

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ηλιακή ενέργεια

προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνειες σταθερής και μεταβαλλόμενης κλίσης

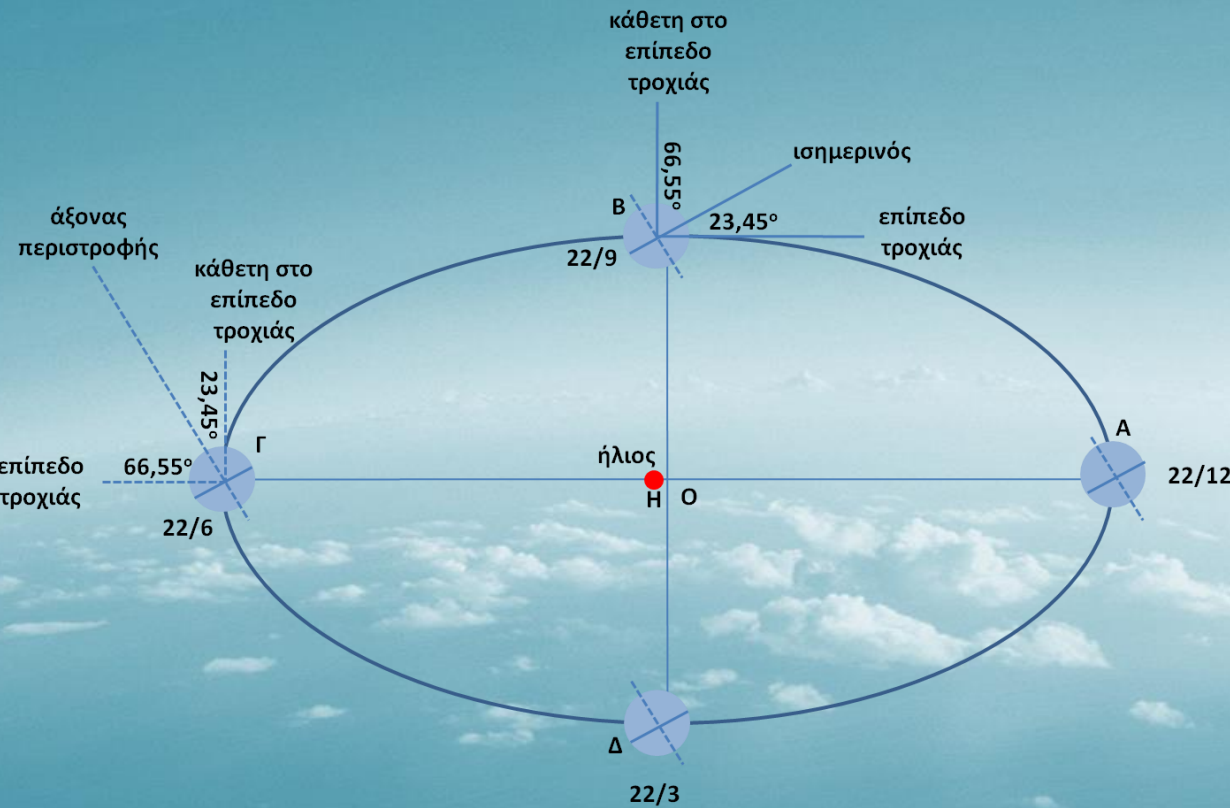
Εισαγωγή

Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει κάθε στιγμή σε πλαίσιο τοποθετημένο με κλίση β , στην επιφάνεια της γης, εξαρτάται:

1. Από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (γωνία ϕ)
2. Από την ημέρα του έτους γιατί με την ημέρα του έτους μεταβάλλεται απόσταση της γης από τον ήλιο και άρα και η ένταση της ακτινοβολίας $I_{\text{ον}}$ (kW) που φθάνει στη γή, αλλά και το μέγιστο ύψος του ήλιου από τον ορίζοντα (γωνία h)
3. Την κλίση του πλαισίου (γωνία β) και αν αυτή μεταβάλλεται από μέρα σε μέρα ή ακόμα και μέσα στην ημέρα γιατί η κλίση αυτή επηρεάζει τη γωνία θ με την οποία οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν στο πλαίσιο
4. Την ώρα της ημέρας γιατί αυτή επίσης επηρεάζει την γωνία θ , καθώς επίσης και τη μάζα ατμοσφαιρικού αέρα που συναντά η ηλιακή ακτινοβολία στο δρόμο της και τη διαθλά την απορροφά και την ελαττώνει

Ενώ επίσης, η ακτινοβολία που φθάνει σε αυτό το πλαίσιο στη διάρκεια μία ημέρας εξαρτάται και από τις ώρες που ο ήλιος είναι πάνω από τον ορίζοντα, την ημέρα αυτή (τη διάρκεια δηλαδή της ημέρας μέσα στο 24ωρο).

1. Απόσταση Ήλιου – Γης και Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας



Η γη κινείται σε ελλειπτική τροχιά με χαρακτηριστικά:

$HA = \text{περιήλιο} = 147 \cdot 10^6 \text{ km}$
 $H\Gamma = \text{αφήλιο} = 152 \cdot 10^6 \text{ km}$
 $OH = (H\Gamma - HA)/2 = 2,5 \cdot 10^6 \text{ km}$
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.

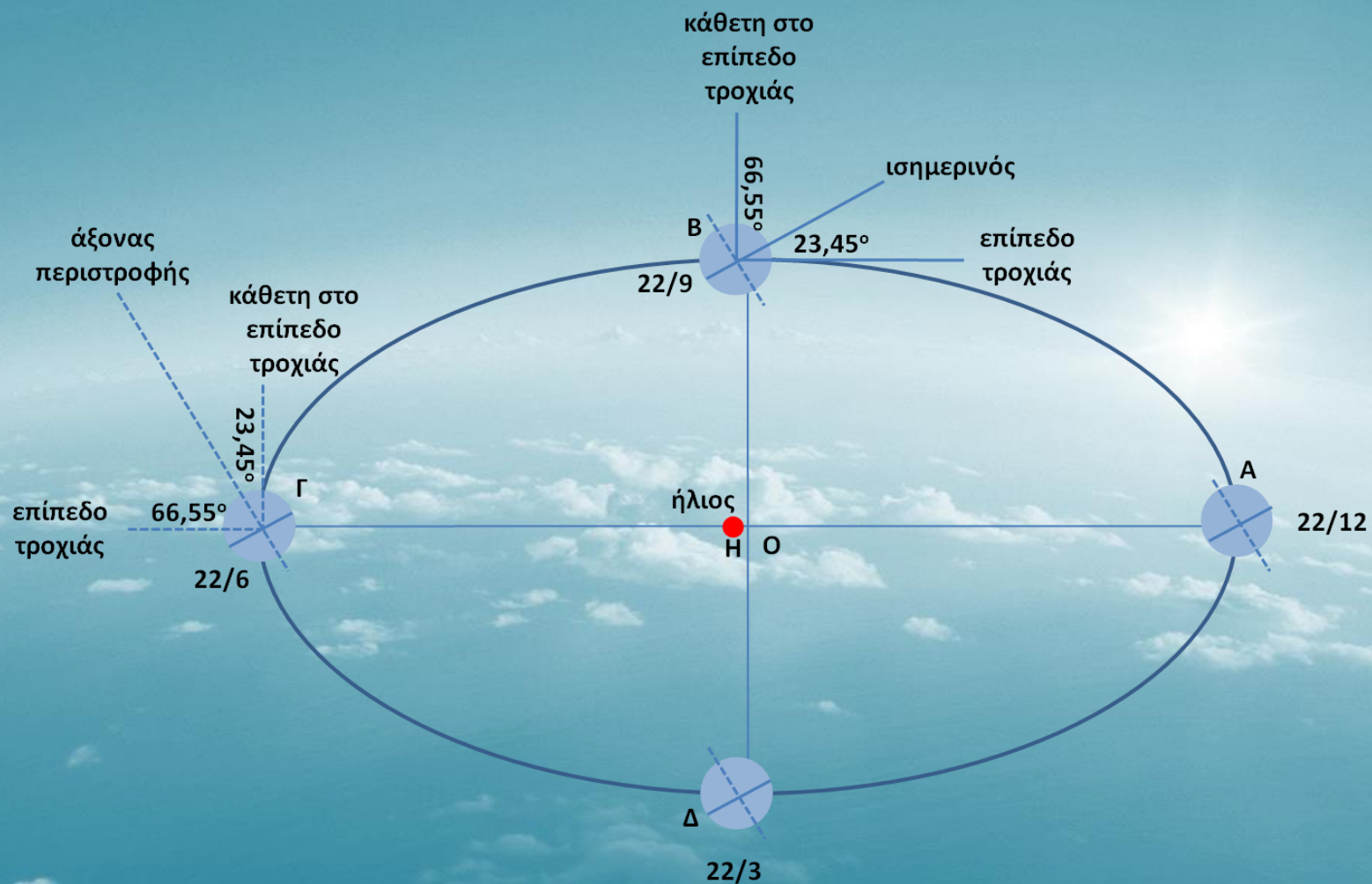
Ο ήλιος βρίσκεται στο μεγάλο ημιάξονα της τροχιάς, στο σημείο H και όχι στο κέντρο O. Η απόσταση ήλιου – γης μεταβάλλεται με αποτέλεσμα και η ένταση της ακτινοβολίας που φθάνει στη γη, να μεταβάλλεται:

