

Εξατμισοδιαπνοή



Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων

Αθήνα 2009

ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ:

Εξατμισοδιαπνοή

- ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- ΦΥΣΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ
- ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ
- ΜΕΤΡΗΣΗ
- ΕΚΤΙΜΗΣΗ

Εισαγωγικές έννοιες

Εξάτμιση (evaporation): η μετατροπή του νερού από την υγρή στην αέρια φάση

Ο ρυθμός εξάτμισης εξαρτάται από:

1. τη φυσική διαθεσιμότητα του νερού
2. τη διαθεσιμότητα ενέργειας στην επιφάνεια
3. τη δυνατότητα διάχυσης των παραγόμενων υδρατμών στην ατμόσφαιρα

Διαπνοή (transpiration): η μετατροπή του νερού σε υδρατμούς που πραγματοποιείται στους πόρους της χλωρίδας, και ιδίως των φυλλωμάτων των φυτών (έδαφος → ρίζες → αγγειακό σύστημα → πόροι φυλλωμάτων – στόματα).

Δεδομένου ότι ο ρυθμός διαπνοής ελέγχεται από τα φυτά μέσω της ρύθμισης του ανοίγματος των στομάτων, η διαπνοή ελαττώνεται όταν η διαθεσιμότητα νερού είναι μικρή και μηδενίζεται κατά τη διάρκεια της νύκτας όπου η διαδικασία της φωτοσύνθεσης διακόπτεται και τα στόματα κλείνουν.

Εισαγωγικές έννοιες

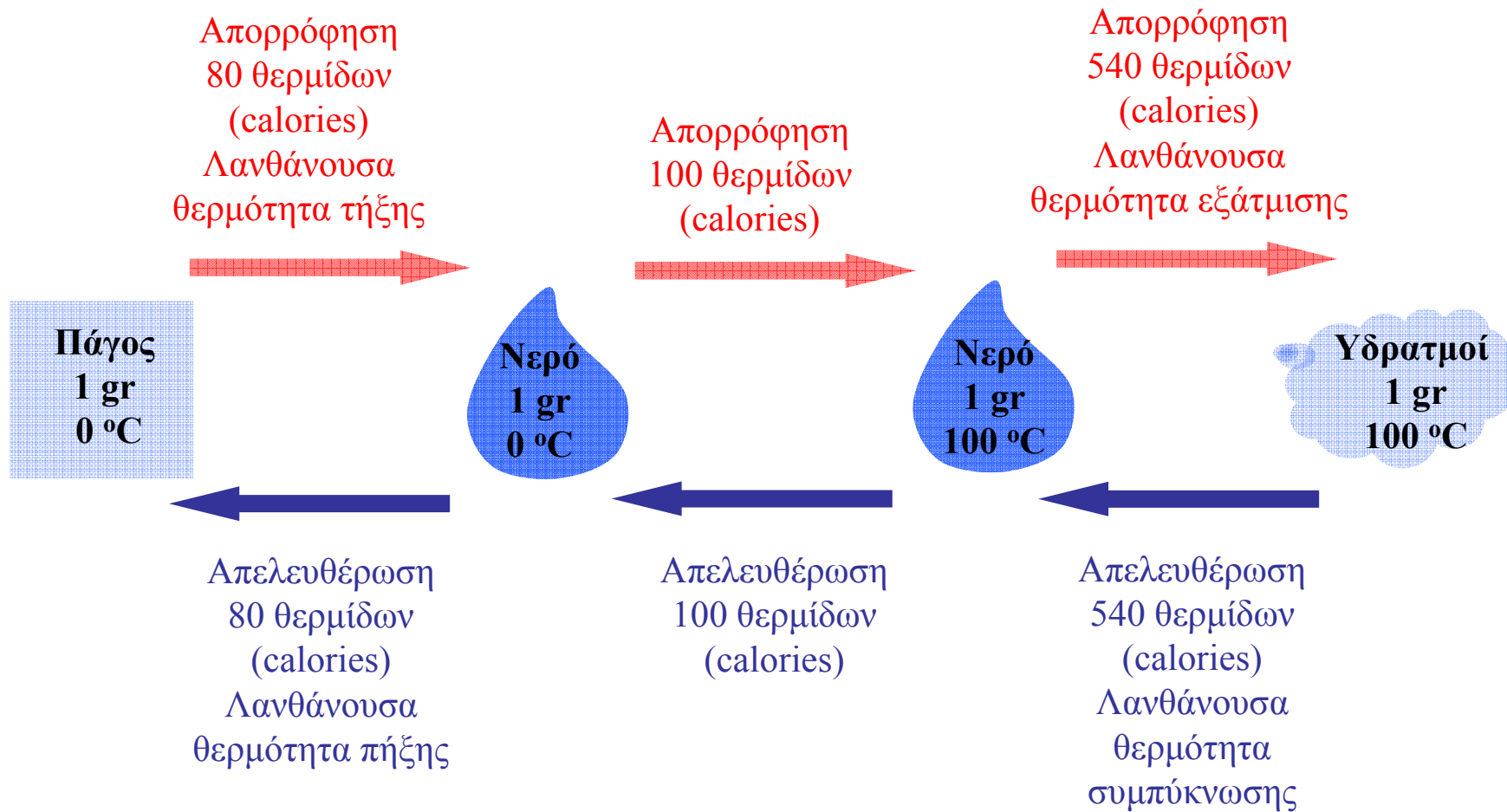
•**Εξατμισοδιαπνοή – evapotranspiration**): το σύνολο των πραγματικών απωλειών νερού από την εξάτμιση εδαφών και από τη διαπνοή της χλωρίδας.

•**Δυνητική εξατμισοδιαπνοή (potential evapotranspiration)**: η ποσότητα της εξατμισοδιαπνοής που πραγματοποιείται από εδαφικές επιφάνειες, πλήρως και ομοιόμορφα καλυμμένες από αναπτυσσόμενη χλωρίδα, σε συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού.

•**Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς (reference crop evapotranspiration)**: η εξατμισοδιαπνοή από μια ιδεατή εκτεταμένη επιφάνεια καλυμμένη πλήρως από ομοιόμορφη χαμηλού ύψους χλόη που σκιάζει πλήρως το έδαφος και βρίσκεται σε συνθήκες ενεργού ανάπτυξης χωρίς έλλειψη νερού.

