

Θερμοκηπιακές
κατασκευές
Εργαστήριο - Ασκήσεις
Άσκηση 2

Απομάκρυνση της υγρασίας χρησιμοποιώντας το σύστημα θέρμανσης

- ▶ Η διαπνοή των φυτών είναι πηγή υδρατμών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου
- ▶ Κατά τις κρύες νύχτες τα ανοίγματα αερισμού κλείνουν ώστε να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας, οπότε αυξάνεται η σχετική υγρασία εντός του θερμοκηπίου
- ▶ Η σχετική υγρασία εντός του θερμοκηπίου μπορεί να μειωθεί στο επιθυμητό επίπεδο με αερισμό. Όμως ο εισερχόμενος αέρας είναι κρύος
- ▶ Πρέπει να θερμάνουμε τον εισερχόμενο αέρα ώστε η θερμοκρασία του θερμοκηπίου να διατηρηθεί σταθερή

Διαπνοή

- Η διαπνοή των φυτών είναι πολύπλοκο φαινόμενο που εξαρτάται από την ακτινοβολία που δέχονται τα φύλλα και την θερμοκρασία και υγρασία του θερμοκηπίου.
- Επίσης εξαρτάται από την επιφάνεια των φύλλων η οποία περιγράφεται από την παράμετρο LAI (Leaf Area Index) που είναι ο λόγος της συνολικής επιφάνειας των φύλλων προς το εμβαδόν του θερμοκηπίου.
- Η διαπνοή είναι φυσιολογική λειτουργία του φυτού και η απόκριση του φυτού στις εξωτερικές συνθήκες που αναφέραμε παραπάνω εξαρτάται από την συγκεκριμένη ποικιλία.

Ρυθμός Διαπνοής

$$qm_{wv} = \frac{I_{sun}}{r_r} + \frac{(1 - RH)}{r_h}$$

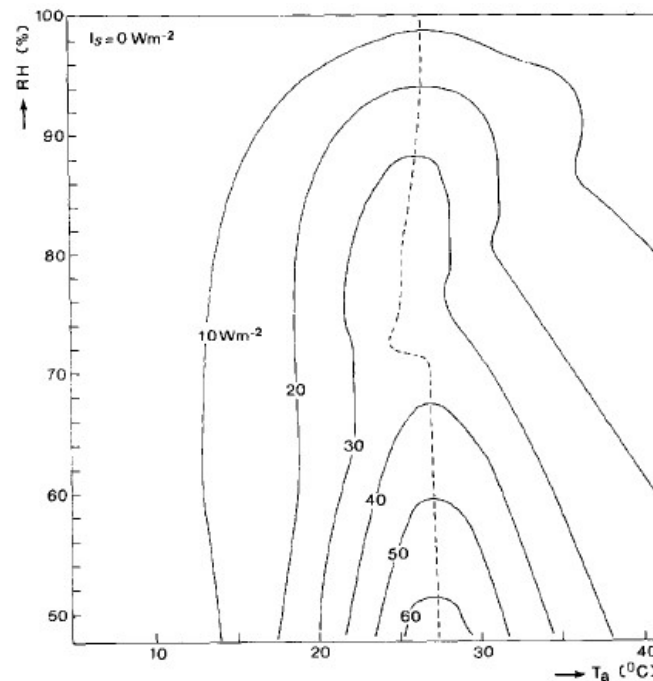
RH (%) είναι η σχετική υγρασία,

I_{sun} η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ($W m^{-2}$),

r_r η αντίσταση επιφάνειας φύλλου στην ακτινοβολία ($J kg^{-1}$) και

r_h η αντίσταση επιφάνειας φύλλου στη διαφορά πίεσης υδρατμών
($kg^{-1} m^2 s$)

Ρυθμός Διαπνοής



Ρυθμός διαπνοής ($W m^{-2}$) για τομάτα όταν $LAI=3$ και η ταχύτητα του αέρα $u=0.09 m s^{-1}$. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων δεν υπήρχε ηλιακή ακτινοβολία. (Stanghellini, 1987, Transpiration of greenhouse crops: an aid to climate management)

Ο ρυθμός διαπνοής δίνεται εδώ σε μονάδες $W m^{-2}$. Η μονάδα αυτή μετατρέπεται σε ($kg m^{-2} s^{-1}$) διαιρώντας με την λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης του νερού που είναι $2260 kJ kg^{-1}$.

