεπτικού διαλύματος στη καλλιέργεια. Η παρασκευή του ανανεωμένου θρεπτικού διαλύματος συμπεριλαμβάνει είτε το πρώιμο μείγμα του διαλύματος αποστράγγισης και του νερού στον αρδευτικό σωλήνα, ακολουθούμενο από την πρόσθεση λιπασμάτων, ή την πρόσθεση λιπασμάτων σε ανεπεξέργαστο νερό και διάλυμα αποστράγγισης, το οποίο συμβαίνει σε δεξαμενή ανάμειξης. Και στις δύο περιπτώσεις, το διάλυμα αποστράγγισης και το νερό αναμιγνύονται σε σταθερή αναλογία  $x / \psi$ , η οποία εισάγεται με προκαθορισμένη τιμή στο σύστημα ελέγχου.

Τα διαλύματα βλάστησης των λιπασμάτων μπορούν να προστεθούν είτε σε σταθερές αναλογίες είτε με αναλογίες που απορρέουν από μία σταθερή,

επιθυμητή EC, όπως επισημάνθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Εφόσον το  $x / \psi$  και η EC που χρησιμοποιήθηκαν ή αποκτήθηκαν από τις εξισώσεις (3), (4), (5) ή (6), κρατούνται σταθερά, οι πραγματικές δόσεις των λιπασμάτων είναι εξίσου υψηλές με τις επιθυμητές τιμές ( $I_{if}$ ), άσχετα από τη μέθοδο ψεκασμού. Επιπλέον, η EC του τελικού διαλύματος άρδευσης θα διατηρηθεί σε επιθυμητές τιμές ( $E_t$ ). Το επιθυμητό  $I_{if}$  μπορεί να υπολογιστεί επιστρατεύοντας είτε την έννοια των συγκεντρώσεων απορρόφησης ή την έννοια του διαλύματος αποστράγγισης σε συνδυασμό με το ανεπεξέργαστο νερό (βλ. Παράγραφο 4.5.4). Παρ' όλα αυτά, κάθε αλλαγή στην EC σε υψηλότερες ή χαμηλότερες τιμές από αυτές που υπάρχουν στις εξισώσεις (3), (4), (5) ή (6) θα έχουν ως αποτέλεσμα παρόμοιες αλλαγές είτε στη πραγματική EC ή στις ποσότητες των ψεκασμένων θρεπτικών συστατικών. Πιο συγκεκριμένα, η EC θα αλλάξει όταν τα λιπάσματα ψεκάζονται στο μείγμα του διαλύματος αποστράγγισης με νερό σε προκαθορισμένες αναλογίες διάλυσης. Προτεραιότητα σε αυτή την περίπτωση δίνεται στον ψεκασμό των επιθυμητών ποσοτήτων λιπασμάτων ( $I_{if}$ ) και όχι στη διατήρηση της επιθυμητής EC. Αντίθετα, όταν ο ψεκασμός των λιπασμάτων ελέγχεται έμμεσα από την EC του τελικού διαλύματος, τότε το πραγματικό  $E_t$  θα διατηρηθεί σταθερό στην επιθυμητή τιμή, άσχετα από τις πιθανές αυξομειώσεις της EC στο περιβάλλον των ριζών. Ωστόσο, αν η EC στο περιβάλλον των ριζών αλλάξει, οι αναλογίες ψεκασμού των λιπασμάτων αυτόματα θα αλλάξουν. Έτσι, στη δεύτερη περίπτωση, προτεραιότητα δίνεται στη διατήρηση του επιθυμητού  $E_t$  στο αρδευτικό διάλυμα και όχι στην πρόσθεση λιπασμάτων σε σταθερές ποσότητες.

Προφανώς, τα ανακυκλωμένα υγρά εκροών του θερμοκηπίου σε κλειστά υδροπονικά συστήματα, αναμιγνύοντάς τα με ανεπεξέργαστο νερό σε σταθερή αναλογία είναι μια αρκετά δύσκολη τεχνική, αφού δεν είναι δυνατή η αυτόματη διόρθωση του  $x / \psi$  σε κάθε αρδευτικό κύκλο, όταν είτε το  $E$  ή το πραγματικό ποσό διήθησης είναι διαφορετικό από τις τιμές που συμπεριλαμβάνονται στις εξισώσεις (6), (7) ή (8).

#### **4.4.3 Ψεκασμός λιπασμάτων σε νερό πριν την ανάμειξή του με το διάλυμα αποστράγγισης**

Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται όταν οι ποσότητες των μεμονωμένων θρεπτικών συστατικών που απαιτούνται για τον ανεφοδιασμό του διαλύματος αποστράγγισης υπολογίζονται σύμφωνα με την έννοια των συγκεντρώσεων απορρόφησης, όπως παρουσιάζεται στην παράγραφο 4.5.3.

Κατά την ανακύκλωση του διαλύματος αποστράγγισης, χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική, τα λιπάσματα ψεκάζονται απευθείας στο νερό σε σταθερές ποσότητες, οι οποίες μπορούν να υπολογιστούν όπως περιγράφεται στην παράγραφο 4.5.3. Μετά από αυτήν τη διαδικασία το τελικό διάλυμα αναμιγνύεται με το διάλυμα αποστράγγισης σε αναλογία, η οποία οδηγεί στη δημιουργία του επιθυμητού  $E_t$  του τελικού αρδευτικού διαλύματος. Για να επιτευχθεί αυτό η EC του τελικού διαλύματος παρακολουθείται συνεχώς.

Έτσι, χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο μείκτη νερού είναι δυνατόν να ρυθμίσουμε αυτόματα την αναλογία ανάμειξης ανάμεσα στο διάλυμα αποστράγγισης και στο διάλυμα που δημιουργείται μετά τον ψεκάσμό των λιπασμάτων σε ανεπεξέργαστο νερό, σε τιμές που οδηγούνε στο επιθυμητό E στο τελικό αρδευτικό διάλυμα.

Συνήθως, η τιμή της επιθυμητής EC βασίζεται σε πειραματικά αποτελέσματα ή ατομική εμπειρία. Αν η επιθυμητή EC επιλέγεται από τον καλλιεργητή, τότε η επιθυμητή αναλογία διαλύματος απορρόφησης / νερού ( $x / \psi$ ) πρέπει να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4), καθώς αυτό απαιτείται για τον υπολογισμό της σύνθεσης του αρδευτικού διαλύματος, όπως φαίνεται στην παράγραφο 4.5.3. Ωστόσο, η επιθυμητή EC μπορεί επίσης να υπολογιστεί ως συνάρτηση της επιθυμητής αναλογία διαλύματος απορρόφησης / νερού χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3). Σε αυτήν την περίπτωση, η επιλογή της επιθυμητής αναλογίας διαλύματος αποστράγγισης / νερού βασίζεται στο αναμενόμενο ποσό διήθησης, το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται από το εφαρμοσμένο αρδευτικό πρόγραμμα.

Τα διαλύματα βλάστησης των λιπασμάτων μπορούν να ψεκαστούν σε ανεπεξέργαστο νερό, είτε σε σταθερές αναλογίες ή σε ρυθμούς που απορρέουν σε μία σταθερή, επιθυμητή EC ( $E_u$ ). Στη δεύτερη περίπτωση, η επιθυμητή EC πρέπει να εισαχθεί στο σύστημα ελέγχου ως προκαθορισμένη τιμή, βασισμένη στα στοιχεία που αναφέρονται στην απορρόφηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών συστατικών. Έτσι, η πραγματική EC του τελικού διαλύματος παρακολουθείται συνεχώς και χρησιμοποιείται σε συνθήκες πραγματικού χρόνου για να ρυθμιστεί αυτόματα ο ψεκάσμος των διαλυμάτων βλάστησης σε ρυθμούς που καταλήγουν στο επιθυμητό  $E_u$ .

Ο ψεκάσμος των λιπασμάτων σε ανεπεξέργαστο νερό πριν τη μείξη του με το διάλυμα αποστράγγισης, επιτρέπει την αυτόματη διόρθωση της αναλογίας  $x / \psi$ , όταν η πραγματική EC στο περιβάλλον των ριζών ( $E_r$ ) είναι διαφορετική από την αναμενόμενη τιμή. Επομένως, αυτή η τεχνική είναι πιο ευέλικτη από αυτή της ανάμειξης του διαλύματος αποστράγγισης με το ανεπεξέργαστο νερό σε σταθερή αναλογία  $x / \psi$ . Παρ' όλα αυτά, ακόμη και αυτή η τεχνική δεν επιτρέπει την αυτόματη ρύθμιση τόσο της αναλογίας  $x / \psi$ , όσο και της πρόσθεσης των ποσοτήτων των θρεπτικών συστατικών ( $I_{if}$ ) όταν το ποσό διήθησης είναι διαφορετικό από την τιμή  $x$ , η οποία απαιτείται για τη διατήρηση του επιθυμητού  $E_r$  στο αρδευτικό διάλυμα.

#### **4.4.4 Αναμιγνύοντας διάλυμα αποστράγγισης με νερό στοχεύοντας σε μία επιθυμητή EC στο μείγμα.**

Η τεχνική της επαναχρησιμοποίησης των απορροών του θρεπτικού διαλύματος σε κλειστά υδροπονικά συστήματα εφαρμόζεται όταν η πρόσθεση των ποσοτήτων των μεμονωμένων θρεπτικών συστατικών υπολογίζεται σύμφωνα με την έννοια του διαλύματος αποστράγγισης με το ανεπεξέργαστο νερό, όπως παρουσιάζεται στην παράγραφο 4.5.4.



Ως πρώτο βήμα, το διάλυμα αποστράγγισης αναμιγνύεται με ανεπεξέργαστο νερό και η EC του μείγματος παρακολουθείται συνεχώς. Έτσι, η αναλογία μείξης ρυθμίζεται αυτόματα σε τιμές που επιτρέπουν την επίτευξη ενός επιθυμητού  $E_m$  στο τελικό μείγμα. Επομένως, η μείξη του διαλύματος αποστράγγισης με το νερό εμπλουτίζεται με λιπάσματα σε σταθερές δόσεις ( $I_{if}$ ), τα οποία μπορούν να υπολογιστούν όπως επισημαίνεται και στην παράγραφο 4.5.4. Η πρόσθεση των επιθυμητών ποσοτήτων των λιπασμάτων σε κάθε λίτρο του αρδευτικού διαλύματος μπορεί να επιτευχθεί απευθείας, ψεκάζοντας διαλύματα βλάστησης στον αρδευτικό αγωγό με προκαθορισμένες αναλογίες διάλυσης, ή έμμεσα, ετοιμάζοντας διαλύματα βλάστησης με επιθυμητές κοινές αναλογίες ανάμεσα στα θρεπτικά συστατικά και ελέγχοντας τον ψεκασμό τους μέσω της EC ( $E_t$ ) του τελικού αρδευτικού διαλύματος (βλ. παράγραφο 4.4.1). Και στις δύο περιπτώσεις, δημιουργείται ένα αρδευτικό διάλυμα που έχει την επιθυμητή EC ( $E_t$ ).

Η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος αναμιγνύοντας το διάλυμα αποστράγγισης και το νερό σε αναλογία που οδηγεί σε επιθυμητή EC, ακολουθούμενο από τον ψεκασμό λιπασμάτων, μπορεί να υπολογιστεί ολοκληρωτικά εισάγοντας τις επιθυμητές τιμές  $E_m$  και  $E_t$  στο σύστημα ελέγχου. Το επιθυμητό  $E_m$  μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση (5), επιλέγοντας μια επιθυμητή αναλογία  $x/\psi$  διαλύματος αποστράγγισης / νερού. Συνήθως, η επιλογή μιας επιθυμητής αναλογίας ( $x/\psi$ ) βασίζεται στο αναμενόμενο ποσό διήθησης, το οποίο ακολούθως εξαρτάται από το εφαρμοσμένο αρδευτικό πρόγραμμα. Μια εναλλακτική δυνατότητα είναι να επιλέξουμε ένα  $E_m$  και να υπολογίσουμε την αυτόματα ρυθμιζόμενη αναλογία  $x/\psi$  χρησιμοποιώντας την εξίσωση (6). Το δεύτερο απαιτείται για τον υπολογισμό της πρόσθεσης των ποσοτήτων των λιπασμάτων ( $I_{if}$ ) και έτσι και των αναλογιών των θρεπτικών συστατικών στα διαλύματα βλάστησης (βλ. παράγραφο 4.5.4). Το επιθυμητό  $E_t$  επιλέγεται πάντα σύμφωνα με την έννοια του διαλύματος αποστράγγισης συν το ανεπεξέργαστο νερό, το οποίο βασίζεται στις συστάσεις της βιβλιογραφίας ή στην εμπειρία.

Η τεχνική ανάμειξης του διαλύματος αποστράγγισης με ανεπεξέργαστο νερό στοχεύοντας σε μία επιθυμητή EC στο μείγμα, επίσης επιτρέπει την αυτόματη διόρθωση της αναλογίας  $x/\psi$ , όταν η πραγματική EC στο περιβάλλον των ριζών ( $E_r$ ) είναι διαφορετική από την τιμή που χρησιμοποιείται στην εξίσωση (5) ή (6). Συνεπώς, αυτή η τεχνική είναι πιο ευέλικτη από αυτήν που βασίζεται στην ανάμειξη διαλύματος αποστράγγισης με νερό σε σταθερή αναλογία  $x/\psi$ . Ωστόσο, ακόμη και αυτή η τεχνική δεν επιτρέπει την αυτόματη ρύθμιση και της αναλογίας  $x/\psi$  και του  $I_{if}$  σε κάθε αρδευτικό κύκλο, κάτι το οποίο θα επέτρεπε τη συνένωση του  $x$  με το πραγματικό ποσό διήθησης, διατηρώντας συγχρόνως το επιθυμητό  $E_t$  στο αρδευτικό διάλυμα.



#### 4.4.5 Αναμιγνύοντας διάλυμα αποστράγγισης, νερό και λιπάσματα σε αναλογίες υπολογισμένες κάτω από συνθήκες πραγματικού χρόνου

Αυτή η μέθοδος ανακύκλωσης του διαλύματος αποστράγγισης απαιτεί μια πλήρως αυτόματη εγκατάσταση, η οποία ελέγχεται από ένα κατάλληλο πρόγραμμα υπολογιστή. Η ποσότητα ( $V_r$ ) και η EC ( $E_r$ ) του διαλύματος αποστράγγισης, που έχει συλλεχθεί μετά από μια συγκεκριμένη εφαρμογή ποτίσματος και είναι διαθέσιμη για ανακύκλωση, υπολογίζονται αυτόματα χρησιμοποιώντας κατάλληλο εξοπλισμό και τα στοιχεία μεταδίδονται αυτόματα στο πρόγραμμα του υπολογιστή. Χρησιμοποιώντας αυτά τα στοιχεία, είναι δυνατόν αυτόματα να υπολογιστούν και να ψεκαστούν στο διάλυμα αποστράγγισης τα θρεπτικά συστατικά ( $I_{if}$ ) και το νερό ( $V_t - V_r$ ), τα οποία απαιτούνται για τη δημιουργία μιας επιθυμητής EC ( $E_t$ ) στο τελικό αρδευτικό διάλυμα.

Υπάρχουν δύο εναλλακτικές δυνατότητες για την ενίσχυση της παραπάνω μεθόδου ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος. Και στις δύο περιπτώσεις, η επιθυμητή ποσότητα ( $V_t$ ) και η επιθυμητή EC ( $E_t$ ) του θρεπτικού διαλύματος, που προσθέτονται στη καλλιέργεια σε κάθε εφαρμογή ποτίσματος, εισάγονται ως προκαθορισμένες τιμές στο σύστημα ελέγχου. Επιπλέον, η ποσότητα ( $V_r$ ) και η EC ( $E_r$ ) των διαφόρων απορροών, που διαρρέουν μετά από κάθε αρδευτικό κύκλο, μετρούνται αυτόματα.

Η πρώτη δυνατότητα ενίσχυσης αυτής της μεθόδου συμπεριλαμβάνει τον on-line υπολογισμό του επιθυμητού  $x/\psi$  χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1) και την αυτόματη ρύθμιση της πραγματικής αναλογίας μείξης του διαλύματος αποστράγγισης με το νερό σε αυτήν την τιμή. Συγχρόνως, οι απαιτούμενες δόσεις των θρεπτικών συστατικών που πρέπει να ψεκαστούν μέσω των διαλυμάτων βλάστησης ( $I_{if}$ ) ρυθμίζονται αυτόματα σε σχέση με το τρέχον μειρημένο  $E_r$ , επιτρέποντας έτσι τη δημιουργία ενός επιθυμητού  $E_t$  στο τελικό αρδευτικό διάλυμα. Οι μέθοδοι που ενέχονται στον υπολογισμό του  $I_{if}$ , όταν αυτή χρησιμοποιείται η τεχνική ανακύκλωσης, παρουσιάζονται στην ενότητα 4.5. Όταν εφαρμόζεται αυτή η τεχνική ανακύκλωσης, η παρασκευή του αρδευτικού διαλύματος μπορεί να πραγματοποιηθεί μαζί με την παροχή του στη καλλιέργεια. Η δεύτερη δυνατότητα είναι η προετοιμασία του θρεπτικού διαλύματος ψεκάζοντας θρεπτικά συστατικά στο διάλυμα αποστράγγισης, σύμφωνα με την on-line μέτρηση του  $V_r$  και του  $E_r$  και την παροχή αυτού του διαλύματος στη καλλιέργεια, μετά την ολοκλήρωση της προπαρασκευαστικής διαδικασίας. Το πρώτο βήμα στην διαδικασία της προπαρασκευής του ανανεωμένου θρεπτικού διαλύματος σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση συμπεριλαμβάνει την επιστροφή του διαλύματος αποστράγγισης, που έχει συλλεχθεί μετά τον προηγούμενο αρδευτικό κύκλο, στη δεξαμενή μείξης. Επομένως η EC και η ποσότητα του διαλύματος που επιστρέφουν στη δεξαμενή ανάμειξης μετρούνται χρησιμοποιώντας κατάλληλους αισθητήρες. Έτσι, οι απαιτούμενες ποσότητες των θρεπτικών συστατικών ( $I_{if}$ ) υπολογίζονται αυτόματα ως συναρτήσεις των on-line μετρημένων  $V_r$  και  $E_r$  και του επιθυμητού  $E_t$ , όπως περιγράφεται και στην ενότητα 4.5. Το επόμενο βήμα είναι η πρόσθεση

νερού βρύσης σύμφωνα με την προκαθορισμένη τιμή  $V_r$ . Μετά, το μείγμα ανανεώνεται με θρεπτικά συστατικά (πρόσθεση διαλυμάτων βλάστησης) σε αυτόματα υπολογισμένες αναλογίες και τελικά, το pH ρυθμίζεται ψεκάζοντας κάποιο οξύ. Με αυτό τον τρόπο, το τελικό αρδευτικό διάλυμα θα έχει το επιθυμητό  $E_r$  και pH και θα μπορεί αυτόματα να προστεθεί στη καλλιέργεια.

Οι Σάββας και Μάνος πρότειναν έναν αλγόριθμο, ο οποίος επιτρέπει την αυτόματη ρύθμιση των προστιθέμενων ποσοτήτων λιπασμάτων σε κάθε αρδευτικό κύκλο, υπολογίζοντας ως συναρτήσεις της ποσότητας και της EC του τρέχοντος ανακυκλωμένου διαλύματος αποστράγγισης, της EC του ανεπεξέργαστου νερού και της επιθυμητής ποσότητας και της EC του αρδευτικού διαλύματος. Αυτή η μέθοδος ανακύκλωσης μπορεί να διατηρήσει το επιθυμητό  $E_r$  σε κάθε εφαρμογή ποτίσματος, ενώ όλοι οι άλλοι συντελεστές ιδιαίτερα η αναλογία μείξης του διαλύματος αποστράγγισης / νερού ( $x/\psi$ ), η πρόσθεση ποσοτήτων θρεπτικών συστατικών ( $I_{if}$ ) και η EC του διαλύματος αποστράγγισης ( $E_r$ ) μπορεί να ποικίλουν. Όταν εφαρμόζεται ο αλγόριθμος που πρότειναν οι Σάββας και Μάνος (1999), ο υπολογισμός των σταθερών αναλογιών ανάμεσα στα ψεκασμένα θρεπτικά συστατικά, τα οποία απαιτούνται για την παρασκευή των διαλυμάτων βλάστησης, βασίζεται σε ένα επιθυμητό «θρεπτικό διάλυμα αναφοράς» (βλέπε παράγραφο 4.5.5) και οι κοινές αναλογίες ανάμεσα στα ψεκασμένα θρεπτικά συστατικά μέσω των λιπασμάτων είναι ίδιες σε κάθε πότισμα. Ωστόσο όταν η ανακύκλωση βασίζεται στη μέτρηση του  $V_r$  και του  $E_r$  σε συνθήκες πραγματικού χρόνου, αλλά χρησιμοποιώντας διαφορετική προσέγγιση από αυτή που πρότειναν οι Σάββας και Μάνος (1999) για τον αυτόματο υπολογισμό του πραγματικού  $I_{if}$ , οι κοινές αναλογίες ανάμεσα στα ψεκασμένα θρεπτικά συστατικά μπορεί να διαφέρουν σε κάθε πότισμα.

