



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

---

# Ειδικά κεφάλαια παραγωγής ενέργειας

Ενότητα 3 (β): Μη Συμβατικές Πηγές Ενέργειας

Αν. Καθηγητής Γεώργιος Μαρνέλλος  
(Γραφείο 208)  
Τηλ.: 24610 56690,  
e-mail: [gmarnellos@uowm.gr](mailto:gmarnellos@uowm.gr)

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

---



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

# Άδειες Χρήσης

---

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



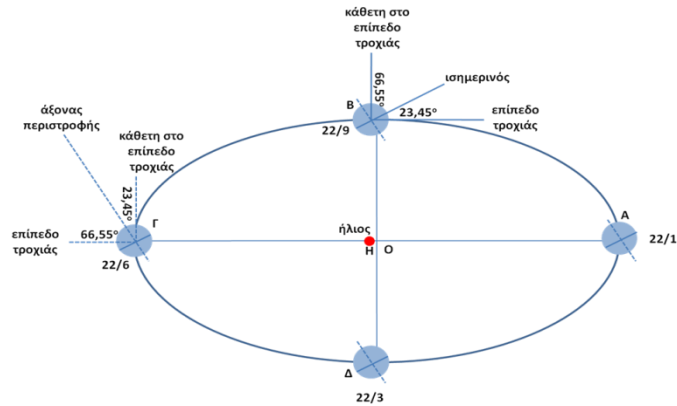
# Ηλιακή ενέργεια

---

Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνειες σταθερής και μεταβαλλόμενης κλίσης.



# 1. Απόσταση Ήλιου – Γης και Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας ( $\alpha$ )



Η γη κινείται σε ελλειπτική τροχιά με χαρακτηριστικά:

$HA = \text{περιήλιο} = 147 \cdot 10^6 \text{ km}$   
 $H\Gamma = \text{αφήλιο} = 152 \cdot 10^6 \text{ km}$   
 $OH = (H\Gamma - HA)/2 = 2,5 \cdot 10^6 \text{ km}$   
 $\text{Εκκεντρότητα } e = OH/OA = 0.0167$   
 $OA = \alpha = (HA + H\Gamma)/2 = 149,5 \cdot 10^6 \text{ km}$   
 $OB = \beta = \alpha (1 - e^2)^{1/2} = 149,5 \cdot 10^6 \text{ km}$

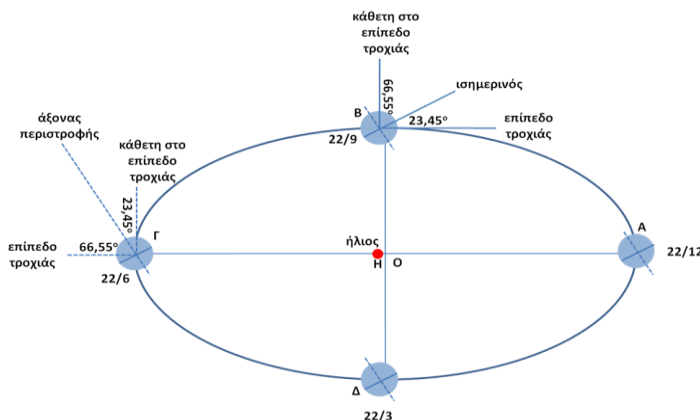
Λόγω της μικρής εκκεντρότητας ο μεγάλος ημιάξονας είναι περίπου ίσος με τον μικρό ημιάξονα και η ελλειπτική τροχιά πλησιάζει τη μορφή κύκλου.

Ο ήλιος βρίσκεται στο μεγάλο ημιάξονα της τροχιάς, στο σημείο H και όχι στο κέντρο O. Η απόσταση ήλιου – γης μεταβάλλεται με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται και η ένταση της ακτινοβολίας που φθάνει στη γη, σύμφωνα με τη σχέση:

$$I_{ov} = I_{OAVE} (1 + 0,0333 \times \text{συν} (360v/365)) \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ όπου:}$$



# 1. Απόσταση Ήλιου – Γης και Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας ( $\beta$ )



Η γη κινείται σε ελλειπτική τροχιά με χαρακτηριστικά:

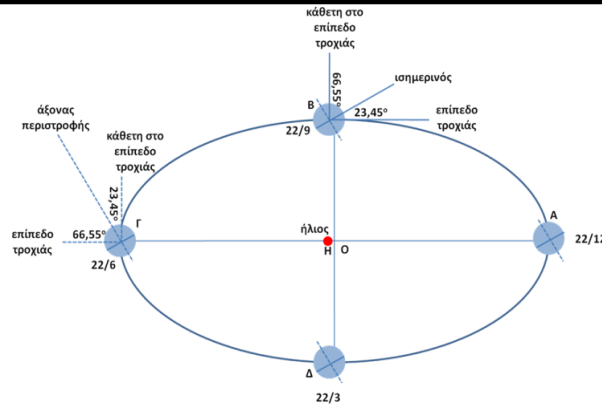
$$\begin{aligned} HA &= \text{περίηλιο} = 147 \cdot 10^6 \text{ km} \\ HG &= \text{αφήλιο} = 152 \cdot 10^6 \text{ km} \\ OH &= (HG - HA)/2 = 2,5 \cdot 10^6 \text{ km} \\ \text{Εκκεντρότητα } e &= OH/OA = 0.0167 \\ OA &= \alpha = (HA + HG)/2 = 149,5 \cdot 10^6 \text{ km} \\ OB &= \beta = \alpha (1 - e^2)^{1/2} = 149,5 \cdot 10^6 \text{ km} \end{aligned}$$

Λόγω της μικρής εκκεντρότητας ο μεγάλος ημιάξονας είναι περίπου ίσος με τον μικρό ημιάξονα και η ελλειπτική τροχιά πλησιάζει τη μορφή κύκλου.

- Ιον: η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει σε επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση της ακτινοβολίας, έξω από τα όρια της ατμόσφαιρας, τη ν-οστή ημέρα του έτους ( $1^{\text{η}}$  η  $1 \text{ Ιαν}$ ).
- $I_{OAVE} = 1.373 \text{ W/m}^2$  κάθετο στην διεύθυνση της ακτινοβολίας, η μέση ετήσια ένταση ακτινοβολίας στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας.
- ν: ο αύξων αριθμός της κάθε ημέρας του έτους.



## 2. Οι συνέπειες της κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο (1/4)



Σε κάθε νέα θέση, κατά την περιφορά, ο άξονας της γης παραμένει παράλληλος με την προηγούμενη. Όμως δεν είναι κάθετος στο επίπεδο της ελλειπτικής τροχιάς και αποκλίνει από την κάθετο κατά:

$$\Delta = 23,45^\circ$$

Το γεγονός αυτό είναι υπεύθυνο για την αλλαγή των εποχών κατά τη διάρκεια του έτους και για τη μεταβολή της διάρκειας της ημέρας και της νύχτας.

