



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

Μεγιστοποίηση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλιακούς συλλέκτες για διαφορετικά χρονικά διαστήματα εντός του έτους με σκοπό χρονικά αντίστοιχες εφαρμογές.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΥ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

Επιβλέπων: ΚΙΜΩΝ Α. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ

Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2016

Περίληψη :

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλιακό συλλέκτη, ανά μήνα, δίμηνο, τρίμηνο καθώς και για τις περιόδους του χειμώνα και του καλοκαιριού στην περιοχή της Αθήνας.

Αρχικά, στο βιβλιογραφικό πρώτο μέρος δίνονται οι βασικοί ορισμοί που αφορούν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε ηλιακούς συλλέκτες καθώς και έννοιες που μας βοηθούν να αντιληφθούμε τη μεγιστοποίησή της. Επιπλέον, αναφέρονται εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας σε διάφορες δραστηριότητες του ανθρώπου για την κάλυψη των αναγκών του ενώ δίνεται έμφαση στην ξήρανση των προϊόντων.

Στο δεύτερο μέρος υπολογίζεται η μεγιστοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορες κλίσεις ηλιακού συλλέκτη, ενώ δίνονται και τα αντίστοιχα διαγράμματα για διάφορα χρονικά διαστήματα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ηλιακή ενέργεια, μεγιστοποίηση ηλιακής ακτινοβολίας, κλίση ηλιακού συλλέκτη, ξήρανση προϊόντων

Abstract :

The present thesis examines the maximization of incident solar radiation at a solar collector per month,two months,three months,as well as for the period of winter and summer in Athens.

Initially in the bibliographic first part all the necessary definitions concerning incident solar radiation at solar collectors are given and a review is developed for understanding its maximization.Moreover,uses of solar energy to meet the needs in various human activities are reported while emphasizing on the drying of the products.

In the second part,the maximization of solar radiation is calculated for different inclinations of the solar collector,while the corresponding diagrams for various time intervals are given.

KEY WORDS: solar energy,maximization of solar radiation,inclination of solar collector,drying products

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέποντα κ. Κίμωνα Α. Αντωνόπουλο για την καθοδήγηση και βοήθειά του καθώς και για το χρόνο που μου διέθεσε για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την βοήθεια και συμπαράσταση τους όλο αυτό τον καιρό.

Copyright © Αναστασοπούλου Αγγελική, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περιεχόμενα:

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

- 1.1 Εισαγωγή.....σελ.8
- 1.2 Η σημασία των ΑΠΕ.....σελ.8-9
- 1.2.1 Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ.....σελ.8-9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ-ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

- 2.1: Ηλιακή ενέργεια-Φως.....σελ.9-10
- 2.2: Ηλιακή ακτινοβολία και συνιστώσες της...σελ.11
- 2.3: Ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας....σελ.11-13
- 2.4: Γεωμετρική σχέση Γης-Ήλιου.....σελ.13
- 2.4.1: Ηλιακή απόκλιση δσελ.13-14
- 2.4.2: Ηλιακός χρόνος.....σελ.14-16
- 2.4.3: Ηλιακό ύψος.....σελ.16
- 2.4.4: Αζυμούθιο επιφάνειας γσελ.17
- 2.4.5: Κλίση συλλέκτη βσελ.17
- 2.4.6: Άμεση, Διάχυτη, Ολική ακτινοβολία...σελ.17-18
- 2.4.7: Γωνία πρόσπτωσης.....σελ.18-21
- 2.5: Ηλιακοί συλλέκτες.....σελ.21-23
- 2.6 : Προσανατολισμός και κλίση των ηλιακών συλλεκτών....σελ.23-25
- 2.7: Συλλογή μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας.....σελ.25-26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

- 3.1: Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας.....σελ.26-31
- 3.2: Ηλιακή ξήρανση.....σελ.31
- 3.2.1: Ξήρανση συνήθων γεωργικών προϊόντων....σελ.31-34
- 3.3: Ηλιακοί ξηραντήρες.....σελ.34-37

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

- 4.1: Διαγράμματα μέσης στιγμιαίας άμεσης και διάχυτης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου για κάθε μήνα.....σελ.38-49
- 4.2: Πίνακες και διαγράμματα συνολικής μέσης στιγμιαίας προσπίπτουσας ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου για κάθε μήνα.....σελ.49-61
- 4.3: Πίνακες και διαγράμματα συνολικής μέσης μηνιαίας προσπίπτουσας ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου για κάθε μήνα.....σελ.61-73
- 4.4: Πίνακες και διαγράμματα συνολικής μέσης προσπίπτουσας ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου για κάθε δίμηνο.....σελ.74-85
- 4.5: Πίνακες και διαγράμματα συνολικής μέσης προσπίπτουσας ακτινοβολίας για κάθε τρίμηνο.....σελ.85-97

4.6: Πίνακες και διαγράμματα συνολικής μέσης προσπίπτουσας ακτινοβολίας
κεκλιμένου επιπέδου για την περίοδο του χειμώνα και του καλοκαιριού.....
.....σελ.97-100

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.101

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε παγκόσμιο επίπεδο η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται συνεχώς με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η ατμοσφαιρική ρύπανση κυρίως λόγω της εκπομπής αερίων από καύσιμα (δημιουργία ρύπων που συμβάλλουν στην ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου). Στις μέρες μας το πρόβλημα αυτό έχει αποσπάσει πια την προσοχή που του αρμόζει και έχει πια καταστεί σαφής η ανάγκη για επίλυση του. Οι οροί «πράσινη ανάπτυξη», «ενεργειακή πολιτική» συναντώνται πλέον σε μεγάλο βαθμό αφού τα περισσότερα κράτη εφαρμόζουν μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας και ταυτόχρονα την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, στοχεύοντας στην εξεύρεση και σωστή διαχείριση των ενεργειακών πόρων και τη μείωση της ρύπανσης καθώς και των συνεπειών της στη δημόσια υγεία.

[1]

1.2) Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΕ

Ο ήλιος είναι η μοναδική πηγή θερμότητας και φωτός που δέχεται η επιφάνεια της Γης προκειμένου να διατηρείται η ζωή του πλανήτη. Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει τεράστια ποσά ενέργειας στη Γη. Δοθείσης της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής σταθεράς, η οποία θεωρείται σήμερα ίση με 1367 W/m^2 , και της περιμέτρου των 40000 km που αντιστοιχούν στην Γη, αλλά και η εξασθένιση της ηλιακής ακτινοβολίας που προκαλείται από την ατμόσφαιρα, προκύπτει πως η ετήσια μέση ισχύς που προσπίπτει συνολικά στη Γη στο επίπεδο της θάλασσας είναι ίση με 102000 TW . Το συνολικό ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο στην επιφάνεια της γης είναι ίσο με 10.000 φορές περίπου την ετήσια παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση, ενώ η ηλιακή ενέργεια που φθάνει στη γη κατά τη διάρκεια τριών ημερών είναι περισσότερη απ' ό,τι το κατ' εκτίμηση σύνολο των ορυκτών καυσίμων στη γη. Κατά μέσο όρο, προσπίπτουν 1750 kWh σε κάθε τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο. Η Ελλάδα αποτελεί προνομιακή χώρα στην ηλιοφάνεια και το πλεονέκτημα αυτό δεν είναι φυσικά το μοναδικό. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η ενέργεια που περικλείουν οι άνεμοι αλλά και τα ποτάμια, παρότι δεν είναι τεραστίων διαστάσεων ως προς την παροχή νερού. Τα πλεονεκτήματα αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν πέραν άλλων λόγων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Οι ΑΠΕ σκοπό έχουν την αξιοποίηση φυσικών φαινομένων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μορφές ΑΠΕ είναι η αιολική ενέργεια η οποία αξιοποιεί τους ανέμους, η ηλιακή ενέργεια η οποία αξιοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στη Γη, η γεωθερμία ή γεωθερμική ενέργεια η οποία αξιοποιεί τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια και τέλος η ενέργεια που παράγεται από τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια που αξιοποιούν τη δυναμική ενέργεια του νερού.

[2]

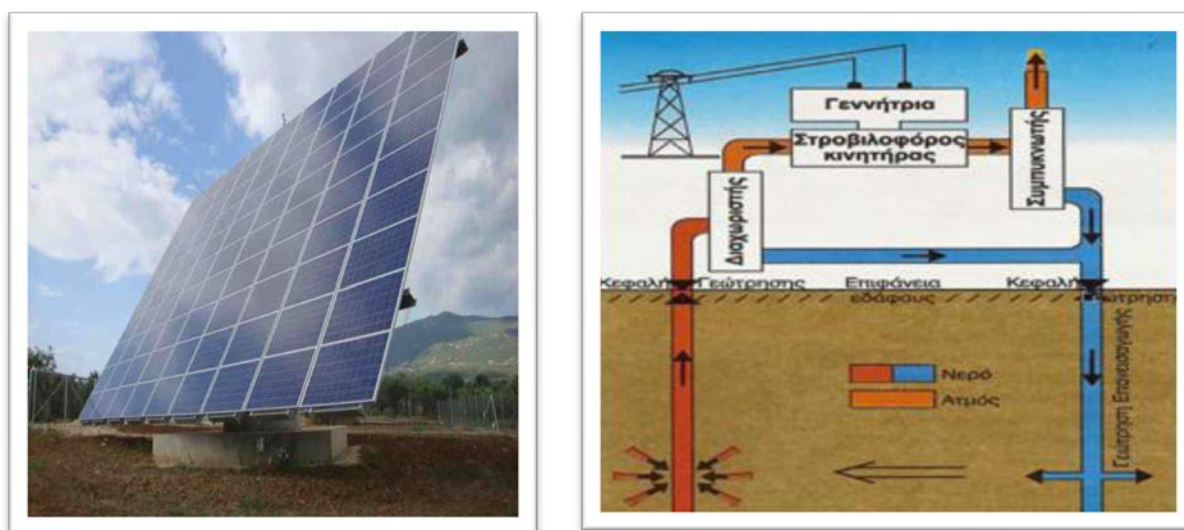
1.2.1) ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΠΕ

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ, είναι τα εξής:

Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους. Απαντούν στο ενεργειακό πρόβλημα για τη σταθεροποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των

υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου.Ακόμη, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών από άλλους ρυπαντές π.χ. οξειδία θείου και αζώτου που προκαλούν την όξινη βροχή.Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).

[3]



Εικόνα 1.3.1.1: Ηλιακή και γεωθερμική ενέργεια [2]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1) ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ-ΦΩΣ

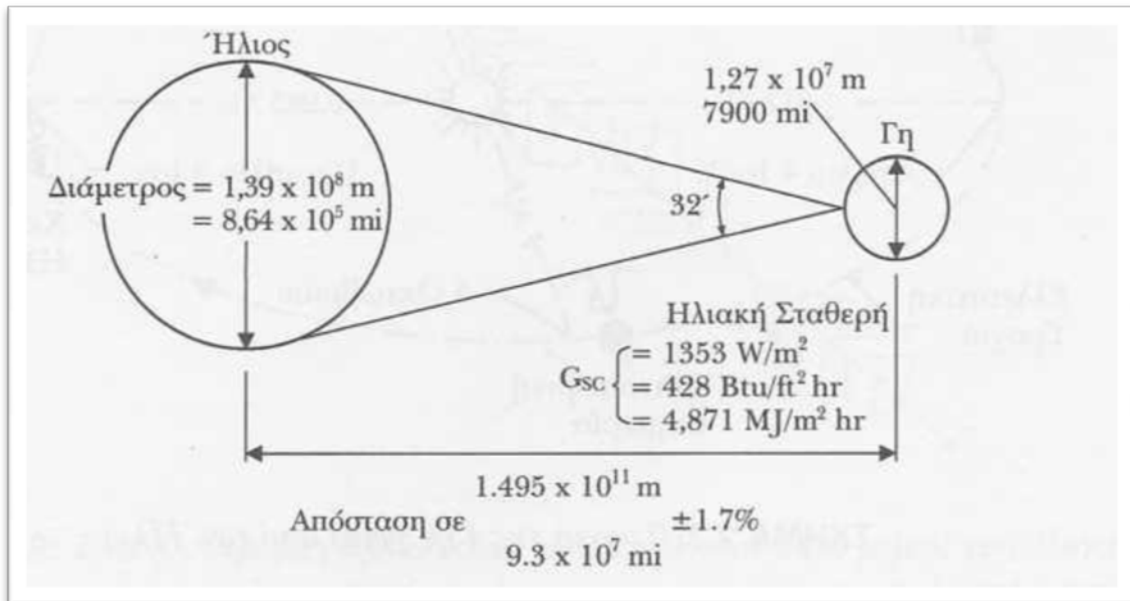
Ο ήλιος είναι η βασική πηγή ενέργειας του πλανήτη μας. Ο Ήλιος είναι απλανής αστέρας μέσου μεγέθους που λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών των στοιχείων που τον συνθέτουν, μεταξύ των οποίων και το υδρογόνο, τα μόρια αλλά και τα άτομά τους βρίσκονται σε μια κατάσταση " νέφος " θετικών και αρνητικών φορτίων ή κατάσταση πλάσματος, όπως ονομάστηκε. Σ' αυτές τις θερμοκρασίες, μερικών εκατομμυρίων οC, οι ταχύτατα κινούμενοι πυρήνες υδρογόνου (H) συσσωματώνονται,

υπερνικώντας τις μεταξύ τους απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και δημιουργούν πυρήνες του στοιχείου ηλίου (He). Η πυρηνική αυτή αντίδραση σύντηξης πυρήνων είναι εξώθερμη και χαρακτηρίζεται από τη γνωστή μας έκλυση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας ή θερμότητας ή όπως συνηθίζεται να λέγεται, ηλιακής ενέργειας, που ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα. Αν και αυτό συμβαίνει συνεχώς εδώ και 5 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου, ο ήλιος διαθέτει τεράστιες ποσότητες υδρογόνου και δεν αναμένεται να υπάρξει μείωση της ενέργειας που ακτινοβολείται από αυτόν. Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρα μας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Στη Δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές κυμαινόμενη από 2200 ως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως. Η κύρια και πρωταρχική πηγή ενέργειας για τη γη είναι ο Ήλιος μας. Υπάρχει τίποτα πάνω στη γη που θα μπορούσε να υπάρχει, να ζει και να κινείται, χωρίς τη ζωογόνο ενέργεια του ήλιου; Δεν είναι παράξενο, λοιπόν, που για όλους τους αρχαίους λαούς, ο Ήλιος ήταν ο Μεγάλος Θεός, ο Δημιουργός, παίρνοντας διαφορετικές μορφές από χώρα σε χώρα κι από εποχή σε εποχή. Από πολύ νωρίς οι άνθρωποι είχαν καταλάβει την εξαιρετική σημασία που είχε για τη ζωή του κόσμου μας και τον περιέβαλαν με δέος και σεβασμό, οι δε εκλείψεις του αντιμετωπίζονταν σαν μεγάλες καταστροφές κι ήταν ένδειξη πως ο Θεός απέστρεφε το πρόσωπό του από τους ανθρώπους, σίγουρα για κάποιο λάθος τους. Σήμερα ξέρουμε ότι ο ήλιος είναι ένα πύρινο ουράνιο σώμα που αποβάλλει προς το ηλιακό μας σύστημα ποσότητες θερμότητας μέσω των εκρήξεων που γίνονται στην επιφάνειά του. Αλλά όσο κι αν η επιστήμη κι οι αναλύσεις έχουν μειώσει το μυστήριο που τον περιέβαλε σε άλλους καιρούς, άλλο τόσο έχουν ενισχύσει την άποψη ότι χωρίς τον ήλιο η γη θα ήταν ένας μικρός, παγωμένος, νεκρός πλανήτης, και ότι όλα όσα βρίσκονται πάνω σ' αυτήν και την πλουτίζουν με την ποικιλία και τη ζωή τους οφείλουν την ύπαρξή τους στον ήλιο. Η ακτινοβολία του Ήλιου, η ηλιακή ακτινοβολία, όπως έχουμε συνηθίσει να τη λέμε, έχει τροφοδοτήσει κι εξακολουθεί να τροφοδοτεί με ενέργεια όλες σχεδόν τις ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ενέργεια του Ήλιου είναι, όμως, και από μόνη της μια σημαντική πηγή ενέργειας, την οποία αξιοποίησε ο άνθρωπος από την αρχαία εποχή έως σήμερα. Η ακτινοβολία του ήλιου όχι μόνο δίνει φως, αλλά επίσης θερμαίνει τα σώματα στα οποία προσπίπτει. Αυτή τη θερμότητα μπορούμε είτε να τη χρησιμοποιήσουμε αμέσως, καθώς έρχεται από τον ήλιο, είτε να την αποθηκεύσουμε με τεχνητά μέσα και να τη χρησιμοποιήσουμε όταν τη χρειαστούμε. Λιγότερο γνωστό είναι ότι η ηλιακή ακτινοβολία αλλάζει και τις ιδιότητες κάποιων υλικών (των ημιαγωγών), που παράγουν έτσι ηλεκτρικό ρεύμα. Για να εκμεταλλευτούμε όσο γίνεται πιο αποδοτικά την ηλιακή ενέργεια, πρέπει να έχουμε στο νου μας πως μεταβάλλεται η θέση του ήλιου στη διάρκεια της ημέρας, του μήνα και του έτους. Στις χώρες του βορείου ημισφαιρίου, όπως η Ελλάδα, οι επιφάνειες που είναι προσανατολισμένες στο νότο δέχονται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης, το καλοκαίρι, ο ήλιος είναι ψηλά ως προς τον ορίζοντα, ενώ το χειμώνα είναι χαμηλά. Μπορούμε να αξιοποιήσουμε την ηλιακή ακτινοβολία για ενεργειακούς σκοπούς, είτε για να προσλάβουμε Θερμότητα από τον Ήλιο, είτε για να παράγουμε Ηλεκτρικό ρεύμα από τον Ήλιο. Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

[4]

2.2) ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΗΣ

Με μια καλή προσέγγιση, ο ήλιος συμπεριφέρεται σαν μια τέλεια πηγή εκπομπής ακτινοβολίας (μέλαν σώμα) σε μια θερμοκρασία κοντά στους 5800K. Το αποτέλεσμα της ενέργειας αυτής που εκπέμπει ο ήλιος κατακόρυφα πάνω σε μια επιφάνεια έξω από την ατμόσφαιρα της γης που απέχει 1 AU από τον ήλιο είναι γνωστή σαν ηλιακή σταθερά



Σχήμα 2.2.1

[5]

$$G_{SC} = 1367 \text{ W/m}^2$$

Η ακτινοβολία που πέφτει σε ένα συλλέκτη πάνω από την ατμόσφαιρα της γης, γνωστή σαν "extraterrestrial radiation", αποτελείται αποκλειστικά και μόνο από ακτινοβολία που ταξιδεύει σε μια ευθεία γραμμή από τον ήλιο. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης επιδέχεται κάποιες μετατροπές αλληλεπιδρώντας με διάφορα συστατικά της. Κάποια από αυτά, όπως τα σύννεφα, την αντανακλούν Όμως, όπως το όζον, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα την απορροφούν. Οι σταγόνες του νερού και τα αιωρούμενα σωματίδια σκόνης προκαλούν σκέδαση. Το αποτέλεσμα όλων αυτών των διαδικασιών είναι αποσύνθεση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα δέκτη στην επιφάνεια της γης σε καθαρά διαφοροποιούμενα συστατικά. Η "απευθείας" ή "ακτινική" ακτινοβολία (Direct or Beam radiation), προσπίπτει κατευθείαν στην επιφάνεια του συλλέκτη χωρίς αντανάκλαση ή διασπορά. Η "διάχυτη" ακτινοβολία (Diffuse radiation), είναι όλη η υπόλοιπη ακτινοβολία που προέρχεται από αυτήν που διαχέεται στην ατμόσφαιρα. Η ολική ακτινοβολία που πέφτει σε μια επιφάνεια είναι το άθροισμα των παραπάνω και είναι γνωστή σαν "συνολική" ακτινοβολία (Global radiation). Επί πλέον, όταν ο συλλέκτης εγκαθίσταται με κλίση προς το οριζόντιο επίπεδο, όπως και συνηθίζεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, προστίθεται και ένα μικρό σχετικά ποσοστό προερχόμενο από ανάκλαση σε παρακείμενα αντικείμενα (Albedo radiation). Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας, προέρχεται από την ακτινική ακτινοβολία, σημαντική είναι όμως και η συμβολή της διάχυτης.

[6]

2.3) ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΕΚΤΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας.

Η μεταβολή της απόστασης Γης-Ήλιου προκαλεί μεταβολή της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας κατά $\pm 3,3\%$ περί τη μέση τιμή της. Ο διορθωτικός συντελεστής για την εκκεντρικότητα της γης προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$E_0 = 1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365}$$

Όπου $n = 1 \div 365$ είναι η ημέρα του έτους.

Η ακτινοβολία G_{0n} , που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας κάθετο στις ηλιακές ακτίνες, δίνεται από τη σχέση

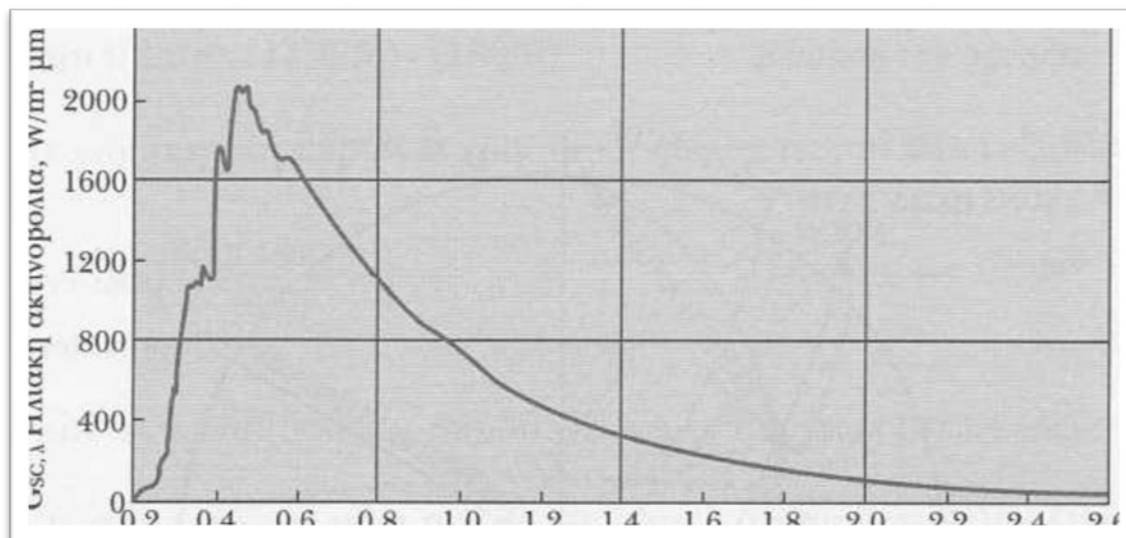
$$G_{0n} = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right)$$

:

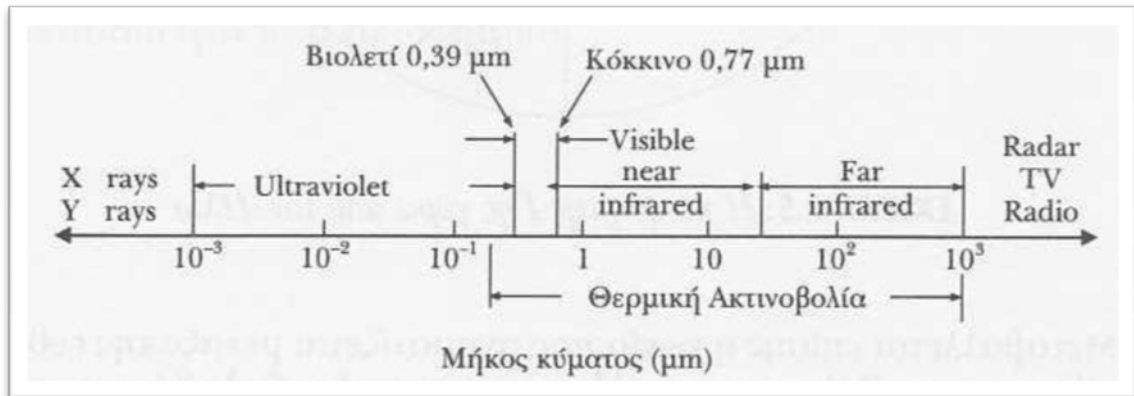
Φασματική κατανομή της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας.

Στο διάγραμμα 2.3.1 παρουσιάζεται η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας κατά τη μέση απόσταση Γης-Ήλιου. Η υπεριώδης, η ορατή και η υπέρυθη ακτινοβολία αντιστοιχούν στις περιοχές μηκών κύματος $\lambda < 0,38 \mu\text{m}$, $0,38 \mu\text{m} < \lambda < 0,78 \mu\text{m}$ και $\lambda > 0,78 \mu\text{m}$, με αντίστοιχη ενέργεια σε κάθε περιοχή 95 W/m^2 , 640 W/m^2 , και 618 W/m^2 ($95 + 640 + 618 = 1353 \text{ W/m}^2$) (διαγρ.2.3.2).

[5]



Διάγραμμα 2.3.1. Φασματική κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας [5]



Διάγραμμα 2.3.2. Η υπεριώδης, η ορατή και η υπέρυθρη ακτινοβολία [5]

2.4) Γεωμετρική σχέση Γης-Ήλιου.

Η Γη κάνοντας μία περιστροφή την ημέρα, γυρίζει με ρυθμό 15° ανά ώρα (σε σχέση με τον Ήλιο), με την ώρα να μετράται με βάση τη διεθνή ώρα ή το μέσο ηλιακό χρόνο. Το επίπεδο περιστροφής της Γης γύρω από τον Ήλιο ονομάζεται ελλειπτικό επίπεδο. Ο άξονας περιστροφής της Γης σχηματίζει γωνία περίπου 23,5° με την κάθετο στο ελλειπτικό επίπεδο (σχ 2.4.1). Η περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονα της προκαλεί τις ημερήσιες μεταβολές στα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας. Η θέση αυτού του άξονα σε σχέση με τον Ήλιο προκαλεί εποχικές αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία. Η γωνία του κυρίου άξονα της Γης και της καθέτου στο ελλειπτικό επίπεδο παραμένει σταθερή. Το ίδιο συμβαίνει με το επίπεδο του ισημερινού της Γης με το ελλειπτικό επίπεδο.

Μεταβάλλεται επίσης η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας της Γης και του Ήλιου με το ελλειπτικό επίπεδο, δηλαδή η γωνιακή θέση του Ήλιου κατά την ηλιακή μεσημβρία σε σχέση με το επίπεδο του ισημερινού. Η γωνία αυτή μεταβάλλεται συνεχώς και ονομάζεται ηλιακή απόκλιση (δ)

[5]

2.4.1) Ηλιακή απόκλιση δ .

Είναι η γωνιακή θέση του Ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Ισχύει $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$, με θετικές τιμές προς το βορρά. Κατά τη διάρκεια ενός 24ωρου, η μέγιστη μεταβολή του (δ) είναι μικρότερη της 0,5°. Συνεπώς, εάν η ηλιακή απόκλιση θεωρηθεί σταθερή για 24 ώρες, προκύπτει μέγιστο σφάλμα στους υπολογισμούς των άλλων ηλιακών γωνιών, μεγέθους 0,5°. Ο υπολογισμός του (δ) σε μοίρες μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια (μέγιστο σφάλμα 0,0006 rad) με την εξίσωση του Spencer.

$$\delta = (0,006918 - 0,399912 \cdot \cos(2\pi(n-1)/365) + 0,070257 \cdot \sin(2\pi(n-1)/365) - 0,006758 \cdot \cos^2(2\pi(n-1)/365) - 0,002697 \cdot \cos^3(2\pi(n-1)/365) + 0,00148 \cdot \sin^3(2\pi(n-1)/365)) \cdot (180/\pi)$$

Εξίσωση του Spencer

ή με ικανοποιητική ακρίβεια χρησιμοποιώντας τις πιο κάτω εξισώσεις:

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

Εξίσωση του Cooper

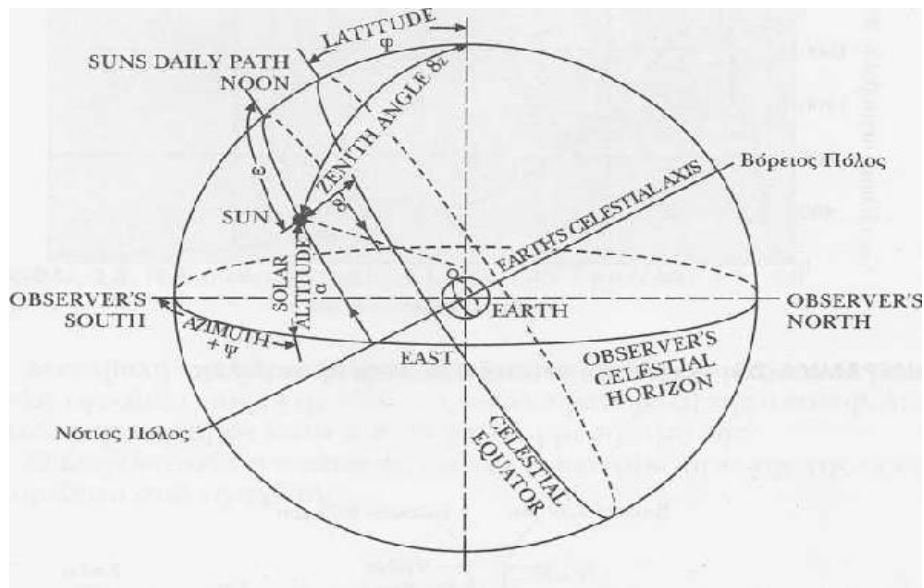
$$\delta = \sin^{-1}\{0,4 \sin[360(n - 82)/365]\}$$

Εξίσωση του PerrindeBrichambaut Όπου $n=1+365$ είναι η ημέρα του έτους, η οποία υπολογίζεται με τη βοήθεια του Πίνακα 2.3.2 στον ίδιο πίνακα δίνεται η ηλιακή απόκλιση δ κατά τη μέση ημέρα κάθε μήνα. Μέση ημέρα του μήνα θεωρείται εκείνη η οποία έχει ηλιακή ακτινοβολία, εκτός ατμόσφαιρας, περίπου ίση με τη μέση ημερήσια του μήνα. Η ηλιακή απόκλιση είναι μηδέν κατά τη φθινοπωρινή ισημερία και έχει την τιμή $+23,5^\circ$ κατά το θερινό ηλιοστάσιο και $-23,5^\circ$ το χειμερινό ηλιοστάσιο (για το Β ημισφαίριο).

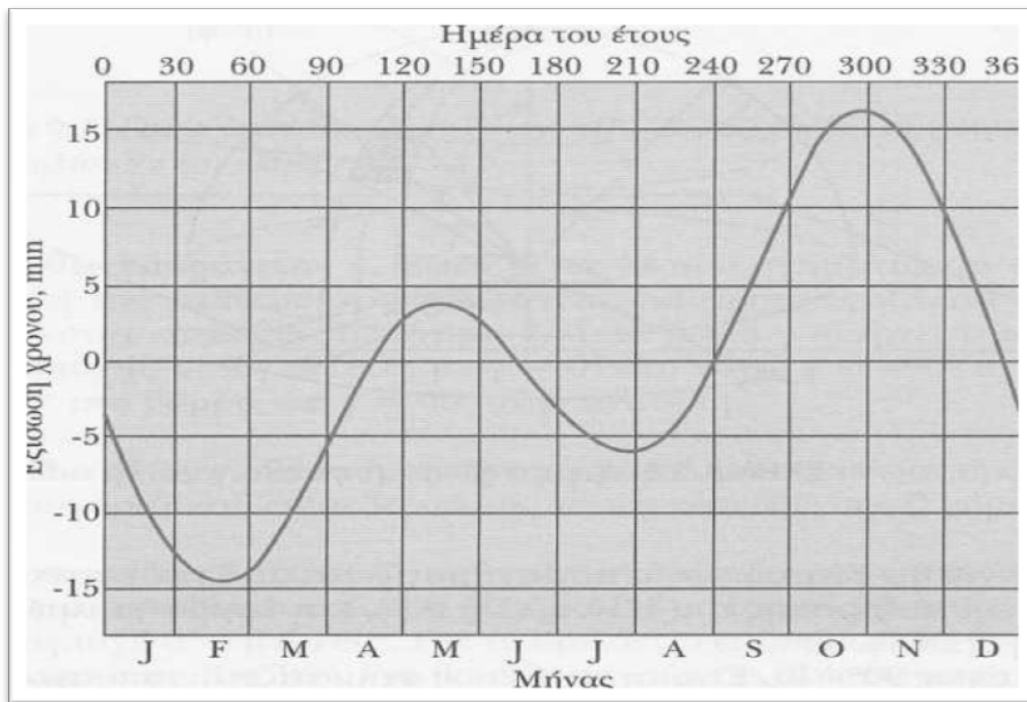
[5]

2.4.2) Ηλιακός χρόνος

Είναι ο χρόνος που μετράται με βάση τη φαινόμενη κλίση του Ήλιου στον ουρανό. Χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς των σχέσεων μεταξύ των ηλιακών γωνιών. Ο ηλιακός χρόνος δε συμπίπτει με την τοπική ώρα. Είναι απαραίτητο να συσχετισθεί ο τοπικός χρόνος με τον αντίστοιχο ηλιακό, εφαρμόζοντας δύο διορθώσεις. Πρώτα πρέπει να γίνει μία διόρθωση για τη διαφορά στο γεωγραφικό μήκος μεταξύ του τοπικού μεσημβρινού και του μεσημβρινού, βάσει του οποίου υπολογίζεται η τοπική ώρα. Για την Ελλάδα ο σταθερός μεσημβρινός είναι 30°A . Ο Ήλιος χρειάζεται 4 λεπτά για να καλύψει γεωγραφικό μήκος 1° . Η δεύτερη διόρθωση σχετίζεται με την εξίσωση του χρόνου, η οποία συμπεριλαμβάνει τις μεταβολές στο ρυθμό περιστροφής της Γης και οι οποίες επιδρούν στο χρόνο που ο Ήλιος περνάει από τον τοπικό μεσημβρινό. Τέλος μπορεί να χρειαστεί και μία ακόμη διόρθωση για τη θερινή ώρα. Το ηλιακό μεσημέρι είναι η χρονική στιγμή που ο Ήλιος τέμνει το μεσημβρινό του παρατηρητή. Ο ηλιακός χρόνος δε συμπίπτει με τον τοπικό χρόνο, $t_{\text{ρολ}}$, που δείχνει το ρολόι. Η παρακάτω σχέση συνδέει τους δύο χρόνους: $T_{\text{sol}} = t_{\text{ρολ}} \pm 4(L_{\text{st}} - L_{\text{loc}}) + E$ όπου L_{st} είναι το γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού στον οποίο βασίζεται ο τοπικός χρόνος (για την Ελλάδα $L_{\text{st}} = 30^\circ$) και L_{loc} είναι το γεωγραφικό μήκος του παρατηρητή. Η σχέση ισχύει με + για τα δυτικά μήκη και με - για τα ανατολικά, δηλ. (+) στο δυτικό ημισφαίριο και (-) ανατολικό ημισφαίριο. Ο συντελεστής 4 εκφράζει min/μοίρα. Τέλος $E(\text{min})$ είναι η εξίσωση του χρόνου που λαμβάνεται για κάθε ημέρα του έτους από την παρακάτω σχέση του Watt ή από το διάγραμμα 2.4.1 $E = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B$ Όπου $B = 360 \cdot (n-81) / 364$, n η ημέρα του έτους



Σχήμα 2.4.1 Η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο [5]



Διάγραμμα 2.4.1: Η εξίσωση του χρόνου E, σε πρώτα λεπτά της ώρας, συναρτήσει της ημέρας του έτους [5]

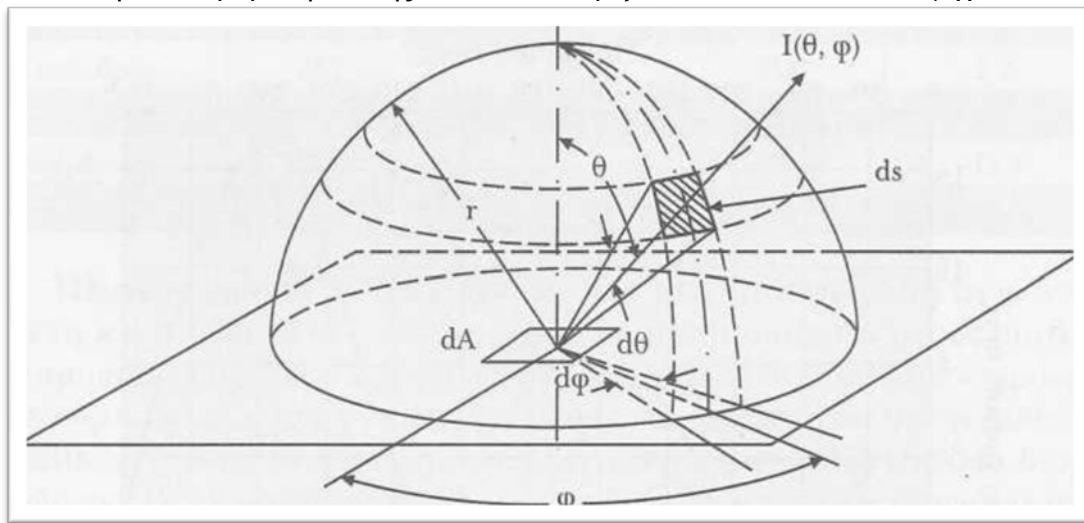
Για τους υπολογισμούς της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης είναι απαραίτητη η γνώση μερικών τριγωνομετρικών σχέσεων μεταξύ της θέσης του ήλιου στον ουρανό και των συντεταγμένων της επιφάνειας στη Γη. Τοποθετείται παρατηρητής πάνω στη Γη, πάνω στον οποίο διαγράφεται η κίνηση του Ήλιου. (Σχ 2.4.2) Σε δεδομένο χρόνο ο παρατηρητής πάνω στην επιφάνεια της Γης έχει μία

αντίστοιχη θέση πάνω στην επιφάνεια του θόλου που ονομάζεται **ζενίθ**, ζενίθιο σημείο παρατηρητή. Αυτό είναι το σημείο τομής με τον ουράνιο θόλο μιας καθέτου στο σημείο του παρατηρητή. Το σημείο που βρίσκεται σε διαγώνια αντίθετη θέση από το ζενιθιακό σημείο ονομάζεται **ναδίρ**. Ο ορίζοντας του παρατηρητή είναι ο βασικός κύκλος στον ουράνιο θόλο, το επίπεδο του οποίου διέρχεται από το κέντρο της Γης και είναι κάθετο στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της Γης με το ζενίθ. **Γωνία ζενίθ θ_z** . Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του Ήλιου, (Σχ 2.4.3) και λαμβάνει τιμές στην περιοχή $0^\circ \leq \theta_z \leq 90^\circ$.

