

Έλεγχος θρέψης σε κλειστά υδροπονικά συστήματα

Κλειστά υδροπονικά συστήματα

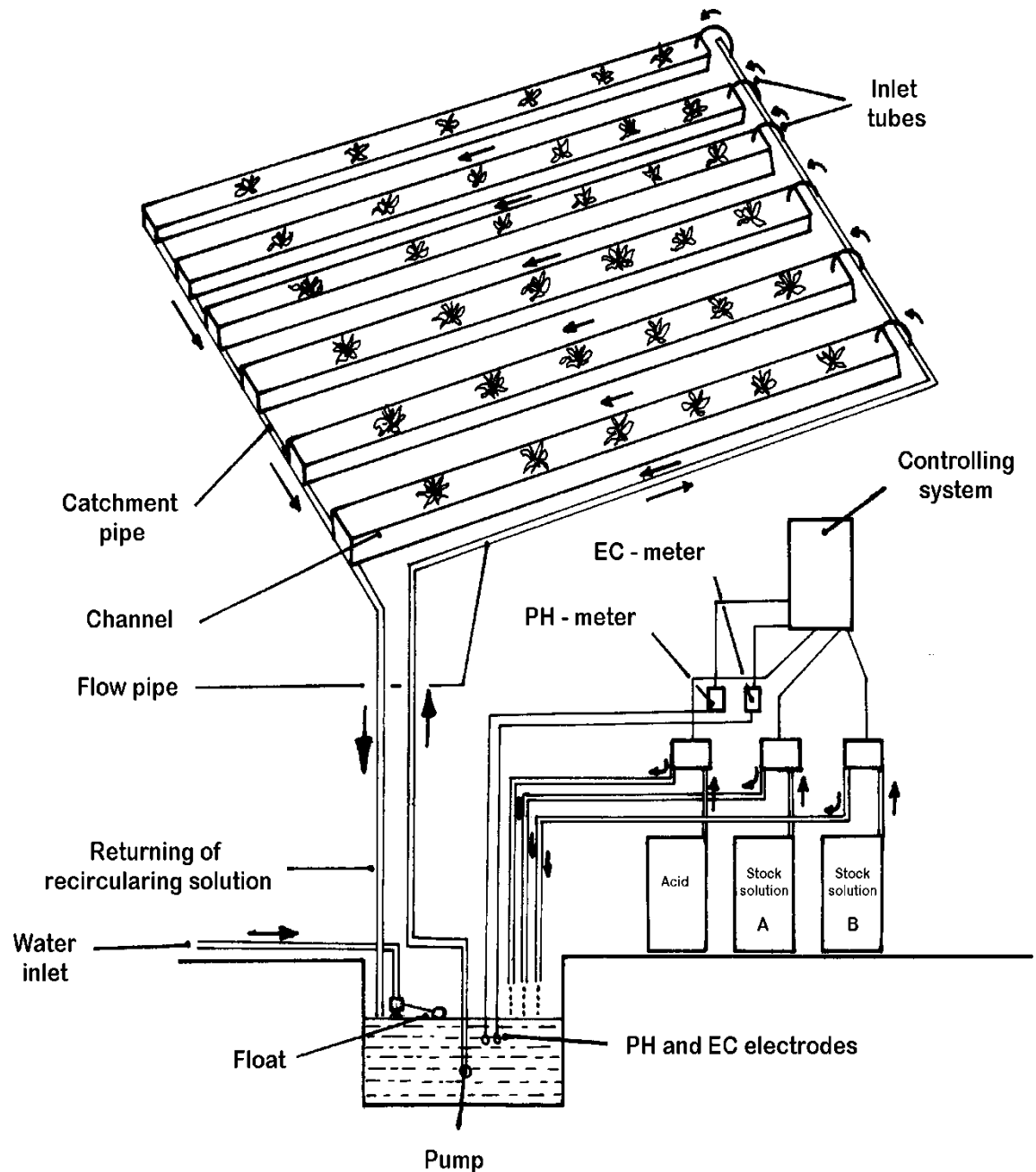
Πλεονεκτήματα

- Εξοικονόμηση λιπασμάτων και νερού
- Μείωση απορροής υπολειμμάτων λιπασμάτων (νιτρικά, φωσφορικά) στα επιφανειακά και υπόγεια νερά
- Δυνατότητα εφαρμογής φυτοφαρμάκων μέσω θρεπτικού διαλύματος

