

Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: *Αυτόματος έλεγχος κλιματικών και εδαφικών συνθηκών σε
θερμοκήπιο*



Εισηγητής :Ν. Φραγκιαδάκης

Σπουδαστής :Α. Σκουλάκης

Εισαγωγή	4
Πρόλογος	5
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ - ΛΙΠΑΝΣΗΣ	7
1.1. Βασική θεωρία	7
1.1.1. Έδαφος	7
1.1.2. Ακόρεστη ροή και ο νόμος του Darcy	8
1.1.3. Εξαγωγή, κατανομή και πίεση της ρίζας	10
1.1.4. Εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους	15
1.2. Επίλυση εξίσωσης ισορροπίας	16
1.2.1. Μορφοποίηση εξίσωσης ισορροπίας	16
1.2.2. Αρχικές και συνοριακές τιμές	17
1.2.3. Συνάρτηση εξατμισοδιαπνοής	18
1.2.4. Παραδείγματα με πραγματικά εδάφη	18
1.3. Σύστημα άρδευσης –λίπανσης	34
1.3.1. Βασική θεωρία	34
1.3.2. Διάγραμμα μονάδας άρδευσης –λίπανσης	36
1.3.3. Παράδειγμα με σταθερή ισχύ της αντλίας και μεταβλητό φορτίο	39
1.3.4. Παράδειγμα με μεταβλητή ισχύ της αντλίας και μεταβλητό φορτίο	42
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΈΛΕΓΧΟΣ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ	45
2.1. Μοντέλο προσομοίωσης εξατμισοδιαπνοής	45
2.2. Συντελεστής ρύθμισης παροχής αέρα Cvent	49
2.2.1. Ορισμός συντελεστή	49
2.3. Ρύθμιση βέλτιστης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας	50
2.3.1. Βέλτιστη ενθαλπία	51
2.3.2. Πραγματικό παράδειγμα	52
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
ΒΑΘΜΙΔΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ	58
3.1. Διαγράμματα βαθμίδων	58
3.1.1. Συνολικό διάγραμμα βαθμίδων	58
3.1.2. Κεντρική μονάδα	59
3.2. Διαγράμματα κυκλωμάτων	60
3.2.1. Χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή	60
3.2.2. Μονάδα οθόνης υγρών κρυστάλλων LCD	61
3.2.3. Μονάδα πληκτρολόγιου	62
3.2.4. Rs485 interface	63

3.2.5.	Αναλογικές έξοδοι	64
3.2.6.	Μονάδα ADC	64
3.2.7.	Αισθητήρια	65
3.2.8.	Motors drivers	65
4.	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΗΣ	66
4.1.	Γενικό διάγραμμα ροής –τρόποι μεταφοράς ελέγχου	66
4.2.	Αλγόριθμοι	68
4.2.1.	ρουτίνες εξυπηρέτησης πληκτρολόγιου και user interface	68
4.2.2.	ΕΥΡΕΣΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΕΡΑ	83
4.2.3.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ	84
4.2.4.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΕΤΑΡΤ.,ΕΝ. ΜΗΚΟΥΣ , ΕΝ. ΠΛΑΤΟΥΣ	85
4.2.5.	Ρουτίνα άρδευσης	86
4.2.6.	Ρουτίνα διαχείρισης αιτήσεων άρδευσης	87
4.2.7.	Ρουτίνα λίπανσης	93
4.2.8.	Ρουτίνα κλιματισμού	93
4.2.9.	Ρουτίνα πρωτοκόλλου rs485	93
	REFERENCES	94

Εισαγωγή

Πολλές φορές καλείται κάποιος να σχεδιάσει κάποιο σύστημα αυτόματου ελέγχου (ΣΑΕ) αλλά κατά τον ορισμό των διαφόρων μεταβαλλόμενων μεγεθών ανακαλύπτει τη μη γραμμικότητα που διέπει την μαθηματική τους έκφραση .

Η γραμμικοποίηση τους μπορεί να δίνει μια προσεγγιστική αναλυτική έκφραση αυτών ,αλλά εμπεριέχει μεγάλα περιθώρια σφάλματος που καθιστά το σύστημα μη αξιόπιστο .Τα τελευταία χρόνια με την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος των Η/Υ δόθηκε η δυνατότητα αριθμητικής επίλυσης μη γραμμικών διαφορικών και μη αλγεβρικών εξισώσεων ,γεγονός που βοήθησε στην ανάπτυξη πολλών μαθηματικών μοντέλων έκφρασης πλείστων φυσικών και τεχνολογικών διεργασιών.

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή πραγματεύεται το έλεγχο των συνθηκών (θερμοκρασία , υγρασία του εσωτερικού αέρα και υγρασία , αλατότητα του εδάφους) που επικρατούν σε ένα θερμοκήπιο και την υλοποίηση αυτού του συστήματος αυτόματου ελέγχου. Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος ανάγεται στην απάντηση δυο βασικών ερωτημάτων ,στο πότε και πόσο αρδεύουμε-λιπαίνουμε και πως μπορούμε να πετύχουμε τις ιδανικές κλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Η απάντηση στο πρώτο ερώτημα μπορεί να δοθεί με την χρήση ενός μοντέλου άρδευσης λίπανσης που λαμβάνει υπόψη το ισοζύγιο του νερού μέσα στο έδαφος και πως αυτό μεταβάλλεται στο χρόνο .Στο 1ο κεφάλαιο υπάρχει η ανάλυση αυτού καθώς επίσης και μαθηματική έκφραση της διασταλόγησης του συστήματος άρδευσης-λίπανσης με προδιαγραφή την σταθερή παροχή σε κάθε θερμοκήπιο ανεξάρτητα από τον αριθμό των εκάστοτε αρδευόμενων θερμοκηπίων.

Στο 2ο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση ενός μοντέλου υπολογισμού της εξαμισοδιαπνοής χρησιμοποιώντας το ισοζύγιο της ενέργειας και εξάγεται ο τρόπος ρύθμισης του αέρα στις επιθυμητές συνθήκες χρησιμοποιώντας διάφορα μέσα όπως θέρμανση, αερισμό, ύγρανση και σκίαση .

Στο 3ο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των βαθμίδων που υλοποιούν το σύστημα ενώ στο 4ο ,οι αλγόριθμοι που εκφράζουν σε μορφή διαγραμμάτων ροής τις διαδικασίες ελέγχου.

ΜΕΡΟΣ

1

Θεωρητική –μαθηματική ανάλυση

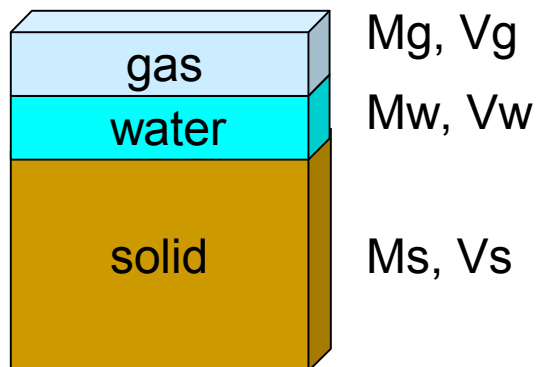
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Μοντέλο άρδευσης - λίπανσης

1.1. Βασική θεωρία

1.1.1. Έδαφος

Συστατικά:



Η συνολική μάζα του εδάφους είναι:

$$M_t = M_g + M_w + M_s \text{ σε kg}$$

Ο συνολικός όγκος είναι:

$$V_t = V_g + V_w + V_s \text{ σε m}^3$$

Μεταξύ τους ισχύει:

πυκνότητα ξηρού εδάφους, $\rho_b = M_s/V_t = \text{kg solid/m}^3 \text{ soil}$. Κυμαίνεται από 1100

έως 1800 kg solid/m³ soil

συνολικό πορώδες, $\Phi = (V_w + V_g)/V_t = \text{m}^3 \text{ voids/m}^3 \text{ soil}$. Κυμαίνεται από 0.3

έως 0.6 m³ voids/m³ soil

περιεχόμενη ποσότητα νερού κατά όγκο ανά μονάδα όγκου του εδάφους, $\theta_v =$

$$V_w/V_t = \text{m}^3 \text{ water/m}^3 \text{ soil}$$

θεωρητικός βαθμός κορεσμού, $\theta_s = V_w / (V_w + V_g) = \text{m}^3 \text{ water} / \text{m}^3 \text{ voids}$.

Κυμαίνεται από 0 έως $1 \text{ m}^3 \text{ water} / \text{m}^3 \text{ voids}$

πραγματικός βαθμός κορεσμού, $S = (\theta_v - \theta_r) / (f - \theta_r) = \text{m}^3 \text{ water} / \text{m}^3 \text{ soil}$. Κυμαίνεται

από 0 έως $1 \text{ m}^3 \text{ water} / \text{m}^3 \text{ voids}$. Όπου θ_r = παραμένουσα υγρασία.

Συνολική πίεση

Η αντικατάσταση του αέρα του εδάφους με το νερό έχει άμεση σχέση με την

συνολική πίεση H που ασκείται στα μόρια του νερού, η οποία ορίζεται:

$H = h_z + h_w + h_a$ όπου:

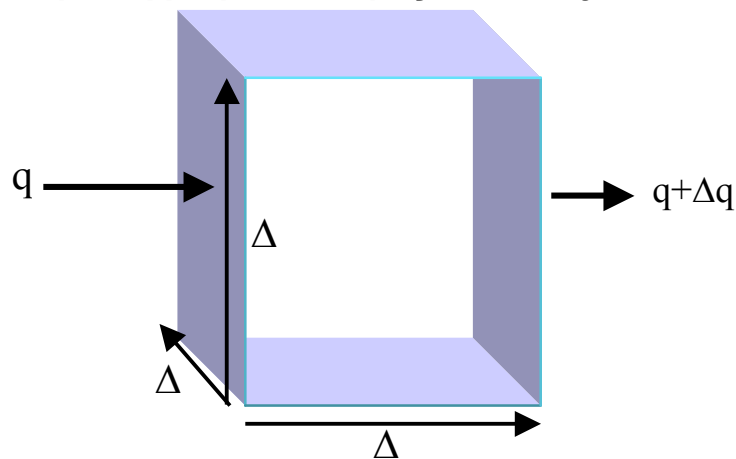
h_z = υδροστατική πίεση (m), κατά την κάθετη διάσταση z .

h_w = επιφανειακή τάση (m), δημιουργεί τριχοειδή φαινόμενα

h_a = προσρόφηση (m), οφείλεται στην ηλεκτροστατική έλξη ανάμεσα στα μόρια του νερού και των συσσωμάτων του εδάφους.

Το άθροισμα $h_w + h_a$ συμβολίζεται με το γράμμα ψ .

1.1.2. Ακόρεστη ροή και ο νόμος του Darcy



Θεωρείται κύβος χώματος, με διαστάσεις Δx , Δy και Δz το οποίο είναι μερικώς διαποτισμένος με την ογκομετρική περιεκτικότητα σε ύδωρ $\theta (\text{cm}^3 / \text{cm}^3)$. Ο όγκος του ύδατος στο κιβώτιο είναι $V_w = \theta \cdot V_t (\text{cm}^3)$ για $t=0$ και $V_w + \Delta V_w =$

$(q + \Delta q) \cdot Vt$ σε χρόνο Δt . Η ογκομετρική ροή μπορεί να θεωρηθεί κατά την διάσταση X και ορίζεται ως q ($\text{cm}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$) ή (cm/s). σε χρόνο Δt ο όγκος του νερού που εισέρχεται και εξέρχεται είναι:

$$\frac{V_{in}}{\Delta t} = q \cdot \Delta y \cdot \Delta z, \text{ και } \frac{V_{out}}{\Delta t} = (q + \Delta q) \cdot \Delta y \cdot \Delta z (\text{cm}^3 / \text{s}) \Rightarrow$$

$$V_{in} = q \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta t, \text{ και } V_{out} = (q + \Delta q) \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta t (\text{cm}^3)$$

ισορροπώντας τους όγκους (μάζες):

$$\Delta V_w = V_{in} - V_{out}, \Delta V_w = \Delta \theta \cdot Vt = \Delta \theta \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$$

$$V_{in} - V_{out} = q \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta t - (q + \Delta q) \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta t$$

$$\Rightarrow \Delta \theta \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z = -\Delta q \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta t \Rightarrow \quad (1.1)$$

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta t} = -\frac{\Delta q}{\Delta x} \Rightarrow \frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial x}$$

η ροή, q (cm/s), σύμφωνα με το νόμο του Darcy είναι:

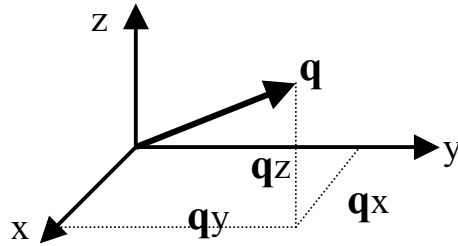
$$\text{Darcy's Law: } q = -K \cdot \frac{\partial H}{\partial x} = K \cdot \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (1.2)$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση μαζικής ισορροπίας:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} \left[-K \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right] = \frac{\partial K}{\partial x} \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + K \cdot \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} \quad (1.3)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right]$$

Η τελευταία γραμμή καλείται εξίσωση Richards για την ακόρεστη ροή του ύδατος στο χώμα. Η διαφορά μεταξύ της οριζόντιας και κάθετης ροής είναι η παρουσία του z στον καθορισμό της H . Η ροή q μπορεί να θεωρηθεί ένα διάνυσμα το οποίο μπορεί να αναλυθεί στις τρεις διευθύνσεις x, y, z στα συστατικά q_x, q_y, q_z αντίστοιχα



Για το διανυσματικό αυτό πεδίο, $\mathbf{q}(x,y,z) = q_x \cdot \mathbf{i}_x + q_y \cdot \mathbf{i}_y + q_z \cdot \mathbf{i}_z$, ορίζουμε την

απόκλιση του με τη βοήθεια του τελεστή ∇

$$\nabla \cdot \mathbf{q} = \mathbf{i}_x \cdot \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{i}_y \cdot \frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{i}_z \cdot \frac{\partial}{\partial z} \cdot (q_x \mathbf{i}_x + q_y \mathbf{i}_y + q_z \mathbf{i}_z), \text{ a vector dot product}$$

όπου \mathbf{i}_x , \mathbf{i}_y και \mathbf{i}_z είναι τα μοναδιαία διανύσματα στις x , y και z διευθύνσεις:

Εάν το έδαφος θεωρηθεί ιστροπικό μέσο η αγωγιμότητα του χώματος $K(x,y,z)$, θα

είναι η ίδια σε οποιαδήποτε κατεύθυνση από ένα δεδομένο σημείο (x,y,z) και άρα

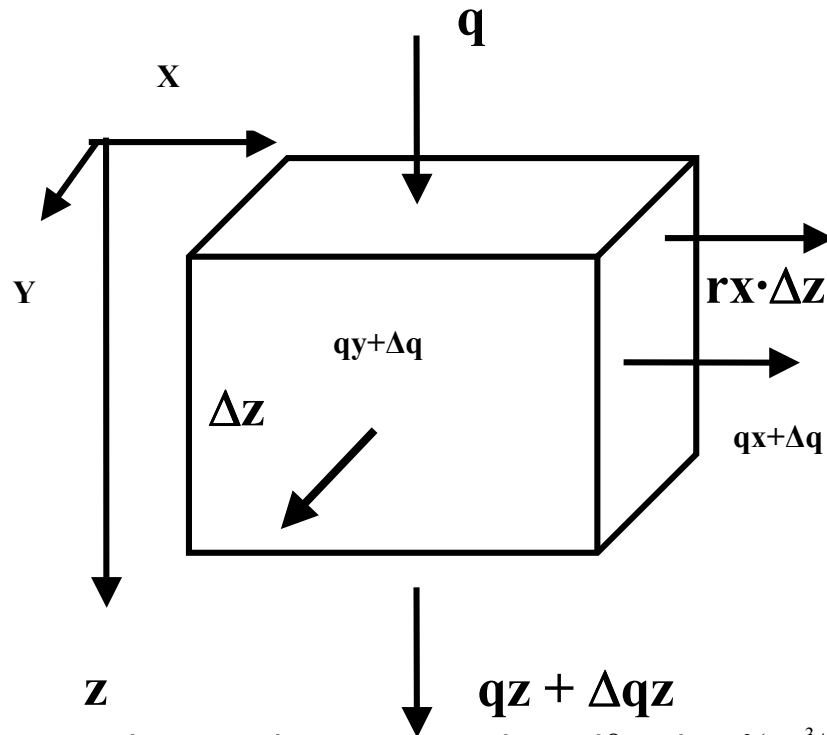
αντικατάσταση της ροής στην τρισδιάστατη μορφή εξίσωσης του Richard γίνεται ως

εξής:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K \frac{\partial H}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K \frac{\partial H}{\partial z} \right], \text{ ή} \quad (1.4)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[-K \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[-K \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K \frac{\partial (z - \psi)}{\partial z} \right]$$

1.1.3. Εξαγωγή, κατανομή και πίεση της ρίζας



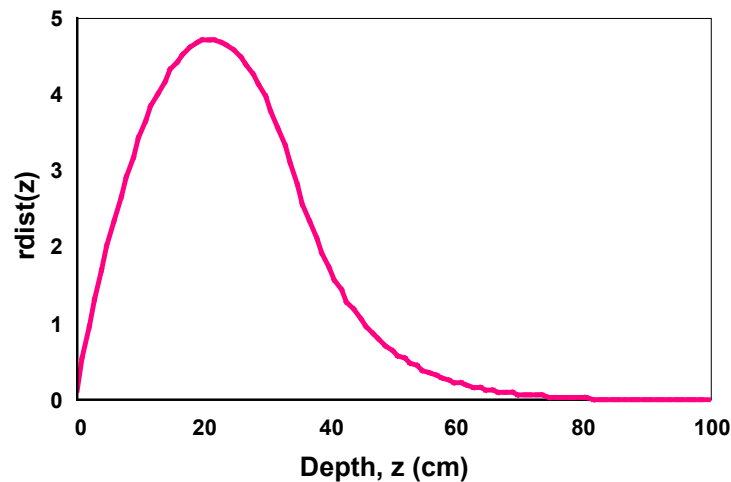
Η μέση ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό του κύβου είναι $\theta(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$. Η μέση ροή στην κορυφή του κύβου είναι $q(\text{cm}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}))$ ή (cm/s) και η μέση ροή έξω από τον κύβο είναι κατώτατο σημείο είναι $q_x + \Delta q_x(\text{cm}/\text{h}) + q_y + \Delta q_y(\text{cm}/\text{h}) + q_z + \Delta q_z(\text{cm}/\text{h})$. Η μέση εξαγωγή του νερού από τη ρίζα μπορεί να οριστεί ως $r_x(\text{cm}^3/(\text{cm}^3 \cdot \text{h}) = 1/\text{h})$. Μετά από χρονικό διάστημα $\Delta t(\text{h})$, η ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό στον κύβο θα είναι $\theta + \Delta\theta$, λόγω της καθαρής εξαγωγής ροής και απορρόφησης της ρίζας.

Δεδομένου ότι η μαζική αλλαγή στον κύβο πρέπει να ισορροπήσει με την καθαρή μάζα που ρέει στον κύβο, γράφουμε:

$$\begin{aligned}
 & (\theta + \Delta\theta - \theta) \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z = \\
 & [q_z - (q_z + \Delta q_z)] \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta t + [q_x - (q_x + \Delta q_x)] \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta t + [q_y - (q_y + \Delta q_y)] \cdot \Delta x \cdot \Delta z \cdot \Delta t - r_x \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta t \Rightarrow \\
 & \Delta\theta \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z = -\Delta q_x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta t - \Delta q_y \cdot \Delta x \cdot \Delta z \cdot \Delta t - \Delta q_z \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta t - r_x \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta t \Rightarrow \\
 & \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = -\frac{\Delta q_x}{\Delta x} - \frac{\Delta q_y}{\Delta y} - \frac{\Delta q_z}{\Delta z} - r_x \Rightarrow \frac{\partial\theta}{\partial t} = -\frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} - \frac{\partial q_z}{\partial z} - r_x \Leftrightarrow \\
 & \frac{\partial\theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[-K \frac{\partial\psi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[-K \frac{\partial\psi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K \frac{\partial(z-\psi)}{\partial z} \right] - r_x \\
 & (1.5)
 \end{aligned}$$

Για να υπολογίσουμε την rx , πρέπει να ξέρουμε τη κατανομή της ρίζας, τη κατανομή της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας στο χώρο, και την πίεση της ρίζας. Μια μελέτη (Beyrouty, C.A., C.P. West και E.E. Gbur, 1990, Root, Plant Soil 127:2330) βρήκε τη κατανομή της ρίζας, $rdist$ (cm./ cm³), στα εκατοστόμετρα των ριζών ανά όγκο:

$$rdist_i = \begin{cases} (-0.0101 \cdot z_i + 0.4308) \cdot z_i + 0.1415, & z \leq 35 \text{ cm} \\ 84.9251 \cdot \exp(-0.0970144 \cdot z_i), & z > 35 \text{ cm} \end{cases} \quad (1.6)$$



όπου $z_i = i \cdot \Delta z$ είναι το βάθος (cm) και $i=1$ στο n είναι ο αριθμός μικρών κύβων κάτω από την εδαφική επιφάνεια.

$$rx_i = \frac{rdist_i \cdot k_i}{\sum_1^n rdist_i \cdot k_i \cdot \Delta z \cdot \Delta x \cdot \Delta y} \cdot pet \cdot pf \cdot sf \quad (1.7)$$

Η βασική απορρόφηση των ριζών, rx_i (1/h), φαίνεται παραπάνω, όπου k_i είναι η υδραυλική αγωγιμότητα (cm/h) για κάθε z_i , pet είναι η δυναμική εξατμισοδιαπνοή ET

(cm³/h), $0 < pf < 1$ είναι το ποσοστό της pet που ανήκει στη διαπνοή και $0 < sf < 1$ είναι ο αδιάστατος παράγοντας της πίεσης της ρίζας .

Ο παράγοντας πίεσης της ρίζας, sf, δείχνει τη δυνατότητα των ριζών να απορροφήσουν το νερό Παραδοσιακά, έχει θεωρηθεί ότι η πίεση ρίζας αρχίζει να εμφανίζεται όταν η περιεχόμενη υγρασία μειώνεται κάτω από *ανώτερο όριο αποξηράνσεως*, θ_{udl} (cm³/cm³)όπου αυτή αντιστοιχεί σε μια πίεση $\psi=101,325$ cm.

Ορίζοντας ένα αδιάστατο παράγοντα κορεσμού

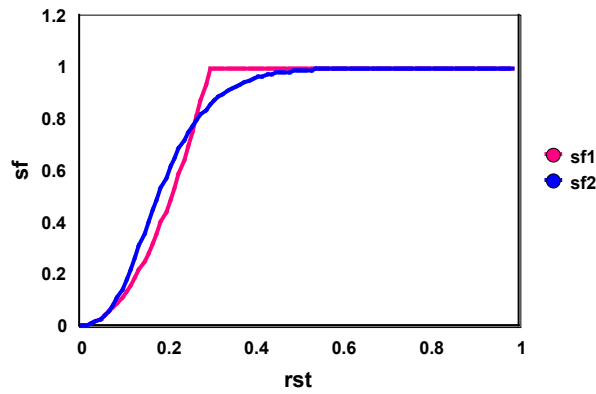
$$rst = \frac{\theta(\psi) - \theta_r}{\theta_{udl} - \theta_r}$$

ο sf μπορεί να εκφραστεί σαν μια εξίσωση δεύτερου βαθμού ή σαν μια συνάρτηση

Gompertz ($gk = 12.65$):

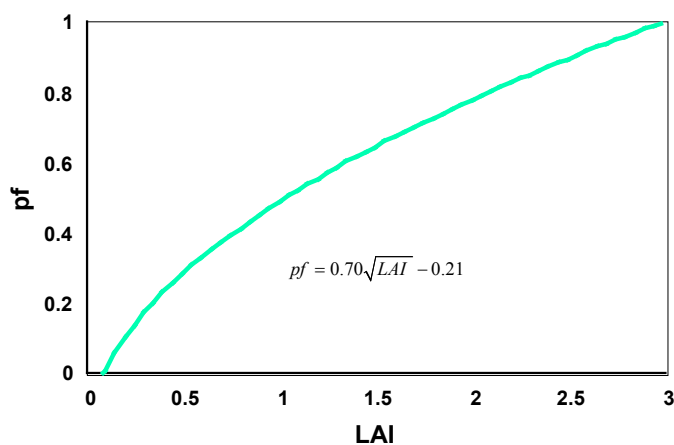
$$sf1: sf = \begin{cases} (rst / 0.3)^2, & rst \leq 0.3 \\ 1, & rst > 0.3 \\ 0, & \psi \geq 15,000 \text{ cm} \end{cases}$$

$$sf2: sf = \begin{cases} \exp(-\exp(1.932645 - gk \cdot rst)), & \psi < 15,000 \text{ cm} \\ 0, & \psi \geq 15,000 \text{ cm} \end{cases}$$



Φαίνεται ότι όπως η θ πηγαίνει στο $\theta_{r,oi}$ οι rst και sf πηγαίνουν σε έναν μικρό αριθμό ή μηδενίζονται, κόβοντας την απορρόφηση του νερού από την ρίζα. Ακόμα φαίνεται η εξαγωγή δεν επηρεάζεται πολύ από την πίεση ρίζας για το $rst > 0,3$ στην καμπύλη $sf1$, και για το $rst > 0,55$ στην καμπύλη $sf2$. Η καμπύλη $sf1$ ανήκει σε χονδροειδή εδάφη ενώ η $sf2$ σε πιο στρωτά.

Ένας τρόπος να καθοριστεί ο pf είναι σε συνάρτηση του δείκτη επιφάνειας των φύλλων, LAI (m^2 of leaves/ m^2 of soil area).



1.1.4. Εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους

Το ποσοστό της PET που παραμένει για την Εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους είναι $(1 - pf) \cdot PET$ (cm/h). Κάποιος πρέπει έπειτα να ξέρει την περιεχόμενη υγρασία ή την πίεση ψ στην επιφάνεια του εδάφους, και τη σχέση πίεση-αγωγιμότητας, $k(\psi)$ (cm/h). Ορίζεται q_{et} (cm/h) η ροή του υδρατμού που εξατμίζεται από την επιφάνεια σε ισοδύναμο βάθος του ύδατος ανά μονάδα του χρόνου. Εάν, κατά τη διάρκεια ή μετά από μιας βροχής, υπάρχει νερό που συγκεντρώνεται στην επιφάνεια, ισχύει $q_{et} = (1 - pf) \cdot PET$. Αν όχι, πρέπει να περιοριστεί η ροή σε αυτή που το χώμα μπορεί να υποστηρίξει. Ορίζεται K_0 να είναι η υδραυλική αγωγιμότητα της επιφάνειας. Άρα:

$$q_{et} = \begin{cases} (1 - pf) \cdot PET, & (1 - pf) \cdot PET > k_0 \\ k_0, & (1 - pf) \cdot PET \leq k_0 \end{cases} \quad (1.8)$$

1.2. Επίλυση εξίσωσης ισορροπίας

1.2.1. Μορφοποίηση εξίσωσης ισορροπίας

Η εξίσωση ισορροπίας μπορεί να τροποποιηθεί ως εξής.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[-K \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[-K \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K \frac{\partial (z-\psi)}{\partial z} \right] - rx \Leftrightarrow \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial \psi} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[-K \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[-K \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K \frac{\partial (z-\psi)}{\partial z} \right] - rx \Leftrightarrow (1.9) \\ \frac{\partial \theta}{\partial \psi} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[-K \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[-K \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K \frac{\partial (z-\psi)}{\partial z} \right] - rx \end{aligned}$$

αλλά τα θ και K μπορούν να εκφραστούν ως συναρτήσεις της ψ όπως φαίνεται στις παρακάτω συναρτήσεις των Brooks-Corey :

$$\theta(\psi) = \begin{cases} \theta_{sut} & , \psi \leq \psi_d \\ \theta_{sut} + (\theta_{sut} - \theta_r) \cdot (\psi_d / \psi)^\lambda & , \psi > \psi_d \end{cases}$$

$$K(\psi) = \begin{cases} K_s & , \psi \leq \psi_d \\ K_{sut} \cdot (\psi_d / \psi)^\eta & , \psi > \psi_d \end{cases}$$

Η' τις τροποποιημένες:

$$\theta(\psi) = \begin{cases} \theta_{sut} & , \psi \leq 0 \\ \theta_{sut} + (\theta_{sut} - \theta_r) / \left(1 + (\psi / \psi_d)^\lambda \right) & , \psi > 0 \end{cases} \quad (1.10)$$

$$K(\psi) = \begin{cases} K_s & , \psi \leq 0 \\ K_{sut} / \left(1 + (\psi / \psi_d)^\eta \right) & , \psi > 0 \end{cases}$$

όπου:

θ_{sut} =Κορεσμένη ποσότητα νερού = Φ (συνολικό πορώδες)

ψ_d =πίεση μετατόπισης

K_{sut} =κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα

λ = δείκτης διανομής του μεγέθους του πόρου

$n=2+2,5 \lambda$

άρα ο όρος $\frac{\partial \theta}{\partial \psi}$ μπορεί να αντικατασταθεί σύμφωνα με την παραπάνω σχέση(1.10) .

1.2.2. Αρχικές και συνοριακές τιμές

Η εξίσωση ισορροπίας αποτελεί μια μη γραμμική μερική διαφορική εξίσωση της πίεσης και έχει μόνο αριθμητική επίλυση με αρχική τιμή $\psi(x,y,z,t=0)=\psi_i$.

Οι συνοριακές τιμές μπορούν να βρεθούν ως εξής :

A) σύμφωνα με τον νόμο της συνέχειας για την ροή ασυμπίεστων υγρών

Q άρδευσης = uinflow X S_{sut} όπου

Q άρδευσης = παροχή άρδευσης (cm^3/h)

uinflow=ταχύτητα εισχώρησης του νερού στο έδαφος (cm/h)

S_{sut} =οριζόντια επιφάνεια(cm^2) για $z=0$ όπου $\theta=\theta_{sut}$

Η uinflow μπορεί να βρεθεί από τον νόμο του Darcy,άρα και η S_{sut} .Η

$\psi(S_{sut},z=0,t)=0$ αποτελεί την συνοριακή τιμή την ώρα της άρδευσης.

