



Κεφ. 3 : Θερμοκρασία

Περίληψη

Θερμοκρασία και θερμότητα

- **Θερμοκρασία** είναι η φυσική ποσότητα που μετρά πόσο θερμό ή ψυχρό είναι ένα σώμα.
- Το αίτιο που δημιουργεί το αίσθημα του θερμού ή ψυχρού είναι η **θερμότητα (ή θερμική ενέργεια)**, η οποία είναι η ενέργεια που **ρέει** (απορροφάται ή εκλύεται από ένα σώμα).
- Η αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνει την εσωτερική ενέργεια ενός σώματος, με αποτέλεσμα τα μόριά του να δονούνται και να κινούνται πιο γρήγορα.
- Η εσωτερική ενέργεια των μορίων ιδανικού αερίου είναι **ανάλογη** με την θερμοκρασία του.

Οι μορφές με τις οποίες η θερμότητα γίνεται αντιληπτή στο σύστημα γη-ατμόσφαιρα είναι:

- α) **η αισθητή θερμότητα** της οποίας το αποτέλεσμα μπορεί να μετρηθεί απ' ευθείας με τη βοήθεια ενός οργάνου.
- β) **η λανθάνουσα θερμότητα** που διακινείται κατά τη διάρκεια φυσικών διεργασιών (εξάτμιση, συμπύκνωση).

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία υπολογίζεται σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση μέσω των τύπων:

α) **Μέση ημερήσια θερμοκρασία** (T_d) με βάση όλες ή ορισμένες από τις ωριαίες τιμές T_h :

$$\overline{T_d} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} T_{h(i)}, \quad \text{οπου } i = 1, 2, \dots, 24$$

i.

$$\overline{T_d} = \frac{1}{2} (T_{\max} + T_{\min})$$

ii.

$$\overline{T_d} = \frac{1}{3} (T_8 + T_{14} + T_{20})$$

iii.

$$\overline{T_d} = \frac{1}{4} (T_8 + T_{14} + 2 \cdot T_{20})$$

iv.

Ο τελευταίος τύπος εφαρμόζεται από το δίκτυο σταθμών της ΕΜΥ και όλες οι εξισώσεις προϋποθέτουν παρατηρήσεις T_d είτε στις 08:00, 14:00 και 20:00 ώρες της ημέρας, ή των άκρων τιμών (ελάχιστου και μέγιστου) ή ωριαίων μετρήσεων.

β) **Μέση μηνιαία θερμοκρασία** (T_{mo}) με βάση τις μέσες ημερήσιες τιμές T_d :

Θερμοκρασία

$$\bar{T}_{mo} = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v \bar{T}_{d(i)}, \quad \text{οπου} \quad i = 1, 2, \dots, 28 \text{ or } 30 \text{ or } 31$$

όπου v =αριθμός ημερών του θεωρούμενου μήνα

γ) Μέση ετήσια θερμοκρασία (T_E) με βάση τις μέσες μηνιαίες τιμές T_{mo} :

$$\bar{T}_E = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \bar{T}_{mo(i)}, \quad \text{οπου} \quad i = 1, 2, \dots, 12$$

Ημερήσιο θερμομετρικό εύρος (Η.Θ.Ε.) =

διαφορά μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας μιας ημέρας.

Οι σπουδαιότεροι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται είναι:

- **Το γεωγραφικό πλάτος & εποχή.** Το Η.Θ.Ε. **ελαττώνεται** καθώς αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος. Η μέγιστη τιμή σημειώνεται στον Ισημερινό και η ελάχιστη στους πόλους, όπου το ύψος του ήλιου είναι ελάχιστο. Στα μέσα και ανώτερα γεωγραφικά πλάτη το Η.Θ.Ε. είναι μεγαλύτερο το καλοκαίρι και μικρότερο το χειμώνα.
- **Η γεωγραφική θέση.** Το Η.Θ.Ε. είναι μεγαλύτερο πάνω από τις ηπείρους και μικρότερο στους ωκεανούς και τις θάλασσες.
- **Η νέφωση.** Το Η.Θ.Ε. είναι μικρότερο όταν ο ουρανός είναι νεφοσκεπής σε σχέση με αίθριο ουρανό.
- **Η βλάστηση και η φύση του εδάφους.** Το Η.Θ.Ε. είναι μικρότερο πάνω από περιοχές με βλάστηση σε σχέση με γυμνές περιοχές. Είναι μεγαλύτερο πάνω από το έδαφος με μικρή θερμική αγωγιμότητα και ξηρό, παρά πάνω από υγρά εδάφη.
- **Το ανάγλυφο και υψόμετρο.**
 - Το Η.Θ.Ε. ελαττώνεται με την αύξηση του υψομέτρου, επειδή ο αέρας ψύχεται και θερμαίνεται κύρια από την επιφάνεια του εδάφους.
 - Στο βάθος της κοιλάδας το Η.Θ.Ε. είναι μεγαλύτερο παρά στις πλαγιές αυτής. Στον πυθμένα της κοιλάδας έχουμε μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας της ημέρας και μεγάλη πτώση τη νύκτα, άρα μεγάλο Η.Θ.Ε.

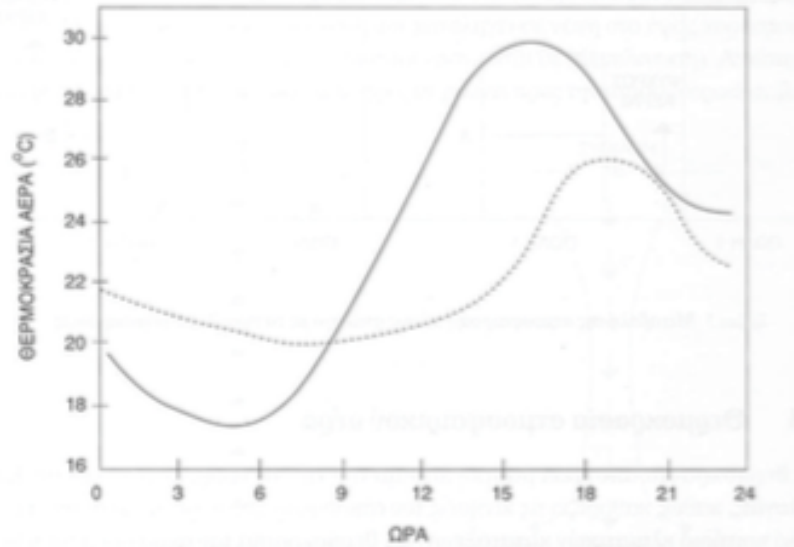
Ετήσιο θερμομετρικό εύρος (Ε.Θ.Ε.) =

διαφορά μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας του **θερμότερου μήνα** και της μέσης θερμοκρασίας του **ψυχρότερου μήνα**.