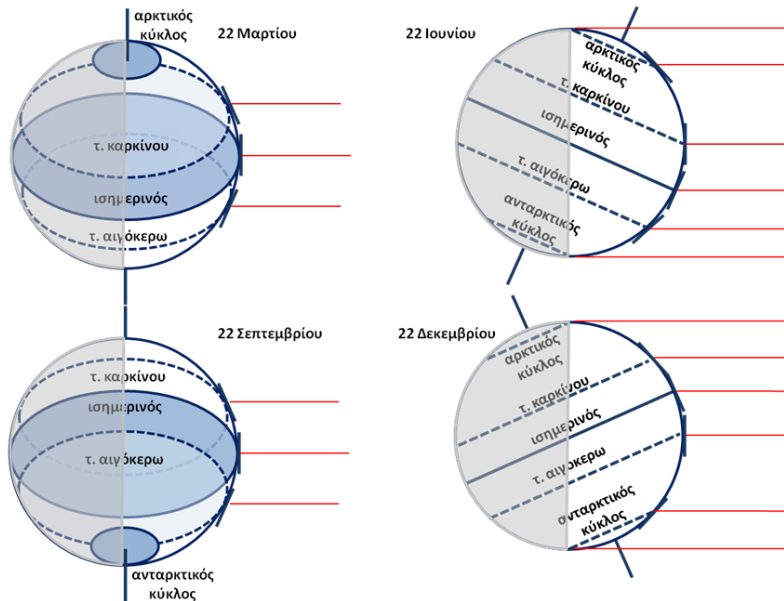
Η γωνία  $\Delta = 23,45^\circ$  ορίζει:

Το μέγιστο γεωγραφικό πλάτος (θετικό από τον ισημερινό και προς το βορά ή αρνητικό από τον ισημερινό προς το νότο) στο οποίο ο ήλιος μπορεί να φωτίσει κατακόρυφα (υπό γωνία  $90^\circ$ ) – το μέγιστο αυτό βόρειο πλάτος  $+23,45^\circ$  ορίζει τον **τροπικό του καρκίνου**, ο οποίος φωτίζεται κατακόρυφα στις 12 το μεσημέρι (ηλιακή ώρα) στις 22/6 και το μέγιστο νότιο πλάτος  $-23,45^\circ$  ορίζει τον **τροπικό του αιγόκερου**, ο οποίος φωτίζεται κατακόρυφα στις 12 το μεσημέρι (ηλιακή ώρα) στις 22/12.

- ✓ Τη γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι κάθε ημέρας του έτους, σε σχέση με το επίπεδο του ισημερινού (η γωνία αυτή ονομάζεται  $\delta_v$  και λαμβάνει τιμές στο διάστημα  $-\Delta < \delta_v < \Delta$ ).



# 2. Οι συνέπειες της κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο (2/4)



Η τιμή της γωνίας  $\delta_v$  κυμαίνεται από  $-23,45^\circ$  μέχρι  $23,45^\circ$ , είναι διαφορετική για κάθε ημέρα του χρόνου και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\delta_v = 23,45 \cdot \eta\mu \left( 360 \frac{284+v}{365} \right) \quad 4.$$

όπου  $v$  είναι ο χαρακτηριστικός αριθμός της συγκεκριμένης ημέρας του χρόνου ( $v = 1$  για την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου).

Κατά την περιφορά της γης η γωνία  $\delta_v$  (απόκλιση) παίρνει τις παρακάτω τιμές, όπως μπορεί να υπολογιστεί και από την παραπάνω σχέση:

- |                    |                  |                         |                        |
|--------------------|------------------|-------------------------|------------------------|
| • για $v = 81$     | (22 Μαρτίου)     | $\delta = 0^\circ$      | (εαρινή ισημερία)      |
| • για $v = 172,25$ | (22 Ιουνίου)     | $\delta = 23,45^\circ$  | (θερινό ηλιοστάσιο)    |
| • για $v = 263,5$  | (22 Σεπτεμβρίου) | $\delta = 0^\circ$      | (φθινοπωρινή ισημερία) |
| • για $v = 354,75$ | (22 Δεκεμβρίου)  | $\delta = -23,45^\circ$ | (χειμερινό ηλιοστάσιο) |





## 2. Οι συνέπειες της κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο (3/4)

---

Ο ήλιος εμφανίζεται στην Ανατολή, φθάνει στο μέγιστο ημερήσιο ύψος του  $h_v$  και χάνεται στη Δύση.

Τα μέγιστο ημερήσιο ύψος  $h_v$ :

- ✓ Μετριέται σε μοίρες και μεταβάλλεται από μέρα σε μέρα.
- ✓ Για οποιοδήποτε τόπο, στη διάρκεια ενός έτους, το  $h_v$  μεταβάλλεται κατά  $46,90^\circ$  ( $23,45$  έως  $-23,45^\circ$ ).

Σε έναν τόπο μία οποιαδήποτε μέρα  $v$  του έτους είναι:

$$h_v = 90 - \phi + \delta_v$$

όπου  $\phi$  το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και  $\delta_v$  η γωνία  $\delta$  τη  $v$ -οστή μέρα του έτους.



## 2. Οι συνέπειες της κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο (4/4)

---

- Στο βόρειο ημισφαίριο λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του στις 22/6 και την ελάχιστη τιμή του στις 22/12 .
- Στην Ξάνθη με γεωγραφικό πλάτος  $41,13^\circ$  το  $h_v$ , είναι:

Στις 22 Μαρτίου	$90 - 41,13$	$= 48,87^\circ$ .
Στις 22 Ιουνίου	$90 - 41,13 + 23,45$	$= 72,32^\circ$ .
Στις 22 Σεπτεμβρίου	$90 - 41,13$	$= 48,87^\circ$ .
Στις 22 Δεκεμβρίου	$90 - 41,13 - 23,45$	$= 25,42^\circ$ .



# 3. Προσδιορισμός της διάρκειας της ημέρας $\nu$ (1α)

**Η ωριαία γωνία  $\omega$ :**

- Είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο μεσημβρινό επίπεδο (το επίπεδο που είναι κάθετο στην επιφάνεια της γής και με κατεύθυνση από το βόρειο προς τον νότιο πόλο) μίας θέσης  $A$  και της θέσης του ήλιου  $\eta$



### 3. Προσδιορισμός της διάρκειας της ημέρας $\nu$ (1β)

- η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά της ηλιακής μεσημβρίας) και οφείλεται στην περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της με γωνιακή ταχύτητα  $15^\circ$  ανά ώρα.
- Παίρνει αρνητικές τιμές από την ανατολή μέχρι το ηλιακό μεσημέρι και θετικές από το ηλιακό μεσημέρι μέχρι τη δύση του ηλίου, ενώ το ηλιακό μεσημέρι  $\omega = 0$ .



### 3. Προσδιορισμός της διάρκειας της ημέρας $\nu$ (2α)

Η Ζενιθιακή γωνία  $\theta_z$ :

✓ είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κάθετο στο οριζόντιο επίπεδο της θέσης A και στην διεύθυνση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{συν}\theta_z = \eta\mu\phi.\eta\mu\delta\nu + \text{συν}\phi.\text{συν}\delta\nu.\text{συν}\omega$$

- Όταν ανατέλλει ή δύει ο ήλιος:  $\text{συν}\theta_z = 0$  και  $\theta_z = \pm 90^\circ$ .