Η ανάμειξη διαλύματος αποστράγγισης / νερού και λιπασμάτων σε αναλογίες υπολογισμένες σε συνθήκες πραγματικού χρόνου είναι μια αποτελεσματική τεχνική αφού και η αναλογία  $x/\psi$  και ο ψεκασμός των λιπασμάτων ( $I_{if}$ ) ρυθμίζονται αυτόματα σε κάθε πότισμα, επιτρέποντας έτσι μια συνένωση του  $x$  με το πραγματικό κλάσμα διήθησης, διατηρώντας, συγχρόνως, το επιθυμητό  $E_r$  στο αρδευτικό διάλυμα. Έτσι, σε κάθε αρδευτικό κύκλο είναι πιθανόν να ανακυκλωθεί ολόκληρη η ποσότητα του διαλύματος αποστράγγισης που έχει συλλεχθεί μετά από κάθε πότισμα, ανεξάρτητα από τη πραγματική EC. Η αυτόματη ρύθμιση του  $I_{if}$  σε κάθε πότισμα μέσω της on-line μέτρησης των  $V_r$  και  $E_r$  έχει προταθεί πρόσφατα για την επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος αποστράγγισης σε καλλιέργειες κάτω από το χώμα. Επομένως, οι υπάρχουσες εμπειρίες είναι και πάλι περιορισμένες.

#### 4.4.6 Συνεχής επανακυκλοφορία του διαλύματος

Στην εμπορική φυτοκομία, η πιο διαδεδομένη μέθοδος καλλιέργειας φυτών με συνεχώς ανακυκλώσιμο θρεπτικό διάλυμα είναι η Τεχνική

Καλλιέργειας σε Φιλμ Θρεπτικού διαλύματος (NFT= Nutrient Film Technique). Αυτή η τεχνική περιγράφεται λεπτομερώς από τους Cooper (1975,1979) και Graves (1983). Από τότε, έχουν προταθεί πολλές τροποποιήσεις της NFT και πολλά σχετικά κλειστά υδροπονικά συστήματα. Η αεροπονία μπορεί επίσης να ενταχθεί στα κλειστά, εκτός εδάφους συστήματα καλλιέργειας, που συμπεριλαμβάνουν τη συνεχή επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος, παρ' όλο που η παροχή του δεύτερου είναι στην πραγματικότητα διακεκομμένη, εξαιτίας του πολύ συχνού ψεκασμού του διαλύματος στις ρίζες. (π.χ. ψεκασμός για 20 δευτερόλεπτα κάθε λεπτό, όπως προτείνεται από τον Waisel, 1996).

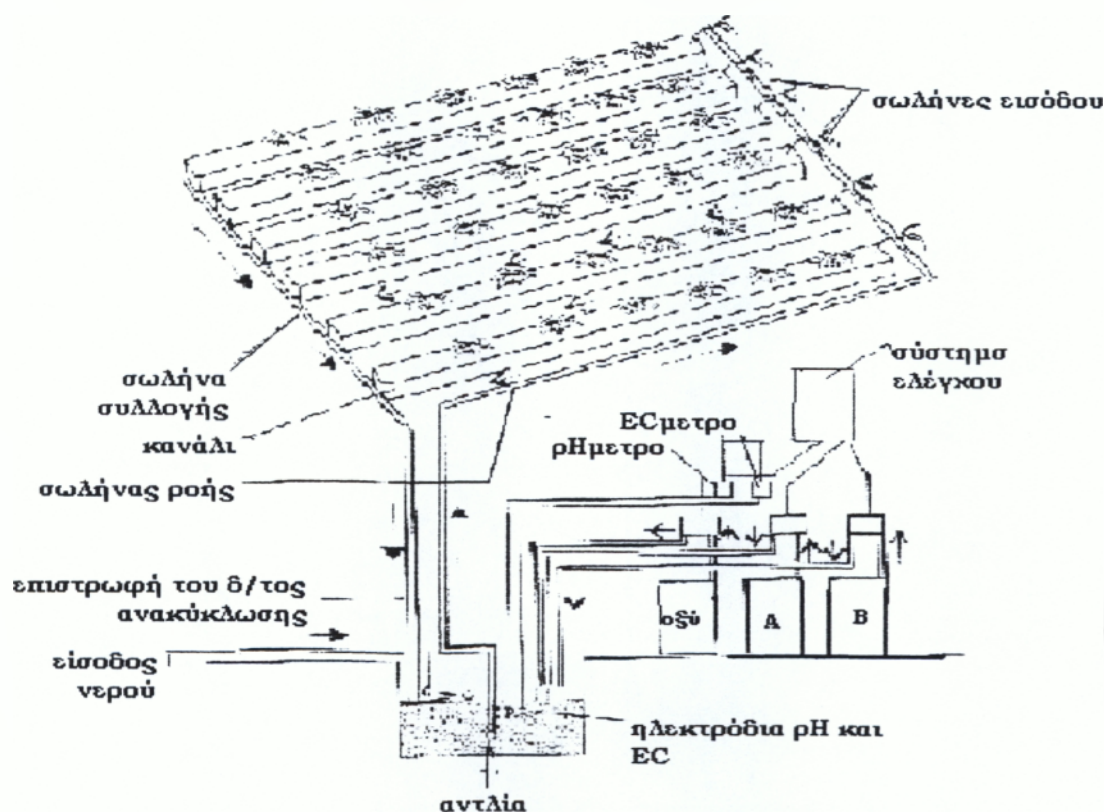
Η ποσότητα του θρεπτικού συστατικού που ανακυκλώνεται σε σχέση με τον χρόνο και την καλλιεργητική μονάδα αποτελεί την πρωταρχική διαφορά ανάμεσα στη συνεχή επανακυκλοφόρηση και την επαναχρησιμοποίηση του επιπλέον διαλύματος, το οποίο διαρρέει σε κάθε πότισμα (βλ. εισαγωγή αυτού του κεφαλαίου). Όταν εφαρμόζεται η συνεχής επανακυκλοφόρηση, η διαφορά, σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ( $V_t - V_r$ ), ανάμεσα στο θρεπτικό διάλυμα που προσφέρεται και σε αυτό που περισσεύει είναι πολύ μικρή. Αφού το τελικό θρεπτικό διάλυμα που απορροφάται αποτελεί ένα υποπολλαπλάσιο της συνολικής ποσότητας, οι σύντομες αλλαγές στη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος που επιστρέφει είναι μικρές, ακόμη και όταν η αναλογία απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών /νερού είναι σημαντικά διαφορετική από την ανάλογη συγκέντρωση του θρεπτικού συστατικού. Επομένως, σε συστήματα χωρίς επαναχρησιμοποίηση του θρεπτικού συστατικού, οι διαφορές σύνθεσης, σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ( $V_t - V_r$ ), ανάμεσα στο θρεπτικό διάλυμα που προσφέρεται και σε αυτό που περισσεύει είναι μικρές. Ωστόσο, οι συσσωρευμένες αλλαγές που παρατηρούνται μετά από συνεχή επανακυκλοφόρηση για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, σε σχέση με το αρχικό θρεπτικό διάλυμα, μπορεί να είναι σημαντικές. Για τον περιορισμό και την διόρθωση αυτών των αλλαγών χρειάζεται συνεχής παρακολούθηση του θρεπτικού διαλύματος που περισσεύει και ανανέωσή του με κατάλληλες ποσότητες θρεπτικών συστατικών (διαλύματα βλάστησης των λιπασμάτων) και νερό, όταν οι αλλαγές στη σύνθεση υπερβαίνουν συγκεκριμένες αρχικές τιμές.

Όταν εφαρμόζεται η συνεχής επανακυκλοφορία, οι αλλαγές σύνθεσης στο θρεπτικό διάλυμα ελέγχονται μέσω παρακολούθησης και προσαρμογής της EC και του pH του διαλύματος που επανακυκλοφορεί. (Cooper, 1997). Συγκεκριμένα, το διάλυμα που επιστρέφει μπαίνει σε μια δεξαμενή, όπου αναμιγνύεται με ανεπεξέργαστο νερό. Σε μερικές εφαρμογές, το διάλυμα που επιστρέφει αναμιγνύεται με ανεπεξέργαστο νερό για να επιτευχθεί η επιθυμητή EC πριν μπει στη δεξαμενή, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 4.4.4. Το EC και το pH παρακολουθούνται συνεχώς στη δεξαμενή μείξης. Ο συνεχής ψεκασμός του θρεπτικού διαλύματος που επιστρέφει με τα διαλύματα βλάστησης και το νερό μέσα στη αναπληρώνονται στη δεξαμενή μείξης αντλώνται και παρέχονται στη καλλιέργεια. Έτσι, χρησιμοποιώντας μια μετακινούμενη βαλβίδα ή άλλους αυτόματους μηχανισμούς για να ελέγξουμε την είσοδο του ανεπεξέργαστου νερού, η ποσότητα του θρεπτικού διαλύματος μέσα στη δεξαμενή μείξης μπορεί να διατηρηθεί σε ένα



επιθυμητό επίπεδο. Πριν την παροχή του στη καλλιέργεια, το μείγμα του θρεπτικού διαλύματος, που επιστρέφει και του νερού εμπλουτίζεται με θρεπτικά συστατικά, ψεκάζοντας διαλύματα βλάστησης σε αυτόματα ρυθμιζόμενες αναλογίες, στοχεύοντας σε επιθυμητές τιμές EC και pH. Αυτή η διαδικασία γίνεται συνεχώς. Διακεκομμένη επαναχρησιμοποίηση του θρεπτικού διαλύματος στα NFT συστήματα αποδείχθηκε ανεπιτυχής αφού κατέληξε σε μικρότερες σοδειές. Επιπλέον, διακεκομμένη επανακυκλοφόρηση θα χρειαζόταν μεγαλύτερες δεξαμενές για την αποθήκευση του θρεπτικού διαλύματος κατά τα χρονικά διαστήματα μη επανακυκλοφορίας, αφού δεν υπάρχει διαθέσιμο υπόστρωμα για την διατήρησή του.

Στην εικόνα 1, παρουσιάζεται σχηματικά ένα υδροπονικό σύστημα που περιέχει συνεχή επανακυκλοφόρηση του θρεπτικού διαλύματος. Η σύνθεση των ψεκασμένων διαλυμάτων βλάστησης βασίζεται κυρίως στην αναμενόμενη μέση αναλογία απορρόφησης του θρεπτικού συστατικού από συγκεκριμένες καλλιέργειες. (για περισσότερες λεπτομέρειες (βλ.παράγραφο 4.5.3).



**Εικόνα 1<sup>η</sup>.** Σχηματική αναπαράσταση υδροπονικού συστήματος επανακυκλοφόρησης θρεπτικού διαλύματος βασισμένο στις αρχές του συστήματος NFT (Cooper, 1979)



## 4.5 Ανεφοδιασμός του ανακυκλωμένου διαλύματος με μεμονωμένα θρεπτικά συστατικά.

### 4.5.1 Το πρόβλημα

Είναι γνωστό πως η απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών από τα φυτά είναι επιλεκτική και εξαρτάται από τις απαιτήσεις της καλλιέργειας για κάθε χρονικό διάστημα, παρά τις μέσες συγκεντρώσεις. Συγκεκριμένα, η απορρόφηση των  $K^+$ , P και  $NO_3^-$  από τα κύτταρα των ριζών επηρεάζεται από πολύ αποτελεσματικούς ενεργούς μηχανισμούς ακόμη και κατά την ηλεκτροχημική κλίση στο περιβάλλον των ριζών. Ως αποτέλεσμα, τα φυτά μπορούν να εκπληρώσουν τις θρεπτικές απαιτήσεις τους για αυτά τα ιόντα, ακόμη και όταν η συγκέντρωση είναι πολύ χαμηλή, δεδομένου ότι η συνεχής παροχή του διαλύματος δεν οδηγεί στην εξάντλησή τους. Αντίθετα, η ενεργής απορρόφηση των θρεπτικών μακροστοιχείων όπως το  $SO_4^-$  φαίνεται λιγότερο αποτελεσματική, ενώ η μεταφορά των  $Ca^{2+}$  και  $Mg^{2+}$  στα κύτταρα των φυτών είναι παθητική. Συνήθως, η συγκέντρωση αυτών των θρεπτικών συστατικών στο διάλυμα του φυσικού εδάφους είναι μέσα στα λογικά επίπεδα της αναλογίας απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών / νερού. Επομένως, τα φυτά δεν αναπτύσσουν αυτόματους μηχανισμούς ενεργής απορρόφησης των  $Mg^{2+}$  και  $SO_4^-$  στην πορεία ανάπτυξής τους, όπως για παράδειγμα έκαναν για την απορρόφηση του P.

Η αποτελεσματικότητα της απορρόφησης των θρεπτικών μακροστοιχείων επίσης παρουσιάζει ευρεία διακύμανση. Έτσι, η απορρόφηση του Mn φαίνεται να συμβαίνει ενεργά ακόμη και με πολύ χαμηλή συγκέντρωση ενώ αυτή του B είναι αρκετά παθητική και επομένως, πιο εξαρτημένη από τη συγκέντρωση του B στο περιβάλλον των ριζών. Η απορρόφηση των Fe, Zn, Cu και Mo μπορεί να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις των φυτών, αν η συγκέντρωσή τους στο μέσο παροχής κυμαίνεται πάνω ή κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο, το οποίο διαφέρει για το καθένα από αυτά.

Οι ηλεκτρικά φορτισμένες ομάδες που υπάρχουν στις κυτταρικές μεμβράνες παίζουν σημαντικό ρόλο στην διαπερατότητα των θρεπτικών συστατικών. Έτσι, το σθένος της χημικής μορφής, κατά την οποία το θρεπτικό συστατικό υπάρχει στο εξωτερικό διάλυμα, επιδρά σημαντικά στην ικανότητα απορρόφησης. Ως γενικός κανόνας, η συρροή των θρεπτικών συστατικών στα φυτικά κύτταρα εμποδίζεται με τις ηλεκτρικά φορτισμένες ομάδες που βρίσκονται στις πλασματικές μεμβράνες σε βαθμό που αυξάνει με την ακόλουθη σειρά:

Φορτισμένα μόρια όπως  $H_3BO_3 < Cat^+, An^- < Cat^{2+}, An^{2-} < Cat^{3+}, An^{3-}$

Εξαιτίας της διαφορετικής απορροφητικής ικανότητας που παρουσιάζεται στα φυτά για κάθε μεμονωμένο θρεπτικό συστατικό, η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος στο περιβάλλον των ριζών, των υδροπονικά αναπτυσσόμενων καλλιεργειών, αναπόφευκτα διαφοροποιείται

από αυτή του διαλύματος που παρέχεται στη καλλιέργεια. Επομένως, η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος που διαρρέει στο περιβάλλον των ριζών των φυτών που καλλιεργούνται υδροπονικά, έχει διαφορετική σύνθεση από αυτή του διαλύματος που παρέχεται στη καλλιέργεια. Πραγματικά, όπως επισημάνθηκε από τον Sonneveld (1981), οι αναλογίες K:Mg και K:Ca στο περιβάλλον των ριζών των φυτών, καλλιεργημένων εκτός χώματος, είναι σημαντικά χαμηλότερες από τις τιμές του διαλύματος που παρέχεται στη καλλιέργεια. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί από τον Ravin κ.α. (1998), τους Σάββα και Μάνο (1999) και τον Σάββα (2001α). Επιπλέον, υπάρχει μια τάση συσσώρευσης του  $SO_4^{2-}$  στο περιβάλλον των ριζών εξαιτίας της διαφορετικής ικανότητας απορρόφησης των φυτών για καθένα από τα τρία ανιόντα θρεπτικών μακροστοιχείων. Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, η συγκέντρωση των  $Na^+$  και  $Cl^-$  στο περιβάλλον των ριζών, επίσης τείνει να αυξάνει σε ρυθμούς που εξαρτώνται από τα επίπεδα των ιόντων αυτών στο νερό βρύσης, που χρησιμοποιείται για την προπαρασκευή του θρεπτικού διαλύματος. Αυτό είναι αποτέλεσμα των πολύ χαμηλών αναλογιών απορρόφησης Na /νερού και Cl /νερού, οι οποίες είναι συνήθως πολύ χαμηλότερες από τη συγκέντρωση αυτών των ιόντων στο νερό βρύσης.

Πολλοί ερευνητές βρήκαν πως και η συνολική ημερήσια απορρόφηση των μεμονωμένων θρεπτικών συστατικών και οι αναλογίες απορρόφησης ανάμεσα στα θρεπτικά συστατικά αλλάζουν σημαντικά στην πορεία της περιόδου της καλλιέργειας των περισσότερων κηπευτικών φυτών. Αυτές οι αλλαγές αποδίδονται στις διαφορές των θρεπτικών απαιτήσεων των φυτών, εξαιτίας των κλιματικών διακυμάνσεων, καθώς επίσης και στο φυσιολογικό στάδιο των φυτών. Μια σταθερή αλλαγή στις θρεπτικές απαιτήσεις εξαιτίας του φυσιολογικού σταδίου των φυτών παρατηρείται κατά την αλλαγή από τη βλαστική στην αναπαραγωγική φάση, η οποία περιλαμβάνει τη δημιουργία λουλουδιών και την καρποφορία. Πραγματικά, η αναπαραγωγική διαδικασία έχει διαφορετική σύνθεση μετάλλων από τις ρίζες και τα φύλλα και, επομένως, η αρχή της αναπαραγωγικής φάσης συνοδεύεται από αλλαγές στις απαιτήσεις των φυτών για θρεπτικά συστατικά. Για παράδειγμα, οι Adams και Massey (1984) ανακάλυψαν πως η αναλογία απορρόφησης K:N (w/w) σε μια σοδειά ντομάτας καλλιεργημένης εκτός εδάφους ήταν σχεδόν 1.2 κατά το στάδιο βλάστησης της καλλιέργειας, αλλά αυξάνεται στο 2.5 αμέσως μόλις οι καρποί στα φυτά αρχίσουν να αυξάνονται ραγδαία.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα φυτά μπορούν να προσαρμόσουν τους ρυθμούς της αναρρόφησης θρεπτικών συστατικών στις θρεπτικές τους απαιτήσεις, ενώ οι δεύτερες αλλάζουν σημαντικά κατά την περίοδο της καλλιέργειας τους. Επιπλέον, αυτές οι αλλαγές εξαρτώνται από παράγοντες όπως οι κλιματικές συνθήκες, η ποσότητα καρπών κ.τ.λ. που πολύ λίγο μπορούν να προβλεφθούν. Κατά συνέπεια, η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος στο περιβάλλον των ριζών και τα φυσικά επακόλουθα του διαλύματος, που διαρρέει από τη περιοχή των ριζών των υδροπονικά καλλιεργημένων φυτών, δεν μπορούν να προβλεφθούν με αποδεκτή ακρίβεια. Επομένως, ο ανεφοδιασμός του διαλύματος αποστράγγισης με κατάλληλες ποσότητες μεμονωμένων θρεπτικών συστατικών σε κάθε

αρδευτικό κύκλο είναι δύσκολος, ιδιαίτερα από την άποψη ότι στις εμπορικές καλλιέργειες αυτή η διαδικασία πρέπει να εκτελείται αυτόματα. Για την επίτευξη μιας ακριβής επαναδημιουργίας της σύνθεσης του αρχικού θρεπτικού διαλύματος, η συγκέντρωση κάθε θρεπτικού συστατικού στο διάλυμα αποστράγγισης πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς. Ωστόσο, ως τώρα, τέτοιες τεχνικές δεν είναι διαθέσιμες για εμπορικές εφαρμογές στα θερμοκήπια. Επομένως, ο ανεφοδιασμός του θρεπτικού διαλύματος με θρεπτικά συστατικά βασίζεται στις συχνές χημικές αναλύσεις των απορροφητικών υγρών στο εργαστήριο, καθώς και στα στοιχεία και στα μαθηματικά μοντέλα που αποκτούνται από πειράματα εξομοίωσης.