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

1.

όπου: **I_{ov}** 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^η η 1 I_{αν})
I_{OAVE} = 1373 W/m² κάθετο στην διεύθυνση της ακτινοβολίας, η μέση ετήσια ένταση ακτινοβολίας στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας
v ο αύξων αριθμός της κάθε ημέρας του έτους (1^η I_{αν}.: v = 1, 31^η Δεκ.: v = 365)

2. Οι συνέπειες της κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο

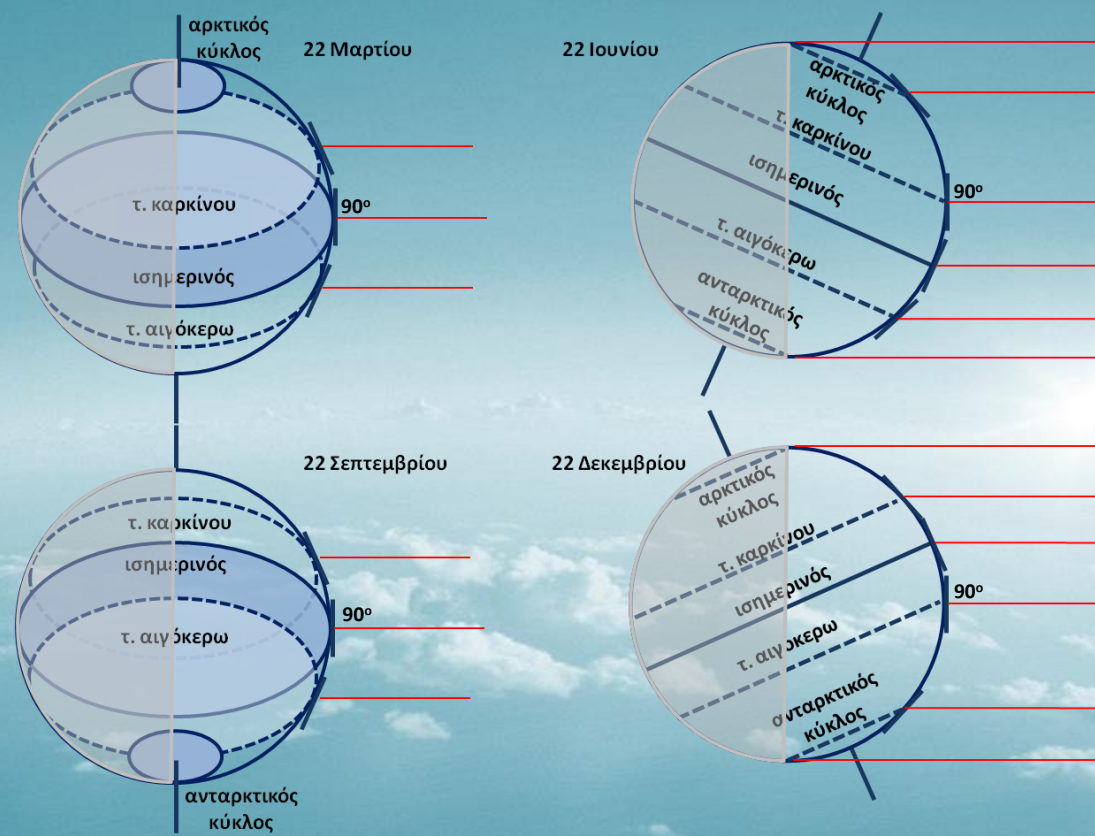


Σε κάθε νέα θέση, κατά την περιφορά, ο άξονας της γης παραμένει παράλληλος με την προηγούμενη. Όμως δεν είναι κάθετος στο επίπεδο της ελλειπτικής τροχιάς και αποκλίνει από την κάθετο κατά:

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

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.

2. Οι συνέπειες της κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο

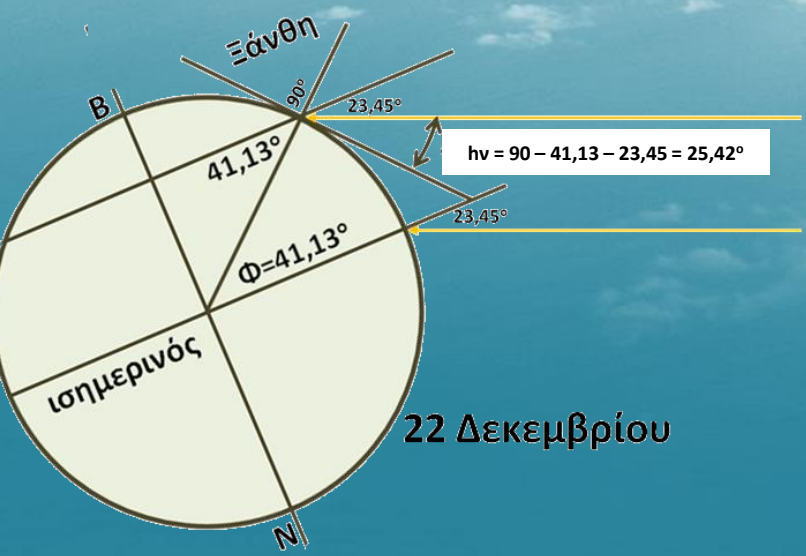
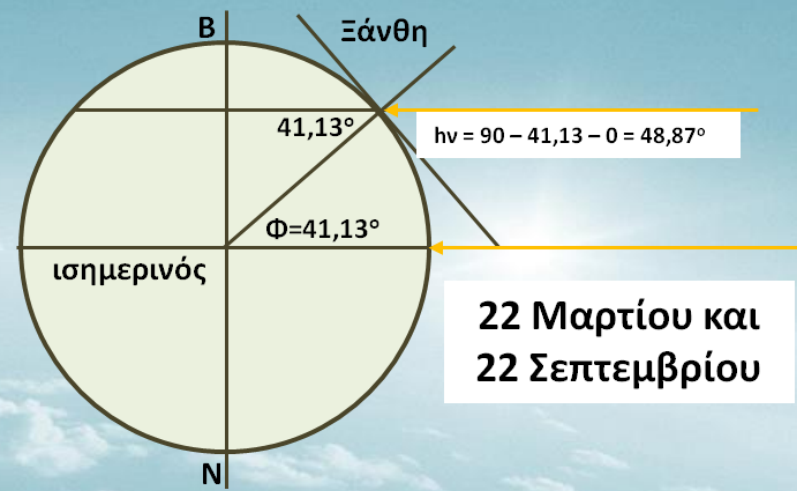
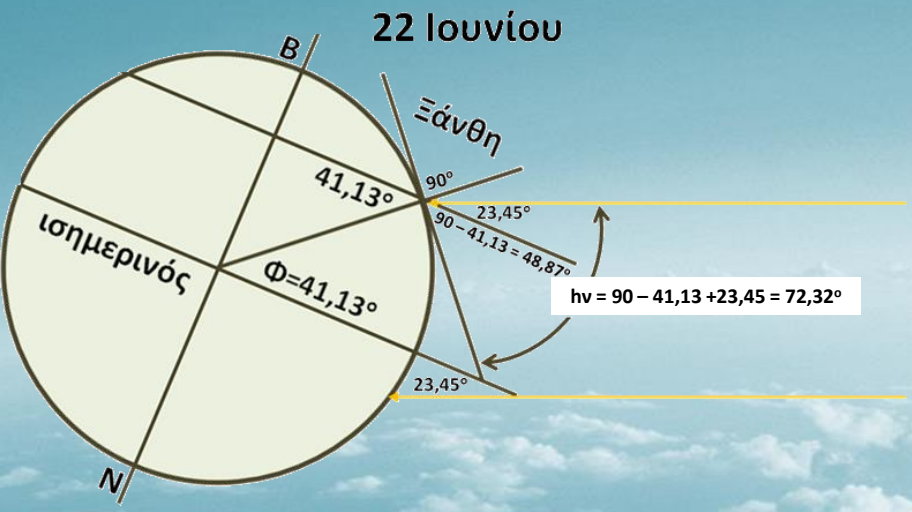


