

**ΑΡΔΕΥΣΗ
ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

Εισαγωγικές έννοιες

- Η άρδευση συνδέεται με την λίπανση (θρεπτικό διάλυμα)
- Στις υδροκαλλιέργειες η παροχή θρεπτικού διαλύματος είναι συνεχής
- Στις καλλιέργειες σε υποστρώματα εφαρμόζονται πολλά ποτίσματα μικρής διάρκειας
- Αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (L/kg ή kg/L)

Μέθοδοι άρδευσης υδροπονικών καλλιεργειών

Άρδευση υδροκαλλιεργειών (καλλιέργειες χωρίς τη χρήση υποστρώματος)



Κατά κανόνα η παροχή θρεπτικού διαλύματος (Θ.Δ.) στη ρίζα είναι συνεχής

Άρδευση υδροπονικών καλλιεργειών σε υποστρώματα



Κατά κανόνα η παροχή θρεπτικού διαλύματος στη ρίζα είναι διακοπτόμενη. Εφαρμόζονται μικρής διάρκειας ποτίσματα με μεγάλη συχνότητα (περισσότερα από ένα πότισμα ανά ημέρα)

Μέθοδοι άρδευσης υδροκαλλιέργειών

Άρδευση υδροκαλλιέργειών με συνεχή ροή διαλύματος




Άρδευση υδροκαλλιέργειών σε στάσιμο διάλυμα



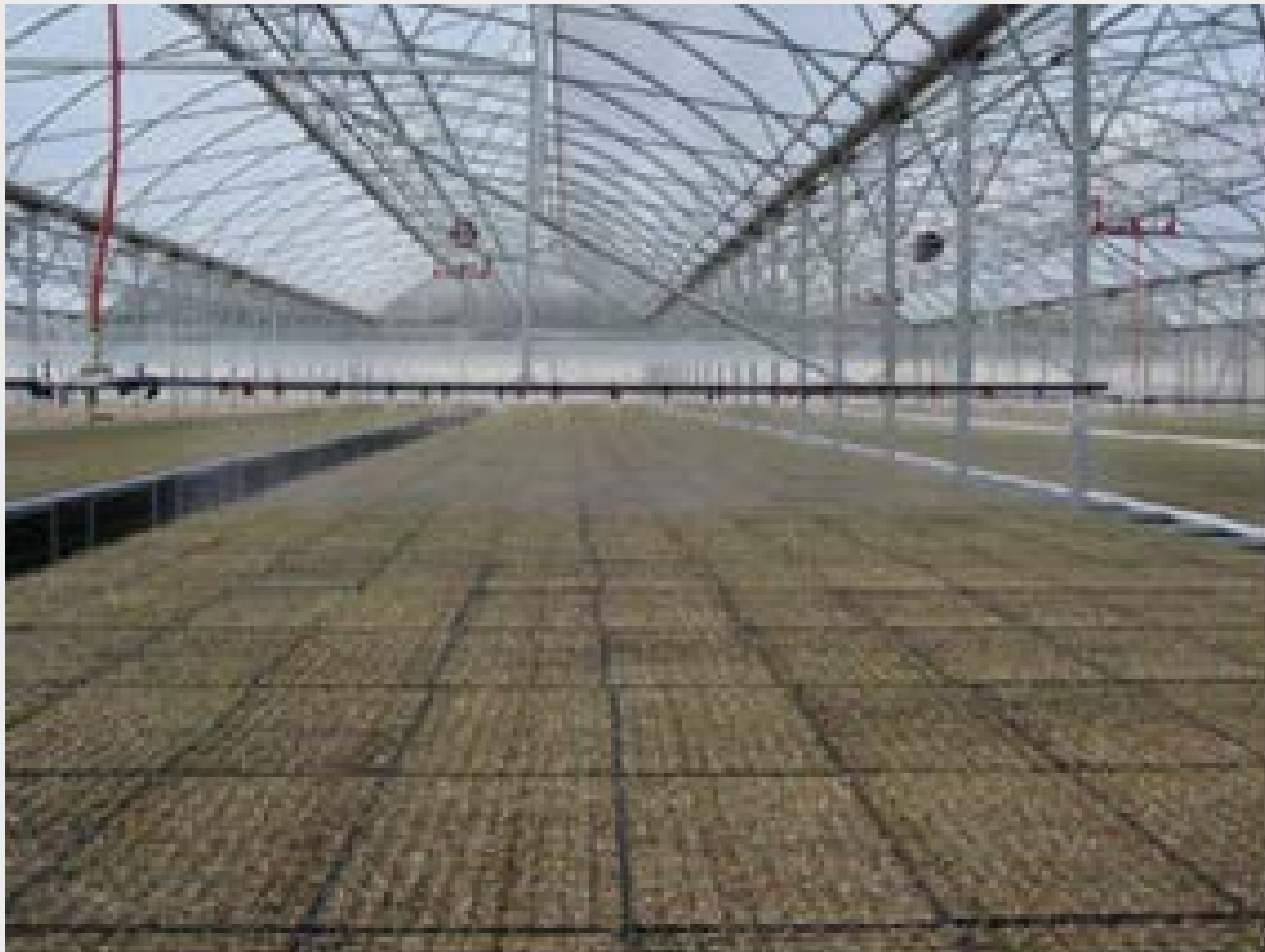
Άρδευση με ψεκασμό των ριζών με Θ.Δ. (αεροπονία)



Μέθοδοι άρδευσης υδροπονικών καλλιεργειών σε υποστρώματα

- **Άρδευση με καταιονισμό από πάνω (Boom system)**
 - **Άρδευση με σταγόνα**
 - **Επιδαπέδια άρδευση με μικροκαταιονιστήρες**
 - **Άρδευση με κατάκλυση από κάτω και αποστράγγιση**
- 

Άρδευση με καταιονισμό από πάνω (Boom system) σε φυτώριο



Αυτή η μέθοδος άρδευσης εφαρμόζεται σε καλλιέργειες με υψηλή πυκνότητα φυτών (φυτώρια, υδροπονικές καλλιέργειες φυλλωδών λαχανικών)

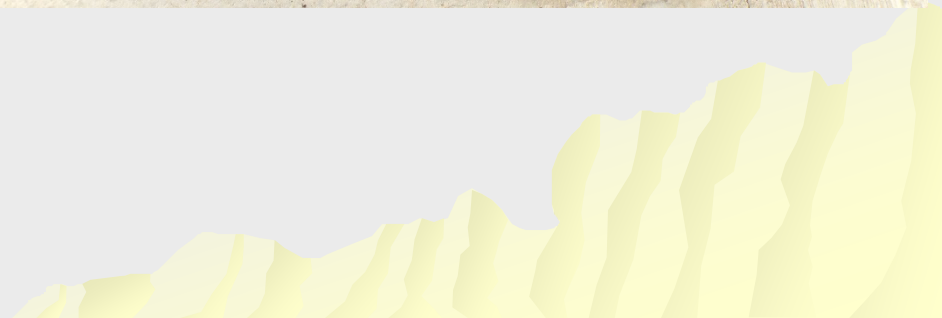
Άρδευση με σταγόνα

- ◆ Είναι η μέθοδος άρδευσης που κυριαρχεί σήμερα στις καλλιέργειες κηπευτικών σε υποστρώματα.
- ◆ Σε κάθε γραμμή ή ζεύγος γραμμών φυτών υπάρχουν πλευρικοί αγωγοί άρδευσης με σταλάκτες, μέσω των οποίων γίνεται η διανομή του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά.
- ◆ Όταν τα φυτά καλλιεργούνται σε υπόστρωμα τοποθετημένο σε σάκους, γλάστρες ή άλλου είδους φυτοδοχεία, οι σταλάκτες συνήθως είναι μικροσωλήνες (spaghetti tubes) στερεωμένοι πάνω στους αγωγούς των γραμμών άρδευσης.
- ◆ Όταν το υπόστρωμα είναι τοποθετημένο χύδην μέσα σε κανάλια ή λεκάνες καλλιέργειας, είναι δυνατή η χρήση σταλακτηφόρων σωλήνων ή σωλήνων με σταλάκτες στερεωμένους πάνω τους.