#### 4.5.2 Αρχές

Στις περισσότερες περιπτώσεις το pH τείνει να αυξηθεί στο περιβάλλον των ριζών των υδροπονικά καλλιεργημένων φυτών. Αυτό αποδίδεται στην έντονη απορρόφηση ανιόντων, η οποία συνήθως υπερβαίνει αυτή των κατιόντων, καταλήγοντας έτσι σε απελευθέρωση  $\text{HCO}_3^-$  ή  $\text{OH}^-$  από τις ρίζες. Παρ' όλα αυτά, όταν η αναλογία αμμωνίας / νατρίου στο παρεχόμενο θρεπτικό διάλυμα είναι αρκετά υψηλή, η αναλογία απορρόφησης ανιόντων / κατιόντων μπορεί να αλλάξει ξεπερνώντας την τιμή 1, εξαιτίας της πιο έντονης απορρόφησης κατιόντων. Αυτό καταλήγει σε απελευθέρωση ανιόντων υδρογόνου από τις ρίζες, προκαλώντας έτσι μια πτώση στο pH στη περιοχή των ριζών. Αυτό το φαινόμενο μπορεί επίσης να παρατηρηθεί υπό συνθήκες χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο φθείρει την δραστηριότητα των νιτρικών ενζύμων και επακόλουθα και την απορρόφηση του νατρίου. Και στις δύο περιπτώσεις, το pH στη περιοχή των ριζών και στο τελικό διάλυμα αποστράγγισης διαφοροποιείται απ' αυτό του παρεχομένου θρεπτικού διαλύματος. Ακόμη, το ανεπεξέργαστο νερό που χρησιμοποιείται για τον ανεφοδιασμό του διαλύματος αποστράγγισης συνήθως περιέχει διτάνθρακα και έτσι έχει μεγαλύτερο pH από τις επιθυμητές τιμές του διαλύματος που παρέχεται στα φυτά. Κατά συνέπεια, κατά τον ανεφοδιασμό του διαλύματος αποστράγγισης με θρεπτικά συστατικά και νερό, πρέπει να ρυθμιστεί αναλόγως και το pH του τελικού διαλύματος. Αυτό επιτυγχάνεται ψεκάζοντας οξύ για να μειώσουμε το PH στην επιθυμητή τιμή. Συνήθως, για τη ρύθμιση του pH χρησιμοποιείται νιτρικό οξύ, μιας και ο ψεκασμός σουλφορικού, υδροχλωρικού ή φωσφορικού οξέος μπορεί να δημιουργήσει υπερβολική συσσώρευση θειικού άλατος ή χλωρίου ή στην καθίζηση του φωσφορικού ασβεστίου.

Αν όλο το διάλυμα αποστράγγισης που συλλέγεται σε μια καλλιέργεια κλειστού υδροπονικού συστήματος επαναχρησιμοποιηθεί, θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι τα μόνα θρεπτικά συστατικά που απομακρύνονται από το σύστημα είναι αυτά που καταναλώνονται από τα φυτά. Αυτή η υπόθεση δεν είναι αρκετά ακριβής, επειδή μπορεί να υπάρξουν απώλειες θρεπτικών συστατικών εξαιτίας της καθίζησης, διαρροών στο σύστημα και εκλύσεις αερίων. Οι απώλειες εξαιτίας των διαρροών στο κλειστό σύστημα είναι



συνήθως ασήμαντες συγκριτικά με τις ποσότητες του θρεπτικού διαλύματος που καταναλώνεται από τα φυτά. Ωστόσο, όταν τα θρεπτικά συστατικά και το νερό προστίθενται στο διάλυμα αποστράγγισης πριν την ανακύκλωση του, πρέπει να αναπληρώνεται κάθε απώλεια νιτρογόνου εξαιτίας της αφαίρεσης αζώτου από τα νιτρικά άλατα, η οποία αυξάνει την εμφανή αναλογία απορρόφησης  $(NO_3^- + H_2PO_4^-) / SO_4^{2-}$ . Το ίδιο ισχύει για τις απώλειες από την καθίζηση. Όταν υπολογίζεται η ποσότητα των θρεπτικών συστατικών που απομακρύνονται από ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα και πρέπει, επομένως, να αντικατασταθούν, είναι ασήμαντο, αν η απώλεια οφείλεται στην απορρόφηση των φυτών ή σε άλλες πηγές. Το σύνολο των θρεπτικών συστατικών που απομακρύνονται από ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα, αποκλείοντας τη σκόπιμη και μη εκροή του διαλύματος, μπορεί να οριστεί ως «εμφανής απορρόφηση θρεπτικών συστατικών». Είναι λογικό να συμπεράνουμε ότι οι ποσότητες των θρεπτικών συστατικών που προστέθηκαν κατά τον ανεφοδιασμό του διαλύματος αποστράγγισης πρέπει να ισούται με την εμφανή απορρόφηση θρεπτικών συστατικών από τα φυτά, όπως υπολογίστηκε σε σχετικές έρευνες.

Όπως αποδείχτηκε στην παράγραφο 4.5.1. οι αναλογίες απορρόφησης των  $K/Ca$ ,  $K/Mg$  και  $(NO_3^- + H_2PO_4^-) / SO_4^{2-}$  είναι υψηλότερες από αυτές στο αρδευτικό διάλυμα, εξαιτίας των διαφορών στην ικανότητα απορρόφησης θρεπτικών συστατικών. Ως αποτέλεσμα, οι παραπάνω αναλογίες στο διάλυμα αποστράγγισης τείνουν να πέφτουν σε χαμηλότερα επίπεδα απ' ότι στο αρδευτικό διάλυμα. Επομένως κατά τον ανεφοδιασμό του διαλύματος αποστράγγισης με θρεπτικά συστατικά και νερό, συστήνεται πάντα η πρόσθεση των παραπάνω θρεπτικών συστατικών σε υψηλότερες αναλογίες  $K/Ca$ ,  $K/Mg$  και  $(NO_3^- + H_2PO_4^-) / SO_4^{2-}$  από αυτές που επιδιώκονται στο διάλυμα που παρέχεται στη καλλιέργεια. Ιδανικά, αυτές οι αναλογίες πρέπει να ίσες με τις αντίστοιχες αναλογίες της εμφανής απορρόφησης θρεπτικών συστατικών, όπως καθορίστηκε παραπάνω. Παρ' όλα αυτά, οι ρυθμοί απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών δεν είναι σταθεροί, καθώς οι αλλαγές δεν είναι προβλέψιμες με σταθερή ακρίβεια κατά την περίοδο της καλλιέργειας (βλ. Παράγραφο 4.5.1). Παρά τις σύντομες, απρόβλεπτες αλλαγές, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε έγκυρα στοιχεία για τη μέση απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών, βασισμένα σε σχετικά πειράματα (De kreij et al, 1999, Sonneveld et al., 1999, Sonneveld 2000). Έτσι ο ψεκασμός των θρεπτικών συστατικών στο μείγμα διαλύματος αποστράγγισης και νερού μπορεί να βασιστεί στη μέση απορρόφηση, αν τέτοια στοιχεία είναι διαθέσιμα στη βιβλιογραφία, όπως αναφέρεται εκτενέστερα στην παράγραφο 4.5.3.

Η συνηθισμένη τεχνική στα ανοικτά υδροπονικά συστήματα είναι η παροχή διαλύματος στη καλλιέργεια με σταθερή σύνθεση, το οποίο υποθετικά επιτρέπει τη διατήρηση της επιθυμητής συγκέντρωσης του θρεπτικού διαλύματος στο περιβάλλον των ριζών.. Αυτή η ιδέα δεν μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας σε κλειστά υδροπονικά συστήματα, αφού η σύνθεση του αρδευτικού διαλύματος καθορίζεται εν μέρει από τη σύνθεση του διαλύματος αποστράγγισης, η οποία δεν είναι ούτε σταθερή ούτε προβλέψιμη με αποδεκτή ακρίβεια. Επιπλέον, αν η αναλογία μείξης του



διαλύματος αποστράγγισης και νερού δεν είναι σταθερή, είναι δύσκολο να ληφθεί υπ' όψιν η σύνθεση των μετάλλων στο νερό βρύσης όταν υπολογίζουμε τα λιπάσματα που πρέπει να ψεκαστούν στο παραπάνω μείγμα, για να επιτύχουμε την επιθυμητή σύνθεση των θρεπτικών συστατικών. Ωστόσο, η αρχή μιας επιθυμητής σύνθεσης θρεπτικών συστατικών στο αρδευτικό διάλυμα, η οποία αναμένεται να οδηγήσει στην επίτευξη της επιθυμητής συγκέντρωσης στη περιοχή των ριζών, μπορεί να εφαρμοστεί σε κλειστά υδροπονικά συστήματα, αν προσαρμοστεί στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής των ριζών. Πιο συγκεκριμένα, αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με την έννοια του διαλύματος αποστράγγισης με το ανεπεξέργαστο νερό, είτε με την έννοια ενός θρεπτικού διαλύματος αναφοράς(βλ. Παραγράφους 4.5.4 και 4.5.5 αντίστοιχα).

#### **4.5.3 Η έννοια των συγκεντρώσεων απορρόφησης.**

Αυτή η έννοια βασίζεται στην υπόθεση ότι η μέση εμφανής απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών σε συγκεκριμένα στάδια ανάπτυξης είναι παρόμοια σε διαφορετικές καλλιέργειες του ίδιου φυτού, εκτός κάποιων περιστασιακών διαφορών. Έτσι, υπάρχει μια μέση κατανάλωση θρεπτικών συστατικών για κάθε συγκεκριμένο είδος φυτού σε ένα συγκεκριμένο φυσιολογικό στάδιο ανάπτυξης, η οποία μπορεί πειραματικά να καθοριστεί. Για κάθε θρεπτικό συστατικό, η μέση κατανάλωση εκφράζεται προτιμότερα μέσω των συγκεντρώσεων απορρόφησης η οποία αντιπροσωπεύει την ποσότητα των θρεπτικών συστατικών που καταναλώθηκαν από τα φυτά, σε κάθε λίτρο νερού που απορροφήθηκε από τη καλλιέργεια. Αν είναι διαθέσιμα τέτοια στοιχεία, τότε οι ποσότητες των θρεπτικών συστατικών που ψεκάζονται ανά λίτρο στο επιπρόσθετο νερό, κατά την παρασκευή του αρδευτικού διαλύματος, πρέπει να είναι ίσες με την απορρόφηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών συστατικών. Η ποσότητα των θρεπτικών συστατικών που ψεκάζονται ανά λίτρο στο νερό ορίζεται ως «σταθερό θρεπτικό διάλυμα» σε κλειστά υδροπονικά συστήματα. Στον **πίνακα 3** υπάρχει ένα παράδειγμα των σταθερών θρεπτικών διαλυμάτων για αγγουριές και τριανταφυλλιές καλλιεργημένες σε κλειστά υδροπονικά συστήματα, όπως προτείνεται από τους Sonneveld και Straver (1994) βασισμένο στην έννοια των συγκεντρώσεων απορρόφησης.

Είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι το ανεπεξέργαστο νερό συνεισφέρει ένα σημαντικό κομμάτι θρεπτικών συστατικών, όταν το διάλυμα αποστράγγισης ανανεώνεται με λιπάσματα και νερό, επειδή οι περισσότερες πηγές νερού περιέχουν σημαντικές ποσότητες μετάλλων. Επομένως, η συγκέντρωση σε ένα σταθερό θρεπτικό διάλυμα για κλειστά συστήματα δεν είναι ίδια με την ποσότητα των αντίστοιχων θρεπτικών συστατικών μέσω της πρόσθεσης λιπασμάτων. Συνήθως τα  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  και περιστασιακά κάποια άλλα θρεπτικά μικροστοιχεία ανανεώνονται μερικώς ή και ολοκληρωτικά μέσω του ανεπεξέργαστου νερού που προστίθεται στο διάλυμα αποστράγγισης.

**Πίνακας 3.** Σταθερό θρεπτικό διάλυμα σε καλλιέργειες τριανταφυλλιάς και αγγουριάς σε κλειστό υδροπονικό σύστημα, όπως προτείνεται από τους Sonneveld και Straver (1994)

Μακροστοιχεία mmol l <sup>-1</sup>	Αγγουριά	Τριανταφ.	Μικροστοιχεία μmol l <sup>-1</sup>	Αγγουριά	Τριανταφ.
K	6,50	2,15	Fe	15	15
Ca	2,75	0,90	Mn	10	5
Mg	1,00	0,50	Zn	5	3
NH <sub>4</sub>	1,00	0,85	Cu	0,75	0,50
NO <sub>3</sub>	11,75	4,30	B	25	15
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1,25	0,50	Mo	0,50	0,50
SO <sub>4</sub>	1,00	0,50			

Όταν οι συγκεντρώσεις που απορροφούνται από μια συγκεκριμένη καλλιέργεια είναι γνωστές και η αναλογία μείξης του διαλύματος αποστράγγισης /νερού είναι προαιρετική αλλά σταθερή σε όλες τις εφαρμογές άρδευσης, είναι σχετικά εύκολο να υπολογίσουμε την επιθυμητή αναλογία ψεκασμού θρεπτικών συστατικών /νερού, βασιζόμενοι σε ένα σταθερό θρεπτικό διάλυμα για κλειστά συστήματα. Σε αυτήν την περίπτωση, εμφανίζονται επιπλοκές μόνο εξαιτίας της σύνθεσης του διαλύματος αποστράγγισης, η οποία ποικίλει σε κάθε πότισμα. Παρ' όλα αυτά, αν η αναλογία μείξης διαλύματος αποστράγγισης /νερού ρυθμίζεται αυτόματα σε συνθήκες πραγματικού χρόνου, εξαρτώμενη από τη πραγματική EC ή την ποσότητα διαλύματος αποστράγγισης, τότε οι ποσότητες θρεπτικών συστατικών που εισέρχονται μέσα απ' το νερό μπορεί να είναι διαφορετικές σε κάθε αρδευτικό κύκλο. Έτσι, οι ποσότητες θρεπτικών συστατικών που πρέπει να παρέχονται μέσω των συμπυκνωμένων διαλυμάτων των λιπασμάτων, εξαρτώνται από δύο κυρίως μεταβλητές: τη συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών στο διάλυμα αποστράγγισης και τις ποσότητες των θρεπτικών συστατικών στο νερό. Σε τέτοιες περιπτώσεις χρειάζεται ένα πιο σύγχρονο σύστημα αυτοματισμού, το οποίο να λειτουργεί ρυθμίζοντας αυτόματα σε πραγματικό χρόνο το ρυθμό ψεκασμού, είτε του διαλύματος αποστράγγισης ή των λιπασμάτων σε κάθε αρδευτικό κύκλο (βλ. ενότητα 4.4). Το πλεονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος είναι η μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στη διατήρηση της ολικής επιθυμητής συγκέντρωσης άλατος (EC) προσφέροντας, συγχρόνως, την επιθυμητή ποσότητα των θρεπτικών συστατικών στο αρδευτικό διάλυμα.

Ένα άλλο πρόβλημα που συναντάται όταν ανανεώνουμε το διάλυμα αποστράγγισης σύμφωνα με την έννοια των συγκεντρώσεων απορρόφησης, είναι οι περιστασιακές αυξομειώσεις στην εμφανή απορρόφηση θρεπτικών συστατικών, οι οποίες προκαλούν επακόλουθες εναλλαγές στη ιονική σύνθεση του διαλύματος αποστράγγισης. Επιπλέον, ίσως παρατηρηθούν ασυμφωνίες ανάμεσα στην πραγματική πυκνότητα απορρόφησης σε μια συγκεκριμένη καλλιέργεια και στις μέσες τιμές που δίνονται στη βιβλιογραφία. Για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης αυτών των προβλημάτων κατά την παροχή των θρεπτικών συστατικών στη καλλιέργεια,

το σταθερό θρεπτικό διάλυμα για τα κλειστά συστήματα πρέπει να τροποποιείται όποτε η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος στο περιβάλλον των ριζών υποδεικνύει πως είναι αναγκαίο.

Στον **πίνακα 4**, δίνεται ένα παράδειγμα για τον υπολογισμό των θρεπτικών μακροστοιχείων που πρέπει να ψεκαστούν, όταν ανανεώνεται ένα διάλυμα αποστράγγισης σε μια καλλιέργεια ζέρμπερας, σύμφωνα με την έννοια των συγκεντρώσεων απορρόφησης. Πραγματικά, υπάρχουν τρεις εναλλακτικοί τρόποι υπολογισμού που εξαρτώνται από το διαθέσιμο εξοπλισμό.

A. Τα λιπάσματα ψεκάζονται απευθείας σε ανεπεξέργαστο νερό πριν την ανάμειξη του με το διάλυμα αποστράγγισης (βλ. παράγραφο 4.4.3) και μετά την επιλογή της επιθυμητής αναλογίας διαλύματος αποστράγγισης / νερού ( $x/\psi$ ), το επιθυμητό EC του αρδευτικού διαλύματος υπολογίζεται, όπως φαίνεται παρακάτω. Στο παράδειγμα του πίνακα 4 η αναλογία  $x/\psi$  ρυθμίστηκε στο 0.35/0.65.

1. Στις στήλες 1 και 2, δίνονται η ιονική πυκνότητα του διαλύματος απορρόφησης και του νερού βρύσης ( $C_{ir}$  και  $C_{iw}$  για το ιόν  $i$  αντίστοιχα) όπως καθορίζονται μέσω των χημικών αναλύσεων.
2. Στην στήλη 3, αναφέρεται το σταθερό θρεπτικό διάλυμα στην καλλιέργεια της ζέρμπερας σε κλειστά συστήματα (η απορρόφηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών συστατικών καθορίζεται από το  $C_{iw}$  για το ιόν  $i$ ), ενώ η απορρόφηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών συστατικών των  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  και  $\text{HCO}_3^-$  (απελευθέρωση) βασίζεται σε εκτιμήσεις του συγγραφέα (Σάββας, αδημοσίευτα στοιχεία) από προηγούμενο πείραμα με ζέρμπερα. Αυτά τα στοιχεία είναι έγκυρα για τη συγκέντρωση των  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  στη περιοχή των ριζών, σχεδόν ίση με αυτή που αναφέρθηκε στη στήλη 1. Η απορρόφηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών συστατικών δείχνει περίπου την απαιτούμενη συνολική εισαγωγή θρεπτικών συστατικών και από τα λιπάσματα και από το ανεπεξέργαστο νερό στο αρδευτικό διάλυμα, αφού σε κλειστά υδροπονικά συστήματα η εμφανής κατανάλωση θρεπτικών συστατικών από τη καλλιέργεια αναπληρώνεται μόνο από αυτές τις δύο πηγές. Στο παράδειγμα του πίνακα 4 η EC που αναλογεί στην απορρόφηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών συστατικών ( $E_u$ ) είναι  $1.1 \text{ dS m}^{-1}$ .
3. Οι ποσότητες των θρεπτικών μακροστοιχείων που πρέπει να εισαχθούν, ψεκάζοντας διαλύματα βλάστησης σε ανεπεξέργαστο νερό, (εισαγωγή των θρεπτικών μακροστοιχείων μέσω λιπασμάτων σε  $\text{meq l}^{-1}$  καθορισμένη από το  $\Gamma_{if}$ ), σύμφωνα με την έννοια των συγκεντρώσεων απορρόφησης, υπολογίζονται εύκολα χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$\Gamma_{if} = C_{iu} - C_{iw} \quad (7)$$

Οι τιμές που αποκτούνται υπάρχουν στη στήλη 4.