Η γωνία $\Delta = 23,45^\circ$ ορίζει:

- ✓ 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°) – 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 δ_γ και λαμβάνει τιμές από $-23,45$ έως $23,45^\circ$)

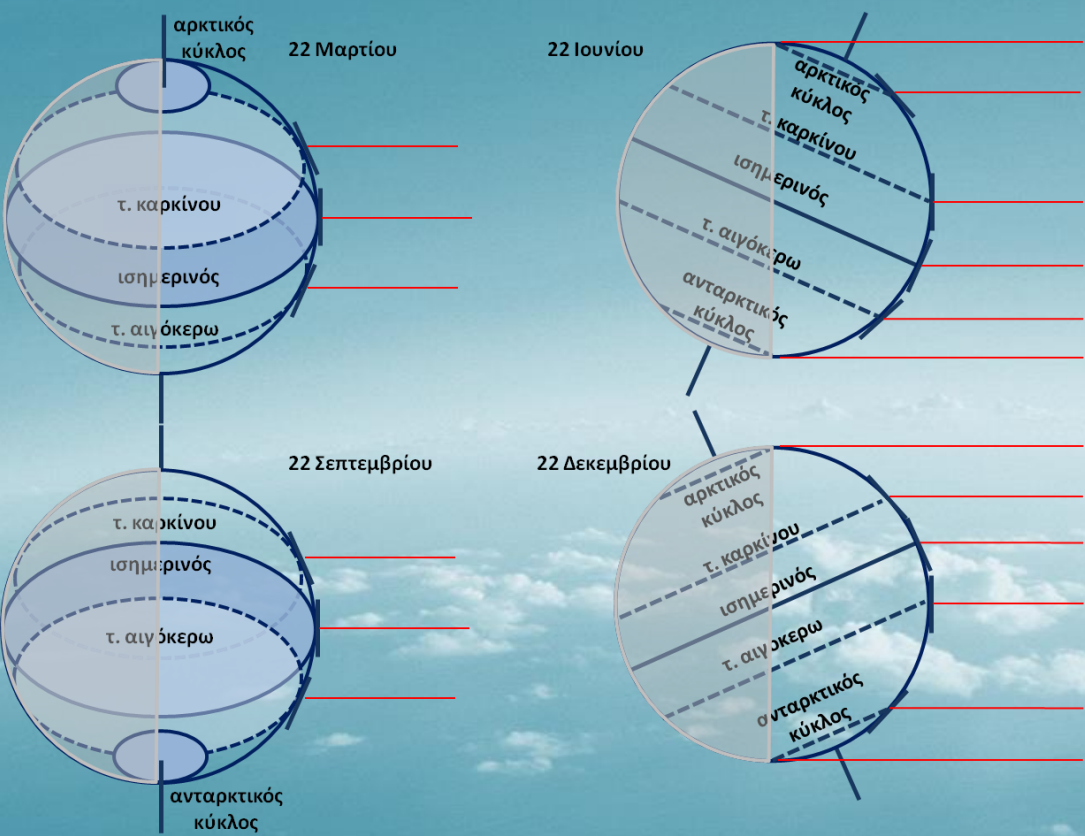
2. Οι συνέπειες της κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο

.... αλλά και τη γωνιακή θέση του ήλιου (το μέγιστο ημερήσιο ύψος του ήλιου σε μοίρες) h_v σε οποιοδήποτε θέση στη γή. Π.χ. για την Ξάνθη:



Καθώς η απόκλιση του ισημερινού από τη διεύθυνση των ηλιακών ακτινών (δν) μεταβάλλεται στο διάστημα - $23,45^\circ$ έως $23,45^\circ$, η γωνιακή θέση του ήλιου, το ηλιακό μεσημέρι και πάνω από τον ορίζοντα της Ξάνθης επίσης μεταβάλλεται από $25,42^\circ$ στις 22 Δεκεμβρίου έως $72,32^\circ$ στις 22 Ιουνίου.

2. Οι συνέπειες της κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο



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

$$\delta_v = 23,45 * \eta\mu\left(360 \frac{284 + v}{365}\right) \quad 2.$$

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

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

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

2. Οι συνέπειες της κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο

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:

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

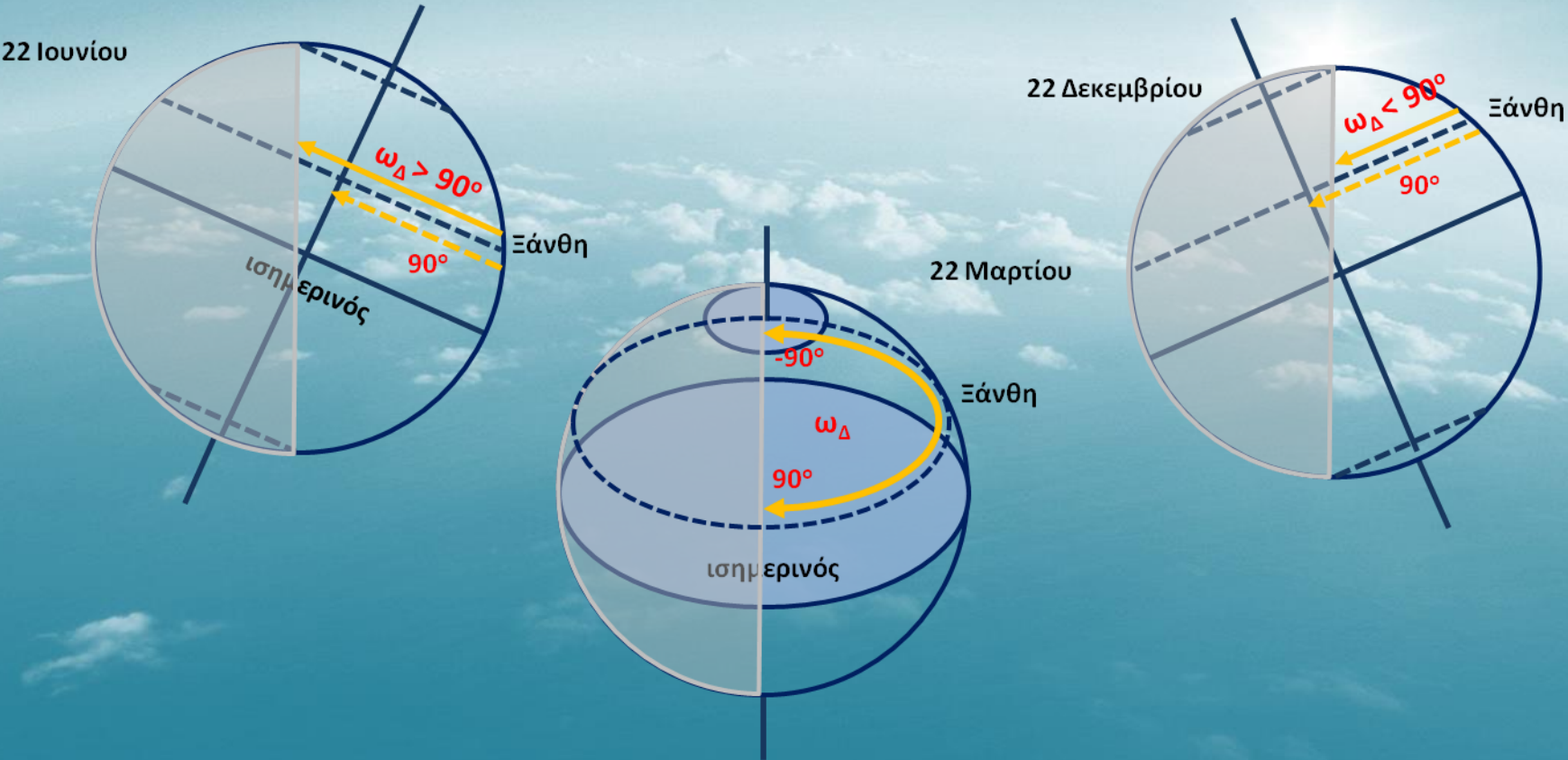
3.