Τυπικές τιμές ρυθμού διαπνοής ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$)
κατά τη διάρκεια της νύχτας για LAI=1

Καλλιέργεια	Ρυθμός διαπνοής ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$)
Τομάτα	10
Αγγούρι	27
Πιπεριά	12
Μελιτζάνα	7.5

Απομάκρυνση υδρατμών με αερισμό

$$F_{wv} = (C_{wv-in} - C_{wv-out}) F_v = R_{trspir}$$

R_{trspir} (g/h) είναι ο ρυθμός διαπνοής της καλλιέργειας, δηλαδή η ποσότητα των υδρατμών που παράγονται λόγω της διαπνοής των φυτών.

F_{wv} (g/h) είναι ο ρυθμός απομάκρυνσης των υδρατμών λόγω αερισμού

F_v (m³/h) είναι ο ρυθμός αερισμού

C_{wv} (g/m³) είναι το ποσοστό υγρασίας δηλαδή η μάζα των υδρατμών ανά κυβικό μέτρο αέρα. Το ποσοστό υγρασίας μπορεί να βρεθεί από το ψυχομετρικό διάγραμμα αν γνωρίζουμε τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία του αέρα.

Θέρμανση κρύου ξηρού αέρα

$$dQ/dt = \rho_{\text{air}} c_{\text{air}} (T_{\text{in}} - T_{\text{out}}) F_v$$

dQ/dt (W) είναι η κατανάλωση θερμότητας ανά μονάδα χρόνου,

ρ_{air} (kg/m^3) είναι η πυκνότητα του αέρα, c_{air} ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα,

$T_{\text{in}} - T_{\text{out}}$ είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα.

Παράδειγμα υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας για την απομάκρυνση της υγρασίας

Κατά τη διάρκεια μιας χειμερινής νύχτας η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι 10°C , και η σχετική υγρασία είναι 50%. Στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου με εμβαδόν 2000 m^2 και μέσο ύψος 4 m , παράγονται υδρατμοί λόγω διαπνοής των φυτών με ρυθμό $25\text{ g m}^{-2}\text{ h}^{-1}$ ενώ η θερμοκρασία στο εσωτερικό είναι 20°C .

- 1) Τι ρυθμό αερισμού ($\text{m}^3\text{ h}^{-1}$) χρειαζόμαστε για να διατηρήσουμε τη σχετική υγρασία ίση με 80% στο εσωτερικό του θερμοκηπίου;
- 2) Πόση ισχύ (W) χρειαζόμαστε για να ζεστάνουμε τον εισερχόμενο αέρα και να πετύχουμε την επιθυμητή ρύθμιση θερμοκρασίας και υγρασίας;