4. Οι τιμές  $\Gamma_{\text{Na}^+}$ ,  $\Gamma_{\text{Cl}^-}$  και  $\Gamma_{\text{HCO}_3^-}$  στη στήλη 4 είναι αρνητικές, επειδή η απορρόφηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών συστατικών τους είναι αρκετά χαμηλότερη από την συγκέντρωσή τους στο νερό βρύσης. Ωστόσο, δεν είναι δυνατόν να απομακρύνουμε το περίσσιο  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$



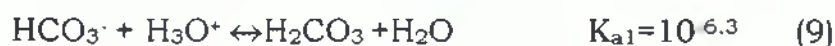
από το αρδευτικό διάλυμα. Επομένως, η πραγματική παροχή των  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}$  στο αρδευτικό διάλυμα μέσω ψεκασμού λιπασμάτων ( $I_{\text{Na}^+}$ ,  $I_{\text{Cl}^-}$ ) πρέπει να ρυθμιστεί στο μηδέν και στα δύο ιόντα. Στην περίπτωση του  $\text{HCO}_3^-$ , η αρνητική τιμή του δείχνει ότι το  $\text{HCO}_3^-$  του νερού βρύσης πρέπει να ουδετεροποιηθεί με ένα οξύ μέσω της διαδικασίας της ρύθμισης του pH. Έτσι, με απόλυτους όρους, η τιμή του  $\text{HCO}_3^-$  στη στήλη 4 καθορίζει την πρόσθεση του  $\text{H}^+$  μέσω ψεκασμού ενός οξέος, ενώ στην πραγματικότητα δεν προστίθεται καθόλου  $\text{HCO}_3^-$  στο αρδευτικό διάλυμα μέσω λιπασμάτων. Αφού υποστούν αυτές τις διορθώσεις, τα στοιχεία στη στήλη 4 εισάγονται στη στήλη 5.

5. Η συνολική εισαγωγή του κάθε ιόντος στο αρδευτικό διάλυμα ( $I_{it}$ ) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$I_{it} = xC_{ir} + \psi C_{iw} + \psi I_{if} \quad (8)$$

6. Οι τιμές που αποκτούνται υπάρχουν στη στήλη 6.

Η συνολική εισαγωγή του κάθε ιόντος στο αρδευτικό διάλυμα, όπως υπολογίζεται με την εξίσωση (8), δείχνει επίσης τη συνολική πυκνότητα του αντίστοιχου ιόντος στο διάλυμα, με εξαίρεση τα  $\text{H}^+$  και  $\text{HCO}_3^-$ , τα οποία μετά την πρόσθεση του οξέος αντιδρούν σύμφωνα με την εξίσωση:



Η εισαγωγή του  $\text{H}^+$  προκαλεί μια σχετικά χαμηλή αύξηση στη συγκέντρωση του  $\text{H}^+$  ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) στο αρδευτικό διάλυμα, το οποίο καθορίζεται από το τελικό pH του δεύτερου. Παρ' όλα αυτά το επιθυμητό pH των θρεπτικών διαλυμάτων που παρέχονται σε σοδειές, είναι κατά κανόνα, υψηλότερο από 5 (Jones, 1982). Έτσι, η συγκέντρωση του  $\text{H}^+$  που δημιουργείται στο αρδευτικό διάλυμα μετά τον ψεκασμό του οξέος είναι πάντα χαμηλότερη από  $0.01 \text{ meq l}^{-1}$ . Σε εμπορικές εφαρμογές, είναι αποδεκτό να υποθέσουμε ότι όλο το ψεκασμένο  $\text{H}^+$  και μια ισοδύναμη ποσότητα της συνολικής εισαγωγής του  $\text{HCO}_3^-$ , όπως υπολογίζεται με την εξίσωση 8, μεταλλάσσεται σε  $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2)$  σύμφωνα με την εξίσωση 9. Η επιθυμητή συγκέντρωση των μεγαλύτερων ιόντων στο αρδευτικό διάλυμα ( $C_{it}$ ) που συμπεριλαμβάνει τις διορθωμένες τιμές των  $C_{\text{H}^+}$  και  $C_{\text{HCO}_3^-}$  υπάρχει στη στήλη 7.

7. Το σύνολο της συγκέντρωσης των κατιόντων ή ανιόντων, στη στήλη 7, είναι σχεδόν ίσο με τη συνολική πυκνότητα άλατος στο αρδευτικό διάλυμα, επειδή τα επίπεδα των θρεπτικών μικροστοιχείων είναι αμελητέα συγκριτικά με αυτά στα μακροκατιόντα. Ωστόσο η ισοδύναμη συνολική πυκνότητα άλατος μπορεί αμέσως να μετατραπεί σε μονάδες ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρησιμοποιώντας την εξίσωση.

$$E = \frac{C_t + 1,462}{9,819}$$



(10)

Όπως προτάθηκε από τους Σάββα και Αδαμίδη (1999,2000) ή με την εξίσωση

$$E_t = 0,095C_t + 0,19 \quad (11)$$

όπως προτάθηκε από τον Sonneveld et al. Και οι δύο εξισώσεις οδηγούν σε τιμές του  $E_t$ , οι οποίες αποδεικνύουν την επιθυμητή ηλεκτρική αγωγιμότητα στο αρδευτικό διάλυμα. Στο παράδειγμα του πίνακα 4 το  $E_t$  που δημιουργείται από την εξίσωση 10 είναι  $1.56 \text{ dS m}^{-1}$ .

Β. Τα λιπάσματα ψεκάζονται απευθείας στο νερό πριν τη μείξη με το διάλυμα αποστράγγισης, αλλά η επιθυμητή EC του αρδευτικού διαλύματος καθορίζεται από τον καλλιεργητή. Σ' αυτή την περίπτωση, οι ποσότητες των λιπασμάτων που ψεκάζονται σε ανεπεξέργαστο νερό ( $I_{\text{net}}$ ) υπολογίζονται όπως περιγράφηκε παραπάνω.(βήματα 1-4) Έτσι, το  $E_t$  εισάγεται στο σύστημα ελέγχου ως προκαθορισμένη τιμή. Κατά συνέπεια, το αρδευτικό διάλυμα που δίνεται στη στήλη (7) του πίνακα (4) παρασκευάζεται αυτόματα, εφόσον η EC και η σύνθεση του διαλύματος αποστράγγισης είναι παρόμοια με τις τιμές που δείχνονται στη στήλη (1). Η αναμενόμενη σύνθεση του διαλύματος αποστράγγισης του αρδευτικού διαλύματος υπολογίζεται όπως περιγράφηκε στα βήματα 5 – 6, μετά τον υπολογισμό της επιθυμητής αναλογίας μείξης  $x/\psi$  ως συνάρτηση του επιλεγμένου  $E_t$ , χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (4) και (2).

**Πίνακας 4.** Ένα παράδειγμα υπολογισμού της επιθυμητής EC στο διάλυμα άρδευσης ( $E_i$ ) και της προσθήκης δόσεων μακροστοιχείων ( $I_{if}$ ), που απαιτούνται για την ανανέωση και ανακύκλωση του διαλύματος αποστράγγισης σε μια κλειστή υδροπονική καλλιέργεια ζέρμπερας, βασισμένο στην έννοια της πυκνότητας απορρόφησης. Οι υπολογισμοί είναι βασισμένοι στην επιθυμητή αναλογία διαλύματος αποστράγγισης / νερού, 0,35 /0,65

	1	2	3	4	5	6	7	8
Διαλυμένα στοιχεία	Διάλυμα αποστράγγισης ( $C_{ir}$ )	Νερό ( $C_{iw}$ )	Συγκεντρώσεις απορρόφησης ( $C_{in}$ )	Προσθήκη θρεπτικών στοιχείων μέσω των λιπασμάτων στο νερό	Διορθωμένη προσθήκη θρεπτικών στοιχείων μέσω των λιπασμάτων στο νερό ( $I'_{if}$ )	Ολική προσθήκη θρεπτικών στοιχείων ( $I_{if}$ )	Επιθυμητές συγκεντρώσεις στο διάλυμα άρδευσης ( $C_{it}$ )	Προσθήκη θρεπτικών στοιχείων μέσω των λιπασμάτων στο διάλυμα άρδευσης ( $I_{it}$ )
$K^+$ (meq l <sup>-1</sup> )	5,50	0,10	4,50	4,40	4,40	4,85	4,85	2,86
$Ca^{2+}$ (meq l <sup>-1</sup> )	9,70	3,00	3,20	0,20	0,20	5,47	5,47	0,13
$Mg^{2+}$ (meq l <sup>-1</sup> )	3,60	0,80	0,80	0,00	0,00	1,78	1,78	0,00
$NH_4^+$ (meq l <sup>-1</sup> )	0,20	0,00	0,75	0,75	0,75	0,56	0,56	0,49
$Na^+$ (meq l <sup>-1</sup> )	2,20	0,70	0,45	-0,25	0,00	1,23	1,23	0,00
$H^+$ (meq l <sup>-1</sup> )	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90	1,89	>0,01	1,89
$NO_3^-$ (meq l <sup>-1</sup> )	12,90	0,00	7,25	7,25	7,25	9,23	9,23	4,72
$H_2PO_4^-$ (meq l <sup>-1</sup> )	0,80	0,00	0,60	0,60	0,60	0,67	0,67	0,39
$SO_4^{2-}$ (meq l <sup>-1</sup> )	4,80	1,00	1,40	0,40	0,40	2,59	2,59	0,26
$HCOO_3^-$ (meq l <sup>-1</sup> )	0,90	2,80	-0,10	-2,90	0,00	2,14	0,25	0,00
Cl (meq l <sup>-1</sup> )	1,80	0,80	0,55	-0,25	0,00	1,15	1,15	0,00
Ολική $C^+$ (meq l <sup>-1</sup> )	21,20	4,60	9,70	5,10	8,25	15,78	13,89	5,37
Ολική C (meq l <sup>-1</sup> )	21,20	4,60	9,70	5,10	8,25	15,78	13,89	5,37
EC (dS m <sup>-1</sup> )	2,10	0,47	1,10	-	-	-	1,56	-

**Σημείωση:**  $C_{ir}$  και  $C_{iw}$ : συγκεντρώσεις του ιόντος  $i$  στο διάλυμα αποστράγγισης και του ανεπεξέργαστου νερού, αντίστοιχα,  $C_{in}$ : η συγκέντρωση απορρόφησης του ιόντος  $i$ ,  $C_{if}$ : η προστιθέμενη δόση του ιόντος  $i$ , μέσω των λιπασμάτων στο ανεπεξέργαστο νερό,  $I_{if}$ : η προσθήκη του ιόντος  $i$  μέσω των λιπασμάτων στο διάλυμα άρδευσης,  $C_{it}$ : Επιθυμητή συγκέντρωση του ιόντος  $i$  στο διάλυμα άρδευσης, ολική  $C^+$ , ολική C: ολική συγκέντρωση ή προσθήκη δόσης κατιόντων και ανιόντων, αντίστοιχα

Γ. Το διάλυμα αποστράγγισης αναμειγνύεται με ανεπεξέργαστο νερό σε σταθερή αναλογία  $x / \psi$  (βλ. παράγραφο 4.4.2), η οποία εισάγεται στο σύστημα ελέγχου ως προκαθορισμένη τιμή. Η αναλογία  $x / \psi$  επιλέγεται λαμβάνοντας υπ' όψιν το εφαρμοσμένο πρόγραμμα άρδευσης ή υπολογίζοντας χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (4) και (2), αν το επιθυμητό  $E_i$  επιδιώκεται στο αρδευτικό διάλυμα. Σύμφωνα με αυτή την τεχνική, τα διαλύματα βλάστησης ψεκάζονται στο μείγμα διαλύματος αποστράγγισης και νερού σε σταθερές αναλογίες ( $I_{if}$ ) χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$I_{if} = y \Gamma_{if} \quad (12)$$

Ο ψεκασμός των λιπασμάτων σε ποσότητες που υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας την εξίσωση (12) εκτελείται ρυθμίζοντάστες απευθείας ή έμμεσα.(βλέπε παραγράφους 4.4.1 και 4.4.2)

Εφόσον η σύνθεση του διαλύματος αποστράγγισης διατηρείται κοντά στις τιμές που δίνονται στη στήλη (1) του πίνακα (4) και το μέσο κλάσμα διήθησης ισούται με το  $x$ , η συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών στο αρδευτικό διάλυμα συμφωνεί με τα επίπεδα που δίνονται στη στήλη (7). Παρ' όλα αυτά, οποιαδήποτε αλλαγή στην ιονική σύνθεση του διαλύματος αποστράγγισης υποβάλλει παρόμοιες αλλαγές στη σύνθεση του αρδευτικού διαλύματος. Αν οι αλλαγές στη σύνθεση του διαλύματος αποστράγγισης οδηγήσει σε συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών πάνω από επιτρεπτά όρια, τότε η συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών στο σταθερό θρεπτικό διάλυμα για κλειστά συστήματα πρέπει αντίστοιχα να τροποποιηθούν. Έτσι, θα αλλάξει επίσης η ποσότητα των λιπασμάτων. Παρόμοια, αν το μέσο κλάσμα διήθησης είναι υψηλότερο από το  $x$  και δεν είναι επιθυμητή ούτε μια μερική εκροή του διαλύματος αποστράγγισης, ούτε ένας περιορισμός στην παροχή νερού, τότε είτε το  $E_i$  είτε η επιθυμητή αναλογία  $x / \psi$  στους παραπάνω υπολογισμούς πρέπει να αυξηθούν. Εναλλακτικά, μπορεί να μειωθεί η συγκέντρωση ορισμένων θρεπτικών συστατικών στο θρεπτικό διάλυμα για κλειστά συστήματα (η απορρόφηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών συστατικών φαίνονται στη στήλη 3 του πίνακα 4). Στη δεύτερη περίπτωση είναι πιθανό να τροποποιήσουμε τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος σε κλειστά συστήματα με τέτοιο τρόπο, ώστε να αναπληρώσουμε τις αλλαγές στο διάλυμα αποστράγγισης, διατηρώντας έτσι το ίδιο επιθυμητό  $EC$  και την πυκνότητα των θρεπτικών συστατικών στο αρδευτικό διάλυμα.

Μια εναλλακτική προσέγγιση στην έννοια των συγκεντρώσεων απορρόφησης συμπεριλαμβάνει την πρόσθεση λιπασμάτων στο μείγμα διαλύματος αποστράγγισης και νερού, σε σταθερές αναλογίες ανάμεσα στα θρεπτικά συστατικά, τα οποία συμπεραίνεται ότι αναλογούνε στις αντίστοιχες αναλογίες απορρόφησης και όχι στις σταθερές αναλογίες θρεπτικών συστατικών / νερού. Αυτή η προσέγγιση είναι πιο ευέλικτη, καθώς επιτρέπει τη διατήρηση του επιθυμητού  $E_i$  στο αρδευτικό διάλυμα όταν και η αναλογία μείξης  $x / \psi$  διαλύματος αποστράγγισης / νερού και η  $EC$  του διαλύματος αποστράγγισης ποικίλουν σε κάθε πότισμα. Αυτό μπορεί

να επιτευχθεί μετρώντας την EC και την ποσότητα του διαλύματος αποστράγγισης που πρέπει να ανακυκλωθεί σε κάθε κύκλο ποτίσματος και σε συνθήκες πραγματικού χρόνου, και ψεκάζοντας διαφορετικές ποσότητες λιπασμάτων, που εξαρτώνται από τις online μετρήσεις. Οι ψεκασμένες ποσότητες των λιπασμάτων υπολογίζονται αυτόματα αν χρησιμοποιηθεί ένα κατάλληλο πρόγραμμα υπολογιστή. Προς το παρόν, αυτή η εναλλακτική προσέγγιση ακόμη ερευνάται στη σχολή Γεωργικής Τεχνολογίας και στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ινστιτούτο της Ελλάδας (Σάββας, δημοσίευτα στοιχεία).

Η προσέγγιση που βασίζεται στις αντίστοιχες αναλογίες της απομάκρυνσης των θρεπτικών συστατικών και όχι στη συνολική απορρόφηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών συστατικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης σε υδροπονικά συστήματα με συνεχή κυκλοφορία των θρεπτικών διαλυμάτων, όπως τα συστήματα NFT. Σε τέτοια συστήματα, ο αυτόματος ψεκασμός των θρεπτικών συστατικών και του νερού σύμφωνα με τις online μετρήσεις της EC και pH είναι ικανός να διατηρήσει την επιθυμητή EC και pH στο τελικό διάλυμα (βλ. παράγραφο 4.4.6). Ωστόσο, σε μακροχρόνιες περιόδους μπορεί να υπάρξουν ανισομέρειες στα θρεπτικά συστατικά. Για να ελαχιστοποιήσουμε τέτοια φαινόμενα οι αντίστοιχες αναλογίες ανάμεσα σε όλα τα θρεπτικά συστατικά στο διάλυμα βλάστησης των λιπασμάτων πρέπει να αναλογούνε στις αντίστοιχες αναλογίες της μέσης απορρόφησης της καλλιέργειας. Έτσι, οι αναλογίες των ιόντων στα διαλύματα βλάστησης που χρησιμοποιούνται στις σοδειές καλλιεργημένες με ανακυκλωμένο διάλυμα πρέπει να είναι παρόμοιες με τις αντίστοιχες αναλογίες των θρεπτικών συστατικών, όπως αυτές υπολογίζονται με την ιδέα των συγκεντρώσεων απορρόφησης, ( $I_{if}$  ή  $I_{if}$ ) και να μην είναι ίσες με τις αναλογίες των θρεπτικών συστατικών στο περιβάλλον των ριζών.

#### **4.5.4 Η έννοια του διαλύματος αποστράγγισης σε συνδυασμό με το ανεπεξέργαστο νερό.**

Αυτή η έννοια βασίζεται στην υπόθεση ότι η πυκνότητα των θρεπτικών συστατικών στο περιβάλλον των ριζών διατηρείται κοντά στα επιθυμητά επίπεδα, αν το αρδευτικό διάλυμα που παρέχεται στη καλλιέργεια έχει μία συγκεκριμένη επιθυμητή σύνθεση. Η παραπάνω υπόθεση εφαρμόστηκε αρχικά σε ανοικτά υδροπονικά συστήματα χωρίς διάλυμα αποστράγγισης. Ο έλεγχος των θρεπτικών συστατικών στη καλλιέργεια βασιζόταν στη σύνθεση δύο θρεπτικών διαλυμάτων: α) στο σταθερό θρεπτικό διάλυμα που παρέχεται στη καλλιέργεια και β) στο θρεπτικό διάλυμα του περιβάλλοντος των ριζών.

Όπως φάνηκε και στην παράγραφο 4.5.1 η σύνθεση των δύο αυτών διαλυμάτων είναι αναπόφευκτα διαφορετική. Συγκεκριμένα, οι αναλογίες K/Ca, K/Mg και  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  τείνουν να μειωθούν στο περιβάλλον των ριζών παρά στο διάλυμα που παρέχεται στη καλλιέργεια. Επιπλέον, η συγκέντρωση ορισμένων θρεπτικών μακροστοιχείων, ιδιαίτερα των  $\text{Ca}^{2+}$ ,



$Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  και συχνά των περισσότερων θρεπτικών μικροστοιχείων είναι υψηλότερη στο περιβάλλον των ριζών παρά στο διάλυμα. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των συγκεντρώσεων απορρόφησης αυτών των στοιχείων, οι οποίες, ως γενικός κανόνας, είναι χαμηλότερη από την πυκνότητα του διαλύματος που παρέχεται στα φυτά (βλ. παράγραφο 4.5.1) Επομένως, για τη διατήρηση της καλύτερης δυνατής συγκέντρωσης των θρεπτικών συστατικών και των αναλογιών στη περιοχή των ριζών, οι συγκεντρώσεις των  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$  στο αρδευτικό διάλυμα πρέπει να είναι χαμηλότερες από τα επιθυμητά επίπεδα της πρώτης.

Γενικά, η συγκέντρωση των Fe, Zn, Cu και B πρέπει να είναι ελαφρώς χαμηλότερη και η συγκέντρωση του Mn υψηλότερη στο αρδευτικό διάλυμα σε σχέση με τις επιθυμητές τιμές στο περιβάλλον των ριζών. Συνήθως, οι συγκεντρώσεις των Mn, Fe, Zn, Cu και B ίσως αυξηθούν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό στο περιβάλλον των ριζών, συγκριτικά με τα επίπεδα που υπάρχουν στο αρδευτικό διάλυμα. Παρ' όλα αυτά η συγκέντρωση των Mn και Zn ίσως πέσει κάτω από κρίσιμα επίπεδα αν το pH στο περιβάλλον των ριζών είναι πολύ υψηλό.