Σταλάκτες τύπου μικροσωλήνα στερεωμένοι στο υπόστρωμα (κόκος) με ειδικές καρφίτσες οι οποίες φέρονται στο στόμιο εκροής του θρεπτικού διαλύματος



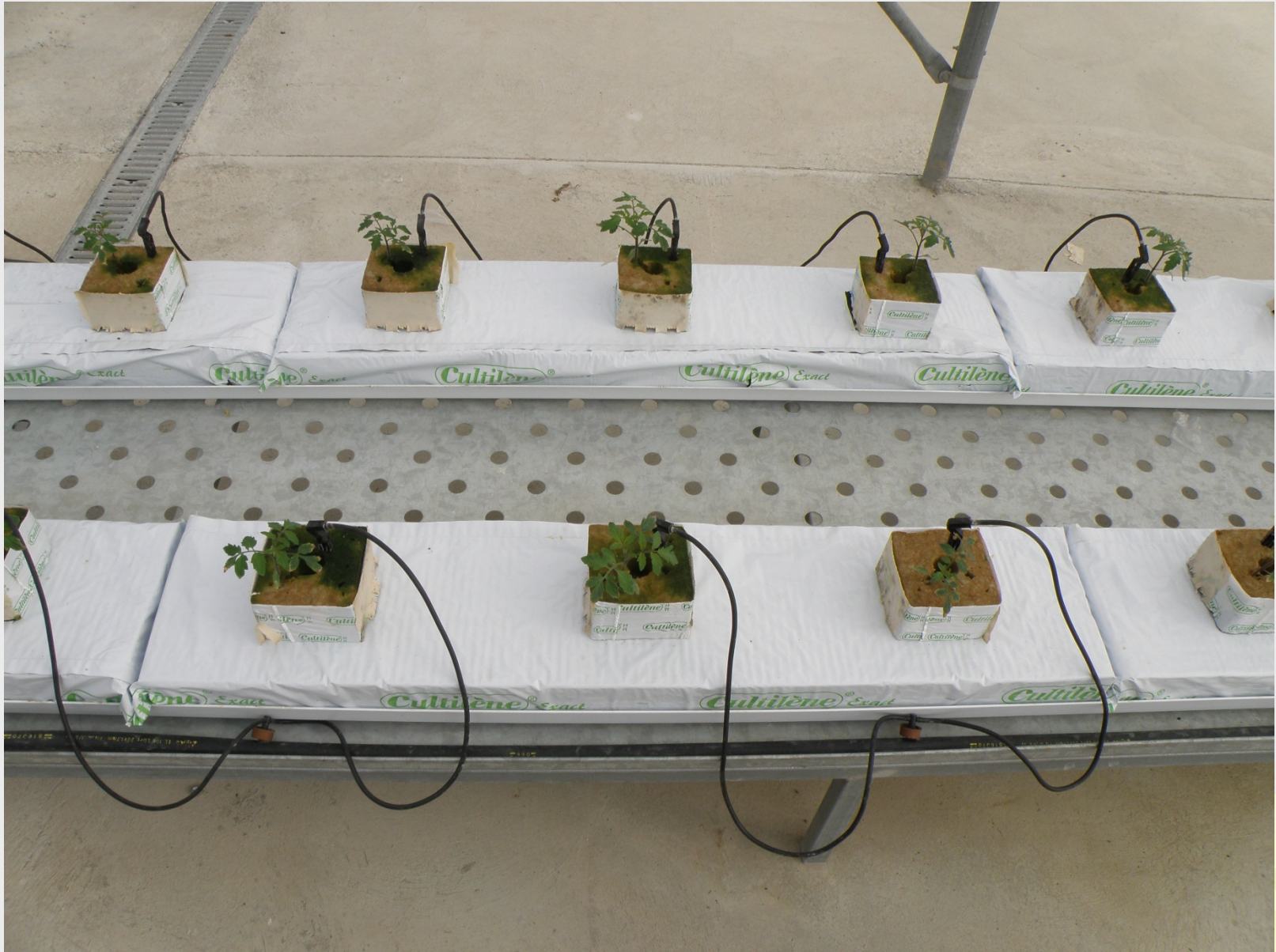
Άρδευση με σταλακτηφόρους σωλήνες που φέρουν σταλάκτες στερεωμένους πάνω τους σε καλλιέργειες σε υπόστρωμα που είναι τοποθετημένο χύδην μέσα σε κανάλια ή λεκάνες καλλιέργειας



Τομάτα καλλιεργούμενη σε πετροβάμβακα και αρδευόμενη με σταλάκτες τύπου μικροσωλήνα



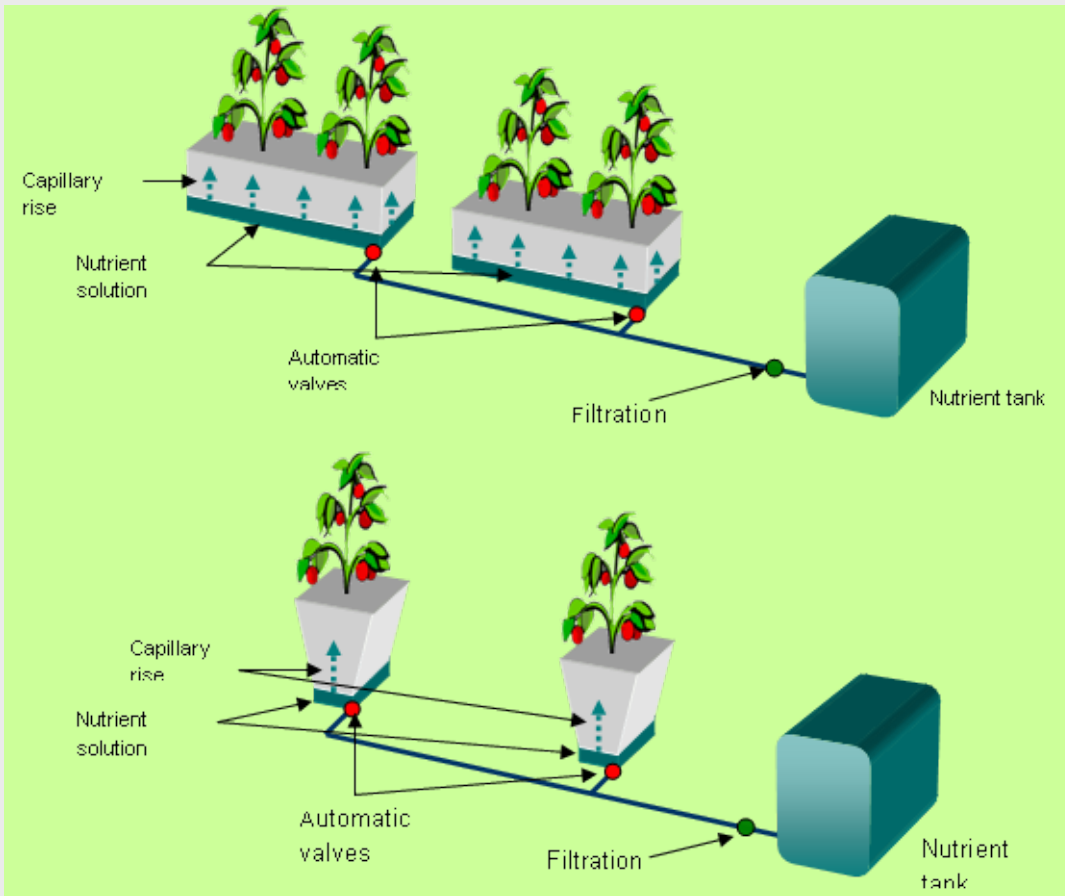
Σύστημα άρδευσης με σταλάκτες τύπου μικροσωλήνα