### 3. Προσδιορισμός της διάρκειας της ημέρας $\nu$ (2β)

- Αν  $A = \eta\mu\phi. \eta\mu\delta\nu$  και  $B = \sigma\upsilon\nu\phi.\sigma\upsilon\nu\delta\nu$ , τότε  $\sigma\upsilon\nu\theta_z = A + B\sigma\upsilon\nu\omega$  και κατά την ανατολή ή τη δύση του ήλιου (όπου  $\sigma\upsilon\nu\theta_z = 0$ ) έχουμε  $A + B\sigma\upsilon\nu\omega_\Delta = 0$  οπότε  $\sigma\upsilon\nu\omega_\Delta = -\epsilon\phi\phi.\epsilon\phi\delta\nu$  και  $\omega_\Delta = \tau\omicron\xi\sigma\upsilon\nu (-\epsilon\phi\phi.\epsilon\phi\delta\nu)$ ,
  - όπου  $\omega_\Delta$  η **ωριαία γωνία δύσης** (και  $-\omega_\Delta$  ωριαία γωνία ανατολής) του ήλιου.
- ✓ η διάρκεια της ημέρας είναι ίση με τον χρόνο που ο ήλιος είναι πάνω από τον ορίζοντα:

$$T = \frac{2}{15} \tau\omicron\xi\sigma\upsilon\nu(-\epsilon\phi\phi \epsilon\phi\delta\nu) = \frac{2\omega_\Delta}{15}$$



## 4. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Απουσία Ατμόσφαιρας (1/4)

---

- Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο, θα πρέπει να γνωρίζουμε:
  - Την κλίση του συλλέκτη (γωνία  $\beta$ ).
  - Την ημέρα και το μήνα του έτους (γωνία  $\delta$ ).
  - Τη θέση του τόπου (γεωγραφικό πλάτος  $\phi$ ).
  - Τη θέση του ήλιου στον ορίζοντα (ωριαία γωνία  $\omega$ ).
  - Την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας στα όρια της ατμόσφαιρας.



## 4. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Απουσία Ατμόσφαιρας (2/4) (α)

---

Αν τοποθετήσουμε ένα συλλέκτη σε οριζόντιο επίπεδο ή με κλίση  $\beta$  (από  $0^\circ$  μέχρι  $90^\circ$ ) ως προς το οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της γης, ορίζονται οι παρακάτω γωνίες:

- ✓ Η κλίση  $\beta$  της επιφάνειας συλλέκτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο, είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην επιφάνεια του συλλέκτη και το οριζόντιο επίπεδο .
- ✓ Η ζενιθιακή γωνία  $\theta_z$ , που σχηματίζεται ανάμεσα στην κάθετο στο οριζόντιο επίπεδο και στην διεύθυνση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.





## 4. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Απουσία Ατμόσφαιρας (2/4) (β)

- ✓ **Η γωνία πρόσπτωσης  $\theta$** , που σχηματίζεται ανάμεσα στην κάθετο σε ένα σημείο του συλλέκτη και στη διεύθυνση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο σημείο (**όταν  $\beta = 0$  τότε  $\theta_z = \theta$** ).
- ✓ **Η Αζιμουθιακή γωνία  $\gamma$**  επιφάνειας του συλλέκτη, που όταν ο συλλέκτης είναι προσανατολισμένος ακριβώς στο νότο η γωνία  $\gamma$  είναι ίση με μηδέν. Η γωνία  $\gamma$  ανατολικά είναι αρνητική με τιμές από 0 μέχρι  $-180^\circ$  και δυτικά θετική από 0 μέχρι  $180^\circ$ .
- ✓ **Η ωραία γωνία  $\omega$** , που είναι η γωνία ανάμεσα στον μεσημβρινό του τόπου και της θέσης του ήλιου (γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του μεσημβρινού).



## 4. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Απουσία Ατμόσφαιρας (3/4) (α)

Η γωνία  $\theta$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} & \text{συν}\theta = \eta\mu\delta\nu \cdot \eta\mu\phi \cdot \text{συν}\beta - \\ & \eta\mu\delta \cdot \text{συν}\phi \cdot \eta\mu\beta \cdot \text{συν}\gamma + \text{συν}\delta\nu \cdot \text{συν}\phi \cdot \text{συν}\beta \cdot \text{συν}\omega + \text{συν}\delta\nu \cdot \eta\mu\phi \cdot \eta\mu\beta \cdot \text{συν}\gamma \cdot \\ & \text{συν}\omega + \text{συν}\delta \cdot \eta\mu\beta \cdot \eta\mu\gamma \cdot \eta\mu\omega. \end{aligned}$$

Αν ο συλλέκτης είναι προσανατολισμένος στο νότο ( $\gamma = 0$ ) και έχει κλίση  $\beta$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο:

$$\text{συν}\theta = \eta\mu(\phi - \beta) \cdot \eta\mu\delta\nu + \text{συν}(\phi - \beta) \cdot \text{συν}\delta\nu \cdot \text{συν}\omega . \quad 10.$$

Για οριζόντιο συλλέκτη ( $\beta = 0$ ),  $\theta = \theta_z$  και:

$$\text{συν}\theta_z = \eta\mu\phi \cdot \eta\mu\delta\nu + \text{συν}\phi \cdot \text{συν}\delta\nu \cdot \text{συν}\omega . \quad 7.$$

Για την ηλιακή λιακή μεσημβρία ( $\omega=0$ ,  $\text{συν}\omega=1$ ):

$$\text{συν}\theta = \text{συν}[(\phi - \beta) - \delta\nu] \quad \text{και} \quad \theta = (\phi - \beta) - \delta\nu.$$



## 4. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Απουσία Ατμόσφαιρας (3/4) (β)

Για κάθετη πρόσπτωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, κατά την ηλιακή μεσημβρία σε συλλέκτη με βέλτιστη κλίση βορρ η συλλέκτη που παρακολουθεί την ημερήσια διαδρομή του ήλιου, θα πρέπει  $\theta = 0$  και η γωνία κλίσης του συλλέκτη να είναι  $\text{βορρ} = \phi - \delta_n$ .

✓ Η ένταση ακτινοβολίας ( $\text{W/m}^2$ ) που προσπίπτει πάνω σε κεκλιμένη επιφάνεια είναι (νόμος του Lambert):

$$I_{\text{ovk}} = I_{\text{ov}} \cdot \text{συν}\theta \quad [\text{W/ m}^2], \quad 11.$$

όπου  $I_{\text{ov}}$  η ένταση ακτινοβολίας έξω από τα όρια της γήινης ατμόσφαιρας, την ημέρα  $n$ :

$$I_{\text{ov}} = I_{\text{OAVE}} (1 + 0,0333 \times \text{συν} (360n/365)) \quad [\text{W/m}^2], \quad 3.$$

και  $I_{\text{OAVE}} = 1373 \text{ W/m}^2$  (μέση ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ή ηλιακή σταθερά).



## 4. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Απουσία Ατμόσφαιρας (4/4) (α)

- ✓ Η ηλιακή ενέργεια που δέχεται ο συλλέκτης, στα όρια της ατμόσφαιρας, σε χρόνο  $t$  (σε ώρες) είναι:  $H_{οκ} = I_{οκ} \cdot t$  [W.h/ m<sup>2</sup>]

13.