Φυσικό πλαίσιο

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΦΑΣΗΣ ΣΤΟ ΝΕΡΟ

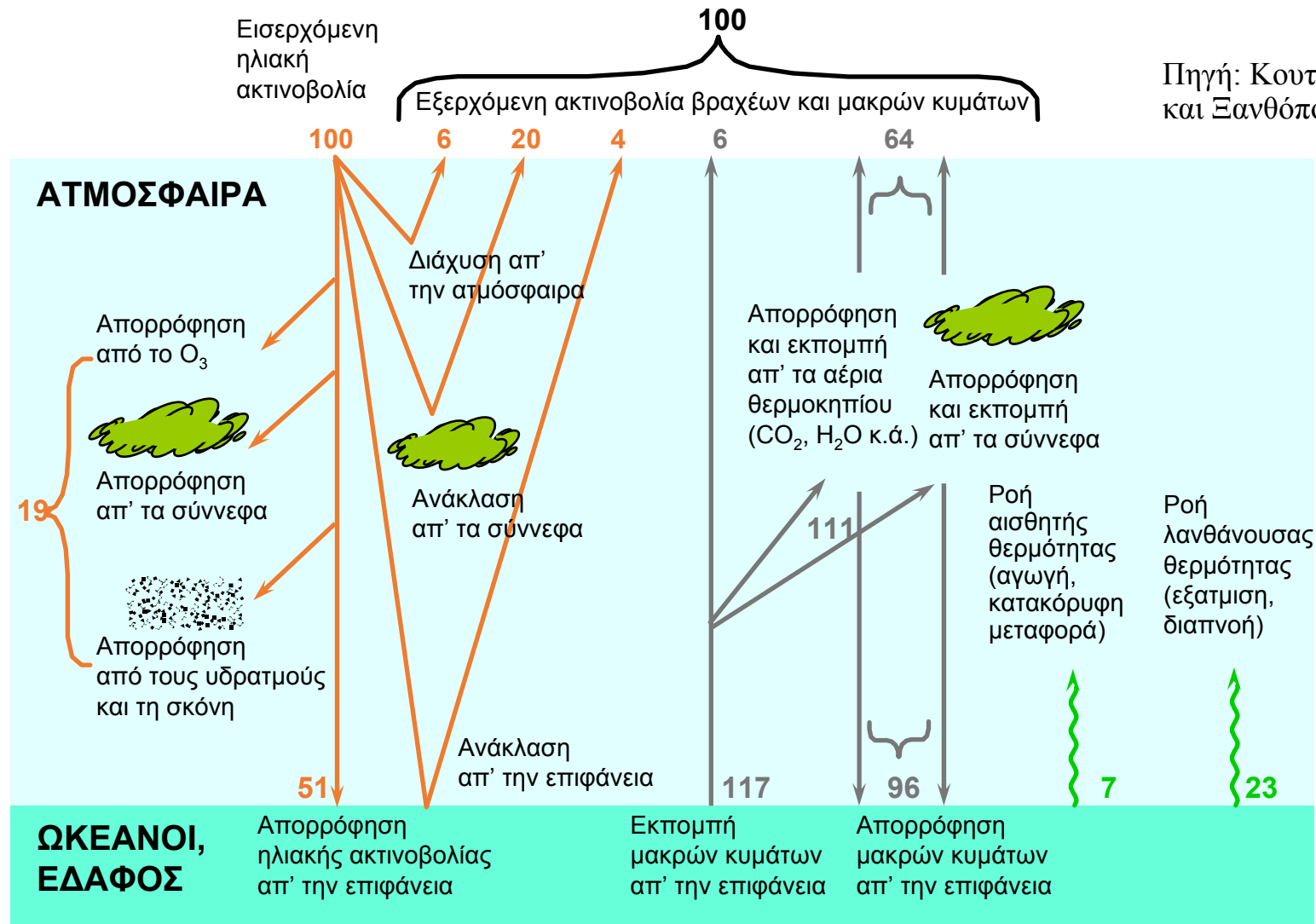


Ενεργειακό ισοζύγιο της γης

ΔΙΑΣΤΗΜΑ

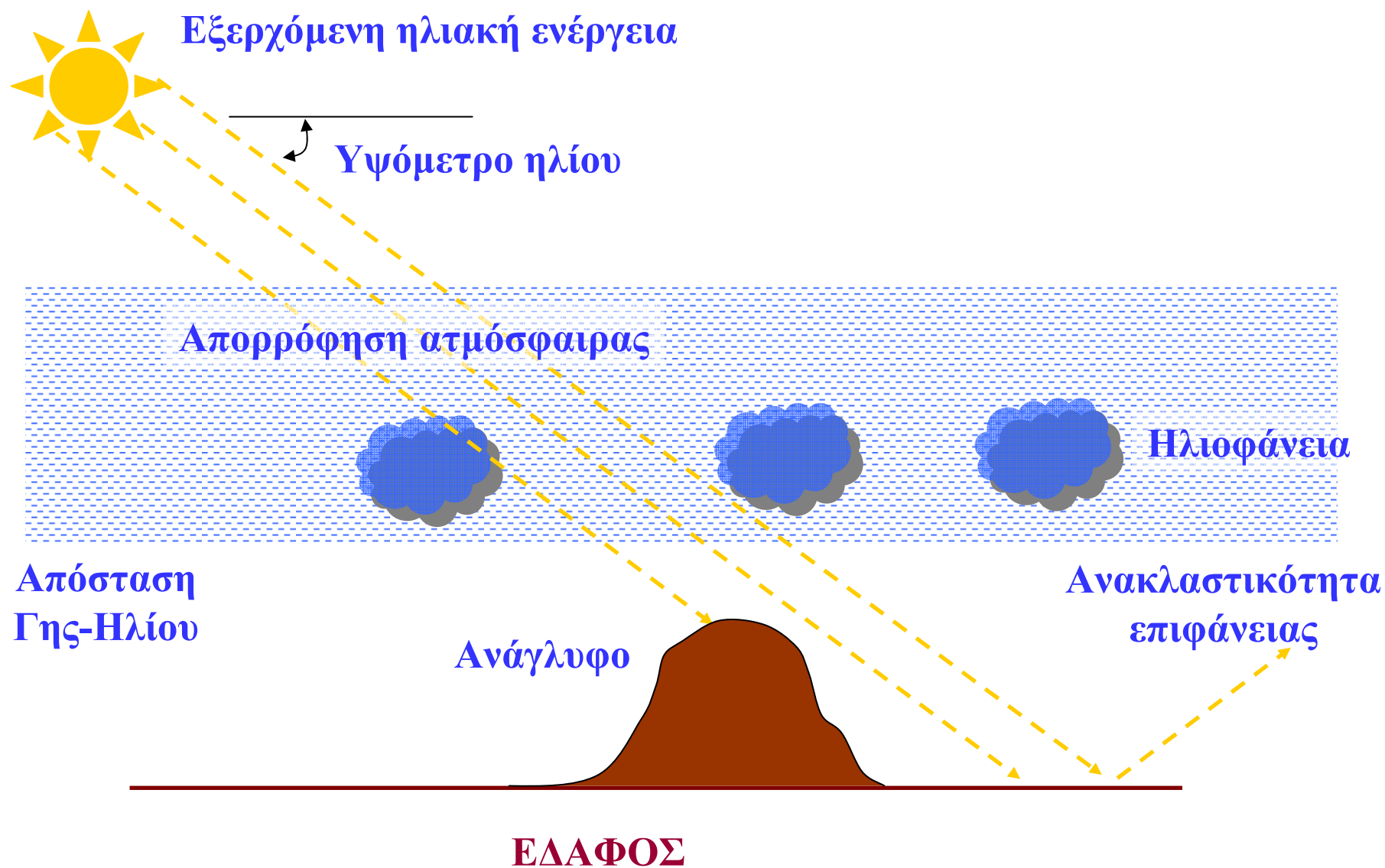
◀ ΒΡΑΧΕΑ ΚΥΜΑΤΑ ▶

◀ ΜΑΚΡΑ ΚΥΜΑΤΑ ▶



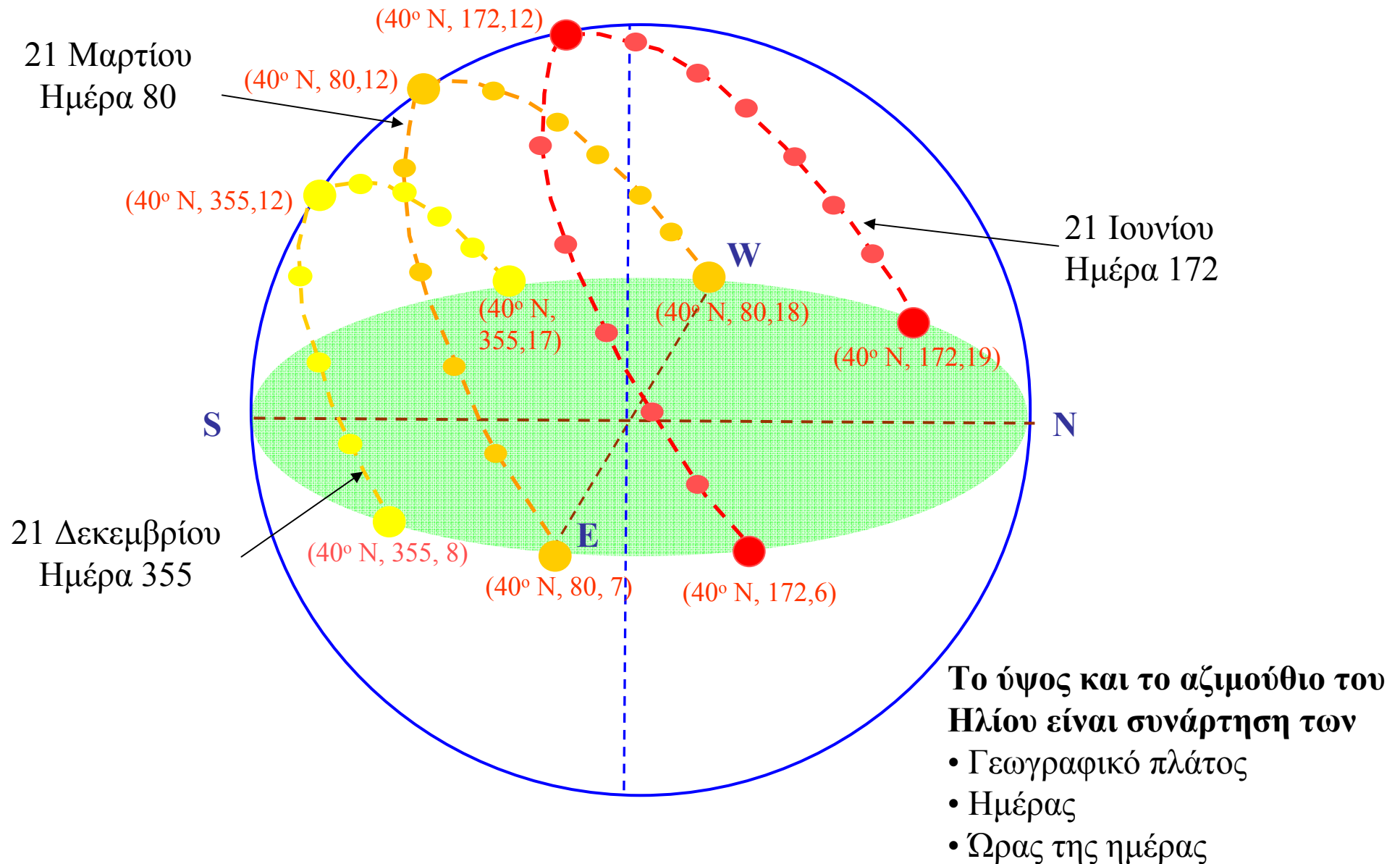
Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος (1999)

Παράγοντες που επιδρούν στη ηλιακή ακτινοβολία



Ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΣΗΣ ΗΛΙΟΥ (γεωγραφικό πλάτος 40°)

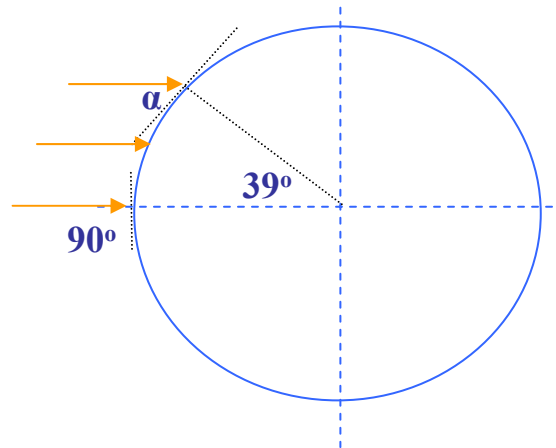


Ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα

Γωνία πρόσπτωσης ηλιακών ακτινών το μεσημέρι, σε επίπεδη επιφάνεια και σε γεωγραφικό πλάτος 39°

