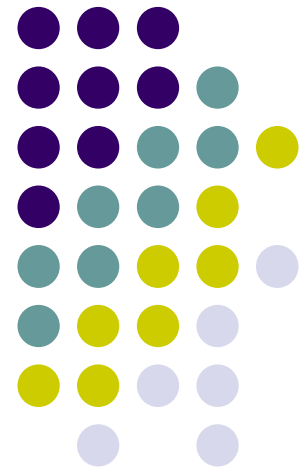


Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακή γεωμετρία & ακτινοβολία



Ηλιακή γεωμετρία

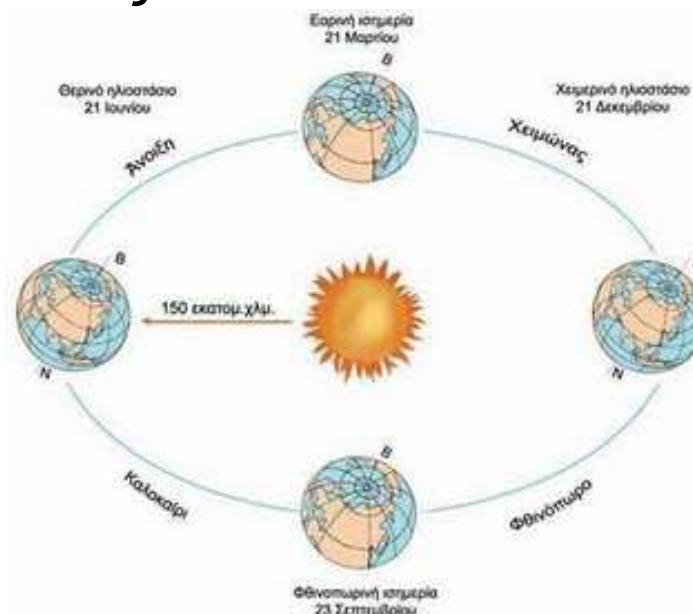
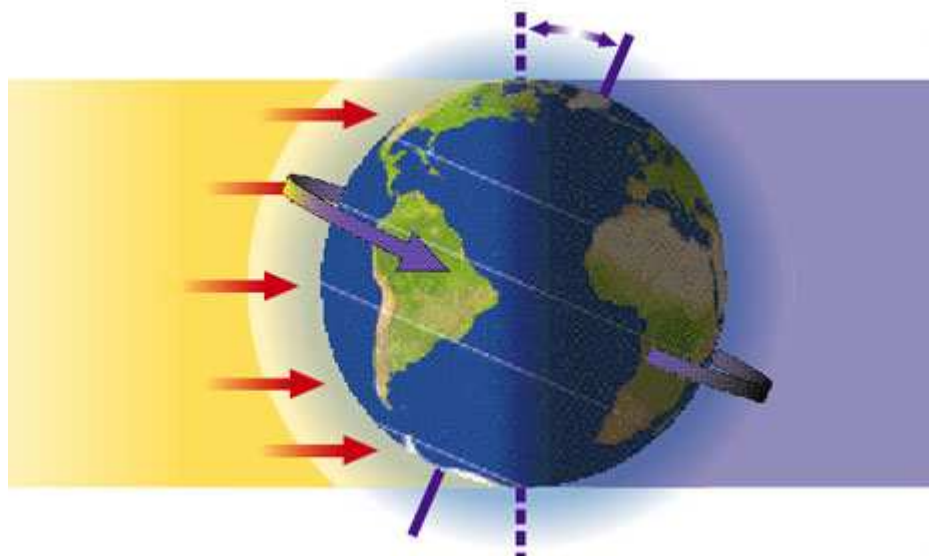


- Η Ηλιακή Γεωμετρία αναφέρεται στη μελέτη της θέσης του ήλιου σε σχέση με δεδομένο σημείο κατά ορισμένο χρονικό διάστημα.
- Σχετίζεται με ποικίλα θέματα εφαρμογής όπως:
 - την ερμηνεία των κλιματικών συνθηκών
 - τον υπολογισμό της ηλιακής πρόσπτωσης
 - τον προσδιορισμό της ηλιακής πρόσβασης
 - το σχεδιασμό ηλιοπροστασίας.

Οι κινήσεις της γης



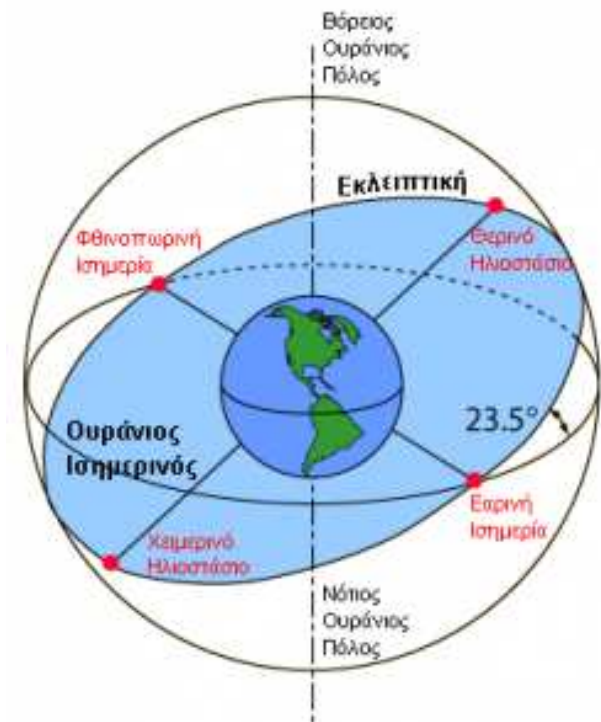
- Η Ηλιακή Γεωμετρία συνδέεται με τις δύο κύριες κινήσεις της Γης:
 - την ημερήσια περιστροφή γύρω από τον άξονα B-N από τα δυτικά προς τα ανατολικά η οποία διαρκεί 24 ώρες
 - και την ετήσια κίνηση γύρω από τον Ήλιο, που γίνεται με μέση ωριαία ταχύτητα 106.000km/h και διαρκεί 365 μέρες, 5 ώρες, 48' και 46''. Το διάστημα αυτό λέγεται έτος.



Οι κινήσεις της γης



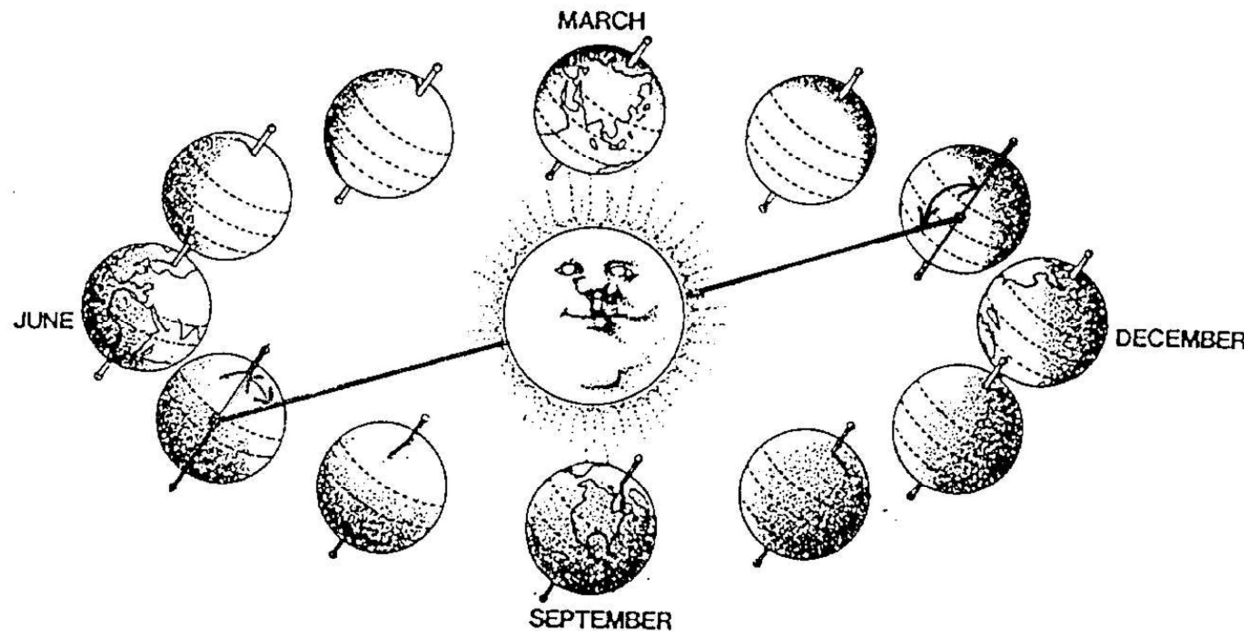
- Η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο σε ελλειπτική τροχιά (με τον Ήλιο στη θέση της μιας εστίας) και με μεταβλητή ταχύτητα (ανάλογα με την απόστασή της από τον Ήλιο).
- Για απλότητα θεωρούμε την τροχιά ως κυκλική και με σταθερή ταχύτητα, τον δε Ήλιο στο κέντρο της.
- Λόγω της μεγάλης ακτίνας της ελλειπτικής (περίπου 150.000.000km), οι ηλιακές ακτίνες που φθάνουν στη Γη είναι σχεδόν παράλληλες (στην πραγματικότητα σχηματίζουν γωνία μικρότερη από $0,5^\circ$).
- Πλησιέστερα στον ήλιο η γη βρίσκεται στις 2 Ιανουαρίου και μακρύτερα στις 3 Ιουλίου.





Απόκλιση άξονα γης

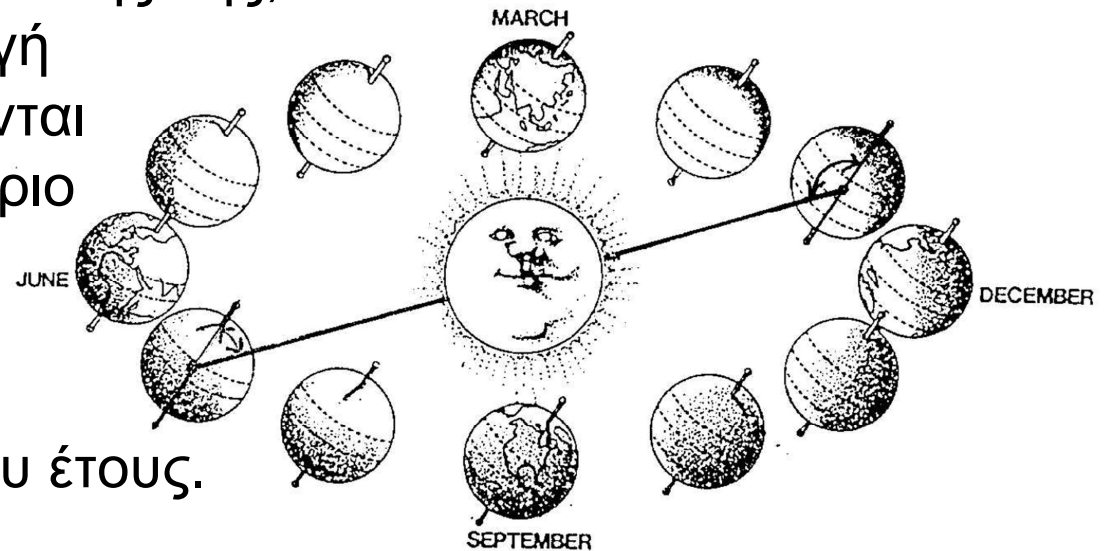
- Ο άξονας B-N της Γης αποκλίνει από την κάθετο στο επίπεδο της ελλειπτικής τροχιάς κατά σταθερή γωνία $23,45^\circ$ περίπου.
- Έτσι, η γωνία μεταξύ του άξονα B-N και των ηλιακών ακτίνων (απόκλιση - declination) μεταβάλλεται στη διάρκεια του έτους από $90 + 23,45 = 113,45^\circ$ έως $90 - 23,45 = 66,55^\circ$.



Ηλιοστάσια και ισημερίες



- Ορισμένες στιγμές του έτους η απόκλιση της Γης έχει ειδικές τιμές:
 - στις 21/12 έχει τη μέγιστη τιμή (Χειμερινό Ηλιοστάσιο)
 - στις 21/6 έχει την ελάχιστη τιμή (Θερινό Ηλιοστάσιο)
 - στις 21/3 & 23/9 είναι 90° (Εαρινή & Φθινοπωρινή Ισημερία).
- Η αυξομείωση της απόκλισης μεταβάλλει την κατανομή της ηλιακής πρόσπτωσης στην επιφάνεια της Γης, με αποτέλεσμα την εναλλαγή των εποχών που εμφανίζονται στο βόρειο & νότιο ημισφαίριο κατά αντίστροφο τρόπο και τη διακύμανση των χρονικών διαστημάτων ημέρας και νύχτας εντός του έτους.





Ηλιοστάσια και ισημερίες

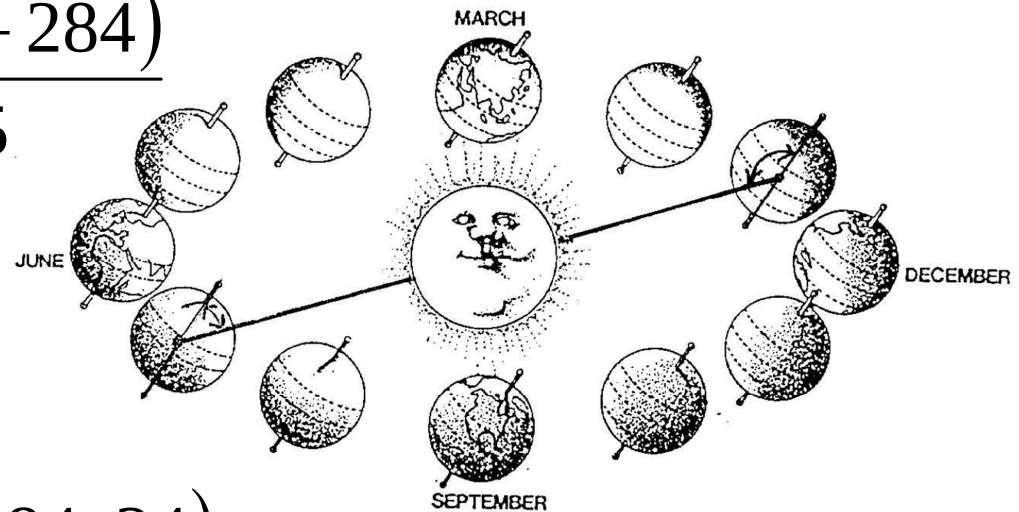
- Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο.
- Η απόκλιση του ήλιου δίνεται από τη σχέση:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \frac{360 \cdot (n + 284)}{365}$$

όπου n ο τρέχων αριθμός
ημέρας του έτους
ή από τη σχέση

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \frac{360 \cdot (n + 284 \cdot 24)}{365 \cdot 24}$$

όπου n ο τρέχων αριθμός ώρας του έτους.

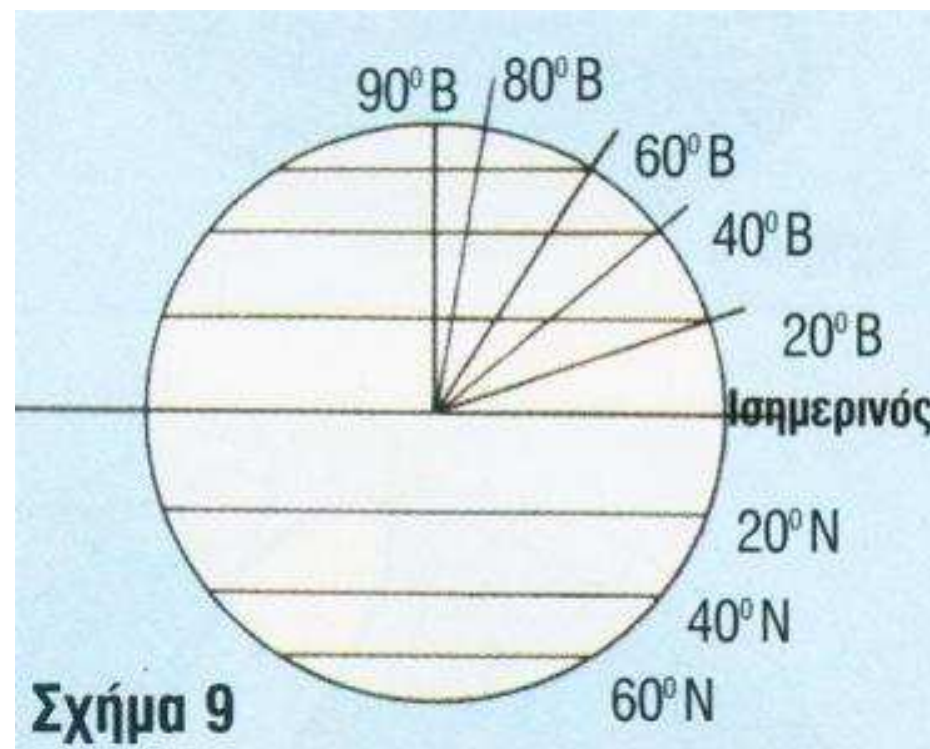
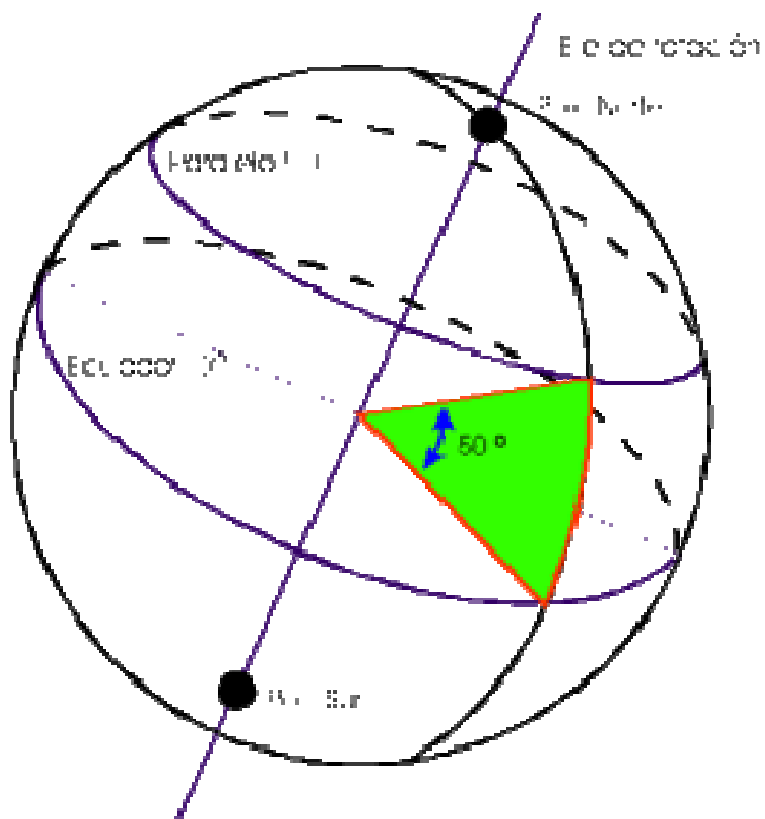




Γεωγραφικό πλάτος

- Γεωγραφικό πλάτος (latitude) (ϕ) ενός σημείου που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης είναι η γωνία που σχηματίζει η κατακόρυφος του τόπου με το επίπεδο του ισημερινού.
- Το γεωγραφικό πλάτος χαρακτηρίζεται Βόρειο B (North N) ή Νότιο N (South S) ανάλογα σε ποιο ημισφαίριο βρίσκεται το σημείο. Σημεία του ίδιου ημισφαιρίου έχουν ομώνυμα πλάτη σε αντίθεση με σημεία διαφορετικού ημισφαιρίου που έχουν ετερώνυμα πλάτη.
- Το γεωγραφικό πλάτος μετράται σε μοίρες και υποδιαιρέσεις αυτών, πρώτα και δεύτερα από **$0^\circ - 90^\circ \text{ B}$** ή **$0^\circ - 90^\circ \text{ N}$** (αρχής γενομένης της μέτρησης από τον ισημερινό του οποίου το γεωγραφικό πλάτος είναι **0°**).

Γεωγραφικό πλάτος

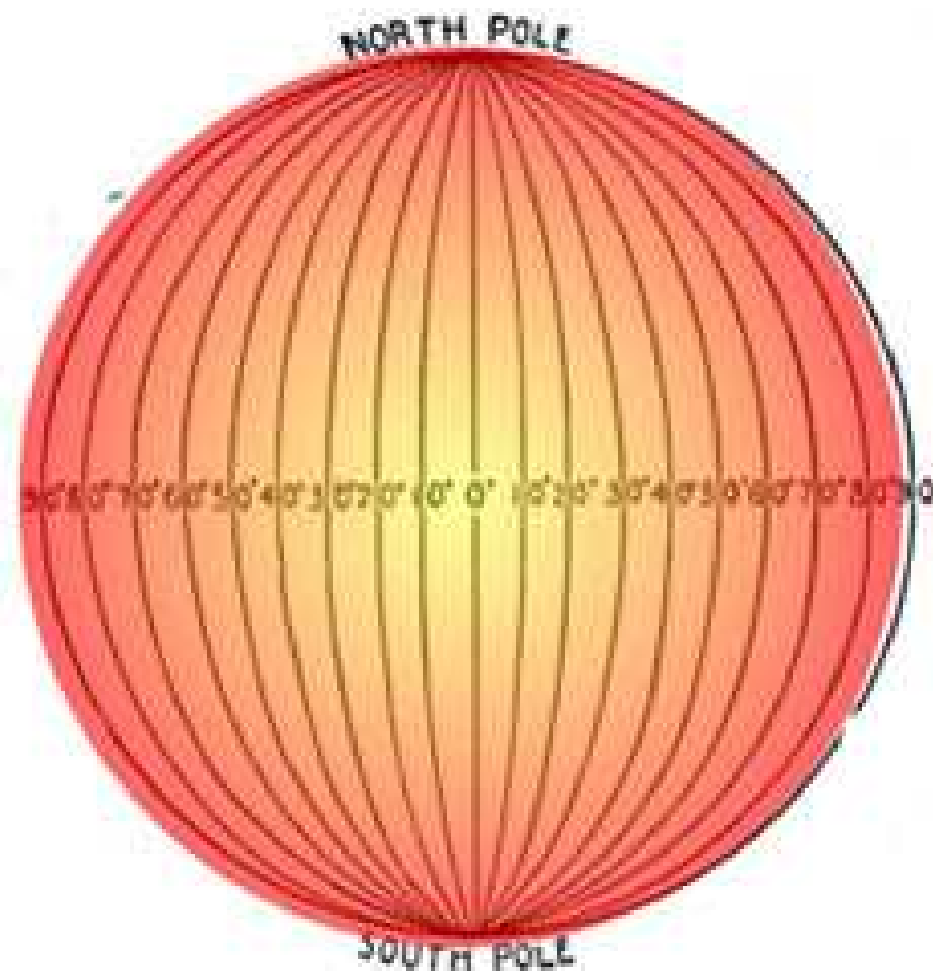
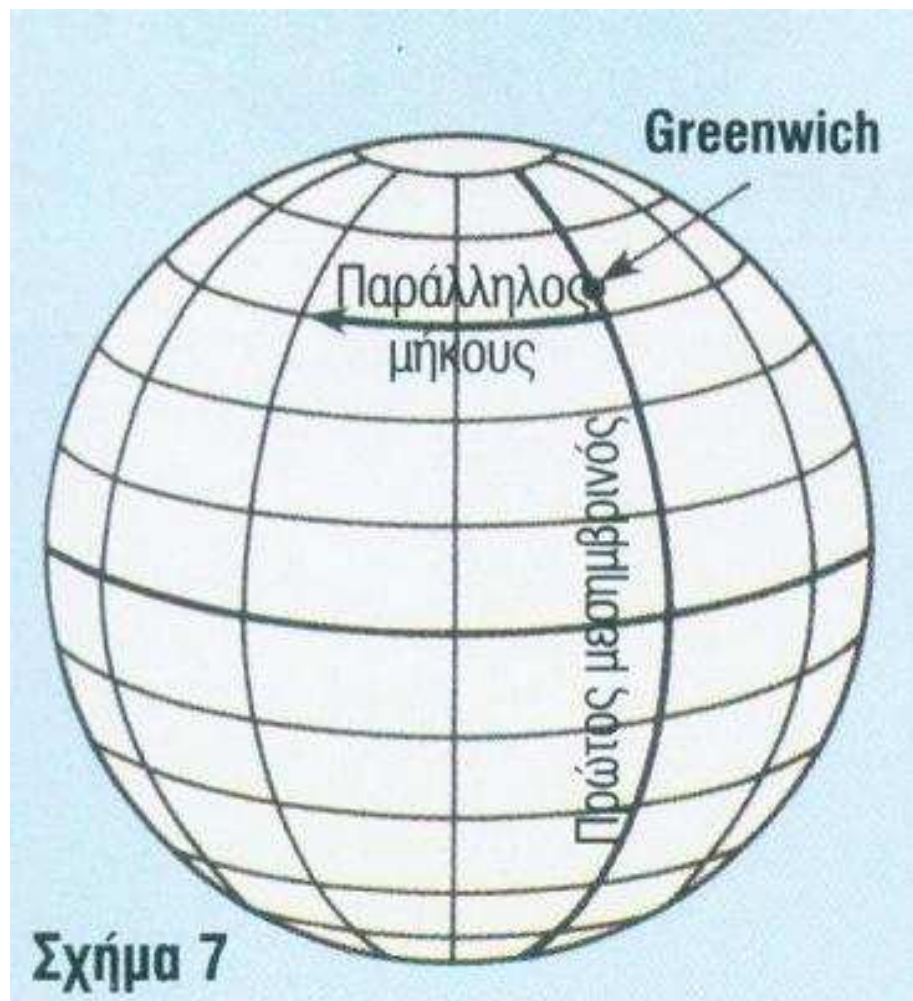




Γεωγραφικό μήκος

- Γεωγραφικό μήκος (longitude) (λ) ενός σημείου στην επιφάνεια της γης είναι η στερεή γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του μεσημβρινού που διέρχεται από το εν λόγω σημείο με το επίπεδο του πρώτου μεσημβρινού.
- Το γεωγραφικό μήκος χαρακτηρίζεται Ανατολικό Α (East E) ή Δυτικό Δ (West W) ανάλογα σε ποιο ημισφαίριο βρίσκεται το σημείο. Σημεία του ίδιου ημισφαιρίου έχουν ομώνυμα μήκη σε αντίθεση με τόπους διαφορετικού ημισφαιρίου που έχουν ετερώνυμα μήκη.
- Το γεωγραφικό μήκος μετράται σε μοίρες και υποδιαιρέσεις αυτών, πρώτα και δεύτερα από **$0^\circ - 180^\circ \text{ A}$** ή **$0^\circ - 180^\circ \text{ Δ}$** (αρχής γενομένης της μέτρησης από τον **πρώτο μεσημβρινό** με γεωγραφικό μήκος 0° - Μεσημβρινός του Greenwich).

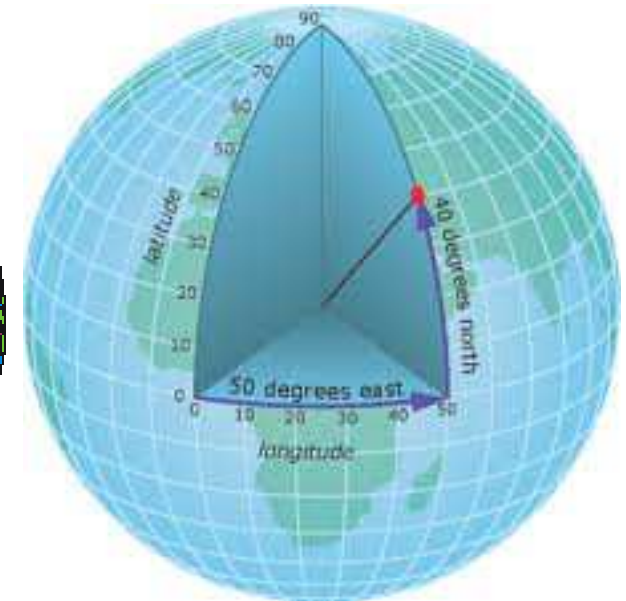
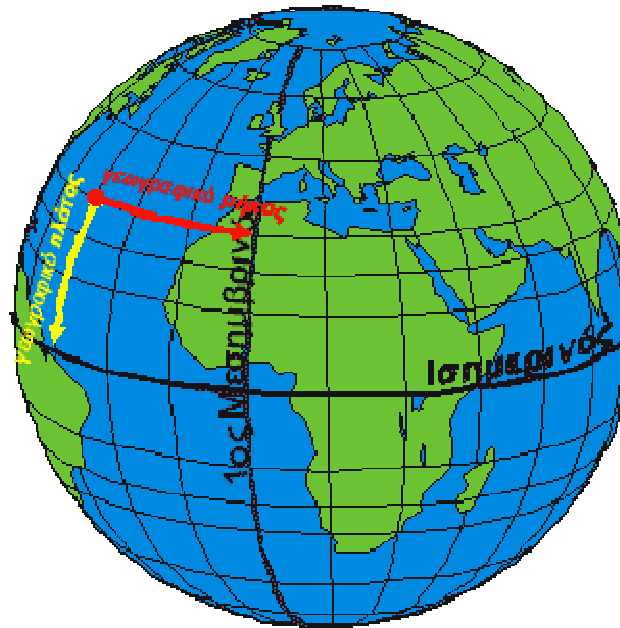
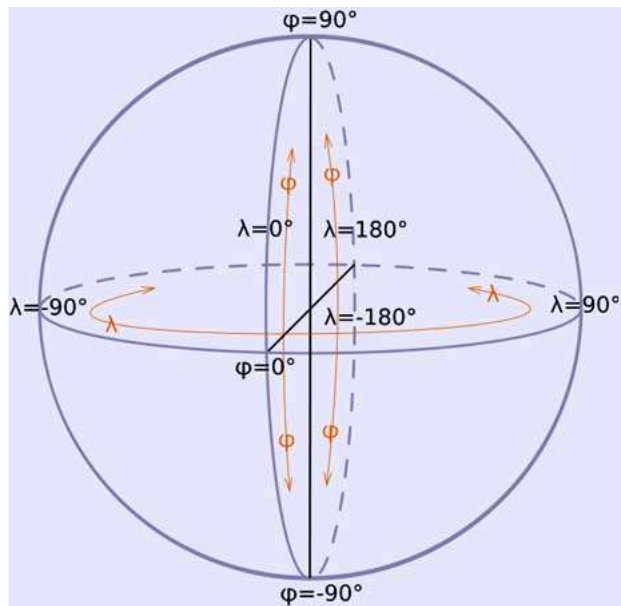
Γεωγραφικό μήκος



Γεωγραφικό στίγμα



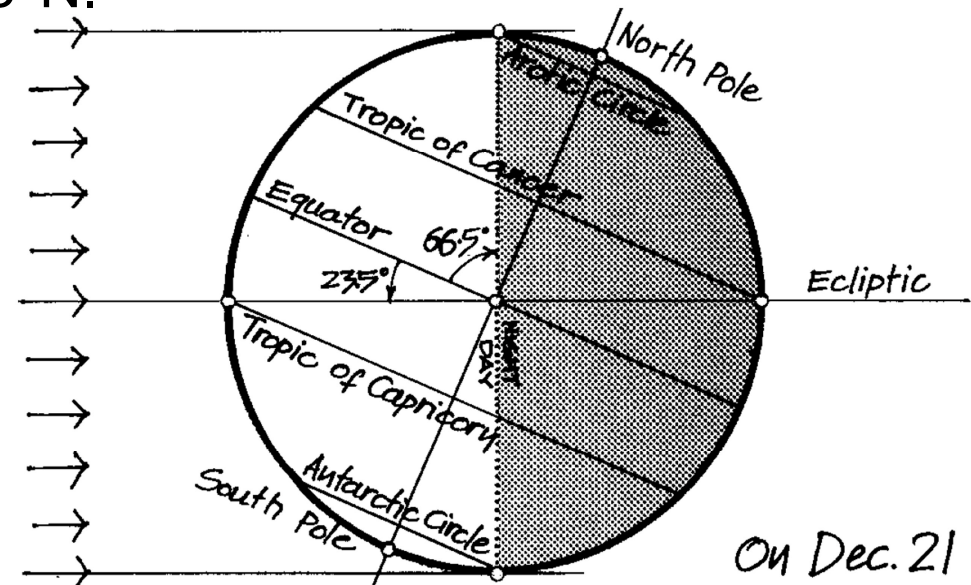
- **Γεωγραφικό στίγμα** (geographical position) ενός γεωγραφικού σημείου είναι η **τομή** του αντίστοιχου **παράλληλου** πλάτους (ϕ) και του **μεσημβρινού** (λ) αυτού του σημείου. Δηλαδή οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου αυτού.



Τροπικοί



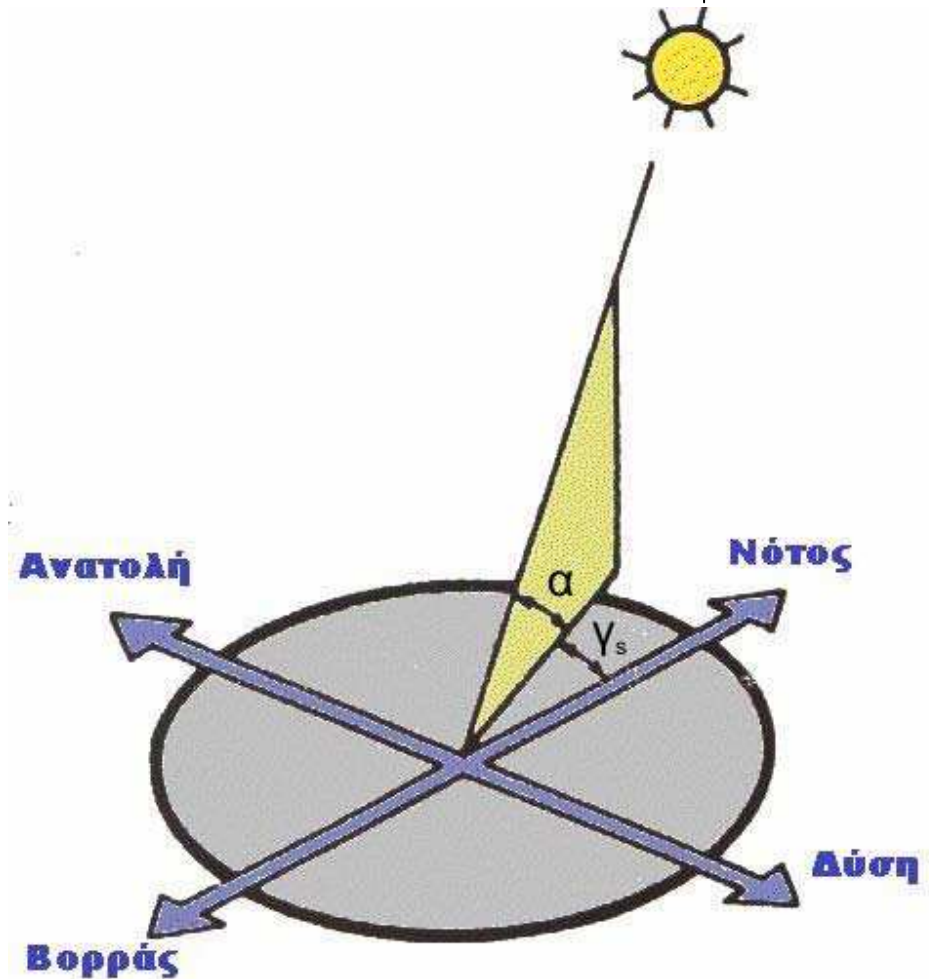
- Οι 'τροπικοί' είναι δύο γεωγραφικοί παράλληλοι που εφάπτονται στην ελλειπτική κατά τα ηλιοστάσια:
 - ο Τροπικός του Καρκίνου βρίσκεται σε βόρειο πλάτος $23,5^\circ$
 - ο Τροπικός του Αιγόκερου σε νότιο πλάτος $23,5^\circ$.
- Οι 'πολικόι κύκλοι' είναι δύο παράλληλοι που ορίζονται από τα σημεία της Γης τα πιο απομακρυσμένα από την ελλειπτική:
 - ο 'Αρκτικός Κύκλος' βρίσκεται σε βόρειο πλάτος $66,5^\circ\text{B}$ και
 - ο 'Ανταρκτικός Κύκλος' σε $66,5^\circ\text{N}$.
- Στα τμήματα της γήινης επιφάνειας μεταξύ αυτών των παραλλήλων και των πόλων η νύχτα διαρκεί 24 ή 0 ώρες κατά τις ημέρες των ηλιοστασιών.



Ύψος και αζιμούθιο ήλιου

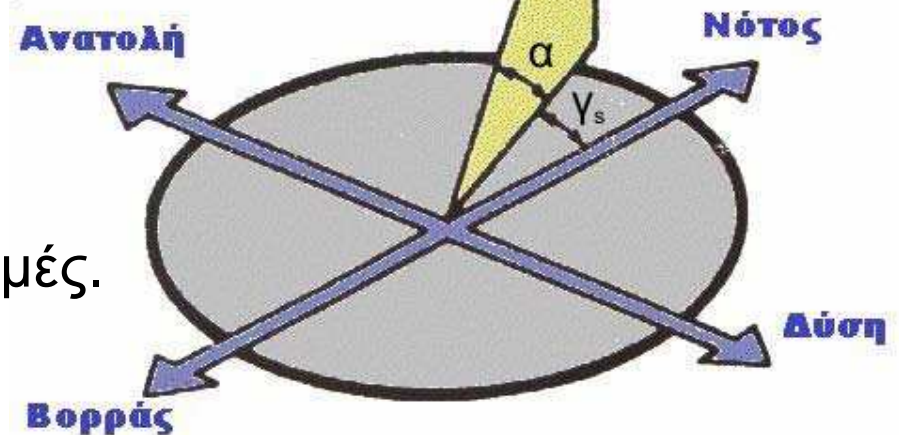


- Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες:
 - το ύψος του ήλιου (α)
 - το αζιμούθιο του ήλιου (γ).
- Το ύψος του ήλιου (α) είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στο οριζόντιο επίπεδο.



Ύψος και αζιμούθιο ήλιου

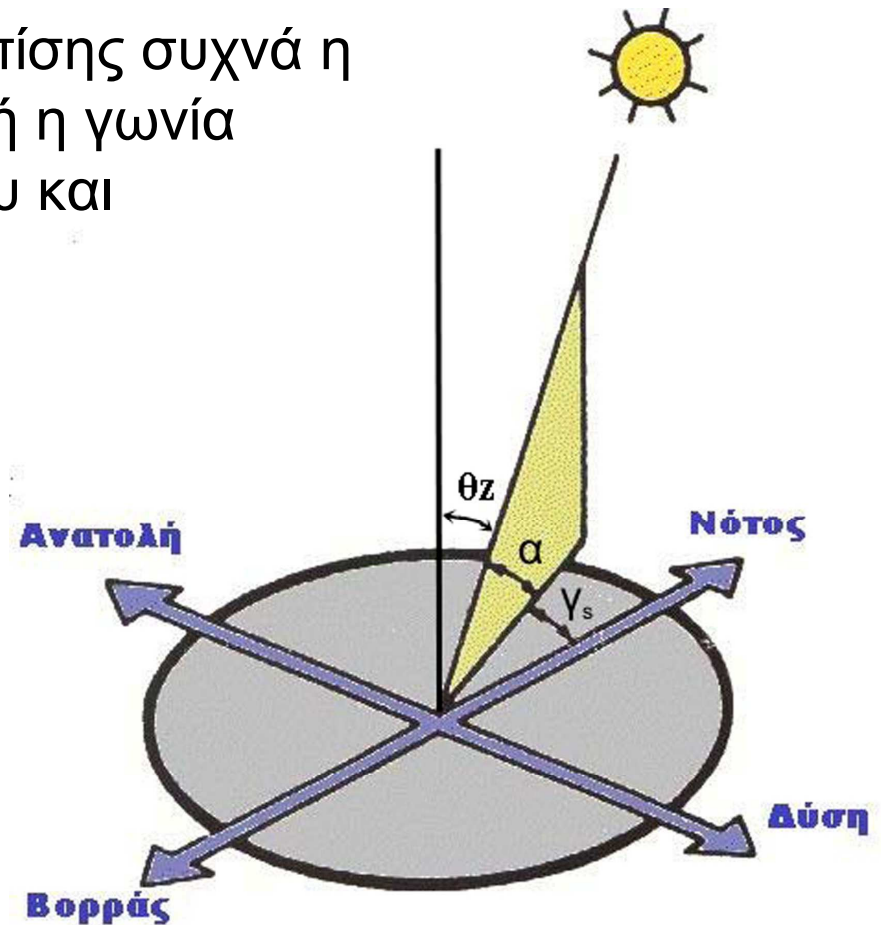
- Αζιμούθιο γ είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά - νότου.
- Το αζιμούθιο είναι:
 - Για νότιο προσανατολισμό $\gamma=0$
 - Για γωνίες δυτικά από το νότο παίρνει θετικές τιμές.
 - Για γωνίες ανατολικά από το νότο παίρνει αρνητικές τιμές.



Γωνία ζενίθ



- Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται επίσης συχνά η συμπληρωματική του γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, που ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση ή γωνία ζενίθ ή ζενιθιακή γωνία του ήλιου (θ_z).
- Ζενίθ είναι το σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου και ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη **Senit** που σημαίνει ευθεία οδός.

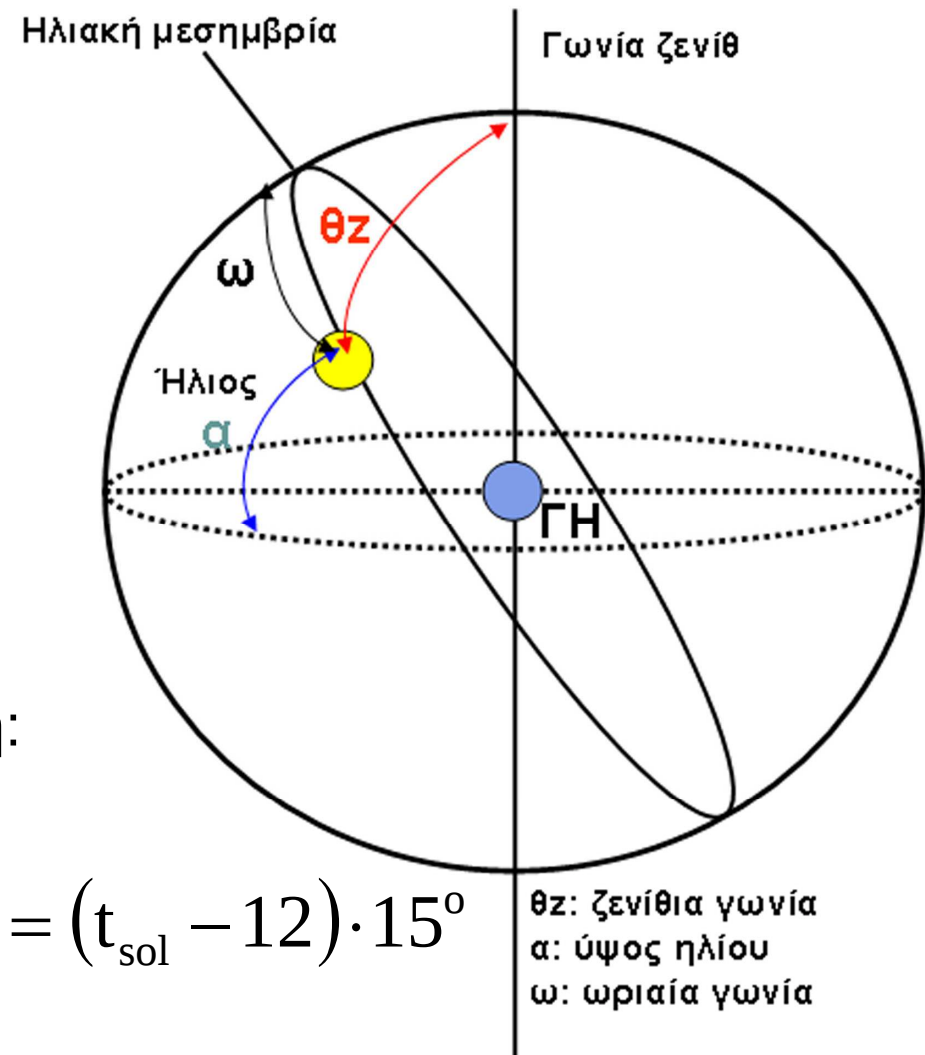




Ωριαία γωνία του ήλιου

- Ορίζεται ως ωριαία γωνία (ω) του ήλιου η γωνιακή απόσταση του ηλίου από την ηλιακή μεσημβρία λόγω περιστροφής της γης περί τον άξονά της. Στην ηλιακή μεσημβρία $\omega=0^\circ$ ενώ κάθε ώρα η ω μεταβάλλεται κατά 15° . Τις πρωινές ώρες η ω είναι αρνητική και κατά τις απογευματινές γίνεται θετική:

$$\omega = \frac{(t_{\text{sol}} - 12)h}{24h} \cdot 360^\circ \Leftrightarrow \omega = (t_{\text{sol}} - 12) \cdot 15^\circ$$



Ωριαία γωνία ηλίου και ηλιακοί χρόνοι ανατολής και δύσης



- Η ωριαία γωνία του ήλιου κατά την ανατολή υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\omega_{sr} = \cos^{-1}(-\tan \lambda \cdot \tan \delta)$$

όπου λ το γεωγραφικό πλάτος στη θέση μελέτης
και δ η απόκλιση ηλίου.

- Η ωριαία γωνία του ήλιου κατά τη δύση υπολογίζεται από τη σχέση:
 $\omega_{ss} = -\omega_{sr}$
- Ο ηλιακός χρόνος ανατολής και δύσης ηλίου δίνεται αντίστοιχα από τις σχέσεις:

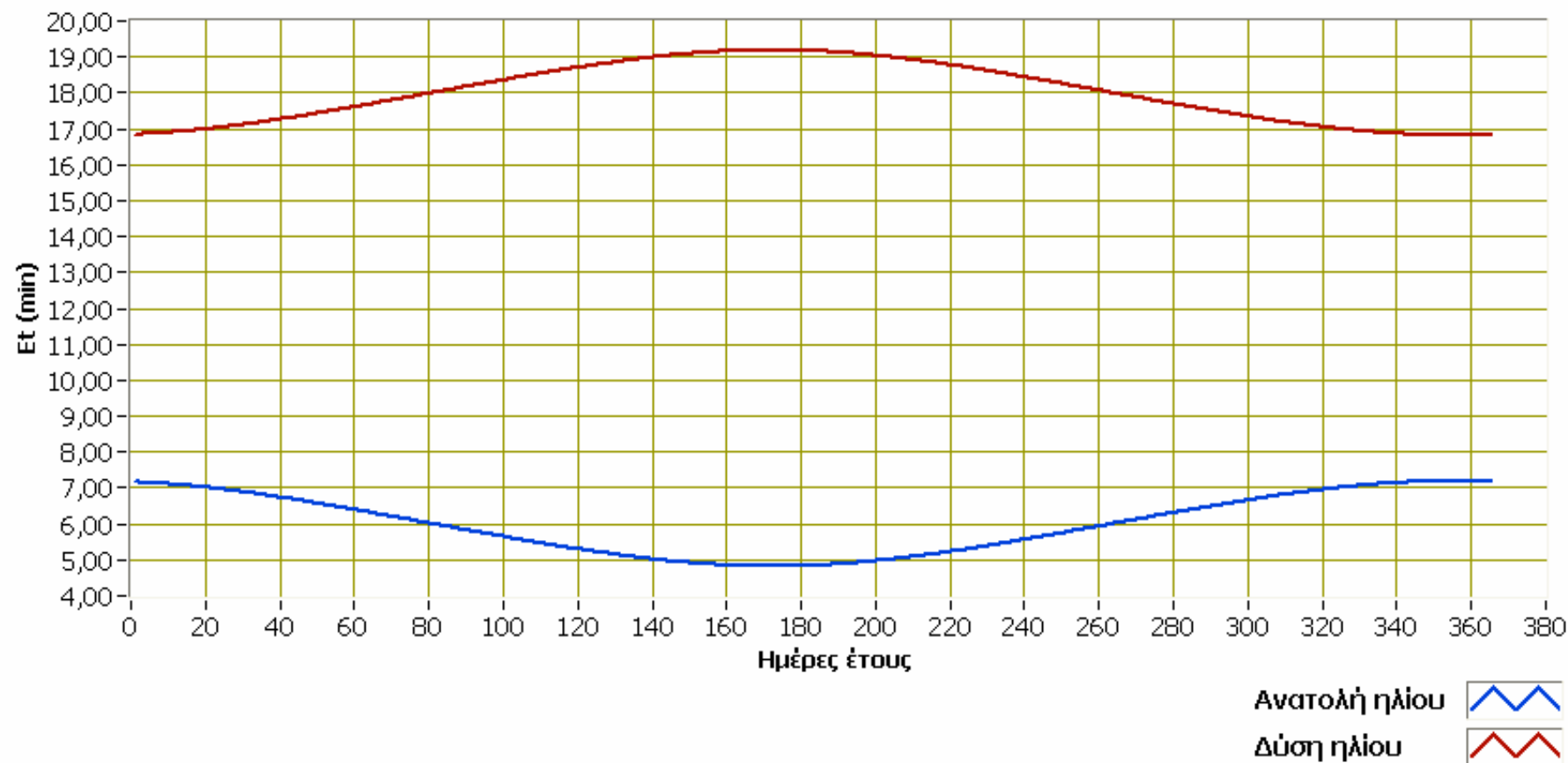
$$t_{sr} = 12 - \frac{24}{360} \cdot \omega_{sr}$$

$$t_{ss} = 12 - \frac{24}{360} \cdot \omega_{ss}$$

Ηλιακοί χρόνοι ανατολής και δύσης



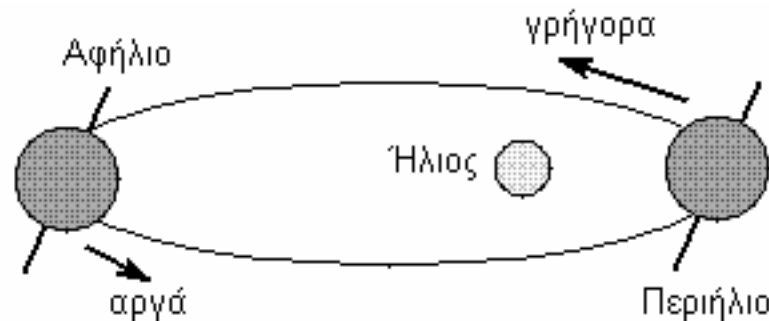
Ώρα ανατολής και δύσης



Εξίσωση χρόνου



- Η τροχιά της Γης είναι ελλειπτική έτσι όταν είναι η Γη είναι στο πιο κοντινό σημείο της με τον Ήλιο (**περιήλιο**) κινείται πιο γρήγορα.
- Όταν είναι στο πιο απόμακρο σημείο από τον Ήλιο (**αφήλιο**) η Γη κινείται πιο αργά.
- Η ηλιακή ημέρα είναι ο χρόνος μεταξύ των μεσημβρινών μεταβάσεων του ήλιου.
- Στο περιήλιο, η Γη κινείται γρήγορα έτσι ο Ήλιος εμφανίζεται να κινείται πιο γρήγορα προς ανατολικά απ' ό,τι σε άλλη περίοδο του έτους.



Η ταχύτητα της τροχιάς της Γης εξαρτάται από την απόστασή της από τον Ήλιο.
Η αλλαγή στην ταχύτητα της τροχιάς παράγει παρεκκλίσεις στο μήκος της ηλιακής μέρας.



Εξίσωση χρόνου

- Τα πραγματικά ρολόγια βασίζονται σε έναν ομοιόμορφα κινούμενο ήλιο, στο μέσο ήλιο, που κινείται κατά μήκος του Ουράνιου Ισημερινού σε μια καθορισμένη τιμή 360 μοίρες ανά 365,2564 ημέρες.
- Η απόκλιση μεταξύ του πραγματικού ηλιακού χρόνου και του χρόνου του μέσου ήλιου ονομάζεται εξίσωση χρόνου και δίνεται από τη σχέση:

$$E_t = 2,2918 \cdot [0,0075 + 0,1868 \cdot \cos(\Gamma) - 3,2077 \cdot \sin(\Gamma) - 1,4615 \cdot \cos(2\Gamma) - 4,089 \cdot \sin(2\Gamma)] \text{ (min)}$$

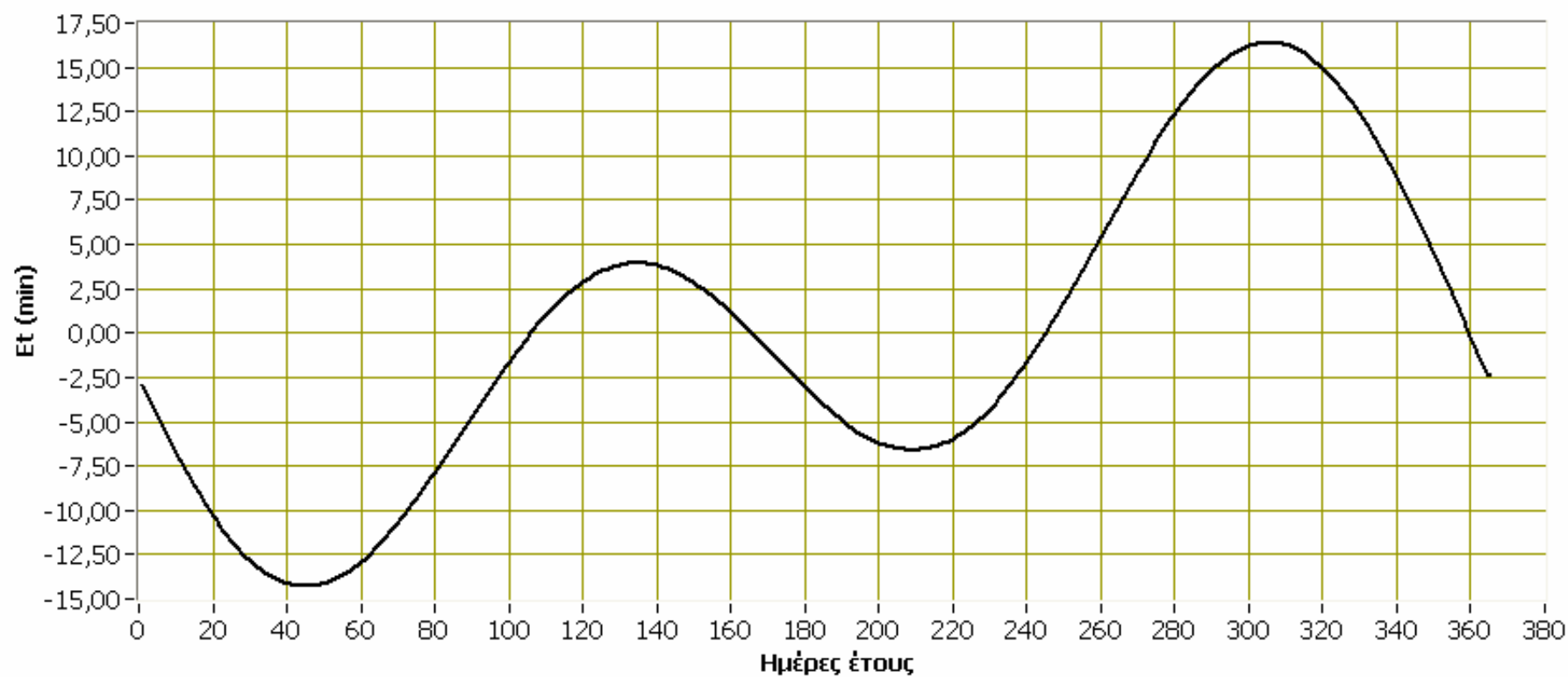
$$\text{όπου } \Gamma = 360^\circ \cdot \frac{n - 1}{365}$$

και n ο τρέχων αριθμός ημέρας του έτους.

Εξίσωση χρόνου



Εξίσωση χρόνου E_t (min)





Πραγματικός ηλιακός χρόνος

- Έχοντας ως δεδομένο τον τοπικό πολιτικό χρόνο t_{std} (ο χρόνος που αναγράφεται στο ρολόι) υπολογίζουμε τον πραγματικό ηλιακό χρόνο t_{sol} :

$$t_{sol} = t_{std} + \frac{L_{loc} - L_{std}}{15^\circ/h} + \frac{E_t}{60/h}$$

όπου:

L_{loc} : το γεωγραφικό μήκος της θέσης μελέτης

L_{std} : η ζώνη ώρας της θέσης μελέτης (με θετικό πρόσημο ανατολικά του Greenwich και αρνητικό δυτικά του)

E_t : η εξίσωση χρόνου.

Υπολογισμός ηλιακού ύψους, γωνίας ζενίθ και αζιμούθιου ήλιου



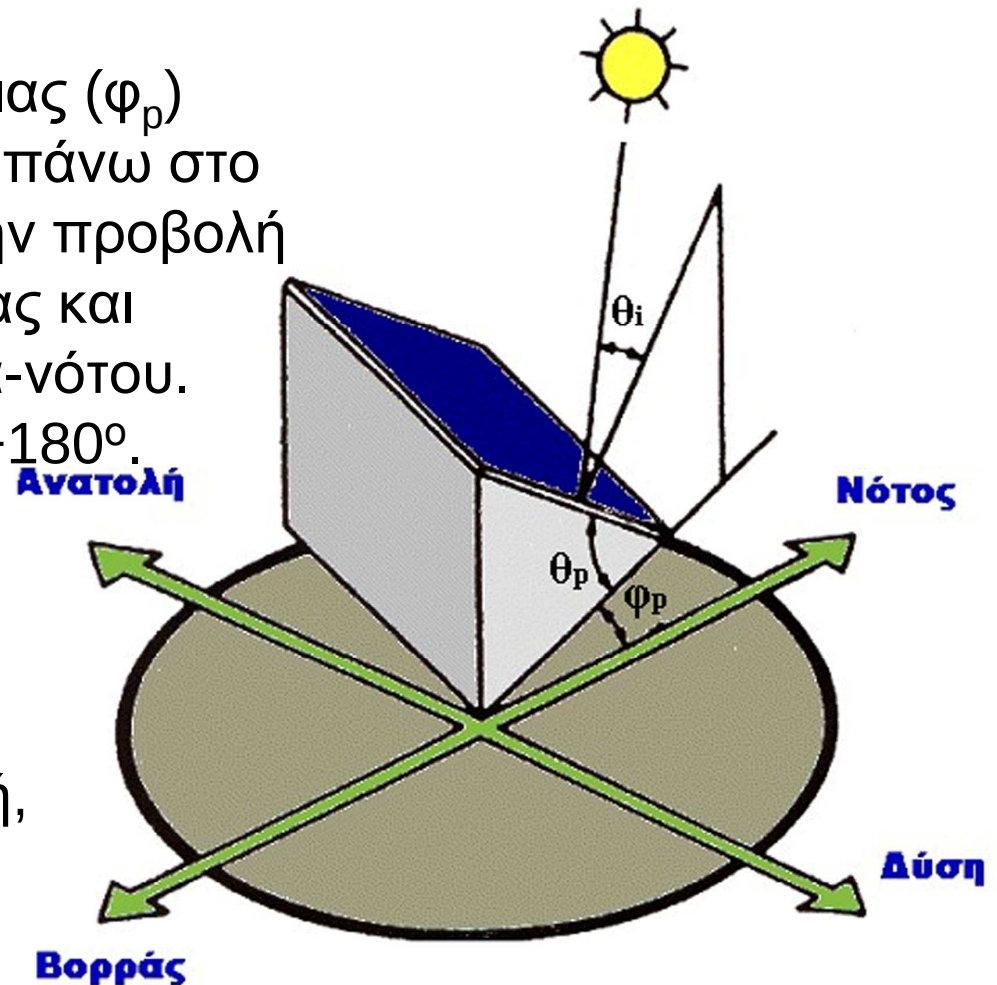
- Το ηλιακό ύψος β σε δεδομένη χρονική στιγμή δίνεται από τη σχέση:
$$\sin(\beta) = \cos(\lambda) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\lambda) \cdot \sin(\delta)$$

όπου:
 λ το γεωγραφικό πλάτος του σημείου μελέτης
 δ η τρέχουσα απόκλιση του ήλιου
 ω η τρέχουσα ωριαία γωνία του ήλιου.
- Η γωνία ζενίθ του ήλιου θ_z σε δεδομένη χρονική στιγμή δίνεται από τη σχέση:
$$\theta_z = 90^\circ - \beta.$$
- Το αζιμούθιο του ήλιου φ_s σε δεδομένη χρονική στιγμή δίνεται από τη σχέση:
$$\sin \varphi_s = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos \beta}$$



Αζιμούθια γωνία επιφάνειας

- Αζιμούθια γωνία επιφάνειας:
Η αζιμούθια γωνία της επιφάνειας (ϕ_p) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου της επιφάνειας και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι $+180^\circ$. Η γωνία -180° (που συμπίπτει με την $+180^\circ$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση της επιφάνειας προς το βορρά, η γωνία -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς το νότο και η γωνία $+90^\circ$ προς τη δύση.



Γωνία πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια



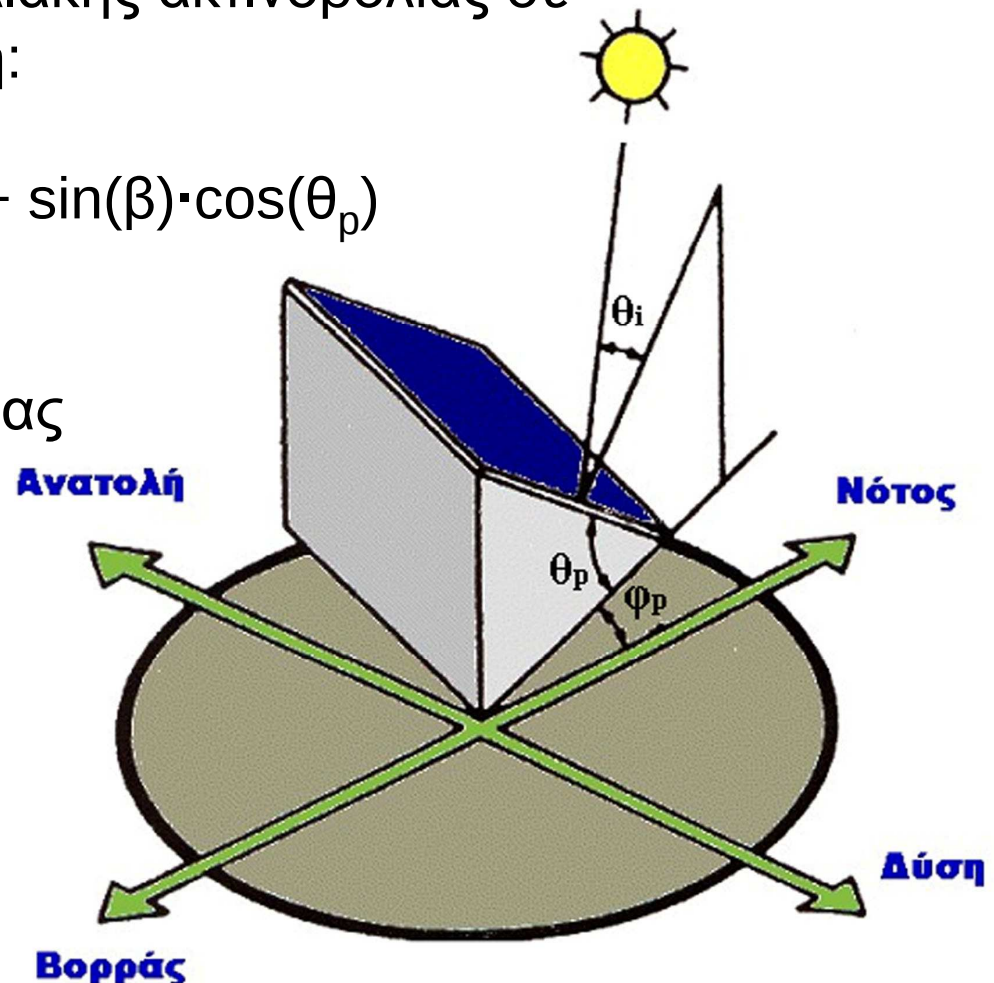
- Η γωνία πρόσπτωσης θ_i της ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια δίνεται από τη σχέση:

$$\cos(\theta_i) = \cos(\beta) \cdot \sin(\theta_p) \cdot \cos(\gamma) + \sin(\beta) \cdot \cos(\theta_p)$$

όπου:

θ_p : η γωνία κλίσης της επιφάνειας
ως προς το οριζόντιο επίπεδο

$\gamma = \varphi_s - \varphi_p$: το αζιμούθιο
ήλιου – επιφανείας

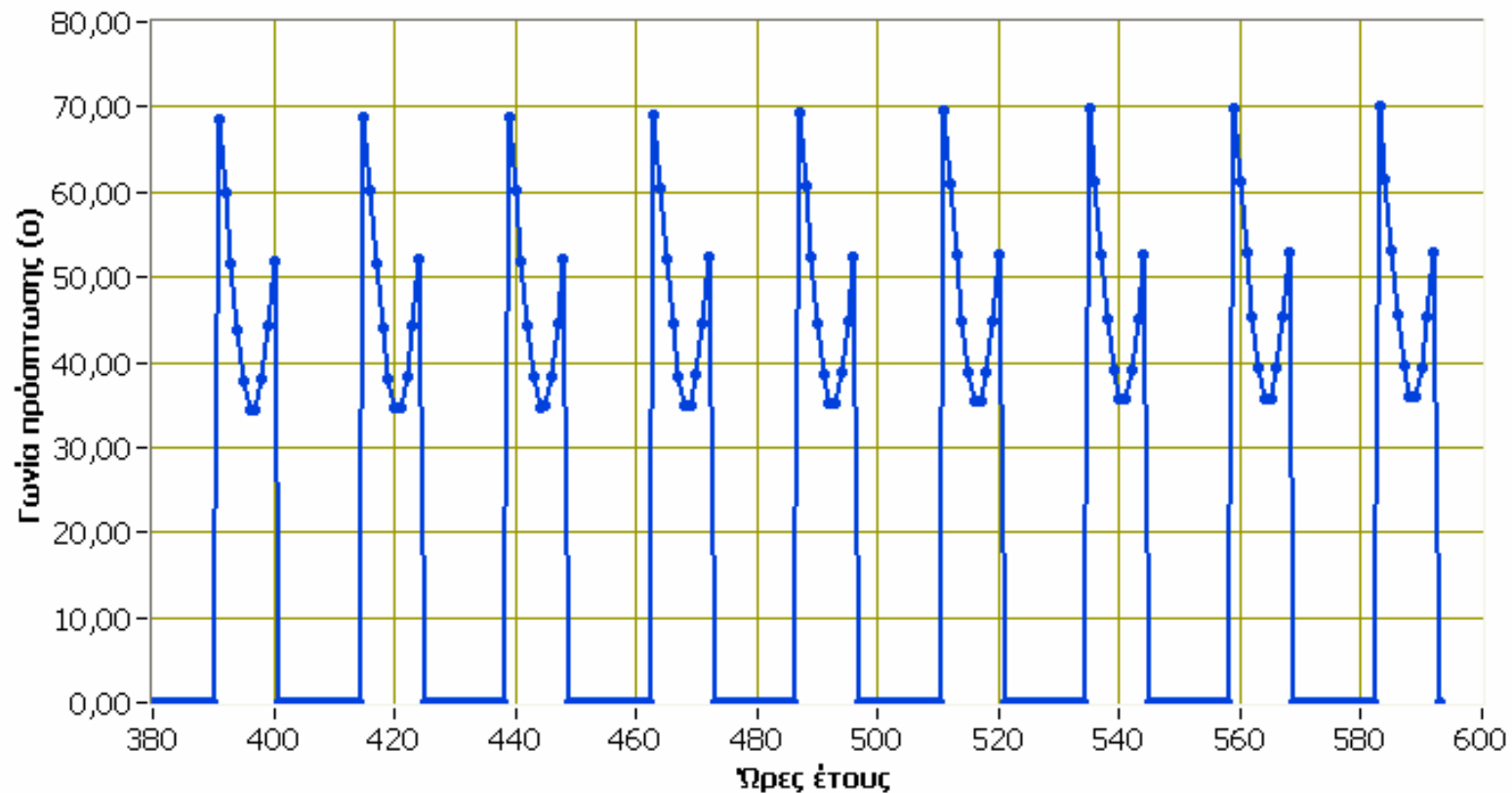


Γωνία πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια



- Γωνία πρόσπτωσης σε επιφάνεια 90° με νότιο προσανατολισμό το χειμώνα

Γωνία πρόσπτωσης

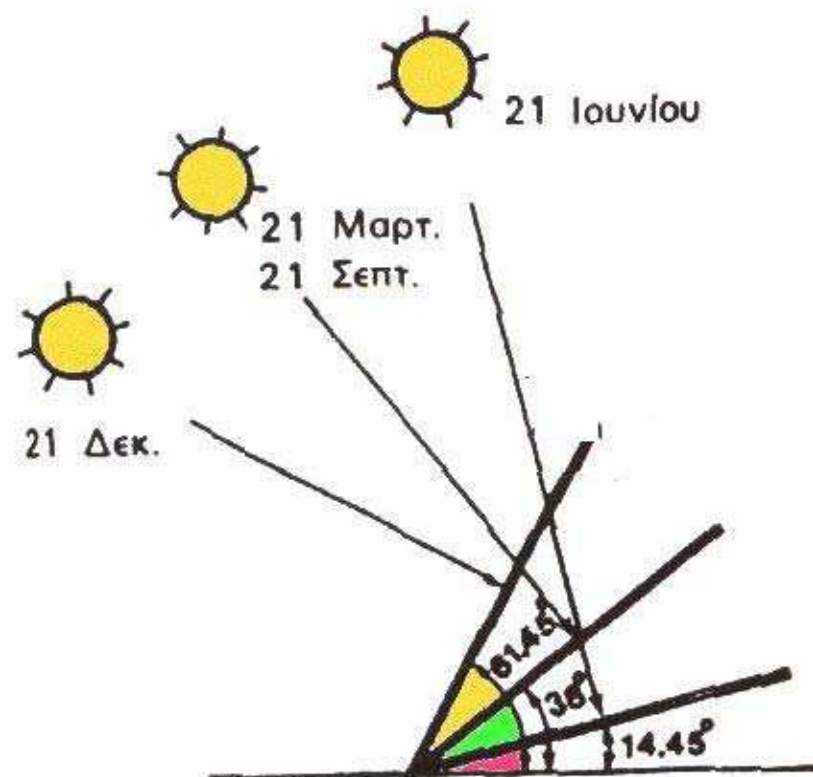
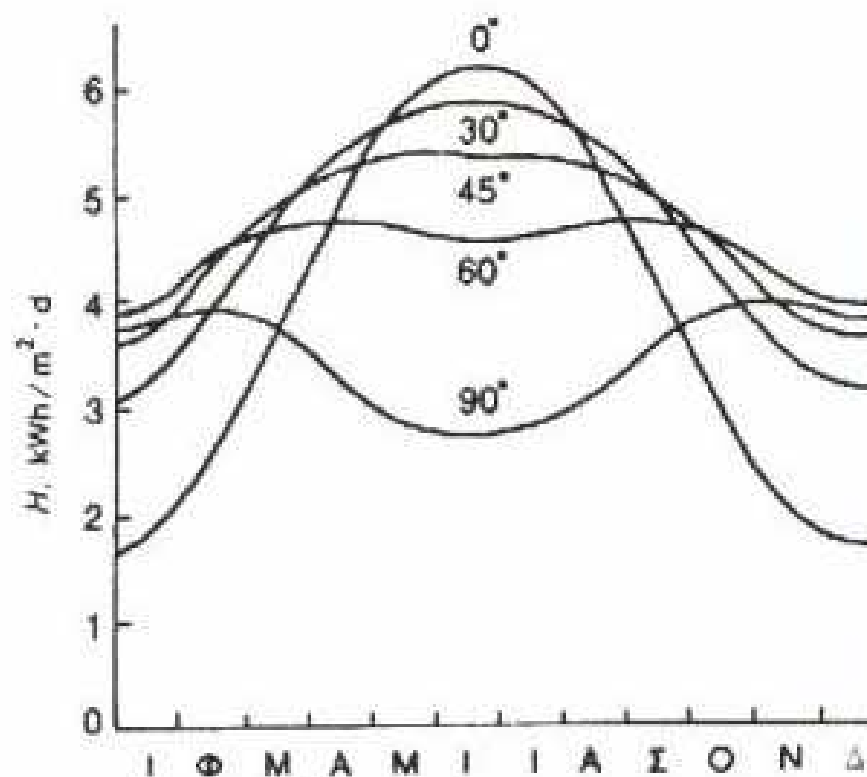




Βέλτιστη κλίση επιφάνειας

- Η βέλτιστη γωνία κλίσης (θ_p) προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η συλλογή άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (λ).
- Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (θ_p) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (λ).
- Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (θ_p) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (λ). Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση.
- Ο βέλτιστος προσανατολισμός επιφάνειας (αζιμούθιο φ_p) είναι νότιος ($\gamma=0^\circ$), ενώ απόκλιση κατά 20° - 30° από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.

Βέλτιστη κλίση επιφάνειας





Βέλτιστη κλίση επιφάνειας

- Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο.
- Για τις άλλες, από ενεργειακή άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου.
- Όσο η κλίση απέχει περισσότερο από το οριζόντιο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό.
- Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου 10 - 15% μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Συντελεστές ανάκλασης επιφάνειας



- Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση.

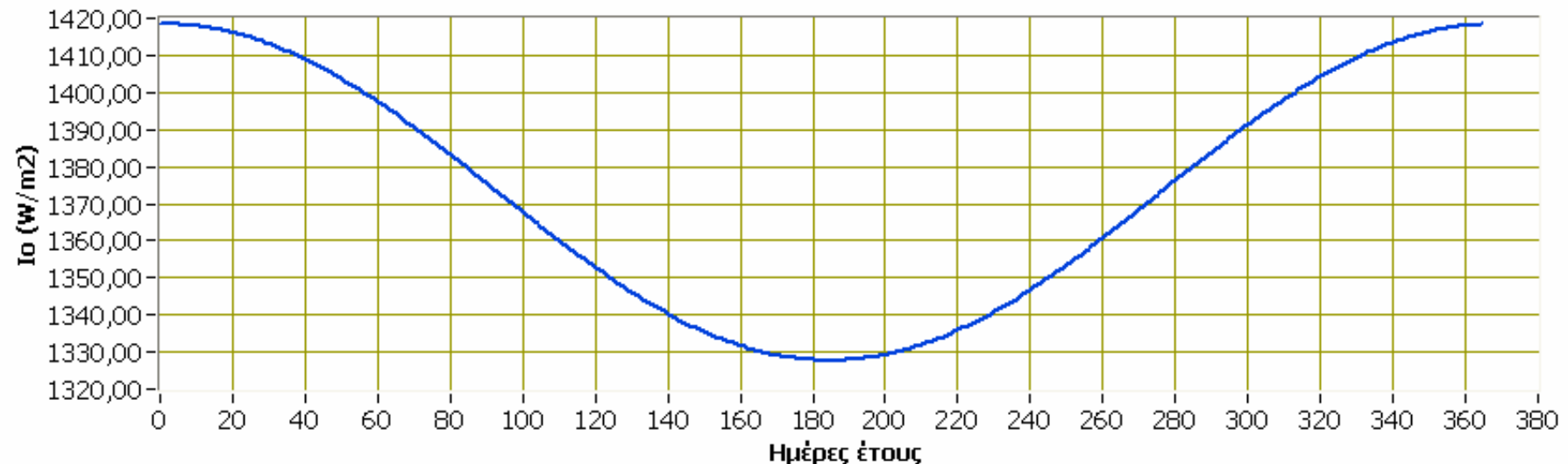
Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης
Νερό, θάλασσα	0,05
Ασφαλτόστρωμα	0,07
Αγρός με σκούρο χρώμα	0,08
Πράσινος αγρός	0,15
Βραχώδης επιφάνεια	0,20
Παλιό τσιμέντο	0,24
Νέο τσιμέντο	0,30
Χιόνι	0,60

Ηλιακή ακτινοβολία

- Η ηλιακή ακτινοβολία έξω από την ατμόσφαιρα της γης λαμβάνεται από τη σχέση (η ο τρέχων αριθμός ημέρας):

$$I_0 = \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360^\circ \cdot (n - 3)}{365} \right) \cdot 1.373 \frac{W}{m^2}$$

Ηλιακή ακτινοβολία έξω από την ατμόσφαιρα





Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία

- Έστω I_{glo} η πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας στη θέση μελέτης (σε W/m^2):
- Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{I_{dif}}{I_{glo}} = 1,00 - 0,09 \cdot K_{\tau} \quad \text{για } 0 \leq K_{\tau} \leq 0,22$$

$$\frac{I_{dif}}{I_{glo}} = 0,9511 - 0,1604 \cdot K_{\tau} + 4,388 \cdot K_{\tau}^2 - 16,638 \cdot K_{\tau}^3 + 12,336 \cdot K_{\tau}^4$$
$$\text{για } 0,22 < K_{\tau} \leq 0,8$$

$$\frac{I_{dif}}{I_{glo}} = 0,165 \quad \text{για } K_{\tau} > 0,8$$

$$\text{όπου } K_{\tau} = \frac{I_{glo}}{I_o \cdot \cos\theta_z} \quad (\theta_z \text{ η γωνία ζενίθ του ήλιου})$$

Απευθείας ηλιακή ακτινοβολία



- Η απευθείας ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_{\text{dir}} = I_{\text{glo}} - I_{\text{dif}}$$

Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια υπό κλίση



- Πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια υπό κλίση:

$$I_{\text{glo,p}} = I_{\text{dir}} \cdot \frac{\cos \theta_i}{\cos \theta_z} + I_{\text{dif}} \cdot F_{\text{sky}} + I_{\text{glo,hor}} \cdot p_g \cdot F_{\text{grd}}$$

όπου:

$$F_{\text{sky}} = \frac{1 + \cos \theta_p}{2}$$

$$F_{\text{grd}} = \frac{1 - \cos \theta_p}{2}$$

p_g : συντελεστής ανακλαστικότητας του εδάφους.

Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο



- Μέθοδος Σασαμάνογλου - Μακρόγιαννη:

$$G_c = A \cdot \sin(\beta) + B$$

Δεδομένα Σασαμάνογλου

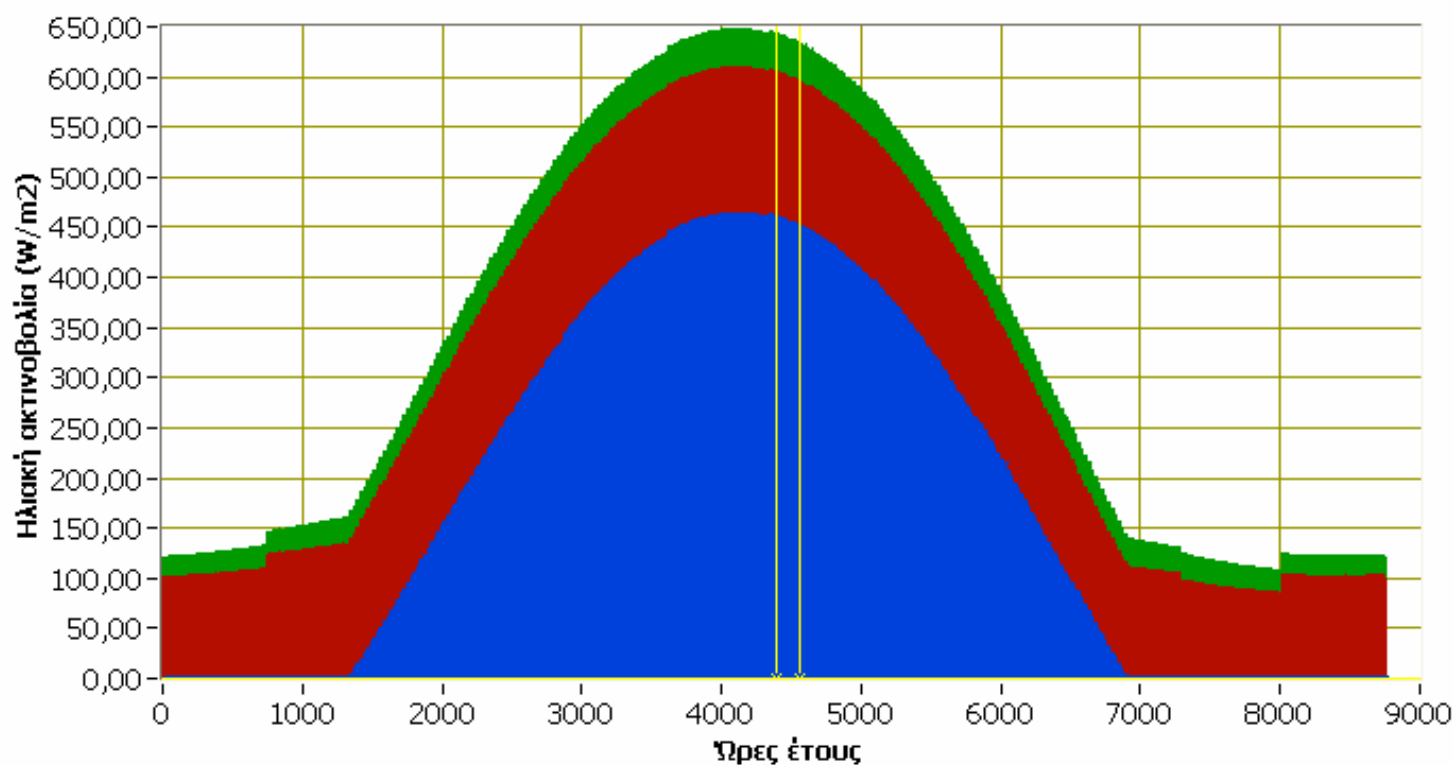
Month	Ahigh	Bhigh	Amean	Bmean	Alow	Blow
1	995	-48	1102	-47	1156	-12
2	913	-37	1061	-43	1177	-15
3	880	-41	1050	-39	1184	-11
4	872	-41	1045	-37	1158	-10
5	875	-43	1051	-35	1170	-15
6	878	-42	1056	-34	1171	-13
7	878	-42	1062	-36	1144	-12
8	871	-38	1064	-35	1180	-15
9	906	-45	1083	-42	1194	-19
10	983	-44	1106	-40	1256	-14
11	932	-47	1163	-42	1244	-15
12	886	-50	1094	-46	1253	-16

Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο



- Μέθοδος Σασαμάνογλου - Μακρόγιαννη:

Διάκριση ηλιακής ακτινοβολίας



Απευθείας ακτινοβολία
Διάχυτη ακτινοβολία
Ανακλώμενη ακτινοβολία

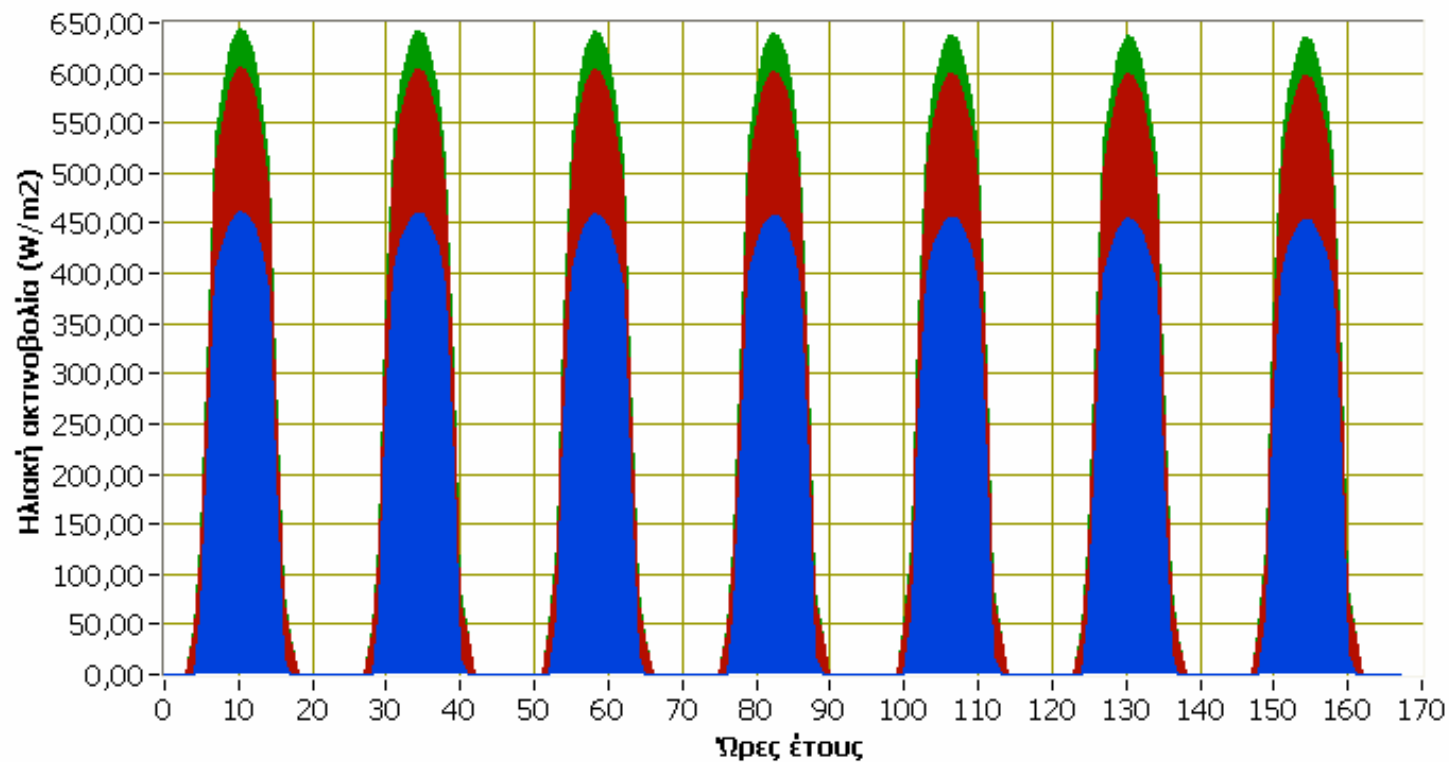


Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο



- Μέθοδος Σασαμάνογλου - Μακρόγιαννη:

Διάκριση ηλιακής ακτινοβολίας



Απευθείας ακτινοβολία
Διάχυτη ακτινοβολία
Ανακλώμενη ακτινοβολία



Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο



- Μέθοδος ASHRAE 1972:

$$G_{cbn} = A \cdot e^{\frac{-B}{\cos\theta_z}}$$

$$G_{cd} = C \cdot G_{cbn}$$

$$G_c = G_{cbn} \cdot \cos\theta_z + G_{cd}$$

Δεδομένα ASHRAE

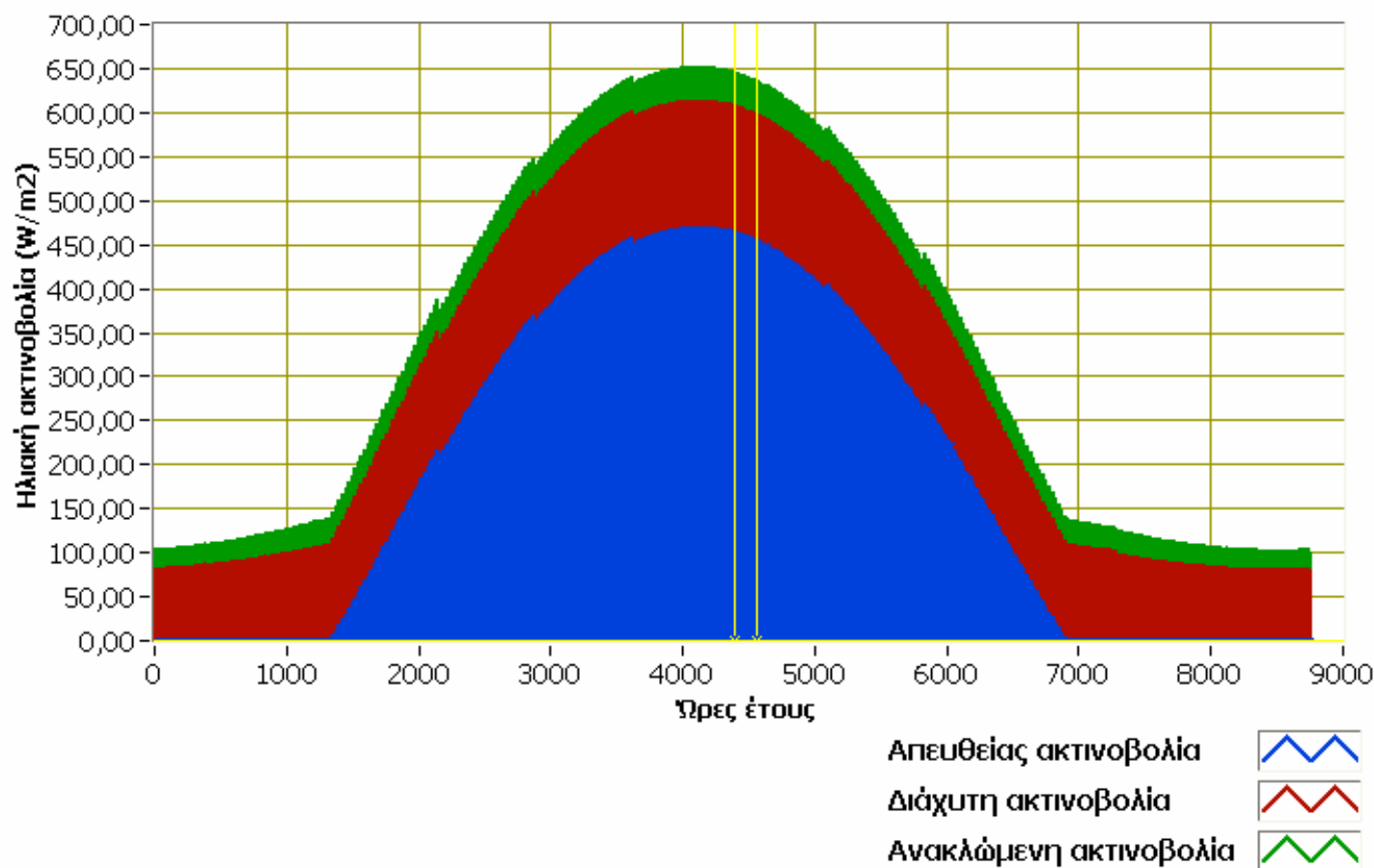
Month	A	B	C
1	1202	0,141	0,103
2	1187	0,142	0,104
3	1184	0,149	0,109
4	1130	0,164	0,12
5	1106	0,177	0,13
6	1092	0,185	0,137
7	1093	0,186	0,138
8	1107	0,182	0,134
9	1136	0,165	0,121
10	1136	0,152	0,111
11	1190	0,144	0,106
12	1204	0,141	0,103

Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο



- Μέθοδος ASHRAE 1972:

Διάκριση ηλιακής ακτινοβολίας

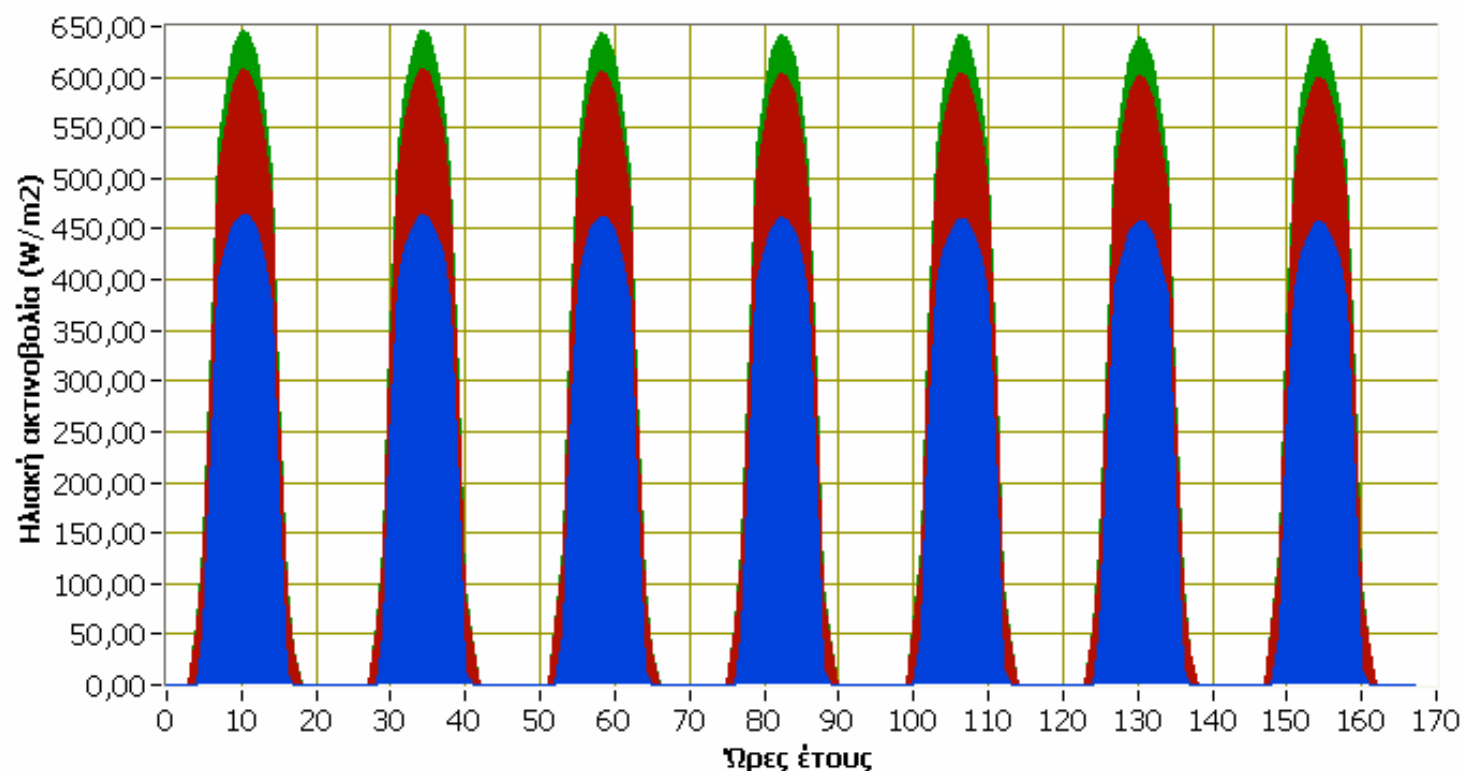


Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο



- Μέθοδος ASHRAE 1972:

Διάκριση ηλιακής ακτινοβολίας



Απευθείας ακτινοβολία
Διάχυτη ακτινοβολία
Ανακλώμενη ακτινοβολία

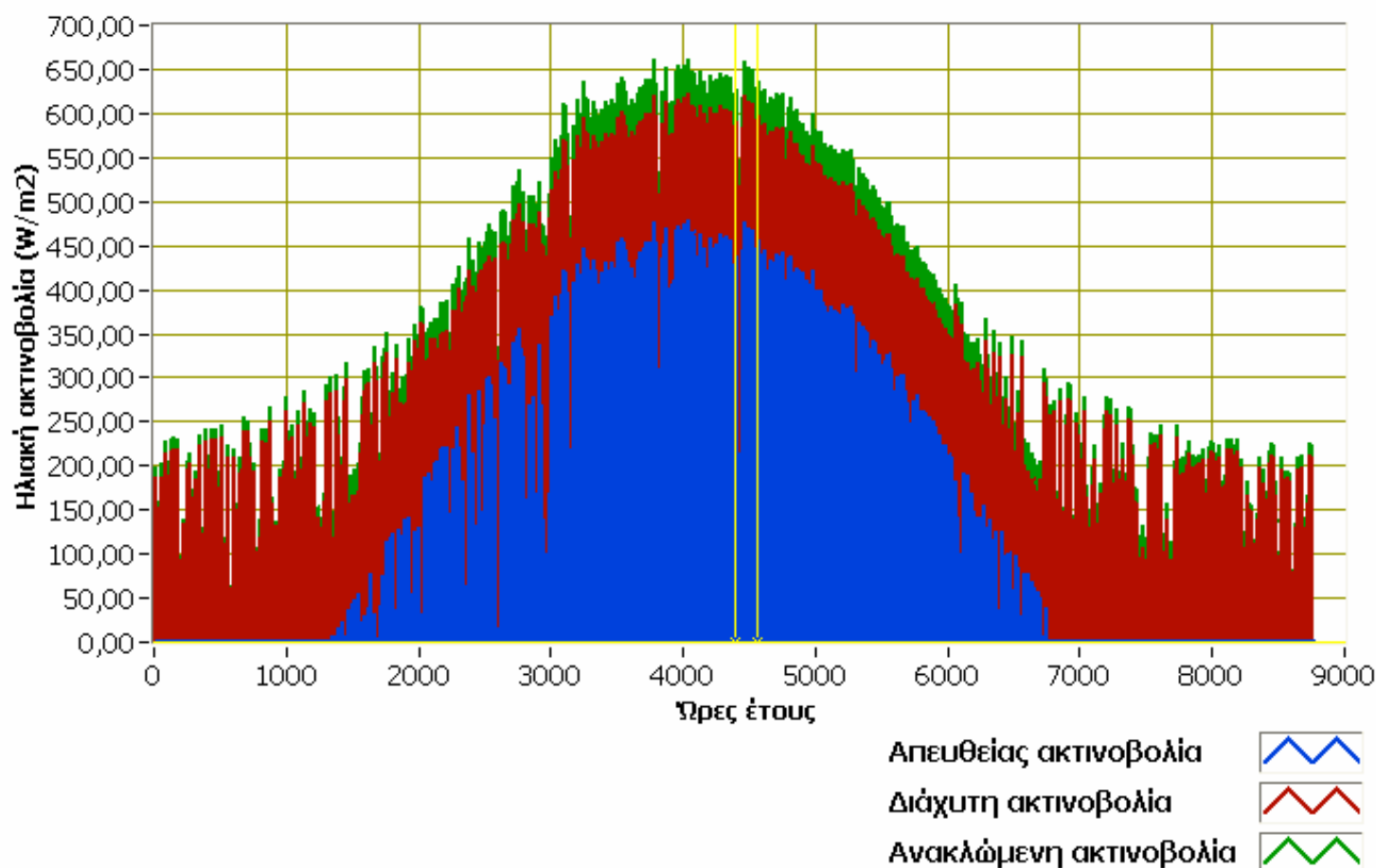


Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο



- Πραγματικές μετρήσεις:

Διάκριση ηλιακής ακτινοβολίας

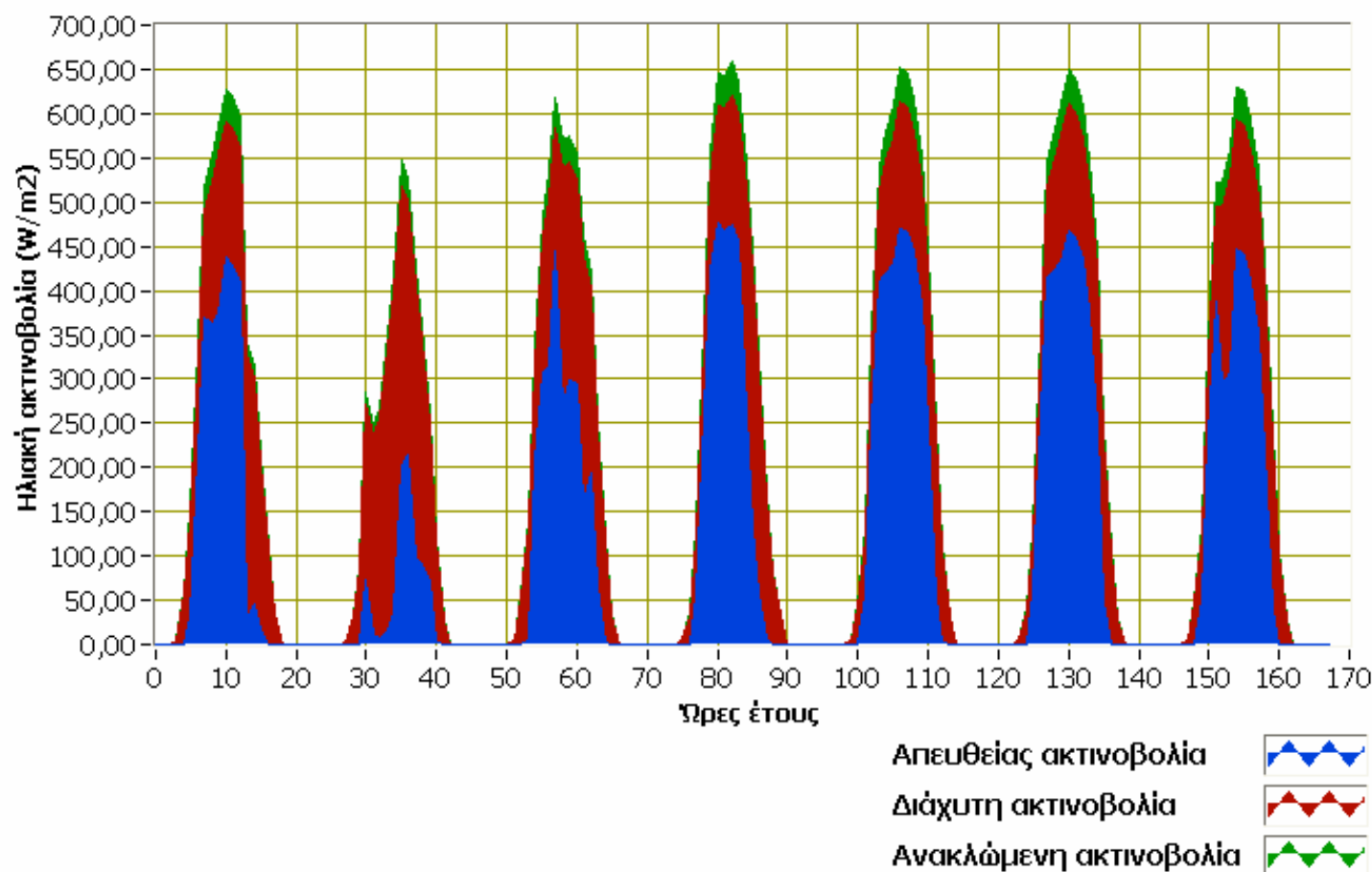


Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο



- Πραγματικές μετρήσεις σε καλοκαιρινή περίοδο:

Διάκριση ηλιακής ακτινοβολίας

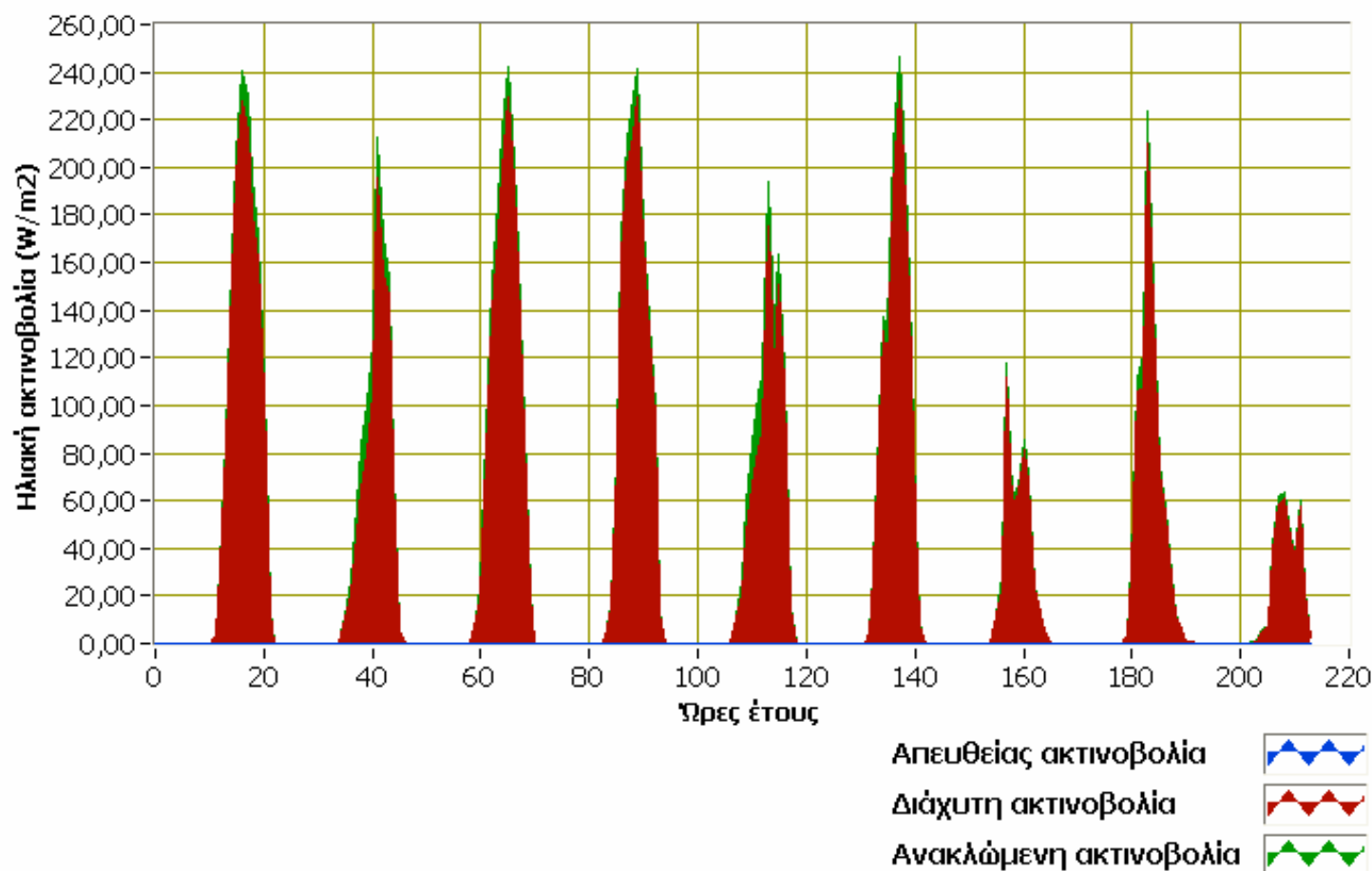


Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο



- Πραγματικές μετρήσεις σε χειμερινή περίοδο:

Διάκριση ηλιακής ακτινοβολίας

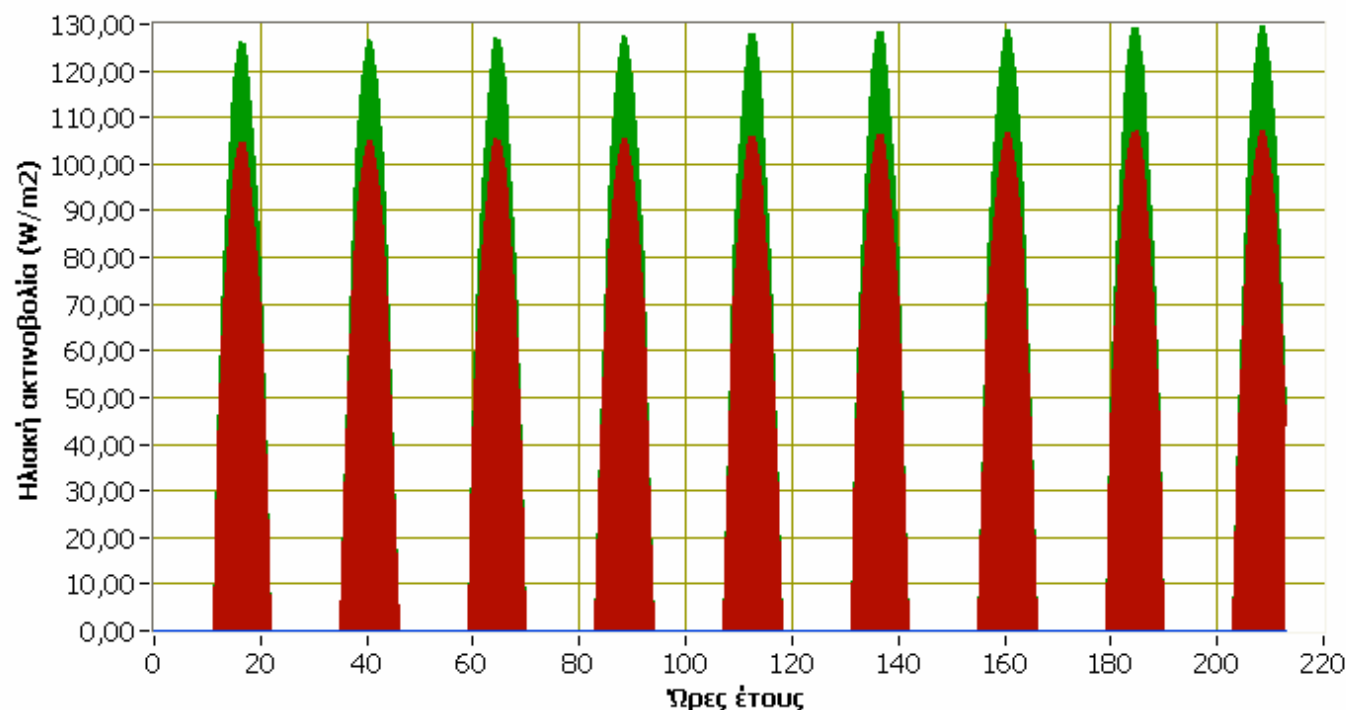


Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο



- Μέθοδος Σασαμάνογλου - Μακρόγιαννη σε χειμερινή περίοδο:

Διάκριση ηλιακής ακτινοβολίας



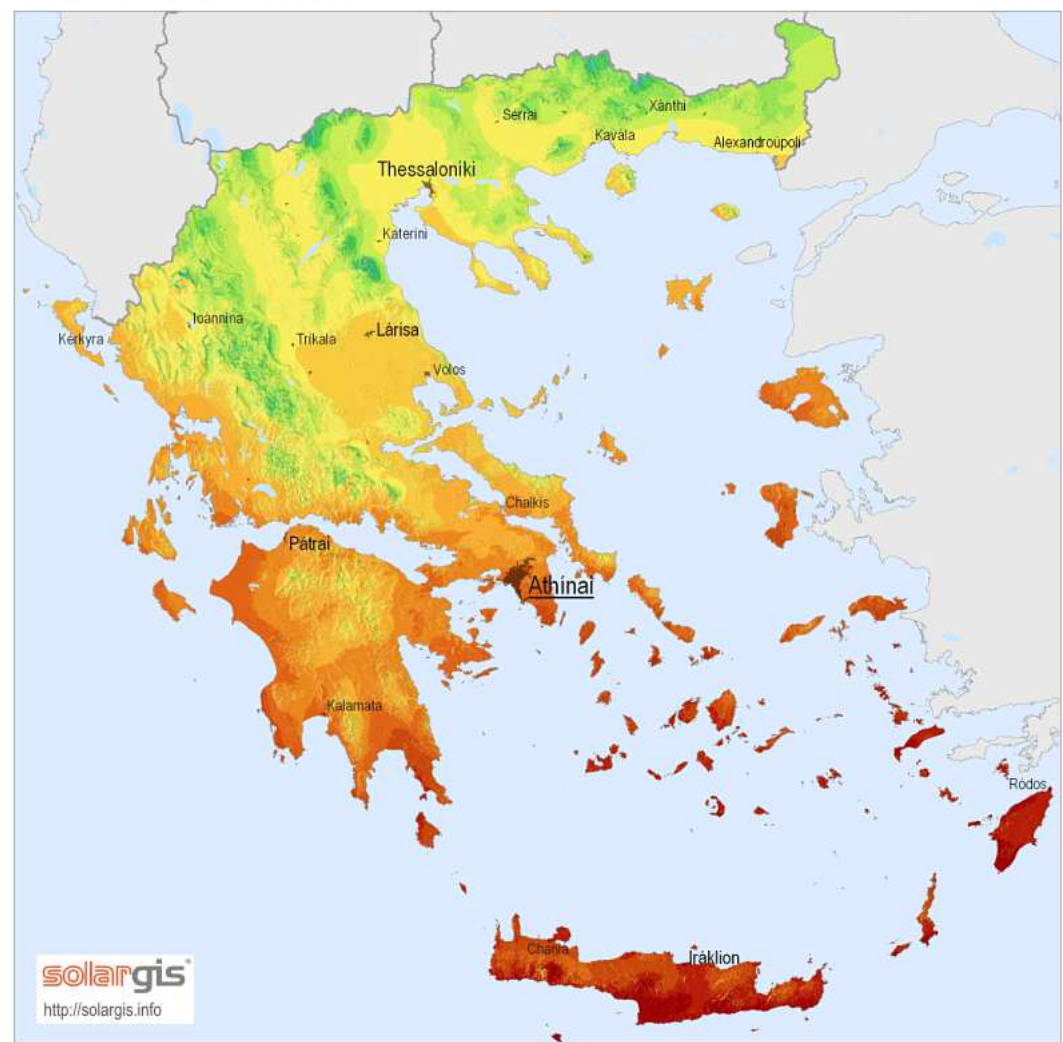
Απευθείας ακτινοβολία
Διάχυτη ακτινοβολία
Ανακλώμενη ακτινοβολία



Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο στην Ελλάδα



Global horizontal irradiation Greece



Average annual sum (4/2004 - 3/2010)
 < 1400 1500 1600 1700 1800 1900 > kWh/m²

© 2011 GeoModel Solar s.r.o.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>