Η ηλιακή ενέργεια που δέχεται συλλέκτης που παρακολουθεί τον ήλιο απουσία ατμόσφαιρας, την ημέρα  $v$  είναι:

$$H_{οκ} = I_{οκ} \cdot T \quad [\text{W.h/ m}^2]$$

όπου  $T = \frac{2}{15} \tau \sigma \nu \nu (-\epsilon \phi \phi \epsilon \phi \delta \nu) = \frac{2 \omega_{\Delta}}{15}$  η διάρκεια της ημέρας  $v$  σε ώρες.

- ✓ Η ηλιακή ενέργεια που δέχεται οριζόντιος συλλέκτης απουσία ατμόσφαιρας, την ημέρα  $v$  είναι:

$$H_{ο\upsilon} = \frac{24 I_{OAVE}}{\pi} \left( 1 + 0,033 \sigma \nu \nu \frac{360 \nu}{365} \right) \left( \eta \mu \phi \cdot \eta \mu \delta \nu \cdot \frac{\pi \cdot \omega_{\Delta}}{180} + \sigma \nu \nu \phi \cdot \sigma \nu \nu \delta \nu \cdot \eta \mu \omega_{\Delta} \right)$$

[W.h/ m<sup>2</sup>]

14β.



## 4. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Απουσία Ατμόσφαιρας (4/4) (β)

- Η ηλιακή ενέργεια που δέχεται συλλέκτης απουσία ατμόσφαιρας, στη διάρκεια ενός μήνα, υπολογίζεται είτε από το άθροισμα των ημερήσιων ποσών ενέργειας είτε ως το γινόμενο της συνολικής ηλιακής ενέργειας της 15<sup>ης</sup> ημέρας του μήνα επί τον αριθμό ημερών του μήνα (M):

$$H_{OM} = M \cdot H_{on} \quad [\text{W.h/ m}^2] \quad 15\beta.$$

ανεξάρτητα από το αν το  $H_{on}$  αφορά συλλέκτη που ακολουθεί την ημερήσια τροχιά του ήλιου η οριζόντιο συλλέκτη.



## 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας – Κλίμακα Μάζας Αέρα AM (1/3) (α)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, κατά τη διαδρομή της μέσα από την ατμόσφαιρα, ελαττώνεται λόγω απορρόφησης, που εξαρτάται από τη μάζα αέρα που συναντά κατά την διαδρομή της.

Συμβατικά, το μήκος της διαδρομής μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα, χαρακτηρίζεται από μία **κλίμακα μάζας αέρα AM** βαθμονομημένης ως προς τη ζενιθιακή γωνία  $\theta_z$ :

$$AM = 1/\sigma\eta\theta_z .$$

$AM = 1$  ( $1/\sigma\eta\theta_z = 1 \Leftrightarrow \sigma\eta\theta_z = 1 \Leftrightarrow \theta_z = 0^\circ$ ) η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται από την ελάχιστη δυνατή μάζα ατμόσφαιρας όταν ο ήλιος βρίσκεται κατακόρυφα ( $\theta_z = 90^\circ$ ) πάνω από το οριζόντιο επίπεδο. Στην περίπτωση αυτή η ένταση της ακτινοβολίας που φθάνει στο συλλέκτη είναι  $1060 \text{ W/m}^2$ .

$AM = 1,5$  ( $1/\sigma\eta\theta_z = 1,5 \Leftrightarrow \sigma\eta\theta_z = 0,666 \Leftrightarrow \theta_z = 48,1^\circ$ ) η θέση του ήλιου αποκλίνει κατά  $48,1^\circ$  από την κατακόρυφο και η ένταση της ακτινοβολίας που φθάνει σε αυτό ελαττώνεται σε  $935 \text{ W/m}^2$ .



## 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας – Κλίμακα Μάζας Αέρα AM (1/3) (β)

Σε κάθε περίπτωση, ο λόγος της ακτινοβολίας  $I$  που φθάνει στο επίπεδο της θάλασσας, αφού έχει διανύσει μία απόσταση μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα προς την ακτινοβολία  $I_0$  έξω από τα όρια της ατμόσφαιρας, υπολογίζεται από την εμπειρική συσχέτιση:

$$I/I_0 = 0,025AM^2 - 0,212AM + 0,954 \quad 16\alpha.$$

η οποία για την ολική ημερήσια και μηνιαία ηλιακή ενέργεια παίρνει τις μορφές:

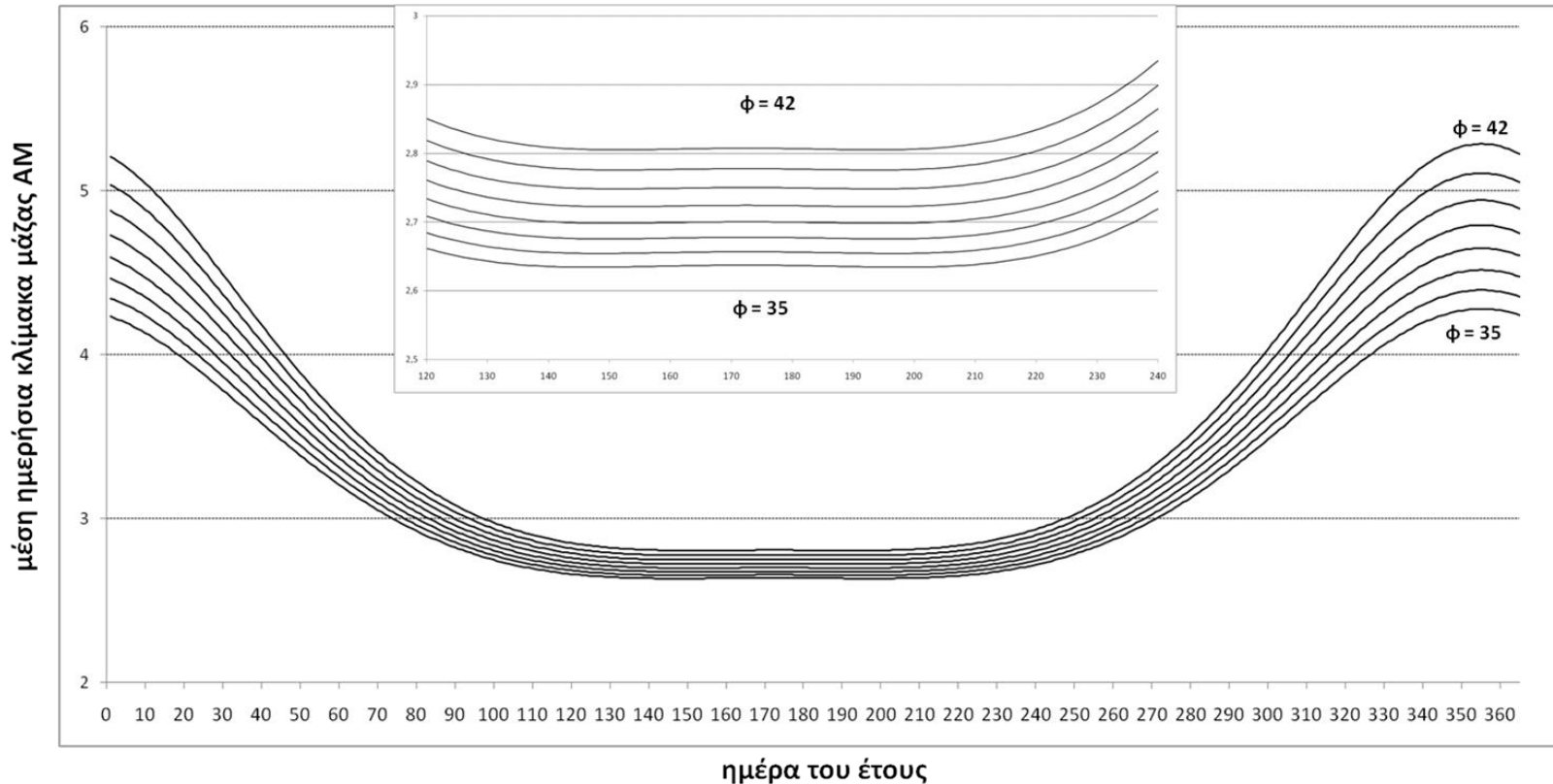
$$H_H/H_{0H} = 0,025AM^2 - 0,212AM + 0,954 \quad 16\beta.$$