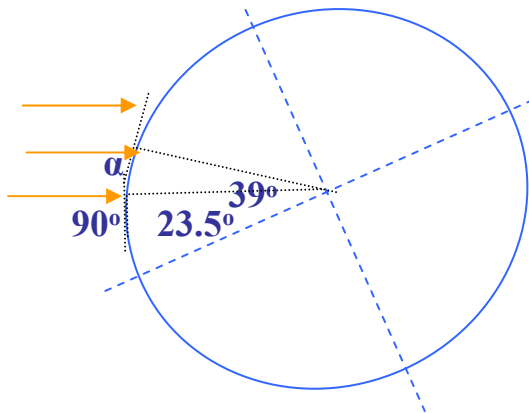
Ισημερίες

Γωνία πρόσπτωσης α :
 $90 - 39 = 51^\circ$



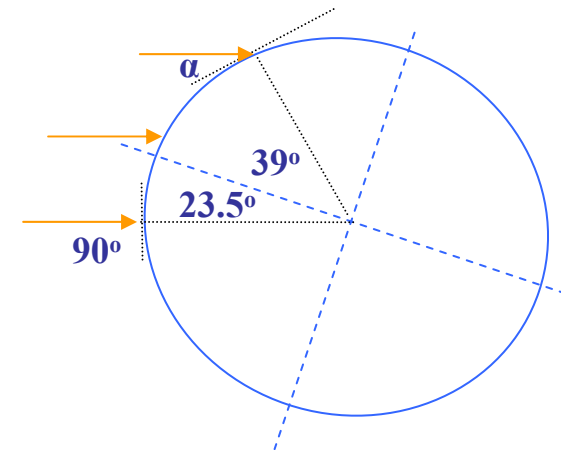
Θερινό ηλιοστάσιο

Γωνία πρόσπτωσης α :
 $90 - (39 - 23.5) = 73.5^\circ$

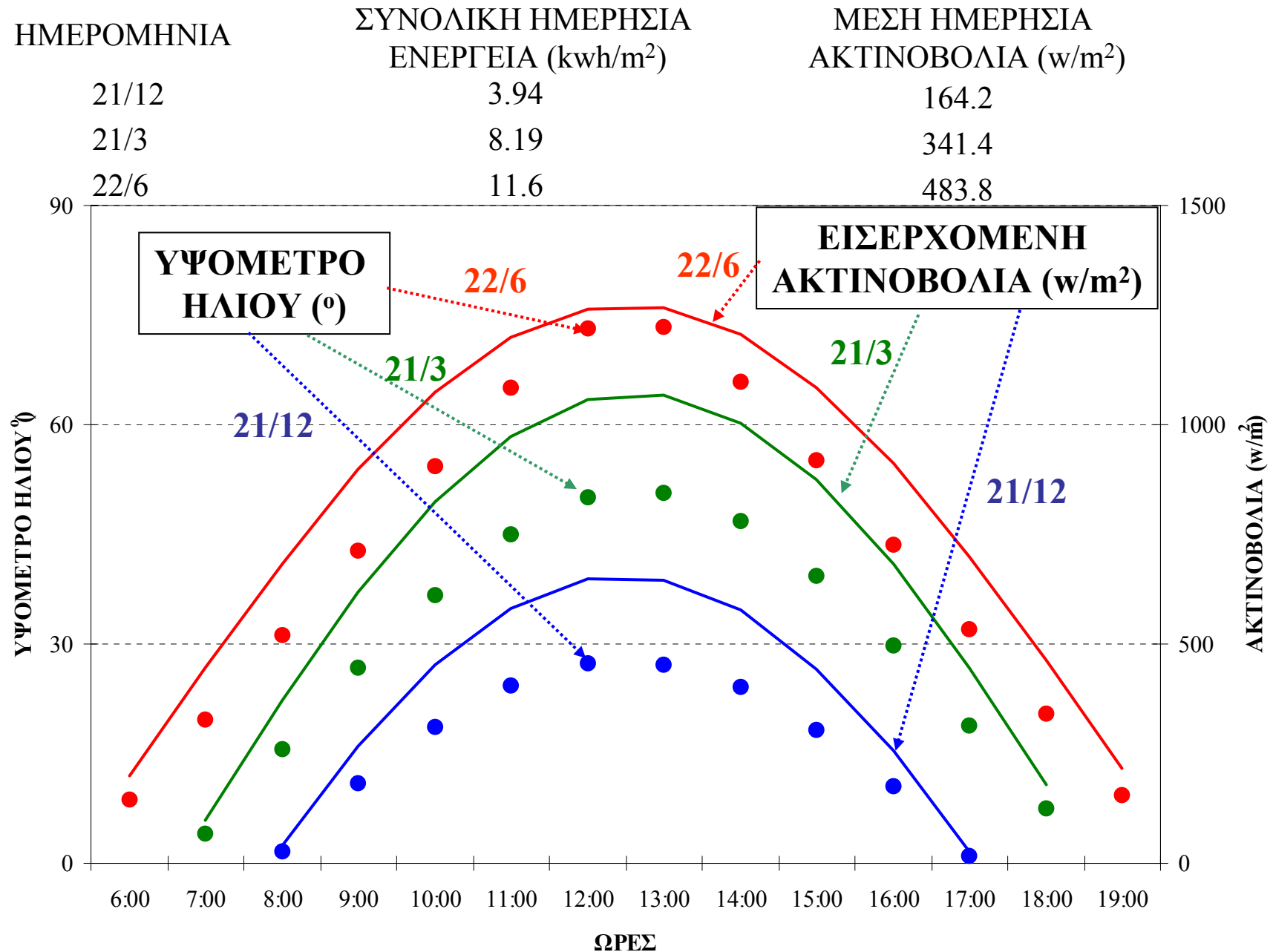


Χειμερινό ηλιοστάσιο

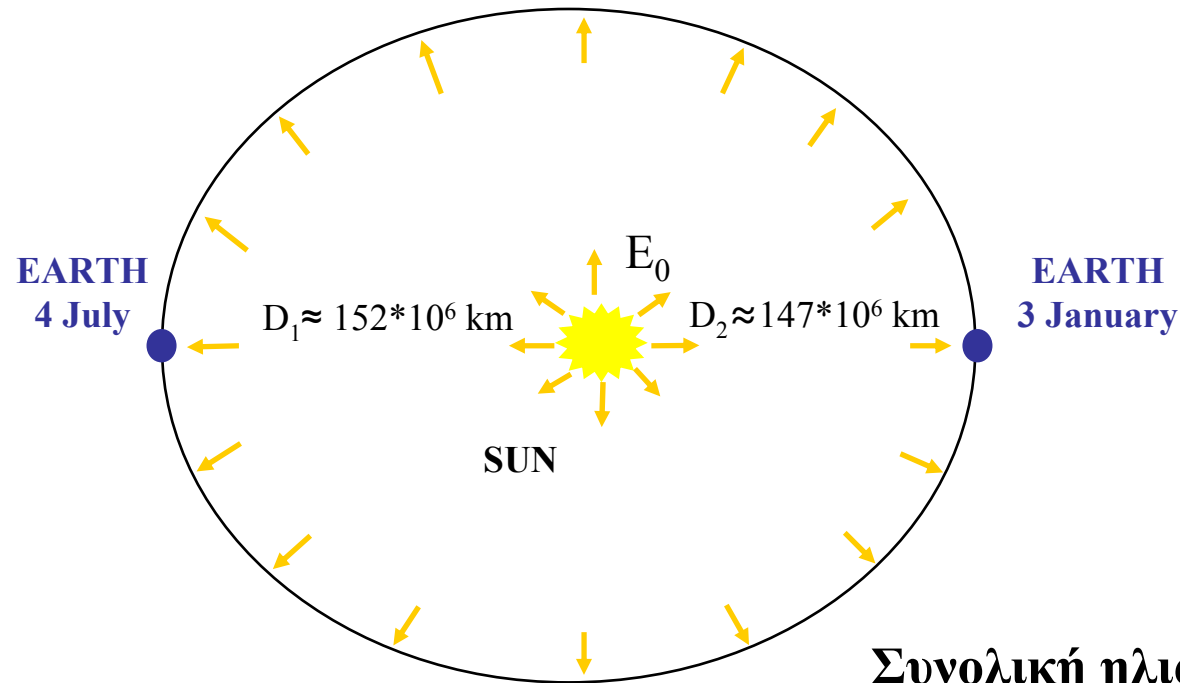
Γωνία πρόσπτωσης α :
 $90 - (39 + 23.5) = 27.5^\circ$



Υψόμετρο ήλιου και εισερχόμενη ακτινοβολία σε επίπεδη επιφάνεια και σε γεωγραφικό πλάτος 39°



Υπολογισμός της εκκεντρότητας (eccentricity) και της ηλιακής σταθεράς (solar constant)



Συντελεστής εκκεντρότητας

$$d = (D_{mean}/D_j)^2$$

D_{mean} Η μέση απόσταση γης-ηλίου ($\approx 149.6 \cdot 10^6$ km)

D_j η απόσταση γης-ηλίου την ημέρα J

Συνολική ηλιακή ενέργεια

$$E = 3.9 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

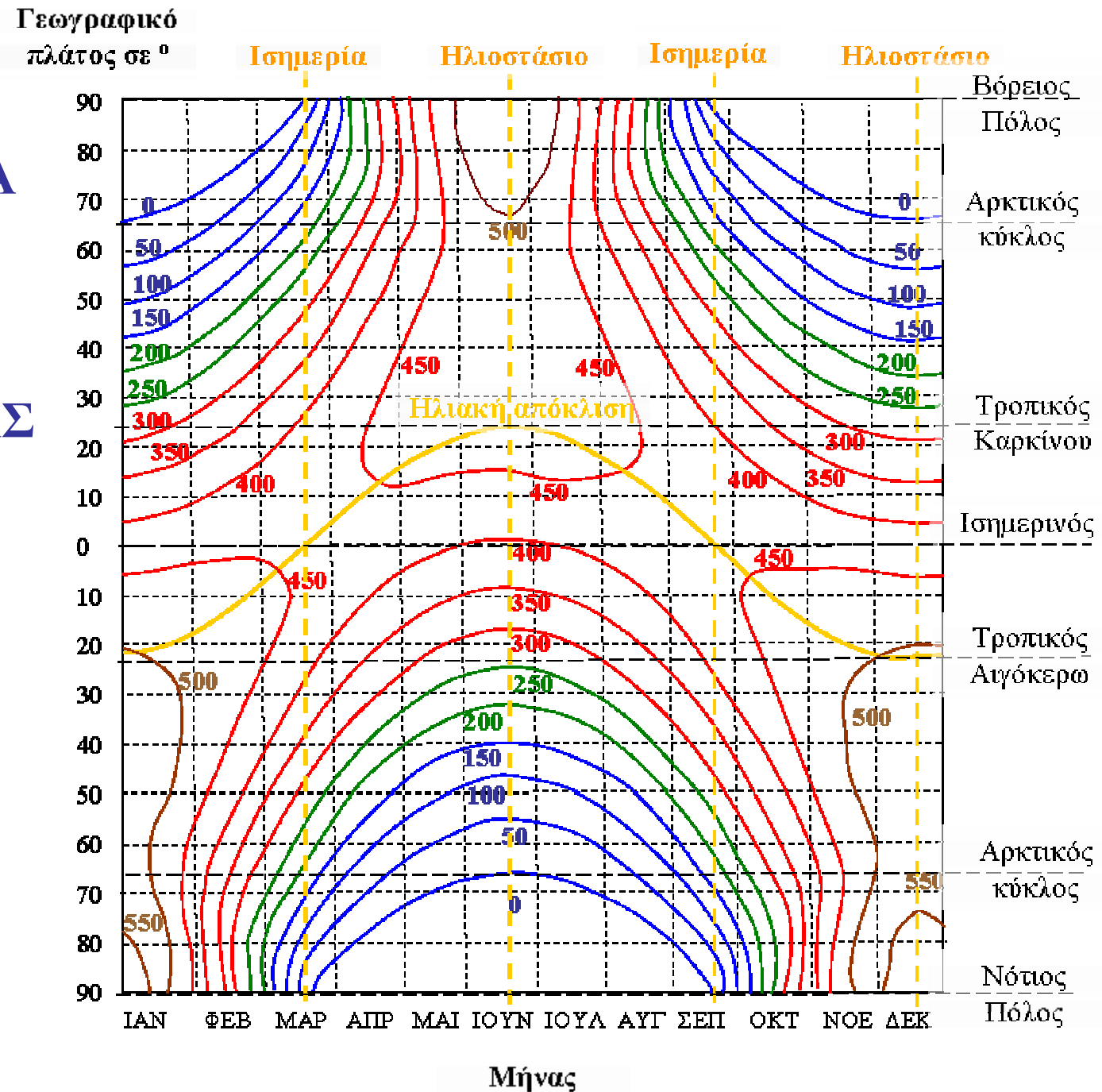
Ηλιακή ακτινοβολία στη γη

$$I = E / (4 \cdot \pi \cdot D^2) \text{ W/m}^2$$

$$\text{Ηλιακή σταθερά } I_o = E / (4 \cdot \pi \cdot D_{mean}^2) \text{ W/m}^2$$

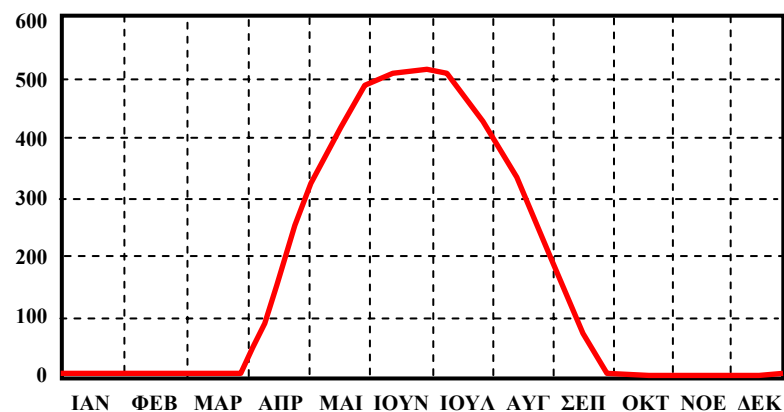
ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΟΡΙΟ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ (W/m²)

Πηγή:
Christopherson, 2000

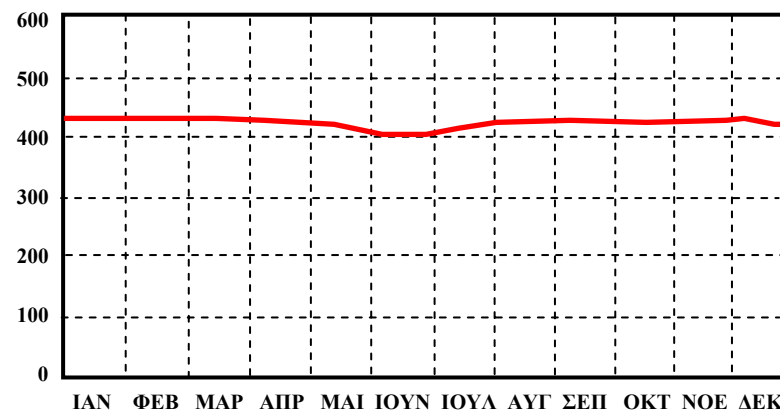


ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΟΡΙΟ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ (W/m²)

