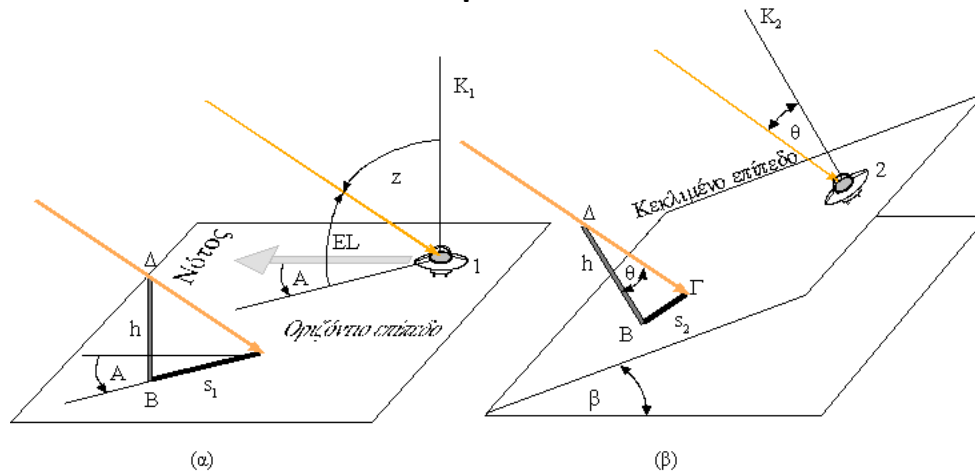


ΕΡΓΑΣΙΑ Ηλιακής ακτινοβολίας. Μετρήσεις με πυρανόμετρο.
Αναγωγή μετρήσεων πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο.



Σχήμα 1. (α) Πυρανόμετρο, (β) διάταξη επιπέδου επί του οποίου έχουν τοποθετηθεί το πυρανόμετρο και η ράβδος ύψους h , σε οριζόντια και κεκλιμένη θέση.

Σκοπός: Μέτρηση πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο με πυρανόμετρο και αναγωγή των μετρήσεων αυτών στο επίπεδο ενός κεκλιμένου συλλέκτη, με βάση ένα από τα εν χρήσει μοντέλα αναγωγής (Μοντέλο Hay and Davis). Σύγκριση του αποτελέσματος με την αντίστοιχη τιμή της ολικής πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο, που μετρείται με το πυρανόμετρο στο κεκλιμένο επίπεδο.

Αναφορά στη θεωρία: I. Ηλιακή ακτινοβολία και σχετική ορολογία. Μοντέλο αναγωγής πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας από οριζόντιο σε κεκλιμένο επίπεδο.

II. Μεγέθη και μονάδες μέτρησης μεγεθών που αφορούν στην ηλιακή ακτινοβολία.

III. Αρχή λειτουργίας και χαρακτηριστικά του πυρανομέτρου.

Απαιτούμενα μέσα: Πυρανόμετρο (Thermopile) και ψηφιακό πολύμετρο 4,5 ψηφίων. Χαρτί A3. Σκίαστρο πυρανομέτρου, για τη μέτρηση της διάχυτης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας. Σύστημα κεκλιμένου επιπέδου, ρυθμιζόμενης γωνίας κλίσης, και ράβδος, με ειδική εφαρμογή επί του επιπέδου, για τη δημιουργία σκιάς επ' αυτού.

Πειραματικές μετρήσεις: Οι πειραματική εργασία αφορά σε μετρήσεις σε οριζόντιο επίπεδο:

α) της πυκνότητας ισχύος της ολικής οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας (GHI) και

β) της πυκνότητας ισχύος της αντίστοιχης συνιστώσας διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας (DHI).

Ζητούμενα: Η πυκνότητα ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδο με γωνία κλίσης θ , στην οποία τοποθετείτε το κεκλιμένο επίπεδο.

Υπολογισμοί (διαδοχικά βήματα): Οι υπολογισμοί ακολουθούν την επόμενη σειρά και μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας είτε φορητό υπολογιστή τσέπης (αριθμομηχανή) είτε Η/Υ (πρόγραμμα EXCEL ή άλλο):

Αλγόριθμος¹ αναγωγής πειραματικών τιμών πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας από οριζόντιο σε κεκλιμένο επίπεδο (Μοντέλο Hay and Davies).