$$H_H/H_{0M} = 0,025AM^2 - 0,212AM + 0,954 \quad 16\gamma.$$

\* οι συσχετίσεις αυτές δεν ισχύουν για μεγάλες τιμές του AM, δηλαδή κοντά στην ανατολή και δύση του ήλιου.



# 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας – Κλίμακα Μάζας Αέρα AM (2/3)



Μέση ημερήσια κλίμακα μάζας AM, ως προς την ημέρα του έτους και το γεωγραφικό πλάτος  $\phi$





# 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας – Κλίμακα Μάζας Αέρα AM (3/3)



Μέση ημερήσια κλίμακα μάζας AM από την ανατολή έως τη δύση του ήλιου



# 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας (1/6) (α)

---

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία, που δέχεται ένας συλλέκτης τοποθετημένος με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, αποτελείται από τρεις συνιστώσες:

α) Την **άμεση ηλιακή ακτινοβολία**, που προέρχεται απ' ευθείας από τον ήλιο και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων (γωνία  $\theta$ ).

β) Τη **διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία**, που προέρχεται από τον ουράνιο θόλο που βλέπει ο συλλέκτης και προέρχεται από το μέρος εκείνο της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο διαχέεται από μικρά σωματίδια και μόρια αέρα σε τυχαίες διευθύνσεις.

γ) Την **ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία**, που προέρχεται από το έδαφος της γύρω περιοχής, έχει σχέση με τη μορφή και το είδος του και χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή ανάκλασης  $\rho$  (για κανονικό έδαφος, στους υπολογισμούς, παίρνουμε την τιμή  $\rho = 0,20$ ).



# 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας (1/6) (β)

---

Οι τιμές του συντελεστή  $\rho$  κυμαίνονται από 0,05 για τις περιοχές με άσφαλτο και μέχρι 0,95 για τις περιοχές που είναι σκεπασμένες με καθαρό (φρέσκο) χιόνι.

Τιμές του συντελεστή ανάκλασης  $\rho$  για διάφορες επιφάνειες:

Επιφάνεια	Συντελεστής ανάκλασης $\rho$
Καθαρό χιόνι	0,80 – 0,95.
Βρώμικο χιόνι	0,40 – 0,70.
Άμμος	0,20 – 0,45.
Γρασίδι	0,15 – 0,25.



## 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας (2/6) (α)

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε συλλέκτη με κλίση  $\beta$ , είναι:

$$H_{HK} = H_{AK} + H_{\Delta K} + H_{\alpha K} \quad [\text{W.h/ m}^2] \quad 18.$$

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ένας συλλέκτης με κλίση είναι ίση με την άμεση ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ο ίδιος συλλέκτης σε οριζόντια θέση επί έναν διορθωτικό συντελεστή  $R_A$ .

Η διάχυτη ακτινοβολία είναι ίση με τη διάχυτη που δέχεται ο ίδιος συλλέκτης σε οριζόντια θέση επί ένα διορθωτικό συντελεστή  $R_{\Delta}$ .



# 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας (2/6) (β)

Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ο συλλέκτης είναι ίση με το συντελεστή ανάκλασης  $\rho$  επί την ολική ημερήσια ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο  $H_H$ , επί ένα αντίστοιχο συντελεστή διόρθωσης  $R_\alpha$ , οπότε:

$$H_{HK} = H_A \cdot R_A + H_\Delta \cdot R_\Delta + H_H \cdot \rho \cdot R_\alpha \quad [\text{W.h/ m}^2]. \quad 19.$$

όπου:  $H_A = H_H - H_\Delta \quad [\text{W.h/ m}^2].$

και  $H_\Delta/H_H = 1,727 K^2 - 2,965 K + 1,446.$

Ο συντελεστής  $K$  ονομάζεται δείκτης αιθριότητας και δίνεται από τη σχέση:

$$K = (0,895 - 0,014\phi) + 0,0001\nu + 2 \cdot 10^{-5} \nu^2 - 1,03 \cdot 10^{-7} \nu^3 + 1,5 \cdot 10^{-10} \nu^4 - 5,5 \cdot 10^{-14} \nu^5 \quad 27.$$



# 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας (3/6) (α)

Ο συντελεστής  $R_A$  ορίζεται ως:

$$R_A = \frac{\text{συν}\theta}{\text{συν}\theta_z} = \frac{\text{συν}(\phi - \beta) \cdot \text{συν}\delta_n \cdot \text{συν}\omega + \eta\mu(\phi - \beta) \cdot \eta\mu\delta_n}{\text{συν}\phi \cdot \text{συν}\delta_n \cdot \text{συν}\omega + \eta\mu\phi \cdot \eta\mu\delta_n} \quad 20.$$

και για συλλέκτη που παρακολουθεί την ημερήσια κίνηση του ήλιου λαμβάνει την τιμή 1.

Για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας ηλιακής ενέργειας που δέχεται συλλέκτης με σταθερή κλίση  $\beta$  και νότιο προσανατολισμό, ο υπολογισμός του συντελεστή  $R_A$  μπορεί να γίνει από την παραπάνω σχέση ολοκληρώνοντας τον αριθμητή από την ωριαία γωνία ανατολής μέχρι την ωριαία γωνία δύσης για το επίπεδο με κλίση (γωνία  $\omega_{\Delta\kappa}$  και γωνία  $\omega_{\Delta\kappa}$ ) και τον παρανομαστή από την ωριαία γωνία, ανατολής μέχρι την ωριαία γωνία δύσης για οριζόντιο, επίπεδο (γωνία  $\omega_{\Delta}$  και γωνία  $\omega_{\Delta}$ ):

$$R_A = \frac{\text{συν}(\phi - \beta) \cdot \text{συν}\delta_n \cdot \eta\mu\omega_{\Delta\kappa} + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_{\Delta\kappa} \cdot \eta\mu(\phi - \beta) \cdot \eta\mu\delta_n}{\text{συν}\phi \cdot \text{συν}\delta_n \cdot \eta\mu\omega_{\Delta} + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_{\Delta} \cdot \eta\mu\phi \cdot \eta\mu\delta_n} \quad 21.$$



## 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας (3/6) (β)

Η ωριαία γωνία ανατολής ή δύσης του ηλίου ( $\omega_A = -\omega_\Delta$  ή  $\omega_\Delta$ ) όταν το πλαίσιο είναι τοποθετημένο σε οριζόντια θέση, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\omega_\Delta = \text{τοξσυν} [-\epsilon\phi\phi \cdot \epsilon\phi\delta] \quad 22.$$