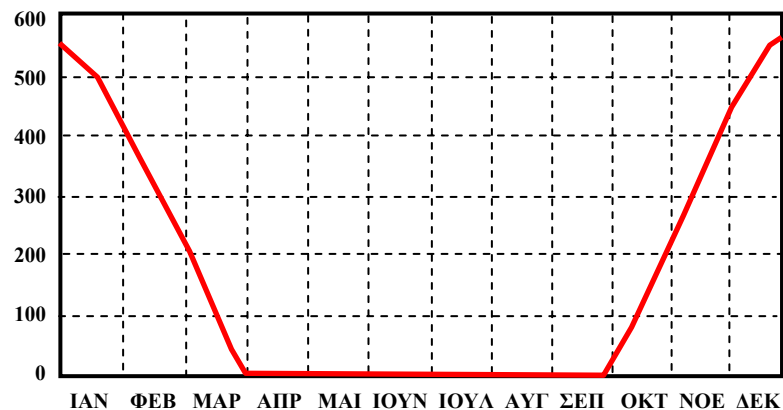
Βόρειος πόλος (90° B)



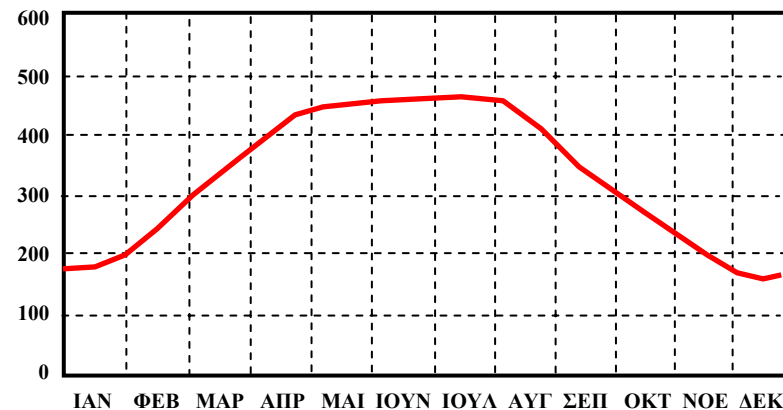
Ισημερινός (0°)



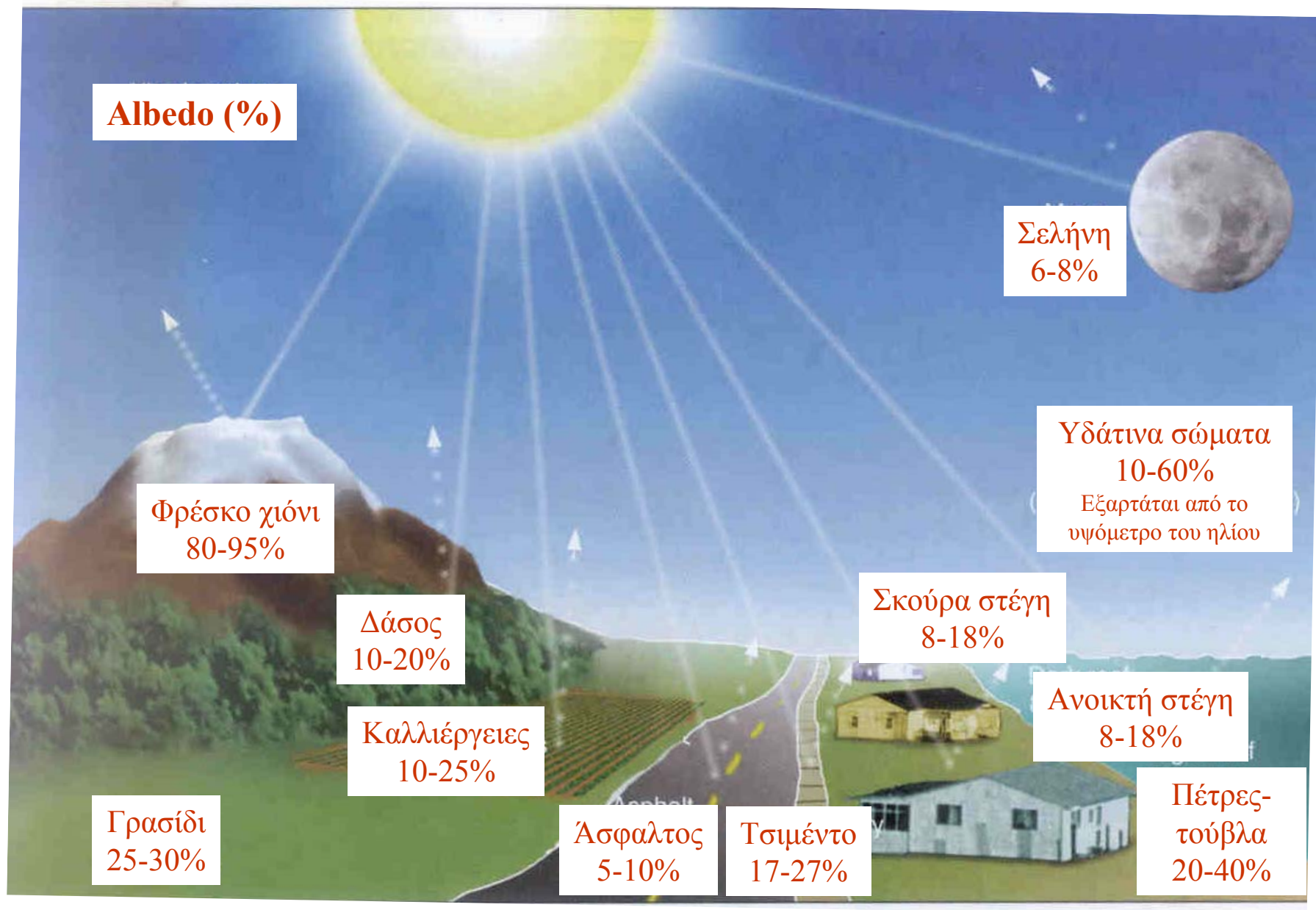
Νότιος πόλος (90° N)



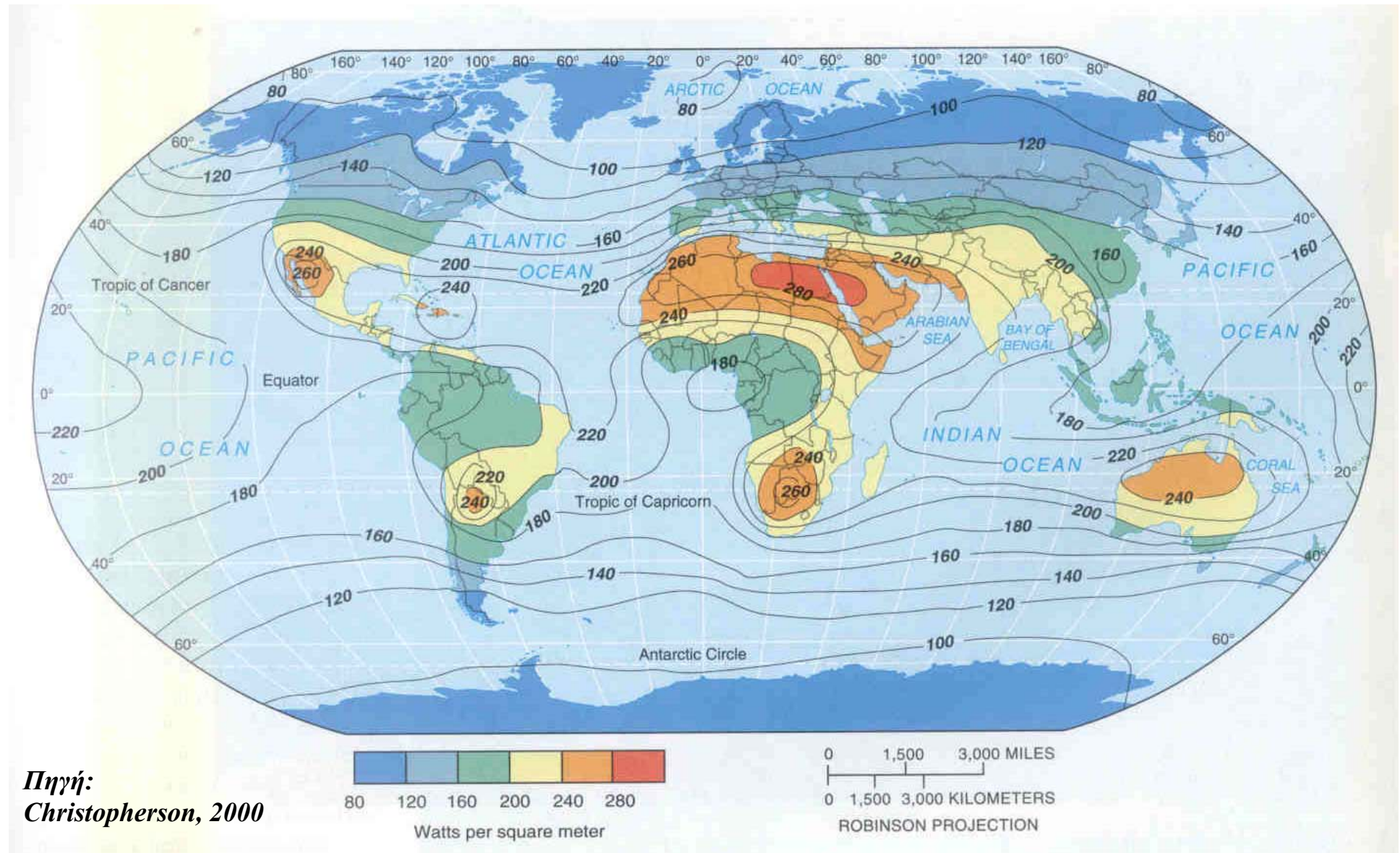
Νέα Υόρκη (40° B)



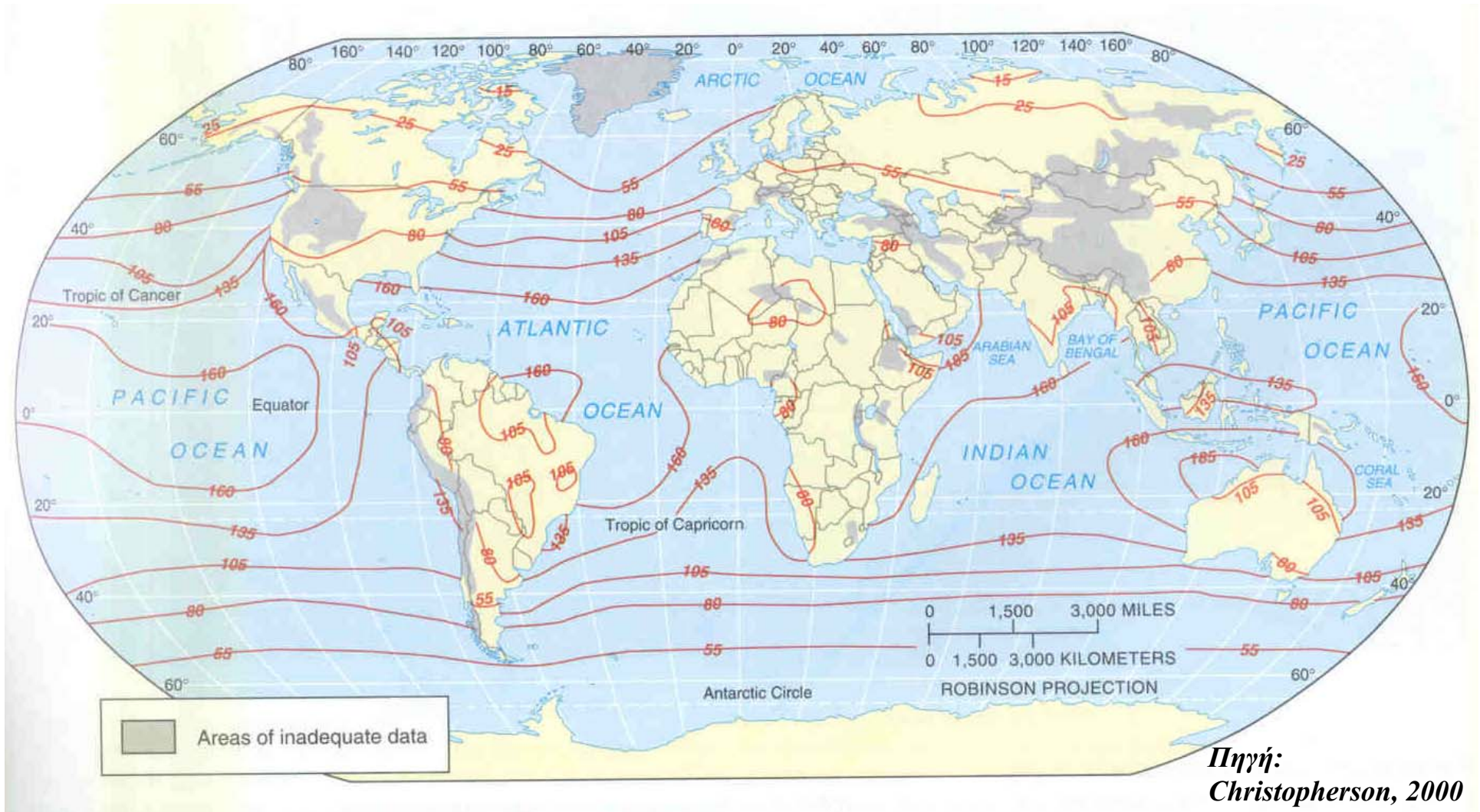
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ALBEDO)