Από τον ίδιο νόμο βρίσκεται $\psi(x,y,z=0,t)=F$ (εξάτμισης)για τις ώρες που διαρκεί η εξατμισοδιαπνοή . Τις νυχτερινές ώρες ισχύει uinflow=0 η $\psi(x,y,z=0,t)$ θα είναι

$0 = -K(1 + \Delta \psi / \Delta z) \Leftrightarrow \Delta \psi = \Delta z$ και άρα $\psi(x,y,z=0,t) = \psi(x,y,z=\Delta z,t) + \Delta z$

B)για τις υπόλοιπες συνοριακές τιμές $\psi(x,y,z=z_f,t)$, $\psi(x=0,y,z,t)$, $\psi(x=x_f,y,z,t)$,

$\psi(x,y=0,z,t)$ και $\psi(x=x_f,y,z=0,t)$ επιλέχτηκε η συνθήκη

$$\frac{\partial \psi_i}{\partial i} = \frac{\partial \psi_{i-\Delta i}}{\partial i} \text{ ή } \frac{\partial \psi_{i+\Delta i}}{\partial i} \text{ όπου } i = x, y, z$$

1.2.3. Συνάρτηση εξατμισοδιαπνοής

Η εξατμισοδιαπνοή $pet(\text{cm}^3/\text{h})$ μπορεί να επιλέγει μια συνάρτηση του χρόνου όπου χρονική της παράγωγος μηδενίζεται για χρόνο t_{half} . Άρα

$$\frac{dpet(t)}{dt} = \frac{a(t_{half} - t)}{t_{total}} \Rightarrow pet(t) = -\frac{a \cdot t^2}{2 \cdot t_{total}} + \frac{a \cdot t \cdot t_{half}}{t_{total}} + c \quad (1.11)$$

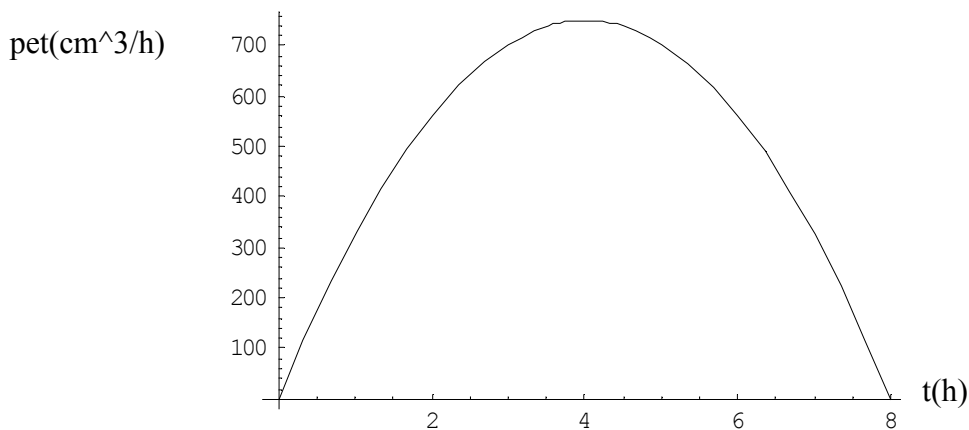
όπου: a = συντελεστής αναλογίας

$c=0$ για $t=0$ και $t=t_{total}$

ο συντελεστής a μπορεί να βρεθεί από την εξίσωση:

$$\int_{t_0}^{t_{total}} pet(t) dt = pet_{total}(\text{cm}^3) \Rightarrow a = -\frac{6 \cdot pet_{total}}{t_{total} \cdot (t_{total} - 3 \cdot t_{half})} \quad (1.12)$$

με $t_{total}=8\text{h}$ και $pet_{total}=4000 \text{ cm}^3$ η $pet(t)$ φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα



1.2.4. Παραδείγματα με πραγματικά εδάφη

αμμώδες έδαφος

Δίνονται οι παρακάτω σταθερές

$\Theta_{sut}=0,43(\text{cm}^3 / \text{cm}^3)$

$\Theta_r=0,045(\text{cm}^3 / \text{cm}^3)$

$\Psi_i=18,2 \text{ cm}$

$$\Psi d=6,9 \text{ cm}$$

$$K_{sut}=29,3(\text{cm/h})$$

$$\lambda=2,68$$

$$n=2+2,5 \lambda$$

$$p_{ettotal}=4000 \text{ cm}^3$$

$$Q_{αρδευσης}=8000 \text{ cm}^3/\text{h}$$

$$Xf=68 \text{ cm (οριζόντια διάσταση)}$$

$$Zf=40 \text{ cm (κάθετη διάσταση)}$$

Το ισοζύγιο του νερού θα είναι:

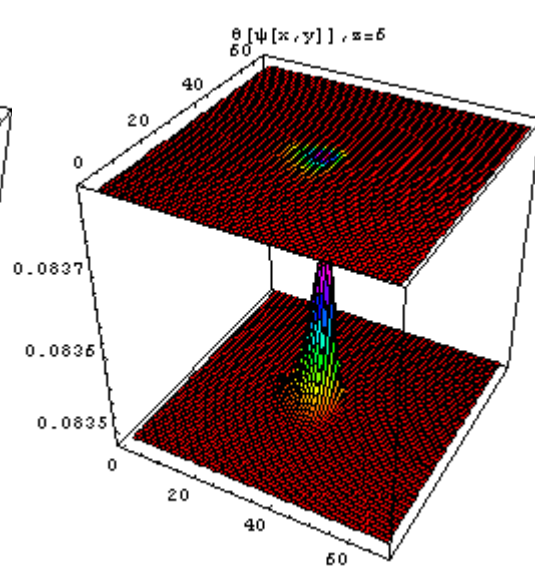
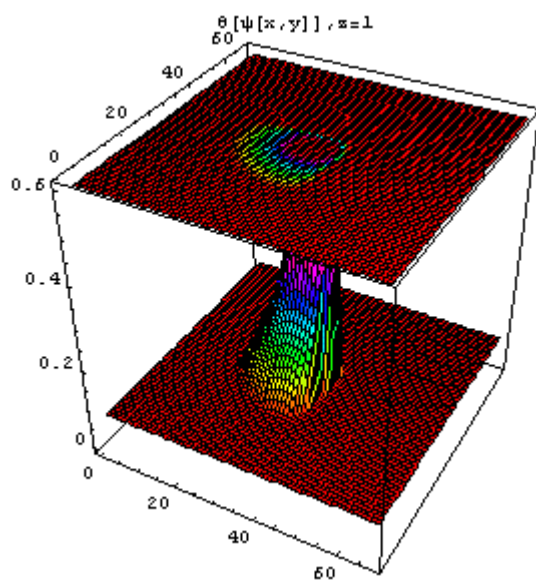
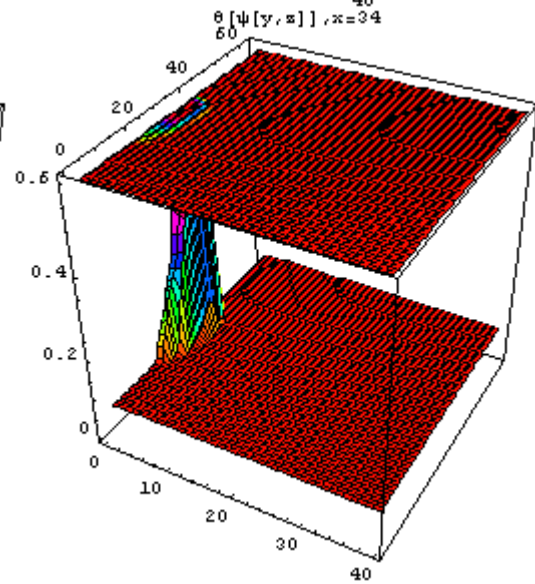
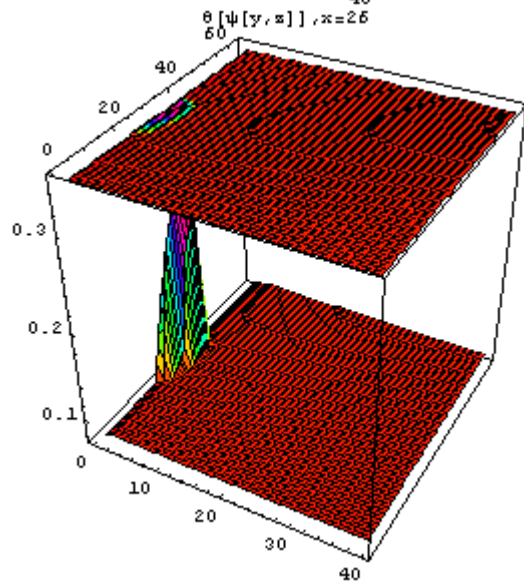
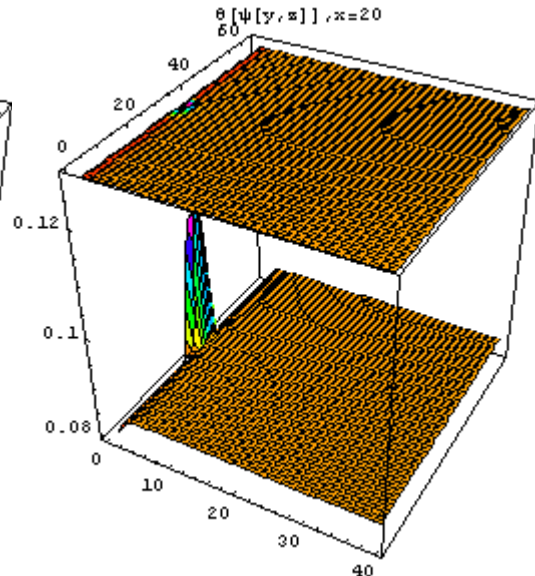
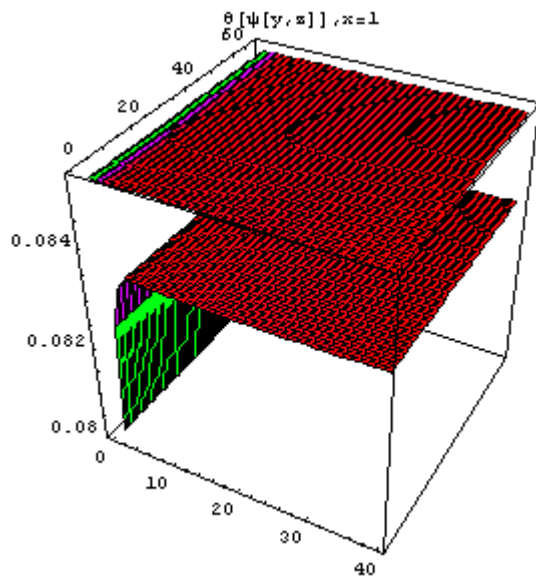
Περιεχόμενη υγρασία = αρχική περιεχόμενη υγρασία +άρδευση-ρετ-απορροή-οριζοντα διάχυση .Η αρχική περιεχόμενη υγρασία είναι 13,15 λίτρα.

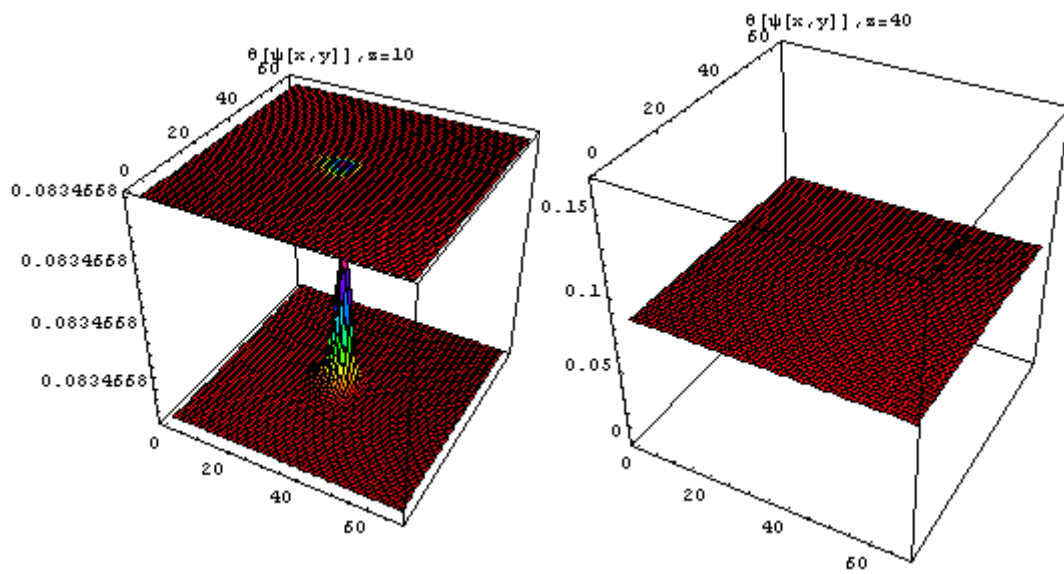
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές των όγκων (λίτρα) του ισοζυγίου σε διάφορες χρονικές στιγμές για ένα κύκλο 24 ωρών.

Χρόνος	Περιέχ. υγρασία	Άρδευση	Απορροή	Οριζ. διάχυση	εξάτμιση	διαπνοή
0,3	15,6	2,4	0,02	0	0	0.015
4	13,5	2,4	0,2	0	- 0,1	1,8
4,3	15,7	4,8	0,22	0	- 0,1	2
8	14	4,8	0,31	0,1	- 0,18	3,6
24	12,5	4,8	1,8	0,2	- 0,18	3,6

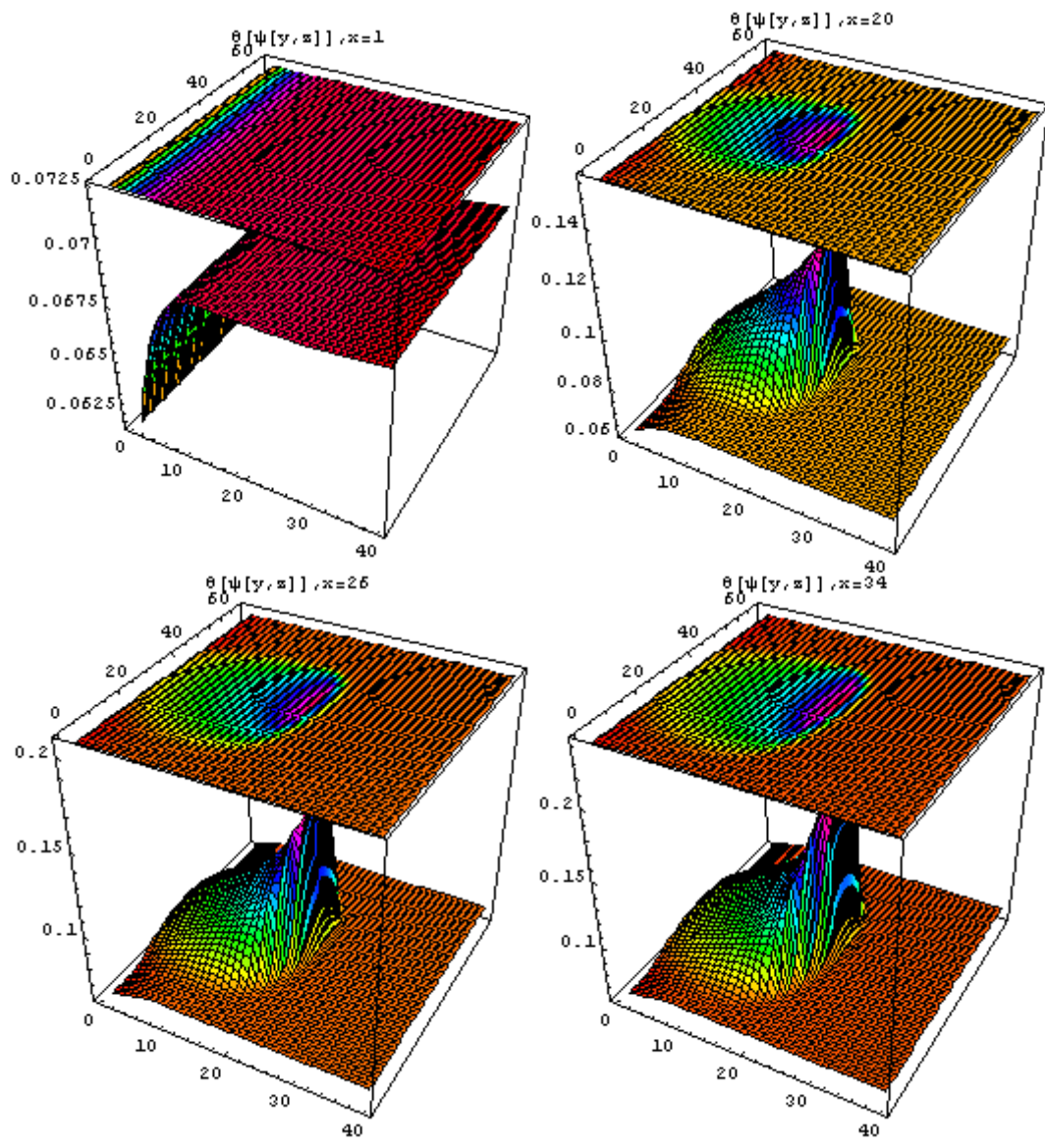
γραφήματα της περιεχόμενης υγρασίας για διάφορες οριζόντιες και κάθετες εγκάρσιες τομές .

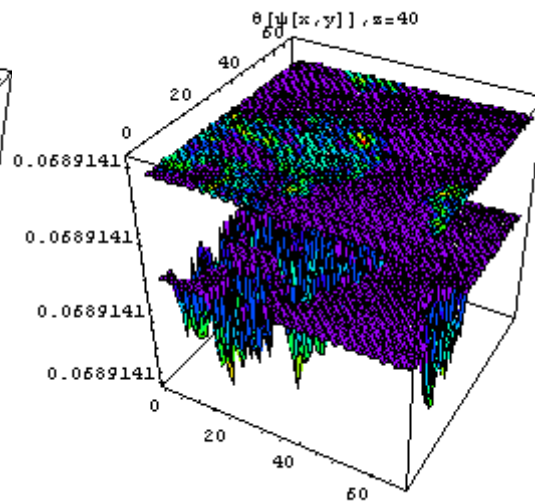
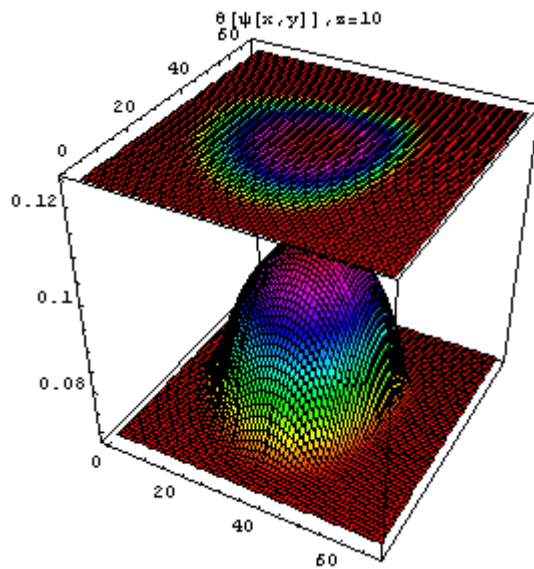
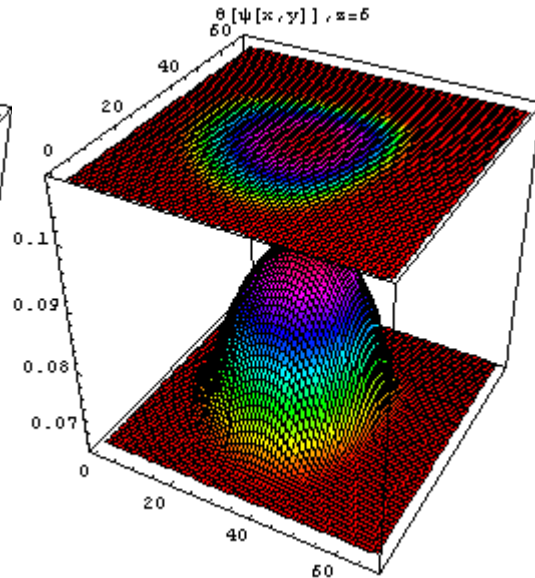
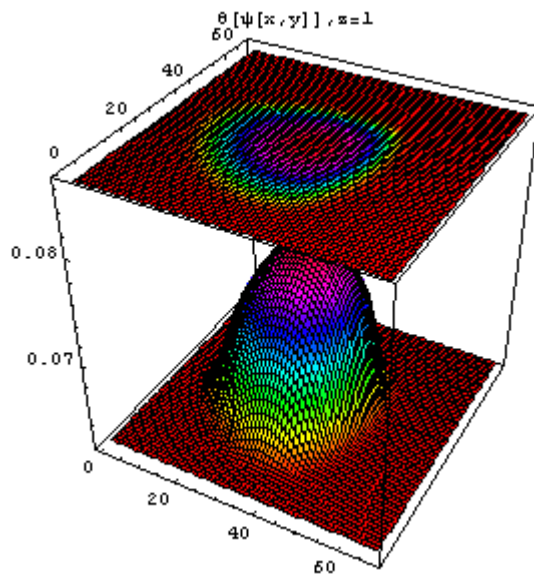
γραφήματα για $t=0,3 \text{ h}$



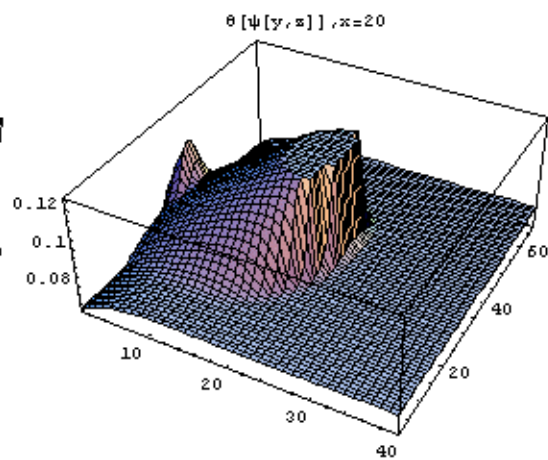
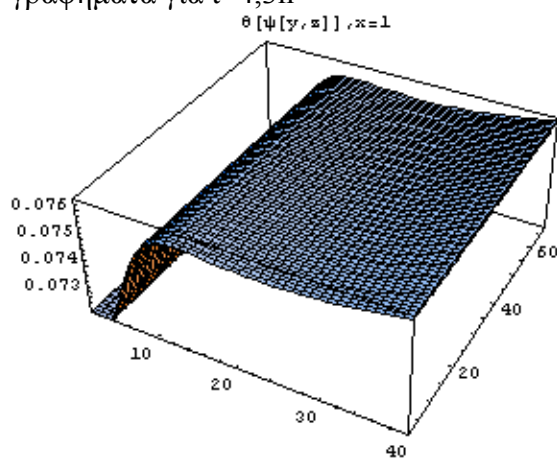


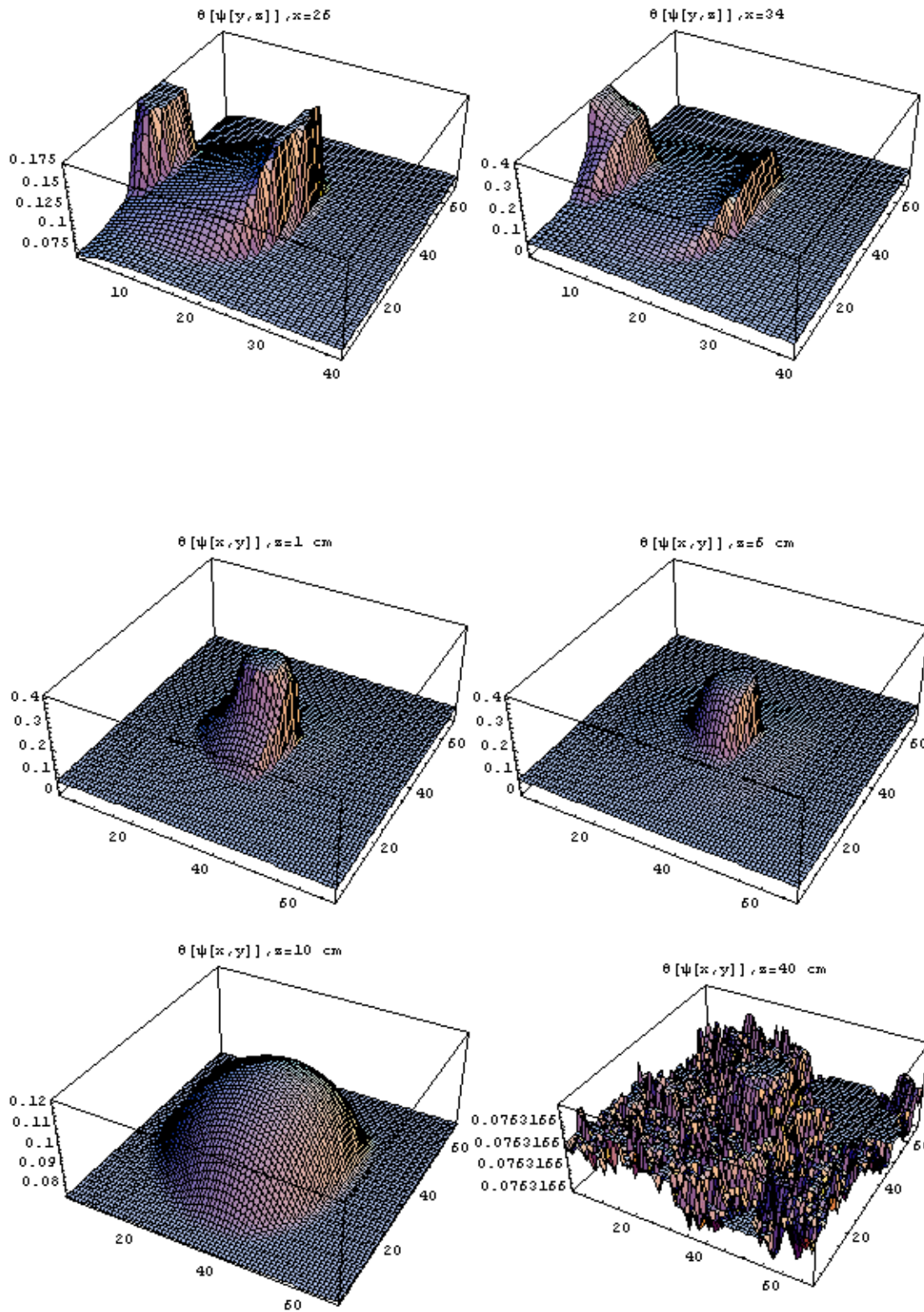
γραφήματα για $t=4h$



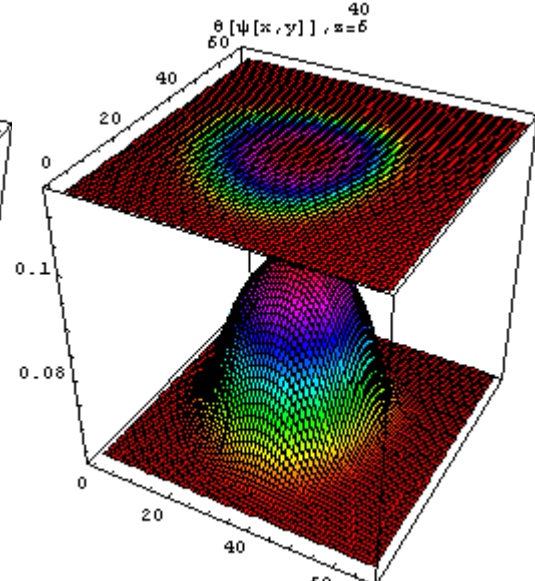
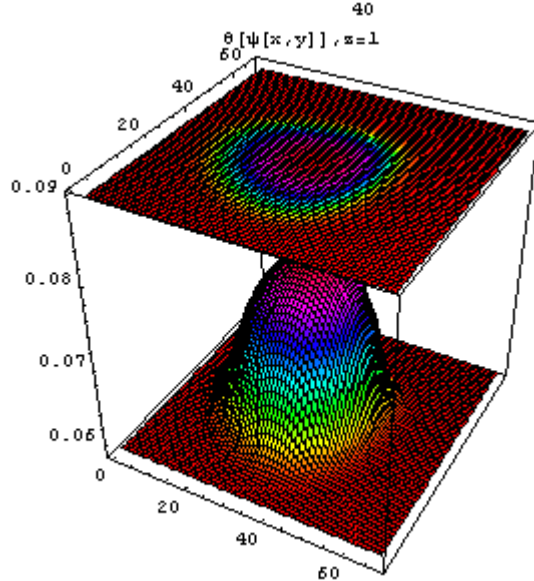
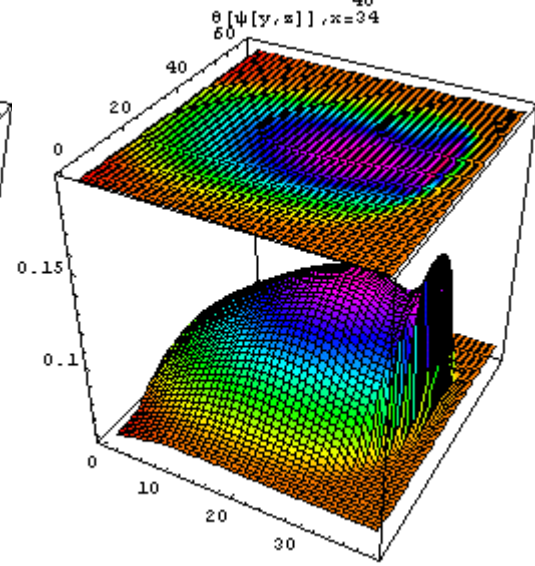
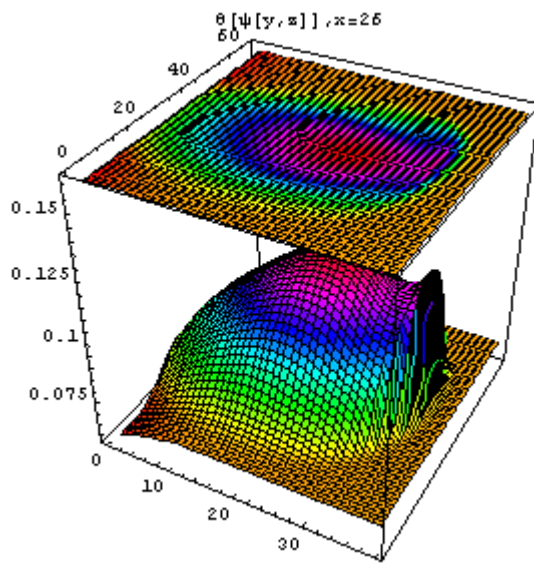
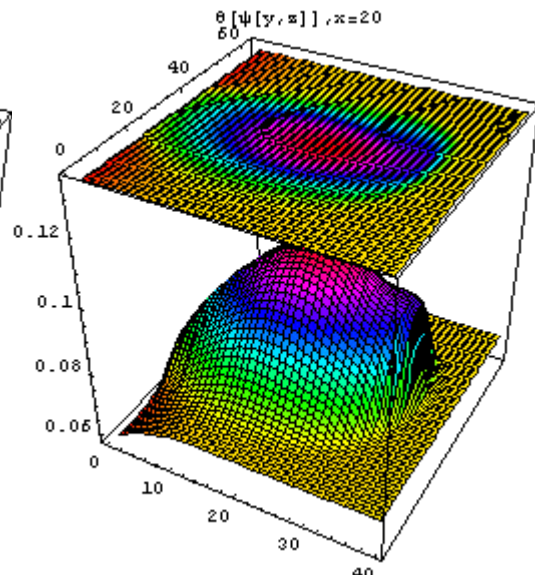
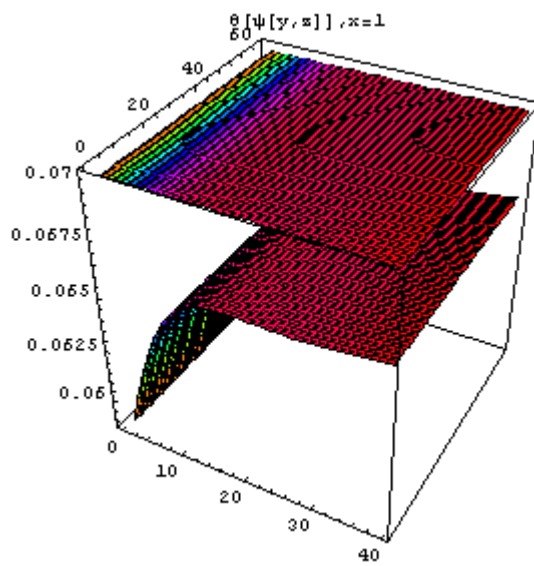


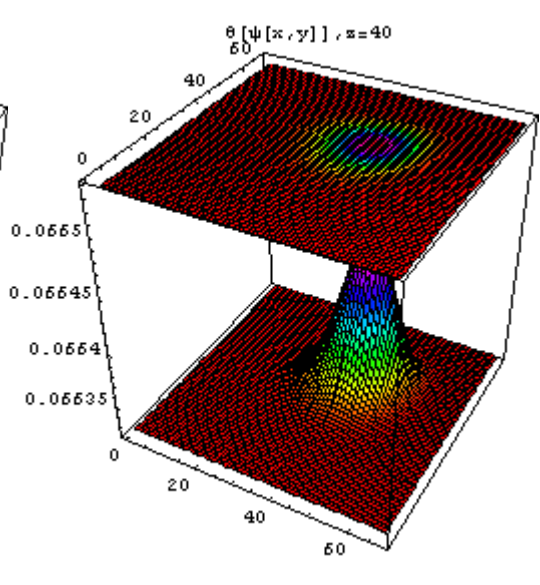
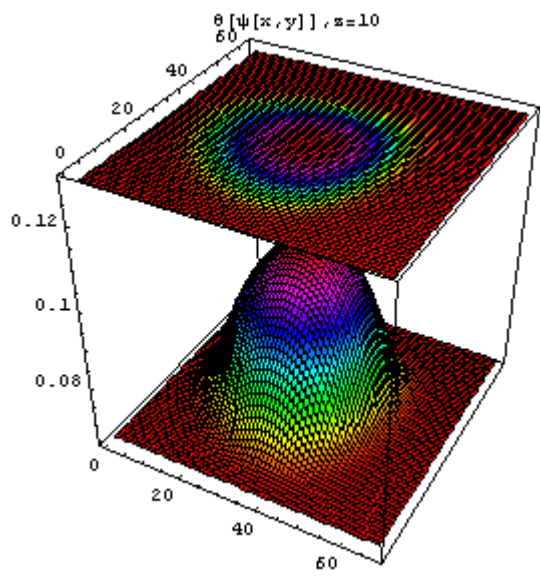
γραφήματα για $t=4,3h$



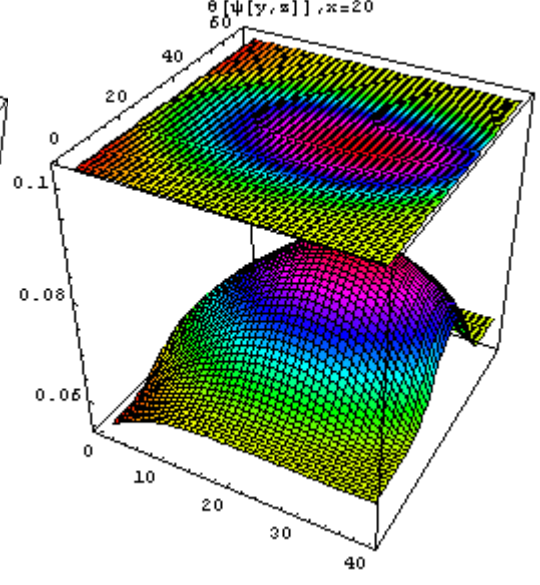
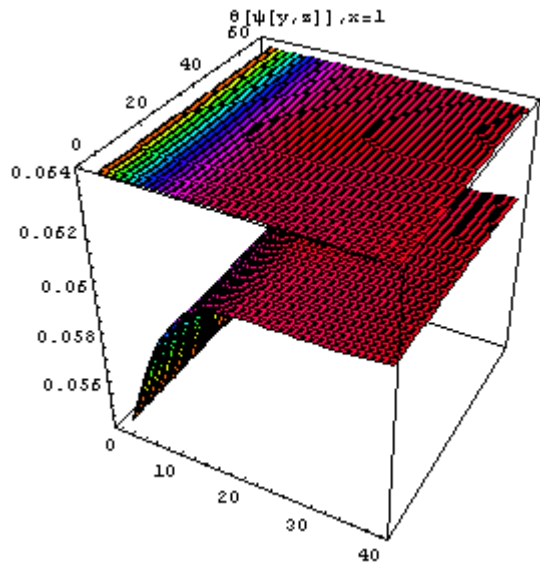


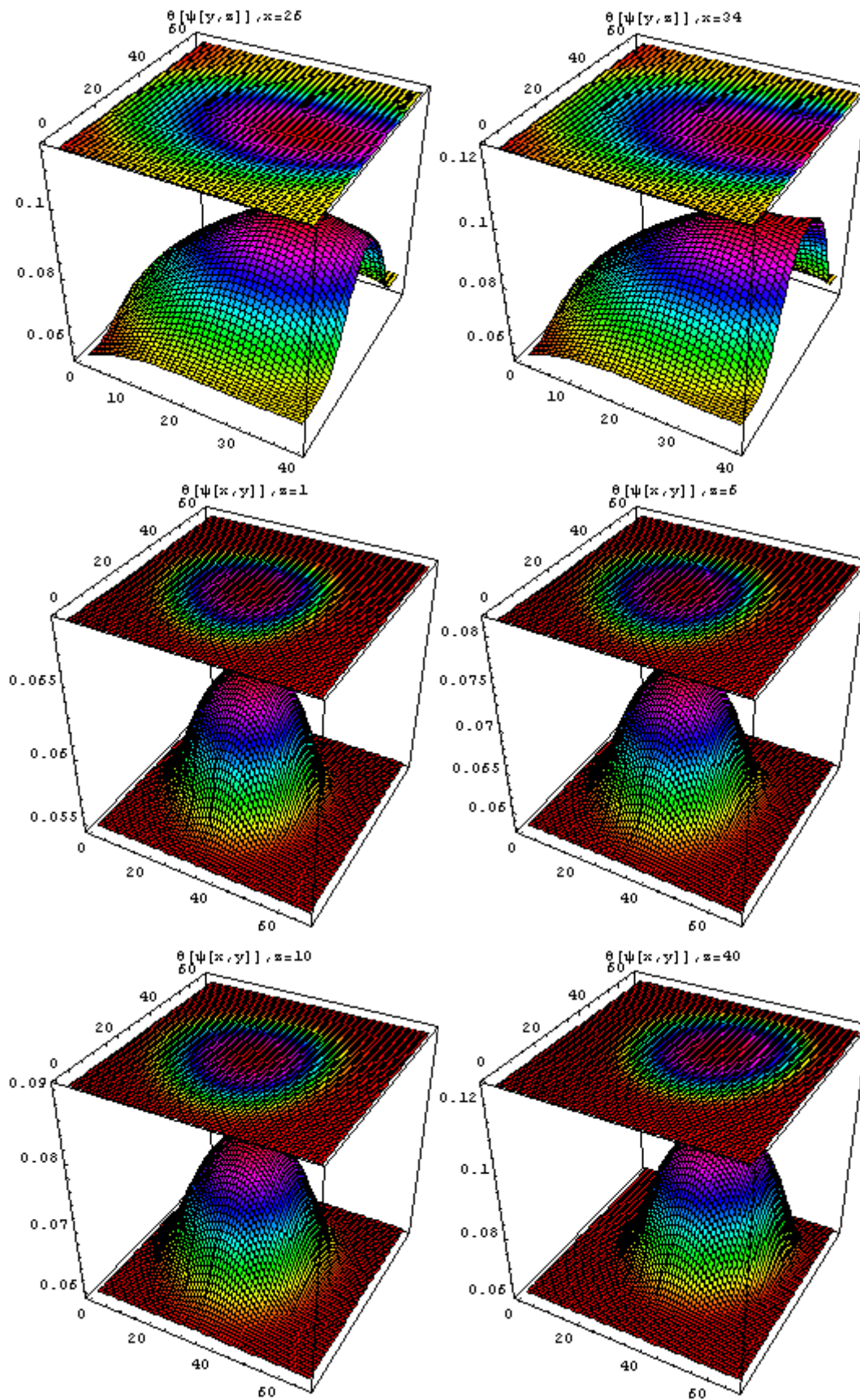
γραφήματα για $t=8h$





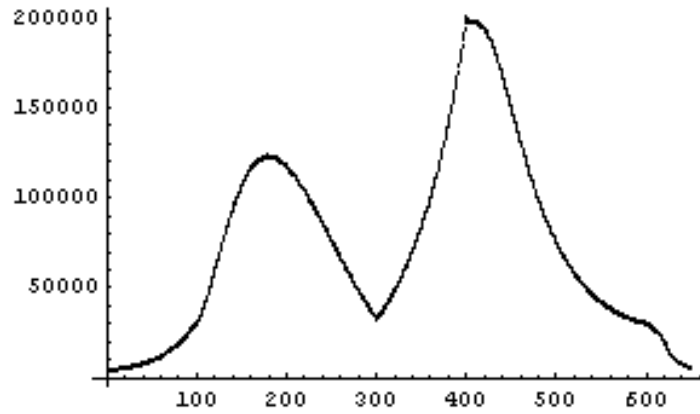
γραφήματα για $t=24h$





Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής απορρόφησης

$$rx = \sum_{i=1}^n rdist_i \cdot k_i \cdot \Delta z \cdot \Delta x \cdot \Delta y$$
 συναρτήσει των χρονικών δειγμάτων για όλο τον κύκλο των 24 ωρών.