Η ωριαία γωνία ανατολής και δύσης του ηλίου ( $\omega_{AK} = -\omega_{\Delta K}$  και γωνία  $\omega_{\Delta K}$ ) όταν το πλαίσιο είναι τοποθετημένο με κλίση  $\beta$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\omega_{\Delta K} = \min\{\omega_\Delta, \text{τοξσυν} [-\epsilon\phi(\phi - \beta) \cdot \epsilon\phi\delta]\} \quad 23.$$



## 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας (4/6) (α)

---

Η **διάχυτη ακτινοβολία** που δέχεται το πλαίσιο εξαρτάται από το ποσοστό του ουράνιου θόλου που βλέπει και το ποσοστό αυτό εξαρτάται από την κλίση  $\beta$ . Όταν  $\beta = 0$ , ο συλλέκτης βλέπει ολόκληρη τη ημισφαιρική επιφάνεια του ουράνιου θόλου και η διάχυτη ακτινοβολία που δέχεται, γίνεται μέγιστη. Όταν  $\beta = 90^\circ$ , ο συλλέκτης βλέπει τη μισή ημισφαιρική επιφάνεια του ουράνιου θόλου και η διάχυτη ακτινοβολία που δέχεται είναι το μισό της μέγιστης. Έτσι ο συντελεστής  $R_\Delta$  ορίζεται ως:





# 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας (4/6) (β)

$$R_{\Delta} = \frac{H_{\Delta\kappa}}{H_{\Delta}} = \frac{1 + \sigma\upsilon\nu\beta}{2} \quad 24.$$

Για συλλέκτη που παρακολουθεί την ημερήσια κίνηση του ήλιου, η γωνία  $\beta$  στην παραπάνω σχέση αντικαθίσταται με τη  $\theta z$  όταν  $\theta z > \beta$ .

Η **ανακλώμενη ακτινοβολία** που δέχεται το πλαίσιο εξαρτάται από το έδαφος της γύρω περιοχής που βλέπει και το έδαφος αυτό εξαρτάται από την γωνία κλίσης  $\beta$ . Όταν η γωνία κλίσης  $\beta$ , γίνει ίση με μηδέν μοίρες, το πλαίσιο δεν βλέπει το έδαφος της γύρω περιοχής και επομένως η ακτινοβολία από ανάκλαση είναι μηδενική. Όταν η γωνία κλίσης  $\beta$ , γίνει ίση με ενενήντα μοίρες, το πλαίσιο βλέπει το μισό από το έδαφος της γύρω περιοχής και η ακτινοβολία από ανάκλαση γίνεται μέγιστη. Με βάση το σκεπτικό αυτό:

$$R_{\alpha} = \frac{1 - \sigma\upsilon\nu\beta}{2} \quad 28.$$

Αντίστοιχα, για συλλέκτη που παρακολουθεί την ημερήσια κίνηση του ήλιου, η γωνία  $\beta$  στην παραπάνω σχέση αντικαθίσταται με τη  $\theta z$  όταν  $\theta z > \beta$ .



# 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας (5/6)

Έτσι:

$$H_{HK} = H_A \cdot R_A + H_\Delta \cdot R_\Delta + H_H \cdot \rho \cdot R_\alpha \quad \Rightarrow \quad H_{HK} = (H_H - H_\Delta) R_A + H_\Delta \cdot R_\Delta + H_H \cdot \rho \cdot R_\alpha$$

Διαιρούμε και τα δύο μέλη τη εξίσωσης με  $H_H$ :

$$\frac{H_{HK}}{H_H} = \frac{(H_H - H_\Delta) \cdot R_A + H_\Delta \cdot R_\Delta + H_H \cdot \rho \cdot R_\alpha}{H_H} \Rightarrow$$

$$R_H = \frac{H_{HK}}{H_H} = \frac{(H_H - H_\Delta)}{H_H} R_A + \frac{H_\Delta}{H_H} R_\Delta + \frac{H_H \cdot \rho}{H_H} R_\alpha \Rightarrow$$

$$R_H = \frac{H_{HK}}{H_H} = \left[ \frac{H_H}{H_H} - \frac{H_\Delta}{H_H} \right] R_A + \frac{H_\Delta}{H_H} R_\Delta + \frac{H_H \cdot \rho}{H_H} R_\alpha \Rightarrow$$

$$R_H = \frac{H_{HK}}{H_H} = \left[ 1 - \frac{H_\Delta}{H_H} \right] R_A + \frac{H_\Delta}{H_H} R_\Delta + \rho R_\alpha \Rightarrow$$

29.

$$R_H = \frac{H_{HK}}{H_H} = \left[ 1 - \frac{H_\Delta}{H_H} \right] R_A + \frac{H_\Delta}{H_H} \left( \frac{1 + \sigma_{\text{υνβ}}}{2} \right) + \rho \left( \frac{1 - \sigma_{\text{υνβ}}}{2} \right)$$

Μετά τον υπολογισμό του δείκτη διόρθωσης  $R_H$ , η ολική ακτινοβολία στο πλαίσιο με κλίση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$H_{HK} = R_H \cdot H_H \quad [\text{W.h/ m}^2] \quad 30.$$



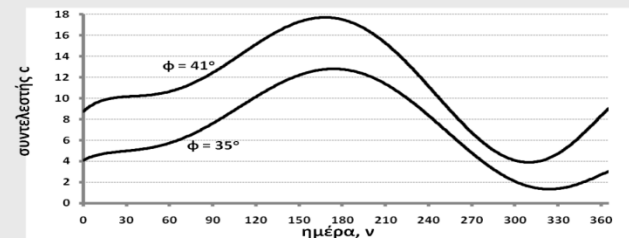
# 5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας (6/6)

Αυξάνοντας την κλίση του συλλέκτη, μειώνεται η γωνία ανάμεσα στην κάθετο στο συλλέκτη και στη διεύθυνση των ηλιακών ακτίνων και αυξάνει η άμεση ακτινοβολία η οποία είναι ανάλογα του συνημίτονου της γωνίας. Αυξάνοντας την κλίση του συλλέκτη, μειώνεται ο ουράνιος θόλος που βλέπει ο συλλέκτης και επομένως μειώνεται και η διάχυτη ακτινοβολία.

Για τη μεσαία ημέρα κάθε μήνα υπάρχει μία κλίση του συλλέκτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο για την οποία η ολική μηνιαία ακτινοβολία γίνεται μέγιστη. Η βέλτιστη γωνία κλίσης για κάθε μήνα, κατά προσέγγιση δίνεται από τη σχέση:

$$\beta_{opt} = \phi - \delta v - c \quad 34.$$

όπου  $c$  ο παράγοντας διόρθωσης, ο οποίος για την Ελλάδα, λαμβάνει κατά προσέγγιση τις τιμές του παρακάτω Σχήματος:



# Παράδειγμα 4 (1/4) (α)

---

Να υπολογισθεί η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ένας Φ/Β συλλέκτης με νότιο προσανατολισμό και βέλτιστη κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, στην περιοχή της Ορεστιάδας ( $\phi = 41,30^\circ$ ) και της Ιεράπετρας ( $\phi = 35,00^\circ$ ), αν ο συντελεστής ανάκλασης της γύρω περιοχής είναι  $\rho = 0,2$ .