α/α	Συνιστώσα ακτινοβολίας	Υπολογισμός
1	Απ' ευθείας συνιστώσα σε οριζόντιο επίπεδο, BHI ή B	$BHI = GHI - DHI$, όπου GHI, DHI = πειραματικά δεδομένα
2	Απ' ευθείας κάθετη, BNI ή B _n	$BNI = BHI/\cos(z) = BHI/\sin(\beta)$ z = ζενιθία γωνία ήλιου = γωνία πρόσπτωσης της απ' ευθείας ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο = $90^\circ - \beta$
3	Απ' ευθείας στο κεκλιμένο επίπεδο, B _t	$B_t = BNI \cdot \cos\theta_i$, όπου θ_i = γωνία πρόσπτωσης της απ' ευθείας ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο
4	Υπολογισμός της J _d , από την ηλιακή σταθερά J ₀ = 1367 W/m ² και το λόγο r(n), του τετραγώνου του της μέσης απόστασης ηλίου-γης, προς την απόστασής τους τη n ^{στη} μέρα του έτους	$\Phi = 2\pi (n-1)/365$, όπου n η ημέρα του έτους $r(n) = [\bar{d}/d(n)]^2 = 1.00011 + 0.034221 \cos(\Phi) + 0.00128 \sin(\Phi) + 0.000719 \cos(\Phi) + 0.00077 \sin(\Phi)$ $G_{on} = G_{sc} \cdot r(n)$, όπου $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$
5	Διάχυτη σε κεκλιμένο επίπεδο	$D_t = [BNI \cos\theta_i/G_{on} \cdot \sin(\beta) + ((1+\cos\theta_i)/2) \cdot (1-BNI/G_{on})] \cdot DHI$
6	Διάχυτα ανακλώμενη από το έδαφος	$GR_t = GHI \cdot \rho \cdot (1 - \cos\theta_i)/2$, με $\rho = 0,2$ (Albedo)
7	Ολική στο κεκλιμένο επίπεδο	$G_t = B_t + D_t + GR_t$

ΕΡΓΑΣΙΕΣ

I. Προετοιμασία

Αναγνώριση των οργάνων που απαιτούνται για την εκτέλεση της πειραματικής εργασίας. Πάνω σε ξύλινη επίπεδη επιφάνεια είναι τοποθετημένα ένα πυρανόμετρο², μία μεταλλική ράβδος, μήκους h, προσαρμοσμένη κάθετα στο επίπεδο και μια κόλα χαρτιού A3, του οποίου οι πλευρές συμπίπτουν με τα όρια του ξύλινου επιπέδου. Η μέτρηση των μήκους, L, της σκιάς της ράβδου δίδει τη γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων του ήλιου στο επίπεδο, τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Προσοχή: Το χρώμα των υγροσκοπικών κρυστάλλων του πυρανομέτρου πρέπει να είναι μπλε. Το ροζ χρώμα φανερώνει ότι οι κρύσταλλοι έχουν κορεστεί από υδρατμούς και απαιτούν ξήρανση σε χαμηλή θερμοκρασία (<60°C), προκειμένου οι ενδείξεις του πυρανομέτρου να είναι αξιόπιστες.

Το επίπεδο, στο οποίο είναι τοποθετημένο το πυρανόμετρο, μπορεί να περιστρέφεται γύρω από οριζόντιο άξονα, ο οποίος προσανατολίζεται κατά τη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης (Η διεύθυνση Βορά-Νότου μπορεί να προσδιοριστεί είτε με πυξίδα είτε με χάραξη της διεύθυνσης της σκιάς κατακόρυφης ράβδου, σε οριζόντιο επίπεδο, τη στιγμή τον ηλιακού μεσημεριού.

Κατά την πειραματική εργασία θα σημειώσετε στο χαρτί που είναι στο ξύλινο επίπεδο, τη διεύθυνση και το μήκος της σκιάς της ράβδου (κάθετης στο επίπεδο), σε κάθε περίπτωση. Έτσι, το μήκος και οι γωνίες της κατεύθυνσης της μπορούν να μετρηθούν στο τέλος των πειράματος, χωρίς να προκληθεί επιπλέον καθυστέρηση κατά τη διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων.

Σημειώστε την ημερομηνία και υπολογίστε την ημέρα του έτους: n = ...

II. Εργασία στο ύπαιθρο. Μετρήσεις με πυρανόμετρο.

α. Παρατηρήσεις επί των πειραματικών εργασιών

Όλες οι πειραματικές εργασίες πρέπει να γίνουν μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, μικρότερο των 5 min, ώστε στο διάστημα αυτό να μην αλλάξει αισθητά η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά τη διάρκεια των πειράματων σημειώνονται οι διευθύνσεις και το πέρασ της σκιάς (στο λευκό χαρτί) καθώς και οι ενδείξεις του πυρανομέτρου. Η επεξεργασία και οι υπολογισμοί θα γίνουν μετά το πέρασ της πειραματικής εργασίας.

β. Μετρήσεις με το πυρανόμετρο σε οριζόντιο επίπεδο (Σχήμα 1α).

β1. Σημειώστε την ευαισθησία ϵ του πυρανομέτρου (αναγράφεται στο σώμα του οργάνου):

$$\epsilon = \dots\dots\dots V/Wm^{-2}$$

β2. Ελέγξτε την οριζοντιότητα του πυρανομέτρου μέσω της αεροστάθμης, που είναι τοποθετημένη στο σώμα του. Συνδέστε την έξοδο του πυρανομέτρου στο πολύμετρο στη θέση DCV, 2 mV, του βολτομέτρου (4 1/2 ψηφίων).