Επιδαπέδια άρδευση με μικροκαταιονιστήρες (μικροεκτοξευτήρες)

- ◆ Επιδαπέδια άρδευση με μικροεκτοξευτήρες (micro-spray emitters) εφαρμόζεται σε καλλιέργειες σε υποστρώματα τοποθετημένα είτε σε φυτοδοχεία (γλάστρες, κ.λπ.) είτε σε κανάλια, όταν η πυκνότητα φύτευσης είναι πολύ υψηλή.
- ◆ Συνήθως οι μικροκαταιονιστήρες έχουν παροχή $15 - 40 \text{ L h}^{-1}$ και φέρονται πάνω σε πλαστικούς σωλήνες τοποθετημένους επιδαπέδια κατά μήκος των γραμμών των φυτών.
- ◆ Ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας και την εκάστοτε πυκνότητα φύτευσης, ένας σωλήνας άρδευσης που φέρει μικροκαταιονιστήρες μπορεί να τροφοδοτεί με θρεπτικό διάλυμα μία ή περισσότερες γραμμές φυτών.
- ◆ Γενικά η εφαρμογή αυτής της μεθόδου άρδευσης δεν είναι συνηθισμένη υδροπονικές καλλιέργειες σε υποστρώματα.

Άρδευση με κατάκλυση από κάτω και αποστράγγιση



Καθώς το θρεπτικό διάλυμα εισέρχεται από τον πυθμένα του υποδοχέα και κινείται προς τα πάνω, κατακλύζει όλους τους πόρους μέχρι το ύψος στο οποίο φτάνει η εξωτερική στάθμη του.

Ένα μέρος του θρεπτικού διαλύματος όμως ανυψώνεται πιο πάνω από την εξωτερική στάθμη μέσω του τριχοειδούς δικτύου που σχηματίζουν οι πόροι του υποστρώματος.

Μειονέκτημα: Η τριχοειδής ανύψωση του νερού μεταφέρει άλατα προς τα πάνω, χωρίς να λαμβάνει χώρα αντίστοιχη κίνηση νερού προς τα κάτω, με συνέπεια τα άλατα αυτά να μην ξεπλένονται από το ριζόστρωμα.

Γι' αυτό αυτή η μέθοδος άρδευσης συνιστάται μόνο όταν το διαθέσιμο αρδευτικό νερό έχει πολύ μικρή περιεκτικότητα σε άλατα.

Χαρακτηριστικά συστήματος άρδευσης

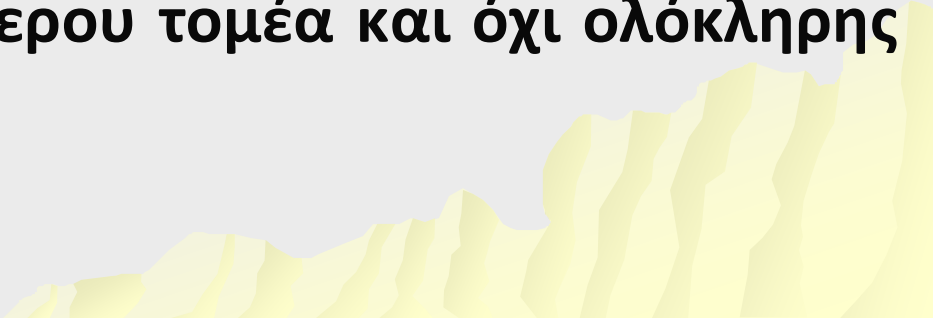
- ◆ Δυναμικότητα συστήματος άρδευσης
- ◆ Ομοιομορφία συστήματος άρδευσης
- ◆ Διάταξη συστήματος άρδευσης



Δυναμικότητα συστήματος άρδευσης

- ◆ Γενικά η δυναμικότητα ενός συστήματος άρδευσης ισούται με την μέγιστη παροχή του, δηλαδή τον μέγιστο όγκο Θ.Δ. που μπορεί να παράσχει στα φυτά ανά μονάδα χρόνου.
- ◆ Σε μία δεδομένη καλλιέργεια όμως, η δυναμικότητα του συστήματος άρδευσης εκφράζεται από τον μέγιστο αριθμό φυτών ή την μέγιστη έκταση θερμοκηπίου που μπορεί να τροφοδοτείται ταυτόχρονα με θρεπτικό διάλυμα.
- ◆ Κατά κανόνα η παροχή ενός συστήματος άρδευσης εξαρτάται από την ισχύ της αντλίας άρδευσης.

Δυναμικότητα συστήματος άρδευσης

- ◆ Η μέγιστη παροχή της αντλίας εξαρτάται από την ισχύ της, το μανομετρικό ύψος ανύψωσης του Θ.Δ. και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου άρδευσης που καθορίζουν τις απώλειες πίεσης.
 - ◆ Κατά κανόνα, η καλλιέργεια χωρίζεται σε επιμέρους τομείς (στάσεις άρδευσης) οι οποίοι ποτίζονται διαδοχικά.
 - ◆ Συνεπώς, η μέγιστη παροχή της αντλίας και άρα και η δυναμικότητα του συστήματος άρδευσης πρέπει να επαρκεί για την άρδευση του μεγαλύτερου τομέα και όχι ολόκληρης της καλλιέργειας ταυτόχρονα.
- 

Ομοιομορφία παροχής νερού

Η ομοιομορφία παροχής νερού από ένα σύστημα άρδευσης εκφράζεται μέσω του **συντελεστή ομοιομορφίας**.

$$Q = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - A|}{nA}$$

Όπου:

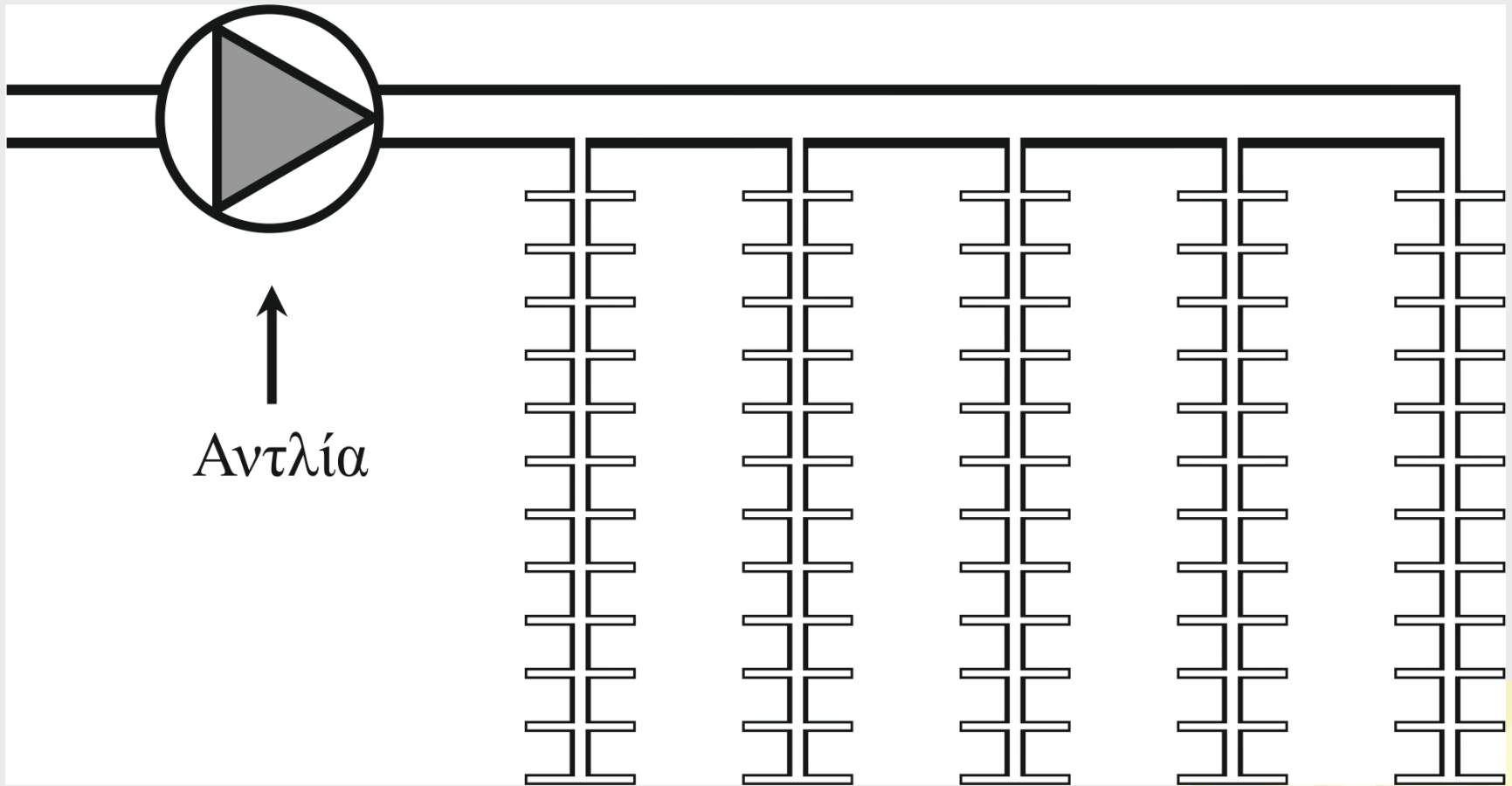
x ο ρυθμός παροχής νερού στο i^{th} από τα n φυτά - δείγματα,

A Ο μέσος ρυθμός παροχής νερού όλων των φυτών δειγμάτων.

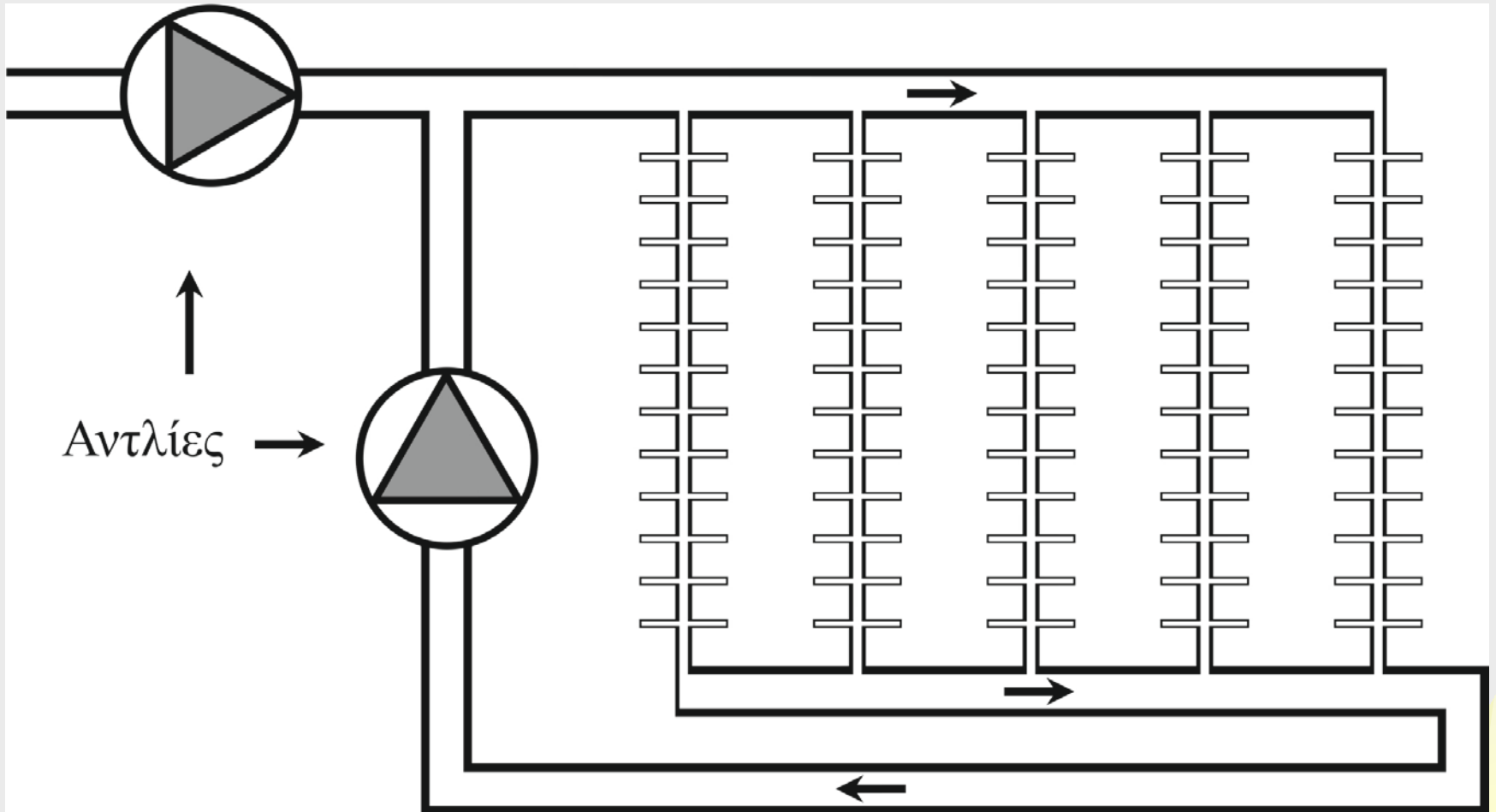
Ο συντελεστής ομοιομορφίας (Q) είναι ένα αδιάστατο μέγεθος, το οποίο δεν εξαρτάται από τον ρυθμό παροχής νερού (συνήθως $l\ h^{-1}$) και κυμαίνεται μεταξύ 0 – 1.

Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής ομοιομορφίας τόσο πιο ομοιόμορφη είναι η παροχή νερού στα φυτά σε μία καλλιέργεια.

Κλασικός τρόπος εγκατάστασης ενός συστήματος στάγδην άρδευσης



Συνδεσμολογία συστήματος άρδευσης σύμφωνα με το σύστημα Tichelmann



Διάρκεια εφαρμογής άρδευσης

Σε κάθε εφαρμογή άρδευσης, στα φυτά πρέπει να παρέχεται ποσότητα νερού ίση με αυτή που καταναλώθηκε από τα φυτά ή απωλέσθηκε λόγω απορροής ή εξάτμισης στο μεσοδιάστημα μεταξύ δύο ποτισμάτων.

Πότισμα (γέμισμα)



Άδειασμα σε ένα ελάχιστο προκαθορισμένο επίπεδο

Μεσοδιάστημα μεταξύ δύο ποτισμάτων



Νέο πότισμα



Υπολογισμός διάρκειας εφαρμογής άρδευσης

Ο χρόνος (T_i σε min) που πρέπει να διαρκεί κάθε κύκλος άρδευσης δίνεται από την σχέση:

$$T_i = \frac{60W_f V_s F}{(1 - a)R}$$

Όπου:

W_f είναι το ογκομετρικό κλάσμα του εύκολα διαθέσιμου νερού (τιμές από 0-1) με βάση την ΧΚΥ του υποστρώματος,


V_s είναι ο όγκος του υποστρώματος ανά φυτό σε L,

F είναι το κλάσμα του ΕΔΝ που ορίζεται ότι μπορεί καταναλώνεται πριν ξεκινήσει νέος κύκλος άρδευσης (τιμές από 0-1),

a είναι το επιδιωκόμενο κλάσμα απορροής (τιμές από 0-1) και

R είναι η παροχή των σταλακτών σε L h⁻¹.

Συχνότητα εφαρμογής άρδευσης

- ◆ Άρδευση με προκαθορισμένη συχνότητα
 - ◆ Άρδευση με βάση την υγρασία στο υπόστρωμα
 - ◆ Άρδευση με βάση την ηλιακή ενέργεια
 - ◆ Άρδευση με προσομοίωση της διαπνοής
 - ◆ Άρδευση με αισθητήρες μέτρησης φυσιολογικών παραμέτρων φυτού
- 


Έναρξη εφαρμογής άρδευσης

Η έναρξη και η λήξη ενός κύκλου άρδευσης γίνεται αυτόματα με άνοιγμα και κλείσιμο της παροχής Θ.Δ. μέσω ηλεκτροβαλβίδων (ηλεκτροβάνες).

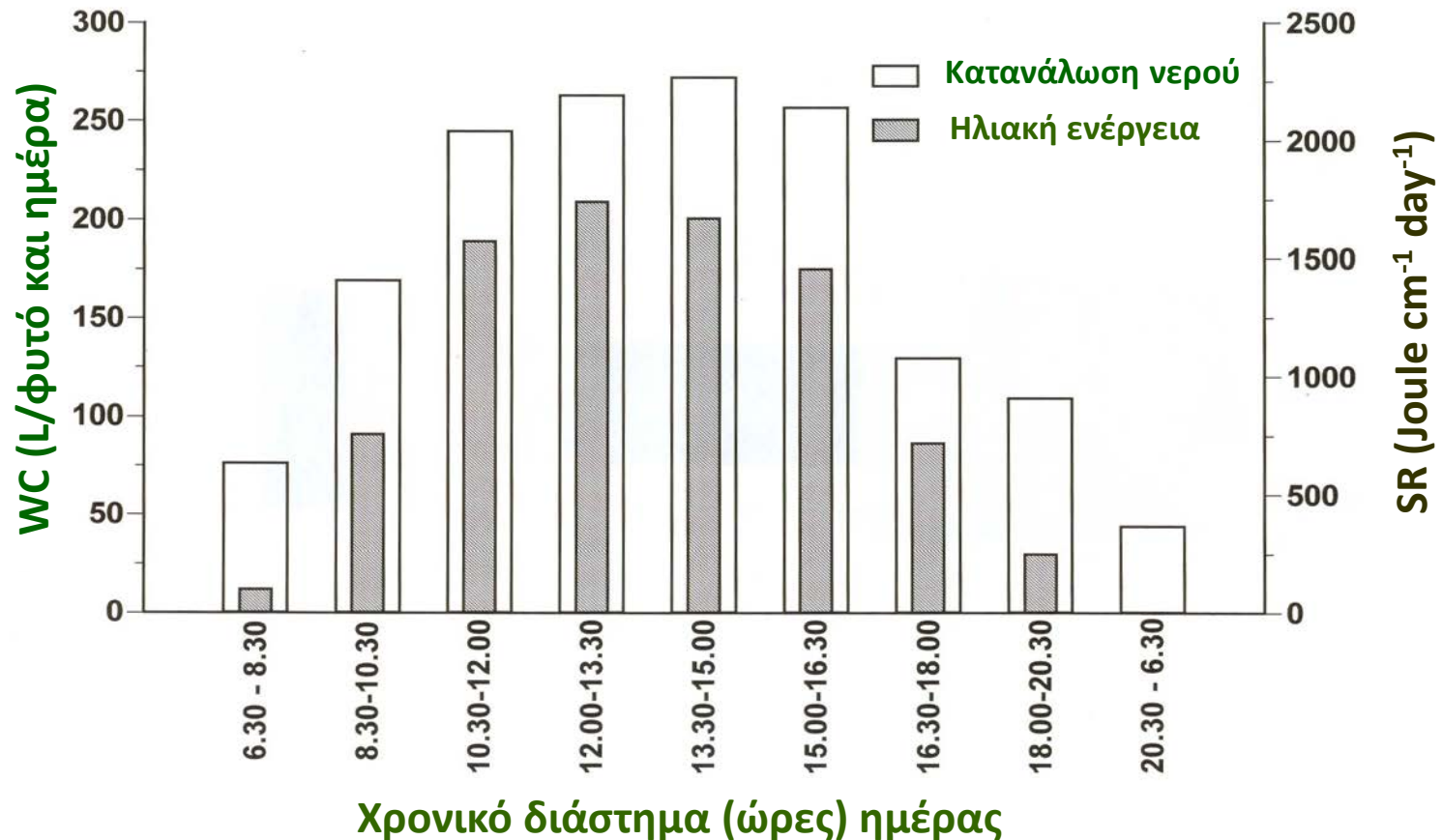


Οι εντολές για άνοιγμα και κλείσιμο των ηλεκτροβαλβίδων δίνονται αυτόματα από προγραμματιστή άρδευσης ή Η/Υ εφοδιασμένο με κατάλληλο λογισμικό.