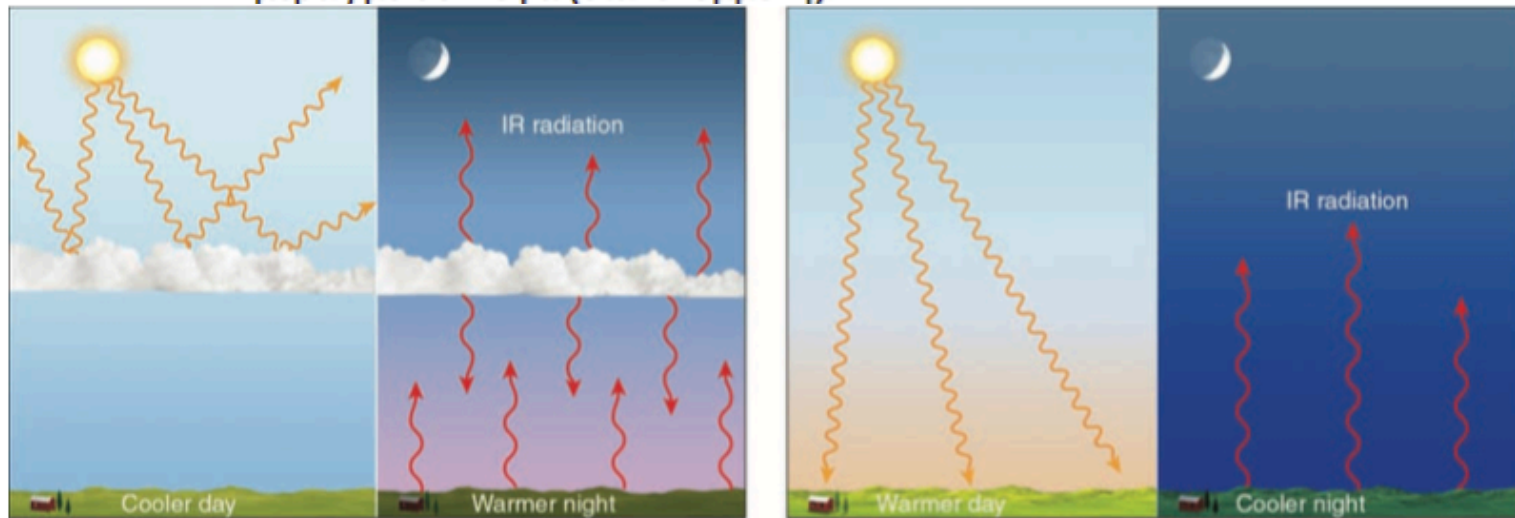
Είναι οι ίδιοι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το Η.Θ.Ε. με την διαφορά ότι:

- **Το γεωγραφικό πλάτος.** Το Ε.Θ.Ε. **αυξάνεται** καθώς αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος.

Ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας

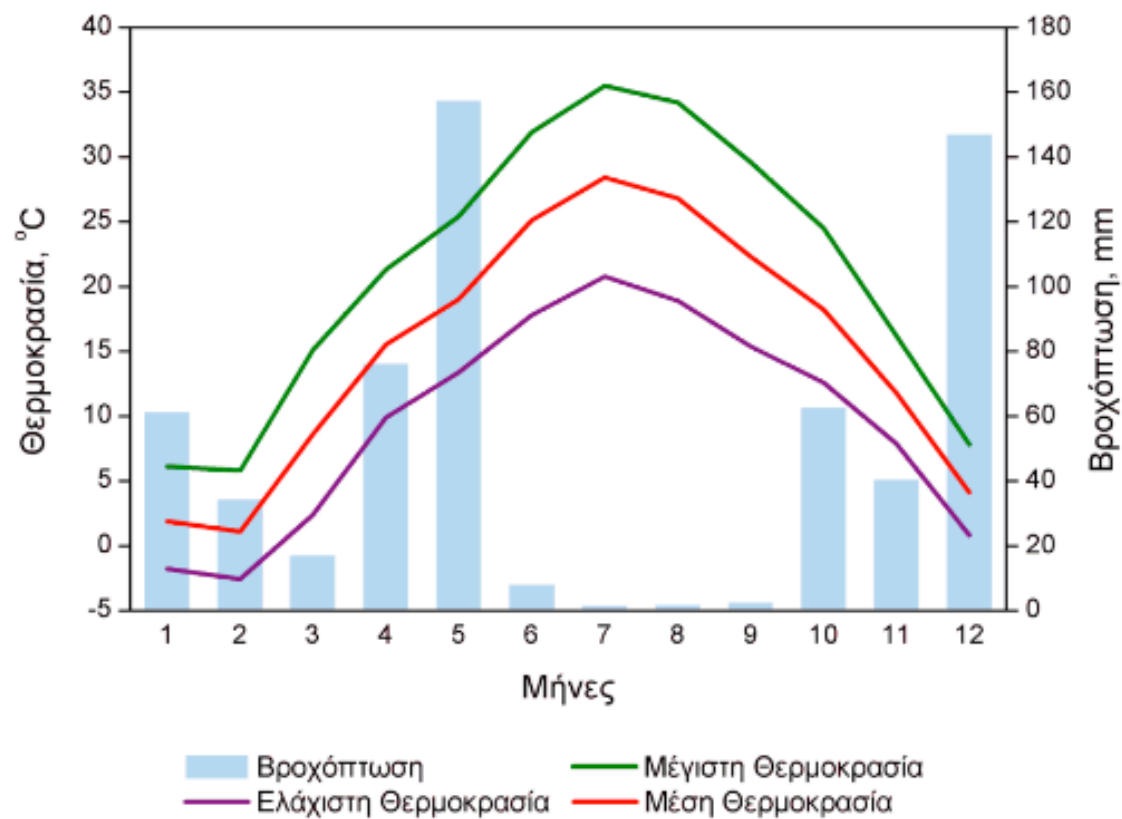


Σχήμα 1.3: Η ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα στη διάρκεια μιας κανονικής ημέρας και μιας μέρας με σύννεφα (διακεκομμένη).



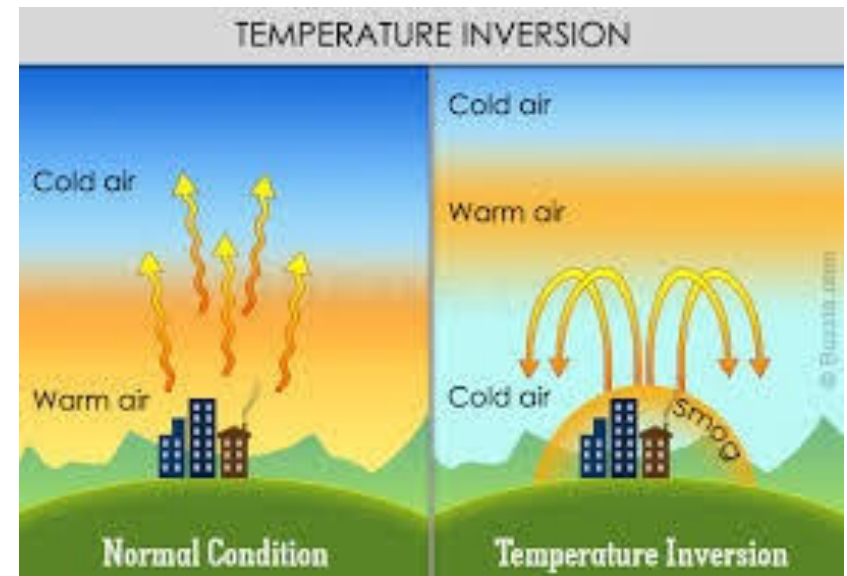
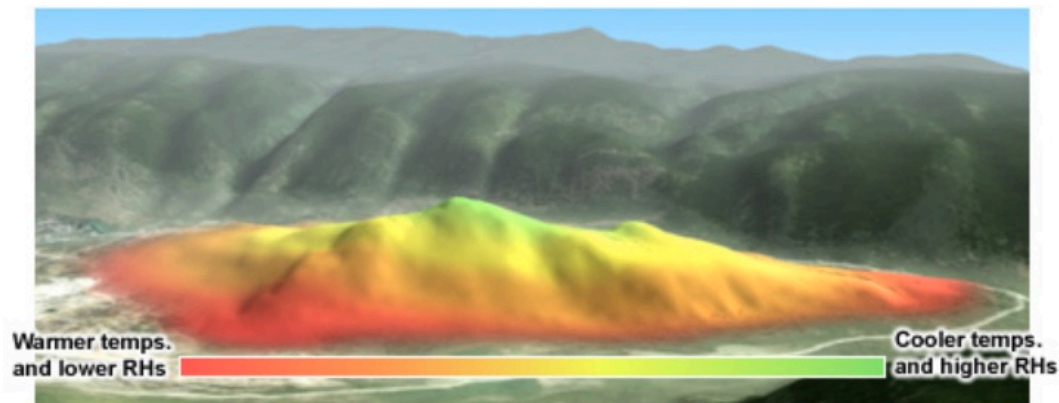
● **FIGURE 3.26** (a) Clouds tend to keep daytime temperatures lower and nighttime temperatures higher, producing a small daily range in temperature. (b) In the absence of clouds, days tend to be warmer and nights cooler, producing a larger daily range in temperature.