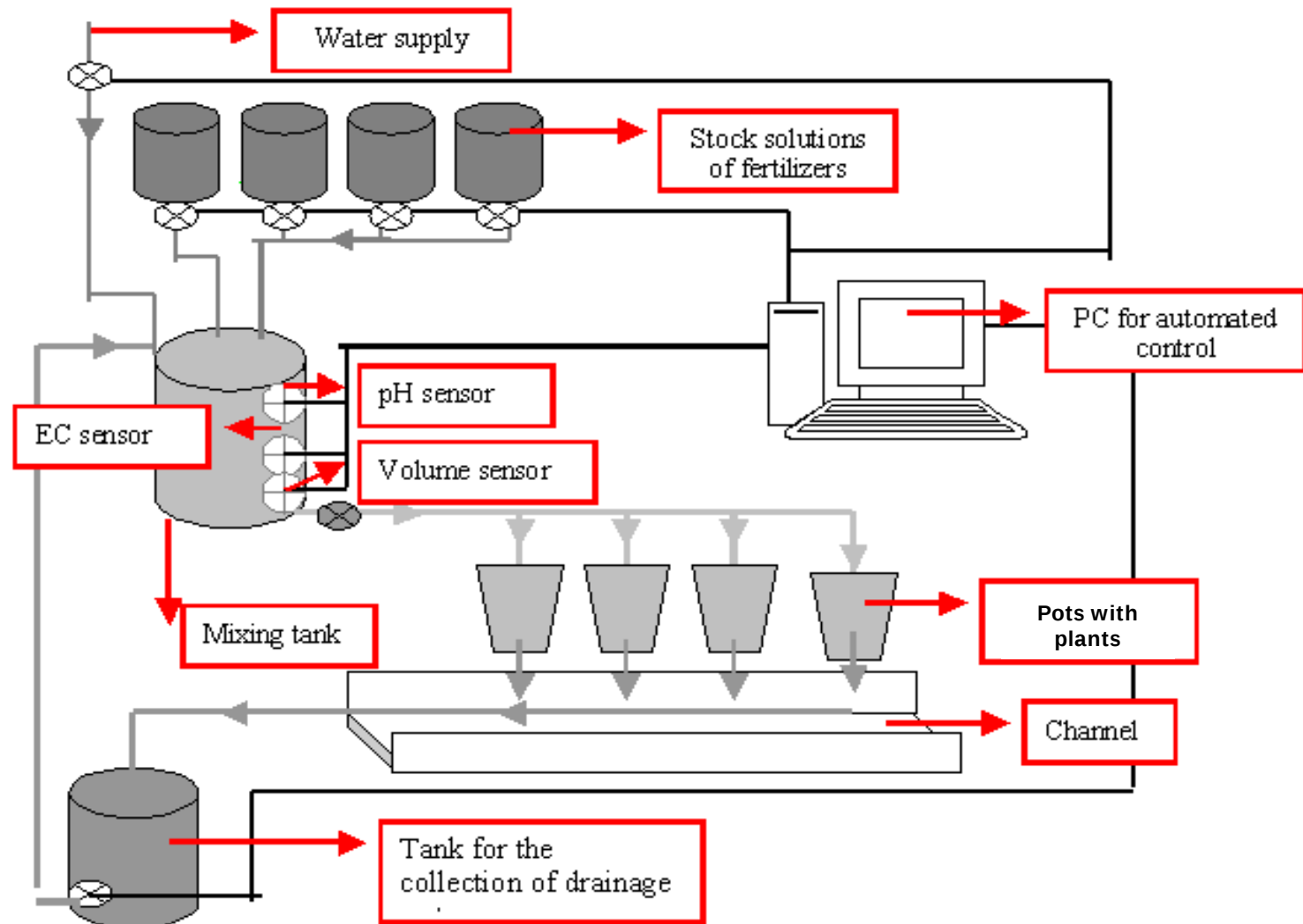
Συστήματα ανακύκλωσης

- **Συνεχής ανακύκλωση (επανακυκλοφορία)**
- **Συλλογή και ανακύκλωση απορροών (επαναλαμβανόμενα ποτίσματα μικρής διάρκειας)**

Σχηματική
αναπαράσταση
ενός
υδροπονικού
συστήματος με
αδιάλειπτη
επανακυκλοφορία
του θρεπτικού
διαλύματος



Σχηματική αναπαράσταση ενός υδροπονικού συστήματος με επαναλαμβανόμενα ποτίσματα μικρής διάρκειας



Ημερήσιος όγκος επαναχρησιμοποιούμενου διαλύματος απορροής σε μία καλλιέργεια τομάτας η οποία τροφοδοτείται με θρεπτικό διάλυμα μέσω συχνών, μικρής διάρκειας ποτισμάτων.

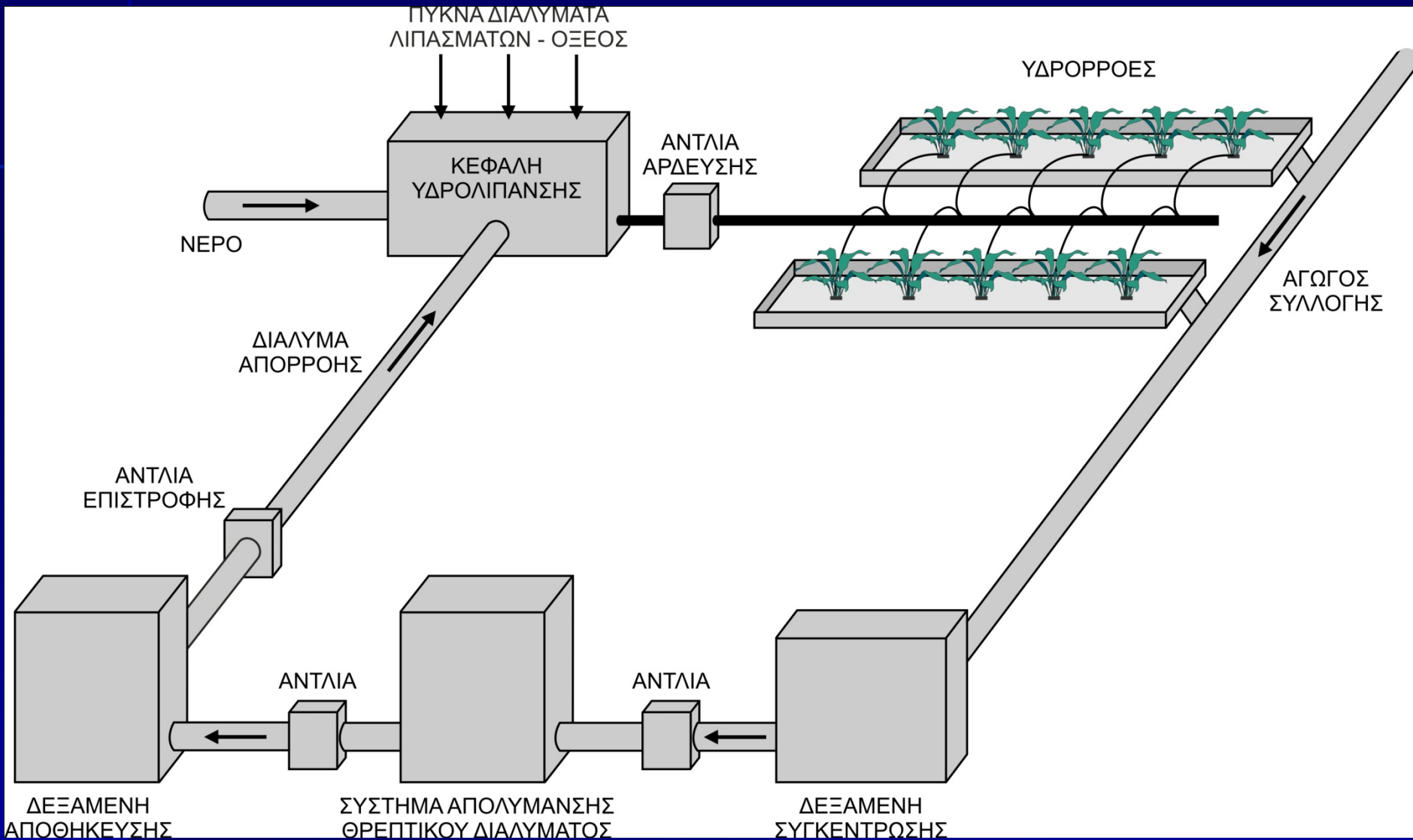
<i>Έκταση</i>	1,0 ha
<i>Συνολικός αριθμός φυτών</i>	25.000
<i>Παροχή θρεπτικού διαλύματος ανά φυτό & ημέρα</i>	4 L
<i>Συνολική ημερήσια παροχή θρεπτικού διαλύματος</i>	100 m ³
<i>Κλάσμα απορροής</i>	0.3 (30%)
<i>Συνολικός όγκος διαλύματος απορροής που ξαναχρησιμοποιείται ανά εκτάριο & ημέρα</i>	30 m ³