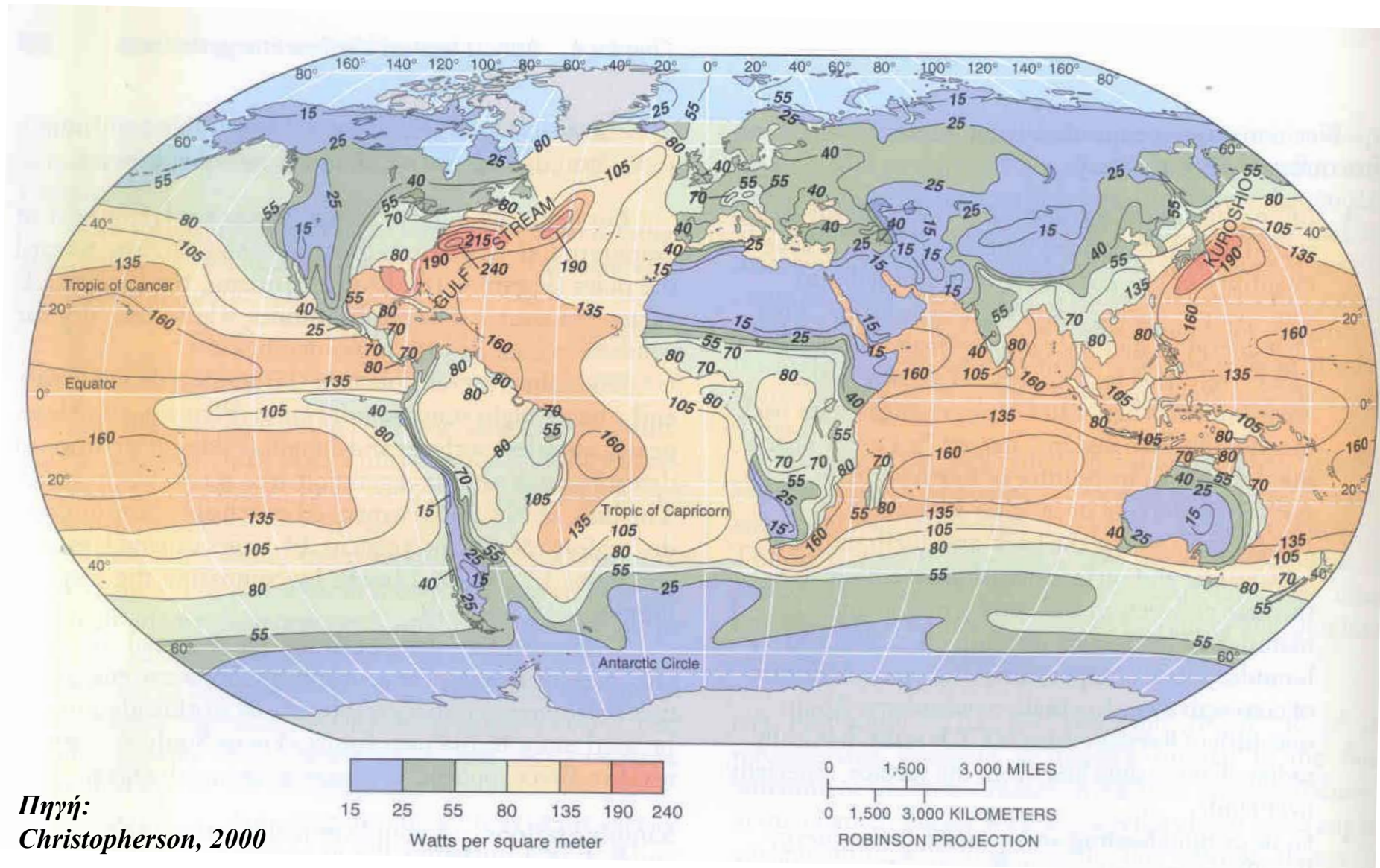
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΛΑΦΡΟΣ (W/m^2)



ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΘΑΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ (W/m^2)



ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ (W/m^2)



Μέτρηση της εξάτμισης

- Όργανο: εξατμισίμετρο
 - Διάφοροι τύποι λεκάνης, π.χ. λεκάνη τύπου A, λεκάνη τύπου Colorado, λεκάνη GGI-3000, λεκάνη 20 m² κτλ.
- Μετρούμενο μέγεθος: όχι η φυσική εξάτμιση E αλλά η προφανώς διαφοροποιημένη εξάτμιση από το εξατμισίμετρο E_m .
- Εκτίμηση της φυσικής εξάτμισης από υδάτινο σώμα ή της εξατμοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς

$$E = k E_m$$

όπου k ο συντελεστής εξατμισιμέτρου, κατά κανόνα μικρότερος από 1.

- Λόγω της αβεβαιότητας ως προς την τιμή του k και της συχνής αναξιοπιστίας των μετρήσεων του εξατμισιμέτρου, κατά κανόνα είναι προτιμότερη η εκτίμηση της εξάτμισης ή εξατμοδιαπνοής με εφαρμογή της μεθόδου Penman ή των τροποποιήσεών της.