Ετήσια πορεία της θερμοκρασίας



Σχήμα 6.2.5 Ενδεικτικό ομβροθερμικό διάγραμμα της περιοχής Διδυμοτεύχου, όπου δίνονται η μέση, η μέγιστη και η ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία και η μέση μηνιαία βροχόπτωση για το έτος 2012.

Θερμοκρασιακή αναστροφή



Κανονικά, η θερμοκρασία μειώνεται με το ύψος (μέση θερμοβαθμίδα $\gamma = -6.5 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{km}$).

Στην τροπόσφαιρα όμως υπάρχουν περιοχές όπου η θερμοκρασία αυξάνεται με το ύψος σε μια χρονική στιγμή. Το φαινόμενο αυτό καλείται θερμοκρασιακή αναστροφή (*temperature inversion*).

Ύψος αναστροφής λέγεται το ύψος της βάσης του στρώματος. **Βάθος αναστροφής** λέγεται το πάχος του στρώματος το οποίο μπορεί να είναι από μερικά μέτρα μέχρι 2-3 km.

Θερμοκρασιακή αναστροφή

Η πραγματική θερμοβαθμίδα (γ) δείχνει τη μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με το ύψος σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και περιοχή και μετρείται με τις ραδιοβολήσεις.

$$\gamma = \frac{\Delta T}{\Delta z} > 0$$

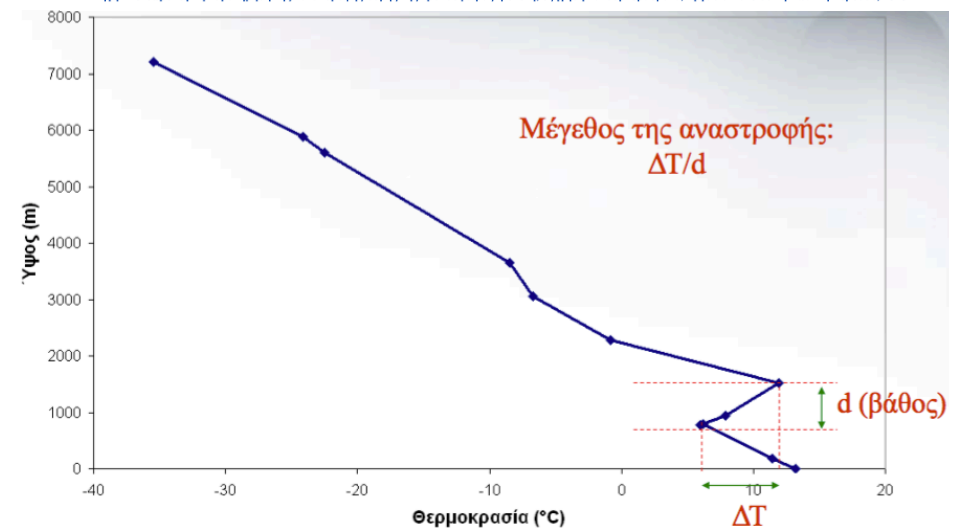
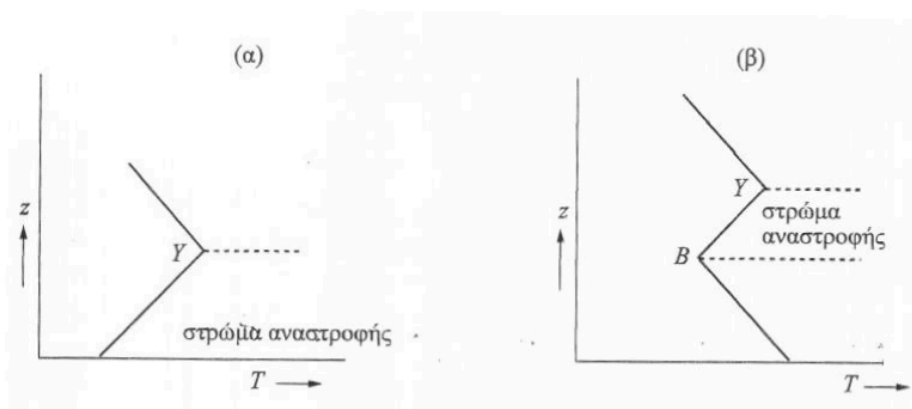


Σχήμα 9: Φωτογραφίες από την εκτόξευση της ραδιοβολίδας στην παρουσία μας. Στην πρώτη φωτογραφία φαίνεται η ραδιοβολίδα στη μεσαία το μπαλόνι πριν εκτοξευθεί και στην δεξιά το μπαλόνι σε κάποιο ύψος με την ραδιοβολίδα.

Πηγή: Μετεωρολογική παρατήρηση της κατακόρυφης δομής της τροπόσφαιρας: μελέτη, εξέγηση και συμπεράσματα, Εργασία Λυκείου Αγ. Ιωάννη Λεμεσού, 2016.

Τύπος αναστροφής

- (α) στο έδαφος
- (β) υπερυψωμένη



Μηχανισμοί εμφάνισης αναστροφών

1. Αναστροφές **λόγω ακτινοβολίας** κοντά στο έδαφος :
 - την νύχτα η επιφάνεια του εδάφους εκπέμπει ακτινοβολία και ψύχεται, ψύχοντας και τον παρεδάφιο αέρα.
 - στην διάρκεια της ημέρας, τα χαμηλά νέφη και η ομίχλη εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να θερμάνει το έδαφος, βοηθώντας στη διατήρηση της επιφανειακής αναστροφής .
2. Αναστροφές από **κατάπτωση** σε αντικυκλωνικά **H-συστήματα**.
3. Αναστροφές που οφείλονται σε **οριζόντια μεταφορά αέρα** κυκλωνικά συστήματα (L) και μέτωπα.
4. **Τοπικά** συστήματα κυκλοφορίας: θαλάσσια αύρα και αύρα βουνού-κοιλάδας.



ΠΑΓΕΤΟΣ στις καλλιέργειες

Θερμοκρασία εδάφους

Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία του εδάφους. Η τελευταία είναι συνάρτηση:

- της ποσότητας θερμότητας που εισέρχεται και εξέρχεται από το έδαφος
- της κοκκομετρικής του σύστασης (άργιλος, άμμος, λίθοι κ.ά.)
- της θερμοχωρητικότητάς του, που εξαρτάται από το πορώδες και την υγρασία του.
- Η θερμοκρασία εδάφους μειώνεται κατά την ακόλουθη σειρά:

Γυμνό έδαφος >

Χλοερό έδαφος >

1.5m (ύψος μετεωρ. κλωβού) >

10cm πάνω από γυμνό έδαφος >

10cm πάνω από χλοερό έδαφος.

Θερμοκρασία βάθους εδάφους

Η επιφάνεια του εδάφους κατά την καλοκαιρινή ημέρα θερμαίνεται περισσότερο απ'ό,τι ο αέρας. Κατά την χειμερινή νύχτα το έδαφος ψύχεται γρηγορότερα απ'ό,τι ο αέρας.

Σ' ένα ομοιογενές έδαφος η θερμοκρασία ελαττώνεται όταν το βάθος αυξάνει.

Το Η.Θ.Ε. του εδάφους μηδενίζεται σε βάθος <1 m, ενώ το Ε.Θ.Ε. μηδενίζεται σε πολύ μεγαλύτερα βάθη.

Το βάθος, όπου μηδενίζεται το Ε.Θ.Ε. Λέγεται **αμετάβλητο στρώμα**. Κάτω από το αμετάβλητο στρώμα η θερμοκρασία αυξάνει με το βάθος. Αυξάνεται κατά 1°C για κάθε 33m βάθος (γεωθερμικός βαθμός).