Πλήθος χρονικών δειγμάτων	$\Delta t(h)$	Χρονικό διάστημα (h)
100	3×10^{-3}	0-0,3
200	$18,5 \times 10^{-3}$	0,3-4
100	3×10^{-3}	4-4,3
200	$18,5 \times 10^{-3}$	4,3-8
100	160×10^{-3}	8-24

Πηλώδες έδαφος
 Δίνονται οι παρακάτω σταθερές

$$\Theta_{sut}=0,43(\text{cm}^3 / \text{cm}^3)$$

$$\Theta_r=0,078(\text{cm}^3 / \text{cm}^3)$$

$$\Psi_i=67 \text{ cm}$$

$$\Psi_d=27,8 \text{ cm}$$

$$K_{sut}=1,04(\text{cm}/\text{h})$$

$$\lambda=1,56$$

$$n=2+2,5 \lambda$$

$\rho_{\text{total}}=4000 \text{ cm}^3$

Qαρδευσης=4000 cm^3/h

Xf=68 cm (οριζόντια διάσταση)

Zf=40 cm (κάθετη διάσταση)

Το ισοζύγιο του νερού θα είναι:

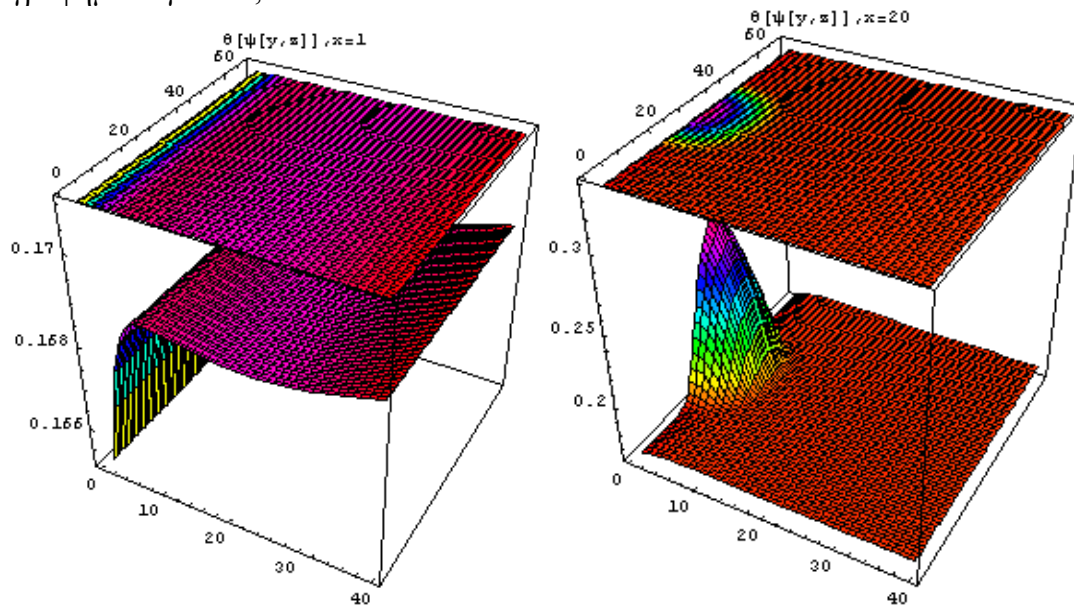
Περιεχόμενη υγρασία = αρχική περιεχόμενη υγρασία +άρδευση-ret-απορροή-οριζοντα διάχυση .Η αρχική περιεχόμενη υγρασία είναι 27,6 λίτρα.

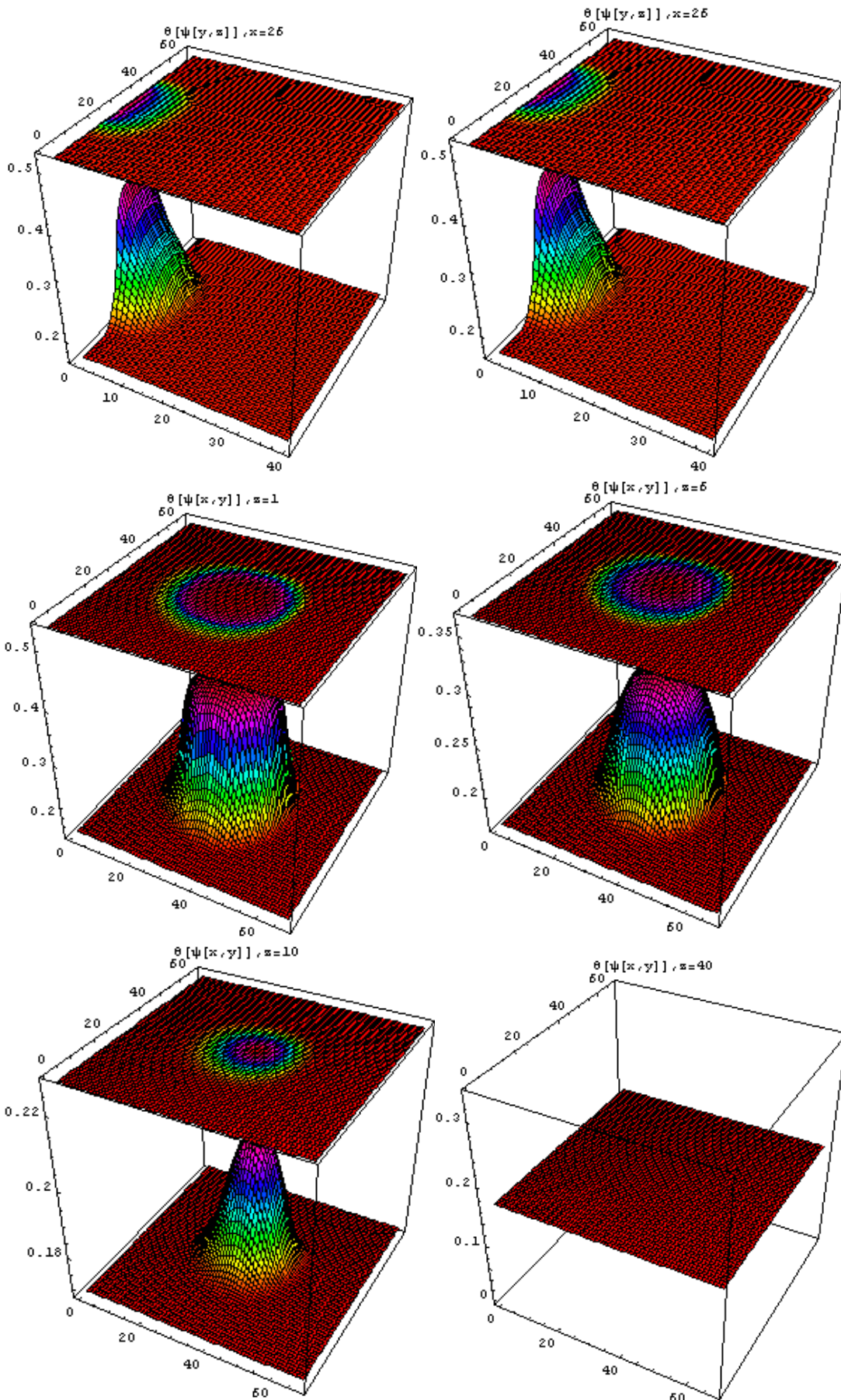
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές των όγκων (λίτρα) του ισοζυγίου σε διάφορες χρονικές στιγμές για ένα κύκλο 24 ωρών.

Χρόνος	Περιεχ. υγρασία	Άρδευση	Απορροή	Οριζ. διάχυση	εξάτμιση	διαπνοή
1,2	32,1	4,8	0,065	0	0	0,22
8	28,2	4,8	0,35	0,1	- 0,24	3,58
24	28	4,8	0,63	0,2	- 0,24	3,58

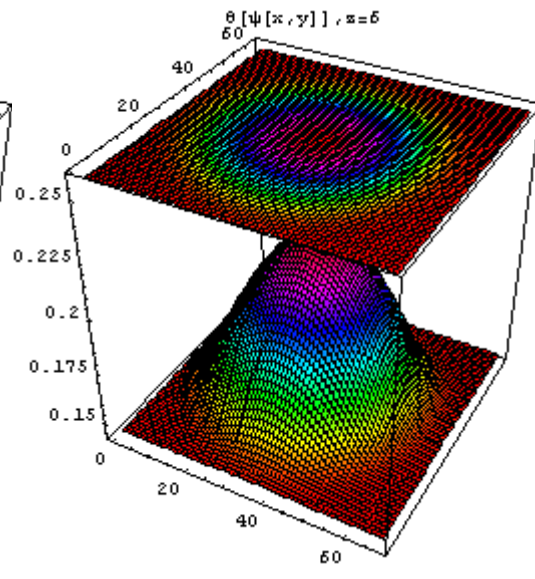
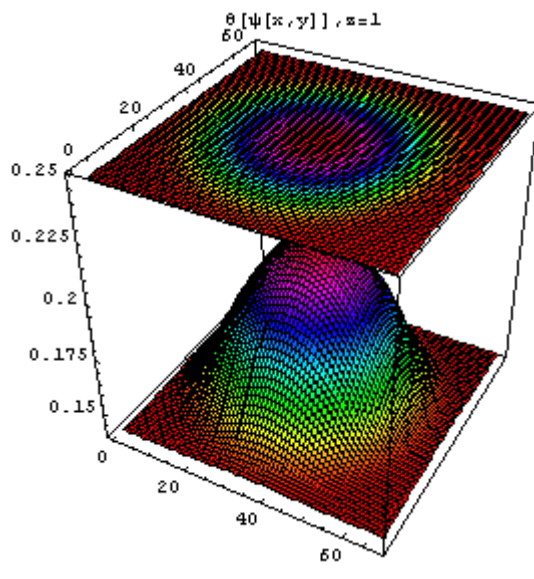
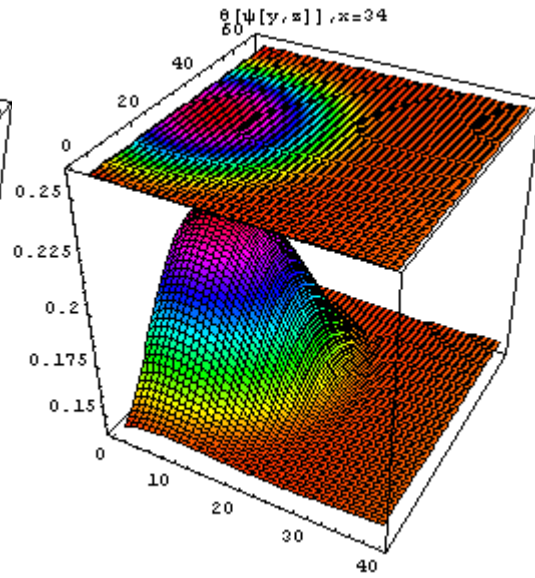
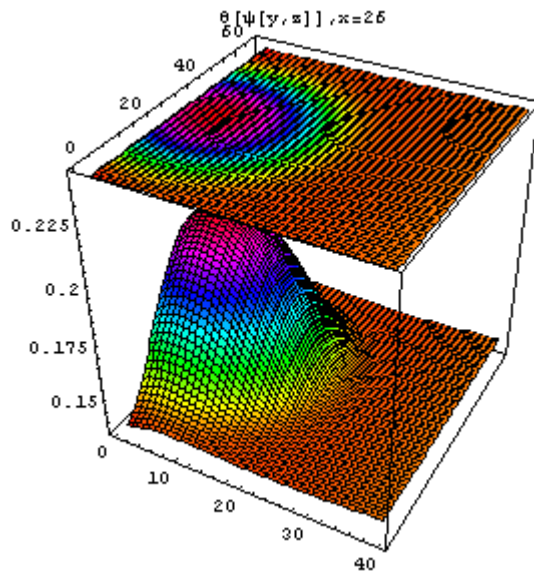
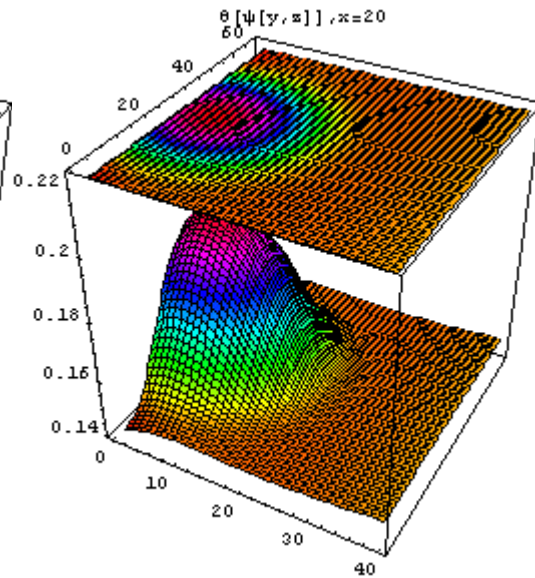
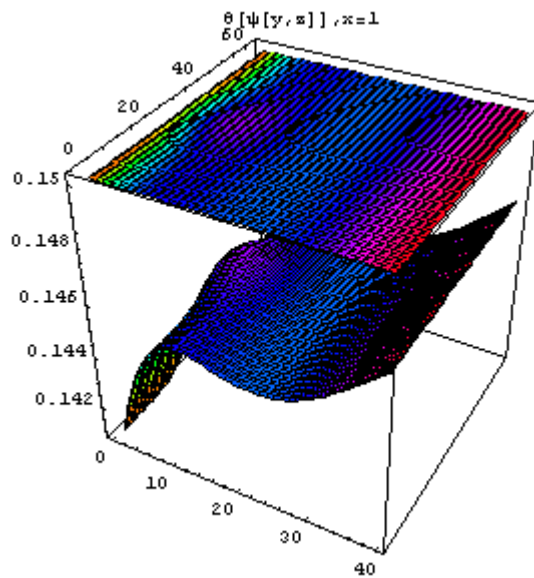
γραφήματα της περιεχόμενης υγρασίας για διάφορες οριζόντιες και κάθετες εγκάρσιες τομές .

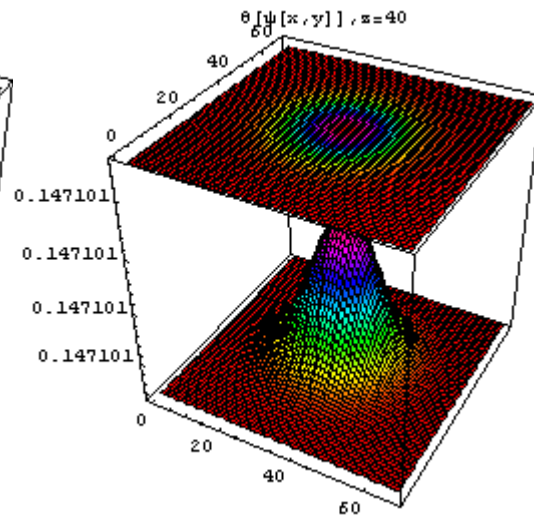
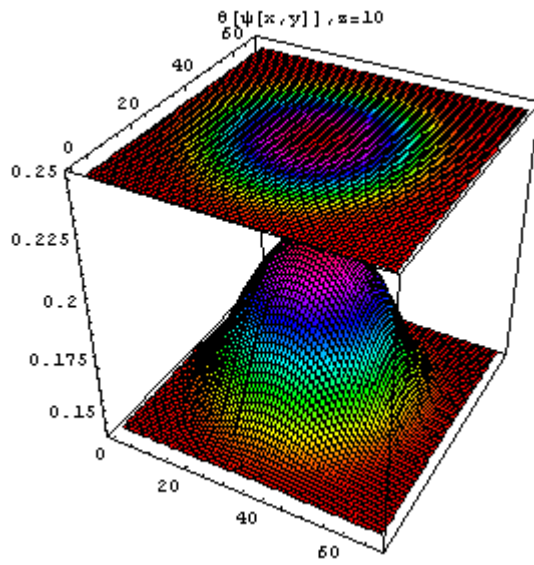
γραφήματα για $t=1,2\text{h}$



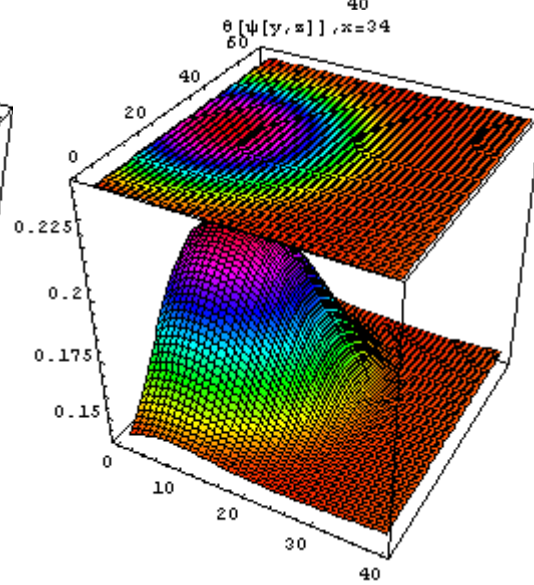
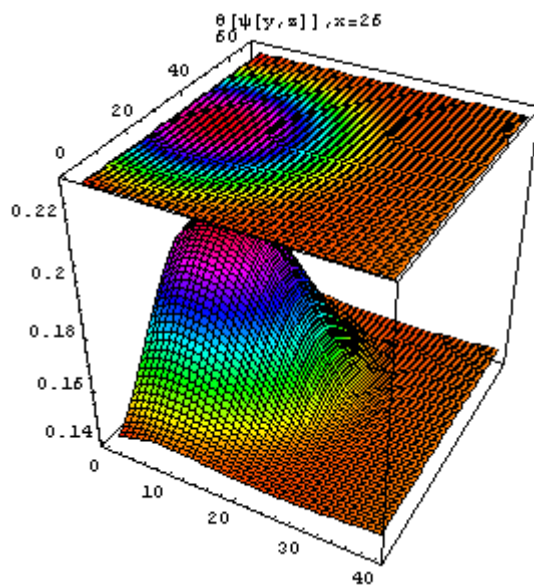
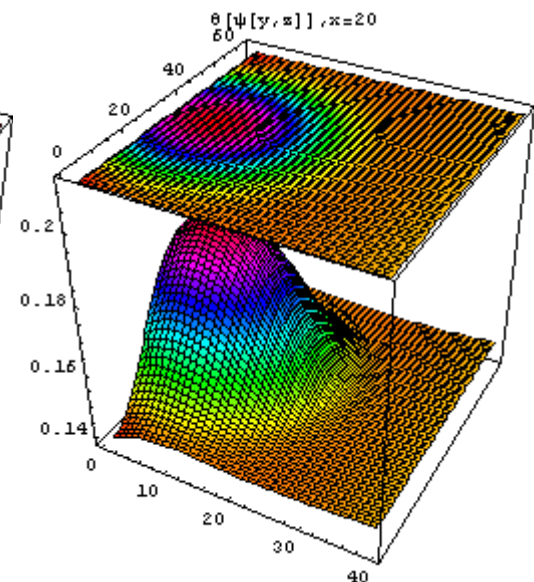
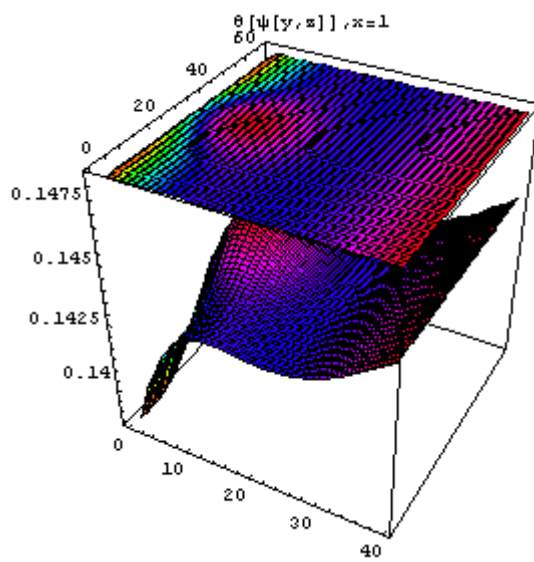


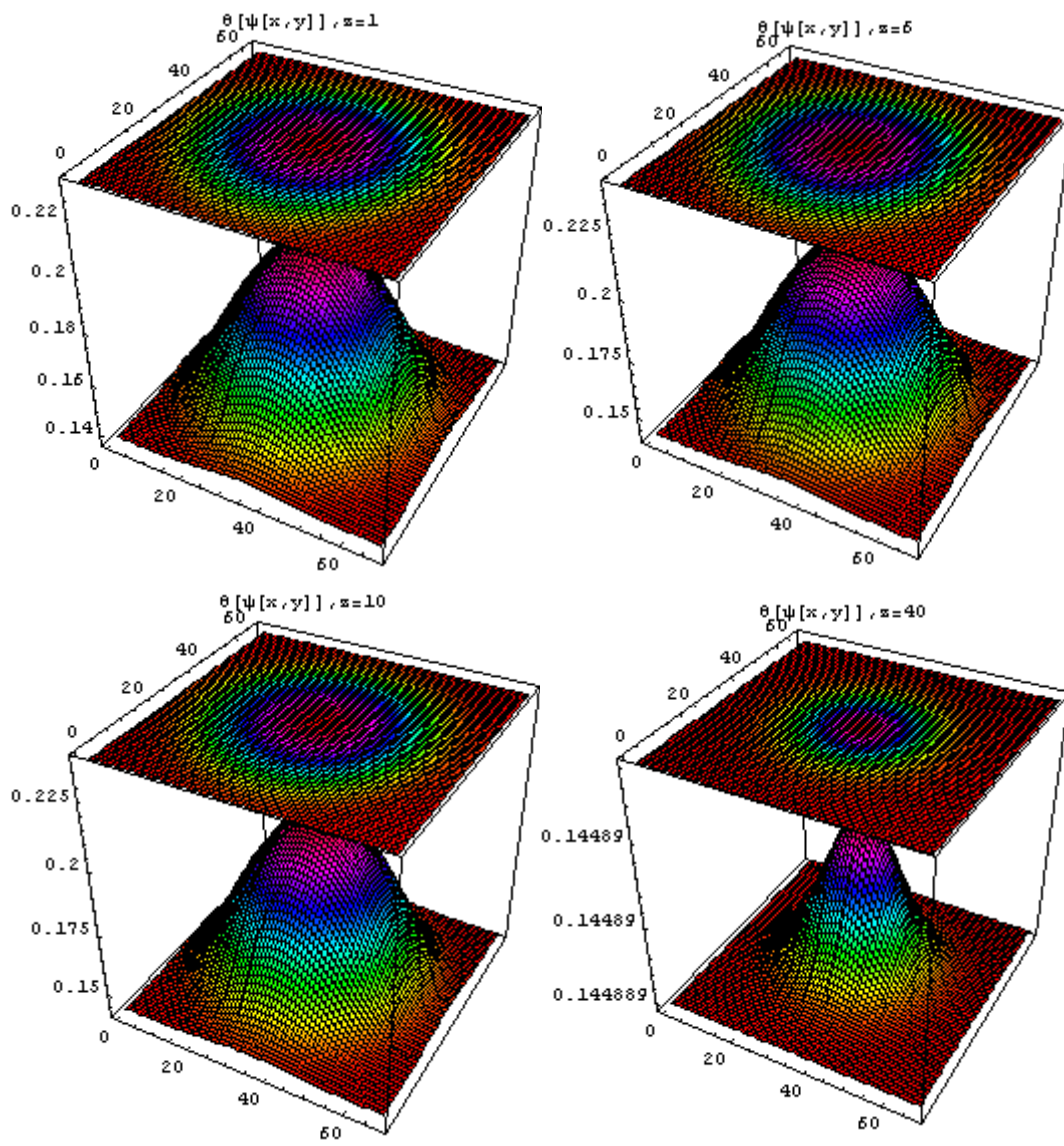
γραφήματα για $t=8$ h



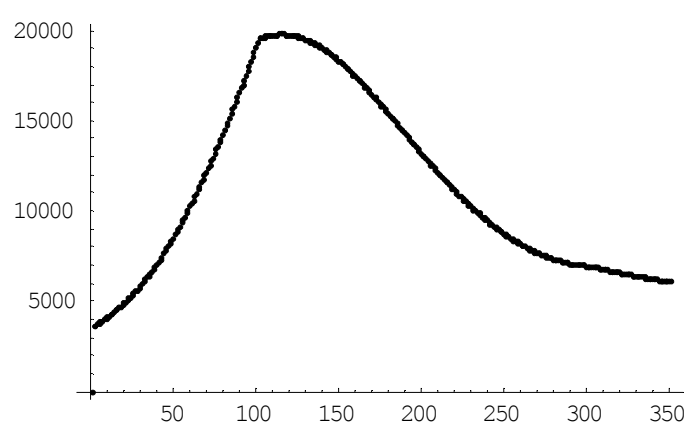


γραφήματα για $t=24$ h





Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής απορρόφησης



$$rx = \sum_{1}^n rdist_i \cdot k_i \cdot \Delta z \cdot \Delta x \cdot \Delta y \text{ συναρτήσει των χρονικών δηγμάτων για όλο τον κύκλο}$$

των 24 ωρών.

Πλήθος χρονικών δηγμάτων	$\Delta t(h)$	Χρονικό διάστημα (h)
100	12×10^{-3}	0-1,2
200	34×10^{-3}	1,2-8
50	320×10^{-3}	8-24

1.3. Σύστημα άρδευσης –λίπανσης

1.3.1. Βασική θεωρία

Ορισμοί

Για την μελέτη και υλοποίηση της μονάδας άρδευσης και λίπανσης είναι απαραίτητη

η γνώση των παρακάτω μεγεθών :

- a) παροχή: ορίζεται ως ο όγκος $V(m^3)$ του ρευστού που ρέει μέσα σε ένα αγωγό διατομής $S(m^2)$ στην μονάδα του χρόνου $dt(sec)$,

$$Q = \frac{dV}{dt} = S \cdot \frac{dl}{dt} = S \cdot u (m^3 \text{ sec}^{-1}) \quad (1.13)$$

όπου l (m) είναι το στοιχειώδες μήκος του αγωγού και $u(m \text{ sec}^{-1})$, η μέση (ως προς την διατομή) ταχύτητα του ρευστού.

- Στατική πίεση: ορίζεται ως η δύναμη $F(Nt)$ που ασκείται στο ρευστό ανοιγμένη με τη διατομή S του αγωγού,

$$P_s = \frac{F}{S} (Nt \text{ m}^{-2}) \text{ ή } (Pa) \quad (1.14)$$

- Υψομετρική πίεση: ορίζεται ως την υδροστατική πίεση που ασκεί το βάρος του ρευστού λόγω υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των σημείων του αγωγού,

$$P_w = \varepsilon \cdot h = p \cdot g \cdot h (Pa) \quad (1.15)$$

όπου $\varepsilon(kp \text{ m}^{-3})$, το ειδικό βάρος του ρευστού, $\rho(kg \text{ m}^{-3})$, η πυκνότητά του, $g(m \text{ sec}^{-2})$, η επιτάχυνση της βαρύτητας και h (m) είναι η Υψομετρική διαφορά.

- Δυναμική πίεση: οφείλεται στην ταχύτητα του ρευστού και ορίζεται:

$$P_k = \frac{\rho \cdot u^2}{2} (Pa) \quad (1.16)$$

- Πίεση απωλειών : οφείλεται στη τριβή όπου λόγω της απώλειας της ενέργειας δημιουργείται μια μείωση της στατικής πίεσης κατά μήκος του αγωγού και

ορίζεται ως το γινόμενο της δυναμικής πίεσης με ένα αδιάστατο συντελεστή τριβής λ και του λόγου του μήκους $l(m)$ με την διάμετρο $d(m)$ του αγωγού :

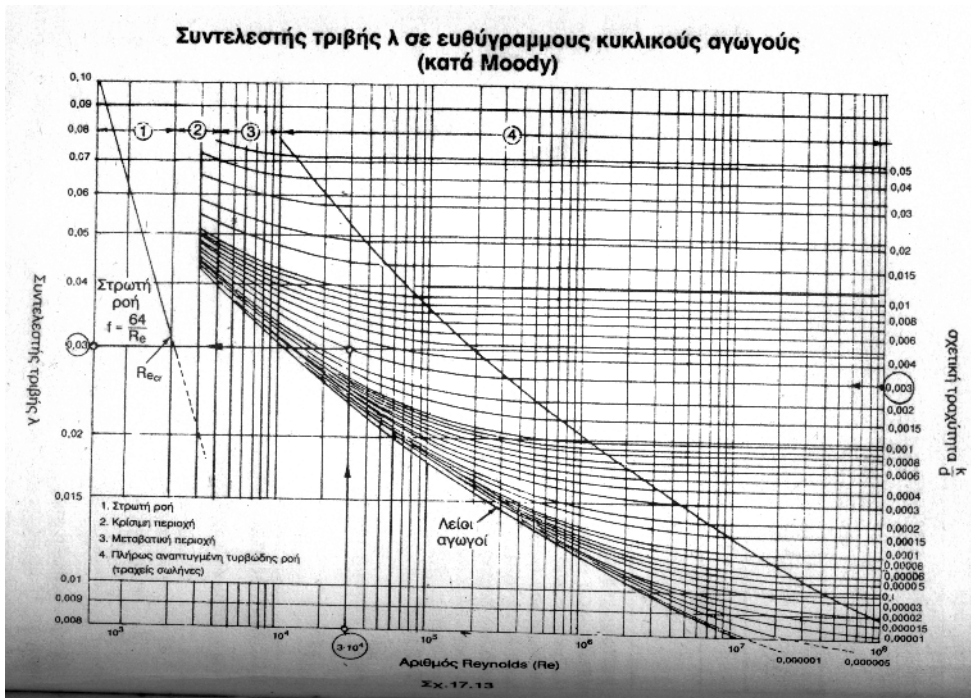
$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot Pk = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2} (Pa) (1.17)$$

όπου $\lambda = \frac{64}{Re}$ αν $Re < 2320$ (στρωτή ροή).

με $Re = \frac{u \cdot d}{\nu}$, τον αριθμό (Reynolds) και $\nu (m^2 \text{ sec}^{-1})$, το κινηματικό ιξώδες.