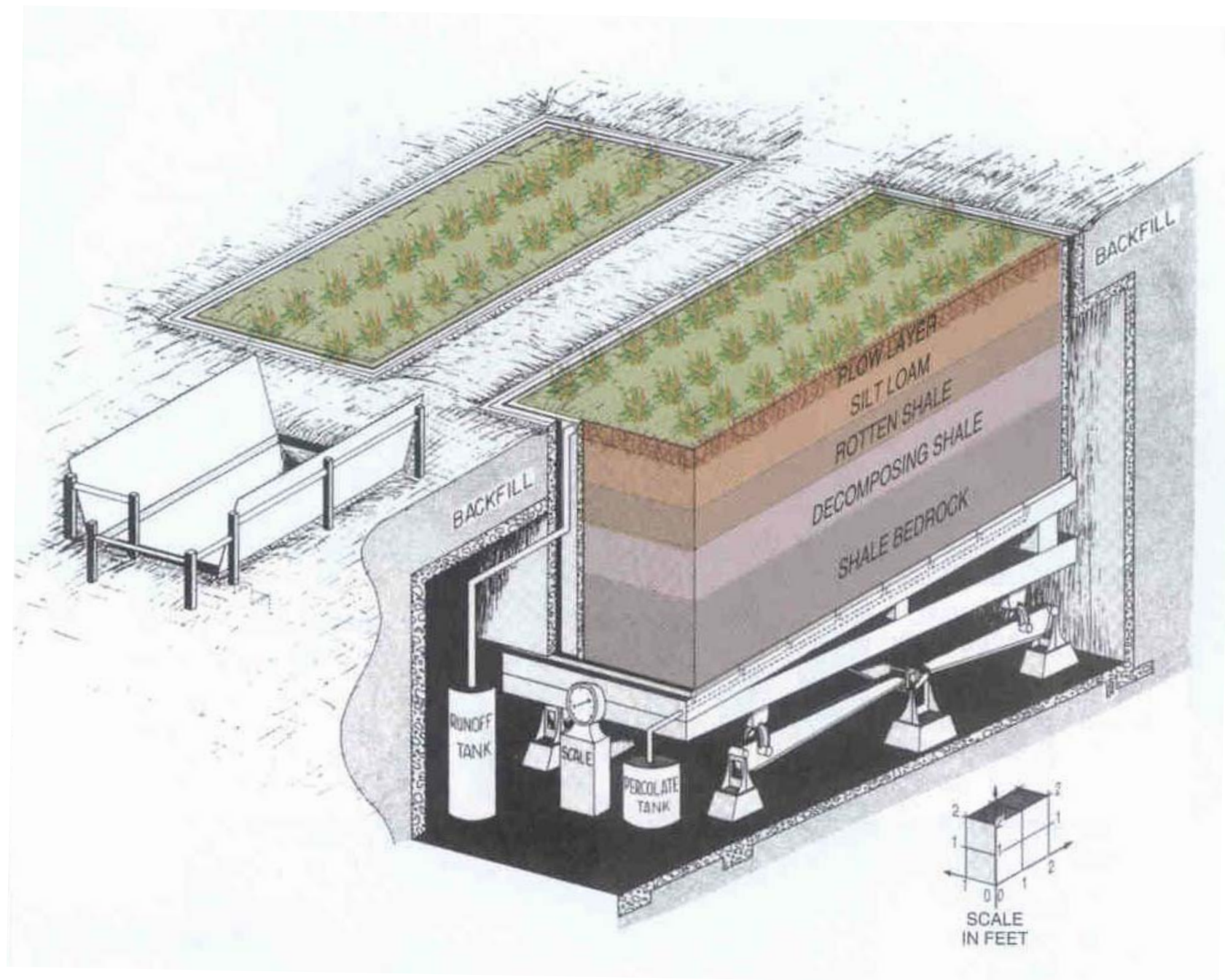
Εξατμισόμετρο



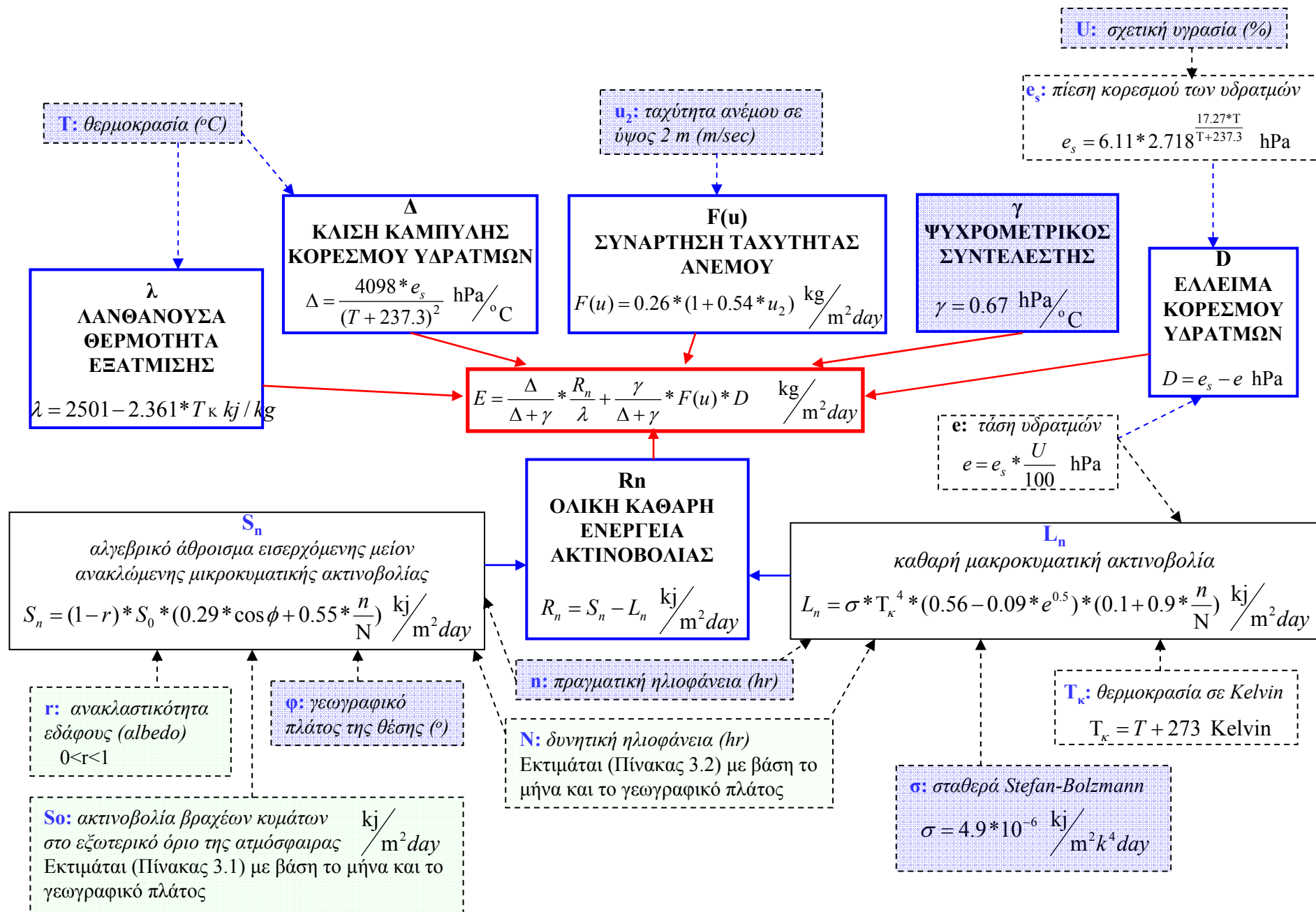
Εξατμισίμετρο



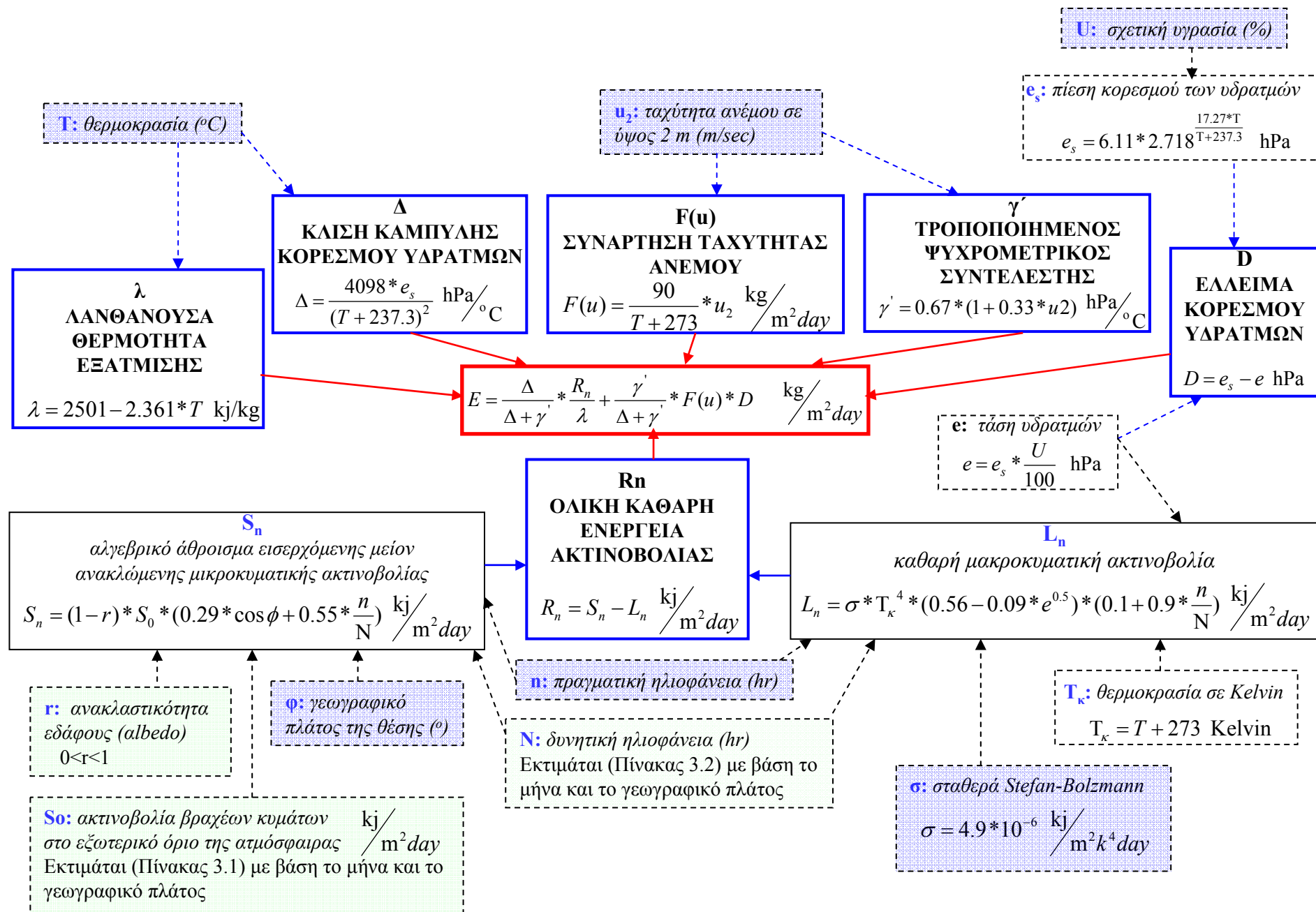
ΛΥΣΙΜΕΤΡΟ



ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ (E) ΚΑΤΑ PENMAN



ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ (Ε) ΚΑΤΑ PENMAN-MONTEITH



Υψομετρική μεταβολή της ταχύτητας ανέμου

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_0}}{\ln \frac{z_1}{z_0}} \quad \begin{array}{l} \text{όπου} \\ u_1, u_2 \text{ η ταχύτητα ανέμου σε ύψη } z_1 \text{ και } z_2 \text{ αντίστοιχα} \\ z_0 \text{ η παράμετρος τραχύτητας} \end{array}$$

**Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας z_0
για διάφορες φυσικές επιφάνειες (cm)**

Πάγος	0.001
Ασφαλτοστρωμένη επιφάνεια	0.002
Υδάτινη επιφάνεια	0.01-0.06
Χλόη ύψους μέχρι 1cm	0.1
Χλόη ύψους μέχρι 1-10 cm	0.1-0.2
Χλόη-σιτηρά κλπ ύψους 10-50 cm	2-5
Φυτοκάλυψη ύψους 1-2 m	20
Δένδρα ύψους 10-15 m	40-70

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΚΑΤΑ BLANEY-CRIDDLE (1950)

$$E = \frac{K * (1.8 * T + 32) * p}{3.94}$$

όπου:

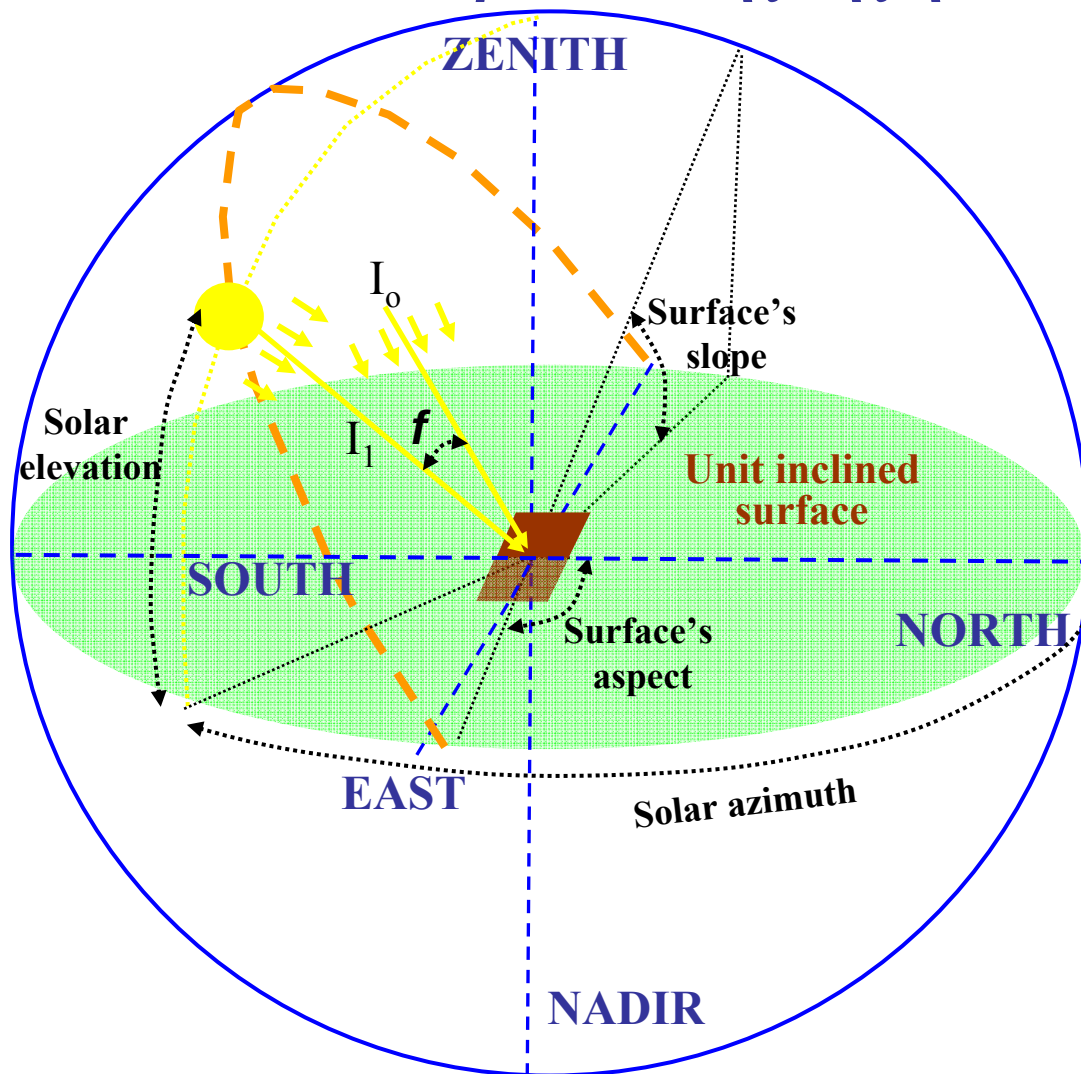
K φυτικός συντελεστής (από πίνακα 3.7)
T μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα σε οC
p το ποσοστό ωρών ημέρας του συγκεκριμένου μήνα σε σχέση με το σύνολο των ωρών ημέρας του έτους (%). Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$p = 100 * N * \mu / (365 * 12)$$

όπου:

N αστρονομική διάρκεια ημέρας (hr) (από πίνακα 3.2)
μ ημέρες του μήνα

Παράγοντες που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας



Αζιμούθιο ηλίου-azimuth (Azm)

Η γωνία μεταξύ (α) του επιπέδου που περνάει από τον ήλιο, τον παρατηρητή και το zenith του και (β) της γραμμής που συνδέει τον παρατηρητή και το Βορρά. Η γωνία μετριέται από το Βορρά στη φορά των δεικτών του ρολογιού σε μοίρες (0-360).