Ημερήσιος όγκος επαναχρησιμοποιούμενου διαλύματος απορροής σε μία καλλιέργεια τομάτας με συνεχή κυκλική κυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος

<i>Έκταση</i>	1,0 ha
<i>Συνολικός αριθμός φυτών</i>	25.000
<i>Αριθμός φυτών ανά m στο κανάλι</i>	2,5
<i>Συνολικό μήκος καναλιών</i>	10.000 m
<i>Μήκος ανά κανάλι</i>	25 m
<i>Αριθμός καναλιών</i>	400
<i>Παροχή θρεπτικού διαλύματος ανά κανάλι</i>	3,5 lit/min*
<i>Συνολικός όγκος θρεπτικού διαλύματος που παρέχεται στα φυτά ανά ημέρα</i>	2.016 m ³

*1140 min per day

Σχηματική απεικόνιση κλειστού συστήματος



Δυσκολίες που παρουσιάζει η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος

- **Η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος μπορεί να οδηγήσει και σε ανακύκλωση παθογόνων**
- **Η σύνθεση του διαλύματος απορροής μεταβάλλεται σημαντικά σε σύγκριση με το διάλυμα τροφοδοσίας**

Ορισμοί για EC

E_t : EC στο διάλυμα τροφοδοσίας

E_r : EC στο διάλυμα ριζοστρώματος

E_d : EC στο διάλυμα απορροής

E_m : EC στο μίγμα νερού - διαλύματος απορροής

E_u : EC απορρόφησης

E_f : EC οφειλόμενη στην προσθήκη λιπασμάτων

$$E_r = (E_t + E_d) / 2$$

Ορισμοί συγκεντρώσεων

C_{it} : Συγκέντρωση στο διάλυμα τροφοδοσίας

C_{ir} : Συγκέντρωση στο διάλυμα ριζοστρώματος

C_{id} : Συγκέντρωση στο διάλυμα απορροής

C_{im} : Συγκέντρωση στο μίγμα νερού - διαλύματος απορροής

C_{iu} : Συγκέντρωση απορρόφησης

C_{if} : Συγκέντρωση οφειλόμενη στην προσθήκη λιπασμάτων

a : Κλάσμα απορροής (0 - 1)

$$C_{it} = C_{iu} + a(C_{id} - C_{iu})$$

$$C_{ir} = (C_{it} + C_{id}) / 2$$

Τυπική σύνθεση θρεπτικού διαλύματος για αγγούρι

Επιθυμητά χαρακτηριστικά	Διαβροχή υποστρώματος	Βλαστικό στάδιο			Στάδιο καρποφορίας		
		Δ.Τ.	Σ.Α.	Δ.Ρ.	Δ.Τ.	Σ.Α.	Δ.Ρ.
EC	2,30	2,20	1,80	2,50	2,10	1,70	2,70
pH	5,60	5,60	-	5,60 – 6,60	5,60	-	6,00 - 6,70
[K ⁺]	5,70	5,40	5,30	6,00	5,80	6,00	5,50
[Ca ²⁺]	5,30	4,65	3,15	6,50	4,50	2,70	7,25
[Mg ²⁺]	1,65	1,60	1,10	2,00	1,40	1,00	2,00
[NH ₄ ⁺]	0,50	1,20	1,40	<0,60	0,60	0,80	<0,40
[SO ₄ ²⁻]	2,00	1,85	1,00	2,70	1,75	1,00	3,10
[NO ₃ ⁻]	14,40	13,70	11,60	15,60	13,00	10,60	16,00
[H ₂ PO ₄ ⁻]	1,20	1,20	1,10	1,20	1,20	1,10	1,10
[Fe]	20,0	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
[Mn]	12,00	10,00	10,00	6,00	10,00	10,00	5,00
[Zn]	6,00	5,00	4,00	7,00	5,00	4,00	8,00
[Cu]	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,70	0,80
[B]	45,00	30,00	30,00	80,00	30,00	25,00	80,00
[Mo]	0,50	0,50	0,50	-	0,50	0,50	-
		C _t	C _u	C _r	C _t	C _u	C _r

Μείκτης διαλύματος απορροής με νερό ή θρεπτικό διάλυμα για κλειστό σύστημα (NSCS)



Παράδειγμα

C_{cat} : ; (4,50 mmol L⁻¹ από βιβλιογραφία)

C_{car} : 7,25 mmol L⁻¹ (τιμή - στόχος)

C_{cad} : 9 mmol L⁻¹ (μέτρηση)

