



Ελληνική Δημοκρατία  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό  
Ίδρυμα Ηπείρου

# Γεωργικές και Θερμοκηπιακές κατασκευές (Εργαστήριο)

Ενότητα 10 : Έλεγχος του μικροκλίματος κατά την  
θερμή περίοδο

Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Έλεγχος του μικροκλίματος κατά την θερμή περίοδο σε μεσογειακά θερμοκήπια

#### 4.1. Γενικά

Το θερμοκήπιο είναι ένα αγροτικό κτίριο που επιτρέπει την απομόνωση ενός καλλιεργημένου τμήματος γης με την βοήθεια ενός διαφανούς στην ηλιακή ακτινοβολία υλικού κάλυψης. Εκ κατασκευής λοιπόν το θερμοκήπιο αποτελεί ένα ηλιακό συλλέκτη ο οποίος με τον συνδυασμό της παγίδευσης της ηλιακής ακτινοβολίας και του περιορισμού των ανταλλαγών θερμότητας με συναγωγή οδηγεί σε θερμοκρασιακές ανυψώσεις στο εσωτερικό του. Οι θερμοκρασίες αυτές γίνονται υπερβολικές όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη και η μείωση τους καθίσταται απαραίτητη.

Ο κλιματισμός των θερμοκηπίων κατά τη θερινή περίοδο είναι πρόβλημα που γίνεται όλο και πιο σοβαρό σε ζώνες μεσογειακού κλίματος όπως η Ελλάδα, η Ιταλία, Νότια Γαλλία, η Ισπανία και οι χώρες της Βόρειας Αφρικής. Οι περιοχές αυτές τον τελευταίο καιρό γνώρισαν μεγάλη ανάπτυξη στον τομέα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, χάρη στις κλιματολογικές συνθήκες του χειμώνα, οι οποίες είναι πολύ πιο ευνοϊκές από αυτές που επικρατούν στις βόρειες χώρες, όπως η Ολλανδία.

Το πρόβλημα έγκειται στη συμπεριφορά αυτών των θερμοκηπίων κατά τις περιόδους μεγάλης ζέστης οπότε οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες που έχουν παρατηρηθεί, συνδυαζόμενες συχνά με ανεπαρκή υγρασία αναγκάζουν πολλούς από τους καλλιεργητές να σταματούν τις καλλιέργειες από τις πρώτες κιόλας ζεστές, ή να τις συνεχίζουν σε συνθήκες που δεν ευνοούν την παραγωγή προϊόντων ποιότητας. Ένας καλός κλιματισμός κατά την θερινή περίοδο είναι λοιπόν απαραίτητος, αλλά απαιτεί επενδύσεις μικρότερες ή μεγαλύτερες ανάλογα με την ποιότητα που επιθυμεί ο καλλιεργητής. Είναι προφανές ότι είναι πολύ πιο δύσκολο να ψυχθεί ένα θερμοκήπιο το καλοκαίρι από το να θερμανθεί τον χειμώνα. Η καθαρή ακτινοβολία στο θερμοκήπιο το καλοκαίρι φτάνει, στη μέγιστη τιμή, τα 500 ως 600 W/m<sup>2</sup> από τα οποία πρέπει να αφαιρεθούν 200 ως 250 W/m<sup>2</sup> αισθητής θερμότητας, αν θέλουμε να έχουμε θερμοκρασίες ανάλογες με τις εξωτερικές. Η εξάλειψη αυτής της πλεονάζουσας ενέργειας δεν μπορεί να γίνει με κλασσικά ψυκτικά μηχανήματα που είναι πολύ ακριβά αλλά πρέπει να γίνει με μεθόδους όσο το δυνατόν λιγότερο δαπανηρές όπως ο αερισμός, το cooling, η τεχνική ομίχλη, η σκίαση ή με συνδυασμό περισσότερων από αυτά τα συστήματα. ( Baille, 1988 ).

#### 4.2. Το ενεργειακό ισοζύγιο των θερμοκηπίων

Πριν από τη λεπτομερή εξέταση των διαφόρων τεχνικών ψύξης θερμοκηπίων κατά την θερινή περίοδο θα πρέπει υπενθυμίζονται μερικές γνωστές έννοιες για το ισοζύγιο ενέργειας των θερμοκηπίων, έτσι ώστε να αναλυθούν τα φαινόμενα θερμάνσης του εσωτερικού αέρος. Για αυτό γίνεται μια απλή προσέγγιση που βασίζεται σε μια εξίσωση, η οποία περιγράφει την συμβολή της ενέργειας (ηλιακή ενέργεια) και τις διαφορετικές θέσεις των απωλειών ενέργειας. Χωρίς να λογαριάζεται την θερμική αδράνεια του συνόλου εδάφους - βλαστήσεως, αυτή η εξίσωση γράφεται:

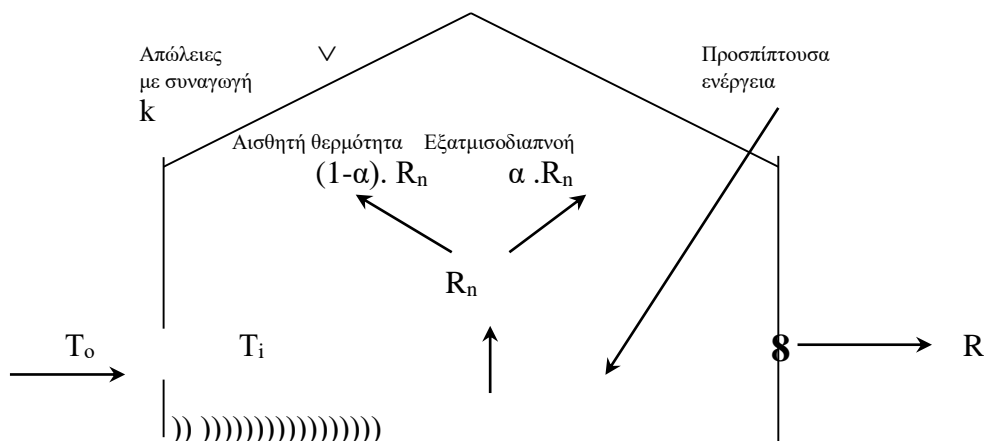
$$R_n \times (1 - \alpha) = \beta \times k \times (T_i - T_o) + \rho \times C_p \times R \times (V_o / A_g) \times (T_i - T_o) \quad (4.1)$$

όπου:

$T_o$ και $T_i$	είναι οι θερμοκρασίες του εξωτερικού και εσωτερικού αέρα αντίστοιχα ( $^{\circ}\text{K}$ )
$C_p$	είναι η ειδική θερμότητα του αέρα η οποία λαμβάνεται ίση με $1012 \text{ J / kg } ^{\circ}\text{K}$
$\rho$	είναι η πυκνότητα του αέρα η οποία λαμβάνεται ίση με $1,25 \text{ kg/m}^3$
$R_n$	είναι καθαρή ακτινοβολία (ηλιακή και θερμική) στην επιφάνεια του θερμοκηπίου σε $\text{W/m}^2$
$\alpha$	είναι ο λόγος της ροής της λανθάνουσας θερμότητας προς την καθαρή ακτινοβολία (δηλαδή η εξατμισοδιαπνοή των επιφανειών φυτού – εδάφους)
$k$	είναι συντελεστής εναλλαγής θερμότητας (με συναγωγή και αγωγή) του τοιχώματος του θερμοκηπίου εξαρτώμενος από το είδος του υλικού και την ταχύτητα του ανέμου σε $\text{W/m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{K}$
$\beta$	είναι ο λόγος της επιφάνειας του τοιχώματος του θερμοκηπίου προς την επιφάνεια του εδάφους
$A_g$	είναι επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου σε $\text{m}^2$
$V_o$	είναι ο όγκος του θερμοκηπίου σε $\text{m}^3$
$R$	είναι το ποσοστό ανανεώσεως του αέρα την ώρα σε $\text{h}^{-1}$

Σημ. Το  $(1-\alpha) \times R_n$  είναι, κατά συνέπεια, το μέρος της ενέργειας που απορροφάται από την επιφάνεια και μετατρέπεται σε αισθητή θερμότητα η οποία και θα αυξήσει την εσωτερική θερμοκρασία του θερμοκηπίου.

Στο σχήμα 4.1. παρουσιάζονται σχηματικά οι παραπάνω βασικοί όροι .



**Σχήμα 4.1.** Σχηματική παράσταση ενεργειακού ισοζυγίου του θερμοκηπίου

Από την εξίσωση 4.1 υπολογίζεται η  $T_i$  .

$$T_i = T_o + \frac{R_n \times (1 - \alpha)}{\beta_R \times k + \rho \times C_p \times R \times (V_o / A_g)} \quad (4.2)$$

Από τη σχέση αυτή συμπεραίνεται ότι μπορεί να μειωθεί η  $T_i$  ενεργώντας:

1. Στο  $R_n$  : Μπορεί να μειωθεί το  $R_n$  χρησιμοποιώντας κουρτίνες σκίασης
2. Στο  $\alpha$  : Αυξάνεται το μέρος του  $R_n$  που δαπανάται για εξατμηση, με διοχέτευση υδρατμού μέσα στο θερμοκήπιο (ψεκασμός, τεχνική ομίχλη, fog – system).
3. Στο  $T_o$  : Ψύχεται ο εξωτερικός αέρας πριν διοχετευτεί στο θερμοκήπιο (cooling- system).
4. Στο  $R$  : Αυξάνεται το ποσοστό ανανεώσεως του αέρα, όσο  $T_i > T_o$  , (με φυσικό ή δυναμικό αερισμό).