Ειδικές θερμότητες εδάφους, αέρα και υδάτων

Ειδική θερμότητα (c_p) είναι η θερμότητα που χρειάζεται να προσλάβει 1gr ενός σώματος για να ανεβεί η θερμοκρασία του κατά 1 Kelvin (υπό σταθερή πίεση).

Θερμοχωρητικότητα (C_p) = Ειδική θερμότητα (c_p) x Μάζα



Ειδική θερμότητα **νερού > αέρα > εδάφους**

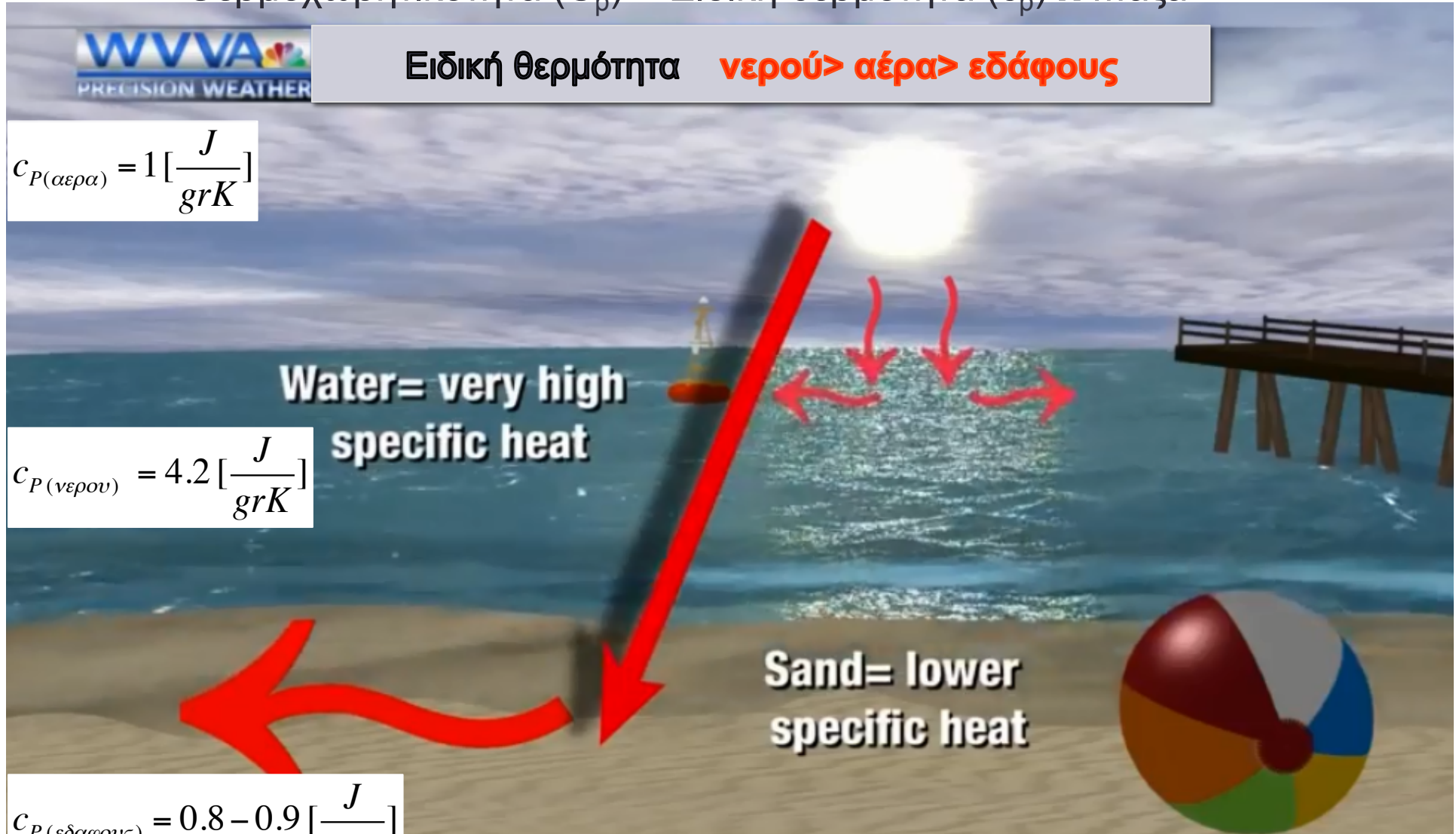
$$c_{P(\alpha\epsilon\rho\alpha)} = 1 \left[\frac{J}{grK} \right]$$

$$c_{P(\nu\epsilon\rho\upsilon)} = 4.2 \left[\frac{J}{grK} \right]$$

**Water= very high
specific heat**

**Sand= lower
specific heat**

$$c_{P(\epsilon\delta\alpha\varphi\omicron\upsilon\varsigma)} = 0.8 - 0.9 \left[\frac{J}{grK} \right]$$



Θερμοχωρητικότητα υδάτων

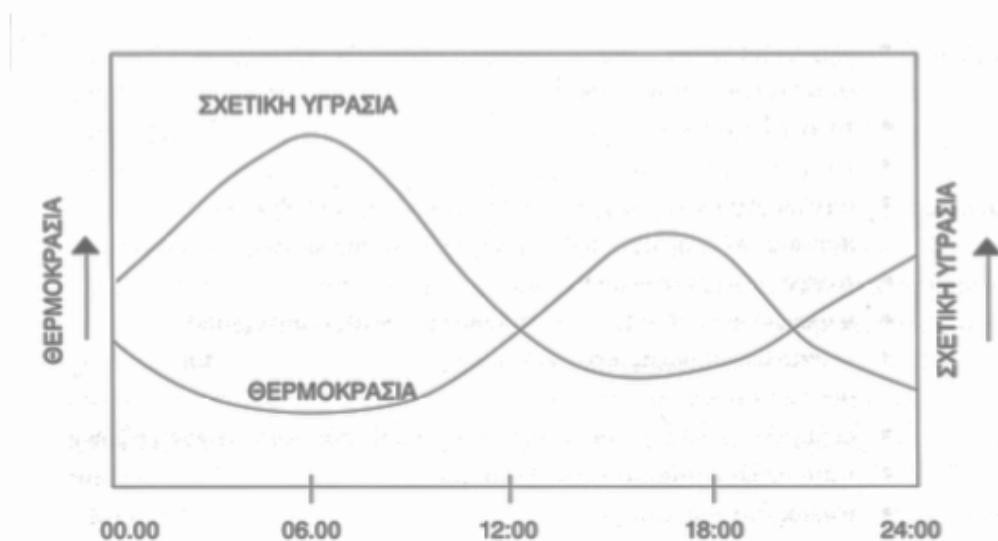
- Η θάλασσα θερμαίνεται και ψύχεται **πιο αργά και λιγότερα έντονα** απ' ό,τι η ξηρά. Αυτό είναι γιατί:

-  Το νερό έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από το έδαφος.
-  Το νερό είναι διαπερατό στην ηλιακή ακτινοβολία.
-  Υπάρχουν κατακόρυφες και οριζόντιες κινήσεις των υδάτων.
-  Μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται για εξάτμιση (μετατροπή σε λανθάνουσα θερμότητα) παρά για να αυξήσει την θερμοκρασία του νερού.