C_{cam} : -

C_{cau} : 2,70 mmol L⁻¹ (από βιβλιογραφία)

a : 0,35 (35 %)

$$C_{it} = C_{iu} + a(C_{id} - C_{iu})$$

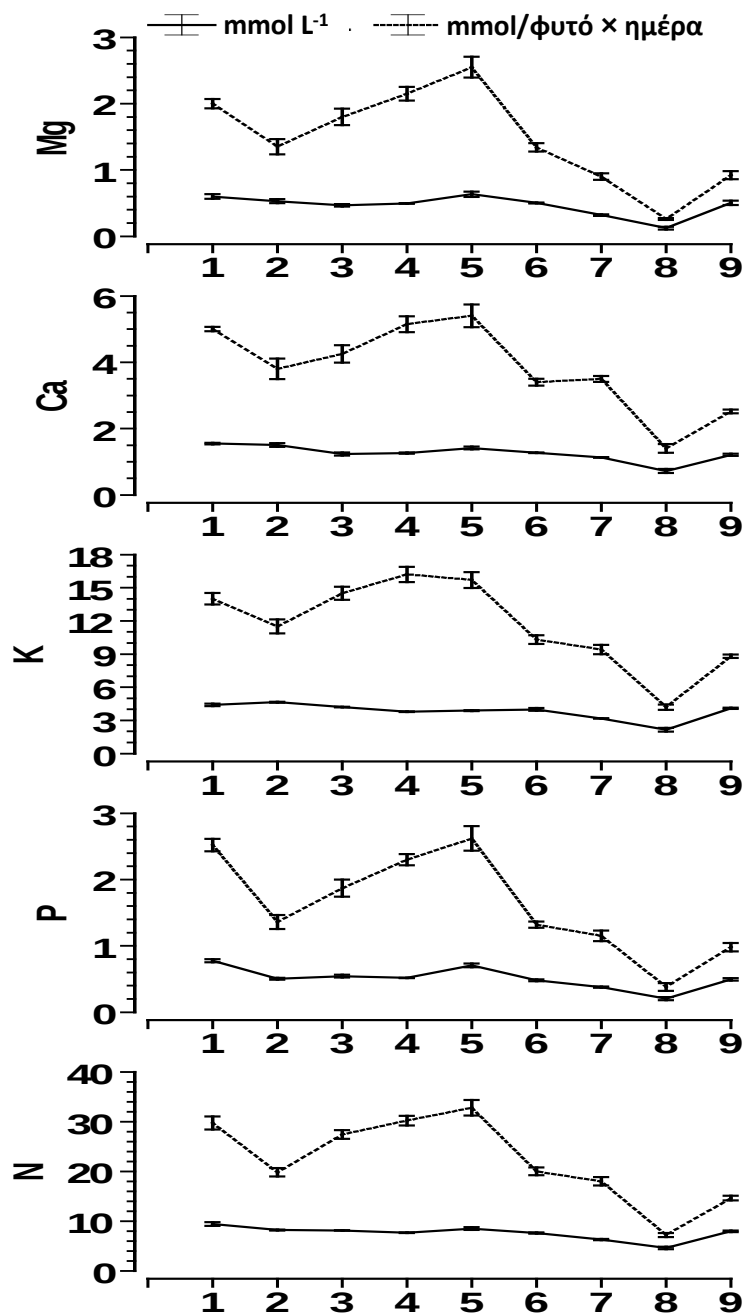
$$C_{cat} = 2,70 + 0,35(9 - 2,70) = 4,90 \text{ mmol L}^{-1}$$

$$C_{ir} = (C_{it} + C_{id}) / 2 \Rightarrow C_{car} = (4,9 + 9) / 2 = 6,95 \text{ mmol L}^{-1}$$

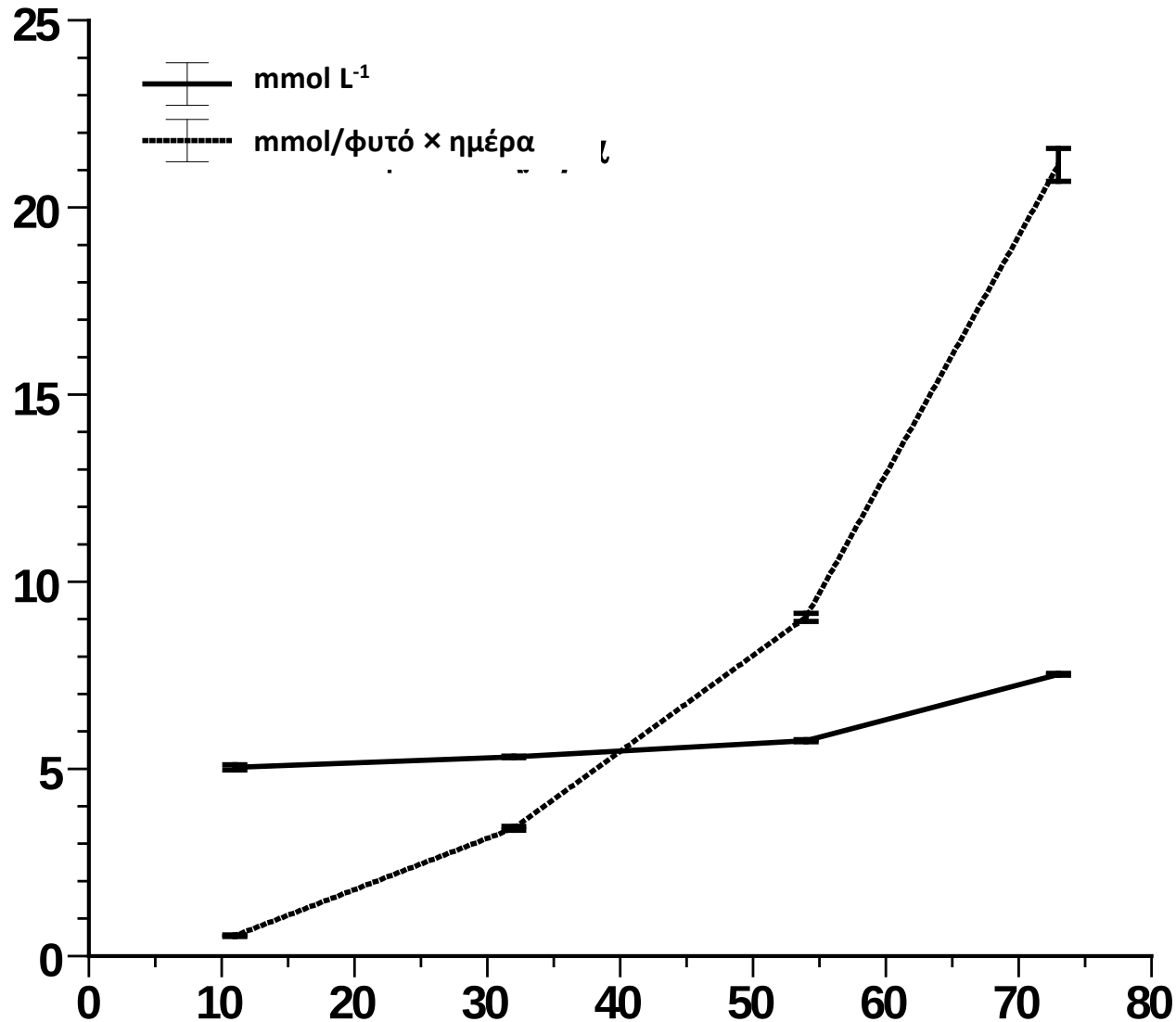
Μέθοδοι συμπλήρωσης διαλύματος απορροής με θρεπτικά στοιχεία και νερό