# Παράδειγμα 4 (1/4) (β)

---

## Λύση

Η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία θα υπολογισθεί με βάση τη 15<sup>η</sup> ημέρα κάθε μήνα (τη 14<sup>η</sup> για το Φεβρουάριο). Για τις ημερομηνίες αυτές και τους αντίστοιχους μήνες υπολογίζονται:

1. η ηλιακή ακτινοβολία στα όρια της ατμόσφαιρας  $I_{ov}$  από την Εξίσωση 3:  $I_{ov} = I_{OM}(1 + 0,0333x \text{ συν}(360v/365))$
2. η απόκλιση  $\delta_v$  από την Εξίσωση 4:  $\delta_v = 23,45 \cdot \eta\mu(360 \cdot (284 + v)/365)$
3. η ωριαία γωνία δύσης  $\omega_\Delta$  από την Εξίσωση 22:  $\omega_\Delta = \text{τοξσυν}[-\epsilon\phi\phi \cdot \epsilon\phi\delta]$
4. η ωριαία γωνία δύσης  $\omega_\Delta$  σε κεκλιμένο πλαίσιο από την Εξίσωση 23:  
 $\omega_{\Delta\kappa} = \min\{\omega_\Delta, \text{τοξσυν}[-\epsilon\phi(\phi - \beta) \cdot \epsilon\phi\delta]\}$
5. την προσπίπτουσα ενέργεια ανά ημέρα, σε οριζόντιο πλαίσιο εκτός ατμόσφαιρας από την Εξ. 14β:  $H_{ov} = \frac{24 I_{OAVE}}{\pi} \left(1 + 0,033 \text{συν} \frac{360v}{365}\right) \left(\eta\mu\phi \cdot \eta\mu\delta_v \cdot \frac{\pi \cdot \omega_\Delta}{180} + \text{συν}\phi \cdot \text{συν}\delta_v \cdot \eta\mu\omega_\Delta\right)$
6. την προσπίπτουσα ενέργεια ανά μήνα, σε οριζόντιο πλαίσιο εκτός ατμόσφαιρας από την Εξ. 15β:  $H_{OM} = M \times H_{ov}$  (όπου  $M$  οι ημέρες του αντίστοιχου μήνα).



# Παράδειγμα 4 (2/4)

για την Ορεστιάδα προκύπτουν τα αποτελέσματα:

	$\beta$	$\nu$	$l_{ov}, \text{kWh/m}^2$	$\delta\nu, ^\circ$	$\omega_{\Delta r}, ^\circ$	$\omega_{\Delta kr}, ^\circ$	$H_{ov}, \text{kWh/m}^2$	$H_{OM}, \text{kWh/m}^2$
15/1	51,60	15	1,417	-21,30	70,04	70,04	3,958	122,712
14/2	43,97	45	1,406	-13,67	77,71	77,71	5,394	151,038
15/3	32,19	74	1,386	-2,89	87,50	87,50	7,407	229,632
15/4	18,96	105	1,362	9,34	98,35	93,92	9,553	286,583
15/5	6,56	135	1,342	18,74	107,37	103,66	11,038	342,166
15/6	0,00	166	1,329	23,30	112,26	112,26	11,682	350,467
15/7	2,74	196	1,328	21,56	110,34	108,41	11,393	353,174
15/8	14,43	227	1,340	13,87	102,56	97,23	10,191	315,935
15/9	30,97	258	1,361	2,33	92,09	90,47	8,252	247,546
15/10	45,79	288	1,384	-9,49	81,60	81,60	6,118	189,672
15/11	56,38	319	1,405	-19,08	72,37	72,37	4,346	130,385
15/12	57,62	349	1,417	-23,32	67,81	67,81	3,575	110,821

και για την Ιεράπετρα τα αποτελέσματα:

	$\beta$	$\nu$	$l_{ov}, \text{kWh/m}^2$	$\delta\nu, ^\circ$	$\omega_{\Delta r}, ^\circ$	$\omega_{\Delta kr}, ^\circ$	$H_{ov}, \text{kWh/m}^2$	$H_{OM}, \text{kWh/m}^2$
15/1	52,30	15	1,417	-21,30	74,22	74,22	5,038	156,174
14/2	43,67	45	1,406	-13,67	80,24	80,24	6,392	178,963
15/3	31,89	74	1,386	-2,89	88,02	88,02	8,195	254,058
15/4	15,66	105	1,362	9,34	96,66	93,92	9,996	299,866
15/5	5,26	135	1,342	18,74	103,78	103,66	11,149	345,607
15/6	-0,30	166	1,329	23,30	107,59	107,59	11,612	348,374
15/7	1,44	196	1,328	21,56	106,09	106,09	11,394	353,203
15/8	10,13	227	1,340	13,87	99,99	97,23	10,479	324,836
15/9	26,67	258	1,361	2,33	91,68	90,47	8,898	266,925
15/10	42,49	288	1,384	-9,49	83,33	83,33	7,037	218,139
15/11	52,08	319	1,405	-19,08	76,04	76,04	5,401	162,037
15/12	56,32	349	1,417	-23,32	72,49	72,49	4,663	144,554



# Παράδειγμα 4 (3/4)

- από το Σχήμα 3 εκτιμάται η μέση ημερήσια κλίμακα μάζας AM και,
- με βάση αυτή, η μηνιαία ακτινοβολία που φθάνει σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της Γής HH, μέσω της Εξίσωσης 16γ ( $H_H/H_{OM} = 0,025AM^2 - 0,212AM + 0,954$ ).

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι συντελεστές:

- $R_A$  από την Εξ. 21:

$$R_A = \frac{\text{συν}(\phi - \beta) \cdot \text{συνδν} \cdot \eta\mu\omega_{\Delta\kappa} + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_{\Delta\kappa} \cdot \eta\mu(\phi - \beta) \cdot \eta\mu\delta\nu}{\text{συν}\varphi \cdot \text{συνδν} \cdot \eta\mu\omega_{\Delta} + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_{\Delta} \cdot \eta\mu\phi \cdot \eta\mu\delta\nu}$$

- $R_{\Delta}$  από την Εξ. 24:

$$R_{\Delta} = \frac{H_{\Delta\kappa}}{H_{\Delta}} = \frac{1 + \text{συν}\beta}{2}$$

- $R_a$  από την Εξ. 28:

ενώ η αιθριότητα  $K$  εκτιμάται, για την μέση ημέρα κάθε μήνα από την Εξίσωση 27 με βάση την αιθριότητα υπολογίζεται ο λόγος διάχυτης προς ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο πλαίσιο στην επιφάνεια της Γής  $H_{\Delta}/H_H$ , από την Εξ. 25:

$$H_{\Delta}/H_H = 1,446 - 2,965 \cdot K + 1,727 \cdot K^2$$

- ο ολικός δείκτης διόρθωσης  $R_H$  υπολογίζεται από την Εξ. 29:

$$R_H = \frac{H_{HK}}{H_H} = \left[1 - \frac{H_{\Delta}}{H_H}\right] R_A + \frac{H_{\Delta}}{H_H} \left(\frac{1 + \text{συν}\beta}{2}\right) + \rho \left(\frac{1 - \text{συν}\beta}{2}\right)$$

- και η ολική ενέργεια που φθάνει στο κεκλιμένο πλαίσιο  $H_{HK}$ , τον κάθε μήνα του χρόνου από την Εξ. 30:  $H_{HK} = R_H \cdot H_H$ .