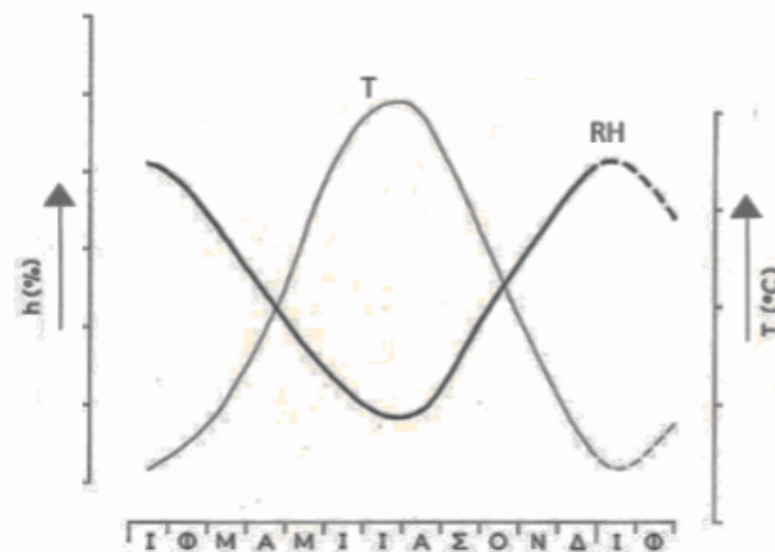
4. Η θερμοκρασία μιας μεγάλης υδάτινης μάζας δεν μεταβάλλεται τόσο πολύ σε σχέση με τη γειτονική ξηρά διότι:

- ☐ το πλείστο της τελικής ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται για τη μεταφορά λανθάνουσας παρά αισθητής θερμότητας.
- ☐ προκαλείται μίξη των υδάτινων μαζών
- ☐ η ειδική θερμότητα της ξηράς είναι μικρότερη από αυτήν του νερού.
- ☐ όλα τα παραπάνω είναι αληθή.

Ημερήσια και ετήσια πορεία της T και RH αέρα

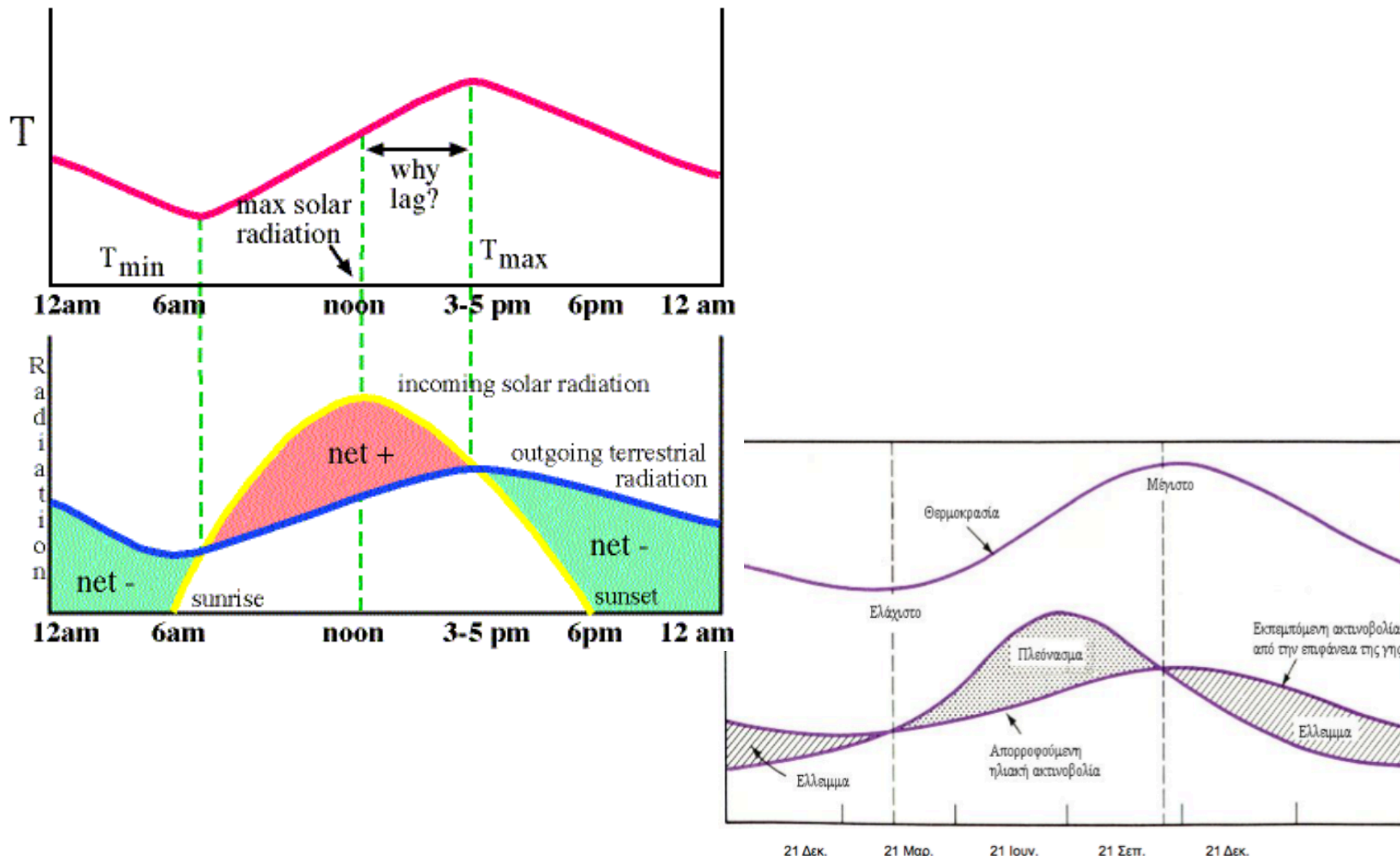


Σχήμα 3.2. Ημερήσια πορεία της RH και T.



Σχήμα 3.3. Ετήσια πορεία της RH και T.

Ελάχιστο και μέγιστο θερμοκρασίας



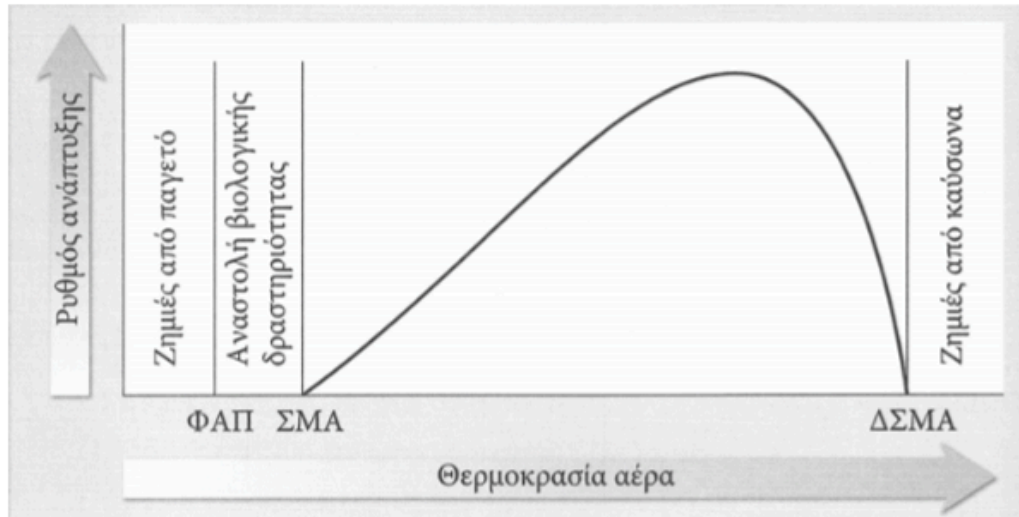
Σχήμα 2.4. Απεικόνιση της ετήσιας μεταβολής της θερμοκρασίας του αέρα σε συνδυασμό με την ετήσια πορεία της ηλιακής και της γήινης ακτινοβολίας

Η καθαρή ακτινοβολία (R_{net}) είναι ο ρυθμιστής της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της ημέρας ή του έτους.