Άρδευση με προκαθορισμένη συχνότητα

- ◆ Εφαρμόζεται μόνο όταν δεν υπάρχει δυνατότητα περαιτέρω αυτοματοποίησης
 - ◆ Πιο συχνό πότισμα τις μεσημβρινές ώρες
 - ◆ Πιο συχνό πότισμα την θερμή εποχή του έτους
- 

Ρυθμός απορρόφησης νερού (WC) καθώς και ρυθμός πρόσπτωσης ηλιακής ενέργειας (SR) σε μία υδροπονική καλλιέργεια τομάτας στη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου



Άρδευση με βάση την υγρασία στο υπόστρωμα

◆ Άρδευση με μέτρηση:

– Της τάσης του νερού (ψ)

– Της περιεκτικότητας του υποστρώματος

σε νερό (θ)



Έλεγχος με βάση το ψ: Τασίμετρα

Τα τασίμετρα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο όχι μόνο της συχνότητας αλλά και της διάρκειας των κύκλων άρδευσης



Έλεγχος με βάση το θ : Αισθητήρες FDR ή TDR

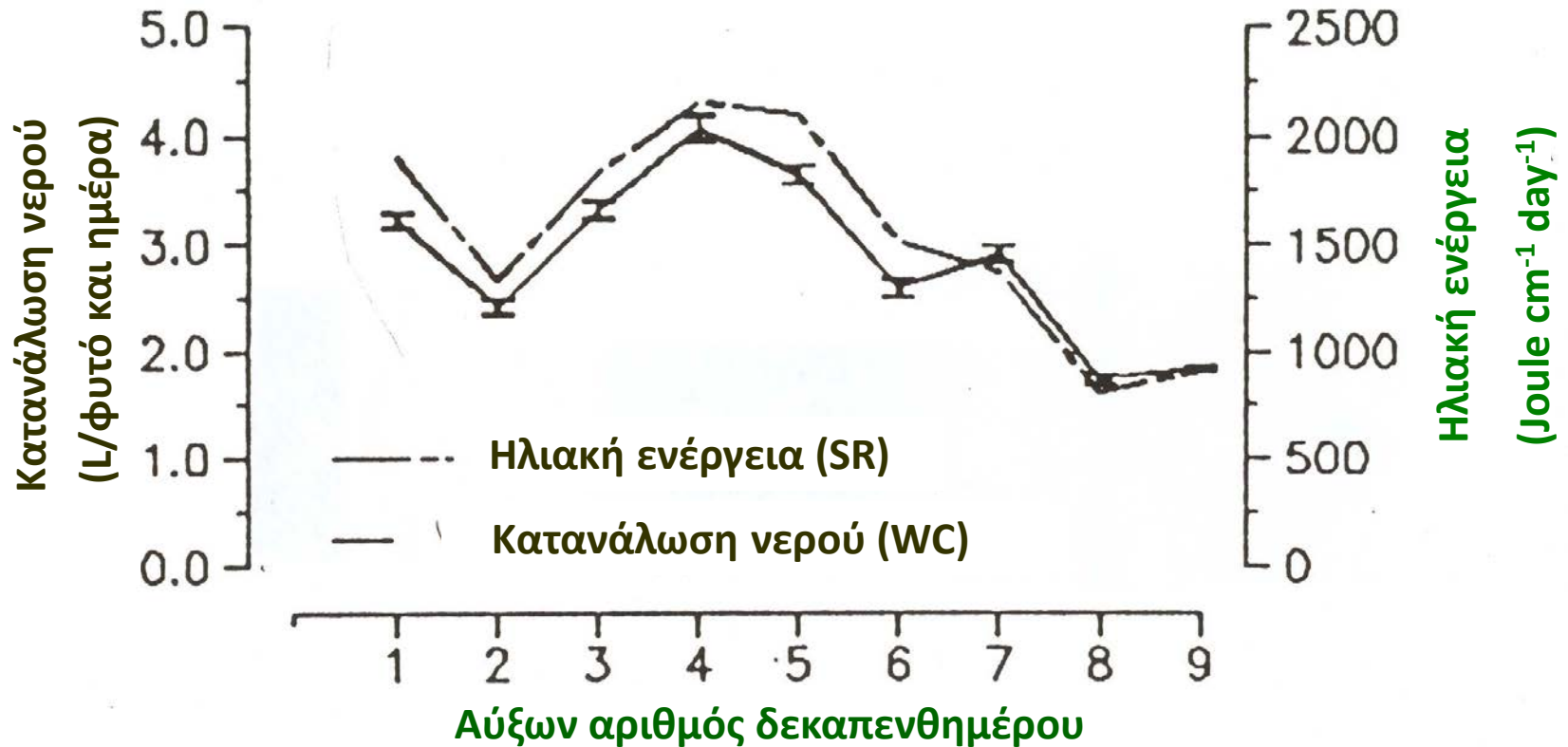


Άρδευση σε συσχέτιση με την ηλιακή ενέργεια

Μέτρηση έντασης της ηλιακής ενέργειας που δέχονται τα φυτά με πυρανόμετρο και υπολογισμός της ποσότητας ηλιακής ενέργειας ανά ημέρα με ολοκληρήρωση στο χρόνο



Σχέση ηλιακής ακτινοβολίας και κατανάλωσης νερού



Πυρανόμετρο τοποθετημένο πάνω από την καλλιέργεια στο εσωτερικό του θερμοκηπίου το οποίο χρησιμεύει στον αυτόματο έλεγχο της συχνότητας άρδευσης



Μηχανισμός αυτόματης έναρξης της άρδευσης με βάση την ποσότητα ηλιακής ενέργειας που δέχεται η καλλιέργεια

Η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια ανά μονάδα καλλιεργούμενης επιφάνειας (J m^{-2}) καταγράφεται από ένα πυρανόμετρο και οι τιμές μεταφέρονται σε Η/Υ εφοδιασμένο με κατάλληλο λογισμικό.

Όταν η αθροιστική ηλιακή ενέργεια φτάσει σε μία συγκεκριμένη τιμή αναφοράς (τιμή ενεργοποίησης άρδευσης: TEA) που έχει ορίσει ο παραγωγός, ο προγραμματιστής άρδευσης δίνει αυτόματα εντολή έναρξης παροχής θρεπτικού διαλύματος στην καλλιέργεια.

Παράλληλα ο προγραμματιστής άρδευσης μηδενίζει την αθροιστική ηλιακή ενέργεια και αρχίζει να την αθροίζει ξανά μέχρι να φτάσει και πάλι την TEA, οπότε δίνεται ξανά εντολή για παροχή θρεπτικού διαλύματος στην καλλιέργεια, κ.ο.κ.