- **Συμπλήρωση θρεπτικών στοιχείων με
βάση τις συγκεντρώσεις απορρόφησης**
- **Συμπλήρωση θρεπτικών στοιχείων με
βάση το διάλυμα απορροής**

Σύγκριση συγκεντρώσεων απορρόφησης με ημερήσια πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων σε μελιτζάνα



Σύγκριση συγκέντρωσης απορρόφησης Κ με ημερήσια πρόσληψη Κ σε τομάτα



Συμπλήρωση θρεπτικών στοιχείων με βάση τις συγκεντρώσεις απορρόφησης

Επεξήγηση προτύπου

$$C_{input} = 3 \text{ mmol L}^{-1}$$



$$C_{root} = 5 \text{ mmol L}^{-1}$$



$$C_{uptake} = 3 \text{ mmol L}^{-1}$$

Συνεπώς, η συγκέντρωση στο διάλυμα συμπλήρωσης (NSCS) πρέπει να είναι ίση με την συγκέντρωση απορρόφησης

Συμπλήρωση θρεπτικών στοιχείων με βάση τις συγκεντρώσεις απορρόφησης

ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ - ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ (D + W)											
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ											
Πυκνά διαλύματα			V, m^3	A	Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.			Χημική σύσταση νερού			
Πυκνό διάλυμα A			1	100	E_u^*	1.70 dS/m	E_w	0.70 dS/m			
Πυκνό διάλυμα B			1	100	pH opt.	5.6	pH	7.3			
Πυκνό διάλυμα οξέως			1	100	[K]	4.500 mmol/l	Ca ²⁺	2.00 mmol/l			
Επιλογή λιπάσματος φωσφόρου:					[Ca]	2.500 mmol/l	Mg ²⁺	0.50 mmol/l			
Επιλέξτε 1 για φωσφορικό μονοκάλιο ή 2 για φωσφορικό οξύ			1		[Mg]	1.400 mmol/l	K ⁺	0.00 mmol/l			
					[NO3]	9.000 mmol/l	NH ₄ ⁺	0.00 mmol/l			
Επιλογή λιπάσματος βορίου:					[NH4]	1.000 mmol/l	Na ⁺	1.90 mmol/l			
Επιλέξτε 1 για βορικό οξύ, 2 για τετραβορικό νάτριο (βόρακας) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (solubor)			2		[H ₂ PO ₄ ⁻]	1.000 mmol/l	SO ₄ ²⁻	0.50 mmol/l			
Επιλογή λιπάσματος μολυβδαινίου:					[Fe] _i	30.00 μmol/l	NO ₃ ⁻	0.00 mmol/l			
Επιλέξτε 1 για επαμολυβδαινικό αμμώνιο ή 2 για μολυβδαινικό νάτριο			2		[Mn] _i	8.00 μmol/l	H ₂ PO ₄ ⁻	0.00 mmol/l			
					[Zn] _i	5.00 μmol/l	HCO ₃ ⁻	3.60 mmol/l			
					[Cu] _i	0.80 μmol/l	Cl ⁻	2.30 mmol/l			
Επιθυμητές πμές K, Ca, Mg:					[B] _i	25.00 μmol/l	Fe	0.00 μmol/l			
Επιλέξτε 1 για αναλογία K:Ca:Mg (mmol/mmol) ή 2 για συγκεντρώσεις (mmol/L)			2		[Mo] _i	0.50 μmol/l	Mn ⁺⁺	0.00 μmol/l			
					[S] _i	0.00 mmol/l	Zn ⁺⁺	2.50 μmol/l			
Επιλέξτε 1 για εισαγωγή επιθυμητής πμής N/K (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NO ₃ (mmol/L)			2		% καθαρό λίπασμα		Cu ⁺⁺	0.00 μmol/l			
					καθαρό HNO ₃	58 (% w/w)	B	0.00 μmol/l			
					καθαρό H ₃ PO ₄	85 (% w/w)	Mo	0.00 μmol/l			
Επιλέξτε 1 για εισαγωγή επιθυμητής πμής NH ₄ /(NH ₄ +NO ₃) (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NH ₄ (mmol/L)			2		Fe σε χηλικό Fe	6.5 (% w/w)	Si	0.00 mmol/l			
							Σcat _w	6.90 meq/l			
					α	0.20	Σan _w	6.90 meq/l			
E_{au}			1.70	dS/m	λιπάσματα (kg/δοχείο)	46.254	E_t	2.00 dS/m			
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ											
Κατιόντα/ανιόντα	C.C.S	C.C.W.	C.A.F.	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Si		
C.A.S.	15.20			2.24	9.00	1.00	0.66	2.30	0.00		
C.A.W.		6.90		1.00	0.00	0.00	3.60	2.30	0.00		
A.A.F.			11.24	1.24	9.00	1.00	0.00	0.00	0.00		
Ca ²⁺	5.00	4.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Mg ²⁺	2.80	1.00	1.80	1.24	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00		
K ⁺	4.50	0.00	4.50	0.00	3.50	1.00	0.00	0.00	0.00		
NH ₄ ⁺	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Na ⁺	1.90	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
H ⁺	0.00	0.00	2.94	0.00	2.94	0.00	0.00	0.00	0.00		
* Σημαντική παρατήρηση: Επιθυμητή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E_u) εισάγεται μόνο όταν καθορίζονται επιθυμητές αναλογίες για τα μακροκατιόντα (K:Ca:Mg). Όταν εισάγονται επιθυμητές συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, τότε το πρόγραμμα θα υπολογίσει αυτόματα την EC που αντιστοιχεί σε αυτές τις συγκεντρώσεις.											
Καλλιεργητής:						Πολιουδάκης					
Καλλιέργεια:						Τριαντάφυλλο (Λατζιμάς)					
Τύπος σχήματος θρέψης:						Κανονική (κόκος - ανακύκλωση)					
Ημερομηνία:						16/6/2011					
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΑΖΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ											
E.C. διαλύματος ανάμειξης						1.20 dS/m					
E.C. τελικού διαλύματος						2.00 dS/m					
pH						5.60					
Πυκνό διάλυμα A						1000 ΛΙΤΡΑ					
1 Νιτρικό ασβέστιο						10.805 Kg					
2 Νιτρικό κάλιο						25.665 Kg					
3 Νιτρικό αμμώνιο						7.205 Kg					
4 Χηλικός σίδηρος						2.580 Kg					
Πυκνό διάλυμα B						1000 ΛΙΤΡΑ					
1 Νιτρικό κάλιο						9.720 Kg					
2 Θεικό μαγνήσιο						15.279 Kg					
3 Νιτρικό μαγνήσιο						7.167 Kg					
4 Φωσφορικό μονοκάλιο						13.610 Kg					
5 Θεικό κάλιο						0.000 Kg					
6 Φωσφορικό οξύ						0.000 λίτρα					
7 Θεικό μαγγάνιο						135 g					
8 Θεικός ψευδάργυρος						72 g					
9 Θεικός χαλκός						20 g					
10 Βορικό οξύ						0 g					
11 Βόρακας						238 g					
12 Solubor						0 g					
13 Επαμολυβδαινικό αμμώνιο						0 g					
14 Μολυβδαινικό νάτριο						12 g					
Πυκνό διάλυμα οξέως						1000 ΛΙΤΡΑ					
1 Νιτρικό οξύ						22.494 λίτρα					
Υπολογισμοί (C_b) για προσθήκη οξέως											
$[H_3O^+]_w$						5.01187E-08					
B_w						11.01					
$[CO_3^{2-}]+[HCO_3^-]+[H_2CO_3]$						0.0039636					
$[H_3O^+]_{(n.s.)}$						2.51189E-06					
$B_{(n.s.)}$						1.199530213					
[K]						#DIV/0!	Σcation(n.s)	15.20			
[NH ₄ ⁺]						40.5	Σanion(n.s.)	15.20			