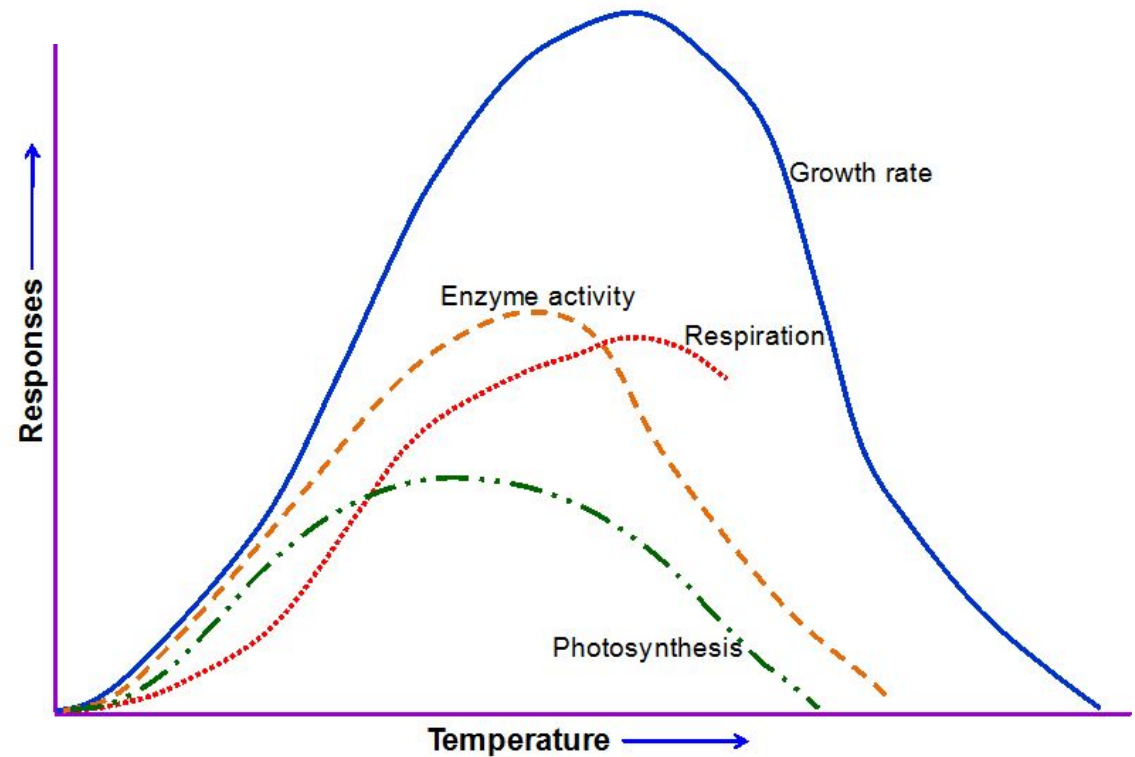
Ελάχιστο και μέγιστο θερμοκρασίας

- Παγετός (ή πάχνη) είναι το φαινόμενο δημιουργίας παγοκρυστάλλων πάνω σε επιφάνειες (έδαφος, φυτά) και προκαλείται όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι $\leq 0^{\circ}\text{C}$.
- Ημέρα **μερικού** παγετού: Όταν η **ελάχιστη** θερμοκρασία (πρώτες πρωινές ώρες) μιας ημέρας είναι μικρότερη του 0°C .
- Ημέρα **ολικού** παγετού: Όταν η **μέγιστη** θερμοκρασία μιας ημέρας ή η θερμοκρασία καθόλη την διάρκεια της ημέρας είναι μικρότερη του 0°C .

Καμπύλες ιδανικής θερμοκρασίας

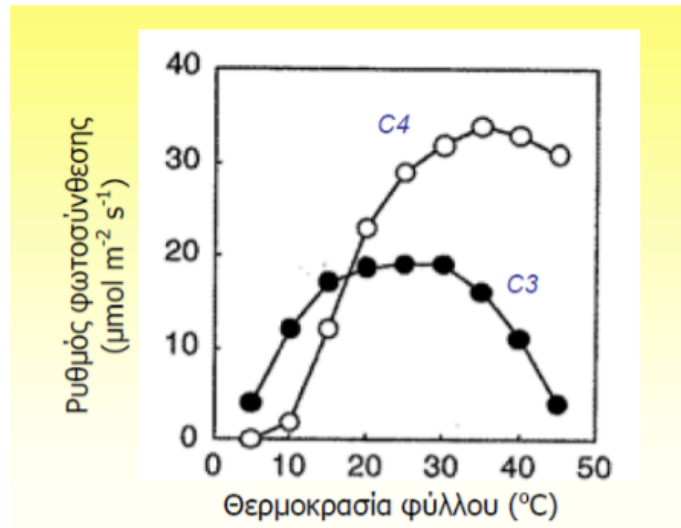


Σχήμα 1. Ενδεικτικό διάγραμμα ρυθμού ανάπτυξης φυτού και θερμοκρασίας αέρα (Χρονοπούλου και Φλόκας 2010).

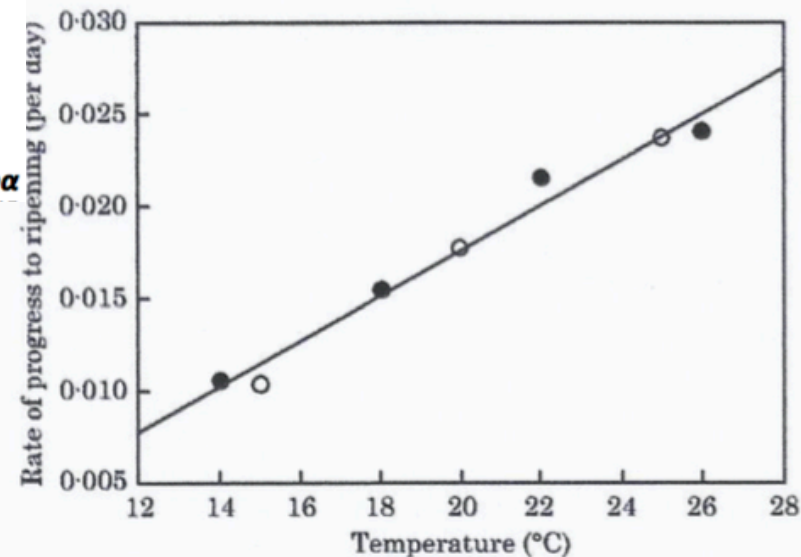


Καμπύλες ανάπτυξης

Θερμοκρασιακή ανοχή των φυτών

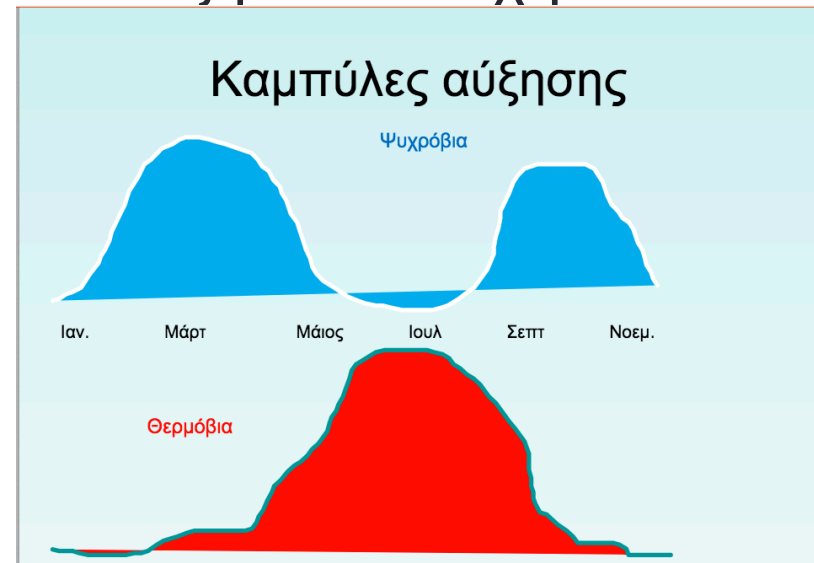


Επίδραση της θερμοκρασίας στους ρυθμούς ανάπτυξης σε χαρακτηριστικά C3 (σιτάρι- μαύρα σημεία) και C4 (καλαμπόκι- άσπρα