Η σχέση 4.2. θα δίνει τη δυνατότητα να καθοριστούν ποσοτικά τα αποτελέσματα του καθενός συστήματος. Κατά την διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι, τα φαινόμενα συμπυκνώσεως είναι σπάνια και είναι δυνατό να τα αγνοηθούν . Έτσι προκύπτει η σχέση :

$$\alpha \times R_n = \rho \times \lambda_\epsilon \times R \times (V_o / A_g) \times (q_i - q_o) \quad (4.3)$$

όπου:

$\lambda_\epsilon$  είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως σε J / kg

$q_o$  και  $q_i$  είναι η ειδική υγρασία του αέρα στο εξωτερικό και εσωτερικό (kg νερό/kg αέρα )

$\alpha \times R_n$  είναι η εξατμισοδιαπνοή ET της καλλιέργειας όπως καθορίστηκε παραπάνω σε J/m<sup>2</sup>h

Από την (4.3) υπολογίζεται η ειδική υγρασία  $q_i$ :

$$q_i = q_o + \frac{R_n \times \alpha}{\beta \times k + \rho \times C_p \times R \times (V_o / A_g)} \quad (4.4)$$

Στην συνέχεια θα ασχοληθούμε με τους παρακάτω τρόπους μείωσης της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου:

- το φυσικό αερισμό,
- τον δυναμικό αερισμό και
- τον δροσισμό (cooling system)

### 4.3. Ο φυσικός αερισμός των θερμοκηπίων

#### 4.3.1. Υπολογισμός των απαιτήσεων σε εξαερισμό

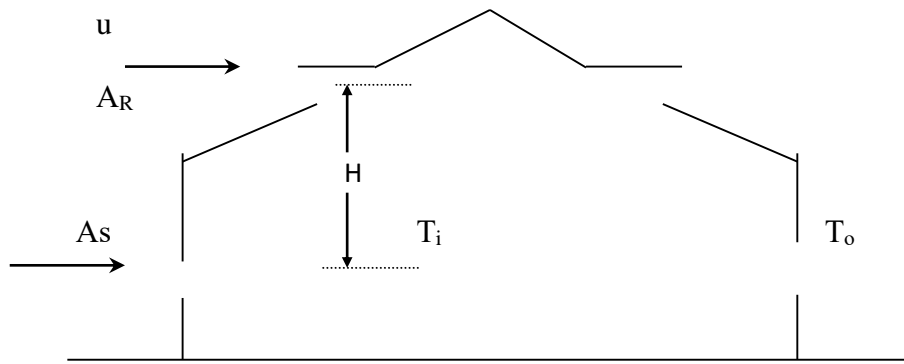
Οι ανταλλαγές αέρα μεταξύ του εσωτερικού ενός θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος συνιστούν μια διαδικασία που επηρεάζει σημαντικά το κλίμα του θερμοκηπίου. Η ανανέωση του αέρα επιδρά όχι μόνο στο ενεργειακό ισοζύγιο και κατά συνέπεια στη θερμοκρασία και υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου αλλά και στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και άλλων αερίων που ίσως υπάρχουν.

Γενικά χαρακτηρίζεται ο αερισμός ενός θερμοκηπίου με βάση το ποσοστό ωριαίας ανανεώσεως R, δηλαδή το πόσες φορές ο όγκος του θερμοκηπίου ανανεώνεται σε μια ώρα (h<sup>-1</sup>). Από συγκριτική άποψη είναι προτιμότερο να εκφράζεται ο αερισμός σαν ροή όγκου αέρος ή μάζα αέρος που αντιστοιχεί στην επιφάνεια του ανοίγματος ή στην επιφάνεια του θερμοκηπίου. Η μονάδα που χρησιμοποιείται είναι λοιπόν το m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> s ή το kg/m<sup>2</sup> s.

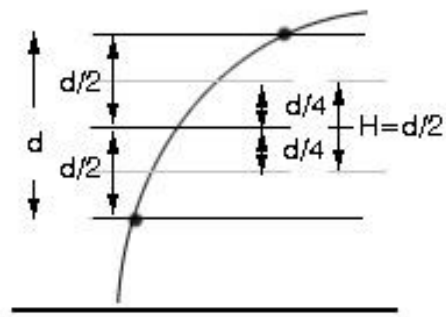
Σε ένα θερμοκήπιο που διαθέτει ανοίγματα οροφής και πλαϊνά (Σχήμα 4.2.α) η ροή αέρα μέσω ενός ανοίγματος προκαλείται από τον συνδυασμό των διαφορών πίεσης που δημιουργούνται

α) λόγω των δυνάμεων άνωσης που οφείλονται σε διαφορές θερμοκρασίες (φαινόμενο καμινάδας) και

β) λόγω της ταχύτητας του ανέμου.



(α) για ανοίγματα στους πλαϊνούς τοίχους και την οροφή



(β) για ανοίγματα μόνο στους πλαϊνούς τοίχους

**Σχήμα 4.2.** Ανοίγματα φυσικού αερισμού θερμοκηπίου

Στην περίπτωση αυτή αποδεικνύεται ότι η παροχή αερισμού δίνεται από την σχέση (Kittas et al., 1997):

$$Q = C_d \times \left[ \left( \frac{A_R \times A_s}{\sqrt{A_R^2 + A_s^2}} \right)^2 \times \left( 2 \times g \times \frac{T_o - T_i}{T_o} \times H \right) + \left( \frac{A_T}{2} \right)^2 \times C_w \times u^2 \right]^{1/2} \quad (4.5)$$

όπου:

- Q παροχή αερισμού σε m<sup>3</sup> /s  
C<sub>d</sub> συντελεστής αποφόρτισης  
A<sub>R</sub> επιφάνεια ανοιγμάτων οροφής σε m<sup>2</sup>  
A<sub>S</sub> επιφάνεια πλαϊνών ανοιγμάτων σε m<sup>2</sup>  
g επιτάχυνση της βαρύτητας, λαμβάνουμε g = 9,81 m/s<sup>2</sup>  
T<sub>o</sub> θερμοκρασία εξωτερικού αέρα σε <sup>0</sup>K  
T<sub>i</sub> θερμοκρασία εσωτερικού αέρα σε <sup>0</sup>K  
H η υψομετρική διαφορά μεταξύ των ανοιγμάτων οροφής και πλευρών σε m (Σχήμα 4.2. (α)). Στην περίπτωση που έχουμε μόνο μία σειρά ανοιγμάτων στις πλευρές (π.χ. τοξωτά θερμοκήπια), τότε το H ισούται με d/2, όπου d είναι το ύψος του ανοίγματος (Σχήμα 4.2. (β)).  
A<sub>T</sub> συνολική επιφάνεια ανοιγμάτων σε m<sup>2</sup>  
C<sub>w</sub> ολικός συντελεστής ανεμοπίεσης  
u η ταχύτητα του ανέμου m/s.

Στην περίπτωση κατά την οποία οι επιφάνειες των ανοιγμάτων οροφής και των πλαϊνών ανοιγμάτων είναι ίδιες η σχέση 4.5 γράφεται:

$$Q = \frac{A_T}{2} \times C_d \times \left[ g \times \frac{T_o - T_i}{T_o} \times h + C_w \times u^2 \right]^{1/2} \quad (4.6)$$

Στη σχέση αυτή ο πρώτος όρος εντός της αγκύλης αφορά τη ροή αερισμού λόγω του φαινομένου της καμινάδας και ο δεύτερος όρος τη ροή αερισμού λόγω των δυνάμεων της ταχύτητας του ανέμου.

Αποδεικνύεται ότι όταν ο λόγος u / ΔT γίνεται μεγαλύτερος του 1 το φαινόμενο της καμινάδας μπορεί να αγνοηθεί.

Στη σχέση 4.6 ο συντελεστής C<sub>w</sub> είναι ένας ολικός συντελεστής ταχύτητας ανέμου και περιλαμβάνει τη δράση της μέσης συνιστώσας της ταχύτητας του ανέμου καθώς και τη δράση της τυρβώδους κίνησης του αέρα. Η σχέση 4.6 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λογισμικά για τον έλεγχο του μικροκλίματος των θερμοκηπίων αλλά και για τον σχεδιασμό των ανοιγμάτων αερισμού. Χρησιμοποιώντας τη σχέση 4.6 και μια απλοποιημένη σχέση του ενεργειακού ισοζυγίου προτείναμε την ακόλουθη σχέση που δίνει τα ανοίγματα φυσικού αερισμού ενός καλά ποτισμένου θερμοκηπίου.

$$\frac{A_T}{A_g} = 0,0027 \times R_o \times H^{-0,5} \times (T_i - T_o)^{-1,5} \quad (\text{Εξίσωση του Κίττα, 4.7.})$$

όπου:

- A<sub>T</sub> συνολική επιφάνεια ανοιγμάτων σε m<sup>2</sup>  
A<sub>g</sub> είναι η επιφάνεια του καλυμμένου εδάφους σε m<sup>2</sup>  
R<sub>o</sub> είναι η ολική ηλιακή ακτινοβολία στο εξωτερικό του θερμοκηπίου σε W/m<sup>2</sup>

$$H R_o \text{ υπολογίζεται από τη σχέση : } R_o = R_{d_o} \times \left( b + \frac{n}{DL} \times d \right) \quad (4.8)$$

για τη χαρακτηριστική ημέρα κάθε μήνα (Πίνακας 1.3)

όπου  $b = 0,1992$  και  $d = 0,5165$ .

$R_{d_o}$  είναι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο εξωτερικό της ατμόσφαιρας. Τιμές της  $R_{d_o}$  υπολογίζονται από την σχέση (4.9).

$$R_{d_o} = G_{sk} [1 + 0,033 \cos(360 \times I / 365)] [\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega] \quad (4.9)$$

όπου:

$G_{sk} = 1353 \text{ W/m}^2$  είναι η ηλιακή σταθερά

$\omega$  είναι η ωριαία γωνία του ήλιου. Το μεσημέρι είναι:  $\omega = 0$

$n$  είναι η ημερήσια διάρκεια της ηλιοφάνειας σε h. (Λαμβάνεται από τον πίνακα 1.6. με διαίρεση δια 30 ή 31 ανάλογα με τον μήνα).

DL είναι η διάρκεια της ημέρας σε h, που υπολογίζεται είτε από τον πίνακα 2.5, είτε από τη σχέση (1.6):  $DL = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \varphi \cdot \tan \delta)$ .

$\varphi$  είναι το γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες

$\delta$  είναι η απόκλιση της γης  $\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \times (284 + I)\right)$  σε μοίρες.

I είναι ο αύξων αριθμός της ημέρας του έτους  $1 \leq I \leq 365$  (Πίνακας 1.3)

H είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ των ανοιγμάτων οροφής και πλευρών σε m (Σχήμα 4.2. (α)).

Στην περίπτωση που υπάρχει μόνο μία σειρά ανοιγμάτων στις πλευρές (τοξωτά θερμικήπια), τότε το H ισούται με  $d/2$ , όπου d είναι το ύψος του ανοίγματος (Σχήμα 4.2. (β)).

$T_i$  είναι η θερμοκρασία που επικρατεί στο εσωτερικό του θερμικήπιου. Έχει βρεθεί ότι  $\Delta T = T_i - T_o = 0,01 \times R_o$  για την ενδοχώρα και  $= 0,008 \times R_o$  για τις παραθαλάσσιες περιοχές. Η μέγιστη επιτρεπτή  $T_i$  για τις θερμικήπιακές καλλιέργειες είναι ίση με  $32^\circ\text{C}$  ( $\max T_i$ ).