Συμπλήρωση θρεπτικών στοιχείων με βάση τις συγκεντρώσεις απορρόφησης

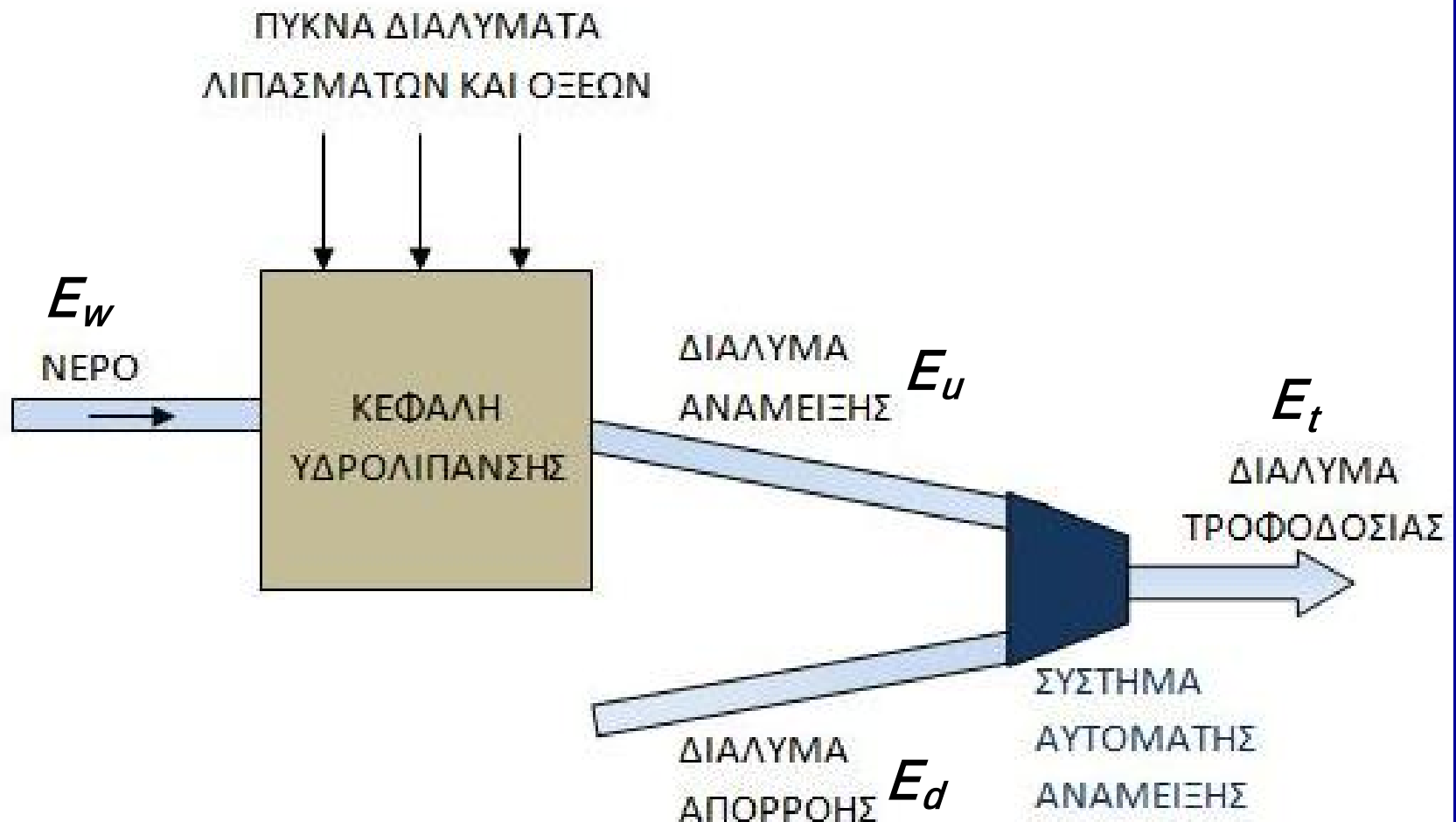
$$C_{if} = C_{iu} - C_{iw}$$

$$E_u = \frac{C_{tu} + 1.462}{9.819}$$

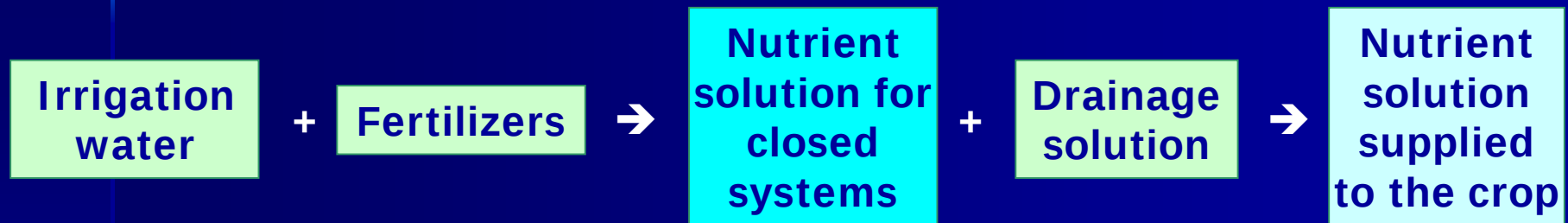
$$C_{tu} = \sum C_{i^+u}$$

$$E_u = \frac{E_t - aE_d}{1 - a}$$

Ανακύκλωση με βάση τις συγκεντρώσεις απορρόφησης Κεφαλή υδρολίπανσης πριν τον μείκτη