Υψόμετρο ηλίου-Elevation (Elv).

Η γωνία μεταξύ (α) της γραμμής του ορίζοντα του παρατηρητή και (β) της γραμμής που συνδέει τον παρατηρητή και τον ήλιο. Η γωνία μετριέται από τον ορίζοντα προς τα πάνω σε μοίρες (0-90).

Κλίση κυτάρων -Slope (Slp)

Η κλίση ενός κυτάρου είναι η μεγαλύτερη κλίση ενός επιπέδου που ορίζεται από το κύταρο και τα οκτώ γειτονικά του. Η γωνία μετριέται σε μοίρες (0-90).

Διεύθυνση κυτάρων-Aspect (Asp)

Η διεύθυνση που 'βλέπει' η κλίση. Η γωνία μετριέται από το Βορρά στη φορά των δεικτών του ρολογιού σε μοίρες (0-360). Επίπεδα κύταρα παίρνουν την τιμή -1.

Υπολογισμός της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας (W/m²)

$$I = I_o * d * \cos f$$

$$I_o \approx 1367 \text{ W/m}^2$$

$$\begin{aligned} \cos f = & \sin Az_m * \cos El_v * \cos(90 - Sl_p) * \sin As_p + \\ & \cos Az_m * \cos El_v * \cos(90 - Sl_p) * \cos As_p + \\ & \sin El_v * \sin(90 - Sl_p) \end{aligned}$$

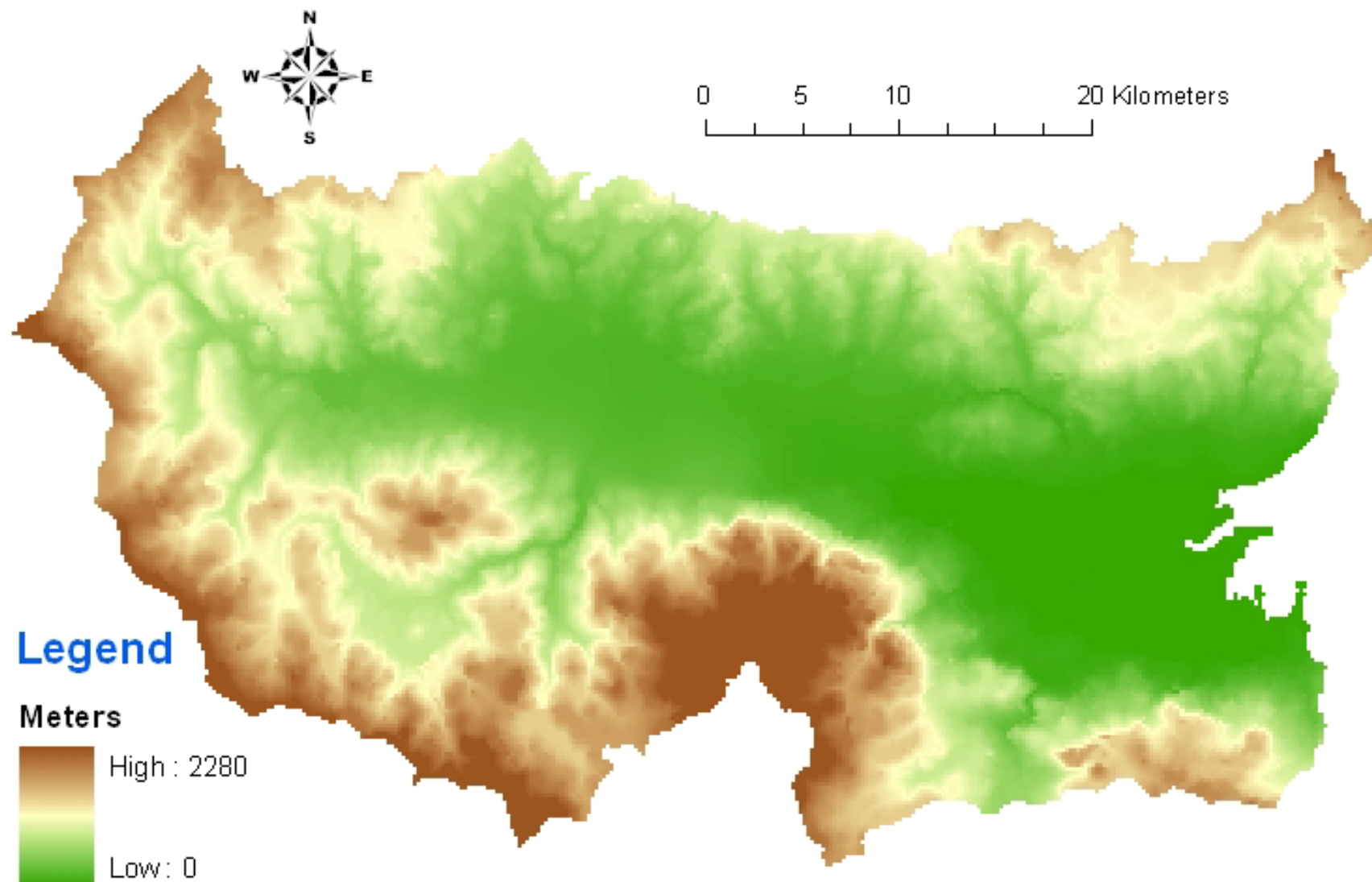
$$d = 1 + 0.034 * \cos(2 * \pi * J / 365 - 0.05)$$

Ψηφιακό μοντέλο εδάφους

Διάσταση κανάβου: 200x200 m

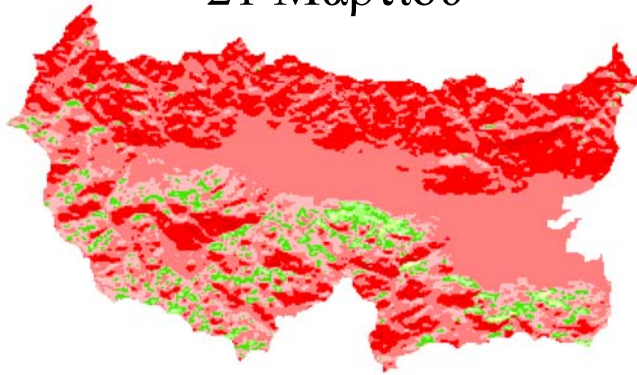
Αριθμός pixels: 45722

Μέσο υψόμετρο: 626 m



Ημερήσιες κατανομές δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)