# Παράδειγμα 4 (4/4)

για την Ορεσιάδα προκύπτουν τα αποτελέσματα:

	AM	$H_H, kWh/m^2$	$R_A$	$R_{\Delta}$	$R_a$	K	$H_{\Delta}/H_H$	$R_H$	$H_{HK}, kWh/m^2$
15/1	4,8	62,878	2,58	0,81	0,19	0,32	0,67	1,40	87,951
14/2	4,0	76,425	1,92	0,86	0,14	0,35	0,61	1,27	97,172
15/3	3,3	120,936	1,39	0,93	0,07	0,40	0,54	1,14	137,771
15/4	2,9	157,463	1,10	0,97	0,03	0,45	0,47	1,04	164,185
15/5	2,8	190,381	1,01	1,00	0,00	0,49	0,41	1,00	191,292
15/6	2,8	195,000	1,00	1,00	0,00	0,52	0,37	1,00	195,000
15/7	2,8	196,506	1,00	1,00	0,00	0,53	0,35	1,00	196,608
15/8	2,8	175,786	1,05	0,98	0,02	0,53	0,36	1,03	180,268
15/9	3,1	132,945	1,25	0,93	0,07	0,51	0,39	1,13	150,142
15/10	3,7	97,084	1,71	0,85	0,15	0,47	0,44	1,34	129,941
15/11	4,5	66,007	2,42	0,78	0,22	0,41	0,52	1,57	103,808
15/12	5,1	57,965	2,88	0,77	0,23	0,35	0,62	1,57	91,205
									1725,343

και για την Ιεράπετρα τα αποτελέσματα:

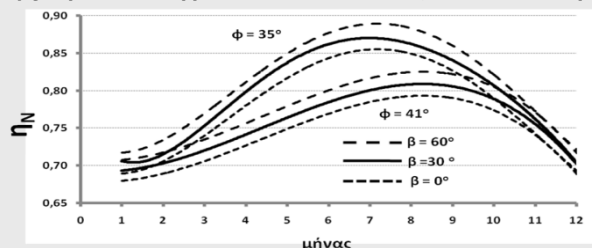
	AM	$H_H, kWh/m^2$	$R_A$	$R_{\Delta}$	$R_a$	K	$H_{\Delta}/H_H$	$R_H$	$H_{HK}, kWh/m^2$
15/1	4,1	78,875	2,14	0,81	0,19	0,41	0,52	1,45	114,549
14/2	3,5	92,748	1,68	0,86	0,14	0,44	0,47	1,29	119,916
15/3	3,0	137,953	1,28	0,92	0,08	0,48	0,41	1,14	156,741
15/4	2,7	169,080	1,06	0,98	0,02	0,53	0,35	1,03	174,523
15/5	2,6	197,618	1,00	1,00	0,00	0,58	0,31	1,00	197,612
15/6	2,6	199,200	1,00	1,00	0,00	0,61	0,28	1,00	199,268
15/7	2,6	201,962	1,00	1,00	0,00	0,62	0,27	1,00	201,771
15/8	2,7	183,159	1,02	0,99	0,01	0,62	0,27	1,01	185,636
15/9	2,9	146,662	1,17	0,95	0,05	0,59	0,29	1,10	161,797
15/10	3,3	114,883	1,51	0,87	0,13	0,56	0,33	1,30	149,135
15/11	3,9	82,226	2,00	0,81	0,19	0,50	0,40	1,53	125,937
15/12	4,3	72,949	2,32	0,78	0,22	0,44	0,48	1,59	115,729
									1902,612





# 6. Η Επίδραση των νεφώσεων

- ✓ Η ελάττωση της ακτινοβολίας που δέχεται το πλαίσιο, λόγω νεφώσεων εξαρτάται από τη συχνότητα και την ένταση των νεφώσεων στον κάθε τόπο και την κάθε ημέρα του έτους. Η συχνότητα και η ένταση των νεφώσεων είναι μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες και αν και εξαρτάται από τα κατά τόπους κλιματολογικά χαρακτηριστικά αυξάνεται με το γεωγραφικό πλάτος.



- ✓ Εκτός όμως από τον δραστικό περιορισμό της άμεσης ακτινοβολίας, ελαττώνεται και η διάχυτη (καθώς και η έτσι και αλλιώς αδύναμη συνιστώσα της ανακλώμενης).

Η επίδραση των νεφώσεων μπορεί, να εκφραστεί με την βοήθεια ενός **εμπειρικού συντελεστή  $\eta_N$**  ο οποίος λαμβάνει τιμές στο διάστημα 0 – 1 και εκφράζει την ελάττωση της μηνιαίας ακτινοβολίας που δέχεται το πλαίσιο λόγω νεφώσεων. Με βάση τον εμπειρικό αυτό συντελεστή, η ολική μηνιαία ηλιακή ενέργεια που δέχεται το πλαίσιο είναι:  $H_{HK}^* = \eta_N \times H_{HK}$  35.



# Παράδειγμα 5

Να υπολογισθεί η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ο Φ/Β συλλέκτης του προηγούμενου παραδείγματος, λαμβάνοντας υπόψη την ελάττωση λόγω νεφώσεων.

## Λύση

Εκτιμάται ο συντελεστής  $\eta_N$  από το Σχήμα 5 και υπολογίζεται η  $H_{HK}^*$  από την Εξ. 35.

Ορεστιάδα ( $\phi = 41,30^\circ$ )

Ιεράπετρα ( $\phi = 35,00^\circ$ )

	$\beta$	$H_{HK}, kWh/m^2$	$\eta_N$	$H_{HK}^*, kWh/m^2$
15/1	51,6	87,951	0,70	61,566
14/2	43,97	97,172	0,71	68,992
15/3	31,19	137,771	0,72	99,195
15/4	18,96	164,185	0,73	119,855
15/5	6,56	191,292	0,75	143,469
15/6	0,00	195,000	0,77	150,150
15/7	2,7	196,608	0,78	153,354
15/8	14,4	180,268	0,79	142,412
15/9	31,0	150,142	0,80	120,113
15/10	45,8	129,941	0,81	105,252
15/11	56,4	103,808	0,76	78,894
15/12	57,6	91,205	0,70	63,843
		1725,343		1307,096

	$\beta$	$H_{HK}, kWh/m^2$	$\eta_N$	$H_{HK}^*, kWh/m^2$
15/1	52,3	114,549	0,72	82,475
14/2	43,7	119,916	0,73	87,538
15/3	31,9	156,741	0,75	117,556
15/4	15,7	174,523	0,80	139,618
15/5	5,3	197,612	0,82	162,042
15/6	-0,3	199,268	0,84	167,385
15/7	1,4	201,771	0,85	171,505
15/8	10,1	185,636	0,86	159,647
15/9	26,7	161,797	0,85	137,528
15/10	42,5	149,135	0,82	122,291
15/11	52,1	125,937	0,78	98,231
15/12	56,3	115,729	0,70	81,010
		1902,612		1526,825

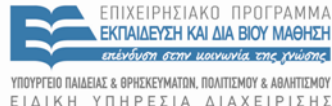


---

# Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