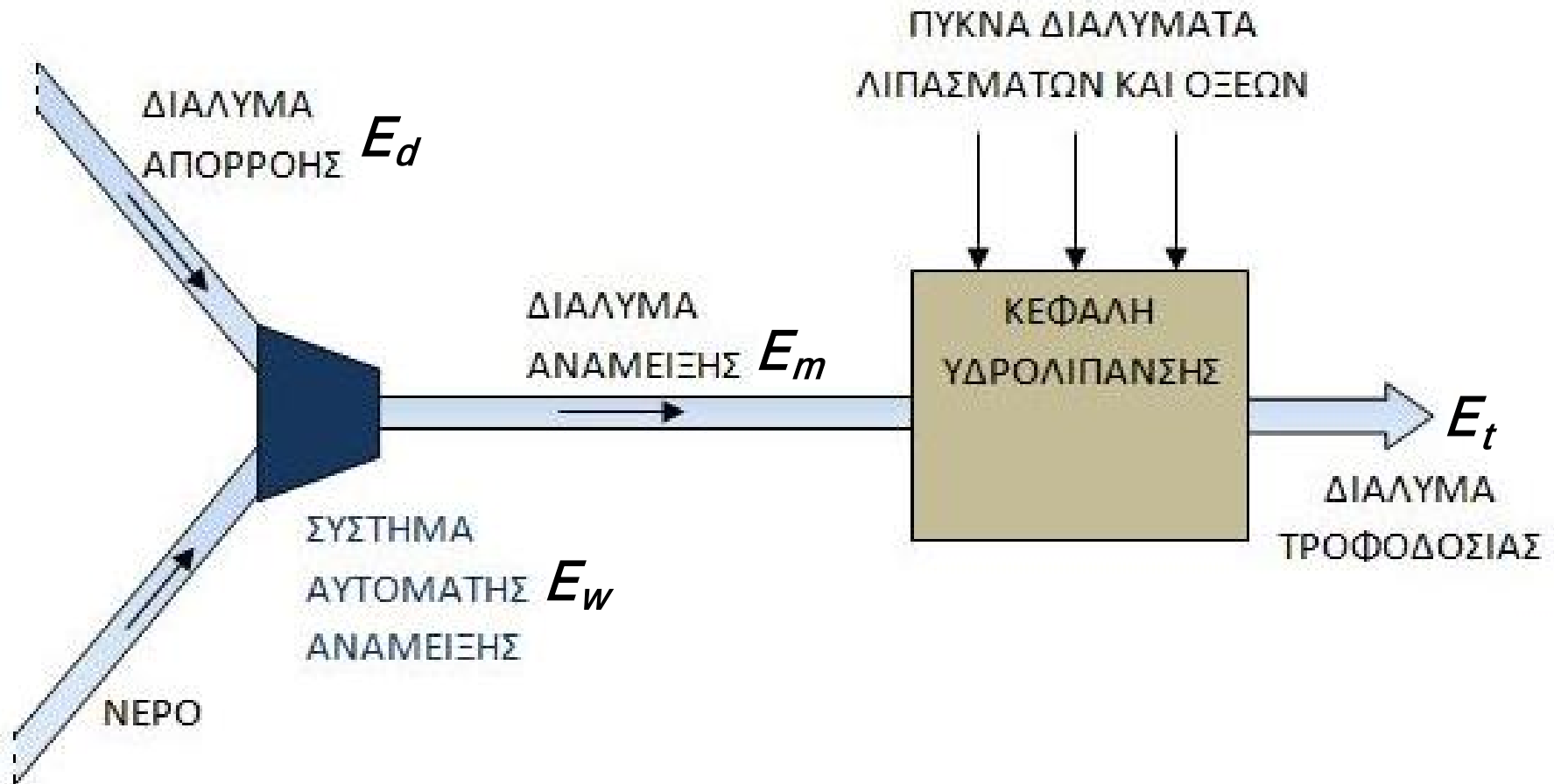
Συμπλήρωση θρεπτικών στοιχείων με βάση τις συγκεντρώσεις απορρόφησης Κεφαλή υδρολίπανσης πριν τον μείκτη



$$E_w + E_f \rightarrow E_u + E_d \rightarrow E_t$$

$$E_t = aE_d + (1 - a)E_u$$

Ανακύκλωση με βάση τις συγκεντρώσεις απορρόφησης Κεφαλή υδρολίπανσης μετά τον μείκτη