Στον πίνακα (5), αναφέρεται η επιθυμητή σύνθεση τόσο του αρδευτικού διαλύματος όσο και του θρεπτικού διαλύματος στο περιβάλλον των ριζών των τριαντάφυλλων και αγγουριών, όπως προτείνεται από τον Sonneveld και Straver (1994).

Αν έχει δημιουργηθεί η καλύτερη δυνατή συγκέντρωση για το θρεπτικό διάλυμα στη περιοχή των ριζών ενός συγκεκριμένου είδους φυτού, είναι δυνατό να δημιουργήσουμε μια επιθυμητή σύνθεση του διαλύματος που παρέχεται στα φυτά σύμφωνα με τις παραπάνω αρχές. Σε ανοικτά συστήματα, είναι δυνατό να παρασκευαστεί το διάλυμα απλά προσθέτοντας αυτόματα σταθερές ποσότητες λιπασμάτων σε κάθε λίτρο αρδευτικού νερού, αφού η σύνθεση μετάλλων στις περισσότερες πηγές νερού είναι σταθερή για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ωστόσο, σε κλειστά συστήματα οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών και η ποσότητα του διαλύματος αποστράγγισης που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του ανανεωμένου αρδευτικού διαλύματος ποικίλλουν σε κάθε αρδευτικό κύκλο. Έτσι, για την επίτευξη μιας σταθερής σύνθεσης θρεπτικών συστατικών στο διάλυμα που παρέχεται στη καλλιέργεια, πρέπει να ποικίλλει επίσης η ποσότητα των θρεπτικών συστατικών που προστίθεται στο μείγμα νερού και στο διάλυμα αποστράγγισης. Για να επιτύχουμε την επιθυμητή συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών στο αρδευτικό διάλυμα σε κάθε πότισμα είναι σημαντικό να μετρήσουμε σε συνθήκες πραγματικού χρόνου την συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών στο διάλυμα αποστράγγισης που θα ανακυκλωθεί, επιτρέποντας έτσι την on-line ρύθμιση των αναλογιών ψεκασμού των θρεπτικών συστατικών. Όμως, τέτοιες εγκαταστάσεις δεν είναι προς το παρόν διαθέσιμες για εμπορικές εφαρμογές. Επομένως, η παροχή ενός θρεπτικού διαλύματος που έχει μια σταθερή σύνθεση δεν είναι εφικτή σε κλειστά συστήματα.

**Πίνακας 5.** Επιθυμητή σύνθεση του διαλύματος άρδευσης και του διαλύματος στο περιβάλλον της ρίζας για τριανταφυλλίες και αγγουριές που αναπτύσσονται μέσα σε υποστρώματα όπως προτείνεται από τους Sonneveld και Straver (1994).

Μακροστοιχεία (mmol l <sup>-1</sup> )	Αγγουριές		Τριανταφυλλίες	
	Διάλυμα αποστράγγισης	Περιβάλλον ρίζας	Διάλυμα αποστράγγισης	Περιβάλλον ρίζας
K	8,00	8,00	4,50	5,00
Ca	4,00	6,50	3,25	5,00
Mg	1,375	3,00	1,125	3,00
NH <sub>4</sub>	1,25	<0,50	1,50	<0,50
NO <sub>3</sub>	16,00	18,00	11,00	12,50
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1,25	0,90	1,25	0,90
SO <sub>4</sub>	1,375	3,50	1,25	3,00
<b>Μικροστοιχεία (μmol l<sup>-1</sup>)</b>				
Fe	15	15	25	25
Mn	10	7	5	3
Zn	5	7	3,5	3,5
Cu	0,75	1,5	0,75	1,0
B	25	50	20	20
Mo	0,50	-	0,50	-

Για να ξεπεράσουμε το παραπάνω πρόβλημα, πρέπει να γίνονται συχνές εργαστηριακές αναλύσεις του διαλύματος αποστράγγισης. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που ήδη υπάρχουν, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε την συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών στο μείγμα νερού και διαλύματος αποστράγγισης, εφόσον είναι γνωστή η αναλογία μείξης. Χρησιμοποιώντας την υπολογισμένη συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών στο μείγμα διαλύματος αποστράγγισης και νερού στη θέση της συγκέντρωσης στο ανεπεξέργαστο νερό, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε την ποσότητα των λιπασμάτων που χρειάζονται για την παρασκευή ενός επιθυμητού αρδευτικού διαλύματος, όπως προτείνεται από τους Σάββα και Αδαμίδη (1999, 2000), ή από τον Sonneveld κ.α.(1999). Αυτή η προσέγγιση του ανεφοδιασμού των ανακυκλωμένων απορροών του θερμοκηπίου μπορεί να οριστεί ως «η έννοια του διαλύματος απορρόφησης σε συνδυασμό με το ανεπεξέργαστο νερό». Ένα παράδειγμα υπολογισμού των ποσοτήτων των θρεπτικών συστατικών που θα προστεθούν στο μείγμα διαλύματος αποστράγγισης και νερού, κατά την προετοιμασία ενός επιθυμητού αρδευτικού διαλύματος για τη ζερμπερα που καλλιεργείται σε κλειστό σύστημα δίνεται στον **πίνακα 6**. Ο υπολογισμός εμπεριέχει τα ακόλουθα βήματα:

1. Στις στήλες (1) και (2) δίνεται η συγκέντρωση ιόντων στο διάλυμα αποστράγγισης και στο νερό βρύσης ( $C_{ir}$  και  $C_{iw}$  για το ιόν  $i$  αντίστοιχα), όπως καθορίζονται από χημικές αναλύσεις. Για την σύγκριση της έννοιας του διαλύματος αποστράγγισης σε συνδυασμό με το νερό με την έννοια των συγκεντρώσεων απορρόφησης, οι τιμές των  $C_{ir}$  και  $C_{iw}$  στον πίνακα 6 είναι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στο παράδειγμα του πίνακα 4.
2. Στη στήλη (3), δίνεται η σύνθεση του διαλύματος που δημιουργείται όταν αναμιγνύουμε το διάλυμα αποστράγγισης με το νερό σε συγκεκριμένη αναλογία  $x / \psi$ . Συνήθως, αυτή η αναλογία  $x / \psi$  επιλέγεται από τον καλλιεργητή λαμβάνοντας υπ' όψιν το αναμενόμενο κλάσμα διήθησης (βλέπε παράγραφο 4.4.4). Ωστόσο, μπορεί επίσης να καθοριστεί χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (1) και (2), εφόσον η EC του διαλύματος που δημιουργείται όταν αναμιγνύουμε το διάλυμα αποστράγγισης με το νερό ( $E_m$ ) έχει καθοριστεί σε ένα προκαθορισμένο σημείο. Στο παράδειγμα του πίνακα 6, η επιθυμητή αναλογία  $x / \psi$  είναι ίδια όπως και στον πίνακα 4 (0.35/0.65). Όταν είναι γνωστή η αναλογία  $x / \psi$ , η συγκέντρωση του ιόντος  $i$  στο μείγμα διαλύματος αποστράγγισης και ανεπεξέργαστου νερού μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$C_{im} = x C_{ir} + y C_{iw} \quad (13)$$

3. Όταν το  $x / \psi$  καθορίζεται από τον καλλιεργητή βασισμένο στο αναμενόμενο μέσο κλάσμα διήθησης, η EC του διαλύματος ( $E_m$ ) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση (5). Στο παράδειγμα του πίνακα 6, η  $E_m$  1.04 dS m<sup>-1</sup> υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την (5).
4. Στη στήλη (4), αναφέρεται η επιθυμητή σύνθεση του αρδευτικού διαλύματος που παρέχεται σε σοδειά ζέρμπερας, που καλλιεργούνται σε ανοικτά και κλειστά συστήματα, όπως προτείνεται από τον De Kreeij κ.α. (1999). Η επιθυμητή πυκνότητα καθορίζεται από τη  $C_{ir}$ . Πέρα από τα θρεπτικά συστατικά, το αρδευτικό διάλυμα θα περιέχει Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> εξαιτίας των ιόντων στο ανεπεξέργαστο νερό και στο διάλυμα αποστράγγισης. Έτσι, αμελώντας την όποια εισαγωγή Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> από τις ακαθαρσίες των λιπασμάτων, η συγκέντρωση αυτών των ιόντων στο αρδευτικό διάλυμα θα είναι εξίσου υψηλή με τις τιμές που επικρατούν στο μείγμα διαλύματος αποστράγγισης και νερού. Επιπλέον, η ρύθμιση του pH με την πρόσθεση οξέως θα ουδετεροποιήσει το περισσότερο αλλά όχι όλο το HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> που εμπεριέχεται στο μείγμα διαλύματος αποστράγγισης και νερού. Η συγκέντρωση του HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, η οποία αναλογεί σε ένα επιθυμητό pH στο αρδευτικό διάλυμα, μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τους Σάββα και Αδαμίδη (1999, 2000). Στο παράδειγμα του πίνακα 6, 0.2 meq l<sup>-1</sup> θα παραμείνουν στο αρδευτικό διάλυμα και μετά τη ρύθμιση του pH στο 5.2, αν οι μετρήσεις δείξουν πως το pH στο μείγμα διαλύματος αποστράγγισης και νερού κυμαίνεται κοντά στο 6.8. Όπως επισημάνθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο (4.5.3) η συγκέντρωση του H<sup>+</sup> (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) στο αρδευτικό διάλυμα μετά τη

ρύθμιση του pH θα είναι χαμηλότερη από  $0.01 \text{ meq l}^{-1}$  και μπορεί επομένως να παραβλεφθεί. Η διορθωμένη επιθυμητή συγκέντρωση στο αρδευτικό διάλυμα ( $C_{if}$ ), συμπεριλαμβανομένης αυτής των  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{H}^+$  υπάρχει στη στήλη (5). Για να συμβαδίζουμε με τον περιορισμό της ισορροπίας ανιόντων, κατιόντων, η συγκέντρωση του  $\text{SO}_4^{2-}$  στη στήλη (5) είναι ελαφρώς χαμηλότερη από την αντίστοιχη τιμή στη στήλη (4).

5. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 4.5.3, η ισοδύναμη συνολική πυκνότητα άλατος στο αρδευτικό διάλυμα, η οποία φαίνεται στη στήλη 5 μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε μονάδες ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $E_t$ ,  $\text{dS m}^{-1}$ ) χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (10) ή (11). Στο παράδειγμα του πίνακα 6, η (10) αποδίδει μία επιθυμητή EC σε  $1.80 \text{ dS m}^{-1}$  στο αρδευτικό διάλυμα ( $E_t$ ). Η τιμή αυτή παρεμβάλλεται στη στήλη (5).
6. Η εισαγωγή θρεπτικών μακροστοιχείων στο νερό άρδευσης μέσω λιπασμάτων (ποσότητες πρόσθεσης θρεπτικών μακροστοιχείων σε  $\text{meq l}^{-1}$  που καθορίζονται από  $I_{if}$ ) υπολογίζεται εύκολα χρησιμοποιώντας την εξίσωση

$$I_{if} = C_{it} - C_{im} \quad (14)$$

7. Η απόλυτη τιμή του  $I_{\text{HCO}_3-\text{f}}$  στη στήλη (6) υποδεικνύει την ποσότητα πρόσθεσης  $\text{H}^+$  (οξύ), το οποίο απαιτείται για τη ρύθμιση του επιθυμητού pH, ενώ στην πραγματικότητα δεν προστίθεται καθόλου  $\text{HCO}_3^-$  στο αρδευτικό διάλυμα μέσω λιπασμάτων (βλέπε επίσης παράγραφο 4.5.3). Επομένως, η εξίσωση (6) δεν είναι έγκυρη για τον υπολογισμό των  $I_{\text{HCO}_3-\text{f}}$  και  $I_{\text{H}^+}$  και τα στοιχεία στη στήλη (6) πρέπει να διορθωθούν ανάλογα, όπως φαίνεται στη στήλη (7).



**Πίνακας 6.** Ένα παράδειγμα υπολογισμού της επιπρόσθετης δόσης των μακροστοιχείων ( $I_{if}$ ), που απαιτούνται για την ανανέωση και ανακύκλωση του διαλύματος αποστράγγισης σε μια κλειστή υδροπονική καλλιέργεια ζερμπερας, βασισμένο στην έννοια του διαλύματος αποστράγγισης σε συνδυασμό με το ανεπεξέργαστο νερό. Οι υπολογισμοί είναι βασισμένοι στην επιθυμητή αναλογία διαλύματος αποστράγγισης / νερού, 0,35 /0,65

	1	2	3	4	5	6	7
Διαλυμένα στοιχεία	Διαλυμα αποστράγγισης ( $C_{ir}$ )	Νερό ( $C_{iw}$ )	Μείξη διαλύματος αποστράγγισης και νερό ( $C_{im}$ )	Επιθυμητές συγκεντρώσεις στο διάλυμα άρδευσης ( $C_{ii}$ )	Διορθωμένες επιθυμητές συγκεντρώσεις στο διάλυμα άρδευσης ( $C_{ik}$ )	Προσθήκη θρεπτικών στοιχείων μέσω των λιπασμάτων	Διορθωμένη προσθήκη θρεπτικών στοιχείων μέσω των λιπασμάτων ( $I_{if}$ )
K <sup>+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	5,50	0,10	1,99	5,50	5,50	3,51	3,51
Ca <sup>2+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	9,70	3,00	5,35	6,00	6,00	0,66	0,66
Mg <sup>2+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	3,60	0,80	1,78	2,00	2,00	0,22	0,22
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	0,20	0,00	0,07	1,50	1,50	1,43	1,43
Na <sup>+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	2,20	0,70	1,23	-	1,23	0,00	0,00
H <sup>+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	0,00	0,00	0,00	-	>0,01	0,00	1,94
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	12,90	0,00	4,52	11,25	11,25	6,47	6,47
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	0,80	0,00	0,28	1,25	1,25	0,97	0,97
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	4,80	1,00	2,33	2,50	2,38	0,05	0,05
HCOO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	0,90	2,80	2,14	-	0,20	-1,94	0,00
Cl <sup>-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	1,80	0,80	1,15	-	1,15	0,00	0,00
Ολική C <sup>+</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	21,20	4,60	10,42	15,00	16,23	5,82	7,76
Ολική C <sup>-</sup> (meq l <sup>-1</sup> )	21,20	4,60	10,42	15,00	16,23	5,82	7,76
EC (dS m <sup>-1</sup> )	2,10	0,47	1,04	1,60	1,80	-	-

**Σημείωση:**  $C_{ir}$ ,  $C_{iw}$  και  $C_{im}$ : συγκεντρώσεις του ιόντος  $i$  στο διάλυμα αποστράγγισης, στο ανεπεξέργαστο νερό και στο μείγμα διαλύματος αποστράγγισης και ανεπεξέργαστου νερού, αντίστοιχα,  $I_{if}$ : η προσθήκη του ιόντος  $i$  μέσω των λιπασμάτων στο διάλυμα άρδευσης,  $C_{ii}$ : Επιθυμητή συγκεντρωσή του ιόντος  $i$  στο διάλυμα άρδευσης, ολική C<sup>+</sup>, ολική C<sup>-</sup>: ολική συγκεντρωσή ή προσθήκη δόσης κατιόντων και ανιόντων, αντίστοιχα.

Η σταθερή τεχνική ανακύκλωσης σύμφωνα με την έννοια του διαλύματος αποστράγγισης σε συνδυασμό με το ανεπεξέργαστο νερό βασίζεται στη μείξη του διαλύματος αποστράγγισης με το ανεπεξέργαστο νερό σε αυτόματα ρυθμιζόμενη αναλογία  $x/\psi$ , στοχεύοντας σε ένα επιθυμητό  $E_m$ . Το επιθυμητό  $E_m$  εισάγεται στο σύστημα ελέγχου ως προκαθορισμένος ορισμός (βλέπε παράγραφο 4.4.4). Παρ' όλα αυτά είναι επίσης δυνατόν να ανακυκλώσουμε το διάλυμα αποστράγγισης σύμφωνα με τη έννοια του διαλύματος αποστράγγισης σε συνδυασμό με το ανεπεξέργαστο νερό με σταθερή αναλογία  $x/\psi$  (βλέπε παράγραφο 4.4.2) και όχι με αναλογίες που οδηγούν σε σταθερό  $E_m$ . Σ' αυτήν την περίπτωση, η παρασκευή και ο ψεκασμός των διαλυμάτων βλάστησης στο μείγμα διαλύματος αποστράγγισης και ανεπεξέργαστου νερού βασίζεται στη σύνθεση που δίνεται στη στήλη (7) του πίνακα 6. Η μόνη διαφορά είναι ότι η διαδικασία του ανεφοδιασμού του διαλύματος αποστράγγισης με θρεπτικά συστατικά και νερό βασίζεται στην εισαγωγή στο σύστημα ελέγχου μιας επιθυμητής σταθερής αναλογίας  $x/\psi$  και όχι ενός επιθυμητού  $E_m$ .

Όταν το διάλυμα αποστράγγισης αναμιγνύεται με ανεπεξέργαστο νερό στοχεύοντας σε ένα σταθερό σημείο του  $E_m$  και ο υπολογισμός της πρόσθεσης των ποσοτήτων θρεπτικών συστατικών ( $I_{it}$ ) βασίζεται στην έννοια του διαλύματος αποστράγγισης και ανεπεξέργαστου νερού, το πραγματικό  $x/\psi$  βασίζεται στο πραγματικό  $E_r$ . Έτσι η αναλογία μείξης διαλύματος αποστράγγισης και νερού ισούται με την επιθυμητή αναλογία  $x/\psi$ , μόνο όταν το πραγματικό  $E_r$  στο διάλυμα αποστράγγισης είναι ίσο με την τιμή που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς (στήλη (1) στον πίνακα 6). Αν το πραγματικό  $E_r$  και η συγκέντρωση ιόντων στο διάλυμα αποστράγγισης είναι διαφορετικά από τις τιμές που εμφανίζονται στη στήλη (1), η σύνθεση του τελικού αρδευτικού διαλύματος δεν είναι πλέον ίδια με αυτήν στη στήλη (5). Αντίθετα, η EC του αρδευτικού διαλύματος ( $E_t$ ) δεν εξαρτάται από τις πιθανές αλλαγές στη σύνθεση του διαλύματος αποστράγγισης. Παρομοίως, όταν το διάλυμα αποστράγγισης αναμιγνύεται με ανεπεξέργαστο νερό σε μια προκαθορισμένη αναλογία  $x/\psi$ , οποιαδήποτε αλλαγή στο  $E_r$  καταλήγει σε τιμές  $C_{ir}$  και  $E_r$  διαφορετικές από αυτές που υπολογίζονται όπως φαίνεται στον πίνακα 6 (βλέπε επίσης την παράγραφο 4.4.2). Όταν οι τροποποιήσεις στη σύνθεση του διαλύματος αποστράγγισης είναι σημαντικές οι υπολογισμοί πρέπει να επαναληφθούν χρησιμοποιώντας τις καινούριες τιμές των  $C_{ir}$  και  $E_r$  και πιθανώς μια νέα επιθυμητή αναλογία  $x/\psi$ . Σε αυτήν την περίπτωση, είναι επίσης απαραίτητο να τροποποιήσουμε την επιθυμητή σύνθεση του αρδευτικού διαλύματος στις στήλες (4) και (5) του πίνακα 6. Ένα παράδειγμα τροποποίησης της επιθυμητής πυκνότητας των θρεπτικών συστατικών του αρδευτικού διαλύματος εξαιτίας της ανισομέρειας στη σύνθεση του διαλύματος αποστράγγισης δίνεται από τον de Kreef κ.α. (1999).