Ρύθμιση ΤΕΑ

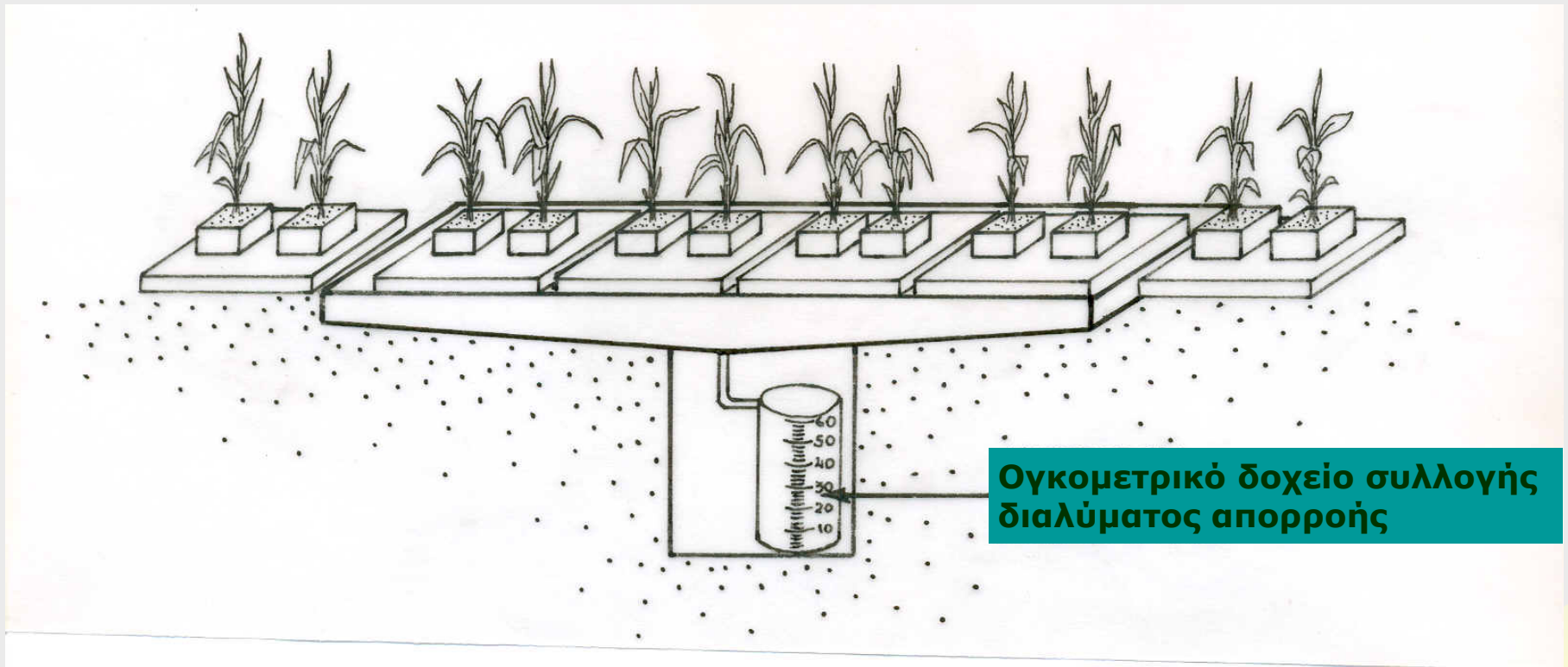
Όταν ξεκινά μία νέα καλλιέργεια και τα φυτά είναι μικρά, ο παραγωγός, ορίζει ως ΤΕΑ μία σχετικά μεγάλη τιμή της τάξεως των $500 - 750 \text{ Wh m}^{-2}$ ($1800 - 2700 \text{ KJ m}^{-2}$).

Στην πορεία της καλλιέργειας και καθώς τα φυτά μεγαλώνουν, η ΤΕΑ μειώνεται τακτικά (π.χ. κάθε εβδομάδα).

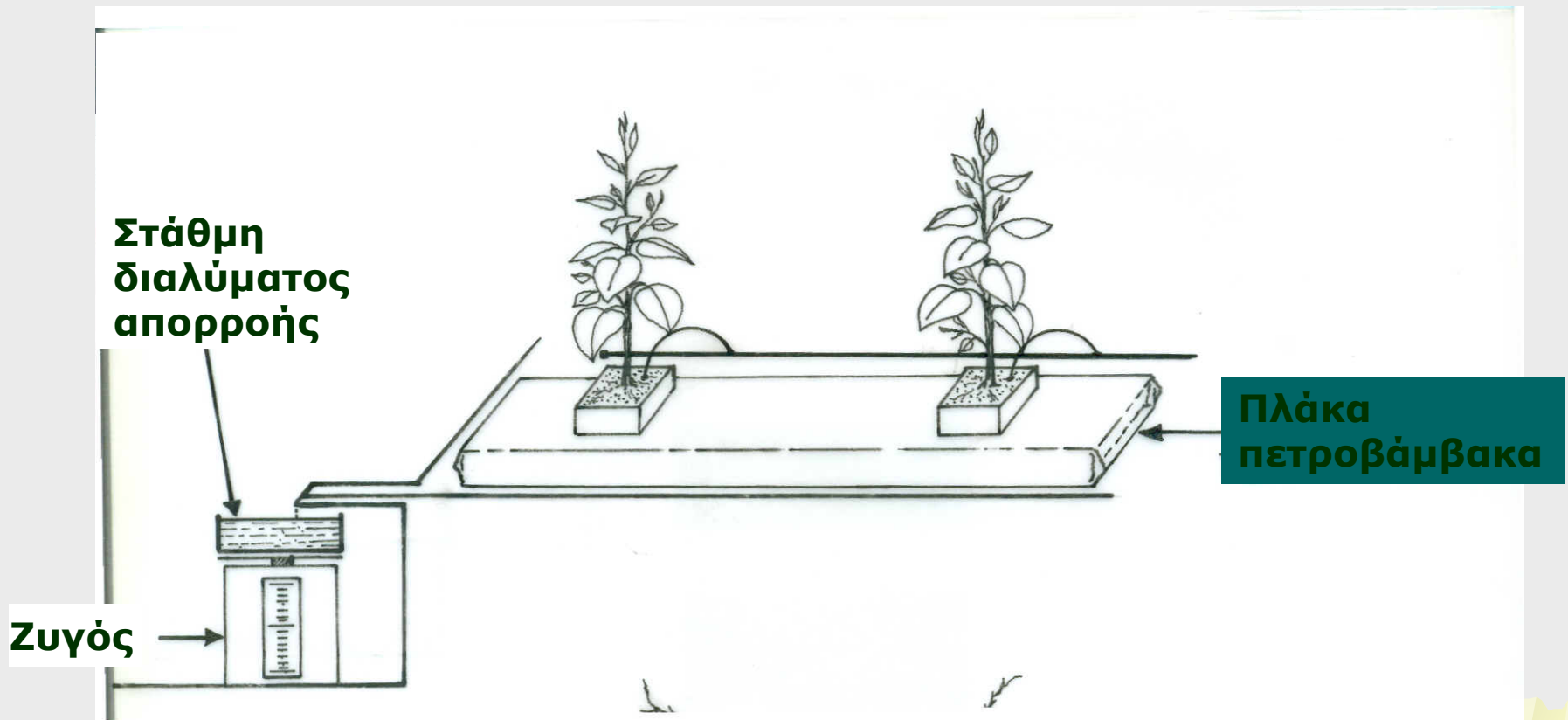
Στις καλλιέργειες τομάτας συνιστώνται τιμές της τάξεως των 225 Wh m^{-2} (810 KJ m^{-2}) στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Η αναπροσαρμογή της ΤΕΑ δεν πρέπει να γίνεται στα τυφλά αλλά κατόπιν ελέγχου του κλάσματος απορροής.