$T_o$  είναι η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμικήπιου η οποία αναζητείται στο διαδίκτυο. Υπάρχουν διάφορες ιστοσελίδες από τις οποίες προκύπτει η  $T_o$ , π.χ. η ιστοσελίδα της EMY: <http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/> ή η ιστοσελίδα της meteo : [www.meteo.gr/meteoplus/ClimaticDataGR.xls](http://www.meteo.gr/meteoplus/ClimaticDataGR.xls).

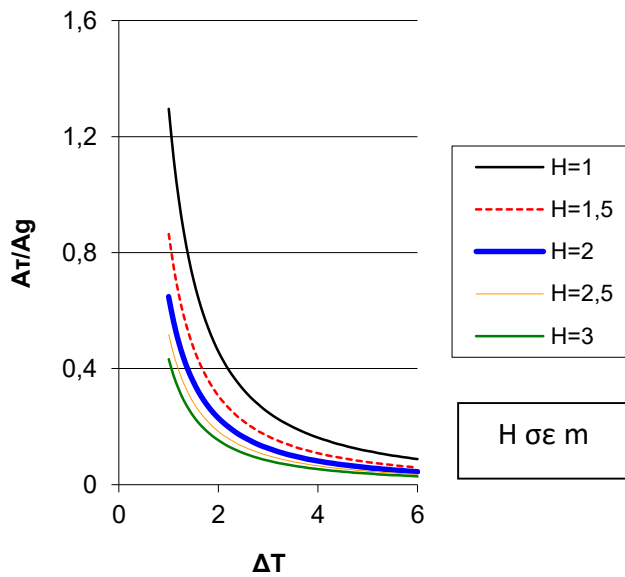
Εάν επιλυθεί η εξίσωση 4.7 για τις συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα ήτοι για  $R_o = \max R_o = 842 \text{ W/m}^2$  (Μαυρογιαννόπουλος) για διάφορα ύψη  $1\text{m} \leq H \leq 3,00 \text{ m}$ , παρατηρείται ότι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξωτερικού και εσωτερικού αέρα στον φυσικό αερισμό μικραίνει όσο η επιφάνεια των ανοιγμάτων αυξάνει, μέχρι η επιφάνεια των ανοιγμάτων να γίνει το 30 % της επιφάνειας του εδάφους. Πάνω από αυτό το ποσοστό, η επί πλέον επιφάνεια ανοιγμάτων έχει πολύ μικρή επίδραση στην παραπέρα μείωση της διαφοράς θερμοκρασίας (Σχήμα 4.3.). Μειώνεται περίπου  $0,1 \text{ }^\circ\text{K}$  για κάθε 1 % επί πλέον επιφάνεια ανοιγμάτων, μέχρι το όριο 45 %. Πέρα από αυτό το όριο κάθε αύξηση ανοιγμάτων κατά 1% συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας περίπου κατά  $0,06 \text{ }^\circ\text{K}$ .

Από το Σχήμα 4.4. διαπιστώνεται πόσο σημαντική είναι η επίδραση του ύψους  $H$ , στο απαιτούμενο ποσοστό ανοιγμάτων φυσικού αερισμού για την επίτευξη μιας δεδομένης διαφοράς θερμοκρασίας  $\Delta T$ .

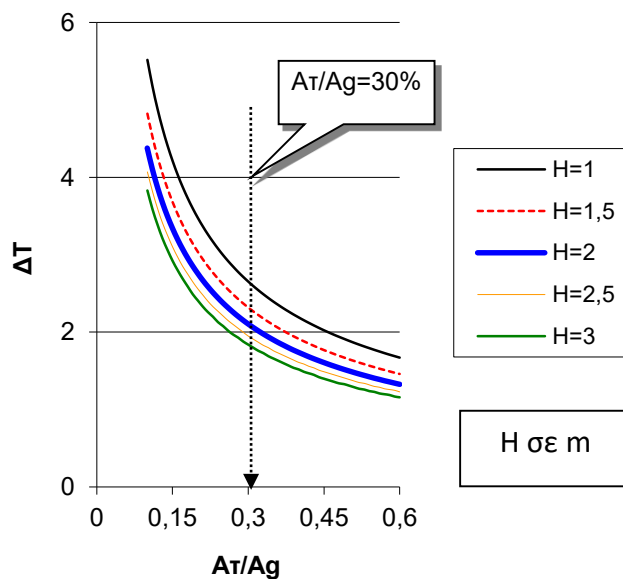
Στην Ελλάδα τα περισσότερα θερμοκήπια εξαερίζονται με φυσικό τρόπο. Ο φυσικός εξαερισμός, για να λειτουργήσει ικανοποιητικά έχει ανάγκη από μεγάλα ανοίγματα, τα οποία πρέπει να τοποθετηθούν στις κατάλληλες θέσεις στο θερμοκήπιο.

Ένα στενόμακρο θερμοκήπιο, με πλάτος που δεν υπερβαίνει τα 10 m, είναι δυνατό να βασίζει τον αερισμό του σε πλευρικά μόνο ανοίγματα. Όσο όμως το πλάτος του θερμοκηπίου είναι μεγαλύτερο, τόσο ανεπαρκής αποδεικνύεται ο εγκάρσιος αερισμός με πλευρικά μόνο ανοίγματα και επομένως απαιτούνται πρόσθετα ανοίγματα οροφής. Πολλές φορές, ακόμη και σε όχι μεγάλου πλάτους θερμοκήπια, ο αερισμός με πλευρικά μόνο ανοίγματα αποδεικνύεται ανεπαρκής όταν καλλιεργούνται μεγάλου ύψους φυτά που αυξάνουν την αντίσταση ροής του αέρα. Πολύ συχνά τα πρόσθετα ανοίγματα οροφής αποδεικνύονται σωτήρια, διότι τις ημέρες με άπνοια βοηθούν να λειτουργήσει σωστά ο αερισμός που βασίζεται στις διαφορές θερμοκρασίας. Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το έδαφος και τα φυτά, ο αέρας που βρίσκεται σε επαφή με αυτά θερμαίνεται, γίνεται ελαφρότερος και ανέρχεται. Έτσι, με ανοίγματα αερισμού στην οροφή και στις πλευρές έχουμε ικανοποιητικό εξαερισμό. Ο ψυχρότερος και βαρύτερος εξωτερικός αέρας εισέρχεται από τα κατώτερα πλευρικά ανοίγματα και ο θερμότερος, άρα και ελαφρότερος αέρας, εξέρχεται από τα υψηλότερα ανοίγματα.





**Σχήμα 4.3.** Μεταβολή της επιτυγχανομένης διαφοράς θερμοκρασίας  $\Delta T$  σε συνάρτηση με την επιφάνεια των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού (για  $R_0=842\text{W/m}^2$ )



**Σχήμα 4.4.** Μεταβολή της απαιτούμενης επιφάνειας ανοιγμάτων για την επίτευξη της επιθυμητής διαφοράς θερμοκρασίας  $\Delta T$  σε συνάρτηση με την το ύψος  $H$  (για  $R_0=842\text{W/m}^2$ )

Τα ανοίγματα εξαερισμού για να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα με το φυσικό εξαερισμό, πρέπει να είναι μεγάλης επιφάνειας, αλλά και ρυθμιζόμενα, ώστε να επιτρέπουν μικρότερες παροχές όταν δεν απαιτείται μεγάλη παροχή εξαερισμού. Ο αυτοματισμός εδώ είναι απαραίτητος, διότι οι απαιτήσεις σε εξαερισμό διαρκώς μεταβάλλονται, ιδίως την άνοιξη και το φθινόπωρο. Υψηλότερος εξαερισμός από τον απαιτούμενο την ψυχρή περίοδο έχει ως αποτέλεσμα μεγάλες απώλειες ενέργειας ή χαμηλότερη από την επιθυμητή θερμοκρασία στο θερμοκήπιο.

#### 4.3.2. Μηχανισμοί των ανοιγμάτων εξαερισμού

Η ροή του αέρα στον παθητικό εξαερισμό ρυθμίζεται με τη αυξομείωση της έκτασης των ανοιγμάτων εξαερισμού (παράθυρα). Τα παράθυρα κατασκευάζονται συνήθως συνεχόμενα κατά μήκος των κατακόρυφων πλευρών και της οροφής. Η προσαρμογή του παραθύρου στον σκελετό γίνεται από την επάνω πλευρά και είναι αρθρωτή. Το άνοιγμα και το κλείσιμο των παραθύρων οροφής γίνεται μέσω οδοντωτών, ή σπαστών βραχιόνων. Οι βραχίονες αυτοί συγκρατούν την κάτω πλευρά του παραθύρου καθ' όλο το μήκος του και συνδέονται μεταξύ τους με ένα σωληνωτό άξονα, έτσι ώστε με την περιστροφή αυτού του άξονα να μετακινούνται όλοι οι βραχίονες μαζί και να ανοίγουν ή να κλείνουν το παράθυρο. Η περιστροφή του άξονα μπορεί να γίνεται με χειροκίνητο μηχανισμό ή με ηλεκτροκινητήρα δεξιόστροφο και αριστερόστροφο, στον οποίο έχει παρεμβληθεί μειωτήρας στροφών. Στους ηλεκτροκίνητους μηχανισμούς η εντολή για το άνοιγμα ή το κλείσιμο δίνεται με χειροκίνητο διακόπτη ή με θερμοστάτη χώρου, υπάρχει όμως πάντα η δυνατότητα ανοίγματος με το χέρι στην περίπτωση που θα υπάρξει διακοπή ηλεκτρικής ενεργείας.

Τα παράθυρα των κατακόρυφων πλευρών στα υαλόφρακτα θερμοκήπια και σε μερικά πλαστικής κάλυψης έχουν την ίδια κατασκευή όπως και της οροφής. Στα περισσότερα όμως πλαστικής κάλυψης θερμοκήπια με φύλλο πολυαιθυλενίου είναι πολύ απλούστερη. Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει σκελετός παραθύρου, αλλά το πλαστικό φύλλο που καλύπτει το άνοιγμα συγκρατείται σταθερά στο σκελετό από την επάνω πλευρά, ενώ στην κάτω πλευρά τυλίγεται μέχρις ενός σημείου σε ανεξάρτητο από τον σκελετό σωλήνα  $1/2''$ . Στη μια άκρη του σωλήνα προσαρμόζεται μανιβέλα, έτσι ώστε, περιστρέφοντας τη μανιβέλα, το πλαστικό να τυλίγεται στο σωλήνα. Με το τύλιγμα του πλαστικού στο σωλήνα, αυτός μετακινείται προς τα επάνω και αφήνει ανοικτό το άνοιγμα του εξαερισμού. Με αντίθετη περιστροφή το ξανακλείνει. Η περιστροφή και εδώ μπορεί να γίνει με ηλεκτροκινητήρα που παίρνει εντολή από θερμοστάτη και χειροκίνητα, όπως γίνεται συνηθέστερα.