Μια πιο πολύπλοκη προσέγγιση στην εφαρμογή της έννοιας του διαλύματος αποστράγγισης με το ανεπεξέργαστο νερό βασίζεται στην αυτόματη μέτρηση του EC και της ποσότητας του διαλύματος αποστράγγισης που διηθείται μετά από κάθε πότισμα. (βλέπε παράγραφο 4.4.5.). Έτσι, όταν παρασκευάζεται το ανανεωμένο αρδευτικό διάλυμα, το

επαναχρησιμοποιημένο διάλυμα αποστράγγισης ( $V_r$ ) μπορεί να είναι τόσο όσο διηθήθηκε στο προηγούμενο πότισμα. Χρησιμοποιώντας on-line μετρημένες τιμές  $E_r$  και  $V_r$  σε συνδυασμό με τη σύνθεση του διαλύματος αποστράγγισης όπως καθορίζεται από χημικές αναλύσεις που διεξήχθησαν πρόσφατα, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε αυτόματα την πρόσθεση ποσοτήτων των θρεπτικών συστατικών ( $I_{if}$ ) που χρειάζονται για την επίτευξη μιας επιθυμητής EC στο αρδευτικό διάλυμα. Η διαδικασία υπολογισμού είναι παρόμοια με αυτή που διευκρινίστηκε στον πίνακα 6. Κατά συνέπεια, τόσο η αναλογία μείξης του διαλύματος αποστράγγισης / νερού όσο και η πρόσθεση ποσοτήτων θρεπτικών συστατικών μπορεί να ποικίλουν σε κάθε αρδευτικό κύκλο, ενώ η EC του αρδευτικού διαλύματος μπορεί να παραμείνει σταθερή σε μια επιθυμητή τιμή ( $E_i$ ). Αυτή η προσέγγιση εφαρμογής της έννοιας διαλύματος αποστράγγισης και ανεπεξέργαστου νερού ερευνάται προς το παρόν από η σχολή της Γεωργικής Τεχνολογίας των ΤΕΙ. (Σάββας, αδημοσίευτα στοιχεία).

#### **4.5.5 Η έννοια ενός διαλύματος αναφοράς.**

Μια προϋπόθεση για την ανακύκλωση των απορροών του θερμοκηπίου βασισμένη σ' αυτήν την προσέγγιση είναι η διάθεση αυτόματου εξοπλισμού, ο οποίος μπορεί να διατηρήσει ένα σταθερό  $E_r$  στο αρδευτικό διάλυμα τροποποιώντας και την αναλογία  $x/\psi$  και το  $E_r$  σε κάθε πότισμα (βλέπε παράγραφο 4.4.6). Αφού και αυτοί οι δύο παράγοντες είναι μεταβλητοί, οι ποσότητες πρόσθεσης θρεπτικών συστατικών ( $I_{if}$ ) θα είναι επίσης διαφορετικές σε κάθε πότισμα, όταν συνεχώς στοχεύουμε στην ίδια σύνθεση ιόντων στο αρδευτικό διάλυμα. Ωστόσο, η μέτρηση της μεμονωμένης συγκέντρωσης των θρεπτικών συστατικών σε συνθήκες πραγματικού χρόνου δεν είναι προς το παρόν εφικτή στην εμπορική υδροπονία. Έτσι, δεν είναι δυνατόν να υπολογίσουμε και να προσθέσουμε ακριβώς την ποσότητα των θρεπτικών συστατικών που χρειάζονται για τη δημιουργία μιας επιθυμητής σύνθεσης θρεπτικού διαλύματος. Η έννοια του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς προσφέρει μια εναλλακτική προσέγγιση στον ανεφοδιασμό του διαλύματος αποστράγγισης με θρεπτικά συστατικά σε αναλογίες που συμπεραίνεται ότι αναπληρώνουν τη μέση αναλογία απορρόφησης και έτσι διατηρείται το καλύτερο δυνατό επίπεδο θρεπτικών συστατικών στο περιβάλλον των ριζών. Συγκεκριμένα, όταν παρασκευάζεται το αρδευτικό διάλυμα, το μείγμα διαλύματος αποστράγγισης και νερού μπορεί να εμπλουτιστεί με θρεπτικά συστατικά σε σταθερές αναλογίες, κοινές σε όλα τα ποτίσματα, αλλά με διαφορετικές ποσότητες ( $I_{if}$ ). Η έννοια του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς παρέχει τη βάση για τον υπολογισμό των σταθερών αναλογιών κατά τις οποίες τα θρεπτικά συστατικά πρέπει να διατεθούν όταν το ανανεωμένο αρδευτικό διάλυμα είναι έτοιμο. Αν το κάθε διάλυμα βλάστησης αποτελείται από παραπάνω από ένα λίπασμα, τότε οι κοινές αναλογίες ανάμεσα στα θρεπτικά συστατικά χρησιμοποιούνται ως βάση για την παρασκευή των διαλυμάτων βλάστησης. Οι πραγματικές ποσότητες των θρεπτικών συστατικών υπολογίζονται σε πραγματικό χρόνο ως λειτουργίες

της ποσότητας ( $V_r$ ) και της EC ( $E_r$ ) του διαλύματος αποστράγγισης, της επιθυμητής ποσότητας ( $V_i$ ) και της EC ( $E_i$ ) του αρδευτικού διαλύματος και της EC του ανεπεξέργαστου νερού ( $E_w$ ). Χρησιμοποιώντας κατάλληλο εξοπλισμό, είναι δυνατόν να προσθέσουμε θρεπτικά συστατικά στις on-line υπολογισμένες ποσότητες. (Σάββας και Μάνος, 1999).

Η συγκέντρωση μεμονωμένων λιπασμάτων άλατος στα διαλύματα βλάστησης ισούται με το παράγωγο  $C_{ire}A_i$  όπου  $C_{ire}$  είναι η συγκέντρωση του λιπάσματος  $i$  στο θρεπτικό διάλυμα αναφοράς και  $A_i$  είναι η ανθεκτικότητα του διαλύματος βλάστησης που περιέχει το λίπασμα  $i$ . Το θρεπτικό διάλυμα αναφοράς δημιουργείται όταν αραιώνουμε το διάλυμα βλάστησης με νερό σε αναλογία 1:A και δεν ανακυκλώνεται το διάλυμα αποστράγγισης. Παρ' όλα αυτά, όταν εφαρμόζεται η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος, ένα μέρος των θρεπτικών συστατικών προέρχεται από το διάλυμα αποστράγγισης και οι ποσότητες των λιπασμάτων, οι οποίες απαιτούνται για την επίτευξη της ίδιας EC όπως και στο θρεπτικό διάλυμα αναφοράς είναι χαμηλότερες. Σ' αυτήν την περίπτωση, εξ' ορισμού,  $R_i$  λίτρα νερού αναμιγνύονται με διαλύματα βλάστησης  $i$ , όταν ετοιμάζεται το ανανεωμένο αρδευτικό διάλυμα. Έτσι, το  $R_i$  είναι μια μεταβλητή που δείχνει τον πραγματικό παράγοντα διάλυσης του διαλύματος βλάστησης  $i$  στο αρδευτικό διάλυμα. Οι πραγματικές αναλογίες αραιώσης των διαλυμάτων βλάστησης σε κάθε αρδευτικό κύκλο μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση (Σάββας και Μάνος 1999):

$$R_i = \frac{A_i V_i (E_i - E_w)}{E_i - E_r V_r - E_w V_i + E_w V_r} \quad (15)$$

Όταν δεν ανακυκλώνεται το διάλυμα αποστράγγισης ( $V_r=0$ ) η εξίσωση (1) αποδίδει  $R_i = A_i$  το οποίο είναι σύμφωνο με τους παραπάνω ορισμούς των  $R_i$  και  $A_i$ .

Τα διαλύματα βλάστησης μπορούν να ψεκαστούν με αντλίες έχοντας σταθερό ρυθμό ψεκασμού ( $J$ , l sec<sup>-1</sup>). Έτσι, οι ποσότητες (λίτρα) των διαλυμάτων που προστίθενται όταν το ανανεωμένο διάλυμα είναι έτοιμο μπορούν να δημιουργηθούν ως μια ευθύγραμμη σχέση του χρόνου ψεκασμού ( $T$ , σε δευτερόλεπτα). Ο ορισμός του  $R_i$  υπονοεί ότι η ψεκασμένη ποσότητα του διαλύματος βλάστησης  $i$  στο μείγμα διαλείμματος αποστράγγισης και νερού είναι ίσο με το  $V_i / R_i$ . Κατά συνέπεια, ο χρόνος ψεκασμού του διαλύματος βλάστησης  $i$  σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή ποτίσματος μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση.

$$T_i = \frac{V_i}{JR_i} \quad (16)$$



Αν το πρόγραμμα του υπολογιστή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των  $R_i$  και  $T_i$  σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (15) και (16), είναι πιθανόν να ψεκάσουμε τις ποσότητες των διαλυμάτων βλάστησης για να πετύχουμε την επιθυμητή EC σε κάθε πότισμα. Αυτό επιτυγχάνεται τροποποιώντας αυτόματα το χρόνο ψεκασμού των αντλιών σύμφωνα με τις τιμές που υπολογίστηκαν με την εξίσωση (16). Προφανώς, η προετοιμασία και η παροχή του αρδευτικού διαλύματος είναι δύο ξεχωριστά χρονικά βήματα όταν χρησιμοποιείται τέτοιος εξοπλισμός.

Όπως αποδεικνύεται και στην εξίσωση (1), η ποσότητα του διαλύματος αποστράγγισης σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή ποτίσματος ( $V_r$ ) ισούται με το παράγωγο  $x V_r$ . Αντικαθιστώντας το  $V_r$  με το  $x V_r$  στην εξίσωση (15) και ανακαθορίζοντας, δημιουργείται το  $R_i$  ως συνάρτηση της αναλογίας ανάμειξης του διαλύματος αποστράγγισης και νερού ( $x / \psi$ ):

$$R_i = \frac{A_i(E_r - E_w)}{E_r - E_w + x(E_w - E_r)} \quad (17)$$

Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς, σε συνδυασμό με την συγκέντρωση ιόντων στο ανεπεξέργαστο νερό καθορίζει τις κοινές αναλογίες, κατά τις οποίες τα θρεπτικά συστατικά προστίθενται στο μείγμα διαλύματος αποστράγγισης και νερού. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, αυτές οι αναλογίες είναι ίδιες για όλες τις εφαρμογές άρδευσης, ανεξάρτητα από τις πραγματικές τιμές των  $E_r$  και  $V_r$  οι οποίες καθορίζουν τις απόλυτες ποσότητες. Όπως σημειώθηκε και στην παράγραφο 4.5.1 οι αναλογίες των  $K/Ca$ ,  $K/Mg$  και  $(NO_3^- + H_2PO_4^-)/SO_4^{2-}$  τείνουν να είναι χαμηλότερες και στο διάλυμα αποστράγγισης και στο ανεπεξέργαστο νερό από τις σταθερές τιμές που διατηρούνται στο διάλυμα, το οποίο παρέχεται σε μια συγκεκριμένη καλλιέργεια. Επομένως, αυτές οι αναλογίες μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερες στο θρεπτικό διάλυμα αναφοράς από τις επιθυμητές τιμές στην περιοχή των ριζών και στο σταθερό θρεπτικό διάλυμα. Αν η σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος αναφοράς έχει καθοριστεί για μια συγκεκριμένη καλλιέργεια, είναι δυνατόν να εκτιμήσουμε την αναλογία του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς ( $I_{ifre}$ ) η οποία χρησιμοποιείται ως η βάση για την παρασκευή των διαλυμάτων βλάστησης. Επιπλέον, βασισμένοι σε εργαστηριακές μετρήσεις των  $E_r$  και  $C_{ir}$  και εκτιμώντας ένα μέσο  $V_r$  για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε τη μέση σύνθεση του αρδευτικού διαλύματος που παρέχεται στη καλλιέργεια σ' αυτό το διάστημα. Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς έχει καθοριστεί επιτυχώς όταν η υπολογισμένη μέση σύνθεση του αρδευτικού διαλύματος συμφωνεί με τις έγκυρες συστάσεις της βιβλιογραφίας για το αρδευτικό διάλυμα. Ένα παράδειγμα υπολογισμού των αναλογιών ψεκασμού των θρεπτικών μακροστοιχείων και της αναμενόμενης μέσης σύνθεσης του αρδευτικού διαλύματος, σύμφωνα με την έννοια του θρεπτικού διαλύματος σε καλλιέργεια ζέρμπερας καλλιεργημένη σε κλειστό υδροπονικό σύστημα δίνεται στον **πίνακα 7**. Τα μικροστοιχεία δεν

συμπεριλαμβάνονται σε αυτό το παράδειγμα. Η διαδικασία υπολογισμού περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Στις στήλες 1 και 2, δίνεται η συγκέντρωση των ιόντων στο διάλυμα και στο νερό βρύσης ( $C_{ir}$  και  $C_{iw}$  για το ιόν  $i$  αντίστοιχα) που έχει καθοριστεί από χημικές αναλύσεις. Σ' αυτό το παράδειγμα, θεωρείται ότι η συγκέντρωση των θρεπτικών μακροστοιχείων στο διάλυμα αποστράγγισης είναι μέσα σε μια επιθυμητή διακύμανση.
2. Στη στήλη 3, δίνεται η σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος αναφοράς για ζέρμπερα καλλιεργημένη σε κλειστά υδροπονικά συστήματα. Σ' αυτό το διάλυμα οι αναλογίες των  $K/Ca$ ,  $K/Mg$  και  $(NO_3^- + H_2PO_4^-)/SO_4^{2-}$  είναι φανερά υψηλότερες από τις αντίστοιχες αναλογίες στο διάλυμα αποστράγγισης. Επιπλέον, αυτές οι αναλογίες είναι πολύ πιο υψηλές από τις ανάλογες τιμές, που προτείνονται από διάφορους συγγραφείς (Sonnveld και Straver, 1994, De Krijg et al., 1999) για το αρδευτικό διάλυμα που παρέχεται στις σοδειές που καλλιεργούνται τόσο σε κλειστά όσο και σε ανοικτά υδροπονικά συστήματα.
3. Η ποσότητα των θρεπτικών μακροστοιχείων ( $meq\ l^{-1}$ ) που πρέπει να προστεθεί στο ανεπεξέργαστο νερό μέσω των διαλυμάτων βλάστησης κατά την προετοιμασία του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς μπορεί να ονομαστεί εισαγωγή αναφοράς των θρεπτικών μακροστοιχείων και να καθοριστεί από το  $I_{ifre}$ . Αυτές οι τιμές, που είναι σταθερές για μια συγκεκριμένη καλλιέργεια και ένα συγκεκριμένο θρεπτικό διάλυμα αναφοράς, μπορούν εύκολα να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$I_{ifre} = C_{ire} + C_{iw} \quad (18)$$

Οι τιμές που αντλούνται τοποθετούνται στη στήλη 4. Η εξίσωση (18) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσουμε την πρόσθεση ποσοτήτων αναφοράς του οξέως ( $H^+$ ) και του  $HCOO_3^-$  εξαιτίας των λόγων που περιγράφηκαν στις παραγράφους 4.5.3. και 4.5.4. Συγκεκριμένα, η απόλυτη τιμή του  $I_{HCOO_3^-ifre}$  που θα παραχθεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση (18) δείχνει την πρόσθεση της δόσης αναφοράς του  $H^+$  (οξύ), ενώ στην πραγματικότητα δεν απαιτείται καμιά πρόσθεση  $H^+$  και  $HCOO_3^-$  μέσω των λιπασμάτων για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς. Έτσι, το  $I_{HCOO_3^-ifre}$  όπως υπολογίστηκε στην (18) και το 0 είναι η πρόσθεση ποσοτήτων αναφοράς του  $H^+$  και  $HCOO_3^-$  αντίστοιχα, τα οποία εισάγονται στη στήλη 4. Οι κοινές αναλογίες ανάμεσα στα θρεπτικά συστατικά στη στήλη 4 μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παρασκευή των διαλυμάτων βλάστησης των λιπασμάτων. Η ανθεκτικότητα των διαλυμάτων βλάστησης ( $A_i$ ) περιορίζεται κυρίως από τη διαλυτότητα των λιπασμάτων

4. Για να υπολογίσουμε την πραγματική μέση εισαγωγή των θρεπτικών συστατικών μέσω των λιπασμάτων, είναι αναγκαίο να καθορίσουμε μια επιθυμητή μέση αναλογία μείξης διαλύματος απορρόφησης και νερού. Αφού τα  $A_i$  και  $E_r$  (στήλη 1),  $E_w$  (στήλη 2) και  $E_t$  (στήλη 3) είναι γνωστές

ποσότητες, είναι δυνατό να υπολογίσουμε ένα μέσο  $R_i$  χρησιμοποιώντας την εξίσωση (17). Στο παράδειγμα του πίνακα 7, αν η ανθεκτικότητα ( $A_i$ ) είναι 100 σε όλα τα διαλύματα βλάστησης και η επιθυμητή μέση αναλογία  $x/\psi$  είναι 0.35/0.65, η εξίσωση 17 αποδίδει ένα μέσο  $R_i$  με υψηλότερη τιμή 175. Όταν εκτιμάται ένα μέσο  $R_i$ , η επιθυμητή μέση εισαγωγή των θρεπτικών συστατικών μέσω λιπασμάτων ( $I_{if}$ ) μπορεί εύκολα να υπολογιστεί με την εξίσωση:

$$I_{if} = \frac{A_i}{R_i} I_{ifre} \quad (19)$$

5. Η εξίσωση (19) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσουμε τη μέση εισαγωγή  $H^+$  και  $NO_3^-$  γιατί ο ψεκασμός του  $HNO_3$  ελέγχεται μέσω των on-line μετρήσεων του pH όταν ρυθμίζουμε το pH του αρδευτικού θρεπτικού διαλύματος και όχι με τις εξισώσεις (15) ή (17). Μπορεί εύκολα να αποδειχθεί ότι η μέση πραγματική ποσότητα ψεκασμού του  $H^+$  υπολογίζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$I_{H+f} = x I_{HCO_3-f} + y I_{HCO_3-r} + C_{HCO_3-re} \quad (20)$$

ενώ αυτή του  $NO_3^-$  μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση:

$$I_{NO_3-f} = \frac{A_{HNO_3}}{R_{HNO_3}} I_{NO_3-re} - \frac{A_{HNO_3}}{R_{HNO_3}} I_{H+f} + I_{H+f} \quad (21)$$

όπου  $R_{HNO_3}$  είναι ο συντελεστής διάλυσης του νιτρικού οξέως που έχει εκτιμηθεί με τις εξισώσεις (15) ή (17). Πρέπει να επισημανθεί ότι η τιμή του  $R_{HNO_3}$  που υπολογίζεται με τις εξισώσεις (15) ή (17), εξυπηρετεί μόνο την εκτίμηση του  $I_{NO_3-f}$  μέσω της εξίσωσης (21). Επιπλέον, η (20) βασίζεται στην υπόθεση ότι η επιθυμητή συγκέντρωση του  $HCO_3^-$  στο αρδευτικό διάλυμα ( $C_{HCO_3-r}$ ), η οποία σχετίζεται με το επιθυμητό pH (Σάββας και Αδαμίδης 1999,2000, ) ισούται με αυτή του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς ( $C_{HCO_3-re}$ ). Η επιθυμητή μέση εισαγωγή θρεπτικών συστατικών μέσω λιπασμάτων, όπως εκτιμάται στην (19), συμπεριλαμβάνοντας τις διορθωμένες τιμές  $I_{H+f}$  και  $I_{NO_3-f}$  που αποκομίζονται από τις 20 και 21, υπάρχει στη στήλη 6.