Σύστημα συλλογής και μέτρησης του όγκου του διαλύματος απορροής τοποθετημένο κάτω από μία ομάδα υποδοχέων υποστρώματος



Σύστημα καταγραφής όγκου διαλύματος απορροής σε πραγματικό χρόνο μέσω ειδικού ζυγού



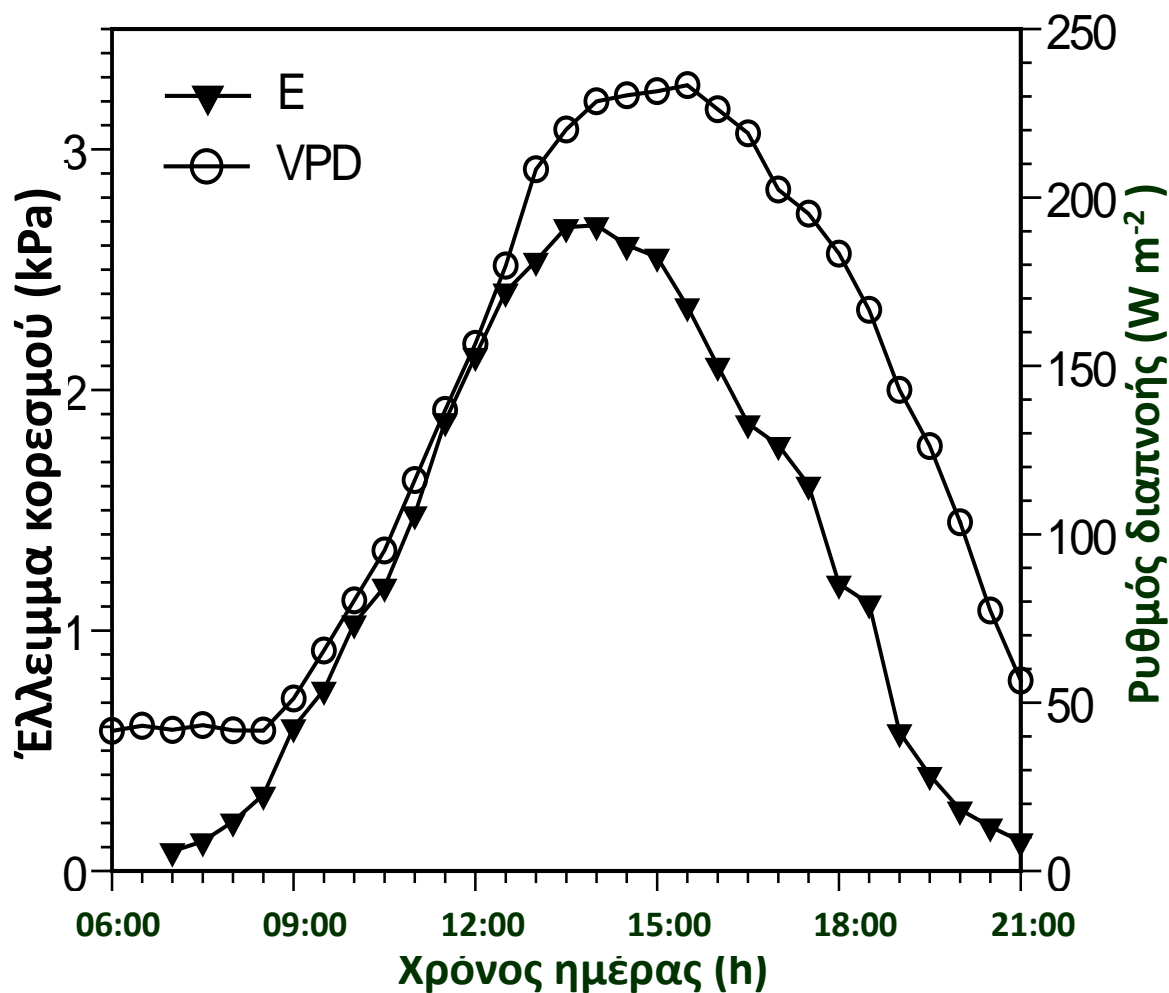
Σύστημα καταγραφής του κλάσματος απορροής σε πραγματικό χρόνο μέσω ροομέτρου και ηλεκτρονικής καταγραφής του όγκου του διαλύματος απορροής



Άρδευση με προσομοίωση διαπνοής



Μεταβολή του ρυθμού διαπνοής (E) σε μία υδροπονική θερμοκηπιακή καλλιέργεια πιπεριάς καθώς μεταβάλλεται το έλλειμμα κορεσμού (VPD) στην διάρκεια μίας ζεστής θερινής ημέρας με αίθριο καιρό.



Μετεωρολογικός σταθμός τοποθετημένος στην οροφή του θερμοκηπίου για καταγραφή και διαβίβαση κλιματικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στο σύστημα αυτόματου ελέγχου της άρδευσης



Τυπικό μοντέλο εκτίμησης της εξατμιδιαπνοής σε μία καλλιέργεια θερμοκηπίου

Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή (mm day^{-1}) μίας θερμοκηπιακής καλλιέργειας (ET_c) μπορεί να εκτιμηθεί μέσω της εξίσωσης:

$$ET_c = A[1 - \exp(-K * LAI)]G + B * LAI * D$$

όπου:

A, B : παράμετροι που σχετίζονται με τα ειδικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, από τους οποίους ο A είναι αδιάστατος ενώ ο B μετράται σε $\text{W m}^{-2} \text{kPa}^{-1}$,

K : συντελεστής εξασθένησης της έντασης του φωτός που σχετίζεται με τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI),

LAI : έκταση επιφάνειας φύλλων ανά μονάδα έκτασης εδάφους,

G : κοσμική ακτινοβολία ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$),

D : έλλειμμα πίεσης υδρατμών στον αέρα (kPa).

Υποδοχείς υποστρώματος (σάκοι καλυμμένοι με πλαστικό φύλλο) τοποθετημένοι πάνω σε μία ζυγαριά η οποία καταγράφει συνεχώς την απώλεια νερού από το υπόστρωμα λόγω της διαπνοής των φυτών με στόχο την αυτόματο έλεγχο της συχνότητας άρδευσης



Άρδευση με αισθητήρες μέτρησης φυσιολογικών παραμέτρων φυτού

Μέχρι σήμερα έχουν δοκιμαστεί αρκετά μορφολογικά ή φυσιολογικά χαρακτηριστικά φυτών τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες της υδατικής τους κατάστασης ή των υδατικών τους αναγκών.

Τα σημαντικότερα από αυτά είναι:

- η διάμετρος του βλαστού,
- το πάχος των φύλλων,
- η ροή του ανιόντος χυμού μέσω των αγγείων του ξύλου,
- η μέτρηση της στοματικής αγωγιμότητας,
- η ανακλαστικότητα των φύλλων σε ακτινοβολίες διαφόρων μηκών κύματος (π.χ. crop water stress index: CWSI).

Άρδευση με αισθητήρες μέτρησης φυσιολογικών παραμέτρων φυτού

Η ρύθμιση της συχνότητας της άρδευσης με αισθητήρες μέτρησης φυσιολογικών παραμέτρων (Φ.Π.) του φυτού παρουσιάζει δύο σημαντικά μειονεκτήματα:

- Συνήθως οι μεταβολές των Φ.Π. καθίστανται μετρήσιμες όταν τα φυτά αρχίζουν να υφίστανται υδατική καταπόνηση,
- Ακόμη και αν δώσουν εγκαίρως το μήνυμα ότι το φυτό χρειάζεται άρδευση, δεν παρέχουν ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με το ύψος των υδατικών αναγκών των φυτών.

Ειδικά στις υδροπονικές καλλιέργειες, η υδατική κατάσταση στο περιβάλλον των ριζών μεταβάλλεται ταχύτατα.

Συνεπώς, η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών στην καλλιεργητική πράξη παρουσιάζει αυξημένες δυσκολίες, οι οποίες τις καθιστούν πρακτικά μη εφαρμόσιμες με τα μέχρι σήμερα δεδομένα.