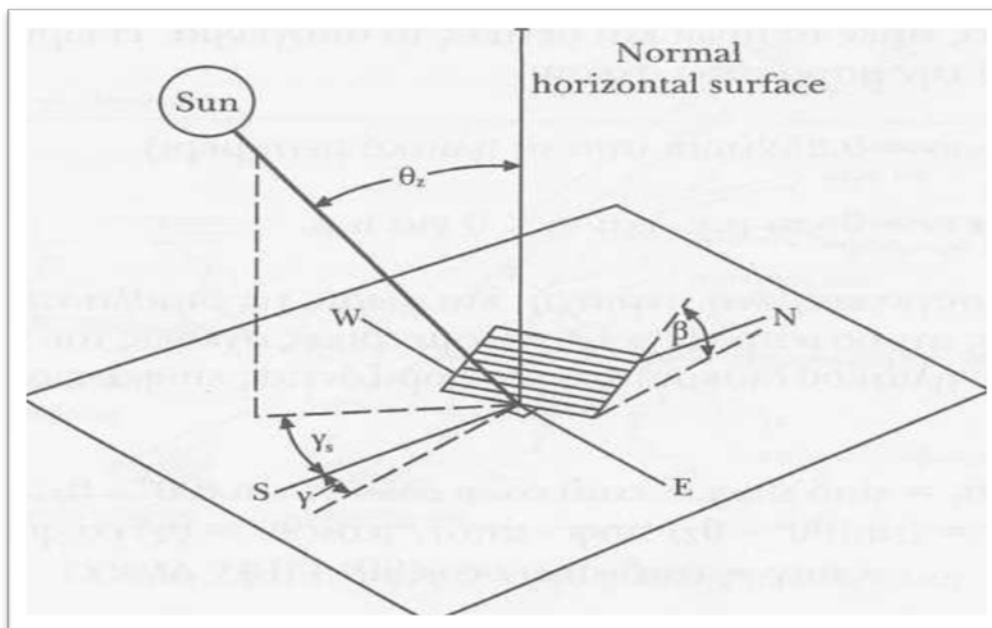
[5]

2.4.3) Ηλιακό ύψος $90^\circ - \theta_z$.

Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του Ήλιου και την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο. (Σχ 2.3.3)



Σχήμα 2.4.2. Χαρακτηριστικές γωνίες [5]



Σχήμα 2.4.3. Γωνία ζενίθ θ_z , ηλιακό ύψος $90^\circ - \theta_z$, αζιμούθιο επιφάνειας γ , αζιμούθιο ήλιου γ_s και κλίση επιπέδου β [5]

2.4.4) Αζιμούθιο επιφάνειας γ.

Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτους στην επιφάνεια, πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση (Σχήμα 2.4.3). η γωνία γ παίρνει τιμές εντός της περιοχής $0^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$, με $\gamma = 0^\circ$ στο νότο, $\gamma = -90^\circ$ στη δύση, $\gamma = 180^\circ$ στο βορρά και $\gamma = 90^\circ$ στην ανατολή.

Αζιμούθιο ηλίου γs.

Είναι η γωνία της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης (σχήμα 2.4.3)

2.4.5) Κλίση επιπέδου β.

Είναι η γωνία που σχηματίζει μία επίπεδη επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο (σχήμα 2.4.3). Η γωνία β παίρνει τιμές στην περιοχή $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$. Για το οριζόντιο επίπεδο είναι $\beta = 0^\circ$, για το κατακόρυφο $\beta = 90^\circ$. Για $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο βλέπει προς τα κάτω.

Ωριαία γωνία ω.

είναι η γωνία που μετράται στους πόλους του θόλου μεταξύ μεσημβρινού παρατηρητή και ηλιακού μεσημβρινού, δηλαδή η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονα της με ρυθμό $15^\circ / h = 0.25^\circ / \text{min}$. Μετρώντας από τη μεσημβρία, η ωριαία γωνία αλλάζει κατά $15^\circ/h$, με αρνητικές τιμές το πρωί και θετικές το απόγευμα. Η ωριαία γωνία δίνεται από την παρακάτω σχέση: $\omega = 0,25 \times (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι})$. λαμβάνεται $\omega > 0$ για μ.μ. και $\omega < 0$ για π.μ. για μία συγκεκριμένη περιοχή, και χωρίς τις διαθλαστικές παρενέργειες της ατμόσφαιρας, οι τριγωνομετρικές σχέσεις του ήλιου (του κέντρου του ηλιακού δίσκου) και μιας οριζόντιας επιφάνειας δίνονται ως εξής:

$$\begin{aligned}\cos\theta_z &= \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\omega = \sin(90^\circ - \theta_z) \\ \cos\gamma &= (\sin(90^\circ - \theta_z) \sin\varphi - \sin\delta) / (\cos(90^\circ - \theta_z) \cos\varphi) \\ \sin\gamma &= \cos\delta \sin\omega / \cos(90^\circ - \theta_z)\end{aligned}$$

όπου φ: το γεωγραφικό πλάτος του παρατηρητή (βόρεια του ισημερινού θετικές τιμές).

[5]

2.4.6) Άμεση ακτινοβολία.

Είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη κατευθείαν από τον ήλιο χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα. Για τη μέτρηση της χρησιμοποιείται το πυρηλιόμετρο που μετρά την άμεση ακτινοβολία σε κάθετο επίπεδο στη διεύθυνση Γης - Ήλιου Η στιγμιαία τιμή (W/m^2) της άμεσης ακτινοβολίας που δέχεται το οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με **G_b**, ενώ, προκειμένου για κεκλιμένο επίπεδο, με **G_{bT}**. Για χρονική περίοδο μιας ώρας ή μιας ημέρας, εφόσον πλέον γίνεται αναφορά στην ωριαία ή ημερήσια ενέργεια που λαμβάνει το οριζόντιο επίπεδο, αντί του συμβόλου **G** χρησιμοποιείται το σύμβολο **I** και **H** αντίστοιχα, δηλαδή **I_b**, **I_{bT}**, **H_b**, **H_{bT}** (J/m^2).

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από:

- Την απόσταση ήλιου, γης

- Την απόκλιση του ήλιου
- Το ύψος του ήλιου
- Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου
- Το υψόμετρο του τόπου
- Την κλίση του εδάφους και
- Την απορρόφηση και διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα

Διάχυτη ακτινοβολία. Είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη ύστερα από διασκορπισμό και αλλαγή κατεύθυνσης κατά τη διαδρομή μέσα στην ατμόσφαιρα. Συμβολίζεται με ίδια γράμματα όπως και για την άμεση ακτινοβολία αλλά με δείκτη **d** αντί για **b** (G_d, T_d, I_d, T_{κλπ.}).

Η διάχυτη ακτινοβολία εξαρτάται από:

- Το ύψος του ήλιου
- Το υψόμετρο του τόπου
- Τη λευκαύγεια του εδάφους
- Το ποσό και το είδος των νεφών που αναπτύσσονται στην ατμόσφαιρα.

Ολική ακτινοβολία. Είναι το άθροισμα της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, συμπεριλαμβανομένης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας από παρακείμενες επιφάνειες. Συμβολισμός όπως και στην περίπτωση της άμεσης ή διάχυτης ακτινοβολίας αλλά χωρίς δείκτη **d** ή **b** δηλαδή **G** είναι η ολική ακτινοβολία του οριζόντιου επιπέδου. Ενώ **G_T** του κεκλιμένου.

Ακτινοβολία κάθετου επιπέδου ή κάθετη ακτινοβολία. Είναι η ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο κάθετο στις ηλιακές ακτίνες. Δηλώνεται θέτοντας το δείκτη **n**, πχ **G_{bn}** είναι η άμεση ακτινοβολία κάθετου επιπέδου και **G_{on}** είναι η ακτινοβολία κάθετου επιπέδου εκτός ατμόσφαιρας. Ο δείκτης **o** δηλώνει ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας.

[5]

2.4.7) Γωνία πρόσπτωσης.

Γωνία πρόσπτωσης **θ** της άμεσης ακτινοβολίας πάνω σε μία επιφάνεια είναι η γωνία μεταξύ των προσπίπτουσών ηλιακών ακτίνων και της καθέτου στην επιφάνεια. Η γωνία πρόσπτωσης **θ** υπολογίζεται: Επιφάνειες με τυχαίο προσανατολισμό:

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin\delta \sin\Phi \cos\beta - \sin\delta \cos\Phi \sin\beta \cos\gamma + \\ & + \cos\delta \cos\Phi \cos\beta \cos\omega + \\ & + \cos\delta \sin\Phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin\beta \sin\gamma \cos(90^\circ - \theta_z) \sin\gamma_s + \\ & + \sin\beta \cos\gamma \cos(90^\circ - \theta_z) \sin\gamma_s + \\ & + \cos\beta \sin(90^\circ - \theta_z) \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\cos\theta = \sin\beta \cos\theta_z + \sin\beta \cos(\gamma_s - \gamma) \sin\theta_z \quad (2.3)$$

Όπου Φ είναι το γεωγραφικό πλάτος ($-90^\circ \leq \Phi \leq 90^\circ$) του τόπου, λ.χ. για τη Αθήνα, $\Phi=37,97^\circ$. Για κατακόρυφες επιφάνειες στις οποίες η γωνία β είναι 90° η σχέση 2.1 γίνεται:

$$\cos\theta = -\sin\delta \cos\Phi \cos\gamma + \cos\delta \sin\Phi \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\gamma \sin\omega \quad (2.4)$$

Ενώ για οριζόντιες επιφάνειες που έχουν γωνία $\beta=0^\circ$, ταυτόχρονα η γωνία πρόσπτωσης ταυτίζεται με τη γωνία ζενίθ θ_z . Η εξίσωση 2.1 παίρνει τη μορφή:

$$\cos\theta_z = \sin\delta \sin\Phi + \cos\delta \cos\Phi \cos\omega \quad (2.5)$$

Για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο και είναι στραμμένες προς το νότο ($\gamma = 0^\circ$) ισχύει:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin(\Phi - \beta) + \cos\delta \cos(\Phi - \beta) \cos\omega \quad (2.6)$$

Η παραπάνω σχέση προκύπτει από την εξίσωση 2.3 θέτοντας $(\Phi - \beta)$ αντί Φ .

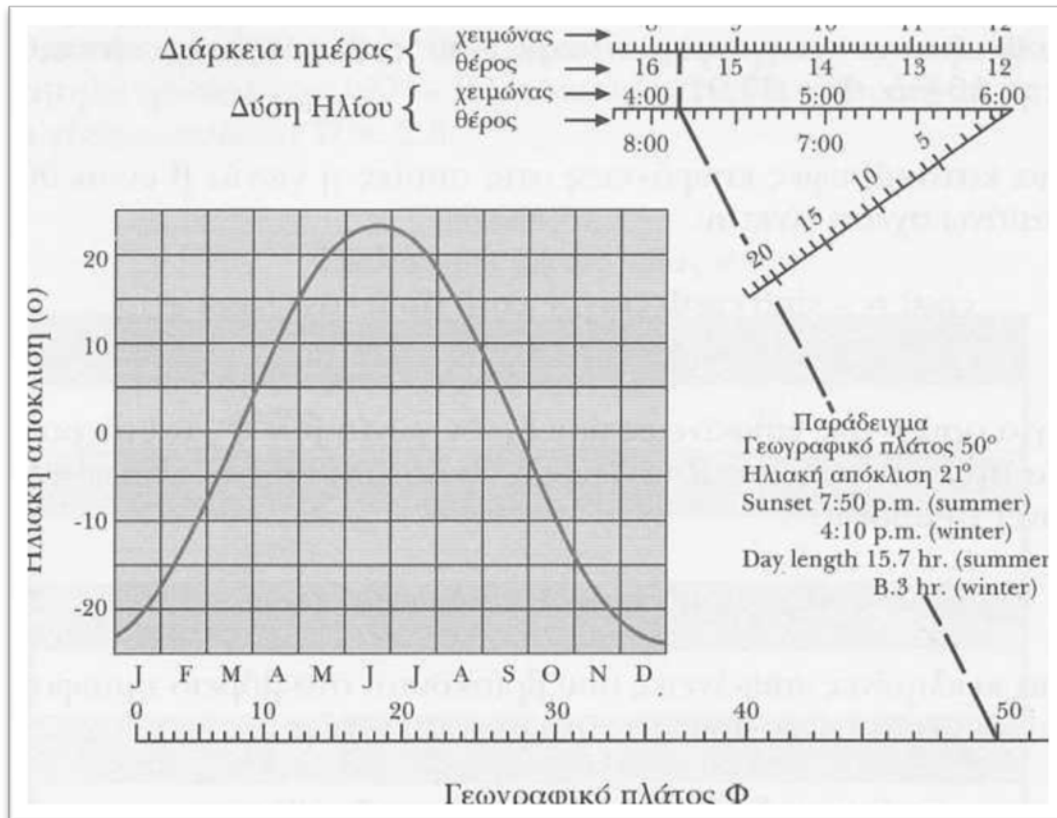
Κάθετες επιφάνειες με δυτικό προσανατολισμό:

$$\cos\theta = \cos\delta \sin\omega = \cos(90^\circ - \theta_z) \sin\gamma_s \quad (2.7)$$

Για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο νότιο ημισφαίριο και είναι στραμμένες προς το βορρά ($\gamma = 180^\circ$) και ισχύει η εξίσωση 2.6 με $(\Phi + \beta)$ αντί $(\Phi - \beta)$. Η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου ως υπολογίζεται από την εξίσωση 2.5 για $\theta_z = 90^\circ$, δηλαδή

$$\cos\omega_s = -\frac{\sin\Phi \sin\delta}{\cos\Phi \cos\delta} = -\tan\Phi \tan\delta \quad (2.8)$$

Παρακάτω δίνεται νομογράφημα προσδιορισμού του χρόνου δύσης του ηλίου και της διάρκειας της ημέρας με δεδομένα το γεωγραφικό πλάτος και την ηλιακή απόκλιση (διάγραμμα 2.4.7.1).



Διάγραμμα 2.4.7.1: Νομογράφημα προσδιορισμού χρόνου δύσης και διάρκειας ημέρας [5]

Γωνία πρόσπτωσης σε κινούμενα επίπεδα. Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες συχνάφέρουν μηχανισμό κίνησης με στόχο να παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου. Διακρίνονται δύο κατηγορίες κίνησης, κίνηση γύρω από τον ένα άξονα, με κατεύθυνση ανατολή – δύση, βορρά – νότο ή κίνηση παράλληλα προς τον άξονα της γης ή γύρω από δύο άξονες. Ο προσδιορισμός της γωνίας πρόσπτωσης για συνηθισμένες περιπτώσεις περιστροφής γίνεται από τις παρακάτω σχέσεις: Επίπεδο που στρέφεται γύρω από τον άξονα διεύθυνσης ανατολής – δύσης με μια μόνο ημερήσια ρύθμιση, ώστε οι ακτίνες να είναι κάθετες στο επίπεδο κάθε μεσημέρι:

$$\cos\theta = \sin^2\delta + \cos^2\delta \cos \omega$$

Επίπεδο που στρέφεται γύρω από τον άξονα διεύθυνσης ανατολής – δύσης με συνεχή ρύθμιση, ώστε να ελαχιστοποιείται η γωνία πρόσπτωσης

$$\cos\theta = (1 - \cos^2\delta \sin^2\omega)^{\circ}$$

Επίπεδο που στρέφεται γύρω από τον άξονα διεύθυνσης βορρά – νότου με συνεχή ρύθμιση, ώστε να ελαχιστοποιείται η γωνία πρόσπτωσης

$$\cos\theta = [(\sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos\omega)^2 + \cos^2\delta \sin^2\omega]$$

Επίπεδο που στρέφεται γύρω από τον άξονα παράλληλο στον άξονα της γης με συνεχή ρύθμιση

$$\cos\theta = \cos\delta$$

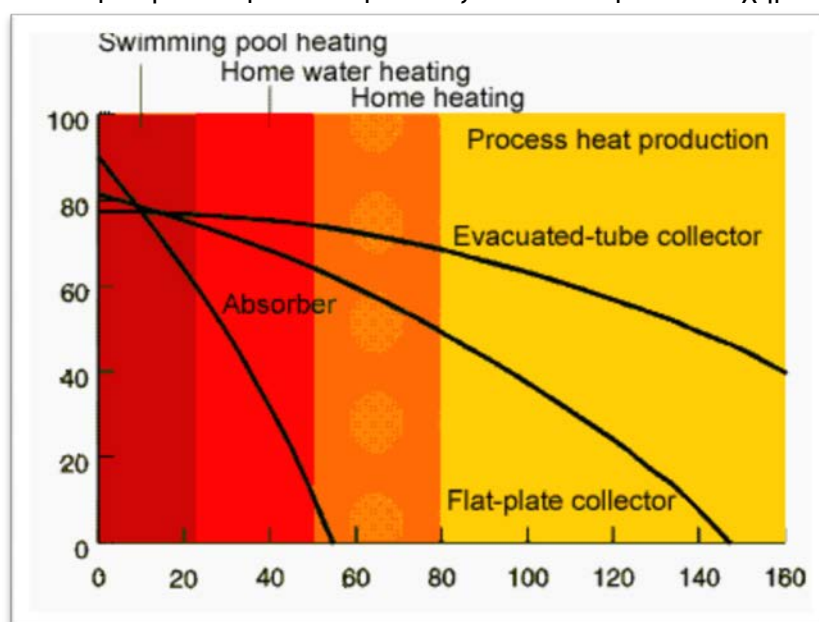
Επίπεδο που στρέφεται γύρω από δύο άξονες με συνεχή ρύθμιση ώστε να είναι συνεχώς κάθετο στις ακτίνες

$$\cos\theta = 1$$

[5]

2.5) ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ:

Οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν ως βασική λειτουργία να μεταφέρουν την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας σε κάποια πιο αξιοποιήσιμη η αποθηκεύσιμη μορφή. Ένα ποσοστό της θερμότητας χάνεται λόγω συναγωγής και ένα άλλο λόγω εκπομπής ακτινοβολίας του ίδιου του συλλέκτη. Οι ηλιακοί συλλέκτες αποδίδουν συναρτήσει της διαφοράς της μέσης θερμοκρασίας του θερμαινόμενου ρευστού μέσα στο συλλέκτη με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό καθορίζει όρια στην απόδοση ανάλογα με τη θερμοκρασία που θέλουμε να έχει το ρευστό στην έξοδό του, τα οποία είναι ανάλογα του είδους του συλλέκτη. Επίσης ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη μειώνεται για χαμηλότερες ακτινοβολίες. Η απόδοση των διαφορετικών συλλεκτών για δεδομένη ακτινοβολία παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.5.1: απόδοση συλλεκτών για διαφορετική ακτινοβολία [7]

Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

Απλοί επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

Είναι σχεδιασμένοι για να λειτουργούν ως μέλαν σώμα, ώστε να απορροφούν όσο περισσότερες ακτινοβολίες είναι δυνατόν και να ανακλούν λιγότερες. Αποτελούνται από μια σκούρα επιφάνεια απορρόφησης και μια σειρά από σωληνώσεις στις οποίες κυκλοφορεί ένα ψυκτικό μέσο που απάγει τη θερμότητα από τους συλλέκτες. Αποδίδουν ικανοποιητικά μόνο για μικρές διαφορές θερμοκρασιών (μέχρι περίπου $\Delta T = 20$) και χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση πισίνας. Η απόδοσή τους πρακτικά μηδενίζεται για $\Delta T = 50$.

Ηλιακοί συλλέκτες με γυάλινο κάλυμμα (glazing)

Η κατασκευή τους είναι όμοια με τους προηγούμενους αλλά καλύπτονται από γυαλί ώστε να περιορίζονται οι απώλειες συναγωγής. Επίσης το γυαλί αυτό λειτουργεί προστατευτικά και αυξάνει τη διάρκεια ζωής του συλλέκτη. Οι συλλέκτες αυτοί χρησιμοποιούνται ευρέως για ηλιακούς θερμοσίφωνες καθώς και για θέρμανση χώρων. Προορίζονται κυρίως για να αποδίδουν θερμοκρασιακές διαφορές ΔT μεταξύ 50 και 80. Η απόδοσή τους μηδενίζεται περίπου για $\Delta T = 150$.

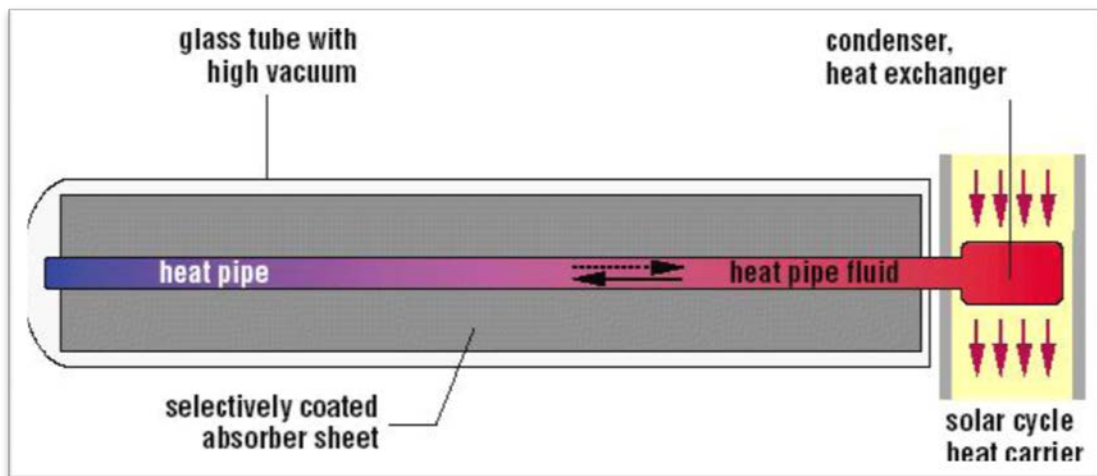
[7]



Σχήμα 2.5.2: Ηλιακός συλλέκτης με γυάλινο κάλυμμα [5]

Συλλέκτες κενού

Είναι μια πιο πρόσφατη τεχνολογία στους ηλιακούς συλλέκτες και είναι ικανή να αποδίδει μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές. Οι συλλέκτες κενού αποτελούνται από σειρές γυάλινων σωλήνων που περιέχουν μικρότερους χάλκινους. Μέσα στους χάλκινους σωλήνες υπάρχει ρευστό που θερμαίνεται και κυκλοφορεί μέσα στο σωλήνα λόγω συναγωγής, στην άκρη του οποίου πραγματοποιείται συναλλαγή θερμότητας με ένα άλλο ρευστό (νερό ή γλυκόλη). Ανάμεσα στους σωλήνες αυτούς υπάρχει κενό ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες από τη συναγωγή. Το κόστος τους είναι περίπου 20~40% μεγαλύτερο των επίπεδων panels (45). Έχουν χαρακτηριστικά πολύ μικρή μεταβολή της απόδοσής τους για τα διάφορα ΔT , και η απόδοσή τους είναι χαμηλότερη από αυτή των flat plate για χαμηλότερες θερμοκρασίες [7]

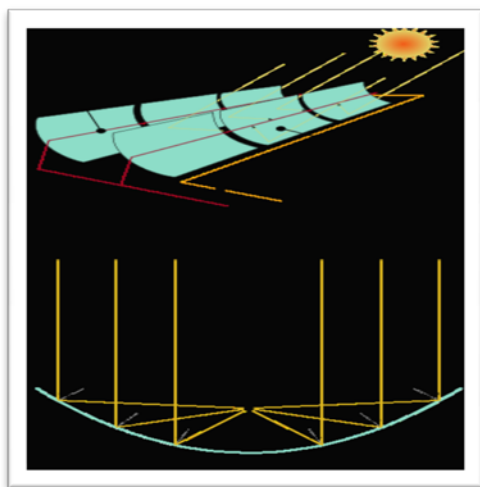


Σχήμα 2.5.3 [5]

Parabolic Trough

Χρησιμοποιούνται σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού με ηλιακή ενέργεια. Έχουν ανακλαστήρες με σχήμα ανοικτού σωλήνα που συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια σε ένα μονωμένο σωλήνα. Ελαχιστοποιεί τις απώλειες από ανάκλαση και μπορεί να παράξει πολύ μεγάλες θερμοκρασίες. Στα μειονεκτήματά του είναι ότι δε μπορεί να αποδίδει υπό συνθήκες διάχυτου φωτός (κατά τη νέφωση) και επιπλέον χρειάζεται σύστημα ηλιοστάτη (tracking) για να λειτουργήσει. Προφανώς το κόστος τους είναι πολύ μεγαλύτερο από των προηγούμενων κατηγοριών, προσθέτοντας σε αυτό και το κόστος του ηλιοστάτη. Επιπλέον για τις ανάγκες της θερμικής αφαλάτωσης δεν υπάρχει ανάγκη για θερμοκρασίες άνω των 110°C που είναι η μεγαλύτερη που αναφέρεται στη βιβλιογραφία.

[7]



Σχήμα 2.5.4: Parabolic through [7]

2.6) Προσανατολισμός και κλίση των ηλιακών συλλεκτών

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγικότητας των συλλεκτών, θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, εφόσον η πορεία του ήλιου αλλάζει τόσο με την ώρα της ημέρας όσο και με τη μέρα του έτους, εύλογα αντιλαμβάνεται κανείς πως για να απορροφήσει τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία θα πρέπει να είναι σε θέση να περιστρέφεται ώστε να μπορεί να ακολουθεί την τροχιά του ήλιου και να είναι συνεχώς κάθετο στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Στην πλειονότητα των ηλιοθερμικών συστημάτων επιλέγεται σταθερός προσανατολισμός των ηλιακών συλλεκτών, ώστε να επιτυγχάνεται μέση ετήσια γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας όσο το δυνατό πιο κοντά στις 90ο. Η επίτευξη αυτού του στόχου έγκειται στην σωστή επιλογή της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας του συλλέκτη. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες : την κλίση και την αζιμούθια γωνία. Η κλίση του συλλέκτη (β) είναι η δίεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από 0ο μέχρι 180ο. Για γωνίες $\beta > 90ο$ το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω (Σχήμα 2.6.1). Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη (γ) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο

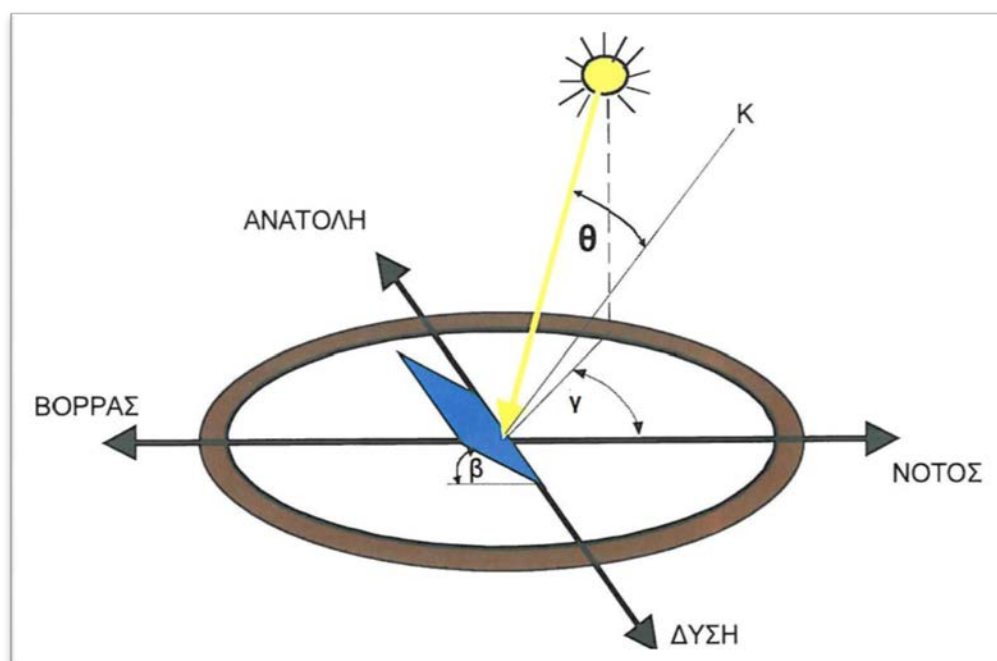
οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180ο μέχρι +180ο. Η γωνία -180ο (που συμπίπτει με την +180ο) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία -90ο προς την ανατολή, η γωνία 0ο προς το νότο και η γωνία +90ο προς τη δύση. Προφανώς, η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας, πάνω σε ένα επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς τη κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης (θ) είναι 0ο. Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έχουν κατασκευαστεί μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς τον συλλέκτη (π.χ. με τη βοήθεια υπολογιστή ή φωτοκύτταρων) ώστε η επιφάνεια του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η χρήση τους δικαιολογείται μόνον σε περιπτώσεις εφαρμογών όπως στα συστήματα συγκεντρωμένης ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα. Η κλίση του συλλέκτη (β), το αζιμούθιο του συλλέκτη (γ) και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στο συλλέκτη (θ) στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας, που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη σχέση :

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

Οι επίπεδοι συλλέκτες χρησιμοποιούν την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία και συνήθως τοποθετούνται υπό σταθερή κλίση και προσανατολισμό κατά τη διάρκεια του έτους. Η επιλογή του ευνοϊκού προσανατολισμού και της κλίσης του συλλέκτη είναι το σημαντικότερο μέτρο για τη βελτίωση του ηλιακού κέρδους. Η θέση του συλλέκτη (προσανατολισμός και κλίση) επηρεάζει την απόδοσή του κατά δύο τρόπους. Πρώτα επηρεάζει σημαντικά το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη. Ακόμα η θέση του συλλέκτη επηρεάζει τον συντελεστή διάβασης των διαφανών καλυμμάτων και το συντελεστή απορρόφησης του απορροφητήρα, αφού οι δύο συντελεστές είναι συναρτήσεις της γωνίας, που η

ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη. Γενικά η μεγαλύτερη ποσότητα της ηλιακής ενέργειας, λαμβάνεται σε μία Νότια προσανατολισμένη κλίση. Εάν η επιφάνεια του συλλέκτη δεν αντικρίζει ακριβώς το νότο, το ποσό της ωφέλιμης ενέργειας, μειώνεται ελαφρά σε μία γωνία 30ο ανατολικά, δυτικά ή νότια. Η κλίση για συστήματα που λειτουργούν όλο το χρόνο είναι 45ο ενώ αντίθετα για συστήματα που λειτουργούν καλοκαιρινούς μήνες π.χ ξενοδοχεία η κλίση λαμβάνεται μικρότερη περίπου 25ο. Έτσι είναι δυνατόν να αξιολογηθεί ορθά η εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων (π.χ. ηλιακοί συλλέκτες) ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοσή τους. Τέλος, η τοποθέτηση τους είναι πολύ σημαντική και συμβάλλει στην μεγιστοποίηση της απόδοσης του συλλέκτη. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται στο έδαφος, σε οριζόντιες στέγες (ταράτσες), σε κεκλιμένες στέγες, σε στέγαστρα και σε προσόψεις κτιρίων.

[8]



Σχήμα 2.6.1 Η κλίση του συλλέκτη (β), το αζιμούθιο του συλλέκτη (γ) και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στο συλλέκτη (θ) [8]

2.7) Συλλογή μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας

Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για τη διάρκεια του έτους, είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι 0ο (προς το νότο). Λόγων όμως της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή. Έτσι, αν επιδιώκεται να παράγει το σύστημα όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια στη διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του συλλέκτη επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου. Στο Σχήμα 3.3 δίνεται ένα παράδειγμα της βέλτιστης κλίσης για τον ηλιακό συλλέκτη στις χαρακτηριστικές ημερομηνίες του έτους. Συνοψίζοντας: 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 A) είναι νότιος ($A=0$), ενώ απόκλιση κατά 20° - 30° από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.

[8]

3.1) Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΜΕ ΜΕΓΑΛΑ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ

Η ηλιοθερμική παραγωγή ηλεκτρισμού δεν έχει αναπτυχθεί μέχρι σήμερα στη χώρα μας και περιλαμβάνει τη θέρμανση ενός υγρού σε υψηλές θερμοκρασίες με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας και παραβολικών κατόπτρων, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με ατμοστρόβιλους. Ήδη υπάρχει ενδιαφέρον για την κατασκευή τέτοιων σταθμών στην Κρήτη και πρόσφατα έγινε αποδεκτή από το Περιφερειακό Συμβούλιο Κρήτης η Μελέτη Περιβαλλοντικών Όρων ενός ηλιοθερμικού εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού ισχύος άνω των 30 MW στον Αθρινόλακκο Λασιθίου.



Εικόνα 3.1.1: Ηλιοθερμικό εργοστάσιο για παραγωγή ηλεκτρισμού [12]

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΣΤΟΥΣ ΑΓΡΟΥΣ

Τα τελευταία χρόνια έχουν κατασκευασθεί στην Κρήτη αρκετοί φωτοβολταϊκοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνήθως στους αγρούς, οι οποίοι πωλούν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο. Η ισχύς αιχμής των σταθμών αυτών είναι συνήθως 80 KWp και αναμένεται να κατασκευασθούν πολλοί περισσότεροι στο σύντομο μέλλον, αποτελώντας κατά κάποιο τρόπο ηλιακές φάρμες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 3.2.2:Φωτοβολταϊκά συστήματα σε αγρούς [13]

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ

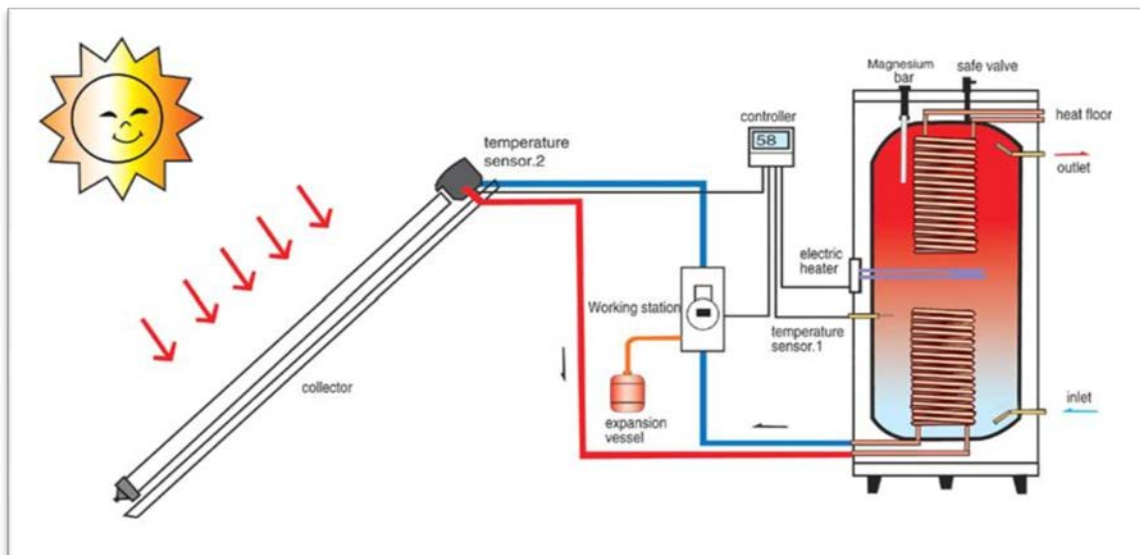
Μόλις πρόσφατα άρχισαν να κατασκευάζονται στην Κρήτη μικροί φωτοβολταϊκοί σταθμοί ισχύος αιχμής μέχρι 10 KWp σε στέγες και δώματα κατοικιών, ενώ αναμένεται να κατασκευασθούν πολλοί περισσότεροι στο μέλλον. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τους σταθμούς αυτούς διοχετεύεται στο δίκτυο. Παράλληλα έχουν κατασκευασθεί και διάφορες αυτόνομες ενεργειακές κατοικίες, οι οποίες παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν από τον ήλιο και τον αέρα.



Εικόνα 3.3.3:Φωτοβολταϊκά συστήματα σε κατοικίες [14]

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΗΛΙΟΘΕΡΜΑ

Η παραγωγή θερμού νερού χρήσης με ηλιακούς θερμοσίφωνες χρησιμοποιείται σήμερα ευρύτατα στην Κρήτη και τα περισσότερα σπίτια, αλλά και ξενοδοχεία στις αγροτικές περιοχές διαθέτουν ηλιόθερμα. Σε διάφορες άλλες εφαρμογές που απαιτείται θερμό νερό 50 – 60 οC μπορούν να χρησιμοποιηθούν τέτοια ηλιοθερμικά συστήματα.



Εικόνα 3.1.4: Ηλιακός θερμοσίφωνας [15]

ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

Τα θερμοκήπια αποτελούν γεωργικές κατασκευές οι οποίες αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια επιτυγχάνοντας ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη των φυτών. Αξίζει επιπλέον να αναφερθούν δύο εφαρμογές αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας στα θερμοκήπια:

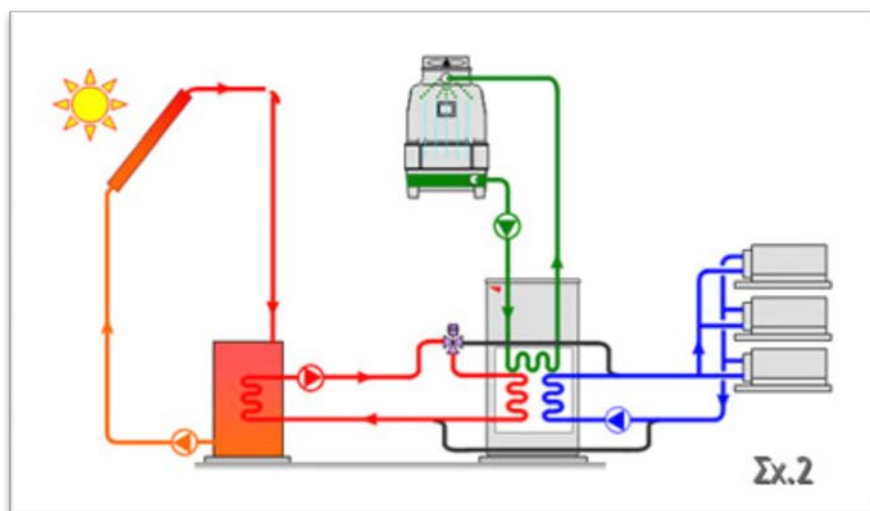
- α) Η δυνατότητα απολύμανσης του εδάφους του θερμοκηπίου με ηλιακή ενέργεια, κατά την οποία επιτυγχάνονται για κάποιο χρονικό διάστημα σχετικά υψηλές θερμοκρασίες στο έδαφος, εξοντώνοντας τους ανεπιθύμητους μικροοργανισμούς.
- β) Η παθητική θέρμανση του θερμοκηπίου με ηλιακή ενέργεια κατά την οποία τοποθετούνται πλαστικές σακούλες με νερό ανάμεσα στα φυτά του θερμοκηπίου επιτυγχάνοντας μικρή ανύψωση της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο.



Εικόνα 3.1.5: θερμοκήπιο [16]

ΗΛΙΑΚΗ ΨΥΞΗ

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για ψύξη χώρου ή νερού επιτυγχάνεται με συστήματα ψύξης με απορρόφηση και μέχρι σήμερα έχουν κατασκευασθεί μόνο σχετικά μεγάλα τέτοια συστήματα. Στην Κρήτη έχουν εγκατασταθεί σήμερα δύο τέτοια συστήματα σε ξενοδοχεία. Η επιτυχής και οικονομική κατασκευή τέτοιων συστημάτων σε οικιακή κλίμακα θα έχει πολλές εφαρμογές στο μέλλον στην Κρήτη καθώς η ψύξη των κτιρίων χρειάζεται τις θερμές ημέρες του καλοκαιριού που παρατηρείται συνήθως έντονη ηλιοφάνεια.



Εικόνα 3.1.6 :Ηλιακή Ψύξη [17]

ΗΛΙΑΚΟ ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ

Οι κλιματολογικές συνθήκες της Κρήτης επιτρέπουν το μαγείρεμα διαφόρων φαγητών κατά την καλοκαιρινή περίοδο με απλό και οικονομικό τρόπο, όπως έχουν δείξει διάφορες πρόσφατες εφαρμογές. Όπως προαναφέρθηκε η ηλιακή ενέργεια βρίσκεται σήμερα και θα βρει στο μέλλον περισσότερες εφαρμογές στην Κρήτη για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας υποκαθιστώντας τα ορυκτά καύσιμα. Η πολιτεία γνωρίζοντας τα πολλαπλά οφέλη από τη χρήση της ηλιακής ενέργειας στα πλαίσια της πράσινης ανάπτυξης προωθεί με διάφορα θεσμικά και οικονομικά κυρίως κίνητρα τη μεγαλύτερη κατά το δυνατόν εφαρμογή της στον αγροτικό χώρο της Κρήτης. Τα κίνητρα που προσφέρει είναι τριών ειδών και συγκεκριμένα: Α) Άμεσες επιχορηγήσεις σε επενδύσεις αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού, θερμότητας ψύξης. Β) Έμμεσες χρηματικές επιχορηγήσεις για τη παραγωγή ηλεκτρισμού και πώλησης της ενέργειας στο δίκτυο (Feed – in tariffs), π.χ. αγορά της διοχετευόμενης ΚWh στο δίκτυο από φωτοβολταϊκά στις στέγες στη προνομιακή τιμή των 0,55ευρώ/ΚWh. Γ) Επιχορήγηση για την έρευνα και την ανάπτυξη νέων συστημάτων και εφαρμογών της ηλιακής ενέργειας. Είναι φανερό, λοιπόν, ότι τα επόμενα χρόνια στον αγροτικό χώρο της Κρήτης θα υπάρξει πληθώρα εφαρμογών αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας για τη παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρισμού η ψύξης, πολύ περισσότερων από αυτές που υπήρχαν στα τέλη του 20ού αιώνα.

