

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΠΕ



Γ. ΒΙΣΚΑΔΟΥΡΟΣ
Ι. Φραγκιαδάκης – Φ. Μαυροματάκης

Διάρθρωση Εργαστηρίου

- Ώρες Εργαστηρίου
- ΟΜΑΔΑ Α : ΔΕΥΤΕΡΑ 16:00-19:00
- ΟΜΑΔΑ Β : ΤΡΙΤΗ 17:00-18:00
- ΟΜΑΔΑ Γ : ΤΕΤΑΡΤΗ 17:00-20:00
- ΟΜΑΔΑ Δ : ΠΕΜΠΤΗ 16:00-19:00
- ΟΜΑΔΑ Ε : ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 14:00-17:00

ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

- Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία : διαδιδόμενη διαταραχή συνδυασμένου ηλεκτρικού – μαγνητικού πεδίου
- Σχετίζεται με :
 1. Θερμική ακτινοβολία (θερμοκρασία των σωμάτων)
 2. Ηλεκτρονική αποδιέγερση διεγερμένων δομικών λίθων (κρούση 2 διαφορετικών υλικών)

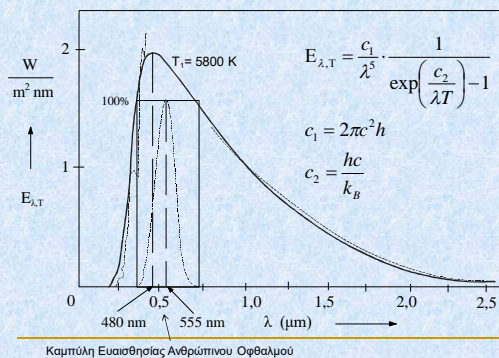
Θερμική ακτινοβολία

- Πυκνότητα Ισχύος Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας:

$$E_{\lambda,T} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{nm)}$$

- Για μικρά μήκη κύματος : $E_{\lambda,T} \propto (1/\lambda^5)e^{-a/\lambda T}$
(Νόμος Ακτινοβολίας Wien)
- Για μεγάλα μήκη κύματος : $E_{\lambda,T} \propto (1/\lambda^4)$
(Νόμος Ακτινοβολίας Rayleigh - Jeans)
- Max Planck : κβάντα ενέργειας ,διέγερση- αποδιέγερση, $U=hf$
- Μέλαν-Μαύρο Σώμα : απορροφάει ενέργεια, εκπέμπει ακτινοβολία, χαρακτηριστική της θερμοκρασίας του

Συνάρτηση κατανομής της φασματικής πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, στα όρια της ατμόσφαιρας της γης

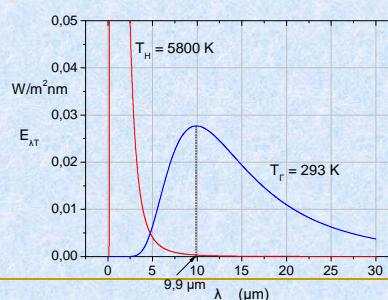


Ηλιακή Ενέργεια

- Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από την θερμοκρασία του ήλιου που είναι περίπου 5800°K
- Το 99% της ηλιακής ενέργειας εμφανίζεται σε μήκος κύματος από 0.25 έως 4.0 μm
- Σύμφωνα με την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας:
 - Ορατό [λ : 0.39-0.77μm] περιέχει το 46.41% της ενέργειας
 - Υπεριώδες [$\lambda < 0.4\mu\text{m}$] περιέχει το 8.03% της ενέργειας
 - Υπόλοιπο [$\lambda > 0.77\mu\text{m}$] περιέχει το 46.4% της ενέργειας

Ηλιακή ακτινοβολία – Ακτινοβολία γης - Νόμος του Wien

$$\lambda_{\text{μεγ}} \cdot T = \text{const} = 2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$$



Εκπομπή - Απορρόφηση

- Ικανότητα Εκπομπής ($\epsilon_{\lambda T}$): το πηλίκο της εκπεμπόμενης ενέργειας από το πραγματικό σώμα προς την εκπεμπόμενη ενέργεια του μέλανος σώματος σε ίδια μήκη κύματος

- 0 : τέλειος ανακλαστήρας
- 1 : μέλαν σώμα

$$E_{\lambda T, \sigma} = \epsilon_{\lambda T} * E_{\lambda T}$$

- Νόμος θερμικής ακτινοβολίας Kirchoff : $\epsilon_{\lambda T} = a_{\lambda T}$

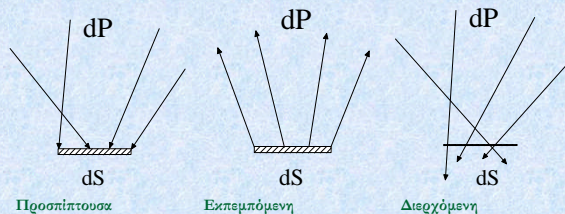
- Κάθε σώμα εκπέμπει εκείνα τα μήκη κύματος θερμικής ακτινοβολίας, τα οποία στην ίδια θερμοκρασία μπορεί να απορροφήσει

- Εκπεμπόμενη πυκνότητα ισχύος ΗΜ ακτινοβολίας από ένα σώμα :

$$P_H = \epsilon_{\lambda T} \cdot \sigma \cdot S_H \cdot (T_H^4 - T_{\pi T}^4)$$

Σταθερά Stefan – Boltzmann $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

Πυκνότητα ισχύος



$$E = \frac{dP}{dS} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

Ήλιος

- Διάμετρος: $r = 1.392.000 \text{ Km}$ (109 φορές η διάμετρος της γης).
- Μέση απόσταση από τη γη: $149.597.870 \text{ Km}$ ($= 1 \text{ AU} = 215 r$)
- Ηλικία: 4.5×10^9 έτη
- Μάζα: $m = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ (≈ 330.000 φορές η μάζα της γης)
- Απόσταση Γης – Ήλιου :
 - Αφήλιο : Μέγιστη Τιμή (4 Ιουλίου)
 - Περιήλιο : Ελάχιστη Τιμή (3 Ιανουαρίου)
 - Φως από ήλιο : 8,5min



Ηλιακή σταθερά

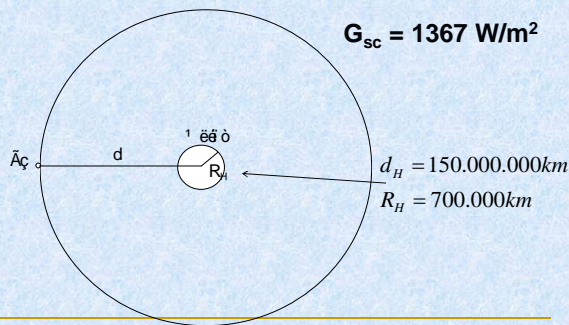
Ηλιακή σταθερά G_{SC} ονομάζεται η ολική φαινόμενη λαμπρότητα του Ήλιου.

Πρόκειται για τη συνολική ροή (για κάθε μήκος κύματος) της ακτινοβολίας του Ήλιου στη μονάδα του χρόνου και στη μονάδα επιφανείας κάθετης στις ηλιακές ακτίνες στο όριο της γήινης ατμόσφαιρας, στη μέση απόσταση Ήλιου-Γης.

Οι τιμές στην βιβλιογραφία κυμαίνονται από 1353 έως 1395 W/m^2

$$G_{SC} = 1367 \times W \cdot m^{-2}$$

Ηλιακή σταθερά της γης



Προσεγγιστικός υπολογισμός της G_{sc}

- Ισχύς εκπεμπόμενης ηλ. ακτινοβολίας:

$$P_H = \varepsilon_{\lambda\tau} \cdot \sigma \cdot S_H \cdot (T_H^4 - T_{\pi}^4)$$

- Ένταση ηλ. ακτινοβολίας στη θέση της γης:

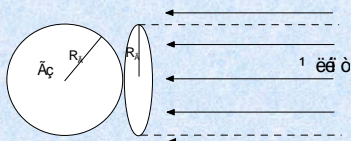
$$G_{sc} = \frac{P_H}{S_d} = \frac{\varepsilon_{\lambda\tau} \cdot \sigma \cdot S_H \cdot (T_H^4 - T_{\pi}^4)}{S_d} \approx \varepsilon_{\lambda\tau} \cdot \sigma \cdot T_H^4 \left(\frac{R_H}{d} \right)^2$$

$$= 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (5800)^4 \cdot \left(\frac{7 \cdot 10^5}{15 \cdot 10^7} \right)^2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$= 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1131,6 \cdot 10^{12} \cdot \left(\frac{7}{15} \right)^2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$= 1397,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη γη ημερησίως



$$E_{\text{προσπ}} = P_{\text{προσπ}} \cdot T = G_{sc} \cdot S_T \cdot T = G_{sc} \cdot \pi \cdot R_T^2 \cdot T =$$

$$= 1367 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \pi \cdot (6,4 \cdot 10^6 \text{ m})^2 \cdot 24 \text{ h}$$

$$= 4,22 \cdot 10^{15} \cdot \text{kWh} / d$$

Ενέργεια από τον ήλιο

- Η ημερήσια ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης υπερκαλύπτει το σύνολο των ενεργειακών απαιτήσεων του πλανήτη.
- Την ενεργειακή αυτή απαίτηση θα μπορούσαν να την αποδίδουν ΦΒ στοιχεία που θα κάλυπταν, περίπου, την έκταση της Σαχάρας (9.400.000 τ.χλμ).

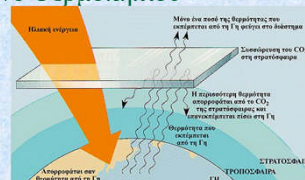
Στοιχεία Ατμόσφαιρας

ΣΥΝΘΕΣΗ

- > N₂ 78,1%
- > O₂ 20,9%
- > Ar 0,93%
- > Αέρια του Θερμοκηπίου (CO₂, CH₄, N₂O, O₃) 0,1%

Επιπλέον η ατμόσφαιρα περιέχει υδατμούς (1%), καθώς και υγρά και στερεά μόρια (aerosols).

Φαινόμενο Θερμοκηπίου

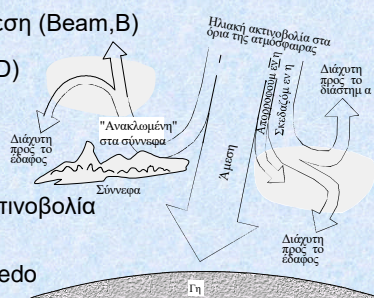


Η φυσική διαδικασία κατά την οποία οι ακτίνες του ηλίου παγιδεύονται και αντανακλώνται στη Γη με τη βοήθεια κάποιων συγκεκριμένων αερίων, ονομάζεται **φαινόμενο του θερμοκηπίου**.

- Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι: διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), όζον (O₃), χλωροφθοράνθρακες (CFS), μεθάνιο (CH₄).
- Χρήσιμο, γιατί χωρίς αυτό δε θα υπήρχε ζωή στον πλανήτη.
- Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση των «αερίων του θερμοκηπίου».

Συνιστώσες ηλ. ακτινοβολίας

- ❖ Απ'ευθείας ή άμεση (Beam, B)
- ❖ Διάχυτη (Diffuse, D)
- ❖ Διάχυτα Ανακλώμενη (Albedo)
- ❖ Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία (Global, G)
- ❖ $Global = B + D + albedo$

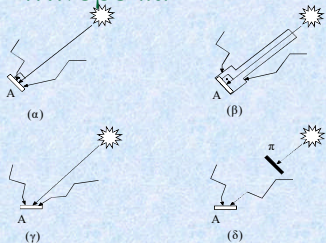


Παράγοντες Εξάρτησης Ακτινοβολίας

- Άμεση και Διάχυτη
 1. Σύσταση-κατάσταση της ατμόσφαιρας
 2. Την ημέρα του έτους
 3. Γωνία πρόσπτωσης ακτίνων κατά τη διάρκεια της ημέρας
 4. Γεωγραφικό μήκος-πλάτος περιοχής μέτρησης
- Διάχυτα Ανακλώμενη
 - Είδος Επιφάνειας

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής διάχυτης ανάκλασης ή albedo
Επιφάνεια νερού, θάλασσα	0.05
Ασφαλτόστρωμα	0.07
Άγρος σκοτεινόχρωμος	0.08
Άγρος πράσινος	0.15
Βραχώδης επιφάνεια	0.20
Επιφάνεια τσιμέντου	0.24 - 0.30
Χιόνι	0.60

Ηλιακή Ακτινοβολία



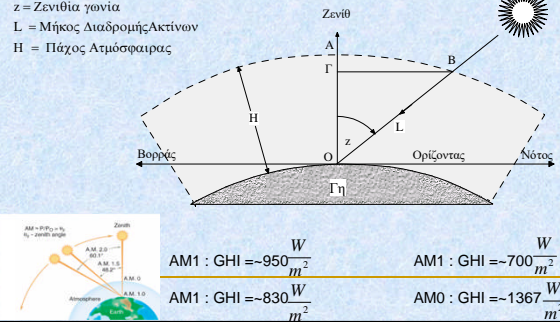
- α) Ολική ακτινοβολία σε επιφάνεια κάθετη στην άμεση (GNI : Global Normal Irradiation)
- β) Απευθείας ή άμεση ακτινοβολία (BNI: Beam Normal Irradiation)
- γ) Ολική ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια (GHI : Global Horizontal Irradiation)
- δ) Διάχυτη ακτινοβολία (DHI : Diffuse Horizontal Irradiation)

Η έννοια της AM

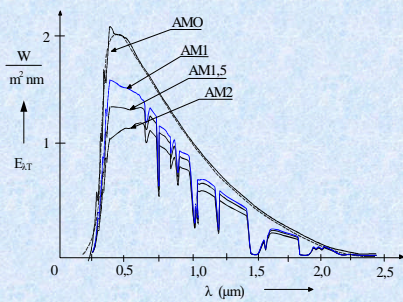
$$AM = \frac{L}{H} \approx \frac{1}{\cos z}$$

z = Ζενιθία γωνία
 L = Μήκος Διαδρομής Ακτίνων
 H = Πάχος Ατμόσφαιρας

Ένας γεωμετρικός παράγων που προσδιορίζει την απορροφητική δράση της ατμόσφαιρας της γης.



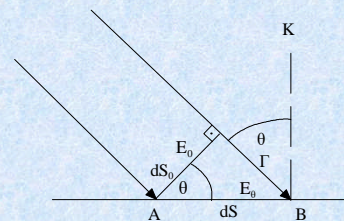
Φάσματα AM0, AM1, AM1,5 και AM2



Νόμος Lambert

- Εξάρτηση της πυκνότητας ισχύος από τη γωνία πρόσπτωσης στην επιφάνεια

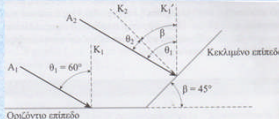
$$E_{\theta} = E_0 \cdot \sigma \nu \theta$$



Νόμος Lambert

■ Παράδειγμα

- Η πυκνότητα ισχύος παράλληλων ΗΜ ακτινοβολίας που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο, με γωνία πρόσπτωσης $\theta_1=60^\circ$, είναι $E=1000 \text{ W/m}^2$. Να υπολογιστεί η πυκνότητα ισχύος στο οριζόντιο επίπεδο καθώς και σε κεκλιμένο επίπεδο, γωνία κλίσης 45° όπως στο παρακάτω σχήμα.



Πυκνότητα Ισχύος στο οριζόντιο επίπεδο

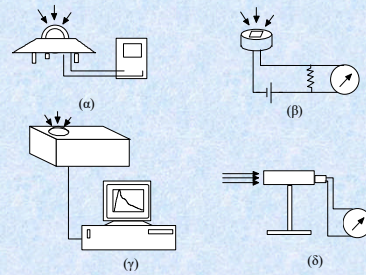
$$E_{\text{ορ}} = E_0 \cdot \sin\theta = 1000 \text{ W/m}^2 \cdot \sin 60^\circ = 500 \text{ W/m}^2$$

Πυκνότητα Ισχύος στο κεκλιμένο επίπεδο

Νέα Γωνία, $\beta = \theta_2 - \theta_1 = 60^\circ - 45^\circ = 15^\circ$

$$E_{\text{κεκλ}} = E_0 \cdot \sin\theta = 1000 \text{ W/m}^2 \cdot \sin 15^\circ = 966 \text{ W/m}^2$$

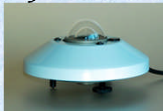
Μέτρηση ηλ. ακτινοβολίας



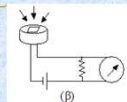
(α) Πυρανόμετρο, (β) Φωτοδιόδος,
(γ) Φασματοραδιόμετρο, (δ) Πυροηλεκτρικός κρύσταλλος

Πυρανόμετρο

- Όργανο μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας
- Αρχή Λειτουργίας : θερμοηλεκτρικό φαινόμενο
 - Η ακτινοβολία προσπίπτει στην ενεργό επιφάνεια (μαύρη), την θερμαίνει και έτσι δημιουργείται διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της θερμαινόμενης πλάκας και μιας άλλης στο εσωτερικό του πυρανομέτρου.
 - Η διαφορά θερμοκρασίας οδηγεί σε διαφορά δυναμικού που μετριέται με ένα βολτόμετρο.
 - Κάθε πυρανόμετρο χαρακτηρίζεται από μία σταθερά, την ευαισθησία του σε ΗΜ ακτινοβολία ($\text{V/W}\cdot\text{m}^2$)



Φωτοδιόδος

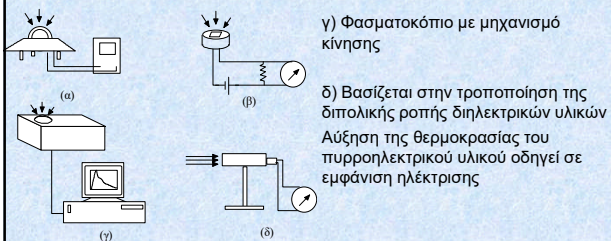


- Αποτελούνται από μία φωτοευαίσθητη δίοδο ημιαγωγού, δηλαδή μία επαφή p-n που έχει στην άνω όψη της ένα φωτοαγωγίμο στρώμα.
- Η πρόσπτωση φωτός στην επιφάνειά τους δημιουργεί ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών στην περιοχή της επαφής, δηλαδή ένα μικρό ρεύμα (φωτόρεύμα).
- Το φωτόρεύμα είναι αμελητέο σε σύγκριση με τα ρεύματα που διαρρέουν τις φωτοδιόδους όταν αυτές είναι ορθά πολωμένες, οπότε άγουν ως κανονικές διόδους.
- Όταν όμως οι φωτοδιόδοι είναι ανάστροφα πολωμένες, το φωτόρεύμα καθίσταται σημαντικό και επιτρέπει τη μέτρηση της προσπίπτουσας φωτεινής έντασης.



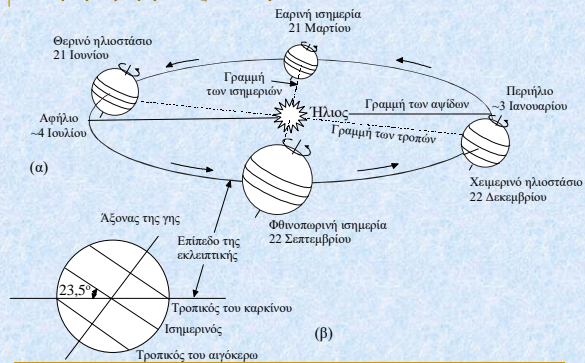
Material	Wavelength range (nm)
Silicon	190-1100
Germanium	400-1700
Indium gallium arsenide	800-2600
Lead sulfide	<1000-3500

Μέτρηση ηλ. ακτινοβολίας

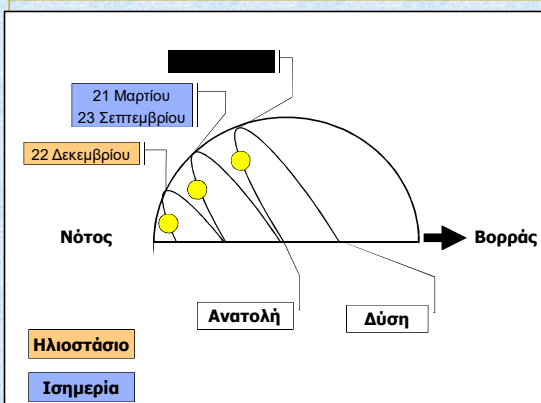
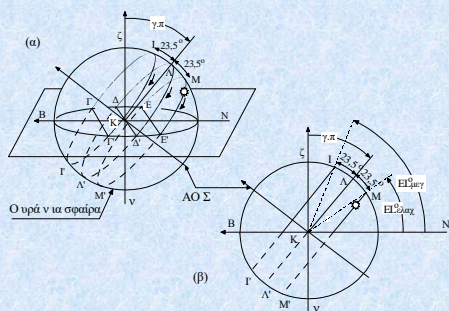


(α) Πυρανόμετρο, (β) Φωτοδιόδος,
(γ) Φασματοραδιόμετρο, (δ) Πυροηλεκτρικός κρύσταλλος

Κίνηση της γης περί τον ήλιο



Κίνηση του ήλιου από τη θέση του παρατηρητή



Οι συντεταγμένες θέσης του ήλιου

Elevation (Υψος του ήλιου) :
Γωνία μεταξύ της ευθείας από τον παρατηρητή προς τον ήλιο και το οριζόντιο επίπεδο

$$\sin EL = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega$$

Αζιμούθιο : Γωνία μεταξύ του κατακόρυφου επιπέδου , που περιέχει τον ήλιο και του γεωγραφικού μεσημβρινού

- Για νότιο προσανατολισμό $\gamma=0$
- •Για γωνίες δυτικά $\gamma \rightarrow (+)$
- •Για γωνίες ανατολικά $\gamma \rightarrow (-)$

$$\sin A = \sin \gamma = \frac{-\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos EL}$$

Συντεταγμένες του τόπου παρατήρησης Συντεταγμένες συλλέκτη

Οριζόντιο επίπεδο τόπου T

Κλίση β: την κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο

Κίνηση του Ήλιου

- Συχνά είναι αναγκαία η γνώση της κίνησης του ήλιου για τους υπολογισμούς που σχετίζονται με την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας\
- **Απόκλιση δ** του ήλιου ορίζεται η γωνία ανάμεσα στην ευθεία ήλιου-γης και την προβολή της στο επίπεδο του ισημερινού
 - Η μέγιστη τιμή της, κατά το θερινό ηλιοστάσιο, είναι: 23.45°
 - Η ελάχιστη τιμή της, κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο, είναι: -23.45°

$$\delta = 23.45 \sin \left(\frac{360(284+n)}{365} \right)$$

Γεωγραφικό πλάτος του τόπου φ
 $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$

Κίνηση του Ήλιου

- **Ωριαία γωνία ω:** είναι η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τόπικου μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γής περί τον άξονά της με ρυθμό $15^\circ/h$.
 - + μμ. -πμ. Στο ηλιακό μεσημέρι $\omega=0$
 - $\omega = \pm 0.25 \cdot (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι})$

- **Γωνία πρόσπτωσης θ:** είναι η γωνία που σχηματίζει η ευθεία όρασης του ήλιου με την κατακόρυφο

α) Γενικός τύπος

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega$$

β) Κατακόρυφες επιφάνειες $\beta=90^\circ$

$$\cos \theta = -\sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega$$

γ) Οριζόντιες επιφάνειες $\beta=0^\circ$
(θ_ε =γωνία ζενιθ)

$$\cos \theta_e = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega$$

- δ) Για κεκλιμένες επιφάνειες στο β. ημισφαίριο στραμμένες προς το νότο $\gamma=0$

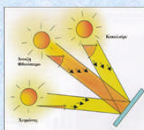
$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \cdot \cos(\phi - \beta) \cdot \cos \omega$$

Κίνηση του Ήλιου

- Η ωριαία γωνία ανατολής ω_{sr} είναι : $\cos \omega_{sr} = \tan \phi \cdot \tan \delta$
- Η ωριαία γωνία δύσης ω_{ss} είναι : $\omega_{ss} = -\omega_{sr}$

- Ηλιακός χρόνος δύσης : $t_{ss} = 12 - \frac{24}{360} \omega_{ss}$

- Ηλιακός χρόνος ανατολής : $t_{sr} = 12 - \frac{24}{360} \omega_{sr}$



- Η διάρκεια της ημέρας (σε ώρες) είναι :

$$\tau(h) = \frac{24}{\pi} \arccos(-\tan \phi \cdot \tan \delta)$$

- Ακριβής ώρα ανατολής: $12 - \tau(h)/2$
- Ακριβής ώρα δύσης: $12 + \tau(h)/2$

Κίνηση του Ήλιου

Παράδειγμα

Να υπολογίσετε το ύψος και το αζιμούθιο του ήλιου τη χρονική στιγμή $t_A=10,95h$ (11:00 ή 12:00) στο αεροδρόμιο του Ηρακλείου ($\phi=35,5^\circ, L=25,2^\circ$) στις 24 Οκτωβρίου 2005.

Λύση

$$n = 297$$

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360(284+n)}{365}\right) = 12,7^\circ$$

$$\cos \omega_{sr} = \tan \phi \cdot \tan \delta \Rightarrow \omega_{sr} = 15,8^\circ$$

$$\sin EL = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega = 0,637 \Rightarrow EL = 39,6^\circ$$

$$\sin A = \sin \gamma = \frac{-\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos EL} = 0,345 \Rightarrow A = 20,2^\circ$$

Κίνηση του Ήλιου

Παράδειγμα

Με τα προηγούμενα δεδομένα να υπολογιστούν οι χρόνοι ανατολής και δύσης του ήλιου.

Λύση

$$n = 297, \delta = -12,7^\circ, \omega_{sr} = 15,8^\circ, EL = 39,6^\circ, A = 20,2^\circ$$

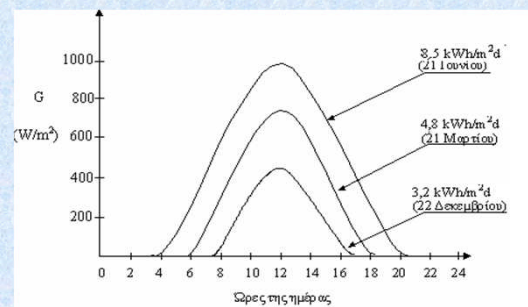
$$t_{sr} = 12 - \frac{24}{360} \omega_{sr} = 6,61h$$

$$\omega_{ss} = -\omega_{sr} = -15,8^\circ$$

$$t_{ss} = 12 - \frac{24}{360} \omega_{ss} = 17,4h$$

$$\tau(h) = 17,44 - 6,67 = 10,8h$$

Πικνότητα ισχύος (G) ηλ. ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και αντίστοιχη ημερήσια ενεργειακή απολαβή, H (kWh/m²d), σε διάφορες εποχές



Ημερήσια Ενεργειακή Απολαβή

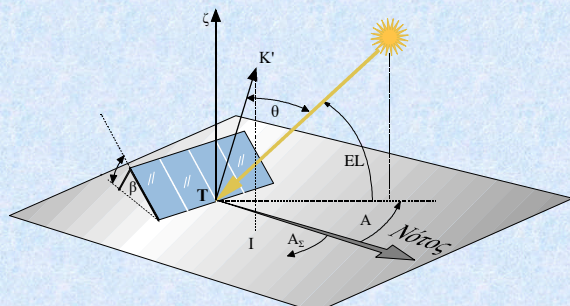
- Ημερήσια Ενεργειακή Απολαβή, H
- Ενέργεια που δίνει η ηλιακή ακτινοβολία σε μία μέρα σε επιφάνεια 1 m²
- Υπολογίζεται από το ολοκλήρωμα (εμβαδόν) κάτω από την αντίστοιχη καμπύλη πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας
- Πρακτικά υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το άθροισμα της ηλιακής ακτινοβολίας επί τον χρόνο που διαρκεί μια ημέρα (από Ανατολή έως Δύση)

$$H = \Sigma GHI * t \left(\frac{kWh}{m^2 * day} \right) \text{ ή } \left(\frac{MJoules}{m^2 * day} \right)$$

Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος

- Δεδομένα 30 ετών για ηλιακή ακτινοβολία
- Για κάθε μήνα επιλέγεται ο στατιστικά πιο πιθανός μήνας (μήνας αναφοράς)
 - Υπολογίζεται ή μέση μηνιαία τιμή για κάθε χρόνο και επιλέγεται ο μήνας με την μικρότερη απόκλιση από την μέση τιμή
- T.M.Y (Typical Meteorological Year) :
 - Το σύνολο των 12 μηνών αναφοράς

Χαρακτηριστικές γωνίες συλλέκτη

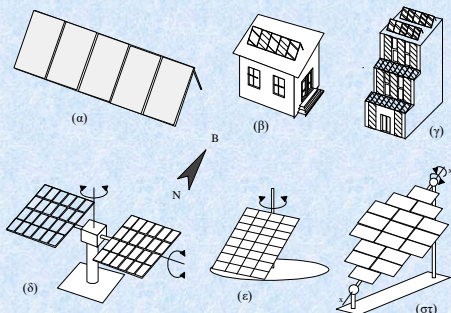


$$\cos \theta = \cos EL \cdot \sin \beta \cdot \cos(A - A_2) + \sin EL \cdot \cos \beta$$

Ηλιακή Ακτινοβολία

- Πρακτικοί κανόνες για την συλλογή της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας:
- Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ)
- Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10°-15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ).
- Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10°-15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ).
- Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση
- Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο γ) είναι νότιος (γ=0), ενώ απόκλιση κατά 20°-30° από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια

Σταθερή τοποθέτηση συλλεκτών - Ηλιοτρόπια



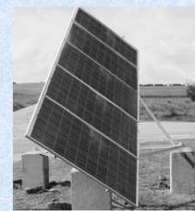
Ενδεικτική απόδοση ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση

Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο	Προσανατολισμός		
	Νότιος	Νοτιοανατολικός Νοτιοδυτικός	Ανατολικός Δυτικός
0 °	90%	90%	90%
15 °	98%	95%	88%
30 °	100%	95%	85%
90 °	60%	60%	50%

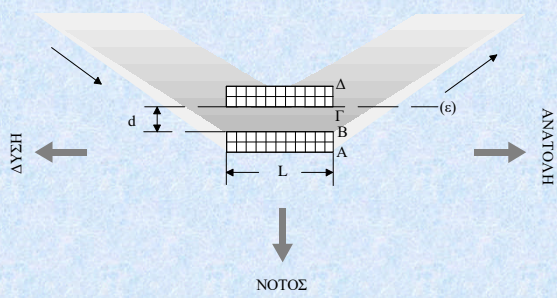
Σχετική αποδοτικότητα ΦΒ επί ηλιοτροπίων σε σχέση με το σταθερό συλλέκτη

- Ζενιθιακό (E-W): ~ 5-7%
- Αζιμουθιακό (β=βέλτιστη): ~10-22%
- Ζενιθιακό (N-S): ~ 24-31%
- Πολικό (β=βέλτιστη): ~24-32%
- Δύο αξόνων: ~25-35%

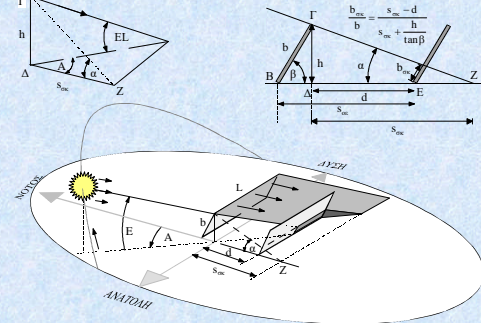
Tracking Systems



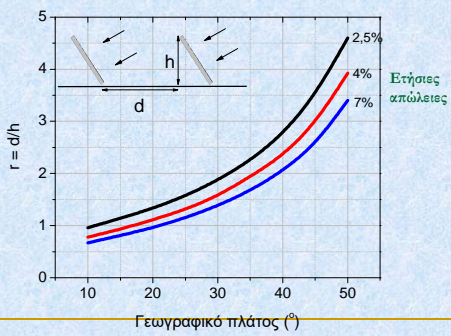
Σχίαση διαδοχικών συστοιχιών από το νότο προς το βορρά



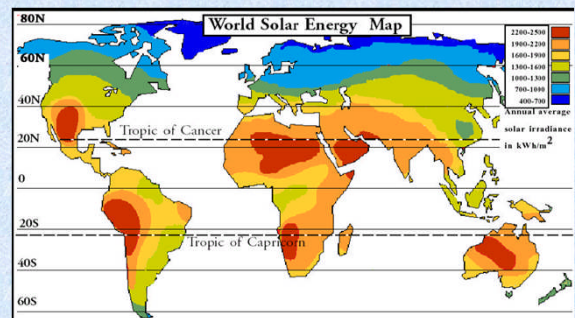
Σχίαση διαδοχικών συστοιχιών από το νότο προς το βορρά



Απόσταση συστοιχιών σε διάταξη από το νότο προς το βορρά

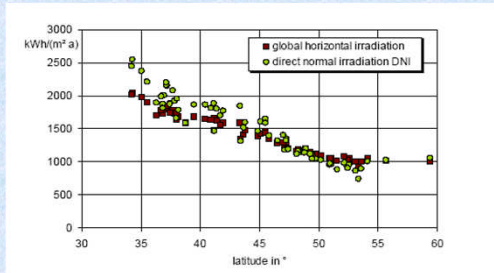


Ετήσια ενεργειακή απολαβή ηλιακής ακτινοβολίας (kWh/m²)



Ηλιακό δυναμικό (kWh/m².a)

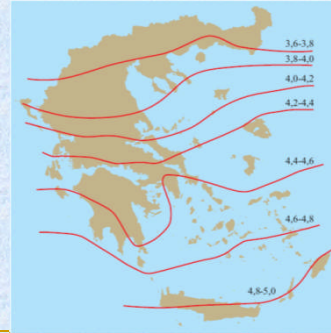
σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου



Volker Quaschnig¹⁾, Manuel Blanco Muriel²⁾

VGB Congress Power Plants 2001 - Brussels - October 10 to 12, 2001

Ηλιακό δυναμικό στη χώρα μας (kWh/m²/d)



Ηλιακή Ακτινοβολία

- Εξετάστηκαν όλα τα απαραίτητα μοντέλα και σχέσεις για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας (άμεση, διάχυτη, ολική) και οι συσχετίσεις αυτών των μεγεθών με επιφάνειες διαφορετικών προσανατολισμών και κλίσεων.
- Η έλλειψη μετρήσεων της ακτινοβολίας στο χρονικό βήμα που απαιτεί η κάθε μελέτη μπορεί να αντισταθμισθεί
 - είτε με την χρήση μοντέλων που απαιτούν μετρήσεις σε μεγαλύτερο χρονικό βήμα και τις ανάγουν σε μικρότερο
 - είτε με την χρήση μοντέλων υπολογισμών τα οποία δεν απαιτούν χρήση μετρήσεων
- Έτσι είναι δυνατόν να αξιολογηθεί ορθά η εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων (π.χ. ηλιακοί συλλέκτες) ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοσή τους