Αν $Re > 2320$ (τυρβώδη ροή) ο συντελεστή τριβής λ προκύπτει από το διάγραμμα Moody σε συνάρτηση του αριθμού Re και τη σχετική τραχύτητα

$Rasp = \frac{k(mm)}{d(mm)}$, όπου k , η τραχύτητα που δίνεται από πίνακες των κατασκευαστών.



- Νόμοι της ροής

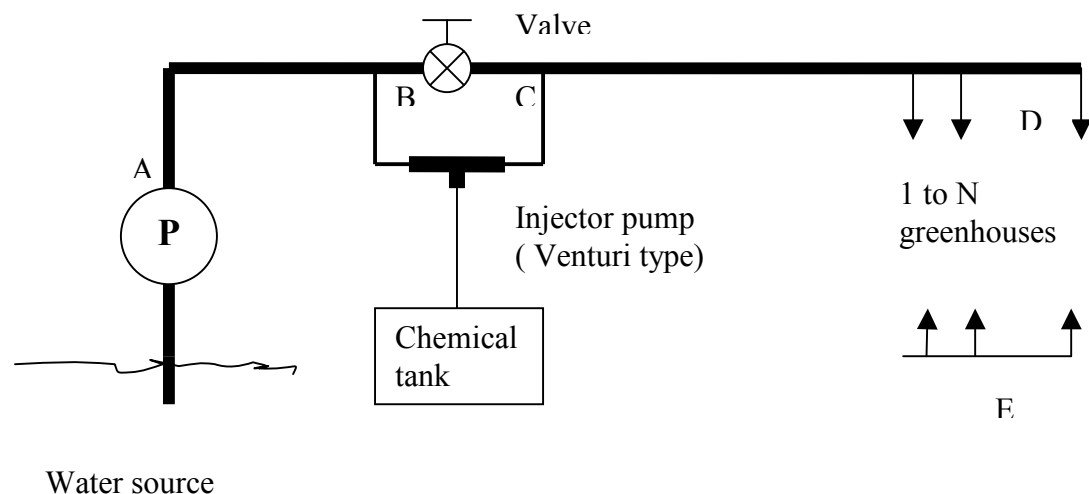
Για τα ιδανικά ρευστά υγρά ισχύουν οι παρακάτω νόμοι:

νόμος της συνέχειας :όπου λέει ότι κατά μήκος ενός αγωγού μεταβλητής διατομής η παροχή διατηρείται σταθερή, $Q = S_1 \cdot u_1 = S_2 \cdot u_2 = \text{σταθερή}$ (1.18)

Ο νόμος του Bernoulli:όπου λέει ότι κατά μήκος ενός αγωγού μεταβλητής διατομής το άθροισμα της στατικής ,της δυναμικής και της υψομετρικής πίεσης διατηρείται σταθερό: $P_s + P_k + P_w = \text{σταθερό}$ (1.19)

1.3.2. Διάγραμμα μονάδας άρδευσης –λίπανσης

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα τυπικό διάγραμμα των αγωγών , της αντλίας άρδευσης και της αντλίας λίπανσης που συνθέτουν τη μονάδα άρδευσης και λίπανσης.



Η ισχύς $N(W)$ του κινητήρα της αντλίας P θα είναι:

$$N = \frac{Q \cdot H}{\eta r} (W) \quad (1.20)$$

όπου Q η παροχή, $H(P_a)$ η μανομετρική πίεση που είναι ίση με το άθροισμα της υψομετρικής πίεσης P_w Σχ.(1.15) και της συνολικής πτώσης πίεσης κατά μήκος του αγωγού, και ηr η ολική απόδοση = $\eta_n \cdot \eta_m$, όπου η_n η ογκομετρική απόδοση της αντλίας και η_m η μηχανική απόδοση της μονάδας κινητήρα-αντλία.

Εάν θεωρηθεί η υψομετρική διαφορά αμελητέα, $P_w=0$, η μανομετρική πίεση γίνεται το άθροισμα των πιέσεων απωλειών των διαφόρων τμημάτων του αγωγού.

- Τμήματα A-B και C-D: από την σχέση (1.17) αντικαθιστώντας τα αντίστοιχα μήκη και διατομές.
- Επεκτείνοντας τον νόμο του Bernoulli για αγωγό που διακλαδίζεται (κόμβος B) μπορεί να βρεθεί η πτώση πίεσης μεταξύ των κόμβων B-C.

κόμβος B:

$$\text{μεταβολή του έργου} \rightarrow \Delta w = P_{s(B)} \cdot V_{(B)} - (P_{s(kB)} \cdot V_{(k)} + P_{s(vB)} \cdot V_{(v)})$$

$$\text{μεταβολή της κινητικής ενέργειας} \rightarrow \Delta E_{κιν.} = P_{κ(B)} \cdot V_{(B)} - (P_{κ(kB)} \cdot V_{(k)} + P_{κ(vB)} \cdot V_{(v)})$$

κόμβος C:

$$\text{μεταβολή του έργου} \rightarrow \Delta w = P_{s(C)} \cdot V_{(C)} - (P_{s(kC)} \cdot V_{(k)} + P_{s(vC)} \cdot V_{(v)})$$

$$\text{μεταβολή της κινητικής ενέργειας} \rightarrow \Delta E_{κιν.} = P_{κ(B)} \cdot V_{(B)} - (P_{κ(kC)} \cdot V_{(k)} + P_{κ(vC)} \cdot V_{(v)})$$

αλλά: $\Delta w = \Delta E_{κιν.} + \Delta E_{δυν.}$ με $\Delta E_{δυν.} = 0$ προκύπτει \rightarrow

κόμβος B:

$$P_{s(B)} - P_{s(kB)} = P_{κ(B)} - P_{κ(kB)} \quad \text{και}$$

$$P_{s(B)} - P_{s(vB)} = P_{κ(B)} - P_{κ(vB)}$$

κόμβος C:

$$P_{s(C)} - P_{s(kC)} = P_{κ(C)} - P_{κ(kC)} \quad \text{και}$$

$$P_{s(C)} - P_{s(vC)} = P_{κ(C)} - P_{κ(vC)}$$

$$\text{ισχύει: } P_{κ(B)} = P_{κ(C)}, P_{κ(kB)} = P_{κ(kC)} \quad \text{και} \quad P_{κ(vB)} = P_{κ(vC)}$$

αφαιρώντας κατά μέλη τις σχέσεις του κάθε κλάδου προκύπτει:

$P_{s(B)} - P_{s(C)} = P_{s(kB)} - P_{s(kC)}$, για τον κύριο κλάδο K και

$P_{s(B)} - P_{s(C)} = P_{s(vB)} - P_{s(vC)}$, για τον παρ/λο κλάδο V

αλλά η διάφορα πίεσης μεταξύ αρχής και τέλους του κάθε κλάδου είναι ίση με την πτώση πίεσης λόγω απωλειών.

$$P_{s(B)} - P_{s(C)} = \lambda_{(k)} \cdot \frac{l_{(k)}}{d_{(k)}} Pk_{(k)} = \lambda_{(v)} \cdot \frac{l_{(v)}}{d_{(v)}} Pk_{(v)} \quad (1.21)$$

όπου οι δείκτες : Πίεση (α, β) δείχνουν τον κλάδο και τον κόμβο αντίστοιχα.

Τα $l_{(k)}$ και $l_{(v)}$ είναι τα ισοδύναμα μήκη των εξαρτημάτων που είναι συνδεδεμένα στους αντίστοιχους κλάδους.

ε) Τμήμα D-E: το τμήμα αυτό αποτελείται από N παρ/λους κλάδους φορτίων , όπου N, το πλήθος των θερμοκηπίων και άρα η πτώση πίεσης μπορεί να βρεθεί από την σχέση (1.21). Αλλά από την συνθήκη της συνέχειας (1.18) και θέτοντας τις διατομές στους κλάδους ίδιες με τον κύριο K προκύπτει σχέση της ταχύτητας στο κλάδο K με τις ταχύτητες στους κλάδους των φορτίων.

$$u_k = \sum_{m=1}^N u l_m \quad \forall N \in \mathbb{N}^+ \quad (1.22)$$

αλλά οι ταχύτητες στα φορτία μπορούν να γραφτούν σε σχέση με την μικρότερη ταχύτητα $u l_{\min}$ ως εξής :

$$u l_m = a_m \cdot u l_{\min} \quad \text{όπου } a_m \in \mathbb{R}^+ / 1 \leq a_m \quad (1.23)$$

και άρα

$$u_k = u l_{\min} \cdot \sum_{m=1}^N a_m \quad (1.24)$$

Έτσι και πτώση πίεσης στο τμήμα D-E μπορεί σύντομα με την σχέση (1.24) της ταχύτητας του κύριου κλάδου uk

$$\Delta p_{D-E} = \lambda_{\min} \cdot \frac{l_{\min} \cdot p}{d_k \cdot 2} \cdot \frac{1}{\left(\sum_{m=1}^N a_m\right)^2} \cdot uk^2 \quad (1.25)$$

1.3.3. Παράδειγμα με σταθερή ισχύ της αντλίας και μεταβλητό φορτίο

Δίνονται οι παρακάτω σταθερές:

$$N_{\text{pump}} = 5 \text{ kW}$$

$$N_f = 0,8$$

$$\lambda = 0,03$$

$$l_{\min} = 2000 \text{ m}$$

$$l_{A-B} = 3 \text{ m}$$

$$l_{kB-kC} = 20 \text{ m}$$

$$l_{vB-vC} = 1 \text{ m}$$

$$l_{C-D} = 2 \text{ m}$$

$$dk = 119 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$dv = 24,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Αντικαθιστώντας την H στην σχέση (1.20) με το ισοδύναμο άθροισμα βρίσκουμε την ταχύτητα $uk_{\text{total}} (\text{m s}^{-1})$ στον κύριο αγωγό:

$$H = \Delta p_{A-B} + \Delta p_{B-C} + \Delta p_{C-D} + \Delta p_{D-E} \quad \text{όπου :}$$

$$\text{από την σχ. (1.17)} \quad \Delta p_{A-B} = \lambda \frac{p \cdot l_{A-B}}{2 \cdot dk} uk_{\text{total}}^2,$$

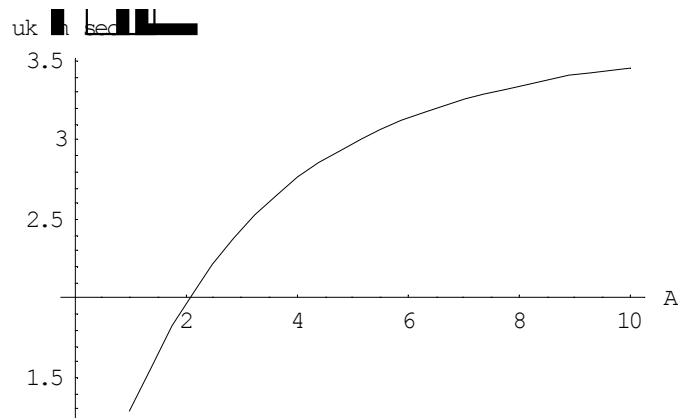
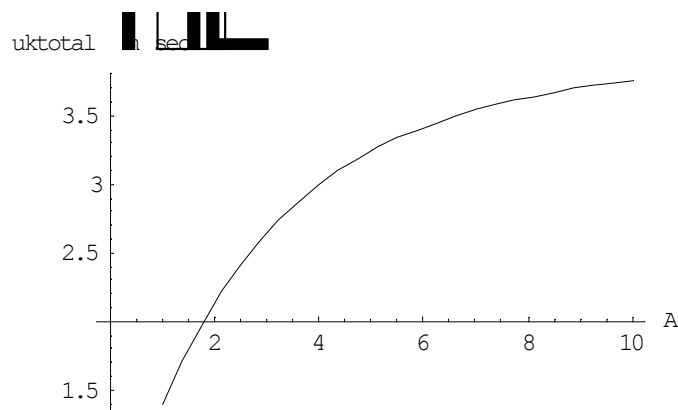
εφαρμόζοντας την σχ.(1.25) στο τμήμα B-C με N=2 και την βοήθεια των (1.18) και

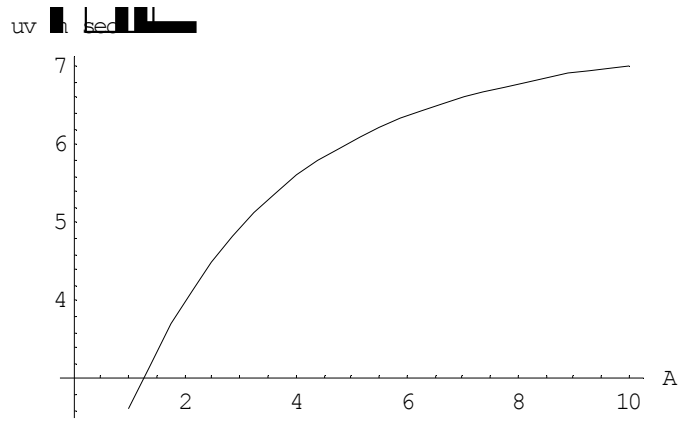
$$(1.21) \text{ έχουμε } \Delta p_{B-C} = \lambda \frac{p \cdot l_{k_{B-kC}}}{2 \cdot dk \cdot \left(1 + \frac{dv^2}{dk^2} \cdot \sqrt{\frac{dv \cdot l_{k_{B-kC}}}{dk \cdot l_{v_{B-vC}}}}\right)^2} uk_{total}^2,$$

όμοια βρίσκουμε και τις άλλες.

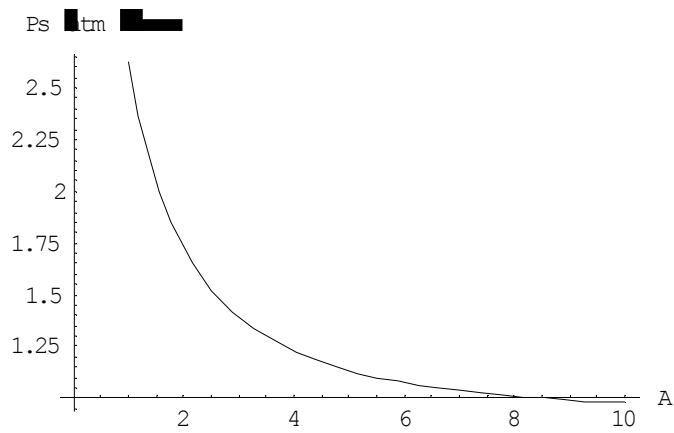
Στα παρακάτω σχήματα διάφορα μεγέθη συνάρτηση της μεταβολής του φορτίου στα

όρια ul_{min} έως $A = ul \min \sum_{m=1}^N a_m = 10 \cdot ul \min$

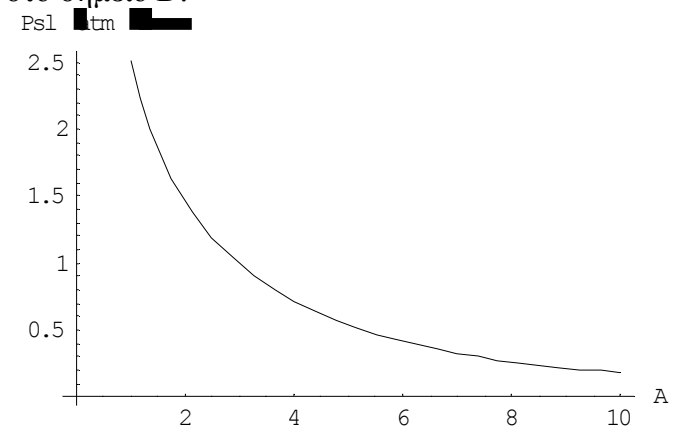




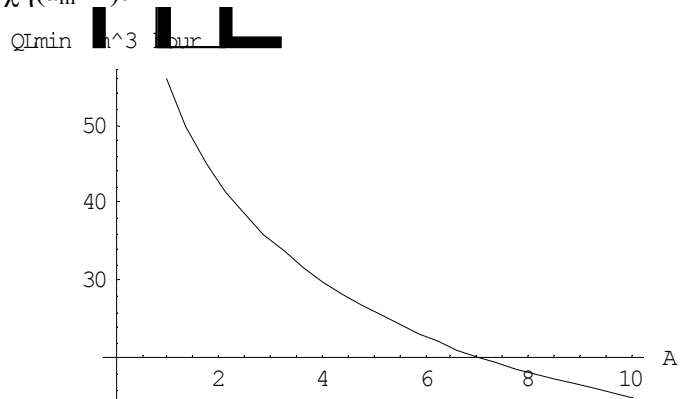
η στατική πίεση στο σημείο A:



η στατική πίεση στο σημείο D:



η ελάχιστη παροχή ($a_m=1$):



παρατηρήσεις

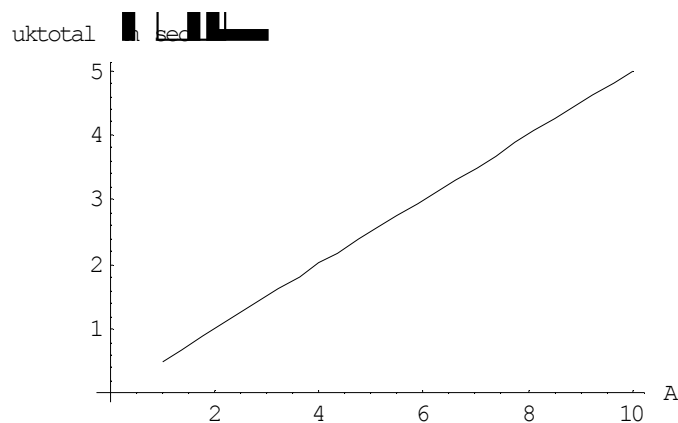
- Από το γράφημα τη στατικής πίεση φαίνεται ότι η πίεση μεταβάλλεται σε μεγάλα όρια ,πράγμα που μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή του αγωγού και υπερθέρμανση του κινητήρα της αντλίας .
- Από το γράφημα της ελάχιστης παροχής φαίνεται η εξάρτησή της από τον αριθμό των φορτίων (θερμοκηπίων) που αρδεύονται κάθε φορά , πράγμα που κάνει απαγορευτική την αντιπροσώπευση της ποσότητας άρδευσης από τον χρόνο διάρκειας της.

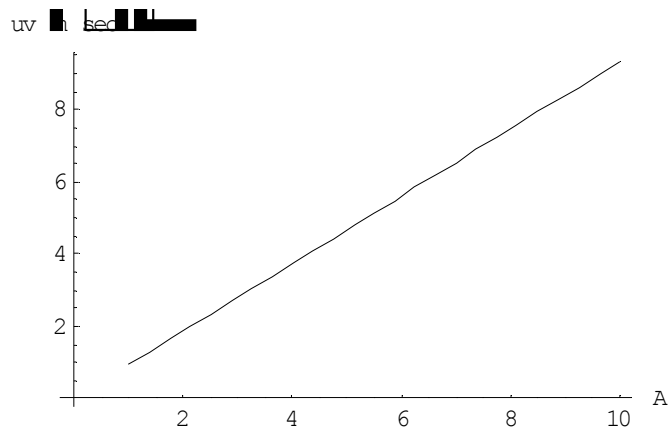
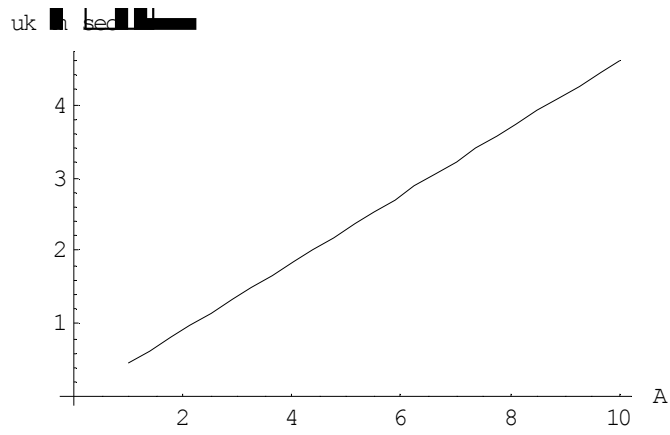
1.3.4. Παράδειγμα με μεταβλητή ισχύ της αντλίας και μεταβλητό φορτίο

Για την λύση του προβλήματος της μεταβολής της ελάχιστης παροχής είναι απαραίτητη η προσαρμογή της ισχύς της αντλίας στο φορτίο ,έτσι ώστε για την συνολική παροχή $Q_{total}(m^3 h^{-1})$ να ισχύει: $Q_{total} = Q_{lmin} \cdot A$,όπου Q_{lmin} ,μια σταθερή ποσότητα ίση $20(m^3 h^{-1})$.

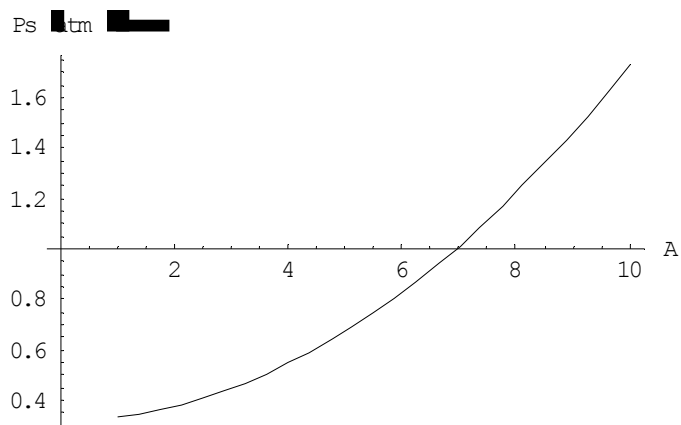
Οι υπόλοιπες σταθερές διατηρούνται οι ίδιες με το προηγούμενο παράδειγμα

Γραφήματα μεγεθών:

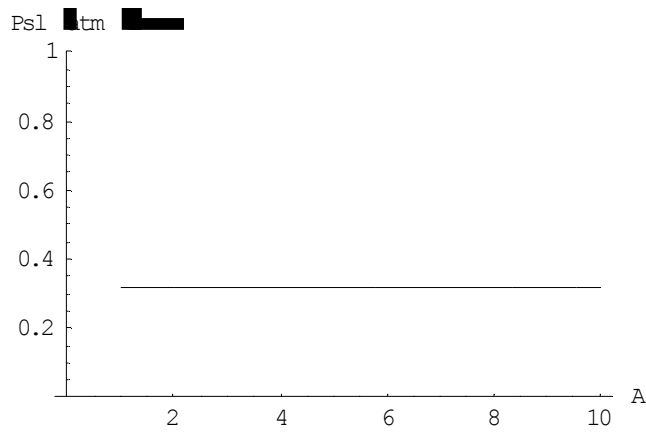




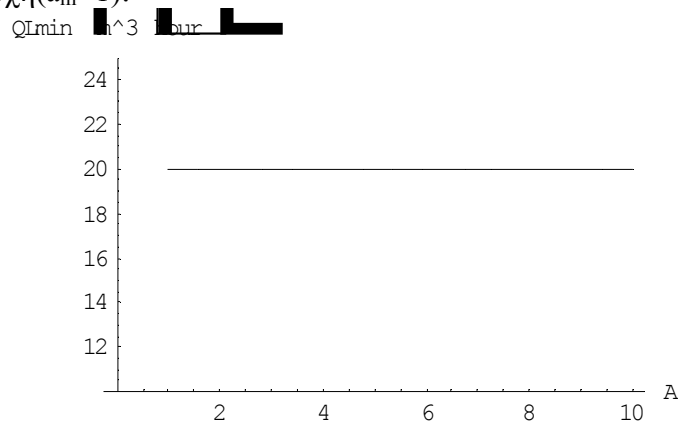
η στατική πίεση στο σημείο A:



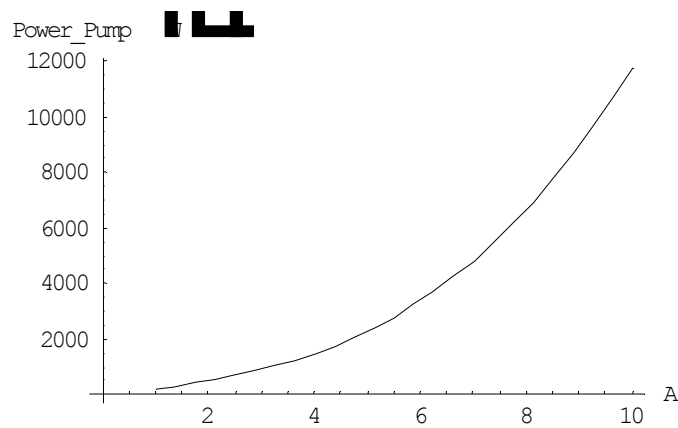
η στατική πίεση στο σημείο D:



η ελάχιστη παροχή($a_m=1$):



η ισχύς της αντλίας:



παρατηρήσεις

- Από το γράφημα τη στατικής πίεση φαίνεται ότι η πίεση μεταβάλλεται σε μικρότερα όρια ,και άρα ποιο ασφαλή λειτουργία .
- Από το γράφημα της ελάχιστης παροχής φαίνεται η ανεξαρτητοποίησή της από τον αριθμό των φορτίων (θερμοκηπίων) που αρδεύονται κάθε φορά

- Η μεταβολή της ισχύος της αντλίας μπορεί να γίνει με δυο τρόπους :α)για μεγάλη μεταβολή είναι απαραίτητη η χρήση inverter για την τροφοδότηση του κινητήρα.β)για μικρή μεταβολή μπορεί να τροφοδοτηθεί με σταθερή ισχύ ο κινητήρας ,αλλά να χρησιμοποιηθεί ένα επιπλέον αγωγός μεταβλητής αντίστασης σε παράλληλη συνδεσμολογία με την αντλία (by pass) για να επιστρέφει η περίσσεια παροχή.

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Έλεγχος μικροκλίματος

2.1. Μοντέλο προσομοίωσης εξατμισοδιαπνοής

Ο έλεγχος του μικροκλίματος απαιτεί την πλήρη γνώση της κατάστασης του αέρα(θερμοκρασία ,υγρασία)και πως αυτή μεταβάλλεται .

Το μοντέλο που ακολουθεί βασίζεται σε μια εργασία των T.Boulard,S.Wang και προσομοιώνει την εξατμισοδιαπνοή συναρτήσει του εξωτερικού κλίματος .

Ισοζύγιο ενέργειας

$$\lambda E + H = \pi * R_g + Q_h - G - K_s * \Delta T \quad (2.1)$$

όπου:

π = ποσοστό εκμετάλλευσης της ακτινοβολίας του ήλιου

R_g = ακτινοβολία του ήλιου ($W m^{-2}$)

λ = $\lambda_0 - C_{ev} * T$ είναι η ειδική θερμότητα εξαερώσεως ($J kg^{-1}$) στη θερμοκρασία

$T (C^{\circ})$, όπου ο $C_{ev} (J kg^{-1} C^{\circ-1})$ είναι ο παράγοντας μείωσης της θερμότητας

εξαερώσεως λ_0 στους $0 C^{\circ}$.

E = πυκνότητα μάζας νερού εξατμισοδιαπνοής ($kg m^{-2} s^{-1}$)

H = πυκνότητα αισθητής θερμότητας ($W m^{-2}$)

Q_h = πυκνότητα προσφερόμενης θερμότητας από το σύστημα θέρμανσης ($W m^{-2}$)

G = πυκνότητα αποθηκευμένης ή ανακτήσιμης θερμότητας από το έδαφος ($W m^{-2}$)

K_s =συντελεστής απώλειας της ενέργειας από την επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου ($W m^{-2} C^{-1}$)

ΔT = διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα (C°)

Η λανθάνουσα ανταλλαγή θερμότητας λόγω της εξατμισοδιαπνοής μπορεί να εκφραστεί σε σχέση με τη διαφορά υγρασίας του αέρα μεταξύ στο εσωτερικό και εξωτερικό χώρο:

$$\lambda E = K_v \Delta e \quad (2.2)$$

όπου Δe είναι το χάσμα μερικής πίεσης υδρατμού μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού αέρα (Pa) και K_v είναι ο συντελεστής μεταφοράς λανθάνουσας θερμότητας ($W m^{-2} Pa^{-1}$).

Η ανταλλαγή αισθητής θερμότητας από τον εξαερισμό μπορεί επίσης να εκφραστεί επίσης σε σχέση με τη διαφορά της θερμοκρασίας στο εσωτερικό και εξωτερικό χώρο:

$$H = K_H \Delta T \quad (2.3)$$

όπου K_H είναι ο συντελεστής μεταφοράς αισθητής θερμότητας ($W m^{-2} Pa^{-1}$).

Η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να εξαχθεί από τη διαθέσιμη ενέργεια στο θερμοκήπιο ($\lambda E + H$) και από το έλλειμμα της μερικής πίεσης των υδρατμών $D_i(Pa)$ από την κατάσταση κορεσμού στον εσωτερικό αέρα (P_a), με τη βοήθεια του τύπου Penman - Monteith:

$$\lambda E = \frac{\delta(\lambda E + H) + 2 \cdot L \cdot p \cdot C_p \cdot D_i / r_a}{\delta + \gamma(1 + r_s / r_a)} \quad (2.4)$$

όπου:

C_p =ειδική θερμότητα του αέρα για σταθερή πίεση 1 atm ($J kg^{-1} C^{-1}$)

P =πυκνότητα του αέρα ($kg m^{-3}$)

γ = ψυχομετρική σταθερά ($Pa C^{-1}$)

ra = αεροδυναμική αντίσταση ($s\ m^{-1}$)

rs = η αντίσταση στα στομάτια των φύλλων ($s\ m^{-1}$)

L = δείκτης επιφάνειας των φύλλων σε σχέση με το έδαφος ($m^2\ m^{-2}$)

δ = η πρώτη παραγωγός της σχέσης που συνδέει την πίεση των κορεσμένων υδρατμών (Pa) σε σχέση με την θερμοκρασία (C°)

Αλλά η D_i μπορεί να εκφραστεί από μια γραμμική σχέση της D_o και T_o του εξωτερικού αέρα.

$$D_i = \delta(T_o)\Delta T - \Delta e + D_o \quad (2.5)$$

Σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις η λανθάνουσα θερμότητα μπορεί να εκφραστεί με σχέση των εξωτερικών κλιματικών παραμέτρων και των συντελεστών μεταφοράς της θερμότητας :

$$\lambda E = \frac{\pi \cdot Rg + Qh - G + \frac{(Ks + KH)K2 \cdot Do}{K1 \cdot KH + K2 \cdot \delta}}{1 + \frac{(Ks + KH)(1 - K1 + K2/Kv)}{K1 \cdot KH + K2 \cdot \delta}} \quad (2.6)$$

Με $K1 = \frac{\delta}{\delta + \gamma(1 + rs/ra)}$ και $K2 = \frac{2 \cdot L \cdot p \cdot Cp/ra}{\delta + \gamma(1 + rs/ra)}$

Καθορισμός παραμέτρων

Ο δείκτης εκμεταλλεύσεις της ηλιακής ακτινοβολίας π μπορεί να βρεθεί από τη συνθήκη ισοζυγίου της ενέργειας σε μια περίοδο 24 ωρών υποθέτοντας ότι $\sum G = 0$.

$$\pi = \frac{\sum (\lambda E + h - Qh + Ks \cdot \Delta T)}{\sum Rg} \quad (2.7)$$

ο συντελεστής απωλειών Ks εξαρτάται από την εξωτερική ταχύτητα V ($m\ s^{-1}$) του αέρα σύμφωνα με την απλή σχέση (Bailey και Cotton, 1980):

$$Ks = A + B \cdot V \quad (2.8)$$

όπου A και B εξαρτώνται από τον σχεδιασμό του θερμοκηπίου (αναλογία της επιφάνειας του εδάφους με την κάλυψη του θερμοκηπίου : Ss/Sc), από τον τύπο του

υλικού κάλυψης (γυαλί, πολυαιθυλένιο, PVC) και η παρουσία μόνης ή διπλής κάλυψης.

Οι συντελεστές μεταφοράς της αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας εξαρτώνται από την παροχή του αέρα $\phi_v (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$ που εισέρχεται στο θερμοκήπιο και το άνοιγμα των παραθύρων με μια γραμμική σχέση των (Boylard and Baille, 1995; Kittas et al., 1995):

$$\phi_v = \frac{S_o}{2} \cdot Cd \cdot C^{0.5} \cdot V \quad (2.9)$$

όπου C συντελεστής απόδοσης του αέρα, Cd ο συντελεστής μέσης εκφόρτισης του ανοίγματος και S_o η επιφάνεια του ανοίγματος (m^2). Παίρνουμε:

$$K_H = \frac{p \cdot C_p \cdot \phi_v}{Ag} \quad \text{και} \quad K_v = \frac{\lambda \cdot \xi \cdot p \cdot \phi_v}{Ag} \quad (2.10)$$

όπου Ag η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου (m^2), ξ ο παράγοντας μετατροπής μεταξύ της περιεκτικότητας σε υδρατμό του αέρα ($\text{kg}_w \text{ kg}_a^{-1}$) σε σταθερή θερμοκρασία και τη πίεση του υδρατμού (Pa), $6,25 \times 10^{-6} \text{ kg}_w \text{ kg}_a^{-1} \text{ Pa}^{-1}$.