[9]

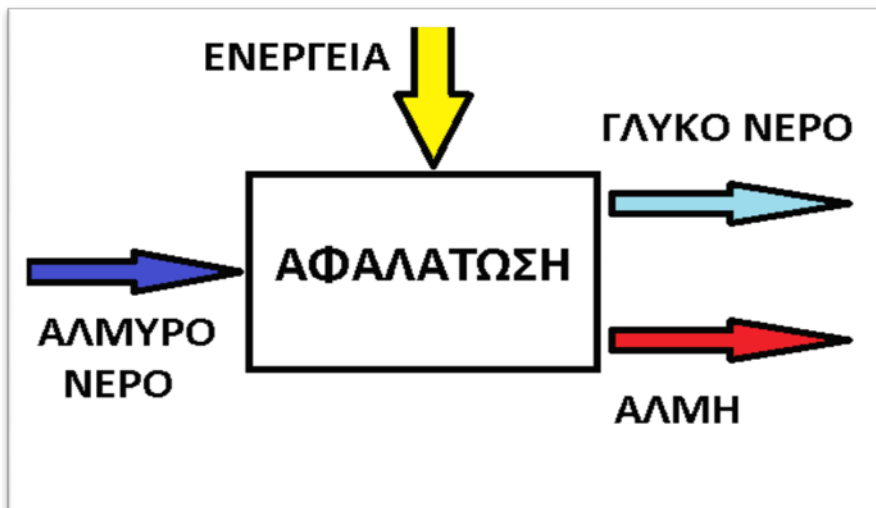


Εικόνα 3.1.7: Ηλιακός φούρνος χωρίς ρεύμα [18]

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η λύση που φαίνεται να είναι οικονομικά και τεχνικά εφικτή στο πρόβλημα της λειψυδρίας είναι να παραχθεί πόσιμο νερό από αλμυρό με τη μέθοδο της αφαλάτωσης. Χρησιμοποιούνταν ήδη από τους αρχαίους Έλληνες ναυτικούς, αλλά άρχισε να αναπτύσσεται σαν τεχνολογία μεγαλύτερης κλίμακας από το 19ο αιώνα.

Το σημαντικότερο πρόβλημα της αφαλάτωσης είναι οι μεγάλες απαιτήσεις σε ενέργεια. Ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις σε θερμική ενέργεια έχουν αντίστοιχα οι θερμικές μέθοδοι. Επιδιώκοντας να εξασφαλιστεί η αυτονομία των νησιών σε πόσιμο νερό η αφαλάτωση αυξάνει την εξάρτησή τους σε πετρέλαιο, καθότι τόσο η ηλεκτροπαραγωγή (που απαιτείται για κάθε μέθοδο αφαλάτωσης υπολογίσιμης κλίμακας) όσο και η παραγωγή θερμότητας που απαιτείται για τις θερμικές μεθόδους χρησιμοποιούν το πετρέλαιο ως πηγή ενέργειας. Το πρόβλημα αυτό είναι αντίστοιχο και στις άλλες περιοχές του κόσμου αλλά είναι πιο έντονο στα νησιά που είναι πιο δαπανηρή η μεταφορά του. Η αιτία του προβλήματος έγκειται στο ότι τα νησιά δεν έχουν ενεργειακή αυτονομία, και καλύπτουν τις ανάγκες τους σε ηλεκτρισμό από μικρής ισχύος ντιζελογεννήτριες, πράγμα επίσης πολύ δαπανηρό. Το κοινό χαρακτηριστικό όμως που έχουν οι περισσότερες περιοχές που αντιμετωπίζουν έλλειψη νερού είναι το εξαιρετικό δυναμικό τους για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Ιδιαίτερα στα νησιά αυτό πλαισιώνεται από ένα εξαιρετικό αιολικό δυναμικό σε πολλές περιπτώσεις. Η αξιοποίηση αυτών των δυνατοτήτων θεωρείται ότι θα μπορούσε να εξασφαλίσει μια βιώσιμη λύση τόσο στο πρόβλημα της ενέργειας όσο σε αυτό του νερού. Μια άλλη λύση που επίσης εξετάζεται είναι η συμπαραγωγή νερού και ενέργειας, αξιοποιώντας το waste heat των εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας για θερμική αφαλάτωση [10]



Εικόνα 3.1.8:Αφαλάτωση του νερού [10]

3.2) ΞΗΡΑΝΣΗ:

ΦΥΣΙΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ:

Η φυσική ηλιακή ξήρανση είναι μέχρι και σήμερα έναν διαδεδομένος τρόπος για τη συντήρηση των τροφίμων ειδικά σε μέρη του αναπτυσσόμενου κόσμου όπου δεν υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής κανονικών ξηραντηρίων.

3.2.1) Ξήρανση συνήθων γεωργικών προϊόντων

Στην Ελλάδα η ξήρανση των γεωργικών προϊόντων πραγματοποιείται κυρίως σε φρούτα. Τα φρούτα που ξηραίνονται κατά κόρον είναι οι σταφίδες και τα σύκα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται στοιχεία γύρω από την ξήρανση των προϊόντων αυτών καθώς και οι συνήθειες μέθοδοι ξήρανσής τους.



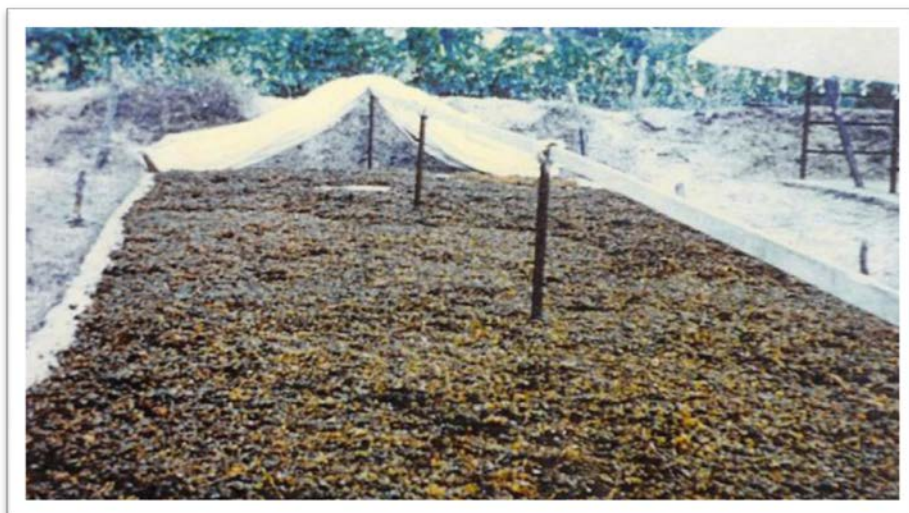
Εικόνα 3.2.1:Αποξηραμένα φρούτα [19]

Ξήρανση Σταφίδας

Μέθοδοι ξήρανσης

Οι συνηθέστερες μέθοδοι ξήρανσης της σταφίδας είναι :

-Ξήρανση με άμεση ηλιακή ακτινοβολία με χρήση φαινομένου θερμοκηπίου.



Εικόνα 3.2.2 – Ξήρανση με άμεση ηλιακή ακτινοβολία, με χρήση πλαστικού σταφιδόπανου, μαύρης Κορινθιακής σταφίδας.
Πηγή: Belessiotis and Delyannis, 2011 [\[10\]](#)



Εικόνα 3.2.3 – Ξήρανση σταφίδας με άμεση έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.
Πηγή: Belessiotis and Delyannis, 2011 [\[10\]](#)

-Ξήρανση σε σκιερό μέρος.



Εικόνα 3.2.4.– Ξήρανση σταφίδας υπό σκιά. Πηγή: Belessiotis and Delyannis, 2011 [\[10\]](#)

-Ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα σε βιομηχανική κλίμακα.

Η ξήρανση με άμεση ηλιακή ακτινοβολία με χρήση φαινομένου θερμοκηπίου έγκειται στο κάλυμμα της απλωμένης σταφίδας με πλαστικά σταφιδόπανα. Όμως αν παρατηρήσουμε την περίοδο κατά την οποία γίνεται ο τρύγος και η ξήρανση της σταφίδας καταλήγουμε στο συμπέρασμα (Σταματόπουλος, 2006) ότι η χρήση του σταφιδόπανου έχει ως βασικό στόχο την προστασία από ξαφνική βροχή και όχι την επίτευξη πιο αποτελεσματικής ή γρηγορότερης ξήρανσης. Και αυτό γιατί, όταν οι καιρικές συνθήκες το επιτρέπουν, οι παραγωγοί, δεν χρησιμοποιούν σταφιδόπανα, επιλέγοντας έτσι την άμεση ηλιακή ξήρανση, έναντι της άμεσης με φαινόμενο θερμοκηπίου. Εξαιτίας των ειδικών χαρακτήρων που εμφανίζει η κάθε ποικιλία σταφίδας και του καθοριστικού ρόλου που παίζει στην ποιότητά της η μέθοδος ξήρανσης, αποφεύγεται η ξήρανσή της με άμεση έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Σχετικές εργασίες (Σταυρακάκης, 1986) έδειξαν ότι σταφίδες που παράγονται με έκθεση στον ήλιο, είναι ποιοτικά κατώτερες των αποξηραμένων με άλλες μεθόδους. Καθώς λοιπόν η σταφίδα είναι ένα σημαντικό εγχώριο αλλά και εξαγωγίμο προϊόν κρίνεται αναγκαία η ξήρανση της σε όσο το δυνατόν ελεγχόμενες συνθήκες τόσο σε βιομηχανική κλίμακα, αλλά και στο πλαίσιο μικρής ή μεσαίας παραγωγής μέσω ηλιακών ή άλλων ξηραντηρίων.

Ξήρανση σύκων

Σύμφωνα με την Διεθνή Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO), η Ελλάδα είναι η τέταρτη μεγαλύτερη παραγωγός χώρα σύκων παγκοσμίως. Η παραγωγή τους οργανώνεται γύρω από συνεταιρισμούς στους οποίους ανήκουν οι παραγωγοί. Οι συνεταιρισμοί αυτοί είναι υπεύθυνοι για την συσκευασία και την εμπορία του τελικού αποξηραμένου από τους παραγωγούς προϊόντος. Η ξήρανση των

σύκων όπως και των σταφίδων γίνεται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία στις λεγόμενες λιάστρες αφού πρώτα έχουν υποστεί λεύκανση και παραμένουν εκεί 9 – 12 ημέρες ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες μέχρι να ξεραθούν πάρα πολύ καλά. Το βράδυ πρέπει τα σύκα να σκεπάζονται γιατί υπάρχουν έντομα που προσβάλλουν τον αποξηραμένο καρπό και προκαλούν σοβαρές ζημιές (Αγροτικός Συνεταιρισμός Ταξιάρχη, 2008).

Ξήρανση σπόρων

Μία άλλη κατηγορία προϊόντων ξήρανσης που εμφανίζουν ευαισθησία στην ξήρανσή τους είναι οι σπόροι. Οι σπόροι πρέπει να ξηραίνονται σχετικά γρήγορα μετά τον καθαρισμό τους. Αργός ρυθμός ξήρανσης μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό μούχλας ή ακόμα και σε πρόωρη εμφάνιση βλαστού. Στην περίπτωση της άμεσης ξήρανσης με ηλιακή ακτινοβολία η θερμοκρασία δεν πρέπει να ξεπερνά τους 35 οC πόσο μάλλον και στην περίπτωση σπόρων σκούρου χρώματος οι οποίοι είναι ιδιαίτερα ευπαθείς σε αυτόν τον τρόπο ξήρανσης. Αντιθέτως συνίσταται η ξήρανσή τους σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον όπως και στην περίπτωση των αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών (McCormack, 2004).

Ηλιακή ξήρανση

Η ηλιακή ξήρανση χρησιμοποιείται για μικρές και μεσαίες ποσότητες σοδειάς. Ο τρόπος ξήρανσης είναι συνήθως άμεσος δηλαδή με άμεση έκθεση του προϊόντος στην ηλιακή ακτινοβολία. Η παραδοσιακή αυτή μέθοδος ξήρανσης έχει αρκετά μειονεκτήματα εξ αιτίας της αδυναμίας της να πετύχει τα υψηλά πρότυπα ποιότητας που διέπουν κυρίως τα φαρμακευτικά φυτά. Εκτεταμένη ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί δυσμενή αποτελέσματα στην ποιότητα και οδηγεί σε απώλειες αιθέριων ελαίων αλλά και σε αλλαγές χρώματος στα υπό ξήρανση φυτά (Rocha et al., 2011). Συνεπώς παρά την απλότητα της διαδικασίας αυτής και του μηδενικού κόστους ξήρανσης, βλέποντας τις ευαισθησίες που έχουν τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά συμπεραίνουμε πως χρειαζόμαστε μία μέθοδο ξήρανσης με όσο το δυνατόν ελεγχόμενες συνθήκες ξήρανσης.

[10]

3.3 Ηλιακά ξηραντήρια

Τα ηλιακά ξηραντήρια χρησιμοποιούνται ευρέως σε περιοχές με έντονη ηλιοφάνεια. Είναι ξηραντήρια μικρής δυναμικότητας, που θερμαίνονται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία ή έμμεσα από ηλιακούς συλλέκτες. Ανάλογα με την κυκλοφορία του αέρα εντός του ξηραντηρίου διακρίνονται σε ηλιακά ξηραντήρια φυσικής και εξαναγκασμένης κυκλοφορίας. Τα ηλιακά ξηραντήρια δεν εμφανίζουν κάποια τυποποίηση στην κατασκευή τους καθώς είναι εγκαταστάσεις που σχεδιάζονται και συναρμολογούνται εμπειρικά με στόχο την βελτίωση του τελικού προϊόντος και την μείωση του χρόνου ξήρανσης σε μικρές και μεσαίες παραγωγές (Μπελεσιώτης και Δεληγιάννη, 2009).

[10]

Τύποι ηλιακών ξηραντηρίων

Φυσικά ηλιακά ξηραντήρια

Στα ξηραντήρια αυτά χρησιμοποιείται η ηλιακή ακτινοβολία απευθείας. Τα γεωργικά προϊόντα τοποθετούνται πάνω σε δίσκους ή ψάθες ή σε αβαθείς άβακες που

τοποθετούνται ακόμη και πάνω στο έδαφος. Τα προϊόντα τοποθετούνται προσανατολισμένα στους επικρατούντες ανέμους. Τα φυσικά ηλιακά ξηραντήρια είναι απλές και πολύ οικονομικές κατασκευές, προϋποθέτουν όμως ανθρώπινη επίβλεψη έτσι ώστε να προστατεύονται σε περίπτωση βροχής, καθώς επίσης και συχνή μάλαξη για την αποφυγή υπερθέρμανσης των απευθείας εκτεθειμένων στον ήλιο επιφανειών.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των φυσικών ηλιακών ξηραντηρίων είναι τα ακόλουθα:

- Σημαντικές απώλειες των προϊόντων που δεν ξηραίνονται ικανοποιητικά ή καταστρέφονται κατά τις μετακινήσεις. Για παράδειγμα, κατά την ξήρανση των φαριών στην άμμο, οι απώλειες μπορεί να φτάσουν μέχρι και 50 %.
- Καταστροφή των βιταμινών (κυρίως Α και C) εξαιτίας της απευθείας έκθεσης των προϊόντων στον ήλιο.
- Ποιοτική υποβάθμιση των υπό ξήρανση γεωργικών προϊόντων λόγω διαφόρων επιδράσεων όπως της κακοκαιρίας, των εντόμων, της σκόνης, κλπ

Άμεσα ηλιακά ξηραντήρια

Στην περίπτωση αυτή τα γεωργικά προϊόντα εκτίθενται απευθείας στον ήλιο αφού τοποθετηθούν πρώτα μέσα στα ξηραντήρια. Τα ξηραντήρια είναι απλές γεωργικές κατασκευές, που αποτελούνται από ένα τζαμωτό πλαίσιο, κάτω από το οποίο τοποθετούνται, επάνω σε δίσκους, τα υπό ξήρανση προϊόντα. Η κυκλοφορία του αέρα γίνεται κατά μήκος του ξηραντηρίου με φυσικό αερισμό (φαινόμενο της καμινάδας) ή πολύ σπάνια με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα. Ο τύπος αυτός ξηραντηρίου έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Τα προς ξήρανση προϊόντα προστατεύονται καλύτερα από τις διάφορες εξωτερικές επιδράσεις όπως η κακοκαιρία, τα έντομα κλπ.
- Η θερμοκρασία μέσα σε αυτό το ξηραντήριο είναι αρκετά υψηλότερη λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου κι έτσι ελαττώνεται σημαντικά ο χρόνος ξήρανσης των προϊόντων.

Παράλληλα τα σημαντικότερα μειονεκτήματά του είναι:

- Η καταστροφή ορισμένων βιταμινών λόγω της υπερβολικά υψηλής θερμοκρασίας.
- Ο κίνδυνος φωτοξείδωσης των προϊόντων εξαιτίας της μετάδοσης της υπεριώδους ακτινοβολίας από το σκέπασμα του ξηραντηρίου.
- Ο κίνδυνος να ξεπεράσει η θερμοκρασία τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή, για τη σωστή ξήρανση των προϊόντων.

Ένα άμεσο ηλιακό ξηραντήριο είναι και το ονομαζόμενο κιβώτιο ξήρανσης. Τα κιβώτια ξήρανσης είναι μικρές μονάδες που μεταφέρονται συχνά σαν οικιακές μονάδες για τη διατήρηση των προϊόντων αγροτικών οικογενειών. Στα ξηραντήρια αυτά παρατηρούνται πολύ συχνά υπερθερμάνσεις λόγω του μικρού τους όγκου. Ένας άλλος τύπος άμεσου ηλιακού ξηραντηρίου, μεγαλύτερης όμως κλίμακας, είναι τα ξηραντήρια θερμοκηπίου. Τα ξηραντήρια αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως για την ξήρανση μεγάλων ποσοτήτων νωπών προϊόντων

Μικτά ηλιακά ξηραντήρια

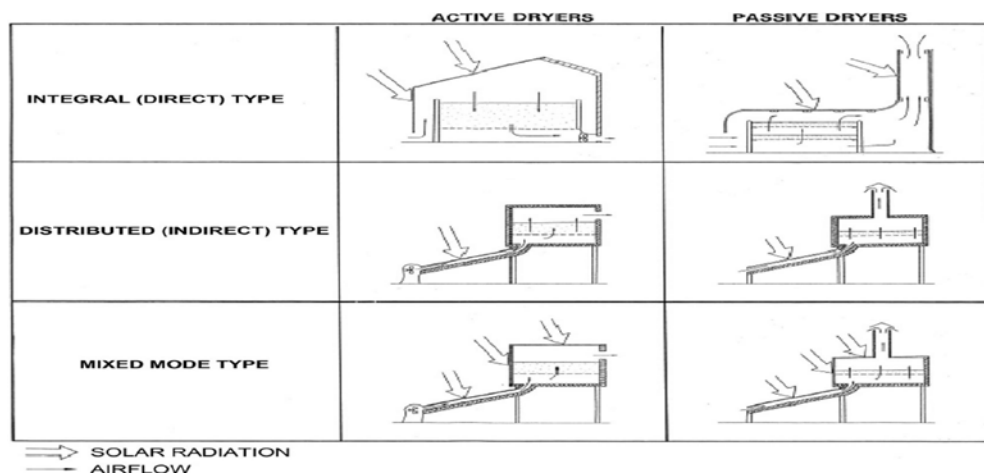
Στα ξηραντήρια αυτά η ενέργεια που είναι απαραίτητη για την ξήρανση αποδίδεται με έναν τρόπο που συνδυάζει την έκθεση των προϊόντων απευθείας στην ηλιακή ακτινοβολία και την προθέρμανση του αέρα που εισέρχεται στο ξηραντήριο από τους συλλέκτες.

Έμμεσα ηλιακά ξηραντήρια

Στα ξηραντήρια αυτά, τα προς ξήρανση προϊόντα δεν εκτίθενται απευθείας στην ηλιακή ακτινοβολία, αλλά τοποθετούνται σε δίσκους στο εσωτερικό ενός κατάλληλου χώρου. Ο αέρας εισέρχεται στο χώρο με τα προς ξήρανση προϊόντα, αφού προηγουμένως περάσει από συλλέκτες αέρα ή άλλους προθερμαντήρες που το θερμαίνουν σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο χώρο. Η μεταφορά του αέρα γίνεται με φυσικό ελκυσμό χρησιμοποιώντας μια ηλιακή καπνοδόχο ή με μηχανικά μέσα. Ο τύπος αυτός ηλιακών ξηραντηρίων είναι περισσότερο δαπανηρός και συχνά περισσότερο περίπλοκος στην κατασκευή από τα άμεσα ξηραντήρια. Τα ξηραντήρια αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για προϊόντα περισσότερο ευαίσθητα στην ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία των οποίων θα πρέπει να ελέγχεται (θέρμανση για ξήρανση προϊόντων που προορίζονται για σπόρους αναπαραγωγής καθώς και για την ξήρανση προϊόντων με χαμηλή μέγιστη θερμοκρασία). Επίσης, τα έμμεσα ηλιακά ξηραντήρια χρησιμοποιούνται και για την ξήρανση τροφίμων. Η διάρκεια της ξήρανσης είναι μεταβλητή και στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι μεγαλύτερη από εκείνη της άμεσης ξήρανσης.



Εικόνα 3.3.1: Ηλιακό παθητικό ξηραντήριο έμμεσου τύπου [20]



Εικόνα 3.3.2 - Τύποι ηλιακών ξηραντηρίων Πηγή: Daguinet, 1985 [10]

Υβριδικά ξηραντήρια

Η επαρκής θέρμανση του αέρα στα ξηραντήρια αυτά επιτυγχάνεται με τη χρήση εκτός της ηλιακής ενέργειας και μιας συμπληρωματικής ενέργειας (πετρέλαιο, ηλεκτρισμός, ξύλα, κλπ). Τις περισσότερες φορές η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του αέρα που εισέρχεται στο ξηραντήριο. Τα υβριδικά ξηραντήρια είναι περισσότερο δαπανηρά και χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας ή σε εμπορικές εφαρμογές.

Ένας άλλος διαχωρισμός των ξηραντηρίων που βασίζεται αφενός στη χρησιμοποιούμενη τεχνική ξήρανσης και αφετέρου στον τρόπο θέρμανσης του αέρα που εισέρχεται, είναι ο ακόλουθος:

Ξηραντήρια τύπου θερμοκηπίου

Στα ξηραντήρια αυτά η δέσμευση της ηλιακής ενέργειας επιτυγχάνεται μέσα στο χώρο του ξηραντηρίου και ο αέρας αποτελεί το μοναδικό μέσο μετάδοσης της θερμότητας. Τα ξηραντήρια αυτά είναι απλές κατασκευές με οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή και προσανατολισμό από ανατολή προς δύση. Η είσοδος τοποθετείται συνήθως στο βορρά και μονώνεται θερμικά. Οι νότιες επιφάνειες καλύπτονται από ένα διαφανές υλικό (γυαλί ή πλαστικό). Το εσωτερικό της κατασκευής βάφεται μαύρο, ενώ η κυκλοφορία στο εσωτερικό του ξηραντηρίου επιτυγχάνεται με ηλεκτρικούς ανεμιστήρες μικρής ισχύος, κατάλληλα τοποθετημένους στις ανατολικές και δυτικές πλευρές της κατασκευής.

Ξηραντήρια με ηλιακό συλλέκτη

Ο ηλιακός συλλέκτης χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του αέρα του ξηραντηρίου και είναι τοποθετημένος έξω από το χώρο ξήρανσης. Το υλικό που χρησιμοποιείται για τη συλλογή και τη μετάδοση της ηλιακής ενέργειας είναι ένα ρευστό (νερό ή αέρας). Η θερμότητα που δεσμεύεται από το συλλέκτη μεταδίδεται στο χώρο του ξηραντηρίου με κυκλοφορητή νερού ή αέρα. Σε ορισμένα ξηραντήρια η θερμότητα αποθηκεύεται σε δεξαμενές με νερό. Τα ξηραντήρια αυτά είναι περισσότερο δαπανηρά και περίπλοκα.

[11]

Από όλες τις παραπάνω εφαρμογές έχει καταστεί σαφές ότι προκειμένου να επωφεληθούμε όσο το δυνατόν περισσότερο, μας ενδιαφέρει να επιτυγχάνουμε μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ρυθμίζοντας κατάλληλα την κλίση των ηλιακών συλλεκτων, αντικείμενο που μελετάται στο δεύτερο μέρος της εργασίας αυτής.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

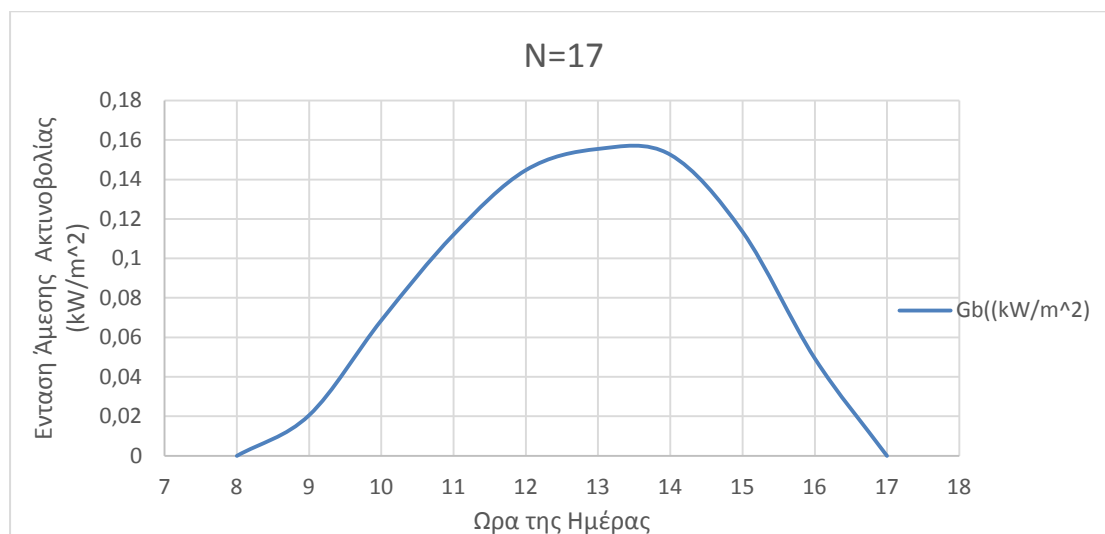
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι πίνακες και τα αντίστοιχα διαγράμματα που αφορούν τη μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Για τον υπολογισμό τους έχουν προφανώς χρησιμοποιηθεί μόνο οι ώρες κατά τις οποίες υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή από τις 7:00 π.μ. έως τις 18:00 μ.μ. Ακόμη, οι διάφορες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας

έχουν μετρηθεί για τη μέση ημέρα κάθε μήνα και για γεωγραφικό πλάτος $\phi=38$, ενώ ως προσανατολισμό συλλέκτη έχουμε πάρει το νότιο, $\gamma=0^\circ$.

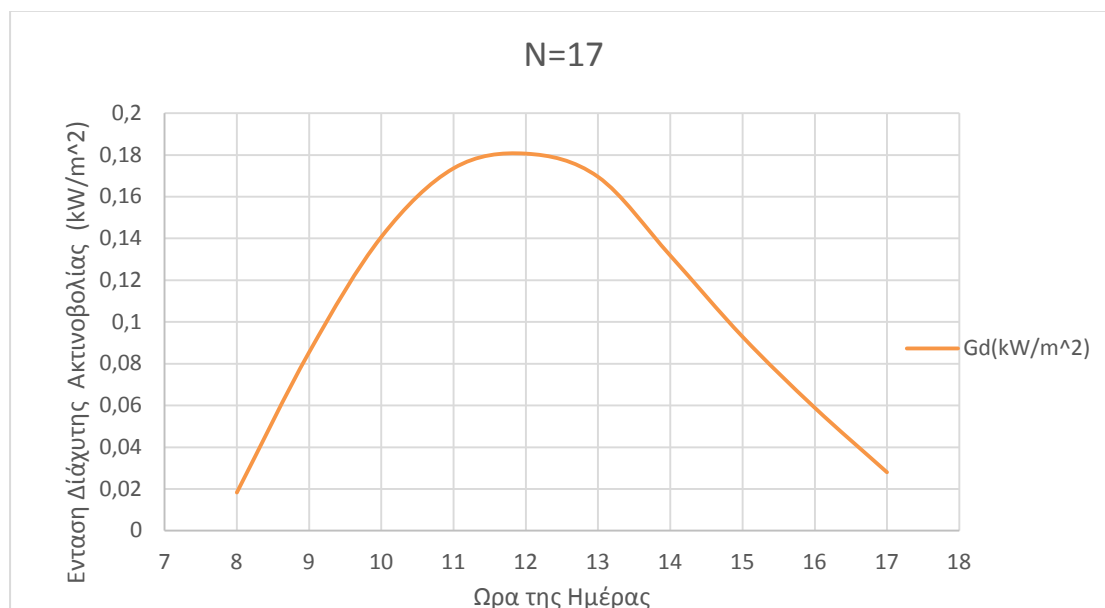
4.1: Διαγράμματα μέσης στιγμιαίας άμεσης και διάχυτης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου για κάθε μήνα.

Ακολουθούν τα διαγράμματα στα οποία βλέπουμε τη μεγιστοποίηση της άμεσης G_b και της διάχυτης G_d ακτινοβολίας για τη μέση μέρα N κάθε μήνα.

Ιανουάριος: Μέση ημέρα $N=17$:

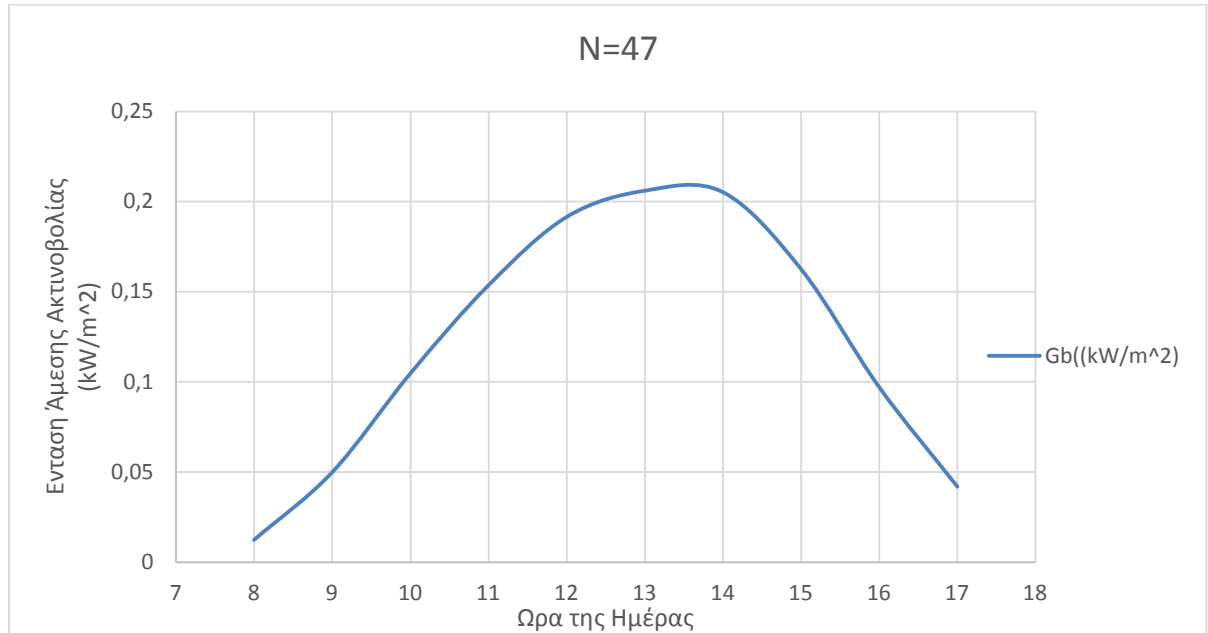


Διάγραμμα 4.1.1: Μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Ιανουαρίου

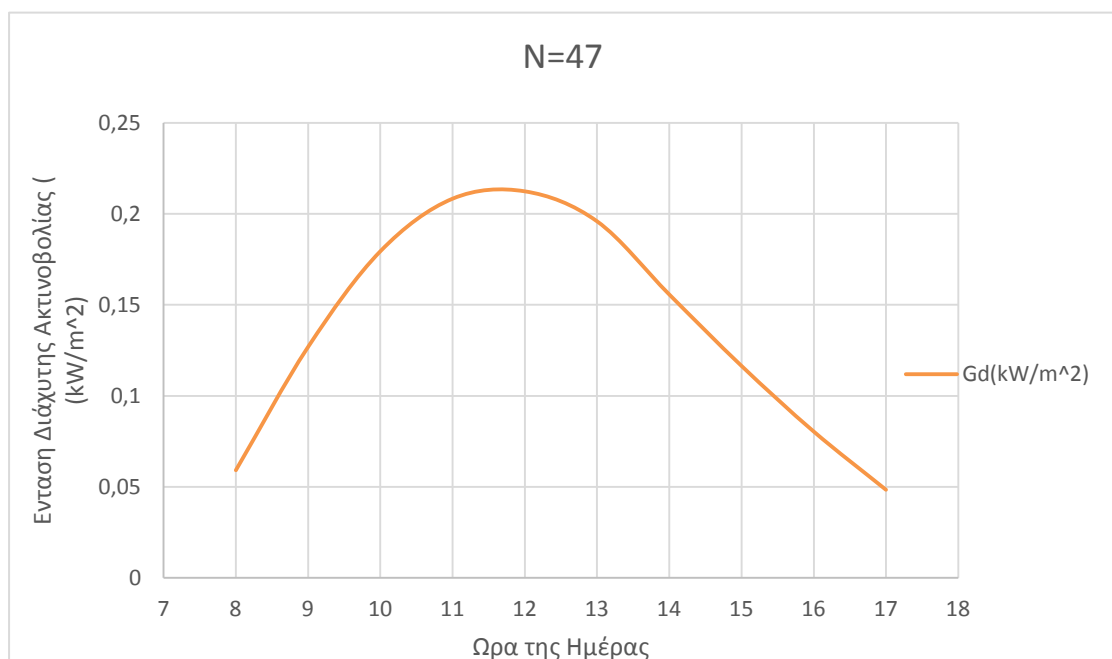


Διάγραμμα 4.1.2: Μέση στιγμιαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Ιανουαρίου

Φεβρουάριος:Μέση ημέρα N=47

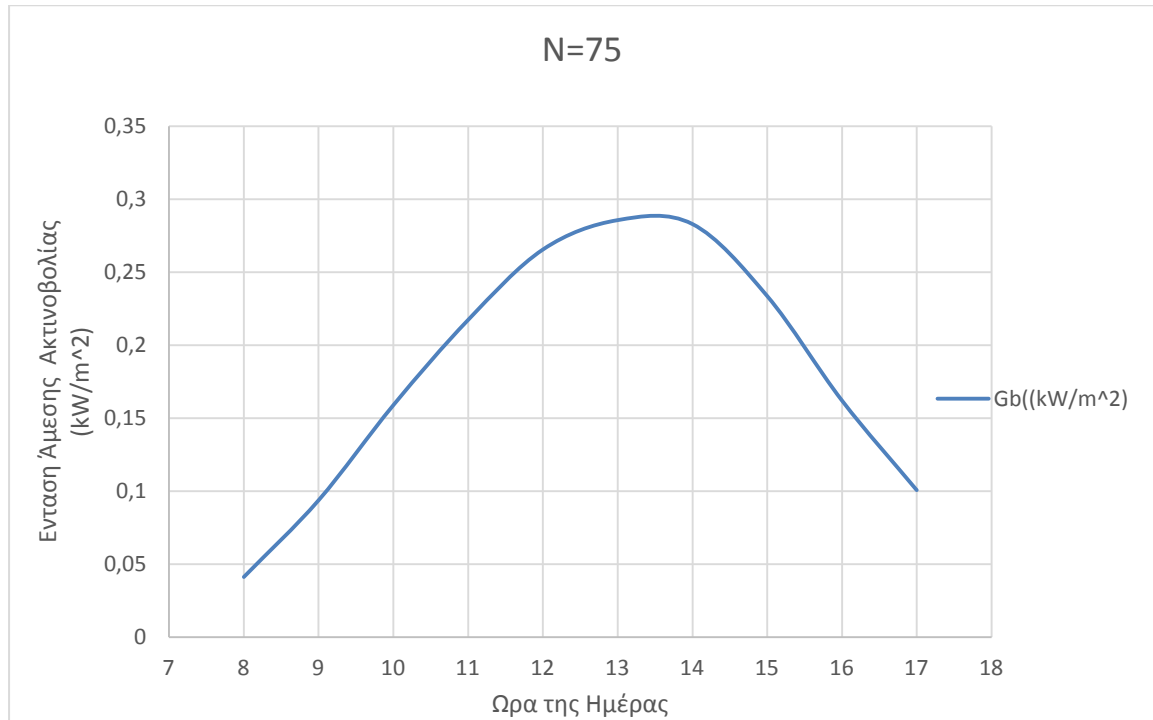


Διάγραμμα 4.1.3:Μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Φεβρουαρίου

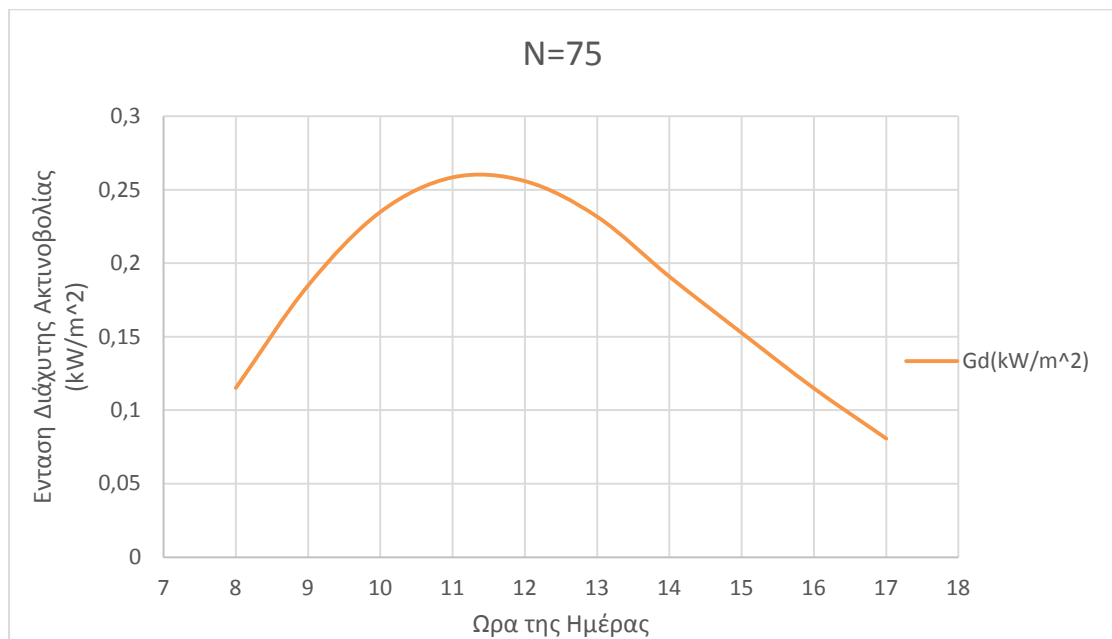


Διάγραμμα 4.1.4:Μέση στιγμιαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Φεβρουαρίου