όπου ϕ το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και δ_v η γωνία δ τη v -οστή μέρα του έτους

- ✓ στο βόρειο ημισφαίριο λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του στις 22/6 και την ελάχιστη τιμή του στις 22/12

3. Προσδιορισμός της διάρκειας της ν-οστής ημέρας του έτους

Η **ωριαία γωνία ω** ορίζεται ως 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, και λαμβάνει τιμές από -180° έως 180° (λαμβάνει την τιμή 0ο το ηλιακό μεσημέρι και 180° τα “ηλιακά μεσάνυχτα”). Για ένα μέρος, από το σύνολο αυτό των 360° της περιστροφής της γης γύρω από τον εαυτό της, ο τόπος “βλέπει” τον ήλιο και λέμε ότι έχει μέρα, ενώ για το υπόλοιπο έχει νύχτα.



✓ Η ωριαία γωνία δύσης έχει την τιμή 90° κατά τις ισημερίες, μεγαλύτερη από 90° από 22 Μαρτίου έως 22 Σεπτεμβρίου και μικρότερη από 90° από 22 Σεπτεμβρίου έως 22 Μαρτίου.

3. Προσδιορισμός της διάρκειας της ν-οστής ημέρας του έτους

- ✓ 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° ανά ώρα ($360^\circ/24\text{ώρες} = 15^\circ/\text{ώρα}$).
- ✓ 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 $\omega = 0$.
- ✓ Για το κλάσμα του ημερήσιου χρόνου που ο συγκεκριμένος τόπος “βλέπει” τον ήλιο, λαμβάνει τιμές από $-\omega_\Delta$ έως ω_Δ , όπου ω_Δ η ωριαία γωνία δύσης.

3. Προσδιορισμός της διάρκειας της ν-οστής ημέρας του έτους

Η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κάθετο στο οριζόντιο επίπεδο της θέσης A και στην διεύθυνση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας ονομάζεται **ζενιθιακή γωνία θ_z** , εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της θέσης A, την ημέρα του έτους και την ώρα μέσα στην ημέρα (δηλαδή την ωριαία γωνία) και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{συν}\theta_z = \eta\mu\phi.\eta\mu\delta\nu + \text{συν}\phi.\text{συν}\delta\nu.\text{συν}\omega_\Delta \tag{4.}$$

Έτσι αν $A = \eta\mu\phi.\eta\mu\delta\nu$ και $B = \text{συν}\phi.\text{συν}\delta\nu$, τότε $\text{συν}\theta_z = A + B\text{συν}\omega_\Delta$

Κατά την ανατολή ή τη δύση του ήλιου (όπου $\theta_z = \pm 90^\circ$ και $\text{συν}\theta_z = 0$) έχουμε $A + B\text{συν}\omega_\Delta = 0$ οπότε:

$$\text{συν}\omega_\Delta = -A/B = \eta\mu\phi.\eta\mu\delta\nu / \text{συν}\phi.\text{συν}\delta\nu = -\epsilon\phi\phi.\epsilon\phi\delta\nu \quad \text{και}$$

$$\omega_\Delta = \text{τοξσυν}(-\epsilon\phi\phi*\epsilon\phi\delta\nu)$$

5.

όπου ω_Δ η **ωριαία γωνία δύσης** (και - ω_Δ ωριαία γωνία ανατολής) του ήλιου.

Έτσι, η διάρκεια της ημέρας είναι ίση με τον χρόνο που ο ήλιος είναι πάνω από τον ορίζοντα:

$$T = \frac{2}{15} \text{τοξσυν}(-\epsilon\phi\phi \epsilon\phi\delta\nu) = \frac{2\omega_\Delta}{15}$$

[hours]

6.

4. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Απουσία Ατμόσφαιρας

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο, θα πρέπει να γνωρίζουμε:

- ✓ την κλίση του συλλέκτη (γωνία β)
- ✓ την ημέρα του έτους (ν και γωνία $\delta\nu$)
- ✓ τη θέση του τόπου (γεωγραφικό πλάτος ϕ)
- ✓ την ώρα της ημέρας (ωριαία γωνία ω)
- ✓ την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας ($I_{0\nu}$)

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

- ✓ **η κλίση β** 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 θ_z** , που σχηματίζεται ανάμεσα στην κάθετο στο οριζόντιο επίπεδο και στην διεύθυνση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας
- ✓ **η γωνία πρόσπτωσης θ** , 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 γ** επιφάνειας του συλλέκτη, που όταν ο συλλέκτης είναι προσανατολισμένος ακριβώς στο νότο η γωνία γ είναι ίση με μηδέν. Η γωνία γ ανατολικά είναι αρνητική με τιμές από 0 μέχρι -180° και δυτικά θετική από 0 μέχρι 180° .
- ✓ **η ωριαία γωνία ω** , 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

Η **γωνία πρόσπτωσης** θ του ηλιακού φωτός σε συλλέκτη με κλίση β ως προς το οριζόντιο επίπεδο, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \text{συν}\theta = & \text{ημδν}\cdot\text{ημφ}\cdot\text{συν}\beta - \text{ημδ}\cdot\text{συν}\phi\cdot\text{ημβ}\cdot\text{συν}\gamma + \text{συνδν}\cdot\text{συν}\phi\cdot\text{συν}\beta\cdot\text{συν}\omega + \\ & + \text{συνδν}\cdot\text{ημφ}\cdot\text{ημβ}\cdot\text{συν}\gamma\cdot\text{συν}\omega + \text{συνδ}\cdot\text{ημβ}\cdot\text{ημγ}\cdot\text{ημ}\omega \end{aligned} \quad 7.$$

Αν ο συλλέκτης είναι προσανατολισμένος στο νότο ($\gamma = 0$), μηδενίζονται ο 2^{ος} και ο 4^{ος} όρος της εξίσωσης και αυτή γίνεται:

$$\text{συν}\theta = \text{ημ}(\phi - \beta)\cdot\text{ημδν} + \text{συν}(\phi - \beta)\cdot\text{συνδν}\cdot\text{συν}\omega \quad 8.$$

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

$$\text{συν}\theta = \text{συν}\theta_z = \text{ημφ}\cdot\text{ημδν} + \text{συν}\phi\cdot\text{συνδν}\cdot\text{συν}\omega \quad 9.$$

Για κάθετη πρόσπτωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε συλλέκτη που παρακολουθεί την ημερήσια διαδρομή του ήλιου, $\theta = 0$ και $\text{συν}\theta = 1$.