#### 4.3.3. Κατανομή και έκταση των ανοιγμάτων εξαερισμού

Τα ανοίγματα εξαερισμού, αφ' ενός μεν πρέπει να εξασφαλίζουν τον απαιτούμενο εξαερισμό κάθε φορά, αφ' ετέρου να τον κατανέμουν ομοιόμορφα μέσα στο θερμοκήπιο. Αυτό επιτυγχάνεται με το κατάλληλο μέγεθος των ανοιγμάτων αερισμού, αλλά και με τη σωστή θέση των ανοιγμάτων, ώστε να είναι ομοιόμορφα και συμμετρικά κατανεμημένα κατά μήκος του θερμοκηπίου.

Η επιφάνεια εξαερισμού του θερμοκηπίου, που υπολογίζεται από τη σχέση 4.7., δίδεται από τη σχέση:

$$A_T = N \times L \times h \quad [m^2] \quad (4.8)$$

όπου:

$A_T$  είναι η μέγιστη επιφάνεια ανοιγμάτων εξαερισμού σε  $m^2$

$N$  είναι ο αριθμός των ανοιγμάτων

$L$  είναι το μήκος του ανοίγματος σε  $m$

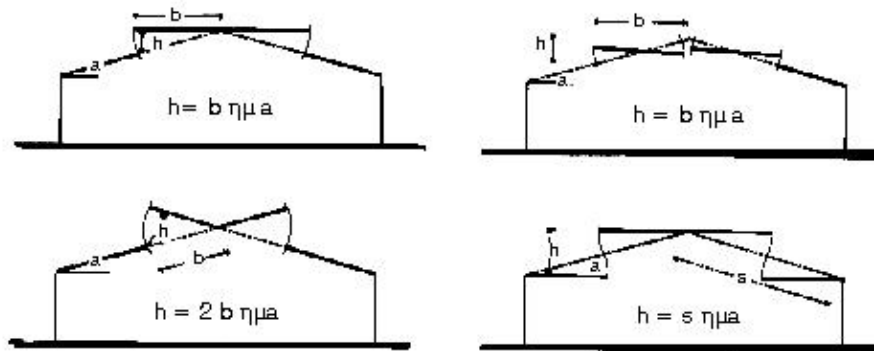
$h$  είναι το μέγιστο πραγματικό ύψος του (Το μέγιστο πραγματικό ύψος του ανοίγματος δεν είναι πάντα αυτό που αντιστοιχεί στο πλάτος του παραθύρου ως κατασκευή, αλλά προσδιορίζεται από την κάθετο που φέρεται από το χείλος του ανοίγματος στο σκελετό προς την επιφάνεια του παραθύρου όταν βρίσκεται στο μέγιστο του ανοίγματός του) σε  $m$  (Σχήμα 4.5.). Για τα τοξωτά  $h = d$ .

Η ελάχιστη σχετική επιφάνεια ανοιγμάτων εξαερισμού που θα πρέπει να διαθέτει ένα θερμοκήπιο είναι συνάρτηση των κλιματικών συνθηκών της περιοχής, καθώς και του είδους των φυτών που θα καλλιεργηθούν. Υπολογίζεται ότι στις δικές μας συνθήκες για τον

εξαερισμό κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου, η έκταση των ανοιγμάτων θα πρέπει να επιτρέπει περισσότερες από 40 αλλαγές του αέρα την ώρα.

Όσο αφορά την κατανομή των ανοιγμάτων, τα ανοίγματα οροφής να είναι περίπου το 80 % των συνολικών ανοιγμάτων.

Κατά το χειμώνα, η θερμοκρασία του θερμοκηπίου μπορεί να ρυθμιστεί και πρέπει να ρυθμίζεται με μόνο τα ανοίγματα εξαερισμού της οροφής. Τα ανοίγματα των πλευρών αυτή την εποχή έχουν αποτέλεσμα την εισαγωγή ψυχρού αέρα αμέσως στη ζώνη των φυτών, με δυσμενή αποτελέσματα γι' αυτά.



Σχήμα 4.5. Ανοίγματα εξαερισμού οροφής και υπολογισμός του h

#### 4.4. Άσκηση 11

Για ένα απλό τοξωτό θερμοκήπιο ενός ανοίγματος που είναι εγκατεστημένο στη Θεσσαλονίκη, έχει πλάτος  $s = 6,00 \text{ m}$ , μήκος  $L = 40,00 \text{ m}$  και κάλυψη από απλό φύλλο πολυαιθυλενίου και με τις προϋποθέσεις ότι:

- Σε μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κάτω από  $12^{\circ}\text{C}$  ή μεγαλύτερες από  $32^{\circ}\text{C}$  η φυσιολογική συμπεριφορά των αποδόσεων επηρεάζεται έντονα με αρνητικά αποτελέσματα στην παραγωγή και στην ποιότητα (FAO 1988).
- Η μέγιστη αναπτυσσόμενη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι για μεν την ενδοχώρα  $\Delta T = 0,01 \times R_o$ , για δε τις παραθαλάσσιες περιοχές  $\Delta T = 0,008 \times R_o$ .
- Θα κατασκευαστεί μία σειρά ανοιγμάτων αερισμού σε κάθε πλευρά του θερμοκηπίου, και σε ολόκληρο το μήκος αυτής. Το ύψος των ανοιγμάτων δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερο από το 50% του μήκους του τεταρτοκυκλίου της επένδυσης του θερμοκηπίου.

Ζητούνται:

- Προσδιοριστεί η χρονική περίοδος κατά την οποία ο φυσικός αερισμός είναι επαρκής και δεν απαιτείται άλλος τρόπος ρύθμισης του κλίματος.
- Γίνει ο υπολογισμός των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού.

Επίλυση

Η επίλυση του παραδείγματος παρουσιάζεται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί. Η απάντηση στο θέμα της επάρκειας του αερισμού δίνεται σε τρία επίπεδα. Σε πρώτο επίπεδο η ερώτηση έχει να κάνει με το αν απαιτείται αερισμός, δηλαδή αν υπάρχει ανάγκη να

ανοίξουμε τα ανοίγματα του θερμοκηπίου ή αν ακόμη και με κλειστά ανοίγματα η θερμοκρασία στο εσωτερικό του δεν ξεπερνά τους 32°C. Σε δεύτερο επίπεδο πρέπει να αναρωτηθούμε αν επαρκεί ο φυσικός αερισμός όταν η εσωτερική θερμοκρασία ξεπερνά το κρίσιμο αυτό επίπεδο και τέλος αν δεν επαρκεί και αυτός τι άλλα μέσα πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

### Πίνακας επίλυσης:

Μήνας	I	φ	δ	ω <sub>s</sub>	Gsk	DL	n	ω	Rd <sub>0</sub>	R <sub>0</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>i</sub>	maxT <sub>i</sub>	
		μοίρες	μοίρες	μοίρες	W/m <sup>2</sup>	Ωρες	Ωρες	μοίρες	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	°C	
a/a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Ιαν.	17	40,75	-20,92	70,77	1353	9,44	3,43	0	662,42	256,28	9,97	12,53	32
2	Φεβρ.	47	40,75	-12,95	78,57	1353	10,48	4,16	0	819,15	331,27	11,07	14,38	32
3	Μάρτ.	75	40,75	-2,42	87,92	1353	11,72	4,92	0	995,81	414,36	14,47	18,61	32
4	Απρ.	105	40,75	9,41	98,21	1353	13,10	6,98	0	1146,71	544,12	19,75	25,19	32
5	Μάϊ.	135	40,75	18,79	107,05	1353	14,27	8,67	0	1226,53	629,32	25,37	31,66	32
6	Ιούν.	162	40,75	23,09	111,55	1353	14,87	9,76	0	1249,29	672,29	29,51	36,23	32
7	Ιούλ.	198	40,75	21,18	109,51	1353	14,60	11,05	0	1234,29	728,12	32,14	39,42	32
8	Αυγ.	228	40,75	13,45	101,90	1353	13,59	9,87	0	1174,24	674,69	31,18	37,92	32
9	<b>Σεπτ.</b>	<b>258</b>	<b>40,75</b>	<b>2,22</b>	<b>91,91</b>	<b>1353</b>	<b>12,25</b>	<b>7,95</b>	<b>0</b>	<b>1049,03</b>	<b>560,46</b>	<b>27,58</b>	<b>33,18</b>	<b>32</b>
10	Οκτ.	288	40,75	-9,60	81,62	1353	10,88	5,52	0	870,27	401,33	22,28	26,30	32
11	Νοέμ.	318	40,75	-18,91	72,83	1353	9,71	3,99	0	698,97	287,70	16,67	19,55	32
12	Δεκ.	344	40,75	-23,05	68,49	1353	9,13	3,24	0	615,81	235,58	12,68	15,04	32

### συνέχεια:

	ΔT	L	s	AT	AT/Ag	d	H	Συμπεράσματα
	°C	m	m	m <sup>2</sup>	%	m	m	
a/a	15	16	17	18	19	20	21	22
1	22,03	40	6	7,44	3,10	0,09	0,05	
2	20,93	40	6	9,30	3,88	0,12	0,06	
3	17,53	40	6	12,89	5,37	0,16	0,08	Ti<32°C, (στήλη 13) επομένως ακόμη και με κλειστά παράθυρα δεν ξεπερνιέται η κρίσιμη θερμοκρασία
4	12,25	40	6	22,11	9,21	0,28	0,14	
5	6,63	40	6	45,03	18,76	0,56	0,28	
6	2,49	40	6	125,11	52,13	1,56	0,78	Φ.Α. Ανεπαρκής (AT/Ag>30% στήλη 19)
7	-0,14	40	6	-	-	-	-	Φ.Α. Ανεπαρκής (ΔT<0 στήλη 15)
8	0,82	40	6	379,70	158,21	4,75	2,37	Φ.Α. Ανεπαρκής (AT/Ag>30% στήλη 19)
9	4,42	<b>40</b>	<b>6</b>	62,51	26,05	0,78	0,39	<b>Φ.Α. Επαρκής (ΔT&gt;0 στήλη 15 και AT/Ag&lt;30% στήλη 19)</b>
10	9,72	40	6	22,76	9,48	0,28	0,14	
11	15,33	40	6	11,56	4,81	0,14	0,07	Ti<32°C, (στήλη 13) επομένως ακόμη και με κλειστά παράθυρα δεν ξεπερνιέται η κρίσιμη θερμοκρασία
12	19,32	40	6	8,03	3,34	0,10	0,05	

Τον μήνα Ιούλιο, όχι μόνο δεν είναι επαρκής ο φυσικός αερισμός αλλά ούτε και ο δυναμικός αφού η εξωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 32°C.