Μάρτιος: Μέση ημέρα N=75

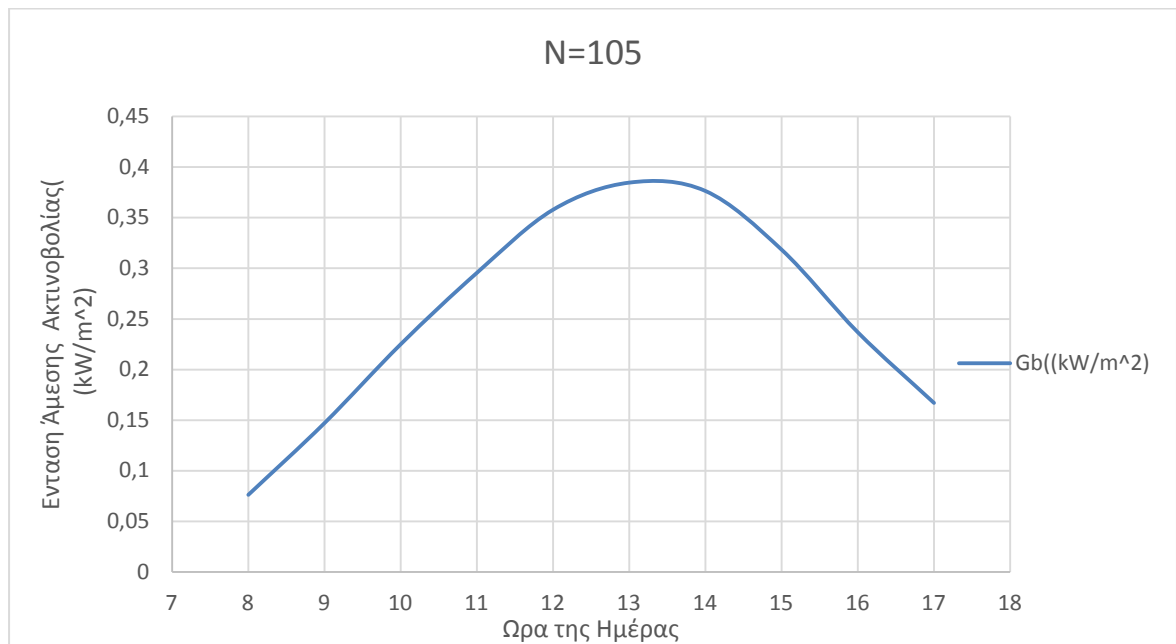


Διάγραμμα 4.1.5: Μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Μαρτίου

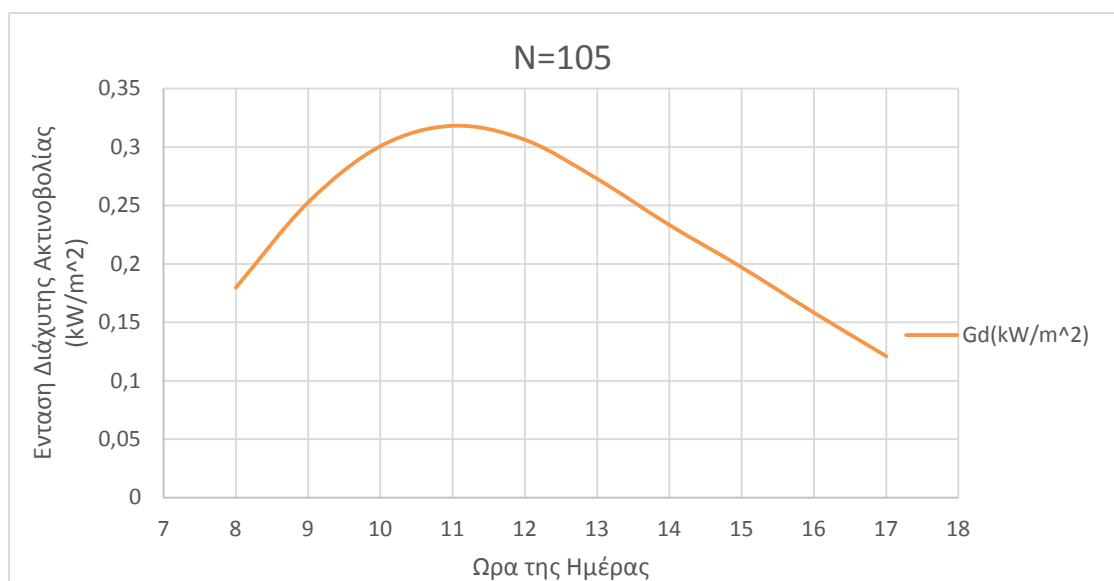


Διάγραμμα 4.1.6: Μέση στιγμιαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Μαρτίου

Απρίλιος: Μέση ημέρα N=105

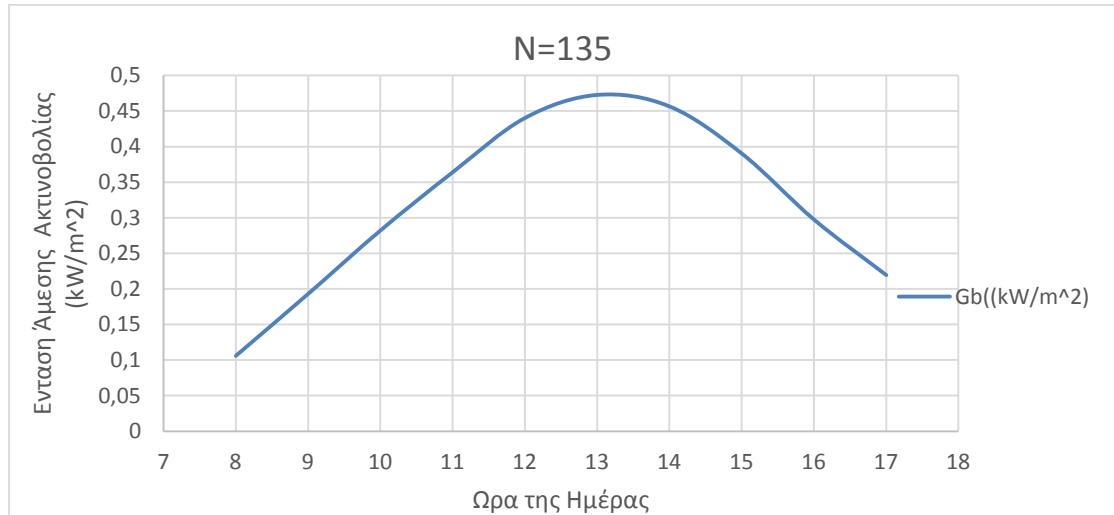


Διάγραμμα 4.1.7: Μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Απριλίου

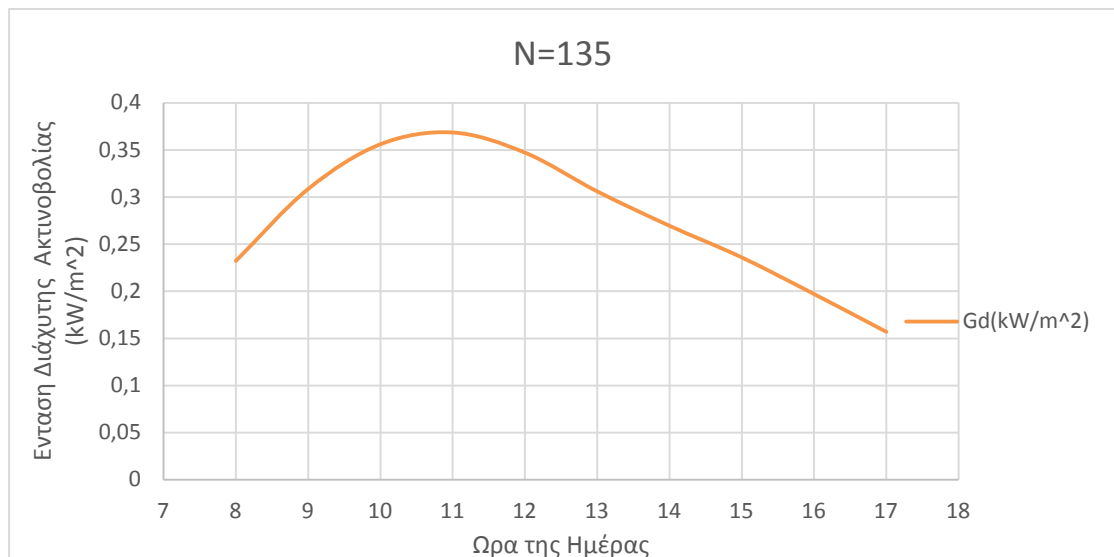


Διάγραμμα 4.1.8: Μέση στιγμιαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Απριλίου

Μάιος:Μέση ημέρα N=135

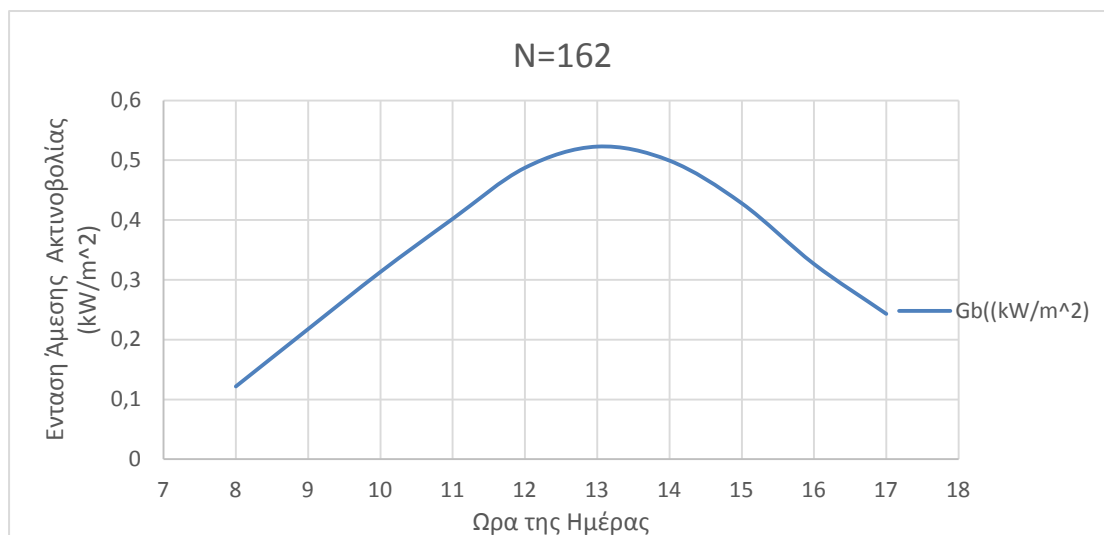


Διάγραμμα 4.1.9:Μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Μαΐου

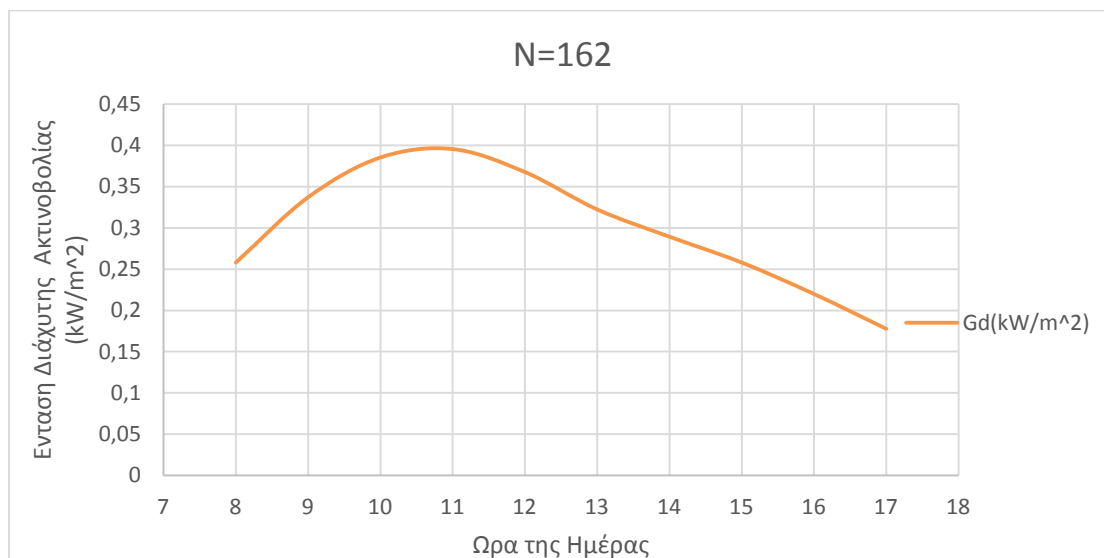


Διάγραμμα 4.1.10:Μέση στιγμιαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Μαΐου

Ιούνιος: Μέση ημέρα N=162

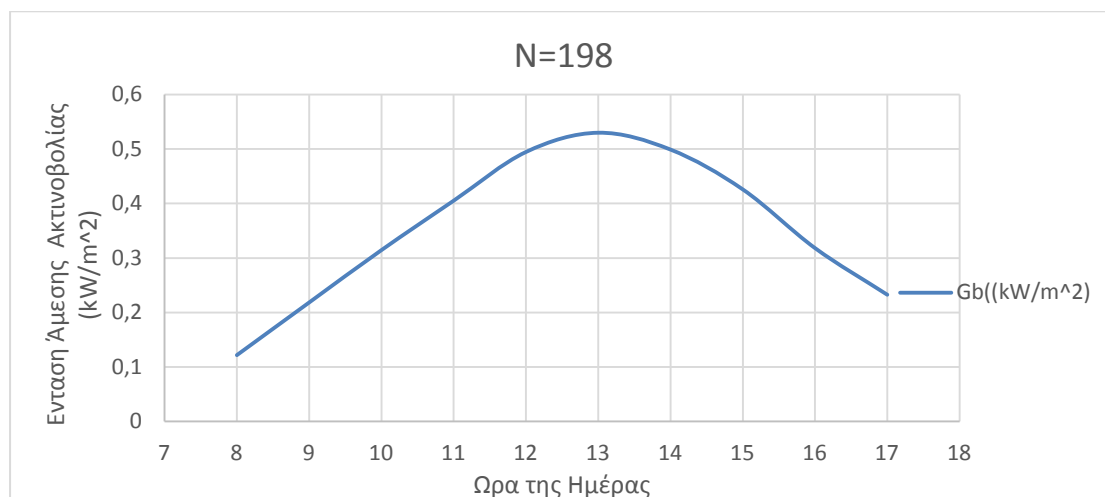


Διάγραμμα 4.1.11: Μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Ιουνίου

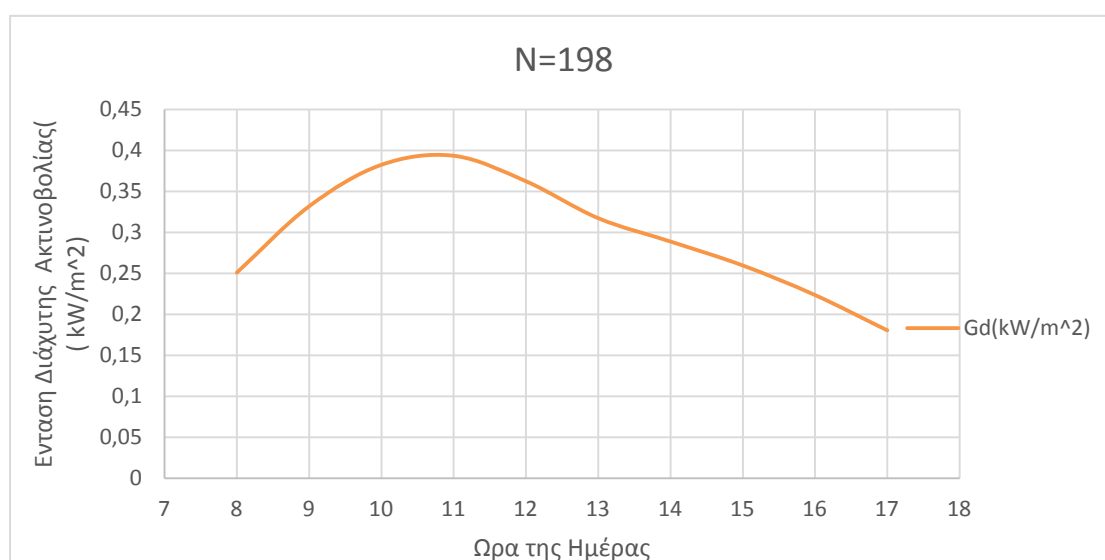


Διάγραμμα 4.1.12: Μέση στιγμιαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Ιουνίου

Ιούλιος: Μέση ημέρα N=198

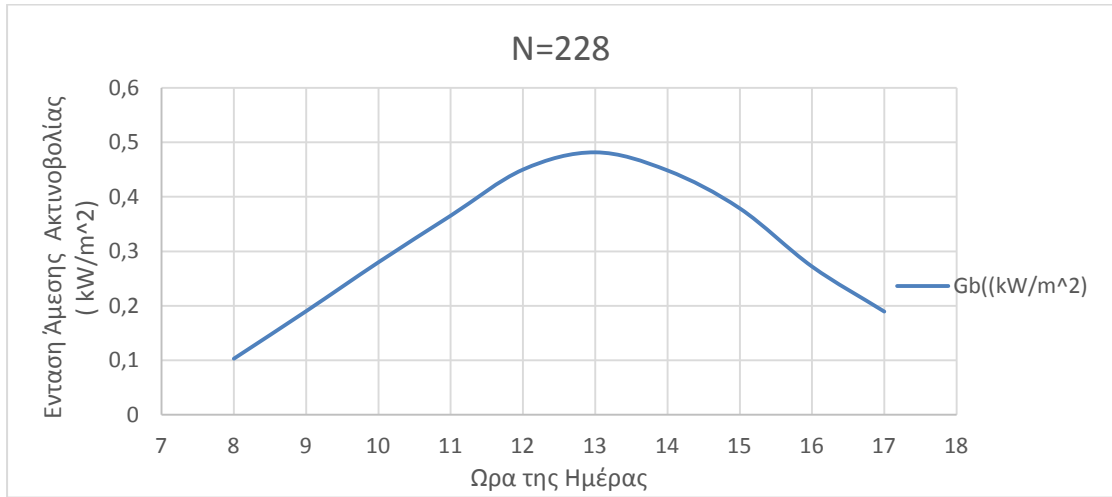


Διάγραμμα 4.1.13: Μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Ιουλίου

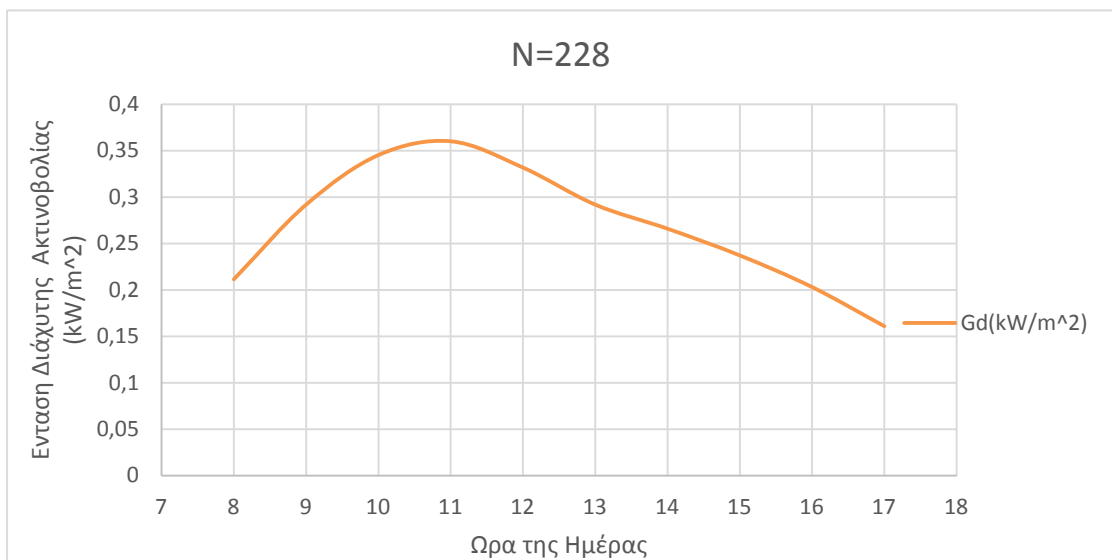


Διάγραμμα 4.1.14: Μέση στιγμιαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Ιουλίου

Αύγουστος: Μέση ημέρα N=228

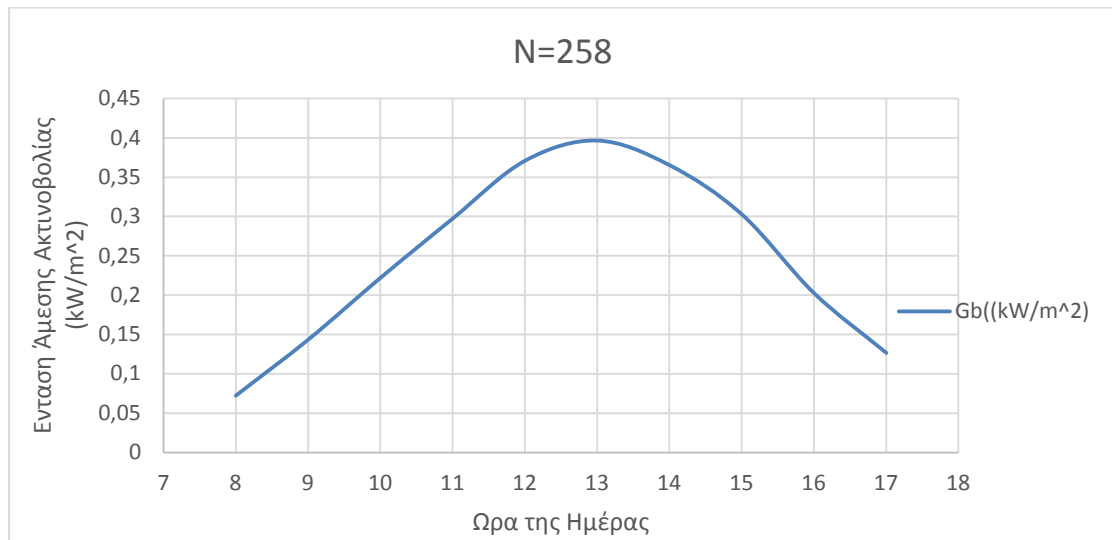


Διάγραμμα 4.1.15: Μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Αυγούστου

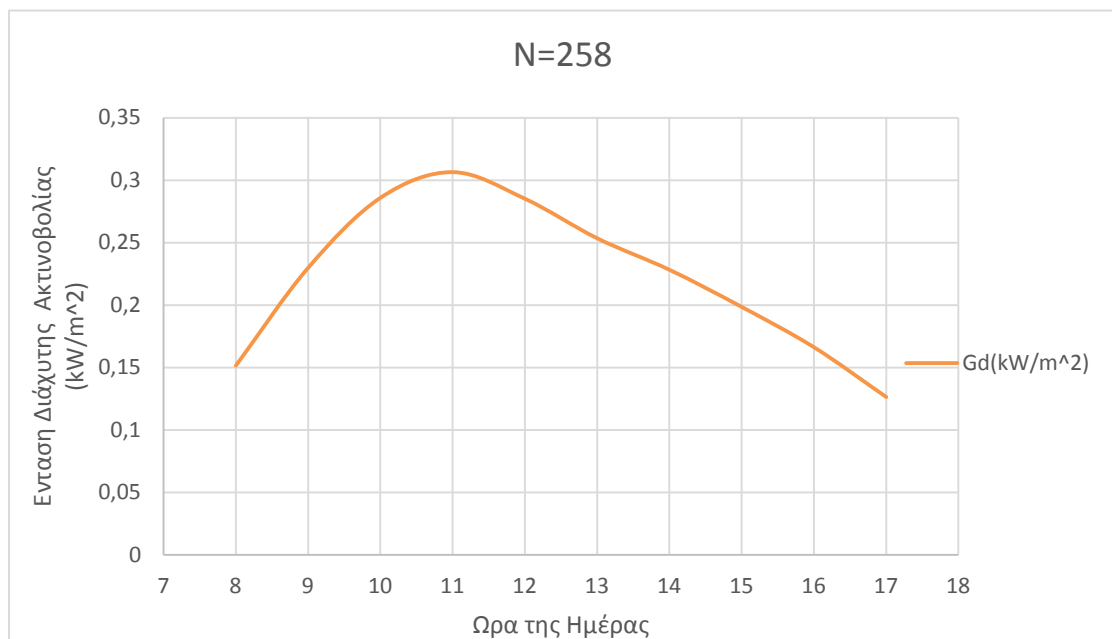


Διάγραμμα 4.1.16: Μέση στιγμιαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Αυγούστου

Σεπτέμβριος: Μέση ημέρα N=258

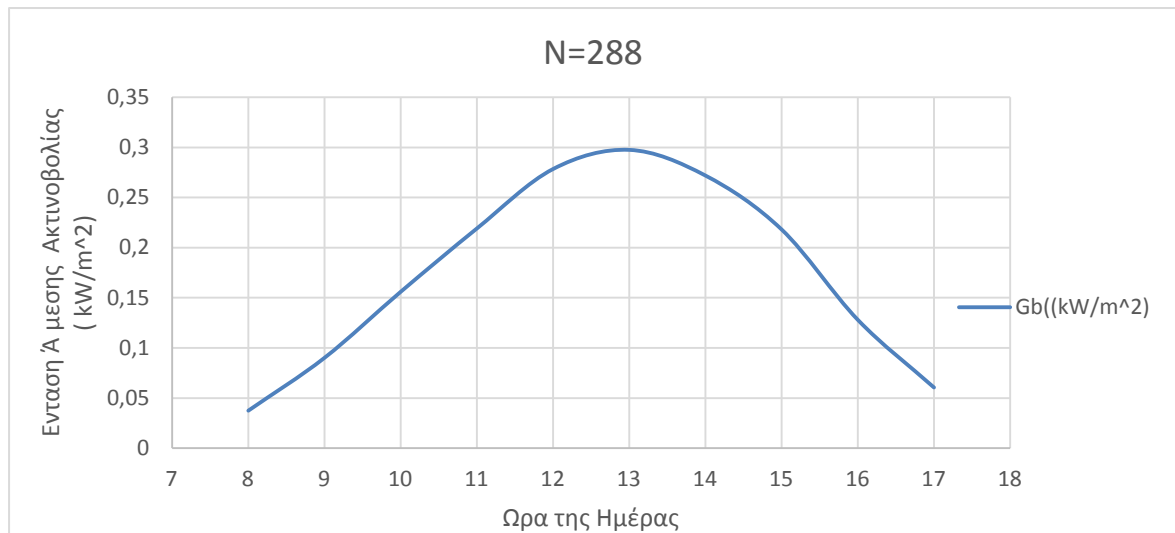


Διάγραμμα 4.1.17: Μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Σεπτεμβρίου

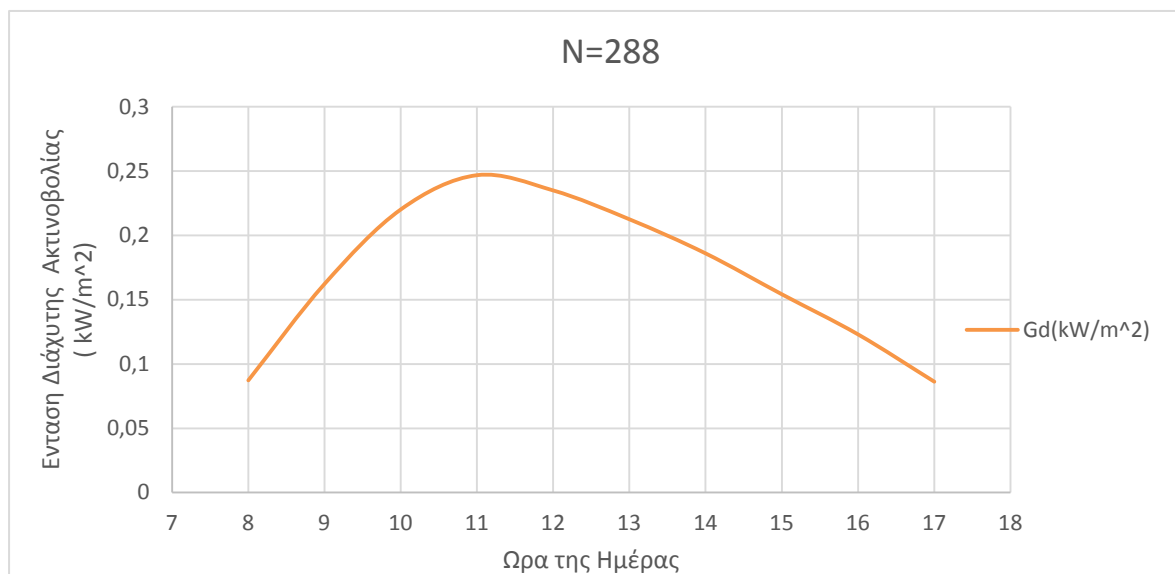


Διάγραμμα 4.1.18: Μέση στιγμιαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Σεπτεμβρίου

Οκτώβριος: Μέση ημέρα N=288

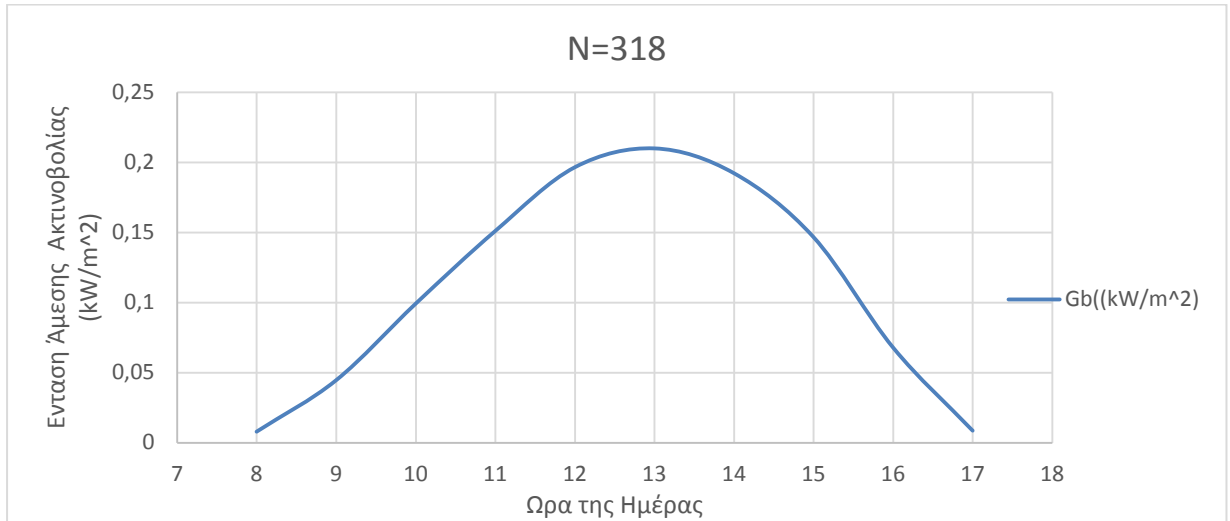


Διάγραμμα 4.1.19: Μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Οκτωβρίου

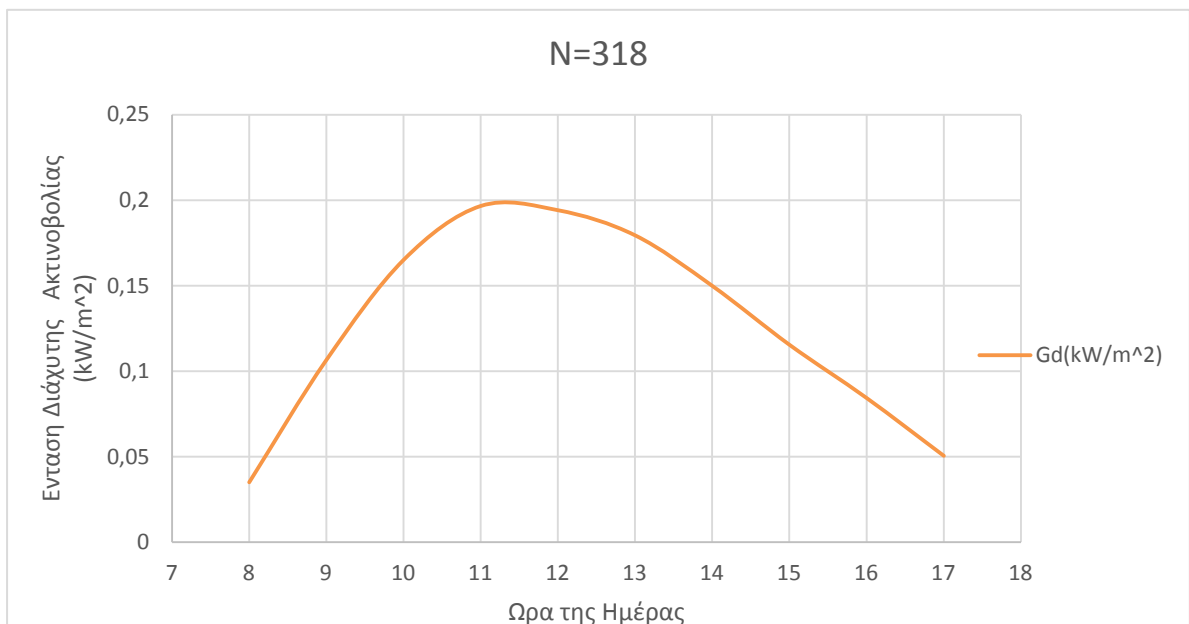


Διάγραμμα 4.1.20: Μέση στιγμιαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Οκτωβρίου

Νοέμβριος: Μέση ημέρα N=318

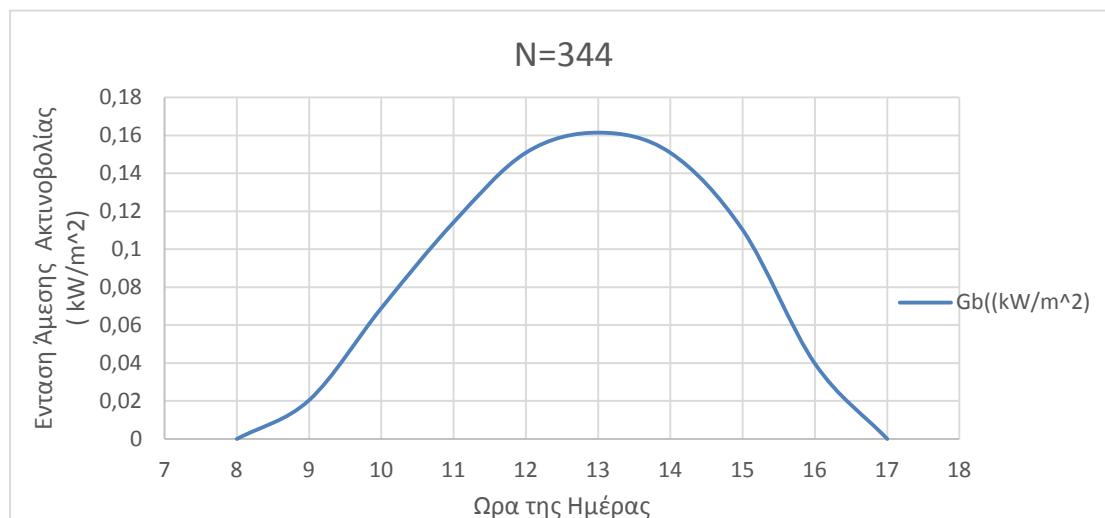


Διάγραμμα 4.1.21: Μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Νοεμβρίου

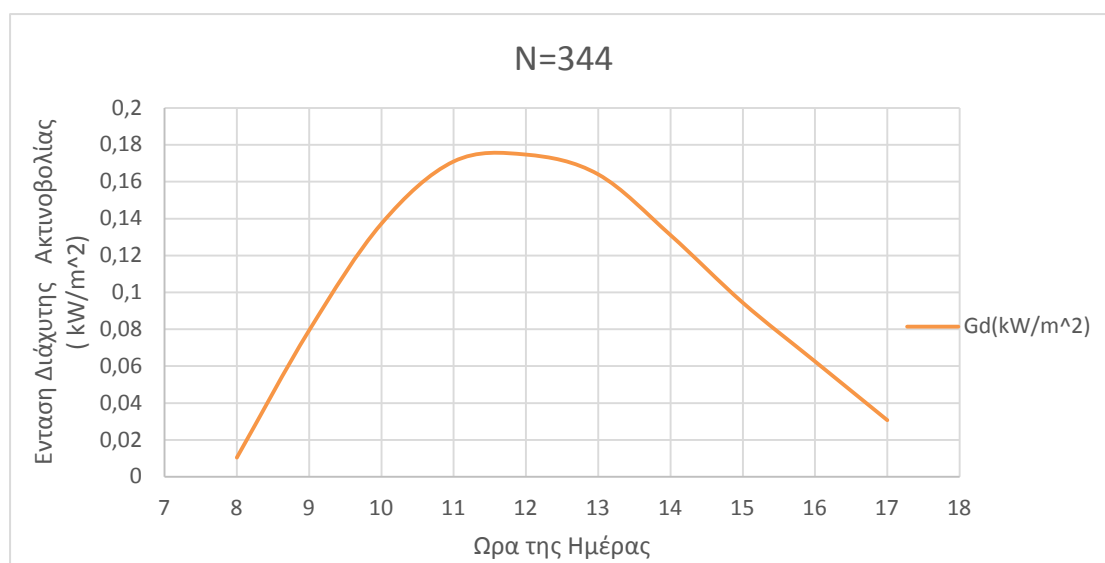


Διάγραμμα 4.1.22: Μέση στιγμιαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Νοεμβρίου

Δεκέμβριος: Μέση ημέρα N=344



Διάγραμμα 4.1.23: Μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Δεκεμβρίου



Διάγραμμα 4.1.24: Μέση στιγμιαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Δεκεμβρίου

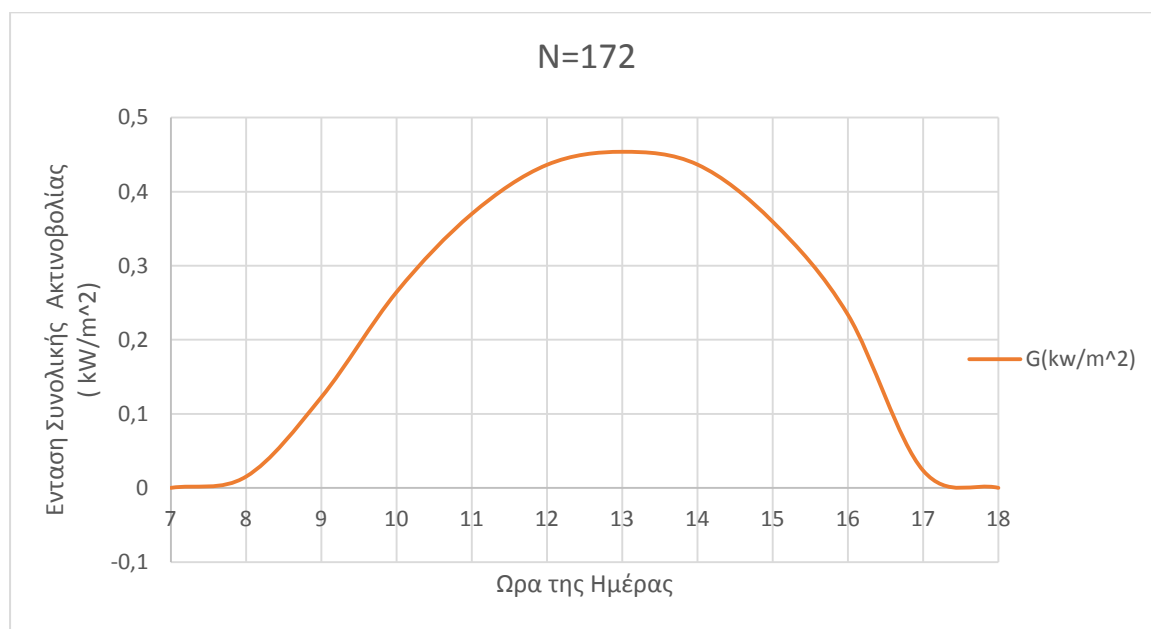
4.2: Πίνακες και διαγράμματα συνολικής μέσης στιγμιαίας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου για κάθε μήνα