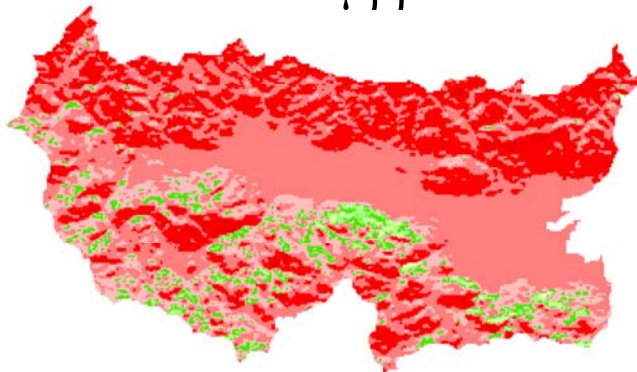
21 Μαρτίου



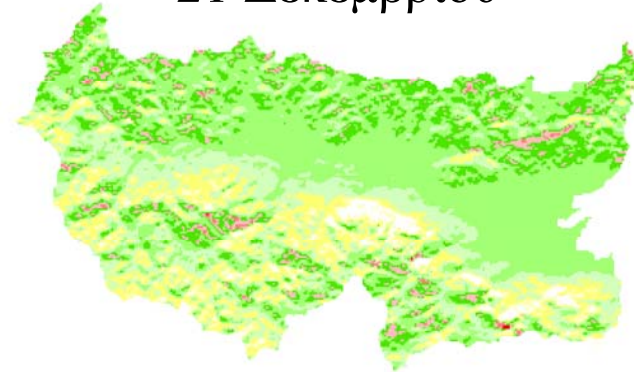
21 Ιουνίου



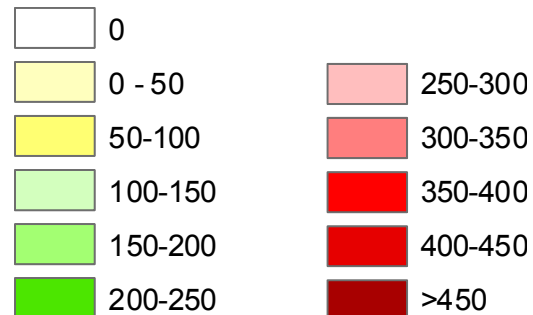
22 Σεπτεμβρίου



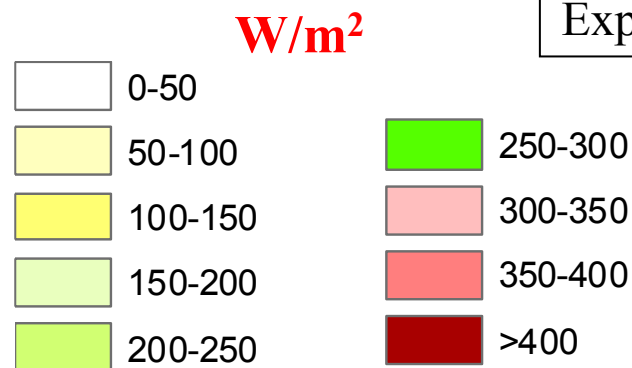
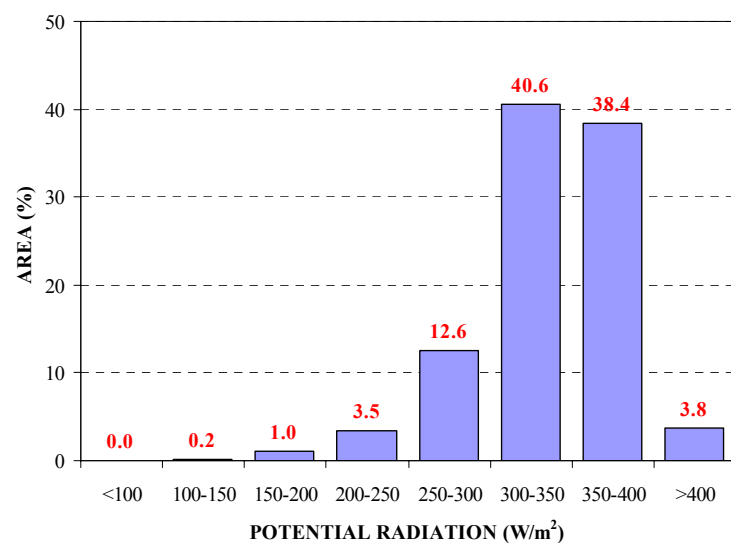
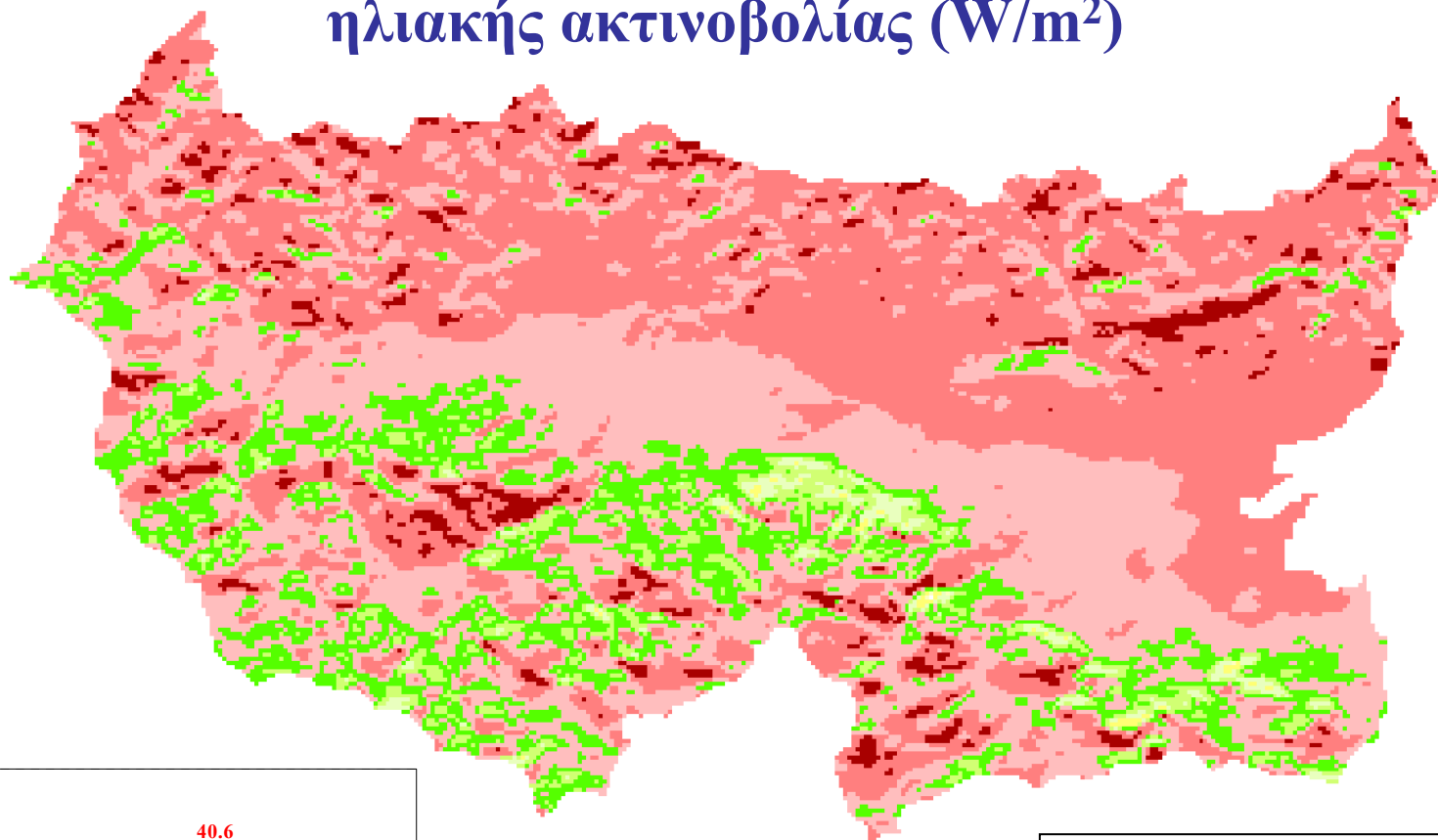
21 Δεκεμβρίου



W/m^2



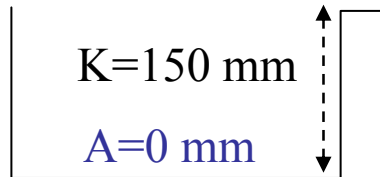
Ετήσια κατανομή δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)



Calculated mean: 323
Expected mean: 334

Μοντέλο υδρολογικού ισοζυγίου

Τέλος Σεπτεμβρίου



K: Χωρητικότητα δεξαμενής

B: Βροχόπτωση

ΔE : Δυνητική εξατμισοδιαπνοή

ΠΕ: Πραγματική εξατμισοδιαπνοή

A: Απόθεμα

Q: Απορροή

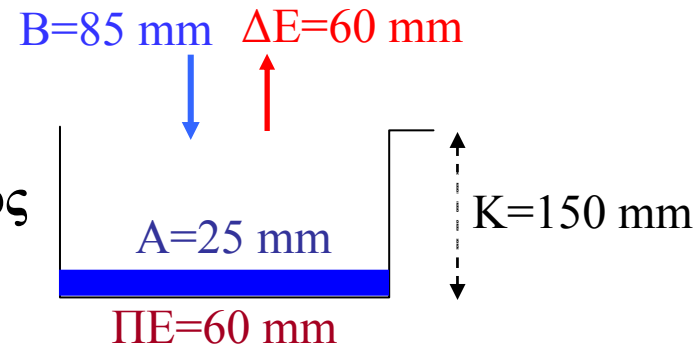
$$B_n \geq \Delta E_n$$

$$\text{ΠΕ}_n = \Delta E_n$$

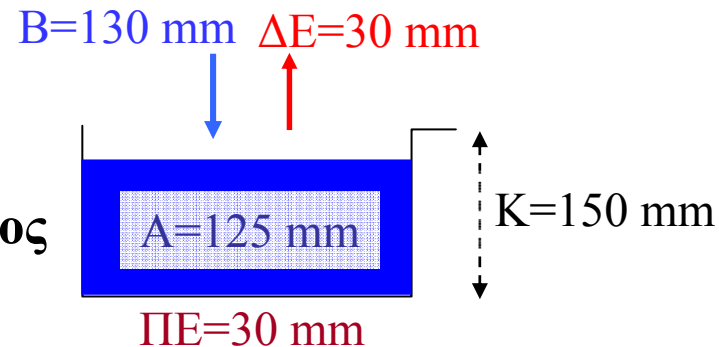
$$A_n = \min(A_{n-1} + B_n - \text{ΠΕ}_n, K)$$

$$Q_n = \max(A_{n-1} + B_n - \Delta E_n - K, 0)$$

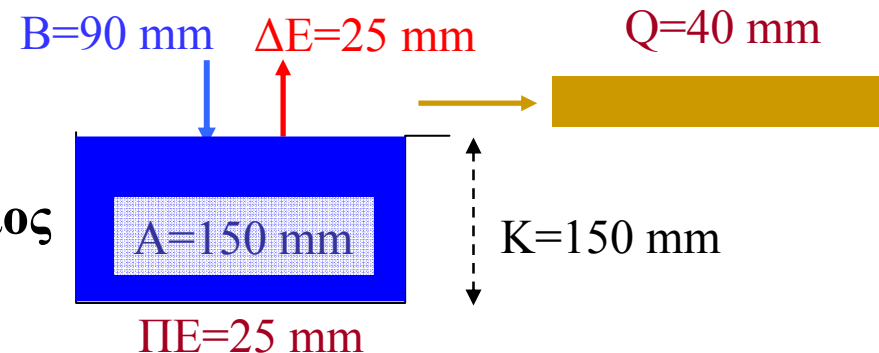
Οκτώβριος



Νοέμβριος

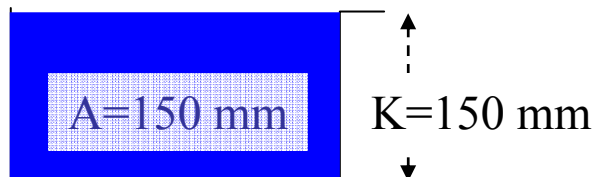


Δεκέμβριος



Μοντέλο υδρολογικού ισοζυγίου

Τέλος Μαρτίου



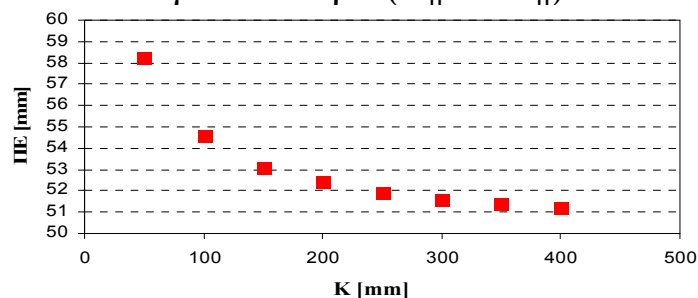
$$B_n < \Delta E_n$$

$$ΠΕ_n = B_n + A_{n-1} * (1 - \exp [(B_n - \Delta E_n)/K])$$

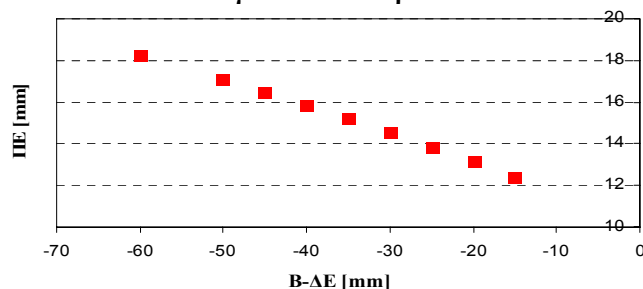
$$A_n = \min(A_{n-1} + B_n - ΠΕ_n, K)$$

$$Q_n = 0$$

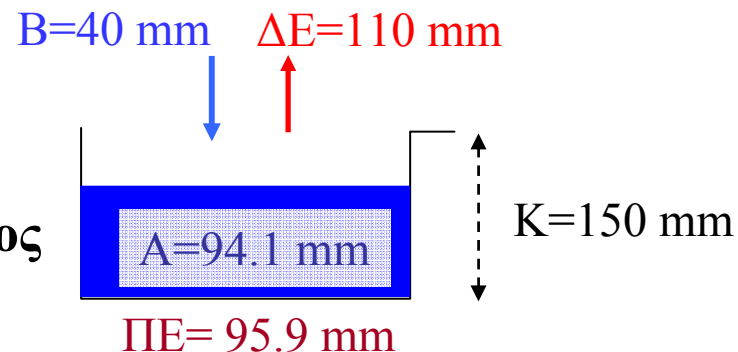
Σχέση ΠΕ και K
για σταθερό $(B_n - \Delta E_n)$



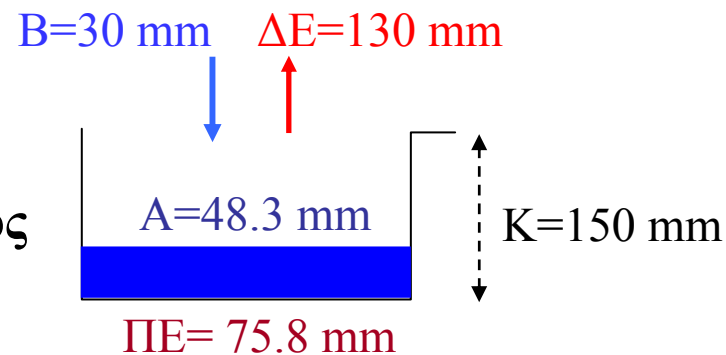
Σχέση ΠΕ και $(B_n - \Delta E_n)$
για σταθερό K



Απρίλιος



Μάιος



Ιούνιος

