

# 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 (μία πλευρά) προς το εμβαδόν της καλλιεργήσιμης επιφάνειας 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

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

$qm_{wv}$  ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) μεταφορά μάζας υδρατμών στον αέρα

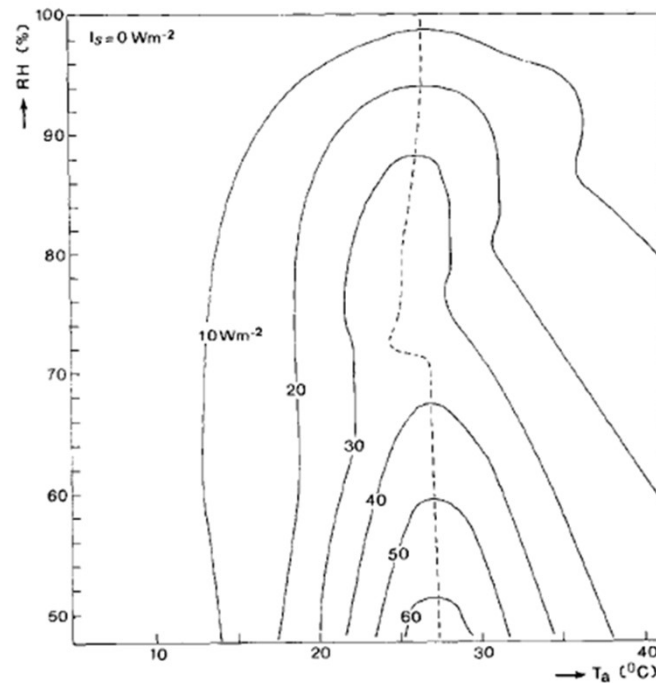
RH (%) είναι η σχετική υγρασία,

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

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

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

## 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 σε κατάσταση ισορροπίας

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

$R_{trspir}$  (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

$F_v$  (m<sup>3</sup>/h) είναι ο ρυθμός αερισμού

$C_{wv}$  (g/m<sup>3</sup>) 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,

$\rho_{\text{air}}$  (kg/m<sup>3</sup>) είναι η πυκνότητα του αέρα,

$c_{\text{air}}$  (J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>) είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα,

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

Η πυκνότητα μπορεί να μην χρησιμοποιείται στον τύπο ανάλογα με τις μονάδες του ρυθμού αερισμού:  $F_v$  (μάζα/χρόνος, πχ kg/h ή όγκος/χρόνος, πχ m<sup>3</sup>/h)



## Παράδειγμα υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας για την απομάκρυνση της υγρασίας

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

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

$\rho$  η πυκνότητα του αέρα :  $1.3\text{ kg m}^{-3}$

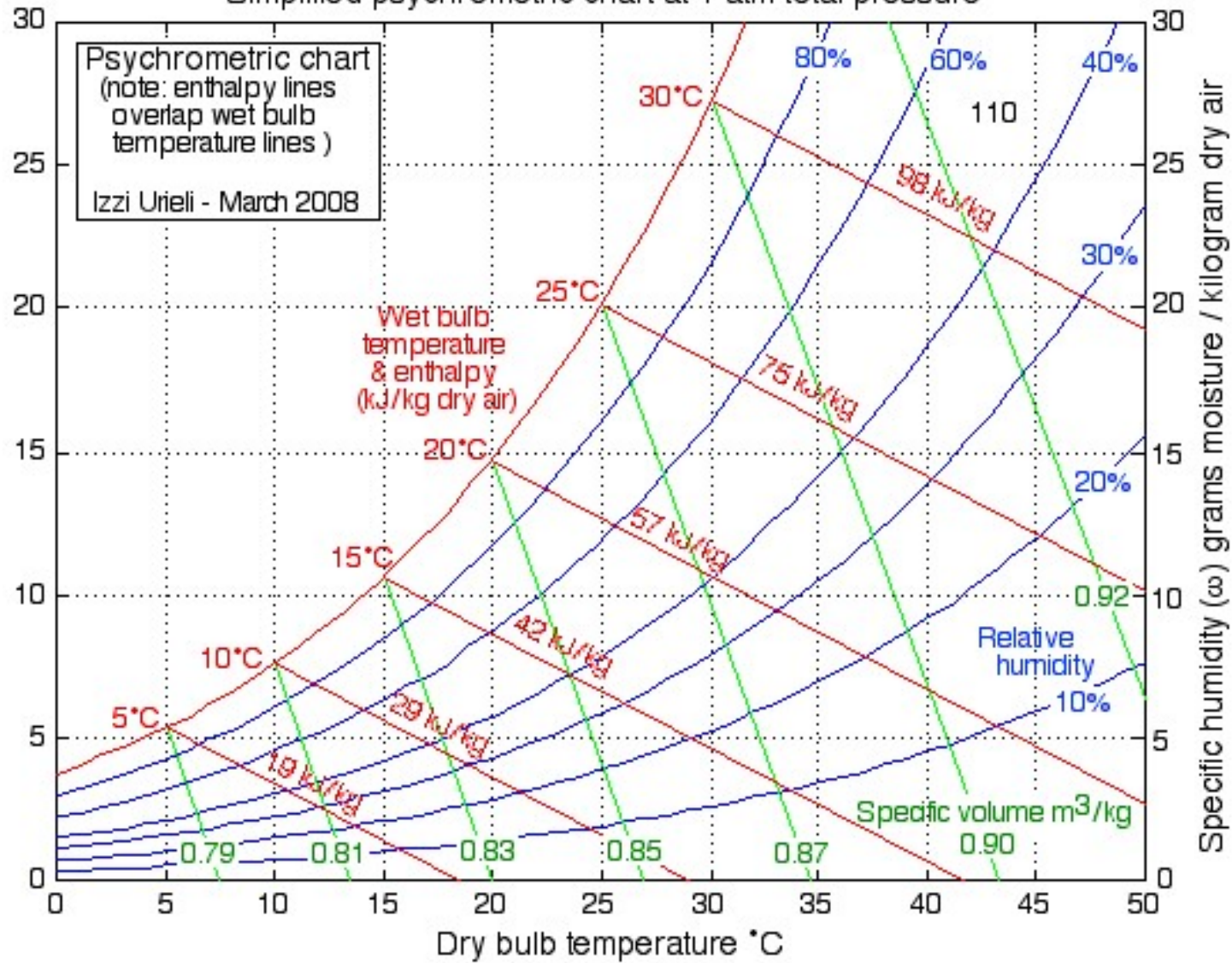
$c_{\text{air}}$  η ειδική θερμότητα του αέρα:  $1.0\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$