**Πίνακας 6.** Ένα παράδειγμα υπολογισμού της επιπρόσθετης δόσης των μακροστοιχείων ( $I_{if}$ ), που απαιτούνται για την ανανέωση και ανακύκλωση του διαλύματος αποστράγγισης σε μια κλειστή υδροπονική καλλιέργεια ζέρμπερας, βασισμένο στην έννοια του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς. Οι υπολογισμοί είναι βασισμένοι στην επιθυμητή αναλογία διαλύματος αποστράγγισης / νερού, 0,35 / 0,65

Διαλυμένα στοιχεία	1	2	3	4	5	6	7
	Διαλυμα αποστράγγισης ( $C_{ir}$ )	Νερό ( $C_{iw}$ )	Θρεπτικό διάλυμα αναφοράς ( $C_{ire}$ )	Προσθήκη στο διάλυμα αναφοράς θρεπτικών στοιχείων μέσω λιπασμάτων	Επιθυμητή προσθήκη θρεπτικών στοιχείων μέσω των λιπασμάτων	Διορθωμένη προσθήκη θρεπτικών στοιχείων μέσω των λιπασμάτων ( $I_{if}$ )	Επιθυμητές συγκεντρώσεις στο διάλυμα άρδευσης ( $C_{ie}$ )
$K^+$ (meq l <sup>-1</sup> )	5,50	0,10	6,30	6,20	3,54	3,54	5,53
$Ca^{2+}$ (meq l <sup>-1</sup> )	9,70	3,00	4,15	1,15	0,66	0,66	6,00
$Mg^{2+}$ (meq l <sup>-1</sup> )	3,60	0,80	1,20	0,40	0,23	0,23	2,01
$NH_4^+$ (meq l <sup>-1</sup> )	0,20	0,00	2,50	2,50	1,43	1,43	1,50
$Na^+$ (meq l <sup>-1</sup> )	2,20	0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	1,23
$H^+$ (meq l <sup>-1</sup> )	0,00	0,00	0,00	2,60	1,48	1,94	>0,01
$NO_3^-$ (meq l <sup>-1</sup> )	12,90	0,00	11,10	11,10	6,34	6,80	11,31
$H_2PO_4^-$ (meq l <sup>-1</sup> )	0,80	0,00	1,70	1,70	0,97	0,97	1,25
$SO_4^{2-}$ (meq l <sup>-1</sup> )	4,80	1,00	1,05	0,05	0,03	0,03	2,36
$HCOO_3^-$ (meq l <sup>-1</sup> )	0,90	2,80	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20
Cl (meq l <sup>-1</sup> )	1,80	0,80	0,80	0,00	0,00	0,00	1,15
Ολική $C^+$ (meq l <sup>-1</sup> )	21,20	4,60	14,85	12,85	7,34	7,80	16,27
Ολική $C^-$ (meq l <sup>-1</sup> )	21,20	4,60	14,85	12,85	7,34	7,80	16,27
EC (dS m <sup>-1</sup> )	2,10	0,47	1,80	-	-	-	1,81

**Σημείωση:**  $C_{ir}$ ,  $C_{iw}$ : συγκεντρώσεις του ιόντος  $i$  στο διάλυμα αποστράγγισης και στο ανεπεξέργαστο νερό, αντίστοιχα,  $I_{if}$ : η προσθήκη του ιόντος  $i$  μέσω των λιπασμάτων στο διάλυμα άρδευσης,  $C_{ie}$ : Επιθυμητή συγκέντρωση του ιόντος  $i$  στο διάλυμα άρδευσης, ολική  $C^+$ , ολική  $C^-$ : ολική συγκέντρωση ή προσθήκη δόσης κατιόντων και ανιόντων, αντίστοιχα.



1. Η επιθυμητή μέση συγκέντρωση όλων των ιόντων εκτός των  $H^+$  και  $HCOO_3^-$  στο αρδευτικό διάλυμα ( $C_{it}$ ) είναι ίση με τη συνολική εισαγωγή που προέρχεται από: α) το διάλυμα αποστράγγισης, β) το νερό και γ) τα λιπάσματα. Έτσι μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση:

$$C_{it} = xC_{ir} + y C_{iw} + I_{if} \quad (21)$$

Οι τιμές που δημιουργούνται παραθέτονται στη στήλη 7. Η συγκέντρωση του  $H^+$  υποδεικνύεται από το τελικό pH του αρδευτικού διαλύματος και συνήθως είναι χαμηλότερη από  $0.01 \text{ meq l}^{-1}$  (βλέπε επίσης παράγραφο 4.5.3). Επίσης, η επιθυμητή συγκέντρωση του  $HCOO_3^-$  στο αρδευτικό διάλυμα ( $C_{HCOO_3-it}$ ) είναι ίση με αυτή του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς ( $C_{HCOO_3-re}$ ) αφού η (20) βασίζεται σ' αυτή την υπόθεση.

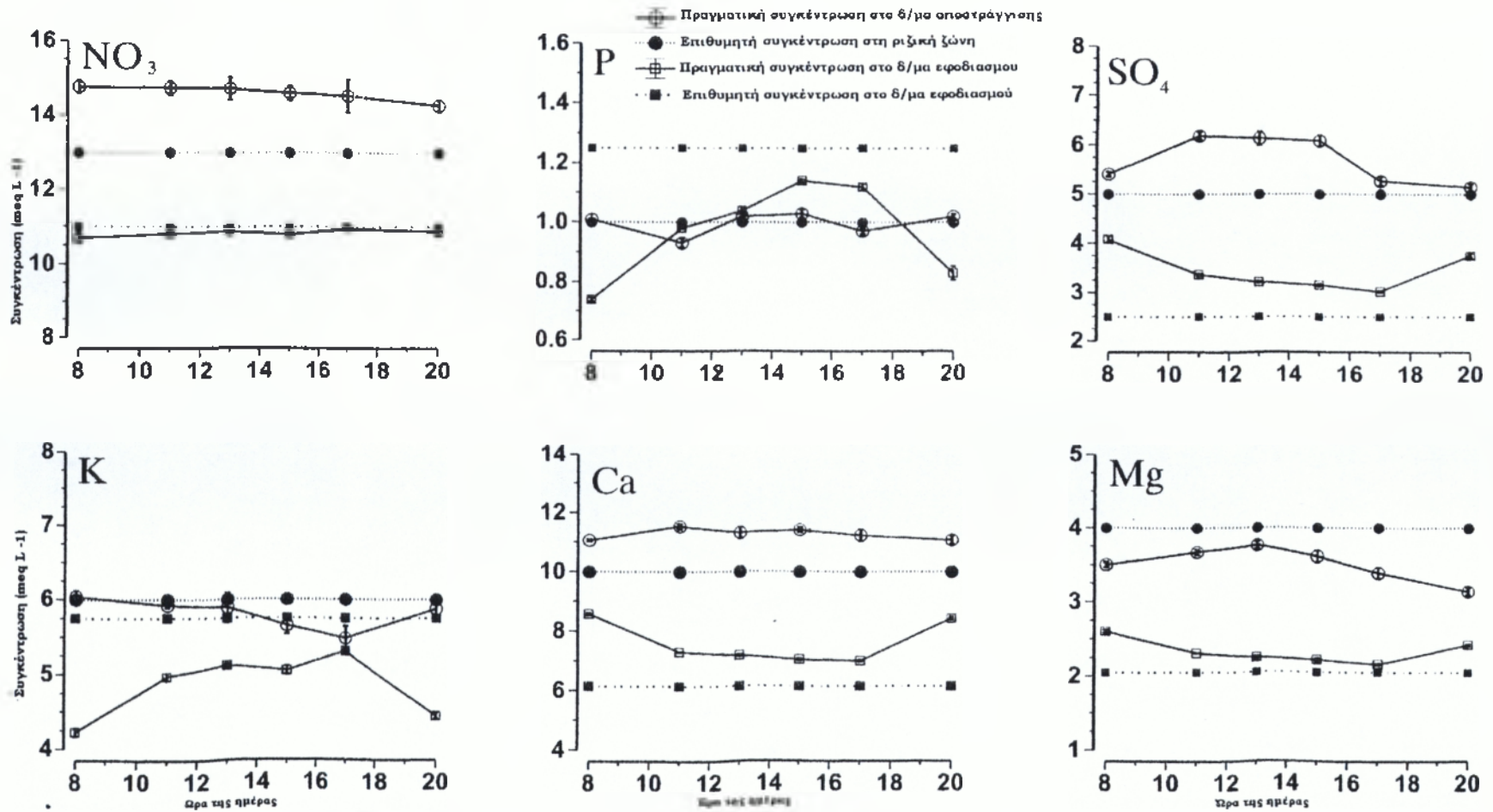
2. Χρησιμοποιώντας τη (10), είναι πιθανόν να υπολογίσουμε την EC που αντιστοιχεί στην επιθυμητή μέση συγκέντρωση στο αρδευτικό διάλυμα όπως φαίνεται στη στήλη 7. Στο παράδειγμα του πίνακα 7, η τιμή που αποκτάται ( $1.81 \text{ dS m}^{-1}$ ) είναι παρόμοια με την επιθυμητή EC (προκαθορισμένη EC του θρεπτικού διαλύματος). Για να εμποδίσουμε μια σημαντική διαφορά ανάμεσα στο επιθυμητό  $E_i$  και τη πραγματική EC του αρδευτικού διαλύματος πρέπει να παρασκευαστεί ένα θρεπτικό διάλυμα αναφοράς πριν την έναρξη της ανακύκλωσης, αραιώνοντας τα διαλύματα βλάστησης με νερό σε αναλογία 1:A. Η παραγόμενη EC είναι το επιθυμητό  $E_i$  που πρέπει να εισαχθεί στο σύστημα ελέγχου.

Χρησιμοποιώντας τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς της στήλης (3) στο παραπάνω παράδειγμα, είναι δυνατόν να δημιουργηθεί η μέση συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών στο αρδευτικό διάλυμα (στήλη 7) που είναι παρόμοια με αυτή που συνήθως εφαρμόζεται στις υδροπονικές καλλιέργειες ζέρμπερας (Sonneveld και Straver, 1994, De Kreij κ.α.1999). Έτσι, η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς στη στήλη (3) αναμένεται να επιτρέψει τον αποτελεσματικό ανεφοδιασμό του διαλύματος αποστράγγισης με θρεπτικά συστατικά και νερό. Σ' αυτό το παράδειγμα, συμπεραίνεται ότι η συγκέντρωση των ιόντων στο διάλυμα αποστράγγισης ήταν μέσα σε επιθυμητά όρια. Ωστόσο, αν τα αναλυτικά στοιχεία σε οποιαδήποτε δείγμα παρουσιάζουν ανισομέρειες στα θρεπτικά συστατικά (συμπεριλαμβανομένου των θρεπτικών μικροστοιχείων) στο περιβάλλον των ριζών, μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς. Τέτοιες ανισομέρειες είναι δυνατόν να υπάρχουν όταν οι μονοσθενείς /δισθενείς αναλογίες των θρεπτικών συστατικών δεν είναι επαρκώς υψηλότερες από τις αντίστοιχες επιθυμητές αναλογίες στο περιβάλλον των ριζών. Στον πίνακα (8), καταρτίζεται η πραγματική συγκέντρωση των θρεπτικών μακροστοιχείων που μετρούνται στο παρεχόμενο διάλυμα και στο διάλυμα αποστράγγισης σε όλες τις εφαρμογές ποτίσματος έναντι των επιθυμητών επιπέδων, σε μια αντιπροσωπευτική μέρα. Αυτά τα στοιχεία προέρχονται από καλλιέργεια ζέρμπερας (Σάββας

2001a), καλλιεργημένη σε κλειστό υδροπονικό σύστημα και στην οποία προσφέρθηκε ένα θρεπτικό διάλυμα το οποίο ανακυκλώθηκε σύμφωνα με την έννοια του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς. Σ' αυτό το πείραμα οι συγκεντρώσεις στο διάλυμα αναφοράς είναι παρόμοιες με αυτές που προτάθηκαν για το αρδευτικό διάλυμα από τους Sonneveld, Straver (1994) και De Krijg κ.α (1997). Όπως φαίνεται και στον πίνακα (8), αυτό οδήγησε σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις  $K^+$  και  $P$  και υψηλότερες  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  και  $SO_4^{2-}$  από τις αντίστοιχες προτεινόμενες τιμές, τόσο στα διαλύματα αποστράγγισης όσο και στα αρδευτικά διαλύματα. Η συγκέντρωση του  $NO_3^-$  στο αρδευτικό διάλυμα παρέμεινε κοντά στα επιθυμητά επίπεδα, πιθανότατα επειδή ο ψεκασμός του  $NO_3^-$  ελέγχθηκε εν μέρει μέσω του επιθυμητού pH. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν σε δύο ακόμα δειγματοληψίες (Σάββας και Γκίζας, αδημοσίευτα στοιχεία). Αυτά τα στοιχεία ξεκάθαρα υποδεικνύουν ότι οι μονοσθενείς /δισθενείς αναλογίες των θρεπτικών μακροστοιχείων πρέπει να είναι υψηλότερες στο διάλυμα αναφοράς από τις επιθυμητές τιμές στο αρδευτικό διάλυμα.

Η παροχή ποσότητας N σε μορφή αμμωνίας είναι πολύ σημαντική για τον έλεγχο του pH στην περιοχή των ριζών στα υδροπονικά καλλιεργημένα φυτά. Όμως, η αμμωνία απορροφάται ραγδαία ή νιτροποιείται στην περιοχή των ριζών (βλ. παράγραφο 4.2) και, επομένως, η συγκέντρωσή της στο διάλυμα αποστράγγισης είναι πολύ χαμηλότερη απ' ό,τι στο αρδευτικό διάλυμα. Ως αποτέλεσμα, η συγκέντρωση του  $NH_4^+$  στο αρδευτικό διάλυμα είναι χαμηλότερη απ' ό,τι στο θρεπτικό διάλυμα αναφοράς όταν ανακυκλώνεται το διάλυμα αποστράγγισης (Σάββας και Γκίζας, αδημοσίευτα στοιχεία). Αυτά τα αποτελέσματα μαρτυρούν ότι σε κλειστά υδροπονικά συστήματα, πρέπει να παρέχεται υδρογόνο μέσω λιπασμάτων σε υψηλότερη αναλογία  $NH_4^+ / (NH_4^+ + NO_3^-)$  από ό,τι στα ανοικτά συστήματα, ανεξάρτητα από την έννοια που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της πρόσθεσης ποσοτήτων των θρεπτικών συστατικών.

**Πίνακας 8 με γραμμογράμματα :** για τις επιμετρημένες και επιθυμητές συγκεντρώσεις των  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NO_3^-$ , P και  $SO_4^{2-}$ , στο θρεπτικό διάλυμα εφοδιασμού της καλλιέργειας όπως επίσης και στο διάλυμα αποστράγγισης σε 6 διαφορετικές εφαρμογές θρεπτικού διαλύματος κατά την διάρκεια μιας ημέρας. Οι λεπτομέρειες προέρχονται από καλλιέργεια ζέρμπερας σε κλειστό σύστημα και πάρθηκαν με την βοήθεια της έννοιας του θρεπτικού διαλύματος αναφοράς (Σάββας, 2001 α).



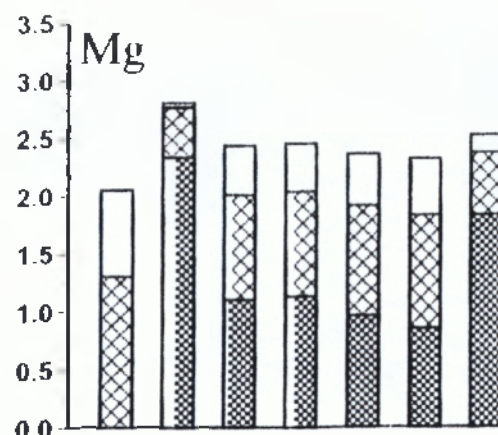
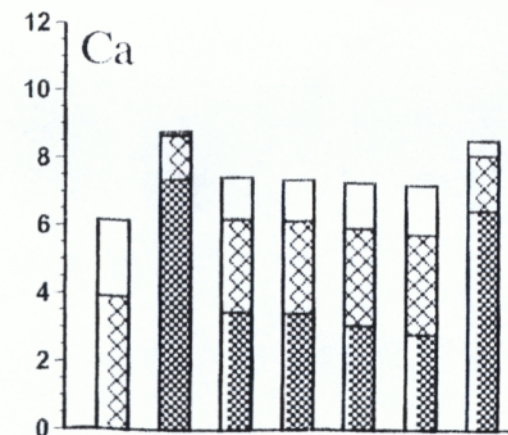
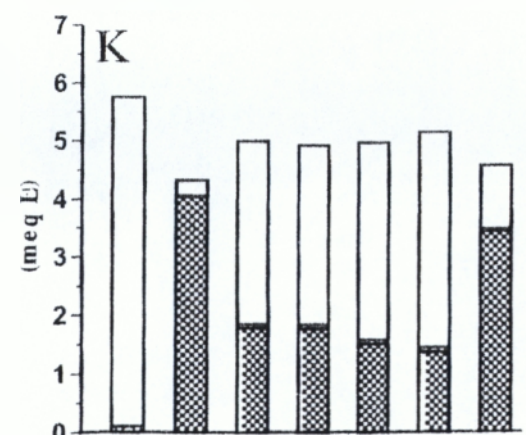
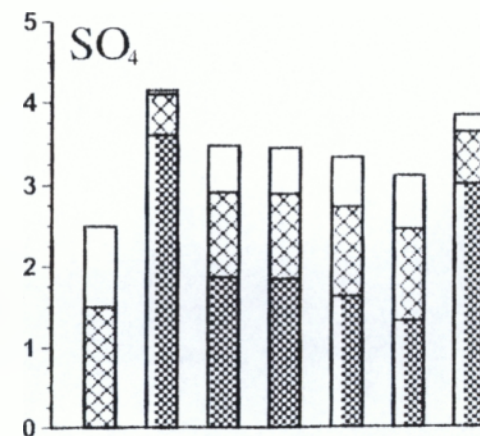
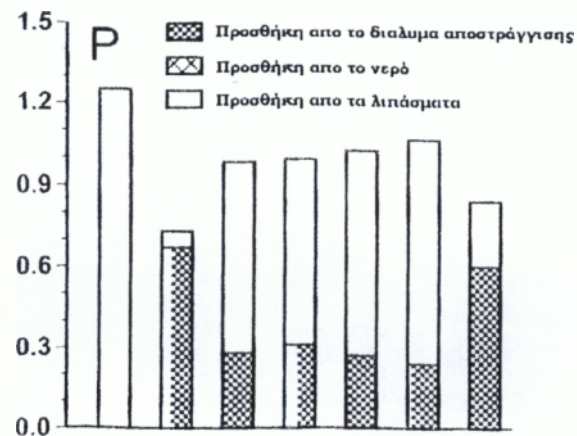
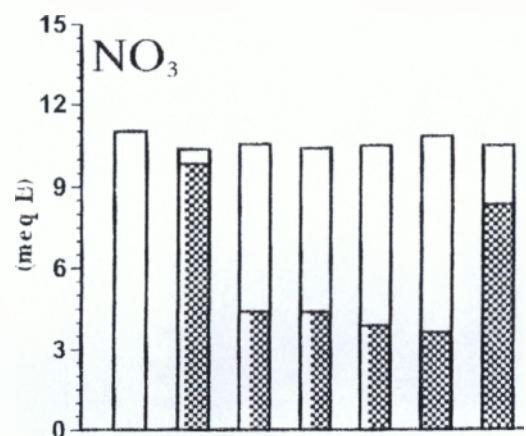
#### 4.6 Προοπτικές

Σε πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο, μια σημαντική περιοχική αγροτικής γης χρησιμοποιείται για την προσεκτική καλλιέργεια λαχανικών και διακοσμητικών φυτών σε τόσο μεγάλη κλίμακα που παρεμβαίνει στις πηγές πόσιμου νερού, σε κοιτάσματα υδάτων επιφάνειας, επιθαλάσσιες επιφάνειες και άλλα περιβαλλοντολογικά στοιχεία. Επιπλέον, σε πολλές χώρες, οι πόροι αγροτικού νερού είναι περιορισμένοι. Επομένως, η πίεση που ασκείται στους καλλιεργητές για τη μείωση της διήθησης των αγροχημικών και την εμπόδιση της σπατάλης νερού σε προστατευμένες καλλιέργειες αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά στα επόμενα χρόνια. Η ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών και του νερού στην υδροπονία προσφέρει εξαιρετικές προοπτικές για την επίτευξη αυτών των στόχων. Ωστόσο, για την ολοκληρωτική παρεμπόδιση οποιωνδήποτε δυσμενών επιδράσεων της ανακύκλωσης στη καλλιέργεια και στην ποιότητα των προϊόντων, πρέπει να βελτιωθούν οι τεχνικές του ανεφοδιασμού των απορροών του θρεπτικού διαλύματος με λιπάσματα και νερό, πριν την επαναπαροχή τους στη καλλιέργεια. Η ανάπτυξη αισθητήρων που επιτρέπουν την on-line παρακολούθηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών συστατικών στο διάλυμα αποστράγγισης (Albery κ.α., 1985, Morard κ.α. 1997, Van Os κ.α. κεφάλαιο 3 ) αναμένεται να ενισχύσει σημαντικά την ακρίβεια του ανεφοδιασμού των θρεπτικών συστατικών στο ανακυκλωμένο διάλυμα. Αυτός ο εξοπλισμός θα ήταν ιδιαίτερα κατάλληλος για τον ψεκάσμο των θρεπτικών συστατικών σύμφωνα με την έννοια του διαλύματος αποστράγγισης με το ανεπεξέργαστο νερό (παράγραφος 4.5.4), επειδή η συγκέντρωση των μεμονωμένων θρεπτικών συστατικών στο διάλυμα αποστράγγισης θα μπορούσε αυτόματα να μετρηθεί επιτόπου σε κάθε αρδευτική εφαρμογή και όχι στο εργαστήριο και σε σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα (π.χ κάθε εικοσιτετράωρο). Έτσι, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (13) και (14) θα ήταν δυνατόν να υπολογίσουμε on-line τις ακριβείς ποσότητες των μεμονωμένων θρεπτικών συστατικών, τα οποία θα ήταν απαραίτητες σε κάθε πότισμα για την επίτευξη της επιθυμητής συγκέντρωσης των θρεπτικών συστατικών στο αρδευτικό διάλυμα.