Η ακόλουθη σχέση (Murray, 1967) δίνει την δ :

$$\delta = \frac{25040000}{(T + 237,3)^2} e^{\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}} \quad (2.11)$$

Σύμφωνα με τον Avissar et al. (1985), η r_s αντίσταση μπορεί να εκφραστεί σε συνάρτηση με την R_g , την εσωτερική θερμοκρασία και την υγρασία ακολουθώντας εκθετικό νόμο όπως φαίνεται στη παρακάτω σχέση (Boulard et al, 1991):

$$r_s = 200 \left(1 + \frac{1}{e^{0,05(\tau \cdot R_g - 50)}} \right) \quad (2.12)$$

όπου τ , είναι η εκπομπή από το κάλυμμα του θερμοκηπίου. Η αεροδυναμική αντίσταση r_a εξαρτάται κυρίως από το αεροδυναμικό καθεστώς που επικρατεί στο

θερμοκήπιο. Εάν θεωρούμε ότι η δύναμη πλευστότητας μπορεί να αγνοηθεί όσον αφορά τη δύναμη αέρα, η r_a μπορεί να εκφραστεί άμεσα από τη μέση ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό:

$$r_a = 220 \frac{d^{0,2}}{V_i} \quad (2.13)$$

όπου το d είναι το χαρακτηριστικό μήκος του φύλλου (m). V_i , η μέση ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό ($m s^{-1}$) μπορεί να θεωρηθεί ανάλογη προς τη ροή ϕ_n του εξαερισμού που διαιρείται με την Ac (m^2), την κάθετη διατομή στη μέση κατεύθυνση ροής αέρα στο εσωτερικό που σε αυτήν την περίπτωση είναι ο άξονας του θερμοκηπίου (WANG et al, 1999):

$$V_i = \frac{\phi_n}{Ac} \quad (2.14)$$

2.2. Συντελεστής ρύθμισης παροχής αέρα C_{vent}

2.2.1. Ορισμός συντελεστή

Το μέγεθος που περιγράφει πλήρως την κατάσταση του υγρού αέρα είναι η ενθαλπία $I(j) = U + P \cdot V$ όπου U είναι η εσωτερική ενέργεια, P είναι η πίεση και V ο όγκος. Το γινόμενο $P \cdot V$ δείχνει το έργο που απαιτήθηκε για να καταλάβει το αέριο τον όγκο αυτό. Μπορεί να οριστεί ο λόγος που ορίζει την ειδική ενθαλπία $i(j kg^{-1}) = I/m$, όπου $m(kg)$, η μάζα του αερίου.

Η ειδική ενθαλπία $I(j kg^{-1})$ μπορεί να εκφραστεί και ως εξής:

$$i = C_p \cdot T + (C_w \cdot T + \lambda)h \quad (2.15)$$

όπου C_p, λ οι γνωστές σταθερές, η C_w είναι η ειδική θερμότητα του νερού και η $h(kgw/kg_a)$ είναι η απόλυτη υγρασία.

Ακόμα μπορεί να οριστεί η σχετική υγρασία:

$$rh = 100 Pd/Ps (\%) (2.16)$$

όπου Pd (Pa) η μερική πίεση των υδρατμών στη συγκεκριμένη θερμοκρασία και

$$Ps = 611 e^{-17,27 \frac{40981,71}{2373+10 \cdot T}}$$
 η πίεση των κεκορεσμένων υδρατμών στην ίδια θερμοκρασία

Από την σχέση του ισοζυγίου και της ειδικής ενθαλπίας μπορεί να βρεθεί η απόλυτη υγρασία του εσωτερικού αέρα :

$$ia - io = \frac{(\lambda E + H) Ag}{\phi v \cdot p} \Leftrightarrow ha = \frac{\frac{(\lambda E + H) Ag}{\phi v \cdot p} - Cp(Ta - To) + ho(\lambda + To \cdot Cw)}{\lambda + To \cdot Cw} (2.17)$$

η απόλυτη υγρασία του εξωτερικού αέρα ho μπορεί να βρεθεί από την σχέση :

$$ho = 0,662 \frac{rho \cdot Pso}{Ptotal - rho \cdot Pso} (2.18)$$

όπου Ptotal=Pdo+PL με την PL να είναι η μερική πίεση του ξηρού αέρα.

Ακόμα μπορεί να οριστεί ο συντελεστής Cvent :

$$\begin{aligned} (ia - io)\phi v \cdot p - (iopt - io)Cvent \cdot \phi v \cdot p = \\ (\pi Rg + Qh - G - Ks(Ta - To))Ag - (\pi Rg + Qh - G - Ks(Topt - To))Ag \Leftrightarrow (2.19) \\ Cvent = \frac{ia - io}{iopt - io} + \frac{Ag \cdot Ks(Ta - Topt)}{(iopt - io)\phi v \cdot p} \end{aligned}$$

όπου iopt και Topt είναι οι βέλτιστες ενθαλπία και θερμοκρασία αντίστοιχα.

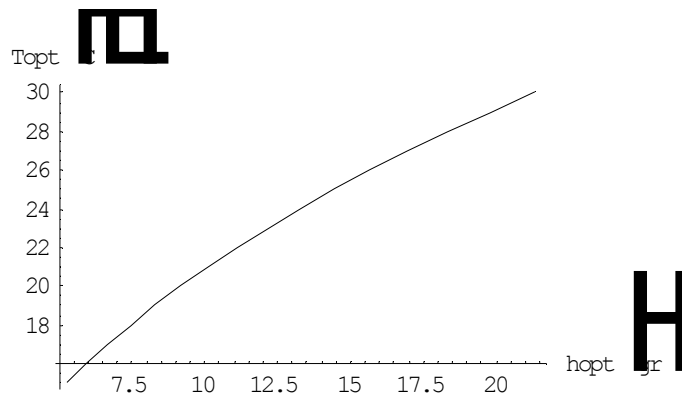
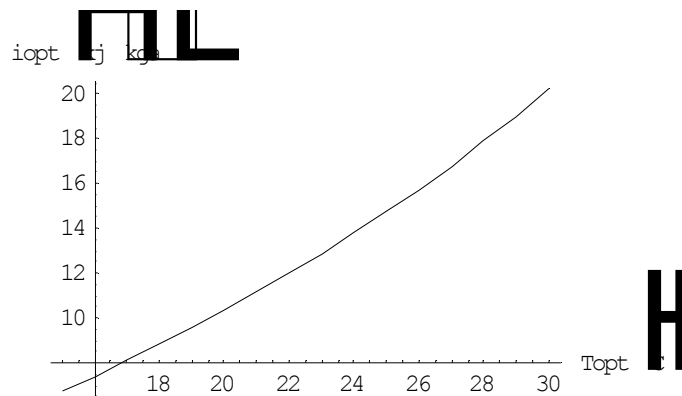
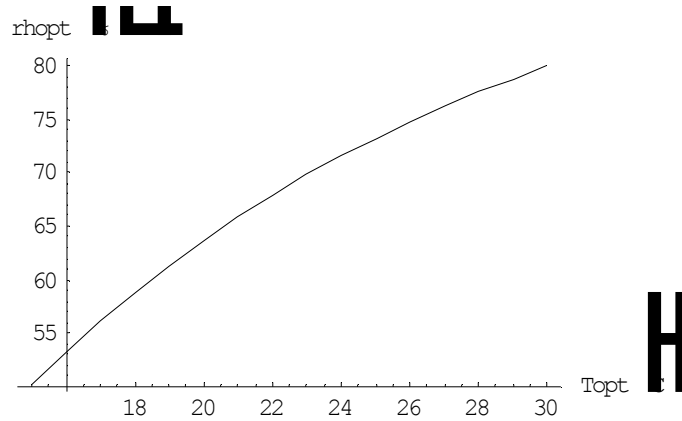
2.3. Ρύθμιση βέλτιστης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας

Στο παράδειγμα που ακολουθεί φαίνονται οι μεταβολές της θερμοκρασίας Ta, της υγρασίας ha, της σχετικής υγρασίας rha και της ειδικής ενθαλπίας σε συνάρτηση της παροχής του αέρα φν, καθώς επίσης οι μεταβολές του Cent για διάφορες τιμές της βέλτιστης ενθαλπίας iopt.

2.3.1. Βέλτιστη ενθαλπία

Η επιλογή της βέλτιστης ενθαλπίας μπορεί να γίνει λαμβάνοντας υπόψη ότι το βέλτιστο έλλειμμα της πίεσης του υδρατμού, D_i θα πρέπει να διατηρείται 850 Pa περίπου για ένα εύρος θεοκρασιών από 15 C° έως 30 C° και άρα $P_{dopt}=P_s-850$.

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται η rho_{opt} σε συνάρτηση της θερμοκρασίας T_{opt} , τα ζεύγη T_{opt}, h_{opt} καθώς και η i_{opt} .



2.3.2. Πραγματικό παράδειγμα

Για το παράδειγμα δίνονται οι παρακάτω σταθερές:

$$\gamma=67$$

$$\rho=1.2$$

$$C_p=1004$$

$$C_w=4200$$

Ακόμα δόθηκαν οι παρακάτω τιμές για τις παραμέτρους:

$$R_g=500$$

$$L=2$$

$$A_g=500$$

$$A_c=140$$

$$A=7$$

$$B=0,7$$

$$C_d=0,5$$

$$C_c=0,5$$

$$\pi=0,59$$

$$\tau=0,1$$

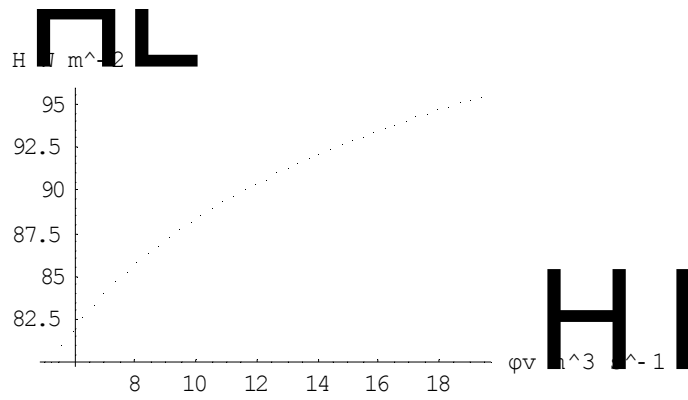
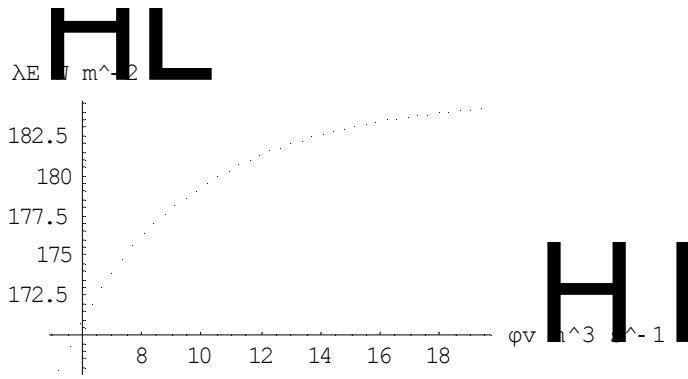
$$G= 0$$

$$Q_h=0$$

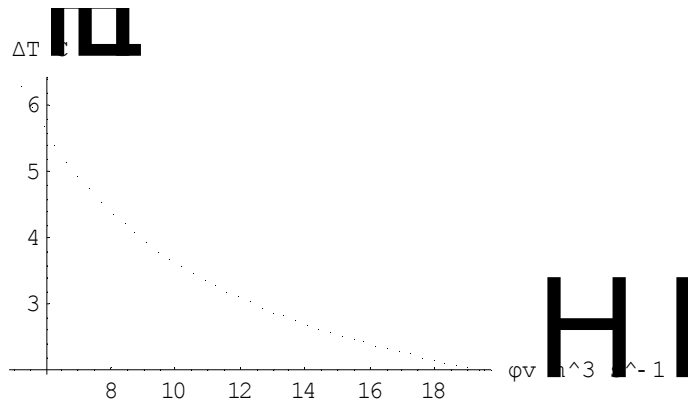
$$T_o=20$$

$$Rho=0,7$$

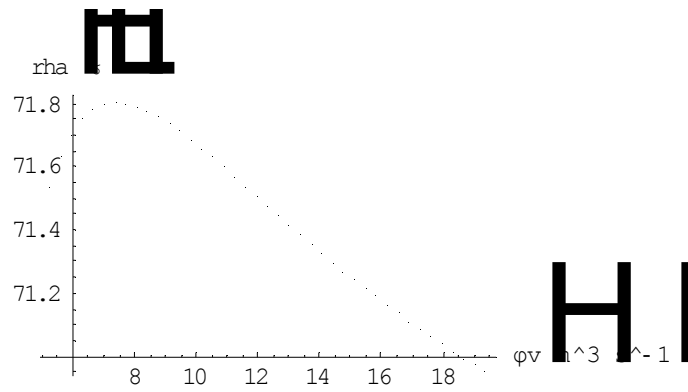
Γραφηματα θερμοτήτων



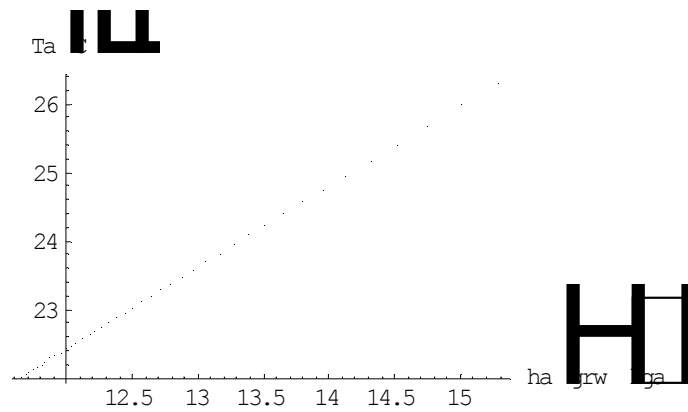
Η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας



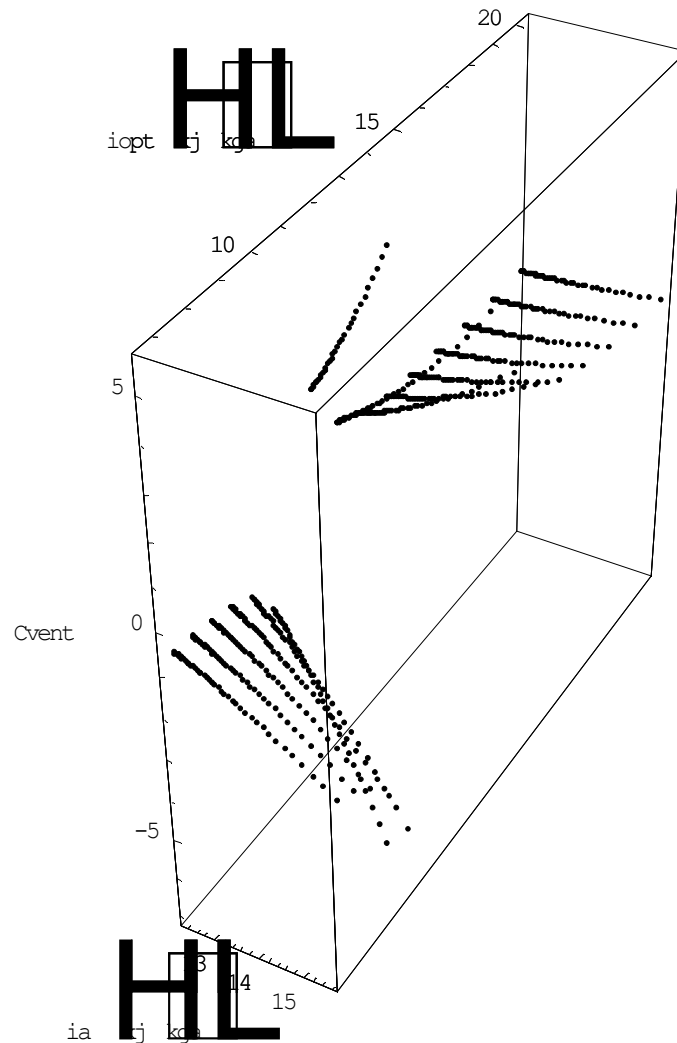
η σχετική υγρασία



Η θερμοκρασία σε συνάρτηση τη απόλυτης υγρασίας και παράμετρο την παροχή του αέρα φν.



Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι τιμές που παίρνει ο συντελεστής C_{vent} σε συνάρτηση της i_{opt} και της i_a .



Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές που παίρνει ο C_{vent} σε συνάρτηση των σχέσεων της i_{opt} με την i_a και της εσωτερικής θερμοκρασίας T_a με την βέλτιστη T_{opt} . Ακόμα φαίνονται οι διάφορες ενέργειες που πρέπει να γίνουν για να γίνει C_{vent} ίσος με την μονάδα. Οι επιλογές με X δείχνουν μη έγκυρη εκλογή της i_{opt} .

	Iopt>io						Iopt<io	
	Iopt>ia		Iopt<ia		Iopt=ia		Iopt<ia	
Ta>Topt	0<Cvent<1	Κλείσιμο	Cvent>1	Άνοιγμα ή σκίαση	Cvent>1	Υγραση	Cvent<0	X
	Cvent>1	X						
Ta=Topt	0<Cvent<1	Κλείσιμο	Cvent>1	X	Cvent=1	Επιθλιμτό	Cvent<0	X
Ta<Topt	0<Cvent<1	Κλείσιμο	Cvent<0	X	Cvent<0	X	Cvent<0	X
	Cvent<0	Κλείσιμο και θέρμανση	0<Cvent<1	X	0<Cvent<1	X	Cvent>0	X
		Cvent>1	X					

Ένας γρήγορος τρόπος εύρεσης της iopt προκύπτει από την μορφή της χαρακτηριστικής $T_a=f[h_a]$ όπου φαίνεται ότι η κλίση διατηρείται σταθερή και άρα μπορεί να εκφραστεί με μια γραμμική εξίσωση της μορφής $T=T_o+CLF(h-h_o)$ όπου $CLF = \frac{T_a - T_o}{h_a - h_o}$ με T_a και h_a τις τιμές που επικρατούν. Λύνοντας την εξίσωση για όλο το εύρος των βέλτιστων υγρασιών $h_o \geq h \leq h_{opt}(\max)$ προκύπτει το ζεύγος (T_{opt}, h_{opt}) που ικανοποιεί τις συνθήκες του πίνακα.

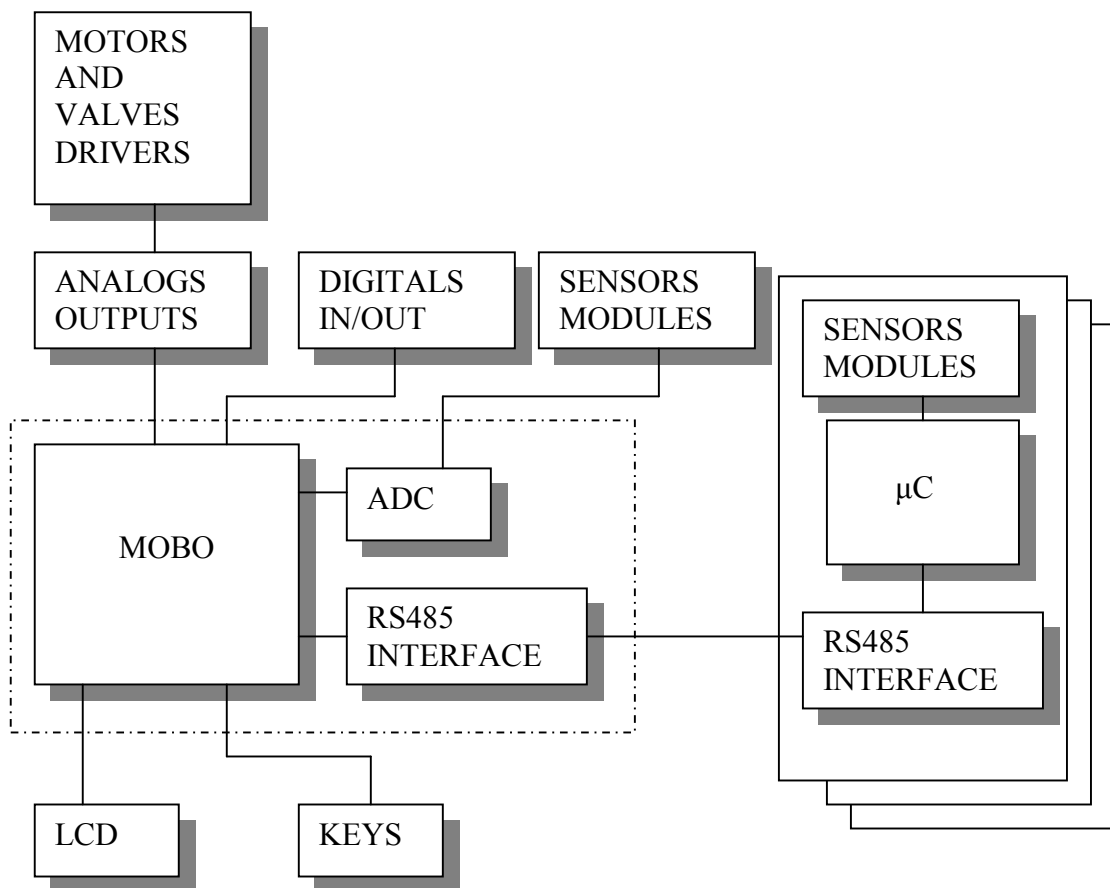
ΜΕΡΟΣ
2
ανάλυση προγράμματος

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΒΑΘΜΙΔΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

3.1. Διαγράμματα βαθμίδων

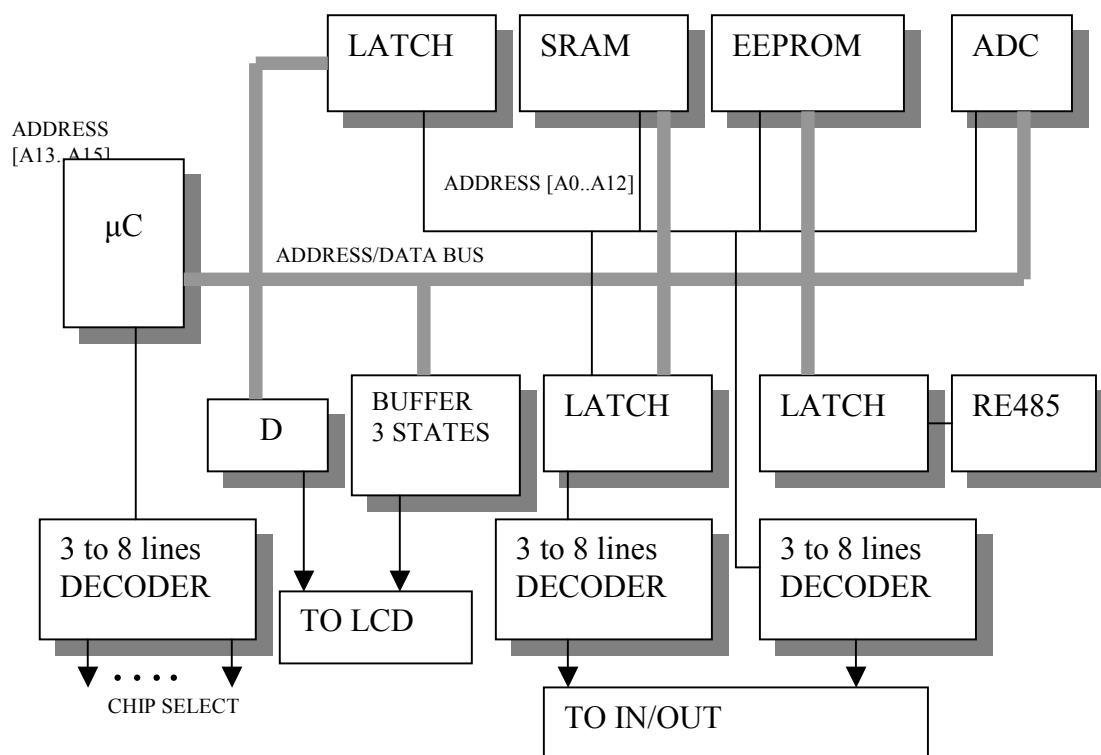
3.1.1. Συνολικό διάγραμμα βαθμίδων

Το σύστημα είναι κτισμένο γύρω από ένα κεντρικό μικροελεγκτή στον οποίο τρέχει η εφαρμογή και οι ρουτίνες εξυπηρέτησης των περιφερειακών. Ακόμα αποτελεί τον κύριο(master) του δικτύου σύνδεσης της κεντρικής μονάδας με τους εξαρτώμενους μικροελεγκτές (slaves), οι οποίοι ελέγχουν τα απομακρυσμένα αισθητήρια. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται αναλυτικά οι βαθμίδες του συστήματος.



3.1.2. Κεντρική μονάδα

Στο διάγραμμα βαθμίδων της κεντρικής μονάδας που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα διάκεινται ο μικροελεκτης , ο μανδαλωτής αποπλεξιας των διευθύνσεων από τα δεδομένα ,οι αποκωδικοποιητές γραμμών για την δημιουργία των σημάτων διευθυνσιοδότησης , ο ADC,τα latches για την αποθήκευση των δεδομένων εξόδων και εισόδων μιας και σ' αυτές η προσπέλαση γίνεται με χαρτογραφήσει μνήμης καθώς και οι μνήμες (SRAM, EEPROM).



Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η χαρτογραφήσει της μνήμης

Διευθύνσεις(HEX)	Μήκος(bytes)	τύπος
0000-0FFF	4096	SRAM
1000-1FFF	4096	EEPROM
2000-7F	128	ANALOGS OUTPUTS
3008-300F	8	IN/OUT
3010-3017	8	
3020-3027	8	
4000	1	Control Rs485
5000	1	KEYS
6000-6003	4	LCD
7000	1	ADC

Η στατική μνήμη χωρίζεται στην εσωτερική(000-45F)και στην εξωτερική (460-0FFF).

3.2. Διαγράμματα κυκλωμάτων

3.2.1. Χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή

Features

- High-performance, Low-power AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 130 Powerful Instructions - Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 8 MIPS Throughput at 8 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- Program and Data Memories
 - 16K Bytes of Nonvolatile In-System Programmable Flash
Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
 - Optional Boot Code Memory with Independent Lock Bits
Self-programming of Program and Data Memories
 - 512 Bytes Nonvolatile In-System Programmable EEPROM
Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 1K Bytes Internal SRAM
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and PWM
 - Expanded 16-bit Timer/Counter System with Separate Prescaler, Compare, Capture Modes and Dual 8-, 9- or 10-bit PWM
 - Dual Programmable Serial UARTs
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Three Sleep Modes: Idle, Power Save and Power-down
- I/O and Packages
 - 35 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-pin PLCC and TQFP
- Operating Voltages
 - 2.7V - 5.5V (ATmega161L), 4.0V - 5.5V (ATmega161)
- Speed Grades
 - 0 - 4 MHz (ATmega161L), 0 - 8 MHz (ATmega161)
- Commercial and Industrial Temperature Ranges

3.2.2. Μονάδα οθόνης υγρών κρυστάλλων LCD

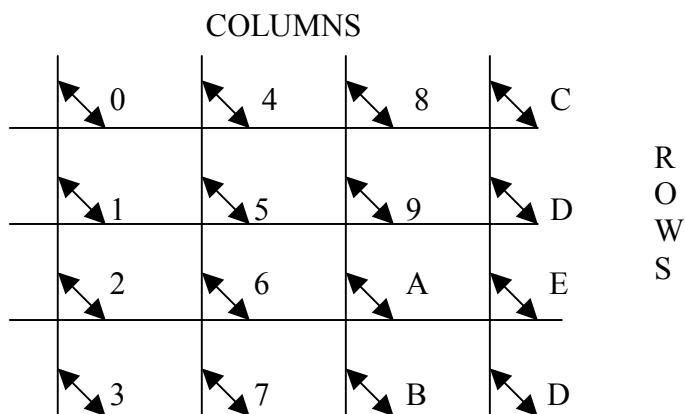
Η μονάδα LCD περιλαμβάνει: σε διάταξη δυο γραμμών 16 χαρακτήρες ανά γραμμή σε μορφή 5X7 dot matrix ,μια μνήμη για τους εμφανιζόμενους χαρακτήρες ,μια γεννήτρια χαρακτήρων και ένα controller για την διαχείριση της. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι διαφορετικές διεργασίες που ορίζονται σε διαφορετικές διευθύνσεις .

RS(A1)	R/W(A0)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ
--------	---------	----------

0	0	Write instruction
0	1	Read busy flag
1	0	Write data
1	1	Read data

3.2.3. Μονάδα πληκτρολόγιου

Το πληκτρολόγιο αποτελείται από μια τυπική διάταξη 4X4 διακοπών



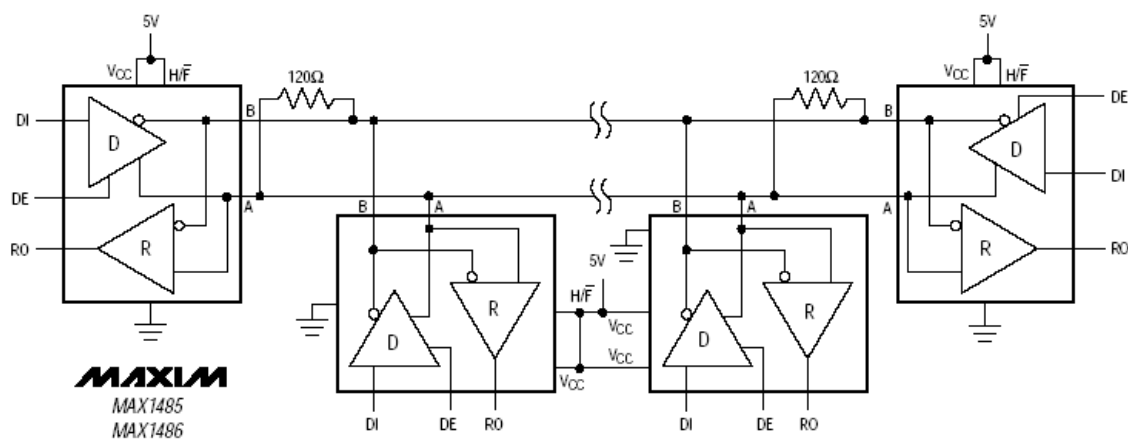
Τροφοδοτώντας κάθε φορά μια στήλη και ανιχνεύοντας την σειρά που έχουμε υψηλή στάθμη βρίσκουμε τον κλειστό διακόπτη και άρα τον χαρακτήρα .Η διαδικασία αυτή φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Columns	2 από 4 MSBits	rows	2 από 4 LSBits	Χαρ/ρας
0001	00	0001	00	0
		0010	01	1
		0100	10	2
		1000	11	3
0010	01	0001	00	4
		0010	01	5
		0100	10	6
		1000	11	7
0100	10	0001	00	8
		0010	01	9
		0100	10	A
		1000	11	B
1000	11	0001	00	C

		0010	01	D
		0100	10	E
		1000	11	F

3.2.4. Rs485 interface

Η διασύνδεση rs485 επιτρέπει την σύνδεση μέχρι 32 πομποδεκτών στην ίδια γραμμή (multidrop) και όπως φαίνεται στο σχήμα το βασικό εξάρτημα είναι ο μετατροπέας των σημάτων TTL στη στάθμη της διαφορικής μετάδοσης.



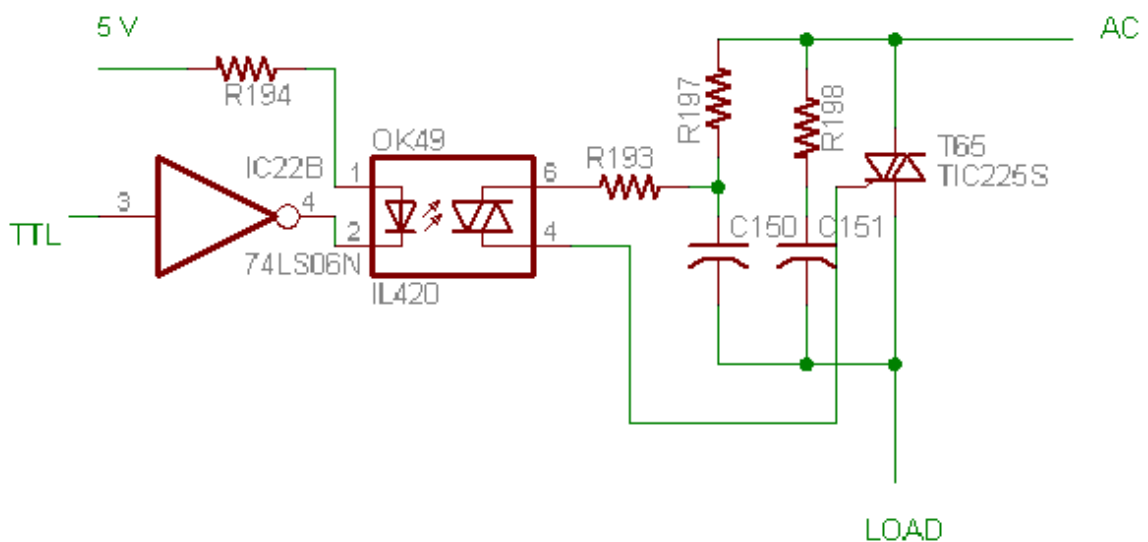
Τα σήματα ελέγχου κατά την εκπομπή και λήψη είναι:

TRANSMITTING			
INPUTS		OUTPUTS	
DE	DI	Z	Y
1	1	0	1
1	0	1	0
0	X	High-Z	High-Z

RECEIVING				
INPUTS			OUTPUT	
H/ \bar{F}	DE	A-B	Y-Z	RO
0	X	$\geq 0.2V$	X	1
0	X	$\leq -0.2V$	X	0
1	0	X	$\geq 0.2V$	1
1	0	X	$\leq -0.2V$	0

3.2.5. Αναλογικές έξοδοι

Οι αναλογικές έξοδοι είναι ON / OFF διακόπτες που μπορούν να οδηγήσουν AC φορτία παρέχοντας συγχρόνως και ηλεκτρική απομόνωση μέσω optocoupler.



3.2.6. Μονάδα ADC

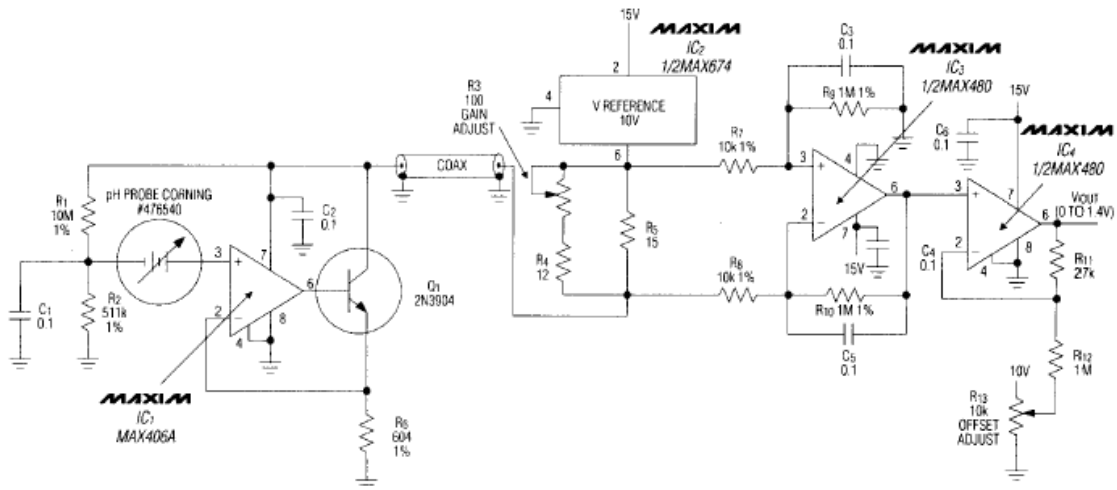
Ο ADC περιέχει ένα αναλογικό πολυπλέκτη 8 εισόδων, παρέχει 8-bits 3-states έξοδο και χρονίζεται από ένα διαιρέτη συχνότητας modulo-4 από το clock του μικροελεγκτή.