Ακολουθούν οι πίνακες και τα διαγράμματα όπου για κάθε μήνα υπολογίζεται η μεγιστοποίηση της συνολικής μέσης στιγμιαίας προσπίπτουσας ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου

Ιανουάριος:

Πίνακας 4.2.1

γ	φ	D	hr	G _b	G _d	G
0	38	17	7	0	0	0
0	38	17	8	0	0,018267	0,018267
0	38	17	9	0,020564	0,085417	0,105981
0	38	17	10	0,068636	0,140703	0,209339
0	38	17	11	0,112015	0,173565	0,28558
0	38	17	12	0,144708	0,180599	0,325307
0	38	17	13	0,155466	0,16948	0,324946
0	38	17	14	0,152558	0,131779	0,284336
0	38	17	15	0,11356	0,092907	0,206468
0	38	17	16	0,049414	0,05888	0,108294
0	38	17	17	0	0,027961	0,027961
0	38	17	18	0	0	0

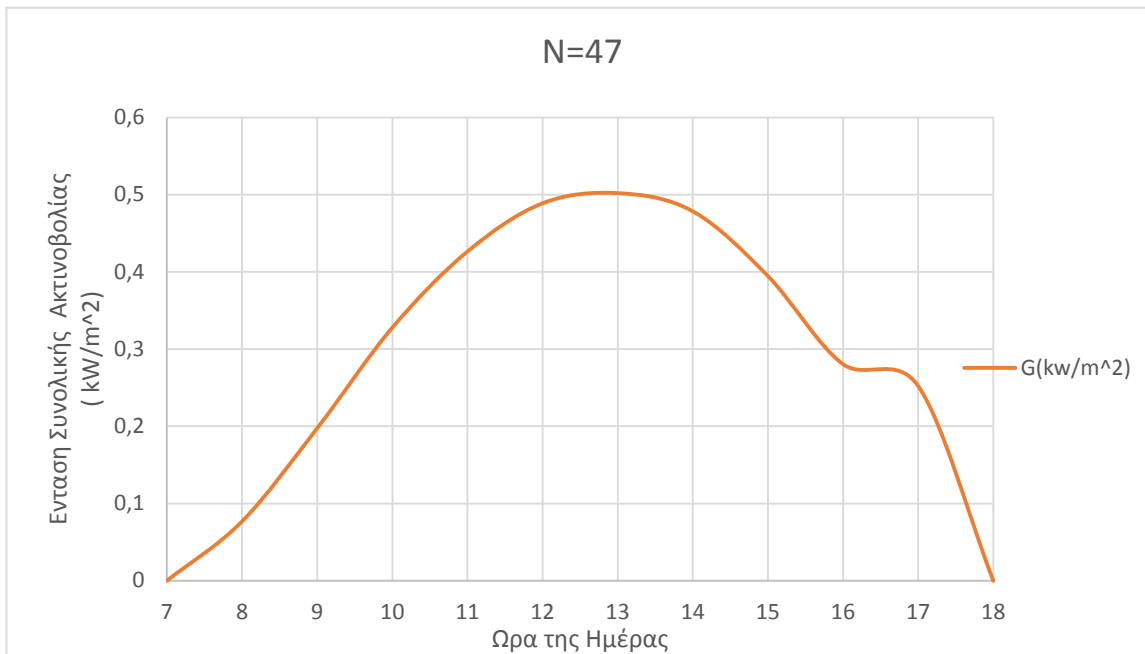


Διάγραμμα 4.2.1.:Συνολική στιγμιαία προσπίπτουσα ακτινοβολία Ιανουαρίου

Φεβρουάριος:

Πίνακας 4.2.2

γ	φ	D	hr	G _b	G _d	G
0	38	47	7	0	0	0
0	38	47	8	0,012429	0,059183	0,071612
0	38	47	9	0,049974	0,12688	0,176854
0	38	47	10	0,104759	0,179392	0,284151
0	38	47	11	0,153666	0,208274	0,36194
0	38	47	12	0,191542	0,212316	0,403858
0	38	47	13	0,206111	0,195855	0,401966
0	38	47	14	0,205294	0,155685	0,360979
0	38	47	15	0,1626	0,116473	0,279073
0	38	47	16	0,097128	0,080422	0,17755
0	38	47	17	0,041948	0,048457	0,090405
0	38	47	18	0	0	0

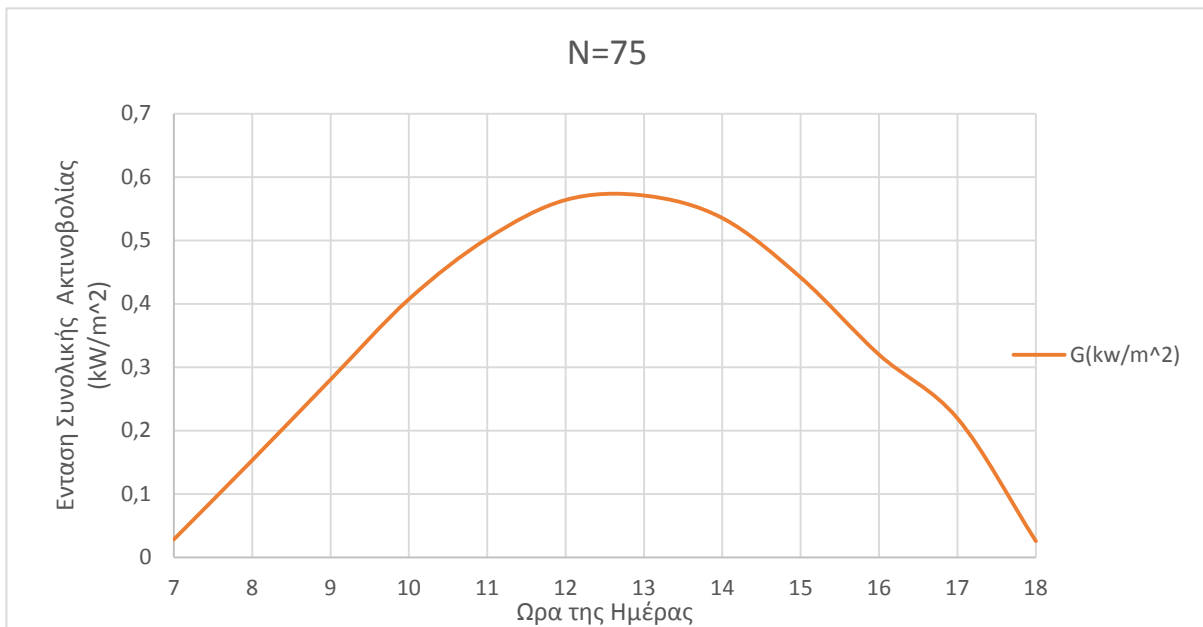


Διάγραμμα 4.2.2.:Συνολική στιγμιαία προσπίπτουσα ακτινοβολία Φεβρουαρίου

Μάρτιος:

Πίνακας 4.2.3

γ	φ	D	hr	G _b	G _d	G
0	38	75	7	0	0,033978	0,033978
0	38	75	8	0,041313	0,115278	0,156591
0	38	75	9	0,093898	0,184979	0,278877
0	38	75	10	0,159056	0,235001	0,394056
0	38	75	11	0,217428	0,25852	0,475948
0	38	75	12	0,265636	0,255961	0,521597
0	38	75	13	0,285774	0,231759	0,517533
0	38	75	14	0,283096	0,190966	0,474061
0	38	75	15	0,233786	0,152666	0,386452
0	38	75	16	0,162218	0,114963	0,277181
0	38	75	17	0,100826	0,080827	0,181653
0	38	75	18	0	0,030812	0,030812

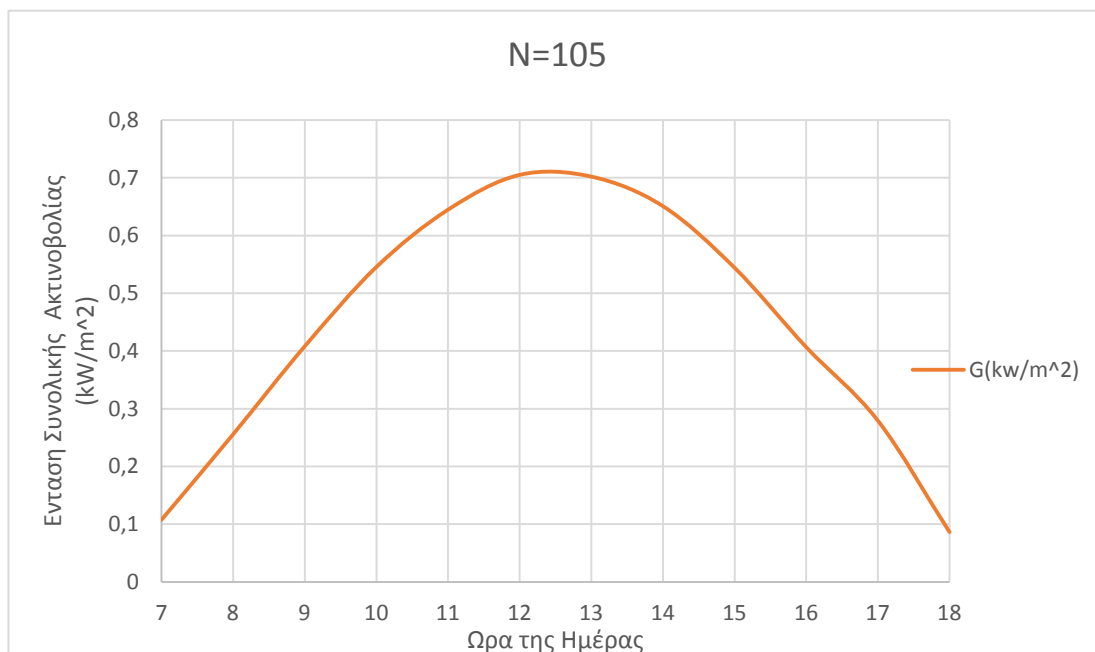


Διάγραμμα 4.2.3.:Συνολική στιγμιαία προσπίπτουσα ακτινοβολία Μαρτίου

Απρίλιος:

Πίνακας 4.2.4

γ	φ	D	hr	G _b	G _d	G
0	38	105	7	0,020742	0,090176	0,110918
0	38	105	8	0,07603	0,179744	0,255774
0	38	105	9	0,147005	0,252662	0,399668
0	38	105	10	0,224935	0,300781	0,525716
0	38	105	11	0,295562	0,318205	0,613767
0	38	105	12	0,357996	0,306239	0,664235
0	38	105	13	0,384788	0,272833	0,657621
0	38	105	14	0,37652	0,233339	0,60986
0	38	105	15	0,318479	0,197094	0,515573
0	38	105	16	0,236784	0,158312	0,395096
0	38	105	17	0,16692	0,121141	0,288061
0	38	105	18	0,025335	0,077259	0,102593

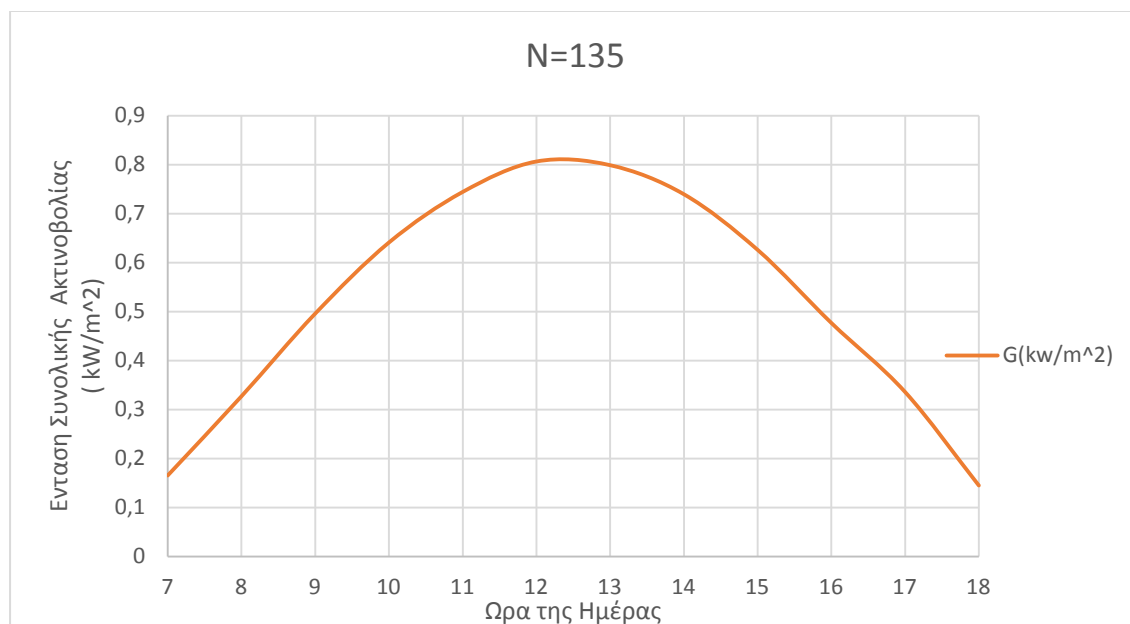


Διάγραμμα 4.2.4.:Συνολική στιγμιαία προσπίπτουσα ακτινοβολία Απριλίου

Μάιος:

Πίνακας 4.2.5

γ	φ	D	hr	G _b	G _d	G
0	38	135	7	0,040626	0,135375	0,176001
0	38	135	8	0,105784	0,232279	0,338062
0	38	135	9	0,192809	0,308697	0,501506
0	38	135	10	0,281963	0,356186	0,638149
0	38	135	11	0,363899	0,368708	0,732608
0	38	135	12	0,440185	0,347326	0,78751
0	38	135	13	0,472641	0,306127	0,778768
0	38	135	14	0,456508	0,269625	0,726133
0	38	135	15	0,390268	0,23602	0,626287
0	38	135	16	0,297322	0,197145	0,494468
0	38	135	17	0,219274	0,156985	0,376258
0	38	135	18	0,069277	0,116857	0,186133

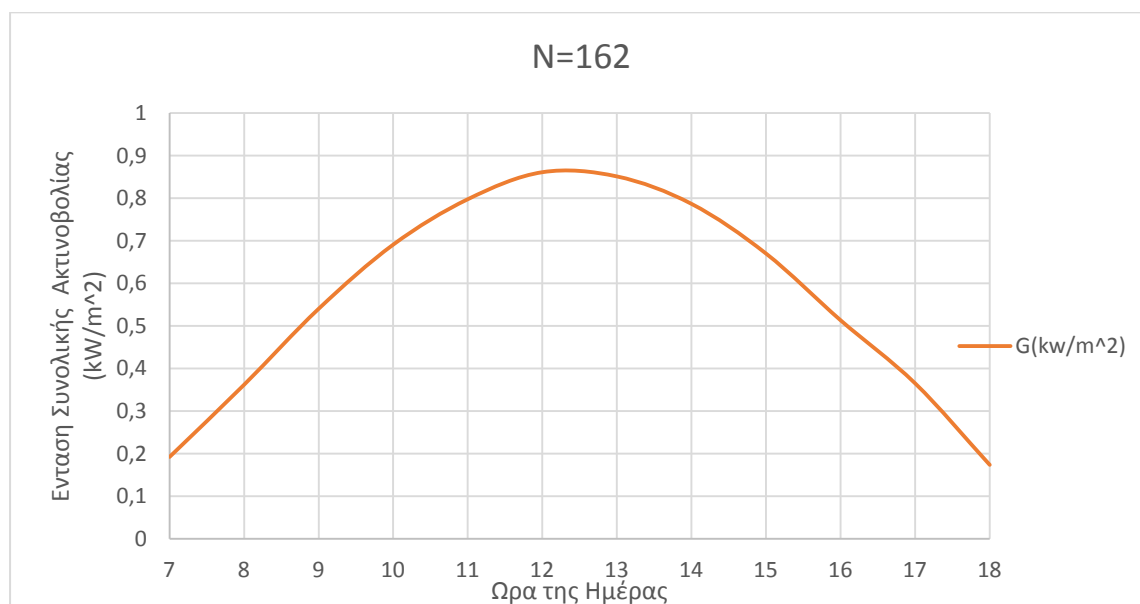


Διάγραμμα 4.2.5.:Συνολική στιγμιαία προσπίπτουσα ακτινοβολία Μαΐου

Ιούνιος:

Πίνακας 4.2.6

γ	φ	D	hr	G _b	G _d	G
0	38	162	7	0,051129	0,156791	0,20792
0	38	162	8	0,121842	0,257908	0,37975
0	38	162	9	0,21782	0,336959	0,55478
0	38	162	10	0,313313	0,385114	0,698427
0	38	162	11	0,402162	0,395315	0,797477
0	38	162	12	0,487591	0,36749	0,855081
0	38	162	13	0,523067	0,32218	0,845247
0	38	162	14	0,499598	0,289181	0,788779
0	38	162	15	0,428214	0,257883	0,686097
0	38	162	16	0,326615	0,219794	0,54641
0	38	162	17	0,243222	0,177629	0,420851
0	38	162	18	0,088004	0,138019	0,226024

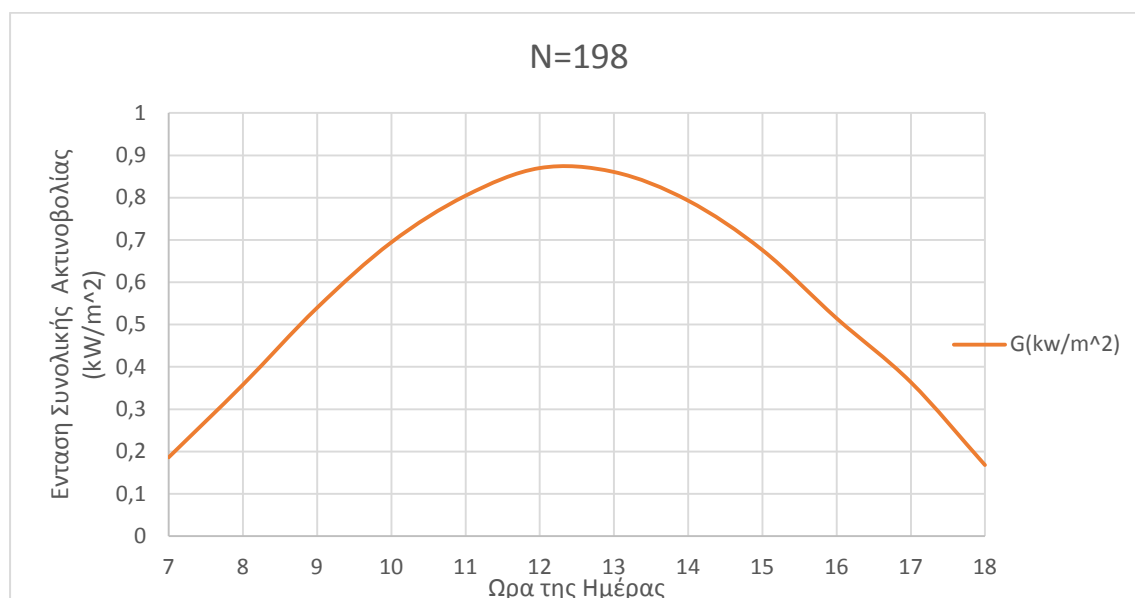


Διάγραμμα 4.2.6.:Συνολική στιγμιαία προσπίπτουσα ακτινοβολία Ιουνίου

Ιούλιος:

Πίνακας 4.2.7

γ	φ	D	hr	G _b	G _d	G
0	38	198	7	0,050466	0,149358	0,199824
0	38	198	8	0,12168	0,251044	0,372724
0	38	198	9	0,218269	0,331875	0,550144
0	38	198	10	0,314378	0,382459	0,696837
0	38	198	11	0,405119	0,393467	0,798586
0	38	198	12	0,494495	0,362413	0,856907
0	38	198	13	0,529848	0,317373	0,847221
0	38	198	14	0,498967	0,288912	0,787878
0	38	198	15	0,425892	0,25973	0,685623
0	38	198	16	0,318125	0,223659	0,541785
0	38	198	17	0,23254	0,180567	0,413107
0	38	198	18	0,075724	0,137299	0,213022

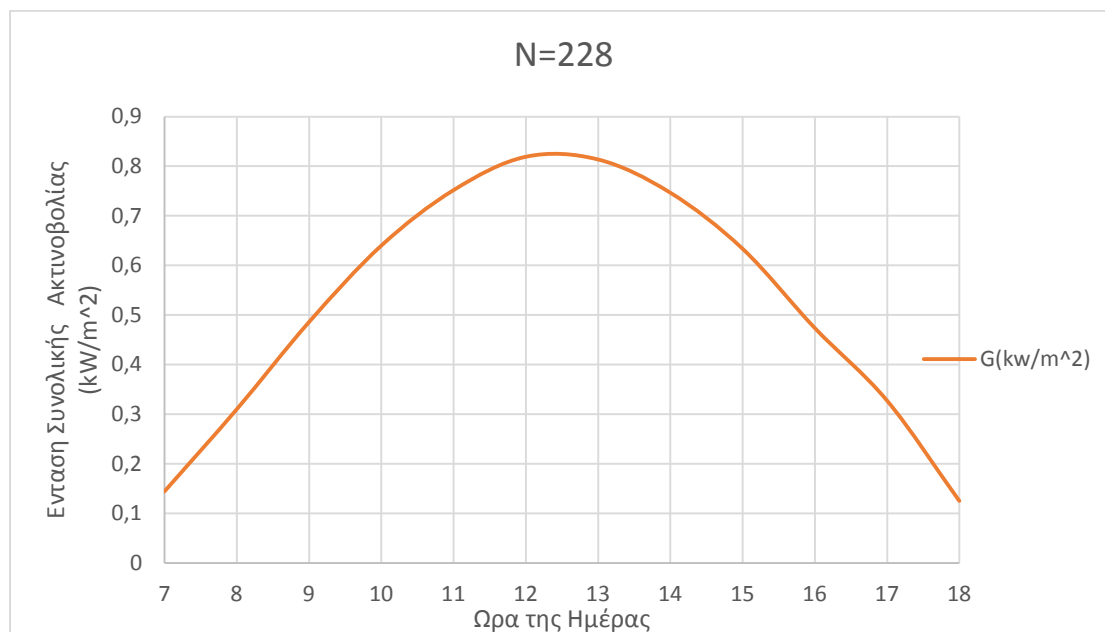


Διάγραμμα 4.2.7:Συνολική στιγμιαία προσπίπτουσα ακτινοβολία Ιουλίου

Αύγουστος:

Πίνακας 4.2.8

γ	φ	D	hr	G _b	G _d	G
0	38	228	7	0,037362	0,113797	0,151159
0	38	228	8	0,102882	0,211442	0,314323
0	38	228	9	0,190012	0,291814	0,481826
0	38	228	10	0,279689	0,34516	0,624849
0	38	228	11	0,365188	0,360026	0,725214
0	38	228	12	0,449733	0,331723	0,781456
0	38	228	13	0,481418	0,29183	0,773248
0	38	228	14	0,44824	0,265917	0,714157
0	38	228	15	0,378654	0,237145	0,615799
0	38	228	16	0,271924	0,203098	0,475021
0	38	228	17	0,189328	0,160974	0,350303
0	38	228	18	0,036224	0,111788	0,148013

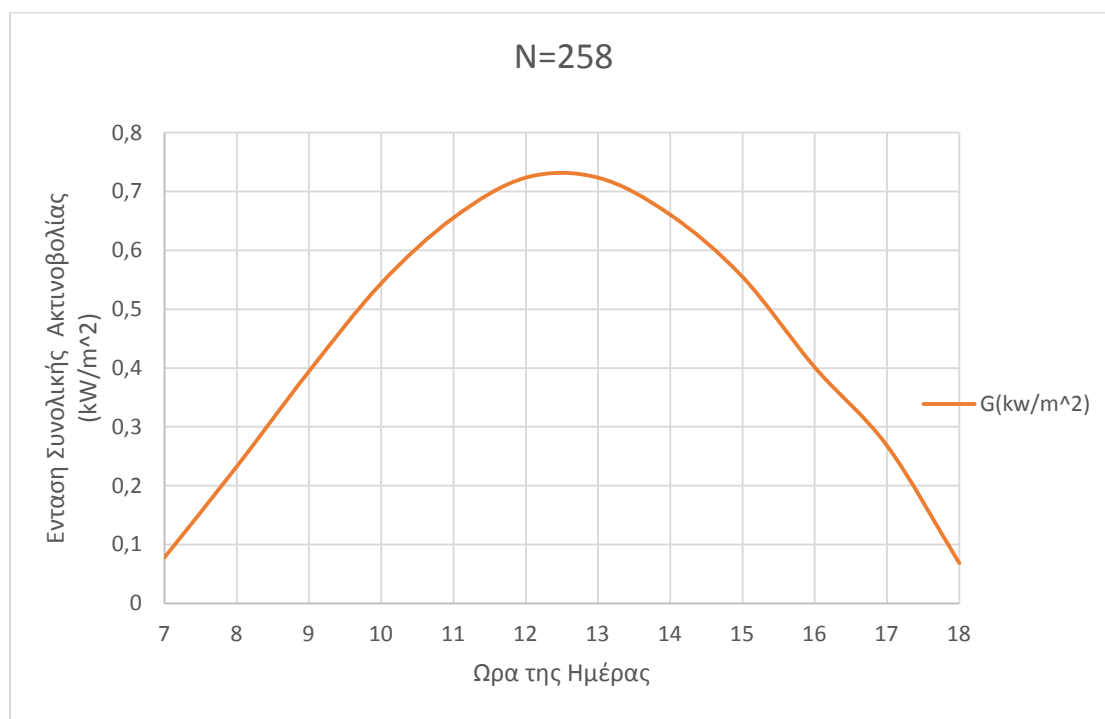


Διάγραμμα 4.2.8:Συνολική στιγμιαία προσπίπτουσα ακτινοβολία Αυγούστου

Σεπτέμβριος

Πίνακας 4.2.9

γ	φ	D	hr	G _b	G _d	G
0	38	258	7	0,016339	0,061074	0,077413
0	38	258	8	0,072117	0,15164	0,223757
0	38	258	9	0,143233	0,229892	0,373125
0	38	258	10	0,221868	0,285911	0,507779
0	38	258	11	0,297301	0,306495	0,603795
0	38	258	12	0,370874	0,285196	0,65607
0	38	258	13	0,396626	0,253551	0,650176
0	38	258	14	0,36537	0,228338	0,593708
0	38	258	15	0,302817	0,198611	0,501428
0	38	258	16	0,202529	0,16634	0,368868
0	38	258	17	0,126532	0,126522	0,253054
0	38	258	18	0	0,070423	0,070423

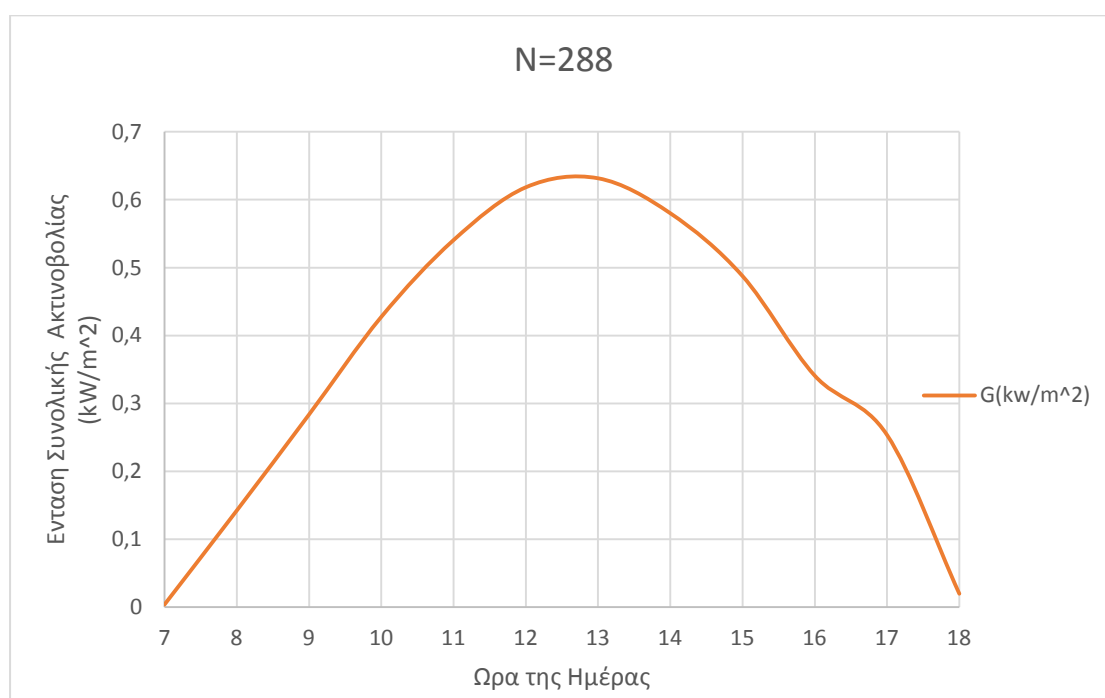


Διάγραμμα 4.2.9:Συνολική στιγμιαία προσπίπτουσα ακτινοβολία Σεπτεμβρίου

Οκτώβριος

Πίνακας 4.2.10

γ	φ	D	hr	G _b	G _d	G
0	38	288	7	0	0,004941	0,004941
0	38	288	8	0,037409	0,087238	0,124647
0	38	288	9	0,090133	0,162261	0,252394
0	38	288	10	0,155995	0,220164	0,37616
0	38	288	11	0,219163	0,246836	0,465998
0	38	288	12	0,278485	0,234966	0,513451
0	38	288	13	0,297585	0,21252	0,510105
0	38	288	14	0,27197	0,185976	0,457946
0	38	288	15	0,218159	0,15418	0,372339
0	38	288	16	0,12804	0,122972	0,251013
0	38	288	17	0,06053	0,086196	0,146726
0	38	288	18	0	0,023992	0,023992

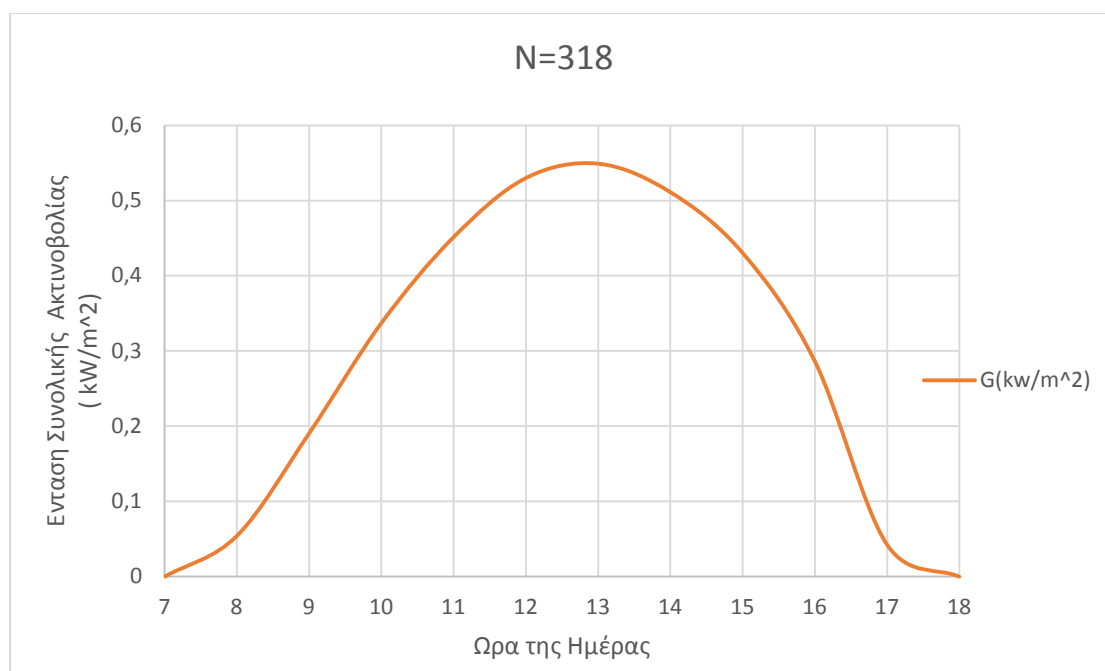


Διάγραμμα 4.2.10: Συνολική στιγμιαία προσπίπτουσα ακτινοβολία Οκτωβρίου

Νοέμβριος

Πίνακας 4.2.11

γ	φ	D	hr	G _b	G _d	G
0	38	318	7	0	0	0
0	38	318	8	0,00781	0,035033	0,042843
0	38	318	9	0,044563	0,106559	0,151122
0	38	318	10	0,099253	0,165068	0,264322
0	38	318	11	0,151154	0,196609	0,347763
0	38	318	12	0,196663	0,194135	0,390797
0	38	318	13	0,210129	0,179439	0,389568
0	38	318	14	0,192402	0,14988	0,342282
0	38	318	15	0,146761	0,115441	0,262202
0	38	318	16	0,067887	0,084307	0,152194
0	38	318	17	0,008537	0,050513	0,059049
0	38	318	18	0	0	0

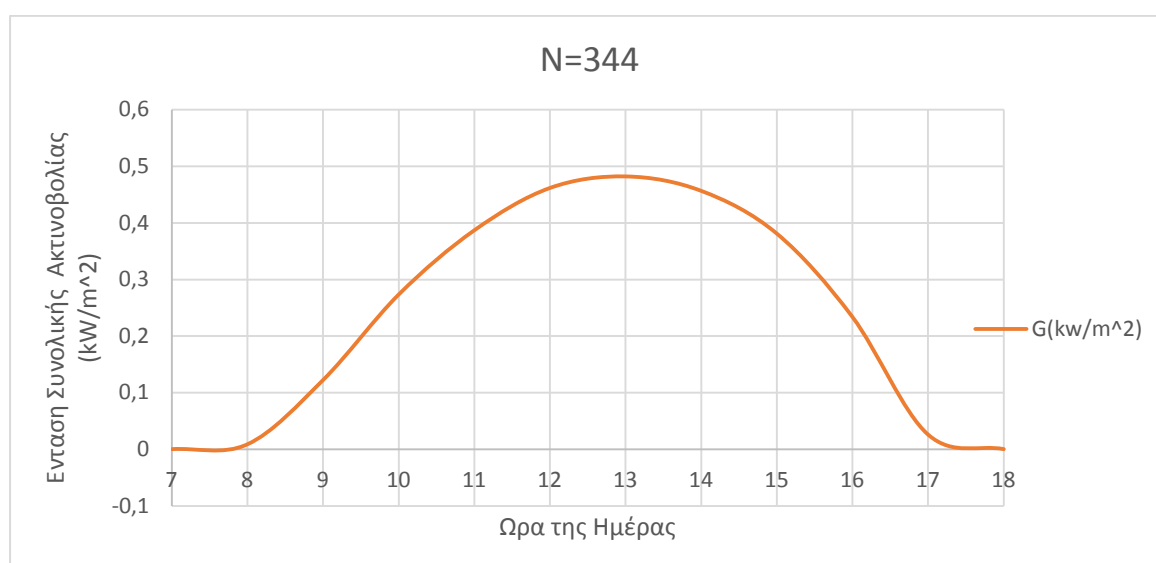


Διάγραμμα 4.2.11: Συνολική στιγμιαία προσπίπτουσα ακτινοβολία Νοεμβρίου

Δεκέμβριος

Πίνακας 4.2.12

γ	φ	D	hr	G _b	G _d	G
0	38	344	7	0	0	0
0	38	344	8	0	0,010336	0,010336
0	38	344	9	0,020462	0,079325	0,099788
0	38	344	10	0,069044	0,137193	0,206237
0	38	344	11	0,114284	0,170971	0,285255
0	38	344	12	0,150982	0,174704	0,325686
0	38	344	13	0,161539	0,16397	0,325509
0	38	344	14	0,15088	0,131037	0,281917
0	38	344	15	0,110196	0,094373	0,20457
0	38	344	16	0,03966	0,062483	0,102143
0	38	344	17	0	0,03062	0,03062
0	38	344	18	0	0	0



Διάγραμμα 4.2.12: Συνολική στιγμιαία προσπίπτουσα ακτινοβολία Δεκεμβρίου

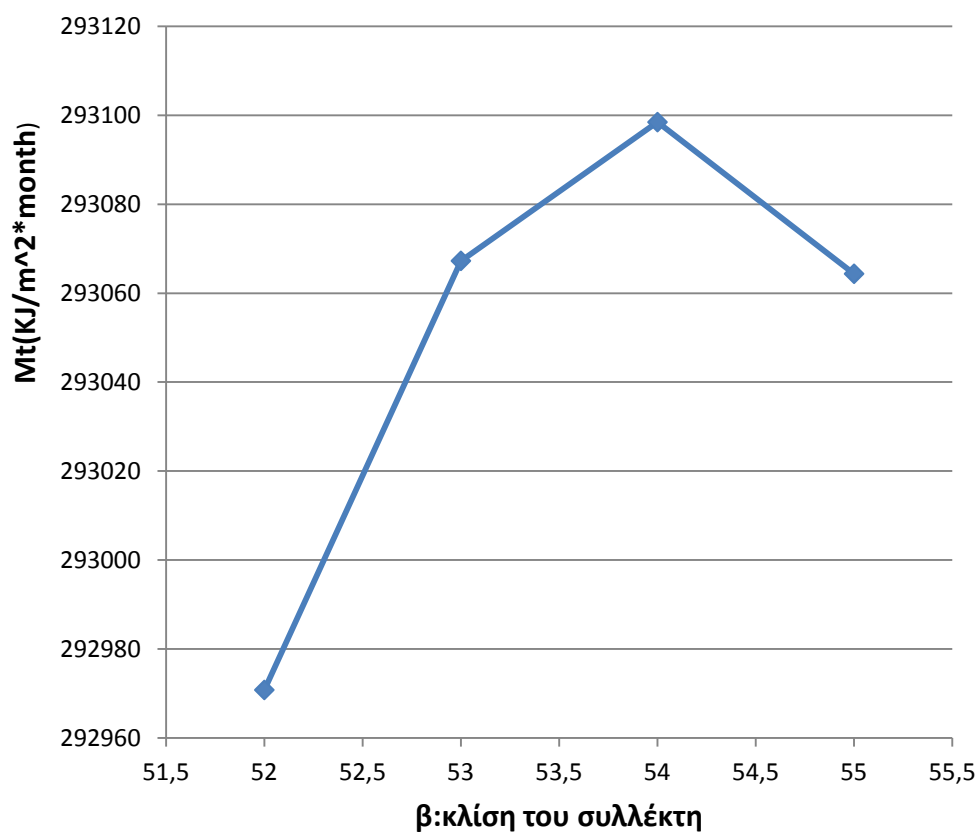
4.3: Πίνακες και διαγράμματα συνολικής μέσης μηνιαίας προσπίπτουσας ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου για κάθε μήνα

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα καθώς και οι αντίστοιχοι πίνακες για κάθε μήνα, από όπου υπολογίζεται σε ποια κλίση έχω για κάθε μήνα τη μέγιστη συνολική μέση μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία $Mt(KJ/m^2*month)$