Θερμόφιλα και ψυχρόφιλα φυτά

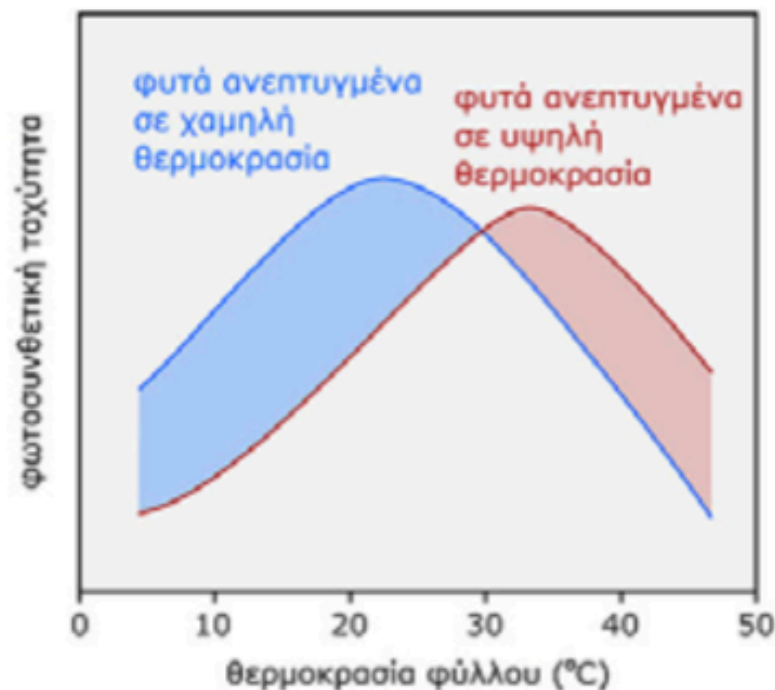
- Τα φυτά ανάλογα με τις θερμικές τους απαιτήσεις, μπορούν να χαρακτηριστούν **θερμόφιλα** ή **ψυχρόφιλα**.
- Θερμόφιλα φυτά: είναι ευαίσθητα στις χαμηλές θερμοκρασίες του αέρα, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν σοβαρές βλάβες σε ημέρες μερικού ή ολικού παγετού. Τα φυτά αυτά καλλιεργούνται σε περιοχές που δεν εμφανίζεται παγετός, έτσι ώστε να μπορέσουν να ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο.
- Ψυχρόφιλα φυτά: βλάπτονται από τις υψηλές θερμοκρασίες, ενώ παρουσιάζουν ικανοποιητική ανάπτυξη και αντοχή σε θερμοκρασίες $< 0^{\circ}\text{C}$.



Εγκλιματισμός σε ακραίες θερμοκρασίες

Εγκλιματισμός σε χαμηλή θερμοκρασία

- 1) Αυξάνεται η ποσότητα των φωτοσυνθετικών ενζύμων (RubisCO, ένζυμο κύκλου Calvin, αναγέννησης των P_i).
- 2) Σύνθεση ενζύμων σταθερών στο ψύχος (π.χ. RubisCO).
- 3) Αύξηση ρευστότητας των μεμβρανών.



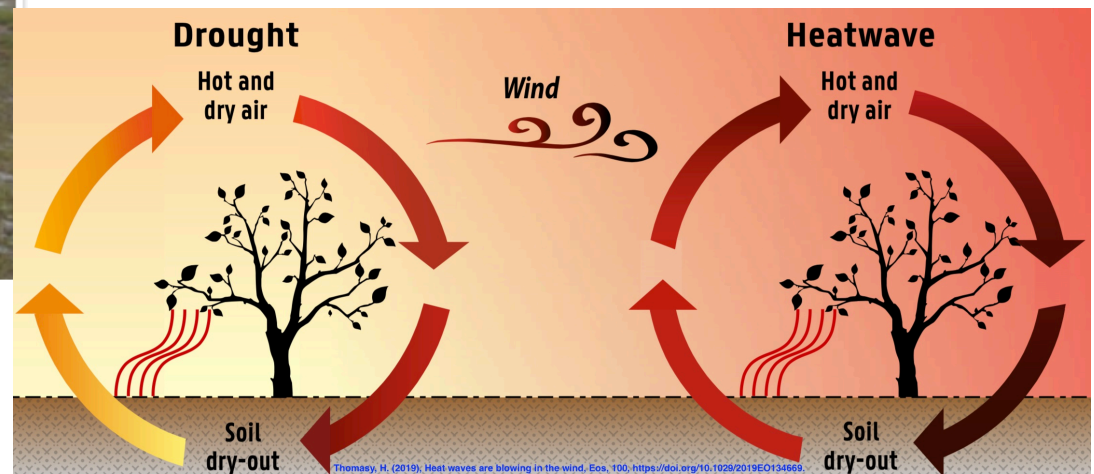
Εγκλιματισμός σε υψηλή θερμοκρασία

- 1) Σταθεροποίηση των μεμβρανών.
- 2) Σύνθεση θερμοάντοχων ενζύμων.
- 3) Μείωση της ταχύτητας αναπνοής.

Εικόνα 5.10. Αντιπροσωπευτικές τάσεις εξάρτησης της φωτοσυνθετικής ταχύτητας από τη θερμοκρασία φυτών που έχουν αναπτυχθεί και εγκλιματιστεί σε χαμηλή θερμοκρασία και φυτών του ίδιου είδους που έχουν αναπτυχθεί και εγκλιματιστεί σε υψηλότερη θερμοκρασία. Αναφέρονται ενδεικτικά ορισμένοι μηχανισμοί εγκλιματισμού στις αντίστοιχες θερμοκρασίες ανάπτυξης. Δανεισμένο από Yamori et al (2014).

Αντιμετώπιση της Τ μέγιστης- ΚΑΥΣΩΝΑ

- 1) Δίκτυα σκίασης
- 2) Υδροψεκασμός
- 3) Ορθολογική άρδευση και λίπανση
- 4) Θερμοανθεκτικός γονότυπος για μεγάλη ανθεκτικότητα
- 5) Ψεκασμός με πούδρα καολινίτη για αντανάκλαση (**μείωση**) της ακτινοβολίας.

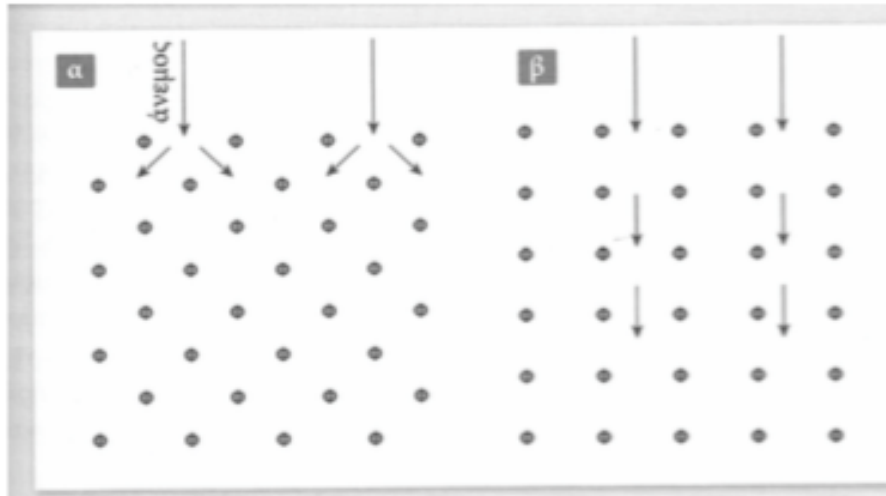


Αντιμετώπιση της Τ ελάχιστης- ΠΑΓΕΤΟΥ

- 1) Ανεμοφράκτες
- 2) Διάταξη σειρών φύτευσης
- 3) Λίπανση και ρυθμιστικές ουσίες για μεγαλύτερη ανθεκτικότητα
- 4) Κάλυψη του εδάφους με υλικά (άχυρο, αφρό, ύφασμα)
- 5) Καπνισμός
- 6) Πότισμα με καταιονισμό ή κατάκλυση (λεκάνες)
- 7) Ανεμομείκτες/ελικόπτερα
- 8) Αντιπαγετικές θερμάστρες
- 9) Βακτήρια που περιορίζουν την παγοποίηση του νερού στους ιστούς των ποωδών φυτών.