ρ η πυκνότητα του αέρα : 1.3 kg m^{-3}

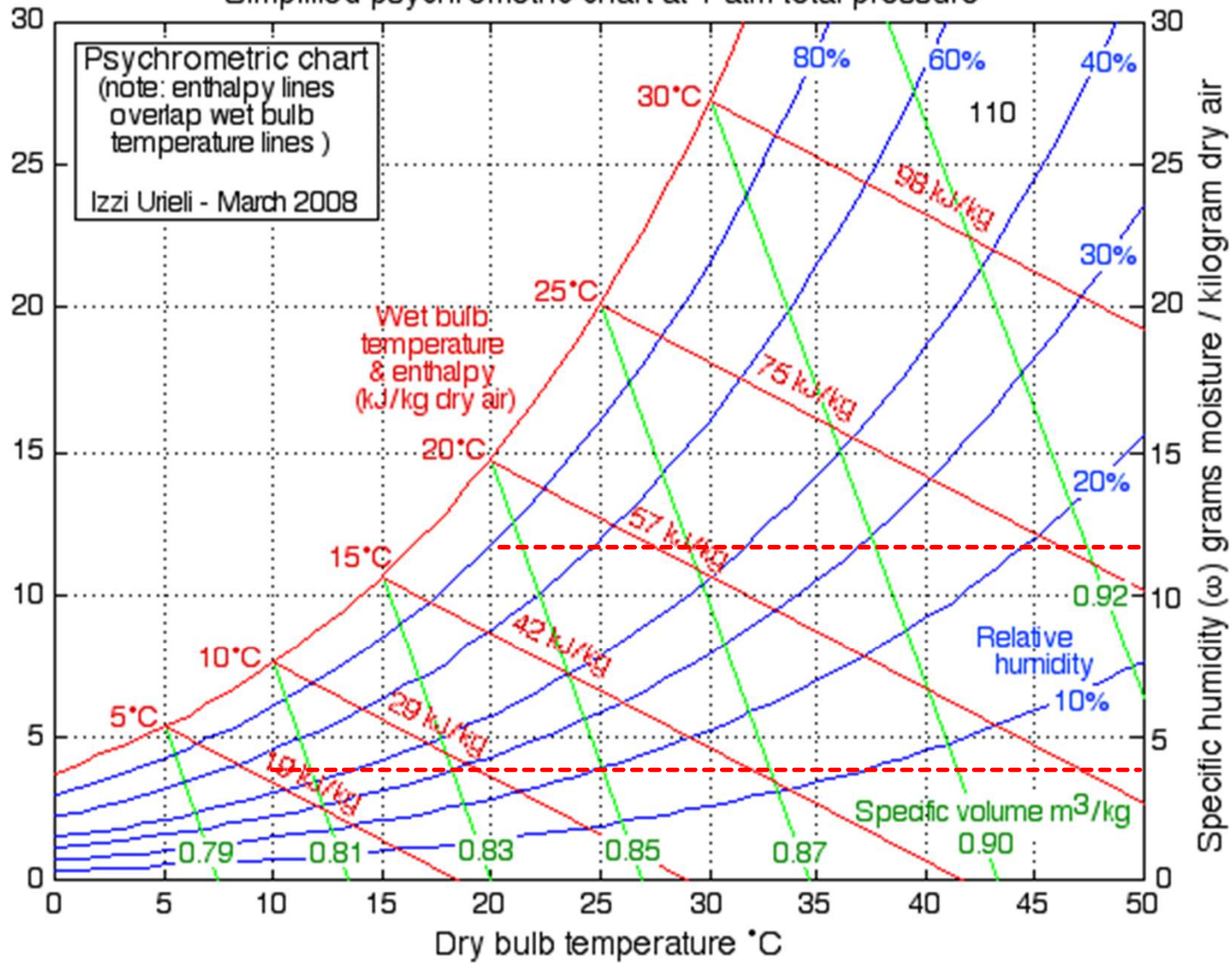
c_{air} η ειδική θερμότητα του αέρα: $1.0\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$

Υπολογισμός ρυθμού αερισμού

- ▶ Ολικός ρυθμός διαπνοής (kg/h): $R_{tot} = A \times R_{trspir} = 50 \text{ kg/h}$
- ▶ Συγκέντρωση υδρατμών στο περιβάλλον: $C_{wv-out} = 4 \text{ g/kg air} = 0.004$
- ▶ Συγκέντρωση υδρατμών στο θερμοκήπιο: $C_{wv-in} = 12 \text{ g/kg air} = 0.012$

$$F_v = \frac{R_{tot}}{C_{wv-in} - C_{wv-out}} = 6250 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 4808 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Simplified psychrometric chart at 1 atm total pressure



Υπολογισμός κατανάλωσης θερμότητας

$$dQ/dt = \rho_{\text{air}} c_{\text{air}} (T_{\text{in}} - T_{\text{out}}) F_v =$$

$$1.3 \times 1.0 \times (20 - 10) \times 4808 = 62500 \text{ kJ/h} = 17.36 \text{ kW}$$