Για τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο ο φυσικός αερισμός δεν είναι αποτελεσματικός αφού το απαιτούμενο ποσοστό ανοιγμάτων AT/Ag είναι μεγαλύτερο του 30%. Επομένως απαιτείται κάποιο σύστημα δροσισμού.

Ο μήνας Σεπτέμβριος είναι αυτός που θα καθορίσει τις διαστάσεις των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού.

Επομένως σύμφωνα με τις προϋποθέσεις που θέσαμε τα ανοίγματα θα είναι δύο (από ένα σε κάθε μακριά πλευρά) με μήκος ίσο με το μήκος του θερμοκηπίου (40 m) και δυνατότητα ανοίγματος καθ' ύψος τουλάχιστον 0,78 m.

## Οδηγίες συμπλήρωσης του πίνακα επίλυσης

- Στήλη 2.  $I$  είναι ο αύξων αριθμός της αντιπροσωπευτικής ημέρας του μήνα (Πίνακας 1.3)
- Στήλη 3.  $\varphi$  είναι το γεωγρ. πλάτος του τόπου το οποίο παίρνεται από τον πίνακα 1.2
- Στήλη 4.  $\delta = 23,45 \cdot \eta \mu [360/365 \cdot (284+I)]$  είναι η απόκλιση της γης σε μοίρες
- Στήλη 5.  $\omega_s = \text{τοξσυν}(-\epsilon \varphi \cdot \epsilon \varphi \delta)$  είναι η ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής σε μοίρες.
- Στήλη 6.  $G_{sk} = 1353 \text{ W/m}^2$  είναι η ηλιακή σταθερά
- Στήλη 7.  $DL$  είναι η διάρκεια της ημέρας σε  $h$ , που υπολογίζεται είτε από τον πίνακα 2.5, είτε από τη σχέση  $DL=2\omega_s/15$ .
- Στήλη 8.  $n$  είναι η διάρκεια ηλιοφάνειας της ημέρας σε ώρες, η οποία παίρνεται από τον πίνακα 1.5. δια τον αριθμό ημερών του μήνα.
- Στήλη 9.  $\omega = 0$  είναι η ωριαία γωνία του ήλιου το μεσημέρι σε μοίρες.
- Στήλη 10.  $R_{d0}$  είναι η ακτινοβολία εκτός ατμοσφαιρας μία ορισμένη στιγμή μεταξύ ανατολής και δύσης σε  $\text{W/m}^2$ . Είναι:  
 $R_{d0} = G_{sk} [1 + 0,033 \cdot \text{συν}(360 \cdot I/365)] \cdot [\eta \mu \varphi \cdot \eta \mu \delta + \text{συν} \varphi \cdot \text{συν} \delta \cdot \text{συν} \omega]$ .
- Στήλη 11.  $R_0$  είναι η ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια του εδάφους.  
 $R_{s0} = R_{d0} \cdot (0,1992 + 0,5165 \cdot n/DL)$  [ $\text{W/m}^2$ ]

- Στήλη 12.  $T_0$  είναι η μέγιστη θερμοκρασία της αντιπροσωπευτικής ημέρας του μήνα
- Στήλη 13.  $T_i = T_0 + 0,01 \times R_0$  για την ενδοχώρα και  $T_i = T_0 + 0,008 \times R_0$  για τις παραθαλάσσιες περιοχές
- Στήλη 14.  $\text{Max } T_i = 32 \text{ }^\circ\text{C}$  είναι η μέγιστη αποδεκτή θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου
- Στήλη 15.  $\Delta T = 32 \text{ }^\circ\text{C} - T_0$  είναι η επιδιωκόμενη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο εσωτερικό και το εξωτερικό του θερμοκηπίου
- Στήλη 16.  $L$  είναι το μήκος του θερμοκηπίου σε  $m$ .
- Στήλη 17.  $s$  είναι το πλάτος του θερμοκηπίου σε  $m$ .
- Στήλη 18.  $AT = [A_g \cdot 0,0027 \cdot R_0 \cdot (2 \cdot N \cdot L)^{0,5} \cdot \Delta T^{-1,5}]^{2/3}$  είναι το συνολικό εμβαδόν των ανοιγμάτων του θερμοκηπίου σε  $\text{m}^2$ .  $N$ =αριθμός ανοιγμάτων,  $L$ =μήκος θερμοκηπίου
- Στήλη 19.  $AT/A_g$ .
- Στήλη 20.  $d$  είναι το ύψος των ανοιγμάτων  $m$ .  
Επειδή στα τοξωτά  $d = h$ , ισχύει  $d = AT/N \times L$
- Στήλη 21.  $H$  είναι η υψομετρική διαφορά ανοιγμάτων οροφής και πλευρών σε  $m$ . Στην προκειμένη περίπτωση  $H = d/2$ .

#### 4.5. Άσκηση 12

Υπολογισμός του φυσικού αερισμού θερμοκηπίων

Ημερομηνία: .....

Όνοματεπώνυμο σπουδαστή: ..... Εξάμηνο: .....

Για ένα απλό τοξωτό θερμοκήπιο ενός ανοίγματος που είναι εγκατεστημένο στ <sup>(1)</sup>, έχει πλάτος  $s = 6,00 \text{ m}$ , μήκος  $L = 40,00 \text{ m}$  και κάλυψη από απλό φύλλο πολυαιθυλενίου και με τις προϋποθέσεις ότι:

- α) Σε μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κάτω από  $12^{\circ}\text{C}$  ή μεγαλύτερες από  $32^{\circ}\text{C}$  η φυσιολογική συμπεριφορά των αποδόσεων επηρεάζεται έντονα με αρνητικά αποτελέσματα στην παραγωγή και στην ποιότητα (FAO 1988).
- β) Η μέγιστη αναπτυσσόμενη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι για μεν την ενδοχώρα  $\Delta T = 0,01 \times R_o$ , για δε τις παραθαλάσσιες περιοχές  $\Delta T = 0,008 \times R_o$ .
- γ) Θα κατασκευαστεί μία σειρά ανοιγμάτων αερισμού σε κάθε πλευρά του θερμοκηπίου, και σε ολόκληρο το μήκος αυτής. Το ύψος των ανοιγμάτων δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερο από το 50% του μήκους του τεταρτοκυκλίου της επένδυσης του θερμοκηπίου.

Ζητούνται:

- α) Προσδιοριστεί η χρονική περίοδος κατά την οποία ο φυσικός αερισμός είναι επαρκής και δεν απαιτείται άλλος τρόπος ρύθμισης του κλίματος.
- β) Γίνει ο υπολογισμός των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού.

<sup>(1)</sup>: Ο τόπος καταγωγής του σπουδαστή.

## 4.6. Ο δυναμικός αερισμός των θερμοκηπίων

### 4.6.1. Γενικά

Όταν το ποσοστό ανοιγμάτων φυσικού αερισμού ξεπερνά το 30% η επίδραση του αερισμού στο  $\Delta T$  καθίσταται αμελητέα.

Με τον δυναμικό αερισμό είναι δυνατό να επιτευχθούν ρυθμοί ανανέωσης του αέρα μεγαλύτεροι από  $40 \text{ h}^{-1}$  κάτι που δεν επιτυγχάνεται με τα συστήματα φυσικού αερισμού. Για το σκοπό αυτό γίνεται χρήση ανεμιστήρων που τοποθετούνται στο τοίχωμα του θερμοκηπίου. Οι ανεμιστήρες αναρροφούν και εξάγουν τον εσωτερικό αέρα ο οποίος αναπληρώνεται με εξωτερικό αέρα που εισέρχεται από ανοίγματα που βρίσκονται στην απέναντι πλευρά.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένας τρόπος υπολογισμού ενός συστήματος δυναμικού αερισμού.

### 4.6.2. Υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής αερισμού

Υπολογίζεται από την σχέση (Kittas, 1987):

$$R = \frac{0,87 \times t_p \times (1 - 0,67 \times t_p) \times R_o}{\Delta T} \quad [\text{h}^{-1}] \quad (4.9)$$

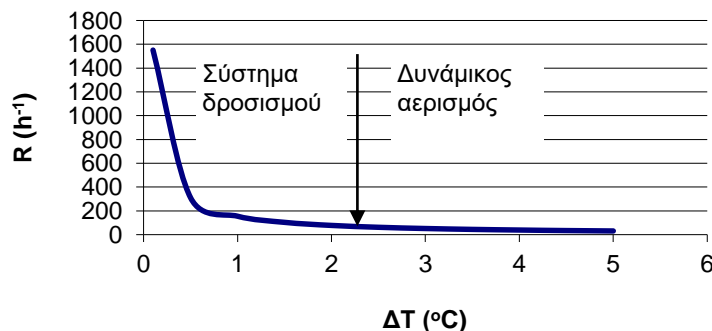
όπου:

R είναι ο απαιτούμενος ρυθμός ανανέωσης αέρα σε  $\text{h}^{-1}$

$R_o$  είναι η ολική ηλιακή ακτινοβολία στο εξωτερικό του θερμοκηπίου σε  $\text{W/m}^2$

$t_p$  είναι ο συντελεστής διαπερατότητας του υλικού κάλυψης

$\Delta T$  είναι η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα



**Σχήμα 4.6.** Απαιτούμενος ρυθμός ανανέωσης αέρα συναρτήσει της διαφοράς θερμοκρασίας

Στο σχήμα 4.6. δίνεται ο απαιτούμενος ρυθμός ανανέωσης του αέρα συναρτήσει της διαφοράς θερμοκρασίας  $\Delta T$  όταν  $R_o = 842 \text{ W/m}^2$  και  $t_p = 0,7$ . Από το σχήμα προκύπτει ότι για  $\Delta T$  μικρότερο των  $2,5^\circ\text{C}$  ο απαιτούμενος ρυθμός ανανέωσης του αέρα στο θερμοκήπιο για την επίτευξη της ζητούμενης διαφοράς θερμοκρασίας είναι πολύ μεγάλος. Για το λόγο αυτό θεωρείται ότι ο σχεδιασμός ενός συστήματος δυναμικού αερισμού έχει νόημα μόνο όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου είναι τουλάχιστον  $2,5^\circ\text{C}$  χαμηλότερη από την εσωτερική. Ένα ασφαλέστερο κριτήριο αποτελεί η ταχύτητα του ανέμου που θα επικρατεί λόγω του δυναμικού αερισμού εντός του θερμοκηπίου, αυτή δεν πρέπει να ξεπερνά τα  $1,5 \text{ m/s}$ .