Αντιπαγετικά μέτρα



Σχήμα 6. Πορεία ανέμου σε δένδρωνα με φύτευση α) σε σχήμα ρόμβου και β) σε σχήμα τετραγώνου (Χρονοπούλου και Φλόκας 2010).

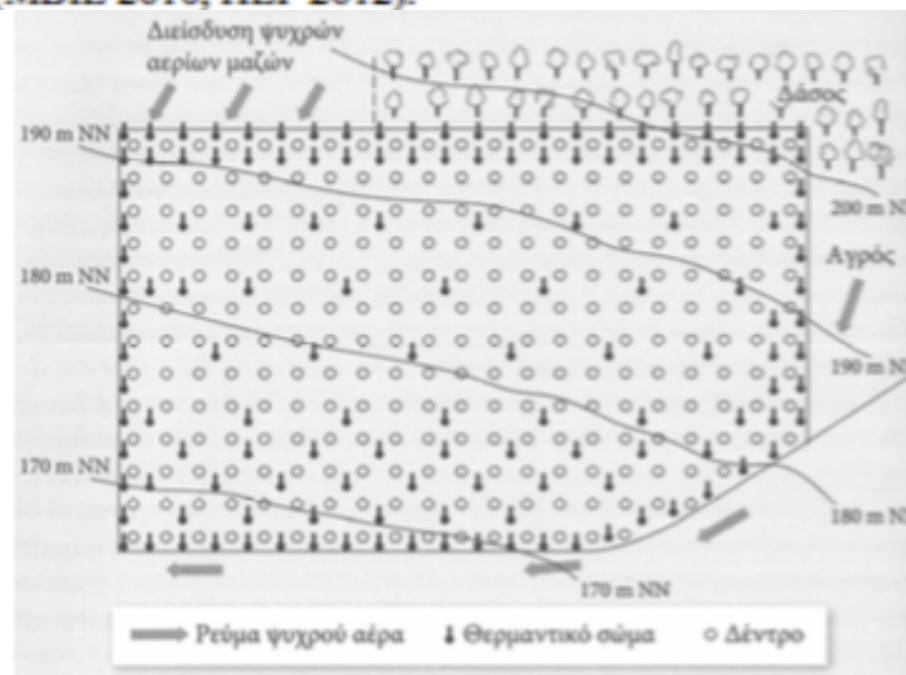


Σχήμα 7. Τεχνητή βροχή σε καλλιέργεια για προστασία από παγετό το ξημέρωμα (TBP 2012).

Αντιπαγετικά μέτρα



Σχήμα 8. Ανεμομείκτες σε καλλιέργειες (MBIE 2010, HEF 2012).



Σχήμα 9. Παράδειγμα τοποθέτησης αντιπαγετικών θερμαστρών σε δεδράνα (Χρονοπούλου και Φλόκας 2010).

Βλάβες από παγετό



Σχήμα 2. Στα αριστερά κάθε εικόνας υγιή πορτοκάλια και στα δεξιά κάθε εικόνας πορτοκάλια προσβεβλημένα από παγετό (Δαμιανάκης 2008).



Σχήμα 3. (αριστερά) Στα αριστερά υγιές άνθος και στα δεξιά προσβεβλημένο άνθος από παγετό, (δεξιά) πορτοκαλιά προσβεβλημένη από παγετό (Δαμιανάκης 2008, ScienceDaily 2008)

Βλάβες από παγετό



Σχήμα 4. Επίδραση παγετού σε κορμό δένδρου (Δαμιανάκης 2008).

Βλάβες από καύσιωνα

**Ηλιοεγκαύματα από υψηλές θερμοκρασίες
και υψηλή ακτινοβολία**



Βλάβες από καύσιμα

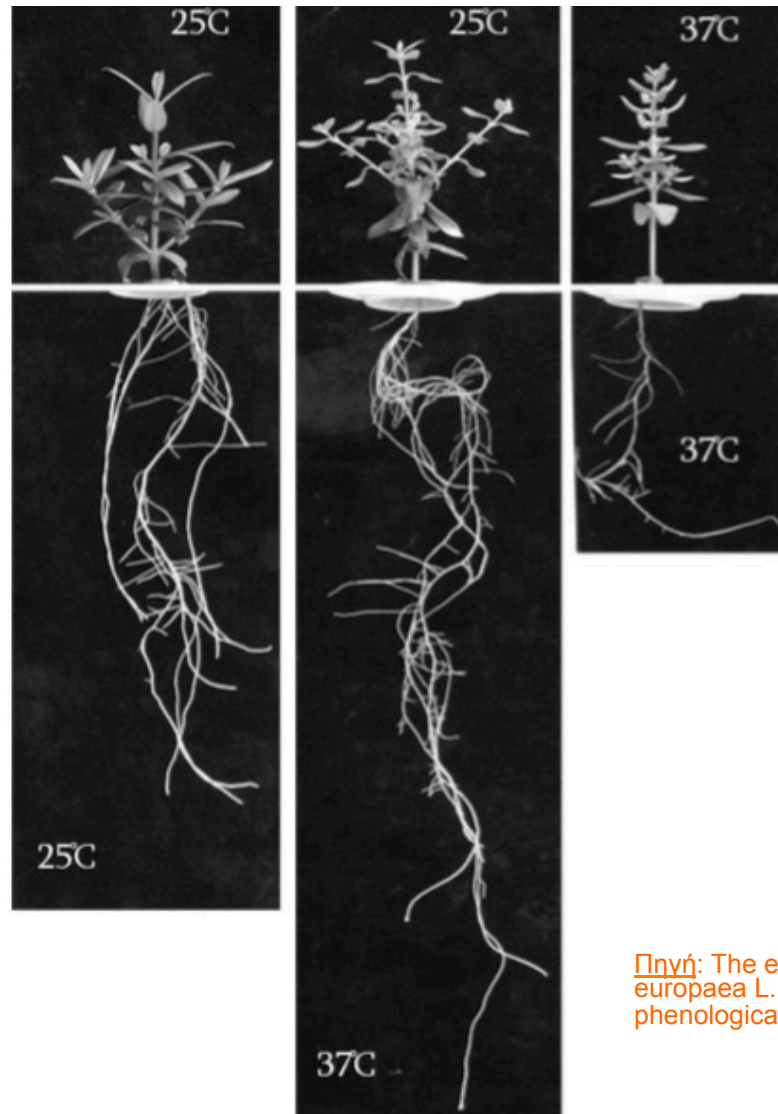


Figure 4.8. View of the aerial part and the root of young olive plants after exposure to different air/root-medium temperature regimens for 42 days.

Πηγή: The effect of increasing temperature on olive trees (*Olea europaea* L. subsp. *europaea*) biology: an integrated morphological, phenological and biomolecular study, Rosa S. Lucas, PhD thesis.

Σε νεαρά ελαιόδεντρα, η αύξηση της Τ αέρα σε 37 °C (υπόγειο/υπέργειο τμήμα), για περίοδο 42 ημερών, επηρεάζει την ανάπτυξη (↓), πρόσληψη και μεταφορά K⁺ (↓) και το περιεχόμενο υγρασίας φύλλων (↓).