Κεφαλή υδρολίπανσης μετά τον μείκτη
Εναλλακτικός υπολογισμός του E_m χωρίς
να είναι συνάρτηση του E_d

$$E_m = E_t + (1 - a)(E_w - E_u)$$

**Αναπροσαρμογή
σχήματος θρέψης για
κλειστό σύστημα μετά
από ανάλυση του
διαλύματος απορροής**

Υπολογισμοί αναπροσαρμογής Θ.Δ. για κλειστά συστήματα

Ι. Ανάμειξη διαλύματος απορροής με νερό πριν την κεφαλή υδρολίπανσης

$$C_{it} = C_{iu} + a(C_{id} - C_{iu}) \quad \Leftrightarrow \quad \textcircled{C_{iu}} = \frac{C_{it} - aC_{id}}{1 - a}$$

$$C_{tu} = \sum C_{i^+u} \quad \Rightarrow \quad E_u = \frac{C_{tu} + 1.462}{9.819}$$

$$\textcircled{E_t} = aE_d + (1 - a)E_u$$

$$\textcircled{E_m} = E_t + (1 - a)(E_w - E_u)$$



Δεδομένα υπολογισμών

C_{it} : Η μέχρι τώρα εφαρμοζόμενη συγκέντρωση του i θρεπτικού στοιχείου στο διάλυμα τροφοδοσίας (mmol/L)

a : Το μέχρι τώρα εφαρμοζόμενο κλάσμα απορροής

C_{id} : Η συγκέντρωση του i θρεπτικού στοιχείου στο διάλυμα απορροής (mmol/L)

E_d : EC στο διάλυμα απορροής (dS/m)

E_w : EC στο νερό άρδευσης (dS/m)

Ζητούμενα

C_{iu} : Νέες (αναπροσαρμοσμένες) συγκεντρώσεις απορρόφησης

E_t : Νέα EC-στόχος στο διάλυμα τροφοδοσίας

E_m : EC στο μίγμα νερού - διαλύματος απορροής

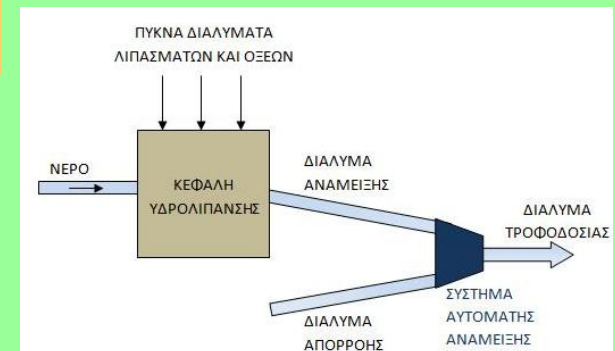
Υπολογισμοί αναπροσαρμογής Θ.Δ. για κλειστά συστήματα

II. Ανάμειξη διαλύματος απορροής με θρεπτικό διάλυμα συμπλήρωσης μετά την κεφαλή υδρολίπανση

$$C_{it} = C_{iu} + a(C_{id} - C_{iu}) \Leftrightarrow \textcircled{C_{iu}} = \frac{C_{it} - aC_{id}}{1 - a}$$

$$C_{tu} = \sum C_{i^+u} \Rightarrow \textcircled{E_u} = \frac{C_{tu} + 1.462}{9.819}$$

$$\textcircled{E_t} = aE_d + (1 - a)E_u$$



Δεδομένα υπολογισμών

C_{it} : Η μέχρι τώρα εφαρμοζόμενη συγκέντρωση του i θρεπτικού στοιχείου στο διάλυμα τροφοδοσίας (mmol / L)

a : Το μέχρι τώρα εφαρμοζόμενο κλάσμα απορροής

C_{id} : Η συγκέντρωση του i θρεπτικού στοιχείου στο διάλυμα απορροής (mmol / L)

E_d : EC στο διάλυμα απορροής (dS / m)

Ζητούμενα

C_{iu} : Νέες (αναπροσαρμοσμένες) συγκεντρώσεις απορρόφησης

E_t : Νέα EC-στόχος στο διάλυμα τροφοδοσίας

Παράδειγμα αναπροσαρμογής C_{iu}

$$C_{iu} = \frac{C_{it} - aC_{id}}{1 - a}$$

Παράδειγμα: Σε μία καλλιέργεια σε κλειστό υδροπονικό σύστημα μετρήθηκε η συγκέντρωση Ca στο διάλυμα τροφοδοσίας (C_{Cat}) καθώς και στο διάλυμα απορροής (C_{Cad}) βρέθηκε ότι είναι 5,5 και 10 mmol L⁻¹, αντίστοιχα.

Η τιμή C_{Cad} με βάση τη βιβλιογραφία είναι υπερβολικά υψηλή, οπότε πρέπει να υπολογιστεί η πραγματική C_{Cau} και να εφαρμοστεί μέσω αναπροσαρμογής του παρεχόμενου διαλύματος απορρόφησης.

Η νέα τιμή της C_{Cau} υπολογίζεται με την βοήθεια της παραπάνω σχέσης αντικαθιστώντας τις τιμές των C_{Cat} και C_{Cad} με αυτές που μετρήθηκαν στο εργαστήριο και το a με την πραγματική τιμή που καταγραφόταν στο σύστημα (0,3).

$$C_{Cau} = (5,5 - 0,3 * 10) / 1 - 0,3 = 1,21 \text{ mmol L}^{-1}$$