Μια άλλη λειτουργία που θα μπορούσε να βελτιωθεί σε σοδειές καλλιεργημένες σε υπόστρωμα, χρησιμοποιώντας την ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος είναι ο έλεγχος άρδευσης. Σε κλειστά υδροπονικά συστήματα που εμπεριέχουν διακεκομμένα ποτίσματα, τα οποία σχετίζονται με την παροχή θρεπτικού διαλύματος στο νερό που καταναλώνεται από τη σοδειά, φαίνεται να μην είναι τόσο σημαντικό όσο στα ανοικτά συστήματα, αφού το επιπλέον διάλυμα επαναχρησιμοποιείται. Κατά συνέπεια, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι αυξάνοντας την ποσότητα και τη συχνότητα της παροχής του θρεπτικού διαλύματος, μπορεί να επιτευχθεί καλύτερος έλεγχος της συσσώρευσης αλάτων στην περιοχή των ριζών. Ωστόσο, αυτό



**Πίνακας 9 με ραβδογράμματα:** Πραγματικές συγκεντρώσεις των  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NO_3^-$ , P και  $SO_4^{2-}$  στο εφαρμοσμένο θρεπτικό διάλυμα άρδευσης κατά την διάρκεια μιας ημέρας, σε καλλιέργεια ζερμπερης καθώς επίσης και συγκεντρώσεις που θα υπήρχαν χωρίς την εφαρμογή συστήματος ανακύκλωσης. Η αναλογία ανακυκλώμενου διαλύματος αποστράγγισης μεταβάλλονται σε κάθε κύκλο άρδευσης. Δείχνονται επίσης η συμβολή του δ/τος αποστράγγισης, του ανεπιξεργαστου νερού και των λιπασμάτων, για όλα τα θρεπτικά στοιχεία, στις τελικές συγκεντρώσεις στο διάλυμα άρδευσης (Σάββας, 2001 α).



Ωρα της ημέρας 0 8.00 11.00 13.00 15.00 17.00 20.00  
 Ανακυκλωμένο  
 D.S. (%) 0 66.7 29 28.1 26.2 24.6 58.3

Ωρα της ημέρας 0 8.00 11.00 13.00 15.00 17.00 20.00  
 Ανακυκλωμένο  
 D.S. (%) 0 66.7 29 28.1 26.2 24.6 58.3

Ωρα της ημέρας 0 8.00 11.00 13.00 15.00 17.00 20.00  
 Ανακυκλωμένο  
 D.S. (%) 0 66.7 29 28.1 26.2 24.6 58.3

αληθεύει μόνο εν μέρει. Αν το κλάσμα της διήθησης είναι πολύ υψηλό, η αναλογία του διαλύματος αποστράγγισης προς τη συνολική ποσότητα του αρδευτικού διαλύματος, που παρέχεται στη καλλιέργεια πρέπει επίσης να αυξηθεί με σκοπό να αποφευχθεί η μερική εκροή του προϊόντος της διήθησης. Όπως αναφέρεται και από διάφορους συγγραφείς (Sonneveld, 1981, Zekki κ.α. 1996, Σάββας και Μάνος, 1999, Sonneveld 2000, Σάββας, 2001a), οι μονοσθενείς /δισθενείς αναλογίες τείνουν να μειώνονται στο διάλυμα που διαρρέει από το περιβάλλον των ριζών. Έτσι, η στρατηγική της αύξησης της ποσότητας διήθησης σε κλειστά υδροπονικά συστήματα συγκρούεται με το σκοπό της διατήρησης των μονοσθενών /δισθενών αναλογιών των θρεπτικών συστατικών στο διάλυμα που παρέχεται στη καλλιέργεια, σε σημαντικά χαμηλότερα επίπεδα από ότι στο διάλυμα αποστράγγισης. Αυτό αληθεύει όταν η αναλογία του διαλύματος αποστράγγισης υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο αρχικό επίπεδο και το ανεπεξέργαστο νερό περιέχει σημαντικές ποσότητες δισθενών θρεπτικών μακροστοιχείων. Επομένως, ακόμη και σε κλειστά υδροπονικά συστήματα, πρέπει να χρησιμοποιείται αυτόματος εξοπλισμός για την εφαρμογή ενός αποτελεσματικού προγράμματος άρδευσης, βασισμένο σε μια εκτίμηση της απορρόφησης νερού από τα φυτά σε πραγματικό χρόνο. Στον πίνακα (9) αναφέρεται η επιρροή που έχει η τροποποίηση της αναλογίας της απόρροιας από το διάλυμα αποστράγγισης πάνω στη σύνθεση του ανανεωμένου αρδευτικού διαλύματος κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Τα αποτελέσματα ξεκάθαρα υποδεικνύουν ότι οι συγκεντρώσεις των  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  και  $SO_4^{2-}$  στο αρδευτικό διάλυμα αυξήθηκαν σημαντικά, ενώ αυτές των  $K^+$  και  $P$  τείνουν να μειωθούν σε χαμηλότερα επίπεδα, όταν η αναλογία του επαναχρησιμοποιημένου διαλύματος αναφοράς αποτελούσε περισσότερο από το μισό της παροχής (Σάββας, 2001a).

Εκτός από την παροχή θρεπτικών ουσιών, ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την επιτυχία της ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος είναι ο φυτοπαθολογικός έλεγχος. Εντατική ερευνητική δραστηριότητα βρίσκεται σε εξέλιξη παγκοσμίως, στοχεύοντας στην ανάπτυξη αξιόπιστων, αποτελεσματικών και ανέξοδων τεχνικών για τον καθαρισμό του θρεπτικού διαλύματος πριν την επαναχρησιμοποίησή του.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Το γενικό συμπέρασμα αυτής της εργασίας είναι ότι η υδροπονία μπορεί να είναι φιλική προς το περιβάλλον.

Ανακεφαλαιώνοντας τους λόγους για τους οποίους ισχύει αυτό το συμπέρασμα ξεκινάμε από τα υποστρώματα. Πολλά από τα υποστρώματα, όπως η άμμος, η ελαφρόπετρα, η τύρφη είναι φυσικής προέλευσης και μπορούν μετά την χρήση τους να ενσωματωθούν στο έδαφος χωρίς να προκαλέσουν κανένα απολύτως περιβαντολλογικό πρόβλημα, αντιθέτως τις περισσότερες φορές βελτιώνουν την μηχανική σύσταση του εδάφους. Τα υπόλοιπα υποστρώματα, όπως αναφέρθηκε, είτε ανακυκλώνονται, είτε χρησιμοποιούνται από διάφορες βιομηχανίες ως υλικά, είτε μερικά από αυτά ενσωματώνονται υπό προϋποθέσεις στο έδαφος. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι τα περισσότερα από αυτά απολυμαίνονται, χωρίς να μεταβληθούν οι ιδιότητες τους και να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές έχοντας την ίδια απόδοση. Άρα τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι φιλικά προς το περιβάλλον.

Συνεχίζοντας αποδεικνύεται πως και τα περισσότερα υδροπονικά συστήματα είναι φιλικά προς το περιβάλλον αφού έχουν την δυνατότητα ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος, δηλαδή την συνεχή επανακυκλοφορία και επαναχρησιμοποίηση της περίσσειας του, που αποστραγγίζεται μετά από κάθε κύκλο άρδευσης. Έτσι αποφεύγεται η διήθηση αυτής της περίσσειας στο έδαφος και κατά συνέπεια η μόλυνση των υπόγειων νερών. Επίσης έχουμε όφελος στην δαπάνη του νερού αφού αυτό επαναχρησιμοποιείται καθώς επίσης και των λιπασμάτων, όπως αναφέρεται παραπάνω της τάξεως του 50%. Όλο το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στο πως η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος μπορεί να λάβει χώρα και με ποιες τεχνικές και συστήματα έτσι ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο αποτέλεσμα.

Τέλος προς όφελος πάντα του περιβάλλοντος τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα διάφορα υδροπονικά συστήματα αλλά και γενικά τα περισσότερα υλικά κατασκευής και ανεφοδιασμού των θερμοκηπίων, όπως το γυαλί, το αλουμίνιο, το πλαστικό κ.α. μετά την χρήση τους ή την αντικατάστασή τους από καινούρια να ανακυκλωθούν ώστε να μην ασκούν και αυτά καμία επιβάρυνση στο περιβάλλον.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **A. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΕΙΑ**

1. Καπετάνιος Ε. και Λουιζίδου Μ., 1992. Heavy metal removal by zeolite in tomato cultivation using compost. *Acta Hort*
2. Κατσάνος Δ. Χρήστος, 2001. *Garden & Flower Business*, Τεύχος 1/2001, Εκδόσεις Γεωργική Τεχνολογία, Αθήνα.
3. Μαλούπα Ε., Δ. Γκερασόπουλος, Δ. Ζερβάκης και Α. Τράκα-Μαυρονά, 1999. Εξέλιξη των εκτός εδάφους καλλιεργειών. Μια ματιά στο μέλλον. Στο: *Regional Working Group Greenhouse Crop Production in the Mediterranean Region. Proc. 1<sup>st</sup> Meeting FAO Thematic Working Group Soilless Culture*. Τεχνικές εκδόσεις No 3. Χαλκιδική, Ελλάδα, 2 Σεπτεμβρίου.
4. Μαυρογιαννόπουλος Ν. Γεώργιος, 1994. *ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ και θρεπτικά διαλύματα*, Εκδόσεις Α. Σταμούλη, Αθήνα - Πειραιάς.
5. Μαυρογιαννόπουλος Ν. Γεώργιος και Παπαδάκης Γ. Ιωάννης, 1987. the effect of bag size on tomatoes in bags of perlite. *Soilless Culture*.
6. Σάββας Δ. 1992. Vegetatives und generatives Wachstum bei Auberginen (*Solanum melongena* L.) in Hydrokulture in Abhängigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit der Nährlösung. Ph. D. Thesis, University of Bonn, Germany.
7. Σάββας Δ. και Αδαμίδης Κ. 2000. Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH, and nutrient concentration ratios. *Erratum. J. Plant Nutr.*
8. Σάββας Δ. και Μάνος Γ. 1999. Automated composition control of nutrient solution in closed soilless culture systems. *J. Agric. Engin. Res.*
9. Σάββας και Passam H., 2002. *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*, EMBRYO Publications, Athens.

### **B. ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Adams P. and D. M. Massey, 1984. Nutrient uptake by tomatoes from recirculating solutions. In: *Proc. 6<sup>th</sup> Internat. Congr. Soilless Culture, Lunteren 1984*. ISOSC, Wageningen, The Netherlands.
2. Bar-Yosef B., T. Markovich and I. Lenkovich, 2001a. Pepper response to leachate recycling in a greenhouse in Israel. *Acta Hort*.



3. Bently M., 1959. Commercial Hydroponics (2<sup>nd</sup> edition). Bendon Books, Johannesburg.
4. Bilderback, T.E., 1982. Container soils and soilless media. In: Raleigh, N. C. Nursery Crops Production Manual. North Carolina State University, Agricultural Extension Service.
5. Boertje g. a. 1994. Chemical and physical characteristics of pumice as a growth medium. Acta Hort.
6. Bowen P. A. 1983. The effect of oxygen fumigation of sawdust medium on the yield and yield components of greenhouse cucumbers. Sci. Hort
7. Bruce Laffer, 1993, Hydroponics and the Enviroment, Australian Hydroponic Association, Melboyrne, Australia.
8. Bures S. M., C. Gago , and F. X. Martinez, 1977a. Water characterization in granular materials. Acta Hort.
9. Challinor P. F., 1994. The use of pumice in horticulture. In: Proc, 9<sup>th</sup> Internat. Congr. Soilless Culture, St Helier, Jersey. ISOSC, Wageningen, The Netherlands.
10. Cooper A.J., 1975. Crop production in recirculating nutrient solution. Sci. Hort.
11. Cooper A.J., 1979. The ABC of N.F.T.. Grower Books, London.
12. da Silva F. F., 1991. Static and dynamic characterization of container media for irrigation management. M. Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, The Hebrew University of Jerusalem (in English).
13. da Silva F. F., R. Wallach and Y. Chen, 1995. Hydraulic properties of rockwool slabs used as substrates in horticulture. Acta Hort.
14. de Kreij C., C. W. van Elderen, E. Meinken and P. Fischer, 1995. Extraction methods for chemical quality control of mineral substrates. Acta Hort.
15. Drees L. R., L.P. Wilding, N. E Smeck and A. L. Senkayi, 1989. Silica in soils: Quartz and disordered silica polymorphs. In: Dixon J. B. and S.B. Weed. Minerals in Soil Environment. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI., USA.
16. Gericke W. F., 1938. Crop production without soil. Nature.
17. Graves C. J., 1983. The nutrient film technique. Hortic. Rev..
18. Handreck K. A., 1996. Phosphorus immobilization in wood waste-based potting media. Comm. Soil Sci. Plant Anal.
19. Harris D. A., 1976. A modified drip culture method for the commercial production of tomatoes in vermiculite. In: Proc. 4<sup>th</sup> Intern. Congr. Soilless Culture. ISOSC, Wageningen.

20. Heiskanen J., 1993. Variation in water retention characteristics of peat growth media used in tree nurseries. *Silva Fennica*.
21. Jensen M. H. and W. L. Collins, 1985. Hydroponic vegetable production. *Hort. Rev.*
22. Lemaire F., L. M. Mahishi, S. Stievenard, O. Marfa, S. Geschwander and F. Giuffrida, 1998. Consequences of organic matter biodegradability on the physical, chemical parameters of substrates. *Acta Hort.*
23. Marfa O., A. Martinez, R. Orozco, L. Serrano and F. X. Martinez, 1993. The use of fine grade perlites in lettuce bag cultures. II. Physical properties, rheologic effects and productivity. *Acta Hort.*
24. Meinken E., 1997. Accumulation of nutrients in expanded clay used for indoor planting. *Acta Hort.*
25. Meinken E. and P. Fischer, 1994. Hydrokulturen in Wohnraumen. Weiter Optimalbereich bei der Ernährung. *Deutscher Gartenbau*.
26. Ming D. W. and F. A. Mumpton, 1989. Zeolites in soils. In: Dixon, J. B., and S. B. Weed (eds). *Minerals in Soil Environments*, 2<sup>nd</sup> edition. SSSA Book Series No. 1, Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI., USA.
27. Morard P., 1997. Possible use of ion selective electrodes for nutrient solutions in recirculated systems. In: Proc. 9<sup>th</sup> Internat. Congr. Soilless Culture, Jersey 1996. ISOSC, Wageningen, The Netherlands, 1996.
28. Olympios, C.M., 1992. Soilless media under protected cultivation: rockwool, peat, perlite and other substrates. *Acta Hort.*
29. Perfect T., 1759. *The Practice of Gardening*. Baldwin, London.
30. Poole R. T., C. A. Conover and J. N. Joiner, 1981. Soils and potting mixtures. In: Joiner J. N. *Foliage Plant Production*. Prentice-Hall Inc., Englewood cliffs, N. J., USA.
31. Prasad M., 1997. Physical, chemical and biological properties of coir dust. *Acta Hort.*
32. Ravin M., A. Krasnovsky, S. Medina and R. Reuveni, 1998. assessment of various control strategies for recirculation of greenhouse effluents under semi-arid conditions. *J. Hort. Sci.*
33. Ravin M., Y. Chen and Y. Bar, 1986. Peat and peat substrates as growth media for container grown plants. In: Chen Y. and Y. Anvimelech. *Organic Matter in Modern Agriculture*. Martinus Nijhof/ Dr W. Junk Publ. Dordrecht, The Netherlands.
34. Rupp L. A. and L. M. Dudley, 1989. Iron availability in rockwool may affect rose nutrition. *Hort Sci.*

35. Schwartz M., 1968. guide to Commercial Hydroponics. Israel Universities Press, Jerusalem.
36. Sherman J. D., 1999. Synthetic zeolites and other microporous oxide molecular sieves. Proc. Nat. Acad. Sci. USA.
37. Silber A., B. Bar-Yosef, A. Singer and Y. Chen, 1994. Mineralogical and chemical composition of three tuffs from northern Israel. Geoderma.
38. Smith D. L., 1987. Rockwool in Horticulture. Grower Books, London, U.K.
39. Soffer H. and D. Levinger, 1980. The Ein-Gedi system-research and development of a hydroponic system. In: Proc. 5<sup>th</sup> Internat. Congr. Soilless Culture. ISOSC, Wageningen.
40. Sonneveld C and N. Straver, 1994. Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates. 10<sup>th</sup> Edition. Serie: Voedingsoplossingen Glastuinbouw, No 8, P.B.G. Naaldwijk – P.B.G. Aalsmeer, the Netherlands.
41. Sonneveld C and W. Voogt, 1985. Studies on the application of iron to some glasshouse vegetables grown in soilless culture. Plant Soil.
42. Steiner A. A., 1976. Nomenclature with hydroponics. In: Proc. 4<sup>th</sup> Internat. Congr. Soilless Culture. IWOSC, Wageningen.
43. Unver I., Y. Ataman, M. R. Canga and N. Munsuz, 1989. Buffering capacities of some mineral and organic substrates. Acta Hort.
44. Van Os E. A. and J. C. G. Kuiken, 1984. Mechanisation of Lettuce Growing in Nutrient Film Technique. In: Proc. 6<sup>th</sup> Internat. Congr. Soilless Culture. IWOSC, Wageningen.
45. Verdonck O., D. de Vieschauwer and R. Penninck, 1983. Cocofibre dust, a new growing medium for plants in the tropics. Acta Hort.
46. Verwer F. L., 1976. Growing horticultural crops in rockwool and nutrient film. Proc. 4<sup>th</sup> Internat. Congr. Soilless Culture. ISOSC, Wageningen, The Netherlands.
47. Von Post L., 1937. The geographical survey of Irish bogs. Irish Nat. J..
48. Waisel Y., 1996. Aeroponics: a tool for root research. In: Waisel Y., A. Eshel and U. Kafkafi. Plant Roots. The Hidden Half. 2<sup>nd</sup> Ed., Marcel Dekker, Inc., New York.
49. Wever G. and A. A. van Leeuwen, 1995. Measuring mechanical properties of growing media and the influence of cucumber cultivation on these properties. Acta Hort..
50. Winsor G. W., R. G. Hurd and D. Price, 1979. Nutrient Film Technique. Glasshouse Crops Research Institute, Littlehampton. Also, an extended 2<sup>nd</sup> edition (1985).

51. Wooldridge J., 1719. *Systema Horti-culturae or The Art of Gardening*. Freeman, London, U.K..
52. Yau P. Y. and R.J. Murphy, 2000. Biodegraded cocopeat as a horticultural substrate. *Acta Hort.*
53. Zekki H., L. Gauthier and A. Gosselin, 1996. Growth, productivity and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*

**Διευθύνσεις στο διαδίκτυο.**

1. [www.Agricultural Libraries](http://www.Agricultural Libraries).
2. [www.Agricultural Universities](http://www.Agricultural Universities).
3. [www.ozflores.com.au/associat.htm](http://www.ozflores.com.au/associat.htm)