Ιανουάριος

Πίνακας 4.3.1

β	Mt(KJ/m ² *month)
52	292970,8017
53	293067,265
54	293098,4539
55	293064,3588



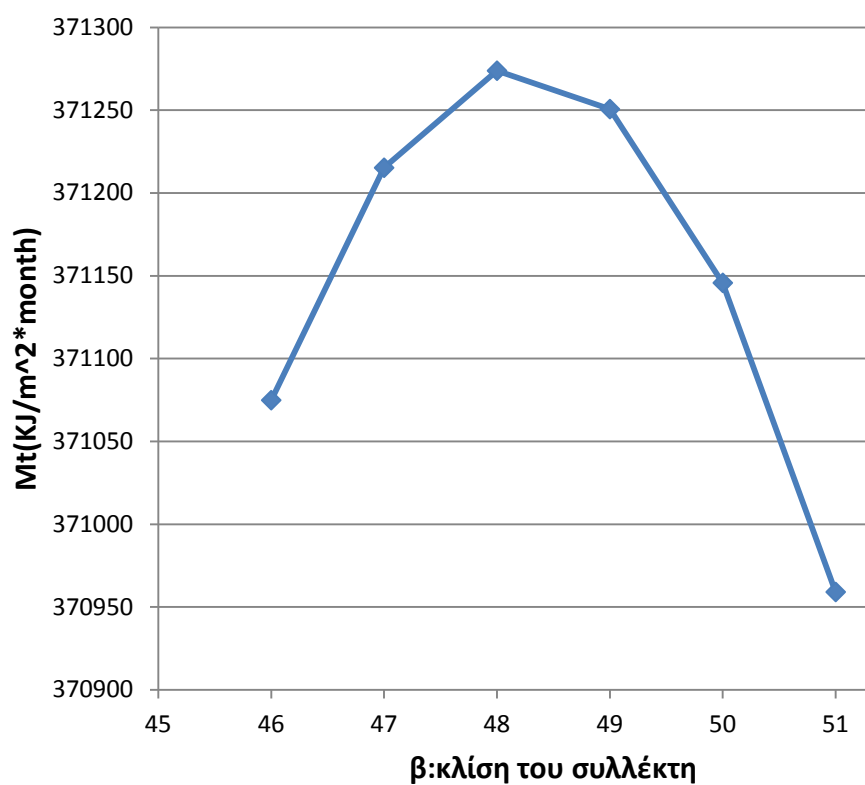
Διάγραμμα 4.3.1: Συνολική μηνιαία ακτινοβολία Ιανουαρίου

*Μεγιστοποιείται στις 54 μοίρες κλίση συλλέκτη

Φεβρουάριος

Πίνακας 4.3.2

β	Mt(KJ/m ² *month)
46	371074,879
47	371215,222
48	371273,8181
49	371250,6496
50	371145,7233
51	370959,0713



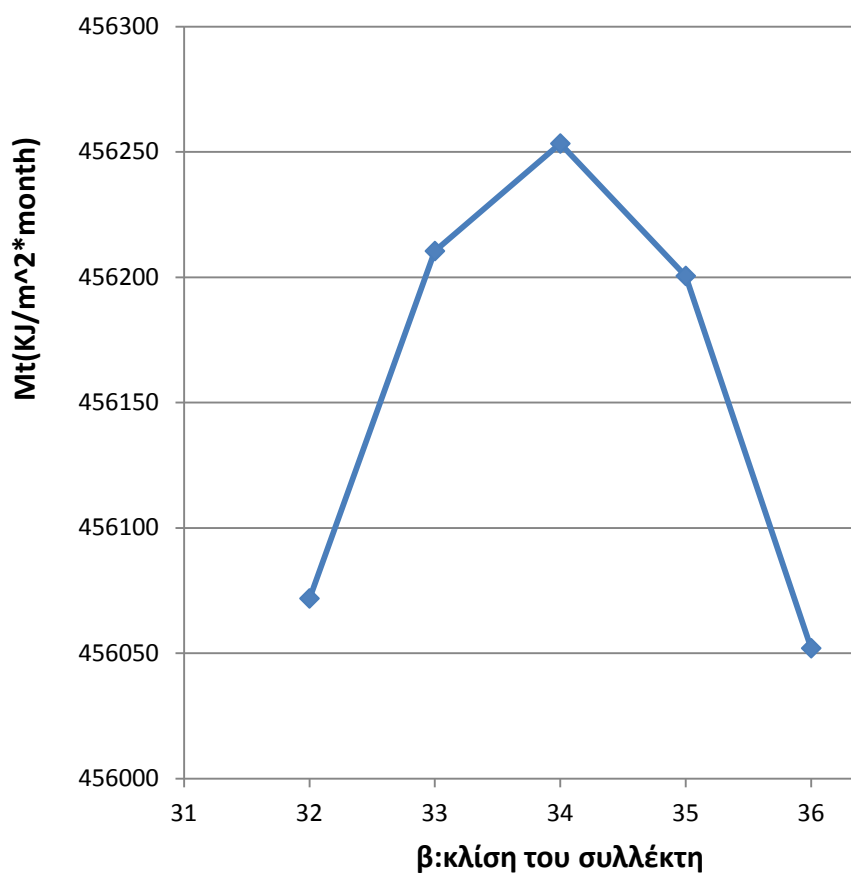
Διάγραμμα 4.3.2: Συνολική μηνιαία ακτινοβολία Φεβρουαρίου

*Μεγιστοποιείται στις 48 μοίρες κλίση συλλέκτη

Μάρτιος

Πίνακας 4.3.3

β	Mt(KJ/m ² *month)
32	456071,8875
33	456210,4509
34	456253,3328
35	456200,5202
36	456052,0291



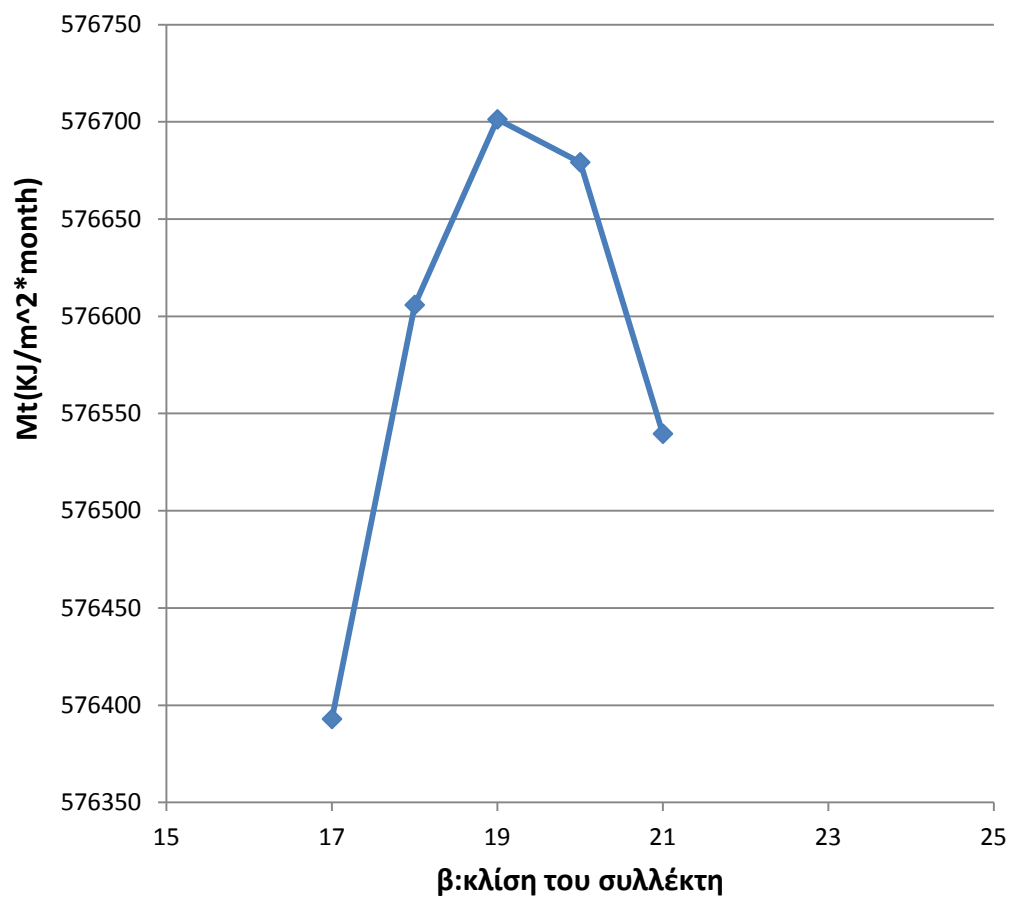
Διάγραμμα 4.3.3: Συνολική μηνιαία ακτινοβολία Μαρτίου

*Μεγιστοποιείται στις 34 μοίρες κλίση συλλέκτη

Απρίλιος

Πίνακας 4.3.4

β	Mt(KJ/m ² *month)
17	576392,9393
18	576605,8538
19	576701,2847
20	576679,203
21	576539,6155



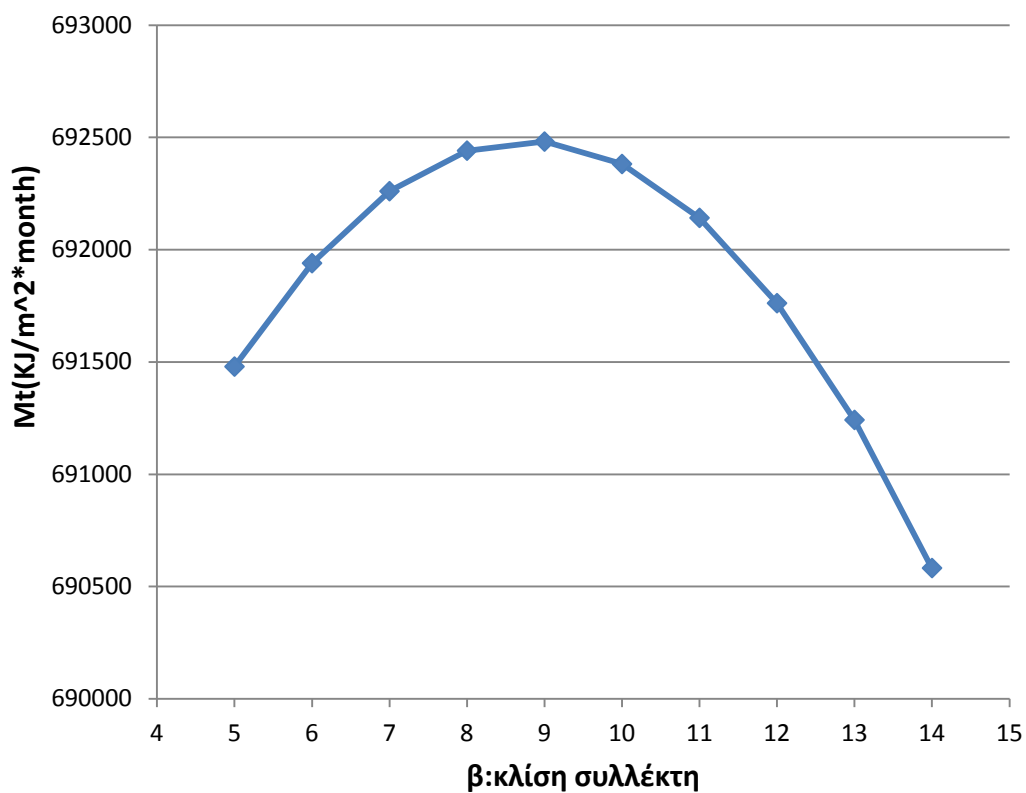
Διάγραμμα 4.3.4: Συνολική μηνιαία ακτινοβολία Απριλίου

*Μεγιστοποιείται στις 19 μοίρες κλίση συλλέκτη

Μάιος

Πίνακας 4.3.5

β	Mt(KJ/m ² *month)
5	691479,3892
6	691939,9343
7	692260,4991
8	692440,986
9	692481,34
10	692381,5487
11	692141,6427
12	691761,6949
13	691241,8211
14	690582,1796



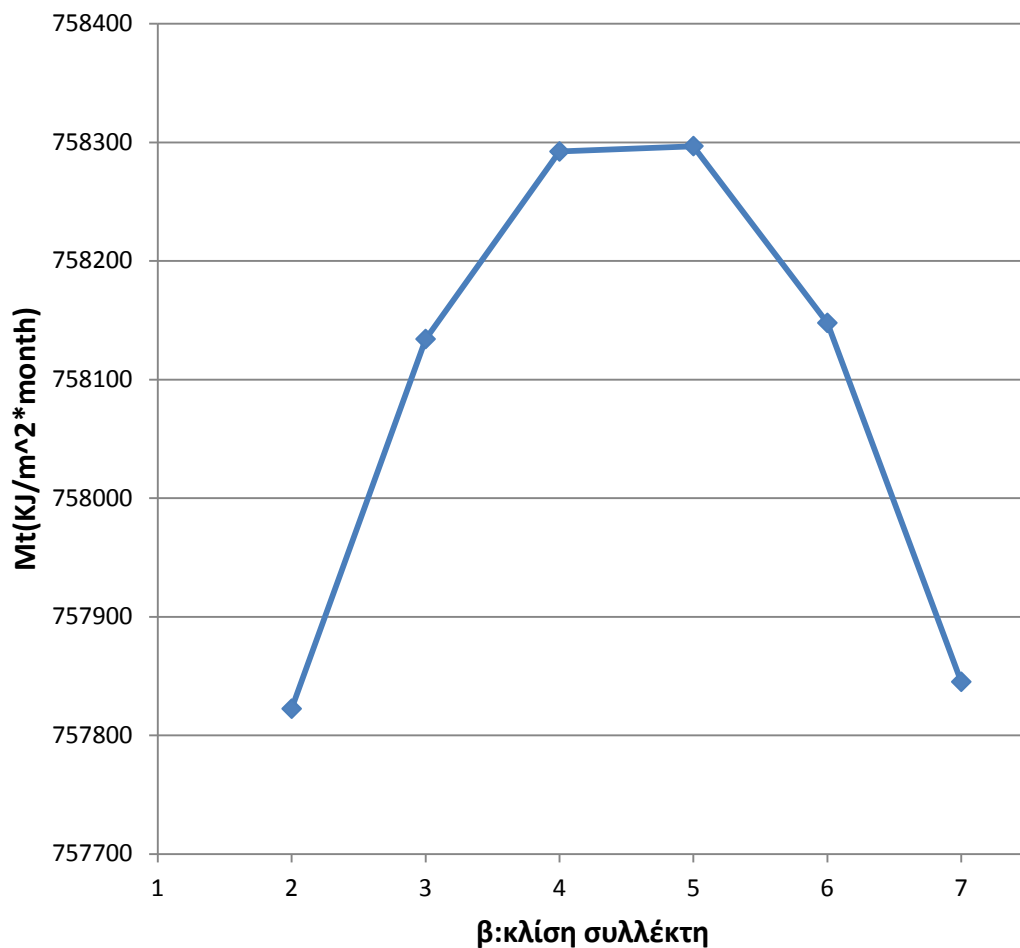
Διάγραμμα 4.3.5: Συνολική μηνιαία ακτινοβολία Μαΐου

*Μεγιστοποιείται στις 9 μοίρες κλίση συλλέκτη

Ιούνιος

Πίνακας 4.3.6

β	Mt(KJ/m ² *month)
2	757822,4355
3	758134,0878
4	758292,2076
5	758296,7469
6	758147,7043
7	757845,1251



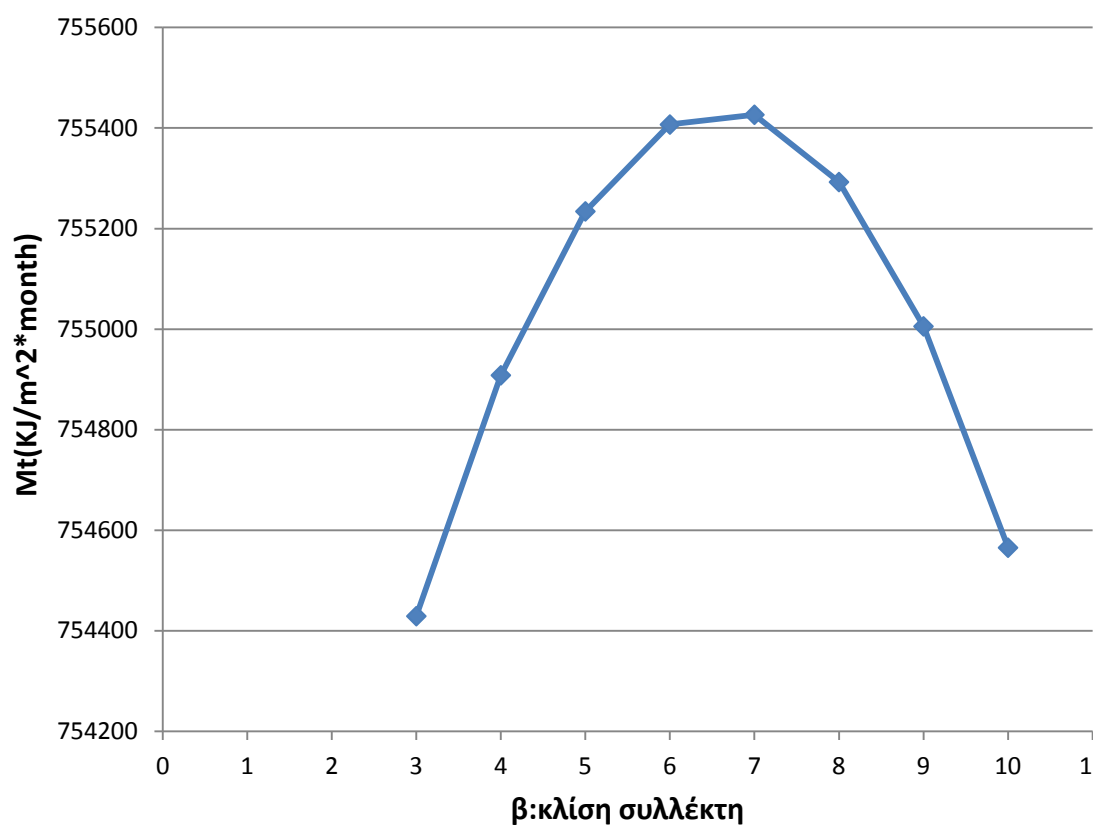
Διάγραμμα 4.3.6: Συνολική μηνιαία ακτινοβολία Ιουνίου

*Μεγιστοποιείται στις 5 μοίρες κλίση συλλέκτη

Ιούλιος

Πίνακας 4.3.7

β	Mt(KJ/m ² *month)
3	754429,2523
4	754908,3339
5	755234,294
6	755407,0336
7	755426,4999
8	755292,687
9	755005,6357
10	754565,4335



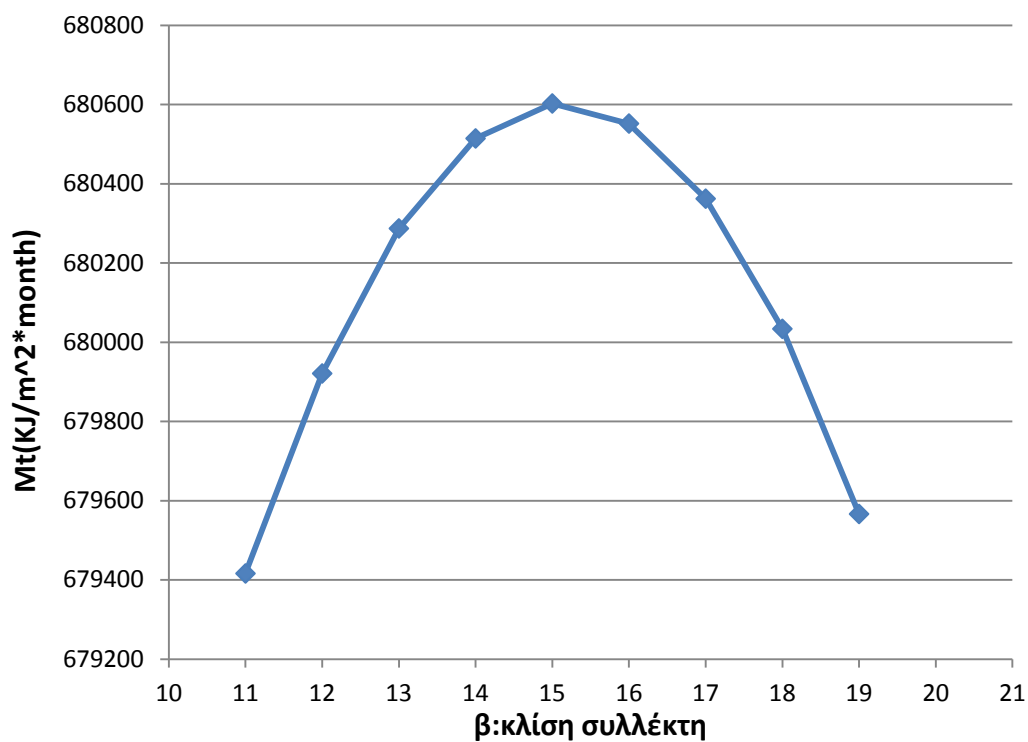
Διάγραμμα 4.3.7: Συνολική μηνιαία ακτινοβολία Ιουλίου

*Μεγιστοποιείται στις 7 μοίρες κλίση συλλέκτη

Αύγουστος

Πίνακας 4.3.8

β	Mt(KJ/m ² *month)
11	679416,3039
12	679921,1176
13	680287,1791
14	680514,3766
15	680602,6412
16	680551,9457
17	680362,3058
18	680033,7792
19	679566,4659



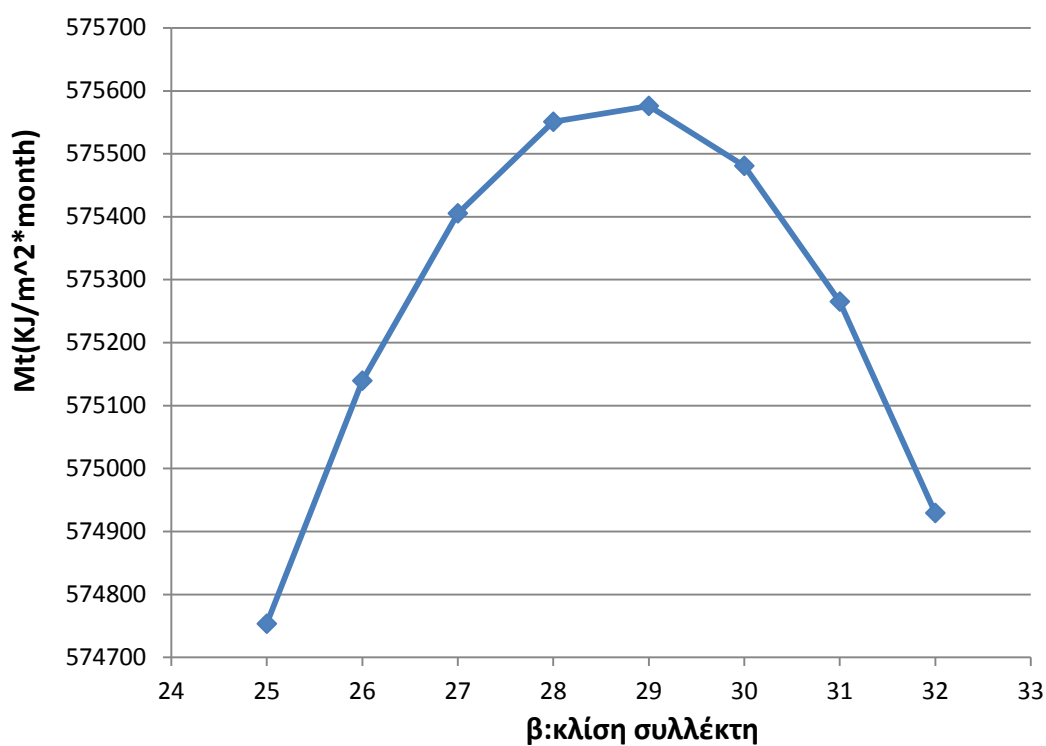
Διάγραμμα 4.3.8: Συνολική μηνιαία ακτινοβολία Αυγούστου

*Μεγιστοποιείται στις 15 μοίρες κλίση συλλέκτη

Σεπτέμβριος

Πίνακας 4.3.9

β	Mt(KJ/m ² *month)
25	574753,265
26	575139,3881
27	575405,2562
28	575550,7882
29	575575,9398
30	575480,7034
31	575265,1079
32	574929,2191



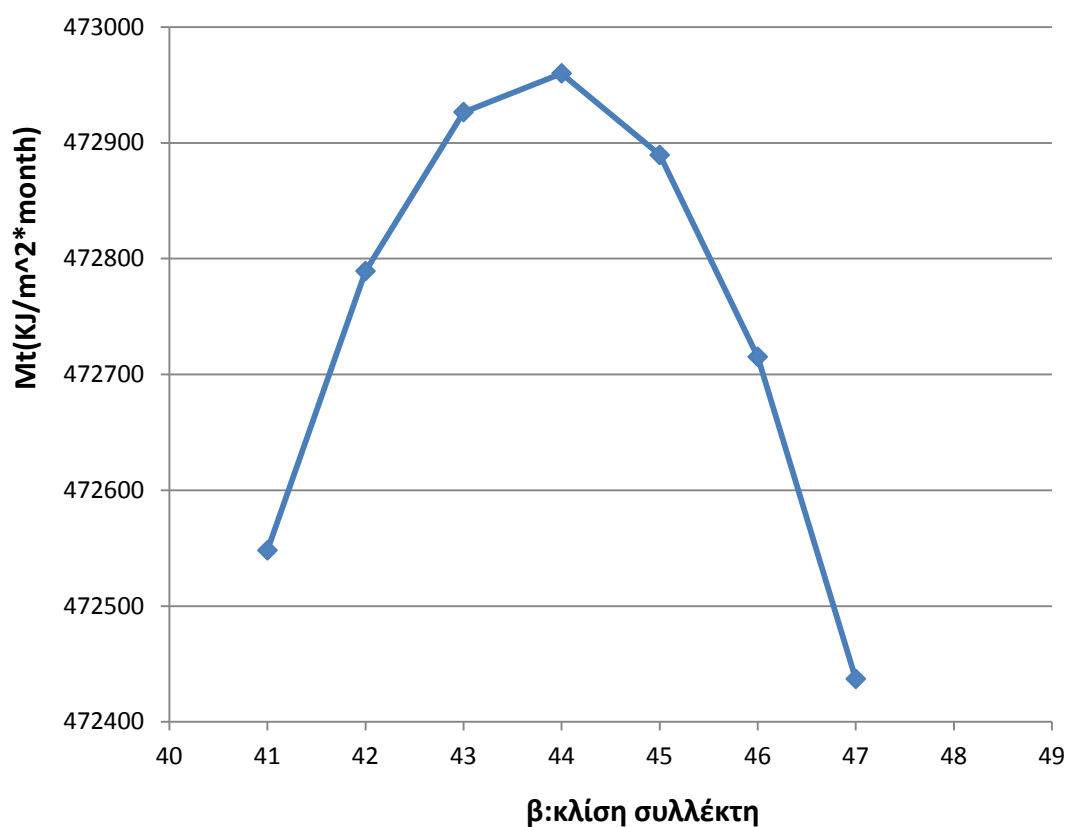
Διάγραμμα 4.3.9: Συνολική μηνιαία ακτινοβολία Σεπτεμβρίου

*Μεγιστοποιείται στις 29 μοίρες κλίση συλλέκτη

Οκτώβριος

Πίνακας 4.3.10

β	Mt(KJ/m ² *month)
41	472548,126
42	472789,2887
43	472926,6065
44	472960,0376
45	472889,5718
46	472715,2307
47	472437,0672



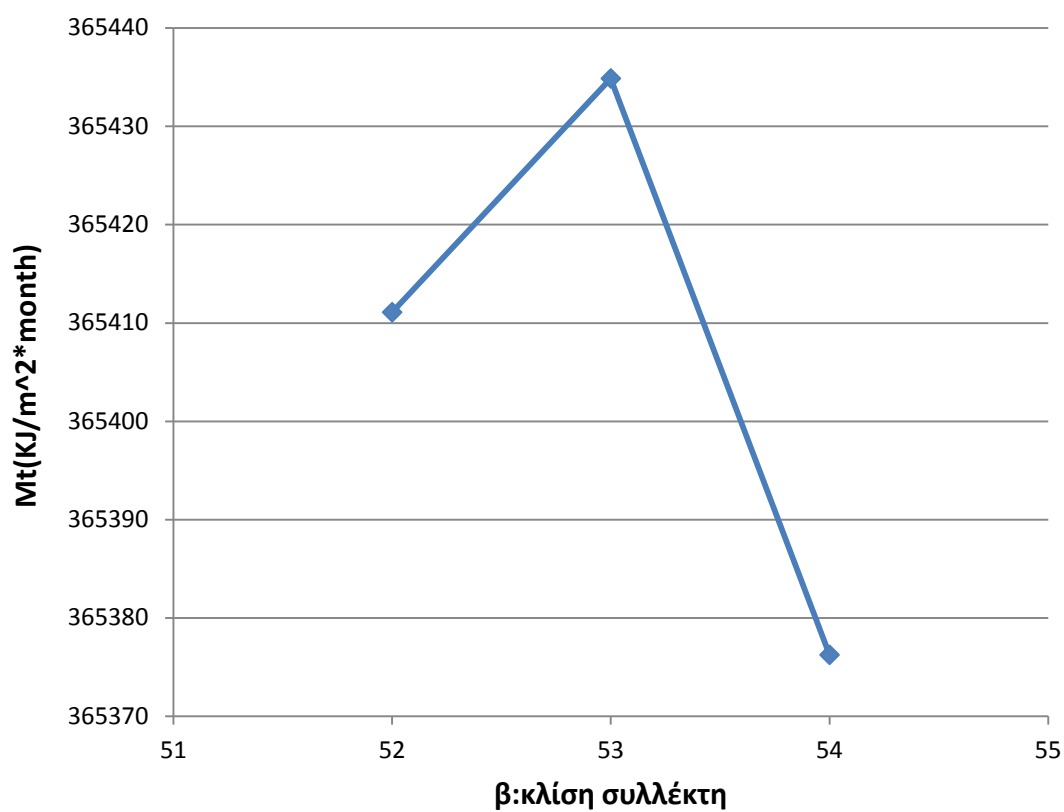
Διάγραμμα 4.3.10: Συνολική μηνιαία ακτινοβολία Οκτωβρίου

*Μεγιστοποιείται στις 44 μοίρες κλίση συλλέκτη

Νοέμβριος

Πίνακας 4.3.11

β	Mt(KJ/m ² *month)
52	365411,081
53	365434,8592
54	365376,23



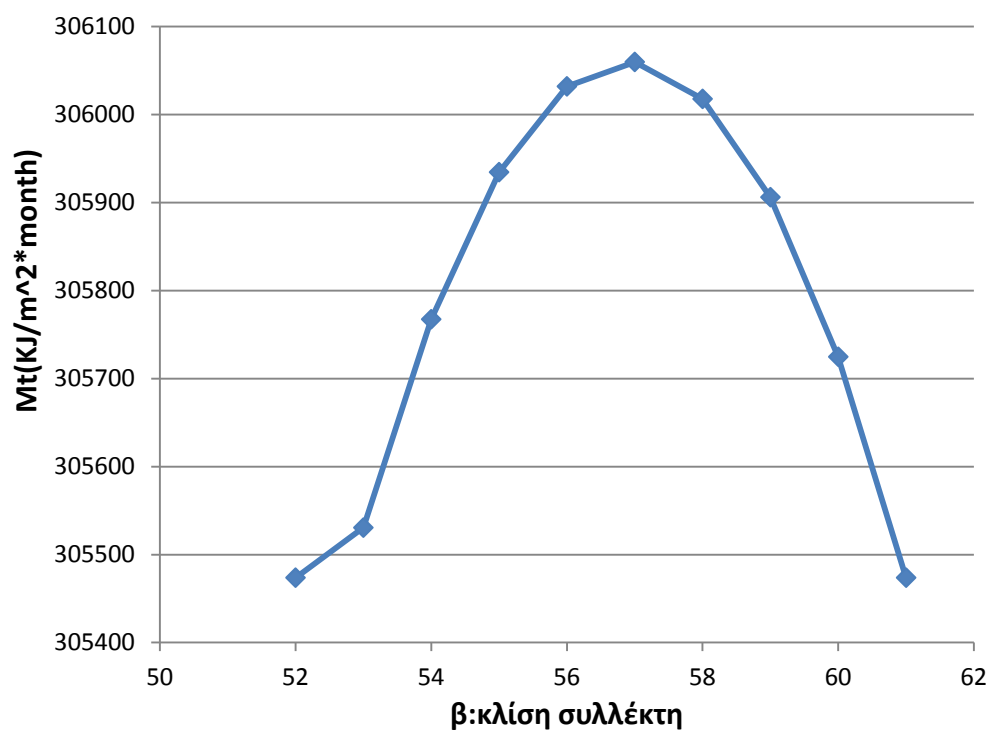
Διάγραμμα 4.3.11: Συνολική μηνιαία ακτινοβολία Νοεμβρίου

*Μεγιστοποιείται στις 53 μοίρες κλίση συλλέκτη

Δεκέμβριος

Πίνακας 4.3.12

β	Mt(KJ/m ² *month)
52	305473,7448
53	305530,5968
54	305767,356
55	305934,4881
56	306031,9421
57	306059,6883
58	306017,7183
59	305906,0448
60	305724,7019
61	305473,7448



Διάγραμμα 4.3.12: Συνολική μηνιαία ακτινοβολία Δεκεμβρίου

*Μεγιστοποιείται στις 57μοίρες κλίση συλλέκτη

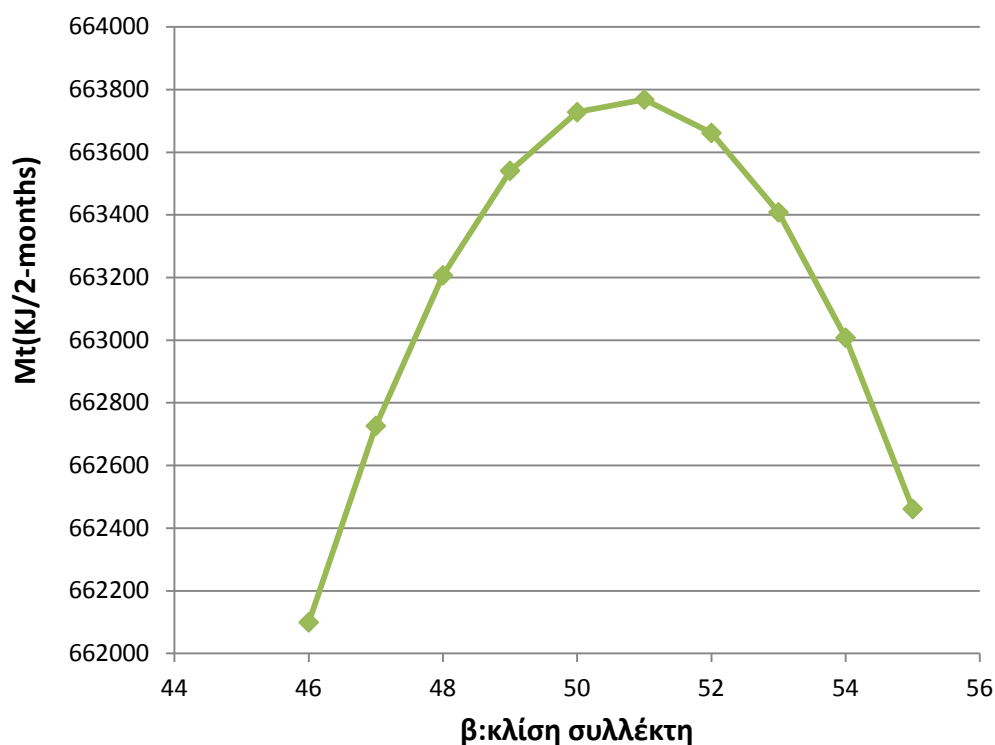
4.4:Πίνακες και διαγράμματα συνολικής μέσης προσπίπτουσας ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου για κάθε δίμηνο

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα καθώς και οι αντίστοιχοι πίνακες όπου για κάθε δίμηνο υπολογίζεται σε ποιά κλίση του συλλέκτη έχω μεγιστοποίηση της συνολικής μέσης προσπίπτουσας ακτινοβολίας Mt(KJ/m²*2-months)

Ιανουάριος-Φεβρουάριος

Πίνακας 4.4.1

β	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Mt (συνολική)
	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	
46	291024,2919	371074,879	662099,171
47	291511,0905	371215,222	662726,3125
48	291933,0885	371273,8181	663206,9067
49	292290,1575	371250,6496	663540,8071
50	292582,1887	371145,7233	663727,912
51	292809,0931	370959,0713	663768,1644
52	292970,8017	370690,7505	663661,5522
53	293067,265	370340,8426	663408,1076
54	293098,4539	369909,4541	663007,908
55	293064,3588	369396,7165	662461,0753

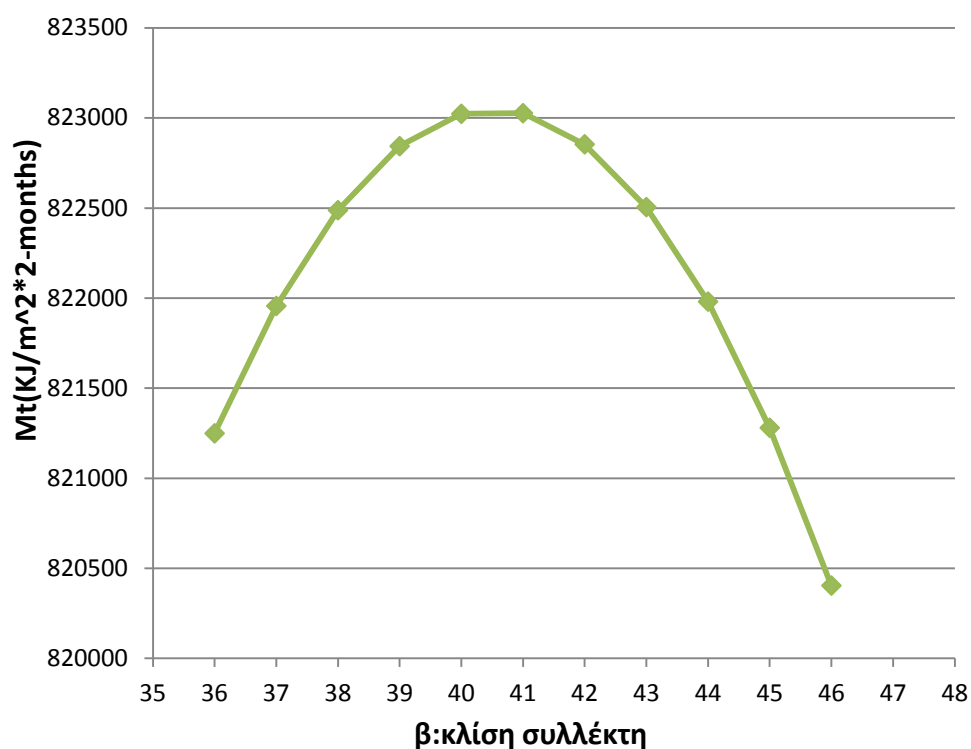


Διάγραμμα 4.4.1:Συνολική ακτινοβολία Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου
*Μεγιστοποιείται στις 51 μοίρες κλίση συλλέκτη

Φεβρουάριος-Μάρτιος

Πίνακας 4.4.2

	Φεβρουάριος	Μάρτιος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
36	365197,0719	456052,0291	821249,101
37	366148,4362	455807,9048	821956,341
38	367019,5971	455468,2216	822487,8187
39	367810,2891	455033,0831	822843,3721
40	368520,2714	454502,6216	823022,893
41	369149,3277	453876,999	823026,3266
42	369697,2664	453156,4056	822853,672
43	370163,9207	452341,061	822504,9817
44	370549,1483	451431,2136	821980,3619
45	370852,8319	450427,1405	821279,9724
46	371074,879	449329,1476	820404,0266
47	371215,222	448137,5693	819352,7913
48	371273,8181	446852,7686	818126,5867