3.2.7. Αισθητήρια

Αγωγιμόμετρο

Το αγωγιμομετρο αποτελείται από μια πηγή ρεύματος που παρέχει σταθερό ρεύμα στο ηλεκτρόδιο μέτρησης έτσι ώστε η τάση στα άκρα του να είναι ανάλογη της αντίστασης του νερού.

Ρημετρο

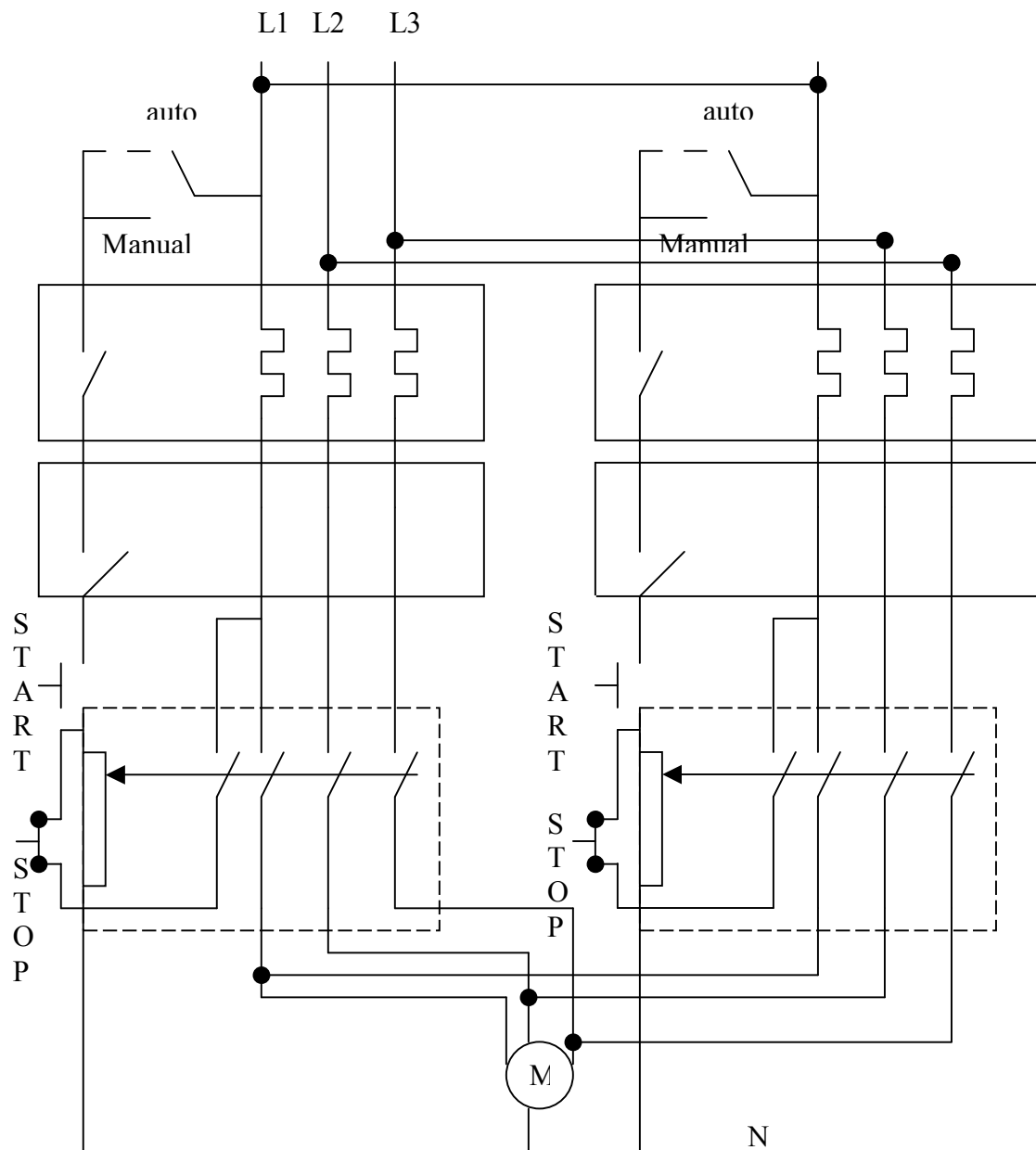


το IC1 παρέχει ρεύμα ανάλογο του pH και IC3 ενισχύει την τάση που αναπτύσσει αυτό στην αντίσταση R5 έτσι ώστε η τάση εξόδου να είναι $\text{pH}/10 \text{ V}$.

3.2.8. Motors drivers

Οι κινητήρες που κινούν τα παράθυρα είναι τριφασικοί βραχυκυκλωμένου δρομέα .

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η σύνδεση ενός κινητήρα με το δίκτυο με δυνατότητα αλλαγής κατεύθυνσης περιστροφής καθώς και τα κυκλώματα προστασίας(θερμικής , βραχ/τος),ακόμα φαίνεται το σύστημα manual λειτουργίας σε περίπτωση βλάβης του αυτόματου έλεγχου.



4. Αλγόριθμοι – διαγράμματα ροής

4.1. Γενικό διάγραμμα ροής –τρόποι μεταφοράς ελέγχου

Το πρόγραμμα μπορεί να διαχωριστεί σε ρουτίνες γενικού σκοπού και ειδικού όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα.

Γενικού σκοπού			Ειδικού σκοπού	
μαθηματικές	Διαχείριση βάσης δεδομένων	Εξυπηρέτησης περιφερειακών	Μοντέλο άρδευσης-λίπανσης	Μοντέλο κλιματισμού
Αριθμητικές πράξεις	Μεταφορά Block	πληκτρολόγιου Alarm	Προγραμματισμός Άρδευσης-λίπανσης	Υπολογισμός παραμέτρων

		R.T.C		(παροχής και κατεύθυνσης αέρα ,ενθαλπίας,Cent,Pet)
λογικές πράξεις	Δημιουργία πινάκων	LCD αισθητήριων	Ρύθμισης παραμέτρων(αγωγ/τα,PH)	Ρύθμισης ανοίγματος παραθύρων
συναρτήσεις		Rs-485	Ρύθμισης σταθερής παροχής	Θέρμανσης , ύγρανσης , σκίασης
Μετατροπής (BCD \Leftrightarrow HEX)		ADC ΕΞΟΔΩΝ	Έλεγχος καλής λειτουργίας	Έλεγχος καλής λειτουργίας

Οι τρόποι που εκτελούνται οι διάφορες ρουτίνες μπορούν να ομαδοποιηθούν στις εξής κατηγορίες :με hardware interrupts τα οποία χωρίζονται σε εσωτερικά και εξωτερικά

Vector No.	Program Address	Source	Interrupt Definition
1	\$000	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset and Watchdog Reset
2	\$002	INT0	External Interrupt Request 0
3	\$004	INT1	External Interrupt Request 1
4	\$006	INT2	External Interrupt Request 2
5	\$008	TIMER2 COMP	Timer/Counter2 Compare Match
6	\$00a	TIMER2 OVF	Timer/Counter2 Overflow
7	\$00c	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
8	\$00e	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
9	\$010	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
10	\$012	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow
11	\$014	TIMER0 COMP	Timer/Counter0 Compare Match
12	\$016	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow
13	\$018	SPI, STC	Serial Transfer Complete
14	\$01a	UART0, RX	UART0, Rx Complete
15	\$01c	UART1, RX	UART1, Rx Complete

16	\$01e	UART0, UDRE	UART0 Data Register Empty
17	\$020	UART1, UDRE	UART1 Data Register Empty
18	\$022	UART0, TX	UART0, Tx Complete
19	\$024	UART1, TX	UART1, Tx Complete
20	\$026	EE_RDY	EEPROM Ready
21	\$028	ANA_COMP	Analog Comparator

με άλμα ή άλμα και επιστροφή όταν καλείται κάποια υπορουτίνα ,ρουτίνες που καλούνται από κάποια βάση χρόνου π.χ. η ρουτίνα υπολογισμού της μέσης ταχύτητας του αέρα και τέλος στο κεντρικό πρόγραμμα που εκτελείται κυκλικά.

4.2. Αλγόριθμοι

4.2.1. ρουτίνες εξυπηρέτησης πληκτρολογίου και user interface

Η ρουτίνα εξυπηρέτησης του πληκτρολογίου εκτός από την αναγνώριση του χαρακτήρα εισόδου επιτρέπει την εκτέλεση εκείνου του τμήματος του user interface έτσι ώστε να εκτελούνται σωστά οι παρακάτω λειτουργίες: εμφάνιση της επιθυμητής γραμμής στο LCD, αποθηκεύσει στις σωστές θέσεις μνήμης και εμφάνιση των σωστών δεδομένων.

Το μενού βρίσκεται μόνιμα αποθηκευμένο και στις θέσεις των δεδομένων υπάρχει ένας ειδικός χαρακτήρας επιτρέψει εμφάνισης. Το συγχρονισμό της φόρμας με τα δεδομένα στη μνήμη πραγματοποιούν δυο καταχωριστές που περιέχουν την διεύθυνση του πρώτου και του τελευταίου εμφανιζόμενου δεδομένου αντίστοιχα. Την προσπέλαση μέσα στο μενού αναλαμβάνουν δείκτες σελιδοποίησης.

φόρμα περιεχομένων του βασικού μενού

Αρχική διεύθυνση	Ονόματα πεδίων
ΒΑΣΙΚΟ ΜΕΝΟΥ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ / ΩΡΑ
	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

φόρμα περιεχομένων επικεφαλίδων του ειπωμένου και είδη δεδομένων

Αρχική διεύθυνση	Ονόματα πεδίων	ΔΕΔΟΜΕΝΑ
ΥΠΟΜΕΝΟΥ ΕΠΙΚ.	ΩΡΑ 24 ΩΡΩΝ	
	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	Αρ. θερμοκηπίου

φόρμα περιεχομένων του υπομενου1

Αρχική διεύθυνση	Ονόματα πεδίων
ΥΠΟΜΕΝΟΥ ΠΕΡΙΕΧ1.	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ
	ΩΡΑ
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	ΠΟΤΙΣΜΑ/ ΛΙΠΑΝΣΗ
	ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ
	ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ

φόρμα περιεχομένων του υπομενου 2

Αρχική διεύθυνση	Ονόματα πεδίων	ΔΕΔΟΜΕΝΑ
A	ΗΜΕΡΟΜ: _ / _ / _	
B	ΩΡΑ: _ : _	
C	ΑΡΙΘΜ.ΑΝΤΛΙΑΣ: _	
	ΠΑΡΟΧ/ΦΥΤΟ . ΛΙΓ	
	ΑΡ.ΟΠΩΝ: . X100	
	ΑΡ.ΣΥΝΤΑΓΗΣ: _	
	ΕΠΥΘ.ΑΓ.ΕΔΑΦ: _ . _	
	ΕΠΥΘ.ΡΗ.ΕΔΑΦ: _ . _	
D	ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕΡ: _ _ _	
	ΘΕΡΜΟΚΡ. ΜΕΡ: _ C	
	ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΝΥΚ: _ _ _	
	ΘΕΡΜΟΚΡ. ΝΥΚ: _ C	
	ΣΚΙΑΣΗ: _ _ _	
	ΥΓΡΑΝΣΗ: _ _ _	
	Δ.ΠΛΑΙΝ.ΠΑΡ: _ _ _ _	
	ΑΡ.ΠΛ.ΠΑΡ: _ / _	
	ΔΑΡ.ΠΑΡ.ΟΡ: _ / _	
	ΑΑΡ.ΠΑΡ.ΟΡ: _ / _	
	ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ: _	
E	ΑΓ/ΤΡΟ ΕΔΑΦ: _ . _	
	ΡΗ/ΤΡΟ ΕΔΑΦ _ . _	
	ΑΓ/ΤΡΟ ΛΥΠ: _ . _	
	ΡΗ/ΤΡΟ ΛΥΠ: _ . _	
	ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ: _ C	
	ΣΧ.ΥΓΡΑΣΙΑ: _ %	

Πίνακας δεικτών προσδιορισμού της φυσικής διευθύνσεις στον πίνακα του μενού

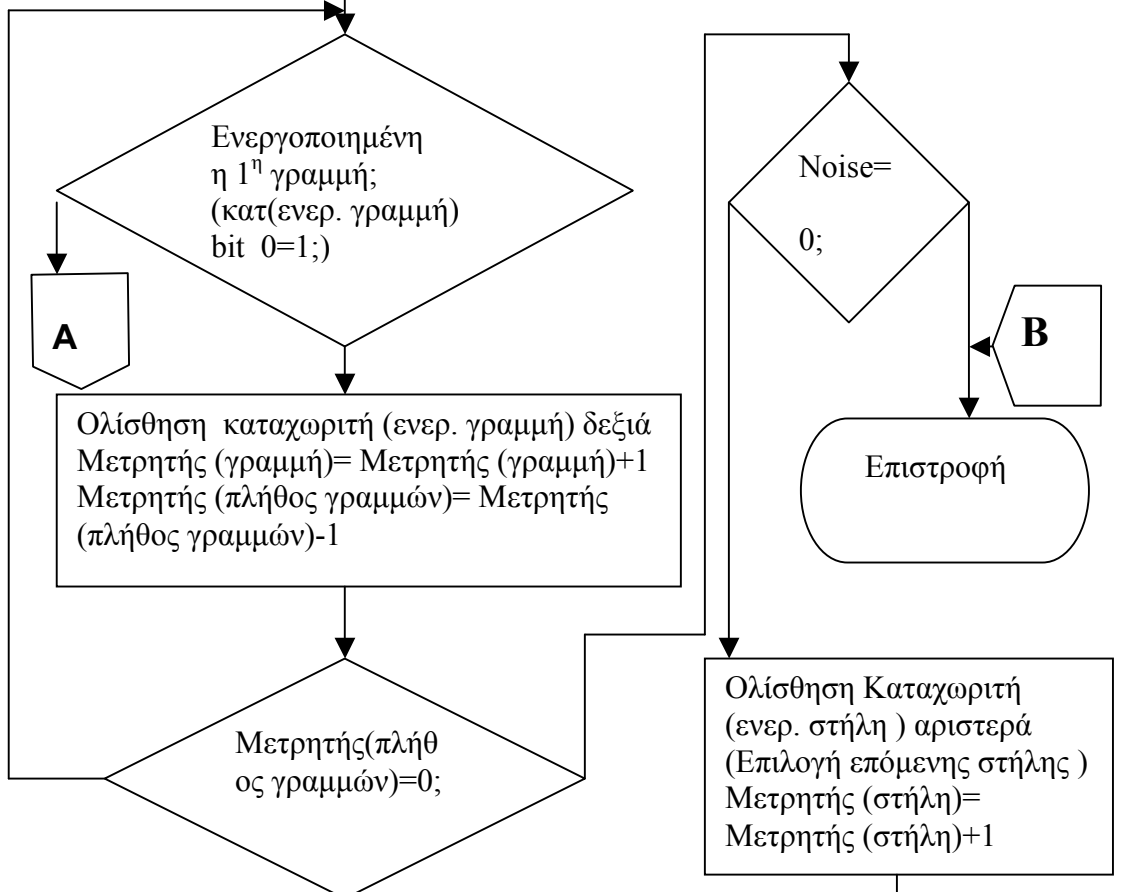
Όνομα	Τιμές	Σκοπός	
D0	0-3	ενεργό μενού	
D1	0-1	Ενεργή επιλογή στο βασικό μενού	
D2	0-1	Ενεργή επιλογή στο υπομενου επικεφ.	
D3	0-μεγ.αρ.θερ/ων	Αρ.θερ/ου	
D4	D2=0→0-1	Ενεργή επιλογή στο υπομενου 1.	
	D2=1→0-2		
D5	D2=0	D4=0→0	Ενεργή επιλογή στο υπομενου 2.
		D4=1→0	
	D2=1	D4=0→0-5	
		D4=1→0-10	
D4=2→0-5			
ADDR.FORM	Αρχικές διευθύνσεις	Περιέχει την αρχική διεύθυνση που ορίζουν οι δείκτες	

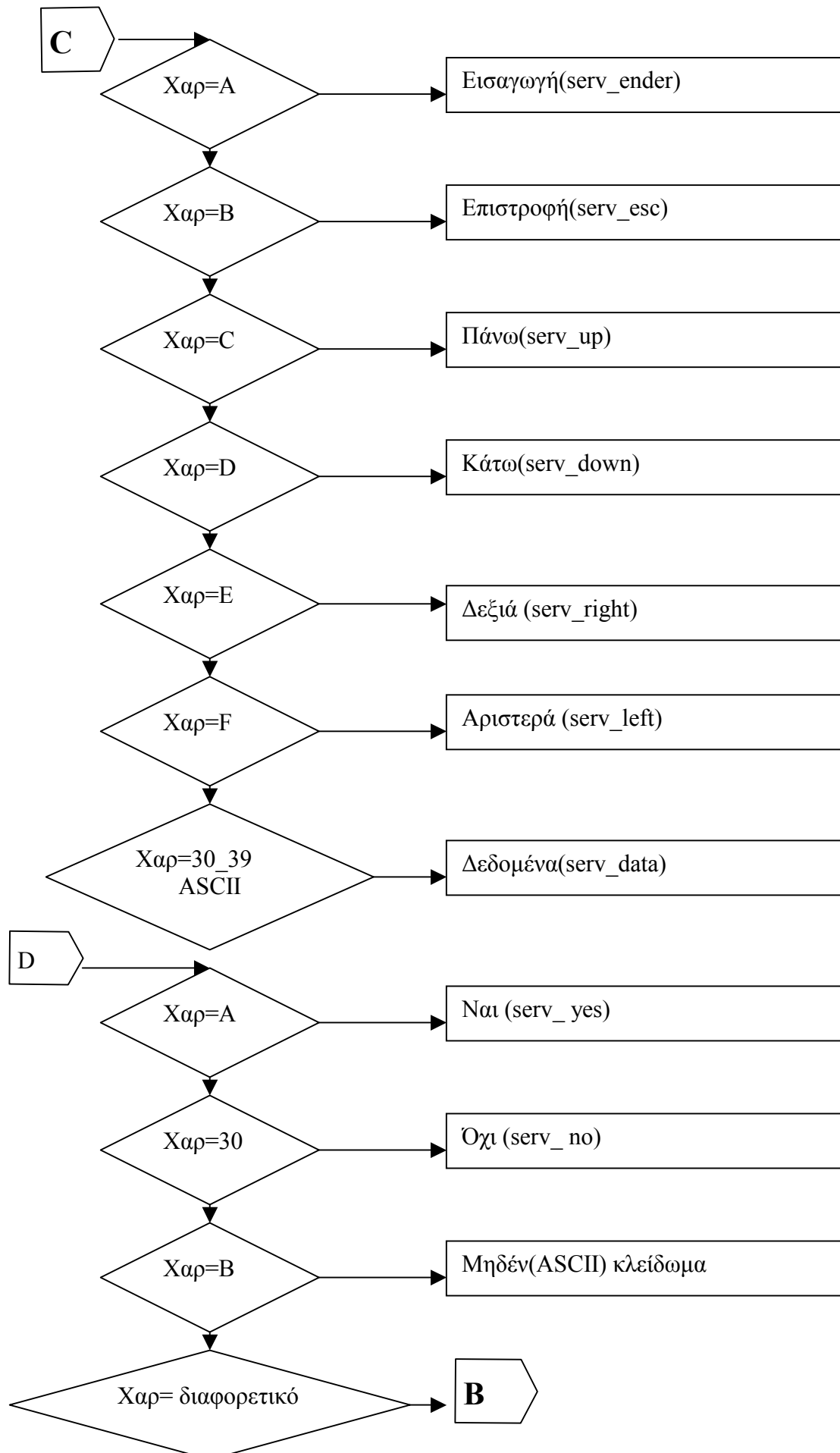
D0	Ενεργό μενού	Αρχική διεύθυνση γραμμής
0	Βασικό μενού	ADDR.FORM*2+D1*16
1	Υπομενου επικεφ.	ADDR.FORM*2+D2*16
2	Υπομενου1	ADDR.FORM*2+D4*16
3	Υπομενου2	ADDR.FORM*2+D5*16

Άλμα στην ρουτίνα εξυπηρέτησης από τον πίνακα διανυσμάτων διακοπών(INT0)

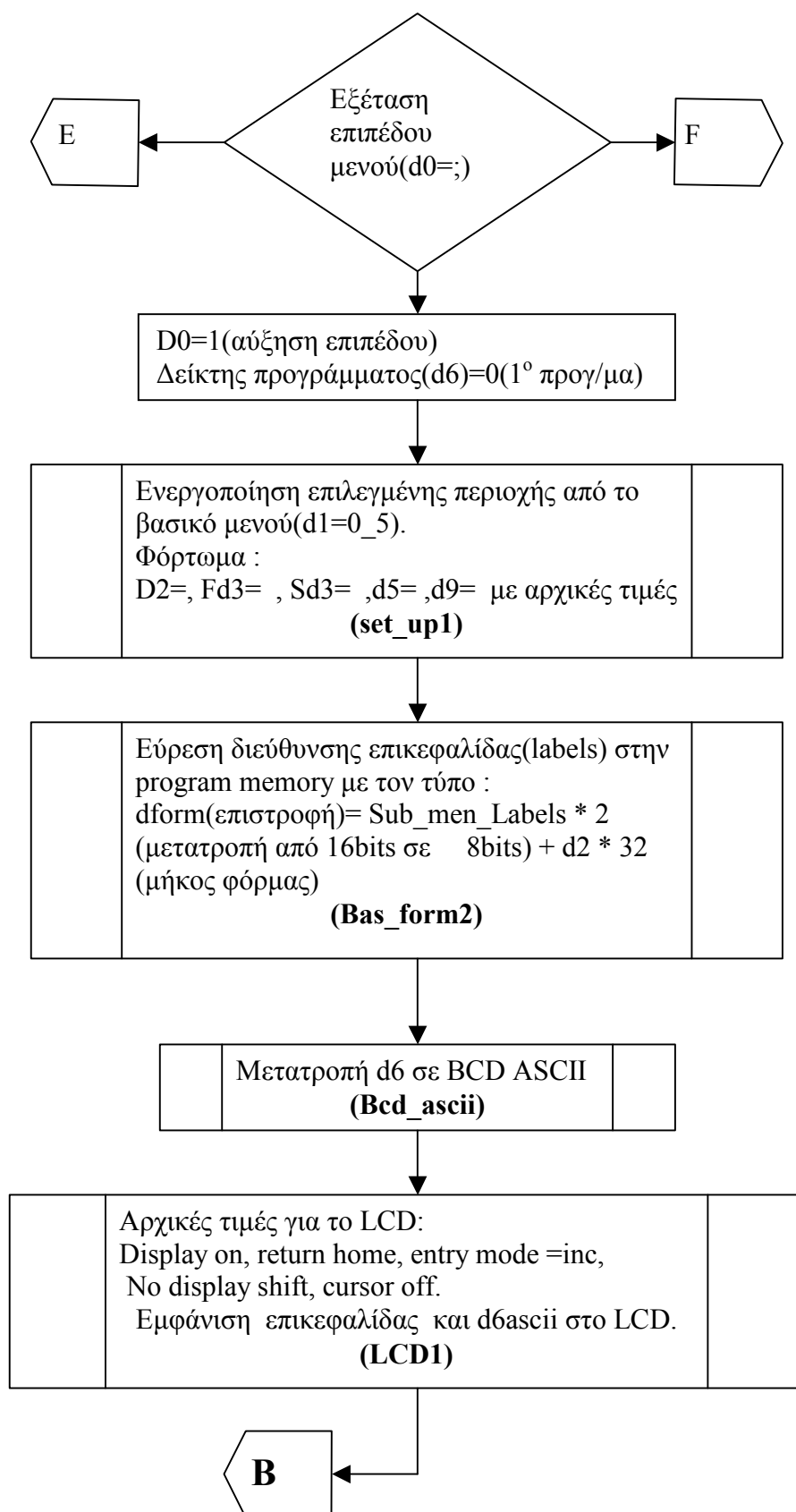
Απότρευση διακοπής πληκτρολογίου .
Επίτρευση διακοπών.(Iflag=1)
Μετρητής (noise)=4(πλήθος στηλών)
Μετρητής (στήλη)=0(περιέχει σε κώδικα 4 σε 2 την ενεργή στήλη του πληκ/ου ,bits=0,1 του χαρ/ρα) .
Καταχωριτής (ενερ. στήλη)=1(4 από 2)

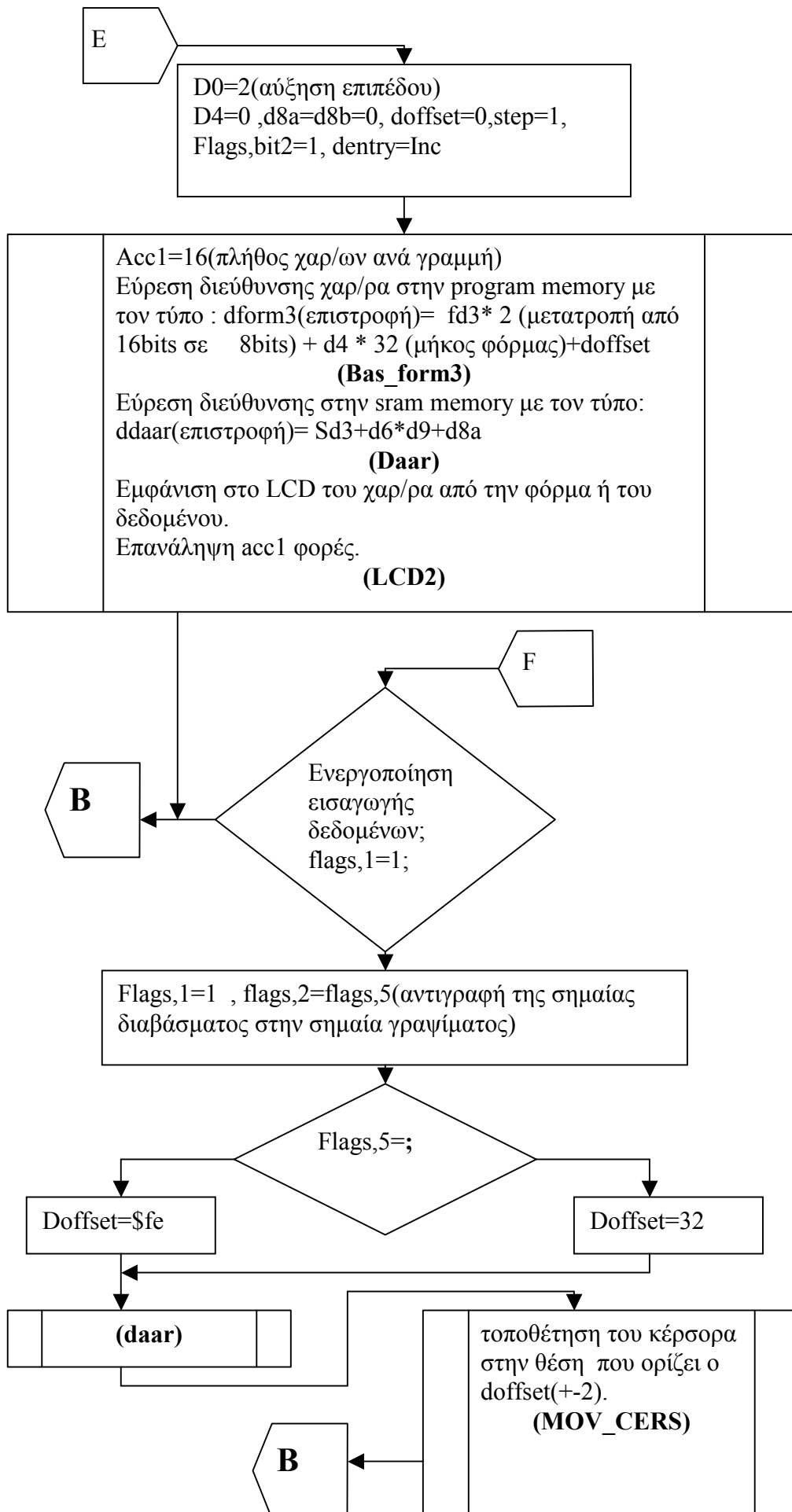
Μετρητής (πλήθος γραμμών) =4
Μετρητής (γραμμή)= 0 (περιέχει σε κώδικα 4 σε 2 την ενεργή γραμμή του πληκ/ου ,bits=2,3 του χαρ/ρα) .
Ενεργοποίηση της στήλης που περιγράφει ο κατ(ενερ. στήλη).
Διάβασμα στον καταχωριτή (ενερ. γραμμή) (4απο 2)



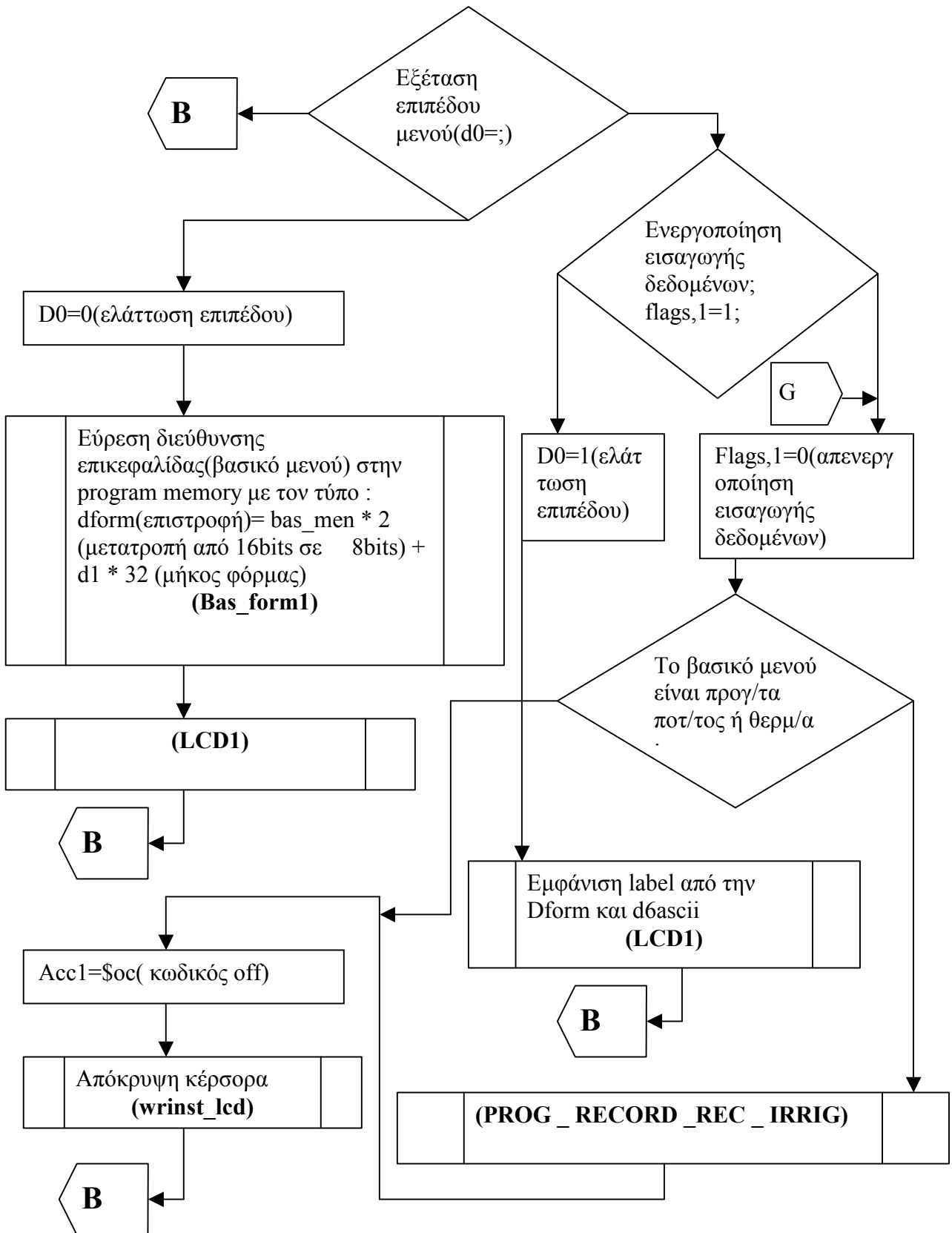


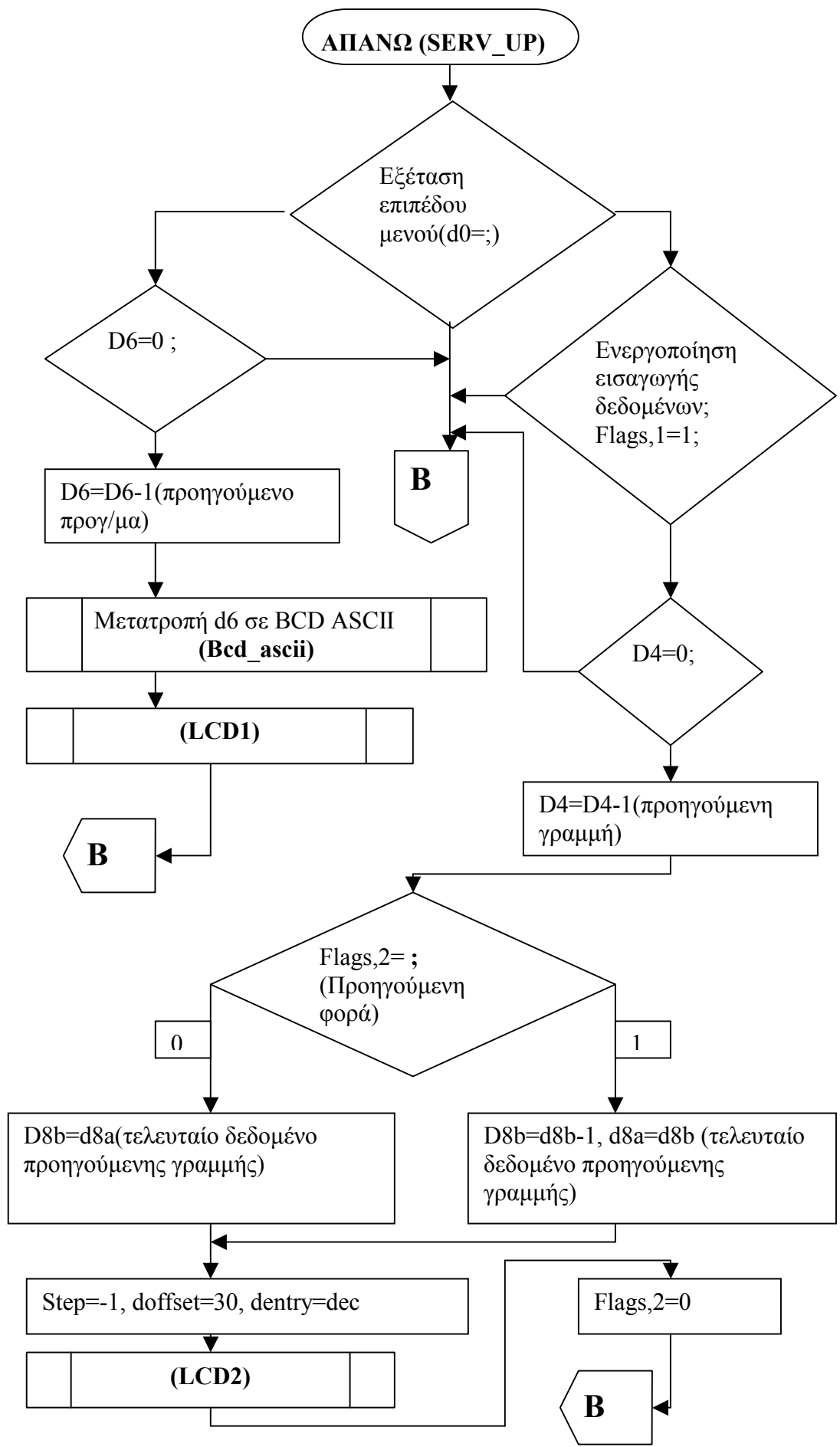
ΕΙΣΑΓΩΓΗ(SERV_ENDER)