Η ένταση ακτινοβολίας (W/m^2) που προσπίπτει σε κεκλιμένη επιφάνεια είναι (νόμος του Lambert):

$$I_{\text{ονκ}} = I_{\text{ον}}\cdot\text{συν}\theta \quad [\text{W/ m}^2] \quad 10.$$

4. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Απουσία Ατμόσφαιρας

Η ηλιακή ενέργεια που δέχεται ο συλλέκτης, απουσία ατμόσφαιρας, σε χρόνο t (σε ώρες) δίνεται από το ολοκλήρωμα:

$$H_{ov} = \int I_{ovk} dt = I_{ov} \int \sin\theta dt \quad [W.h/ m^2]$$

Λύνοντας το παραπάνω ολοκλήρωμα προκύπτει ότι, η ηλιακή ενέργεια που δέχεται **οριζόντιος συλλέκτης με νότιο προσανατολισμό και απουσία ατμόσφαιρας**, την ημέρα n είναι:

$$H_{ov} = \frac{24 I_{OAVE}}{\pi} \left(1 + 0,033 \sin \frac{360n}{365} \right) \left(\eta_{μφ} \cdot \eta_{μδν} \cdot \frac{\pi \cdot \omega_{\Delta}}{180} + \sin\varphi \cdot \sin\delta_n \cdot \eta_{μ\omega_{\Delta}} \right) \quad [W.h/ m^2] \quad 11.$$

ενώ η ηλιακή ενέργεια που δέχεται συλλέκτης ο συλλέκτης στη διάρκεια ενός μήνα, υπολογίζεται είτε από το άθροισμα των ημερήσιων ποσών ενέργειας είτε **ως το γινόμενο της συνολικής ηλιακής ενέργειας της μεσαίας (15^{ης} ή 14^{ης}) ημέρας του μήνα επί τον αριθμό ημερών του μήνα (M):**

$$H_{OM} = M \cdot H_{ov} \quad [W.h/ m^2] \quad 12.$$

5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας – Κλίμακα Μάζας Αέρα AM

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 θ_z :

$$AM = 1/\sin\theta_z$$

$AM = 1$ ($1/\sin\theta_z = 1 \Leftrightarrow \sin\theta_z = 1 \Leftrightarrow \theta_z = 0^\circ$) 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 W/m^2 .

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

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:

$$I = 1,1 * I_0 * 0,7^{(0,678*AM)}$$

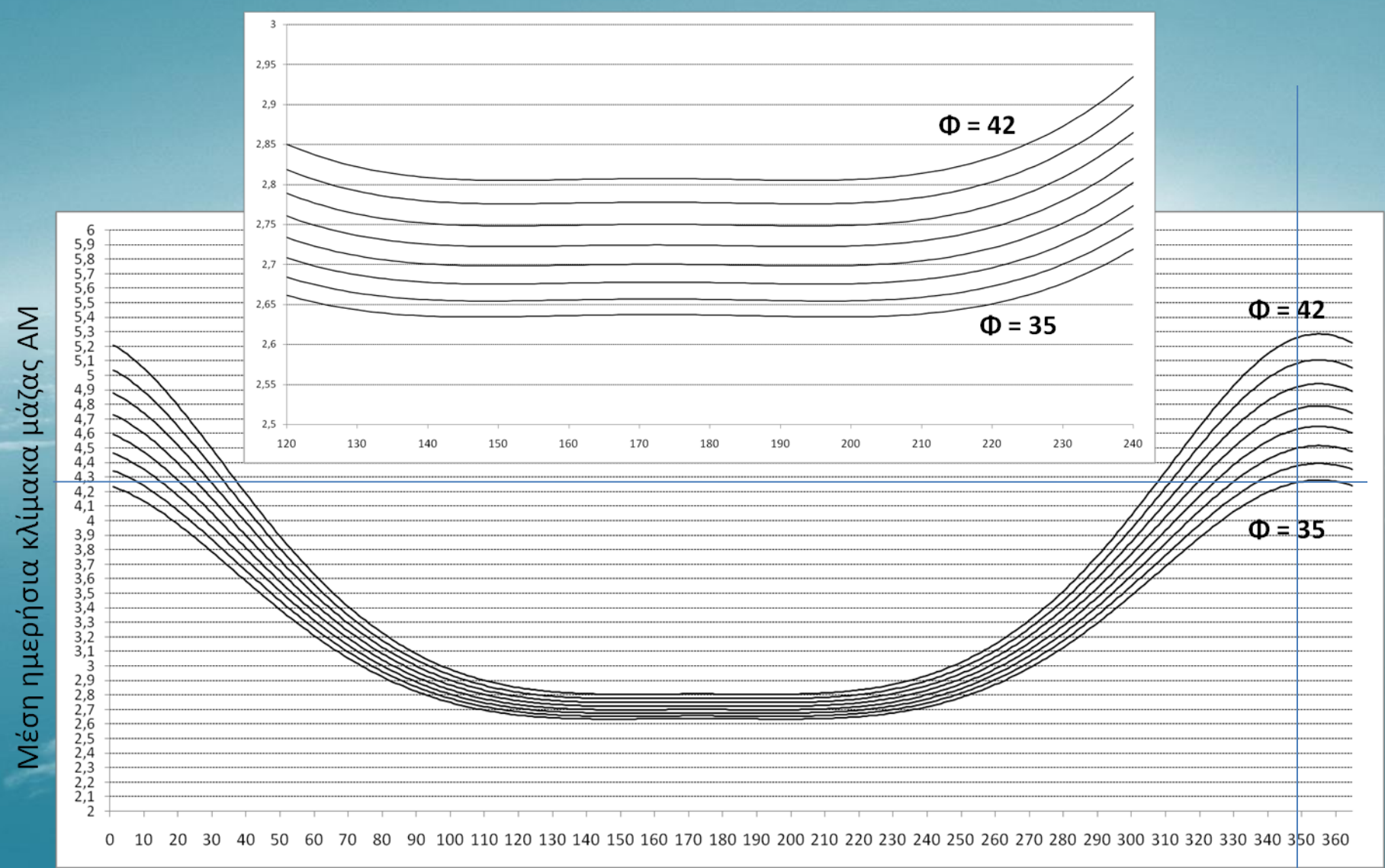
η οποία για την ολική ημερήσια και τη μηνιαία ηλιακή ενέργεια παίρνει τις μορφές:

$$H_H = 1,1 * H_{ov} * 0,7^{(0,678AM_v)}$$

$$H_{HM} = 1,1 * H_{OM} * 0,7^{(0,678*AM_{v15})}$$

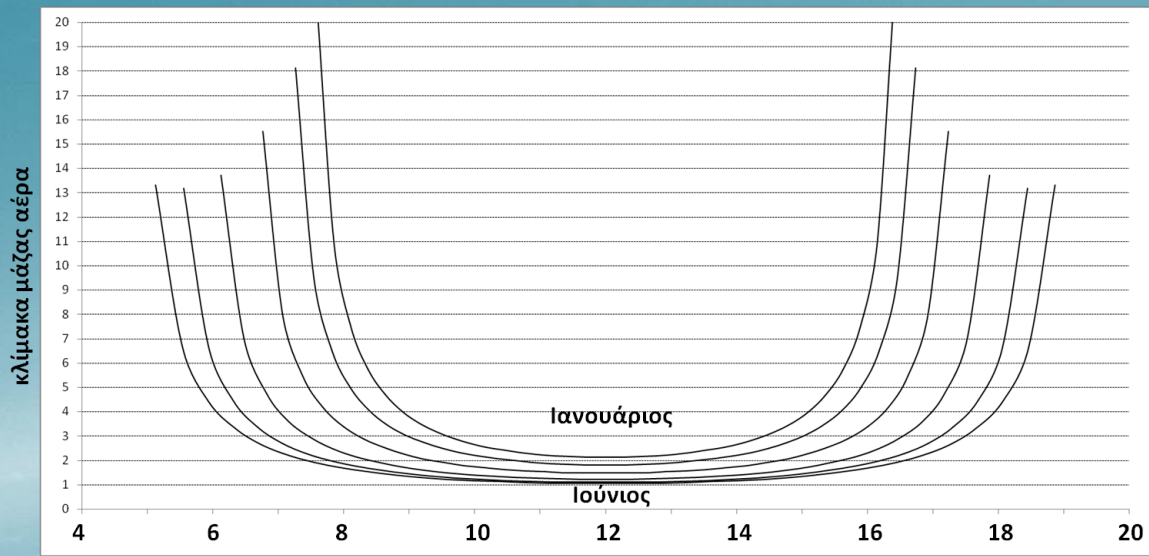
όπου AM_v και AM_{v15} οι μέσες τιμές του AM την ημέρα v του έτους και τη 15^η μέρα του μήνα M , αντίστοιχα.

5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας – Κλίμακα Μάζας Αέρα AM

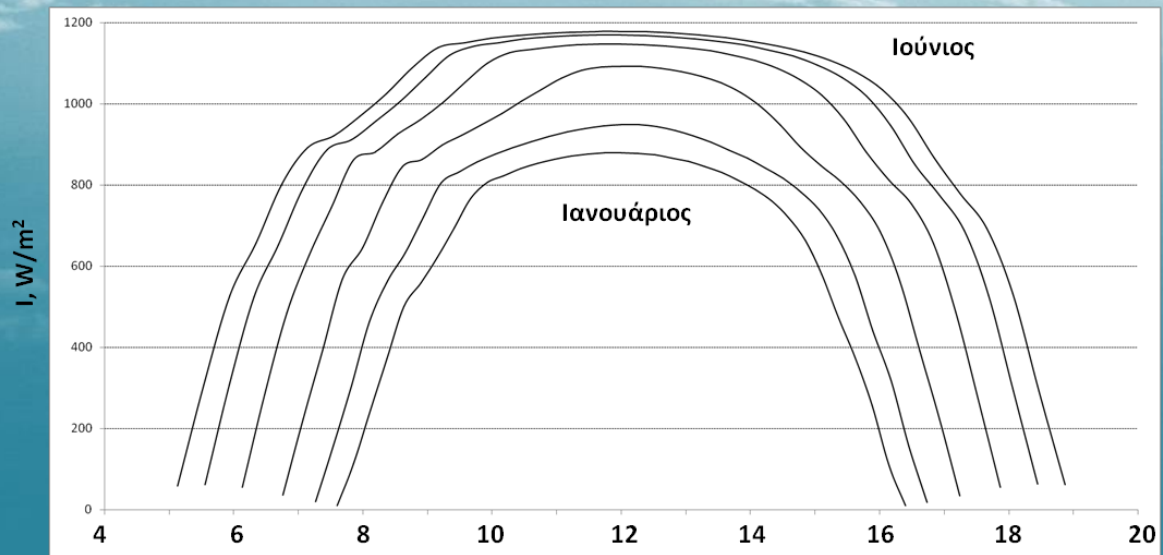


Μέση ημερήσια κλίμακα μάζας AM, ως προς την ημέρα του έτους και το γεωγραφικό πλάτος φ

5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας – Κλίμακα Μάζας Αέρα AM



Μεταβολή της κλίμακας μάζας AM ως προς την ηλιακή ώρα, σε γεωγραφικό πλάτος 40° για την 1^η των μηνών Ιανουαρίου ως Ιουνίου



Μεταβολή της ακτινοβολίας ως προς την ηλιακή ώρα, σε γεωγραφικό πλάτος 40° για την 1^η των μηνών Ιανουαρίου ως Ιουνίου

5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας

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 θ).
- 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 ρ (για κανονικό έδαφος, στους υπολογισμούς, παίρνουμε την τιμή $\rho = 0,20$).

Οι τιμές του συντελεστή ρ 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 ρ για διάφορες επιφάνειες:

Επιφάνεια	Συντελεστής ανάκλασης ρ
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

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε συλλέκτη με κλίση β , είναι:

$$H_{HK} = H_{AK} + H_{\Delta K} + H_{\alpha K}$$

$[W.h/ m^2]$

14.

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_{Δ}

Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ο συλλέκτης είναι ίση με το συντελεστή ανάκλασης ρ επί την ολική ημερήσια ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο H_H , επί ένα αντίστοιχο συντελεστή διόρθωσης R_{α}

Οπότε:

$$H_{HK} = H_A \cdot R_A + H_{\Delta} \cdot R_{\Delta} + H_H \cdot \rho \cdot R_{\alpha}$$

$[W.h/ m^2]$

15.

όπου:

$$H_A = H_H - H_{\Delta}$$

$[W.h/ m^2]$

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:

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

16.

5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας

Ο συντελεστής R_A ορίζεται ως:

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

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

Για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας ηλιακής ενέργειας που δέχεται συλλέκτης με σταθερή κλίση β 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 ω_{Ak} και γωνία $\omega_{\Delta k}$) και τον παρανομαστή από την ωριαία γωνία, ανατολής μέχρι την ωριαία γωνία δύσης για οριζόντιο επίπεδο (γωνία ω_A και γωνία ω_{Δ}):

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

17.

Για συλλέκτη που παρακολουθεί την ημερήσια διαδρομή του ήλιου, ο αριθμητής της παραπάνω σχέσης λαμβάνει την τιμή:

$$(\pi/180) \cdot \omega_{\Delta k}$$

5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας

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

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

5.

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 β ως προς το οριζόντιο επίπεδο, υπολογίζεται από τη σχέση:

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

18.

5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας

Η **διάχυτη ακτινοβολία** που δέχεται το πλαίσιο εξαρτάται από το ποσοστό του ουράνιου θόλου που βλέπει και το ποσοστό αυτό εξαρτάται από την κλίση β . 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_Δ ορίζεται ως:

$$R_\Delta = \frac{H_{\Delta\kappa}}{H_\Delta} = \frac{1 + \sigma\upsilon\nu\beta}{2} \qquad 19.$$

Για συλλέκτη που παρακολουθεί την ημερήσια κίνηση του ήλιου, η γωνία β στην παραπάνω σχέση αντικαθίσταται με τη θ_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 β . Όταν η γωνία κλίσης β , 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 β , 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:

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

20.

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

5. Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας Παρουσία Ατμόσφαιρας

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 :

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

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

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

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

$$R_H = \frac{H_{HK}}{H_H} = \left[1 - \frac{H_{\Delta}}{H_H} \right] R_A + \frac{H_{\Delta}}{H_H} \left(\frac{1 + \sigma \nu \beta}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \sigma \nu \beta}{2} \right) \quad 21.$$

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

$$H_{HK} = R_H \cdot H_H$$

$$[W.h/ m^2]$$

22.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Να υπολογισθεί η ετήσια 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 $\rho = 0,2$.

Λύση

Αρχικά θα υπολογισθεί η ημερήσια ακτινοβολία για τη 15^η ημέρα κάθε μήνα (τη 14^η για το Φεβρουάριο). Η μηνιαία ακτινοβολία θα είναι κατά προσέγγιση ίση με την ημερήσια ακτινοβολία κατά τη μέρα αυτή, πολλαπλασιασμένη με το πλήθος των ημερών του αντίστοιχου μήνα. Τα βήματα για τον υπολογισμό της ημερήσιας ακτινοβολίας είναι τα παρακάτω (η μεθοδολογία επαναλαμβάνεται μία φορά για την Ορεστιάδα και μία για την Ιεράπετρα):

1. Υπολογίζεται ο αύξοντας αριθμός n των μεσαίων ημερών κάθε μήνα.
2. ~~Υπολογίζεται η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη για τις μέρες αυτές (Εξ. 23 και αντίστοιχος Πίνακας)~~
3. Υπολογίζεται η ηλιακή ακτινοβολία (ισχύς) απουσία ατμόσφαιρας I_{ov} από την Εξίσωση 1:
$$I_{ov} = I_{Oave}(1 + 0,0333 \times \text{συν}(360n/365))$$
2. Υπ/ται η απόκλιση δ_n από την Εξίσωση 2:
$$\delta_n = 23,45 \cdot \eta\mu(360 \cdot (284 + n)/365)$$
3. Η ωριαία γωνία δύσης ω_Δ από την Εξίσωση 5:
$$\omega_\Delta = \text{τοξσυν}[-\epsilon\phi\phi \cdot \epsilon\phi\delta_n]$$
4. Η ωριαία γωνία δύσης ω_Δ σε κεκλιμένο πλαίσιο από την Εξίσωση 18:
$$\omega_{\Delta\kappa} = \min\{\omega_\Delta, \text{τοξσυν}[-\epsilon\phi(\phi - \beta) \cdot \epsilon\phi\delta]\}$$
5. Η προσπίπτουσα ενέργεια ανά ημέρα, σε οριζόντιο πλαίσιο απουσία ατμόσφαιρας από την Εξ. 11:

$$H_{ov} = \frac{24 I_{OAVE}}{\pi} \left(1 + 0,033 \text{συν} \frac{360n}{365} \right) \left(\eta\mu\varphi \cdot \eta\mu\delta_n \cdot \frac{\pi \cdot \omega_\Delta}{180} + \text{συν}\varphi \cdot \text{συν}\delta_n \cdot \eta\mu\omega_\Delta \right)$$

6. Η προσπίπτουσα ενέργεια ανά μήνα, σε οριζόντιο πλαίσιο απουσία ατμόσφαιρας από την Εξ. 12:
$$H_{OM} = M \times H_{ov} \text{ (όπου } M \text{ οι ημέρες του αντίστοιχου μήνα)}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

για την Ορεστιάδα προκύπτουν τα αποτελέσματα:

	β	ν	lov, kw/m2	$\delta\nu$	$\omega\Delta$	Hov, kwh/d/m2	Hom, kwh/month/m2	τοξουν $[-\epsilon\phi(\phi - \beta) \cdot$ $\epsilon\phi\delta]$	$\omega\Delta\kappa$
15/1	55,8	15	1,417	-21,30	70,00	3,956	122,626	95,78	70,00
14/2	48,1	45	1,406	-13,67	77,71	5,397	151,127	91,64	77,71
15/3	37,0	74	1,386	-2,89	87,52	7,415	229,852	89,78	87,52
15/4	23,3	105	1,362	9,34	98,38	9,560	286,801	93,09	93,09
15/5	11,1	135	1,342	18,74	107,39	11,041	342,283	101,45	101,45
15/6	3,4	166	1,329	23,30	112,25	11,680	350,393	109,61	109,61
15/7	6,7	196	1,328	21,56	110,27	11,382	352,853	105,78	105,78
15/8	19,0	227	1,340	13,87	102,45	10,172	315,338	95,76	95,76
15/9	34,9	258	1,361	2,33	91,95	8,225	246,758	90,25	90,25
15/10	50,4	288	1,384	-9,49	81,46	6,091	188,823	91,57	81,46
15/11	60,2	319	1,405	-19,08	72,24	4,325	129,755	96,85	72,24
15/12	61,4	349	1,417	-23,32	67,73	3,565	110,511	99,07	67,73

και για την Ιεράπετρα τα αποτελέσματα:

	β	ν	lov, kw/m2	$\delta\nu$	$\omega\Delta$	Hov, kwh/d/m2	Hom, kwh/month/m2	τοξουν $[-\epsilon\phi(\phi - \beta)$ $\cdot \epsilon\phi\delta]$	$\omega\Delta\kappa$
15/1	53,5	15	1,417	-21,30	74,18	5,035	156,086	97,47	74,18
14/2	45,6	45	1,406	-13,67	80,23	6,394	179,038	92,58	80,23
15/3	33,3	74	1,386	-2,89	88,02	8,201	254,235	89,91	88,02
15/4	17,8	105	1,362	9,34	96,67	10,001	300,021	92,96	92,96
15/5	4,2	135	1,342	18,74	103,78	11,150	345,662	101,75	101,75
15/6	-2,9	166	1,329	23,30	107,56	11,609	348,281	109,61	107,56
15/7	-0,4	196	1,328	21,56	106,03	11,385	352,926	106,22	106,03
15/8	12,1	227	1,340	13,87	99,89	10,462	324,333	95,91	95,91
15/9	28,6	258	1,361	2,33	91,55	8,874	266,234	90,25	90,25
15/10	44,4	288	1,384	-9,49	83,20	7,012	217,358	91,62	83,20
15/11	55,0	319	1,405	-19,08	75,93	5,381	161,431	97,28	75,93
15/12	57,2	349	1,417	-23,32	72,42	4,653	144,247	100,16	72,42

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

- 7. από το αντίστοιχο Σχήμα εκτιμάται η μέση ημερήσια κλίμακα μάζας AM και
- 8. με βάση αυτή, η μηνιαία ακτινοβολία που φθάνει σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της γής HH, μέσω της κατάλληλης μορφής Εξίσωσης 13 ($H_H = I = 1,1 \cdot H_{OM} \cdot 0,7^{(0,678 \cdot AM^{15})}$).

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι συντελεστές:

9. R_A από την Εξ. 17:
$$R_A = \frac{\sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta_n \cdot \eta \mu \omega_{\Delta\kappa} + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_{\Delta\kappa} \cdot \eta \mu(\phi - \beta) \cdot \eta \mu \delta_n}{\sin \phi \cdot \sin \delta_n \cdot \eta \mu \omega_{\Delta} + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_{\Delta} \cdot \eta \mu \phi \cdot \eta \mu \delta_n}$$

10. R_{Δ} από την Εξ. 19:
$$R_{\Delta} = \frac{H_{\Delta\kappa}}{H_{\Delta}} = \frac{1 + \sin \beta}{2}$$

11. R_{α} από την Εξ. 20:
$$R_{\alpha} = \frac{1 - \sin \beta}{2}$$

- 12. ενώ η αιθριότητα K εκτιμάται, για την μέση ημέρα κάθε μήνα από την Εξίσωση 16

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

- 13. με βάση την αιθριότητα υπολογίζεται ο λόγος διάχυτης προς ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο πλαίσιο στην επιφάνεια της γής H_{Δ}/H_H , από την Εξ. 15:
$$H_{\Delta}/H_H = 1,446 - 2,965 \cdot K + 1,727 \cdot K^2$$

- 14. ο ολικός δείκτης διόρθωσης R_H υπολογίζεται από την Εξ. 21:

$$R_H = \frac{H_{H\kappa}}{H_H} = \left[1 - \frac{H_{\Delta}}{H_H}\right] R_A + \frac{H_{\Delta}}{H_H} \left(\frac{1 + \sin \beta}{2}\right) + \rho \left(\frac{1 - \sin \beta}{2}\right)$$

- 15. και η ολική ενέργεια που φθάνει στο κεκλιμένο πλαίσιο $H_{H\kappa}$, τον κάθε μήνα του χρόνου από την Εξ. 22:
$$H_{H\kappa} = R_H \cdot H_H$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

[illegible]

και για την Ιεράπετρα τα αποτελέσματα:

[illegible]

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Να υπολογισθεί η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται Φ/Β συλλέκτης, στην περιοχή της Ιεράπετρας αν αυτός α) είναι τοποθετημένος με σταθερή κλίση 34° όλο το έτος, β) λαμβάνει τη βέλτιστη κλίση κάθε ημέρα και γ) αν επιπλέον της βέλτιστης κάθε ημέρα παρακολουθεί και την ημερήσια διαδρομή του ήλιου (περιστροφή διπλού άξονα).



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Λύση

Αντίστοιχα προς τα Παραδείγματα 2 και 3 τα αποτελέσματα για σταθερή κλίση 34° είναι:

β	ν	I _{ov} , kw/m2	δν	ωΔ	H _{ov} , kwh/d/m2	H _{om} , kwh/month/m2	AM	H _H , kwh/month/m2	ωΔκ	ωΔκ
34,0	15	1,417	-21,27	74,18	5,038	156,165	4,6	56,477	89,61	74,18
34,0	45	1,406	-13,62	80,23	6,397	179,129	3,49	84,728	89,76	80,23
34,0	74	1,386	-2,82	88,02	8,205	254,364	3	135,450	89,95	88,02
34,0	105	1,362	9,41	96,67	10,006	300,173	2,71	171,455	90,17	90,17
34,0	135	1,342	18,79	103,78	11,156	345,838	2,64	200,911	90,34	90,34
34,0	166	1,329	23,31	107,56	11,615	348,458	2,635	202,678	90,43	90,43
34,0	196	1,328	21,52	106,03	11,390	353,105	2,63	205,629	90,39	90,39
34,0	227	1,340	13,78	99,89	10,468	324,497	2,67	187,150	90,25	90,25
34,0	258	1,361	2,22	91,55	8,879	266,369	2,86	146,727	90,04	90,04
34,0	288	1,384	-9,60	83,20	7,015	217,468	3,27	108,483	89,83	83,20
34,0	319	1,405	-19,15	75,93	5,384	161,513	3,87	69,688	89,65	75,93
34,0	349	1,417	-23,34	72,42	4,655	144,320	4,27	56,529	89,57	72,42

RA	RΔ	Ra	K	HΔ/HH	RH	HHκ
1,91	0,91	0,09	0,41	0,52	1,41	79,621
1,60	0,91	0,09	0,44	0,47	1,29	109,423
1,29	0,91	0,09	0,48	0,41	1,15	155,728
1,03	0,91	0,09	0,53	0,35	1,01	172,629
0,88	0,91	0,09	0,58	0,31	0,91	182,146
0,81	0,91	0,09	0,61	0,28	0,86	173,968
0,84	0,91	0,09	0,62	0,27	0,88	180,098
0,96	0,91	0,09	0,62	0,27	0,96	180,075
1,17	0,91	0,09	0,59	0,29	1,11	163,348
1,47	0,91	0,09	0,56	0,33	1,30	141,299
1,81	0,91	0,09	0,50	0,40	1,47	102,781
2,02	0,91	0,09	0,44	0,48	1,51	85,125
						1726,241

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Λύση

Αντίστοιχα προς τα Παραδείγματα 2 και 3 τα αποτελέσματα για βέλτιστη ημερήσια κλίση είναι:

β	ν	I _{ov} , kw/m2	δν	ωΔ	H _{ov} , kwh/d/m2	H _{om} , kwh/month/m2	AM	H _H , kwh/month/m2	ωΔκ	ωΔκ
53,5	15	1,417	-21,27	74,18	5,038	156,165	4,6	56,477	97,47	74,18
45,6	45	1,406	-13,62	80,23	6,397	179,129	3,49	84,728	92,58	80,23
33,3	74	1,386	-2,82	88,02	8,205	254,364	3	135,450	89,91	88,02
17,8	105	1,362	9,41	96,67	10,006	300,173	2,71	171,455	92,96	92,96
4,2	135	1,342	18,79	103,78	11,156	345,838	2,64	200,911	101,75	101,75
-2,9	166	1,329	23,31	107,56	11,615	348,458	2,635	202,678	109,61	107,56
-0,4	196	1,328	21,52	106,03	11,390	353,105	2,63	205,629	106,22	106,03
12,1	227	1,340	13,78	99,89	10,468	324,497	2,67	187,150	95,91	95,91
28,6	258	1,361	2,22	91,55	8,879	266,369	2,86	146,727	90,25	90,25
44,4	288	1,384	-9,60	83,20	7,015	217,468	3,27	108,483	91,62	83,20
55,0	319	1,405	-19,15	75,93	5,384	161,513	3,87	69,688	97,28	75,93
57,2	349	1,417	-23,34	72,42	4,655	144,320	4,27	56,529	100,16	72,42

RA	RΔ	Ra	K	HΔ/HH	RH	HHκ
2,15	0,80	0,20	0,41	0,52	1,49	83,983
1,68	0,85	0,15	0,44	0,47	1,32	111,675
1,29	0,92	0,08	0,48	0,41	1,15	155,699
1,06	0,98	0,02	0,53	0,35	1,04	177,574
1,00	1,00	0,00	0,58	0,31	1,00	201,041
1,00	1,00	0,00	0,61	0,28	1,00	203,168
1,00	1,00	0,00	0,62	0,27	1,00	205,659
1,02	0,99	0,01	0,62	0,27	1,02	190,076
1,17	0,94	0,06	0,59	0,29	1,12	163,644
1,52	0,86	0,14	0,56	0,33	1,33	143,847
2,01	0,79	0,21	0,50	0,40	1,57	109,552
2,33	0,77	0,23	0,44	0,48	1,63	91,996
						1837,914

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Λύση

Για μεταβαλλόμενη κλίση διπλού άξονα μεταβάλλεται η τιμή της RA:

β	ν	Ion, kw/m2	δν	ωΔ	Hon, kwh/d/m2	Hom, kwh/month/m2	AM	HH, kwh/month/m2	ωΔκ	ωΔκ
53,5	15	1,417	-21,27	74,18	5,038	156,165	4,6	56,477	97,47	74,18
45,6	45	1,406	-13,62	80,23	6,397	179,129	3,49	84,728	92,58	80,23
33,3	74	1,386	-2,82	88,02	8,205	254,364	3	135,450	89,91	88,02
17,8	105	1,362	9,41	96,67	10,006	300,173	2,71	171,455	92,96	92,96
4,2	135	1,342	18,79	103,78	11,156	345,838	2,64	200,911	101,75	101,75
-2,9	166	1,329	23,31	107,56	11,615	348,458	2,635	202,678	109,61	107,56
-0,4	196	1,328	21,52	106,03	11,390	353,105	2,63	205,629	106,22	106,03
12,1	227	1,340	13,78	99,89	10,468	324,497	2,67	187,150	95,91	95,91
28,6	258	1,361	2,22	91,55	8,879	266,369	2,86	146,727	90,25	90,25
44,4	288	1,384	-9,60	83,20	7,015	217,468	3,27	108,483	91,62	83,20
55,0	319	1,405	-19,15	75,93	5,384	161,513	3,87	69,688	97,28	75,93
57,2	349	1,417	-23,34	72,42	4,655	144,320	4,27	56,529	100,16	72,42

RA	RA	Ra	K	HΔ/HH	RH	HHκ
2,78	0,80	0,20	0,41	0,52	1,76	99,165
2,35	0,85	0,15	0,44	0,47	1,64	139,214
1,98	0,92	0,08	0,48	0,41	1,54	209,083
1,69	0,98	0,02	0,53	0,35	1,44	246,253
1,63	1,00	0,00	0,58	0,31	1,44	288,479
1,64	1,00	0,00	0,61	0,28	1,46	296,160
1,65	1,00	0,00	0,62	0,27	1,47	303,249
1,64	0,99	0,01	0,62	0,27	1,46	273,456
1,85	0,94	0,06	0,59	0,29	1,58	231,892
2,19	0,86	0,14	0,56	0,33	1,75	189,830
2,64	0,79	0,21	0,50	0,40	1,91	133,398
2,94	0,77	0,23	0,44	0,48	1,91	107,785
						2517,965