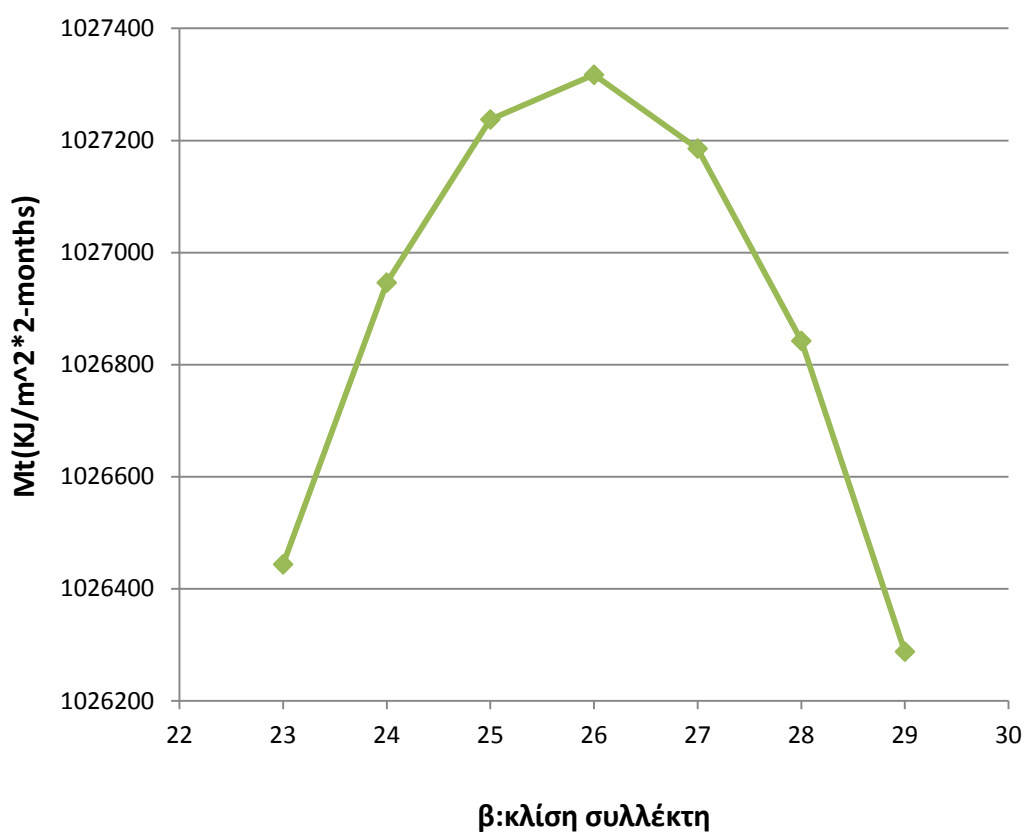
Διάγραμμα 4.4.2:Συνολική ακτινοβολία Φεβρουαρίου-Μαρτίου

*Μεγιστοποιείται στις 41 μοίρες κλίση συλλέκτη

Μάρτιος-Απρίλιος

Πίνακας 4.4.3

	Μάρτιος	Απρίλιος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
23	450535,7	575908,1	1026443,842
24	451530	575416,4	1026946,444
25	452430,1	574807,6	1027237,668
26	453235,6	574081,8	1027317,427
27	453946,3	573239,4	1027185,696
28	454562,1	572280,4	1026842,514
29	455082,7	571205,3	1026287,988



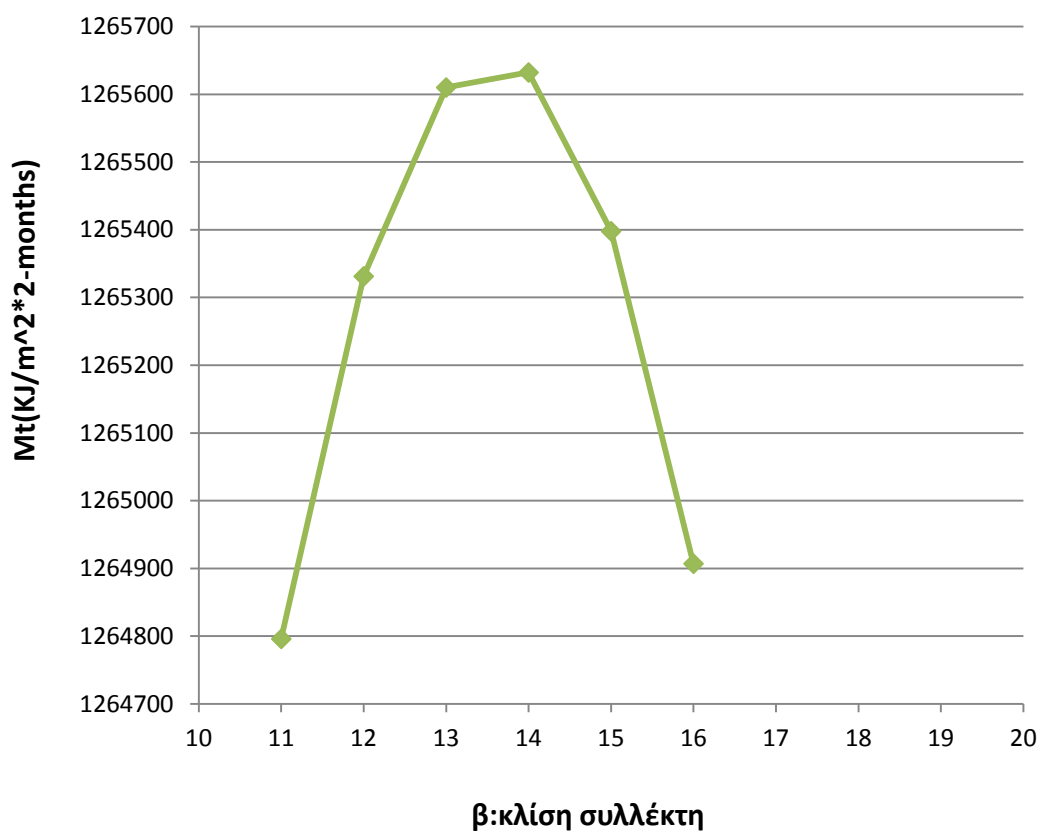
Διάγραμμα 4.4.3:Συνολική ακτινοβολία Μαρτίου-Απριλίου

*Μεγιστοποιείται στις 26 μοίρες κλίση συλλέκτη

Απρίλιος-Μάιος

Πίνακας 4.4.4

	Απρίλιος	Μάιος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
11	572654,4319	692141,6427	1264796,075
12	573569,6351	691761,6949	1265331,33
13	574368,2795	691241,8211	1265610,101
14	575050,1221	690582,1796	1265632,302
15	575614,955	689782,9715	1265397,926
16	576062,6061	688844,4401	1264907,046



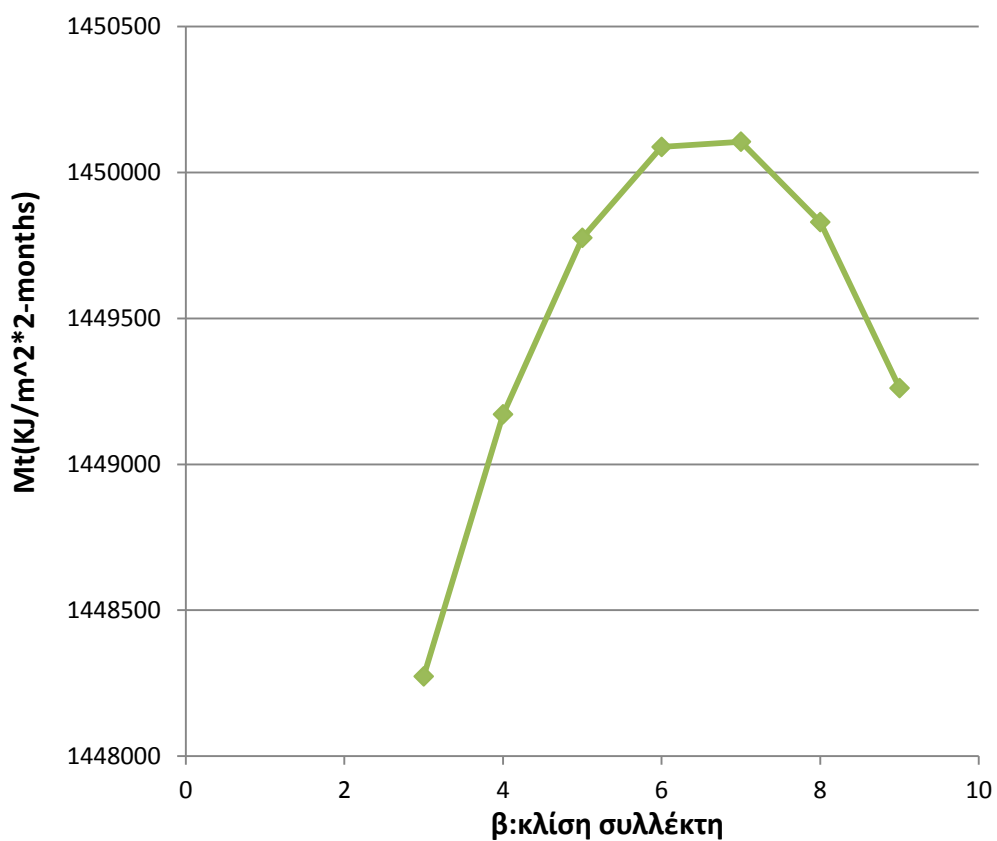
Διάγραμμα 4.4.4: Συνολική ακτινοβολία Απριλίου-Μαΐου

*Μεγιστοποιείται στις 14 μοίρες κλίση συλλέκτη

Μάιος-Ιούνιος

Πίνακας 4.4.5

	Μάιος	Ιούνιος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
3	690138,9618	758134,0878	1448273,05
4	690879,0041	758292,2076	1449171,212
5	691479,3892	758296,7469	1449776,136
6	691939,9343	758147,7043	1450087,639
7	692260,4991	757845,1251	1450105,624
8	692440,986	757389,1015	1449830,087
9	692481,34	756779,7724	1449261,112



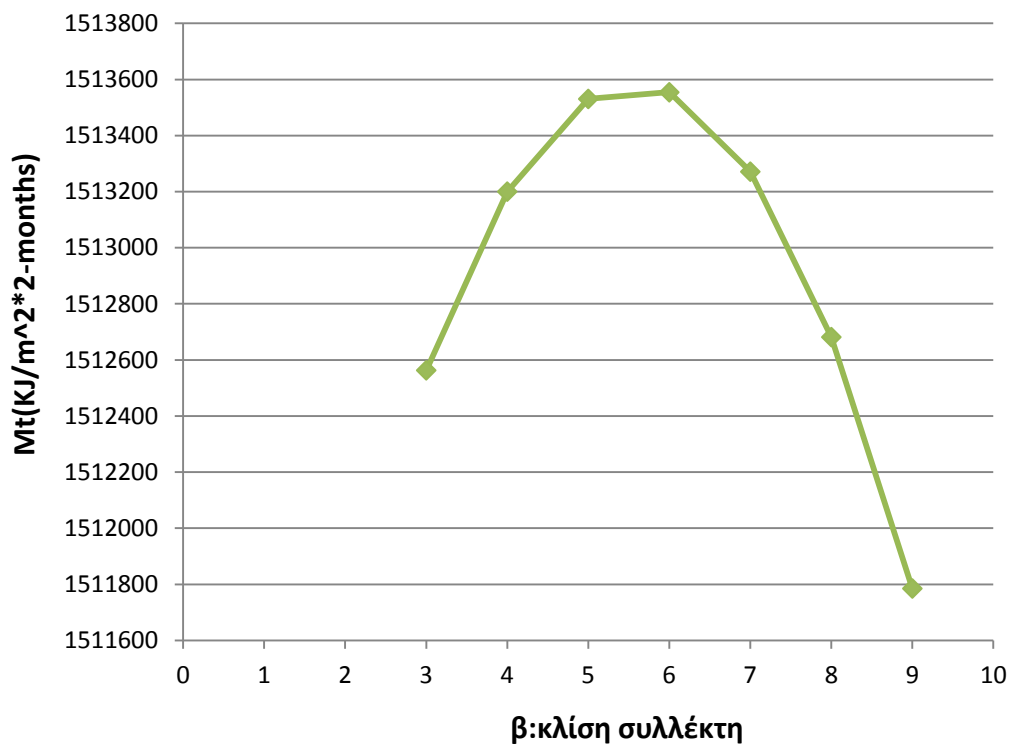
Διάγραμμα 4.4.5: Συνολική ακτινοβολία Μαΐου-Ιουνίου

*Μεγιστοποιείται στις 7 μοίρες κλίση συλλέκτη

Ιούνιος-Ιούλιος

Πίνακας 4.4.6

	Ιούνιος	Ιούλιος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
3	758134,0878	754429,2523	1512563,34
4	758292,2076	754908,3339	1513200,541
5	758296,7469	755234,294	1513531,041
6	758147,7043	755407,0336	1513554,738
7	757845,1251	755426,4999	1513271,625
8	757389,1015	755292,687	1512681,789
9	756779,7724	755005,6357	1511785,408



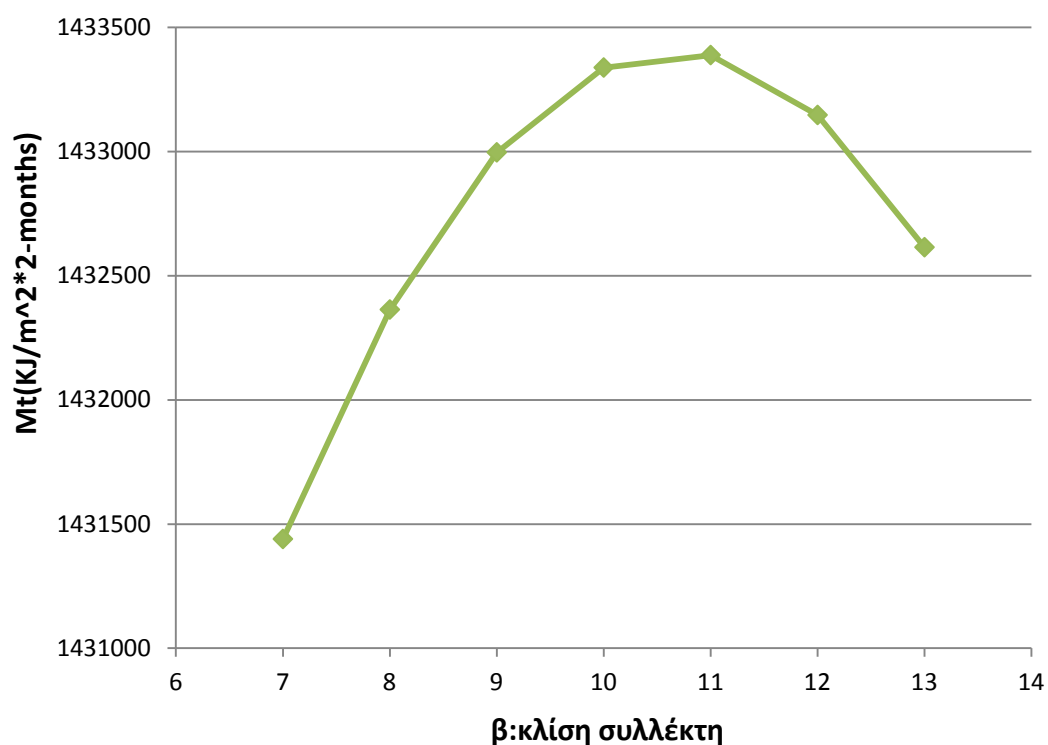
Διάγραμμα 4.4.6: Συνολική ακτινοβολία Ιουνίου-Ιουλίου

*Μεγιστοποιείται στις 6 μοίρες κλίση συλλέκτη

Ιούλιος-Αύγουστος

Πίνακας 4.4.7

	Ιούλιος	Αύγουστος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
7	755426,4999	676013,2338	1431439,734
8	755292,687	677071,0973	1432363,784
9	755005,6357	677991,0767	1432996,712
10	754565,4335	678772,8916	1433338,325
11	753972,2143	679416,3039	1433388,518
12	753226,159	679921,1176	1433147,277
13	752327,4947	680287,1791	1432614,674
14	751276,4953	680514,3766	1431790,872
15	750073,4808	680602,6412	1430676,122
16	748718,8177	680551,9457	1429270,763



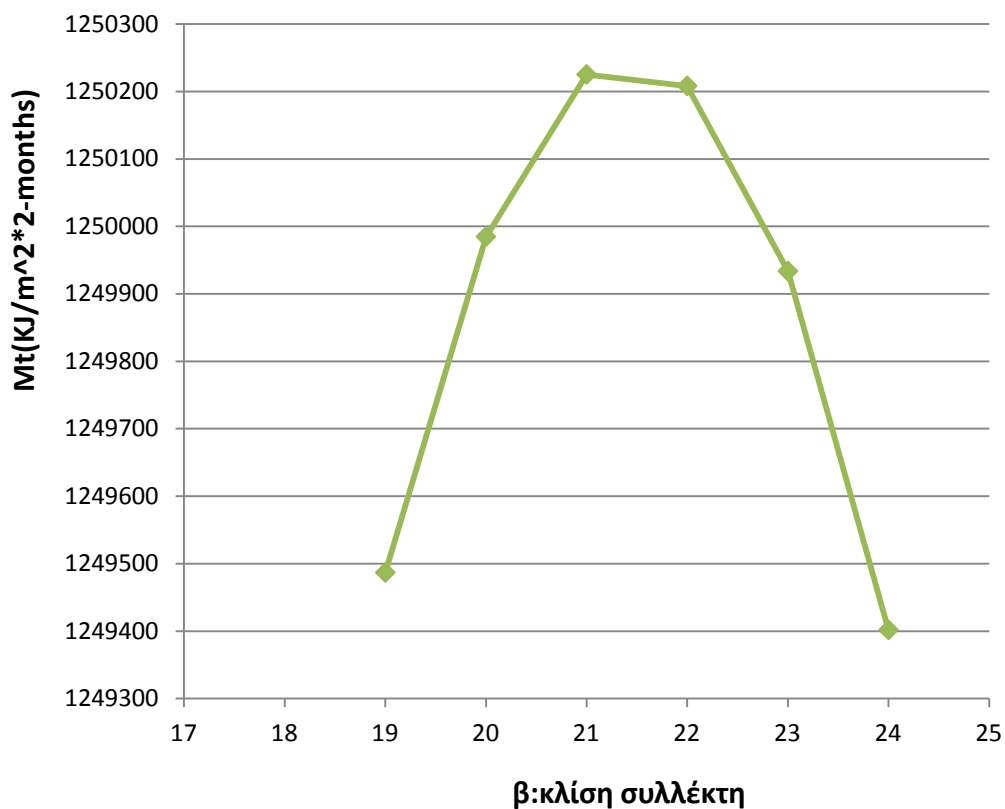
Διάγραμμα 4.4.7: Συνολική ακτινοβολία Ιουλίου-Αυγούστου

*Μεγιστοποιείται στις 11 μοίρες κλίση συλλέκτη

Αύγουστος-Σεπτέμβριος

Πίνακας 4.4.8

	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
19	679566,4659	569920,3154	1249486,781
20	678960,5083	571024,22	1249984,728
21	678216,091	572009,123	1250225,214
22	677333,4407	572874,7245	1250208,165
23	676312,8263	573620,7607	1249933,587
24	675154,5586	574247,0045	1249401,563



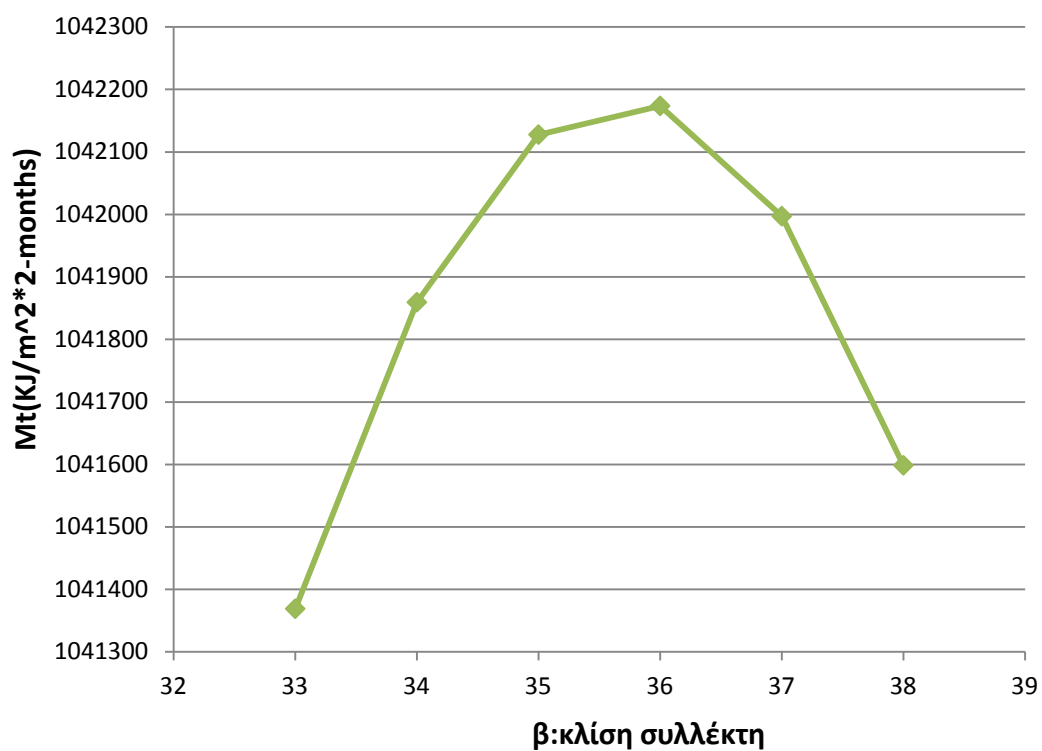
Διάγραμμα 4.4.8:Συνολική ακτινοβολία Αυγούστου-Σεπτεμβρίου

*Μεγιστοποιείται στις 21 μοίρες κλίση συλλέκτη

Σεπτέμβριος-Οκτώβριος

Πίνακας 4.4.9

	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
33	574473,1393	466895,8521	1041368,991
34	573897,0073	467962,4792	1041859,487
35	573200,9988	468926,7318	1042127,731
36	572385,3256	469788,3161	1042173,642
37	571450,2363	470546,9696	1041997,206
38	570396,0157	471202,4612	1041598,477



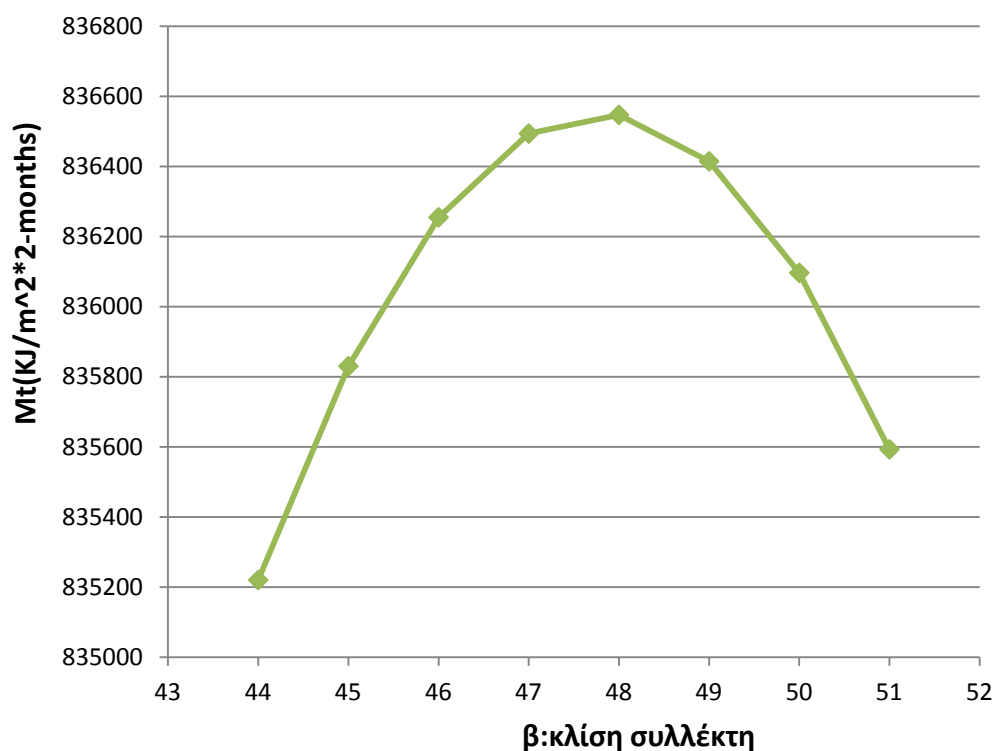
Διάγραμμα 4.4.9:Συνολική ακτινοβολία Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου

*Μεγιστοποιείται στις 36 μοίρες κλίση συλλέκτη

Οκτωβρίου-Νοεμβρίου

Πίνακας 4.4.10

	Οκτώβριος	Νοέμβριος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
44	472960,0376	362260,3221	835220,3597
45	472889,5718	362940,9932	835830,565
46	472715,2307	363540,0164	836255,2471
47	472437,0672	364057,2094	836494,2766
48	472055,1661	364492,4146	836547,5806
49	471569,6437	364845,4993	836415,143
50	470980,648	365116,3561	836097,0042
51	470288,3584	365304,9025	835593,2609



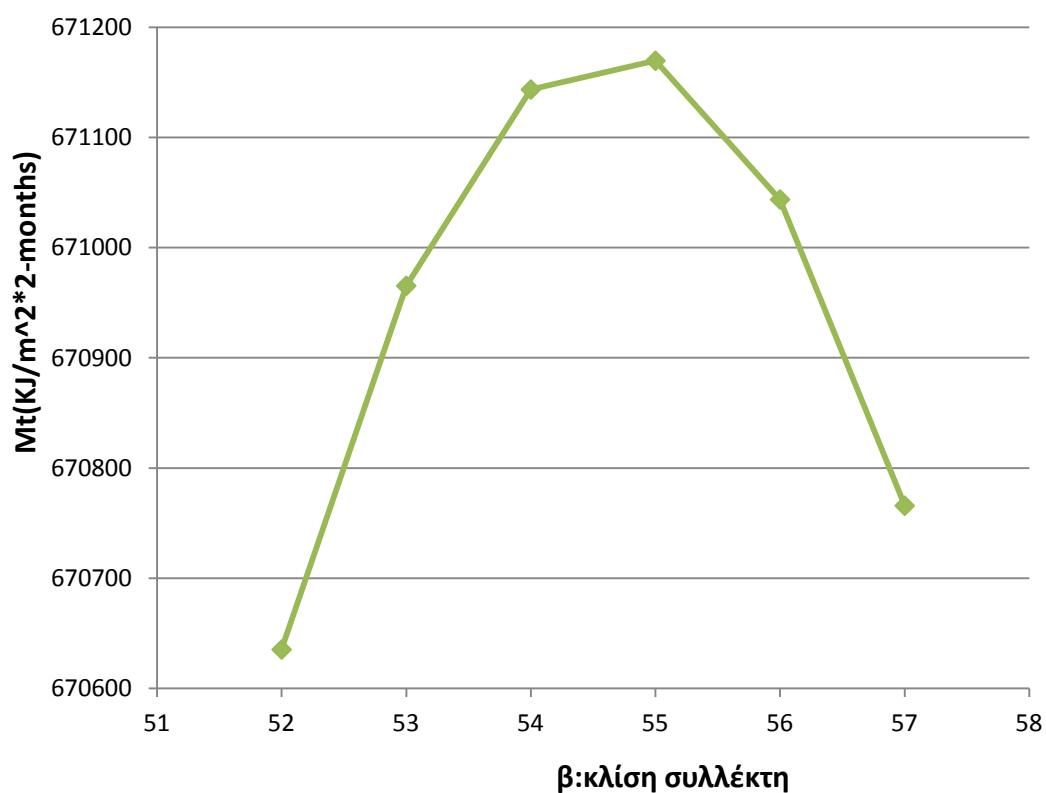
Διάγραμμα 4.4.10: Συνολική ακτινοβολία Οκτωβρίου-Νοεμβρίου

*Μεγιστοποιείται στις 48 μοίρες κλίση συλλέκτη

Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου

Πίνακας 4.4.11

	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
52	365411,081	305224,2824	670635,3634
53	365434,8592	305530,5968	670965,456
54	365376,23	305767,356	671143,586
55	365235,2112	305934,4881	671169,6993
56	365011,8457	306031,9421	671043,7878
57	364706,2016	306059,6883	670765,8899



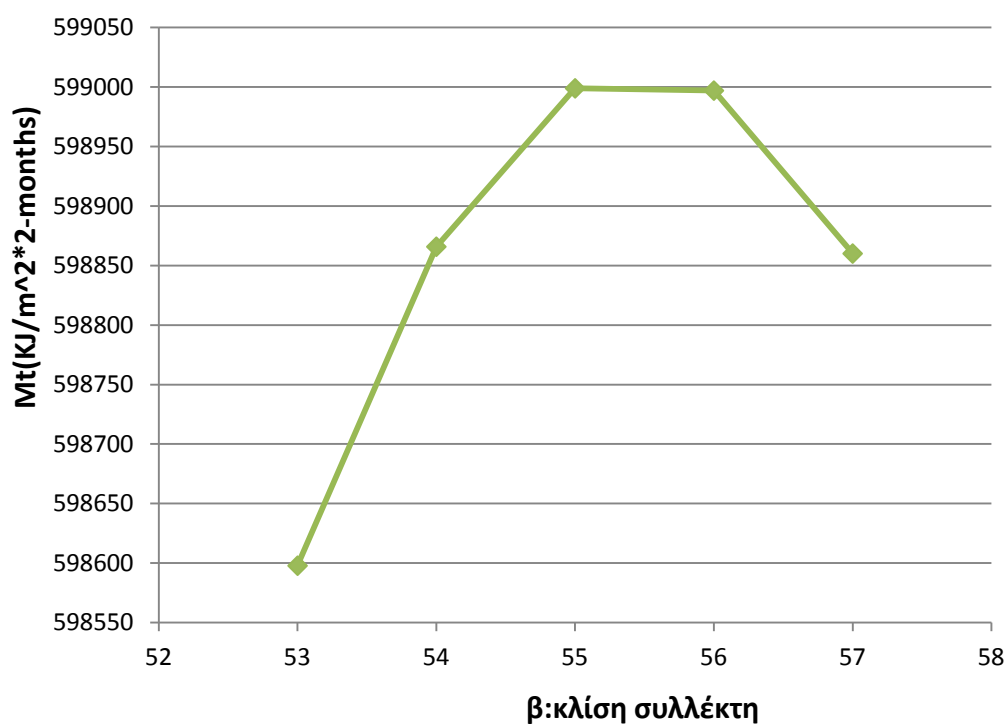
Διάγραμμα 4.4.11:Συνολική ακτινοβολία Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου

*Μεγιστοποιείται στις 55 μοίρες κλίση συλλέκτη

Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου

Πίνακας 4.4.12

	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
53	305530,5968	293067,265	598597,8618
54	305767,356	293098,4539	598865,81
55	305934,4881	293064,3588	598998,8469
56	306031,9421	292964,99	598996,9321
57	306059,6883	292800,3778	598860,0661



Διάγραμμα 4.4.12:Συνολική ακτινοβολία Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου

*Μεγιστοποιείται στις 55 μοίρες κλίση συλλέκτη

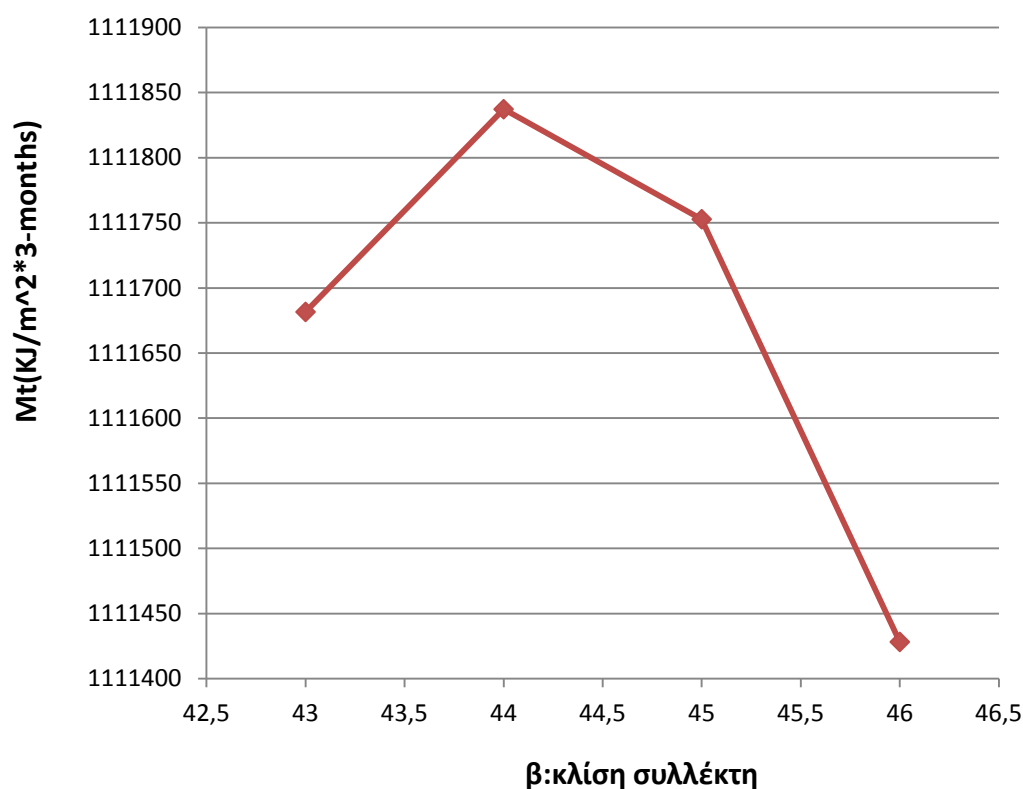
4.5: Πίνακες και διαγράμματα συνολικής μέσης προσπίπτουσας ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου για κάθε τρίμηνο

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα καθώς και οι αντίστοιχοι πίνακες όπου για κάθε τρίμηνο υπολογίζεται σε ποιά κλίση του συλλέκτη έχω μεγιστοποίηση της συνολικής μέσης προσπίπτουσας ακτινοβολίας Mt(KJ/m²*3-months).