## Υπολογισμός ρυθμού αερισμού

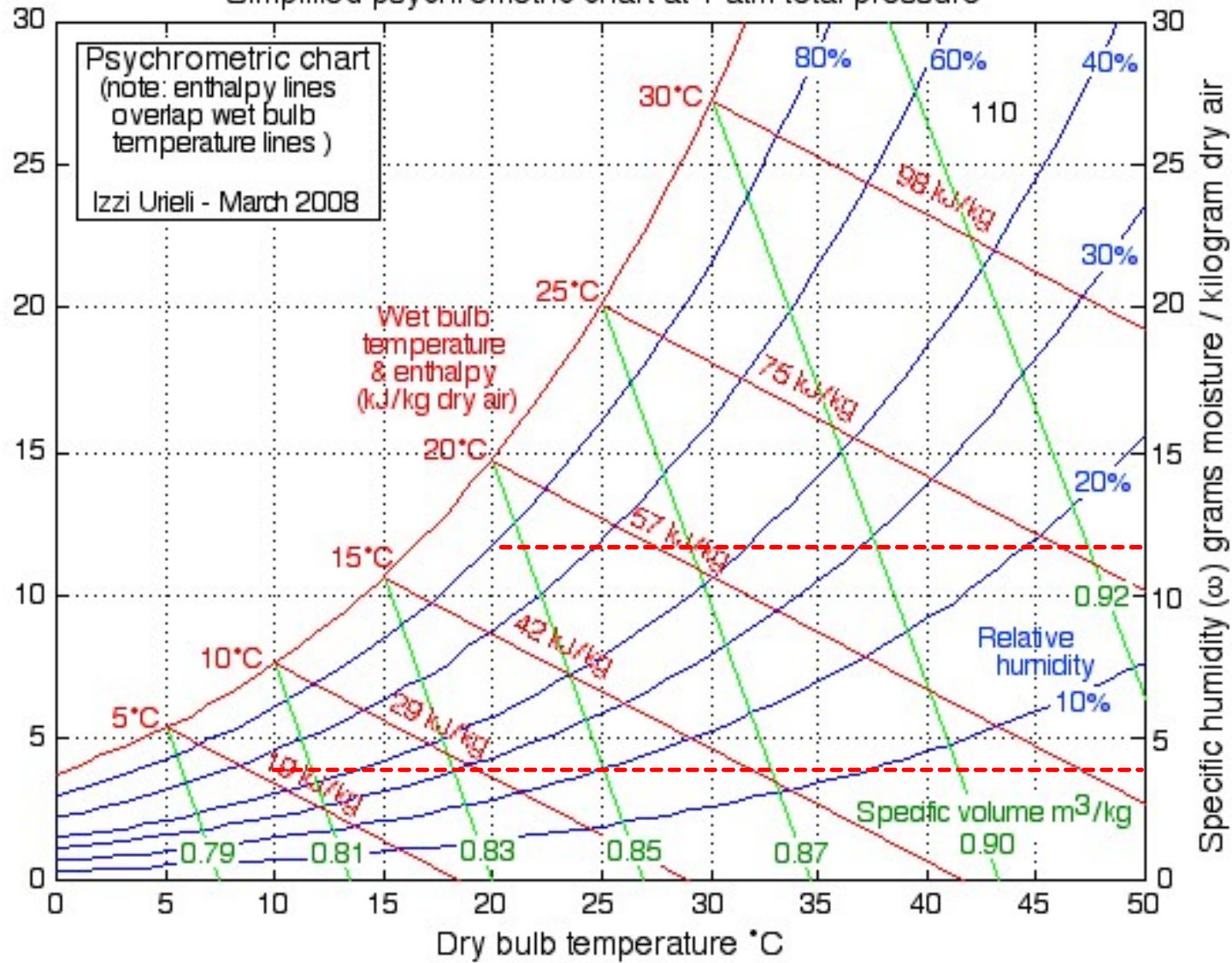
- ▶ Ολικός ρυθμός διαπνοής (kg/h):  $R_{tot} = A \times R_{trspir} = 50 \text{ kg/h}$
- ▶ Συγκέντρωση υδρατμών στο περιβάλλον:  $C_{wv-out} = 4 \text{ g/kg air} = 0.004$
- ▶ Συγκέντρωση υδρατμών στο θερμοκήπιο:  $C_{wv-in} = 12 \text{ g/kg air} = 0.012$

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

Simplified psychrometric chart at 1 atm total pressure



Simplified psychrometric chart at 1 atm total pressure



## Υπολογισμός κατανάλωσης θερμότητας

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

$$1.0 \times (20 - 10) \times 6250 = 62500 \text{ kJ/h} = 17.36 \text{ kW}$$