### 4.6.3. Απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων

Πολλαπλασιάζοντας την παροχή αερισμού R επί τον όγκο του θερμοκηπίου υπολογίζεται η απαιτούμενη παροχή αερισμού Q σε m<sup>3</sup>/h. Ο απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων προκύπτει αν διαιρεθεί η παροχή Q με τον αριθμό των διαμερισμάτων του θερμοκηπίου επί 2 (για να εξασφαλιζεται μικρότερη παροχή αερισμού κατά τους μήνες εκτός της θερμής περιόδου).

#### 4.6.4. Απαιτούμενη επιφάνεια ανοιγμάτων

Απαιτείται 1 m<sup>2</sup> ανοιγμάτων αερισμού για κάθε 12.000 m<sup>3</sup>/h παροχής αερισμού. Θα πρέπει να τοποθετείται ένα άνοιγμα για κάθε ανεμιστήρα.

#### 4.6.5. Απαιτούμενη ισχύς ανεμιστήρων

Υπολογίζεται από την σχέση:

$$P = \frac{Q \times P_a}{n} \quad (4.10)$$

όπου:

P η ισχύς των ανεμιστήρων σε W

Q η παροχή των ανεμιστήρων σε m<sup>3</sup>/s

P<sub>a</sub> στατική πίεση λειτουργίας των ανεμιστήρων σε Pascal (P<sub>a</sub> = 20 - 50 Pa)

Σημείωση: 1Pa=1N/m<sup>2</sup>

n η απόδοση των ανεμιστήρων ( n~ 0,7 )

Σημειώνεται ότι για μήκος θερμοκηπίου μέχρι 40 m οι ανεμιστήρες (και τα ανοίγματα) τοποθετούνται στην μικρή πλευρά. Για μήκος μεγαλύτερο των 40 m οι ανεμιστήρες (και τα ανοίγματα) τοποθετούνται στην μεγάλη πλευρά και σε απόσταση μεταξύ τους περίπου 7,50 m.

### 4.7. Άσκηση 13

Για ένα θερμοκήπιο με γεωμετρικά και κλιματολογικά δεδομένα τα ίδια με αυτά της ασκήσεως 11 να γίνει ο υπολογισμός του απαιτούμενου δυναμικού αερισμού. Δίνεται τ<sub>p</sub>= 0,7.

#### Λύση

##### 4.7.1. Επιλογή θέσης ανεμιστήρων

Επειδή το μήκος θερμοκηπίου είναι ≤ 40 m οι ανεμιστήρες και τα ανοίγματα τοποθετούνται στην στενή πλευρά.

Το εμβαδόν της κάθετης στη ροή του αέρα διατομής του θερμοκηπίου είναι στην προκειμένη περίπτωση:

$$A_{\text{διατ.}} = \frac{\pi \cdot s^2}{8} = \frac{3,14 \cdot 6,00^2 \text{ m}^2}{8} = 14,14 \text{ m}^2$$

##### 4.7.2. Καθορισμός κρίσιμου μήνα για το σχεδιασμό του συστήματος

Από την επίλυση της ασκήσεως 11 προέκυψε ότι ο φυσικός αερισμός δεν είναι επαρκής για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο.

Από αυτούς για τον μήνα Ιούλιο παρατηρείται ότι η εξωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 32°C και επομένως οσοδήποτε μεγάλη παροχή αέρα και αν χρησιμοποιηθεί



κατά τον δυναμικό αερισμό δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί στο εσωτερικό θερμοκρασία ίση με την ανώτερη επιτρεπτή η οποία είναι 32°C.

Επομένως ο σχεδιασμός του συστήματος δυναμικού αερισμού θα γίνει με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν για έναν από τους μήνες Ιούνιο ή Αύγουστο.

Για το μήνα Αύγουστο παρατηρείται ότι  $\Delta T = 0,82^\circ\text{C}$ . Επομένως, σύμφωνα με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση του σχήματος 4.6., δεν έχει νόημα η χρήση δυναμικού αερισμού επειδή απαιτείται πολύ μεγάλη παροχή αέρα. Το ασφαλέστερο κριτήριο όμως για να αποφασιστεί βάσει των δεδομένων ποιού μήνα θα γίνει ο σχεδιασμός του συστήματος δυναμικού αερισμού είναι να διελεγχθεί αν για κάποιον από τους μήνες αυτούς η ταχύτητα του αέρα που θα διοχετεύει εντός του θερμοκηπίου το σύστημα δυναμικού αερισμού ξεπερνά το όριο των 1,5 m/s.

Είναι :

Μήνας	$\Delta T$ [°C]	$R_0$ [W/m <sup>2</sup> ]	R [1/h]	Q [m <sup>3</sup> /h]	$V_{\text{αερ.}}$ [m/s]
Ιούνιος	2,49	672,29	85,00	47685,5	0,94
Αύγουστος	0,82	674,69	242,60	137170,4	2,69

όπου:

$\Delta T$  και  $R_0$  προκύπτουν από την επίλυση της ασκήσεως 11.

Το R υπολογίζεται από τη σχέση (4.9):

$$R = \frac{0,87 \times t_p \times (1 - 0,67 \times t_p) \times R_0}{\Delta T} \quad [1/h]$$

Το Q υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q = \nabla_0 \cdot R \quad [m^3/h]$$

όπου  $\nabla_0$  είναι ο όγκος του θερμοκηπίου ο οποίος στην προκειμένη περίπτωση είναι:

$$\nabla_0 = \frac{3,14 \times (6\text{m})^2}{8} \times 40 \text{ m} = 565,49 \text{ m}^3$$

Η ταχύτητα ροής του αέρα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{\text{αερ.}} = \frac{Q}{A_{\text{διατ.}} \cdot 3600} \quad [m/s].$$

Διαπιστώνεται ότι τον Αύγουστο η ταχύτητα θα είναι πολύ μεγαλύτερη του από την μέγιστη επιτρεπομένη. Επομένως ο σχεδιασμός του συστήματος δυναμικού αερισμού θα γίνει με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν για τον μήνα Ιούνιο για τον οποίο απαιτούνται R= 85 ανανεώσεις την ώρα.

#### 4.7.3. Απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων.

Επειδή το μήκος θερμοκηπίου είναι  $\leq 40\text{m}$  οι ανεμιστήρες και τα ανοίγματα τοποθετούνται στις στενές πλευρές. Ο απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων, N, προκύπτει αν πολλαπλασιαστεί ο αριθμός των διαμερισμάτων του θερμοκηπίου επί 2.

Στην προκειμένη περίπτωση είναι :

$$N = 1 \times 2 = 2$$

Επομένως ο κάθε ανεμιστήρας πρέπει να παρέχει:

$$Q_{\text{ανεμ.}} = \frac{Q}{2} = \frac{47685,50}{2} = 23842,75 \text{ m}^3/\text{h} = 6,62 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 4.7.4. Απαιτούμενη επιφάνεια ανοιγμάτων

Απαιτείται 1 m<sup>2</sup> ανοιγμάτων αερισμού για κάθε 12000 m<sup>3</sup>/h παροχής αερισμού. Τα ανοίγματα θα τοποθετηθούν στην απέναντι πλευρά από αυτή των ανεμιστήρων. Θα πρέπει να τοποθετείται ένα άνοιγμα για κάθε ανεμιστήρα.

Επομένως για κάθε ανεμιστήρα απαιτείται:

$$E_{\text{ανοίγματος}} = \frac{Q_{\text{ανεμ.}}}{12000} = \frac{23842,75 \text{ m}^3/\text{h}}{(12000 \text{ m}^3/\text{h})/\text{m}^2} = 1,98 \text{ m}^2$$

#### 4.7.3. Απαιτούμενη ισχύς ανεμιστήρων

Εφαρμόζοντας την σχέση 4.10 για P<sub>a</sub>=35Pa και n = 0,7 έχουμε ότι η ισχύς κάθε ανεμιστήρα πρέπει να είναι:

$$P = \frac{Q \times P_a}{n} = \frac{6,62 \text{ m}^3/\text{s} \times 35 \text{ Pa}}{0,7} = 311 \text{ W}$$

### 4.8. Άσκηση 14

**Υπολογισμός του δυναμικού αερισμού θερμοκηπίων**

Ημερομηνία: .....

Όνοματεπώνυμο σπουδαστή: ..... Εξάμηνο: .....

Για ένα θερμοκήπιο με γεωμετρικά και κλιματολογικά δεδομένα τα ίδια με αυτά της ασκήσεως 12 να γίνει ο υπολογισμός του απαιτούμενου δυναμικού αερισμού προκειμένου να επιτευχθεί η μικρότερη δυνατή διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος.

## 4.9. Ο δροσισμός των θερμοκηπίων

### 4.9.1. Γενικά

Εκτός από το φυσικό ή δυναμικό αερισμό μείωση της θερμοκρασίας του αέρος του θερμοκηπίου μπορεί να επιτευχθεί με :

- Ψύξη του εξωτερικού αέρος πριν την είσοδο του στο θερμοκήπιο. Είναι η περίπτωση του συστήματος δυναμικού αερισμού με υγρή παρειά (cooling system).
- Μεταβολή σε λανθάνουσα ενέργεια της θερμικής ενέργειας ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο, ώστε να μειωθεί το φορτίο αισθητής θερμότητας. Ο όρος λανθάνουσα θερμότητα αντιπροσωπεύεται από το  $\alpha \times R_n$  (4.3). Πρέπει επομένως να αυξηθεί το  $\alpha$ . Αυτό επιτυγχάνεται με το ονομαζόμενο σύστημα υδρονέφωσης με χαμηλή πίεση ή υψηλή πίεση (fog system).

### 4.9.2. Υπολογισμός μιας τυπικής εγκατάστασης ψύξεως θερμοκηπίου με ανεμιστήρα και υγρό τοίχωμα

Κατά το σχεδιασμό μίας εγκατάστασης ψύξεως θερμοκηπίου με ανεμιστήρα και υγρό τοίχωμα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής:

- Καθώς ο δροσερός αέρας διατρέχει το θερμοκήπιο, αφαιρεί τη θερμότητα που εισέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία και έτσι αυξάνεται η θερμοκρασία του προοδευτικά προς την έξοδο. Η αύξηση αυτή μπορεί να μειωθεί, είτε με αύξηση της παροχής, είτε με σκίαση.
- Για μια ανεκτή ομοιομορφία περιβάλλοντος στο χώρο του θερμοκηπίου, η απαιτούμενη ροή του αέρα στο θερμοκήπιο σε σχέση με την προσπίπτουσα ακτινοβολία μπορεί να ληφθεί από τον πίνακα 4.1.