Ιανουάριος-Φεβρουάριος-Μάρτιος

Πίνακας 4.5.1:

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
43	289176,6746	370163,9207	452341,061	1111681,656
44	289856,9062	370549,1483	451431,2136	1111837,268
45	290472,8412	370852,8319	450427,1405	1111752,814
46	291024,2919	371074,879	449329,1476	1111428,319



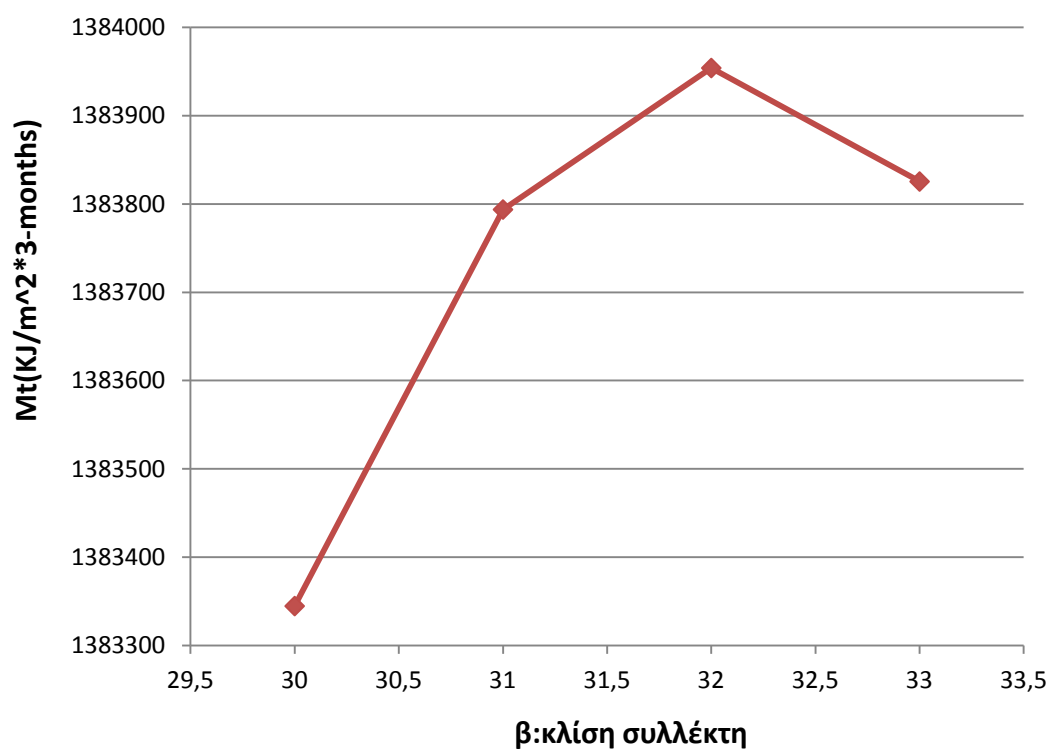
Διάγραμμα 4.5.1: Συνολική ακτινοβολία Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου-Μαρτίου

*Μεγιστοποιείται στις 44 μοίρες κλίση συλλέκτη

Φεβρουάριος-Μάρτιος-Απρίλιος

Πίνακας 4.5.2:

	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
30	357822,5397	455507,9141	570014,3707	1383344,825
31	359248,1908	455837,6848	568707,9539	1383793,829
32	360595,7402	456071,8875	567286,4593	1383954,087
33	361864,7776	456210,4509	565750,32	1383825,549



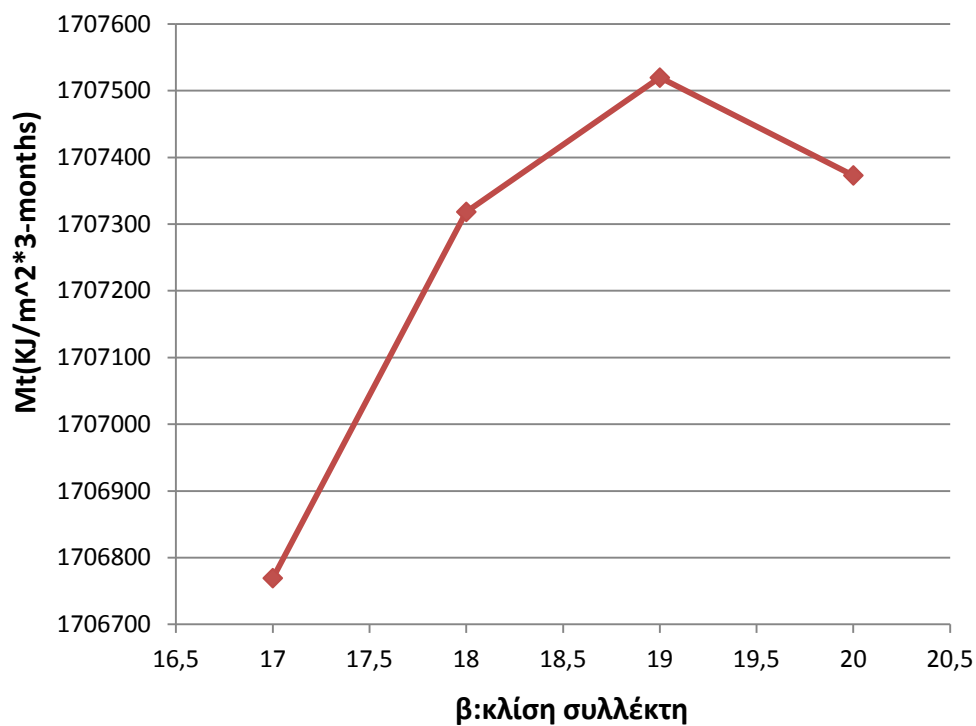
Διάγραμμα 4.5.2:Συνολική ακτινοβολία Φεβρουαρίου-Μαρτίου-Απριλίου

*Μεγιστοποιείται στις 32 μοίρες κλίση συλλέκτη

Μάρτιος-Απρίλιος-Μάιος

Πίνακας 4.5.3:

	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
17	442609,4509	576392,9393	687766,8713	1706769,261
18	444161,9355	576605,8538	686550,5934	1707318,383
19	445622,4088	576701,2847	685195,9768	1707519,67
20	446990,4258	576679,203	683703,4342	1707373,063



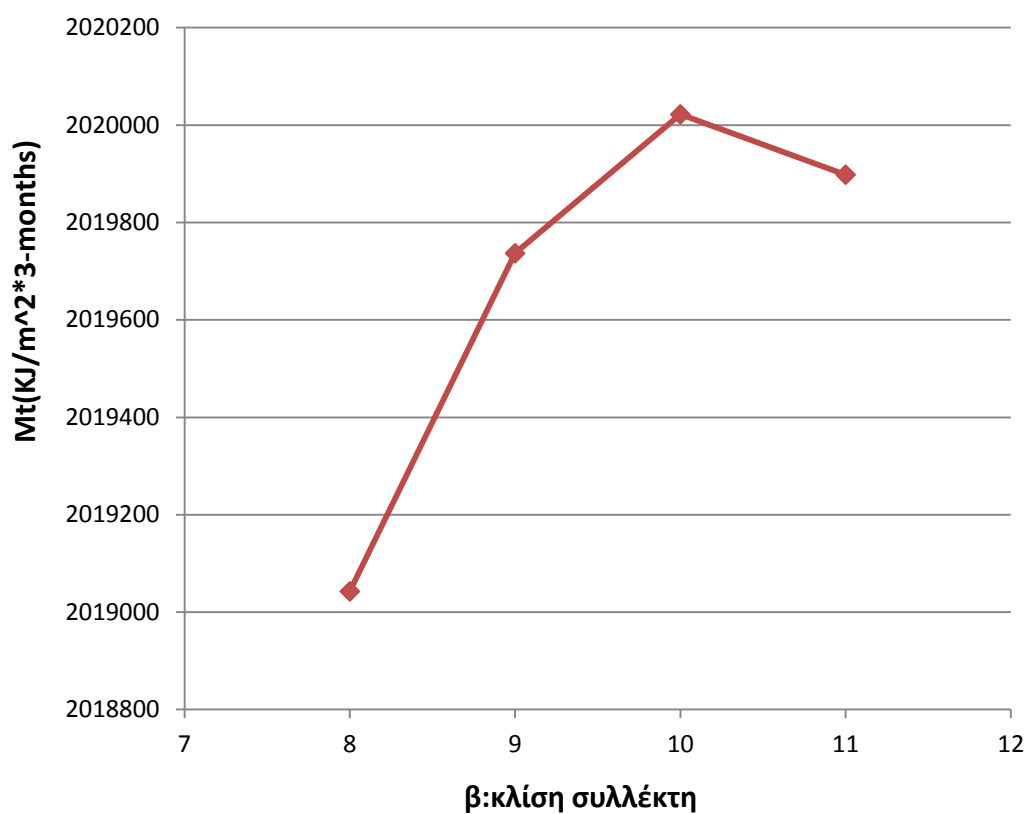
Διάγραμμα 4.5.3: Συνολική ακτινοβολία Μαρτίου-Απριλίου-Μαΐου

*Μεγιστοποιείται στις 19 μοίρες κλίση συλλέκτη

Απρίλιος-Μάιος-Ιούνιος

Πίνακας 4.5.4:

	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
8	569212,4353	692440,986	757389,1015	2019042,523
9	570475,5002	692481,34	756779,7724	2019736,613
10	571622,9489	692381,5487	756017,3235	2020021,821
11	572654,4319	692141,6427	755101,987	2019898,062



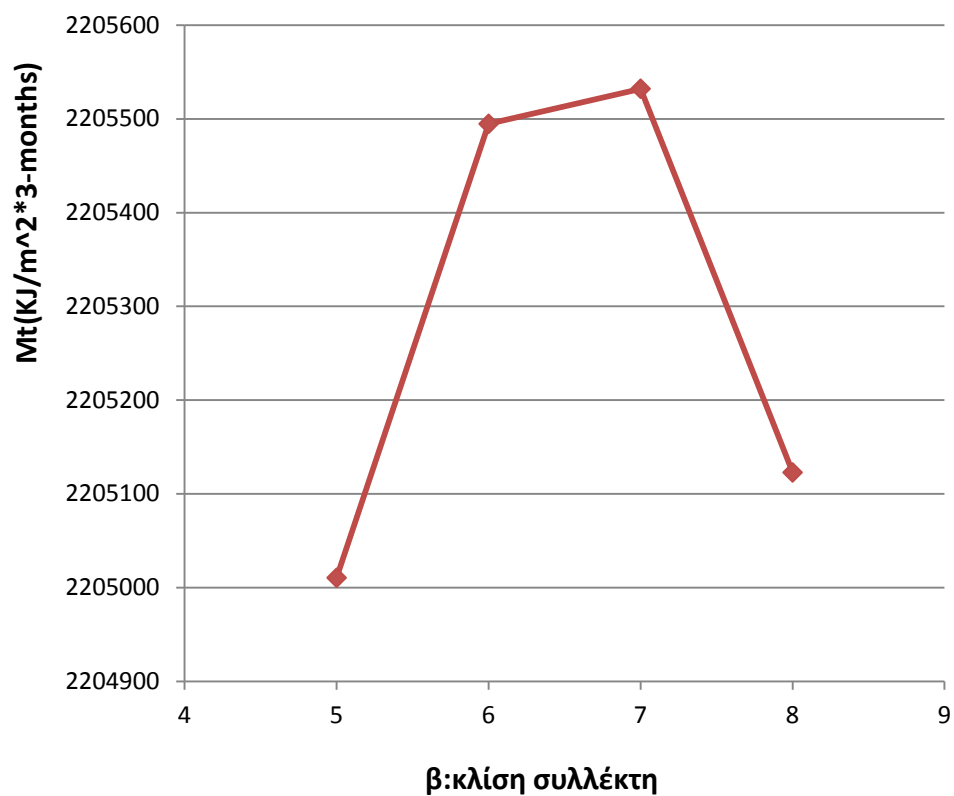
Διάγραμμα 4.5.4:Συνολική ακτινοβολία Απριλίου-Μαΐου-Ιουνίου

*Μεγιστοποιείται στις 10 μοίρες κλίση συλλέκτη

Μάιος-Ιούνιος-Ιούλιος

Πίνακας 4.5.5:

	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
4	690879,0041	758292,2076	754908,3339	2204079,546
5	691479,3892	758296,7469	755234,294	2205010,43
6	691939,9343	758147,7043	755407,0336	2205494,672
7	692260,4991	757845,1251	755426,4999	2205532,124
8	692440,986	757389,1015	755292,687	2205122,775



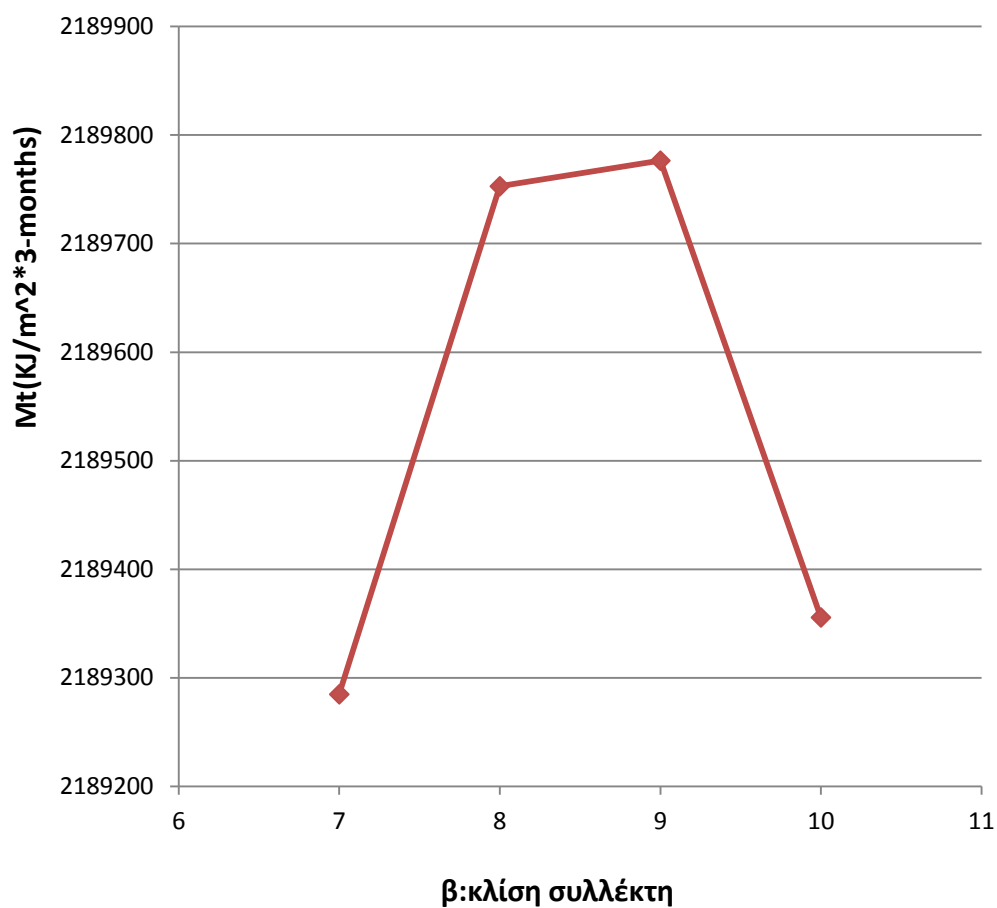
Διάγραμμα 4.5.5:Συνολική ακτινοβολία Μαΐου-Ιουνίου-Ιουλίου

*Μεγιστοποιείται στις 7 μοίρες κλίση συλλέκτη

Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος

Πίνακας 4.5.6:

	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
7	757845,1251	755426,4999	676013,2338	2189284,859
8	757389,1015	755292,687	677071,0973	2189752,886
9	756779,7724	755005,6357	677991,0767	2189776,485
10	756017,3235	754565,4335	678772,8916	2189355,649



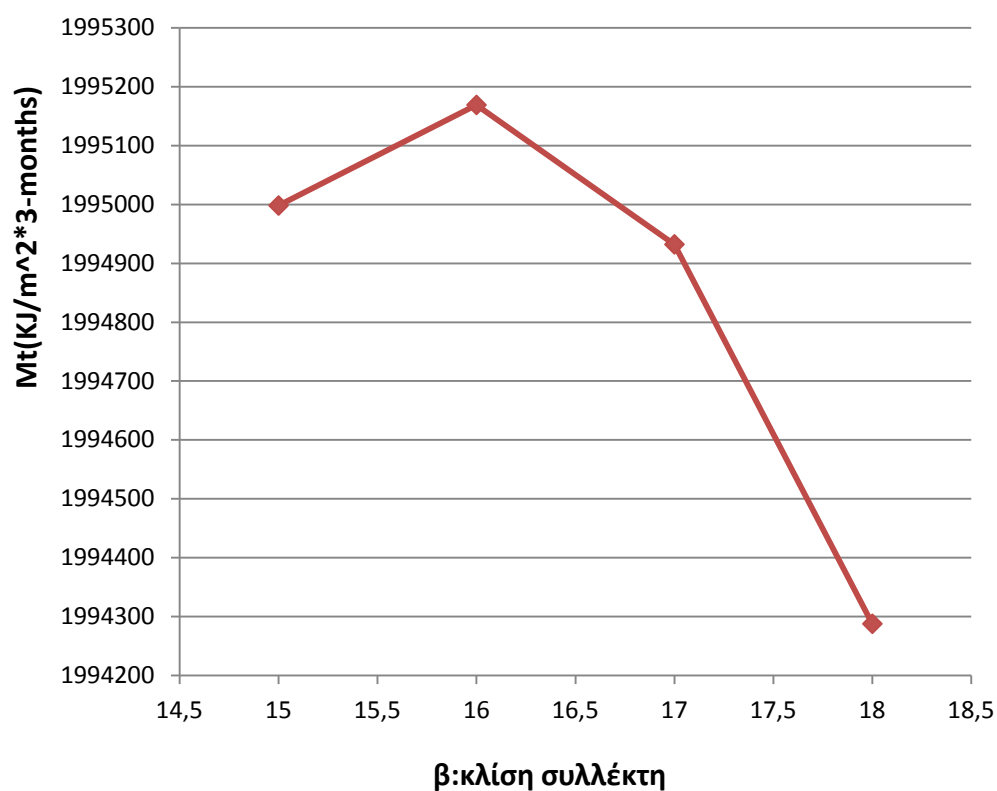
Διάγραμμα 4.5.6: Συνολική ακτινοβολία Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου

*Μεγιστοποιείται στις 9 μοίρες κλίση συλλέκτη

Ιούλιος-Αύγουστος-Σεπτέμβριος

Πίνακας 4.5.7:

	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
15	750073,4808	680602,6412	564321,9485	1994998,07
16	748718,8177	680551,9457	565898,1358	1995168,899
17	747212,9187	680362,3058	567356,8829	1994932,107
18	745556,2424	680033,7792	568697,7456	1994287,767



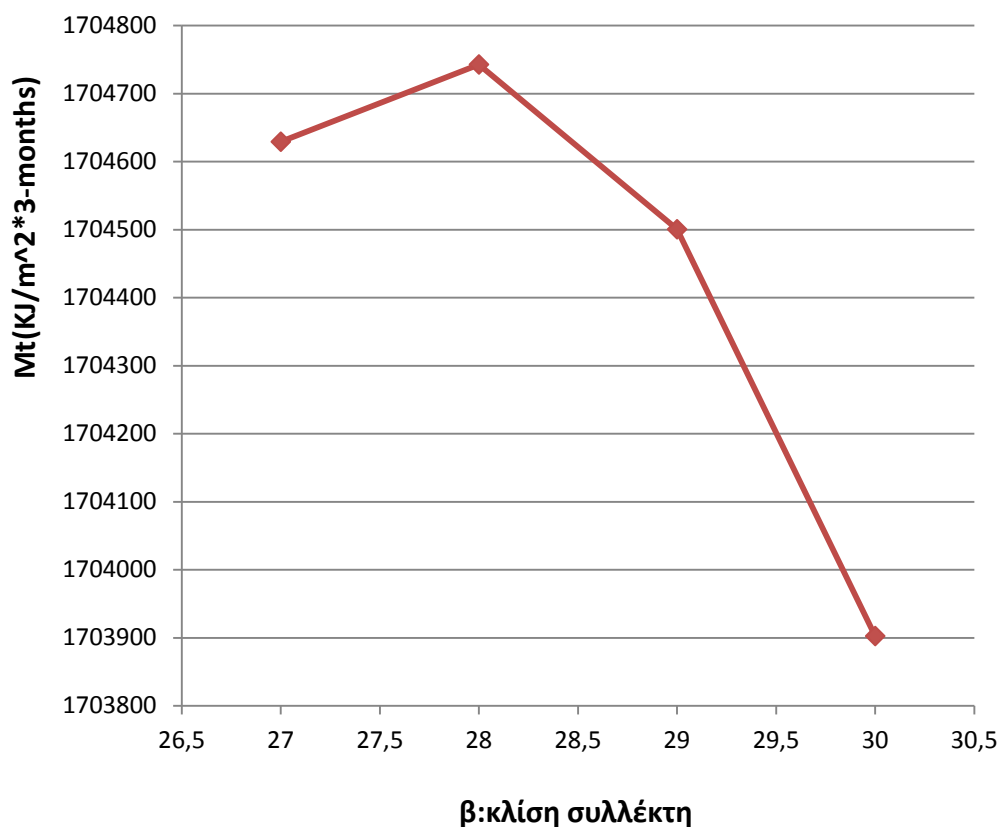
Διάγραμμα 4.5.7:Συνολική ακτινοβολία Ιουλίου-Αυγούστου-Σεπτεμβρίου

*Μεγιστοποιείται στις 16 μοίρες κλίση συλλέκτη

Αύγουστος-Σεπτέμβριος-Οκτώβριος

Πίνακας 4.5.8:

	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
27	670857,5736	575405,2562	458366,5873	1704629,417
28	669152,6389	575550,7882	460039,5549	1704742,982
29	667312,2321	575575,9398	461612,5614	1704500,733
30	665336,9137	575480,7034	463085,1275	1703902,745



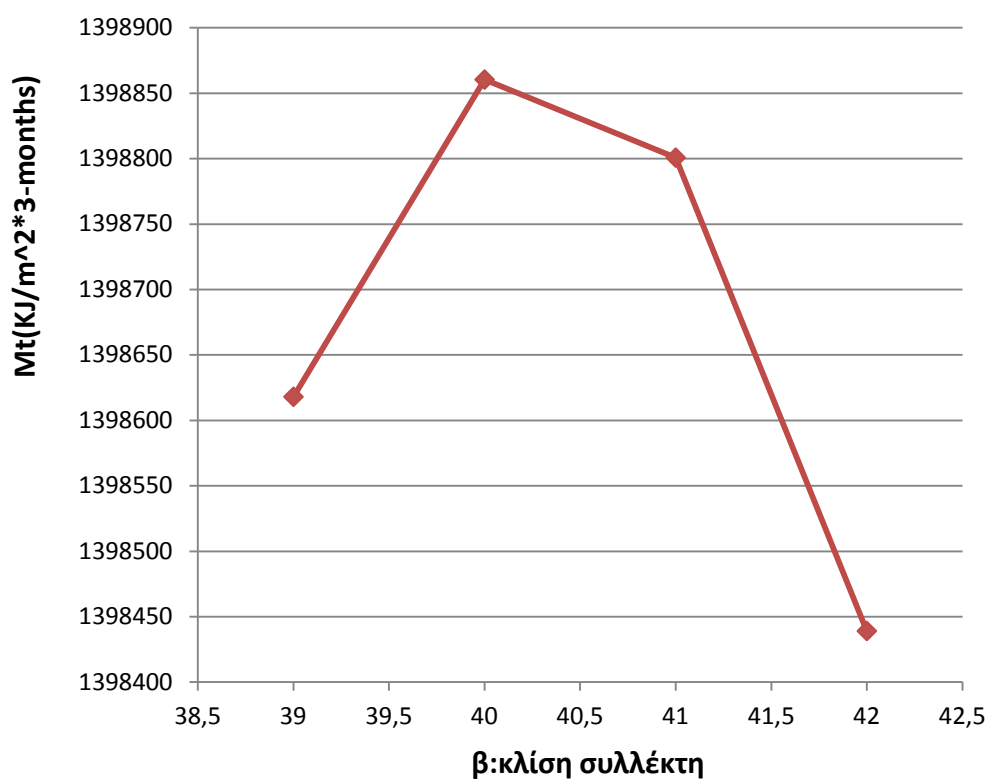
Διάγραμμα 4.5.8:Συνολική ακτινοβολία Αυγούστου-Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου

*Μεγιστοποιείται στις 28 μοίρες κλίση συλλέκτη

Σεπτέμβριος-Οκτώβριος-Νοέμβριος

Πίνακας 4.5.9:

	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
39	569222,9849	471754,5914	357640,3731	1398617,949
40	567931,5012	472203,1918	358725,6781	1398860,371
41	566521,958	472548,126	359730,6194	1398800,703
42	564994,7848	472789,2887	360654,8907	1398438,964



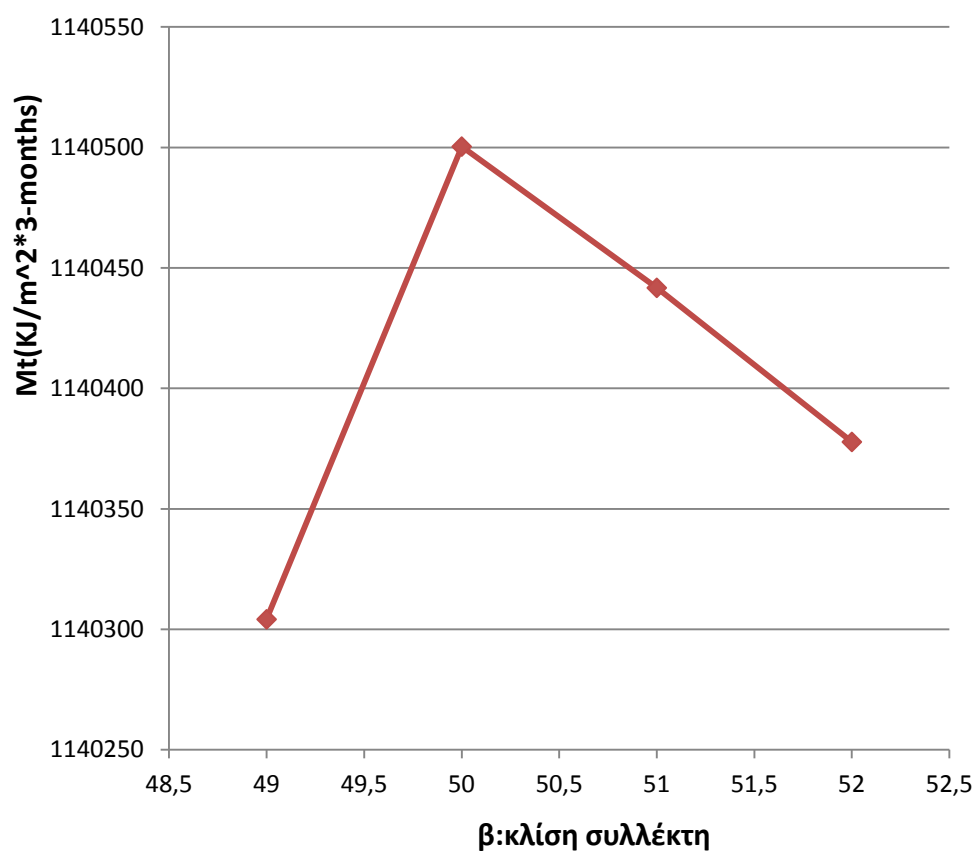
Διάγραμμα 4.5.9:Συνολική ακτινοβολία Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου-Νοεμβρίου

*Μεγιστοποιείται στις 40 μοίρες κλίση συλλέκτη

Οκτώβριος-Νοέμβριος-Δεκέμβριος

Πίνακας 4.5.10:

	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
49	471569,6437	364845,4993	303889,0477	1140304,191
50	470980,648	365116,3561	304403,3829	1140500,387
51	470288,3584	365304,9025	304848,5063	1140441,767
52	469492,9857	365411,081	305473,7448	1140377,811



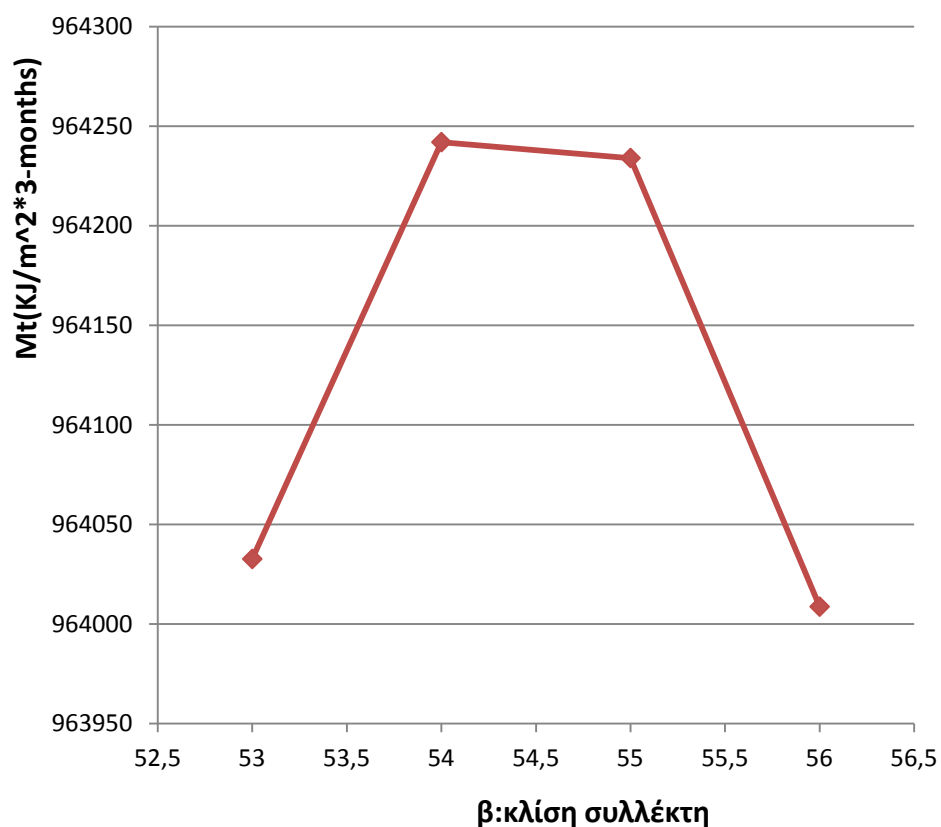
Διάγραμμα 4.5.10: Συνολική ακτινοβολία Οκτωβρίου-Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου

*Μεγιστοποιείται στις 50 μοίρες κλίση συλλέκτη

Νοέμβριος-Δεκέμβριος-Ιανουάριος

Πίνακας 4.5.11:

	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
53	365434,8592	305530,5968	293067,265	964032,721
54	365376,23	305767,356	293098,4539	964242,04
55	365235,2112	305934,4881	293064,3588	964234,0581
56	365011,8457	306031,9421	292964,99	964008,7778



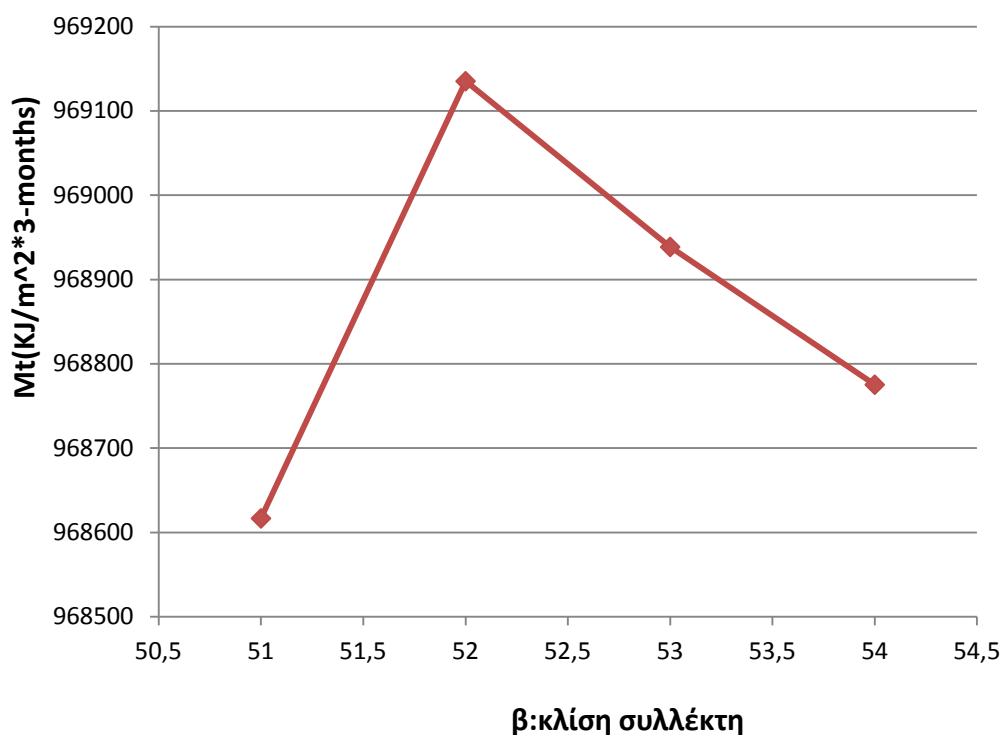
Διάγραμμα 4.5.11:Συνολική ακτινοβολία Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου

*Μεγιστοποιείται στις 54 μοίρες κλίση συλλέκτη

Δεκέμβριος-Ιανουάριος-Φεβρουαρίου

Πίνακας 4.5.12:

	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	
β	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(KJ/month)	Mt(συνολική)
51	304848,5063	292809,0931	370959,0713	968616,6707
52	305473,7448	292970,8017	370690,7505	969135,297
53	305530,5968	293067,265	370340,8426	968938,7044
54	305767,356	293098,4539	369909,4541	968775,2641



Διάγραμμα 4.5.12:Συνολική ακτινοβολία Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου

*Μεγιστοποιείται στις 52 μοίρες κλίση συλλέκτη

4.6:Πίνακες και διαγράμματα συνολικής μέσης προσπίπτουσας ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου για την περίοδο του χειμώνα και του καλοκαιριού

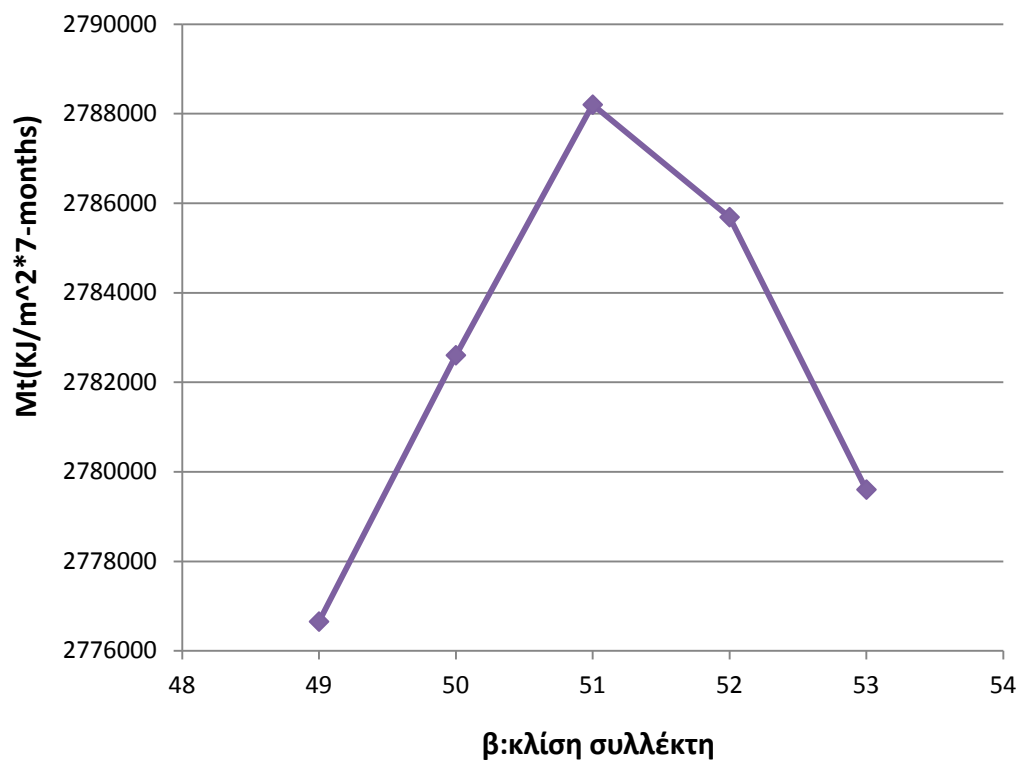
Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες και τα διαγράμματα για τη μεγιστοποίηση της συνολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας τόσο για την περίοδο του χειμωνα όσο και του καλοκαιριού.

Χειμώνας: Σεπτέμβριος-Οκτώβριος-Νοέμβριος-Δεκέμβριος-Ιανουάριος
-Φεβρουάριος

Πίνακας 4.6.1:

β	Mt(συνολική)
49	2776653,942
50	2782604,089
51	2788202,23
52	2785689,48
53	2779602,84

*Όπου Mt Συνολική(KJ/m²*7-months): το άθροισμα των επιμέρους Mt για τους μήνες: Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος



Διάγραμμα 4.6.1: Συνολική ακτινοβολία χειμώνα

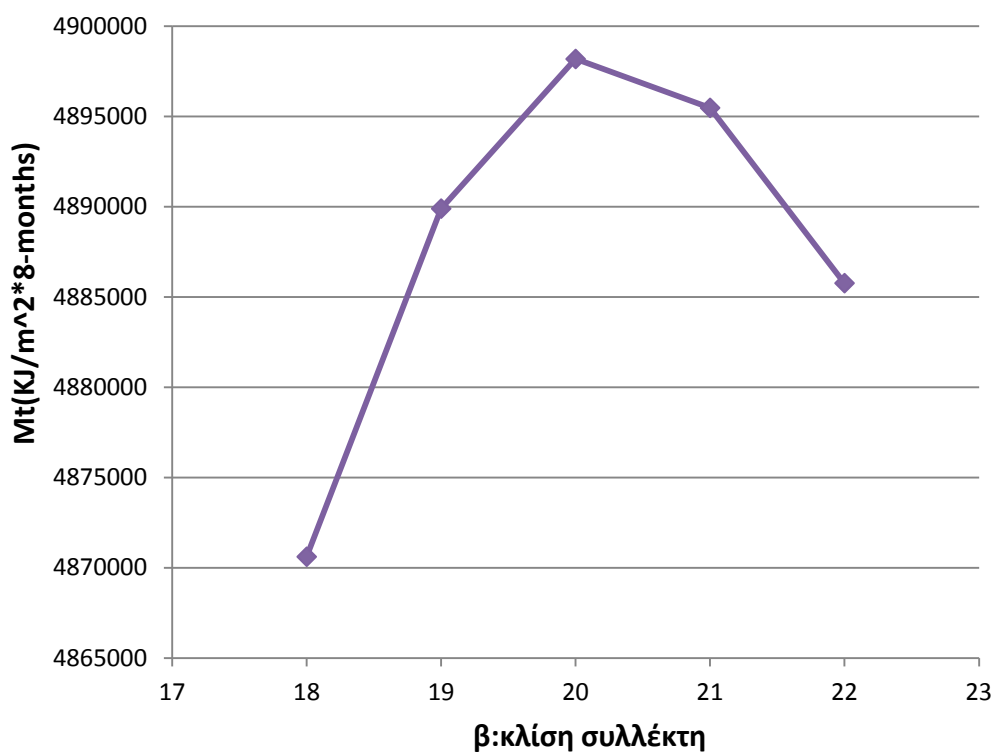
*Μεγιστοποιείται στις 51 μοίρες κλίση συλλέκτη

Καλοκαίρι: Μάρτιος-Απρίλιος-Μάιος-Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος-Σεπτέμβριος-Οκτώβριος

Πίνακας 4.6.2:

β	Mt(συνολική)
18	4870611,258
19	4889897,56
20	4898187
21	4895478,045
22	4885767,483

*Όπου Mt Συνολική(KJ/m²*7-months): το άθροισμα των επιμέρους Mt για τους μήνες: Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος, Οκτώβριος



Διάγραμμα 4.6.2: Συνολική ακτινοβολία καλοκαιριού

*Μεγιστοποιείται στις 20 μοίρες κλίση συλλέκτη

Παρατηρήσεις:

Γενικά υπάρχουν κάποιοι πρακτικοί κανόνες σχετικά με την κλίση του συλλέκτη :

- 1) Για μέγιστη ετήσια ενέργεια απαιτείται κλίση του συλλέκτη ίση με το γεωγραφικό πλάτος, $\varphi = \beta^\circ$
- 2) Για μέγιστη ενέργεια χειμώνα απαιτείται κλίση συλλέκτη κατά 15 μοίρες μεγαλύτερη του γεωγραφικού πλάτους, $\varphi = \beta^\circ + 15$
- 3) Για μέγιστη ενέργεια καλοκαιριού απαιτείται κλίση του συλλέκτη κατά 15 μοίρες μικρότερη του γεωγραφικού πλάτους, $\varphi = \beta^\circ - 15$
- 4) Αποκλίσεις από τις παραπάνω τιμές προκαλούν μικρές μειώσεις της ενέργειας. π.χ. απόκλιση του β κατά $+15^\circ$ ή -15° μειώνει την ενέργεια μόνο κατά 5%

[21]

Η παρατήρηση 4 είναι πολύ χρήσιμη για τους παραπάνω υπολογισμούς καθώς παρατηρείται μικρή απόκλιση από τους κανόνες 2 και 3 και για τις δύο περιόδους. Πιο συγκεκριμένα κατά την περίοδο του χειμώνα προέκυψε ότι η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μεγιστοποιείται στις 51 μοίρες κλίση συλλέκτη δηλαδή για κλίση $\varphi = \beta^\circ + 13^\circ = 38 + 13 = 51^\circ$ αντί για $\varphi = \beta^\circ + 15 = 53^\circ$ που θα έπρεπε να προκύψει σύμφωνα με τον κανόνα 2. Δηλαδή, παρατηρείται απόκλιση του β κατά -2° . Αντίστοιχα για την περίοδο του καλοκαιριού παρατηρούμε ότι η συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία μεγιστοποιείται για κλίση συλλέκτη $\varphi = \beta^\circ - 18^\circ = 38 - 18 = 20^\circ$ αντί για $\varphi = \beta^\circ - 15 = 23^\circ$ που θα έπρεπε να προκύψει σύμφωνα με τον κανόνα 3. Δηλαδή παρατηρείται απόκλιση του β κατά $+3^\circ$.

Οι γενικοί κανόνες 1, 2 και 3 είναι λογικό να εμφανίζουν κάποια απόκλιση κατά την εφαρμογή τους αφού η μεγιστοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος του τόπου στον οποίο είναι εγκατεστημένοι οι ηλιακοί συλλέκτες. Όπως είναι φυσικό σημαντικό ρόλο παίζουν οι κλιματολογικές συνθήκες και κατ'επέκταση η κατάσταση του εδάφους, αν αυτό είναι για παράδειγμα χιονισμένο ή σε συνηθισμένη κατάσταση. Άλλος παράγοντας που θα μπορούσε να επηρεάσει τη μεγιστοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι αν για παράδειγμα παρεμβάλλονται κάποια βουνά τα οποία θα μπορούσαν να δημιουργήσουν σκίαση στο σημείο που είναι τοποθετημένοι οι ηλιακοί συλλέκτες. Όλα αυτά είναι παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη αν θέλουμε να έχουμε ακριβείς υπολογισμούς.

Βιβλιογραφία

1. <https://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/8046>
2. <https://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/38999>
3. www.cres.gr/kape/energeia-politis
4. <https://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/38512>
5. <https://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/40298>
6. <https://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/770>
7. <https://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/8330>
8. <https://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/6848>
9. <http://www.haniotika-nea.gr/75390-efarmoges-iliakis-energeias/>
10. <https://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/38882>
11. <http://environ.survey.ntua.gr/files/mathimata/6420/APE-kef1-6.pdf>
12. http://www.haniotika-nea.gr/media/old/extra_104263_Untitled-4.jpg
13. <http://www.4green.gr/jpg/4green/350/news/agri.jpg>
14. <http://aenaos-systems.gr/wp-content/uploads/2016/02/fv-stegi.jpg>
15. <http://www.ecosense.gr/wp-content/uploads/2013/10/iliothermia-1.jpg>
16. https://agrotikes-eykairies.gr/images/Foto-Green/rsz_thermo-1.jpg
17. http://www.solarlight.gr/images/iliaki_psixi01.jpg
18. <http://20minutegarden.com/wp-content/uploads/2008/05/solar-cooker-assembled-300x225.jpg>
19. <http://www.symagro.com/damaskina-apoksiramena/>
20. <http://rodbees.blogspot.gr/2013/01/blog-post.html>
21. Θερμικά Ηλιακά Συστήματα Μέρος Πρώτο, Κίμωνος Α. Αντωνόπουλου Καθηγητού Ε.Μ Πολυτεχνείου, Αθήνα 2011