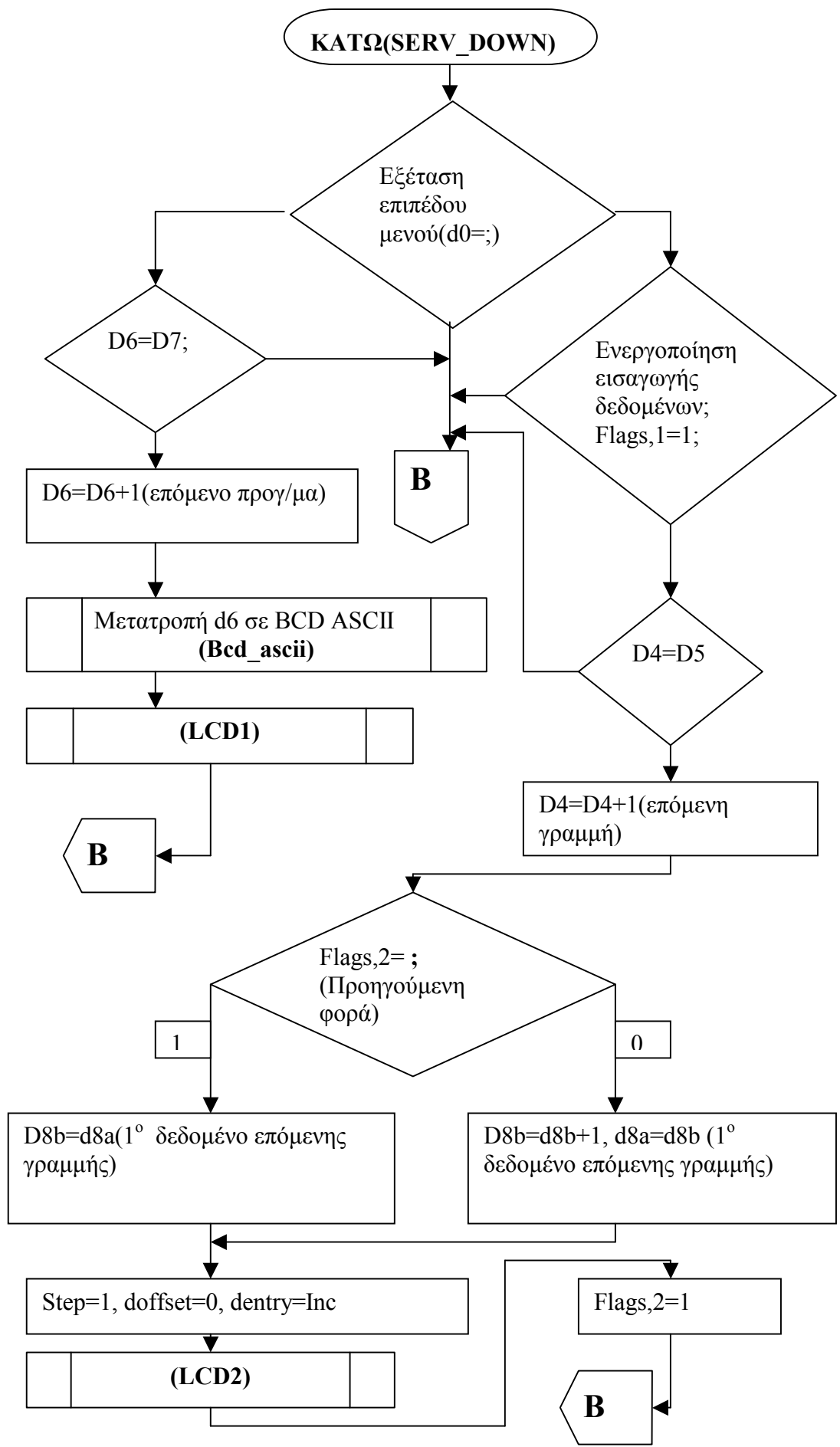




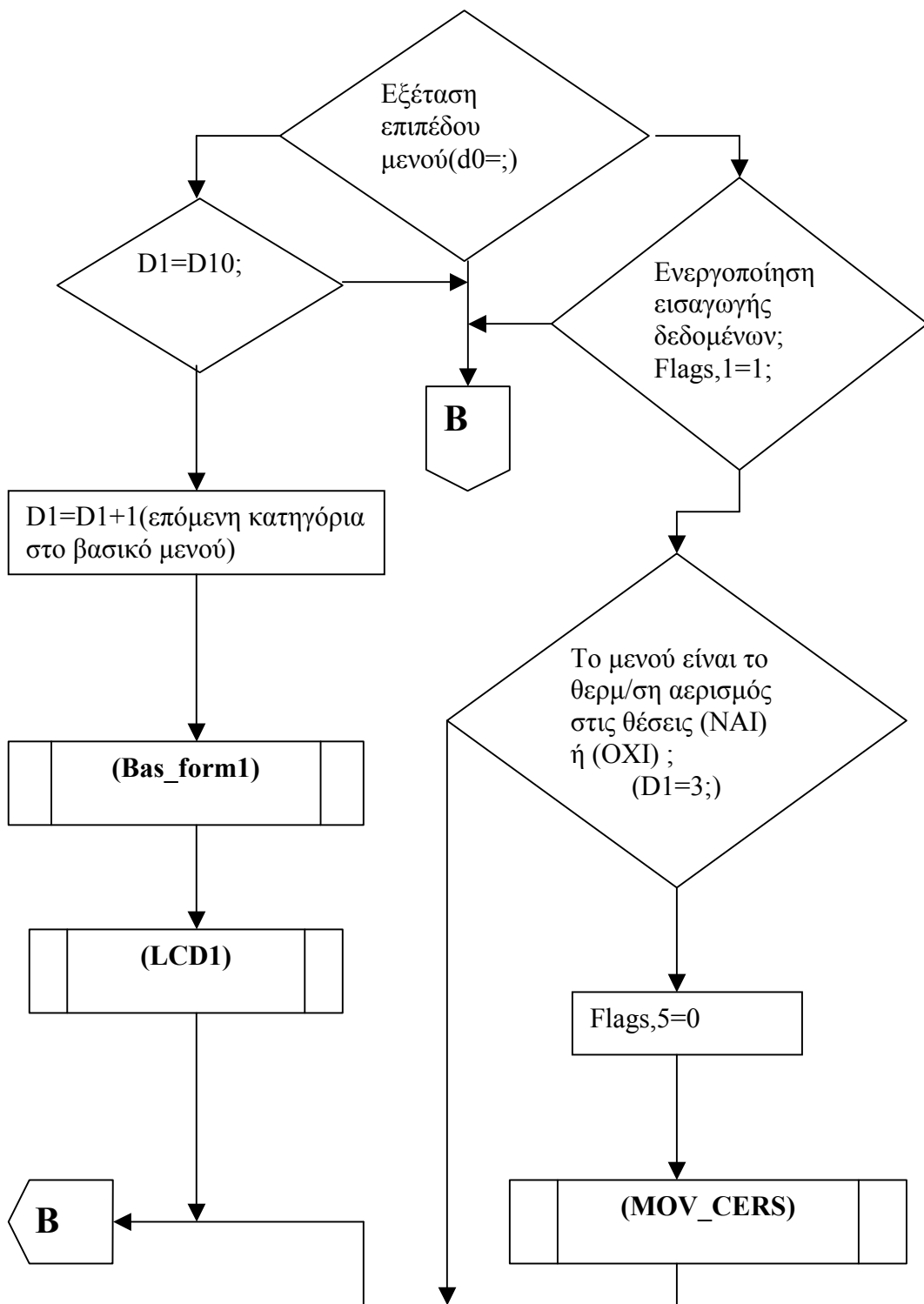
ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ(SERV_ESC)



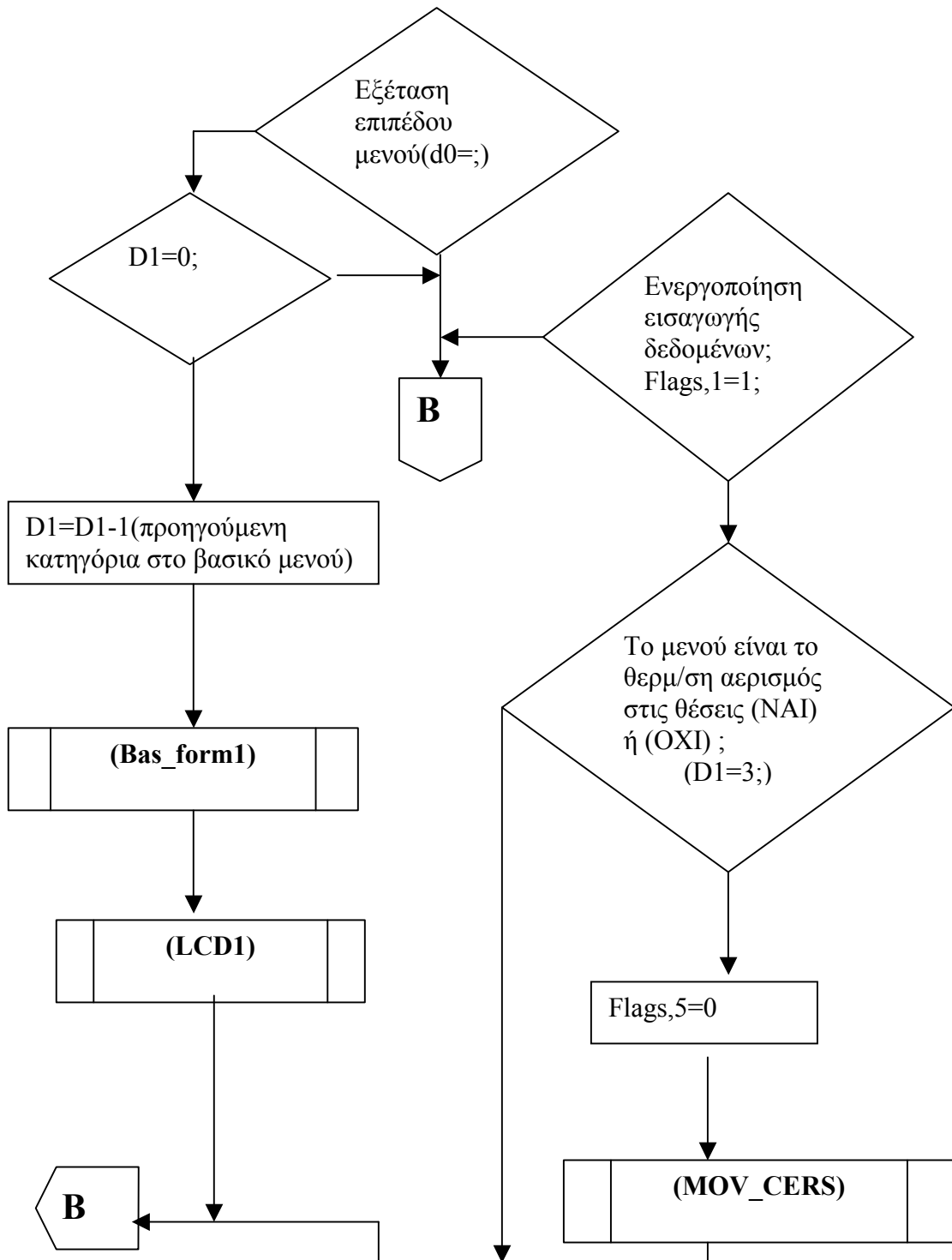




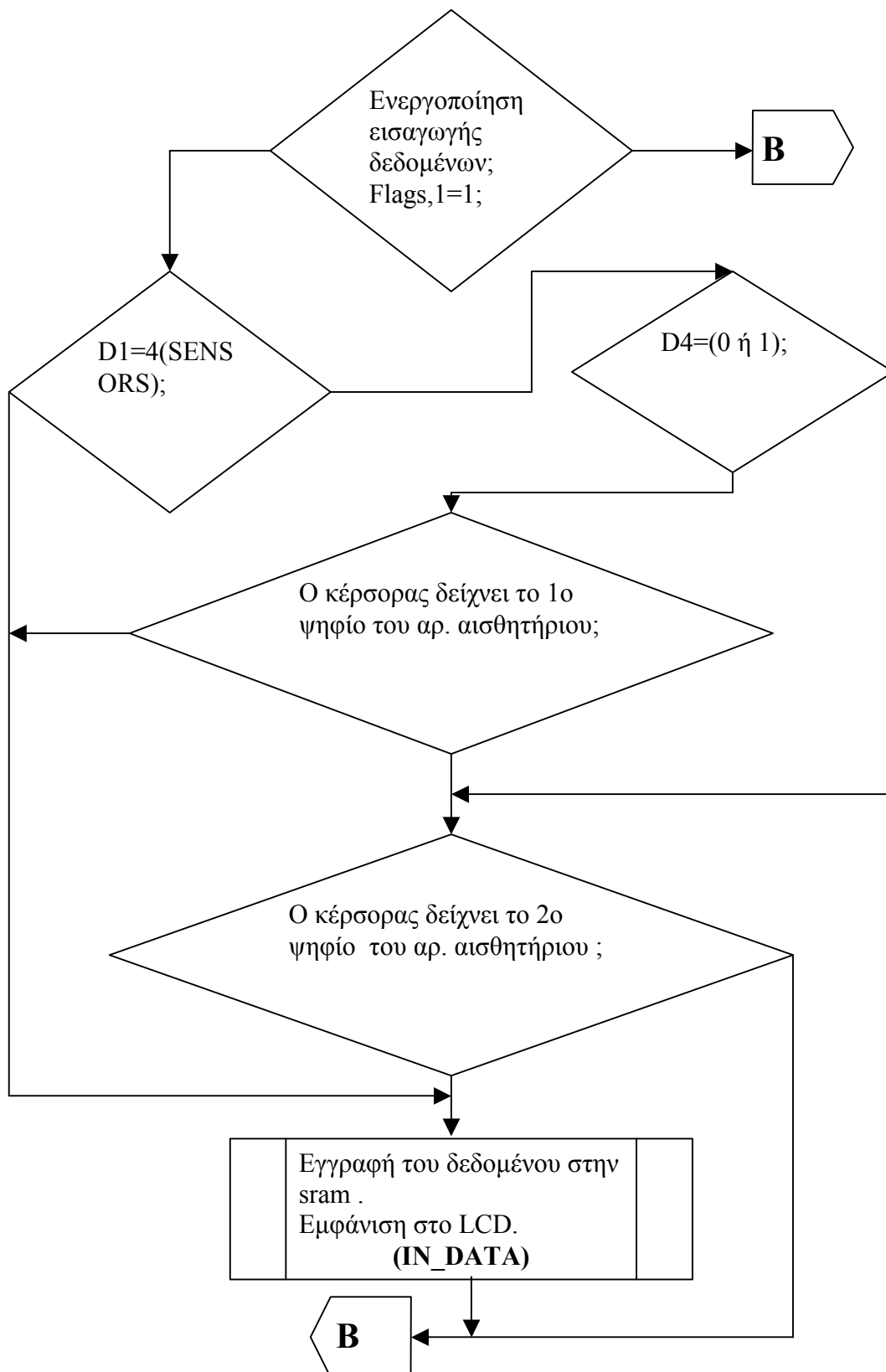
ΔΕΞΙΑ(SERV_RIGHT)



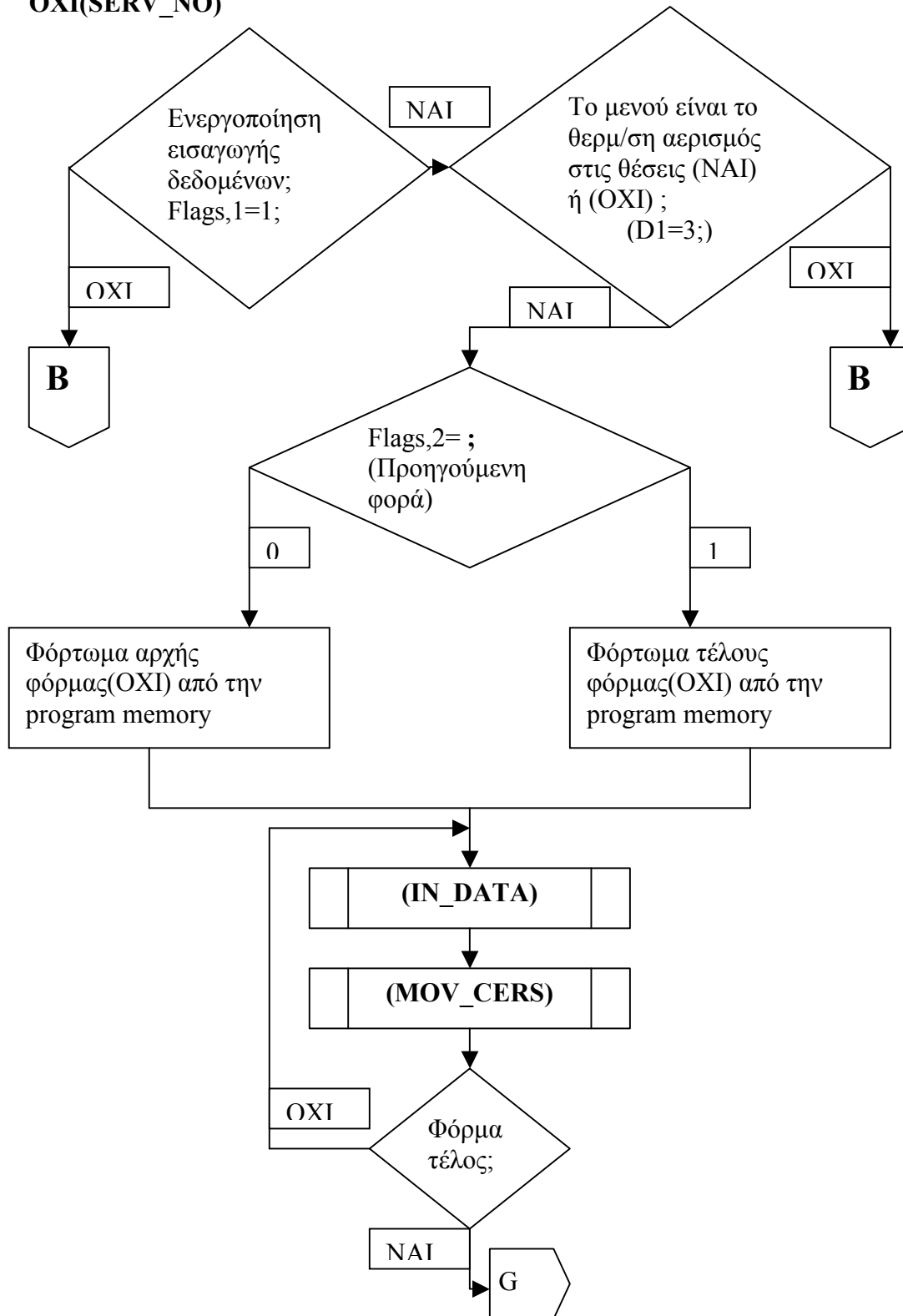
ΑΡΙΣΤΕΡΑ(SERV_LEFT)



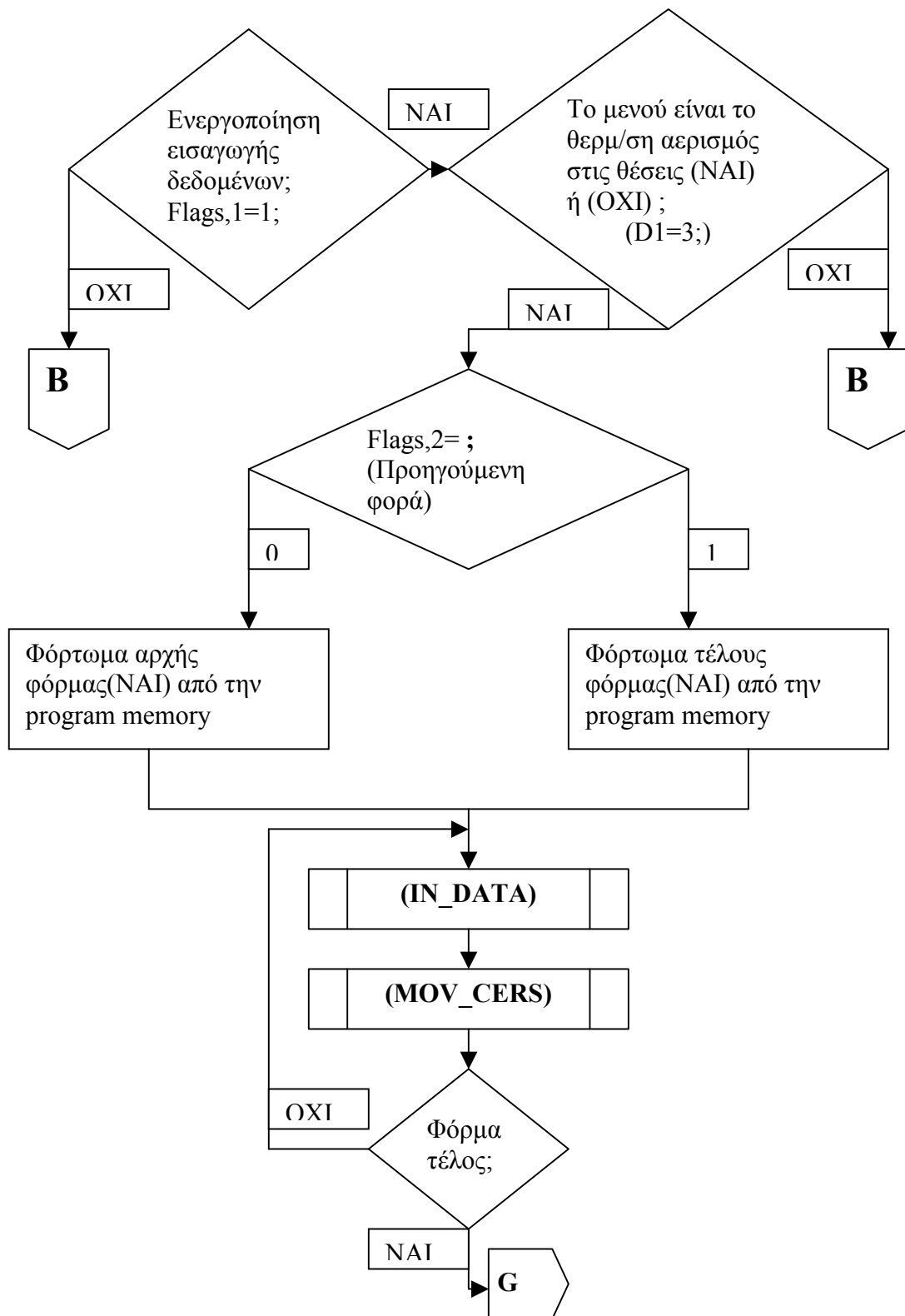
ΔΕΔΟΜΕΝΑ(SERV_DATA)



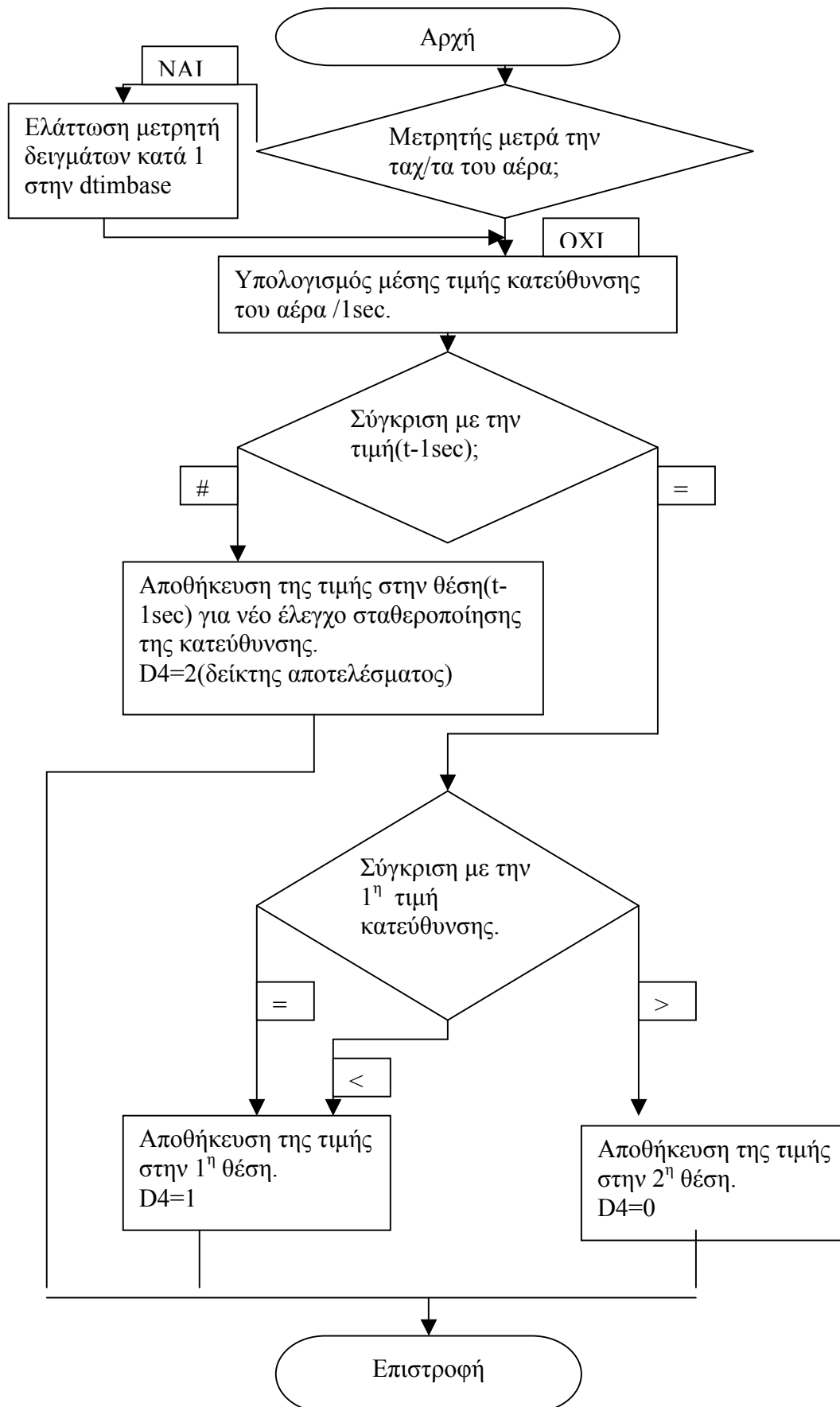
OXI(SERV_NO)



NAI(SERV_YES)