Ηλιακή ακτινοβολία [W/m <sup>2</sup> ]	Ροή αέρα [m <sup>3</sup> / h/m <sup>2</sup> καλυμμένου εδάφους]
810	254
720	225
630	189
540	169

**Πίνακας 4.1.** Η σχέση μεταξύ προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας στο χώρο και απαιτούμενης ροής του αέρα ανά ώρα και m<sup>2</sup> εδάφους θερμοκηπίου.

- Για καλή λειτουργία του συστήματος (ταχύτητα ροής) η απόσταση μεταξύ βρεχόμενης πλευράς και εξαεριστήρων, πρέπει να είναι μεταξύ 30 και 60 m.
- Σε πολύ μεγάλου μήκους θερμοκήπια οι εξαεριστήρες θα πρέπει να τοποθετούνται στο μέσον του θερμοκηπίου και να δημιουργούνται δύο βρεγμένα τοιχώματα στις άκρες.
- Οι ανεμιστήρες διαλέγονται έτσι ώστε να αποδίδουν την απαιτούμενη ποσότητα αέρα για στατική πίεση 24,5 Pa (ταχύτητα ανέμου 24 km/h ισοδυναμεί περίπου με στατική πίεση 24,5 Pa).
- Η απόσταση μεταξύ των εξαεριστήρων στην πλευρά δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 6,50 m.

- Όταν είναι δυνατόν, οι εξαεριστήρες τοποθετούνται στην αντίθετη από τον επικρατούντα άνεμο πλευρά. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό, τότε η παροχή πρέπει να αυξάνεται τουλάχιστον κατά 10 % και ισχύς των κινητήρων ανάλογα.
- Το κάθε εμπόδιο έξω από το θερμοκήπιο, στην πλευρά των εξαεριστήρων θα πρέπει να είναι σε απόσταση 1,5 φορές τουλάχιστον τη διάμετρο των ανεμιστήρων. Όταν δεν είναι δυνατό να γίνει αυτό, τοποθετούνται στη στέγη.
- Όταν χρησιμοποιούνται 2-3 εξαεριστήρες, θα πρέπει ο ένας τουλάχιστον να έχει δυο ταχύτητες, για μεγαλύτερες δυνατότητες ρύθμισης της παροχής αέρα.
- Για να είναι καλά τα αποτελέσματα, εννοείται ότι η στεγανότητα των θερμοκηπίων θα επιθεωρείται συχνά.
- Η πυκνότητα των οπών του υγρού τοιχώματος θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να επιτρέπει εξάτμιση 80 % τουλάχιστον, με μια ταχύτητα 0,8 m/sec και μια πτώση πίεσης που να μην υπερβαίνει το 10 Pa στατική πίεση.
- Η ταχύτητα του αέρα δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1,5 m/sec γιατί προκαλείται υπερβολική πτώση πίεσης που μειώνει την απόδοση των ανεμιστήρων. Έτσι η συνολική επιφάνεια της βρεχόμενης πλευράς υπολογίζεται διαιρώντας τη συνολική παροχή (m<sup>3</sup>/sec) με ταχύτητα < 1,5 m/sec. Αν ληφθεί ταχύτητα > 1,5 m/sec, απαιτείται πρόσθετη φροντίδα για την καλή συντήρηση του υγρού τοιχώματος και τη γενικότερη λειτουργία του συστήματος,
- Το πλάτος του υγρού τοιχώματος είναι όσο το πλάτος της πλευράς του θερμοκηπίου.
- Το ύψος του υγρού τοιχώματος υπολογίζεται από τη συνολική επιφάνεια, δια του πλάτους.
- Όταν γίνονται συγκροτήματα θερμοκηπίων, δεν θα πρέπει οι ανεμιστήρες του ενός να κατευθύνουν τον αέρα στους ανεμιστήρες του άλλου, διαφορετικά θα πρέπει να έχουν μεταξύ τους απόσταση πάνω από 10 m.
- Η απόσταση μεταξύ του υγρού τοιχώματος από την έξοδο του αέρα κάποιου άλλου θερμοκηπίου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 15 m.
- Η παροχή του νερού στο υγρό τοίχωμα για τη λειτουργία του συστήματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 240 lit/h για κάθε 1 m πλάτους του υγρού τοιχώματος. Πολύ μεγάλες παροχές μειώνουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος, διότι κάνουν κουρτίνα νερού και εμποδίζουν το πέρασμα του αέρα.
- Η κατανάλωση νερού ποικίλει από 0 έως περισσότερο από 240 lit/h για κάθε 10 m<sup>2</sup> υγρού τοιχώματος.
- Η αντλία πρέπει να έχει ωφέλιμη απόδοση τουλάχιστον 700-1000 lit/h για κάθε 1m μήκους βρεχόμενης πλευράς.
- Το βρεχόμενο τοίχωμα τοποθετείται από την πλευρά που συνήθως φυσούν οι άνεμοι το καλοκαίρι.

#### 4.10. Άσκηση 15

Για ένα θερμοκηπιο με γεωμετρικά και κλιματολογικά δεδομένα τα ίδια με αυτά της ασκήσεως 11 να γίνει υπολογισμός μίας τυπικής εγκατάστασης ψύξεως με ανεμιστήρα και υγρό τοίχωμα. Δίνεται ότι:

Απόδοση υγρού τοιχώματος: 80 %

Επιθυμητή ταχύτητα αέρα: 1,5 m/s

Σημ. Ταχύτητες πάνω από 1,5 m/sec προκαλούν υπερβολική πτώση πίεσης που μειώνει την απόδοση των ανεμιστήρων.

#### Λύση

Από την επίλυση της ασκήσεως 11 προέκυψε ότι ο φυσικός αερισμός δεν είναι επαρκής για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο.

Οι απαιτήσεις για τον μήνα Ιούνιο ήταν αυτές που καθόρισαν το σχεδιασμό του συστήματος δυναμικού αερισμού. Όμως για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο ούτε ο δυναμικός αερισμός είναι επαρκής. Από αυτούς ο μήνας με τις μεγαλύτερες απαιτήσεις (Ιούλιος) θα καθορίσει το σχεδιασμό του συστήματος δροσισμού.

##### 4.10.1. Επιλογή θέσης ανεμιστήρων

Επειδή το μήκος του θερμοκηπίου είναι μεταξύ 30 m και 60 m, μπορεί να τοποθετηθεί το υγρό τοίχωμα στην μία στενή πλευρά του θερμοκηπίου και οι ή ο ανεμιστήρας στην άλλη (απέναντι).

##### 4.10.2. Υπολογισμός απαιτούμενης ροής αέρα μέσω του υγρού τοιχώματος

Από τον πίνακα 4.1 προκύπτει με γραμμική παρεμβολή ότι για  $R_0=728,34 \text{ W/m}^2$  (το οποίο υπολογίστηκε στην άσκηση 13), είναι  $q = 227,68 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$

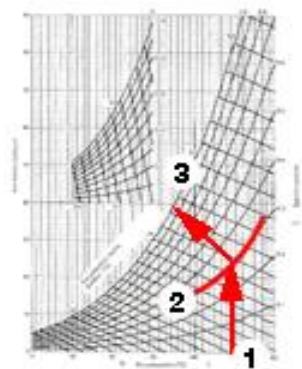
Επομένως είναι:

$$Q_{\text{αερ.}} = q \cdot A_g = 227,82 \text{ m}^3/\text{h m}^2 \times (6,00 \times 40,00) \text{ m}^2 = 54676,8 \text{ m}^3/\text{h} = 15,19 \text{ m}^3/\text{s}$$

Σημ. Το  $q=227,68 \text{ m}^3/\text{h m}^2$  προέκυψε ως εξής: από τον πίνακα 4.1 βλέπουμε ότι η τιμή  $728,34 \text{ W/m}^2$  βρίσκεται μεταξύ των τιμών 720 και 810. Ακόμη παρατηρείται ότι η μεταβολή της ακτινοβολίας από 720 σε 810 (δηλαδή μεταβολή κατά 90 μονάδες) συνεπάγεται μεταβολή της απαιτούμενης ροής αέρα από 225 σε 254 (δηλαδή κατά 29 μονάδες). Επομένως η μεταβολή από 720 σε 728,34 σύμφωνα με την απλή μέθοδο των τριών θα συνεπάγεται μεταβολή της ροής κατά  $29 \times (728,34-720)/90 = 2,68$  μονάδες. Επομένως στην τιμή  $728,34 \text{ W/m}^2$  αντιστοιχεί ροή  $= 225+2,68=227,68 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ .

##### 4.10.3. Υπολογισμός θερμοκρασίας αέρα ( $T_i$ ) που βγαίνει από το υγρό τοίχωμα

Επειδή το σύστημα βασίζεται στη μείωση της θερμοκρασίας με εξάτμιση, η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας που μπορεί να επιτευχθεί είναι ίση με τη διαφορά θερμοκρασίας του ξηρού και υγρού θερμομέτρου. Από το σχήμα 4.7. (ψυχομετρικό διάγραμμα) βρίσκεται το σημείο που αντιστοιχεί για συνθήκες  $T_0 = 32,14 \text{ }^\circ\text{C}$  και σχετική υγρασία  $RH_0 = 55 \%$  (Πίνακας 1.7.), η θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου θα είναι  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Επειδή με αυτή τη διαδικασία ψύξης η ενέργεια για την εξάτμιση αποσπάται από τον αέρα μετατρέπόμενη σε λανθάνουσα θερμότητα, ρίχνοντας έτσι τη θερμοκρασία του, η διαδικασία θα ακολουθήσει τη γραμμή σταθερής ενέργειας. Για απόδοση του υγρού τοιχώματος 80%, η θερμοκρασία του αέρα αμέσως μετά το βρεγμένο τοίχωμα θα είναι:



$$T_i = T_0 - (T_0 - T_{\text{υγρ.}}) \cdot n = 32,14 \text{ }^\circ\text{C} - (32,14 \text{ }^\circ\text{C} - 25,00 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot 0,80 = 26,43 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### 4.10.4. Υπολογισμός της απαιτούμενης επιφάνειας και των διαστάσεων του τοιχώματος

Η επιφάνεια επομένως του βρεγμένου τοιχώματος για ταχύτητα αέρα 1,5 m/s πρέπει να είναι τουλάχιστον:

$$A_{\text{wet}} = \frac{Q_{\text{αερ.}}}{u} = \frac{15,19 \text{ m}^3/\text{s}}{1,5 \text{ m/s}} = 10,13 \text{ m}^2$$

Οι διαστάσεις του βρεγμένου τοιχώματος, που θα προκύψουν, πρέπει να αυξηθούν περίπου κατά 10 % για να καλυφθεί το μέρος του τοιχώματος που καλύπτεται από τα στοιχεία στερέωσης.