Μετρήστε το μήκος της ράβδου: $h = \dots$ mm

β3. Απομακρυνθείτε απ' το πυρανόμετρο, ώστε να μην επηρεάζετε την ένδειξή του και αφού περιμένετε 0,5 min για αποκατάσταση θερμικής ισορροπίας στο σύστημα, να καταγράψετε την ένδειξη του πυρανομέτρου.

Ένδειξη πυρανομέτρου στην οριζόντια θέση: $V_{GHI} = \dots\dots\dots$ mV

β4. Σχεδιάστε πάνω στο λευκό χαρτί, με τη βοήθεια χάρακα, τη διεύθυνση και το μήκος της σκιάς της ράβδου που έχει τοποθετηθεί κάθετα στο επίπεδο. Απ' αυτά τα στοιχεία προκύπτουν το ύψος (β) και το αζιμούθιο (z) του ήλιου, για εκείνη τη στιγμή.

Μήκος σκιάς: $s_1 = \dots\dots\dots$ mm

β5. Χωρίς να καθυστερήσετε σε σχέση με την προηγούμενη μέτρηση, τοποθετήστε, με προσοχή ένα μαυρισμένο σκίαστρο, στερεωμένο στην άκρη λεπτού μεταλλικού στελέχους, πάνω από το όργανο, σε απόσταση όχι μικρότερη των 40 cm, έτσι ώστε να σκιάζεται ο δίσκος του πυρανομέτρου (απομακρυνθείτε όσο γίνεται από το πυρανόμετρο). Καταγράψτε τη νέα ένδειξη.

Ένδειξη πυρανομέτρου στο οριζόντιο επίπεδο: $V_{DHI} = \dots\dots\dots$ mV

γ. Μέτρηση της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας με το επίπεδο, που φέρει το πυρανόμετρο, σε κεκλιμένη θέση (Σχήμα 1β).

γ1. Να στρέψετε το επίπεδο στο οποίο είναι στερεωμένο το πυρανόμετρο και να το σταθεροποιήσετε σε κάποια θέση, με τη βοήθεια του κατάλληλου μηχανισμού. Να περιμένετε 20 s για αποκατάσταση θερμικής ισορροπίας στο σύστημα και να καταγράψετε τη νέα ένδειξη του πυρανομέτρου.

Ένδειξη 3 πυρανομέτρου στο κεκλιμένο επίπεδο: $V_{Gt} = \dots\dots\dots$ mV

γ2. Να σημειώστε το μήκος της σκιάς της ράβδου, που είναι στερεωμένη στο κεκλιμένο επίπεδο, στη νέα θέση του επιπέδου.

Μήκος σκιάς: $s_2 = \dots\dots\dots$ mm

γ3. Να μετρήσετε και να σημειώσετε τη γωνία κλίσης του κεκλιμένου επιπέδου (Μετρείται με γωνιόμετρο ή ελλείψει αυτού, με προσδιορισμό των πλευρών κατάλληλου ορθογωνίου τριγώνου, που θα προσδιορίσετε εσείς):

Γωνία κλίσης επιπέδου: $\theta_p = \dots\dots$ (°)

III. Υπολογισμοί

1. Να μετατρέψετε τις ενδείξεις του πυρανομέτρου από mV σε W/m².

2. Με βάση τις πειραματικές μετρήσεις στο οριζόντιο επίπεδο, ακολουθώντας τα βήματα που περιγράφονται στο μοντέλο Hay και Davies, για τη μέρα του έτους n, που διεξάγεται το πείραμα, να υπολογίσετε την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας G_t στο κεκλιμένο επίπεδο και να συγκρίνετε το αποτέλεσμα του υπολογισμού σας με το πειραματικό αποτέλεσμα στο κεκλιμένο επίπεδο καθώς και τη σχετική διαφορά τους

$$\Delta = [G_{t(\text{Υπολογισμένη})} - G_{t(\text{Πειραματική})}] / G_{t(\text{Πειραματική})}$$

3. Με βάση το μήκος της ράβδου και το αντίστοιχα της σκιάς της (εργασία 3.4) στο οριζόντιο επίπεδο, όπως είναι χαραγμένη στο φύλλο A3, να υπολογίσετε:

α) Το ύψος του ήλιου: $\beta = \dots\dots\dots$

β) Το αζιμούθιο του ήλιου: $z = \dots\dots\dots$

Βιβλιογραφία

1 Hay J. E. (1979) Study of short-wave radiation on non-horizontal surfaces, Atmospheric Environment Service. Downsview, Ontario. Ma C.C.Y. and Iqbal M (1983) Statistical comparison of models for estimating solar radiation on inclined surfaces. Solar Energy 31, 3, 313-317.