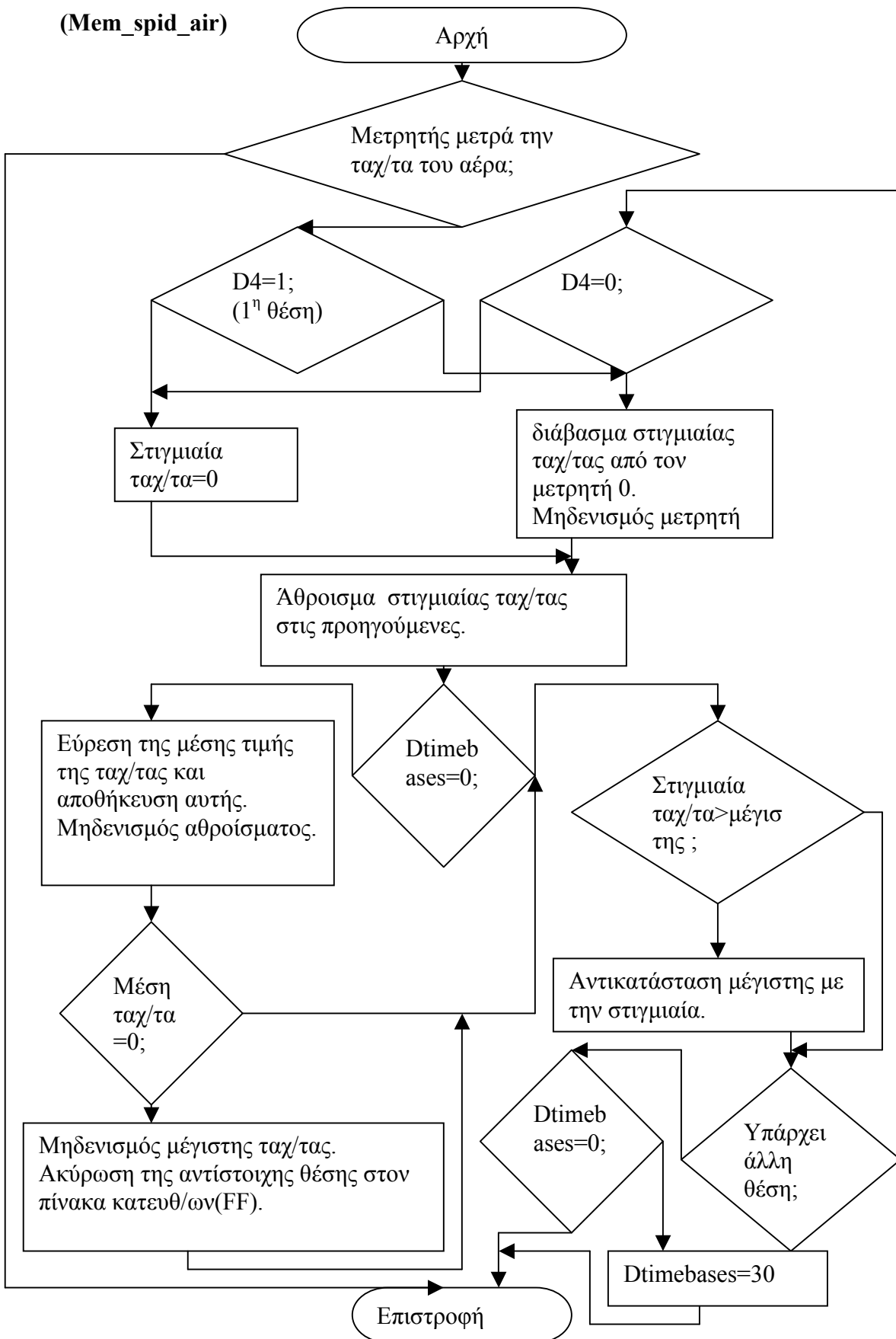


4.2.2. ΕΥΡΕΣΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΕΡΑ

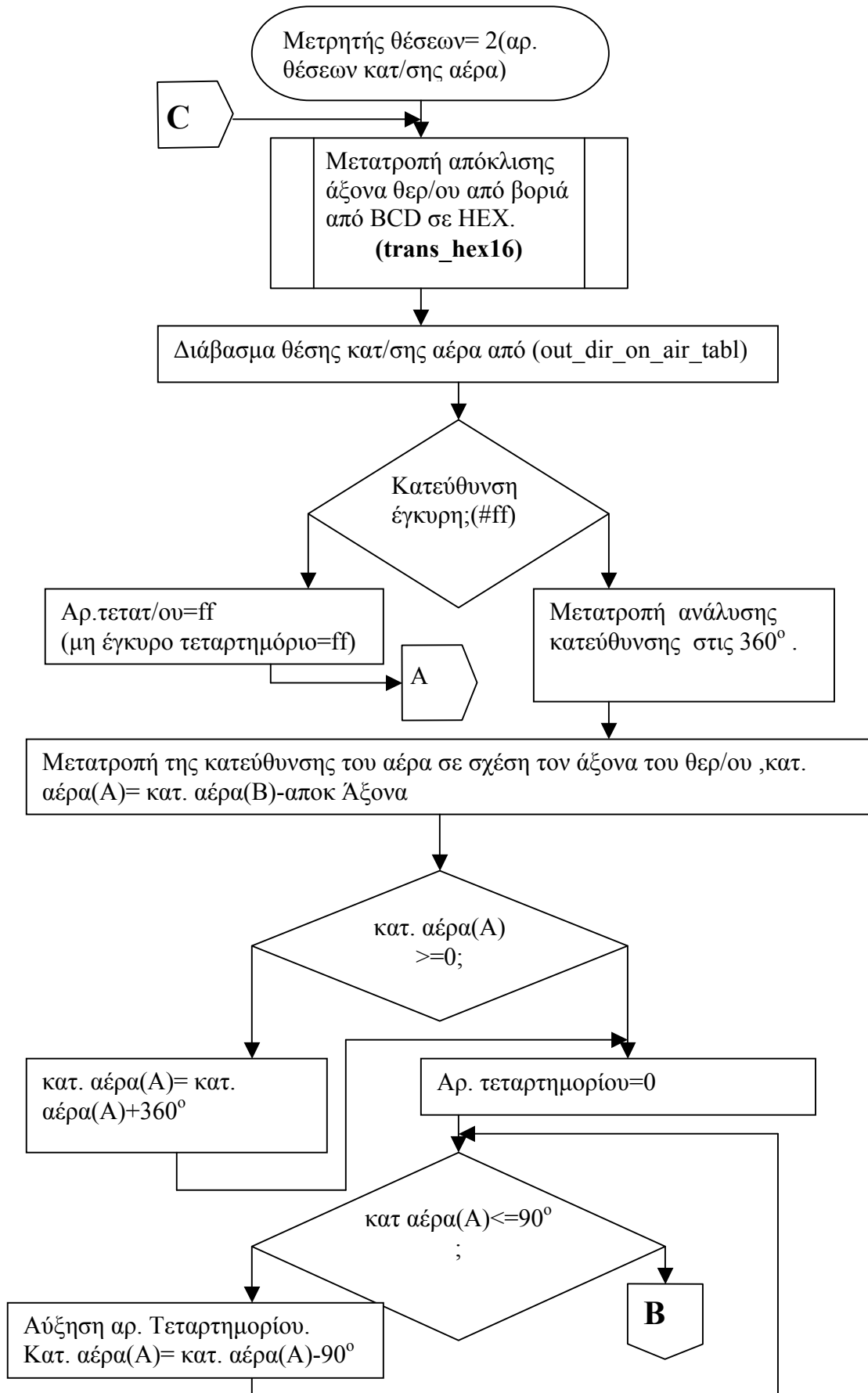


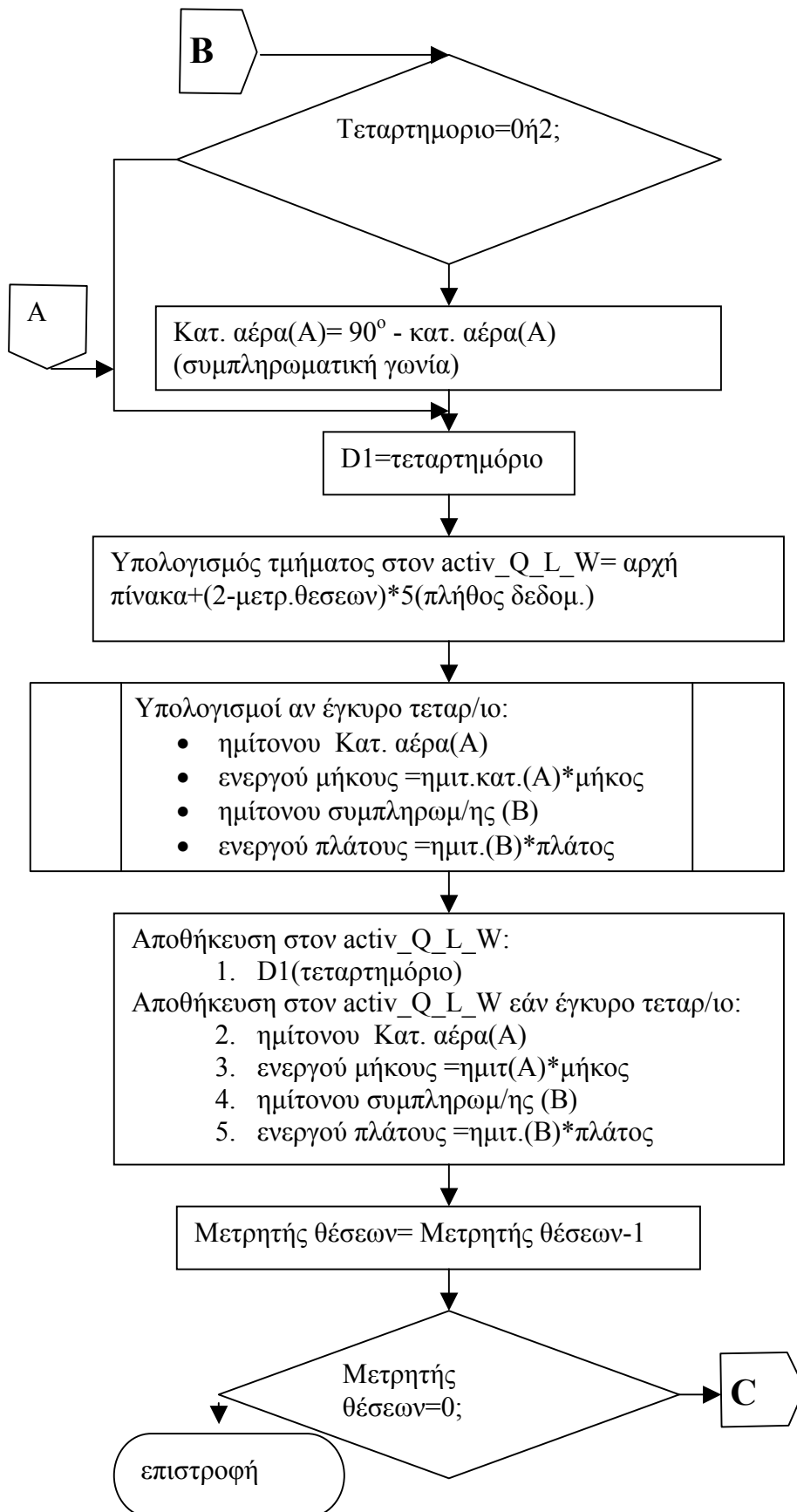
4.2.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ

(Mem_spid_air)



**4.2.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΕΤΑΡΤ.,ΕΝ. ΜΗΚΟΥΣ , ΕΝ. ΠΛΑΤΟΥΣ
(CALC_Q_ACT.L_ACT.W)**





4.2.5. Ρουτίνα άρδευσης

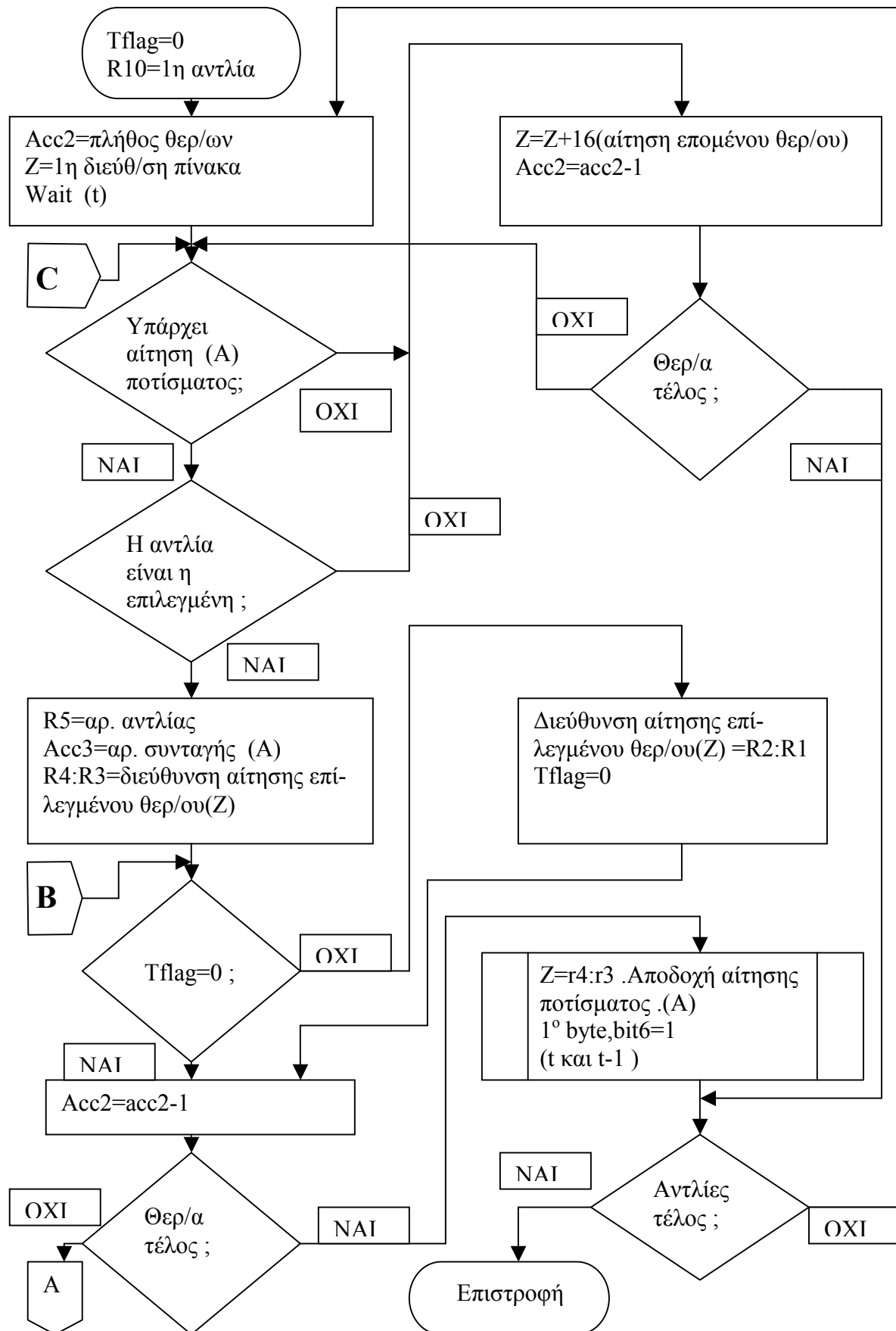
Η ρουτίνα άρδευσης εκτελείται για κάθε θερμοκήπιο ξεχωριστά και σκοπό έχει αφού εξετάσει εάν η απώλεια νερού μέσω της εξατμισοδιαπνοης έχει φτάσει την

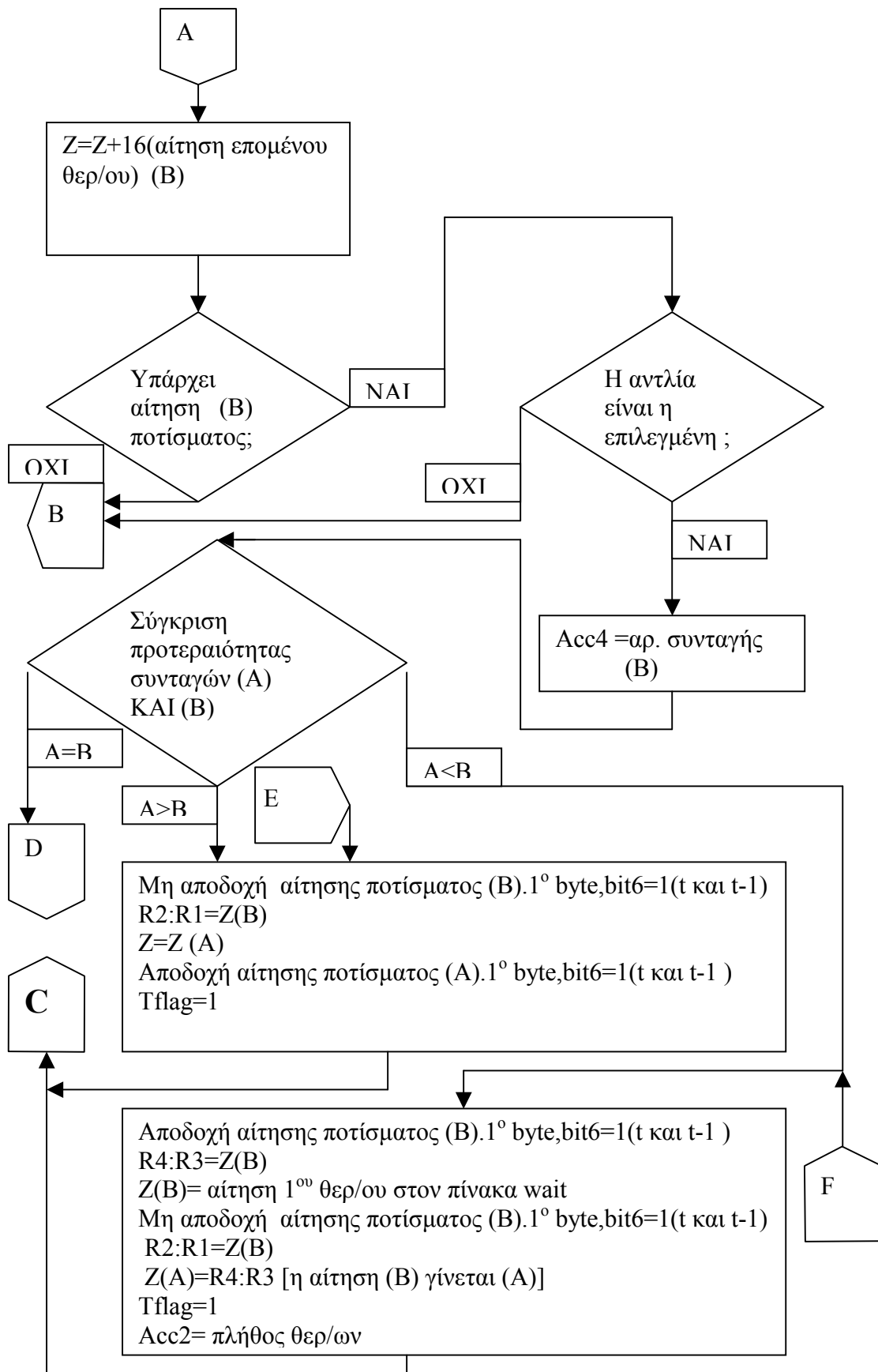
προκαθορισμένη ποσότητα άρδευσης –15% (απορροή) να υπολογίσει τον χρόνο άρδευσης και να αιτηθεί την έναρξη της

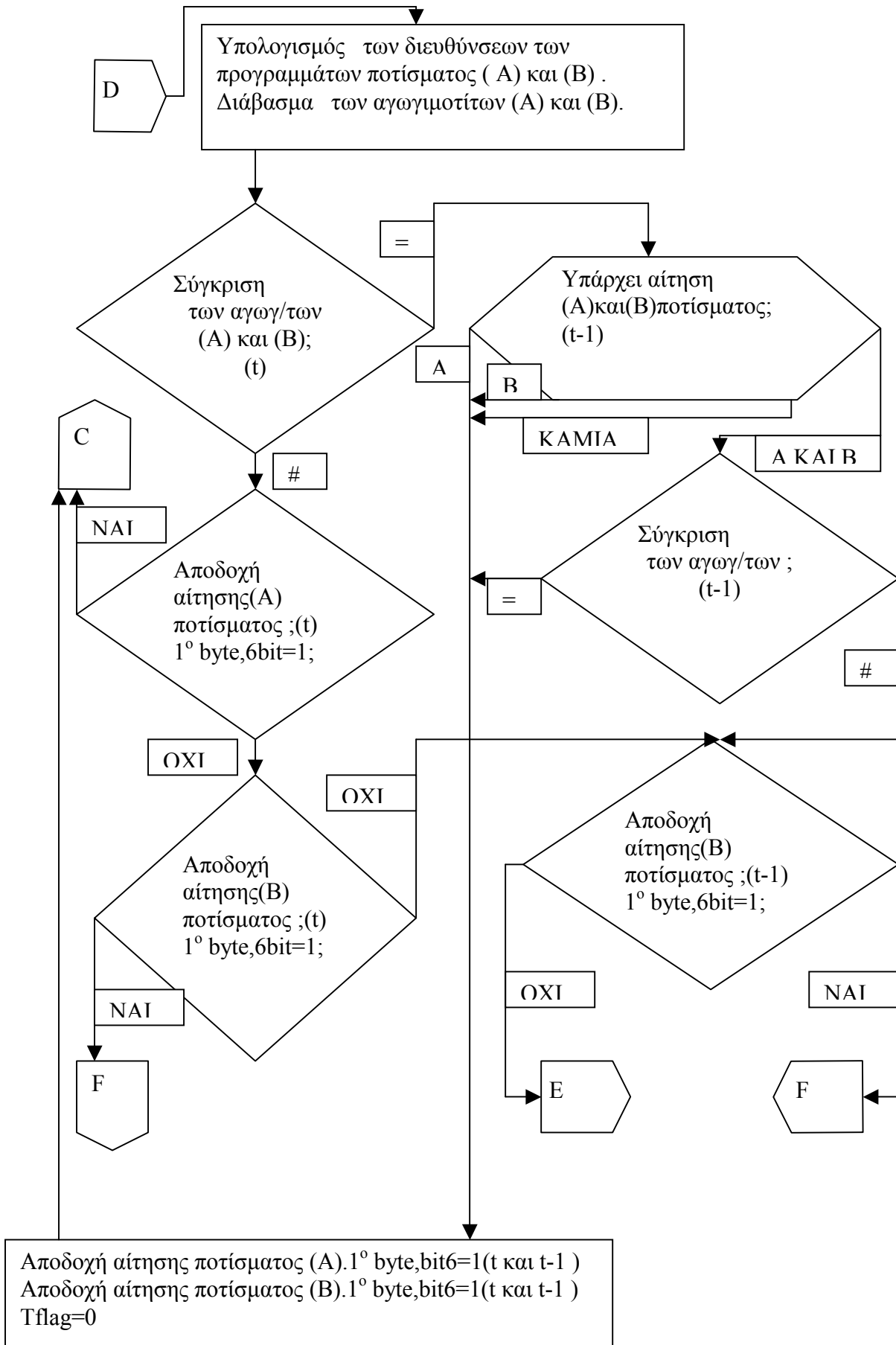
4.2.6. Ρουτίνα διαχείρισης αιτήσεων άρδευσης

Η ρουτίνα διαχείρισης χωρίζεται σε δυο υπορουτίνες από τις οποίες η μια ελέγχει την προτεραιότητα ανάμεσα στις αιτήσεις και η άλλη ελέγχει τις απαιτήσεις σε ισχύ από τα φορτία ,τους μετρητές του χρόνου άρδευσης και ενεργοποιεί /απενεργοποιεί τις βάνες αρδεύσεις.

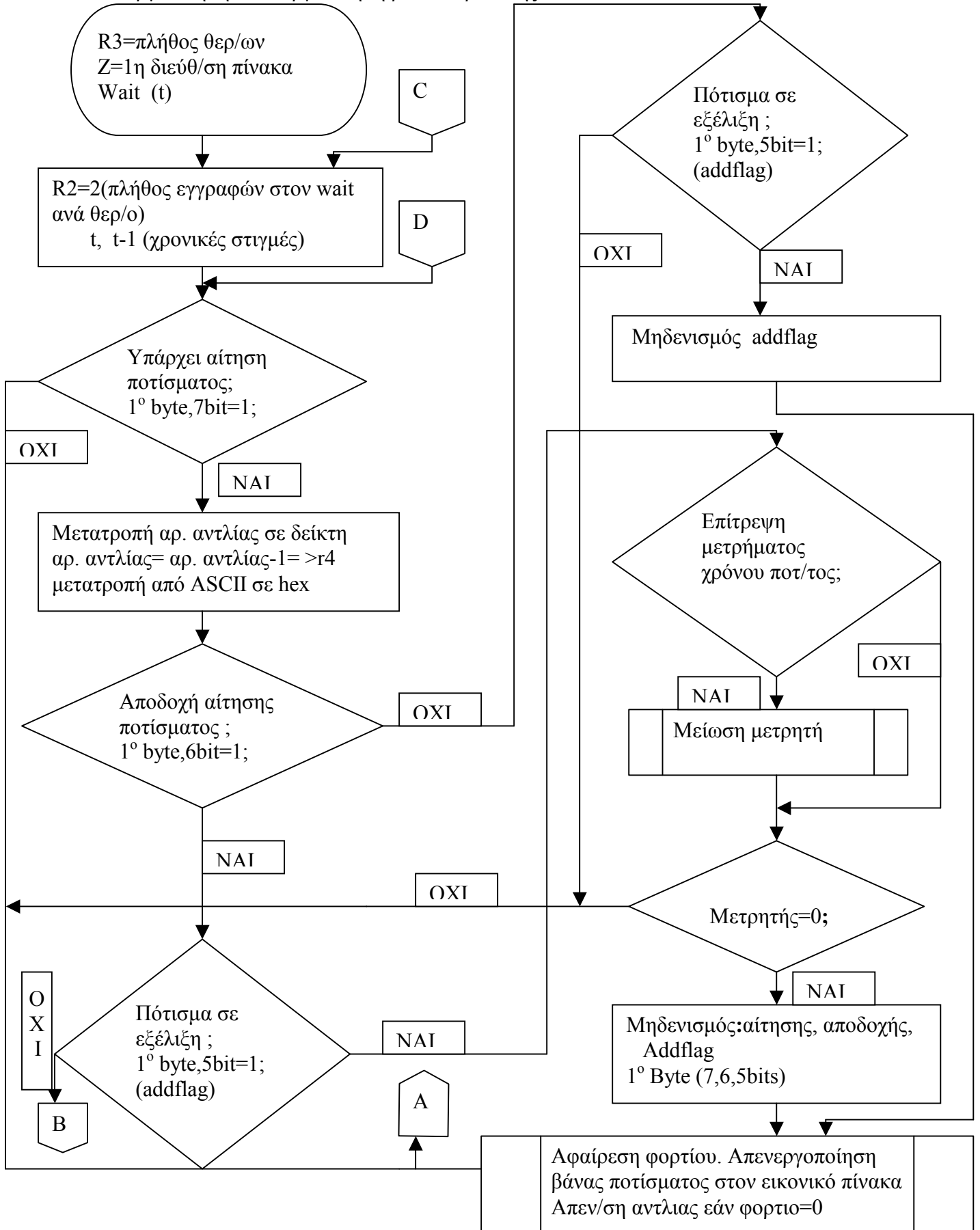
έλεγχος προτεραιότητας.

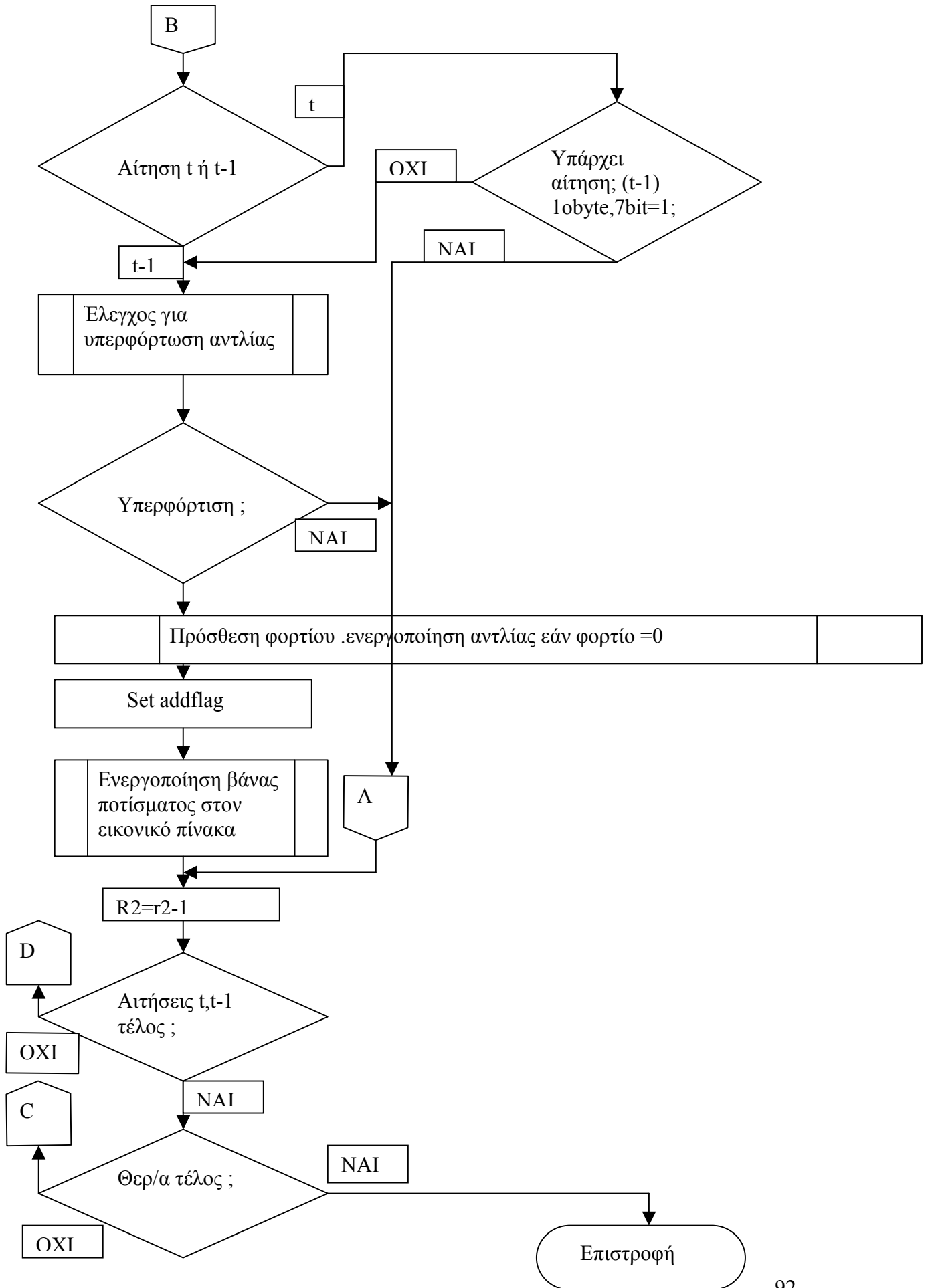






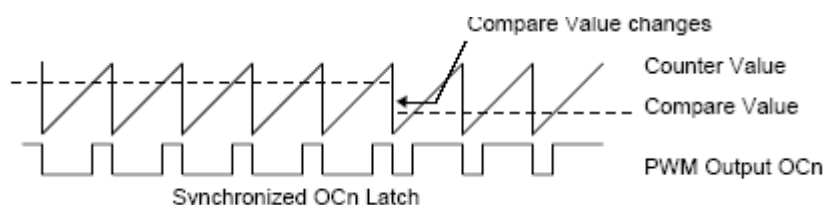
Ενεργοποίηση /απενεργοποίηση βανών άρδευσης





4.2.7. Ρουτίνα λίπανσης

Η ρουτίνα λίπανσης συγκρίνει την αγωγιμότητα και το pH του νερού με τις επιθυμητές τιμές και παράγει δυο PWM τάσεις τροφοδοσίας δυο μεταβλητής παροχής βαλβίδων



4.2.8. Ρουτίνα κλιματισμού

η ρουτίνα κλιματισμού υπολογίζει το συντελεστή C_{vent} και εκτελεί την αντίστοιχη διεργασία σύμφωνα με τον πίνακα των ενθαλπιών

4.2.9. Ρουτίνα πρωτοκόλλου rs485

η ρουτίνα αυτή αναλαμβάνει την αποκατάσταση της με τους δεκτές στέλνοντας πρώτα μια λέξη έναρξης και κατόπιν την διεύθυνση του επιλεγμένου δεκτή. μετά ο δεκτής επιστέφει δυο φορές την διεύθυνση που έλαβε. ο πομπός ελέγχει εάν απάντησε ο σωστός δεκτής και στέλνει OK αλλιώς επαναλαμβάνει τα βήματα. Εάν η σύνδεση είναι σωστή σχίζει να στέλνει εντολές με τον ίδιο τρόπο

References

- Soil Physics, by H.D. Scott, 2000, Iowa State University Press
- Soil Chemistry 2nd Ed., H. Bohn, B. McNeal & G. O'Connor, 1985, John Wiley & Sons
- Tuller, M., D. Or and L.M. Dudley, 1999, Adsorption and capillary condensation in porous media..., *Water Resources Research* 35(7):1949-1964
- D. Or and M. Tuller, 1999, Liquid retention and interfacial area in variably saturated porous media..., *Water Resources Research* 35(12):3591-3605
- "Methods of Soil Analysis, Part 1 - Physical and Mineralogical Methods, 2nd Ed., 1986, A. Klute, Editor, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Water Retention: Laboratory Methods, pp 635-662,
- Methods of Soil Analysis, Part I, Amer. Soc. of Agron., Agronomy Monograph No. 9.
- Fritsch, F.N. and R.E. Carlson, 1980. Monotone piecewise cubic interpolation, *SIAM Journal of Numerical Analysis*, 17(2):238-246.
- Hampton, D.R., 1989. Coupled heat and fluid flow in saturated-unsaturated compressible porous media, Ph.D. dissertation in Civil Engineering, Colorado State U., 293p
- Hampton, D.R., 1990. A method to fit the soil hydraulic curves in models of flow in unsaturated soils, in *Computation Methods in Surface Hydrology*, the Proc. Of the VIII International Conference on Computational Methods in Water Resources, June 11-15, Venice, Italy, Computational Mechanics Publications, Boston, p 175-180.
- Rossi-Nimmo model of the drying curve (*Water Resources Research*, 1994, 30(3):701-708
- A.T. Corey, *Mechanics of immiscible fluids in porous media*, 1986, Water Resources Publications, Littleton, CO, 80161, 255 p
- Hydraulic conductivity of unsaturated soils: prediction and formulas, in the previously cited reference book, *Methods of Soil Analysis, Part I*, 2nd Ed., p 799-823
- Brooks and Corey (1964, Hydraulic properties of porous media, Hydrology Paper No. 3, Civil Engr. Dept., Colorado State University, Ft. Collins, CO, 80525, 27p).
- Klute and Dirksen, Conductivity and diffusivity of unsaturated soils, pp 703-729 of *Methods of Soil Analysis, Part I - Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Ed., 1986, American Society of Agronomy
- Van Genuchten, 1980, A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Science Society of American Journal*, 44:892-898).
- Burden and Faires, 1985, *Numerical Analysis*, 3rd Ed
- "Hydrology for Engineers", R.K. Lindsey, M.A. Kohler and J.L.H. Paulhus, McGraw-Hill, 1982.
- Hargreaves, G.H., 1994, Defining and using reference evapotranspiration, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 120(6):1132-1139.
- Hydrology for Engineers*, R.K. Lindsey, M.A. Kohler and J.L.H. Paulhus, McGraw-Hill, 1982, the reference for this section.
- American Society of Agricultural Engineers, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085, www.asae.org
- Dr. I. Chaubey, Dept. of Biological and Agricultural Engineering, University of Arkansas

Beyrouly, C.A., C.P. West and E.E. Gbur, 1990, Root development of bermudagrass and tall fescue as affected by cutting interval and growth regulators, *Plant Soil* 127:23-30

UNSODA Unsaturated Soil Hydraulic Database, User's Manual Version 1.0, U.S. EPA publication, EPA/600/R-96/095

H.D. Scott, 2000, *Soil Physics; Agricultural and Environmental Applications*, Iowa State University Press, pp 400-405.

Baker, D.L., 1995a, Applying higher order DIRK time steps to the "modified Picard" method, *GROUND WATER* 33(2):259-263.

Baker, D.L. 1995b, Darcian weighted interblock conductivity means for vertical unsaturated flow, *GROUND WATER* 33(3):385-390.

Baker, D.L. 1998, Developing Darcian means in application to Topopah Spring welded volcanic tuff, Report DOE/ER/82329-2 to the U.S. Department of Energy under Award No. DE-FG02-97ER82329, 118p.

Burden, R.L. and J.D. Faires, 1985, *Numerical Analysis*, 3rd Ed., Prindle, Weber and Schmidt, Boston, 676p.
Celia, M.A., E.T. Bouloutas and R.L. Zarba, 1990, A general mass-conservative numerical solution for the unsaturated flow equation, *Water Resour. Res.* 26(7):1483-1496.

DuChateau, P. and D. Zachmann, 1989, *Applied Partial Differential Equations*, Harper and Row, New York, ISBN 0-06-041772-2, 620p

Kirkland, M.R., R.G. Hills and P.J. Wierenga, 1992, Algorithms for Solving Richards' Equation for Variably Saturated Soils, *Water Resour. Res.* 28(8):2049-2058.

Kreyszig, E., 1983, *Advanced Engineering Mathematics*, 5th Ed., John Wiley & Sons, N.Y., 988 p.

DuChateau, P. and D. Zachmann, 1989, *Applied Partial Differential Equations*, Harper & Row, New York, 620p.

Baker, Arnold and Scott, 1999, Some analytical and approximate Darcian means, *Ground Water* 37(4):532-538.

Sander, G.C., et al., 1988, Exact nonlinear solution for constant flux infiltration, *Journal of Hydrology*, 97:341-346

Barry, D.A., et al., 1993, A class of exact solutions for Richards' equation, *Journal of Hydrology*, 143:29-46

T.Boulard, S.wavg,1999, Greenhouse crop transpiration simulation from external climate conditions , *Agricultural and Meteorology* 100(2000) 25-34.

Σπύρου Ν. Χαλκικιά ,1992,ΘΕΡΜΑΝΣΗ-ΨΥΞΗ-ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Α.Αλεξόπουλος,Γ.Λαγογιάννης,1992,ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΟΝΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Abraham I.Pressman , SWITCHING POWER SUPPLY DESIGN

Data sheet ,Atmega 161,www.atmel.com