#### 4.10.5. Υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής νερού στο υγρό τοίχωμα

Πρώτα θα υπολογίσουμε την απαιτούμενη θερμότητα ψύξεως του εισερχόμενου αέρα:

$$Q_{\text{ψυξ.}} = Q_{\text{αερ.}} \cdot C_p \cdot \rho \cdot (T_0 - T_1) = 53445 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1012 \text{ J/kg} / ^\circ\text{K} \cdot 1,25 \text{ kg/ m}^3 \cdot (32,14 - 26,43)^\circ\text{K} \Rightarrow$$

$$Q_{\text{ψυξ.}} = 386 \text{ MJ/h}$$

Η λανθάνουσα θερμότητα του νερού είναι 2,5 MJ/lit .

Επομένως:

$$Q_{\text{νερ.}} = \frac{Q_{\text{ψυξ.}}}{2,5 \text{ MJ/h}} = \frac{386 \text{ MJ/h}}{2,5 \text{ MJ/l}} = 154,42 \text{ l/h}$$

#### 4.10.6. Υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύος του ανεμιστήρα

Επειδή οι ανεμιστήρες θα τοποθετηθούν στην στενή πλευρά και είναι ένα διαμέρισμα, ο απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων, N, θα είναι 2.

Από τη σχέση 4.10 για Pa = 35 Pa και n = 0,7 έχουμε ότι η ισχύς κάθε ενός από τους δύο ανεμιστήρες πρέπει να είναι:

$$P = \frac{Q_{\text{αερ.}} \times P_a}{n \cdot 2} = \frac{15,19 \text{ m}^3/\text{s} \times 35 \text{ Pa}}{0,7 \times 2} = 380 \text{ W}$$

Αν τελικά επιλεγεί ο δροσισμός ως μέτρο αντιμετώπισης των υψηλών θερμοκρασιών θα αντικαταστήσει το δυναμικό αερισμό.

#### 4.11. Άσκηση 16

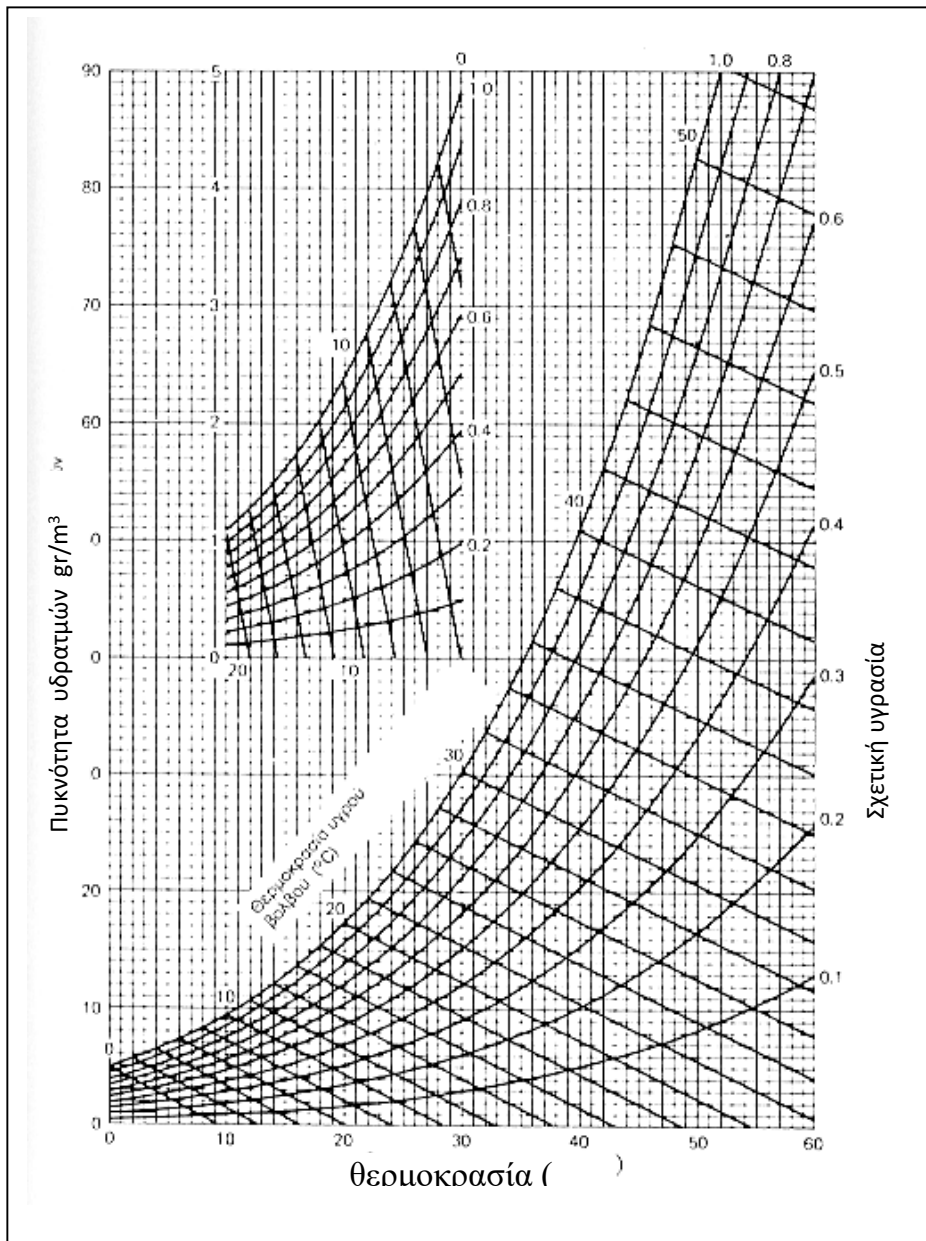
Υπολογισμός τυπικής εγκατάστασης ψύξεως θερμοκηπίου.

Ημερομηνία: .....

Όνοματεπώνυμο σπουδαστή: ..... Εξάμηνο: .....

Να γίνει υπολογισμός μιάς τυπικής εγκατάστασης ψύξεως θερμοκηπίου με ανεμιστήρα και υγρό τοίχωμα για τα εξής δεδομένα :

- Διαστάσεις και τοποθεσία του θερμοκηπίου: Τα δεδομένα της ασκήσεως 12.
- Απόδοση υγρού τοιχώματος: 80%
- Επιθυμητή ταχύτητα αέρα: 1,5 m/s



Σχήμα 4.7. Ψυχομετρικό διάγραμμα (για ατμοσφαιρική πίεση στο επίπεδο της θάλασσας)

# Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

1. EN13031-1. Greenhouses-Design and construction - Part 1: Commercial production Greenhouses, CEN/TC284, December 2001.
2. EN 1990. Eurocode 0 – Basis of structural design, CEN, April 2002.
3. EN 1991. Eurocode 1: Actions on structures, General actions. Part 1-1: Densities, self-weight, imposed loads for buildings, CEN, April 2002, Part 1-3: Snow loads, CEN, July 2003, Part 1-4: Wind actions, CEN, April 2005, Part 1-5: Thermal actions, CEN, Nov. 2003.
4. Θεοχάρης, Μ., 2000. Η εφαρμογή των Ευρωκώδικων στη μελέτη των Ελληνικών θερμοκηπίων, Μεταπτ. Διατρ., Τμ. Γεωπ. Φυτ. και Ζωικ. Παρ/γής Παν/μίου Θεσσαλίας, Βόλος, Μάρτ. 2000, σελ. 215.
5. Θεοχάρης, Μ., 2000. Η ανεμοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, Πρακτ. 2ου Πανελλ. Συν. Γεωργ. Μηχαν., σελ. 406-414, Βόλος, Σεπτ. 2000.
6. Θεοχάρης, Μ., 2003. Η Χιονοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, Πρακτ. 3ου Πανελλ. Συν. Γεωργ. Μηχαν., σελ.337-344, Θεσ/νίκη, Μαΐος 2003.
7. Θεοχάρης Μ.: " Γεωργικές Κατασκευές", Άρτα 2000
8. Θεοχάρης Μ.: " Γεωργικές Κατασκευές, Εργαστηριακές Ασκήσεις", Άρτα 2000
9. Θεοχάρης Μ.: " Θερμοκηπιακές Κατασκευές", Άρτα 2000
10. Ιωαννίδης Π. " Οι στέγες στην Οικοδομή " , Αθήνα 1986
11. Αναστασόπουλος Α.: "Γεωργικές Κατασκευές" Αθήνα 1993
12. Beton Kalender 1984: Τόμοι 1 και 2. Μετάφραση στα Ελληνικά , Εκδότης Μ. Γκιούρδας.
13. Βαγιανός Ι. : "Πρακτική των Θερμοκηπίων και των Σηράγγων "
14. Γεωργακάκης Δ. : "Στοιχεία Ρύθμισης Περιβάλλοντος και Σχεδιασμού Αγροτικών Κατασκευών " , Αθήνα 1992
15. Γραφιαδέλλης Μ : "Σύγχρονα Θερμοκήπια" Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1980.
16. Δεϊμέζης Α : " Γενική Δομική " , Τόμοι Ι , ΙΙ , Αθήνα 1992
17. Δούκας Σ. : " Οικοδομική", Αθήνα 1994
18. Ευσταθιάδης Α. : " Θερμοκήπια Στοιχεία Κατασκευής, Λειτουργίας και Καλλιέργειας"
19. Μαυρογιαννόπουλος Γ. : " Θερμοκήπια " , Εκδοση Γ' , Αθήνα 2001
- Μπουρνιά Ε. : "Αγροτικά Κτίρια " , Έκδοση Ο.Ε.Δ.Β. , Αθήνα 1995



# Σημείωμα Αναφοράς

Θεοχάρης Μενέλαος, (2015). Γεωργικές και Θερμοκηπιακές Κατασκευές (Εργαστήριο). ΤΕΙ Ηπείρου. Διαθέσιμο από:  
<http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG113/>

# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 Διεθνές [1] ή μεταγενέστερη. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, Διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.el>



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Επεξεργασία: Δημήτριος Κατέρης

Άρτα, 2015



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης